

Yüksek Fonksiyonel Verim için Sifon-Hazne Tasarımlarının Hesaplamalı  
Akışkanlar Dinamiği ile Çözümlemesi

Sefa Manav

**DOKTORA TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2015

Analysis of Syphon And Bowl Designs with Computational Fluid Dynamics to  
Achieve High Functional Efficiency

Sefa Manav

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Mechanical Engineering

January 2015

Yüksek Fonksiyonel Verim için Sifon-Hazne Tasarımlarının Hesaplamalı Akışkanlar  
Dinamiği ile Çözümlemesi

Sefa MANAV

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

Bu Tez Bilim Sanayii ve Teknoloji bakanlığı tarafından \ 01215.STZ-2012-1 \ no' lu  
SAN-TEZ projesi çerçevesinde desteklenmiştir.

Ocak 2015

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Sefa MANAV'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “ Yüksek Fonksiyonel Verim için Sifon-Hazne Tasarımlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Çözömlenmesi ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**Üye** : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

**Üye** : Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN

**Üye** : Doç. Dr. Necati MAHİR

**Üye** : Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

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

Prof. Dr. Hürriyet ERŐAHAN

Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yüksek fonksiyonel verim için Sifon ve Hazne Tasarımlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Çözümlemesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 02/002/2015

Sefa MANAV

İmza

## ÖZET

Su kanalsız klozetler, tasarımsal ve hijyenik açıdan kanalsız yapıları sebebiyle Dünyada seramik sağlık gereçleri alanında önemli bir yer sahiptir. Bu çalışmada, kanalsız klozetlere farklı bir bakış açısından bakılarak hem en iyi fonksiyon yapan hem de estetik bir teknolojik ürün tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu tasarımı oluştururken, amaç suyun klozet içindeki hareketi ile klozet haznesini temizleyecek bir etkiye sahip olması hem de piyasadaki kanalsız klozetlere karşı fark yaratması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, ANSYS CFX ticari yazılım kullanılmıştır. Yazılım ile suyun hazne içinde izlediği yolu önemli ölçüde etkileyen geometrik hazne yapısı, suyun hazneye önden veya arkadan girişine olanak sağlayan çeşitli tasarımların simülasyonu yapılmıştır. Sayısal simülasyonlar sonucunda temiz suyun hazneye önden verilmesine olanak sağlayan tasarımın geliştirilmesine karar verilmiştir. Bu bağlamda, önden-temizlemeli kanalsız klozetlerin prototip imalatları yapılarak deneysel performans testlerine tabi tutulmuştur. Analizler sonunda geliştirilen klozet hazne yapısı ile üretilen prototip ürünün fonksiyon test verileri kıyaslanmıştır. Standard fonksiyon testlerinde yıkama alanı olarak üstten 85 mm'nin aşağısında kalan yüzeyi yıkamak zorunludur. Yanlardan gelen suyun etki alanı genişletilerek, suyun hazne içerisindeki dağılımı artırılmıştır. Piyasada mevcut klozetler 6 L ile yıkama yapmaktadır; ancak bu çalışmada tasarlanan prototipler 4 L ile fonksiyon testlerinde başarılı olmuştur. Bu şekilde su kullanımında % 35 tasarruf sağlanmaktadır. Gerek analizlerde ve gerekse fonksiyon testlerde hazne içerisindeki temizliğin standartların oldukça üstünde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan test ve analizlerde prototip tasarımın % 95 daha hijyen olduğu bağımsız kurumlardan alınan rapor ile teşhis ve tespit edilmiştir. İlk prototiplerden elde edilen tecrübeler doğrultusunda son prototip ürün tasarlanmış ve imal edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Kanalsız Klozet, ANSYS CFX, Çok Fazlı Akış

## SUMMARY

Rimless toilet bowls have an important place in Ceramic Sanitary Wares from the design and hygienic point of view due to their rimless structure. In this study, rimless toilet bowl design point of view is focused on best functionality, aesthetic and technologic design. While designing, the purpose is, cleaning the bowl and making a difference with respect to the rimless toilet bowls in the market with path motion of water in the bowl. In this study, a commercial software ANSYS CFX is used. Using this software, the numerical simulations that are carried out investigated the effect of the geometrical bowl structure on water path for different designs that lets the water into the bowl from the front or the rear of the bowl. As a result of the simulations, the design that lets the water into the bowl from the front is chosen to be developed. Concordantly, front-water-fed rimless test-toilet prototype production is produced and it was put into experimental performance tests. The functional test data of the prototype which bowl geometry is designed as a result of these analysis are compared. In standart functional tests, it is necessary to clean the bowl surface up to 85 mm below from the top rim. By developing the effect area of water through the sides, the dispersion of water in the bowl is enhanced. The bowls in the market clean with 6 L water, however, the prototypes that are developed in this study succeed with 4 L water in functional tests. In this way the saving in water usage of about % 35 is achieved. In the analysis and functional tests it was observed that bowl cleaning achieved is quite high than the normal standart bowls. With the reports from independent institutions, it has been identified and determined that prototype design is % 95 more hygienic. The last prototype is designed and produced with the knowledge gained from the experimental and numerical analysis of the preliminary prototypes.

**Keywords:** Rimless Toilet, ANSYS CFX, Multiphase Flow

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez alıőmalarında, bana danıőmanlık ederek yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Sayın Prof. Dr. Zekeriya ALTA'a, yöneticilerim Sn. S. Vedat SARIGÖL ve Sn. Hatice TÜRKÖZ' e ve deneysel çalışmalarda bana yardımcı olan Sn. Sinan İPEK' e, ayrıca her türlü desteğini benden esirgemeyen eőim Demet MANAV'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Literatür Araştırması .....	3
<b>2. TEORİK AÇIKLAMA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Navier - Stokes Denklemleri Üzerinde Türbülansın Etkileri .....	7
2.2. Standart $k-\varepsilon$ Türbülans Modeli .....	12
2.3. $K$ Ortalama Kinetik Enerji Akışı için Yönetici Denklemleri .....	15
2.4. $k$ Türbülans Kinetik Enerji için Yönetici Denklemleri .....	16
2.5. $k - \varepsilon$ Türbülans Model Denklemleri .....	17
2.6. $k - \varepsilon$ Denkleminde Sınır Şartları .....	20
2.7. Çok Fazlı Akışlar için Hareket Denklemleri .....	23
2.8. Akışkan Hacimleri Yöntemi .....	24
2.9. Sonlu Hacimler Yöntemi .....	25
2.9.1. İki-boyutlu difüzyon problemleri için sonlu hacimler yöntemi .....	28
2.9.2. Üç-boyutlu difüzyon problemleri için sonlu hacimler yöntemi .....	31
<b>3. VİTRİFİYE ÜRÜNLERİN ÜRETİM SÜRECİ</b> .....	<b>34</b>

**İÇİNDEKİLER (devam)****Sayfa**

<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>43</b>
4.1. Fonksiyon testleri .....	44
4.1.1. Talaş Testi .....	45
4.1.2. Bilya Testi .....	46
4.1.3. Kağıt Testi.....	46
4.1.4. Su Sıçratma Testi .....	47
4.1.5. Son Su Testi .....	47
4.2. Deneysel Düzenek .....	48
<b>5. SERAMİK MODEL TASARIMI: SAYISAL SİMÜLASYONLAR.....</b>	<b>51</b>
5.1. Öne Çıkan Tasarımlar .....	51
5.2. Sayısal Simülasyon ve Sayısal Ağ.....	57
5.2.1. ANSYS CFX .....	57
5.2.2. Sayısal Ağ.....	58
5.2.3. Sınır Şartları.....	59
<b>6. ANALİZ ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>61</b>
6.1 Ön Prototip Ürün Çalışması .....	61
6.2. Son Prototip Ürünün Analiz çalışmaları .....	74
<b>7. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>78</b>
<b>8. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>83</b>

<b>EK AÇIKLAMALAR .....</b>	<b>85</b>
Ek Açıklamalar - A .....	85
Ek Açıklamalar - B .....	87
Ek Açıklamalar - C .....	94
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>97</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>101</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Kanallı klozetler .....	3
2.1 Türbülanslı akımda ortalama hızın tespiti .....	8
2.2 Çok fazlı akışlar .....	23
2.3 Akışkan hacminin ağ üzerindeki dağılımı .....	24
2.4 Hesaplamalı kontrol hacmi .....	26
2.5 İki Boyutlu ağ yapısı .....	28
2.6 Üç Boyutlu ağ yapısı .....	31
3.1 Vitrifiye sektöründe üretim süreci .....	34
3.2 Bilgisayar ortamında çizilmiş 3 boyutlu ürün çizimi .....	35
3.3 Belli bir oranda büyütülmüş a ) model, b) nihai ürün karşılaştırması.).....	35
3.4 CAD ortamında oluşturulmuş Model kalıbın parçaları a)Arka Parça, b) Ceket Parça, c) Dip Parça, d) Yan Gövde Parça, e) Kapak Parça, f) Model Kalıbın izometrik Görünüşü .....	36
3.5 a) Model kalıp parçalarının işlendiği CNC Tezgahı b) Alçı blok içerisinde işlenen kalıp parçası .....	37
3.6 a) Kalıbın alçı yan ve dip parça parçası, b) Alçı kapak parça , c) Kalıbın üretime bağlanan bitmiş hali. ....	38
3.7 Mekanize döküm Tezgahı. ....	39
3.8 Mekanize Tezgahda Dökülen Yaş Yarı Mamül . ....	39
3.9 Kurutma Fırının Görünüşü Kurutma Fırının Görünüşü. ....	40
3.10 Sırlama Robotu ile Klozetin Sırlanma İşlemi .....	41
3.11 Fırın Çıkışı Vagon Üzerindeki Ürünler. ....	41
3.12 Kalite Ayırım İşlemi. ....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Breuckman Smart Scan Optik Tarama Cihazı.....	49
4.2 Projede kullanılan Rapid Form programına ait örnek..	50
5.1 1. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (1) .....	52
5.2 2. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (2) .....	52
5.3 3. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (3) .....	53
5.4 İlk prototip yıkama sisteminin değişik görünüşleri a) Su dağıtıcı b) Suyu klozetin iç kısmından öne doğru taşıyan gizli iç kanal, c) Yıkama ve fonksiyonu yapan iç hazne kısmıdır..	55
5.5 TS EN 997 standardına göre kanalsız klozetlerde talaş yıkama alanı.....	56
5.6 Çalışmada kullanılan modellerin meshlenmesi, a) İzometrik görünüşü, b) Yandan kesit görünüşü , c) Önden kesit görünüşü. ....	58
5.7 Model üzerinde sınır şartları.....	59
6.1 İlk prototip yıkama sisteminin 3 boyutlu görünüşleri a) Yanda görünüş b) Üstten Görünüş, c) Arkadan Görünüş d) İzometrik Görünüş.....	61
6.2 İlk prototip dağıtıcı sisteminin görünüşü.....	62
6.3 $\emptyset 13 \times (36 \times 18) \times \emptyset 13$ mm ebatlarındaki hazne için gizli su kanalına rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği.....	62
6.4 $\emptyset 13 \times (36 \times 18) \times \emptyset 13$ delik detaylarında ki ürünün analiz sonucu a) $t = 0$ sn, b) $t = 2$ s, c) $t = 4$ s, d) $t = 6$ s, e) $t = 8$ s, f) $t = 11$ s' de de hazne içindeki suyun hareketi.....	63
6.5 Değişik Dağıtıcı formları için Fonksiyon testleri a) $\emptyset 13 \times (36 \times 18) \times \emptyset 13$ için delik detayı; b) $\emptyset 8 \times (36 \times 16) \times \emptyset 8$ için delik detayı; c) $(23 \times 15) \times (38 \times 15) \times (23 \times 15)$ için delik detayı; d) $\emptyset 12 \times (35 \times 16) \times \emptyset 12$ için delik detayı.....	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.6 İlk prototip ürün hazne formunda alçı ile yapılan değişiklikler .....	67
6.7 İlk prototip ürün hazne formundaki değişikliğin optik tarama cihazı ile bilgisayar ortamına aktarılması.....	67
6.8 Son prototip ürün hazne formunun 2 boyutlu görünüşleri a) Üstten görünüşü, b) Yandan görünüşü, c) Arkadan görünüşü.....	68
6.9 İlk prototip ürün ile son prototip ürünün hazne formunun karşılaştırılması, a) Üstten görünüş karşılaştırması, b) Yandan görünüş karşılaştırması, c) Arkadan görünüş karşılaştırması.....	70
6.10 İlk prototip ürün ile son prototip ürünün belirli kesitlerde matematiksel olarak mukayesesi, a) Son prototipin üzerinde kesitlerin üstten gösterilmesi b) F-F kesitinde, c) 200 mm kesitte, d) 300 mm kesitte, e) 400 mm kesitte ilk ve son prototip haznenin mukayesesi. ....	72
6.11 Son prototip ürünün yıkama haznesinin 3 boyutlu tasarımı a) Yandan Görünüşü, b) Önden Görünüşü, c) İzometrik Görünüşü.....	74
6.12 Son prototipe ait $\emptyset 16 \times (\emptyset 5) \times \emptyset 16$ delik detayına sahip dağıtıcı sistem yapısı ..	75
6.13 $\emptyset 16 \times \emptyset 5 \times \emptyset 16$ mm ebatlarındaki hazne için gizli su kanalına rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği.....	76
6.14 $\emptyset 16 \times (\emptyset 5) \times \emptyset 16$ delik detaylarında ki ürünün analiz sonucu a) $t = 0$ s, b) $t = 2$ s, c) $t = 3$ s, d) $t = 4$ s, e) $t = 6$ s, f) $t = 10$ s' de hazne içindeki suyun hareketi . .....	77
7.1 Değişik Dağıtıcı formları için 3.5 s' deki akışın analiz sonuçları a) $\emptyset 6 \times (100 \times 12) \times \emptyset 6$ için delik detayı; b) $\emptyset 16 \times (50 \times 13) \times \emptyset 16$ için delik detayı; c) $\emptyset 16 \times (\emptyset 20) \times \emptyset 16$ için delik detayı; d) $\emptyset 13 \times (36 \times 16) \times \emptyset 13$ için delik detayı e) $\emptyset 13 \times (\emptyset 3) \times \emptyset 13$ için delik detayı f) $\emptyset 16 \times (\emptyset 5) \times \emptyset 16$ için delik detayı .....	81
8.1 Üretimi yapılacak son ürüne ait görsel resimler .....	83

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.1 Seramik sağlık gereçlerine ilişkin genel standartlar (Gökkaya,2007) .....	43
4.2 Montaj Yüksekliğine Bağlı Olarak Su Akım Değerleri .....	44
4.3 Türkiye (TSE) standartlarına göre klozetlerde yıkama test metodları .....	44
4.4 Avrupa standartlarına göre klozetlerde yıkama test metodları .....	45
5.1 Hava ve suyun 22°C'deki termofiziksel özellikleri .....	60
6.1 EN 997 ye göre İlk Prototip için 4 L' de Değişik Dağıtıcı formlarında Fonksiyon Testleri .....	66
7.1. EN 997 ye göre Son Prototip ürün için 4 L' de Değişik Dağıtıcı formları için Fonksiyon Testleri.....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$C_p$	Sabit basınçta spesifik ısı
G	Difüzivite terimi
$K$	Ortalama türbülans kinetik enerji ( $m^2.s^{-2}$ )
$k$	Türbülans kinetik enerji ( $m^2.s^{-2}$ )
k	Ani kinetik enerji ( $m^2.s^{-2}$ )
$e_{ij}$	Deformasyon oranı
$\dot{m}_{giris}$	Girişteki kütleli debi ( $kg.s^{-1}$ )
$\dot{m}_{cikis}$	Çıkıştaki kütleli debi ( $kg.s^{-1}$ )
P	Basınç ( $N.m^{-2}$ )
$\bar{P}$	Ortalama basınç ( $N.m^{-2}$ )
$P'$	Basınç salınımı ( $N.m^{-2}$ )
$q_w$	Duvar ısı akısı ( $W.m^{-1}$ )
Re	Reynolds sayısı
T	Periyod (s)
$T_w$	Duvar sıcaklığı (K)
$u$	x yönündeki akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$\bar{u}$	x yönündeki ortalama akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$u'$	x yönündeki hız salınımı ( $m.s^{-1}$ )
$v$	y yönündeki akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$\bar{v}$	y yönündeki ortalama akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$v'$	y yönündeki hız salınımı ( $m.s^{-1}$ )
V	Bileşke hız ( $m.s^{-1}$ )
$w$	z yönündeki akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$\bar{w}$	z yönündeki ortalama akım hızı ( $m.s^{-1}$ )
$w'$	z yönündeki hız salınımı ( $m.s^{-1}$ )



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
X	x doğrultusunda etkiyen kütleli kuvvet ( $\text{kg.m.s}^{-2}$ )
Y	y doğrultusunda etkiyen kütleli kuvvet ( $\text{kg.m.s}^{-2}$ )
Z	z doğrultusunda etkiyen kütleli kuvvet ( $\text{kg.m.s}^{-2}$ )
$\delta_{ij}$	Kronecker delta
$\varepsilon$	Türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı
$\kappa$	Von Karman sabiti
$\mu_t$	Türbülans viskozite ( $\text{N.s.m}^2$ )
$\nu_t$	Türbülans kinematik viskozitesi ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ )
$\rho$	Yoğunluk ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
$\sigma_{T,t}$	Türbülans Prandtl Sayısı
$\tau_{ij}$	Kayma gerilmesi ( $\text{N.m}^{-2}$ )

## **Kısaltmalar** **Açıklama**

CFD	Computational Fluid Dynamics
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
VOF	Akışkan Hacimleri Yöntemi
STL	Standart Tessellation Language

## 1. GİRİŞ

Seramik sektörünün seramik kaplama sektöründen sonra ikinci büyük alt sektörü seramik sağlık gereçleri sektörüdür. Günümüzde dünyanın en önemli seramik sağlık gereçleri üreticisi ülkeleri arasında yer alan Türkiye’de, bu alanda dokuz büyük, otuz beş kadar da küçük ölçekli firma faaliyet göstermektedir. Sektörün önde gelen firmalarından biri olan Eczacıbaşı (VITRA) A.Ş. aynı zamanda dünyanın en büyük üretici firmaları arasında yer almaktadır. Eczacıbaşı 4 milyon parça/yıllık kapasitesi ile dünyanın tek çatı altında üretim yapan en büyük fabrikasıdır.

Türkiye’de 1960 yılında 200 bin adet olan seramik sağlık gereçleri üretim kapasitesi 2004 yılına kadar geçen 45 yıl içinde yılda 18 milyona ulaşmıştır. Türkiye, kapasitede yaşanan artışa paralel olarak 2004 yılında elde ettiği yıllık 12 milyon parçalık üretim miktarıyla Avrupa’nın en büyük seramik sağlık gereçleri üreticisi konumuna gelmiştir. Türk seramik sağlık gereçleri sektörü son on yılda elde ettiği gelişmeyle ayrıca Avrupa’nın en fazla ihracat yapan ülkesi konumuna gelmiştir. Türkiye’nin en önemli ihracat pazarları AB ülkeleri olup, En fazla ihracat gerçekleştirilen ülkeler ise İngiltere, Almanya, Bulgaristan, İspanya, ABD’dir (Kafalı, 2005).

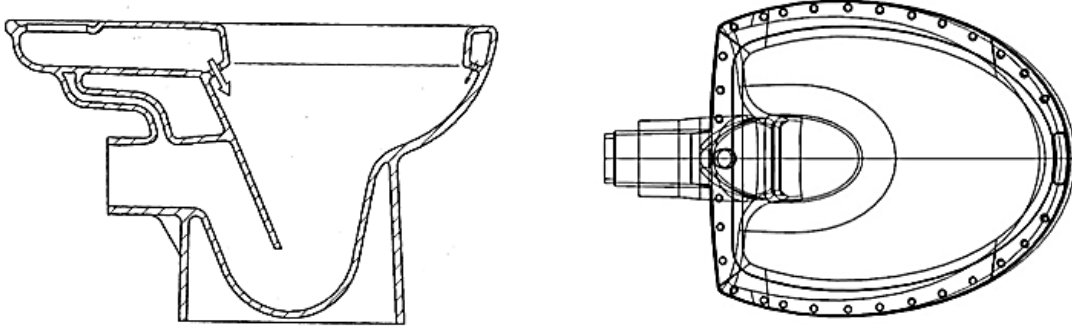
Emek yoğun bir sektör olan seramik sektöründe standart ürün kalitesini sağlamak oldukça zordur. Seramik sektöründe kalıp içerisinde homojen hammadde dağılımının sağlanması, ürünlerin mukavemet ve estetik açıdan uygun olması için önemlidir. Büyük bir hızla gelişen seramik sağlık sektöründe, formlar daha büyük ve karmaşık şekillere doğru yönelmektedir. Bu nedenle çamur bileşim yerlerinde oluşan izler, çamur boşaltma hataları ve yarı mamul yumuşaklığına bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar üretimde sınırlayıcı olumsuz özellikler haline gelmektedir. 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. Bu nedenle prosesler geliştirilmiş, otomasyonlar arttırılmıştır.

Tasarım prosesi ve devreye alma prosesi en önemli adımlardan bir kaçıdır. Her farklı tasarım için deformasyonlar ve fonksiyon test aşamaları farklılık gösterebilir. Bunların önceden tespit edilerek ANSYS CFX gibi analiz programlarıyla simülasyonun yapılması, ürün devreye alma süresini kısaltmak için çok önemlidir. Bu çalışmada klozetlerde akış simülasyonu yaparak, daha bilgisayarda modelleme aşamasında tasarımlara fonksiyon testleri bağlamında müdahale ederek gerekli fonksiyonelliği sağlamak ve tasarım sürecini kısaltmak amaçlanmaktadır.

Bu amacı gerçekleştirmek için hem üretim aşamasında hem de ürünlerin kullanımı esnasında minimum kaynak tüketilmesi, üretim ve tasarım süreçlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle, estetik ve teknolojik olduğu kadar, suyun daha tasarruflu kullanılmasını sağlayan ürünleri geliştirmek için fonksiyonel anlamda karşılaştığımız zorluklara çözüm bulabilmek en önemli görevler arasında kabul edilmiştir. Bu bağlamda, yeni tasarlanan hazne ve sifon tasarımlarıyla en iyi fonksiyon testleri iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ürünün kullanım kolaylığı, yüksek hijyen sağlanması ve kolay üretilebilirliği başlıca tasarım kısıtlarını oluşturmaktadır. Bu sebeple ANSYS CFX programı ile sayısal akışkanlar dinamiği çözümlenmeleri yapılmıştır.

## 1.1. Literatür Araştırması

Doğal ihtiyaçlarımızı giderdiğimiz ortak kullanım alanlarındaki klozetlerde ortaya çok ciddi hijyen sorunları çıkabilmektedir. Mevcut vitrifiye ürünlerinin büyük bir kısmı kanallı olarak tabir edilen; klozet hazne yıkamasının, iç haznenin üstüne açılan değişik ölçü ve çaplardaki deliklerden sağlandığı klasik sistem yıkama sistemleridir (Şekil 1.1). Fakat bu deliklerden yıkama yapılması esnasında gerek kullanım gerekse temizlik sırasında hijyen açısından olumsuzluklar görülmektedir.



Şekil 1.1. Kanallı klozetler

Dünyada Seramik sağlık gereçlerinde rakip firmalarca üretilen performansı, tasarımı ve kullanım kolaylığı ile ön plana çıkan birçok ürün bulunmaktadır. Bu firmaların 4 L ve daha az su ile fonksiyon testleri yapan yeni tasarımlar üzerinde çalıştıkları bilinmektedir. Fakat henüz 4 L ile, “rimless” diye tabir edilen kasnaksız-kanalsız klozetlerde fonksiyon testi yapılan uluslararası standartlara uygun ürün bulunmamaktadır. Projede 4 ve 6 L su ile kanalsız olarak fonksiyon test yapan ve hijyeni ön planda tutan ürünün geliştirilmesi planlanmaktadır. Bunun içinde en önemli kısıtlamamız uygun hazne ve sifon yapısının geliştirilmiş olmasıdır.

Kanallı olan veya kanallı olmayan klozetlerin hazne yapılarıyla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Jaekels vd. (1994) tarafından yapılan çalışma klozette kullanılan suyu azaltmak için yapılan bir tasarımıdır. Temiz su tankından gelen su klozete kasnak (ring) içerisinden gelir. Kasnak içerisinde 23 adet değişik ebatlarda delikler mevcuttur. Bunlardan 19 adedi ufak delikler olup, 4 adedi ise önde bulunan daha büyük deliklerdir. Suyun bir

kısmı 19 adet küçük delikten dökülerek öne doğru ilerler, büyük bir kısmı ise öndeki 4 delikten hazneye girer ve asıl yıkamayı bu öndeki 4 delik yapar. Sağdan ve soldan gelen suyun ortada çarpışıp hız kaybetmelerini engellemek için ortaya bir set konulmuştur. Sağ-soldan gelen suyun ortada direkt şelale oluşturması sağlanmıştır.

Ichiki vd. (2011), tasarımı kanalsız klozet yapısında iki türlü akışın olduğu hazne formu incelemiştir Birinci akış direkt haznedeki gelen akış, ikinci akış ana tanktan gelen ve içten dolaşım itkiyi yapan akıştır. İçten gelen akış hem yandan, hem de klozetin önünden olmak üzere 2 farklı yapıda incelenmiştir. Birinci akış, etkisi zayıf olup hazneyi yıkamak için kullanılmaktadır. Hazne formu da bu yıkamayı sağlayacak şekilde değişik formda tasarlanmıştır. İkinci akış, asıl atıkların atılmasını sağlayan içten açılmış olan kanallardan olmaktadır. Bir nevi su jeti sağlamaktadır ve atıklar ile direkt temas ederek, kolayca atılmalarını sağlamaktadır. Bu da fonksiyonel anlamda daha az su ile yıkama yapılmasına olanak sağlamaktadır. Suyun aktığı iç hazne yüzeyi, akıştan maksimum verimi almak için tasarlanmıştır.

Bayot (1997) tasarımı kapalı ringli, deliklerden gelen su ve yıkama performansını artırmak için girdap oluşturarak yıkama yapma prensibindedir. Yıkama su haznesindeki sudan bağımsız hale getirilerek, klozet içerisine açılan 3/4, 5/8 ve 7/32 inçlik deliklerden gelen su ile yapılmaktadır. Su, iki koldan, ring içerisinden geçerek klozetin önüne doğru ilerler ve bir taraf öndeki deliklerden hazneye ilerlerken bir kısmının önündeki setten dolayı daha geç hazneye girer. Bu da girdap oluşmasına neden olur. Girdap saat yönü ile aynı yönde oluşmaktadır.

Nakamura vd. (2010) kombi klozet için ringsiz yapıyı incelemiş, su jetli sistem tasarlamıştır. Suyun hazneye tek delik den girdiği sistemin patenti alınmıştır. Suyun hareketini yönlendiren içyapılar incelenmiştir. Değişik hazne tasarımları yapılmış ve patenti alınmıştır. Kanalsız klozet haznesi temiz su bir taraftan direkt hazneye girmektedir, diğer taraftan U şeklindeki delikten geçerek yıkama yapılmaktadır. Su birinci bölgede çok diğer bölgeden (u) daha az gelmektedir. Her iki bölgedeki toplam su miktarı en azından 1 L'nin altında olmamalıdır. Su jetinden gelen suyun miktarı üstte ringi yıkayan su miktarından oldukça çok olmalıdır. Ringi yıkayan su miktarı 1.3 ise su jeti 5.3 arasındadır. Üstteki U şeklindeki su akış bölgesi drenajı kolaylaştırmak ve arka kısımları temizlemek için tasarlanmıştır.

Nakamura vd. (2000) tasarımı, iç hazne, kasnak iç yapısı ve suyun izlediği yol için çeşitli uygulamaları incelenmiştir. Temiz su hazneye iki adet karşılıklı delikten girmektedir. Ortadaki temiz su giriş deliği incelenmiştir ve 18 nolu iç kısma baskı yaptırılmıştır. Su jetli sistem incelenmiştir. Temiz su geliş yolu değiştirilmiş ve su jetli sistemle birlikte kullanılmıştır. Pis su gideri öne alınmış ve su jeti direkt pis su çıkış deliğine yönlendirilmiştir. Hazne yapısı değişik eğim ve yapılar için geliştirilmiştir. Seramik ürün üzerinde su jetli ve su jetsiz sistemler çalışılmıştır. Su jetli sistem de atık suyun çıktığı sifon tasarımına yönelik değişik alternatifler sunulmuştur.

Cadavid vd. (2010) tarafından Amerikan klozet hazne yapısı incelenmiştir. Temiz suyun haznedan geçip geldiği sifon bölgesi değişik alternatifler ile su jetli, kanallı ve kanal içindeki değişik delik yapılarının sisteme etkisi incelenmiştir. Amerikan klozetlerde su jetli sistemler için sifon tasarımları yapılmıştır.

Yuhua vd. (2011), Amerikan klozet sisteminde temiz suyun sisteme girdiği dairenin çapı ve atık suyun çıktığı bölümün çapı ile hazne içindeki akışın hareketini incelemiştir. Kanallı klozetler üzerine delinen deliklerin ve su jetinin, kanal yapısına, akışa etkileri incelenmiştir.

Pearson (2009), kanalsız klozet haznesi ve karşılıklı akış ile yıkama ve yıkama esnasında suyun izlediği yol üzerinde durmuştur. Su belirli açılarla hazneye girmektedir. Suyun girişteki hazne yüzeyinin genişlikleri baştan ortaya kadar verilmiştir. Suyun girişi sağ-sol simetriktir. Sisteme 3. bir delik daha açılmıştır. 3. delik direkt suya temas ettiği için oldukça önemli rol oynamaktadır. Sisteme giren suyun % 6.5' i buradan girmektedir. Her bir su girişine, suyu yönlendirici aparatlar konulmuştur.

Ichiki vd. (2010) tarafından kanalsız klozet haznesinin tek taraftan yıkama yapması sağlanmış olup, duvardan klozetler incelenmişlerdir. Yandan su jetinin etkileri 3 farklı tasarımda incelenmiştir. 1. tasarımda yandan sifona vuran su ki yan girdap yaratmaktadır. 2. tasarım da su sifona önden çarpmaktadır. 3. tasarımda su kapalı su jeti görevi ile sifona çarpmaktadır. Hazne yapısı, 1. ve 2. orifisler incelenmiştir.

Arita vd. (1999), Amerikan klozetlerde su jetli sistemler için sifon tasarımı yapmışlardır. Sifon çıkışındaki değişik çaplardaki setler incelenmiştir. Sifon alternatifleri incelenmiştir. Sifon yapılarının performansları mukayese edilmiştir.

Hayashi vd. (1999), su akışını, jetli ve jetsiz olarak irdelemişlerdir. Kanallı yapıdaki klozette akışın vorteks yapması için ön kısımdaki delikler suyun geliş kısmına göre asimetrik olarak daha büyük delinmiştir. Vorteks etkisi ve su jetinin birlikte kullanılması ile yüksek performans da fonksiyon yapılması sağlanmıştır.

