



# Seramik Üretimi

SEKTÖREL UYGULAMA KILAVUZU  
(TASLAK)

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

## İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
2. SERAMİK ÜRETİM PROSESİ .....	2
2.1. Seramik malzemeler ve seramik üretimi .....	2
2.2. Hammaddelerin temini ve hazırlanması .....	5
2.3. Şekillendirme .....	8
2.4. Kurutma .....	10
2.5. Sırlama .....	10
2.6. Pişirme .....	10
2.7. Dekor Pişirme.....	11
3. EMİSYON KAYNAKLARI .....	12
4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ.....	14
5. ÖLÇÜM VE İZLEME .....	16
6. KAYNAKLAR.....	17

## 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.

Seramik üretimi gerçekleştiren tesisleri 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. SERAMİK ÜRETİM PROSESİ

### 2.1. Seramik malzemeler ve seramik üretimi

Seramik; birbirine kimyasal olarak iyonik ve/veya kovalent bağlı metalik malzemelerin, metal olmayan elementlerle oluşturduğu inorganik ve metal dışı katı malzemelerdir. Seramik, hammadde ve karışımlarının belirli tane boyutlarında öğütülmesi ve şekillendirilme işlemi sonrası kurutularak sırlı ve sırsız olarak belirlenmiş bir ısı işleme tabi tutularak ısı etkisi ile ve ardından soğutularak kullanıma uygun teknik özellikler kazandırılarak elde edilir.

Seramikler mekanik olarak sert ve kırılığandır, düşük tokluk ve düşük sünek yapıdadırlar. Yüksek sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek aşınma direncine sahiptirler. İletim elektronları olmadığından elektrik iletmez ve ısıyı az geçirirler. Korozyona dayanıklı olup güçlü atom bağları olduğundan kimyasal olarak kararlıdır ve yüksek ergime sıcaklığına sahiptirler.

Seramikler, geleneksel seramik ve ileri teknolojik seramikler olarak iki grupta sınıflandırılır:

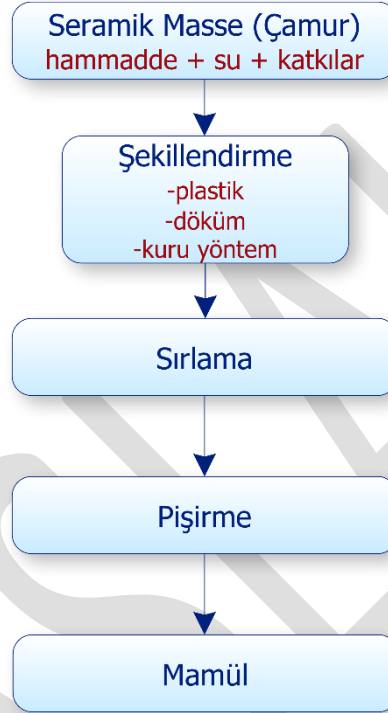
- Geleneksel seramikler: doğal hammaddelerden ve genellikle üç temel bileşenden oluşur; kil, kuvars ve feldispat. Kil, geleneksel seramiklerin vazgeçilmez en önemli hammaddesidir ve Alumina silika hidratlardır. Tabakalı yapısı ve tabakalar arası su ihtiva ettiğinden dolayı plastiklik verme özelliğine sahiptir, mamullere şekil verme görevi üstlenir. Kuvars, şekillendirilemez, ancak ürünlere mukavemet özelliği sağlar. Feldispatlar ise, kayaların bozunmasıyla oluşmuş hammaddedir. Alkali alümina silikatlarıdır ve ihtiva ettiği alkaliler nedeniyle ürünlerin pişirme derecesini düşürücü görevi üstlenirler.

Geleneksel seramikler bileşiminde silikatlar, alüminatlar, su, bir miktar metal oksitler ve alkali ve toprak alkali bileşikler bulunan malzemelerdir. Kullanım alanlarına göre gözenekli, az gözenekli ve gözeneksiz (yoğun yapılı) olarak sınıflandırılabilir. Örnek olarak; yapı seramikleri (tuğla, kiremit), kaplama malzemeleri (yer ve duvar karoları), sofraya eşyası, saniter seramik (sağlık gereçleri), elektro porselen, refrakterler ve cam sayılabilir.

- İleri teknolojik seramikler: daha üstün özellikli seramiklere ihtiyaç duyulduğundan geliştirilmiştir. Saf veya safaya çok yakın işlenmiş sentetik hammaddelerden, oksit ve oksit olmayan bileşiklerden oluşur. Yüksek sıcaklık, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gösterirler. Örneğin;  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $SiC$ ,  $B_4C$ ,  $WC$ ,  $TiC$ ,  $Si_3Ni_4$ ,  $BN$ ,  $TiB_2$ , Sialon.

Kullanım alanlarına göre yapısal ve işlevsel seramikler olarak gruplandırılabilir. Örnek olarak; kesici takım uçları, elektronik seramikler, manyetik seramikler, biyoseramikler, sensörler, katalitik konvertörler, seramik köpükler, nozüller ve aşındırıcılar (abrasifler) sayılabilir.

