

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MALZEME ÜRETİM LABARATUVARI II (SERAMİK) DERS NOTU**

**2016**

## 1. PORSELENİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Porselen sözcüğü, porselene benzeyen bir cins midyenin İtalyanca adı olan porcella kelimesinden türetilmiştir. Porselen, seramikçilerin elde ettiği en başarılı ürünlerden olup, mukavemetin yanı sıra yarı ışık geçirgenliğinin de sağlandığı, sırlı veya sırsız, teknik veya sanatsal amaçlı kullanılabilen bir seramik malzemedir.

Birleşik bir bütün gibi görünmesine rağmen, içyapısında birleşik bir gövde oluşturmaması nedeniyle porselen deyiminin kesin bir bilimsel tanımını yapmak zor olmakla birlikte; genellikle silika, kaolen ve feldspatdan meydana gelen ve üç eksenli seramik (three axial ceramics) olarak isimlendirilen bir seramik malzeme olarak tanımlanabilir. Genel olarak bir porselen yapı % 50 Kaolen, % 25 Kuvars ve % 25 feldspatdan meydana gelir. Diğer bir ifade ise “bisküvi (gövde) ve sır olmak üzere iki kısımdan oluşan bir kitle” şeklindedir. Bisküvi; şekillendirilmiş, kurutulmuş veya pişirilmiş ancak henüz sırlanmamış seramik ürünlere verilen isimdir. Bitmiş üründeki çeşitli maddeler, cam veya camla birleştirilmiş diğer kristaller ancak pişirilerek birleşmektedir.

Porseleni seramik veya toprak esaslı eşyalardan ayıran özellikleri arasında ışık geçirgenliği, düşük porozitesi, %1’den az olan su emme özelliği, sertliği ve mukavemeti sayılabilir. Porselen, beyaz ve transparan bir malzeme olduğundan porselen üretiminde demir oranı çok düşük, kaolen oranı yüksek plastik killer kullanılır. Kil ve kaolen içerisinde kükürt bulunması porselenin özelliklerini olumsuz etkiler. Sinterleme sırasında kükürtün bünyeden gaz şeklinde uzaklaşması porselen bünyeyi şişirmekte ve pişmiş porselende hava kabarcıkları oluşturmaktadır.

Kullanım amaçlarına göre bu özelliklerden bir veya birkaçına daha fazla önem verilerek porselenler üretilebilir. Mesela yumuşak porselenden daha ziyade sofraya eşyaları ve süs eşyaları üretilir. Dolayısıyla bu ürünlerde beyazlık, saydamlık ve dekoratif kalite ön plandadır. Sert porselenden ise izolatör, kimyasal porselen, laboratuvar porselenleri, çeşitli sanayi porselenleri ve mutfak eşyaları üretilir. Dolayısıyla porselen hangi amaç için üretiliyorsa o özellik dikkate alınarak üretim yapılmalıdır.

Porselenler önemli olan birçok üstün niteliklere sahip malzemelerdir. Bu özellikler aşağıda verilmiştir:

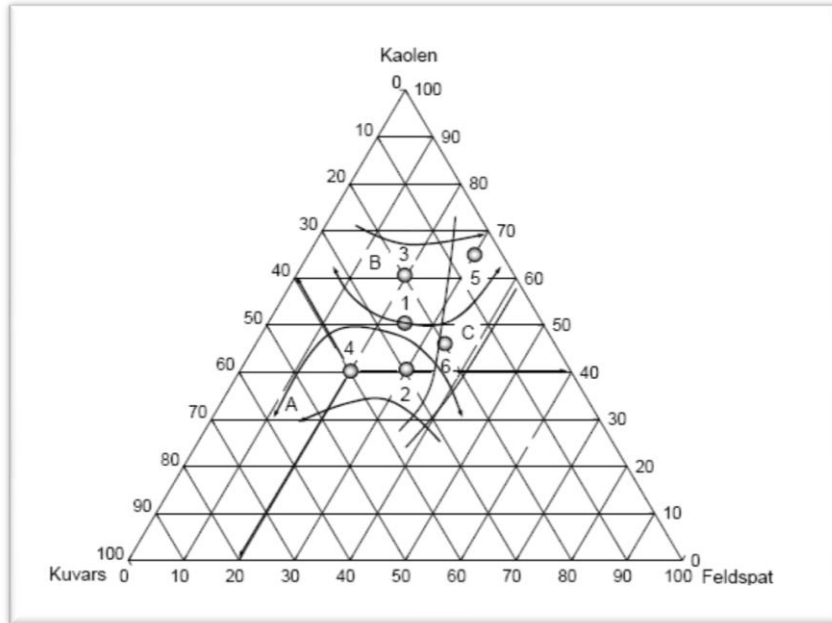
- Yüksek yoğunluk ve düşük porozite (Camsı faz boşlukları doldurur ve poroziteleri azaltır).
- Düşük elektrik iletkenliği ve dielektrik mukavemet (Elektroporselen olarak yüksek gerilim hatlarında kullanılır. Camsı faz yalıtkanlık yapar ve iletkenliği düşür. Camlar elektriği en az ileten malzemelerdir)
- Düşük darbe direnci (Camsı faz dayanıklı değildir, kırılıgandır).
- Düşük su emme (Porselenlerde açık porozite çok azdır, gaz ve sıvıları geçirmez).
- Hijyenik ve dekoratif kalite (Su emmesi çok düşük olduğu için hijyenik ve dekoratiftir, mikrop barındırmaz).

- Beyazlık, yarı saydamlık (içerdiği camsı fazdan dolayı porselenin yüzeyi camla kaplanır).
- Sertlik ve ısıya mukavemet (içerdiği mullit kristalleri mekanik özelliklerini iyileştirir).
- Asitlere karşı yüksek korozif direnç (HF hariç diğer asitlere karşı oldukça dayanıklıdır, ancak sürekli fosforik asit ve alkalilere maruz kalan porselenlerin sırsız seçilmesi gerekir).

## 2. PORSELEN TÜRLERİ

Kaolen-feldspat-kuvars üçlü sisteminde porseleni sınırlayan bölgeyi, porselenin özelliklerini ve türlerini ilk kez 1928 yılında Gilchrest ve Klinefelter açıklamıştır. Aşağıdaki şekilde üçlü diyagramda, sınırları çizilmiş olan A, B ve C bölgeleri, pişmiş porselen çamurunda çamurun bileşimine bağlı olarak ortaya çıkan üç önemli özelliği göstermektedir. Bölgelere göre porselen özellikleri şöyle sıralanabilir.

- A- Yüksek mekanik direnç,
- B- Sıcaklık değişikliklerine karşı yüksek direnç
- C- Yüksek elektrik direnci



