

Seramik Sağlık Gereçleri Üretiminde Kalıp Doldurma Sürecinin Sayısal Olarak  
İncelenmesi ve Bir Uygulama Örneği

Hatice Türköz

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Ocak 2010

Numerical Analysis of Mold Filling Process in Sanitaryware Production and a Case  
Study

Hatice Türköz

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

January 2010

Seramik Sağlık Gereçleri Üretiminde Kalıp Doldurma Sürecinin Sayısal Olarak  
İncelenmesi ve Bir Uygulama Örneği

Hatice Türköz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kostrüksiyon-İmalat Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ümit Er

Ocak 2010

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Hatice TÜRKÖZ'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Seramik Sağlık Gereçleri Üretiminde Kalıp Doldurma Sürecinin Sayısal Olarak İncelenmesi ve Bir Uygulama Örneği” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd.Doç.Dr. Ümit ER

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Ümit ER

**Üye** : Prof.Dr. Soner ALANYALI

**Üye** : Prof.Dr. Bilal PAR

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Necati MAHİR

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Mesut TEKKALMAZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Seramik sağlık gereçlerinde fonksiyonellik ve kalite kadar tasarım da çok önemlidir. Ürünün dizaynı, ürünü cazip kılan ve pazardaki rekabet şansını arttıran önemli bir unsurdur. Ürün tasarımına müdahale etmeden, verimli üretimi sağlamak ise bazı tasarımlar için oldukça zordur. Bu yüzden ürün daha tasarım aşamasında iken bilgisayar ortamında CAD, CAM ve HAD yazılımlarını kullanarak optimum prototipi oluşturmak, deneme üretimleri yaparak seri üretimde kullanılacak kalıbı fiili olarak test etmek ve de seri üretime adapte ederek verimliliği izlemek üretim maliyetlerinin azaltılmasında büyük önem taşımaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları ile henüz tasarım aşamasında iken süreç bilgisayar ortamında canlandırılarak uygun dolum için gerekli şartlar sağlanabilir. Ayrıca HAD ile döküm sistemini geliştirmek, tasarım sürecini kısaltmak da mümkündür. Dökümhanede çamur dolumu esnasında oluşabilecek sorunları simüle ederek, kalıplama ve dolum şekli değişikliğiyle ilgili çözümler de üretilebilir. Bu çalışmada, seramik bir ürünün dolum süreci esnasındaki akışının; laminer, zamana bağlı ve 3 boyutlu sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri ANSYS CFX ile sayısal olarak çözülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sağlık Gereçleri, Çamur Döküm, Alçı Kalıp, ANSYS CFX

## SUMMARY

For sanitary ware products design is very important as well as functionality and quality. Design of product is an important factor that increases attractiveness and competitiveness in market. For some products it is reasonably hard to maintain efficiency of production without changing the design. Therefore, yet in the design phase constructing the optimum prototype, testing the production mould by making virtual test production, and adapting them to serial production to monitor efficiency by using CAD, CAM and CFD program is important for reducing the costs.

By using Computational Fluid Dynamics (CFD) software, the process can be simulated in computer environment during the design phase and conditions for proper molding can be achieved. Also by using CFD, the molding methods can be improved and the design process can be shortened. Possible problems that can occur during molding can be simulated and modifications of mold filling can be done to eliminate them. In this paper, the laminar, transient and three dimensional flow of a molding ceramic are numerically analyzed. Three dimensional continuum and momentum equations are solved numerically by ANSYS CFX.

**Keywords:** Sanitaryware, Slip Casting, Plaster Mold, ANSYS CFX

**TEŞEKKÜR**

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalıőmalarımnda bana danıőmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ümit Er'e teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
1.GİRİŞ .....	1
2.VİTRİFİYE ÜRÜNLER VE ÜRETİM SÜREÇLERİ .....	5
2.1.Seramiğe Genel Giriş .....	5
2.2. Vitrikiye Sektörünün Genel Tanımı .....	5
2.3. Vitrikiye Ürünleri Üretim Süreci .....	5
2.3.1. Tasarım uygulama .....	5
2.3.2. Kalıp üretimi .....	7
2.3.3. Çamur hazırlama .....	8
2.3.3.1. Döküm çamurunda aranan özellikler .....	11
2.3.3.2. Döküm çamurunun performansını gösteren fiziksel özellikler .....	11
2.3.4. Sır Hazırlama .....	12
2.3.5. Kalıp Hazırlama .....	12
2.3.6. Şekillendirme, Döküm .....	13
2.3.7. Kurutma ve Sırlama .....	13
2.3.8. Fırınlama .....	13
2.3.9. Kalite Ayırım .....	14
2.3.10. Tamir .....	16
3.VİTRİFİYE SEKTÖRÜNDE DÖKÜM SİSTEMLERİ .....	17
3.1. Basit Döküm Düzenegi .....	20
3.2. Seramik Çamur Dökümü .....	21
3.3. Alçı Kalıplarında Döküm Prosesi .....	23



## İÇİNDEKİLER(DEVAMI)

	<u>Sayfa</u>
3.3.1. Alçı Kalıpları ile Manuel Döküm.....	24
3.3.2. Alçı Kalıpları ile Mekanize Döküm.....	25
3.3.2.1. Döküm.....	25
3.3.2.2. Kalıpların boşaltılması.....	26
3.3.2.3. Dökü parçalarının sertleştirilmesi.....	26
3.3.2.4. Yarımamul alma.....	27
3.4. Seramik Sağlık Gereçleri Sektöründe Kullanılan Döküm Sistemleri.....	28
3.4.1. Batarya Döküm (Shanks Döküm).....	28
3.4.2. Mekanize Döküm.....	30
3.4.3. Kapiler Döküm .....	32
3.4.4. Yüksek Basıncılı Döküm.....	32
3.4.5. Elektroforetik Döküm.....	38
3.4.6. El Döküm Yöntemi.....	38
4.DÖKÜM HATALARI.....	39
4.1. Hatalar ve Tanımları.....	39
4.1.1. Ürünlerdeki Küçük Delikler.....	39
4.1.2. Aşırı Nemli ve Tutarsız Döküm Parçaları.....	41
4.1.3. Parça İçindeki Boşlukların Varlığı.....	41
4.1.4. Aşırı Sert, Plastik Olmayan ve Çatlak Kalıp Parçaları.....	42
4.1.5. Döküm Parçalarının Bükülmesi ve Parçalanması.....	42
5.SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ...43	
5.1. Fiziksel Model ve Sayısal Ağ.....	45
5.1.1. Fiziksel Model.....	45
5.1.2. Sayısal Ağ.....	46
5.1.3. Malzeme Sınır ve Şartları.....	50
5.2. Bulgular ve Tartışma.....	52
6.GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
7.KAYNAKLAR DİZİNİ.....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Belli bir oranda büyütülmüş model ve nihai ürün karşılaştırması (Twyford, 2005).....	6
Şekil 2.2 Model kalıbın CAD’ de oluşturulması.....	6
Şekil 2.3. Model kalıbın CNC’de işlenmesi.....	7
Şekil 2.4. Model kalıp.....	7
Şekil 3.1. Basit döküm sistemi şeması (Toto Ltd., 1997).....	21
Şekil 3.2. Çamur döküm, boş döküm ve masif döküm prosesi (Swedish Ceramic Institute, 2003).....	21
Şekil 3.3. Seramik döküm iş-akış şeması (Fortuna, 2000).....	22
Şekil 3.4. Batarya dökümü (MEGEP, 2007).....	29
Şekil 3.5. Mekanize döküm (Twyford, 2005).....	31
Şekil 3.6. Yüksek basınçlı döküm (MEGEP, 2007).....	33
Şekil 3.7. Yarı mamulü kalıptan alma (MEGEP, 2007).....	34
Şekil 3.8. Yarı mamulü rafa yerleştirme (MEGEP, 2007).....	34
Şekil 3.9. Sistire ile rötuş (MEGEP, 2007).....	35
Şekil 3.10. Yarı mamul üzerinde kesme oyma işlemi (Twyford, 2005; MEGEP, 2007).....	35
Şekil 3.11. Yarı mamulü arabalara yerleştirme ve kurutma (MEGEP, 2007).....	36
Şekil 3.12. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile lavabo şekillendirme (MEGEP, 2007).....	37
Şekil 5.1. Ürün iç yüzeyinde oluşan çamur boğumu.....	44
Şekil 5.2. Problemlü ürünün dış yüzeyindeki deformasyonun görünüşü.....	44
Şekil 5.3. Analiz edilecek ürünün 3 boyutlu (a) arkadan (b) izometrik görünüşleri.....	45
Şekil 5.4. Analiz edilecek ürünün hammadde dolum alanı.....	46
Şekil 5.5. 1 nolu model için boyut ve mesh bilgileri.....	47
Şekil 5.6. 2 nolu model için boyut ve mesh bilgileri.....	48
Şekil 5.7. 3 nolu model için boyut ve mesh bilgileri.....	49
Şekil 5.8. Prizmatik elemanlar.....	50

**ŞEKİLLER DİZİNİ(DEVAMI)**Sayfa

Şekil 5.9. Sınır şartları.....	51
Şekil 5.10 (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin sağdan görünüşü.....	53
Şekil 5.11 (a,b,c) Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin soldan görünüşü.....	55
Şekil 5.12. (a,b,c) Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin arkadan görünüşü.....	56
Şekil 5.13 (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin sağdan görünüşü.....	59
Şekil 5.14. (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin soldan görünüşü.....	61
Şekil 5.15. (a,b,c) . Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin arkadan görünüşü.....	63
Şekil 5.16 Analiz edilen prototip modeller.....	64

**TABLULAR DİZİNİ**Sayfa

Tablo 2.1. Döküm çamuru hazırlama akış şeması (MEGEP, 2007).....	9
Tablo 2.2. Çamur hammaddeleri (Sümer, 1994).....	10
Tablo 2.3. Viskozite ve tiksotropinin döküm çamuruna etkileri (MEGEP, 2007).....	12
Tablo 2.4. Seramik sağlık gereçlerine ilişkin genel standartlar (Gökkaya, 2007).....	15
Tablo 5.1. 3' nolu modelin üretime adaptasyonundan sonraki üretim verimliliği.....	64

## 1. GİRİŞ

Emek yoğun bir sektör olan seramik sektöründe standart ürün kalitesini sağlamak oldukça zordur. Bu nedenle prosesler geliştirilmiş, otomasyonlar arttırılmıştır. Seramik sektöründe döküm prosesi en önemli adımlardan biridir. Bu sektörde her farklı ürün için döküm şekilleri de farklılık gösterebilir. Bunların önceden tespit edilmesi, ürün devreye alma süresini kısaltmak için çok önemlidir. Alçı kalıba çamur dolununun incelenmesiyle;

- Akış ve dolum simülasyonları yapmak,
- Tasarımlara daha bilgisayarda modelleme aşamasında müdahale ederek gerekli fonksiyonelliği sağlamak,
- Çamur dolum analizleri yapmak,
- Döküm sistemini geliştirmek,
- Tasarım sürecini kısaltmak ve dökümhanede oluşan sorunları en aza indirmek mümkündür.

Seramik sektöründe kalıp içerisinde homojen hammadde dağılımının sağlanması, ürünlerin mukavemet ve estetik açıdan uygun olması için önemlidir. Büyük bir hızla gelişen seramik sağlık sektöründe, formlar daha büyük ve kompleks şekillere doğru yönelmektedir. Bu nedenle çamur bileşim yerlerinde oluşan izler, çamur boşaltma hataları ve yarımamul yumuşaklığına bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar üretimde sınırlayıcı olumsuz özellikler haline gelmektedir. Bu gibi etkenler, ürünün kalitesi için optimum koşulların belirlenmesini zorunlu kılmaktadır.

Döküm, kurutma, pişirme gibi döküm proseslerinin her aşamasında, hem mukavemetin hem de diğer özelliklerin optimize edilerek sağlam ürün alınması için dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır.

Ayrıca çamurun döküm özelliklerinin iyileştirilmesi yapılırken kurutma ve pişirme sırasında da olabilecek sorunlar göz önüne alınmalıdır. Geçirgenliği arttırılan

çamurlarda düşük kurutma kayıplarıyla daha hızlı kurutma yapabilme avantajı beklenmektedir. Kurutma işleminde küçülme farklılıklarına bağlı stres oluşumunun engellenmesi gerekir. Burada kuruma esnasında, kekin geçirgenliğine bağlı su transferi hızı önem kazanmaktadır. Ürün yüzeyinden buharlaşma hızı, ürünün içinden yüzeyine olan su transferi hızından fazla olmamalıdır. Buharlaşma hızı yüksek olduğunda, yüzey erken kurur ve yüzey ile iç bölge arasında rutubet gradyanı oluşur. Bu durumda, iç bölgede kuruma küçülmesi devam ederek, ürün yüzeyinde çekme gerilmesi oluşturur. Bu stres ürünün deforme olma ve çatlama eğilimini artırır. Bu ürünler, yavaş kuruma işlemi gerektirir ve nispeten daha düşük pişme küçülmesine sahiptirler. Kurutma süresince oluşan gerilmelerin azaltılması durumunda, yarımamul kurutma hızlarının artırılarak, proseslerin hızlandırılması ve enerjinin daha verimli kullanılmasına katkı sağlanması sürecindeki gerilmelere bağlı oluşan üretim kayıplarının azalması beklenmektedir (Sümer, 1994).

Fırından pişmiş ve bitmiş ürün şeklinde dışarı çıkan seramik ürünlerin hepsi istenen standart kalitede olması arzu edilmesine rağmen, seramik teknolojisinin gereği fırından önceki işlemler ve fırınlama esnasında istenmeyen bazı hatalar oluşabilir. Seramik üretiminde maliyeti arttıran en büyük unsurlardan biri olan firenin minimuma indirilmesi için çalışılmaktadır. Bu amaçla,

- Üretim giderlerinden standartlara uygun olmayanı engelleme,
- Firelerin oluş sebebini tespit,
- Fireli yarı ürünlerin bir sonraki işleme gitmesini önlemek,
- Standartlara uygun olmayan ürünün pazara çıkmasını ve tüketiciye ulaşmasını engellemek için kalite kontrol yapılır.

Ürünlerin döküm yöntemi ile şekillendirilmesi diğer seramik şekillendirme yöntemlerinde yaşanmayan çok çeşitli problemler getirir. Bu nedenle çamurun reolojik özelliklerini etkileyen mekanizmaların anlaşılması ve kontrol edilmesi kaliteli ürün üretmek ve firelerin azaltılması için oldukça önemlidir (MEGEP, 2007).

Döküm sonrası mamullerde noktalar, çizgiler, çatlaklar ve hava kabarcıkları şeklinde hatalar oluşmaktadır. Bu hataların nedenleri çamurun yanlış hazırlanması, uymayan ayırıcı maddeler, yanlış viskozite, kalıpları doldurmadaki yanlış metodlar ve kötü yapılmış ve kötü kurutulmuş alçı kalıpları olmaktadır. Üretim kapasitesini verimli kullanmak ve işçilik maliyetlerinden kazanmak amacıyla, klasik döküm sistemlerinde bir vardiyada 2 veya 3 döküm yapmak hedeflenmektedir. Bunun için, plastisite özelliğinden ödün vermeden, daha hızlı kalınlık alma ve daha hızlı sertleşme özelliklerine sahip olan çamura ihtiyaç duyulmaktadır.

Döküm hızının yüksek olması ihtiyacı, basınçlı döküm sistemlerinde de ön plana çıkar. Son yıllarda, ürün tasarımlarında formlar daha büyük ve kompleks şekillere doğru yönelmektedir. Bu nedenle, çamur birleşim yeri izleri, çamur boşaltma hataları ve yarımamul yumuşaklığına bağlı deformasyonlar üretimde sınırlayıcı olumsuz özellikler haline gelmektedir. Ayrıca, üretim şartlarındaki değişkenliklere adapte olabilecek, esnek çamur özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Sümer, 1994).

Döküm yöntemleri, geleneksel seramik üretiminde ve gelişmiş seramik şekillendirmelerinde uzun süredir kullanılmaktadır. Döküm çeşitleri, boş döküm ve katı dökümü içerir. Geleneksel çamur dökümünde, döküm, gözenekli bir kalıbın yüzeyinde emilme ile sıvının taşınması ile oluşur. Parçacıkların sıkışma faktörü dökümde daha yüksektir ve bağlanma, parçacıklardaki ve bağlayıcılardaki topaklanma sayesinde sağlanır. Çamur uygun bir şekilde formüle edilmiş olmalı ve filtrasyon hızı ve topaklanma hızı arasında bir denge kurabilmek için “deflocculated” yani topaksızlandırılmış olmalı, uygun bir döküm hızı, döküm yoğunluğu ve dayanıklılık ayarlanmalıdır.

Dökümde yeniden yapılabirlik, çamurun ve kalıbın özelliklerinin uyumluluğuna bağlıdır. Basınçlı döküm ve vakumlu döküm, döküm zamanını kısaltır ve dökümün büzüşme miktarını azaltır. Organik bağlayıcılar, kil olmayan seramiklerin dökümünde, dökümün mekanik özelliklerini arttırmak için kullanılır, fakat öte yandan bu döküm zamanını uzatır. Jelden veya bir grup kimyasaldan oluşan bir bağlayıcı sistemine sahip döküm bulamaçları, hem yoğun hem de gözenekli refraktör yapılar, dışı malzemeleri

ve diğer yapısal malzemeleri üretmek için kullanılır. Dökümlerdeki kusurlar, hava kabarcıklarından, işleme sırasındaki yetersiz güç kullanımından, malzemelerin yetersiz düzensiz, homojen olmayan dağılımından ve büzüşmeden kaynaklanır (Industrial Ceramics, 1984).

Vitrifiye üretiminde kullanılan kalıp sistemleri, vitrifiye ürünlerin kalitesini arttırmakla birlikte, üretici firmaların rekabet gücünü etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı, işletmeler kaliteli ürün elde edebilmek için üretimde kullandıkları kalıp sistemlerini en verimli şekilde tasarlamak zorundadırlar (Gökkaya, 2007).



## 2. VİTRİFİYE ÜRÜNLER VE ÜRETİM SÜREÇLERİ

### 2.1. Seramiğe Genel Giriş

Bugün, seramik denilince, anorganik materyallerden elde edilen çamurun şekillendirilmesi, sırlanması ve pişirilmesi prosesleri yoluyla, sert mamul imalatına ait bilim, teknoloji ve sanat anlaşılır (Sümer, 1994).

Seramik, geleneksel bir anlatım dili ile de şu şekilde tanımlanır: Organik olmayan malzemelerin oluşturduğu bileşimlerin, çeşitli yöntemler ile şekil verildikten sonra, sırlanarak veya sırlanmayarak sertleşip dayanıklılık kazanmasına varacak kadar pişirilmesi bilim ve teknolojisidir (Sümer, 1994).

### 2.2. Vitrikiye Sektörünün Tanımı

Genel anlamda seramik sağlık gereçleri yani vitrikiye; inorganik-metalik olmayan hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilmesi, daha sonra da alçı ve/veya sentetik reçine kalıplarda şekillendirilerek 1200 - 1250 °C civarında pişirilip, su emme değeri % 0.75'in altında olan ürünlerdir. Kil, kaolen, kuars, feldspat gibi inorganik hammaddeler temel yapıyı oluşturur (İhtisas Komisyon Raporu, 2007).

Lavabo, ayak, klozet, rezervuar, bide, hela taşı, pisuar ve duş teknesi beyaz ve renkli olmak üzere ürün yelpazesinin başlıca ürünleridir (İhtisas Komisyon Raporu, 2007).

### 2.3. Vitrikiye Ürünleri Üretim Süreci

#### 2.3.1. Tasarım uygulama

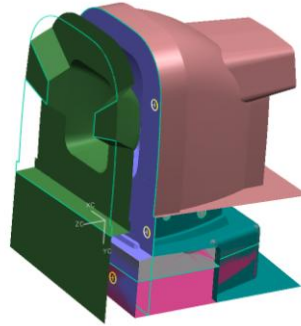
2 boyutlu tasarımların 3 boyutlu modelleri yapılmaktadır. Yapılan prototipler üzerinden ürünün üretilip üretilmeyeceğine bir kurul tarafından karar verilir.

Tasarım ürün ölçüsü belli bir oranda büyütülerek (büyüklüğün nedeni dökümden ve pişirimden sonra çamurda meydana gelen küçülmedir), model kalıbı yapılır. Model kalıp bilgisayar ortamında, çizim programı kullanılarak(CAD) yapılır. Bu Kalıp CNC’de işlenir. İşlenen bu kalıp “Model Kalıp” tır. Dökümhanede test edilir ve üretim prosesinden geçer. Model Kalıp döküm şekline göre tasarlanır. Çünkü yapılan kalıplar işletmede kullanılan tezgâhlara uyumlu olmalıdır.



Şekil 2.1. Belli bir oranda büyütülmüş model ve nihai ürün karşılaştırması (Twyford, 2005)

Deneme dökümünün yapılabilmesi için Model kalıbın tam olarak kuru olması ve böylece çamur içindeki suyu emebilmesi gerekmektedir. Deneme dökümü yapılır ve böylece üretimde oluşabilecek deformasyonlar kontrol edilir. Sorun çıktığı takdirde Model kalıp üzerinden düzeltmeler yapılır ve tekrar deneme dökümü yapılır, bu işlemler, sorunlar sıfıra indirgenene kadar devam eder (Türk Seramik, 2007).



