



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



HASSAS DÖKÜM SERAMİK KABUĞUNUN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KATMAN SAYISI,
KURUTMA SÜRESİ VE KİMYASAL
KOMPOZİSYON ODAKLI İYİLEŞTİRİLMESİ

Fatma Nur GÜMÜŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİSAN-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma Nur GÜMÜŞ tarafından hazırlanan “**Hassas Döküm Seramik Kabuğunun Mekanik Özelliklerinin Katman Sayısı, Kurutma Süresi ve Kimyasal Kompozisyon Odaklı İyileştirilmesi**” adlı tez çalışması 30/04/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

Danışman
Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye
Doç. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Fatma Nur GÜMÜŞ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HASSAS DÖKÜM SERAMİK KABUĞUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KATMAN SAYISI, KURUTMA SÜRESİ VE KİMYASAL KOMPOZİSYON ODAKLI İYİLEŞTİRİLMESİ

Fatma Nur GÜMÜŞ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN

2024, 71 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
Doç. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN**

İmalat yöntemlerinden önemli bir tanesi olan dökümün alt dallarından olan hassas döküm yöntemi çok prosesli bir üretim tekniğidir. Hassas dökümde parafinmalzemeden üretilen özel olarak tasarlanmış bir model, metalik esash kalıplar ve seramik esash kabuklar kullanılmaktadır. Mum enjeksiyon kalıbı yapımı, mum model oluşumu, model ağacı oluşumu, seramik kabuk oluşumu, mum giderme, sinterleme, döküm, kabuk kırma, ürün temizleme/zımparalama aşamalarından oluşan hassas dökümün her bir aşamasının nihai ürüne etkisi vardır.

Bu çalışmada hassas dökümde en önemli adımlardan bir tanesi olan seramik kabuk üretimi aşamasındaki kurutma süresi- katman sayısı parametrelerinin optimizasyonu ve optimum şartlar sağlandıktan sonra kimyasal kompozisyona ekleme yapılarak mekanik anlamda daha kullanışlı kabuklar elde edilmesi, fire oranının azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışmada katlar arası kurutma süresi ve kat sayısının etkisi incelenmiştir. Kurutma süreleri 30, 45, 60'ar dakika artırımlı şekilde dikkate alınmış ve kurutma süresi arttıkça üç noktalı eğilme deneyi ile ölçülen kırılma modülü değerinin arttığı belirlenmiştir. Kat sayısı için 5, 6, 7 kat sayılı numuneler değerlendirilerek kat sayısı arttıkça kabul mukavemeti değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde kurutma süresi ve katman sayısının yüzey pürüzlülüğünde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. İlaveten çalışma kapsamında, çamur içerisindeki bakteri durumunun mekanik özellikleri etkilediği düşünülerek dezenfektan ilavesi ile kırılma modülü ilişkisi incelenmiştir. Dezenfektan ilaveli çamurda bakteri sayısında düşüş gözlemlenmiş ancak dezenfektan ilavesinin mekanik özelliklere etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: hassas döküm, seramik, seramik çamur, seramik kabuk

ABSTRACT

MS THESIS

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF PRECISION CAST CERAMIC SHELL FOCUSED ON THE NUMBER OF LAYERS, DRYING TIME AND CHEMICAL COMPOSITION

Fatma Nur GÜMÜŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN

2024, 71 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
Assoc. Prof. Dr. Mevlüt TÜRKÖZ
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN**

Precision casting method, which is one of the sub-branches of casting and one of the important manufacturing methods, is a multi-process production technique. In investment casting, a specially designed model made of paraffin material, metallic- based molds and ceramic-based shells are used. Each stage of investment casting, which consists of wax injection mold making, wax model formation, model tree formation, ceramic shell formation, wax removal, sintering, casting, shell breaking, product cleaning/sanding, has an effect on the final product.

In this study, it is aimed to optimize the drying time-number of layers parameters in the ceramic shell production stage, which is one of the most important steps in investment casting, and to obtain more mechanically useful shells and reduce the wastage rate by adding to the chemical composition after optimum conditions are achieved.

In the study, the effect of drying time between coats and the number of coats was examined. Drying times were taken into account in increments of 30, 45, 60 minutes, and it was determined that as the drying time increased, the fracture modulus value measured by the three-point bending test increased. For the number of layers, samples with 5, 6 and 7 layers were evaluated and it was observed that the acceptance strength value increased as the number of layers increased. When the surface roughness values were examined, it was seen that the drying time and the number of layers did not have a significant effect on the surface roughness. Additionally, within the scope of the study, the relationship between disinfectant addition and fracture modulus was examined, considering that the bacterial status in the sludge affected the mechanical properties. A decrease in the number of bacteria was observed in the sludge with disinfectant added, but it was determined that the addition of disinfectant had no effect on the mechanical properties.

Keywords: ceramic, ceramic mud, ceramic shell, investment casting

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli fikirleri, tecrübelerini paylaşan yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve bilgilendiren Danışmanım Doç. Dr. M. Hüseyin Çetin'e ve ölçüm aşamasındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Onur Can Şirvan'a

Tez çalışmam boyunca bana her türlü imkânı veren KHD Hassas Döküm yönetimine ve numune hazırlıkları boyunca ekstra özenle üretime yardımcı olan KHD Hassas döküm çalışanlarına,

Ve her zaman yanımda oldukları için aileme teşekkür ederim.