Genel hatları ile seramik üretimi; hammadde ve karışımlarının hazırlanması, şekillendirme, kurutma, sırlama, pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Seramik üretimine ait genel akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Seramik üretimi genel akım şeması

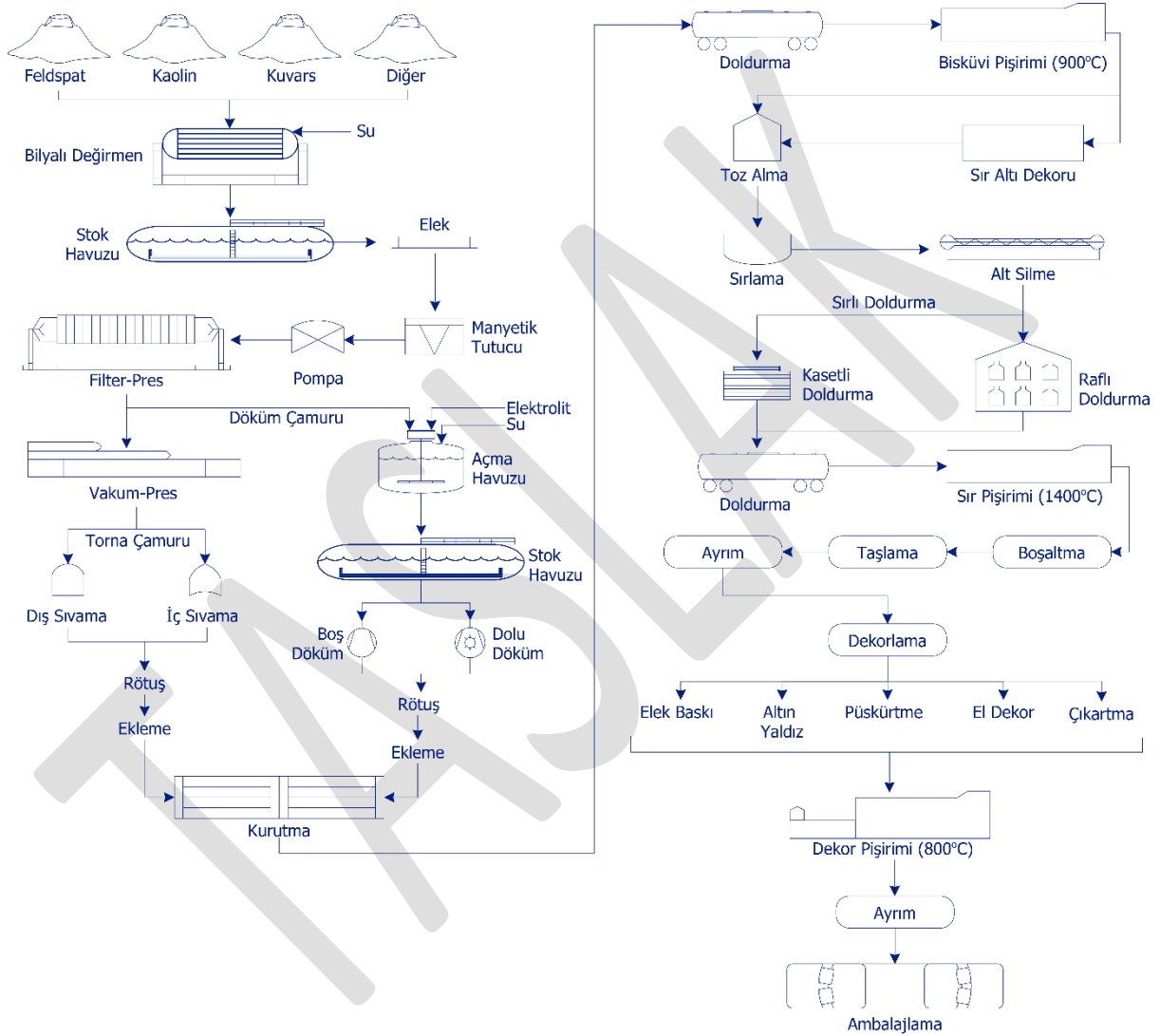
Seramik malzeme üretiminde ana prosesler; toz hazırlık, hammadde hazırlık, şekillendirme, kurutma, sırlama ve pişirmedir.

- **Toz hazırlık;** seramik hammaddeler kırılır, ufaltılır, belirli tane boyutlarına öğütülür, sınıflandırılır ve stok alanlarına sevk edilerek stoklanır.
- **Hammadde hazırlık (Masse hazırlık - Seramik çamur);** belirli tane boyutlarına ufaltılmış seramik hammaddeler reçete özelliklerine göre değirmenlerde karıştırılır, homojenleştirilir, belirli tane boyut aralıklarında kuru veya yaş öğütülür, yaş olarak öğütülmesi tamamlanan sulu karışım (çamur) değirmenlerden boşaltılarak havuzlarda dinlendirilir ve şekillendirmek için hazır hale getirilir.

Su, elektrolit, bağlayıcı, plastikleştirici vb. katkıları ve oranları geleneksel ve ileri teknolojik seramiklere ve şekillendirme yöntemlerine göre farklılık gösterir.

- **Şekillendirme** aşağıdaki yöntemlerle yapılabilmektedir:
  - **Döküm çamuru:** Havuzlarda dinlendirilen çamur, döküm çamuru olarak (yaklaşık %25-30 su) oranında alçı kalıplara dökülür. Çamur içindeki su, gözenekli alçı kalıp tarafından emilir. Çamur belli bir et kalınlığında alçı kalıbın şeklini alır. Kalıpta şekillendirme ve kurutma süresi 1 gün olabilir.
  - **Basınçlı döküm** (pressure casting) yöntemi son teknolojik yöntemdir. Döküm çamuru basınç altında birçok ince deliklerden oluşan reçine kalıba basılır. Deliklerden çamurun suyu giderilir. Kalıpta 10-15 dakika içinde hızlı sürede et kalınlığı oluşur.
  - **Ekstrüzyon (plastik şekillendirme)** yöntemi ile şekillendirme için çamurun nem oranı (%16-18) filter preslerden geçirilerek ayarlanır. Seramik hamur vakumla havası alınarak ekstrüzyona tabi tutulur. Ekstrüzyon cihazın ucuna takılan kalıp ağzına göre şekillendirme sağlanır. Delikli veya deliksiz tüp çubuk, tuğla gibi sabit kesite sahip malzemelerin üretimi yapılır.
  - **Pres** yöntemi ile şekillendirme için çamur püskürtmeli kurutuculardan geçirilerek granül haline getirilir. Granüller pres üstü silolarda homojen nem oranının (%5-7) sağlanması için bekletilir. Hazırlanan granül toz pres kalıplarında belirli basınçlarda basılarak şekillendirilir.
  - **Enjeksiyonla kalıpta şekillendirme:** Karmaşık şekilli ürünlerin üretilmesi için enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılır. Su kullanılmaz. Seramik karışım tozu hacimce %45-55 oranında polimerler içinde vakum altında ergitilerek karıştırılır (140 °C) ve polimer çamur haline getirilir. Bu çamur şekillendirilecek kalıp içine basınç altında enjekte edilir. Çamur donarak kalıbın şeklini alır. Isıl işlem esnasında polimerlerin uzaklaşması ile geriye seramik ürün kalır.
- **Kurutma** işlemi çamur içindeki fiziksel suyun 100 °C civarında uzaklaştırılması işlemidir. Üretimin en önemli aşamasıdır, mikroçatlak ve deformasyon yaşanmamalıdır. Pişirme öncesi yapılan kurutma, malzemeye gerekli mukavemeti kazandırarak taşıma işlemlerinde malzemenin kırılmasını-çatlamağını, pişirme sırasında su buharının oluşumunu ve fırın içinde malzemenin patlamasını önlemek amacıyla yapılır.
- **Sırlama;** seramik ürüne estetik görünüm ve hijyen kazandırma amacıyla yapılır.
- **Pişirme;** şekillendirilmiş ve kurutulmuş seramik malzemede birbiri ile temas halinde olan tanelerin yüksek sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutularak gözeneklerin azalması, yoğunluğun artması ve malzemeye mukavemet kazandırılması işlemidir. Pişirme sıcaklığı malzemenin ergime derecesinin altında tutulur, kullanım alanı ve reçeteye göre farklılıklar gösterir.