Şekil 2.2. Model kalıbın CAD’ de oluşturulması



Şekil 2.3. Model kalıbın CNC’de işlenmesi



Şekil 2.4. Model kalıp

### 2.3.2. Kalıp üretimi

Deneme dökümleri tamamlanmış ve üretime hazır Model kalıptan teksir kalıpları yapılır. Teksir kalıplar genelde silikondan yapılırlar, bunun nedeni silikonun hem dayanıklı olması hem de esneme özelliğine sahip bir malzeme oluşudur. Teksir kalıpları seri üretimde kullanılacak iş kalıplarının çoğaltılmasında kullanılırlar. İş kalıpları alçıdan ya da resin malzemedan yapılır. Alçı kalıplar işletmeye gönderilmeden önce nemlerini atmaları için kurutma odalarında kurutulur (Türk Seramik, 2007).

### 2.3.3. Çamur hazırlama

Seramik prosesin ilk adımı seramik çamurunun hazırlanmasıdır. Çamur hammaddeleri kil, kaolen, kuarts ve feldspattır. Kil, Kaolen, Feldispat, Kuvartz ve diğer yardımcı seramik hammaddeleri belli bir reçeteye göre karıştırılıp, sulu bir şekilde değirmenlerde öğütülerek seramik çamuru elde edilir (Sümer, 1994).

Üretime uygun hammaddeler silolarda depolanmaktadır. Hammaddeler, otomatik tartım bantları vasıtasıyla reçeteye uygun oranlarda tanklara taşınırlar ve homojen olarak karıştırılırlar. Tanklardan pompalarla havuzlara aktarılıp dinlendirilir. İşletmeye çamur bu havuzlardan iletilir (MEGEP, 2007).

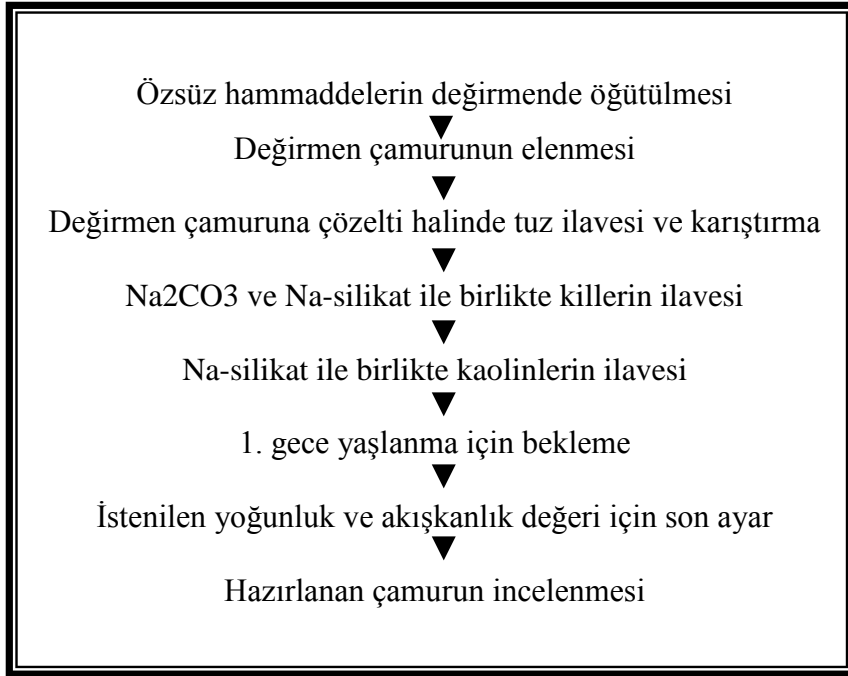
Sert kaolinler, feldispatlar ve kuvars cidarı sileks kaplı bilyeli değirmenlerde sulu ortamda öğütülür. Öğütücü bilye olarak filint taşı kullanılır ve toplam su miktarı değirmen hacminin % 25'i kadardır. Değirmenler yatay ekseninde döndürülerek öğütme yapılır (MEGEP, 2007).

Öğütme ortamının reolojisini ayarlamak için değirmene çok az miktarda kil, sodyum karbonat ve baryum karbonat katılır. 16000 - 20000 devir arasında dönen değirmenlerde toplam öğütme süresi 20 - 24 saattir. Öğütme sonunda çamur hava basıncıyla çalışan pompalar vasıtasıyla açıcılara alınır (MEGEP, 2007).

Plastik kil, kaolin ve yarı mamul kırıkları direk açılmak üzere açıcılara alınır. Çamurla karışan bu hammaddelere sodyum silikat katılarak 2 saat süre ile açılırlar. Açılmanın temel prensibi killerin yüzeyine zayıf bağlarla bağlanmış alkali ve toprak alkali iyonları mekanik kuvvetle kil yüzeyinden ayrılmasıdır. Elektroit ilavesiyle çamur içerisindeki iyonlarını kaybetmiş partiküllerin yüzeyinin, elektrik yüküyle yüklenerek oluşan elektrostatik kuvvetle birbirlerini itmesi sağlanır. Açma işlemi sonunda çamurdan numune alınarak çamurun litre ağırlığı, viskozitesi, tiksotropisi, kalınlık değerleri ölçülerek gerekli ayarlama işlemleri yapılır. İlk önce çamurun litre ağırlığı daha sonra viskozitesi ayarlanır.

Çamur ayarlama işlemi bittikten sonra çamur 1mm'lik eleklerden geçirilerek aktarma havuzuna alınır. Buradan da pompa ile üst üste bulunan 250  $\mu$  ( mikron) ve 180  $\mu$ 'luk titreşimli eleklerden ve mıknatıstan geçirilerek ara stoğa alınır. Şekillendirme ünitesinden geri dönüş stoğuna gelen çamur ile ara stoktaki çamur homojenlik sağlanması açısından birbirine karıştırılır ve tek bir hatta birleştirilerek tekrar aynı eleklerden ve mıknatıstan geçirilerek stoklara alınır. Böylece belli tane boyut dağılımına sahip ve demirden arındırılmış çamur, stoklarda 24 saat boyunca karıştırılır. Buradan da döküm için şekillendirme ünitesinde bulunan yüksek seviye tanklarına pompalanır (MEGEP, 2007).

Tablo 2.1. Döküm çamuru hazırlama akış şeması (MEGEP, 2007)



Tablo 2.2. Çamur hammaddeleri (Sümer, 1994)

Hammadde Adı	Bileşimi	İçerdiği safsızlıklar
Kil	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	*Kuars, $TiO_2$ , $Fe_2O_3$
Kaolen	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Montmorillonit, kuvars
Sodyum feldispat	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	$K_2O$ , CaO, MgO, kuvars
Potasyum feldispat	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	$Na_2O$ , CaO, MgO, kuvars
Nefelin siyenit	$K_2O \cdot 3Na_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$	CaO, MgO, kuvars
Alümina	$Al_2O_3$	$Na_2O$
Kuars	$SiO_2$	$TiO_2$ , $Fe_2O_3$
*Killerdeki kuvars içeriği % 35'e kadar çıkabilir.		

**Kil:** Şekillendirme aşamasındaki plastisiteyi ve ham mukavemeti sağlamak için kullanılır. Kaolenit en çok kullanılan kil mineralidir.

**Potasyum feldispat:** Porselen bünyelerde ergitici olarak kullanılan en yaygın hammadde potasyum feldispattır (mikrolin, ortaklaz). Potasyum feldispat nispeten saftır ve empürite olarak genellikle sodyum feldispat (albit) ve kalsiyum feldispat (anortit) içerir. Birçok ticari bünyede, sert porselen dışında ergitici olarak albit kullanılmaktadır. Kalsiyum feldispat rezervi az olduğu için ticari bünyelerde kullanılmaz (Sümer, 1994). Feldispat türlerinin viskozite üzerinde önemli etkileri vardır (MEGEP, 2007).

**Nefelin siyenit:** Bazı ticari bünyelerde feldispatın yerini almıştır. Bu bünyelerde pişirim sıcaklığını düşürdüğü ve cam faz içindeki alkali seviyesini artırdığı gözlenmiştir. Nefelin siyenit; nefelin minerali, albit ve mikrolinin birleşmesiyle oluşmuştur (Sümer, 1994).

**Kuars:** Kuvars porselen bünyelerde en yaygın olarak kullanılan dolgu hammaddesidir. İri tane boyutu, kuruma esnasındaki çatlak oluşumuna karşı direnci artırır ve pişme esnasında deformasyon oluşumunu azaltmak için iskelet ağ yapısını oluşturur (Sümer, 1994).

**Kalsine alümina:** Bünyelerde mekanik mukavemeti geliştirmek ve kuvars dönüşümünden kaçınmak için kalsine alümina dolgu hammaddesi olarak tercih edilir (Sümer, 1994).

### 2.3.3.1 Döküm çamurunda aranan özellikler

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 (MEGEP, 2007).

### 2.3.3.2. Döküm çamurunun performansını gösteren fiziksel özellikler

Döküm çamurunun başlıca girdi özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Vizkozite : Sıvıların akmaya karşı gösterdikleri direnç ise vizkozite olarak bilinir ve bunun temeli sıvı molekülleri arasındaki sürtünme kuvvetidir
- Tiksotropi : Seramik çamurlarında akışkanlığın zamana göre değişim özelliğidir
- Çamur sıcaklığı

Bu girdi özelliklere sahip çamurla üretilen yarı mamulün çıktı özellikleri ise:

- Döküm hızı
- Boş döküm süzülme kalitesi
- Dokunarak gözleme (rutubet homojenliği)
- Sertleşme zamanı ve
- Plastisitedir.

Gerçekte en başarılı döküm prosesi vizkozite ve tiksotropinin doğru ayarlanması ile olur (Sümer, 1994).

Tablo 2.3. Viskozite ve tiksotropinin döküm çamuruna etkileri (MEGEP, 2007)

<b>Çamur Özelliği</b>	<b>Genel Düşünceler</b>
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, kırılabilir yapı, zayıf bünye, düzgün olmayan döküm yüzeyi
Çok yüksek tiksotropi	Yumuşak döküm, çamurun boşaltılmasında zorluk, uzun kuruma süresi

#### 2.3.4. Sır hazırlama

Sır yapımında kullanılan hammaddeler feldspat, mermer, dolomit, kuarts, zirkon, wollastonit, baryum karbonat, kaolin grolleg, peptepon ve boya maddeleridir.

Sır, reçeteye uygun olarak hammaddelerin 1300 devir dönen değirmenlerde harmanlanmasıyla hazırlanır. Kaplama seramiğini oluşturacak seramik hammaddeleri yine belirli bir reçeteye göre kırılıp öğütüldükten sonra seramik sırtı elde edilir. Renkli sırlar için sıra boya ilave edilerek sır renklendirilir (Türk Seramik, 2007).

#### 2.3.5. Kalıp hazırlama

Kalıp Üretim Bölümü tarafında teksir kalıplara alçı ya da reçine dökülerek kalıp çoğaltma işidir.



### 2.3.6. Şekillendirme, döküm

Çamur hazırlama aşamasında, istenilen kıvama getirilen çamurun farklı döküm teknolojileri kullanılarak, alçı veya sentetik reçine kalıplara dökülmek suretiyle şekilli gövdenin oluşturulmasıdır. Kalıplarda yeterli et kalınlığına ulaşıldığında emilmemiş sulu çamurun geri boşaltılmasıyla şekillendirme gerçekleştirilir.

Şekillendirme, üretilen iş kalıplarının işletmede bulunan tezgahlara yerleştirilip, kalıptan çıkan ürünlerin kurutma fırınına girene kadar geçen işlemlerdir. Kısaca dökümün yapıldığı süreçtir.

### 2.3.7. Kurutma ve sırlama

**Kurutma fırını:** Ürünlerin sırlanıp fırına girebilmeleri için nemlerinin %1 in altına düşmesi gerekmektedir. Bu nedenle sırlama öncesi ürünler kurutma fırınına sokulmaktadırlar.

Fırının içinde ön kurutma bölümü vardır. Burada tüm ürünlerin nem oranları sabitlenir. Fırının sıcaklığı 35 °C olduğunda nem oranı % 70'tir. Kurutma sonunda çıkan ürünlerin nem oranı ise % 1'den az almak zorundadır (Türk Seramik , 2007).

**Sırlama:** Sırlama prosesi, pişirim öncesi ve kurutma işlemi sonrası yarımamul kaplama prosesidir. Sırlama işleminde değirmenlerde reçeteye uygun üretilen sır kullanılır. Sır işlemleri robot kollar yardımıyla yapılmaktadır. Her ürünün kodu bilgisayara girilir ve sırlanacak ürün operatör tarafından bilgisayara bildirilir. Böylece robot kollarla sırlama en verimli şekilde yapılmış olur. Bazı mamullerde robotun tam olarak sırlayamadığı yerler manuel olarak sırlamaktadırlar.

### 2.3.8. Fırınlama

Kuruyan sırlı yarı mamüller 1200 – 1250 °C civarında pişirilir. Fırınlardan

pişmiş olarak çıkan ürünler kontrol edilir ve tamir edilebilir hatası olan ürünler tamir edilerek yaklaşık 1200 °C sıcaklıkta ikinci kez pişirilir. Sırlaması yapılan mamullerin 1. pişirimi tünel fırında yapılmaktadır. Fırının verimliliğini arttırmak amacıyla, fırın sık sık söndürülmemektedir. Fırın içindeki sıcaklığı sağlamak amacıyla sağlı sollu 54'er adet, toplamda 108 adet brülör bulunmaktadır. Homojen ısı dağılımı için brülörler çapraz yerleştirilmişlerdir. Brülörlerde yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır (Türk Seramik, 2007).

Fırının toplam uzunluğu 73 metredir. 4 ana bölümden oluşmaktadır: kurutma, ön ısıtma, pişirme ve soğutma. Sırın içinde bulunan nemin atılması için fırın girişinde 'kurutma' yapılmaktadır. Ürünün pişirme sıcaklığına aniden değil yavaş yavaş ulaşım deformasyon olmaması için ön ısıtma yapılmaktadır. Pişirme sıcaklığı 1210 °C ' dir. Soğutma da aşama aşama yapılmaktadır. İlk aşamada 1180 °C ' ye düşürülen ürün sıcaklığı daha sonra 665 °C, 480 °C, 335 °C ve 110 °C ' ye kadar da aşamalar halinde düşürülmektedir.

### **2.3.9. Kalite ayırım**

Piştirim işlemi bitikten sonra kalite kontrole gönderilir. Piştirilen mamullerin kalitelerinin standartlara göre kontrol edilmesidir. Bu kontroller sonrasında ürünler; kaliteli, ıskarta veya tamir olarak sınıflandırılmaktadır. Kalite kontrol bölümünde sınıflandırılan ürünler mamül stok ambarlarında stoklanır.

Kalite kontrolün yapılabilmesi için önceden tespit edilmiş standartlar bulunması gerekir. Standartlara uygun ürünün veya yarı ürünün özellikleri olarak fiziksel, kimyasal, boyutsal, fonksiyonel ve estetik özellikler olarak sayılabilir (Sümer, 1994);

- Fiziksel Özellikler; Sertlik, su emme, küçülme, deformasyon, renk, akıcılık, genleşme, yoğunluk, ısıl şoka dayanım, aşınma, yüke dayanım, basınçlı buhara dayanım, plastiklik, tane iriliği, rutubet, ergime sıcaklığı, ağırlık.
- Kimyasal özellikler; Kimyasal analiz, kimyasal direnç, kimyasal yapı.
- Boyutsal özellikler: Uzunluk, çap, açı.
- Fonksiyonel özellikler: Kullanıma uygunluğu, diğer yan ve montaj parçaları ile ilişkiler.
- Estetik özellikler: Renk, tasarım, yüzey özellikleri.

Tablo 2.4. Seramik sağlık gereçlerine ilişkin genel standartlar (Gökkaya, 2007)

Tek Parça ve Takım Klozetler Sifonlu	TS EN 997
Lavabolar-Ayaklı Bağlantı Ölçüleri	TS EN 31
Lavabolar	TS 605
Alafranga Hela Taşları	TS 800
Evyeler	TS 698
Alaturka Hela Taşları	TS 799
Rezervuarlar	TS 823
Pisuarlar Seramikten	TS 2747
Bideler Seramikten	TS 2748
Duş Tekneleri Seramikten	TS 2750

Fırından çıkan arabalar 'kalite ayırım' a geldiklerinde görevliler tek tek tüm ürünleri kontrol etmektedirler. Kontrol aşamaları:

- Özel çekiçle çatlak kontrolü yapılmaktadır. Çekiçle vurulan üründen çıkan ses ile çatlak olup olmadığını belirlemek içindir.
- El ve gözle yüzey yoğunluğu, deformasyon kontrolleri ve logo kontrolü

yapılmaktadır.

- Ürünlerin üzerindeki su çıkış, giriş ve montaj delikleri şablonlarla kontrol edilmektedir.

Klozetler için 2 ayrı kontrol daha bulunmaktadır:

- Yıkama deliklerinin aynalarla kontrolüdür.
- Klozetin iç kısmında gözle görülemeyecek büyüklükteki çatlakların kontrolü için yapılan 'vakum testidir'. Klozetler ters çevrilerek kontrol tezgahına konduktan sonra çıkış delikleri kapatılmaktadır. İçerideki hava -0,98 bar basınca kadar emilir. Basınç düşmeye devam ediyorsa; bu, klozet içinde çatlak olduğunu göstermektedir (Türk Seramik, 2007).

### **2.3.10. Tamir**

Sırsız yüzeylerin tamirinde çatlaklar beyaz silikon sıkılarak kapatılırken çıkıntılı yerler taşlanmaktadır. Bu durumda tekrar fırınlamaya gerek duyulmamaktadır. Sıcak tamir yapılacak yerler mamulü kontrol edenler tarafından kalemle işaretlenerek belirlenmektedir.

Tamir edilecek kısım bez ve hava tabancası yardımıyla temizlenmektedir, ardından eğer sorun çatlak ya da oyuk ise tamir edilecek bölge 'havalı tamir aletiyle' oyulur. Oyulan yer uygun dolgu malzemesiyle doldurulur. Bu işlem için tamir sırrı veya tamir çamuru kullanılmaktadır. Oyuk doldurulurken tümsek oluşturacak biçimde malzeme doldurulmaktadır, çünkü pişme esnasında tamir bölgesinde bir miktar çökme yaşanmaktadır. Eğer gerekiyorsa sorunlu bölge üzerine pistole sırrı da atılmaktadır. Eğer sorun pütürlü yüzey ise spiral taş ile taşlama uygulanmaktadır. Gerekiyorsa pistole sırrı da atılır ve fırınlanır. Tamiri yapılan mamuller kamara fırınında pişirilmektedirler. Kamara fırının sıcaklığı 1. pişirim fırınından daha düşüktür. Tamir fırınından çıkan mamullerin tekrar kalite ayrımı yapılmaktadır. Yine ekstra, ıskarta ve tamir olarak ayrılırlar. Bir mamul 3 defa tamir edilebilir çünkü 3'ten sonra ürün deforme olmaya başlamakta ve sır matlaşmaktadır (Türk Seramik, 2007).

### 3. VİTRİFİYE SEKTÖRÜNDE DÖKÜM SİSTEMLERİ

Şekillendirme yönteminin seçiminde rol oynayan önemli etmenler vardır. Örneğin; çamurun bileşimi ve yapısı, kullanım alanı ve amacı, üretimin sayısal verimliliği, yeni çamur teknolojilerinden yararlanma olanakları, ürünün biçimsel yapısı gibi etmenlerdir. Seramik ürünlerin şekillendirilmesinde kuru pres, plastik, yarı plastik, döküm gibi yöntemler kullanılır. Son zamanlarda membran filtrelerin üretilmesiyle basınçlı döküm önem kazanmıştır, ayrıca elektroforetik döküm konusundaki çalışmalar sürmektedir. Burada döküm yolu ile şekillendirme yöntemleri incelenmiştir.

Döküm yöntemi genellikle plastik şekillendirmeye ve diğer yöntemlerle üretilmeyen içi boş veya dolu karmaşık şekilli ve büyük hacimli ürünlerin şekillendirilmesinde tercih edilir. Bu yöntem simetrik olmayan tabaklar, bazı ateş tuğlaları, sofrta takımları ve lavabo, klozet, küvet gibi sağlık gereçlerinin şekillendirilmesinde ve ileri teknoloji seramiklerinin üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Bu yöntemde kullanılan döküm çamurunun katı içeriğinin yüksek, viskozitesinin düşük olması gerekir. Bu özelliklerde döküm çamuru hazırlamak ancak akışkanlığı arttıran dağıtıcıların kullanılmasıyla mümkün olur. Döküm çamurlarının akışkan ve orta derecede tiksotrop olması istenir. Ancak uygun olmayan akışkanlık ve tiksotropi üründe hatalara neden olur. Bu iki parametreden kaynaklanan döküm hatalarına sık rastlanır. Döküm çamuru, içinde milimetrik boyuttan gözle görülemeyecek kadar küçük boyutlarda çok sayıda hammadde partiküllerin birbirlerine itme ve çekme kuvvetleri uyguladıkları sulu bir ortamdır. Sözü edilen itme kuvvetleri elektriksel kuvvetler olup silikat ile sağlanırlar ve sulu ortamda etkendirler. Ortamdan su uzaklaşınca partiküller birbirine yaklaşır ve çekme kuvvetlerini yenerler.

Dökümde kullanılan kalıplar gözenekli yapıda ve su emme yeteneğine sahip alçı kalıplardır. Bununla birlikte poroz yapıda sentetik malzemelerde kullanılmaktadır. Döküm yoluyla sağlıklı bir üretim yapılabilmesi için öncelikle kalıplama tekniğine uygun yani aralıksız birleşen, açılırken takılma yapmayan alçı kalıbın, darbeye karşı

dayanıklı, eşit kalınlıkta, uygun porozitede ve yeterince kurutulmuş olması gerekmektedir. Ayrıca kalıp döküme hazırlanırken temiz olması, birleşme yüzeylerinin düzgün olması çok önemlidir.