Morita vd. (2010) kanalsız klozet su jetli sistem ile yıkamayı incelemişlerdir. Su taşıyan üst ring küçüktür fakat düşey doğrultuda genişler. Temiz su giriş deliğinden su aşağı ve yukarı ikiye ayrılır. Bir kısmı su jetine diğeri ise haznenin yıkamasında kullanılır. Haznenin yıkamasında kullanılan su yine sağa sola yönlendirilir. Değişik ring yapıları incelenmiştir. Suyun üstten ringi yıkamasını sağlayan kanal belirli uzunluk L1, L2 incelenmiştir

Groger vd. (2009) ringli, su jetli Amerikan klozet yıkama sistemini incelemişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çözümlenmeleri yapılmıştır. 5 farklı durum analiz edilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Kosugi vd. (2003) ringli klozet sisteminin su girişi delik yapısı ve ring yapısının değişik uygulamasını incelenmişlerdir. Delik yapısı değiştirilerek girdap yapılması sağlanmıştır. Kanal yapısı öne doğru daraltılmıştır. Hazne yapısı da suyun vorteks hareketine yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır.

McHale vd. (2012) ringli, su jetli amerikan klozet yıkama sistemini incelenmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çözümlenmeleri yapılmıştır. Temiz suyun hazneye girmeden önce ilerlediği temiz su kanalı, değişik yapılarda incelenmiştir.

İncelemeler sonucunda Rimless diye tabir edilen kanalsız klozetlerin dünyada gerek tasarımsal açıdan gerekse hijyenik açıdan oldukça rağbet görmeye başladığı görülmektedir. Kanalsız klozetlere farklı bir bakış açısından bakılarak en iyi su performansına sahip, en iyi fonksiyon yapan, tasarımsal anlamda estetik ve teknolojik ürün algısı oluşturacak bir ürün tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu tasarımları oluştururken bir yandan suyun hazne içerisindeki hareketinin tüm hazneyi temizleyecek bir etkiye sahip olması istenmiş ve diğer yandan da piyasadaki kanalsız klozetlere karşı fark yaratmak amacı için çalışılmıştır. Bu bağlamda suyun önden gelmesi üzerine odaklanılmıştır.

## 2. TEORİK BİLGİ

### 2.1. Navier - Stokes Denklemleri Üzerinde Türbülansın Etkileri

Mühendislik uygulaması olan hem basit iki boyutlu jet akışları, kanal akışları veya plaka üzerinden akış gibi hem de üç-boyutlu karmaşık akışlarda, akış belirli bir Reynolds sayısı değerinin üzerinde kararsız hale gelir. Düşük Reynolds sayılarında akışkan akışı laminer'dir. Daha yüksek Reynolds sayısına sahip akışlarda akış türbülanslıdır; yani, akışkanın kaotik ve rastgele hareketleriyle, akışkanın hızı ve basıncı akış bölgesinde zaman ile sürekli bir şekilde değişir. Laminer akış durumunda akışkan akışı süreklilik ve Navier-Stokes (momentum) denklemleri ile tarif edilir. Sıkıştırılmayan akışkanlar için süreklilik denklemi

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad \text{veya} \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

ve Navier - Stokes denklemleri

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + X \quad (2.2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + Y \quad (2.2b)$$

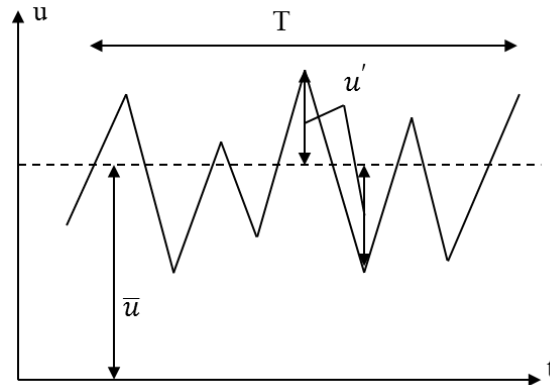
$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + Z \quad (2.2c)$$

olarak verilmektedir (Versteeg ve Malalasekera, 1995); burada  $\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$  akışkan hızını, P basıncını,  $\rho$  yoğunluğunu,  $\nu$  viskozitesini ve X, Y, Z ise akışkana etkiyen bir dış kuvveti  $\mathbf{F}_{ex} = X\mathbf{i} + Y\mathbf{j} + Z\mathbf{k}$  temsil etmektedir.



Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanmış olup, atalet kuvvetlerinin bir nisbi ölçüsüdür. Laboratuvar deneylerinde belirli bir kritik Reynolds sayısı altındaki akışkan akışlarında, akışkanın düzgün ve akışkan tabakalarının bir biri üzerinde kayması şeklinde cereyan ettiği gözlenmiştir. Sınır koşullarında bir değişiklik meydana gelmediği takdirde akış bu formunu korur ki bu duruma “*laminer akış*” denmektedir. Belirli bir kritik Reynolds sayısının üzerinde akışkan akışında meydana gelen ve gelişen bir dizi olay neticesinde akış karakteristiğinde radikal değişiklikler gözlenir. Sonuçta akış rastlantısal ve kaotiktir. Sınır koşullarında bir değişiklik olmasa bile akışkan akışı sürekli rejimdeymiş gibi davranmaz. Hız bileşenleri ve akış özellikleri rastlantısal ve kaotik bir şekilde değişir. Bu akış rejimi “turbülanslı akış” olarak adlandırılmaktadır.

Turbülansın kaotik davranışı akışkan parçacıklarının hareketine dayalı hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, hız bileşenlerinin zamanın fonksiyonu olarak tanımlamak yerine Şekil 2.1’de görüldüğü gibi hız bileşenleri belirli bir T periyodu için hesaplanan bir ortalama değer ( $\bar{u}$ ) ve zamanın fonksiyonu olarak salınım yapan bileşenden ( $u'(t)$ ) ibaret kabul edilmektedir:  $u(t) = \bar{u} + u'(t)$ . Genelde turbülanslı akışta, akış özelliklerinin ortalama değerleri  $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}, \bar{P}$  ile istatistiksel olarak salınım yapan değerleri de  $u'(t), v'(t), w'(t), P'(t)$  ile temsil edilir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).



Şekil 2.1. Turbulanslı akımda ortalama hızın tespiti (Versteeg ve Malalasekera, 1995)

Ortalama değeri, örneğin u hız bileşeni için,

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u(t) dt \quad (2.3)$$

şeklinde tanımladığımızda bütün salınımlar da dahildir.  $u(t) = \bar{u} + u'(t)$  tanımı Denklem (2.3)'de yerine yazılır ve işlemleri yapılırsa

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T (\bar{u} + u'(t)) dt = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T \bar{u} dt + \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u'(t) dt = \bar{u} + \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u'(t) dt \quad (2.4)$$

$$\frac{1}{T} \int_{t=0}^T u'(t) dt = \overline{u'(t)} = 0 \quad (2.5)$$

Denklem (2.3)'e göre salınımların T periyodu boyunca ortalamasının sıfır olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Türbülanslı akış koşulları için ortalama akış denklemlerini çıkarmadan, aşağıdaki saptamaları yapmakta yarar vardır:

$$\overline{u'(t)} = \overline{v'(t)} = \overline{w'(t)} = \overline{P'(t)} = 0 \quad (2.6)$$

$$\overline{u(t)} = \bar{u}, \quad \overline{v(t)} = \bar{v}, \quad \overline{w(t)} = \bar{w}, \quad \overline{P(t)} = \bar{P}$$

$$\overline{u(t) + v(t)} = \bar{u} + \bar{v}, \quad (2.7)$$

$$\overline{u(t)v(t)} = \bar{u} \bar{v} + \overline{u'(t)v'(t)},$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}, \dots, \quad (2.8)$$

Vektörel miktarlara da uygulandığında örneğin  $\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k}$  için

$$\overline{\text{div } \mathbf{V}} = \text{div } \bar{\mathbf{V}}, \quad \overline{\text{div}(u\mathbf{V})} = \text{div}(\bar{u}\bar{\mathbf{V}}) = \text{div}(\bar{u} \bar{\mathbf{V}}) + \text{div}(\bar{u}'\bar{\mathbf{V}}'), \quad (2.9)$$

$$\overline{\text{div}(\text{grad } \mathbf{V})} = \text{div}(\text{grad } \bar{\mathbf{V}})$$

burada  $\bar{\mathbf{V}} = \bar{u} \mathbf{i} + \bar{v} \mathbf{j} + \bar{w} \mathbf{k}$  ve  $\mathbf{V}' = u'(t) \mathbf{i} + v'(t) \mathbf{j} + w'(t) \mathbf{k}$  temsil etmektedir. Bu ilişkiler zaman-ortalanmış denklemlerin türetilmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Şimdi türbülans salınımlı hız bileşenlerini süreklilik denkleminde yerine yazacak olursak, Denklem (2.1)'den

$$\overline{\text{div } \mathbf{V}} = \text{div } \bar{\mathbf{V}} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.10)$$

elde edilir. Denklem (2.2)'nin zaman-ortalanmış ifadelerini yazacak olursak

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} \bar{\mathbf{V}}) + \text{div}(\bar{u}' \bar{\mathbf{V}}') = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{u}) + X \quad (2.11a)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \text{div}(\bar{v} \bar{\mathbf{V}}) + \text{div}(\bar{v}' \bar{\mathbf{V}}') = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{v}) + Y \quad (2.11b)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \text{div}(\bar{w} \bar{\mathbf{V}}) + \text{div}(\bar{w}' \bar{\mathbf{V}}') = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{w}) + Z \quad (2.11c)$$

bulunur. Dikkat edilecek olursa Denklem (2.9), Denklem (2.2)'nin genel formunu sağlamakla birlikte Navier - Stokes denklemlerine  $\text{div}(\bar{u}' \bar{\mathbf{V}}')$ ,  $\text{div}(\bar{v}' \bar{\mathbf{V}}')$  ve  $\text{div}(\bar{w}' \bar{\mathbf{V}}')$  gibi ilave terimler gelmiştir. Bunlar salınım gösteren hız bileşenleri ile momentum taşınım terimlerinin çarpımından oluşmaktadır. Bu terimleri eşitliğin sağ tarafına koymak gelenek hale gelmiştir. Denklem (2.9) eşitliklerin sağ tarafına aktarılıp harici kuvvetleri gözardı edip ifadeleri açarsak

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} \bar{\mathbf{V}}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{u}) - \left[ \frac{\partial \bar{u}'^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}' \bar{v}'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}' \bar{w}'}{\partial z} \right] \quad (2.12a)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \text{div}(\bar{v} \bar{\mathbf{V}}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{v}) - \left[ \frac{\partial \bar{u}' \bar{v}'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}'^2}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}' \bar{w}'}{\partial z} \right] \quad (2.12b)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \text{div}(\bar{w} \bar{\mathbf{V}}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \nu \text{div}(\text{grad } \bar{w}) - \left[ \frac{\partial \bar{u}' \bar{w}'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}' \bar{w}'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}'^2}{\partial z} \right] \quad (2.12c)$$

buluruz. Bu denklemlere Reynolds Denklemleri de denir. Bu ekstra terimler, üçü normal gerilme ve üçü de kayma gerilmesi olmak üzere altı gerilme teriminden oluşmaktadır:

$$\begin{aligned}\tau_{xx} &= -\rho \overline{u'^2}, \quad \tau_{yy} = -\rho \overline{v'^2}, \quad \tau_{zz} = -\rho \overline{w'^2} \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = -\rho \overline{u'v'}, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = -\rho \overline{u'w'}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} = -\rho \overline{v'w'},\end{aligned}\tag{2.13}$$

Bu ilave terime *Reynolds Gerilimleri* denir. Türbülanslı akışlarda normal gerilimler  $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$  hiçbir zaman sıfır olmazlar; çünkü hız bileşenlerinin negatif terimlerinin de kareleri alındığı için T periyodu boyunca ortalamamın sıfır olma olanağı yoktur. Kayma gerilimleri  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$  terimlerine gelince bu terimlerin de salınımlarının çarpımının sıfır olmasına imkan yoktur (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

Reynolds denklemlerini temel alan 4 klasik model vardır.

1. Sıfır denklem modeli- karıştırma uzunluğu modeli
2. İki denklem modeli; k-ε türbülans modeli
3. Reynolds gerilme denklemi modeli
4. Cebirsel gerilme modeli

Karıştırma uzunluğu modeli ve k-ε modeli bugüne kadar kullanılan ve doğruluğu çeşitli problemlerde onaylanan en yaygın modellerdendir. Bu modeller ana akış üzerindeki Reynolds gerilmeleri ve viskoz gerilmelerin etkisi arasında bir ilişki olduğunu varsayar. Hem momentum denkleminin sağ el tarafında görülen gerilmeler, hem de Newtonun viskozite kanunundaki viskoz gerilmeler, akışkan elemanların deformasyonunun oranı ile orantılı olarak alınır.

Sıkıştırılamaz akışlar için bu aşağıdaki gibidir.

$$\tau_{ij} = \mu e_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)\tag{2.14}$$

Alt indis notasyonu, notasyonu basitleştirmek amacıyla burada kullanılmıştır. Bu notasyona göre  $i, j=1$  ise  $x$ ,  $i, j=2$  ise  $y$ ,  $i, j=3$  ise  $z$  doğrultularını gösterir. Denklem (2.15) örnek olarak verilebilir.

$$\tau_{12} = \tau_{xy} = \mu \left( \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.15)$$

Deneylerde, sıkıştırılmaz izotermal akışlarda kesme gerilmesi var olmadıkça, türbülansın zayıfladığı gözlenmiştir. Ayrıca, türbülans gerilmelerinin deformasyon artış oranına bağlı olarak arttığı da görülmektedir.

Boussinesq 1877' de Reynolds gerilmelerinin, deformasyon ortalama oranına bağımlı olduğu vurgulanmıştır. Alt indis notasyonuna göre gösterimi Denklem (2.16)' da verilmektedir.

$$\tau_{ij} = \rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.16)$$

Burada  $\mu_t$ , türbülans veya eddy viskozite olup birimi Pa.s'dir. Türbülans veya eddynin kinematik viskozitesi  $\nu_t = \mu_t / \rho$  olup birimi  $m^2 / s$ 'dir.

Isı, kütle ve diğer özelliklerin türbülans hareketi benzer modellenmiştir. Denklem (2.16)' da verilen türbülans momentum hareketi hızın ortalama gradyanı ile orantılı olduğu varsayılır.

## 2.2. Standart $k-\varepsilon$ Türbülans Modeli

Akış doğrultusunda 2 boyutlu, ince kesme tabakaları her zaman oldukça yavaş hareket ederler ki, türbülans lokal şartlarda bunu kendi kendine ayarlar. Eğer türbülans özelliklerinden konveksiyon ve difüzyon özellikleri ihmal edilmiş olsaydı, karışım uzunluğunun terimleri içinde ortalama akış da türbülansın etkisinden söz etmek mümkün olabilirdi. Eğer konveksiyon ve difüzyon ihmal edilemez ise, bu duruma örnek resirkülasyonlu akışlardır, karışım uzunluğu için kompakt cebirsel tanımlamalar uzun süre uygulanamaz. Bu da belirsizliğe sebep olmaktadır.  $k-\varepsilon$  modeli, mekanizma üzerine türbülans kinetik enerjinin etkilerini amaçlamaktadır (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

Türbülanslı akışta ani kinetik enerji  $k(t)$  Denklem (2.17), ortalama kinetik enerji  $K$ , Denklem (2.18) ve türbülans kinetik enerji  $k$ 'nin toplamına eşittir. türbülans kinetik enerji  $k$ , Denklem (2.19) ile verilmektedir.

$$k(t) = K + k \quad (2.17)$$

$$K = \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2) \quad (2.18)$$

$$k = \frac{1}{2}(u'^2 + v'^2 + w'^2) \quad (2.19)$$

Türbülans gerilmeleri ve deformasyon oranının kullanımı için aşağıdaki geliştiriciye ihtiyaç duyulmaktadır. Hesaplamaları kolaylaştırmak için yaygın olarak, deformasyon oranı  $e_{ij}$  ve gerilmeler  $\tau_{ij}$  için matrix formu kullanılır. Denklem (2.20), deformasyon oranı  $e_{ij}$  ve gerilmeler  $\tau_{ij}$  matris formunda gösterilmektedir.

$$e_{ij} = \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{xy} & e_{xz} \\ e_{yx} & e_{yy} & e_{yz} \\ e_{zx} & e_{zy} & e_{zz} \end{pmatrix} \quad \text{ve} \quad \tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

Kararsızlık ve ortalama ve da kapsayan, türbülanslı akış içinde akışkan elemanın deformasyon oranının ayrıştırması  $e_{ij}(t) = E_{ij} + e'_{ij}$  olarak verilir. Maris elemanları Denklem (2.21)' de verilmektedir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$e_{xx}(t) = E_{xx} + e'_{xx} = \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial u'}{\partial x} \quad (2.21a)$$

$$e_{yy}(t) = E_{yy} + e'_{yy} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial y} \quad (2.21b)$$

$$e_{zz}(t) = E_{zz} + e'_{zz} = \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial z} \quad (2.21c)$$

$$e_{xy}(t) = E_{xy} + e'_{xy} = e_{yx}(t) = E_{yx} + e'_{yx} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial u'}{\partial y} + \frac{\partial v'}{\partial x} \right] \quad (2.21d)$$

$$e_{xz}(t) = E_{xz} + e'_{xz} = e_{zx}(t) = E_{zx} + e'_{zx} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial u'}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial x} \right] \quad (2.21e)$$

$$e_{yz}(t) = E_{yz} + e'_{yz} = e_{zy}(t) = E_{zy} + e'_{zy} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right] + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial v'}{\partial z} + \frac{\partial w'}{\partial y} \right] \quad (2.21f)$$

### 2.3. $K$ Ortalama Kinetik Enerji Akışı için Yönetici Denklemleri

$K$  ortalama kinetik enerji için denklem, x- bileşeni Reynolds Denklemine  $U$  ile, y- bileşeni denkleminde  $V$ , z-bileşeni denkleminde  $W$  ile çarpılarak oluşmaktadır. Sonrasında ilave sonuçlar ile birlikte, cebirsel düzenlemelerle akışın ortalama kinetik enerjisinin zaman ortalamalı yönetici denklemi aşağıdaki gibi gösterilebilir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$\frac{\partial(\rho K)}{\partial t} + \text{div}(\rho KU) = \text{div}(-PU + 2\mu UE_{ij} - \rho U \overline{u'_i u'_j}) - 2\mu E_{ij} \cdot E_{ij} + \rho \overline{u'_i u'_j} \cdot E_{ij} \quad (2.22)$$

(I)            (II)            (III)    (IV)            (V)            (VI)            (VII)

- (I) :  $K$  değişimi oranı
- (II) : Konveksiyon ile  $K$ 'nin hareketi
- (III) : Basınç ile  $K$ 'nin hareketi
- (IV) : Viskoz Gerilmeler ile  $K$ 'nin hareketi
- (V) : Reynolds Gerilmeler ile  $K$ 'nin hareketi
- (VI) :  $K$ 'nin dağıtma oranı
- (VII) : Türbülans Üretimi

Denklem (2.22)' de I. terim  $K$ 'daki değişim oranını, II. terim ise konveksiyon ile  $K$ 'nin hareketini tanımlar. III, IV ve V transport terimleri Denklem (2.22) de  $div$  ile karakterize edilmiştir.  $K$ 'nin üzerine etkiyen viskoz gerilmeler 2 parçaya bölünmüştür. IV terim Viskoz gerilmelerden dolayı  $K$ 'nin hareketini, VI terim ise, ortalama kinetik enerji  $K$ 'nin viskoz dağıtımını göstermektedir. Türbülans etkilerini açıklayan, Reynolds gerilmeleri  $\rho \overline{u'_i u'_j}$ , 2 terimle açıklanmıştır. V. terim Reynolds gerilmelerinin ortalamasını kullanan  $K$ 'nin türbülans hareketi ve VII. terim ise türbülans üretimi veya Reynolds gerilmeleri üretimi kullanılarak deformasyon çalışmasından dolayı  $K$ 'daki net azalıştır. V ve VII. türbülans terimleri, yüksek Reynolds sayılı akışlarda, IV ve VI viskoz karşılığında daha büyüktür.



## 2.4. $k$ Türbülans Kinetik Enerji için Yönetici Denklemleri

Uygun kararsız hız bileşenlerinin kullanarak ani Navier–Stokes denklemlerinin her birinin çıkarılması, Reynolds Denklemleri üzerinde bu proseslerin tekrarı kullanılarak oluşturulan denklemler ve Türbülans kinetik enerji  $k$  için denklem düzenlemesi aşağıdadır (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{U}) = \text{div} \left( \overline{-p'u'} + 2\overline{\mu u'e'_{ij}} - \rho \frac{1}{2} \overline{u'_i \cdot u'_i u'_j} \right) - 2\overline{\mu e'_{ij} \cdot e'_{ij}} - \overline{\rho u'_i u'_j \cdot E_{ij}} \quad (2.23)$$

(I)            (II)            (III) (IV)            (V)            (VI)            (VII)

- (I) :  $k$  değişimi oranı
- (II) : Konveksiyon ile  $k$ 'nın hareketi
- (III) : Basınç ile  $k$ 'nın hareketi
- (IV) : Viskos Gerilmeler ile  $k$ 'nın hareketi
- (V) : Reynolds Gerilmeler ile  $k$ 'nın hareketi
- (VI) :  $k$ 'nın dağıtma oranı
- (VII) : Türbülans Üretimi

Denklem (2.22) ve (2.23) oldukça benzerdir. Denklem (2.23)' de, I. terim  $k$ 'daki değişim oranını, II. terim ise konveksiyon ile  $k$ 'nın hareketini tanımlar.  $k$  denkleminin sağ el yüzeyinde niceliklerinin ortaya çıktığı görülür ki türbülans kinetik enerjisindeki bu değişimler, türbülans etkileşimleri kullanılarak yönetilirler. VII terimi her iki denklemde de aynı büyüklüktedir fakat işaretleri terstir. 2 boyutlu ince kesme tabakası üzerinde  $-\overline{\rho u'_i u'_j}$  Reynolds gerilmesi genellikle pozitifdir. Ayrıca  $\partial u / \partial y$  ortalama hız gradyanı pozitifdir. Terim VII imalat terimini temsil eder ve  $k$  denkleminin olmasına katkı sağlar.  $k$  denkleminde negatifdir. Bu nedenle ortalama akış kinetik enerjisi bozar. Türbülans kinetik enerji için de ortalama kinetik enerjinin matematiksel gösterimi burada gösterilir.

$$-2\overline{\mu e'_{ij} \cdot e'_{ij}} = -2\mu \left( \overline{e'^2_{11}} + \overline{e'^2_{22}} + \overline{e'^2_{33}} + 2\overline{e'^2_{12}} + 2\overline{e'^2_{13}} + 2\overline{e'^2_{23}} \right)$$

$e'_{ij}$  karasız deformasyon oranının karakterinin toplamının ortaya çıkmasından dolayı Denklem (2.19)'a negatif katkı sağlar. Türbülans kinetik enerjinin dağıtımlarına, viskoz gerilmelere karşı en küçük çalkantılar ile birlikte yapılan çalışmalar yol açmıştır. Birim kütle başına dağıtım oranı,  $m^2 / s^3$ , türbülans dinamiklerinin çalışmasında hayati öneme sahiptir ve

$$\varepsilon = -2\nu \overline{e'_{ij} \cdot e'_{ij}} \quad (2.24)$$

ile ifade edilmektedir. Türbülans kinetik enerji denkleminde imha edilen ana terimdir. Hiçbir zaman ihmal edilmez. Tersine yüksek Reynolds sayılarında, Denklem (2.23)' de bulunan viskoz transport terimi IV, türbülans hareket terimi VI ile her zaman küçük karşılaştırmalar yapılmaktadır.

## 2.5. $k - \varepsilon$ Türbülans Model Denklemleri

$\varepsilon$  viskoz yayılım oranını kapsayan, diğer bütün türbülans karakteristikleri için benzer hareket denklemleri geliştirilebilir (Brandshaw vd, 1981). Gerçekte ise  $\varepsilon$  denklemini birçok ölçülemeyen ve bilinmeyen terim içerir.

Standart  $k - \varepsilon$  modeli,  $k$  ve  $\varepsilon$  için birer olmak üzere iki denkleme sahiptir. Buradaki değişkenler deki, uygun sürece sebep olan değişimleri çok iyi anlamamız gerekmektedir.

$$g = k^{1/2} \quad \text{ve} \quad \ell = \frac{k^{3/2}}{\varepsilon} \quad (2.25)$$

$k - \varepsilon$ ' nu hız skalası ve  $\ell$  uzunluk skalasında kullanırız. Fakat  $\ell$  skalası büyük girdaplar tanımlıyorken,  $\varepsilon$  değişkenini küçük girdaplar olarak kullanılmıyor mu diye bir soru gelebilir. Biz bunu yapmaya izin veriyoruz çünkü, ana akışta büyük girdap enerjisini çıkaran Reynolds sayısı oranında ki, girdaplara, yayılmalar ve kinetik enerji spektrumlarına karşı enerjinin transfer oranına kesinlikle uymaktayız.  $\ell$ ' nin tanımlanmasında  $\varepsilon$ ' nun kullanımı savunulabilir fakat pratikte pek kullanılmaz.

Karışım uzunluğu modeli gibi bazı yaklaşımlarda, uygulamada, spesifik eddy viskozitesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$\mu_t = C \rho g l = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.26)$$

burada  $C_\mu$  boyutsuz sabittir.

Standart model kullanımında,  $k - \varepsilon$  kullanan hareket denklemleri;

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{U}) = \text{div} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad } k \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (2.27)$$

(I)            (II)            (III)            (IV)            (V)

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon \mathbf{U}) = \text{div} \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{grad } \varepsilon \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.28)$$

(I)            (II)            (III)            (IV)            (V)

- (I) :  $k$  veya  $\varepsilon$  değişimi oranı
- (II) : Konveksiyon ile  $k$  veya  $\varepsilon$ 'nin hareketi
- (III) : Difüzyon ile  $k$  veya  $\varepsilon$ 'nin hareketi
- (IV) :  $k$  veya  $\varepsilon$ 'nin üretim oranı
- (V) :  $k$  veya  $\varepsilon$ 'nin dağıtma oranı

Denklem sistemi,  $C_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{1\varepsilon}$  ve  $C_{2\varepsilon}$  olmak üzere beş sabit içermektedir. Bu sabitler türbülanslı akışın geniş bir dizininde kullanılmaktadır.

$$C_\mu = 0.09; \quad \sigma_k = 1.00; \quad \sigma_\varepsilon = 1.30; \quad C_{1\varepsilon} = 1.44; \quad C_{2\varepsilon} = 1.92 \quad (2.29)$$

$k$  denklem modelinde imalat terimi, Denklem (2.16)'nın yerine kullanılmasıyla, Denklem (2.23)'de gerçek imalat teriminden türetilir.  $k - \varepsilon$  denklemi içinde hareket işleminin

modellenmiş formu sağ el yüzeyi üzerinde ortaya çıkmaktadır. Prandtl sayıları,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$ ,  $\mu_t$  eddy viskozitesinde,  $k - \varepsilon$ 'nin difüzyonu ile ilgilidir. (III) terimde, gerçek  $k$  denkleminin basınç terimi direkt ölçülemez. Bu etki, gradyent difüzyon terimi içerisinde Denklem (2.27) kullanılarak açıklanmıştır.

İmalat ve dağıtma terimleri, türbülans kinetik enerjide her zaman hemen hemen aynı bağlantıdadır. Dağıtma oranı,  $k$ ,  $\varepsilon$ 'nın büyük olduğu durumlarda büyüktür. Denklem (2.28)' de verilen  $\varepsilon$  denklemindeki imalat ve dağıtma terimleri, Denklem (2.27)' de verilen  $k$  denkleminde verilen imalat ve dağıtma terimleriyle orantılıdır. Eğer  $k$  artarsa,  $\varepsilon$ 'da artmaktadır. Eğer ki  $k$  düşerse, türbülans kinetik enerjinin negatif etkilerini önlemek için  $\varepsilon$ ' da düşmektedir.

Genişletilmiş Boussinesq ilişkisi Denklem (2.26) ve Denklem (2.28)' deki  $k - \varepsilon$  ile Reynolds gerilmelerini hesaplamak için kullanılır.

$$\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} = 2\mu_t E_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (2.30)$$

Denklem (2.16) ile mukayese edilirse, sağ el yüzeyi üzerinde formda ekstra terim  $\delta_{ij}$  oluşmaktadır. Bu terime Kronecker delta terimi denmektedir.  $i=j$  için  $\delta_{ij}=1$  ve  $i \neq j$  için  $\delta_{ij}=0$ 'dır.  $i=j$  için  $\tau_{xx} = -\rho \overline{u'^2}$ ,  $\tau_{yy} = -\rho \overline{v'^2}$  ve  $\tau_{zz} = -\rho \overline{w'^2}$  olmaktadır. Sıkıştırılamaz akışlar için bunu düşünürüz. Böylelikle Denklem (2.30)' da ilk kısmın davranışı bulunmuş olur. Eğer ki bütün normal gerilmeleri ( $i=1,2,3$  de)  $i = j$  olursa, biz süreklilik denklemini buluruz ki, o da sifıra eşittir.

$$2\mu_t E_{ij} = 2\mu_t \left[ \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right] = 2\mu_t \text{div} \bar{u} = 0 \quad (2.31)$$

$$-\rho \left( \overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right) \text{ normal gerilmeleri toplamı, birim hacim başına türbülans}$$

kinetik enerjinin -2 ile çarpımına  $-2\rho k$  eşittir.

## 2.6. $k - \varepsilon$ Denkleminde Sınır Şartları

$k$  ve  $\varepsilon$  için model denklemleri, difüzyon gradyenti teriminin etkisi kullanılmasıyla eliptik hale gelmektedir. Davranışları diğer eliptik akış denklemleriyle benzer özelliktedir.

### Sınır koşulları için,

- Giriş :  $k$  ve  $\varepsilon$  biliniyor
- Çıkış ve Simetri eksenini :  $\frac{\partial k}{\partial n} = 0$  ,  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial n} = 0$
- Serbest Akım :  $k = 0$  ;  $\varepsilon = 0$

Endüstrideki hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanıcılar nadiren  $k$  ve  $\varepsilon$  değerleri ölçümüne sahiptirler. Genellikle işlemler, literatürden elde edilen  $k$  ve  $\varepsilon$  değerleri kullanılmaktadır. Giriş dağılımındaki sonuçların doğruluğu, duyarlılığı sonradan araştırılmaktadır. Eğer ki yeterli bilgi yoksa, iç akışta  $k$  ve  $\varepsilon$  için giriş sınır şartlarında basit yaklaşımlara ihtiyaç duyulur. Ekipmanın karakteristik uzunluğu  $L$  ve  $T_i$  nin türbülans şiddetinden gerekli değerleri bulunabilir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$k = \frac{3}{2} (U_{ref} T_i)^2 ; \quad \varepsilon = C_{\mu}^{3/4} ; \quad \ell = 0.07L \quad (2.32)$$

Yüksek Reynolds Sayısında  $k-\varepsilon$  modeli, cidar boyunca ihtiyaç duyulan model denklemlerinin türetilmesine izin verir. Eğer  $y$ , katı duvarın normali doğrultusunda koordinatta ise o nokta  $y_p$  noktasıdır ve bu  $y_p$  noktasındaki ortalama hız, log - kanununa göre  $30 < y_p^+ < 500$  arasındadır ve türbülans kinetik enerjinin ölçümleri, yayılım oranının türbülans imalat oranına eşit olduğu duruma göre ayarlanır. Bu varsayımlar kullanılarak ve Denklem (2.26) eddy viskozite formülüne göre, duvar fonksiyonlarının gelişimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$u^+ = \frac{\bar{u}}{u_\tau} = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey_p^+); \quad k = \frac{u_\tau^2}{\sqrt{C_\mu}}; \quad \varepsilon = \frac{u_\tau^3}{\kappa y} \quad (2.33)$$

Burada Von Karman sabiti  $\kappa = 0.41$ , pürüzsüz duvar için  $E = 9.8$  ' dir.