Seramik ürünleri; bileşimine, kullanım alanlarına ve yapı öğelerinin büyüklüğüne bağlı olarak sınıflandırılmaktadırlar. Seramik sınıflarına, üretim aşamasında değişken hammadde kullanımı, katkı kullanımları, proseslerde oluşan çeşitlilikler, fırın kesitlerindeki sıcaklık farkları, tesise özgü uygulanan yöntemler, aynı ürünlerin farklı üretim sıcaklığı ve sürelerinde üretilmesi gibi faktörlerle üretim teknikleri arasında küçük farklar olsa da genel üretim basamakları Şekil 2’de verilmiş olup aşağıda ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Seramik üretimi proses akım şeması

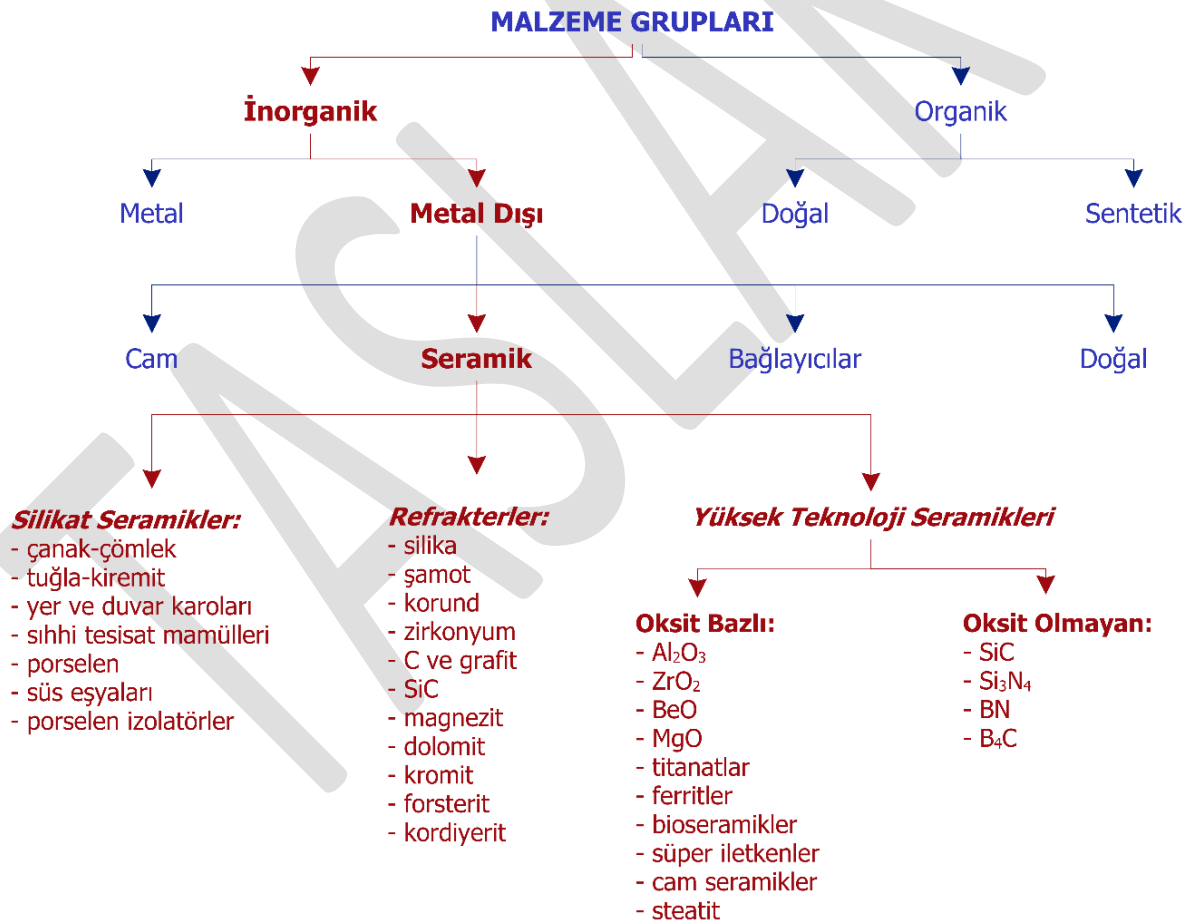
## 2.2. Hammaddelerin temini ve hazırlanması

Seramik endüstrisinde kullanılan hammaddeler inorganik metal olmayan kristal yapıda katılardır. Hammaddeler genel olarak doğal, sentetik ve sekonder hammaddeler olarak gruplandırılırlar. Doğal hammaddeler plastik (kil), şekillendirilemez (kuvars), flaks (feldspat)

özelliğinde ve direnç sağlayıcı özelliktedirler. Sentetik maddeler oksit ve oksit dışı olarak sınıflandırılır. Sekonder hammaddeler ise proses atıkları ve proses katkı maddelerinden oluşmaktadır.