Alçı kalıp suyu çok hızlı emer. Alçı kalıp içine doldurulan çamurun suyu kalıp yüzeyinden başlamak üzere kalıp tarafından hızlı bir şekilde çekilir. Aralarındaki su tabakasının azalmasıyla birbirlerine yaklaşan taneler arasındaki itme kuvvetleri tanelerin çekim kuvvetleri tarafından yenilerek etkisiz hale gelirler. Böylece partiküller üst üste birikmeye ve birbirlerine yapışmaya başlar. Zaman ilerledikçe üst üste biriken tanelerin sayısı artar ve kalıbın iç yüzeyinden itibaren bir katı sıvı arası geçiş tabakası oluşur bu tabakanın kalınlığı zaman geçtikçe artar ve bu kalınlık alma hızı olarak bilinir. Bu hız zaman geçtikçe azalır yani kalınlık önceleri hızla artarken sonraları ise yavaşlamaya başlar.

Belirli bir et kalınlığına ulaşıldığında kalıbın içinde hala sıvı durumda bulunan çamur boşaltılır ve dış şekli kalıbın içinin şeklini almış olan bir yarı mamul elde edilir. Bu yarı mamul incelendiğinde partiküller arası çok ince bir su tabakası olduğu görünür. İşte yarı mamulün rutubetinin büyük kısmı budur. İlk önce bu su tabakası kuruyunca partiküller mecburen birbirine yaklaşır ve çoğu noktada birbirine değmeye başlar. Partiküllerinin birbirine daha yaklaşması neticesi olarak ürün küçülmeye başlar buna, kuruma küçülmesi adı verilir. Bir diğer önemli olay yapıda su uzaklaştığında partiküllerin birbirleri üzerinde rahatça kayma kabiliyetleri kaybolur ve partiküller yapıştıkları yerden kolay ayrılmak istemezler. Böylece belirli bir yönde harekete zorlanan partiküller ya bu harekete direnirler (mukavemet kazanırlar) ya da diğer partiküllerden koparlar ve bir daha onlarla bağ oluşturmazlar. Çatlarlar ve kırılırlar. Bu durumda plastik özelliğini kaybederler. Ürün su kaybettikçe küçülür, mukavemet kazanır ve plastikliği azalır.

Büyük bir geçirgenliğin yanı sıra izin verilen sertleşme sınırını geçmemek şartıyla kurutma derecesi de dökümde büyük rol oynar. Çalışma kalıbı bir sonraki döküme kadar önceki dökümden emdiği suyu kurutmalıdır. Bu olmazsa bir sonraki dökümde sertleşme gecikir.

Küçülen bir ürünün kalıptan çıkması çok kolaylaşır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta vardır. Eğer ürün kalıbı iyi tasarlanmazsa ürün küçülme sonucu kalıptan çok zor çıkar veya hiç çıkmaz.

Hazırlanıp kapatılan kalıpların gerekli şekilde piston, işkence veya lastik yardımıyla sıkılması gerekir. Fakat gereğinden fazla sıkılan kalıplarda kırılmalar meydana gelir, kalıp deforme olur. Gereğinden az sıkılan kalıplarda ise çamur kaçırmaları ve esneme çatlakları oluşur. Kalıpların kaçırılan bölgelerinde farklı tane yönelmesi olacağından dolayı fırın sonrasına kadar devam eden rötuş fireleri ortaya çıkar. Kalıpların kaçırmasını en aza indirmek amacıyla işkenceleri kontrollü sıkmamız gerekir.

Döküm öncesi döküm kanallarında bir önceki dökümden kalma ve özelliğini kaybetmiş çamurun tahliye edilmesi gerekir. Batarya dökümde gerek döküm gerekse hava kanallarının temiz olması çok önemlidir. Sirkülasyonda yeterince tahliye işlemi yapılmadığı takdirde yarı mamulde çatlaklara, yüzey bozukluklarına, farklı yapı oluşumlarına, büyük hava boşluklarına ve çökmelere rastlanır. Fırın çıkışında ise hem çatlak hem de hava firelerine yüksek oranda rastlanır. Üründe farklı yapılaşma olacağından rötuş firesi artar.

Kalıp doldurma hızı çok önemlidir. Çok yavaş doldurma beraberinde çamur dolum izi ve çok farklı et kalınlığı getireceğinden istenmez. Kalıptan çıkan çatlak ürünleri zamanında müdahale ile kurtarmamız mümkündür. Tamir bölgeleri ıslak ve temiz bir süngerle iyice temizlenmeli pudra ve artıklardan arındırılmalı daha sonra tamir edilmelidir.

Rötuşları biten ürün kurutma kabinlerinde belli bir sıcaklıkta belirli bir süre kurutularak rutubeti her bölgede % 2'nin altına indirilmelidir. Kurutma çıkışı ürünler kuru rötuş ve gazla yapılan çatlak kontrolünün ardından pişirme veya sırlanma işlemine geçilir.

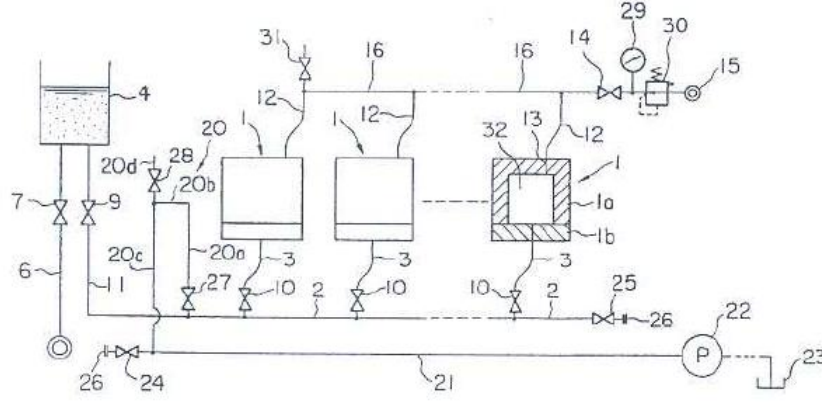
### 3.1. Basit Döküm Düzenegi

Çamur döküm işlemine yarayan düzenek, kalıp boşluğunu oluşturmak üzere birbirine denk ve birbirinden ayrılabilir en az iki kalıp parçası, bir çamur deposu, hava kompresörleri, bir pompa, vakum pompaları, sübaplar, parçaları gerektiğince bağlayabilmek için hortumlar, kalıp parçalarını destekleyici araçlar ve üzerine kalıplanmış parçayı almak için hareketli bir tezgâh içerir. Kalıp parçası, içerisinde suyu tahliye etme imkânı olan ve bir filtresi bulunan hava geçirmez bir kanala sahiptir. Tahliye aracı kanalın dışı ile bağlantılıdır. Kalıp parçalarından birinde çamur besleme oluşu, bir diğerinde taşıma oluşu vardır. Bu oluklar kanalın dış kısımlarıyla bağlantılıdır. Delikli bir seramik veya porselen eşya oluşturmak için basınçlı çamurun kalıp boşluğuna girmesini sağlamak ve tercihen çamuru filtre parçaları üzerine biriktirmek için su tahliye aracının baskısını azaltmak, birikmemiş çamuru, çamur besleme olduğundan akıtmak, kalıp parçalarından birini çıkarmak için kalıp parçasındaki su tahliye aracına, filtre elemanları ile kalıplanmış parçanın arasına su sızdırmak için basınçlı hava uygulamak, kalıplanmış parçayı diğer kalıp parçasına çekmek için, bu parça içindeki su tahliye aracının basıncını azaltmak, kalıp parçasına çekilmiş parçayı askıda tutmak, daha önce anlatıldığı üzere su tahliye aracına basınçlı hava uygulamak ve böylece kalıplanmış parçayı kalıptan güvenli bir biçimde çıkarmak gerekir (Inax Corp., 1987) , (Ehrlich, J.,1970).

Çamur döküm için olan aparat, dökümü beslemek için bir döküm borusuna sahiptir. Her bir kalıp, dökme sübabına sahiptir ve birbirine döküm hortumuyla bağlanır. Çamur boşaltma borusu, dökme borusunun çevresinde yer alır. Döküm borusu ve çamur boşaltma borusu birbirine yükselme borusunu, çapraz boruyu, bağlantı borusunu ve atmosfer borusunu içeren bir atlama borusu vasıtasıyla birbirine bağlanır. Her kalıp çamur döküm borusundan beslenir. Her kalıp için önceden kalınlığı belirlenmiş yarımamul oluştuğunda, basınçlı hava, fazla çamuru, çamur boşaltma borusuna aktarmak üzere, çamur boşaltma boşluklarına dolar. Yükselme borusunun boyu; fazla çamur, çamur boşaltma borusundan atıldığı zaman, yükselme borusu içindeki çamurun kafa basıncının, fazla çamurun boşalmasının basıncı ile birbirini dengeleyebileceği

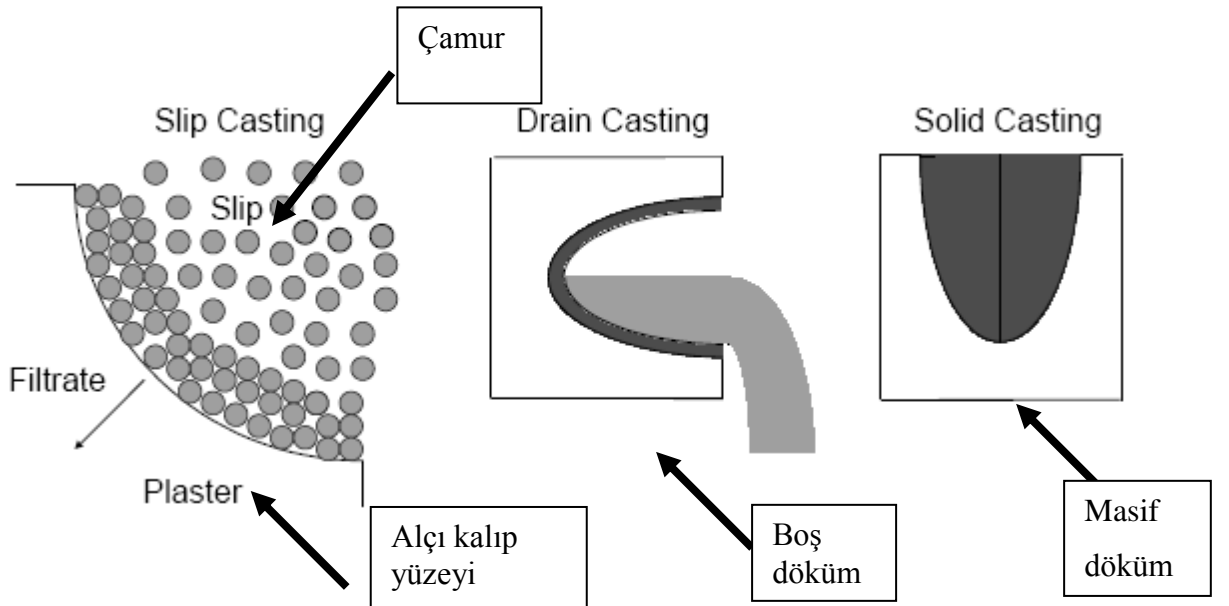


şekilde ayarlanmıştır. Bu, çamur boşaltma boşlukları içindeki basıncının dengelenmesine izin verir (Toto Ltd., 1997).



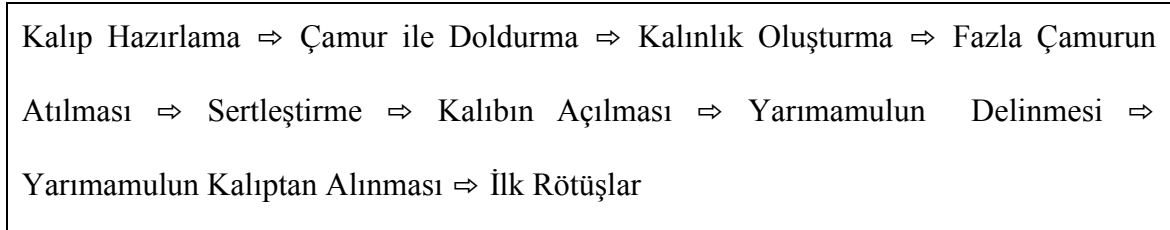
Şekil 3.1. Basit döküm sistemi şeması (Toto Ltd., 1997)

### 3.2. Seramik Çamur Dökümü



Şekil 3.2. Çamur döküm, boş döküm ve masif döküm prosesi (Swedish Ceramic Institute, 2003).

Aşağıdaki şemada (Şekil 3.3), bir döküm operatörünün izlemesi gereken temel işlemler gösterilmektedir;



Şekil 3.3. Seramik döküm iş-akış şeması (Fortuna, 2000)

Kalınlık oluşturma safhası esnasında, çamurun kalıp ile temas eden bölümü, su kaybı nedeniyle sertleşir. İkinci etap olan sağlamlaştırma safhasında ise, çamurdaki su kaybı, kararlılığa ulaşmaya kadar devam eder, bu da parçanın kalıptan çıkmasına (kalıp sökme) ve işlenmesine olanak sağlar. Kalınlık oluşumu ve sağlamlaştırma, benimsenen döküm tekniğine göre farklı şekillerde gerçekleşir.

Süzülme örneğinde, artan çamur kalıptan süzülür ve tekrar kullanılabilir. Süzülme esnasındaki çamurun reolojik özellikleri ağırlıklı olarak, özellikle aşağıdaki durumlarla birlikte döküm parçası kalitesini belirler:

- süzülmeyen yarı sıvı haldeki çamurun damlaması veya birikmesi,
- seramik malzemedeki kalınlık ve/veya nemliliğin homojen olmaması.

Yalnızca birkaç sene önce, döküm için yalnızca alçı kalıpları kullanılırdı. Ancak burada anlatılan döküm tekniği, “geleneksel döküm” olarak sayılabilecektir. Son zamanlarda özel alçı ve reçinelerin kullanılması, orta ya da yüksek basınçlı döküme tabi tutulabilen mekanik direnci yüksek kalıpların üretimini mümkün kılmıştır (Fortuna, 2000).

### 3.3. Alçı Kalıplarında Döküm Prosesi

Bu döküm tekniğinde, alçının su emme kapasitesi sayesinde çamurdaki su elimine edilir. Bu nedenle kalınlık oluşumu ve macun sertleştirme mekanizmaları temelde şunlara bağlıdır:

- kalıp karakteristiği; özellikle de gözeneklilik ve dağılımı
- çamur özellikleri (bileşim, topaklaşma durumu ve sıcaklık) (Dunstan, 1999).

Alçı kalıbının kılcallığı, çamurdaki suyu absorbe ederek, kalıp duvarı üzerinde macunun ilk tabakasının oluşmasını sağlar. Böylelikle bu ilk tabaka, filtre görevi görür ve düşük veya yüksek geçirgenliği ile kalınlık oluşum hızını belirler. Macun kalınlığının fazla olması ve alçı kılcallarının suya fazlasıyla doyması nedeniyle bu, zamanla azalma eğilimi gösterir (Fortuna, 2000).

Sabit döküm süreleri için, üretim metotları kadar alçı türünün de kalıp üretimi sırasında sabit tutulması gerektiği aşikardır.

Kalınlık oluşumu ve sertleşme sürelerini kontrol eden çamur tabakasının geçirgenliği, macun kalınlığı ve dağılımını düzenleyen partiküllerin türüne bağlıdır ve bunlar:

- çamurun topaklaşma evresi;
- çamur bileşimi: kil bileşenlerinin türüne (incelik, plastiklik) ve ham madde/incelik oranına bağlı;
- granülometrik dağılım;
- özgül ağırlık;
- çamurun çözünme enerjisi;
- sıcaklık (Fortuna, 2000).

### 3.3.1. Alçı kalıpları ile manuel döküm

İlk döküm işlemi olan kalıbın hazırlanması; dökümün temizlenmesi (yabancı cisim, toz veya granül kalıntısının giderilmesi) ya da dökümün belli alanlarına, talk pudrası veya geri dönüşümlü madde suyu ile işlem yapılması aşamalarından meydana gelir. Genellikle talk pudrasının “serpilmesi”, parçanın kalınlık oluşumunun ve sertleşmesinin geciktiği bölgelere (genelde tek parça döküm işleminde), “çamurlu” su ise, macun sertleşmesinin gerekli olduğu bölgelere (süzüntü döküm bölgeleri) uygulanır (Fortuna, 2000).

Bu ölçütler, tek parça ve süzüntü döküm işlemleri ile kalınlık oluşumu ve sertleşme süresinde meydana gelen farklı davranışlar arasında denge kurar. Ayrıca, talk pudrasının uygulanması, kalıp sökme işlemini kolaylaştırırken; çamurlu su uygulaması kalıba tutunmayı artırır. Bu yöntemler aynı zamanda, kalıbın tek yarısını açarak, döküm parçasının yüzeye tutunmasını önlemek için kullanılır.

Bu işlemler, kalıpların bir sonraki aşama için hazırlandığı döküm evresinin sonunda uygulanır. Dolayısıyla bu işlemler her zaman, operatörün geçici dönemlerde uyguladığı ilk işlemler değildir, fakat her durumda, başlangıç döküm işlemlerinin bir parçasıdır. Çamurun tamamen süzülmesi için kalıplara eğim verilir.

Tek parça dökümlemede, çamur kalıbı ve besleme tanklarını doldurur; fakat bu durumda, fazla çamur süzüntüsü olmaz ve parçanın kalınlığı, kalıp ile karşı kalıp arasındaki yer ile belirlenir.

Sertleşme süresinin çok uzun olmaması gerekir, çünkü eğer parçalar daha kalıpların içindeyken büzüşme başlarsa, kırılmalar meydana gelebilir. Bununla birlikte sertleşmenin çok kısa da sürmemesi gerekir; çünkü henüz yeterince katı olmayan macunun değişkenliğinden dolayı, kendi ağırlığı altında döküm deformasyonu oluşabilir (Arcasoy, 1983).

Kalıp kısmi olarak açıldığı zaman, operatör, çeşitli delik ya da açıklıklar meydana getirme veya delikleri düzenleme işlemlerinden oluşan döküm delme işlemine başlar. Diğer açıklıklar, kalıptan çıkarılmış parça üzerinde bile yapılabilir.

Döküm kalıptan çıkarılması ve işlenmesi her zaman, elde edilmiş olan malzemenin yüzeyini kaplayan bir tabla yardımıyla gerçekleştirilir. Bu, malzeme hala çok ıslak ve plastik haldeyken, maddenin diğer yüzeyinde meydana gelebilecek deformasyonları önlemeye yardımcı olur.

İlk bitiş işlemi, uygun aletler (sünger, kazıma aleti vs. gibi) yardımıyla operatör tarafından manuel olarak yapılır. Bu işlemde kullanılan aletler, kalıplama hatalarının ilk düzeltilmeleri için de gereklidir; küçük delik veya kırıkların kapatılması, kalıp birleşim yerlerindeki pürüzlerin giderilmesi vs. Bütün bu işlemler, henüz ıslak olan macun üzerinde daha kolay bir şekilde uygulanabilen ve toz oluşumları meydana getirmeyen işlemlerdir (Fortuna, 2000).

### **3.3.2. Alçı kalıpları ile mekanize döküm**

Üretim yöntemleri, manuel döküm ile benzerdir ancak, burada alçı kalıpları, özel, hemen hemen otomatik ve mekanize tezgâhlar üzerinde kurulur. İşlemsel yöntemler de farklıdır. Manuel dökümleme ile arasındaki temel farklılıklar şunlardır;

#### **3.3.2.1. Döküm**

Döküm, uygun bir besleme devresi ile tüm kalıplarda eş zamanlı olarak otomatik bir şekilde yapılır. Bu, hemen hemen her zaman, vanalar ve esnek lastik borular ile her kalıp için bir adet genel toplayıcı ile düzenlenir. Dökümden önce, özel bir pipet ile çıkarılan çamurun, boruların içine doğru akmasını sağlayarak, toplayıcı ve lastik boruların basınçlı bir şekilde yıkanması gerekir.

Bu yıkama işlemi, katılaştıran çamuru ve tortu birikintilerini borulardan uzaklaştırmak için gereklidir. Ayrıca, gerçek döküm evresi başlamadan önce boruların

doldurulmasına olanak sağlayarak, borularda ve dolayısıyla da döküm parçalarında baloncuk oluşma riskini önler.

Yıkama tamamlandıktan sonra, operatör manuel olarak boruları, kalıbın besleme deliklerine takar, böylelikle kalıplar doldurulabilir. Bu işlemler, kalıpların türüne bağlı olarak 4 - 10 dakika sürer (Fortuna, 2000).

### **3.3.2.2. Kalıpların boşaltılması**

Kalınlık oluşum süresi aşıldıktan sonra operatör, çamur devresindeki süzme vanalarının açılması ile aynı anda, kalıplara düşük basınçlı hava ( $0.2 \div 0.3$  bar) veya şişirilmiş hava yollar. Sıkıştırılmış (veya şişirilmiş) havanın kullanılması, çifte bir işleve sahiptir: Kalıpları boşaltmak için gerekli zamanı azaltmak ve kalıbın kendisinde ortaya çıkan emme ve deformasyon ile dışarı taşan çamurun, döküm parçası içinde basınç düşmesine neden olmasını önlemektir (Fortuna, 2000).