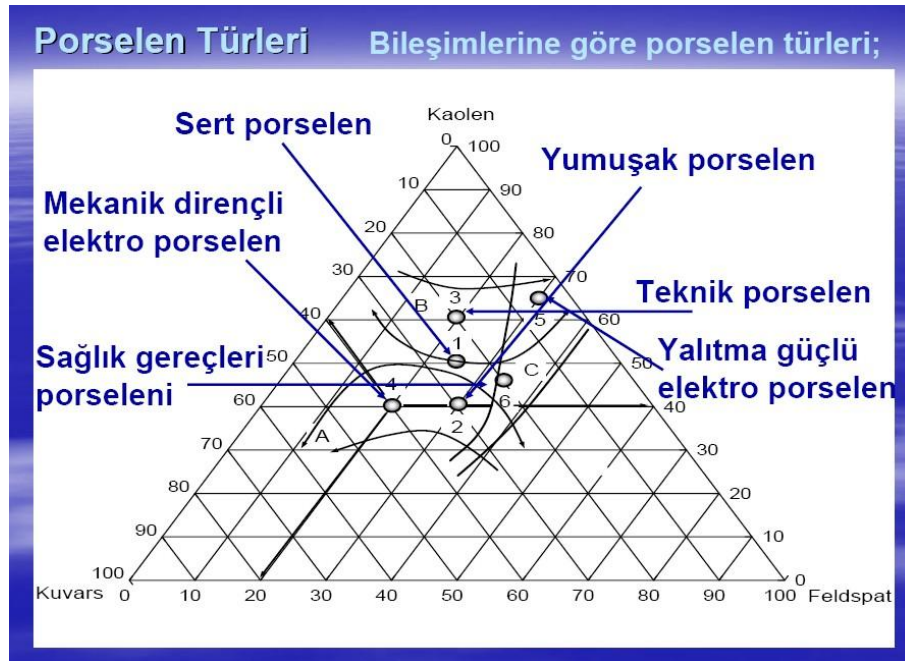
Bileşimlerine göre porselen türleri ve sinterlenme sıcaklıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Porselen türü	% Kaolen	% Feldspat	% Kuvars	Sinterleme Sıc.(°C)
Sert porselen	40 – 60	18 – 30	12 – 35	1400 – 1500
Yumuşak porselen	30 – 40	25 – 40	30 – 40	1280 – 1350
Elektro porselen	40 – 50	20 – 28	22 – 40	1300 – 1350
Steatit porselen	10 – 20	75 – 85	5 – 10	1280 – 1350
Frit porselen	30 – 50	25 – 35	25 – 35	1200 – 1300
Kemik porselen	20 – 30	25 – 30	25 – 50	1220 – 1250
Sağlık gereçleri	25 – 40	30 – 36	25 – 45	1230 – 1280
Laboratuar gereçleri	60 – 65	15 – 30	10 – 15	1450 – 1500
Diş porseleni	20 – 30	50 – 60	10 – 20	1200 – 1280

## 2.1. Sert porselen

Porselen grubunun sert veya yumuşak oluşu, mekanik direncini belirlemeyip, başta pişme sıcaklığı olmak üzere bileşimine verilen addır. Sert porselenler yumuşak porselene göre daha fazla kaolinit ve  $Al_2O_3$  içerdiğinden daha yüksek derecelerde pişirilmektedir. Daha yüksek derecelerde pişen sert porselen bünyesinde oluşan kristal yapı, darbelere dayanıklı olup, üzerindeki sır ile tam bir bütünlük sağlar. Alümina sayesinde oluşan fazlar sert porseleni daha dayanıklı yapar. Üzerine kaplanan sır tabakasıyla bir bütünlük sağlayarak sert ve çizilmez üstün özelliklerde bir porselen üretilmiş olur.

Aşağıdaki şekilde Kaolen-feldspat-kuvars üçlü faz diyagramında sert porselenin bölgesi verilmiştir. Ayrıca aynı şekil üzerinde yumuşak porselen, teknik porselen, elektro porselen ve sağlık gereçleri porselenlerinin de buldukları bölgeler (bileşim aralıkları) görülmektedir.



Sert porselenler; son derece beyaz, tam anlamıyla vitrifiye olmuş ve yarı saydam seramik bünyelerdir. % 50 Kaolen, % 25 Kuvars ve % 25 feldspat karışımından oluşan, 1000 °C'de bisküvi pişirimi yapılan, tam şeffaf ve toprak alkali içeren sırla sırlandıktan sonra 1400-1500 °C'de pişirilen bir porselen türüdür. Söz konusu sıcaklıkta sıran altındaki porselen gövde, bir bütün haline gelerek sırla birleşmektedir. Bunun sonucu olarak da gövde gibi sırandaki olağanüstü yüzey sertliği ve dayanıklılığı ortaya çıkmaktadır.

Sert porselenler genellikle mukavemet, refrakterlik ve elektriksel izolasyonun gerekli olduğu uygulamalarda (porselen sofraya eşyaları, elektro porselen ürünler, teknik ürünler v.b) kullanılırlar.

## 2.2. Yumuşak porselen

Bünyesinde daha az kaolen (daha az alümina) içermesinden dolayı sert porselene göre daha düşük sıcaklıkta sinterlenir. Ancak yumuşakla sert porselen arasındaki tek fark değişik harman

yapıları değildir. Yumuşak porselenin sert porselene kıyasla oldukça düşük olan pişirim sıcaklığının sert porselenin mekanik sertliğine; sağlamlığına ve darbe dayanıklılığına ulaşmamasına yol açması doğaldır. Yumuşak porselen Batı Dünyasında özellikle İngiltere'de üretilmekte ve "Bone China " ticari adıyla piyasaya sürülmektedir. Sert porselene göre hamur reçetesi daha fazla feldspat ve daha az kaolinit içerdiğinde daha düşük derecelerde pişirilir.

Genelde 900-1000 °C arasında bisküvi pişirimi denilen bir pişirmeye tabi tutulduktan sonra yüzeyine sır kaplanarak daha yüksek bir sıcaklıkta sinterlenirler (çoğu bisküvi pişiriminde tamamen camlaşır ve sır pişirimi daha düşük bir sıcaklıkta yapılır). Amaç düşük sıcaklıklarda sırların veya sır altı boya maddelerinin bozulmadan kalmasını sağlamaktır. Saydam ve incedirler. Kalınlıklarının artmasıyla mukavemet de artar. Kullanım yerleri genellikle mutfak porselenleridir.

### 3. PORSELEN HAMMADDELERİ

#### 3.1. Kaolen

Beyazlık, şeffaflık daha da önemlisi plastiklik özelliği verdiği için porselenlerin vazgeçilmez bileşeni kaolendir. Mineralojik ve kimyasal yönden plastik kil ve kaolen arasındaki fark çok azdır. Doğada ikisi de kaolinit yapıdadır. İçerdikleri safsızlıklar; en fazla oranda kuvars, en düşük oranda demir ve titanyumdur. En yaygın kaolen minerali kaolinittir  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{-2}$  ve  $[\text{Al}_2(\text{OH})_4]^{+2}$  tabakalarından oluşmuştur. Kaolinitin teorik formülü  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  şeklindedir. Kaolenler, yaygın bir şekilde montmorillonit ve smektit içerirler. Bu mineraller, porselen bünyenin plastikliği ve reolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

#### 3.2. Silika

Silika ( $\text{SiO}_2$ ) hem viskoz akışla sıvı faz sinterlemesini sağlamak hem de porselenin ana iskeletini oluşturması bakımından ilave edilir, yani camsı faz oluşturur. Genellikle porselen bünyesindeki en kaba taneli (en büyük tane boyutlu) maddelerdir. Kaba taneler, kuruma sırasında çatlama dayanımı sağlar ve pişme sırasında deformasyonu önlemek için ağ iskeleti oluşturur.

Kuvars ısıtma sonrası çok uzun sürede soğumaya tabi tutulursa, kuvars dönüşümleri mümkün olurken soğuma hızlı yapılırsa kuvars yüksek sıcaklıktaki haliyle soğur, diğer faza geçecek zaman bulamaz. Fırınlarda hızlı soğutma yapıldığı için fırından çıkan mamulde bütün fazlar bulunabilir. Bu arada % 5 kadar da hacmin küçülmesine sebep olurlar. Kuvarsın polimorfları seramik bünyeler için çok önemlidir. Dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişiklikleri olacağı için, bu bölgelerdeki ani sıcaklık dalgalanmalarından sakınmak ve bu noktaları yavaş geçmek lazımdır. Aksi halde çatlama meydana gelir.