Isı transferi için, yüksek Reynolds sayılarında, universal duvar kenarı sıcaklık dağılımı kullanılır ( Launder ve Spalding, 1974).

$$T^+ \equiv -\frac{(T - T_w) C_p \rho u_\tau}{q_w} = \sigma_{T,t} \left[ u^+ + P \left( \frac{\sigma_{T,l}}{\sigma_{T,t}} \right) \right] \quad (2.34)$$

burada,

$T_p = y_p$  duvar kenarı noktasındaki sıcaklık,

$T_w =$  Duvar Sıcaklığı

$q_w =$  Duvar ısı akısı

$C_p =$  Sabit basınçta spesifik ısı

$\sigma_{T,t} =$  Türbülans Prandtl Sayısı

$\sigma_{T,l} = \mu C_p / \Gamma_T =$  Prandtl Sayısı

$\Gamma_T =$  Termal kondüktivite

$P =$  Pee katsayısıdır. Laminer prandtl sayısının, türbülans prandtl sayısı oranına bağlı doğrulama fonksiyonudur.

Küçük Reynolds Sayılarında  $\log -$  kanunu uygun değildir. Bu sebeple yukarıda verilen sınır şartları kullanılmamalıdır. Duvarı ıslatma, katı duvara yakın viskoz yardımcı tabakada ve düşük Reynolds sayılarında, Türbülans Reynolds gerilmelerden ön plana çıkan viskoz gerilmeleri ortaya çıkaran bir uygulamadır.

Küçük Reynolds sayılarında, Denklem (2.26) - Denklem (2.28), aşağıdaki denklemler ile yer değiştirmektedir.

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \bar{u}) = \text{div} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } k \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (2.36)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varepsilon \bar{u}) = \text{div} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad } \varepsilon \right] \\ + C_{1\varepsilon} f_1 \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} f_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (2.37)$$

Denklem (2.36)-(2.37)' daki difüzyon terimlerinde viskoz katkılar mevcuttur. Standart  $k-\varepsilon$  modelindeki  $C_\mu$ ,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$  sabitleri, türbülans Reynolds sayısı ve benzer parametrelerin fonksiyonu olan duvar ıslatma fonksiyonu  $f_\mu$ ,  $f_1$ ,  $f_2$  ile çarpılırlar. Lam ve Bremhorst (1981) duvar ıslatma parametrelerini başarıyla kullanmıştır

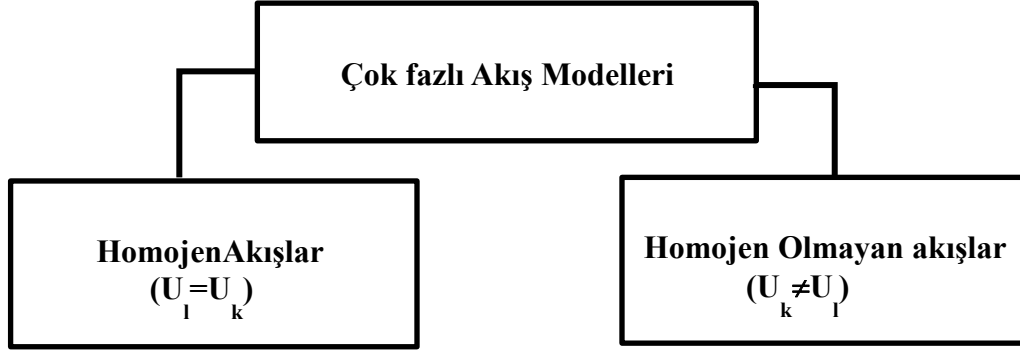
$$f_\mu = \left[ 1 - \exp(-0.0165 \text{Re}_y) \right]^2 \left( 1 + \frac{20.5}{\text{Re}_t} \right); \quad (2.38)$$

$$f_1 = \left( 1 + \frac{0.05}{f_\mu} \right)^3; \quad f_2 = 1 - \exp(-\text{Re}_t^2)$$

$f_\mu$  parametresinde kullanılan  $\text{Re}_y$ ,  $k^{1/2}y/\nu$  olarak tanımlanır. Lam ve Bremhorst sınır şartı olarak  $\partial\varepsilon/\partial y = 0$  olarak kullanmışlardır (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

## 2.7. Çok Fazlı Akışlar için Hareket Denklemleri

Çok fazlı akış modelleri Şekil 2.2 ile görüleceği üzere homojen akışlar ve homojen olmayan akışlar olmak üzere 2 kısma ayrılabilir.



Şekil 2.2. Çok fazlı akış modelleri

**Homojen akışlar:** Her iki fazın aynı hızda hareket ettiği farzedilir Kontrol hacim dışındaki tüm değişkenlerin haricinde fazlardan dolayı hızı üst tepe hızından daha düşüktür. Yaygın olarak serbest yüzey akışlarında görülür. Fazlar mikroskobik skalada tam olarak karışmış değildir. Serbest yüzey akışlarıdır. Fazlar hız alanını ortak kullanırlar.

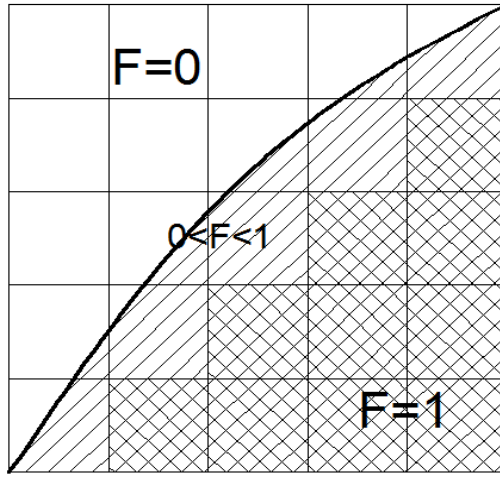
**Homojen olmayan akışlar:** Çok fazlı akışlar için 2 sürekli faz arasında kayma olduğu varsayılır. Fazların hızı birbirlerinden farklıdır.

Homojen olmayan akışlar, karışmış model ve parçacıklı model olmak üzere 2 kısma ayrılır. Karışmış akışlar, kompleks arayüzlü sınırlara sahip akışlardır. Geçici rejim akışı olan sıvı- gaz akışlarıdır. Parçacıklı akışlar, akış içinde gaz kabarcıkları, parça kabarcıkları vs. olan akışlardır (ANSYS 14.5, 2014).



## 2.8. Akışkan Hacimleri Yöntemi

Su-hava arakesatine sahip serbest yüzeylerin belirlenmesi için yazılımda akışkan hacimleri (VOF: Volume of Fluid) yöntemi kullanılmaktadır (Hirt-Nichols, 1981). VOF yöntemi ile hücrelerin boş, tam veya kısmen suyla dolu olduğu belirlenir. Bu yöntemde hesaplama alanı üzerinde bir akışkan hacmi (F) tanımlanır. Şayet bir hücre tamamen akışkan ile dolu ise 1 değeri, tamamen boş ise sıfır değeri ve kısmen dolu ise hücrede kapladığı yüzde değerini alır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Akışkan hacminin ağı üzerindeki dağılımı

Serbest yüzey, bir eğime sahip ise bir hücredeki yüzeyin yerini ve eğimini belirlemek için kendisini çevreleyen hücreleri dikkate alan bir algoritma kullanılmaktadır. VOF yöntemi ile serbest yüzeyin izlenmesi üç kısımdan oluşur. Öncelikle serbest yüzeyin yeri bulunur. Daha sonra bu yüzey, su ve hava arasında keskin bir arakesit olarak belirlenir. Son olarak bu arakesite sınır şartları uygulanır. Arakesit üzerinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç sınır koşulları uygulanmaktadır. Akışkan hacmi fonksiyonu F'nin değişimi aşağıdaki diferansiyel denklem ile verilmektedir. F değeri akışkan ile birlikte hareket etmektedir (Hirt-Nichols, 1981).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (2.39)$$

## 2.9. Sonlu Hacimler Yöntemi

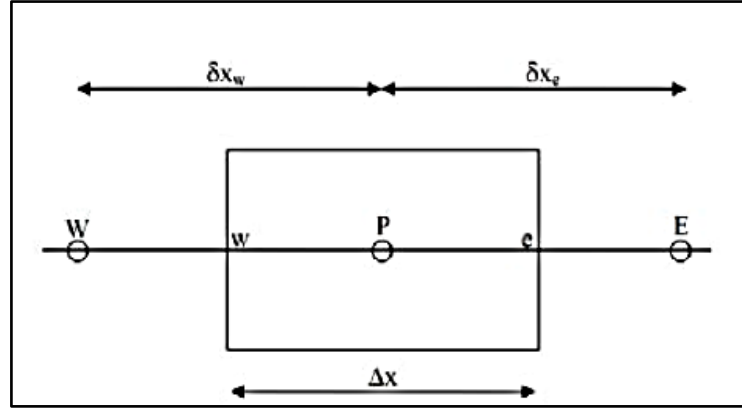
Reynolds ortalamalı Navier-Stokes denklemlerinin veya genel skaler transport denkleminin sayısal olarak çözülebilir cebrik denklemlere dönüştürülebilmesi için ayrıklaştırma işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bir denklemin ayrıklaştırılması, sonlu farklar, sonlu elemanlar veya sonlu hacim yöntemleri ile hesaplama bölgesinin ayrık nokta, eleman ya da hacimler ile ifade edilmesi ile gerçekleştirilebilir (Ferziger ve Peric, 1999; Hoffman ve Chiang, 2000). Hesaplamalı çalışmada son yıllarda popülerliği çok artan ve pek çok yazılımda uygulanmış olan sonlu hacim ayrıklaştırması kullanılacaktır.

Akışkan akışını modelleyen taşınım denklemlerinin, uzayda sabit bir sonsuz küçük eleman ele alınarak, bu elemanın tüm yüzeylerinden yapılan momentum transferinin hesap edilmesi ile konservatif diferansiyel denklemler formunda eldesi mümkündür (Anderson, 1996). Sonlu hacim ayrıklaştırması, bu denklemlerin sonlu bir hacim boyunca entegre edilmesi esasına dayanmaktadır. Akışın  $\phi$  gibi bir taşınım özelliğinin (örneğin sıcaklık) konveksiyon ve difüzyon taşınım denklemi kartezyen tensör notasyonunda,

$$\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} + \rho \frac{\partial (u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S \quad (2.40)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;  $u$  üç ayrı yöndeki hızları,  $\phi$  akışın herhangi bir taşınım özelliğini,  $\Gamma$  difüzyon katsayısını ve  $S$  kaynak terimini göstermektedir. Sade ve olabildiğince basit bir denklem formu elde etmek amacıyla, denklem daimi ve bir boyutlu formda yazılacak olursa,

$$\rho \frac{\partial (U \phi)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + S \quad (2.41)$$



Şekil 2.4. Hesaplamalı kontrol hacmi

Bu denklem, Şekil 2.4’de görülen kontrol hacmi boyunca integre edilirse, giriş ve çıkış yüzeylerinin birim değerde olduğu kabul edilerek ( $A_e=A_w=1$ );

$$\int_w^e \rho \frac{d}{dx} (U \phi U \phi) = \int_w^e \left[ \frac{d}{dx} \left( \Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) + S \right] dx \quad (2.42)$$

yazılabilir. Söz konusu denklemin sol tarafının integralden çıkarılması ile,

$$\int_w^e \rho \frac{d}{dx} (U \phi U \phi) = (\rho \phi U \phi_e - \rho \phi U \phi_w) \quad (2.43)$$

ve sağ tarafının integralden çıkarılıp kaynak terimi bağımlı değişkenin fonksiyonu olarak lineerleştirilirse,

$$\int_w^e \left[ \frac{d}{dx} \left( \Gamma \frac{d\phi}{dx} \right) + S \right] dx = \left( \Gamma \frac{d\phi}{dx} \right)_e - \left( \Gamma \frac{d\phi}{dx} \right)_w + S_u + S_p \phi_p \quad (2.44)$$

elde edilir. Burada  $S_u$  daha sonra cebrik denklemin sağında kalacak olan kaynak terimden gelen sabit sayıyı ve bağımlı değişkenin  $S_p$  sabit sayıdan gelen katsayısını göstermektedir. Difüzyon terimleri genel olarak merkezi farklar ile interpolate edilmektedirler (Versteeg ve Malalasekera, 1995). Merkezi farklar kullanılacak olursa Denklem (2.44)’ nin ilk bileşeni,

$$\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right)_e = \Gamma \left(\frac{\phi_E - \phi_P}{\delta x_e}\right) \quad \left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right)_w = \Gamma \left(\frac{\phi_P - \phi_W}{\delta x_w}\right) \quad (2.45)$$

şeklini alır. Konvektif terimler için, birinci derece ileriye doğru (upwind), merkezi farklar, QUICK (Quadratic Upwind Interpolation for Convective Kinematics) (Versteeg ve Malalasekera, 1995), MUSCLE (Monoton Ustream-Centered Schemes for Conservation Laws) (Blazek, 2001) ve değişik şemaları karıştırarak kullanan melez yapıda olanlar gibi pek çok farklı özelliklerde ayrıklaştırma şeması mevcuttur (Ferziger ve Peric, 1999; Hoffman ve Chiang, 2000). Örnek olarak, hesaplamalı analizlerde sıkça kullanılmakta olan “ikinci derece ileriye doğru” interpolasyon şeması ele alınacak olursa (Davidson, 2005),  $\delta x_e = \delta x_w = \delta x$  kabulü yapılarak,

$$\phi_e = \frac{3}{2}\phi_P - \frac{1}{2}\phi_W + O((\Delta x)^2) \quad (2.46)$$

$$\phi_w = \frac{3}{2}\phi_W - \frac{1}{2}\phi_{WW} + O((\Delta x)^2) \quad (2.47)$$

şeklinde yüzeylerdeki  $\phi$  değerleri belirlenebilir. Bu noktada,  $\phi$  değerlerinin katsayılarının ağ örgüsü aralıkları  $\delta x$ ' in eşit olmadığı durumda farklı değerler alacaktır. Gerekli ayarlamalar sonucunda Denklem (2.48) elde edilir.

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E - a_{WW} \phi_{WW} + S_U = \sum_{km} a_{km} \phi_{km} + S_U \quad (2.48)$$

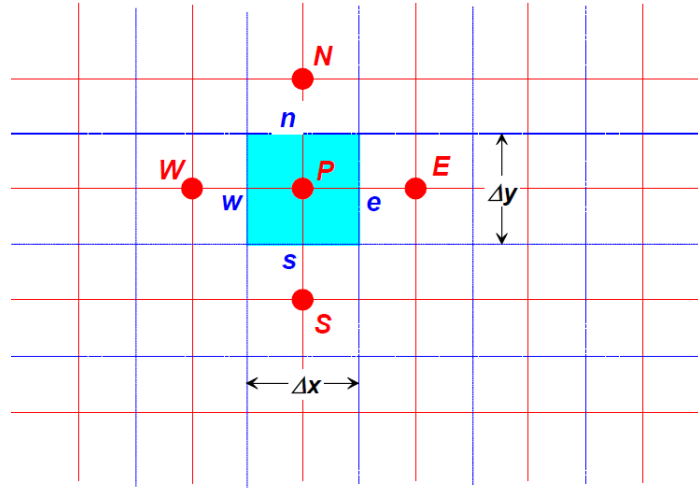
Buradaki km indisi P hacmine komşu hacimleri göstermektedir.

### 2.9.1. İki-boyutlu difüzyon problemleri için sonlu hacimler yöntemi

Bir boyutlu halde ayrıklaştırılmış denklemlerin üretilmesinde kullanılan yöntem kolaylıkla iki boyutlu problemler için de genişletilebilir. Tekniği göstermek için daimi iki-boyutlu difüzyon denklemini ele alalım:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S = 0 \quad (2.49)$$

Ayrıklaştırma için kullanılan iki-boyutlu ağ yapısının bir kısmı Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. İki Boyutlu ağ yapısı

$P$  ile gösterilen genel bir ağ noktası için doğu ( $E$ ) ve batı ( $W$ ) komşu noktalar yanında artık kuzey ( $N$ ) ve güney ( $S$ ) noktaları da kullanılacaktır. Sınır yüzleri ve hücre boyutları için bir-boyutlu haldeki tanımlamaların benzeri kullanılacaktır. Yukarıdaki denklem bir kontrol hacmi içerisinde  $dV=dx \cdot dy \cdot I$  olduğu da hatırlanarak kontrol hacmi üzerinde integre edilirse Denklem (2.50) elde edilir.

$$\iint_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx \cdot dy + \iint_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dx \cdot dy + \iint_{\Delta V} S_\phi dV = 0 \quad (2.50)$$

Sınır yüzeylerinin alanları  $A_e=A_w=\Delta x$  ve  $A_n=A_s=\Delta y$  olup ayrıklaştırma sonucu elde edilen Denklem (2.51) aşağıda verilmektedir (Versteeg ve Malalasekera, 1995).

$$\left[ \Gamma_e A_e \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \Gamma_w A_w \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \right] + \left[ \Gamma_n A_n \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \Gamma_s A_s \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \right] + \bar{S} \Delta V = 0 \quad (2.51)$$

Daha önce de belirtildiği gibi bu denklem bir kontrol hacmi için  $\phi$  üretimi ile hücre duvarlarından geçen akılar arasındaki dengeyi ifade etmektedir. Önceki bölümlerde tanımlanan yaklaşımlar kullanılarak hücre duvarlarından geçen akılar için aşağıdaki ifadeler yazılabilir:

$$\text{Batı yüzeyinden geçen akı} = \Gamma_w A_w \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_w = \Gamma_w A_w \left( \frac{\phi_P - \phi_W}{\Delta x_{WP}} \right) \quad (2.52a)$$

$$\text{Doğu yüzeyinden geçen akı} = \Gamma_e A_e \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_e = \Gamma_e A_e \left( \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_{PE}} \right) \quad (2.52b)$$

$$\text{Güney yüzeyinden geçen akı} = \Gamma_s A_s \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_s = \Gamma_s A_s \left( \frac{\phi_P - \phi_S}{\Delta y_{SP}} \right) \quad (2.52c)$$

$$\text{Kuzey yüzeyinden geçen akı} = \Gamma_n A_n \left. \frac{\partial \phi}{\partial y} \right|_n = \Gamma_n A_n \left( \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_{PN}} \right) \quad (2.52d)$$

Denklem (2.51) 'de, Denklem (2.52) terimleri kullanılırsa Denklem (2.53) elde edilir.

$$\begin{aligned} \Gamma_e A_e \left( \frac{\phi_E - \phi_P}{\partial x_{PE}} \right) - \Gamma_w A_w \left( \frac{\phi_P - \phi_W}{\partial x_{WP}} \right) + \Gamma_n A_n \left( \frac{\phi_N - \phi_P}{\partial y_{PN}} \right) \\ - \Gamma_s A_s \left( \frac{\phi_P - \phi_S}{\partial y_{SP}} \right) + \bar{S} \nabla V = 0 \end{aligned} \quad (2.53)$$

Kaynak terimi için lineerleştirilmiş  $S \Delta V = S_u + S_p \phi$  formu kullanılarak bu son denklem de

$$\begin{aligned} \left( \frac{\Gamma_w A_w}{\partial x_{WP}} + \frac{\Gamma_e A_e}{\partial x_{PE}} + \frac{\Gamma_s A_s}{\partial y_{SP}} + \frac{\Gamma_n A_n}{\partial y_{PN}} - S_p \right) \phi_P = \\ \left( \frac{\Gamma_w A_w}{\partial x_{WP}} \right) \phi_W + \left( \frac{\Gamma_e A_e}{\partial x_{PE}} \right) \phi_E + \left( \frac{\Gamma_s A_s}{\partial y_{SP}} \right) \phi_S + \left( \frac{\Gamma_n A_n}{\partial y_{PN}} \right) \phi_N + S_u \end{aligned} \quad (2.54)$$

veya daha önce bir-boyutlu problemlerde olduğu gibi katsayılarla,

$$a_p \phi_P + a_w \phi_W + a_e \phi_E + a_s \phi_S + a_n \phi_N = S_u \quad (2.55a)$$

şeklinde düzenlenebilir. Buradaki katsayılar

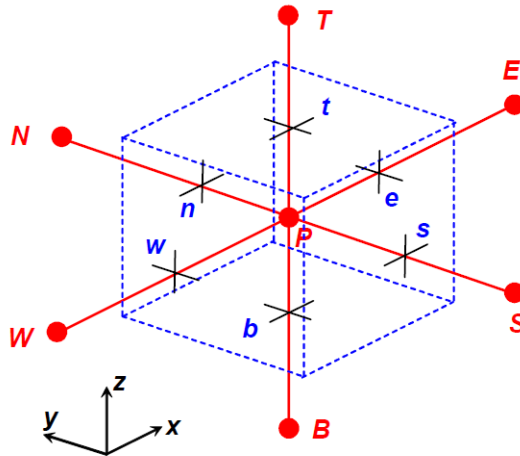
$$\begin{aligned} a_w = -\frac{\Gamma_w A_w}{\partial x_{WP}}, \quad a_e = -\frac{\Gamma_e A_e}{\partial x_{PE}}, \quad a_s = -\frac{\Gamma_s A_s}{\partial x_{SP}}, \quad a_n = -\frac{\Gamma_n A_n}{\partial x_{PN}}, \\ a_p = -(a_w + a_e + a_s + a_n + S_p) \end{aligned} \quad (2.55b)$$

Verilmiş herhangi bir iki boyutlu problemde  $\phi$  büyüklüğünün dağılımını, hücrelerin her birinde (2.55) benzeri ayrıklaştırılmış denklemleri yazarak elde edebiliriz. Sıcaklıkların veya akıların bilindiği sınırlarda ayrıklaştırılmış denklemler daha önceki örneklerde olduğu gibi sınır koşullarını içerecek biçimde düzenlenir. Sınır tarafındaki katsayı sıfıra eşitlenir, sınırdan geçen akı da bir kaynak büyüklüğü olarak  $S_u$  veya  $S_p$  büyüklüklerine sokulur. Böylece elde edilen denklem takımı çözülerek  $\phi$  büyüklüğünün dağılımı hesaplanır.

### 2.9.2. Üç-boyutlu difüzyon problemleri için sonlu hacimler yöntemi

Daimi halde üç-boyutlu bir difüzyon problemi Denklem (2.56) denklemiyle modellenir. Bu durumda çözüm havzası üç boyutlu bir ağ yapısıyla hücelere bölünecektir. Tipik bir kontrol hacmi Şekil 2.6' de gösterilmektedir. P noktasını içeren kontrol hacmi için bu defa batı, doğu, kuzey, güney, dip ve tepe olarak adlandırılan altı kontrol noktası ( $W, E, N, S, B, T$ ) ve yine batı, doğu, kuzey, güney, dip ve tepe olarak adlandırılan altı hücre duvarı ( $w, e, n, s, b, t$ ) mevcuttur

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) + S = 0 \quad (2.56)$$



Şekil 2.6. Üç Boyutlu ağ yapısı



$$\begin{aligned}
& \iiint_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dV + \iiint_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dV \\
& + \iiint_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) dV + \iiint_{\Delta V} S_\phi dV = 0
\end{aligned} \tag{2.57}$$

ve  $A_e = A_w = \Delta y \Delta z$ ,  $A_n = A_s = \Delta x \Delta z$ ,  $A_t = A_b = \Delta x \Delta y$ , olmak üzere Denklem (2.57) ayrıştırılırsa Denklem (2.58) elde edilir.

$$\begin{aligned}
& \left[ \Gamma_e A_e \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \Gamma_w A_w \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \right] + \left[ \Gamma_n A_n \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \Gamma_s A_s \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \right] + \\
& \left[ \Gamma_t A_t \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_t - \Gamma_b A_b \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)_b \right] + \bar{S} \Delta V =
\end{aligned} \tag{2.58}$$

Türevler lineer yaklaşımla hesaplanarak Denklem (2.59) bulunur.

$$\begin{aligned}
& \left[ \Gamma_e A_e \left( \frac{\phi_E - \phi_P}{\Delta x_{PE}} \right) - \Gamma_w A_w \left( \frac{\phi_P - \phi_W}{\Delta x_{WP}} \right) \right] + \left[ \Gamma_n A_n \left( \frac{\phi_N - \phi_P}{\Delta y_{PN}} \right) - \Gamma_s A_s \left( \frac{\phi_P - \phi_S}{\Delta y_{SP}} \right) \right] \\
& + \left[ \Gamma_t A_t \left( \frac{\phi_T - \phi_P}{\Delta z_{PT}} \right) - \Gamma_b A_b \left( \frac{\phi_P - \phi_B}{\Delta z_{BP}} \right) \right] + (S_u + S_p \phi_p)
\end{aligned} \tag{2.59}$$

ve  $\phi$  büyüklüğü için katsayılar cinsinden düzenlenerek,

$$a_P \phi_P + a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + a_B \phi_B + a_T \phi_T = S_u \tag{2.60a}$$

şeklinde düzenlenebilir. Buradaki katsayılar

$$a_W = -\frac{\Gamma_w A_w}{\partial x_{WP}}, \quad a_E = -\frac{\Gamma_e A_e}{\partial x_{PE}}, \quad a_S = -\frac{\Gamma_s A_s}{\partial x_{SP}}, \quad a_N = -\frac{\Gamma_n A_n}{\partial x_{PN}},$$

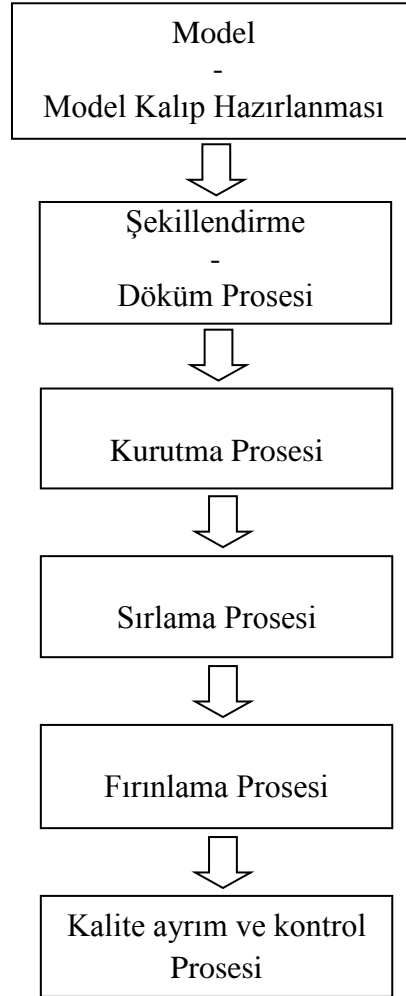
(2.60b)

$$a_B = -\frac{\Gamma_b A_b}{\partial x_{BP}}, \quad a_T = -\frac{\Gamma_t A_t}{\partial x_{PT}}, \quad a_p = -(a_W + a_E + a_S + a_N + a_T + a_B + S_p)$$

İç hücreler için yazılan bu bağıntılar sınır hücrelerinde sınır şartlarını da içerecek biçimde düzenlenecektir.

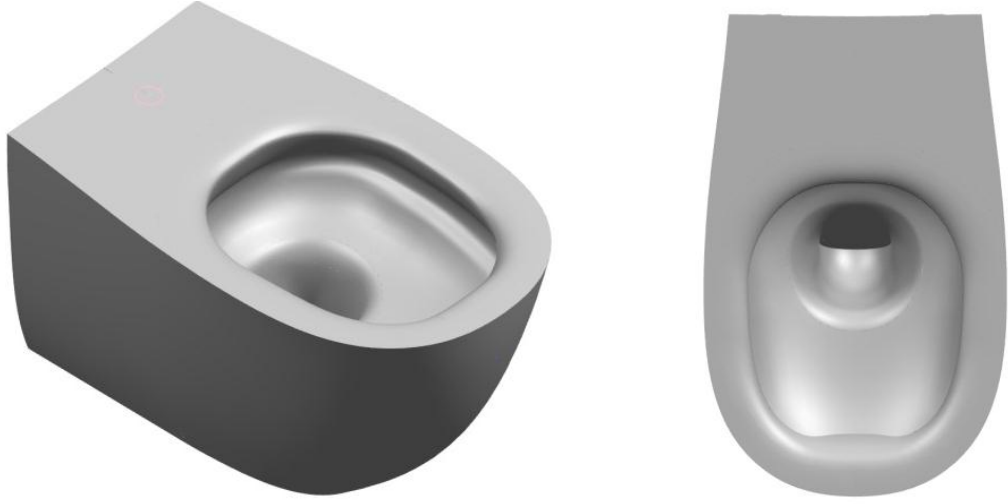
### 3. VİTRİFİYE ÜRÜNLERİN ÜRETİM SÜRECİ

Vitrifiye sektöründe, satış ve pazarlama birimi tarafından belirlenen istekler doğrultusunda tasarlanan 2 ve 3 boyutlu tasarımlar, tasarım uygulama birimi tarafından ürün haline getirilerek prototipi yapılır. Yapılan prototipler üzerinden ürünün üretilip üretilmeyeceğine, üretim sürecine uygun olup olmadığına teknik ekip tarafından karar verilir. Vitrifiye sektöründe üretim süreci Şekil 3.1’ de şematik olarak gösterilmektedir.

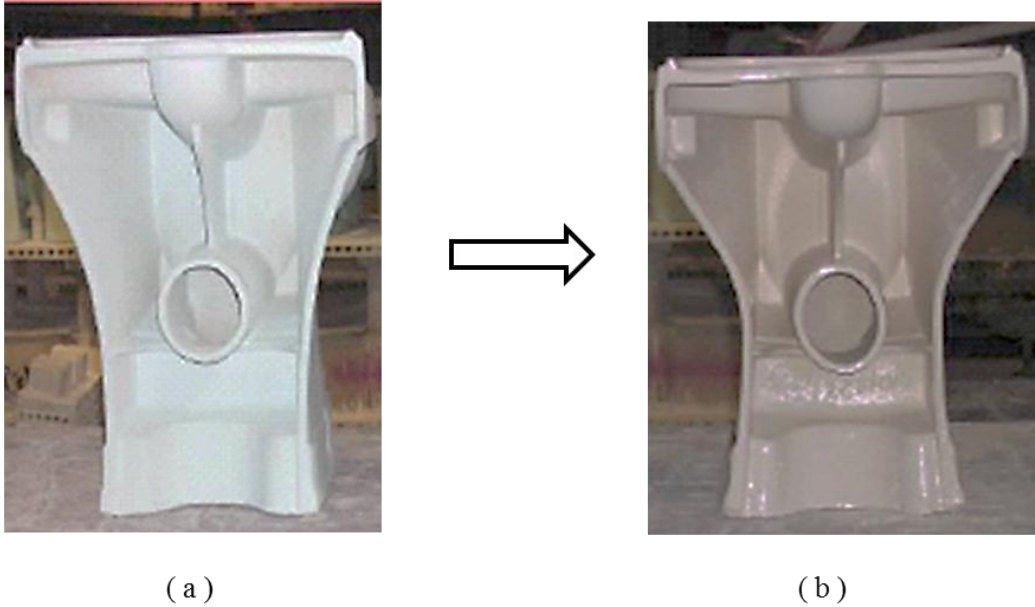


Şekil 3.1. Vitrifiye sektöründe üretim süreci

Teknik ekibin değerlendirmesi olumlu ise, prototip ürün ölçüsü belli bir oranda büyütülerek, gerekli deformasyonlar verilerek model formuna getirilir. Büyütülme sebebi, dökümden ve pişirmeden sonra çamurda meydana gelen küçülmedir. Şekil 3.3 de model ve ürünün resimleri verilmiştir. Görüleceği üzere model üründen %11 civarında büyüktür.