### **3.3.2.3. Döküm parçalarının sertleştirilmesi**

Çamur süzüldükten sonra, kalıp parçalarındaki sertleşmenin tamamlanması ve de özellikle su içeriği açısından, süzüntü ve tek parça dökümler arasında mümkün olan en yüksek homojenliğin sağlanması için gerekli zamanın kısaltılması için, sıkıştırılmış veya şişirilmiş havanın, kalıp içinde halen şişkin olması gerekir. İçeriğe ve malzeme türüne bağlı olarak  $20 \div 30$  dakika süren sertleşme, iki aşamada yapılabilir:

- 1- Parça içerisine  $5 \div 10$  dakika boyunca sürekli olarak hava şişirilir;
- 2- İlk hava üfleme periyodundan sonra, süzme vanaları kapatılır ve hava şişirmeye devam ederek, kalıp içindeki parça basınç ( $0.1 \div 0.2$  bar) altına alınır.

Bu, tüm banyo gereçlerinin iç yüzeylerinin daha homojen bir şekilde sertleşmesini sağlar. Doğru bir sertleştirme işlemi, parçaların, dökümde hiçbir deformasyon olmadan dikey pozisyonda bile kalıptan sökülebilmelerine olanak tanır (Fortuna, 2000).

### 3.3.2.4. Yarımamul alma

Yarımamulun kalıptan alınma işlemi, parça/tabla iletimi yapan ve böylelikle fiziksel eforu ortadan kaldıran uygun sistemlerin yardımıyla, hemen hemen tüm tezgâhlar üzerinde operatör tarafından yapılır. Bazı durumlarda ise, döküm parçalarının tamamı makineler tarafından otomatik olarak aynı anda çıkarılır.

Mekanize tezgâhlar üzerinde yapılan dökümün, önemli avantajları vardır, içlerinden en önemli olanları;

- Döküm operatörlerinin üretkenliklerinin artması,
- Fiziksel eforun büyük ölçüde azalması,
- Boşlukların büyük ölçüde azalması,
- Çevresel koşulların gelişimi (mikro-hava ve toz açısından),
- Yarımamullerin rasyonel akışı,
- Döküm ve yarımamul alma evrelerinin tamamen otomatik olması,
- Üretim sürelerinin standart hale gelmesidir.

Kalıpları hızlı kurutmak ve dolayısıyla da günde iki döküm yapabilmek için döküm tezgâhı üzerine bir kurutucunun yerleştirilmesi ile bu alan ikiye bölünebilir. Çoklu çalışma vardiyaları ile günde 3 dökümleme yapmak mümkündür. Kurulan elektrik gücü, çamur beslemesi için ve parçaların kalıptan sökülüp sertleştirilmesi için kullanılan sisteme bağlı olarak her 50 kalıp tezgahı için 0.8 ila 4.2 kW arasında değişebilir. Sonraki işlemler; taşan çamur, parçanın boş alanlarına girdiği zaman parçanın “emişini” önlemek amacıyla genellikle, 0.2 ÷ 0.3 bar’daki kalıpların içine sıkıştırılmış hava (100 ÷ 160 m<sup>3</sup>/döküm tüketimi) veya vantilatörden gelen şişirilmiş hava verilmesidir. Kurutucu kullanılmadığı zaman, kalıplar aşağıdaki yöntemlerle kurutulur;

- döküm departmanının içerden havalandırılması ve kalıpların yüzeyine doğru esen fanlar ile sıcak hava üflenmesi,
- kalıpların altından akan sıcak veya aşırı sıcak sulu yüzgeçli boruların kurulması, aşağıdan kanalize edilmiş sıcak havanın kalıplara enjeksiyonu (Fortuna, 2000).

### 3.4. Seramik Sağlık Gereçleri Sektöründe Kullanılan Döküm Sistemleri

İşletmelerde kullanım sırasına göre en fazla batarya döküm, mekanize döküm, el döküm, basınçlı döküm ve kapiler döküm sistemleri kullanılır. İşletmelerde şekillendirmede kullanılan ağırlıklı malzeme alçı kalıplardır. Bir alçı kalıbın döküm ömrü 80 - 100 döküm arasındadır. Kapiler dökümde ise döküm ömrü 200 - 250 arasındadır çünkü bu sistemde alçının emdiği su ısıyla değil basınçla atılmaktadır. Isı alçıya zarar veren en önemli parametrelerden biridir. Dökümhaneler 35 - 40 °C arasında olup nemli ortamlardır. (MEGEP, 2007).

Döküm Sistemleri;

- Shanks döküm ( batarya döküm)
- Mekanize döküm
- Kapiler döküm
- Yüksek basınçlı döküm
- Elektroforetik döküm
- El döküm' dür.

#### 3.4.1. Batarya döküm (Shanks döküm)

Sağlık gereçleri endüstrisinde üretim hızını arttırmak için geliştirilmiştir. İşletmede batarya döküm olarak da bilinmektedir. Batarya döküm sistemi belli bir ray üzerinde kalıpların yan yana bağlanıp sıkıştırılması ile bir yerden çamurun basılıp her parçadan seviye tespiti yapılarak belirli bir süre bekletilip kalınlık aldırın sistemdir (Şekil 3.4.). Çamurun geri boşaltımı, kalıba basınçlı hava verilerek yapılır. Bu metot, üretim hızını arttırmaktadır. Ancak sadece basit ürünlerin batarya halinde dökülebildiği sistemde özel alçı veya reçine kalıplar kullanılmaktadır. Bu döküm şeklinde alçı kalıpların ömrü azdır. Reçine kalıplar ise orta basınç uygulandığından döküm süresini uzatmaktadır (MEGEP, 2007).





Şekil 3.4. Batarya dökümü (MEGEP, 2007)

Batarya Döküm, raylı sistem üzerine oturtulmuş, sağa ve sola hareket eden alçı kalıplardan, genellikle iki parçalı ya da az sayıda parçalı basit şekilli ürünlerin toplu şekilde dökümüne izin veren döküm şeklidir. Bu sistemin amacı kalıplamada fazla yer işgalini önlemek, üretimi hızlandırarak işçilik maliyetini azaltmak, seriliği sağlamaktır. İşletmelerde lavabo, hela taşı, kağıtlık, etajer, pisuar, asma klozet, rezervuar gibi ürünler burada dökülebilir. Kalıp uygulama şekli ise bir kalıbın yüzü ile diğer kalıbın tersi sırt sırta çakışır. Bu parçaların her biri tekerlekli batarya tezgâhına formlara göre değişik açılarda yerleştirilir. Kalıplar aynı anda sıkılır ve aynı anda doldurulur ve aynı anda boşaltılır. Burada kişi başına düşen üretim sayısı el döküme nazaran fazla olup kalıplar daha toplu durdukları için gereken alan daha azdır. Kalıpları kaldırmaya gerek yoktur, işçilik azdır. Bir kalıba günde 2 döküm yapılabilmektedir. Yine kalıplar toplu bir şekilde durdukları için bu tezgâhlara özel hızlı kurutma sistemi mevcuttur. Kalıpların kurutulması perde ile kapanan kabinlerde sıcak hava ile sağlanmaktadır. Bundan dolayıdır ki; günde iki döküm alınabilmektedir. Bu dökümün en büyük dezavantajı her kalıba uygun olmamasıdır. İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve dökümde oluşan doldurma izleri de diğer sakıncalarıdır. Proses aşağıdaki gibi işlemektedir.

Temizlenip kurutulmuş kalıplar çamur kaçırmayacak kadar sıkılır. Çamur hattında koyulaşmış çamur kalmaması için yeterli miktarda çamur, çamur hattında dolaştırılarak, kalıplara tezgâh başlarındaki tanklardan çamur basılır. Bu tanklar yerden 1.5 m yüksekte bulduklarından yerçekimi kuvveti ve atmosfer basıncı ile dolun yapılır. Eksilen çamurun yerini doldurmak için besleme kolektörlerinde sürekli çamur bulundurulur. Bu çamur seviye tanklarından karşılanır ve seviye tanklarına çamur besleme alt ve üst proplar sayesinde otomatik olarak sağlanır. Yeterli kalınlık alındıktan sonra fazla çamur, kalıplara 0.2-0.4 atm. hava basıncı verilerek, boşaltılır. Amaç; boşaltmanın bütün kalıplardan aynı seviyede olması, yarı mamulün kalıpta çökmeden askıda kalmasını sağlamaktır. Çamur süzöldükten sonra belli bir süre daha kalıplara hava verilerek iç-dış sertliği sağlanmaktadır. Dış cidar, ilk kalınlığın aldığı bölge olduğu için daha kurudur, iç cidar dışa nazaran daha yaştır. Bu kuruluk farkı giderilmezse çökme ve çatlama riski artmaktadır. Ayrıca çamurun süzülmesi esnasında çamurun aniden boşalıp çökme olmaması için çamur boşaltma hattında ters U şeklinden boru bulunmaktadır. Çamur kalıpların altından süzöldüğü için alt kısımlar nispeten daha yaş kalmaktadır. Bunun için tezgâh altlarında kurutma amaçlı vantilatörler bulunmaktadır. Yeterli sertliğe ulaşan çamur, kalıplar gevşetilerek mal alma ceketini ile regal üzerine aktarılır ve rötuşu yapıp kurutmaya bırakılır. Son olarak da kalıplar bir sonraki döküme hazırlanırlar. (MEGEP, 2007).

- Kalıp malzemesi alçıdır.
- Kalıp ömrü 200 döküme kadar çıkar
- Günde iki kez haftada beş gün döküm yapılabilir.
- Bir tezgâhta 50 ile 60 kalıp bulunur.
- İşçi başına günde ortalama 100 - 120 parça arası verim alınır.
- Kalıplar ardışık ve birbirine monte edilmiş durumda batarya sistemidir.

### 3.4.2. Mekanize döküm

Hem el döküm hem de Batarya döküme benzer. Batarya Döküm'e nazaran daha kompleks parçaların toplu dökümüne izin verir (Şekil 3.5.). El dökümde kompleks

şekilli kalıplara nazaran düşük üretim hızı ve yüksek işçilik, batarya dökümde ise basit şekilli parçaların seri üretimi birleştirilerek yeni bir döküm sistemi oluşturulmuş olup tam anlamıyla el döküm ve batarya döküm sistemi özellikleri arasındaki bir döküm sistemidir. Raylı sistem üzerine kurulmuştur.

Kalıplar sağa sola ve yukarı doğru hareket eder ve kurutma normal dökümhane ortamında yapılmaktadır. Fakat rezervuar dökülen bazı tezgâhlar farklılık gösterirler. Kalıpların kovan kısmı hareketsiz, çekirdek kısmı ise sadece yukarı doğru hareket etmektedir. Kalıp hareketleri mekanik sistemle sağlandığı için belli seviyede otomasyon vardır. Kalıplar 3 - 4 parçadan oluşmuş işçilik bazı basit sistemlerle azaltılmıştır. İşçilik el döküme göre daha az batarya döküme göre daha fazladır. Yine bu kalıplar aynı anda dökülür ve boşaltılır (MEGEP, 2007).



Şekil 3.5. Mekanize döküm (Twyford, 2005)

Kişi başı üretim miktarı el döküme göre daha fazla batarya döküme göre azdır. Yine ürün başına gereken alan el döküme göre az batarya sistemine göre fazladır. Kalıpların kurutma sistemleri vardır. İlk yatırım maliyeti batarya dökümden de fazladır.

### 3.4.3. Kapiler döküm

Alçı kalıpların su emme özelliğini artırmak için kalıp içine delikli hortumların belli bir form içinde döşenmesiyle üretilirler. Daha sonra hortumların çıkışları vakum pompasına bağlanarak kalıpların döküm sırasında daha fazla su emmeleri sağlanarak daha kısa sürelerde döküm yapılması sağlanır. Ayrıca yine döküm sonrasında bu hortumlara basınçlı hava verilerek emilen suların kurutma değil de fiziksel yolla uzaklaştırılmaları sağlanır. Böylelikle hem enerjiden kazanılır hem de kalıp ömrü artar. Çünkü kalıbın ömrünü azaltan en önemli faktör sıcaklıktır. Bu sistem işletmede mekanize döküm tezgâhlarında kurulmuştur. Sistemin yatırım maliyeti fazladır. Fakat günde bir kalıba 3- 4 döküm yapılabilen ve kalıp ömrü iki kat artmaktadır (MEGEP, 2007).

### 3.4.4. Yüksek basınçlı döküm

Yöntem açısından kullanılan en son teknoloji olan bu sistem son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Alçı kalıpta suyun emilmesi, kapiler kuvvetlerle sağlanırken, basınçlı dökümde ise çamura basınç kalıba da vakum uygulanarak sağlanır (Şekil 3.6.). Böylece kalınlık alma süresi azaltılmıştır. Döküm sonrasında kalıba vakum uygulaması normal döküm süresini kısalttığı gibi çamura basınç uygulanması bu süreyi daha da kısaltır. Kalıbın suyunu atması için kurutma yerine basınçlı hava verilerek enerji tasarrufu da sağlanmış olur. Alçı kalıpta emilen suyun bir kısmı dışarı atılırken burada suyun tamamı dışarı atılmaktadır. Kullanılan kalıp sentetik malzemedendir yapılmış olup pahalı bir sistemdir. Alçı kalıplara nazaran döküm ömürleri çok uzundur, kalıp ömrü normal kalıbın 300 - 400 katıdır, bir kalıptan 15000 - 17000 döküm alınabilmektedir. Kalıp içerisinde su ve hava geçişlerini sağlayan ağ şeklinde kalıba saran kanallar bulunmaktadır. Kalıptan alınan yarı mamüllerin yüzeyleri diğer dökümlere nazaran daha düzgündür.



Şekil 3.6. Yüksek basınçlı döküm (MEGEP, 2007).

Döküm işlemini kısaca açıklamak gerekirse; bütün parametreler operatör tarafından test edildikten sonra kalıplar piston aracılığı ile kapanır ve çamur basınç tankı ile kalıplara pompalanır. Tanklarda depolanan çamur 4.5 - 5 barlık basınçla kalıplara doldurulur. Basınç set edilen değere yükselir ve set edilen zaman süresince o değerde kalır. Kalıplara dolan çamur 9 barlık basınçla kalınlık alması sağlanır. Yeterli kalınlığa ulaşıldıktan sonra çift cidar bölgelerindeki atık çamurun boşaltılması ve bu bölgelerin sertleştirilmesi için basınçlı hava üflenir. Fazla çamur boşaltılıp 3 barlık basınçla kalıp içerisine hava verilerek yarı mamulün sertleşmesi sağlanır. Kurutma yoktur, sular fiziksel yollarla atılırlar. Günde bir kalıba 40 - 50 döküm yapılabilmektedir. Son olarak ürünler, basınçlı hava sistemi ile homojen bir şekilde kalıptan alınır (Şekil 3.7.- 3.8.).



Şekil 3.7. Yarı mamulü kalıptan alma (MEGEP, 2007)



Şekil 3.8. Yarı mamulü rafa yerleştirme (MEGEP, 2007)

Şekillendirilen ürünlere ilk önce ürün yaş haldeyken kesilecek ve delinecek kısımların sistire ve şablonlar ile kesilmesi ve delinmesi işlemleri uygulanır. Ayrıca kalıp iz yerleri sistire ile kazınarak düzlenir ( Şekil 3.9. – 3.10.).



Şekil 3.9. Sistire ile rötüş (MEGEP, 2007)

Yine yaş halde bazı ürünlerin döküm yolu için açık olan delikleri kapatılır. Klozetlerde ise rink delikleri yine ürün yaş haldeyken açılır.



Şekil 3.10. Yarı mamul üzerinde kesme oyma işlemi (Twyford, 2005; MEGEP, 2007).

Hazırlanan ürünler önce tezgâhta dökümhane ortamında 1 gün süreyle kurutulur. Ertesi gün arabalara yüklenen ürünler arabalarda birlikte belli bir derecede ısıtılmış kamara tipli kurutuculara alınır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Yarı mamulü arabalara yerleştirme ve kurutma (MEGEP, 2007)

Bu kurutucuda belli bir süre kalan ürünler kurutma çıkışında % 1 rutubetinin altına inmiş olurlar. Bu ürünler kontrol edilerek çatlak olanlar tespit edilir. Sağlam ürünlerin kuru rötuşları yapılarak sırlama departmanına gönderilir.

İlk yatırım maliyeti en fazla olan döküm sistemidir. Yüksek basınçlı döküm beraberinde hızlı ve sürekli üretim getirdiğinden üretimin her aşamasında yakın kontrol ve denetleme gerektirmektedir (Şekil 3.12.). Sistemin avantajları; döküm işleminin tamamen otomatik olması, kalıp ömrünün çok uzun olması, kalıbın yüksek elastiklik özelliğinden dolayı mekanik aşınma ve deformasyona karşı yüksek direnç özelliğine sahip olması, kalıp montajının kolay olması, döküm öncesi kalıp hazırlama işleminin olmaması, çok az rötuş gerektiren yaş yarı mamul yüzeyi, kalıpların kolay üretimi, ömrü dolmamış kalıpların ilerideki kullanımları için stoklanma şansı, hızlı ve sürekli döküm şansı, yüksek kalifiye ve tecrübeli elemana gerek olmaması, kalıp kurutumu olmadığından enerji tüketiminin olmaması, küçük bir alanda yüksek üretim yapılması, kişi başına yüksek üretim ve randıman ile kaliteli ürünler ve düşük işçilik maliyeti getirmesidir. Dezavantajları ise; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, yüksek üretim ve randımandan dolayı büyük miktarda talebi olmayan modellerin bu sistem ile üretimidir (MEGEP, 2007).





Şekil 3.12. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile lavabo şekillendirme (MEGEP, 2007)

### **Basınçlı dökümün avantajları:**

Kalıbın yıkanma evresinde su, kalıbın iç devrelerine basınç yoluyla gönderilir. Su, reçine porlarından aktıkça, madde partiküllerinin neden olduğu tıkanıklıkları açarak porları temizler. Alçı kalıplarına sahip klasik tezgâhların aksine, orta basınçlı makinelerin kullanılması şunları sağlar (Fortuna, 2000).

- Haftada 7 gün olmak üzere günde 3 vardiya çalışabilme olanağı,
- Gerekli çalışma alanının 6 kata kadar azalması (eşit miktarda üretim),
- Kalıpların kuruması ile ilgili enerji tasarrufu,
- Daha yüksek kaliteli ve boyut bakımından özdeş döküm parçaları,
- Döküm parçalarının hemen hemen her zaman düşük su içeriğine sahip daha tutarlı ve işleme kolay parçalar olması. Böylelikle rötuşlama hızlı bir şekilde yapılabilir,
- Yüksek yatırım maliyeti (özellikle kalıplar için),
- Reçine kalıplarının optimum durumunda bile dengelenen ve bazı durumlarda, kuruma için gerekli termal enerji açısından elde edilen tasarrufları artıran yüksek sıkıştırılmış hava tüketimi.

### 3.4.5 Elektroforetik döküm

İçi boş ve karmaşık şekilli seramik parçaların üretiminin hızlandırılması amacıyla geliştirilmekte olan bir yöntemdir. Suyun içinde askıda olan, seramik bünyeyi oluşturan, çeşitli maddelerin taneleri negatif yük taşıdığı sürece pozitif kutba doğru hareket ederler. Eğer elektriksel olarak geçirgen bir kalıp çamurla doldurulursa ve pozitif bir yük verilirse taneler kalıba doğru hareket ederler ve kalıp yüzeyinde toplanırlar. Böylece döküm gerçekleşir. Döküm hızı uygulanan voltaja bağlıdır. Ancak elektroforetik yöntemiyle fabrikasyonda, problemler henüz çözülmüş değildir. Problemlerin çözülmesi halinde, basınçlı dökümdeki, pahalı aletlere gerek duyulmadan, hızlı fabrikasyona imkân vereceği belirtilmektedir (MEGEP, 2007).

### 3.4.6. El döküm yöntemi

Bu döküm şeklinde nispeten karışık şekilli parçalar ya da basit olmakla beraber üretim sayısı düşük parçalar ya da diğer döküm sistemlerinde kullanılarak kalıpların denemesi için üretilen deneme dökümleri söz konusudur (Plowman, 2004).

Kalıplar çok sayıda kalıp parçasına sahip olabilir. Kalıplar bu döküm şeklinde tek tek hazırlanır. Dökümden önce işkencelerle tek tek sıkılır. Bu yöntemde su emme özelliğine sahip alçı kalıp içerisine döküm çamurunun dökülmesiyle şekillendirme gerçekleşir. Seramik endüstrisinde döküm yolu ile şekillendirme en önemli yöntemlerden biridir. Döküm yoluyla şekillendirmede şekillendirilecek eşyanın biçimine bağlı olarak açık döküm veya kapalı döküm olmak üzere iki metot kullanılır (Fortuna, 2000; MEGEP, 2007).