Fabrikalar hammaddelerini kendilerine ait işletmelerden veya harici üreticilerinden temin ederler. Hammaddeler genel olarak kapalı silolar içinde depolanır. Silikat hammaddeleri, tuğla-kiremit, yer-duvar karoları yapımında doğal bileşimleri ile kullanılabilir; fakat porselen ve sıhhi tesisat ürünlerinde zenginleştirilmiş olarak kullanılmaktadır.

Bir seramik ürününün yapımında kullanılan hammadde, katkı ve su oranlarını gösteren tablolar reçete olarak adlandırılmaktadır. Geleneksel seramikler başta olmak üzere seramik üretiminde birden fazla hammadde yer almaktadır. Süs eşyaları, yapı malzemeleri, sıhhi tesisat ve porselen yapımında temel olarak kil, feldspat ve kuvars mineralleri kullanılmaktadır. Seramik üretiminde kullanılan malzeme grupları Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Seramik üretiminde kullanılan malzeme grupları

Seramik hammaddelerinin ayrı veya karışım halinde şekillendirmeye uygun bir kıvamdaki mase (çamur) haline getirme için uygulanan tüm işlemler “seramik mase hazırlama” olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamada kullanılan başlıca yöntemler:



- Kırma
- Öğütme
- Tane gruplarına ayırma
- Suyunu azaltma veya tamamen kurutma
- Dozajlama (Reçete oluşturma)
- Sulu Öğütme
- Döküm çamuru, seramik hamuru veya
- Granül hale getirme
- Granülleri Bantlar vasıtasıyla taşıma
- Pres üstü silolarda stoklama işlemleridir.

Yapılacak olan işlemler şekillendirme yöntemine göre belirlenmektedir. Kaba seramik ürünleri üretiminde kuru yöntem yani kuru kırma ve öğütme yapılırken, ince seramik üretiminde sulu yöntem uygulanmaktadır. Kaba seramiklerde ortalama boyutu birkaç mm'ye varan masseler hazırlanırken ince seramiklerde 0,1 mm altına düşürülecek şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Sulu olarak öğütülmüş massedeki su miktarı, plastik (%17) dökümle şekillendirme için (%30) presleme ile (%7) düşürülmelidir. Kaba seramik mamulleri üretiminde kuru olarak kırılan ve üretilen masseler elenerek tane gruplarına ayrılmakta ve silolarda stoklanmaktadır. Dozajlanan tane grupları şekillendirme prosesine bağlı olarak hedeflenen kıvamı sağlayacak şekilde su ve katkı ilave edilerek şekillendirmeye hazır hale getirilmektedir. Bu aşamada çeşitli karıştırıcılar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan karıştırıcı türü bilyalı değirmenlerdir. Burada karışan malzemelerden uygun partikül boyutuna sahip homojen bir karışım elde edilir. Homojen olarak karıştırılmış olan çamur son olarak elek sisteminden geçirilerek dinlendirilmek üzere çamur havuzlarına alınır. Buradan sonra uygulanacak işlemler alt sektörlere göre değişkenlik göstermektedir. Sağlık gereçleri üretiminde, döküm çamuru bu halde havuzlardan kullanılarak alçı kalıplarına dökülerek şekillendirilirken, kaplama malzemeleri üretiminde çamur kurutma işlemi için püskürtmeli kurutma (spray dryer) işlemine tabi tutulur, granül hale getirilir ve hidrolik preslerde preslenerek şekillendirilir. Sofra eşyaları üretiminde ise çamur plastik şekillendirme için seramik hamuru haline getirilerek kullanılır. Boru şeklindeki mamullerin üretimi için de aynı şekilde seramik hamuru kullanılır ve vakumlu ekstrüzyon presle şekillendirilir.

Vakum pres, bünyede hava kalmasını engeller ve pişirilme sonrasında hava kabarcıklarından kaynaklanacak hataların da önüne geçilmesini sağlar.

Sentetik veya zenginleştirilmiş hammaddeler toz halinde ambalajlanmış olarak kullanıma hazır halde işletmeye ulaştırılır ve kapalı alanlarda stoklanır. Üretim, dozajlama (reçeteye göre karışım hazırlama) ve öğütme ile başlamaktadır.

Buna karşın büyük miktarlarda hammadde tüketimi olan yer ve duvar karoları gibi ürünlerin yapımında kullanılan doğal hammaddeler kamyonlarla açık stok sahalarına alınarak bu