#### 3.3. Feldspat

Ergitici olarak görev yapan feldspat sinterlemeyi kolaylaştırır. Camsı faz oluşumunu artırır. Silikaya göre daha düşük sıcaklıkta eriyerek akışkanlığı artırır. Potasyum feldspatlar, porselende en çok kullanılan feldspat türüdür. Seyrek olarak saftır, genelde albit (Na-feldspat) ve anortit (Ca-feldspat) mineralleri içerir.

#### 4. DÖKÜM ÇAMURU HAZIRLAMA

Yaş yöntemle şekillendirmede en önemli aşamayı, şekillendirmede kullanılacak olan döküm çamurunun hazırlanması oluşturur. Başarılı bir döküm çamuru hazırlanabilmesi için bazı temel bilgilere sahip olmak gerekir. Bu bilgiler şunlardır:

- Çamuru oluşturacak hammaddelerin fiziksel, kimyasal, minorolojik ve reolojik özelliklerini bilmek. Fiziksel olarak tane yapısı ve tane büyüklüğü, kimyasal olarak bileşimi ve minorolojik olarakta içerdiği mineraller ve kristal yapısının bilinmesi
- Döküm çamurunda olması istenen minorolojik yapının, çamuru oluşturacak olan tüm hammaddelerin kimyasal bileşimlerinin hesaplanması
- Çamura katılacak olan suyun oranı
- En uygun elektrolitin seçimi, kullanılacak elektrolitin oranı
- Döküm çamurunu oluşturan sert ve suda dağılmayan maddelerin öğütme süresi ve tüm çamurun tane büyüklüğü
- Döküm çamurunun litre ağırlığı ve viskozitesi

Döküm çamuru plastik ve plastik olmayan hammaddeler, elektrolit ve su karışımıyla katı madde yüzdesi fazla olan, düşük viskoziteli stabilize edilmiş karışımdır. Döküm çamuru içinde milimetrik boyuttan gözle görülemeyecek kadar küçük boyutlarda çok sayıda hammadde partiküllerinin bulunduğu ve bu partiküllerin birbirine itme ve çekme kuvvetleri uygulandıkları sulu bir ortamdır. Döküm çamuru özel bir şekillendirme prosesinin en önemli kısmını oluşturur. Bu nedenle döküm çamurunun sahip olması gereken özelliklere dikkat etmek gerekir.

İyi bir döküm çamuru şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Alçı kalp içerisinde kolaylıkla yayılabilmesi için düşük viskoziteli olmalı
- Katı maddeler çökmemeli
- Dökümden sonra kalıptan kolayca çıkarılabilmeli
- Çok hızlı ve çok yavaş olmayan bir et kalınlığı temin edilmeli
- Döküm sonrası mukavemeti yüksek olmalı
- Kuru çekme az olmalı

Döküm özelliklerini etkileyen faktörler; partikül boyutu (tane irilikleri) ve dağılımı, plastik ve plastik olmayan hammaddelerin bulunuşu ve oranı, ilave edilen elektrolitin türü, miktarı, partikül (tane) şekli olarak sıralanabilir.

#### 4.1. Litre Ağırlığı

Döküm çamurunun en önemli fiziksel özellikleri arasında yoğunluğu gelmektedir. Bilindiği gibi yoğunluk herhangi maddenin birim hacmindeki miktarının ağırlığıdır. Döküm çamurunda birim hacmi bir litre olarak alındığında gram olarak ağırlığı onun yoğunluğunu vermektedir (litre ağırlığı olarak kullanılmaktadır). Fakat  $\text{gr/cm}^3$  yada  $\text{kg/lt}$  gibi değerlerde kullanılmaktadır. Döküm çamurunda yoğunluk önemlidir çünkü herhangi bir karışımın yoğunluğu onu meydana getiren bileşenlerin yoğunlukları ile o bileşenlerin oranlarına bağlıdır. Çamuru meydana getiren bileşenler kuvars, kil, feldspat ve kaolindir. Tüm bu hammaddelerin yoğunlukları birbirine yaklaşık olarak eşit olup  $2,6 \text{ gr/cm}^3$  tür. Dolayısıyla çamurun yoğunluğunu etkileyen en büyük faktör sudur. Suyun yoğunluğu  $1 \text{ gr/cm}^3$  tür. Dolayısıyla çamurdaki suyu arttırmak çamurun yoğunluğunu düşürür. Su, çamurun tüm özellikleri üzerinde etkili bir parametre olduğundan çamurun yoğunluğunun (litre ağırlığının) önemi açıktır.

#### 4.2. Tane İrilik Dağılımı

Tane boyutu ölçülecek partiküllerin moleküler yapısı, homojenliği, hangi fazda bulunduğu, şekli ve kullanılan dağıtıcı ortam seçilecek teknikte ve elde edilecek sonuçta son derece önemlidir. Farklı analitik tekniklerle tane boyut ölçümü yapılır bunlar: Elekten geçirme, sedimentasyon gibi teknikler kullanılır.

Otomatik cihazlar yardımıyla yapılan tane boyut ölçümlerinde, tüm geometrinin direkt ölçümü yapılarak, bazı parametreler yardımıyla dolaylı sonuçlara çevrilir. Uygulamalarda doğru partikül boyut ölçüm metodunu seçmek önemlidir. Partiküllerin yüzey alanı süspansiyona ilave edilen kimyasalların etkinliğini, partiküller arası reaksiyonların etkinliğini, karışımın flokulasyon/deflokulasyon derecesini belirler.

Tane boyut dağılımı adından da anlaşılacağı gibi sadece ortalama boyut değil tüm dağılımı kapsar ve sistemin reolojisinde ana etkiye sahiptir. Yapılan çalışmalarda partikül boyut dağılımının reolojiyi ve döküm davranışını etkilediği saptanmıştır. Partikül boyutu arttıkça plastiklik suyu ve küçülme azalır. Bu genellemeler normal veya geleneksel kaolin tane boyut dağılımı için yapılmıştır. Yüksek plastikliğe sahip kaolinlerin yüzey alanları yüksektir.

Döküm hızını en çok etkileyen özelliğin  $1 \mu\text{m}$ 'den daha ince olan tanelerin yüzdesi olduğu belirtilmiştir. Killerin tane yapıları ne kadar küçük ise plastikliği ve absorblama kapasiteleri o kadar fazla olacaktır. Bu da kuruma küçülmelerinin o oranda artacağı anlamını taşımaktadır. Proseste killer; kuvars gibi plastik olmayan hammaddeler ile karıştırıldığında ortalama partikül boyutu artacak buna bağlı olarak da absorbe edilen su miktarı azalacağından kuruma çatlağı riski de azalacaktır.

#### 4.3. Vizkozite

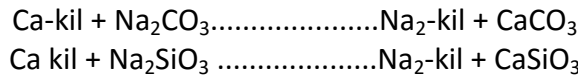
Akışkanlık sıvıların ve gazların ortak özellikleri olup bu akabilme kabiliyeti olarak bilinir. Sıvıların akmaya karşı gösterdikleri direnç ise vizkozite olarak bilinir ve bunun temeli sıvı molekülleri arasındaki sürtünme kuvvetidir. Akışkanlığın ölçü birimi poise' dir. Poisenin %1 ine santipoise denir. Kısaca cps olarak gösterilir. Örneğin lehman tipi bir cihazda ise belirli bir yükseklikteki sıvının 100 cc' lik bir hacmi akıtma süresi ölçülür. Ölçülen süre saniyedir. Akışkanlık vizkozimetre

ile ölçülür En çok kullanılan vizkozimetreler: gallenkamp, brookfield, dönen silindir vizkozimetreleridir.