## 4. DÖKÜM HATALARI

### 4.1. Hatalar ve Tanımları

Döküm hataları, döküm sonrası mamullerde noktalar, çizgiler, çatlaklar ve hava kabarcıkları şeklinde hatalar oluşmaktadır. Bu hataların nedenleri çamurun yanlış hazırlanması, uymayan ayırıcılar, yanlış viskozite, kalıpları doldurmadaki yanlış metotlar ve kötü yapılmış ve kurutulmuş alçı kalıpları olmaktadır (Yongheng, 2002; Juckel, 2003). Üretim kapasitesini verimli kullanmak ve işçilik maliyetlerinden kazanmak amacıyla, klasik döküm sistemlerinde bir vardiyada 2 veya 3 döküm yapmak hedeflenmektedir. Bunun için, plastisite özelliğinden ödün vermeden, daha hızlı kalınlık alma ve daha hızlı sertleşme özelliklerine sahip olan çamura ihtiyaç duyulmaktadır. Döküm hızının yüksek olması ihtiyacı, basınçlı döküm sistemlerinde de ön plana çıkar. Basınçlı döküm sistemlerinde, vardiyadaki döküm adedini 18'den 20'ye çıkartmak % 10'luk bir döküm kapasitesi artışı getirir. Bu, döküm hızındaki % 10-15'lik bir artışla karşılanabilir. Son yıllarda, ürün tasarımlarında formlar daha büyük ve kompleks şekillere doğru yönelmektedir. Bu nedenle, çamur birleşim yeri izleri, çamur boşaltma hataları ve yarı ürün yumuşaklığına bağlı deformasyonlar üretimde sınırlayıcı olumsuz özellikler haline gelmektedir. Ayrıca, üretim şartlarındaki değişkenliklere adapte olabilecek, esnek çamur özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Sümer, 1994).

Dökümlerdeki kusurlar, hava kabarcıklarından, işleme sırasındaki yetersiz güç kullanımından, çamurun yetersiz dağılımından ve büzüşmeden kaynaklanır (Industrial Ceramics, 1984).

#### 4.1.1 Ürünlerdeki küçük delikler

Bu, en yaygın karşılaşılan ve en fazla hasara neden olan hatalardan biridir. Yüzeyin hemen altında veya üzerinde küçük delikler (0.3 ÷ 0.6 mm çapında) meydana gelir. Bu hatanın kaynağı, döküm sırasında, çamur sertleşmeden önce, kalıp-madde

ayırım yüzeyi altına veya üstüne yerleşen küçük hava baloncuklarıdır. Bu baloncukların sebebi şu şekilde sıralanabilir (Fortuna, 2000).

- a) Daha çamuru kalıba dökmeden önce hava baloncukları vardır. Çünkü,
- Madde preperasyonu aşamasında, karışımdan sonra preperasyon gerekli süre bekletilmemiştir;
  - Dökümler tankına takviye yapan pompa hasar görmüş veya hava kaçırıyor olabilir ya da çok küçüktür. Dolayısıyla çamurda hava oluşumuna neden olan baloncukların bir sonucu olarak döküm devresinin boşaltımları aralıklarla gerçekleşir;
  - Döküm devresinin ölçüsü yanlıştır veya kötü bir şekilde montajlanmış veya kısmi olarak tıkanmıştır.
- b) Dökümler sırasında hava oluşur. Çünkü,
- Kalıbı doldurma esnasında, yüksek akış hızı veya yanlış yerleştirilen kalıp besleme delikleri yüzünden hava baloncukları meydana gelir(Fortuna , 2000).
  - Alçı kalıp oluklarının havası nemli fakat yüzey üzerinde çok kurudur ve çamurdan kalıba doğru olan su akışı, malzemeye doğru başladığı zaman bu hava itilir ve daha sonra sertleşmeye başlayan yüzey üzerinde durup oraya yerleşir (Juckel, 2003).

Bu tehlikeli hatalar için asla tümüyle etkili olmayan çareler, yukarıdaki nedenleri ortadan kaldırmaya yöneliktir. Bu hataların meydana gelmesini önleyen veya daha da teşvik eden çamur karakteristiğinin de önemli bir rol oynadığını göz ardı etmemek gerekir. Örneğin yüksek viskoziteye ve düşük akışkanlığa sahip olan çamur, kalan süre çok uzun olsa bile, çözünme esnasında oluşan hava baloncukları etkili bir şekilde azaltmasını engeller. Döküm yönteminin türü de bu konuda önemli bir rol oynar. Mekanize bir su tankı dökümler tezgâhında, hemen hemen parçaların tümü bu hataya maruz kalır. Bunun nedeni ilk başta, besleme pompasının yanlış seçilmesiydi fakat basit bir şekilde döküm hızının artırılması ile bu hata bütünüyle ortadan kaldırıldı. Böylelikle

madde yüzeyinin artması ile çamurda hava baloncuklarının oluşumu için gerekli süre verilmemiş oldu.

#### 4.1.2 Aşırı nemli ve tutarsız döküm parçaları

Bu hata; yeni çıkarılan parçalarda belli deformasyonlar ve bozulmalar meydana getirir. Bunun birçok sebebi vardır;

- Kalıp nemi ve madde özelliklerine bağlı yetersiz sertleşme süresi (Fortuna, 2000; Juckel, 2003).
- Çamurun fazla tiksotropisi: bu durumda çamur, doğru bir şekilde boşaltılamaz ve bazı noktalarda macun kıvamında kalır veya damlamalara neden olur. Bu nemli çamur kalıntıları kuruma sırasında kırılmalara sebep olabilir (Fortuna, 2000).
- Eğer parçadaki göçükler, yalnızca belli noktalarda meydana geliyorsa, kalıp doğru bir şekilde hazırlanmamış demektir ( Fortuna, 2000; Juckel, 2003).

#### 4.1.3 Parça içindeki boşlukların varlığı

Bu hatanın tehlikesi oldukça açıktır ve temelde, iç oluk ile alakalı olarak yarı işlenmiş yüzeyi üzerinde delik veya çukurların oluşma riskini kapsar. Aynı zamanda, kurutma için ısıtılırken ve özellikle de fırınlama esnasında parça kırılabilir (bazen çok ciddi biçimlerde). Aşağıda belirtilmiş olan sebepler, parçada bu boşlukların meydana gelmesine yol açabilir;

- Yetersiz kalınlık oluşum süresi ( Fortuna, 2000; Juckel, 2003).
- Düşük çamur viskozitesi ve tiksotropisi (ve hatta özgül ağırlığı). Plastik olmayan büyük partiküllerin ayırımında düşük özgül ağırlık durumu, sık rastlanan bir olaydır (Fortuna, 2000).
- Klasik döküm esnasında çok nemli veya artık kullanılamaz durumdaki kalıplar (Fortuna, 2000; Juckel, 2003).

#### 4.1.4 Aşırı sert, çok plastik olmayan ve çatlak kalıp parçaları

Kalıptan çıkarılan yarı işlenmiş ürünler çok sert olduğu zaman, macun çok plastik olmaz ve özellikle tek parça dökümden süzüntü döküme geçen bölgelerde kırılma ve çatlaklar meydana gelir. Problemin nedenleri (Fortuna, 2000);

- Yetersiz topaklaşan çamur,
- Haddinden fazla sertleşme süresi. Özellikle yeteri kadar plastik olup fazla sert olmayan macunda bile çatlaklar meydana geldiği zaman bu tip hatalar oluşabilmektedir.

Ayrıca, normal koşullar altında bile, yanlış alçı kalıp uygulaması yüzünden kırılmalar meydana gelebilmektedir.

#### 4.1.5 Döküm parçalarının bükülmesi ve dalgalanması

Parça fırınlanmadığı zaman ortaya çıkan dalgalanma problemi, fırınlama sonrasında daha fazla kendini gösterir ve bunun nedeni; yanlış dozlardaki sertleştiriciler (özellikle sodyum silikat) ve çok uzun süre bekletilen çamur veya koloidal partiküllerin artmasıdır.

- Bu hatalar, organik maddeler bakımından oldukça zengin bazı killerin kullanılmasıyla ve sıcaklıkla daha da ağır hale gelir. Çoğunlukla benzer faktörlerden dolayı daha da ciddi bir hata meydana gelir: silikat çizgileri veya lekeleri. Bu; kuruma sırasında kırılmalara yol açabilir ve her durumda, fırınlama sonrasında parça yüzeyinin homojenliğinin değişmesine neden olur (Fortuna, 2000).

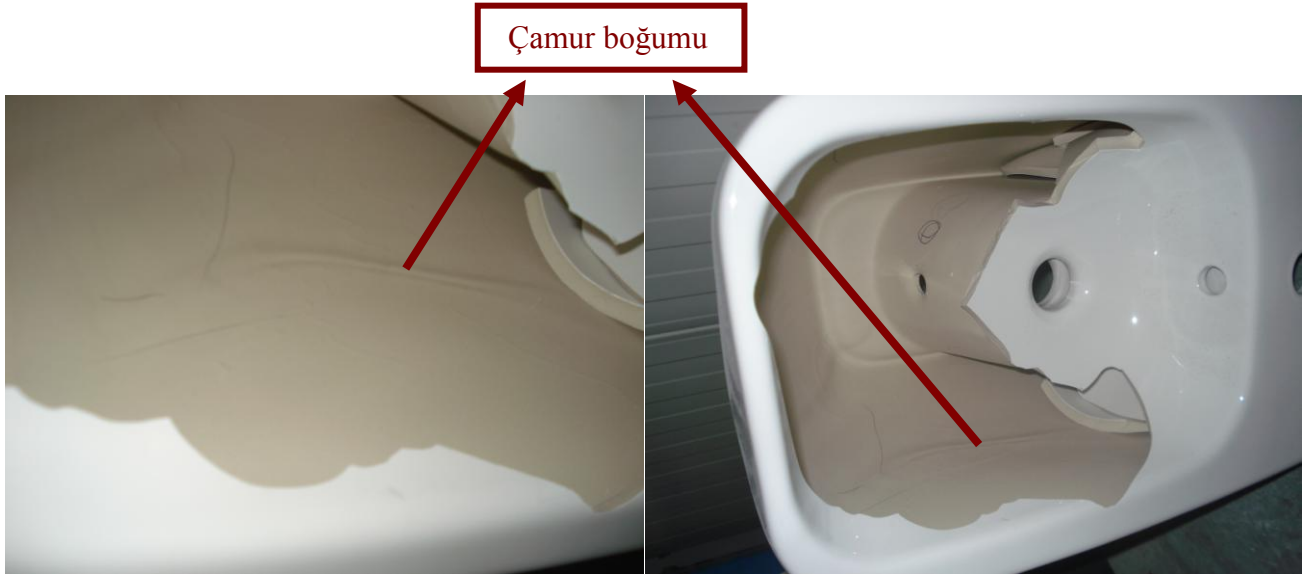
## 5. SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Seramik sağlık gereçleri üretiminde, alçı kalıba çamur dolumu sırasında sıklıkla karşılaşılan sorunları;

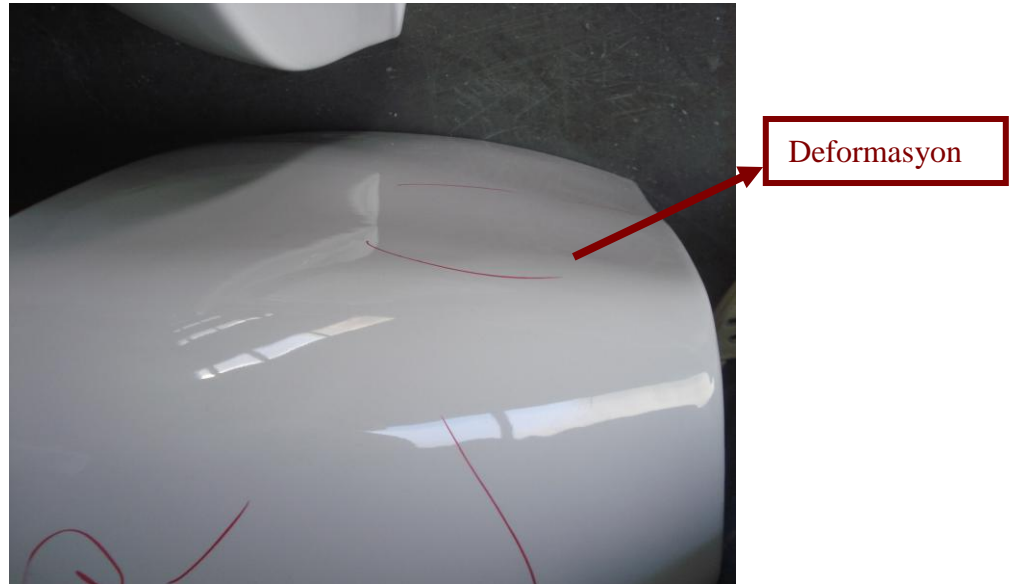
- Döküm sırasında kalıpların yanlış yerleştirilmesi,
- Kalıbı doldurmak için gerekli zamanın fazla olması (yüzey üzerinde koloidal silika birikintileri v.b.) ve
- Kalıba açılan çamur besleme kanalının yanlış yerleştirilmesi ve dolayısıyla da çamurun alçı kalıp içine yanlış akması şeklinde özetleyebiliriz.

Bunlar ve benzeri gibi sorunlar yüzünden hatalı imal edilmiş ürünler satışa sunulmamakta bu da verimlilik kaybına neden olmaktadır. Rekabetin had safhada yaşandığı günümüzde böyle bir durum imalatçı açısından arzu edilen bir durum değildir. Bu yüzden, seramik sağlık gereçleri sektöründe faaliyet gösteren işletmeler de, imalinde sorun yaşanan ürünlerinde verimlilik artışını sağlamak için detaylı incelemelere ve araştırma-geliştirme faaliyetlerine ihtiyaç duymaktadırlar.

Ürünlerin dış tasarımı pazara sunuş açısından çok önemlidir ve bir ürünün dış tasarımına müdahale edilmesi istenmemektedir. Sorun yaşanan bir ürün üzerinde çalışmanı zorlayan bu durum, çözüm yolları sayısını azaltmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, kalıba yerleştirilen besleme kanallarının yeri de oldukça önemlidir. Yani, her ürüne göre değişim gösteren çamur besleme kanallarının da kalıpta doğru yerlere yerleştirilmiş olmasının önemi yadsınamaz. Bu nedenle, ürünün iç arka kısımlarında çamur akışı için uygun alanların oluşturulması sorunlu ürünlerde verimlilik artışını sağlamada bir çözüm yolu olabilir görülmektedir. Kalıpta çamur hammadde dağılımının düzgün olmaması durumunda, çamur belli bölgelerde yoğunlaşmakta ve ürünün dış yüzeyine deformasyon olarak yansiyarak ürünün ıskarta olmasına neden olmaktadır. Şekil 5.1 ve 5.2' de böyle bir duruma ait bir ürün görülmektedir.



Şekil 5.1. Ürün iç yüzeyinde oluşan çamur boğumu



Şekil 5.2. Problemlü ürünün dış yüzeyindeki deformasyonun görünüşü

Şekil 5.1.' de iç yüzeyi, Şekil 5.2.' de dış yüzeyi ve Şekil 5.3.' de modeli görülen ürün problemlidir. Ürün verimliliği hatalardan dolayı oldukça düşüktür. Ürün, dışarı vuran deformasyondan dolayı sıklıkla ıskarta olmaktadır. Analize göre yeni bir prototip ürün geliştirilecektir.



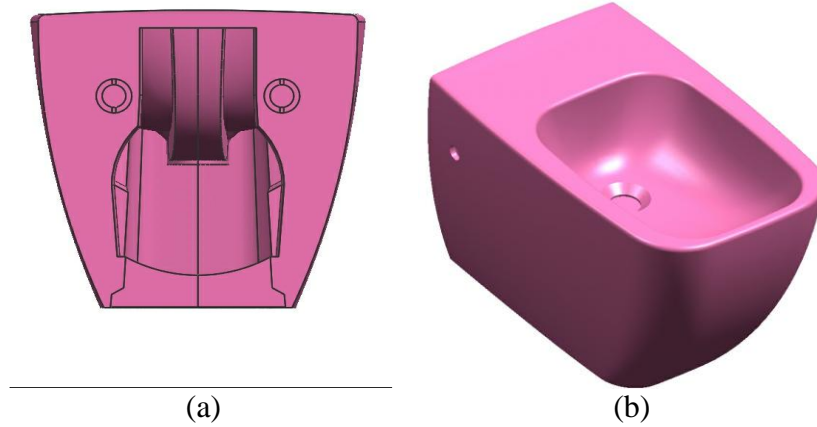
Amaç, ürün dolum optimizasyonunu sağlamak ve homojen dolum için en uygun modeli oluşturmaktır. Kalıp içerisinde homojen hammadde dağılımının sağlanması, ürünlerin mukavemet ve estetik açıdan da uygun olması için önemlidir.

Bu çalışmada, seramik bir ürünün kalıp içerisinde hammadde dolum süreci esnasındaki akışının laminar, zamana bağlı ve 3 boyutlu olarak sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri ANSYS CFX ile sayısal olarak çözülmüştür. Prototipler UG NX4 programında modellenmiş, model kalıp CNC’de işlenmiş ve her bir prototip, üretimde test edilmiştir.

## 5.1. Fiziksel Model ve Sayısal Ağ

### 5.1.1. Fiziksel model

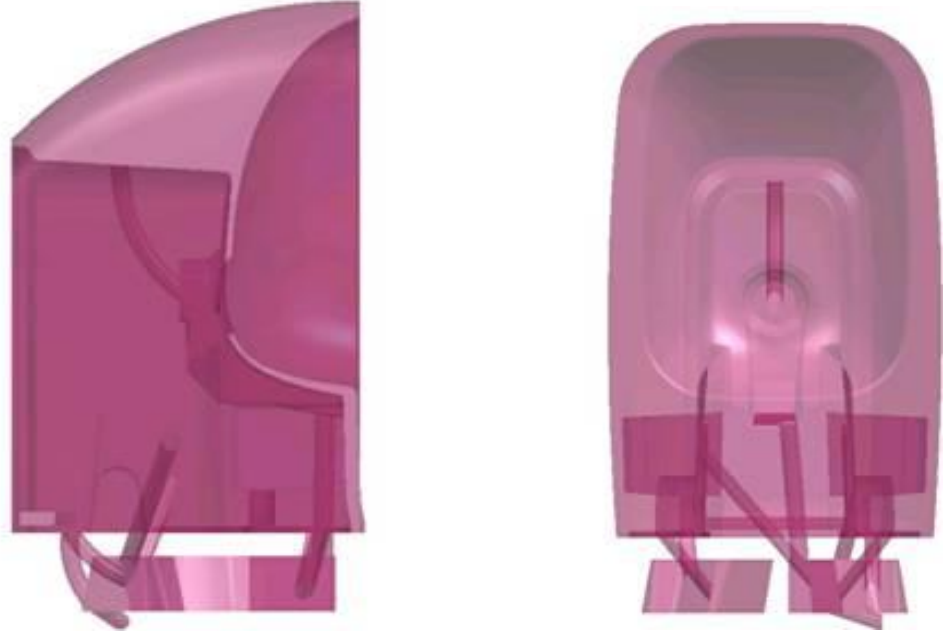
Şekil 5.3.’ de seramik sağlık gereçlerinde üretilen ve belirli bölgelerinde deformasyon gözlenen ürünün modeli görülmektedir. Modelin yüksekliği 370 mm, genişliği 400 mm ve boyu 600 mm’ dir. Model hacmi  $0.04 \text{ m}^3$ ’ dür. Uygulama örneği olarak seçilen ürünün farklı açılardan görünüşleri Şekil 5.3.’ de görülmektedir.



Şekil 5.3. Analiz edilecek ürünün 3 boyutlu (a) arkadan (b) izometrik görünüşleri

Şekil 5.4.’ de ise analiz edilecek ürünün kalıp halindeki çamur dolacak olan iç kısımları görülmektedir. Çapı 20 mm olan bir dolum borusundan dolan çamur bu 3 boyutlu model içerisinde akışını sürdürmektedir.

Girişteki çamur kalıp içerisine dolarken hava ile yer değiştirmesi ve bunun sonucunda oluşan akışın, hız ve akım çizgileri incelenecektir. Fiziksel olarak kalıp içerisinde besleme borularının yerleşimi çıkan sonuçlara göre tekrar belirlenecektir.