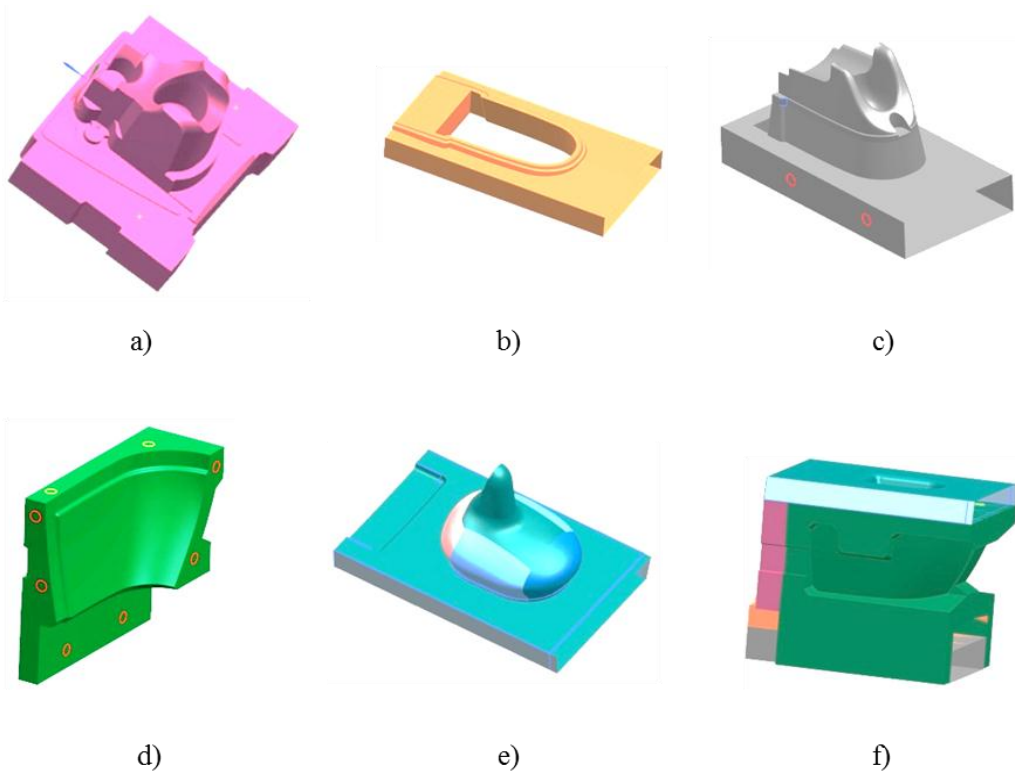
Şekil 3.2. Bilgisayar ortamında çizilmiş 3 boyutlu ürün çizimi



Şekil 3.3. Belli bir oranda büyütülmüş a ) model, b ) nihai ürün karşılaştırması (Twyford , August 2005).

Model formu üzerinden model kalıp yapılır. Bütün bu ürün, model, model kalıp bilgisayar ortamında, Siemens NX (CAD, Computer Aided Design) çizim programı kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 3.2’de projeye konu olan ürünün 3D yeni tasarımı gösterilmektedir.

Uygun forma getirilen kalıp 5 parçadan oluşmaktadır. Şekil 3.4’de bilgisayar ortamında çizilen model kalıbın 3 boyutlu parçaları verilmiştir. Şekil 3.4.a parçası modelin arka kısmını oluşturan kısımdır. Şekil 3.4.b parçası ise modeli kalıptan alırken üzerinde durduğu “ mal alma ceketi ” diye tabir edilen parçadır. Şekil 3.4.c ise modelin alt kısmını oluşturan “ dip parça ” olarak bilinen parçadır. Şekil 3.4.d modelin yan kısımlarını oluşturan “ yan gövde parça” dır. Şekil 3.4.e’ de ise modelin haznesini oluşturan tüm akış ve fonksiyon testin yapmasında etkin rol oynayan “ kapak parça ” gösterilmektedir. Bütün bu kalıp parçaları belirli ölçülerde dökülen alçı bloklar içerisine yerleştirilerek 3 eksenli CNC tezgahında de işlenir. Şekil 3.5’de CNC ve blok içerisinde kalıp parçasının işlenmesi görülmektedir.



Şekil 3.4. CAD ortamında oluşturulmuş Model kalıbın parçaları a)Arka Parça, b) Ceket Parça, c) Dip Parça, d) Yan Gövde Parça, e) Kapak Parça, f) Model Kalıbın izometrik Görünüşü

İşlenen bu kalıp parçaları konusunda uzman teknisyenler tarafından rötuşlanıp, gerekli parçalar takılıp birleştirilir ki bu işlem sonrasında ortaya “ Model Kalıp ” çıkmaktadır. Şekil 3.4.e’ de proje için hazırlanan modelin, model kalıbı gösterilmektedir. Model kalıp modelin döküm şekline göre tasarlanır. Çünkü yapılan kalıplar işletmede kullanılan döküm tezgahlarına uyumlu olmalıdır. Bu model kalıp, dökümhanede test edilir ve üretim prosesinden geçer. Deneme dökümünün yapılabilmesi için model kalıbın tam olarak kuru olması ve böylece çamur içindeki suyu emebilmesi gerekmektedir.



a)

b)

Şekil 3.5. a) Model kalıp parçalarının işlendiği CNC Tezgahı b) Alçı blok içerisinde de işlenen kalıp parçası

CNC tezgahında işlenmiş kalıp parçalarına yuvalarının konulması, çamur borularının yerleştirilmesi, takım izlerinden kaynaklı izlerin giderilmesi için elle müdahale edilmektedir. Bütün bu işlemlerden geçen kalıp parçaları deneme dökümünün yapılması için işletmede belirlenen yerlere bağlanır. Şekil 3.6’ de CNC tezgahından inen ve gerekli müdahalelerden sonra döküme bağlamaya hazır durumdaki klozet kalıbı görülmektedir. Şekil 3.6.a, Cnc’ den inen alçı yan, dip ve arka parçalarının birleştirilmiş halini, Şekil 3.6. b’ de ise kalıbın Cnc’ den inen kapak parçasının, Şekil 3.6. c’ de ise kalıbın bütün parçalarının birleştirilerek döküme hazır hali gösterilmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 3.6. a) Kalıbın alçı yan ve dip parça parçası, b) Alçı kapak parça ,  
c) Kalıbın üretime bağlanan bitmiş hali

Model kalıp deneme döküm yapılmak üzere yatık döküm tezgahı olarak da bilinen Mekanize Döküm Tezgahına bağlanır. Şekil 3.7.a ve Şekil 3.7.b’ de klozetlerin döküldüğü mekanize döküm tezgahı görülmektedir. Tezgah raylı sistem üzerine kurulmuştur. Kalıplar sağa sola ve yukarı doğru hareket eder ve kurutma normal dökümhane ortamında yapılmaktadır. 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. Bu kalıplar aynı anda dökülür ve boşaltılır (MEGEP, 2007).



a)



b)

Şekil 3.7. Mekanize döküm Tezgahı



a)



b)

Şekil 3.8. Mekanize Tezgahda Dökülen Yaş Yarı Mamül



Mekanize tezgahda dökülen yaş yarı mamül Şekil 3.8’ de verilmektedir. Model kalıpta dökülen yaş yarı mamüller kurutma fırınında kurutulmaktadır. Şekil 3.9’ de kurutma fırını gösterilmektedir. Ürünlerin sırlanıp fırına girebilmeleri için nemlerinin %1’ in altına düşmesi gerekmektedir. Bu nedenle sırlama öncesi ürünler kurutma fırınına sokulmaktadır. Fırının içinde ön kurutma bölümü vardır. Burada tüm ürünlerin nem oranları sabitlenir. Fırının sıcaklığı 35 °C olduğunda nem oranı %70’dir. Kurutma sonunda çıkan ürünlerin nem oranı ise %1’den az almak zorundadır (Türk Seramik, 2007).

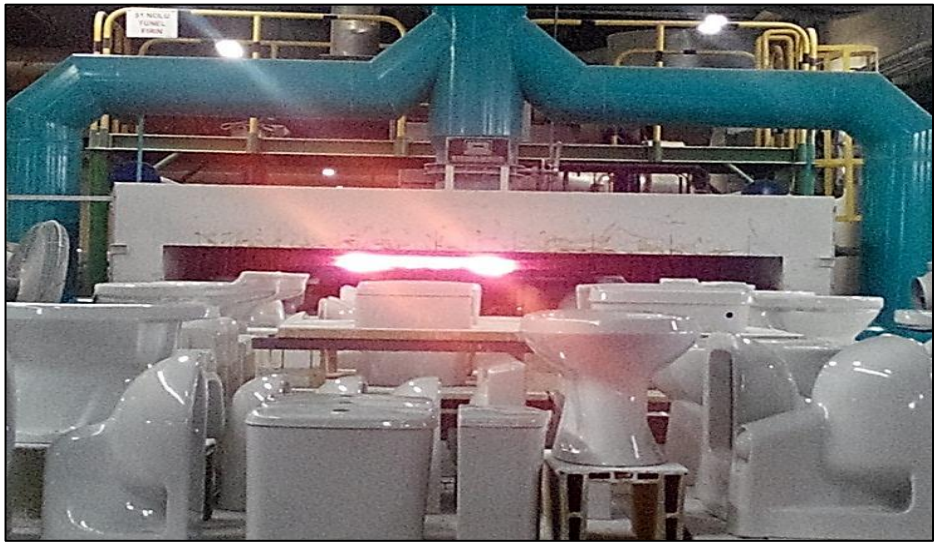


Şekil 3.9. Kurutma Fırının Görünüşü

Kurutmadan sonra kuru yarı mamüller sırlanmaktadır. Sırlama prosesi, pişirim öncesi ve kurutma işlemi sonrası yarı mamül 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 sırlanmaktadır. Şekil 3.10’ de kuru yarı mamülün robotlar ile sırlanma aşaması gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Sırlama Robotu ile Klozetin Sırlanma İşlemi



Şekil 3.11. Fırın Çıkışı Vagon Üzerindeki Ürünler

Sırlama prosesinden sonra sırlanmış kuru yarı mamüller fırına gönderilir. 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 ulaşır deform 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. Fırın çıkışı seramik ürünler Şekil 3.11' da gösterilmektedir.

Piştirim işleminin bittikten sonra kalite kontrole gönderilir. Piştirilen mamullerin kalitelerinin standartlara göre kontrol edilmesidir. Bu kontroller sonrasında ürünler; kaliteli, iskarta veya tamir olarak sınıflandırılmaktadır. Kalite kontrol bölümünde sınıflandırılan ürünler mamül stok ambarlarında stoklanır. Şekil 3.12' de kalite ayırım işleminin yapıldığı tezgah görülmektedir.



Şekil 3.12. Kalite Ayırım İşlemi

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Standartlara uygun ürünün veya yarı ürünün özellikleri olarak fiziksel, kimyasal, boyutsal, fonksiyonel ve estetik özellikler olarak sayılabilir.

- 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

Çizelge 4.1. 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 Taşlan	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

Fonksiyon testlere başlamadan önce rezervardaki su miktarı ile ilgili standartların belirlediği uygulamalar yapılır. Rezervuar su hacmi ürünler hangi ülke standardına göre test edilecekse, rezervuar su seviyesi (kullanılacak su miktarını) ayarlanır. Su boşalma süresi rezervuar su hacmini ayarladıktan sonra kumanda kolu çekilir ve aynı anda

kronometre çalıştırılır. Rezervuardaki suyun gelişi kesildiği anda kronometre durdurulur ve su boşaltma süresi olarak kaydedilir. Valf tipi (şeffaf) rezervuarlar için su akış süresi tayini için ise rezervuarın içindeki atık suyun üzerine 2,5 L su eklenir. Bu şekilde elde edilen su seviyesine alt sondaj ölçüsü denir ve bu seviye işaretlenir. Üzerine 3 L su ilave edilerek üst sondaj ölçüsü belirlenir ve bu seviye rezervuarda işaretlenir. Daha sonra rezervuarın içindeki su boşaltılarak 6 L su ilave edilir. Rezervuar kumanda kolu çekilerek su seviyesinin 5,5 L' den (üst sondaj ölçüsü) 2,5 L kadar (alt sondaj ölçüsü) düşme süresi kronometreyle belirlenir. Bu işlem 5 kez tekrarlanır. Su akım değerleri aşağıda verilen tabloya uygun olmalıdır.

Çizelge 4.2. Montaj Yüksekliğine Bağlı Olarak Su Akım Değerleri

Boşaltım Suyu Hacmi (L)	Montaj Yüksekliği (mm)	Deney Yüksekliği (mm)	Su Akımı (L / s)		
			Valf Tipi Rezervuar	Duvara Gömmeli Rezervuar	Bas Rezervuar Sistemi
6	120	165	2.3 ± 0.1	2.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1
9	185	230	2.5 ± 0.1	2.3 ± 0.1	1.5 ± 0.1

#### 4.1. Fonksiyon testleri

Fonksiyon testlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Türk (TS) standartlarına göre klozetlerde yıkama test metodları

Tip (L)	Talaş Testi	Kağıt Testi	Su Sıçratma Testi	Son Su Testi
6	×	×	×	

Çizelge 4.4. Avrupa standartlarına göre klozetlerde yıkama test metodları

Tip (L)	Talaş Testi	Kağıt Testi	50 Adet Bilya Testi	Su Sıçratma Testi	Son Su Testi
9	×	×	×	×	
6	×	×		×	×
4	×	×	×	×	

Çalışmada 4 L için EN 997 Standardına uygun 4 test uygulanmıştır. 6 L test çalışması için Bilya Testi yerine Son Su Testi yapılır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- Talaş Testi
- Bilya Tesi
- Kağıt Testi
- Su Sıçratma Testi
- Son Su Testi

#### 4.1.1. Talaş testi

Bu testte, elenmiş kuru talaş tozu kullanılmaktadır.

1. Klozetin hazne içerisi temiz su ile yıkanır.
2. Yaklaşık 20 g talaş tozu, yıkama hazne yüzeyini homojen olarak tamamen kaplayacak şekilde tamamen serpilir.
3. Rezervuar kumanda koluna basılarak yıkama yapılır.
4. Hazne içerisinde kalan talaşlı bölgeler asetat kağıdına çizilerek, milimetrik kağıt üzerinde bu bölgelerin kaç cm<sup>2</sup> olduğu tespit edilir.
5. Kanalsız klozetlerde klozetin üstünden aşağıya 85 mm çizilerek suyun bu kısmın altını yıkaması istenir.
6. Yukarıdaki işlemler 5 defa tekrarlanarak ortalaması alınır.

**Kabul Sınırı:** Arka arkaya yapılan 5 testin ortalaması max. 50 cm<sup>2</sup>'yi geçmemelidir.

#### 4.1.2. Bilya testi

Bilya testinde ağırlığı  $(3.7 \pm 0.1)$  g ve çapı  $(20 \pm 0.1)$  mm olan 50 adet yoğunluğu  $0.89 \text{ g/cm}^3$  olan plastik bilya kullanılmaktadır.

1. 50 adet bilya klozetin haznesine rastgele yerleştirilir.
2. Yıkama sonucunda klozetin hazne içerisinde ne kadar bilya kaldığı sayılarak tespit edilir.
3. Bu işlemleri toplam 5 kez tekrar edilir.

**Kabul Sınırı:** Arka arkaya yapılan 5 yıkama sonucunda 250 adet bilyaların % 85 i dışarı atılmalıdır. Yani 5 yıkama sonucunda toplamda max. 37 adet bilya kalmalı olup min. 213 adet bilya dışarı atılmalıdır.

#### 4.1.3. Kağıt testi

Su emme süresi belirlenmesi için  $(15 \pm 10)$  s, boyutları 140x100 mm ve bir parçasının ağırlığı  $(30 \pm 10)$  g/m<sup>2</sup> olan tuvalet kağıdı kullanılır.

1. Tuvalet kağıdı ek yerlerinden koparılarak elle buruşturularak 12 adet kağıt parçası klozet haznesine tek tek 16 ila 18 sn arasında atılır.
2. En son kağıt atıldıktan 2 s sonra rezervuar kumanda koluna basılarak hazne yıkaması yapılır.
3. Yıkama sonunda tüm kağıtlar dışarıya atılmış olmalıdır.
4. Yıkama yaptıktan sonra sifondan kaç adet kağıt çıktığı tespit edilir.
5. Bu işlemleri toplam 5 kez tekrarlanır.

**Kabul Sınırı:** Arka arkaya yapılan 5 yıkama sonucunda en az 4 testin sonucunda haznede kağıt kalmamalıdır.

#### 4.1.4. Su sıçratma testi

Su sıçratma testinde su damlacıklarını absorbe ederek belli edecek kağıt kullanılmaktadır. Test klozet hangi yıkama hacminde pazara verilecekse o yıkama hacminde yapılması gerekmektedir.

1. Kağıt klozetin yere oturduğu planının 20 cm ötesindeki bölgeye yerleştirilmelidir.
2. Rezervuar kumanda koluna basılarak hazne yıkaması yapılır.

**Kabul Sınırı:** Kağıt şablon üzerine gözle bakıldığı zaman büyük çaplı su damlacıkları olmamalıdır ancak çok küçük damlacıklar kabul edilebilir.

#### 4.1.5. Son su testi

Son yıkama suyu testi Almanya standardı olan LGA onayı alan ve 6 L' de yıkama yapan klozetler için gereklidir. Deney malzemesi olarak içi soya sosuyla doldurulmuş 100 mm boyunda ve 25 mm çapında 4 adet bağırsak kullanılmaktadır.

1. Test yapılacak klozet, uygun valfli rezervuar ile birlikte son su aletine monte edilir.
2. 4 adet bağırsak derin hazneli klozetlerde, klozetin yıkama haznesine bırakılır. Sığ hazneli klozetlerde ise klozetin ön haznesine yerleştirilir ve kumanda koluna basılır.
3. Bağırsaklar dışarıya atıldıktan sonra otomatik olarak son su miktarı yazıcıda yazılır ve vana açılarak su boşalır. 20 – 40 s sonra vana kapanarak son su aleti teste hazır duruma getirilir.
4. Daha sonra klozetin sifonundan tüm bağırsakların dışarıya atılıp atılmadığı kontrol edilir. Dışarıya 4 adet bağırsak atılmamış ise son su miktarı ‘‘ 0 ’’ kabul edilerek yazıcıda kağıda kaydedilir.
5. Yukarıda belirtilen işlemleri 10 sefer yapılır. Yapılan test sonucunda su miktarlarının ortalamasını alınır.

**Kabul Sınırı:** Bas ve şeffaf rezervuarlarda yapılan 10’ar yıkama sonucunda en az 8 yıkamanın bağırsak testi uygun sonuçlanmalıdır. Her testin son su miktarı  $\geq 2.5$  L olmalı veya 10 yıkama sonucunda çıkan su miktarların ortalaması  $\geq 2.8$  L olmalıdır.



## 4.2. Deneysel Düzenek

Bu çalışmada "tersine mühendislik" uygulamaları kullanılmıştır. Tersine mühendislik, bir makineyi veya nesneyi kopyalamak veya geliştirmek amacıyla veya çalışma prensibini belirlemek amacıyla parçalara ayırmak olarak da tarif edilmektedir. Tersine mühendislik, 3D bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli  retim (CAM), bilgisayar destekli mühendislik (CAE) ve diğer yazılımlarda kullanılmak üzere, var olan parçaların üç boyutlu sanal modellerinin yaratılması için kullanılabilir bir metod haline gelmiştir.

Tersine mühendisliğin ortaya çıkmasının en yaygın sebepleri:

- CAD yazılımlarında modellenmesi zor olan serbest formların oluşturulması
- Bir CAD yazılımı ile tasarlanması imkansız veya çok zor olan karmaşık geometriye sahip 3D modelleri oluşturmak
- Orijinal CAD modeli ile islenen kalıp veya üretilen parça arasındaki uyumsuzlukları gidermek
- Ergonomik tasarım, retro tasarım, aerodinamik gibi alanlarda yenilikleri hızlandırmak
- Bilgisayar destekli denetim (CAI, Computer Aided Inspection) ve mühendislik analizleri için kalite ve performansı sağlamak.
- Ürünün bazı kötü özelliklerinin yeniden tasarlanmasına ihtiyaç duyulması,
- Ürünün uzun süreli kullanımına dayanarak ürüne ait iyi özelliklerin güçlendirilmesi,
- Rakip ürünün iyi ve kötü özelliklerinin analiz edilmesi,
- Ürünün performansını ve özelliklerini geliştirmede sonuca götürecek yeni yolların keşfedilmesi,
- Rakip  rnlerin anlaşılması ve daha iyi ürünlerin geliştirilmesinde rekabete dayalı kıyaslama metodlarının elde edilmesidir.

Tersine mühendislik için bu projede Breuckmann Smart Scan 132576 optik tarama cihazı kullanılmıştır. San-Tez projesi kapsamında  niversite-Sanayii işbirliği adı altında bu projede satın alınmıştır. Optik tarama cihazı bu projede gerek rakip firmaların

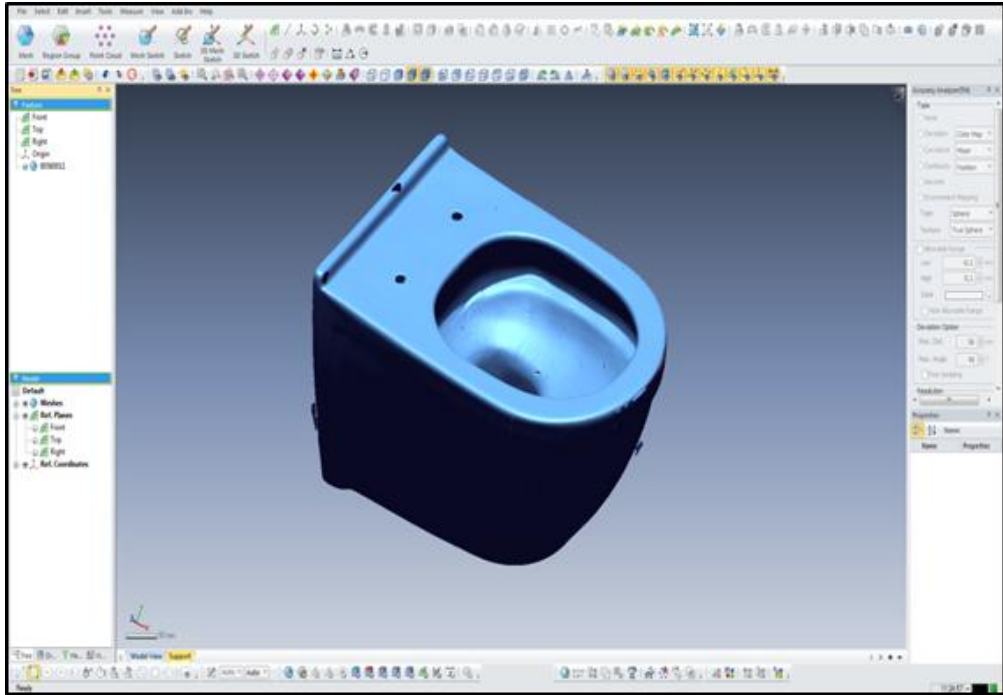
ürünlerinin taranarak 3D data olarak bilgisayara aktarılmasında, gerekse model, model kalıp sonrasında çıkan ürünün üzerinde fonksiyon test iyileştirme aşamasında oldukça yaygın olarak kullanılmıştır.

Optik tarama cihazı, 2 MP' li, 2 adet yüksek çözünürlüklü kameraya sahiptir. Sistemde kullanılan projeksiyon ünitesi Led ışık teknolojisi ile ve ızgara projeksiyon yöntemi ile çalışmaktadır. Sistem parça üzerinde data kayıpları olmaması için index marker kullanmadan (parça üzerine herhangi nesne yapıştırmadan) farklı ışık şartları için tek adımda birden fazla çekim yapabilmektedir. Sistem değişik ortamlarda farklı ışıklar altında boyamaya ihtiyaç duymadan optimum çekim yapabilmeyi sağlayan bir moda sahiptir. Bu sayede taranılan parçaya zarar vermeden veri almak mümkündür. Sistem tek çekimi 1 s' nin altında yapmaktadır. Bu da ortam şartlarından (titreşim, ışık v.b.) etkilenmemesini sağlamaktadır. Projede Kullanılan Breuckman Smart Scan Optik Tarama Cihazı Şekil 4.1' de verilmektedir. Cihazın teknik özellikleri Ek Açıklamalar A' da verilmiştir.



Şekil 4.1. Breuckman Smart Scan Optik Tarama Cihazı

Projede optik tarama cihazı ile taranan ürünler nokta bulutu halindedir ve STL (Standart Tessellation Language) datası olarak kaydedilmektedir. Bu STL datasını serbest yüzey formuna çevirmek üzere Rapid Form programı kullanılmıştır. Rapid form programı STL data üzerinde değişiklikler yapılmasını sağlayan, tarama esnasında doğabilecek deformasyonların tamir edilmesini ve son olarak nokta bulutunu serbest yüzey formuna getiren bir programdır. Şekil 4.2' de optik tarama cihazı ile tarama yapıлып Rapid form programına atılan prototip ürün görülmektedir.



Şekil 4.2. Projede kullanılan Rapid form programına ait örnek

## 5. SERAMİK MODEL TASARIMI: SAYISAL SİMÜLASYONLAR

### 5.1. Öne Çıkan Tasarımlar

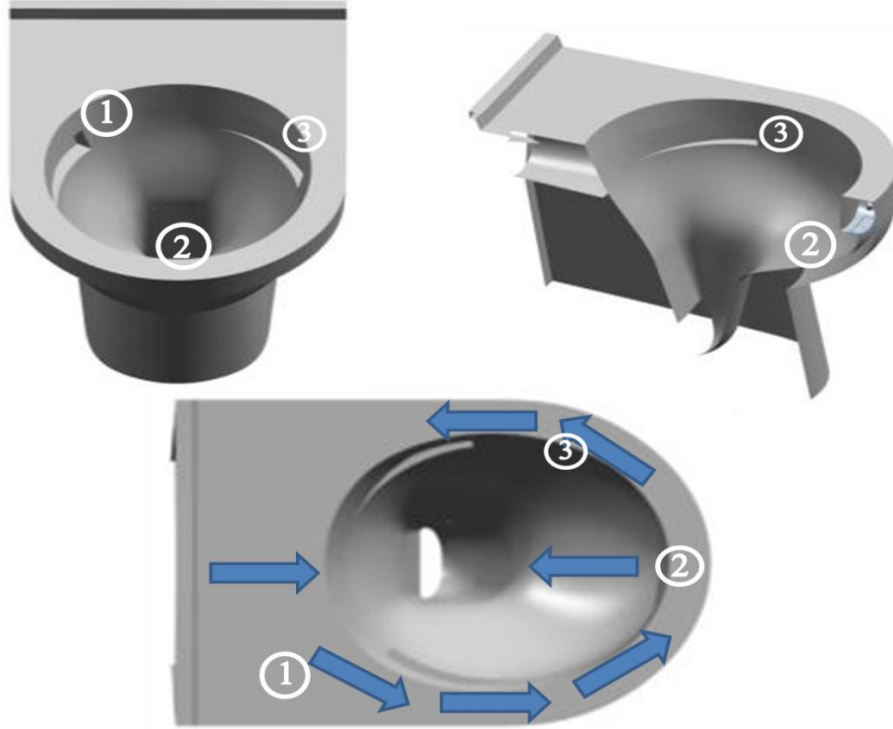
Bu projede literatür çalışmalarında birçok ürünün hazne yapısı, kanal sistemi, sifon sistemi gibi parametreler incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda Rimless diye tabir edilen kanalsız klozetlerin dünyada gerek tasarımsal açıdan gerekse hijyenik açıdan oldukça rağbet görmeye başladığı görülmektedir. Kanalsız klozetlere farklı bir bakış açısından bakılarak en iyi su performansına sahip, en iyi fonksiyon yapan, tasarımsal anlamda estetik ve teknolojik ürün algısı oluşturacak bir ürün tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu tasarımları oluştururken bir yandan suyun hazne içerisindeki hareketinin tüm hazneyi temizleyecek bir etkiye sahip olması istenmiş ve diğer yandan da piyasadaki kanalsız klozetlere karşı fark yaratmak amacı için çalışılmıştır. Bu bağlamda suyun önden gelmesi üzerine odaklanılmıştır. Birçok tasarım üzerinde durulmuştur. Bunlardan 6 tanesi üzerinde fikir alışverişi yapılmış ve üretilebilirlik, patentlenebilirlik, tasarımsal anlamında en iyi 3 tasarım bu çalışmaya konulmuştur.

Şekil 5.1' de proje için hazırlanan tasarımlardan 1 nolu tasarım, Tasarım (1) görülmektedir. Vitrifiye ürün üzerinde rezervuardan gelen temiz suyun bir kısmı 2 ye ayrılır. % 20' lik kısmı 1 nolu bölgede açılmış küçük deliklerden yıkama yaparken, diğer %80 lik kısmı ise iç te bulunan gizli bir su yolundan geçerek klozetin önüne gelmekte ve ön – orta kısımda bulunan 2 nolu bölgeden hazneye girmektedir. Yan bölgeleri yıkamak 1 nolu kanalla ile olmaktadır. Asıl fonksiyonu öndeki büyük delikler yapmaktadır. Ön hazne de delikler gizlenmiştir. Bu tasarım fonksiyona göre farklı ölçüde delik çapı verilmesine olanak sağlamaktadır.