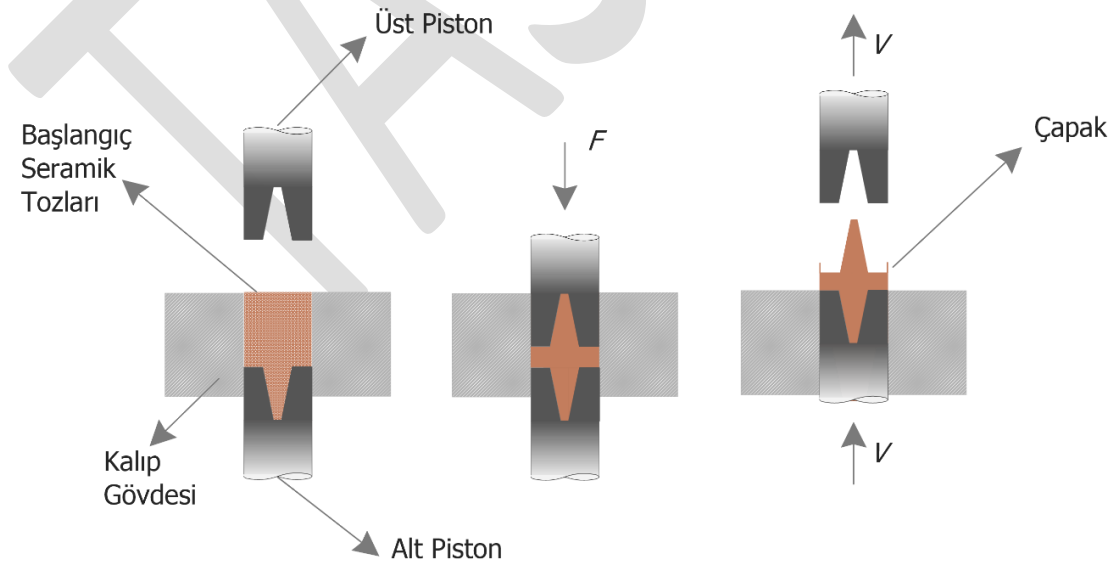
bölgelerde depolanmaktadır. Çoğu kez özellikle sürekli öğütme yapan işletmelerde bir ön kırma işlemi gerçekleştirildikten sonra kapalı alanlarda yeteri kadar stok yapılmaktadır. Kırma ve öğütme proseslerindeki ana hedef, malzemeyi optimal bir tane boyutunun altına düşürerek spesifik yüzey büyüklüğünün artırılmasıyla aktifleştirmektir. Özellikle pişirilmesi zor olan malzemeler için ince öğütme işlemi ön koşuldur.

### 2.3. Şekillendirme

Seramiğin şekillendirilmesi için 3 temel üretim yöntemi bulunmaktadır:

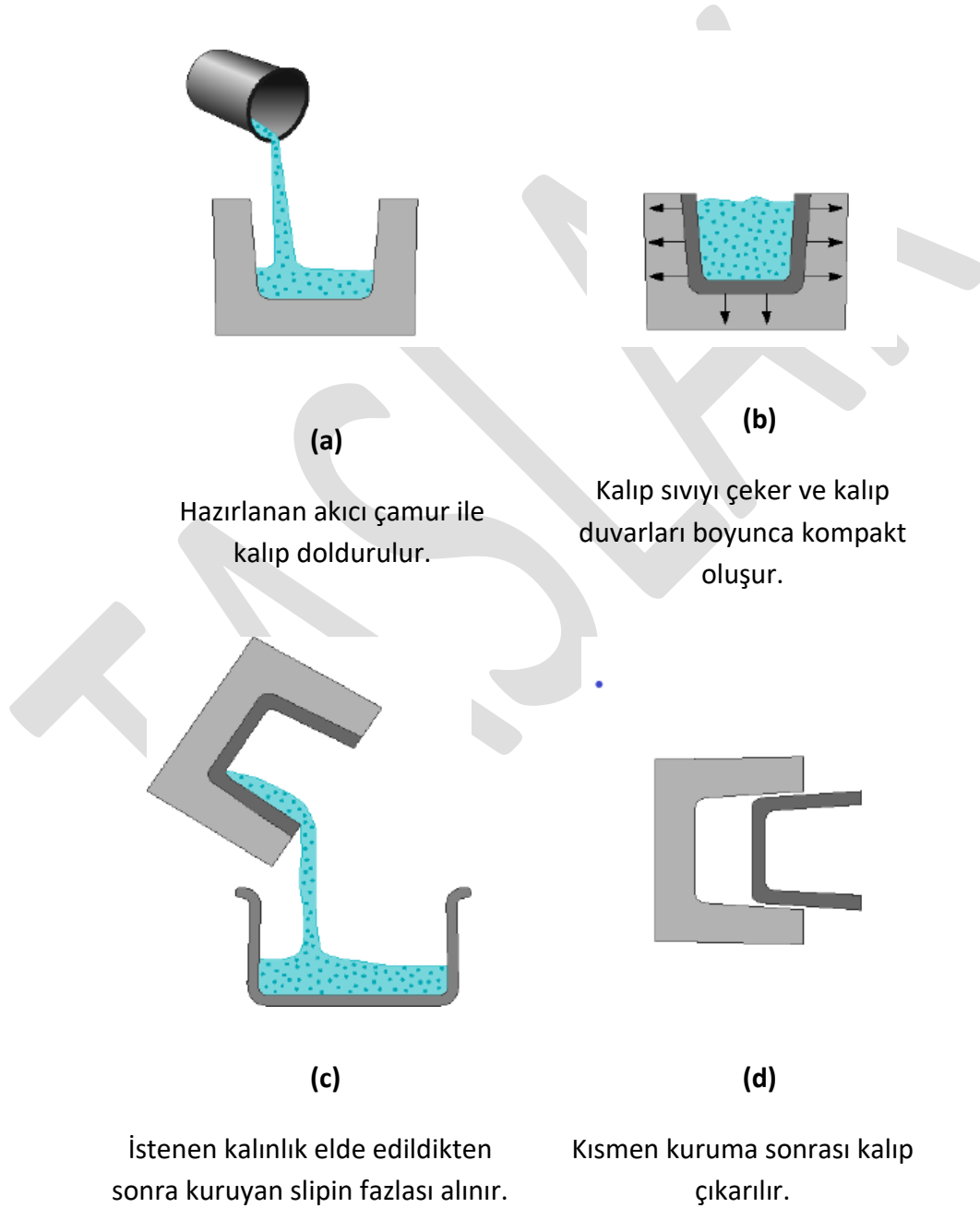
- **Toz sıkıştırma (Presleme):** Kuru presleme, sıcak presleme, soğuk izostatik presleme, vb.
- **Döküm:** Sıvı veya çamur kıvamındaki karışımın bir kalıp kullanılarak döküm ile şekillendirilmesidir.
- **Plastik şekillendirme:** Basınç (Ekstrüzyon) kullanarak yarı yaş seramik şekillendirmesi işlemleridir.