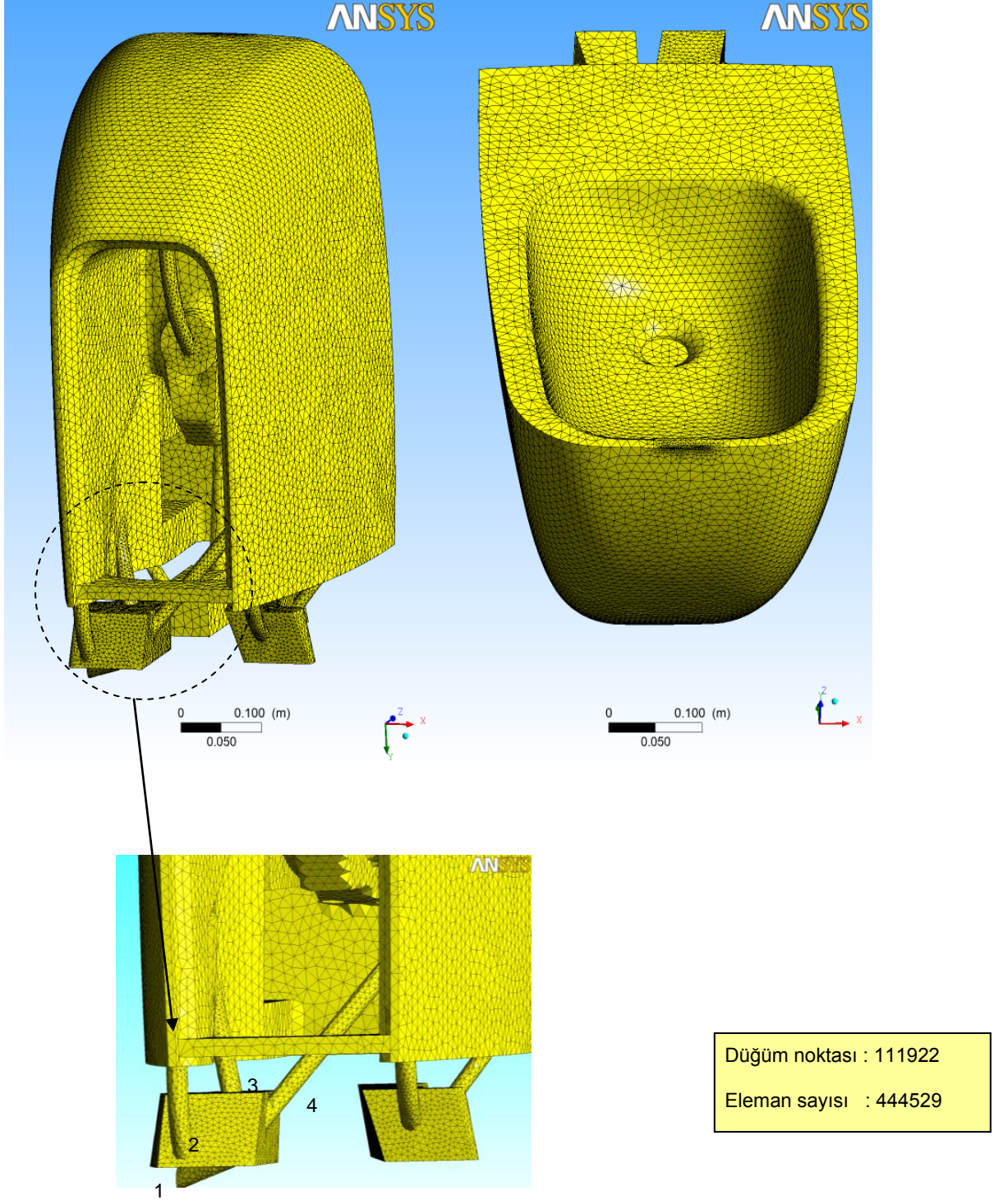


Şekil 5.4. Analiz edilecek ürünün hammadde dolum alanı

Şekil 5.3' de modeli ve Şekil 5.4' de hammadde dolu alanı görülen ürünün analiz edilmesine ve bilgisayar ortamında yapılan incelemeler sonucunda geliştirilen haliyle prototipin üretilmesine karar verilmiştir.

### 5.1.2. Sayısal ağ

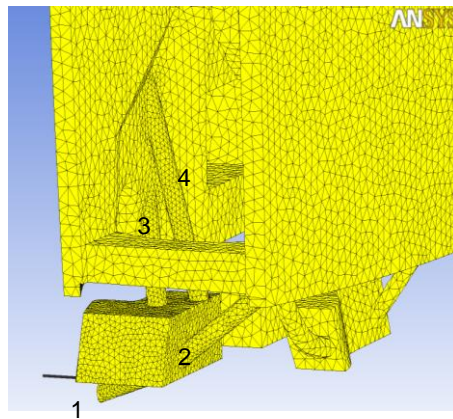
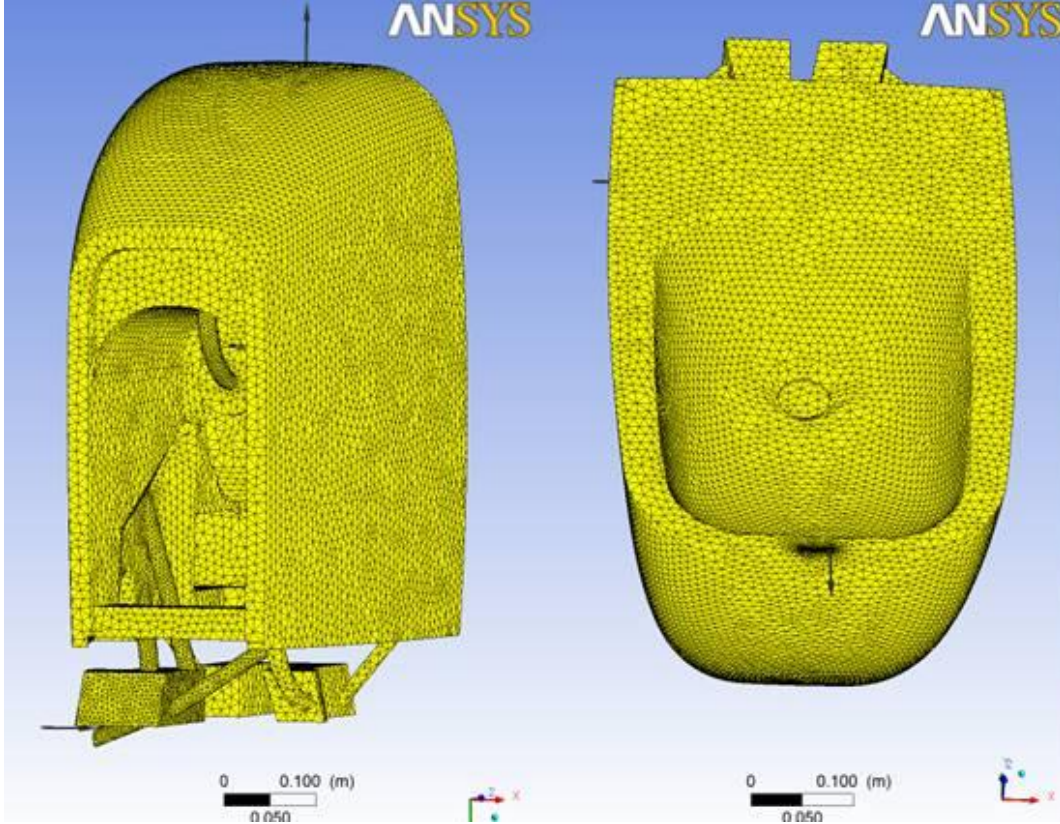
Modelimiz üç farklı şekilde analiz edilerek çözüm aranmıştır. Şekil 5.5' de görüleceği üzere dolum borusu içerisindeki çamur belirli bir hızla, 1 nolu çapı 25 mm olan borudan dolum cebine girmekte ve çapı 20 mm olan üç boruya dağılmaktadır. Diğer borular dolumla ilgili olmayıp boşaltma amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan üretim sisteminde Şekil 5.5' deki 1 nolu model üretilmekte olup, Şekil 5.1 ve 5.2' deki deformasyon, ürün verimliliğini azaltmaktadır. Meshlemenin yapıldığı modelin hacmi  $0.03722 \text{ m}^3$ ' tür.



Şekil 5.5. 1 nolu model için boyut ve mesh bilgileri

1 nolu modelde görülen deformasyondan sonra modelimizde hem boru yerlerinde hemde modelin arka görünüşünde değişiklikler yapılarak Şekil 5.6' da görülen 2 nolu

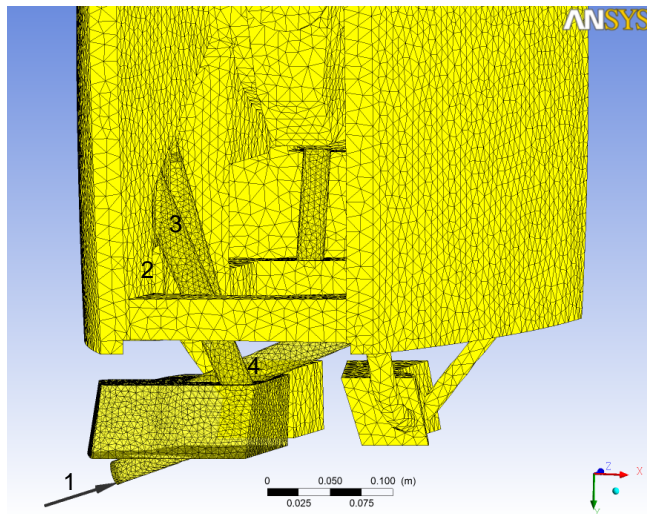
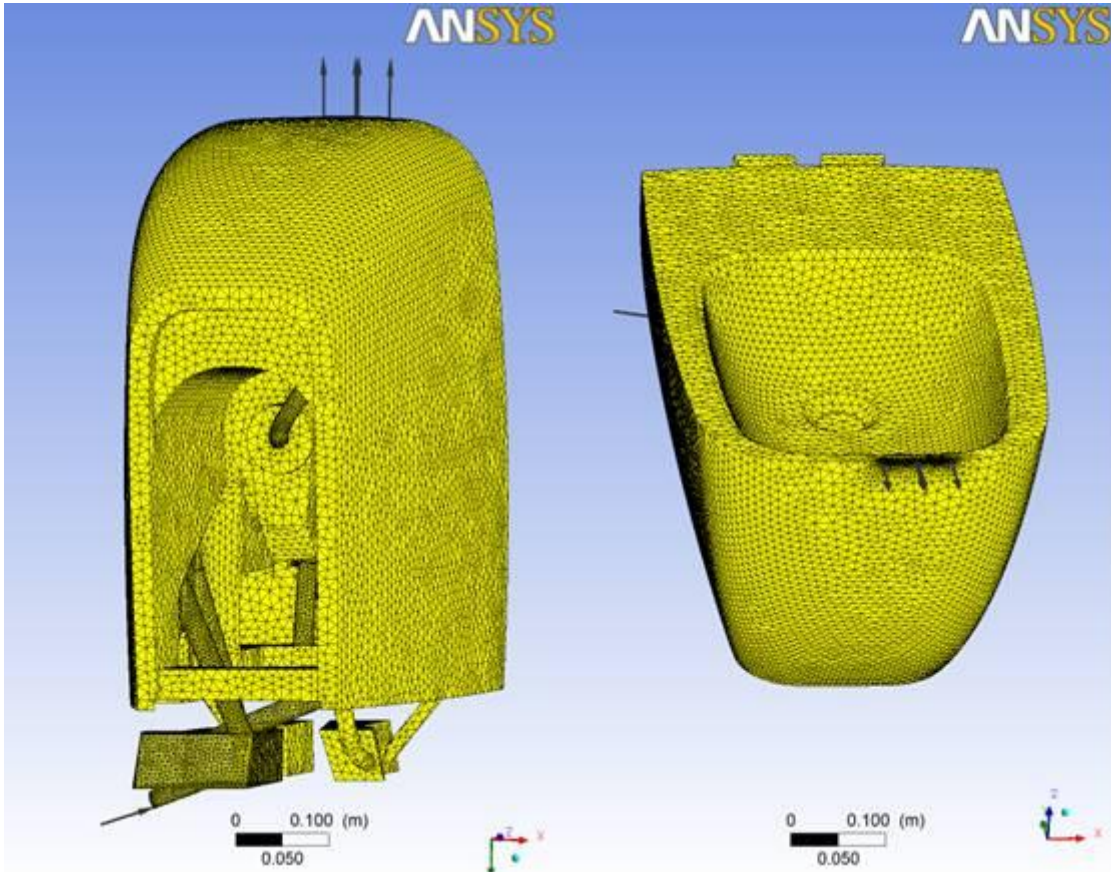
model oluşturulmuştur. 1 nolu, çapı 20 mm olan borudan dolum cebine giren çamur, üç adet çapı 20 mm olan borudan kalıp içerisine girerek dolumu sağlamaktadır. 2 nolu modelimizin hacmi  $0.0404 \text{ m}^3$  dür.



Düğüm noktası : 126747

Eleman sayısı : 526572

Şekil 5.6. 2 nolu model için boyut ve mesh bilgileri



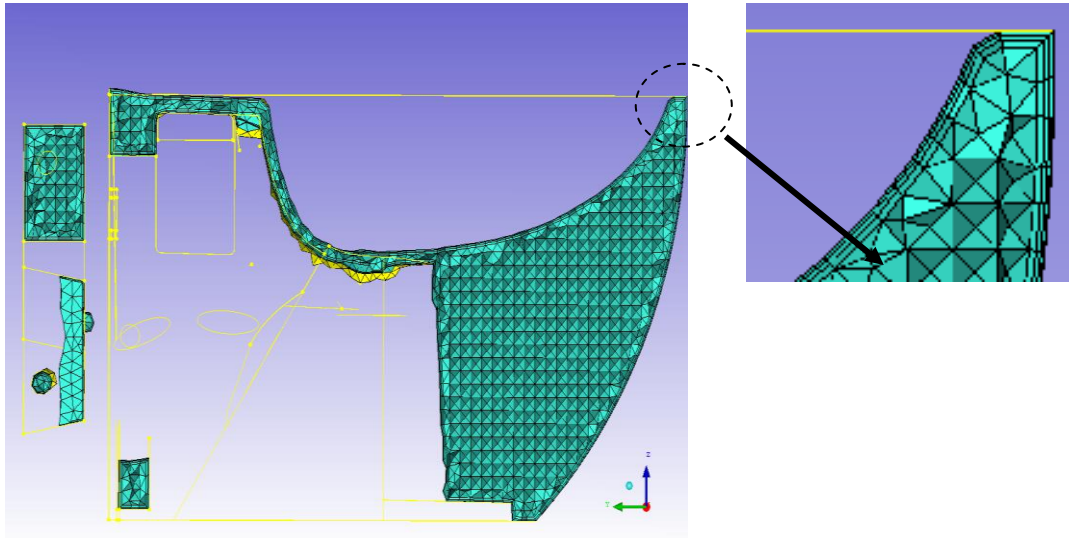
Düğüm noktası : 97563  
Eleman sayısı : 440620

Şekil 5.7 3 nolu model için boyut ve mesh bilgileri

Şekil 5.6.' da 2 nolu modelin analizinden sonra boru yerleri, çapları ve modelin

eğimi değiştirilerek Şekil 5.7.'de görülen 3' nolu model oluşturulmuştur. 1 nolu, çapı 20 mm olan borudan dolum cebine giren çamur, 1 adet çapı 20 mm ve 2 adet çapı 25 mm olan borudan kalıp içerisine girerek dolumu sağlamaktadır. Bu değişikliklerle birlikte modelimizin hacmi  $0.04068 \text{ m}^3$  olmuŐtur.

Bu çalışmada analizi yapılan 3 model de ICEM CFD programı ile meshlenmiŐtir. Hassas bölgeler daha sık meshlenerek daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalıŐılmıŐtır. Cidara yakın bölgelerde prizmatik meshleme kullanılmıştır. Bu modellerde kullanılan prizmatik elemanların ayrıntılı hali Şekil 5.8.' de görülmektedir.



Şekil 5.8. Prizmatik elemanlar

### 5.1.3. Malzeme ve sınır Şartları

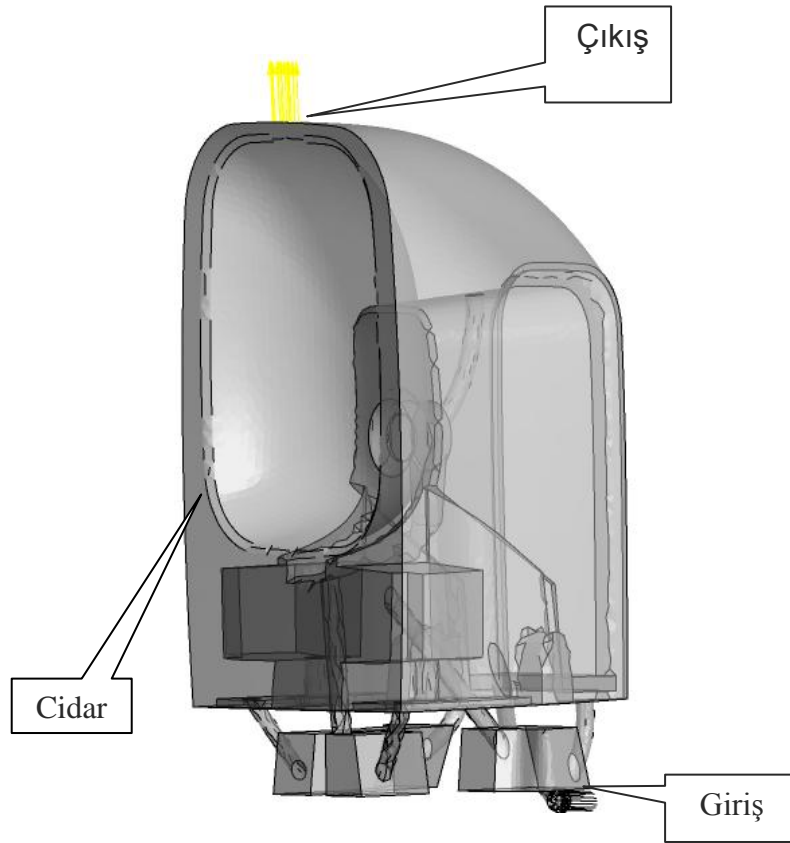
Bu çalışmada kullanılan sınır Şartları:

Cidar = Sürtünmesiz ,  $U_w = 0$

ıkıŐ = Statik Basınç = 0 Pa

Giriş = Normal hız = 0.105 m/sn

Şekil 5.9.' da ise model üzerinde sınır Şartları gösterilmiŐtir.



Şekil 5.9. Sınır şartları

Çalışmada, dolum süreci esnasındaki akışının laminar, zamana bağlı ve 3 boyutlu olarak sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri ANSYS CFX ile sayısal olarak çözülmüştür.

Multiphase akış koşullarında hava ve çamur homojen olarak çözülmüştür. Akışkan olarak kullanılan çamur bu çalışmada Newtonian akışkan olarak alınmıştır. Laminar akış koşullarında Second Order Backward Euler denklemi kullanılmıştır. Yakınsama kriteri  $10^{-4}$  olarak alınmıştır.

Kalıp içerisine hammadde dolumu 28-30 dakika arasında değişmektedir. Analiz de Intel(R) Xeon(R) 8 CPU X5450, 3 .00 GHz 32.0GB RAM bilgisayar kullanılmıştır. 0.005 sn zaman adımlarıyla ortalama 96 saat sürmüştür.

Akışkan olarak hava ve çamur kullanılmıştır. Hava ve çamurun özellikleri aşağıda verilmektedir.

Çamurun 25 °C' deki özellikleri;

$$\nu(\text{viskozite}) = 0.58 \frac{\text{kg}}{\text{msn}}$$

$$\rho(\text{yogunluk}) = 1808 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

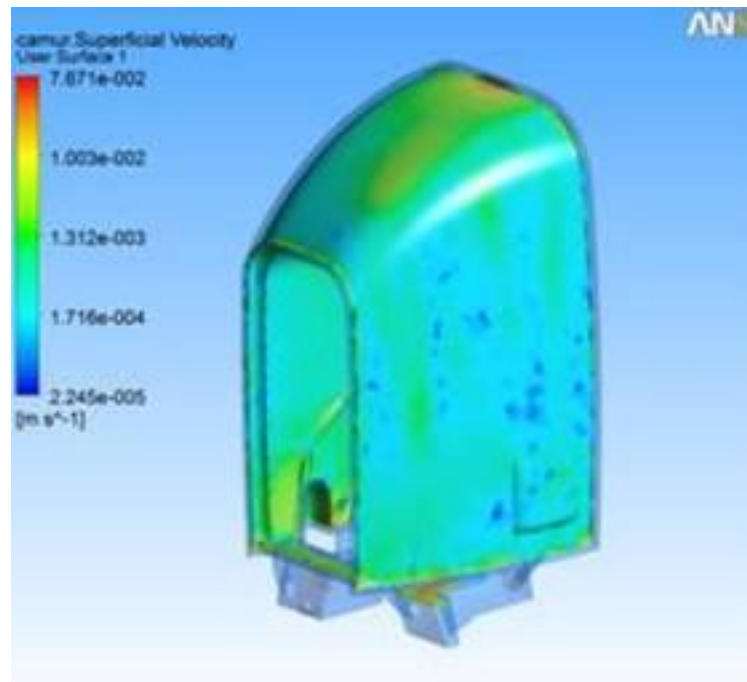
Havanın 25 °C' deki özellikleri ise;

$$\nu(\text{viskozite}) = 0.0000183 \frac{\text{kg}}{\text{msn}}$$

$$\rho(\text{yogunluk}) = 1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ şeklindedir.}$$

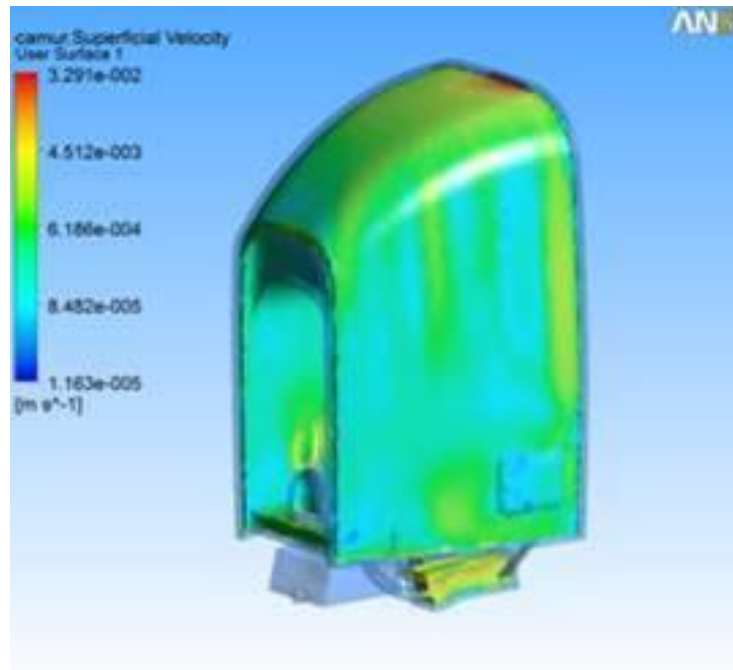
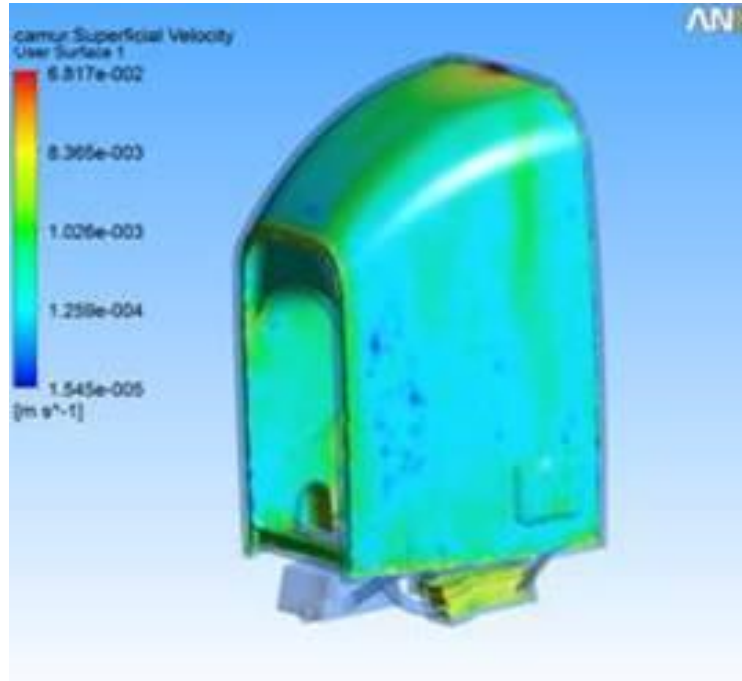
## 5.2. Bulgular ve Tartışma

Analizi yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımları incelenmiştir. Hız dağılımından deformasyon bölgeleri görülmektedir.