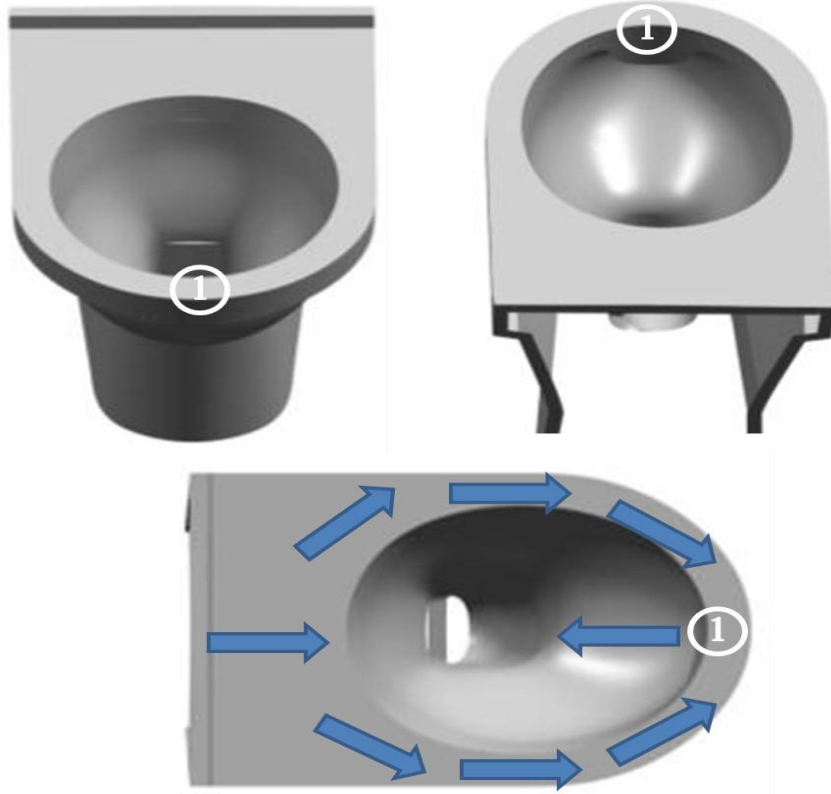
Şekil 5.2' de 2 nolu tasarım, Tasarım (2) görülmektedir. Rezervuardan gelen temiz suyun %10' luk kısmı 1 nolu kanaldan, % 80' lik kısmı 2 nolu kanaldan, % 5' lik kısmı ise 3 nolu kanaldan gelmektedir. 1 ve 3 nolu kanaldan gelen su talaş testi için yıkama yaparken asıl yıkamayı gizli kanaldan akan 2 nolu kanaldan gelen temiz su yapmaktadır. Ön deliklerin görünmemesi ve yan deliklere gerekli açının verilebilmesi için ön yapı daha estetik hale getirilmiştir.



Şekil 5.1. 1. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (1)



Şekil 5.2. 2. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (2)



Şekil 5.3. 3. Nolu klozet tasarımı, Tasarım (3)

Şekil 5.3' de 3 nolu tasarım olan Tasarım (3) görülmektedir. Rezervuardan gelen temiz su tamamı içteki gizli kanaldan gelip ön-ortadaki 1 nolu dağıtıcı sistemden hazneye girmektedir. Dağıtıcı sistem yanlarda 2 adet büyük, ortada 1 adet küçük olma üzere toplamda 3 delikten oluşmaktadır. Yanlardaki büyük deliklerden suyun % 90' lık kısmı, ortadaki küçük deliklerden ise suyun % 10' luk kısmı hazneye akmaktadır. Yan delikler suyun arka kısımlara gitmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla talaş testi için gerekli olup asıl yıkamayı yapmaktadırlar. Ortadaki küçük delikten gelen su ise orta – ön kısımdaki temizlemeyi yapmakta, asıl yıkamaya da yardımcı olmaktadır. Yıkama ve fonksiyon öndeki deliklerin açısı ve yeri değiştirilmesine olanak sağlanabilir.

Bu 3 farklı tasarım içerisinde üretim, estetik ve hijyen anlamında değerlendirilmiştir. Tasarım (1) ve Tasarım (2), hazne içerisinde çok fazla girinti ve deliklerin olması sebebiyle tasarımsal açıdan oldukça karmaşık görülmektedir. Hazne içerisindeki deliklerin düzgün delinmesi, hazne içerisindeki form yapısının düzgün çıkarılması üretim açısından zorluklara sebep olmaktadır. Ayrıca Tasarım (1) ve Tasarım

(2)'deki 1 nolu dağıtıcı sisteme benzer piyasadaki sistemlerden ötürü patentlenebilirlik açısından sorun teşkil edebilmektedir. Bu 3 tasarım arasından en şık, en üretilebilir ve en hijyenik olabilecek tasarım, Tasarım (3) olarak görülmektedir. Ayrıca patentlenebilirlik açısından en özgün tasarım da Tasarım (3)'dür. Bu sebeplerden dolayı proje için Tasarım (3) seçilmiş olup, gerekli tüm analizler ve testler bu tasarım üzerinde yapılacaktır.

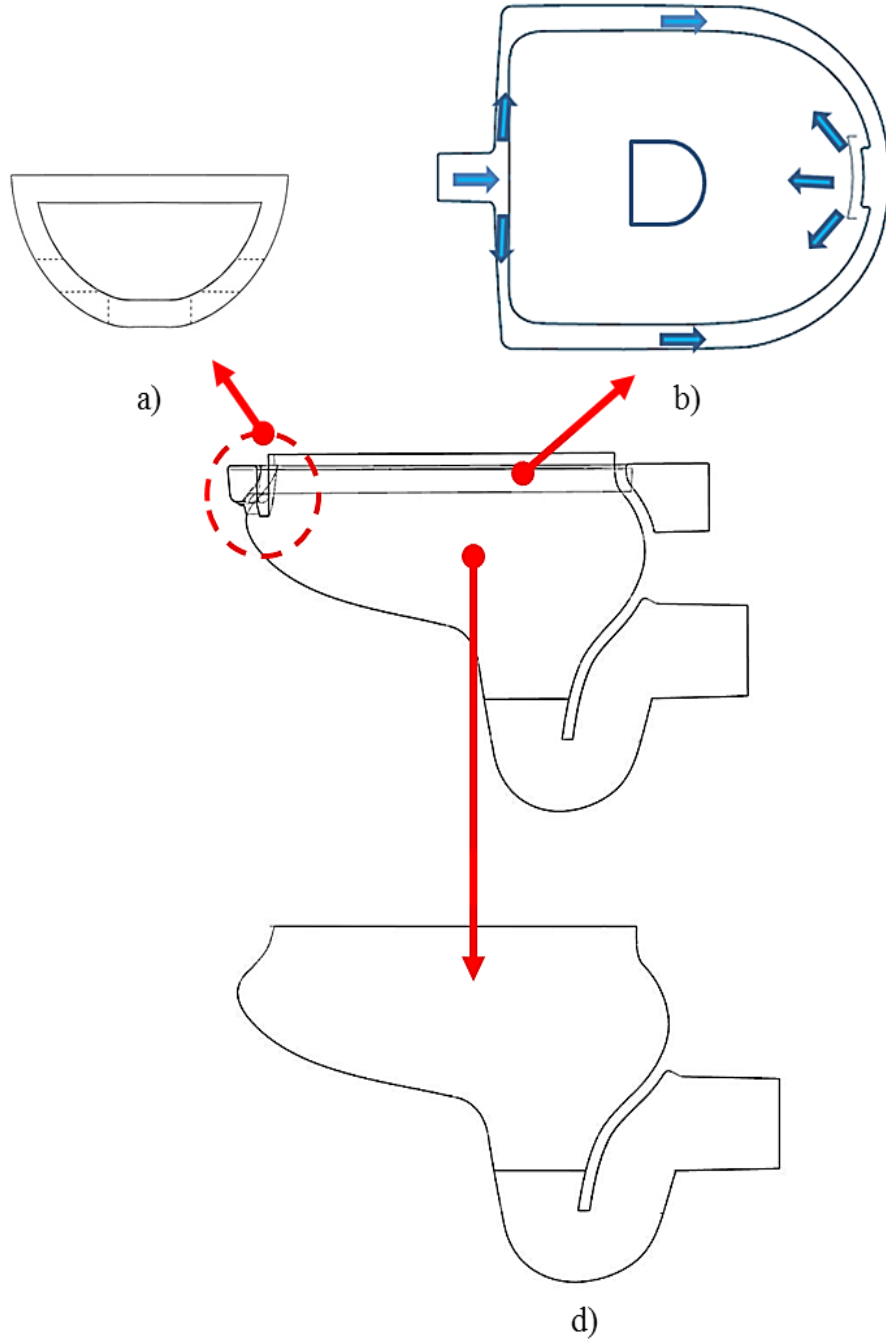
Vitrifiye ürün üzerinde rezervuardan gelen temiz suyun klozete dıştan bakıldığı zaman görülmeyen, gizli iç kanaldan geçerek klozetin önüne doğru gelmesi ve buradan su dağıtıcı görevi gören 3 delikli bir dağıtıcı sistemden hazneye girmesi ve değişik eğim ve su yolundan oluşan yıkama haznesinin temizliği ve yıkamayı yapması bu tezin başlıca amacıdır. Bu doğrultuda analizler ve denemeler yapılacak ve fonksiyon testleri için en uygun form elde edilinceye kadar denemelere devam edilecektir.

İlk prototip çalışmaları için Şekil 5.4 hazırlanmış ve fonksiyonellik açısından analiz edilmiş ve aynı süreçte deneysel anlamda analiz de çıkan sonuçların mukayesesi için model ve model kalıbı yapılarak ürün çıkarılması sağlanmıştır. Şekil 5.4' de önden yıkamalı, kanalsız klozetlerin yıkama sistemine ait bir çalışma söz konusudur. Bu çalışma ilk kurgu olması, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizlerinin doğruluğunun kanıtlanabilmesi, yıkama sisteminin üzerinde yapılacak iyileştirmelere yol göstermesi ve deneysel çalışmalarda kullanılması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Tez konusu yıkama sistemi; 3 kısımdan oluşmaktadır ( Şekil 5.4 ).

- Temiz suyu haznenin içine yönlendiren 3 delikli dağıtıcı kısım,
- Suyu klozetin iç kısmından öne doğru taşıyan gizli iç kanal,
- Yıkama ve fonksiyonu yapan iç hazne kısmıdır.

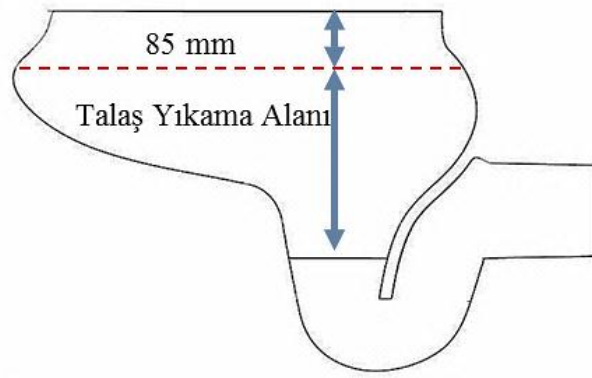
Temiz suyu klozetin kısmından öne doğru taşıyan gizli kanal kısmı, suyun öne doğru iletilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple, suyun ilk kanala girdiği anda suyun cidara çarpması ve yavaşlaması mümkün olduğunca önlenmelidir. Yine iç kanalda keskin köşelerin olması suyun hızının yavaşlamasına sebep olmaktadır. Suyun öne doğru daha hızlı hareketini sağlamak için gizli kanalın genişliği de önemli bir durum oluşturmaktadır (Şekil 5.4b). Yine suyu hazne içine dağıtılmasını sağlayan dağıtıcı kısmın suyla temas eden alanın oldukça küçük olması, delik çaplarının belirli ebatlarda olması ve suyu hazne içine daha iyi yayılmasını sağlaması için suyun hazneye yönlendiren 3 adet deliğin çapları oldukça önem kazanmaktadır (Şekil 5.4a).



Şekil 5.4. İlk prototip yıkama sisteminin değişik görüşleri a) Su dağıtıcı b) Suyu klozetin iç kısmından öne doğru taşıyan gizli iç kanal, c) Yıkama ve fonksiyonu yapan iç hazne kısmıdır



Su, dağıtıcı kısımdan asıl yıkamanın yapıldığı iç hazneye geçmektedir. İç hazne yıkamanın tam yapılabilmesi için suyu mümkün olduğunca arkalara götürerek standartların öngördüğü şekilde yıkama sağlamalıdır. Bunun içinde haznenin formu suyu bütün yüzeye doğru bir şekilde dağıtılmasını sağlayacak şekilde olmalıdır (Şekil 5.4c).



Şekil 5.5. TS EN 997 standardına göre kanalsız klozetlerde talaş yıkama alanı

Su dağıtıcısından hazneye giren temiz suyun, TS EN 997 ye göre, uluslararası standartların belirlediği ölçülerde hazneyi yıkaması gerekmektedir. Bu standarda göre talaş testi haznenin yıkama yapmasını gösteren en önemli göstergelerden birisidir. Bölüm 4.1.1' de talaş testi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Şekil 5.5' de TS EN 997 standardına göre kanalsız klozetlerde talaş yıkama alanına ait şekil verilmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere üstten 85 mm bırakılarak, bu kısmın aşağısının temizlenmesi fonksiyon test için yeterli olacaktır.

## 5.2. Sayısal Simülasyon ve Sayısal Ağ

### 5.2.1. ANSYS CFX

ANSYS; Sonlu Elemanlar Yöntemi tasarım ve imalat sürecindeki bir ürün için en çok kullanılan modelleme yöntemidir. Artık hiçbir ürün uygun testlere tabi tutulmadan geliştirilmemektedir. Bazen bu yöntemler zaman ve maliyet gerektirmektedir. İşte bu durumda sayısal hesaplama yöntemleri yardımcı olmakta ve böylece sonlu elemanlar yöntemi ile prototipler imal edilmeden önce ürünlerin davranışını görmek mümkün hale gelmektedir.

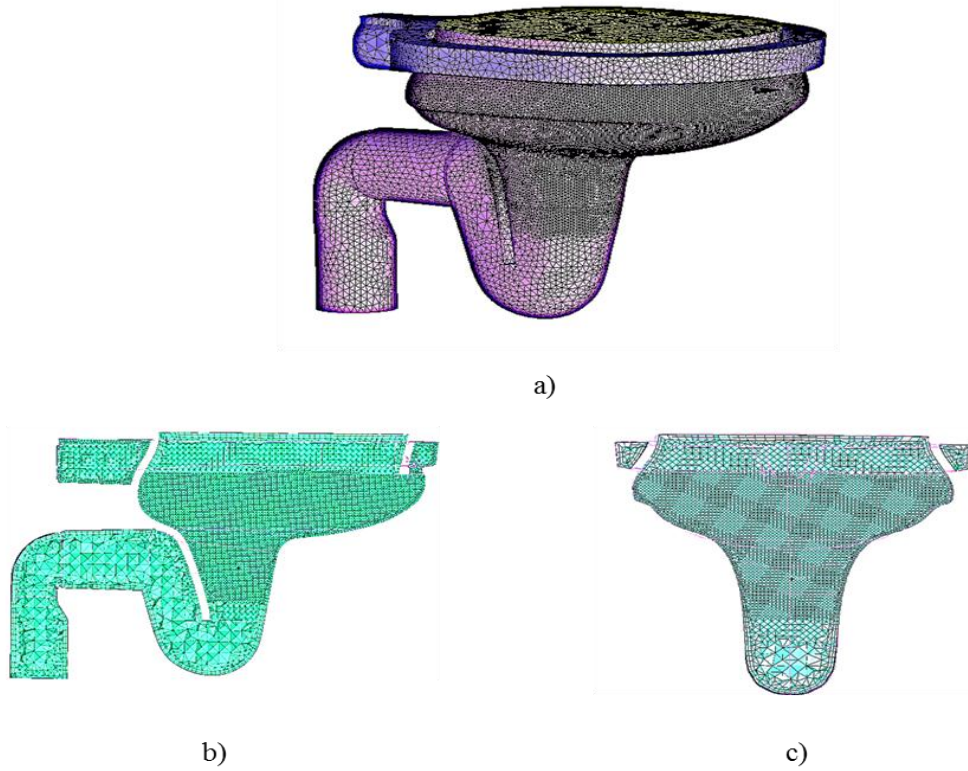
Bir çok sonlu elemanlar yazılımı içerisinde ANSYS en eski ve en çok kullanılan araçlardan biridir. ANSYS sadece yapısal analizler değil bunun dışında hesaplamalı akışkanlar dinamiği, elektrik ve elektro-manyetik ve optimizasyon çözümleri sunan bir ileri mühendislik aracıdır. Havacılık, otomotiv, elektronik, enerji, turbo makineler, inşaat ve sağlık gibi bir çok endüstri kolunda çok geniş kullanım alanı bulmaktadır (ANSYS 14.5, 2014).

ANSYS, fiziksel bir sistemin ( tasarımı yapılmış bir ürün veya sistemin ) yapısal, termal ve elektro manyetik yükleme koşullarına verdiği tepkinin simülasyonun yapılmasını sağlayan, endüstride geniş kullanım alanı bulan, problemlerin sayısal olarak çözümlenmesini sağlayan bir analiz yazılımıdır.

ANSYS CFX; yüksek performanslı, genel amaçlı hesaplamalı akışkanlar dinamiği programıdır. 20 yılı aşkın süredir çok geniş bir yelpazede akışkan uygulamalarına çözümler getirmektedir. Güvenilir ve doğru çözümlerin anahtarı CFX in kalbindeki hızlı ve sağlam ileri çözücü teknolojisidir. Modern, yüksek paralelleştirilmiş çözücü bilgisayar ortamında birçok fiziksel modelin rahatlıkla simülasyonunu sağlamaktadır. Laminer ve türbülanslı akış, sıkıştırılabilir ve sıkıştırılamaz akış, ses altı ve ses üstü akış, izotermal ve ısı transferi, kimyasal reaksiyonlu akış, çok fazlı akış ve diğerleri. Bu üstün çözüm yetenekleri, modern, esnek yapısıyla kullanıcı dostu ara yüzü ve session dosyaları, scripting ve güçlü expression dili ile desteklenerek kolay kullanım sağlanmıştır. Meshleme için ise ICEM CFD programı kullanılmıştır.

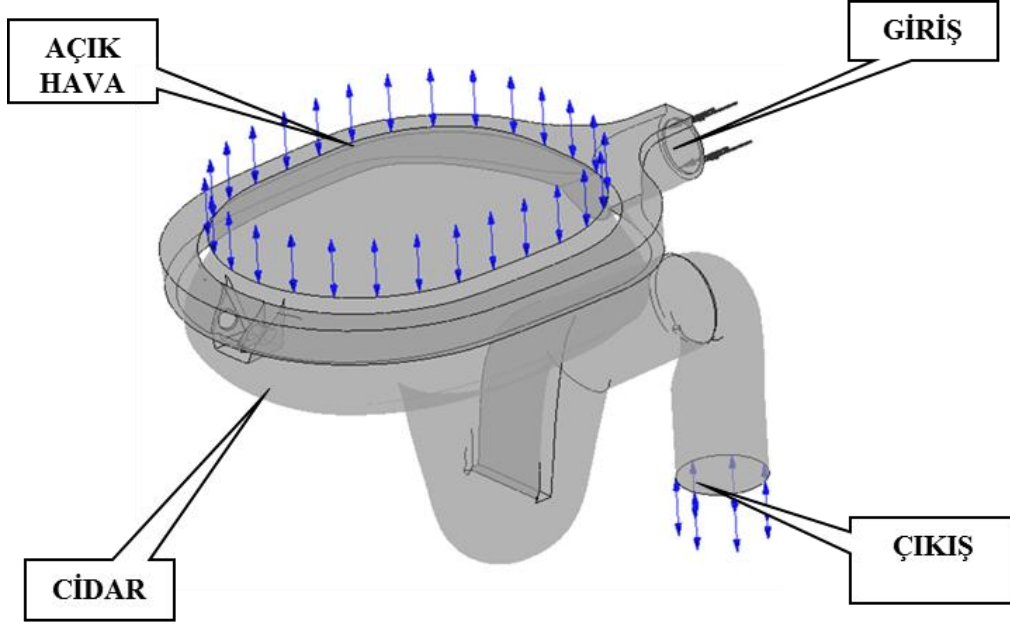
### 5.2.2. Sayısal Ağ

Sonlu Elemanlar Yöntemi; sayısal bir yöntem olup, özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin bilgisayar yardımıyla çözümünde kullanılan çok gelişmiş bir tekniktir. Sonlu Elemanlar Yönteminde modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür. Eleman sayısının azlığı sonuçların hassasiyetini kısıtlamaktadır. Bilgisayarların gelişmesiyle bugün problemlerde milyonlarca eleman kullanılmaktadır. Bu elemanlar belli noktalardan birbirleriyle bağlanır, bu noktalara düğüm (node) denir. Sonuç olarak model ne kadar çok sayıda elemana bölünürse o kadar gerçekçi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışma sırasında modellerde ortalama 2.000.000 eleman sayısı ve 500.000 node kullanılmıştır. Bu çalışmada analizi yapılan modeller ICEM CFD programı ile meshlenmiştir. Hassas bölgeler daha sık meshlenerek daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Ağırlıklı olarak Tetrahedral mesh kullanılmıştır. Suyun direkt temas ettiği cidara yakın bölgelerin mesh sıklığı artırılmıştır. Bu modellerde kullanılan prizmatik elemanların ayrıntılı hali Şekil 5.6.'da görülmektedir. .



Şekil 5.6. Çalışmada kullanılan modellerin meshlenmesi, a) İzometrik görünüşü, b) Yandan kesit görünüşü , c) Önden kesit görünüşü

### 5.2.3. Sınır Şartları



Şekil 5.7. Model üzerinde sınır şartları

#### **Bu çalışmada kullanılan sınır şartları:**

- Giriş : Kütleli debi =  $\dot{m}_{giris}$
- Cidar : Kaymasız
- Açık Hava : Statik Basınç = 1 Atm
- Çıkış : Kütleli debi =  $\dot{m}_{cikis}$

Şekil 5.7’ de bu çalışmada kullanılan sınır şartları görülmektedir. Girişte kg/sn cinsinden  $\dot{m}_{giris}$  sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Şekil 6.3.’ de, gizli su kanalına rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği verilmektedir. Açık hava sınır şartında statik basınç 1 Atm olarak alınmıştır. Cidarın kaymasız ( no slip) olduğu varsayılmıştır. Çıkışta ise yine kütle çıkışı kg/s cinsinden,  $\dot{m}_{cikis}$  olarak alınmıştır. Çalışmada, temiz suyun giriş sınır şartından girip, çıkışa kadar olan hareketi incelenmiştir.  $\dot{m}_{giris} = \dot{m}_{cikis}$  olduğu

kabul edilmiştir. Akışın, türbülanslı, zamana bağlı ve 3 boyutlu olarak sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu süreklilik ve momentum denklemleri ANSYS CFX ile sayısal olarak çözülmüştür. Çok fazlı akış koşullarında hava ve suyun birbirleriyle etkileşiminin homojen olduğu düşünülerek çözümlene yapılmıştır. Başlangıç sınır şartı olarak girişte rezervuardan gelen su  $F=1$  ve hava  $F=0$  olarak alınmıştır (Bkz. Bölüm 2.8). Başlangıçta hazne içinde hava olduğu ve açık hava ile temasta olduğu varsayılmıştır. Türbülanslı akış koşullarında  $k - \varepsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır. Yakınsama kriteri  $10^{-4}$  olarak alınmıştır. Çalışmada kullanılan hava ve suyun termofiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Hava ve suyun  $22^{\circ}\text{C}$ ’deki termofiziksel özellikleri  
( Incropera and DeWitt, 2001)

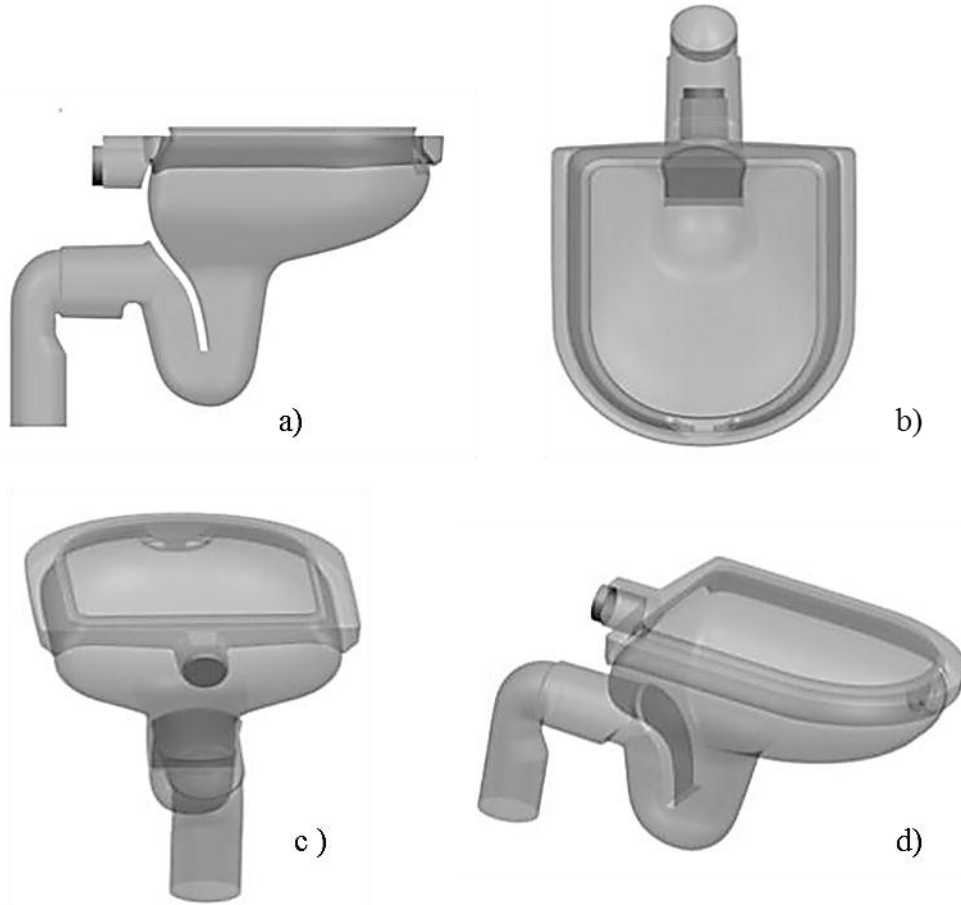
	Hava	Su
Yoğunluk ( $\rho$ ) [ $\text{kg m}^{-3}$ ]	1.185	997.0
Viskozite ( $\mu$ ) [ $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ]	1.831E-05	8.899E-4
Molar Kütle [ $\text{kg kmol}^{-1}$ ]	28.96	18.02

Suyun hazne içindeki hareketi, deneysel şartlarda, rezervuarın butonuna basılmasından, suyun rezervuar içinden tamamen boşalınca kadar geçen süre olarak alınmıştır. 4 L’ lik bir su hacmine sahip rezervuardaki suyun boşalma zamanı 5 ila 8 s arasında değişmektedir ki bu döküm şartlarına, gizli kanalın formuna, suyun hazneye aktığı deliklerin çaplarına bağlı olarak değişmektedir. Analiz de Intel(R) Xeon(R) 8 CPU X5450, 3 .00 GHz 32.0GB RAM bilgisayar kullanılmıştır. 0.0001 s zaman adımlarıyla ortalama 7x24 saat sürmüştür.

## 6. ANALİZ ÇALIŞMALARI

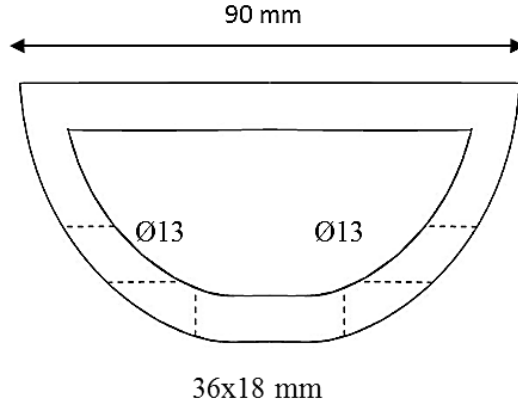
### 6.1 Ön Prototip Ürün Çalışması

Tez çalışmasında Tasarım (3) üzerinden çalışmalar yapılmıştır. İlk prototip de temiz su giriş kısmı, gizli kanal ve temiz suyun hazneye girdiği dağıtıcı kısım literatür çalışmalarında elde edilen bilgiler ışığında tanımlanmış ve optik tarama cihazı ile uygun formlardan gerekli hazne ve sifon yapısı taranarak bilgisayarda 3D ortamına aktarılmıştır. Siemens NX programı ile gerekli yüzey işlemleri ve ayarlamalar yapıldıktan sonra ilk prototip haznesi ortaya çıkarılmıştır.



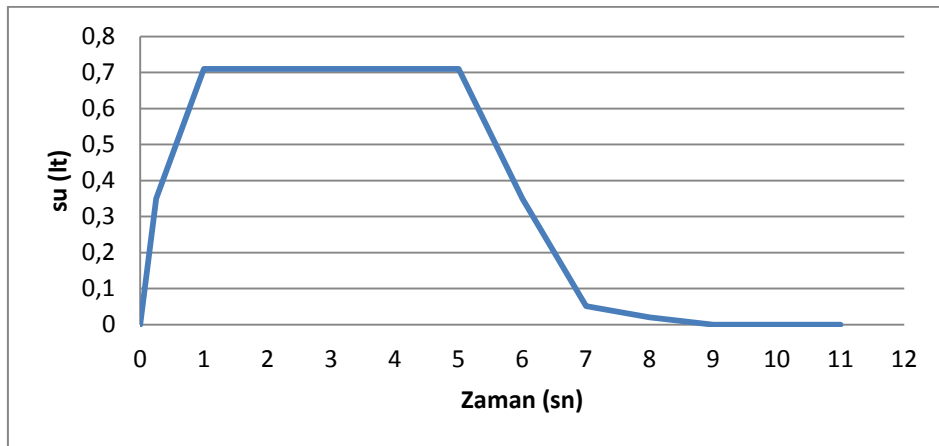
Şekil 6.1. İlk prototip yıkama sisteminin 3 boyutlu görüşleri a) Yanda görüş b) Üstten Görüş, c) Arkadan Görüş d) İzometrik Görüş

İlk prototip çalışması için uygun hazne formunun yandan, üstten, arkadan ve izometrik 3 boyutlu gösterimi Şekil 6.1’ de verilmiştir. Meshleme ve gerekli sınır şartları verildikten sonra analiz edilmiştir. Hacim olarak yaklaşık  $0.12 \text{ m}^3$ ’ lük hazne formu, toplam eleman sayısı: 1887279, toplam node sayısı: 426895 olarak kurgulanmıştır.