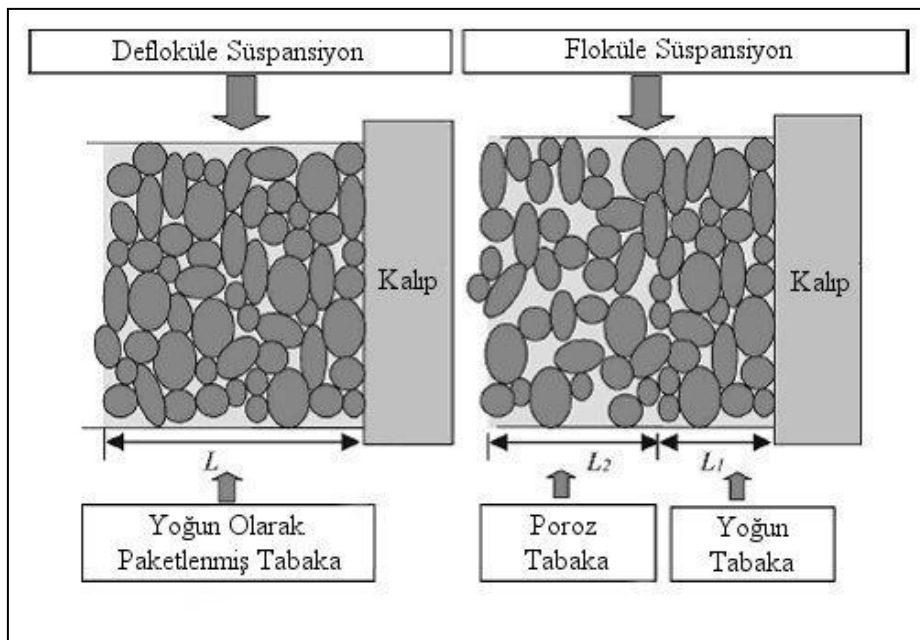
Döküm çamurunda istenilen akışkanlığın fazla su kullanmaksızın elde edilmesi istenir. Fazla sulu bir döküm çamuru kalıpları ıslatır, dökümün kalıptan çıkma süresini uzatır ve kalıp içinde çatlar. Bunun yerine elektrolitler ilave edilir. Elektrolitler su oranını azaltarak, istenilen akışkanlığın sağlanması amacıyla kullanılırlar. Elektrolitler taneciklerin yüklerini değiştirerek etkin bir şekilde su içinde dağılmasını sağlarlar. Her kil, kaolin veya çamurun elektrolitlerle akışkan duruma gelmesi farklıdır. Elektrolitlerin türüne ve katılma oranına bağlı olarak döküm çamurlarının reolojik özellikleri de değişmektedir ki buda döküm hızını etkiler. Genel olarak çamurlar binde 3–7 arasında uygun elektrolit katkısı ile akıcı kıvama gelirler.

Yaygın olarak kullanılan elektrolitler sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) tır. Ayrıca baryum karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) da dağıtıcı olarak ta kullanılır. Yapıda sülfatlar kalsiyum, demir ve alüminyum tuzları çamurun floküle olmasına neden olurlar. Baryum karbonat bu sülfat ve tuzları suda çözünmeyen baryum sülfat haline getirir. Ayrıca bu şekilde pişme esnasında bu sülfatlardan meydana gelen gaz kabarcıklarını elimine ederek hava firesi hatasını azaltmış olur.

Killerin sodyum silikat ile deflokülasyonu silikat iyonları ile çok değerlikli katyonların reaksiyonları sonucu meydana gelir ve çözünmeyen silikatlar oluşur. Sodyum iyonları kil sistemlerinin yapısında bulunan katyonlarla yer değiştirir, itici kuvvetlerin artmasıyla deflokülasyon meydana gelir.



$\text{CaCO}_3$  ve  $\text{CaSiO}_3$  suda çözünmediğinden bu reaksiyonlar tek yönlüdür. Hammadde içerisinde bulunan çözünebilir safsızlıklar ve su içerisinde bulunan sülfat, kalsiyum, magnezyum, demir ve alüminyum gibi iyonlar deflokülant için gerekli elektrolit miktarını etkiler. Bu nedenle döküm çamurunda kullanılan suyun iyonlarından arındırılması gerekir.



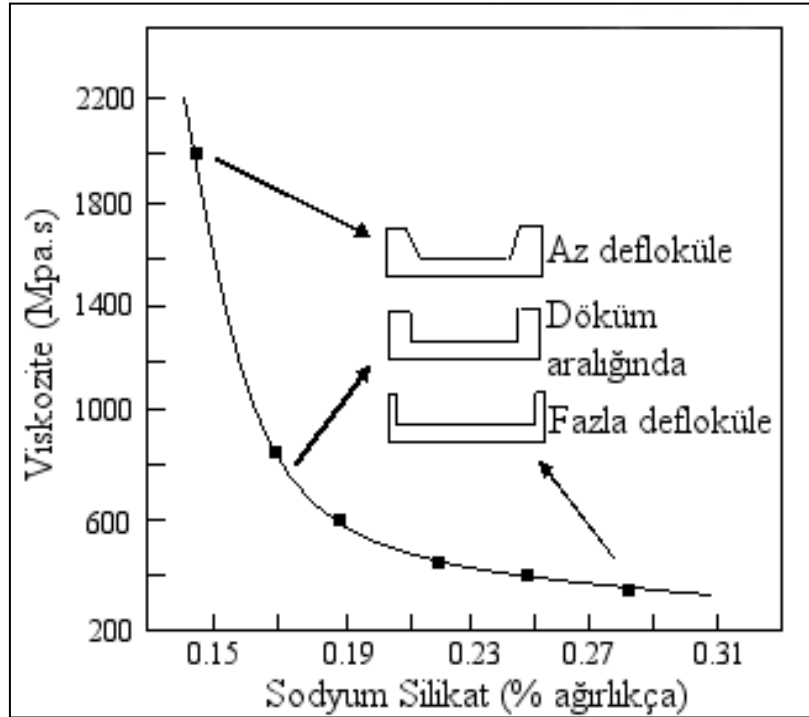


#### Deflokulant Kullanımının Avantajları:

- Yüksek katı oranına sahip bir süspansiyonun düşük sıvı oranından dolayı slip yoğunluğu artacaktır
- Şekillendirilen ürünün kurutma hızında artış sağlanacak
- Kuruma küçülmesinde azalma olacaktır
- Kurutma sonrası üründe oluşabilecek çarpıklıklar ve çatlaklar azalacaktır

#### Döküm hızını etkileyen faktörler:

- Döküm çamurundaki katı madde-su oranı
- Döküm çamurundaki katı maddelerin tane boyutu ve dağılımları deflokülasyon kavramı ile doğrudan bağlantılıdır
- Deflokülant tipinin spesifik özelliği



Çamura her defasında artan oranlarda elektrolit katarak, akma süresinin uğradığı değişiklikleri saptamakla oluşturulan eğriye "akma eğrisi" denir. Genel olarak çamurlarda, belli bir elektrolit katkısı ile başlayan akışkanlık, katkının artması ile hızlanır. Yani çamurun akma süreleri giderek kısalır. Elektrolit katkısının daha da artması ile öyle bir noktaya erişilir ki, artık çamurun akma süresi uzamaya başlar ve elektrolit daha da artırılırsa çamur koyulaşır akmaz olur. Akma süresi ve elektrolit katkı miktarları değerleri, bir grafik üzerinde belirlenip akma eğrisi çizilir.

#### 4.4. Tiksotropi

Elektrolit katılan çamur karıştırıldığı an akışkan ve hareketlidir. Çamurun bileşimine göre bu akışkanlık, çamur karıştırılmadan hareketsiz bırakıldığında yavaş yavaş ortadan kalkar ve sonuçta çamur donmuş gibi görünüm alır. Akışkan çamurların, hareketsiz durdukları zaman akışkanlıklarını kaybedip pıhtılaşmasına ve karıştırıldıklarında ise eski haline dönmesine tiksotropi denir. Döküm çamurlarında çamurun çabuk kalınlık alabilmesi için belli miktarda tiksotropi özelliğinin olması istenir. Çamurun reolojik özellikleri, viskozite ve tiksotropi ölçülerek kontrol edilir.