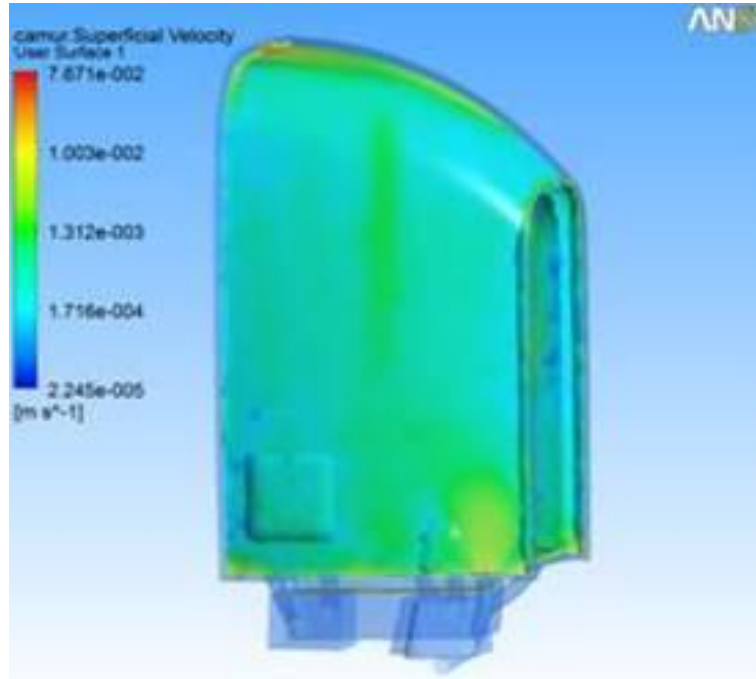


(a)

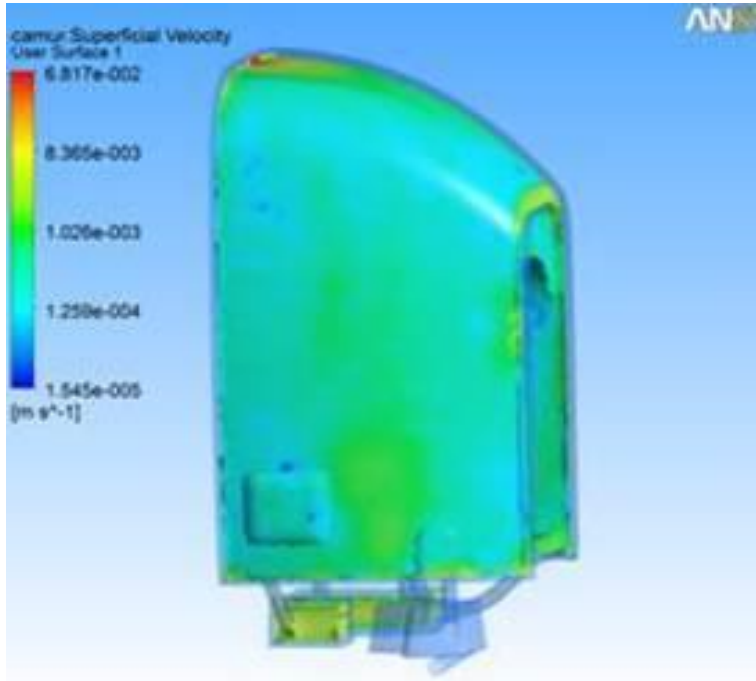




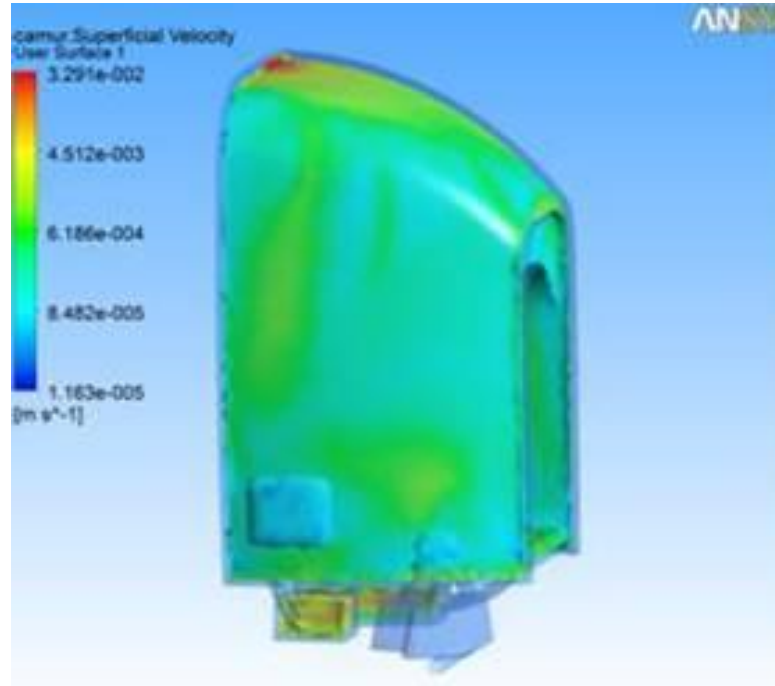
Şekil 5.10 (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin sağdan görünüşü.



(a)

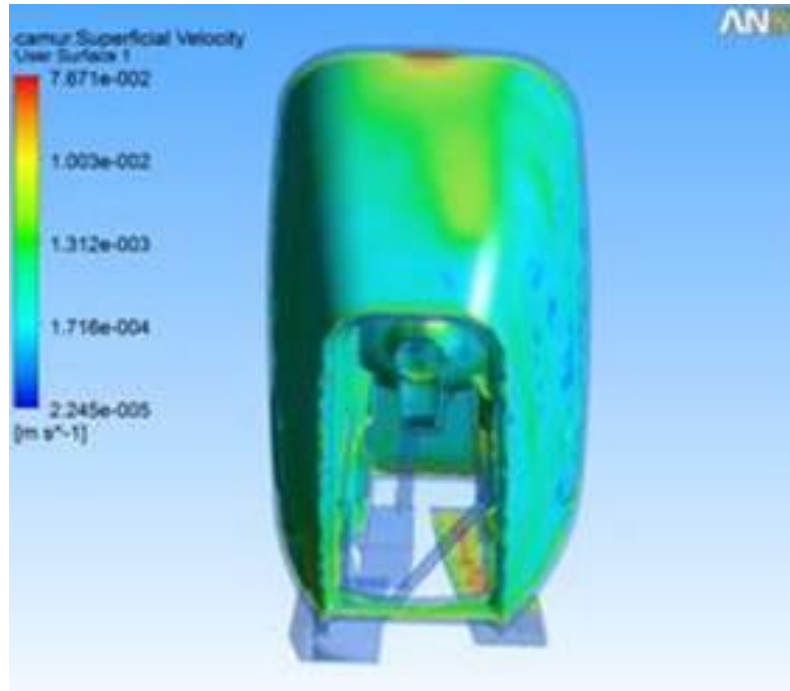


(b)

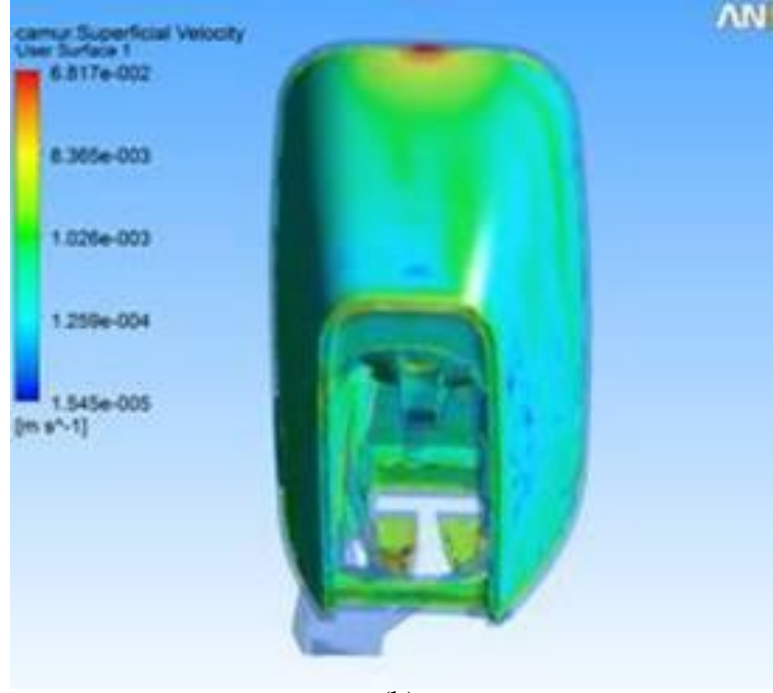


(c)

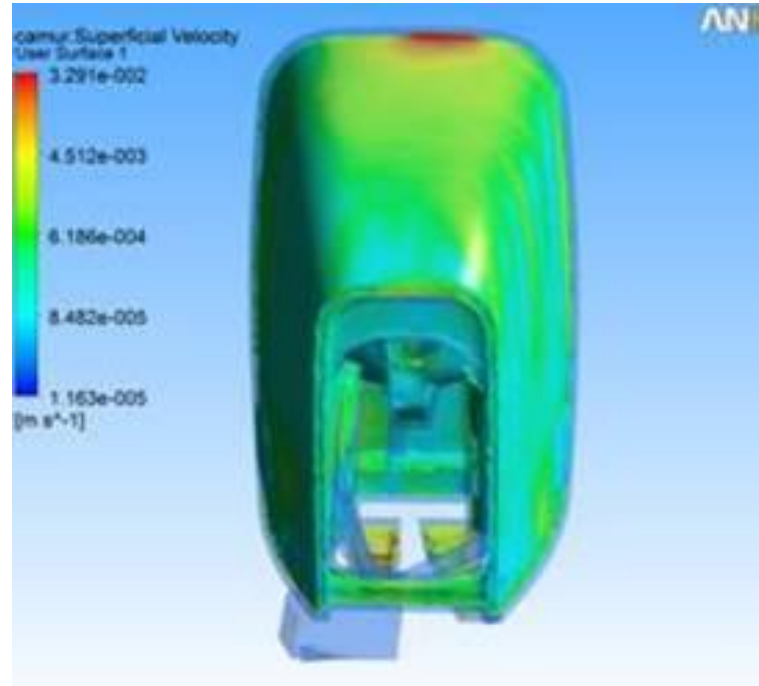
Şekil 5.11 (a,b,c) Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin soldan görünüşü.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.12. (a,b,c) Analiz yapılan 3 modelin 10 mm içeriden hız dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin arkadan görünüşü.

ANSYS CFX ile yapılan analizler sonucu elde edilen hız profillerinin çeşitli yönlerden görünüşleri Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.' de görülmektedir.

Şekil 5.10.' da belirli bir zaman sonunda 10 mm içerideki çamur hız dağılımı görülmektedir. 10 mm içeride görünüşlerin alınmasının sebebi ürünün 10 mm kalınlığı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Fiili olarak üretim göz önüne alındığında deformasyonlu bölgelerin genellikle ürünün arkadan bakıldığında sağ tarafında olduğu belirlenmiş, sol tarafında ise akışın hareketli olmasından kaynaklı karışımın iyi olması neticesinde herhangi bir deformasyona uğramadığı görülmüştür.

Şekil 5.10. (a) 1 nolu modele ait olup lokal olarak koyu mavi renkteki bölgeler buradaki hız değerinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde karışımın iyi olmadığı anlamına gelmektedir. Üretime bakıldığında bu bölgelerde deformasyon oluşumunun fazla olduğu görülmektedir. 1 nolu modelin sol görünüşüne bakıldığında ise düzgün bir hız dağılımı olduğu görülmektedir.

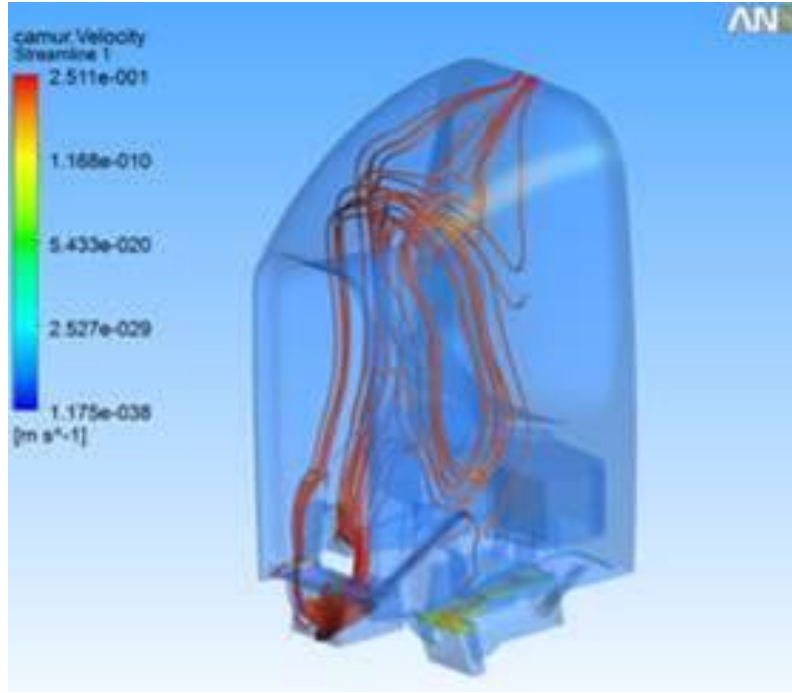
Şekil 5.10. (b)' de görülen 2 nolu model analiz edilirken 1 nolu modelden farklı olarak arka kısmı ve boru yerleri değiştirilmiştir. Analiz sonucunda koyu mavi bölgeler 1 nolu modele göre azalmıştır. Bu da karışımın 1 nolu modelden daha iyi olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 5.10. (c)' de ise ilk iki analizden elde edilen bilgiler doğrultusunda boru yerleri ve boru çapları değiştirilmiştir. Analiz sonucunda en iyi hız dağılımının ve dolayısıyla en uygun karışımın 3 nolu modelde elde edildiği görülmüştür. Hız dağılımı kendi içerisinde oldukça düzgün değişmektedir.

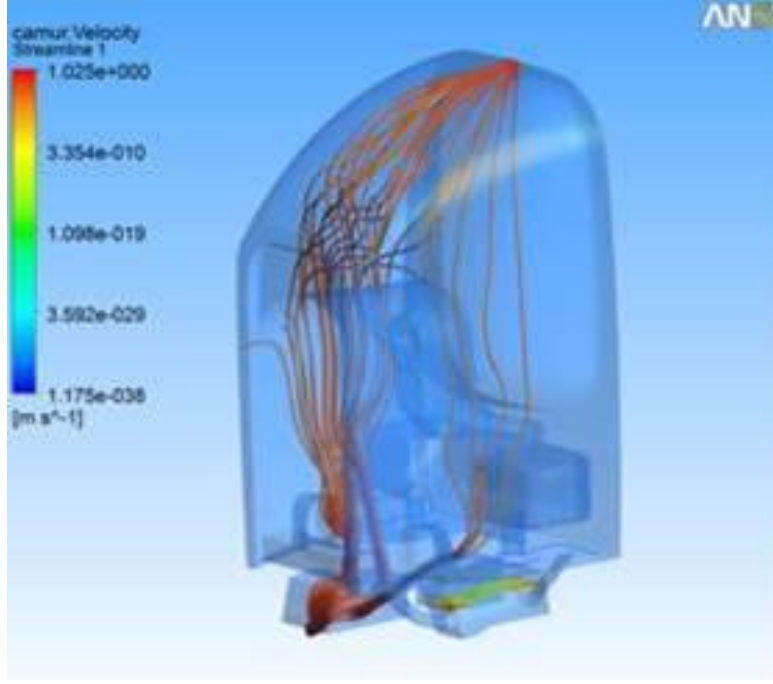
Şekil 5.11. a, b, c görünüşleri 1., 2., ve 3. nolu modellerin arkadan sol görünüşlerini göstermektedir. Bu görünüşlerden de anlaşılacağı üzere hız dağılımı düzgün olarak değişmektedir. İyi bir çamur karışımı olduğu üç şekilden de görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde fiili üretimde deformasyonun olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.12. a, b, c de ise yine üç modelin arkadan bakıldığında üst kısımlarının görünüşleri verilmektedir. Yine 1 nolu modelde görülen keskin hız değişimleri 2 ve 3 nolu modelde yerini daha düzgün değişimlere bırakmıştır. Bu üç modelde de görülen kırmızı bölgeler basınç çıkışının olduğu dolayısıyla hızın en yüksek olduğu bölgeler olarak göze çarpmaktadır.

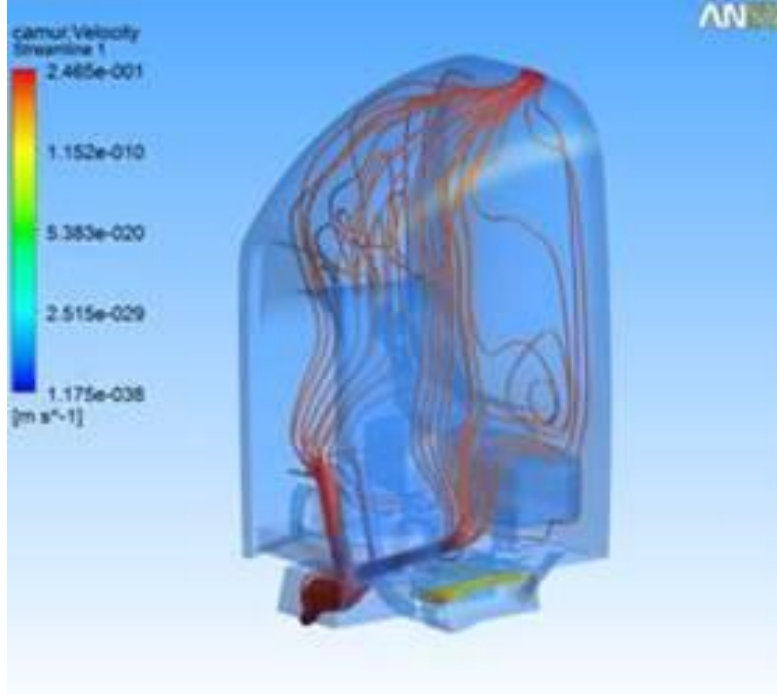
Analizi yapılan 3 modelin akım çizgileri de incelenmiştir.