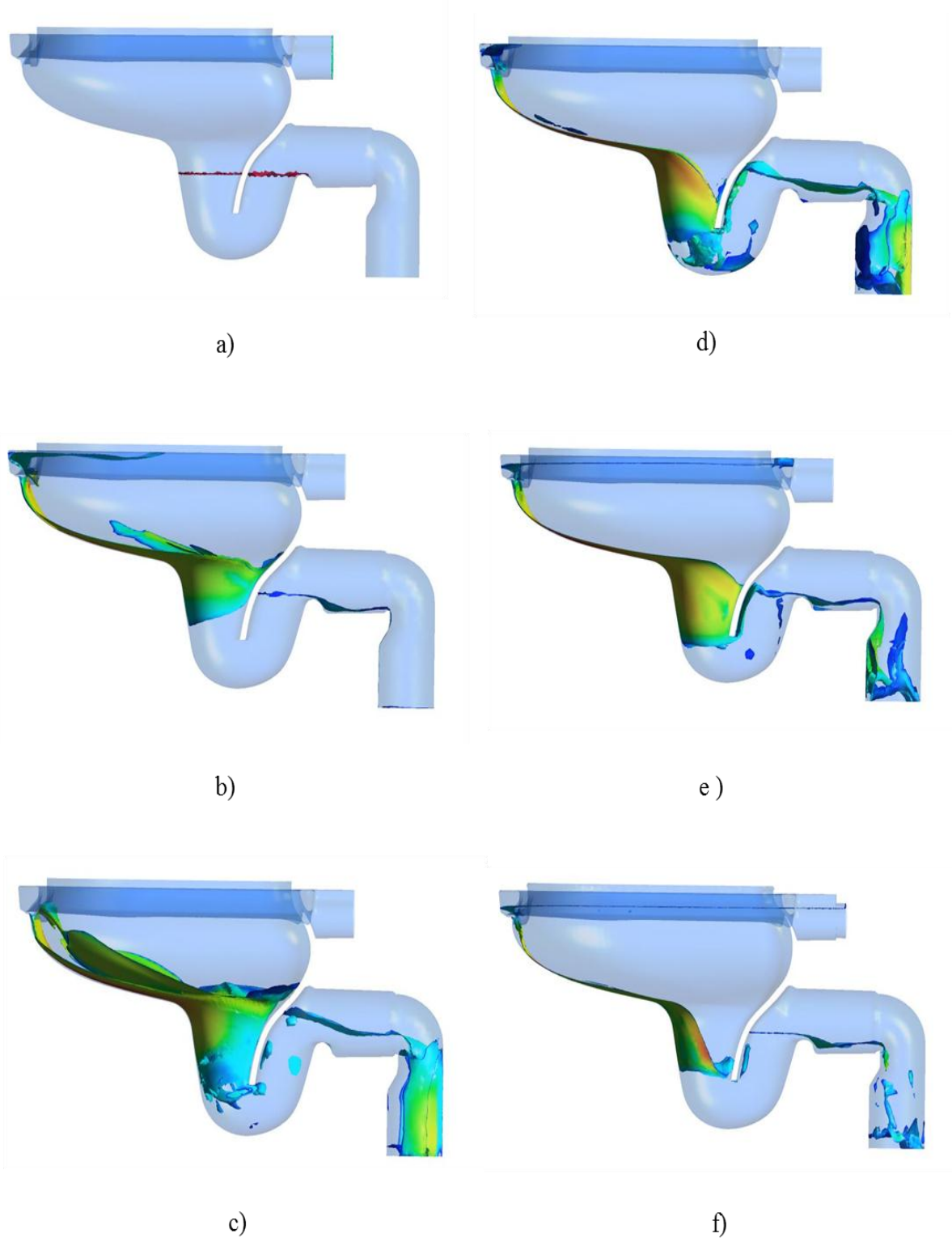


Şekil 6.2. İlk prototip dağıtıcı sisteminin görünüşü

Öndeki su dağıtıcı kısım 2 adet çapı 13 mm ve 1 adet ebadı 36×18 mm olan 3 adet delikten oluşmaktadır. Şekil 6.2 de dağıtıcı kısım üzerindeki delik detayları verilmiştir. 4 L su, rezervuardan 5.24 s de boşalmış olup hazne üzerindeki hareketi hem ANSYS CFX ile analiz edilmiş hem de deneysel olarak fonksiyon testlerine bakılmıştır. Suyun gizli su kanalına, rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği Şekil 6.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Ø13×(36×18)×Ø13 mm ebatlarındaki hazne için gizli su kanalına rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği

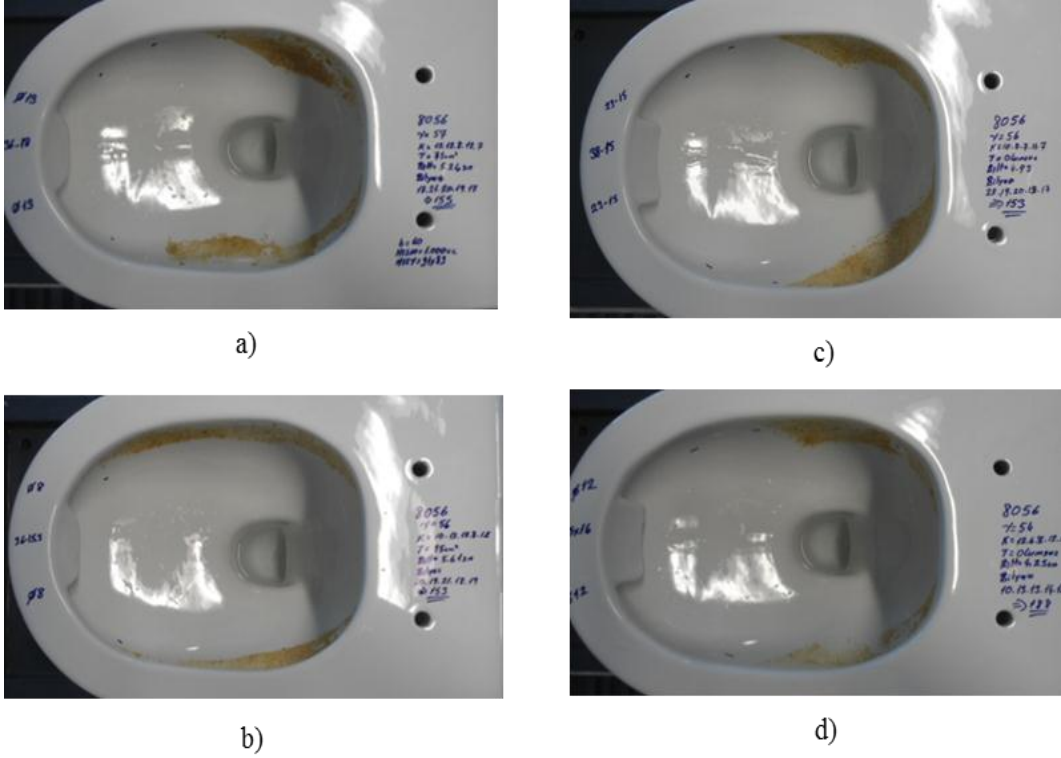


Şekil 6.4.  $\text{Ø}13 \times (36 \times 18) \times \text{Ø}13$  delik detaylarında ki ürünün analiz sonucu  
a)  $t = 0$  s, b)  $t = 2$  s, c)  $t = 4$  s, d)  $t = 6$  s, e)  $t = 8$  s, f)  $t = 11$  s' de  
de hazne içindeki suyun hareketi



ANSYS CFX ile analiz edilen ön prototip çalışmasının zamana bağlı suyun hareketi Şekil 6.4'de verilmiştir. Su sisteme, 2 adet 13 mm çapındaki ve ebadı 36×18 mm olan bir delikten olmak üzere 3 adet delikten girmektedir. Hazne içerisindeki suyun  $t = 0$  s'den,  $t = 11$  s' ye kadar ki hareketi incelenmiştir. Şekil 6.4.a'da  $t = 0$  anında suyun hazne içerisinde hareketsiz olduğu görülmektedir. Şekil 6.4.b  $t = 2$  s zaman aralığında içerisinde suyun girdiği zaman aralığıdır. Şekil 6.4.c ve Şekil 6.4.d hazne içerisindeki en iyi yıkamanın olduğu  $t = 4$  ve  $t = 6$  s zaman aralığı görülmektedir. Şekil 6.4.e'de hazne içerisindeki suyun zayıfladığı  $t = 8$  s deki suyun hareketini, Şekil 6.4.f ise suyun süzüntü halini aldığı  $t = 11$  s' deki hareketini verilmiştir.

Gerek CFX analizinde gerekse prototip ürünün fonksiyon test çalışmaları suyun hemen hemen aynı şekilde hazne içerisinde hareket ettiğini göstermektedir. Rezervuardan gelen temiz su, gizli kanaldan geçerek öndeki dağıtıcıya gelmektedir. Bu dağıtıcı sistemden hazne içerisine giren su yeteri kadar hazneyi yıkayacak bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Su, hazne içerisinde, yan kısımları hemen hemen hiç yıkamadan direkt sifon içerisine girmektedir ki bu istenmeyen bir durumdur. Dağıtıcı kısımdaki yönlendirici deliklerin çapının oldukça önemli olduğu bu analiz ve prototip çalışmasında görülmektedir. Yine bu analizler ile suyun önden arka kısımlara kadar gidebilmesi için hazne tasarımının bu olguyu destekleyecek şekilde değişmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. İlk prototip çalışması ile ilgili toplamda birçok deneme yapılmıştır. Fakat bu denemelerin çoğunda fonksiyon testleri anlamında gerekli başarıya ulaşılamamıştır. Bu denemelerle ilgili 4 adet ürünün, fonksiyon test sonuçları Çizelge 6.1.' de gösterilmektedir. Şekil 6.5' de ise bu 4 adet ürünün deneysel ortamda yapılan fonksiyon testleri görsel olarak verilmiştir. Test sonunda elde edilen veriler ürün üzerine yazılmış ve ürünün üst profilden fotoğrafları çekilerek talaş bölgelerinin gösterilmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.5. Değişik Dağıtıcı formları için Fonksiyon testleri a ) Ø13×(36×18)×Ø13 için delik detayı; b ) Ø8×(36×16)×Ø8 için delik detayı; c ) (23×15)×(38×15)×(23×15) için delik detayı; d) Ø12 ×(35×16)×Ø12 için delik detayı

Şekil 6.5.a' da Ø13×(36×18)×Ø13 dağıtıcı delik detayına sahip ürün incelenmiştir. Su rezervuardan 5,24 s' da boşalmıştır. Talaş testi 75 cm<sup>2</sup> olup olumsuzdur. Bilya testi ve kağıt testi standartları karşılamamaktadır. Su sıçratma testi olumludur. Şekil 6.5.b'de ise ürünün dağıtıcı delikleri Ø8 × (36×16) × Ø8 eklindedir. Su rezervuardan 5,61 s' da boşalmış olup talaş testi 70 cm<sup>2</sup> dir. Bilya testi ve kağıt testi standartların dışındadır. Şekil 6.5.c' de (23×15) × (38×15) × (23×15) delik detayına sahip ürünün talaş testi, bilya testi ve kağıt testi olumsuzdur. Temiz su rezervuardan 4,93 s de boşalmıştır. Şekil 6.5.d' da Ø12 × (35×16) × Ø12 dağıtıcı delik detayına sahip ürün incelenmiştir. Su rezervuardan 4,75 s' da boşalmıştır. Talaş testi 60 cm<sup>2</sup> olup olumsuzdur. Bilya ve kağıt testi standartları altındadır. Su sıçratma testi olumludur. Çizelge 6.1' den de görüleceği üzere bu dağıtıcı sistem delik yapısı fonksiyon testlerle dolaylı yoldan ilgili olup fonksiyon testleri için tek başına yeterli gelmemektedir.

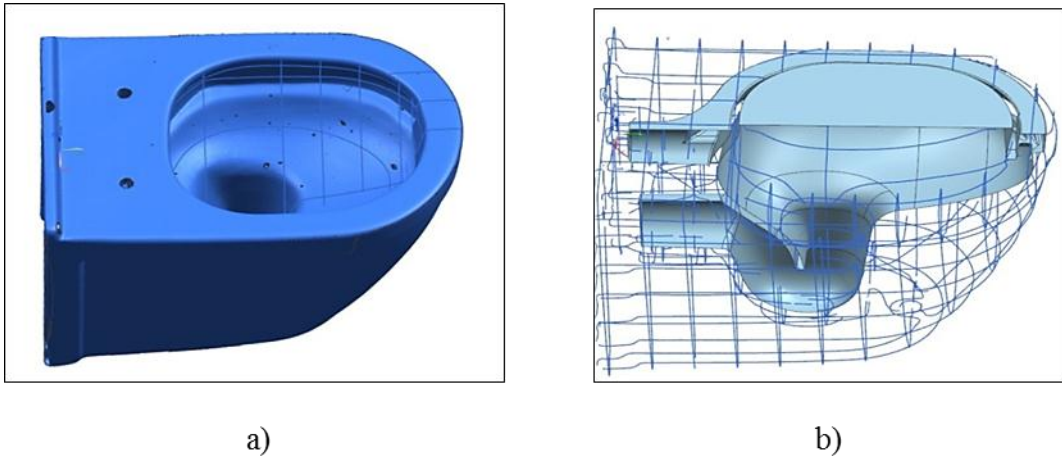
Bu sebeple ilk prototip ürün üzerinde alçı ile doldurularak formda düzeltmeler yapılmıştır. Şekil 6.6'da ilk prototip ürünün hazne içinde alçı ile yapılan değişiklikler görülebilir. Bu haznede yapılan işlemler fonksiyon test değerlerini olumlu yönde etkilemiş olup Optik Tarama Cihazı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamına STL nokta bulutu olarak atılan data Şekil 6.7' de görüldüğü üzere kesitler alınarak yüzey formu haline getirilmiş ve gerekli ayarlamalar yapılarak uygun hazne formu oluşturulmuştur.

Çizelge 6.1. EN 997 ye göre İlk Prototip için 4 L' de Değişik Dağıtıcı Formlarında Fonksiyon Testleri

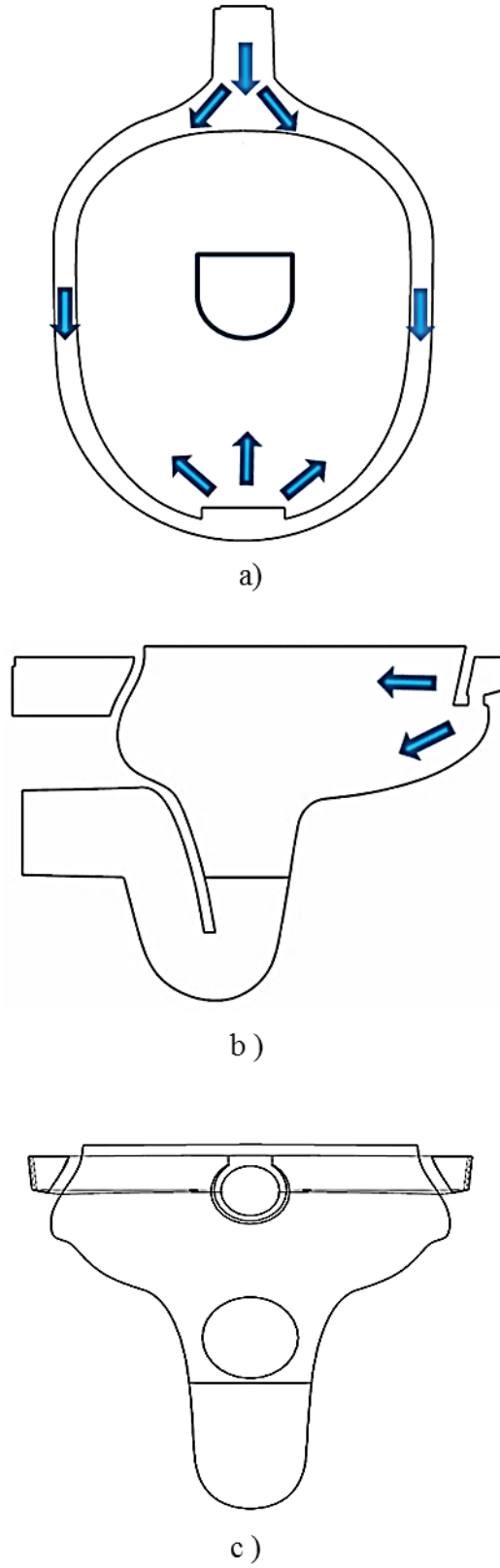
Dağıtıcı Delik Detayı	Talaş Testi $\leq 50 \text{ cm}^2$	Bilya Testi $\geq 213$ adet	Kağıt Testi $\geq 4/5$ test	Su Sıçratma Testi	Boşalma Zamanı (s)
Ürün 1 $\text{Ø}13 \times (36 \times 18) \times \text{Ø}13$	75	155	3/5	olumlu	5,24
Ürün 2 $\text{Ø}8 \times (36 \times 16) \times \text{Ø}8$	95	153	2/5	olumlu	5,61
Ürün 3 $(23 \times 15) \times (38 \times 15) \times (23 \times 15)$	110	153	0	olumlu	4,93
Ürün 4 $\text{Ø}12 \times (35 \times 16) \times \text{Ø}12$	100	188	3/5	olumlu	4,75



Şekil 6.6. İlk prototip ürün hazne formunda alçı ile yapılan değişiklikler



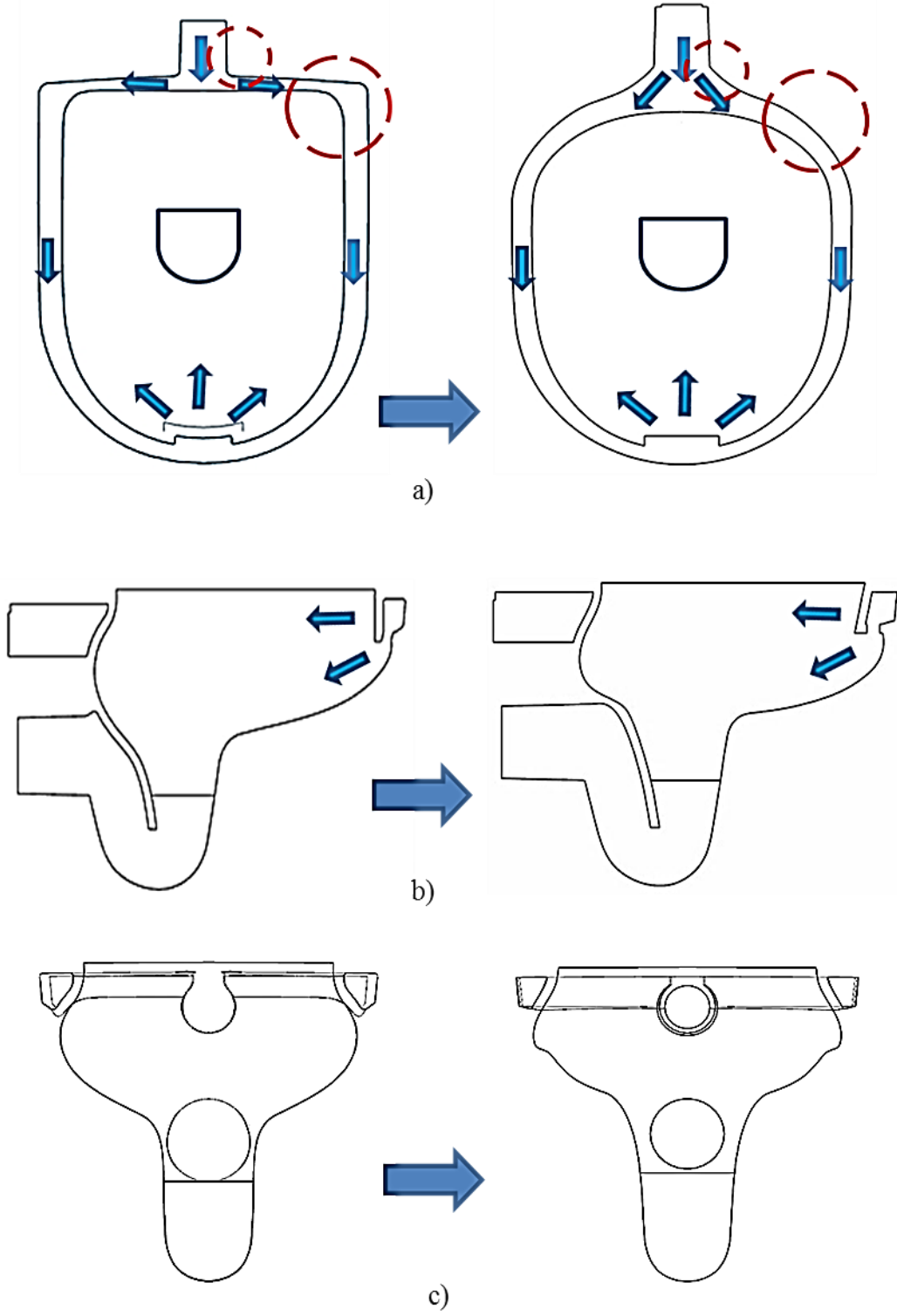
Şekil 6.7. İlk prototip ürün hazne formundaki değişikliğin optik tarama cihazı ile bilgisayar ortamına aktarılması



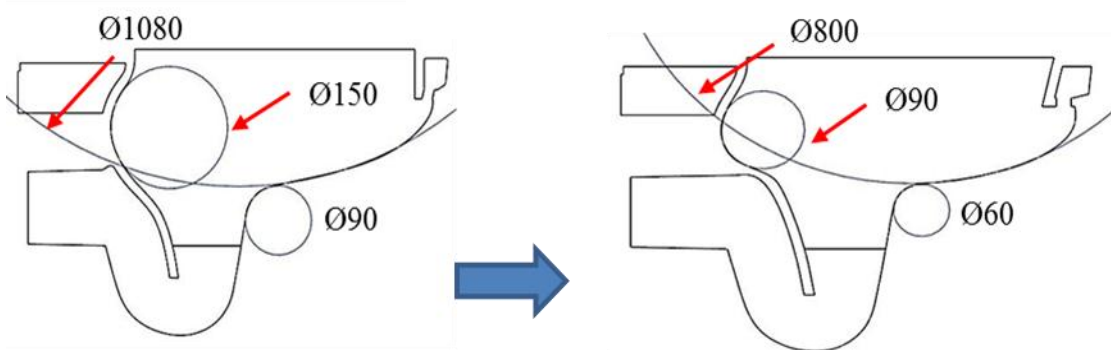
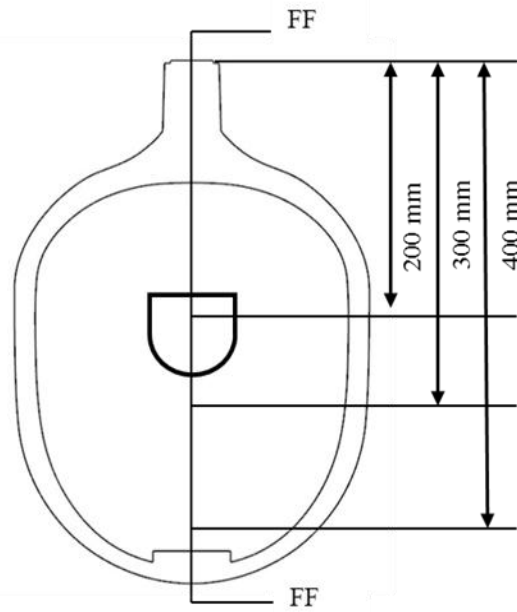
Şekil 6.8. Son prototip ürün hazne formunun 2 boyutlu görünüşleri a) Üstten görünüşü, b) Yandan görünüşü, c) Arkadan görünüşü

Hazırlanan hazne formu Şekil 6.8' de gösterilmektedir. Şekil 6.8.a yeni haznenin üstten görünüşü verilmiştir. Burada rezervuardan gelen temiz suyun iç kanaldan dağıtıcı sisteme gelişi ve dağıtıcı sistemden hazneye girişi gösterilmektedir. Şekil 6.8.b yeni hazne formunun yandan 2 boyutlu görünüşü göstermektedir. Burada iç hazneden dağıtıcıya gelen suyun bir kısmının ortadan bir kısmının da yanlardan hazneye girdiği gösterilmektedir. Yan görünüşten de anlaşılacağı üzere, suyun haznede tam temizliği yapabilmesi için hazne yukarı yönlü kaldırılmış ve haznede suyun en uç noktayı da temizleyebilmesi için sifonun üst kısmı daha yatay forma getirilmiştir. Şekil 6.8.c yeni haznenin arkadan görünüşünü göstermektedir. Bu görünüşte suyun ilk hazneye girdiği kısımdan daha arkalara doğru hareketini sağlayabilmek için hazne dikliği azaltılmıştır. Uygun form tasarlanarak su yolu oluşturulmuştur.

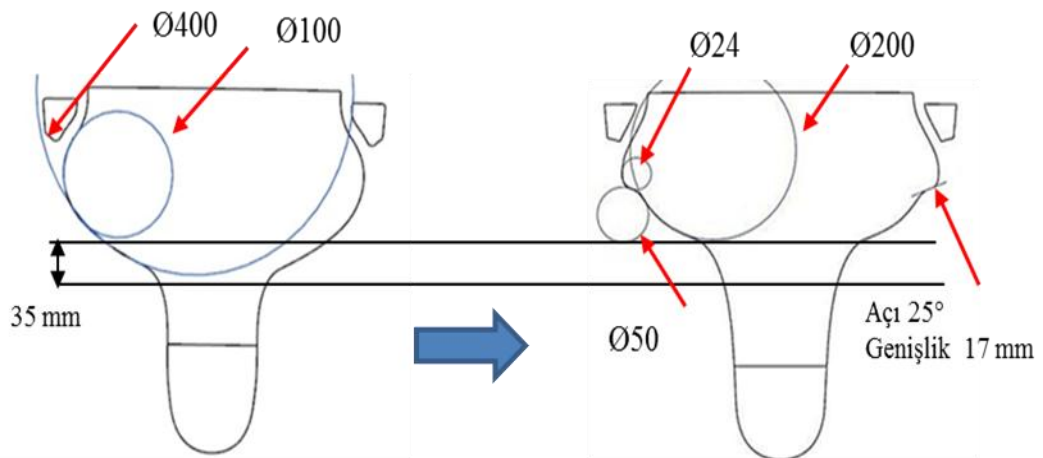
İlk prototip ürün ile son prototip ürünün hazne formunun karşılaştırılması, Şekil 6.9'da verilmektedir. Şekil 6.9.a ilk prototip ile son prototip arasındaki farkın üstten görünüşü gösterilmektedir. Buradan da görüleceği üzere suyun gizli kanala girdiği bölge oldukça yumuşatılarak suyun hız kaybetmesi önlenmiştir. Yine devamında keskin köşenin radyüsünün artırılması ile suyun gizli kanalda daha hızlı hareket etmesi sağlanmıştır. Şekil 6.9.b ilk ve son hazne prototipin yan görünüşlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. İlk prototip de suyun hazneye değdiği kısmın daha dik, son prototipin ise daha yatay olduğu şekilden anlaşılmaktadır. Yine suyun hazne içerisinde en son geldiği, sifonun üst kısmında ki hazne bölgesi daha iyi performans göstermesi için yatay forma dönüştürülmüştür. Şekil 6.9.c'de ise ilk ve son hazne prototipin arkadan görünüş karşılaştırması verilmektedir. İlk prototip de karşılaşılan, suyun önden arkaya doğru giderken çabuk aşağı düşmesi ve dolayısıyla temizlik yapmamasının önüne geçebilmek için son prototip de hazne içindeki suyu arka kısımlara taşıyabilecek su yolu yapmış ve hazne başarıyla oluşturulmuştur.



Şekil 6.9. İlk prototip ürün ile son prototip ürünün hazne formunun karşılaştırılması, a) Üstten görünüş karşılaştırması, b) Yandan görünüş karşılaştırması, c) Arkadan görünüş karşılaştırması

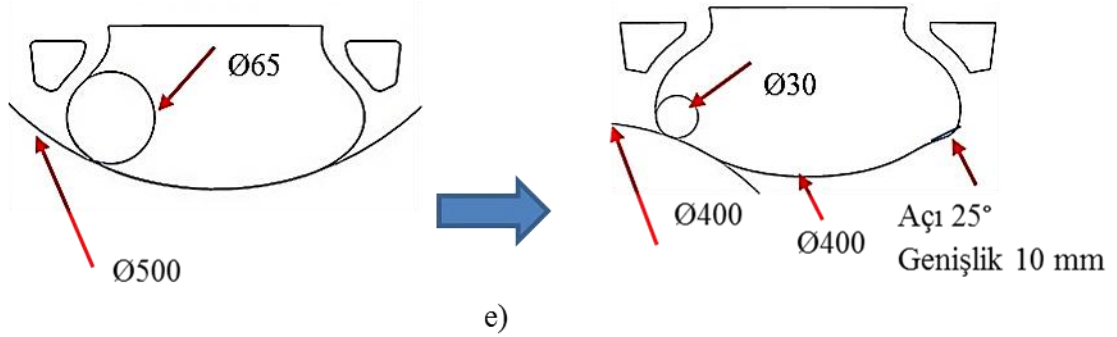
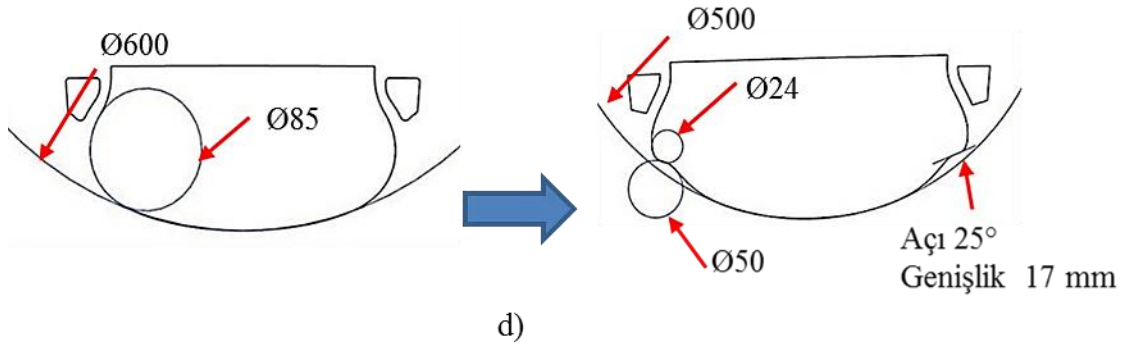


b)



c)





Şekil 6.10. İlk prototip ürün ile son prototip ürünün belirli kesitlerde matematiksel olarak mukayesesi, a) Son prototipin üzerinde kesitlerin üstten gösterilmesi b) F-F kesitinde, c) 200 mm kesitte, d) 300 mm kesitte, e) 400 mm kesitte ilk ve son prototip haznenin mukayesesi

İlk prototip hazne ile son prototip haznenin matematiksel mukayesesi Şekil 6.10'da verilmektedir. Şekil 6.10.a temiz suyun sisteme ilk girdiği bölgeden 200 mm, 300 mm, 400 mm uzaklıkta kesitleri ile F-F kesitinin yeri belirtilmektedir. Şekil 6.10.b' de F-F kesitinde ilk prototip haznenin suyun aktığı gövde kısmının çapı Ø1080 den Ø800' e, sifon ile haznenin birleştiği kısmın çapı ise Ø90'dan Ø60'a düşürülmüştür. Buradaki amaç fonksiyon testlerde suyun sifon içindeki pis suya baskı yapması ve pis suyun kolayca dışarı atılmasını sağlamaktır. Yine F-F kesitinde suyun en arka kısımlarda tam bir temizlik yapması için sifonun üst kısmındaki çapı Ø150 olan yüzey formu Ø90'a düşürülmüştür.