Tiksotropi seramik çamurlarında akışkanlığın zamana göre değişim özelliğidir.

$$\text{Tiksotropi} = \frac{\text{I.viskozite} - \text{II viskozite}}{\text{II viskozite}} \times 100$$

Tüm döküm çamurları hareketsiz kaldıkları süre boyunca yapısal olarak değişime uğrayıp akışkanlıklarının bir kısmını kaybederler. Bu olay tiksotropi olup sözü edilen yapısal değişimler ise partiküller arasında zayıf bağların oluşmasıdır. Tiksotropi oranının hesaplanması için; karıştırılan bir çamurun viskozitesi ölçüldükten sonra belli bir süre beklenir ve karıştırılmadan ikinci kez viskozitesi tekrar ölçülür. Aradaki fark bulunur. Bu fark ikinci viskoziteye oranlanır. Tiksotropi olarak bulunan değer bir orandır. Dolayısıyla birim % olmaktadır. Tiksotropinin döküm çamuru için önemi çok büyüktür. Tiksotropisi yüksek çamurların kalınlık alma hızı yüksek olup dökülen yarı mamul daha yumuşak olmakta buna karşılık süzülme iyi olmamaktadır.

Çamur Özelliği	Genel Düşünceler
Çok düşük viskozite	Uzun döküm süresi, düzgün olmayan döküm yüzeyi ve çatlaklar
Çok yüksek viskozite	İğne deliği şeklinde yüzey hataları ve çamurun boşaltılmasında zorluk.
Çok düşük tiksotropi	Uzun döküm süresi, kırılmalı yapı, zayıf bünye, düzgün olmayan döküm yüzeyi
Çok yüksek tiksotropi	Yumuşak döküm, çamurun boşaltılmasında zorluk, uzun kuruma süresi

Döküm çamurlarının en önemli özelliği kalınlık alma hızıdır. Döküm çamurlarında sulu ortamda bulunan itme kuvvetleri ortamdaki suyun uzaklaşması ile çekme kuvvetleri tarafından yenilirler ve partiküller üst üste birikmeye başlar. Alçı kalıba dökülen çamurun suyu alçı kalıp tarafından çekilir. Böylece zaman ilerledikçe kalıbın iç yüzeyinde kalıbın şekline uygun katı ile sıvı özellikleri arasında bir bölge teşekkül eder. Bu bölgenin kalınlığı zaman içinde azalan bir hızla artar. İyi bir döküm çamurunda bu kalınlık alma hızı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.

İyi bir döküm çamurunda dökümden sonra kalan çamurun iyi bir şekilde süzülerek kalıbı terk etmesi hatasız ürünler için önemlidir. Süzülmeden kaynaklanan hata üründe kurutmada ve

pişmede çatlamalara, ayrıca ürünlerde yüzey hatalarına sebep olurlar. Deformasyon çamurun en önemli olumsuz özelliklerinden biridir. Deformasyon esas olarak kurumda ve ikinci olarak da pişmede meydana gelir. Bu özellik çamur reolojisi ve reçetesi ile minimuma indirilebilir.

## 5. SERAMİK MALZEMELERİN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Mekanik yada kimyasal yöntemlerle istenen tane boyutlarında elde edilmiş ve/veya ön sıkıştırma işlemine tabi tutulmuş seramik tozları, artık belirli şekle sahip parçaların üretimi için hazır hale gelmiştir. Aşağıdaki tabloda toz sıkıştırma yada başka bir deyişle parça şekillendirmede kullanılan başlıca yöntemler verilmiştir.

Presleme	Döküm		Plastik Şekillendirme
Tek eksenli presleme	Slip döküm	- katı döküm	Ekstrüzyon
İzostatik presleme		- vakum döküm	Enjeksiyon kalıplama
Sıcak presleme*		- basınçlı döküm	Basınçlı kalıplama
Sıcak izostatik presleme*	Şerit döküm	- savurma döküm	
		- doktor bıçağı	

\*Bu tekniklerde şekillendirme ve sinterleme eş zamanlı olarak gerçekleşir.

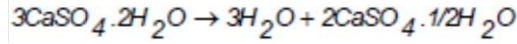
### 5.1. Slip Döküm

Halk arasında döküm denince ilk aklı gelen; erimiş metalin bir kalıba dökülerek şekillendirildiği metal dökümdür. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte, metallerin yanında seramik malzemelerin şekillendirilmesi de dökümle yapılmaktadır. Seramiklerin dökümü, çoğunlukla oda sıcaklığında yapılır. Slip döküm işlemi, sıvı halde bulunan seramik süspansiyonun gözenekli bir kalıba dökülmesi ve sıvının kalıptan uzaklaştırılarak taneciklerin kalıp kenarlarında biriktirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Seramik süspansiyonun viskozitesine, kalıbın çeşidine ve işlem şekline bağlı olarak dökümün değişik tipleri vardır. Ticari ve en yaygın seramik döküm tekniği (uygulama şekli); slip dökümdür. Yöntemin prensipleri ve kontrolü diğer seramik döküm tekniklerine benzemektedir. Aşağıdaki şekilde slip dökümdeki kritik işlem basamakları tanımlanmıştır. Optimum sonucun ve kritik özelliklerin elde edilmesi için, bu işlem parametreleri dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