(a)

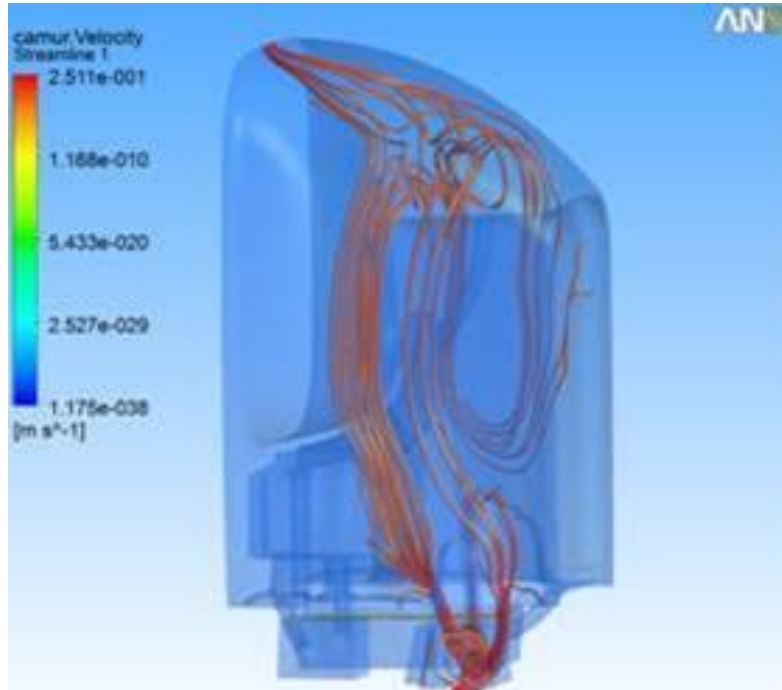


(b)

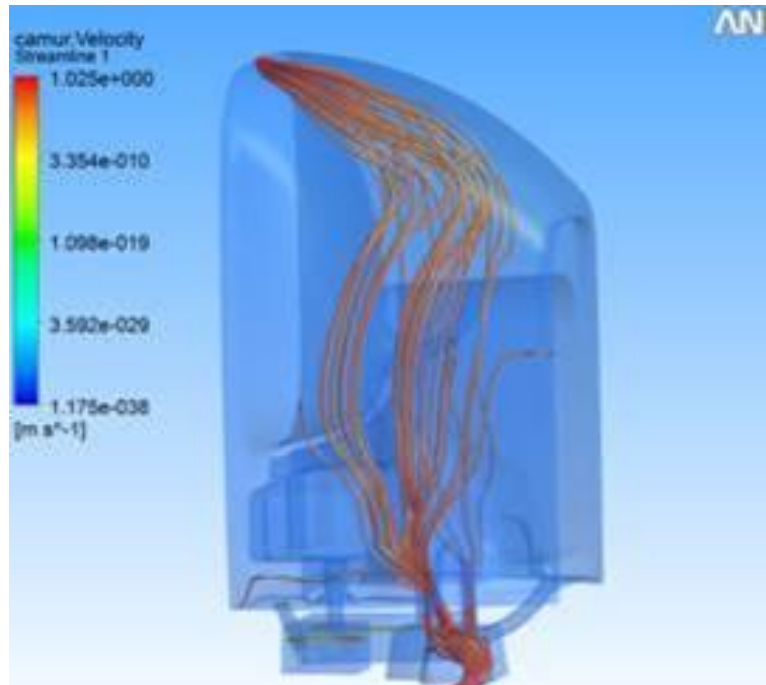


(c)

Şekil 5.13 (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin sağdan görünüşü.

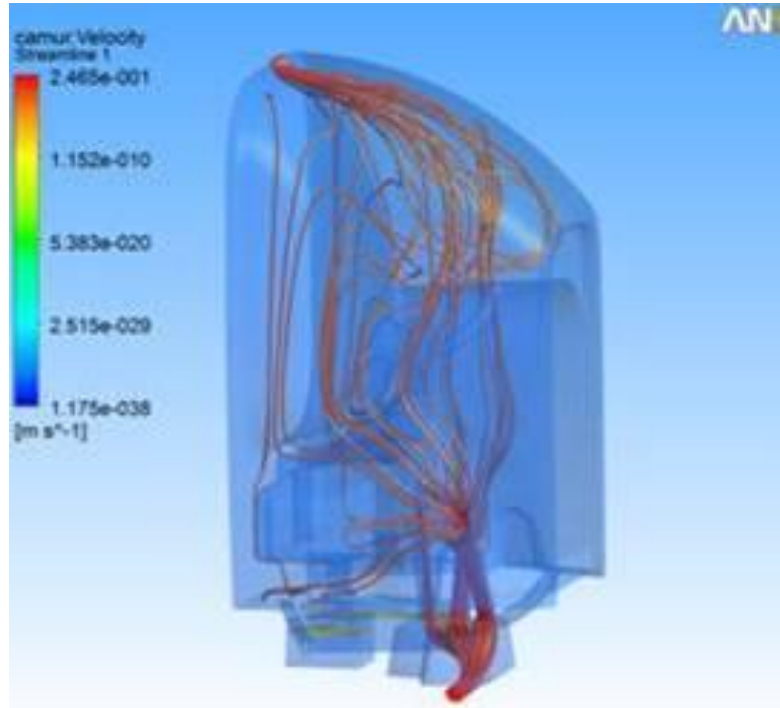


(a)



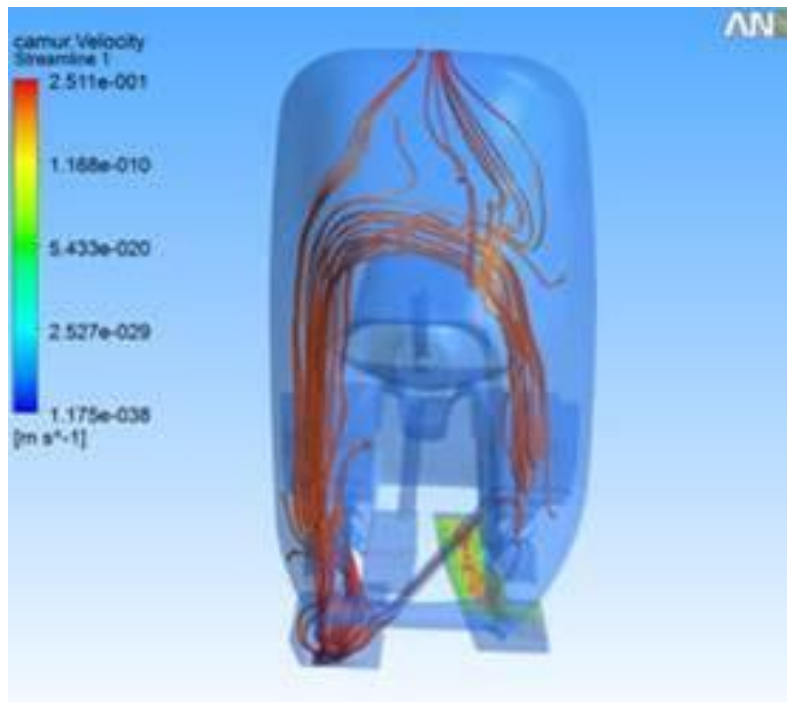
(b)



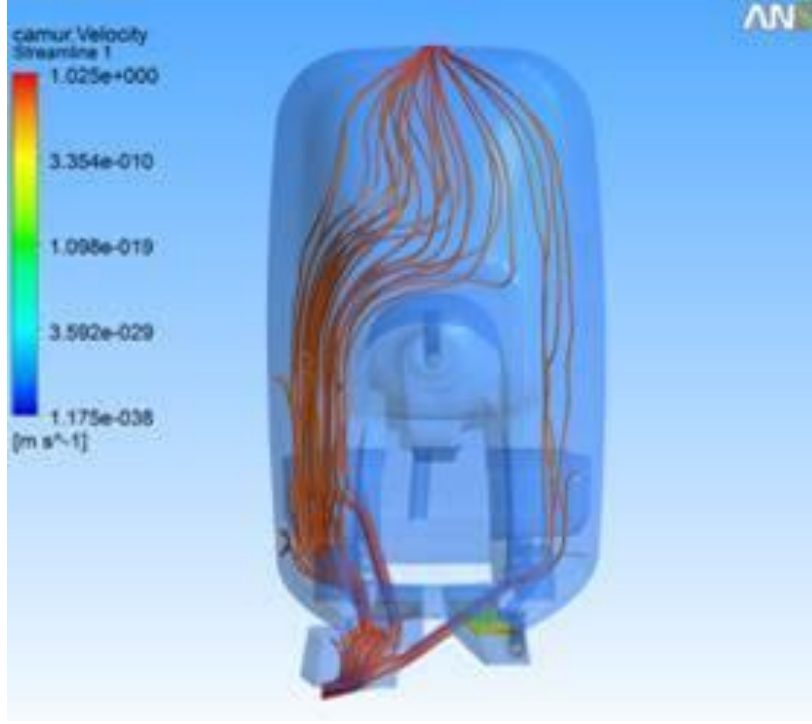


(c)

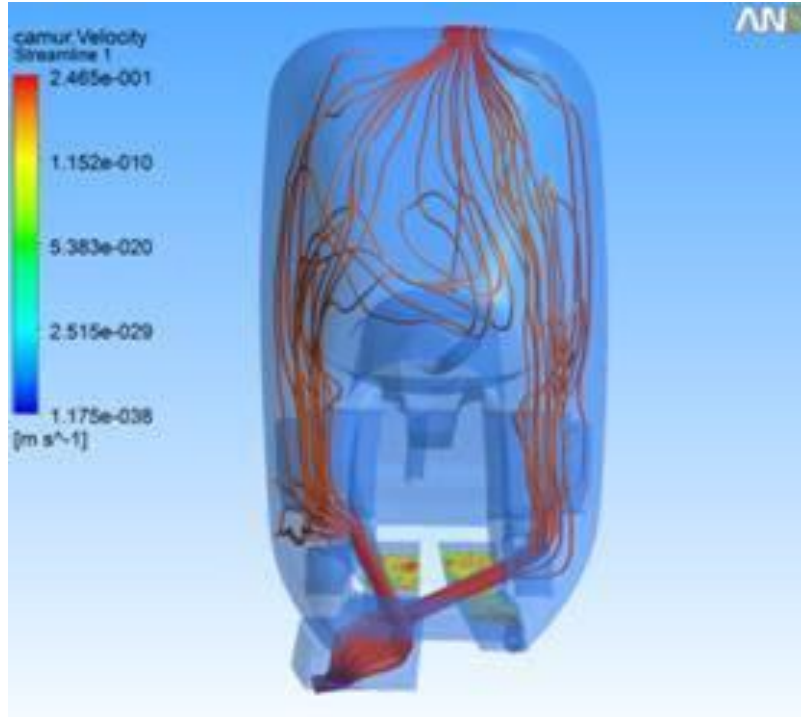
Şekil 5.14. (a,b,c). Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin soldan görünüşü.



(a)



(b)



(c)

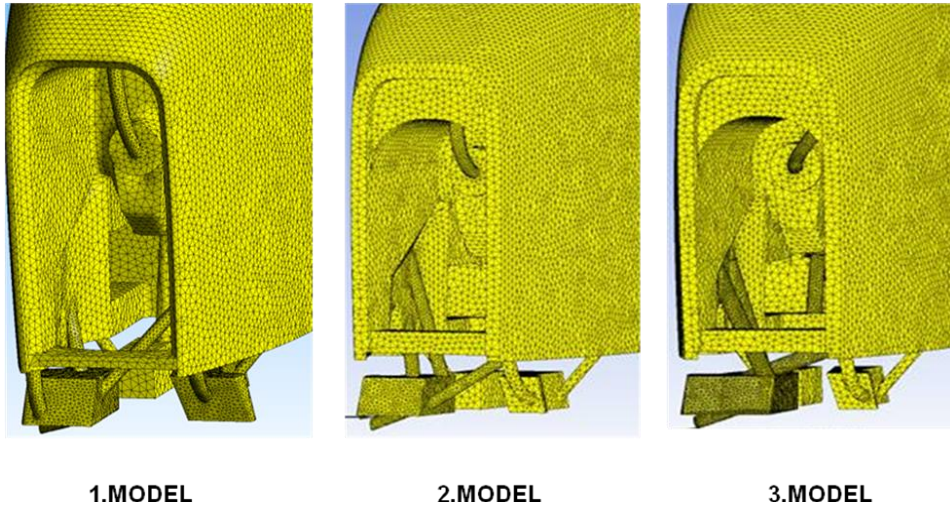
Şekil 5.15. (a,b,c) . Analiz yapılan 3 modelin akım çizgisi dağılımı; (a) 1 nolu model, (b) 2 nolu model, (c) 3 nolu modelin arkadan görünüşü

Şekil 5.13. , Şekil 5.14., ve Şekil 5.15.' de 3 farklı modelin sağdan, soldan ve arkadan görünüşleri akım çizgileriyle birlikte irdelenmiştir.

Şekil 5.13., Şekil 5.14., ve Şekil 5.15 (a)' da, 1 nolu modelin akım çizgileri görülmektedir. Akışkan 20 mm çapındaki dolun borusuyla çamur cebi diye tabir edilen bölgeye girmekte ve buradan 3 boru ile model içerisine dağılmaktadır. Burada modelin sol bölgesi çapları 20 mm olan iki boru ile sağ bölgesi ise çapı 20 mm olan borular vasıtasıyla doldurulmaktadır. Şekillerden de görüleceği üzere soldaki iki borudan gelen akışkanın akım çizgileri sağdakine göre daha etkili bir dolun sağlamıştır. Dolayısıyla sağ taraftaki borunun etkisinin bu modelde az olduğu ve karışım için yeterince verimli olmadığı gözlenmiştir.

Şekil 5.13., Şekil 5.14., ve Şekil 5.15 (b)' de 2 nolu modelin akım çizgileri görülmektedir. 1 nolu modelin analizinde elde edilen tecrübeyle 2 nolu model geliştirmiştir. Modelin arkasında ve boru yerlerinde yapılan değişikliklerle sağ taraftaki akışın daha güçlü olması sağlanmıştır. 1 nolu modele göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

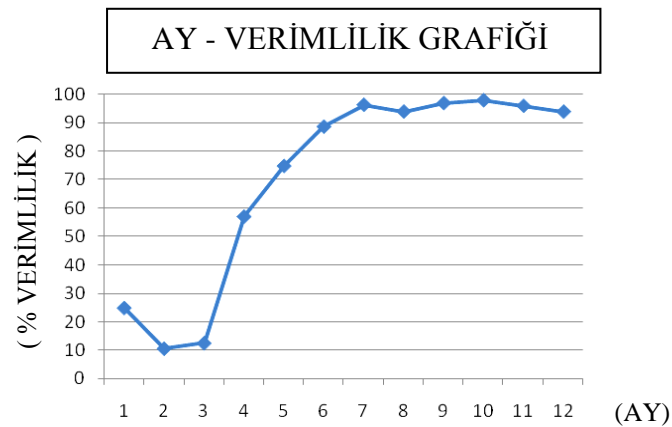
Şekil 5.13., Şekil 5.14., ve Şekil 5.15 (c)' de 1. ve 2. modelden elde edilen tecrübeyle geliştirilen 3 nolu modelin akım çizgileri görülmektedir. Dolun borusu ile çamur cebine giren akışkan, solda 1 adet 20 mm, 1 adet 25 mm çapında 2 adet boru ve sağda 1 adet 25 mm çapındaki boru ile model içerisine girmektedir. Modelin sağ tarafına yerleştirilen 25 mm çapındaki boru bu bölgedeki akışı hareketlendirerek uygun karışım oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.16 Analiz edilen prototip modeller

Şekil 5.16' da bilgisayar ortamında incelenen 3 farklı model bir arada görülmektedir. Üretimde kullanılmakta olan 1 nolu modele alternatif olarak geliştirilen ve daha yüksek ürün verimliliğine sahip olacağı düşünülen 2 ve 3 nolu modellerin prototiplerinin yapılmasına karar verilmiştir. CNC' de alçı bloklara işlenen bu prototip modellerle gerçek uygulama koşullarında elde eilecek ürünlerin kalitesi anlaşılacaktır. Prototiplerden yapılan deneme üretimleri sonunda, bilgisayar ortamında en iyi sonuç elde edilen 3 numaralı modelden yine en iyi sonuç elde edilmiştir. Sürdürülen denemeler sonunda elde edilen yüksek ürün verimliliği neticesinde 3 numaralı model üretime bandına adapte edilmiştir. Tablo 5.1'de 3 numaralı modelin üretime adaptasyonu sonrasındaki üretim verimliliği görülmektedir.

Tablo 5.1. 3' nolu modelin üretime adaptasyonundan sonraki üretim verimliliği



## 6. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Seramik sağlık gereçlerinde fonksiyonellik ve kalite kadar tasarım da oldukça önemlidir. Ürünün dış tasarımı, ürünü cazip kılan ve pazardaki rekabet şansını arttıran önemli bir unsurdur. Ürün tasarımına müdahale etmeden, verimli üretimi sağlamak ise bazı tasarımlar ve modeller için oldukça zordur. Bu yüzden, ürün daha tasarım aşamasında iken bilgisayar ortamında CAD, CAM ve HAD yazılımları ile yapılacak olan sayısal incelemeler ve iyileştirmeler büyük önem taşımaktadır.

Hızla gelişen seramik sağlık gereçleri sektöründe, formlar daha büyük ve kompleks şekillere doğru yönelmektedir. Bu nedenle, çamur bileşim yerlerinde oluşan izler, çamur boşaltma hataları ve yarı mamül yumuşaklığına bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar üretimde sınırlayıcı olumsuz özellikler haline gelmektedir. Ürünün mekaniksel özelliklerinin iyileştirilmesi sırasında döküm özelliklerinin bozulabileceği gerçeği optimum koşulların belirlenmesi sonucunu doğurmaktadır.

Bu çalışmada, ele alınan sorunlu ürünün, kalıp içerisindeki çamur dağılımının mümkün olduğunca homojen olması amaçlanmış ve bu amaca uygun çözümler, incelemeler yapılmıştır. Bilgisayar ortamında ANSYS CFX ile yapılan analizler sonucunda geliştirilen 3 nolu modeldeki iyileştirmelerin en optimum sonuçları verdiği belirlenmiştir. 3 nolu modelin hız dağılımları incelendiğinde, modelin hem sağ tarafı hem de sol tarafında uygun hız dağılımlarının olduğu gözlenmiştir. Bu da, homojen bir karışım sağlandığı için deformasyonun olumlu yönde etkileneceği sonucunu doğurmuştur.

Bilgisayar ortamında yürütülen analizler sonunda 3 nolu modelin prototipinin üretilmesine karar verilmiştir. Bu prototip ile üretilen numunelerde de beklenen başarılar elde edilince bilgisayar ortamında gerekli iyileştirmelerin yapılmış olduğu 3 nolu model üretim hatlarına uyarlanmıştır. Fiili olarak üretime alınmış olan modelin verimliliği de ilk haline göre oldukça yüksektir. Ürün verimliliğinde yaklaşık dokuz katlık artış elde edilmiştir.

Sonuç olarak, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları ile bir seramik sağlık gereçleri üretiminde kalıp doldurma sürecinin sayısal olarak analizinin mümkün olduğu anlaşılmıştır. Uygulama örneği olarak belirlenen sorunlu üründe yapılan tasarımsal iyileştirmeler sayesinde üretim verimliliğinde ciddi bir artışın sağlanmış olması, HAD yazılımlarının bu tip uygulamalarda da başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

Tasarım sürecini kısaltması, prototip maliyetlerini düşürmesi ve ürünün üretim verimliliğini yükselterek küresel rekabet ortamında avantaj yaratması gibi kazanımlar, bilgisayar ortamındaki sayısal incelemelerin önemini ortaya koymaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda, farklı uygulama örnekleri seçilebilir, tasarımın ilk aşamalarında HAD programları daha efektif kullanılabilir ve ürün geliştirme prosesinin bir adımı olarak kabul edilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arcasoy, A., 1983, Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi yayın no: 457
- Anonim, Bozüyük Anadolu Seramik Meslek Lisesi Kaynak Arşivi ,2010
- Dunstan, H., May 1999, "Prediction and Optimization of a Ceramic Casting Process Using A Hierarchical Hybrid System of Neural Networks and Fuzzy Logic" ,Auburn University, AL 36849-5346 USA
- Ehrlich, J. ; "Method For Handling Cast Articles" Winbrook China,Inc.,Santa Monica , Jan.26,1970 , Ser.No.5,536
- Fortuna , D., 2000, Ceramic Technology Sanitaryware
- Göğüş, N., 2004, Çinicilik ve Seramik Teknolojisi, Ankara,
- Gökkaya F., 2007, Vitrifiye Üretiminde kullanılan Kalıplama Sistemleri,İzmir,Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Hauswurz , Kc, 1994, "Pressure Casting in Sanitaryware Production-Trand- Senttarfor Structural Change" Intercarem. S.43.Baskı.No:3
- İhtisas Komisyon Raporu, 2007, Seramik Kaplama Malzemeleri, Seramik Sağlık Gereçleri, Teknik Seramik . Devlet Planlama Teşkilatı
- Inax Corporation ,Tokoname, Japan,1987 , United States Patent, Fumihiko Aoyama , Kazushige Murata , both of Tokoname ; Masahiro Hayasi , Nogoya,all of Japan , Aparatus For Obtaining Drain-Cast Hollow Articles For Ceramic Ware,Patent Number: 4,664,610

**KAYNAKLAR DİZİNİ(DEVAMI)**

Industrial ceramics ,1984; Felix Singer dr ing. , dr phil M.I.Chem.E.,F.I. Ceram. And  
Sonja S. SingernM.A.,B.Sc.

Juckel , R, February 28, 2003 ;" Successful Slip Casting"

Kimberly L. Petri and Alice E. Smith, "A Hierarchical Fuzzy Model for Predicting  
Casting Time in a Slip-Casting Process", Department of Industrial  
Engineering , University of Pittsburgh , Pittsburgh, PA 15261

MEGEP , 2007 " Seramik ve Cam Teknolojisi", "Döküm Yolu İle Şekillendirme",  
Ankara

Plowman, John.The Manual of Sculpture TechnıQues, London, 2004

Sümer G., 1994, Endüstriyel Seramikler, Cilt 1,2,3

Swedish Ceramic Institute (SCI),May 2003 , Slip Casting and Pressure Slip Casting –  
Forming of Complex Shapes

Toto Ltd , Fukuoka-ken,Japan, 1997, United States Patent, Mamoru Eto,Masaharu  
Yasui,Hidetoshi Ohtani ,Taicichi Asa,Aparatus and Method For Slip  
Casting,Patent Number :5,611,980

Anonim, 2010, [www.turkseramik.com](http://www.turkseramik.com)

Twyford , August 2005 , Vitreous China Sanitaryware Production

Yongheng Z., Jon Binner, 2002, " Enhanced casting rate by dynamic heating during  
slip casting " Journal of the European Ceramic Society 22:135–142