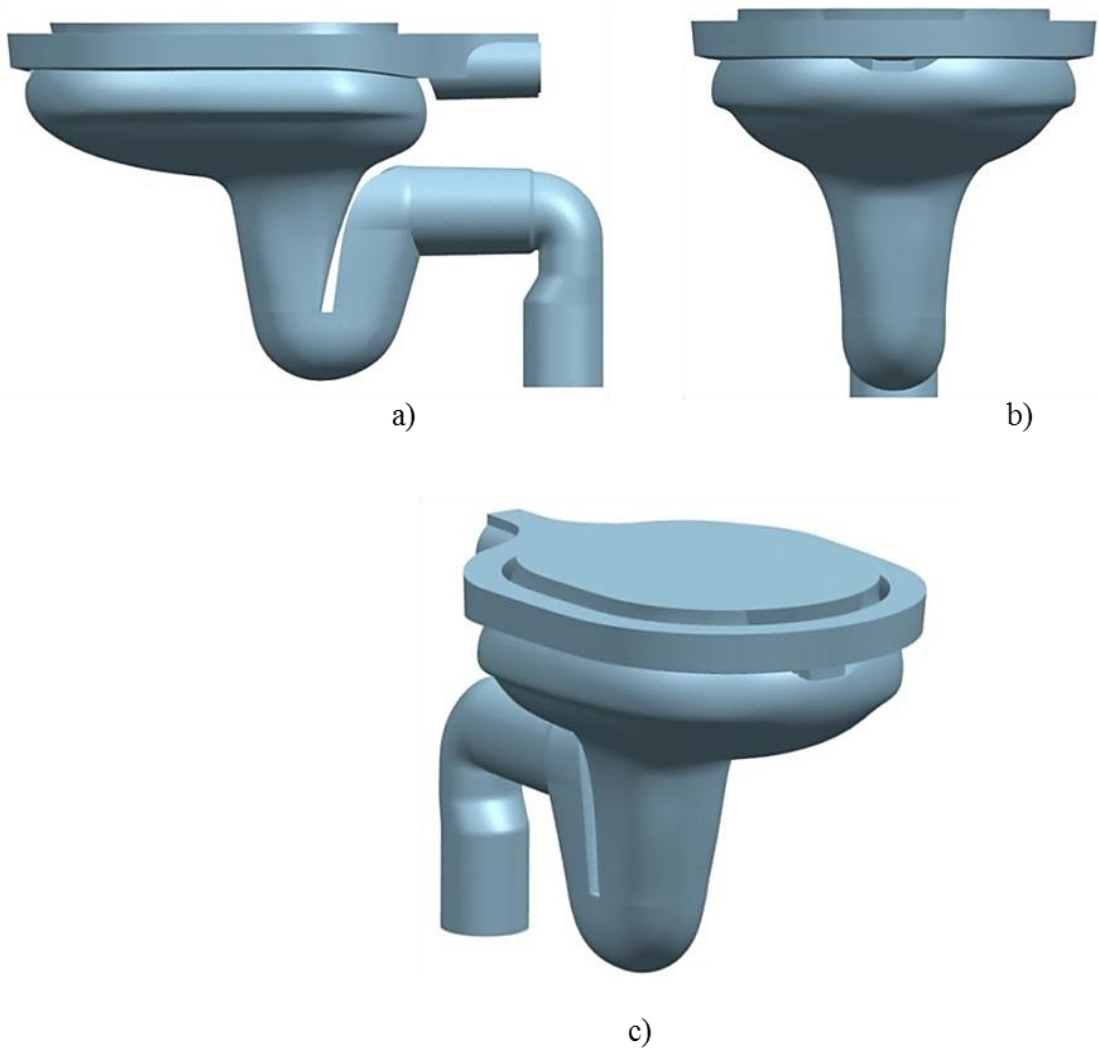
Şekil 6.10.c' de temiz suyun sisteme ilk girdiği bölgeden 200 mm uzaklıktaki kesit görünüşü belirtilmektedir. Burada ilk prototipin hazne formu çapı Ø400 ve Ø100 olan yüzeylerden oluşmaktadır. Fakat fonksiyon testlerde görülen olumsuzluklardan dolayı son prototip de bu form 35 mm yukarı kaldırılmış, hazne değiştirilerek ölçüleri Ø200, Ø50 ve Ø24 olan yüzey formu geliştirilerek su yolu yapılmıştır. Bu su yolunun açısı 25° ve genişliği ise 17 mm' den başlayıp arka uç kısma doğru sıfır olmaktadır.

Şekil 6.10.d temiz suyun ilk sisteme girdiği durumdan 300 mm uzaktaki kesit görünüşü görülmektedir. Hazne içi yapısı daraltılmıştır. Suyun daha ileri kısımlara ulaşabilmesini sağlamak için hazne içine yapılan su yolunun genişliği 17 mm ve açısı 25° korunmuştur. Suyu taşıyan kısmın çapı daha iyi yıkama sağlaması için Ø85 den Ø50'ye ve hazne yan çapı ise Ø600'den Ø500'e düşürülmüştür.

Şekil 6.10.e temiz suyun ilk sisteme girdiği durumdan 400 mm uzaktaki kesit görünüşü görülmektedir. Hazne içi yapısının genişliği bu kesitte hemen hemen aynıdır. Suyun daha ileri kısımlara ulaşabilmesini sağlamak için hazne içine yapılan, su yolunun genişliği de diğer kesitlerden farklı olarak 10 mm ye düşürülmüş, açısı ise 25° olarak korunmuştur.

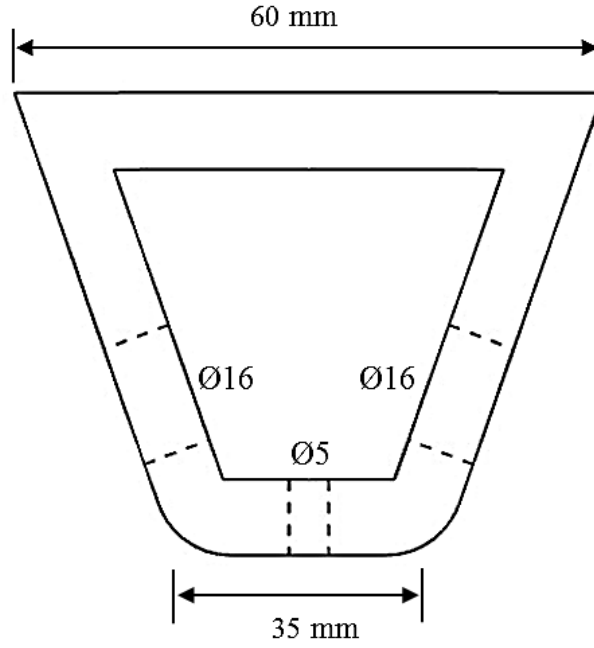
## 6.2. Son Prototip Ürünün Analiz çalışmaları

Bütün bu çalışmalar doğrultusunda elde edilen son prototipin 3 boyutlu hazne tasarımı Şekil 6.11.' de gösterilmiştir. İlk prototip ürün üzerinde yapılan değişiklikler doğrultusunda elde edilen yeni yıkama haznesi ANSYS CFX ile çözümlenerek daha uygun fonksiyon test sonuçları elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çözümlelerde hazne formunda yapılan değişikliklerin olumlu olduğu gözlenerek, testlerden daha iyi sonuçlar alabilmek için dağıtıcı su sisteminin formu üzerinde çalışmalara devam edilmiştir.



Şekil 6.11. Son prototip ürünün yıkama haznesinin 3 boyutlu tasarımı  
a) Yandan Görünüşü, b) Önden Görünüşü, c) İzometrik Görünüşü

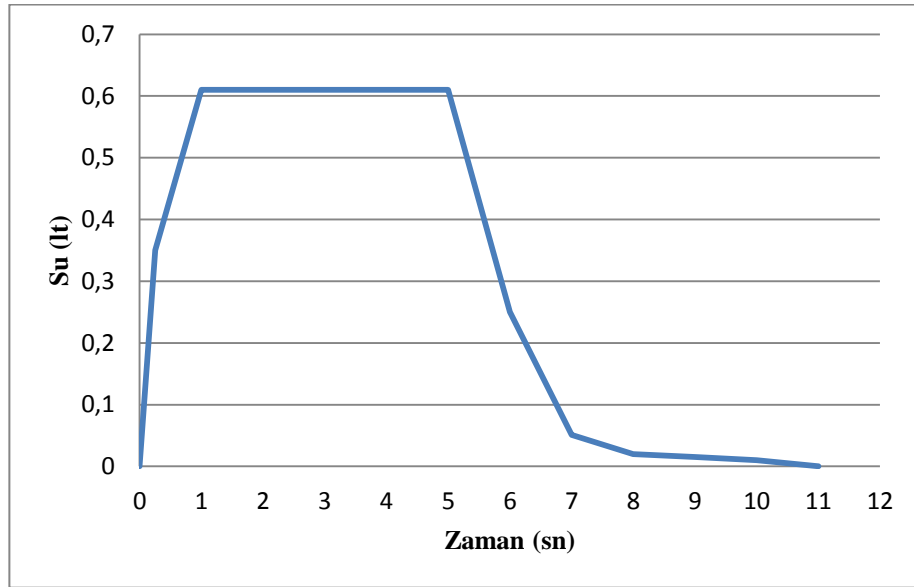
Şekil 6.10’ da matematiksel olarak tanımlanan hazne sistemi sabit tutularak gerek ANSYS CFX ile analiz çalışmaları yapılmış ve çıkan sonuçlar doğrultusunda deneysel ürün ile kıyaslanmıştır. Son prototip ürünün CAD verileri Şekil 6.11’de gösterildiği üzere son haline getirilmiş olup, önden suyun hazneye aktığı kısım olan dağıtıcı sistem üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda en uygun delik yapısının Şekil 6.12’de verilen yanlarda 2 adet çapı  $\text{Ø}16$  mm ve ortada çapı  $\text{Ø}5$  mm olan 1 adet deliğe sahip olan dağıtıcı sisteme ait olduğu görülmektedir.



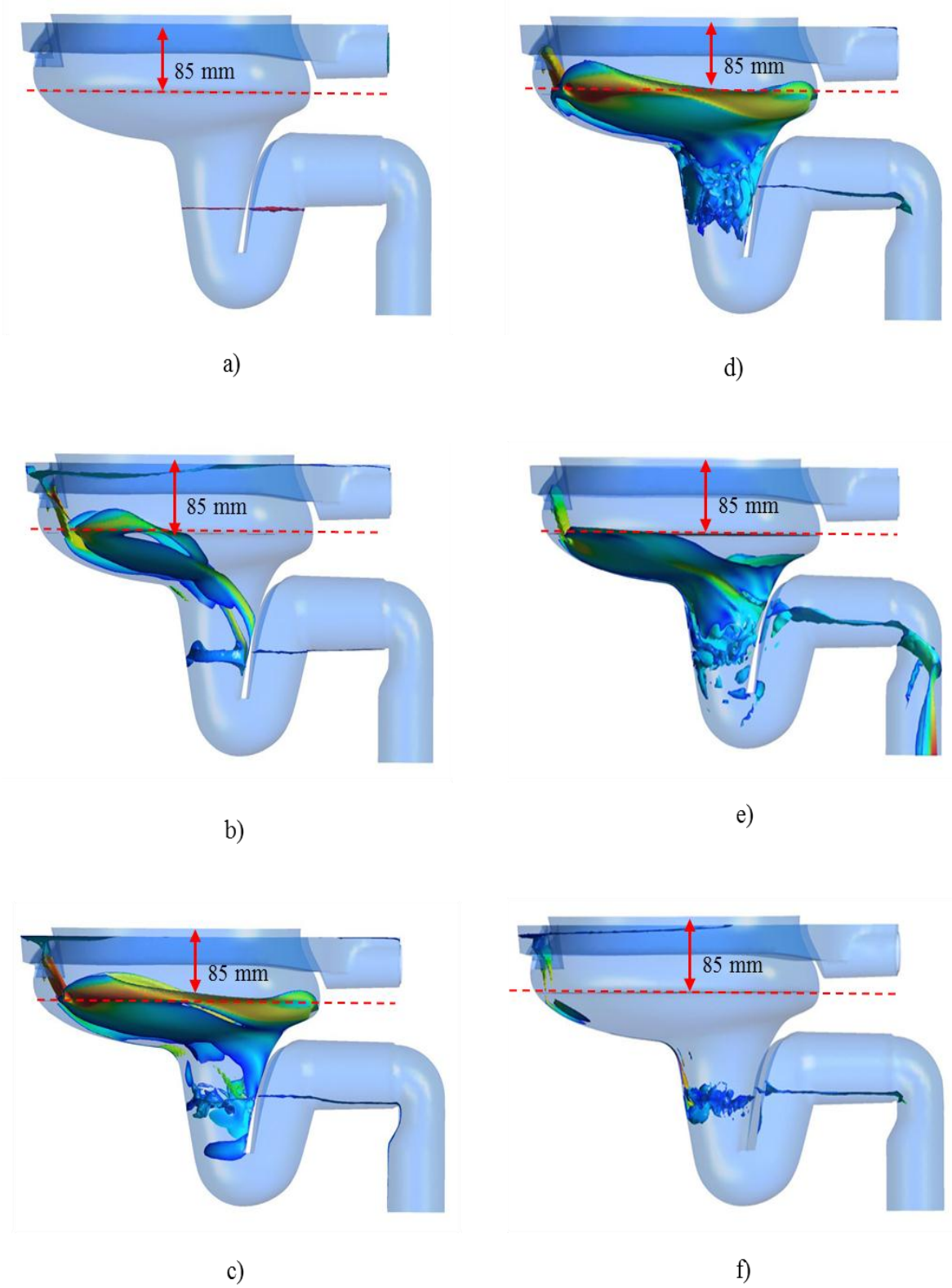
Şekil 6.12 Son prototipe ait  $\text{Ø}16 \times (\text{Ø}5) \times \text{Ø}16$  delik detayına sahip dağıtıcı sistem yapısı

Şekil 6.13’de  $\text{Ø}16 \times \text{Ø}5 \times \text{Ø}16$  delik çaplarına ait dağıtıcı sistemden suyun 0 s ile 10 s aralığındaki hazne içerisindeki hareketi verilmektedir. Sisteme rezervuardan 4 L temiz suyun çok büyük bir kısmının Şekil 6.13’de verilen grafiğe uygun olarak yaklaşık 6.5 s’de girdiği deneyler ile ölçülmüş ve analizler bu veriler ışığında yapılmıştır. Şekil 6.14.a’ da 0 s de sistemde durağan halde tanımlanan su görülmektedir. Bütün analizlerde kurgulanan sifon sistemi gereği 0 s’de ki suyun görünüşü bu şekildedir. Şekil 6.14.b’de ise sisteme rezervuardan suyun girmesinden 2 s sonraki hareketi görülmektedir. Dağıtıcı sistemden hazneye giren su ilk olarak suyun daha iyi arka kısımlara gitmesini sağlamak

için tasarlanmış olan yüzeye çarparak hız kazanmaktadır. Su bu hızla çarptığı yüzeyinde yardımıyla arka kısımlara kadar ulaşmaktadır. Şekil 6.14.c ve Şekil 6.14.d' de ise suyun 3 ve 4 s'de hazne içerisindeki hareketi verilmektedir. En iyi yıkamanın yapıldığı zaman aralığı 3 ve 4 s'lerdeki zaman aralığıdır. Burada yüzeye çarparak hızlanan su, arka kısımdaki standartların onayladığı üstten min. 85 mm aşağıdan daha fazla alanı yıkamaktadır. Hatta bu yıkama mesafesi üstten aşağıya 70 mm ye kadar çıkmaktadır ki bu mesafe bu tip klozetlerde olabilecek en iyi sonuçlardan biridir. Şekil 6.14.e' de ise suyun 6 s' deki hareketi verilmektedir. Artık suyun hızı 5. ve 6. s' den sonra azalmakta olup 10. s' deki suyun hazne içindeki durumu Şekil 6.14.f ' de gösterilmiştir. Dağıtıcı sistemden süzülen sularla birlikte suyun hareketi 18 s kadar devam etmektedir.



Şekil 6.13. Ø16 × Ø5× Ø16 mm ebatlarındaki hazne için gizli su kanalına rezervuardan suyun girişinin zamana bağlı grafiği



Şekil 6.14.  $\text{Ø}16 \times (\text{Ø}5) \times \text{Ø}16$  delik detaylarında ki ürünün analiz sonucu a) t = 0 s, b) t = 2 s, c) t = 3 s, d) t = 4 s, e) t = 6 s, f) t = 10 s' de hazne içindeki suyun hareketi

## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk prototip çalışmasından sonra hazne değiştirilmiş ve bu değişiklikler analizlerle geliştirilerek olgunlaştırılmıştır. Hazne yapısının netleşmesi ile su dağıtıcı sistemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda su dağıtıcı sistemin şekli ve dağıtıcı sistemin üzerindeki delik detayları ile ilgili birçok durum analiz edilmiş ve bu analizler deneyler ile desteklenmiştir. Çizelge 7.1’ de bu çalışmalardan 6 tanesinin 4 L için fonksiyon test çalışmaları özetlenmiştir. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak hazne içerisine giren temiz suyun standartların belirlediği ölçüleri karşılaması gerekmektedir. Çizelge 7.1’ de özetlendiği üzere, standartlar da daha öncede belirtildiği üzere talaş testinde temizlik sonrasında kalan talaş miktarının  $50 \text{ cm}^2$  altında olması beklenmektedir. Bilya testinde 5 kere 50 adet bilya hazneye atılıp bu toplam 250 bilyanın 213 ve fazlasının haznedan atılması gerekmektedir. Kağıt testinde ise 5 test de 12 şer adet atılan kağıtlardan en azından 4 testte kağıtları atması istenmektedir. Su sıçratma testinde hazne dışına gözle görünür büyüklükte damlacıkların olmaması gerekmektedir.

Çizelge 7.1. EN 997 ye göre son prototip ürün için 4 L’ de değişik dağıtıcı formları için fonksiyon testleri

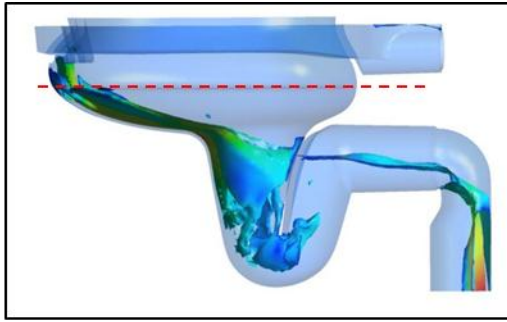
Dağıtıcı Delik Detayı	Talaş Testi $\leq 50 \text{ cm}^2$	Bilya Testi $\geq 213$ adet	Kağıt Testi $\geq 4/5$ test	Su Sıçratma Testi	Boşalma Zamanı(s)
Ürün 1 $\text{Ø}6 \times (100 \times 12) \times \text{Ø}6$ (dikdörtgen)	200	219	3/5	olumlu	4,4
Ürün 2 $\text{Ø}16 \times (50 \times 13) \times \text{Ø}16$ (dikdörtgen)	100	200	3/5	olumlu	5,44
Ürün 3 $\text{Ø}16 \times (\text{Ø} 20) \times \text{Ø}16$ (dikdörtgen)	85	189	1/5	olumlu	6,1
Ürün 4 $\text{Ø}13 \times (36 \times 16) \times \text{Ø}13$ (dikdörtgen)	65	189	4/5	olumlu	5,25
Ürün 5 $\text{Ø}13 \times (\text{Ø}3) \times \text{Ø}13$ Üçgen (60x35)	40	201	2/5	olumlu	8,2
Ürün 6 $\text{Ø}16 \times (\text{Ø}5) \times \text{Ø}16$ Üçgen (60x35)	0	213	5/5	olumlu	6,3

Son prototip ürün üzerindeki hazne sistemi netleştikten sonra dağıtıcı sistemin yapısı ve delik detayları ilgili çalışmalar yapılarak 4 L için sistemin fonksiyon yapmasına çalışılmıştır. Şekil 7.1’de bilgisayar ortamında ve deneysel olarak dağıtıcı sistemim ve delik detayları ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Analiz çalışmasında hazne içerisinde, 3.5 s’ deki suyun hareketinin görüntüleri verilmiştir. Çünkü analiz çalışmalarında haznenin en iyi temizlendiği akış zamanı 3 ve 4 s’ler arasında gerçekleşmektedir.

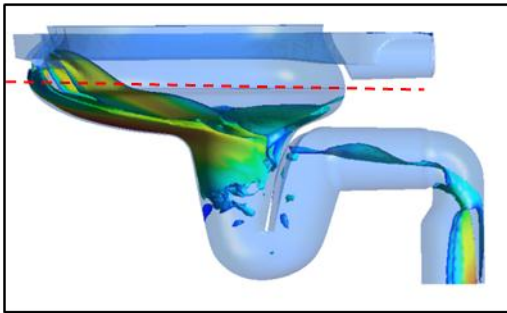
Şekil 7.1.a’ da  $\text{Ø}6 \times (100 \times 12) \times \text{Ø}6$  için delik detayı ile yıkama yapılmıştır. Temiz su rezervuardan gizli kanala 4,4 s’ de girmektedir. Bu çalışmada dağıtıcı sistemin genişliği 120 mm dir. Yanlardan çapı  $\text{Ø}6$  mm olan 2 adet deliğe, ortada ise  $100 \times 12$  mm’lik açıklığa sahip bir sistemdir. Bu yapı yeni hazne yapısı ile yapılan ilk çalışmadır. Bu çalışmada görülmüştür ki gizli kanaldan gelen suyun çoğunluğu ortadaki  $100 \times 12$  mm’lik açıklıktan direkt hazneye girmekte ve yandaki  $\text{Ø}6$  mm’ lik deliklere fazla su gitmeyip gerekli basıncı sağlayamayınca yanlardan temizleme yapılamamaktadır. Dolayısıyla analiz çalışmalarında fonksiyon için gereken yıkama alanı çok az gerçekleşmiş ve su haznede yanları yıkamayı başaramamıştır. Deneysel çalışmalarda görüldüğü üzere kalan talaş miktarı yaklaşık  $200 \text{ cm}^2$  alan olarak gerçekleşerek olumsuzluk göstermektedir. Kağıt testi 5 defa yapılmış ve 3/5 başarı sağlanarak olumsuz sonuçlanmıştır. Fakat bilya testinde 219 adet bilya atarak bu testi geçmiştir. Bilya testinden geçmesinin sebebi ortadaki büyük açıklıktan gelen suyun çok olması ve hazne içindeki bilyaların üzerine baskı oluşturarak atılmasını sağlamasıdır.

Şekil 7.1.b’ de  $\text{Ø}16 \times (50 \times 13) \times \text{Ø}16$  için dağıtıcı delik detayına sahip ürün incelenmiştir. Su rezervuardan 5,44 s’ da boşalmıştır. Dağıtıcı sistemin genişliği 90 mm’ ye düşürülmüştür. Yanlarda delik çapı  $\text{Ø}16$  mm olan 2 adet delik açılmıştır. Ortadaki delik bir önceki durumdan tecrübe ile  $50 \times 13$  mm’ ye düşürülmüştür. Fonksiyon test sonucunda kalan talaş miktarı  $100 \text{ cm}^2$  olup olumsuzdur. Bilya testinde 200 adet bilya attığı, kağıt testinde ise 3/5 kağıt attığı görülmüştür. Dolayısıyla bilya ve kağıt testi olumsuzdur. Bu yapı bir önceki dağıtıcı sistem yapısından daha iyi olmakla beraber testleri karşılamamaktadır. Ama bir önceki teste nazaran belirgin bir iyileşme olduğu gözlenmiştir. Suyun büyük çoğunluğunun ortadan gelmesi önlenerek yanlardan da sisteme su girmesi sağlanmıştır. Fakat yinede ortadaki açıklık fazla olduğundan dolayı dağıtıcı sistem üzerinde ki basınç yeterli gelmemektedir.

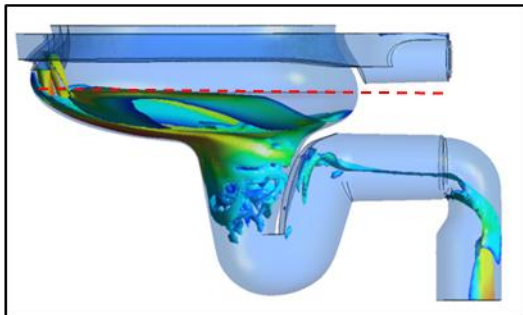




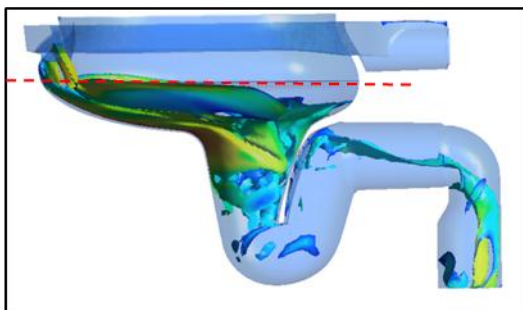
a)



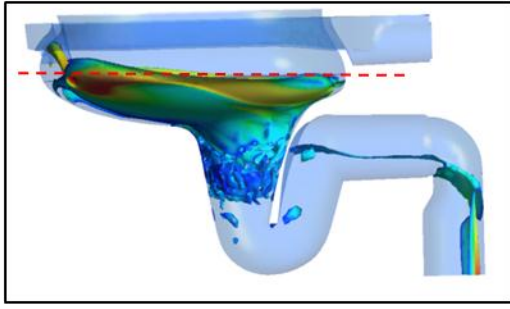
b)



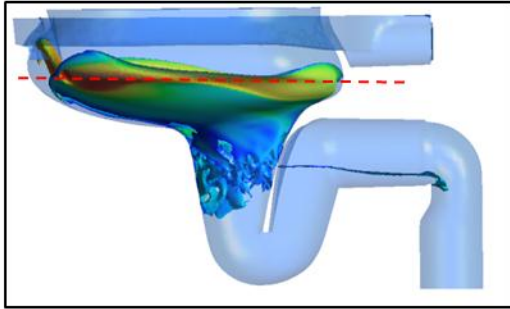
c)



d)



e)



f)

Şekil 7.1. Değişik Dağıtıcı formları için 3.5 s' deki akışın analiz sonuçları a )  $\text{Ø}6 \times (100 \times 12) \times \text{Ø}6$  için delik detayı; b )  $\text{Ø}16 \times (50 \times 13) \times \text{Ø}16$  için delik detayı; c )  $\text{Ø}16 \times (\text{Ø} 20) \times \text{Ø}16$  için delik detayı; d )  $\text{Ø}13 \times (36 \times 16) \times \text{Ø}13$  için delik detayı e)  $\text{Ø}13 \times (\text{Ø}3) \times \text{Ø}13$  için delik detayı f)  $\text{Ø}16 \times (\text{Ø}5) \times \text{Ø}16$  için delik detayı

Şekil 7.1.c' de  $\text{Ø}16 \times \text{Ø}20 \times \text{Ø}16$  için dağıtıcı delik detayına sahip ürün incelenmiştir. Şekil 7.1.b' deki duruma göre suyun yanlardan daha hızlı hazneye girişini sağlamak için ortadaki açıklık düşürülerek çapı  $\text{Ø}20$  mm lik olan bir delik açılmış fakat yanlardaki delik çapı 16 mm olarak sabit tutulmuştur. Yine dağıtıcı sistemin genişliği 90 mm olarak analiz edilmiştir. Su rezervuardan boşalma zamanı 6,1 s olarak ölçülmüştür. Testler sonucunda kalan talaş miktarı 85 mm olarak ölçülmüştür. Önceki çalışmalar göre iyileşme görülmüş fakat yeterli gelmemiştir. Bilya testinde atılan bilya sayısı 189 adet olup olumsuzdur. Kağıt testi 1/5 atmasından dolayı olumsuzdur.

Şekil 7.1.d'  $\text{Ø}13 \times (36 \times 16) \times \text{Ø}13$  için delik detayı sahip dağıtıcı sistemden hazneye giren akışın yapısı görülmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere bu dağıtıcı sistem yapısının genişliği testler için oldukça önem arz etmektedir. Dolayısıyla sistemin genişliği üretim ve tasarım kriterlerini gözeterek minimum genişlik olan

60 x 35 mm' lik üçgen bir yapıya çekilmiştir. Rezervuardan gizli kanala giren suyun akış zamanı 5.25 s' dir. Sistem delik yapısı ise yanlardan çapı Ø13 mm olan 2 delik ve ortada ise 36x16 mm' lik bir açıklık ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre talaş miktarı 65 mm olarak gözlemlenmiştir. Fakat standartları karşılamamaktadır. Bilya testi olumsuz olup atılan bilya adedi 189' dur. Kağıt testinin ise 4/5 test ile olumlu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla dağıtıcı sistem yapısının küçültülmesinin fayda sağladığı belirgindir.

Şekil 7.1.e' de Ø13 × Ø3 × Ø13 için delik detayı ile yıkama yapılmıştır. Dağıtıcı sistem, yanlarda çapı Ø13 mm olan 2 adet delik ve ortada ise çapı 3 mm olan 1 adet delik yapısından oluşmaktadır. Sistem genişliği 60x35 mm' dir. Temiz su rezervuardan gizli kanala 8,2 s' de girmektedir. Delik yapısının küçültülmesi ile sisteme rezervuardan giren temiz suyun zamanının arttığı belirlenmiştir. Talaş miktarı 40 cm<sup>2</sup> ile olumludur. Çünkü dağıtıcı sistem üzerindeki suyun basıncı ortadaki deliğin çapının Ø3 mm' düşürülmesiyle artmış dolayısıyla yanlardan gelen suyun etkisi fazlalaşarak iyi bir yıkama sağlanmıştır. Fakat hazne içerisinde ortadan gelen su düşük debide geldiği için kağıt testi 2/5 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla kağıt testi olumsuzdur. Yine bilya testi de düşük hazne suyu debisinden kaynaklı olarak 201 adet olarak gerçekleşerek olumsuzdur.

Şekil 7.1.f ' de Ø16 × Ø5 × Ø16 için delik detayı ile hazne sistemi test edilmiş ve başarıya ulaşılmıştır. Sistemin delik yapısı yanlardan çapı Ø16 mm olan 2 adet delik ve ortada ise çapı Ø5 mm olan 1 adet delikten ibarettir. Dağıtıcı sistemin genişliği 60x35 mm olarak korunmuştur. Rezervuardan boşalıp gizli kanala giren suyun boşalma zamanı ise 6.2 s ile oldukça ideal bir zaman aralığındadır. Gerek analizlerde ve gerekse fonksiyon testlerde hazne içerisindeki temizliğin standartların oldukça üstünde olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla talaş testinde oldukça iyi bir yıkama yapılmış ve kalan talaş miktarı 0 cm<sup>2</sup> olarak gözlemlenmiştir. Yanlardan gelen suyun etki alanı oldukça genişlemiştir. Suyun hazne içerisindeki dağılımı oldukça verimlidir. Bilya testi yine 213 bilya ile olumludur. Kağıt testinde suyun hazneyi geçerek arka kısımlarda şelaleye sebep olmasından ötürü baskı yapması ile başarılı olunmuştur. 5 testten 5' inde olumlu olmuş dolayısıyla standartları başarıyla karşılamıştır. Ek Açıklamalar-C'de CD içerisinde bulunan analizler ve fonksiyon testlerden kısaca bahsedilmiş olup CD tez ile birlikte verilmiştir.

## 8. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda ortaya çıkarılan hazne yapısı ile iç haznesi kanalsız olup piyasadaki diğer kanallı diye tabir ettiğimiz ürünlerden çok daha fazla hijyen sağlamaktadır. Akdeniz Üniversitesince kanalsız klozetlerin % 95 daha fazla hijyen sağladığı raporlanmıştır (Ek Açıklamalar-B). Su; piyasadaki ve dünyadaki klozetlerden farklı olarak kullanım pozisyonuna göre önden gelmektedir ve bu yapısıyla kullanıcılarda teknolojik bir ürün fikri oluşturmaktadır.