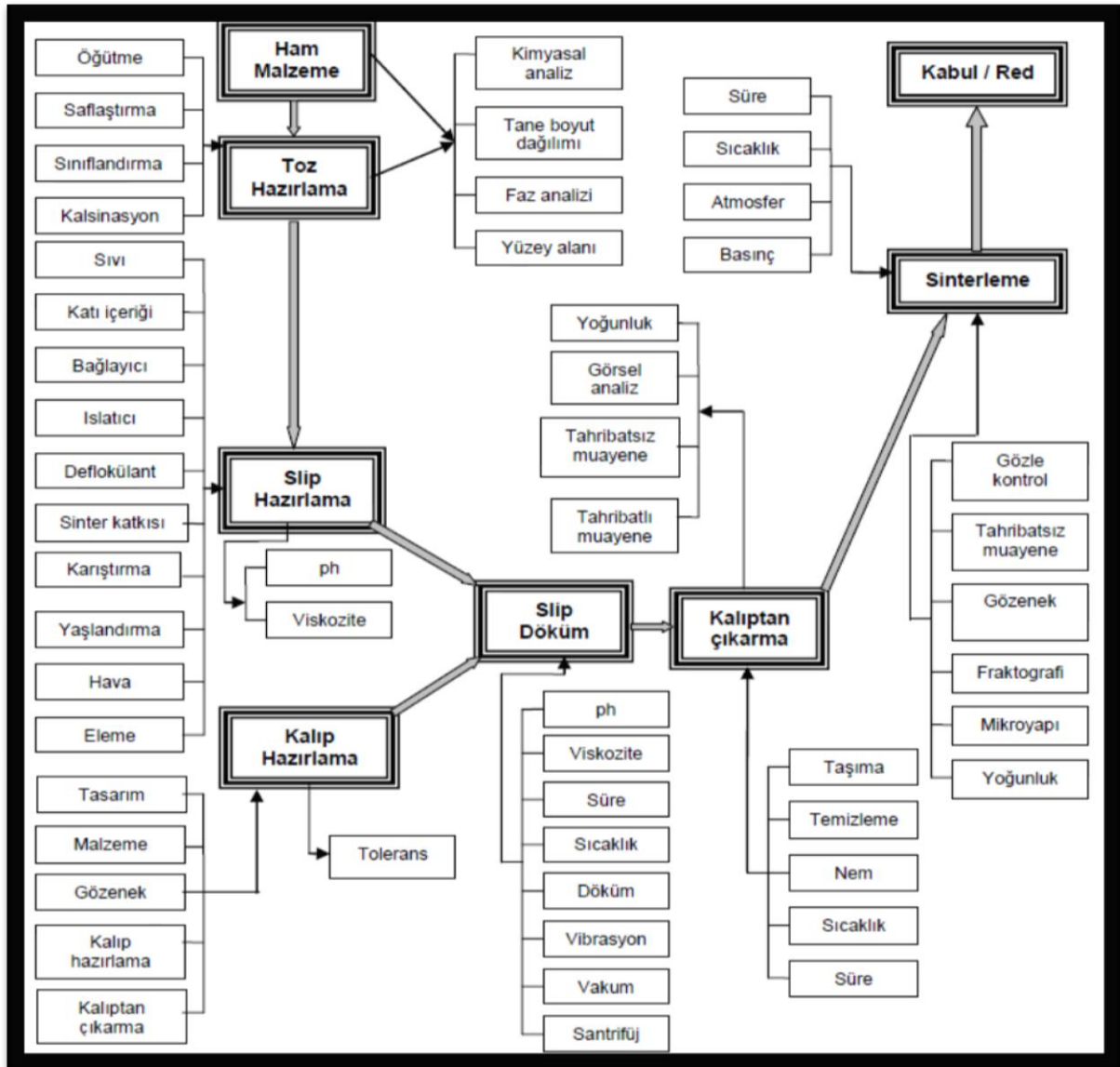
**Slip Hazırlama:** Slip hazırlama işlemi, çeşitli teknikler kullanılarak yapılır. Muhtemelen bunların en yaygın olanı, yaş bilyeli öğütme ya da karıştırma dır. Toz, bağlayıcılar, ıslatma özelliklerini düzenleyen maddeler, sinterleme katkıları ve dispersiyon sağlayan maddeler gibi bütün şarj malzemeleri değirmene uygun oranlarda konur. Yine değirmene tane boyutunda istenen küçülmeleri ve uygun karışmayı sağlamak amacıyla seçilen döküm akışkanından belirli oranlarda katılır. Daha sonra istenilen karakteristik özellikler sağlanıncaya kadar slip bekletilir. Sonrasında slipin viskozitesi kontrol edilir, gerekiyorsa ayarlanır, havası alınır ve böylece döküme hazır hale getirilir.

**Kalıp Hazırlama:** Slip içerisindeki sıvıyı kapiler (emme) kuvvetlerle çekmesi açısından slip dökümde kullanılan kalıplar, kontrollü gözeneğe sahiptirler. Bu kalıplar aynı zamanda düşük maliyetli olmalıdır. Kalıp malzemesi olarak genellikle alçı kullanılmaktadır. Ancak, basınçlı

dökümde kullanılan bazı kalıplar gözenekli plastik malzemelerden yapılır. Alçı kalıplar; Paris alçısı tozu ile suyun karıştırılması sonucu hazırlanan akışkan haldeki koyu çamur modelin içinde bulunduğu kalıba dökülerek alçı kalıp hazırlanır ve kurutulur. Alçı kalıp; kompleks şekillerdeki modelin dış hatlarına sahip ve pürüzsüz yüzeyli olmalıdır. Ayrıca, kalıp çok sayıda parçadan oluşabilir. Ancak, kalıp parçaları; döküm sonrasında elde edilen ham ürüne hasar vermeden çıkarılabilmelidir. Paris alçısı kısmen suyu giderilmiş kalsiyum sülfattır:



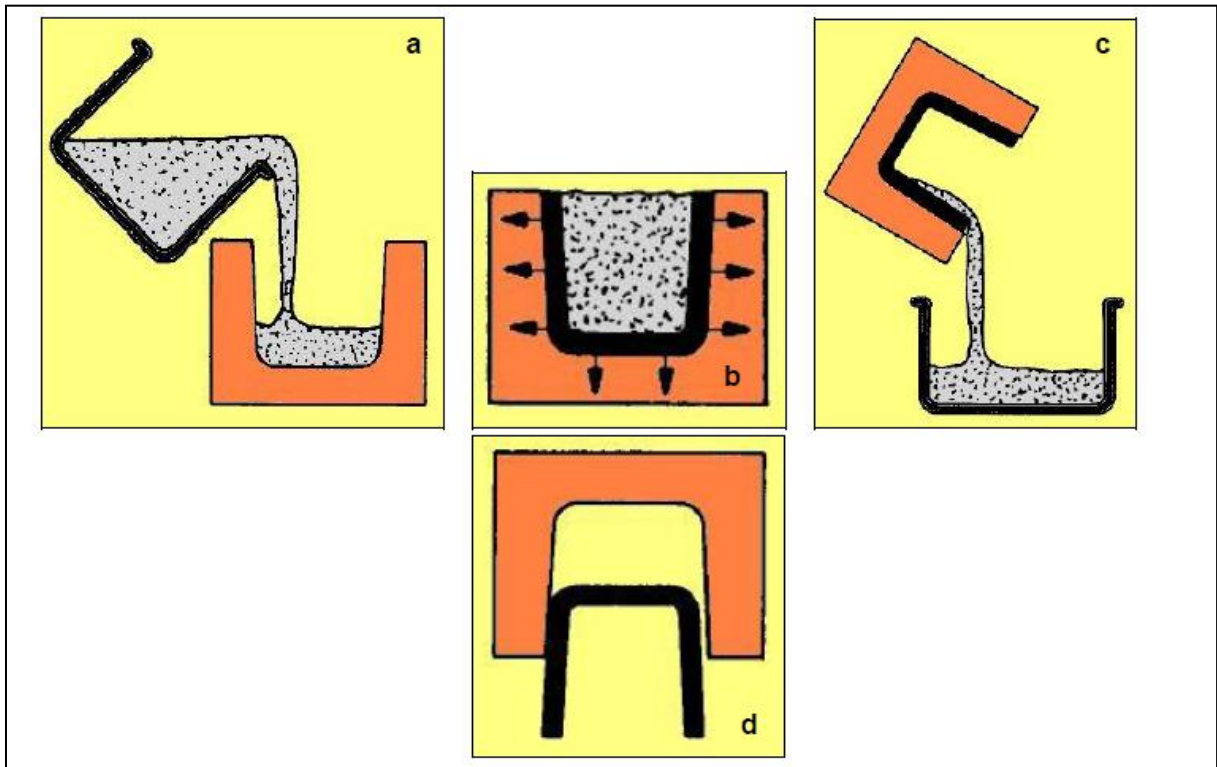
Reaksiyon 180 °C'de gerçekleşir ve tersinirdir. Reaksiyon sonucunda elde edilen ürüne %18 su ilavesi ile toç kimyasal olarak doyurulur, fakat kalıp yapımı için yeterli akıcılığı veren karışım eldesi için daha fazla miktarda su gereklidir. Bu fazla miktardaki su, çöktürme esnasında kalsiyum sülfat kristalleri arasındaki yerleri doldurur ve sonuç olarak kurutulmuş alçı kalıpta çok ince kapiler boşlukların oluşumuna yol açar. Bu gözenekler, slip döküm süresince slip içerisindeki suyu dışarıya çeker. Kalıp yapımı sırasında gözenek miktarı, katılan aşırı suyun miktarı ile kontrol edilebilir. Normal slip döküm için ağırlıkça %70-80 oranında su kullanılır.