**Toz sıkıştırma:** Bu yöntem; kalıp boşluğuna doldurulmuş tozlara (granüllere) tek yönlü veya çift yönlü olarak basınç uygulayarak şekillendirme esasına dayanmaktadır. Çeşitli yöntemler kullanılarak toz (granül) haline getirilmiş olan tozlar ile tozların şekillendirilmesini kolaylaştıracak katkı maddelerinin (bağlayıcı) harmanlanmasından oluşan seramik karışım hammaddeleri kalıp boşluğuna yerleştirilir ve hidrolik veya mekanik preslerde alt ve/veya üst pistonlar vasıtası ile basınç uygulayarak istenen mamul şekli verilir (Şekil 4). Küçük ve basit parçaların seri üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Yer ve duvar kaplamaları ve çeşitli süs eşyalarının üretiminde kullanılmaktadır.



**Şekil 4.** Toz sıkıştırma yöntemi ile şekillendirme süreci

**Çamur döküm:** Ön biçimlendirmede kullanılan en eski yöntemlerden biri olan bu yöntem, genellikle banyo malzemeleri (sağlık gereçleri), yemek takımları ve porselen (sofra eşyaları) gibi geleneksel seramiklerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. İnce tozlardan ve uygun bir sıvıdan oluşan çamur, mikro gözenekli bir kalıba (alçı kalıp veya reçine esaslı basınçlı- döküm kalıbı) dökülür. Reçine esaslı basınçlı döküm kalıp sisteminde sıvının kalıp kesitinden dışarıya kılcal olarak çekilmesi sonucu, kalıp içerisinde kısmen kurumuş kırılğan bir kabuk veya gövde elde edilir. Alçı kalıp sisteminde ise kabuğun istenilen kalınlığa ulaşması sonrası geri kalan çamur kalıptan geriye dökülür. Alçı kalıba çamur döküm işlemi Şekil 5'te görülmektedir.



**Şekil 5.** Çamur döküm işlemi

**Plastik şekillendirme:** Genellikle sofraya eşyası malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır. Bu yöntemde sırasıyla filtre pres ve vakum presten geçirilerek basınç altında yarı yaş seramik hamurunun şekillenmesi işlemi gerçekleştirilir.

## 2.4. Kurutma

Şekillendirmeyi takip eden bir sonraki aşama kurutma işlemidir. Şekillendirme amacıyla ürüne plastiklik kazandırmak için eklenen suyun uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Suyun uzaklaştırılması ile malzeme içinde boşluklar meydana gelebilmekte ve pişirme esnasında çatlaklar oluşabilmektedir. Diğer üretim aşamalarına göre daha uzun sürmektedir. Açık alanda yapılabildiği gibi sürekli ve süreksiz olarak çalışan kurutma fırınları kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir. Kurutma süresi ürüne göre değişiklik göstermektedir. Kuru metotla şekillenen ürünlerde dakikalar mertebesindeyken yaş metot ile şekillendirilmiş ürünlerde uzun saatler sürebilmektedir. Kurutma sıcaklıkları da elde edilmesi hedeflenen ürüne göre değişiklik göstermektedir. Kaplama malzemeleri üretilirken nem içeriği %0,3 seviyelerine 150-200 °C sıcaklık aralığında sıcak hava püskürterek gerçekleşirken, sağlık malzemeleri üretiminde %1 nem içeriğine 60-80 °C sıcaklık aralığında devam edilir.

Bu proseste yakıt kullanımı ile ısıtılan buhardan elde edilen sıcak hava fırın içindeki fanlar yardımıyla dağıtılır ve ürün yüzeyi ile temas ettirilerek ürün kurutulur. Arabalara yüklenen yarı mamüller kurutucular içine yerleştirilir. Kurutucular içine yerleştirilmiş olan fanlar ve brülörler yardımıyla belirli bir sıcaklık rejimi takip edilerek kurutma işlemi gerçekleştirilir. Proseste gerekli olan ısı kömür, doğalgaz gibi çeşitli yakıtların yanması ve/veya atık ısı geri kazanım sistemleri ile sağlanmaktadır.

## 2.5. Sırlama

Nihai ürünün kalitesini etkileyen en önemli aşamalardan biri de sırlamadır. Burada gözenekli olan ürün yüzeyinin geçirgenliği eritilmiş camsı bir tabaka ile örtülerek azaltılır. Sır üretiminde kullanılan hammaddeler çamur üretiminde kullanılan hammaddeler ile benzerlik göstermekte olup, aynı şekilde değirmenlerde hammaddelerin ve suyun belirli bir oranda karıştırılması ile elde edilir. Seramik ürünlerin sırlanmasında daldırma, akıtma, püskürtme, elektrostatik toz kaplama yöntemleri gibi farklı teknikler uygulanmaktadır. Bazı seramik ürünlerinde sırlama dışında çeşitli teknikler kullanılarak dekorasyon işlemleri de uygulanabilmektedir. Dekorlama, ürüne sır altı veya sır üstü olarak uygulanabilmektedir.

## 2.6. Pişirme

Kurutma işlemi takip eden ve prosesin en önemli aşaması olan pişirme işleminde kurutulmuş yarı mamüller üretilecek ürünün yapısına göre 700-1280 °C sıcaklık aralığında

değişebilen koşullarda fırınlanarak pişirilmektedir. Pişirme işlemi sürekli veya kesikli çalışan fırınlarda yapılabilmektedir. Kesikli çalışan fırınlarda ürünler, 2-3 katlı arabalara sıralanarak fırına yüklenmektedir. Fırınlar doldurulduktan sonra fırın kapatılarak pişirme işlemi başlatılmakta pişme işlemi tamamlandığında fırın soğutulmakta ve ürünler boşaltıldıktan sonra tekrar yeni ürünler yüklenmektedir.