Analizler sonunda geliştirilen klozet hazne yapısı ile üretilen prototip ürünün fonksiyon test verileri kıyaslanmıştır. Yanlardan gelen suyun etki alanı genişletilerek, suyun hazne içerisindeki dağılımı artırılmıştır. Piyasada mevcut klozetler 6 L ile yıkama yapmaktadır; ancak bu çalışmada tasarlanan prototipler 4 L ile fonksiyon testlerinde başarılı olmuştur. Bu şekilde su kullanımında % 35 tasarruf sağlanmaktadır. Gerek analizlerde ve gerekse fonksiyon testlerde hazne içerisindeki temizliğin standartların oldukça üstünde olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 8.1' de pazarlama ve müşteri istekleri doğrultusunda tasarlanan son ürünün değişik yönlerden resimleri bulunmaktadır. Prototiplerden farklı olarak ürüne görsellikte katılarak tasarımsal açıdan geliştirilmiştir. Pazarlamanın isteği doğrultusunda % 100 hijyenin sağlanması için klozet formunda değişiklik yapılarak arka kısmına deterjan ve dezenfekte madde içeren hazne tasarlanarak monte edilmiştir. Rezervuardan gelen temiz suyun, katkı haznesi içindeki deterjan ile belirli oranda karışarak hazne içine girmesi sağlanmıştır. Böylelikle % 100 hijyenik bir ürün ortaya çıkarılmıştır. Bu üründe yapılan değişiklikler doğrultusunda suyun, katkı haznesinden gelen dezenfekte malzeme ile karışmasından dolayı 6 L su ile fonksiyon - test yapılacak ve ürün bu şekilde devreye alınacaktır.



Şekil 8.1. Üretimi yapılacak son ürüne ait görsel resimler

Bu tez çalışmasıyla ortaya çıkan ürün gerek hazne yapısı, gerek kanalsız oluşu, gerekse suyu önden gelerek fonksiyon yapması açısından son derece teknolojik bir tasarımdır. Bu hazne yapısı üzerine yeni bir dış kabuk tasarlanarak elde edilecek olan ürün, ISH uluslararası fuarında Vitranın teknolojik yüzü olarak lanse edilecek olup, 2015 yılında piyasaya sunulacaktır. Bu yapısıyla günümüz şartlarında oldukça büyük bir alıcı kitlesine ulaşılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen hazne yapısı ile önden suyun geldiği ilk kanalsız klozet hazne yapısı başarıyla geliştirilmiştir. Hazne tasarımı ve dağıtıcı sistemin yapısı üzerine tüm dünyada geçerli olacak patent başvurusu işlemi gerçekleştirilmiştir.

## EK AÇIKLAMALAR

### Ek Açıklamalar – A

### BREUCKMANN SMART SCAN OPTİK TARAMA CİHAZI BİLGİLER

Sensor		existing measuring ranges	SM132576-R2LG-M-250
		<b>field of view (diagonal)</b>	<b>[mm]</b> <b>250</b>
<b>Camera</b>	camera type		AVT Stingray F-201C
	camera	#	285924093 / 285924083
	digitization (x,y)	[pixel]	1624 x 1234
	camera connection		IEEE 1394b
	pixel size (x,y)	[mm]	0.129
	x,y -resolution (interpol.)	[µm]	129
	camera shutter	[ms]	0.06 ... 2000.0, default 19.04
	camera gain	[dB]	1.00 ... 6.42, default 1.00
	camera offset	[GV]	
	camera angle	[degree]	+18° / -9°
	camera aperture**	[f / number]	8 / 8
	camera focal distance	[mm]	35 / 35
	intermediate ring	[mm]	- / -
<b>Projector</b>	projector	#	2381
	projector light source		LED green
	projector pattern		SV 25 (25-M34-F1)
	projector angle	[degree]	0°
	projector aperture**	[f / number]	2,8-4
	projector focal distance	[mm]	25
	intermediate ring	[mm]	-
<b>Characteristics</b>	weight	[kg]	4.1
	operating distance	[mm]	<b>1023</b>
	max. field of view	[mm <sup>2</sup> ]	211 x 158
	depth of meas. Volume	[mm]	120



## Ek Açıklamalar – A

### BREUCKMANN SMART SCAN OPTİK TARAMA CİHAZI BİLGİLER



## System Components

### smartSCAN<sup>3D</sup> 132576

2.0 MegaPixel

Components			
<b>Software</b>	OPTOCAT		V 2013 R2
	license by dongle #		2013000075
	module		BL5 (Standard)
<b>Calibration Tools for model based calibration</b>	Calibration plates		R2LG-M-250: #1898_200 (CP-CFK-D4-HE200)
<b>Equipment</b>	optoLINK II	#	1412
	turntable	load [kg]	-
	system cable	[m]	4.5
	USB cable	[m]	2
<b>Needed computer configuration</b>	IEEE1394b-board		Dual bus PointGrey
	RAM		at least 4GB
	USB port 2.0		for dongle
	USB port 2.0		for optoLINK II
	operating system		<b>Microsoft Windows 7 x64</b>

**Breuckmann GmbH**  
 Industrial 3D Image Processing and Automation  
 Torenstr.14 · 88709 Meersburg  
 Tel: +49 (0) 75 32 – 43 46 0  
 Fax: +49 (0) 75 32 – 43 46 50  
 info@breuckmann.com  
 www.breuckmann.com

## Ek Açıklamalar – B

### AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN FAKÜLTESİ  
KİMYA BÖLÜMÜ  
07058 ANTALYA



DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
SCIENCES FACULTY  
AKDENİZ UNIVERSITY, 07058  
ANTALYA / TURKEY

## RAPOR

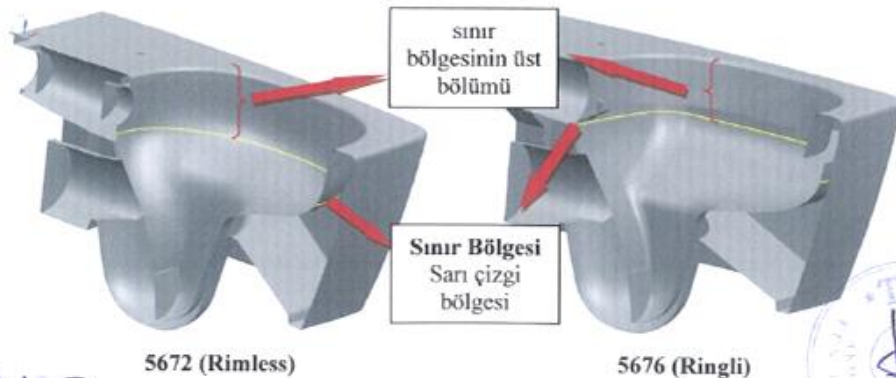
### 5672 (RİMLESS) VE 5676 (RİNGLİ) MODEL KLOZETLERDE BAKTERİYEL TUTUNMANIN İNCELENMESİ SONUÇ RAPORU

#### Temel Uygulama Bilgileri

Deneyin Amacı	5672 (Rimless) ve 5676 (Ringli) model klozetlerin iç yüzeylerinde bakteriyel tutunmaların karşılaştırılması.
Analiz Tarihi	24.09.2013
Analizi Yapan	Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü
Analizin Yapıldığı Yer	Eczacıbaşı İnovasyon Merkezi
İnkübasyon Ortamı Koşulları	37±2 °C (sıcaklık)
İnkübasyon Süresi	24 saat
Etkiyi Değerlendirme Metodu	5672 (Rimless) ve 5676 (Ringli) model klozetten swap ile katı besin ortamına alınan örneklerin inkübasyonu sonrası CFU* sayımı yapılarak değerlendirildi.
Rapor Kayıt Numarası	AB-300913-2

\*Colony Formation Unit

Aşağıdaki fotoğraflarda da görüldüğü gibi 2 farklı klozet tipinde yıkama suyunun boşaltılması sonrası **sınır bölgede** ve **sınır bölgenin üst kısımlarında** bakteriyel tutunmalarının oranları karşılaştırılmalı olarak test edildi.



5672 (Rimless)

5676 (Ringli)

Uğur ÜLKER  
Fakülte Sekreteri

Sayfa 1 / 7



## Ek Açıklamalar – B

### AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU

#### Testin Yapılışı ve Sonuçlar

Test edilecek olan, kullanılmamış klozetler aşağıdaki fotoğraflarda görüldüğü gibi platform üzerine sabitlenmiş ortamda bakteriyel analizler gerçekleştirildi.



**TEST EDİLEN KLOZETLER**



**5672 (RİMLESS)**



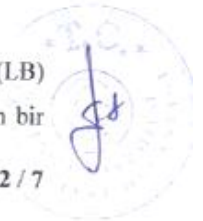
**5676 (RİMLİ)**

Örneklerin bakteriyel tutunmaları, gram negatif *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterisine karşı incelenmiş olup, bu bakterinin seçilme nedeni en yaygın olarak bulunan bakteri türü olmasıdır.

Örneklerin bakteriyel tutunma testleri yapılmadan önce bakterinin, Laktoz Broth (LB) ortamında bakteriyel popülasyon artış eğrileri oluşturuldu. Tek koloni ekiminden alınan bir

  
Uğur ÜKER  
Fakülte Sekreteri

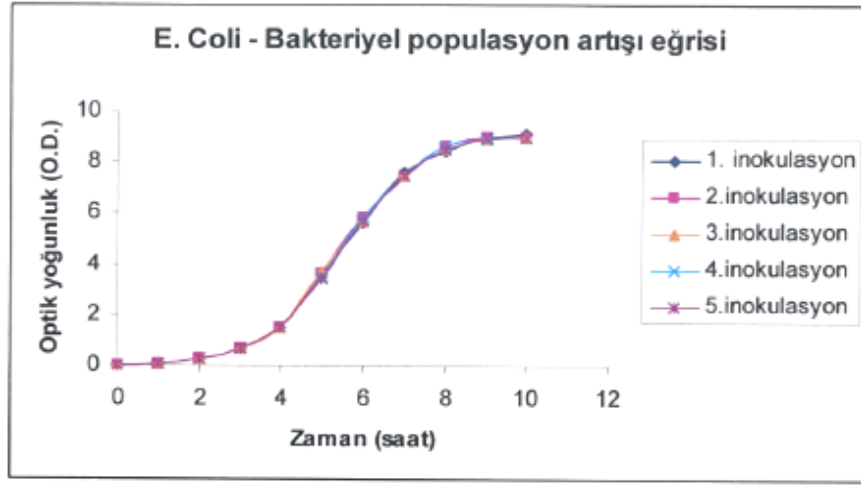
Sayfa 2 / 7



## Ek Açıklamalar – B

### AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU

koloni, öze ile 5ml'lik besi ortamına ekildi ve 24 saat 37°C'de inkübe edildi. Bu kültürden, 100µl alınarak 50ml'lik sıvı besi-yeri içeren 250ml'lik erlene aktarıldı. 37°C'de orbital çalkalayıcı inkübatörde 200rpm dönme hızında inkübe edilerek, optik yoğunlukları ölçülerek bakteriyel populasyon artış eğrisi oluşturuldu. Elde edilen eğri, şekil de görülmektedir.



*E. coli* bakterisinin 37°C'de ve 200rpm dairesel döndürme hızında inkübasyonu sonucu oluşturulan büyüme eğrisi

Yukarıdaki grafikten de görüldüğü gibi, her bir eğri çıkarılırken tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla 5 farklı deney yapılmıştır. Bu eğriler kullanılarak çalışılan koşullar altında bakterilerin populasyon artışının maksimum olduğu süre belirlenmiş olup, bu sürenin *E. coli* için 5.30 saat olduğu tespit edilmiştir.

Sıvı besi ortamı içinde bu noktaya kadar inkübe edilen bakteri inokulumları  $10^{-5}$ 'e seyreltilerek, 100µl alındı ve katı besin ortamına doğrudan ekim yapılarak inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon ve seyreltme ile elde edilen bakteri derişimleri yapılan hesaplamalar doğrultusunda belirlendi.

Bakteri testi öncesi test alanının ve kullanılacak olan malzemelerin bakteriyel yükleri kontrol edildi;

  
Uğur ÜLKER  
Fakülte Sekreteri



## Ek Açıklamalar – B

### AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU

Örnek	Sonuç (CFU)
Saf Su	-
Şebeke suyu	-
70 °C'ye ısıtılıp soğutulmuş musluk suyu	-
Test öncesi 5672 (Rimless) tan alınan swap örneği	-
Test öncesi 5676 (Ringli) klozetten alınan swap örneği	-

Sonuçlardan görüldüğü gibi test ortamında herhangi bir mikroorganizma üremesi gözlenmedi. Böylece analiz sonuçlarına olası girişim yapabilecek kontaminasyonların olmadığı tespit edildi.

Her iki klozet için su depoları 6 L su ile doldurularak sırasıyla 450 CFU/ml, 900 CFU/ml ve 1800 CFU/ml olacak şekilde 3 konsantrasyonda bakteri ekimleri yapıldı. Aynı şartlar altında sifon yaptırıldıktan sonra klozetlerin sınır bölgelerinden ve sınır bölgesinin üst kısımlarından swap örnekleri alındı. 37°C'de inkübe edildikten sonra bakteri kolonileri sayılarak, koloni oluşturan ünite (CFU) sayıları hesaplandı. Hesaplanan bu değerler aşağıdaki çizelge' de görülmektedir.

CFU Konsantrasyonu	Rimless (CFU)	Ringli (CFU)	% Azalma**
450 CFU / ml – sınır bölge	3,9	61	93,6
900 CFU / ml – sınır bölge	16	287	94
1800 CFU / ml – sınır bölge	24,3	419,3	94,2
Saf Su Temizlik Sonrası – sınır bölge	6	90	93,3
Domestos Temizlik Sonrası – sınır bölge	-	8	100
900 CFU / ml – sınır üstü	16,5	448,5	96,3
1800 CFU / ml – sınır üstü	12	967	98,8

\*\*Rimless tipi klozetin Ringli klozete göre CFU sayısına bağlı % bakteriyel tutunmadaki düşüş oranı.



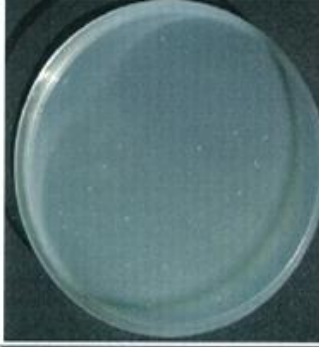
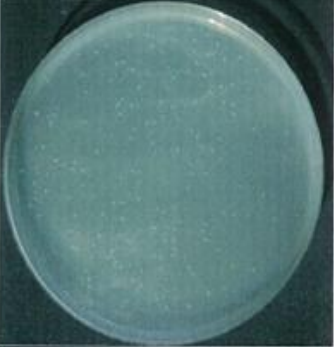

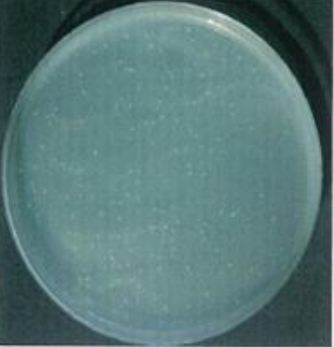
  
Uğur ELKER  
Fakülte Sekreteri

Sayfa 4 / 7



**Ek Açıklamalar – B****AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU**

Aşağıdaki tabloda klozetlerden alınan örneklerdeki bakteriyel üremeye ait fotoğraflar bulunmaktadır. Aşağıdaki fotoğraflarda görülen beyaz noktacıkların her biri 1 CFU'yu göstermektedir.

Derişim	Rimless	Ringli
450 CFU / ml sınır bölge		
900 CFU / ml sınır bölge		
1800 CFU / ml sınır bölge		

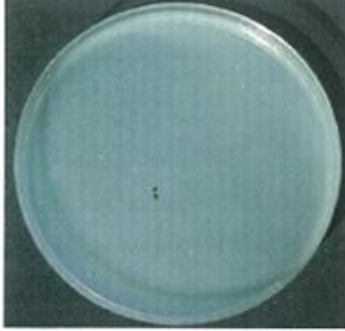
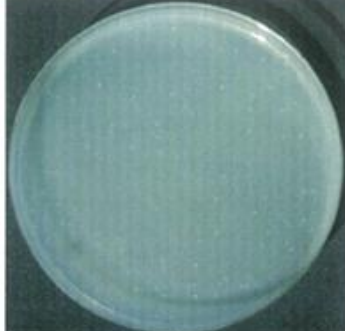

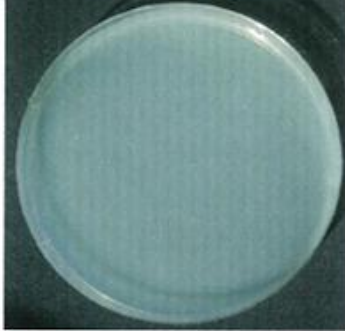

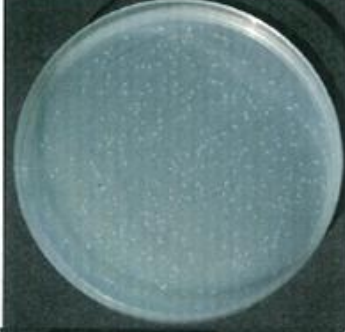


  
Uğur LKER  
Fakülte Sekreteri

Sayfa 5 / 7





**Ek Açıklamalar – B****AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU**

<b>Saf Su Temizlik Sonrası – sınır bölge</b>		
<b>Domestos Temizlik Sonrası sınır bölge</b>		
<b>900 CFU / ml sınır üstü</b>		
<b>1800 CFU / ml sınır üstü</b>		

  
Uğur ÇEKER  
Fakülte Sekreteri

Sayfa 6 / 7



**Ek Açıklamalar – B****AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ RİMLESS KLOZETLER RAPORU****Yorum**

5672 (Rimless) ve 5676 (Ringli) model klozet için aynı şartlar altında çeşitli bakteri yoğunluklarındaki su klozetlerde sifon yaptırılmıştır. Rimless tipi klozet Ringli klozet ile karşılaştırıldığında, Rimless tipi klözette CFU sayısına göre ortalama % 95 oranında daha az bakteriyel tutunmanın olduğu sonucuna varılmıştır.

  
Prof. Dr. Ertuğrul ARPAÇ



  
Uğur ULKER  
Fakülte Sekreteri

Yukarıdaki imzalar tasdik olunur

Tel: 0 (242) 3102330 Fax: 0 (242) 2278911  
Adres: Akdeniz Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Antalya

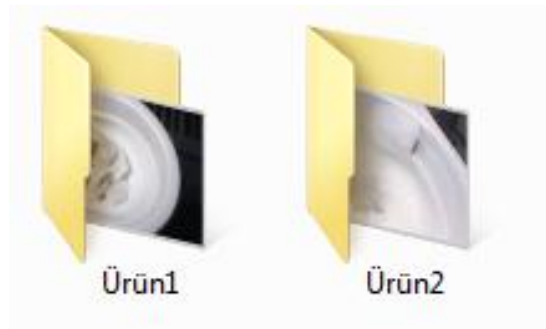
## Ek Açıklamalar – C

### TEZ VERİ ve GÖRSELLERİ CD'Sİ

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler ve sayısal simülasyonlara ait resim ve videolar ekli CD'de aşağıda görülen dört klasör altında verilmiştir:



#### 1. Literatür Ürün Görselleri Klasörü:



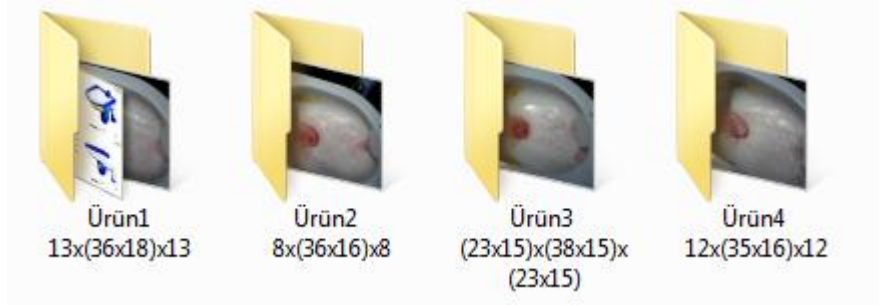
Literatür taraması sonucu elde edilen ürünler üzerinde yapılan değişiklikler verilmektedir.

1.1. Ürün1 : Ürün üzerinde alçı ile değişiklik yapılmış ve test edilmiştir.

1.2. Ürün2 : Ürün üzerinde alçı ile değişiklik yapılmış ve test edilmiştir.

## Ek Açıklamalar – C

### 2. İlk Prototip Ürün Görselleri Klasörü:



İlk prototipe ait analiz simülasyonları ve fonksiyon test videoları verilmektedir.

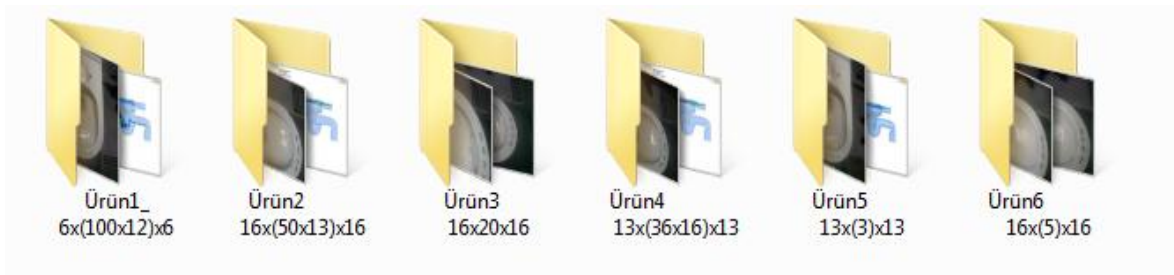
2.1. Ürün1\_13x(36x18)x13 Klasörü : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 13 \times (36 \times 18) \times \emptyset 13$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.

2.2. Ürün2\_8x(36x16)x8 Klasörü : Dağıtıcı delik detayı  $\emptyset 8 \times (36 \times 16) \times \emptyset 8$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.

2.3. Ürün3\_(23x15)x(38x15)x(23x15) Klasörü : Dağıtıcı delik detayı  $(23 \times 15) \times (38 \times 15) \times (23 \times 15)$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.

2.4. Ürün4\_12x(35x16)x12 : Dağıtıcı delik detayı  $\emptyset 12 \times (35 \times 16) \times \emptyset 12$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.

### 3. Son Prototip Ürün Görselleri Klasörü:



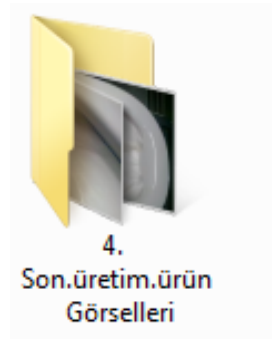


## Ek Açıklamalar – C

Son prototipe ait analiz simülasyonları ve fonksiyon test videoları verilmektedir

- 3.1. Ürün1\_6×(100×12)×6 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 6 \times (100 \times 12) \times \emptyset 6$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.
- 3.2. Ürün2\_16×(50×13)×16 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 16 \times (50 \times 13) \times \emptyset 16$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.
- 3.3. Ürün3\_16×(20)×16 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 16 \times (20) \times \emptyset 16$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.
- 3.4. Ürün4\_13×(36×16)×13 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 13 \times (36 \times 16) \times \emptyset 13$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.
- 3.5. Ürün5\_13×(3)×13 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 13 \times (3) \times \emptyset 13$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.
- 3.6. Ürün6\_16×(5)×16 : Dağıtıcı Delik Detayı  $\emptyset 16 \times (5) \times \emptyset 16$  olan ürüne ait fonksiyon test videosu verilmiştir.

## 4. Son Ürün Görselleri Klasörü:



Son prototipe ait fonksiyon test videoları verilmektedir

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anderson, J.D., 1996. Computational Fluid Dynamics: An Introduction, Springer, Berlin, Germany.
- ANSYS 14.5, (2014) Tutorial CFX Multiphase, L1 - L10.
- Arita, K., Tsukada, R., Shibata, S., Matsushita, H., 1999, Flush Toilet Bowl, United States Patent Application Publication, P. No: 5918325.
- Bayot, A.G., 1997, Toilet With Vortex Flushing, United States Patent Application Publication, P. No: 5651148.
- Blazek, J., 2001. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications, Elsevier, Oxford, UK.
- Brandshaw, P., Cebeci, T. And Whitelaw, J.H., 1981, Engineering Calculation Methods for Turbulent Flow, Academic Press, London.
- Cadavid G., Giraldo, E., Zapata, W., 2010, Gravity Fed Toilet Device of Mega Low Water Consumption, United States Patent Application Publication, P. No: 2010/0251471 A1 .
- Davidson, L., 2005. Numerical Methods for Turbulent Flow, MTF071 Lecture Notes, Department of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Ferziger, J.H. and Peric, M., 2002. Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, New York, USA.
- 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.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Groger, D., 2009, High Performance Toilet Capable of Operation at Reduced Flush Volumes, United States Patent Application Publication, P. No:0241250 A1.
- Hayashi, R., Wijaya, K., Arita, K., Tsukada, R., Shibata, S., Matsushita, H., 1999, High Performance Flush Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 5983413.
- HIRT, C. W. and NICHOLS, B. D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. J. Comput. Phys., 39, pp. 201–225.
- Hofmann, K.A. and Chiang, S.T., 2000. Computational Fluid Dynamics for Engineers Volume 1-2-3, Engineering Education System Publication, Kansas, USA.
- Hirt, C. W. and Nichols, B. D., 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. J. Comput. Phys., 39, pp. 201–225.
- Ichiki, T., Ozeki, T., Yoneda, T., Shibata, S. and Nagashima, S., 2011, Flush Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 2011/0023224 A1.
- Ichiki, T., Ozeki, T., Yoneda, T., Shibata, S. and Nagashima, S., 2010, Flush Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 7827628 B2.
- Incropera, P.F., DeWitt D.P, 2001, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, (Çev. Derbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Hepbaşlı, A., İlken. Z., Özbalta. Ö., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y.) , Literatür Yayıncılık, Y. No: 51, İstanbul
- Jaeckels N.J., Sheboygan, 1994, Water Conserving Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 5283913.
- Kafalı, M.A., 2005, Türkiye Kalkınma Bankası, Sektörel Araştırmalar, Seramik Sağlık Gereçleri, Ankara
- Kosugi, T., Sugita, T., Ogawa, K., Tokunaga, H., Ohtani, T., 2003, Toilet and Method for Manufacture of The Same, United States Patent Application Publication, P. No:0115664 A1.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Lam, C. K. G. And Bremhorst, K. A., 1981, Modified form of the k-e Model for Predicting Wall Turbulence, Trans. ASME, J. Fluids Eng., Vol. 103, pp. 456 – 460.
- Launder, B.E. and Spalding, D.B, 1974, The Numerical Computation of Turbulent Flows, Comput. Methods Appl. Mech. Eng., Vol. 3, pp. 269 – 289.
- MEGEP , 2007 " Seramik ve Cam Teknolojisi", "Döküm Yolu İle Şekillendirme", Ankara.
- McHale, J., Bucher, C., Grover, D., Zhou, J., 2012, High Performance Toilet with Rim-Jet Control Capable of Enhanced Operation at Reduced Flush Volumes., United States Patent Application Publication, P. No:0198610 A1 .
- Menter, F.R., 1994. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, AIAA Journal, 32(8), 1598-1605.
- McHale, J., Bucher, C., Grover, D., Zhou, J., 2012, High Performance Toilet with Rim-Jet Control Capable of Enhanced Operation at Reduced Flush Volumes., United States Patent Application Publication, P. No:0198610 A1 .
- Morita, T., Yoneda, T., Hirakawa, T., 2010, Flush Toilet Bowl, United States Patent Application Publication, P. No:0186158 A1.
- Nakamura, K., Ozeki, T., Yoneda, T., Ichiki, T., Tomonari, H., Asada. K., Kawakami, K., 2010, Flush Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 7661153B2.
- Nakamura, K., Yoneda, T., 2000, Flush Toilet, United States Patent Application Publication, P. No: 6145138A.
- Pearson, J., 2009, Rimless Toilet with flush Water Distribution Apparatus, International Application Published Under The Patent Cooperation Treaty, P. No: 2009/030904
- Sümer G., 1994, Endüstriyel Seramikler, Cilt 1,2,3

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)**

Twyford , August 2005 , Vitreous China Sanitaryware Production.

Versteeg, H.K. and Malalasekera, W., 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method, Longman Group Ltd., Harlow, England.

Wen, X., Ingham D.B., Widodo, B., 1997. The Free Surface Fluid Flow Over a Step of an Arbitrary Shape in a Channel. Engineering Analyses with Boundary Elements 19: 299-308.

Wilcox, D.C., 1991. A Half Century Historical Review of the  $k-\omega$  Model, American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper, AIAA-1991-615, Nevada, USA.

Yuhua, W., Guoji, X., and Haishu, T., 2011, CAD and CAE Analysis for Siphon Jet Toilet, Physics Procedia, 19, p. 472-476.

## ÖZGEÇMİŞ

Sefa MANAV, 06.08.1976 yılında Afyon'un Emirdağ ilçesinde doğmuştur. İlkokulu Emirdağ' da tamamlayıp ortaokul ve lise eğitimini Eskişehir'de bitirmiştir. 1994-1998 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümün de lisans, 1998-2001 yıllarında Yüksek Lisans eğitimini yapmış olup aynı birimde 2001 yılından beri Doktora eğitimine devam etmektedir.

Çalışma hayatına 1998 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak başlayan Sefa MANAV, 2004 yılında üniversiteden ayrılarak Eczacıbaşı Yapı Gereçlerinde sırasıyla Tasarım Uygulama Uzman Yardımcısı, Cad-Cam Uzmanı, Ürün Geliştirme Uzmanı olarak çalışmıştır. Halen aynı kuruluştta AR-GE Uzmanı olarak görev yapmaktadır.

Uzmanlık alanları; Seramik Sağlık Gereçleri, Model- Model Kalıp Tasarımı, ANSYS CFX, Icem CFD, Fluent, Unigraphics NX, Cad-Cam Teknolojileri, Rapid Form XOR3, Geomagic Verify şeklinde sıralanabilir.

Aldığı eğitimler ; ANSYS CFX, Icem CFD Sertifikası, 2008, İleri derece Fluent Kullanıcı Eğitimi 2008, 6 Sigma Karakuşak Eğitimi 2012, Proje Yönetimi 2010, Unigraphics 7.5 Cad- Cam, 2010, Iso 14000 Çevre Yönetim Sistemi ve Ohsas 18001 Temel Eğitimi, 2010, Rapidform XOR3 eğitimi, 2014, D-FMEA eğitimi, 2014, APQP Eğitimi, 2014, Geometrik ölçme ve Toleranslandırma Eğitimi, 2014 şeklindedir.

Yayınları;

“ Sefa Manav, Hatice Türköz, Seramik Çamurunun Kalıp İçinde Dolum Prosesinin ANSYS CFX ile Sayısal Olarak İncelenmesi, 14. Bilgisayar Destekli Mühendislik ve Sistem Modelleme Konferansı, 2009 ”,

“ Sefa Manav, Tahir Karasu, Computer Simulation of Complex Turbulent Recirculating Flow in an Axisymmetric Sudden Expansion , 6. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, Bildiriler Kitabı, ss. 179-186, 2001 ”,

“ Sefa Manav, Tahir Karasu, Computer Prediction of Turbulent Recirculating Flow Over Backward-Facing Steps, 6. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, Bildiriler Kitabı, ss. 167-177, 2001 ” olarak sıralanabilir.

Şu ana kadar çalıştığı Seramik Sağlık Gereçleri konusunda 2 adet Patent başvurusu bulunmaktadır. Evli ve 2 çocuk babası olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.