**Döküm İşlemi:** Döküm işlemine geçmeden önce ilk olarak kalıp hazırlanır, kurutulur ve optimum özellikte slip hazırlanır. Bu hazırlıkların sonrasında döküm işlemine geçilir. Döküm işleminde bileşimin karmaşıklığına ve diğer faktörlere bağlı olarak çeşitli seçenekler söz konusudur: 1. Tek parçalı bir kalıba basit döküm, 2. Çok parçalı bir kalıba basit döküm, 3. Boşaltma döküm, 4. Katı döküm, 5. Vakumlu döküm, 6. Savurma döküm, 7. Basıncılı döküm, 8. Çözünebilir kalıba döküm, 9. Jel döküm ve 10. Mandrelli kalıp içerisine döküm.

Aşağıdaki şekilde boşaltma (drain) döküm işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Hazırlanmış olan slip, kalıp içerisine akıtılarak dökülür. Slip içerisinde bulunan su, gözenekli kalıp tarafından emilerek yapıdan uzaklaştırılır ve böylelikle kalıp kenarlarında şekil oluşumu başlar. Kalıp duvarlarında istenen kalınlık oluşuncaya kadar, slip kalıp içerisinde bekletilir. Kuru döküm, en yaygın döküm yöntemidir. Sanat seramiklerinin, lavabo ve diğer sağlık gereçlerinin, potaların ve diğer ürünlerin şekillendirilmesinde endüstriyel olarak kullanılır.

Slip döküm işlemindeki bir kısıtlama, dökülmüş maddenin kalıp içerisinde oluşumunun uzun zaman almasıdır. Bunun sonucu olarak da kalıp için geniş bir kalıp yelpazesi, yüksek işçilik, geniş bir alan ihtiyacı gibi unsurlar ek maliyet olarak ortaya çıkar. Slip üzerine basınç uygulanması, döküm oranını artırır. Orijinal basınçlı döküm alçı kalıpta yapılır. Bununla birlikte alçının düşük mukavemetinden dolayı basınç kuvveti sınırlı olarak uygulanır. Gözenekli plastik kalıpların geliştirilmesi ile basınç kuvvetleri on kat kadar arttırılabilmektedir.



**Boşaltma döküm yönteminin şematik gösterilişi:**

**a) kalıbın sliple doldurulması**

**b) kalıbın sıvıyı emmesi**

**c) fazla slibin geri boşaltılması**

**d) kısmi kurutma sonrası parçanın kalıptan çıkarılması**

Özel şekilli ürünler için geleneksel olmayan birçok kalıp hazırlama teknikleri geliştirilmiştir. Tekniklerden birinde, hafif fakat sağlam bir yapıya sahip seramik köpük üretimi gerçekleştirilmektedir. Kalıp içi olarak kullanılan gözenekli köpük, dış fırçasının sünger yapısına benzemektedir. İstenen gözenek boyutuna sahip polimer köpük, istenen şekilde kesilir ve vakum altındaki bir kaba yerleştirilir. Kaba boşaltılmış seramik slip, vakum altında polimer köpüğün gözeneklerini tamamen doldurur. Slip kurutulur ve pişirilerek polimer köpük yakılır ve aynı zamanda seramik yoğunlaştırılmış olur. Elde edilen nihai parça, süngerimsi köpüğün yapısına benzer şekilde dökülmüş olur. Parça boyunca birbirlerine bağlı seramik ve gözenek kanalları mevcuttur. Böyle bir hücreli yapı oldukça hafif olup; aynı zamanda kararlıdır. Üretilen parçalar, erimiş metal infiltrasyonunda ve fırınlarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Döküm işleminin kontrolünde bazı kritik faktörler söz konusudur. Bunlar; özellik uyumu, viskozite, çökme oranı, hava kabarcıkları, döküm hızı, büzülme, kalıptan çıkarma ve mukavemettir. Slip içerisinde hava boşluğu ya da kimyasal bir reaksiyon olmamalıdır. Bunların olması, döküm sırasında hava kabarcıklarının oluşmasına neden olur. Slip içerisindeki hava kabarcıkları birleşerek nihai viskozite değerinde kritik etkilere sebep olabilirler. Döküm tamamlandığında kalıpta parçanın kurumaması ve küçülmesi başlar. Yapının kalıptan ayrılabilmesi için büzülme şarttır. Dökümün kalıba yapışması genellikle kalıptan çıkarılma işlemi sırasında hasara neden olur. Silikon yada zeytinyağı gibi yağlayıcıların kullanılması ile, parçanın kalıptan ayrılması kolaylaştırılır. Döküm yapısının kalıptan çıkarma, kurutma ve pişirmeden önce işlenmeye karşı yeterli sağlamlıkta olması gerekir. Bu amaçla, slipe bazı durumlarda <1% gibi çok düşük oranlarda bağlayıcı ilavesi yapılır. Polivinilalkol gibi organik bağlayıcılar, bu işlem için uygundur.

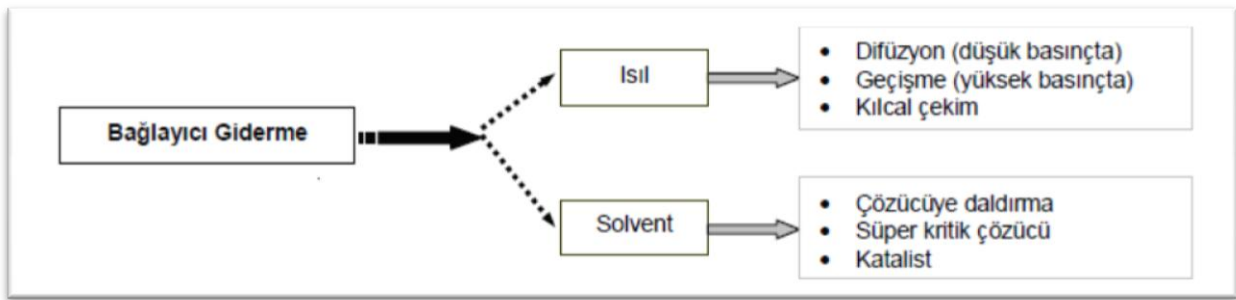
**Kurutma ve Bağlayıcı Giderme:** Döküm ile oluşturulmuş yapılar, döküm akışkanıyla doyurulmuştur. Akışkan, bütün gözenekler tarafından emilmiş durumdadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan yoğunlaştırma işlemi öncesi, kurutma ile yapı içerisindeki sıvı tamamen yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Sıvının uzaklaştırılması: gözenek miktarı, birbirine bağlı gözenek kanallarının boyutu, akışkanın buhar basıncı ve parça kalınlığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Özellikle gözenek dağılımı önemlidir. Geniş gözenekler ve gözenek kanalları sıvının kolayca taşınabilmesini sağlar. Bu gözenekler, düşük ham yoğunluk ve kurutma sırasında büzülmeyle neden olurlar. Parçaların kurumaması, endüstride çoğunlukla ortam atmosferinde kendiliğinden gerçekleşir.

Slip döküm yöntemiyle şekillendirilmiş parçadan sinterleme öncesi bağlayıcının tamamen alınması, yöntemin başarısı için çok önemlidir. Bilindiği gibi bağlayıcı sistemleri: farklı erime ve parçalanma sıcaklık aralıklarına sahip birden fazla organik madde içerebilir. Bu tip sistemlerde, organik maddeler yavaş yavaş sistemden uzaklaştırılmalı ve sıcaklıkla birlikte sürenin artırılması sonucu parça içindeki poroziteler, dereceli olarak artırılmalıdır. Böylece bağlayıcının temel bileşeni, herhangi bir hasara neden olmaksızın yüksek sıcaklıklarda sistemden uzaklaştırılır.