Tünel fırınlar olarak da adlandırılan sürekli fırınlarda ise bir yandan ürün girerken diğer yandan pişmiş ürün çıkmaktadır. Pişirme işlemi 20-50 saat sürebilmektedir. Ürünler arabalara yüklü bir biçimde fırın içinden geçirilerek pişirme işlemi tamamlanmaktadır. Burada ateş bölgeleri sabit; fakat ürün hareketlidir. Ürün değişik sıcaklıklara maruz bırakılarak pişirilir ve ürüne gerekli olan sertlik kazandırılır. Sıcaklık kaybı yoktur ve maksimum 1280 °C sıcaklığa ulaşabilmektedir. Fırın içinde soğutma amacıyla atmosferden temin edilen hava kullanılmaktadır.

Tünel fırınlardan farklı olarak kalitesi uygun olmayan ürünlerin tekrar pişirilip nihai ürünlere dönüştürüldüğü tamir fırınları bulunmaktadır. Bu fırınlar doldur boşalt prensibi ile çalışmaktadır ve sıcaklıkları tünel fırınlara nazaran daha düşüktür. Alttan veya yandan ısıtmalı olarak çalışabilmektedirler.

Porselen ürünlerin üretiminde şekillendirmeden gelen ürünler 1240 °C sıcaklıkta 15-17 saat arasında pişirme işlemine tabi tutulur.

## **2.7. Dekor Pişirme**

Desen yapılacak ürünlerin kalite ayrımından sonra desenlerinin yapıldığı procestir. Burada desenler ilgili ürün üzerine yapıştırılır ve sırt üstü ise 870 °C sıcaklıkta 2 saat, sırt içi ise 1210 °C sıcaklıkta 2 saat pişirilir. Desen kalite ayrımı yapılır ve ürünler paketleme bölümüne gönderilir, depolanır.

### 3. EMİSYON KAYNAKLARI

Kullanılan hammadde ve yakıtın özelliğine göre toz, azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), kükürt oksitler ( $\text{SO}_x$ ), karbon monoksit (CO), uçucu organik bileşikler (UOB), hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF) emisyonları oluşabilmektedir. Bu emisyonlar;

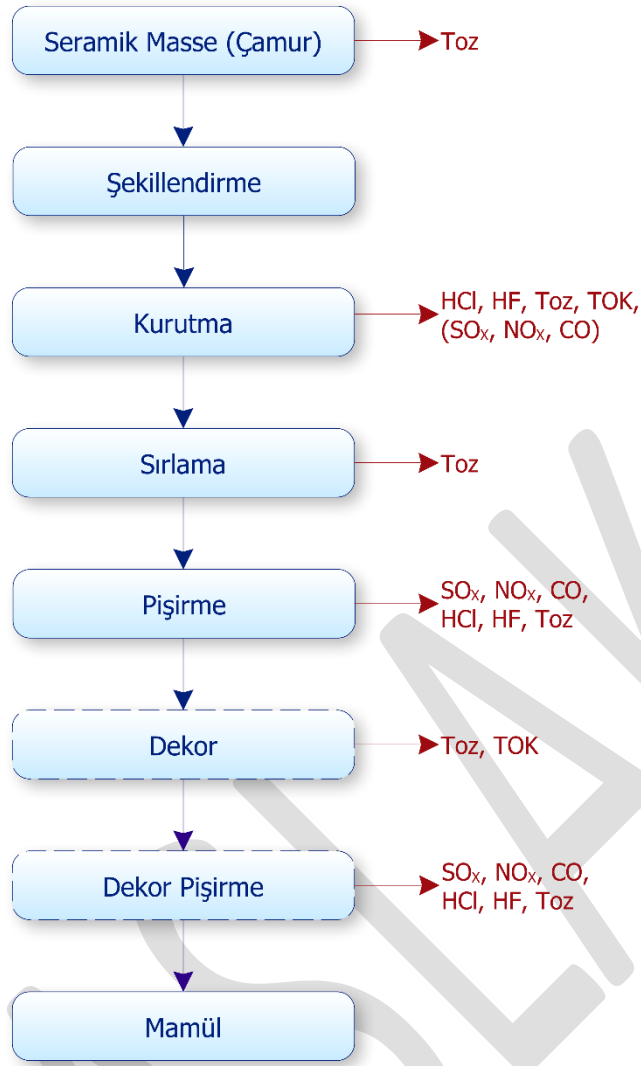
- hammaddelerin temininde ve hazırlama işlemlerinde (hammaddelerin taşıma, stoklama, öğütme, vb.) toz emisyonları,
- fırın ve kurutucularda yakıt türlerine göre değişebilecek yanma kaynaklı toz,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , ve CO emisyonları ile malzeme türüne göre değişebilecek kükürtlü, klorlu, florlu ve karbonatlı bileşiklerden kaynaklanabilecek toz,  $\text{SO}_x$ , HF ve HCl emisyonları,
- pişirme ve sır hazırlama ünitelerinde kullanılan hammadde ve katkılarına göre özel toz emisyonları,
- polisajdan toz ve yüzey kaplama işlemlerinden de UOB emisyonları oluşabilecektir.

Sprey kurutma da dâhil olmak üzere kurutma, ufalama (öğütme, çekme), tarama, karıştırma ve taşıma süreçlerinin hepsi, ince toz oluşumuyla sonuçlanabilir. Bazı tozlar da ürünlerin pişirilmesi ve dekorasyonu sırasında ve pişmiş ürünler üzerinde makine ile işleme ya da rötuş işlemleri sırasında oluşur.

Pres esnasında ve pres kalıplarından çıkan ürünlerin bantlara taşınmasında toz oluşur.

Seramik üretim tesisleri, yüksek miktarda ısı enerjisi gereken tesisler olduğu için büyük kapasiteli yakma tesislerine sahip olabilirler. Bunlar bağımsız buhar kazanı veya elektrik, buhar ve sıcak hava üretilen kojenerasyon tesisleri olabilir. Bu tesislerde de yakıt türüne ve yakma teknolojisine bağlı olarak toz,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  ve CO emisyonları oluşabilecektir.

Şekil 6'da proses akım şeması üzerinde emisyon kaynakları ve kirleticiler verilmiştir.



**Şekil 6.** Seramik üretim prosesi emisyon türleri ve kaynakları

## 4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ

Kaçak toz emisyonlarının önlenmesi için toza sebep olan işlemler arasında yer alan öğütme, eleme ve karıştırma işlemleri kapalı ortamda gerçekleştirilerek toz kontrol sistemleri ile toz emisyonları azaltılabilir. Siloların doldurulması, mikserlerin dolmuş ve çalıştırılması sırasında oluşacak tozlar için havalandırma çıkışlarında filtre kullanılmalıdır.

Toz potansiyeli yüksek olan malzemeleri taşıyan konveyör bant sistemlerinin üzeri kapatılmalıdır. Basıncı sistem ile taşınan malzemelerin negatif basınca sahip emiş hattı bulunan iletim hatları ile taşınması toz kaçaklarını önleyecektir.

Tozlu mineral hammaddeler kapalı alanlarda depolanmalı veya etrafı rüzgar etkisi ile oluşacak tozumuşları önleyecek şekilde perdelenmelidir. Açık alanda depolanan malzemelerden kaynaklanacak tozumuş için uygun toz bastırma sistemleri kullanılmalıdır. Kapalı çalışma ortamlarının havalandırma sistemlerinde toz emisyonları uygun tekniklerle kontrol edilmelidir.

Kurutma prosesinden kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için kurutucuların düzenli olarak temizlenerek proses içinde toz birikiminin engellenmesi gerekmektedir.

Pişirme amacıyla kullanılan fırınlardan kaynaklanan toz emisyonlarının önlenmesi için düşük kül içerikli yakıtların kullanılması veya doğalgaz, LPG ve LNG gibi yakıtlar tercih edilmelidir. Fırınlarda hammadde kaynaklı oluşan HF, HCl, SO<sub>x</sub>, UOB ve ağır metal emisyonlarına neden olacak öncü malzemelerin girdi olarak kullanılmasının azaltılması ile emisyon oluşumları engellenebilmektedir. Fırın içi ısınma eğrisinin optimizasyonu ile NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumu kontrol edilebilmektedir. Bunun için fırın tasarımında düşük NO<sub>x</sub> oluşturan yakıcılar tercih edilebilir.

Pişirme fırınlardan kaynaklanan toz emisyonlarının kontrolünün sağlanabilmesi ile atık gazdan tozların ayrıştırılabilmesi için siklon sistemleri kullanılabilir. Baca gazı toz arıtımında torba filtre, elektrostatik filtreler veya ıslak yıkayıcılar uygulanabilmektedir.

SO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı için kükürt oranı düşük hammadde ve yakıtlar kullanılabilir. Eğer yüksek oranda kükürt içeren malzeme kullanımı varsa uygun katkı ilaveleri ile oluşacak emisyonlar azaltılabilir.

HCl ve HF emisyonlarının önlenmesi için de düşük oranda F ve Cl içeren malzemeler kullanılabilir. Kalsiyum açısından zengin katkı maddelerinin kullanılması ile SO<sub>x</sub>, HCl ve HF gibi emisyonların azaltılması mümkündür. Emisyonların kontrolü için adsorpsiyon sistemleri de kullanılabilir.

Özellikle gözenekli malzeme üretiminde talaş ve polistiren gibi organik katkıların eklenmesi ile UOB emisyonları oluşabilir. Bu malzemelerin üretiminde perlit gibi inorganik katkı



malzemelerinin kullanılmasıyla UOB emisyonlarının oluşumu önlenmektedir. Kil üretimi sırasında UOB emisyonlarının azaltılması gözenek yapısı oluşturmak için kullanılan malzemeler nedeniyle pek mümkün olmamaktadır. Aktif karbon adsorpsiyon sistemleri kullanılarak UOB emisyonları kontrol edilebilir.

TASLAK

## 5. ÖLÇÜM VE İZLEME

Seramik üretim tesislerinde ölçülmesi ve izlenmesi gereken kirleticiler kaynaklarına göre aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Seramik üretim tesislerinde emisyon kaynakları ve izlenecek kirleticiler

Emisyon Kaynağı (Ölçüm Noktası)	İzlenecek kirleticiler	İzleme periyodu	Sürekli İzleme <sup>1</sup>
Hammadde hazırlama (kıırma, öğütme, eleme, vb.) bacaları	Toz	İzin + Periyodik	
Dekor havalandırma bacası	Toz, TOK	İzin + Periyodik	
Polisaj, toz toplama bacaları	Toz	İzin + Periyodik	
Piştirme fırını bacası	Toz, SOx, NOx, CO, HCl, HF, özel toz emisyonları <sup>2</sup>	İzin + Periyodik	
Kurutma ünitesi bacası (yanma gazları ile birlikte)	Toz, SOx, NOx, CO, HCl, HF, TOK <sup>3</sup>	İzin + Periyodik	
Kurutma ünitesi bacası (yanma gazları ile birlikte olmayan)	Toz, HCl, HF, TOK <sup>3</sup>	İzin + Periyodik	
Sır hazırlama (Firit) ünitesi bacası	Toz, SOx, NOx, CO, HCl, HF, özel toz emisyonları	İzin + Periyodik	
Sırlama kabini bacası	Toz	İzin + Periyodik	
Dekor fırını bacası	Toz, SOx, NOx, CO, HCl, HF, TOK	İzin + Periyodik	

<sup>1</sup> Ek-4’deki hükümlere de bakılmalıdır.

<sup>2</sup> Kullanılan hammadde ve katkılara göre EK-2 Tablo 2.1.1’deki özel maddelere bakılır.

<sup>3</sup> Dekorlu ve boyalı ürünlerin kurutulduğu tesislerde

## 6. KAYNAKLAR

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği.
- TA LUFT, 2002. “Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit”, Almanya Hava Kirliliği Kontrolü Teknik Talimatnamesi - TA Luft.
- IPCC, 2007. Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry.
- USEPA, 1995. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.

TASLAK