Bağlayıcı gidermede kullanılan yöntemler, aşağıdaki şekilde verildiği gibi ısı ve solvent yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Bu yöntemlerle bağlayıcının belli bir miktarı giderilir. Kalan bağlayıcı ise parçanın sinterleme işlemi için sıcaklığının artırılmasıyla bir önceki işlemde oluşmuş açık gözenekler yardımıyla ısı olarak uçurulurlar. Bağlayıcı gidermede ana grubu oluşturan ısı yöntemleri: düşük basınçta difüzyon, yüksek basınçta geçişme ve kılcal çekim olmak üzere üçe ayrılır. Bu yöntemlerde bağlayıcı, gaz veya sıvı olarak parça bünyesinden uzaklaştırılır. Düşük

basınçta difüzyon ve yüksek basınçta geçişme yöntemlerinde, bağlayıcı ısı etkiyle daha düşük molekül ağırlıklı polimerlere bozulur ve daha sonra ya buharlaştırılır ya da oksitleyici ortamda oksitlenerek gaz haline dönüştürülür. Bu yöntemlerde çok düşük ısıtma hızları kullanıldığından: uzun bağlayıcı giderme sürelerine ihtiyaç duyulur. Yüksek ısıtma hızlarının kullanımı, parçada distorsiyona ve hasara yol açar.

Solvent ya da diğer bir deyişle çözücü yardımıyla bağlayıcı giderme yöntemleri ise çözücüye daldırma, süper kritik çözücü ve katalist yöntemleridir. Genel olarak bu yöntemlerde, parça çözücü içine daldırılarak bağlayıcı bileşenlerinden bir tanesinin sıvı içinde çözünmesi sağlanır. Zira parçanın daldırıldığı çözücü sıvı, bağlayıcı bileşenlerinden bir tanesini çözme kabiliyetine sahiptir. Parçada bağlayıcı bileşenlerinden bir tanesinin zaman içinde uzaklaşmasıyla açık gözenekler oluşur. Çözünmeyen bağlayıcı bileşenleri ise, seramik tozlarını bir arada tutarak yapıda herhangi bir hasar oluşumunu engellerler. Solvent yöntemleri ısı yöntemlere göre, parçanın şeklini daha iyi muhafaza etmesine ve daha kısa bağlayıcı giderme sürelerine imkan sağlarlar. Bununla beraber: bu yöntemlerde kullanılan bağlayıcılar yüksek viskozitelere sahip olduklarından kalıplanmaları ve kompleks parçaların üretimi daha zordur. Üstelik kullanılan çözücüler, çevre kirliliğine de yol açmaktadırlar. Ancak son zamanlarda suda çözünür bağlayıcılar kullanılarak, bu problemler minimuma indirilmeye çalışılmaktadır.



Presleme, döküm ya da plastik şekillendirme ile parçanın nihai şekil ve boyut toleransları her zaman elde edilemeyebilir. Çoğu durumlarda nihai parça boyutları, yoğunlaşma kademesini takip eden yüzey taşlama ya da diğer yüzey bitiş işlemleriyle elde edilir. Genellikle bu işlemlerde elmas kullanılır ve maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle sinterleme öncesi seramik parça ham haldeyken nihai mekanik işlemlerin uygulanması, maliyeti düşürücü önemli bir seçenek olmuştur.

Ham haldeki seramik parça, kolaylıkla kırılabilir. Dolayısıyla gerek taşınması ve gerekse ham haldeki mekanik işlemlerde oldukça dikkatli olunmalıdır. Seramik parça bir aparata yerleştirildikten sonra çeşitli mekanik yüzey bitiş işlemlerine maruz bırakılabilir. Bu işlemler parçada mevcut bağlayıcıya bağlı olarak kuru ya da yağ olarak uygulanabilir. Ham halde yapılan mekanik işlemlerde yüksek hız çeliği, sementte karbür kesici takımlar ya da aşındırıcı tanelerin bir reçinede ya da metal matraste bağlandığı aşındırıcı diskler kullanılabilir.

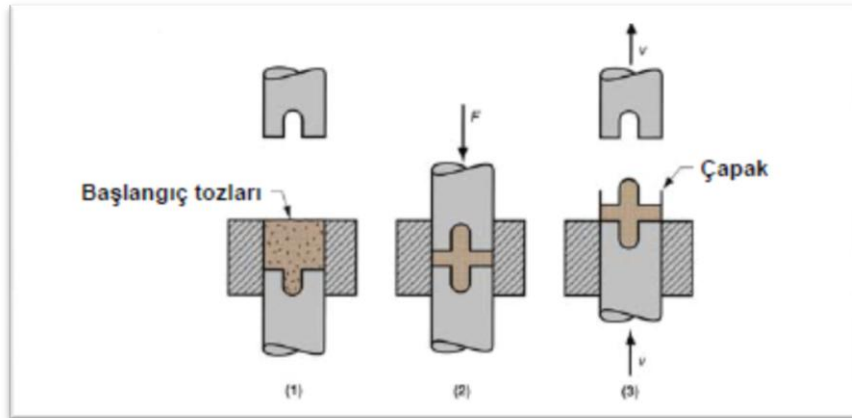
**Pişirme (Sinterleme):** Seramikte pişirme işlemi: şekillendirilmiş ve kurutulmuş yarı mamulün bir program içinde ısıtılması ve oluşan seramiğin yine bir program içinde soğutulması şeklinde tanımlanabilir. Pişirme işlemi seramik fırınlarında yapılır. Çok çeşitli fırın türleri olmasına karşın, pişirmedeki ortak yönler her fırın için geçerlidir. Bir pişirme işleminin başlıca aşamaları: fırının doldurulması, ön ısıtma, sürekli ısıtma, pişirme ısıtması, soğutma ve fırını boşaltmadır. Pişme

sırasında seramikler, bazı geçici ve kalıcı değişiklikler gösterir. Geçici değişikliklerin başında hacimsel büyüme gelir. Kalıcı değişiklikleri oluşturan birçok neden söz konusudur. Bunların en önemlileri kristal değişikliği, camsı faz oluşumu ve yer değiştirme reaksiyonlarıdır. Bu olayların sonucunda seramik çamurunun yoğunlaşması gerçekleşir.

## 5.2 Kuru presleme

Kuru presleme yöntemi; kalıp boşluğuna doldurulmuş tozlara tek yönlü veya çift yönlü olarak basınç uygulayarak şekillendirme esasına dayanmaktadır. Çeşitli yöntemler kullanılarak toz haline getirilmiş olan elementel veya ön alaşımlandırılmış tozlar ile tozların şekillendirilmesini kolaylaştıracak katkı maddelerinin (bağlayıcı) harmanlanmasından oluşan seramik hammadde çelik kalıp boşluğuna yerleştirilir ve hidrolik veya mekanik preslerde alt ve/veya üst pistonlar vasıtası ile basınç uygulayarak istenen mamul şekli verilir. Kuru preslemede, presleme öncesi tozlar % 1–8 arasında su + bağlayıcı karışımı ile rutubetlenilerek preslenir.

Bu yöntem, basit ve kolayca uygulanabilen bir yöntem olup genellikle küçük ve basit parçaların seri olarak üretimi için kullanılmaktadır. Yer ve duvar kaplamaları, elektroporselen ve çeşitli süs eşyaları kuru presleme ile üretilebilmektedir. Bu yöntem seçilirken, seramik tozlarının yüksek sertlikte olduğu, kalıplanan şeklin boyut hassasiyeti ve sürtünme nedeniyle kalıbın ömrü dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki şekilde kuru presleme şematik olarak görülmektedir.



***Kuru presleme yönteminin şematik gösterilişi:***

***1) nemli tozun kalıp boşluğuna doldurulması***

***2) sıkıştırma***

***3) kalıp yarılarının açılması ve numuneyi çıkarma***