Fatma Nur GÜMÜŞ
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER.....	x
TABLolar.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. HASSAS DÖKÜM TEKNOLOJİSİ	7
3.1. Hassas Dökümün Avantajları	7
3.2. Hassas Dökümün Dezavantajları.....	8
3.3. Hassas Döküm Aşamaları	8
3.3.1. Mum enjeksiyon kalıbı yapımı	9
3.3.2. Mum model oluşumu	11
3.3.3. Model ağacı oluşumu	13
3.3.4. Seramik kabuk oluşumu.....	14
3.3.5. Mum giderme	18
3.3.6. Sinterleme	20
3.3.7. Döküm.....	21
3.3.8. Kabuk kırma.....	22
3.3.9. Ürün temizleme/zımparalama.....	22
3.3.10. Sevkiyat.....	22
3.4. Hassas Döküm Seramik Çamurunda Bakteri	23
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
4.1. Deney Tasarımı	24
4.2. Deney Numuneleri Ölçü ve Ağırlıkları	28
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42

5.1. Kat Sayısı, Kurutma Süresi ve Isıl İşlem Parametrelerinin MOR Değerlerine Etkisi	42
5.2. Kat Sayısı, Kurutma Süresi ve Isıl İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	46
5.3. Hassas Döküm Seramik Çamuruna Dezenfektan Ekleme nin MOR Değerlerine Etkisi	50
5.3. Hassas Döküm Seramik Çamuruna Dezenfektan Ekleme nin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine Etkisi	53
6. SONUÇLAR	55
6.1 Sonuçlar	55
KAYNAKLAR	56
EKLER	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ : Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme (N/mm²)
F: yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N)
L: İki destek arası mesafe (mm)
d: Kirişin yüksekliği (mm)
b: Kiriş genişliği (mm)
SiO₂: Silisyum dioksit
MOR: Kırılma modülü

Kısaltmalar

VDG: Association of German Foundrymen (Alman Döküm Uzmanları Birliği)
CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)

ŞEKİLLER

Şekil 3. 1. Hassas döküm yöntemi ile üretilmiş ürünler	7
Şekil 3. 2. Hassas döküm proses aşamaları (Kavaklıoğlu, 2019)	9
Şekil 3. 3. Hassas döküm mum kalıbı tasarımı	10
Şekil 3. 4. Hassas döküm mum kalıbı.....	10
Şekil 3. 5. Hassas dökümde mum basılan pres	12
Şekil 3. 6. Çapak alma işlemi	13
Şekil 3. 7. Hassas döküm model ağacı	14
Şekil 3. 8. Daldırma işleminde kullanılan aparat	15
Şekil 3. 9. Seramik çamur kazanı	16
Şekil 3. 10. Yağmurlama kabini	17
Şekil 3. 11. Seramik salkım kuruma ortamı düzeni.....	18
Şekil 3. 12. Otoklav fırını.....	19
Şekil 3. 13. Salkımların otoklava yerleşim şekli	19
Şekil 3. 14. Mum giderme sonrası ısıtma işlemi yapılan ve yapılmayan ürünün iç yüzeyindeki mum farkı	20
Şekil 3. 15. Döner fırın.....	20
Şekil 3. 16. Seramik kabuğa döküm anı	21
Şekil 3. 17. Kabuk kırma makinesi.....	22
Şekil 4. 1. Mumdan imal edilmiş yolluk görüntüsü	28
Şekil 4. 2. Ön kaplaması yapılmış numune görüntüsü	28
Şekil 4. 3. İlk kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü	29
Şekil 4. 4. İkinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü	29
Şekil 4. 5. Üçüncü kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü	29
Şekil 4. 6. Dördüncü kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü.....	30
Şekil 4. 7. Beşinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü.....	30
Şekil 4. 8. Altıncı kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü.....	31
Şekil 4. 9. Yedinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü	31
Şekil 4. 10. Otoklav yapılarak mumu giderilmiş numuneler	32
Şekil 4. 11. Isıtma işlemi tamamlanmış numuneler	32
Şekil 4. 12. Kesme işlemi için kullanılan spiral taş.....	33
Şekil 4. 13. Uygun ölçülerde kesilmiş numuneler.....	34
Şekil 4. 14. Numaralandırılmış numuneler	34
Şekil 4. 15. Deney numuneleri	35
Şekil 4. 16. Beş kat sayılı, 30 dk artırımlı kurutma süreli ve dezenfektan ilaveli deney grubuna ait olan numuneler	35
Şekil 4. 17. Yedi kat sayılı, 60 dk artırımlı kurutma süresi olan deney grubuna ait numuneler.....	36
Şekil 4. 18. Üç nokta eğme deneyi yapılan cihaz.....	37
Şekil 4. 19. Üç noktalı eğme deneyi yapılan cihazın ucunun görseli	38
Şekil 4. 20. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	38
Şekil 5. 1. Eğilme deneyi sonuçlarının normal dağılıma uygunluğu	43
Şekil 5. 2. Kat sayısı, kurutma süresi ve ısıtma işlemin MOR değerine etki grafiği	45
Şekil 5. 3. Seramik çamuruna dezenfektan ilave etmenin MOR değerine etki grafiği.....	51

TABLÖLAR

Tablo 4. 1 Deney parametreleri	24
Tablo 4. 2. Deney numuneleri ölçü ve ağırlıkları.....	28
Tablo 5. 1. MOR değerleri	42
Tablo 5. 2. MOR değeri analiz sonucu.....	44
Tablo 5. 3.Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonucu	47
Tablo 5. 4.Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi sonucu	49
Tablo 5. 5. Dezenfektan katkılı numune MOR değerleri	50
Tablo 5. 8. Dezenfektan katkılı numune MOR değerleri analizi	51
Tablo 5. 6. Dezenfektan katkılı numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları.....	53
Tablo 5. 7. Dezenfektan katkısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.....	53



1. GİRİŞ

İhtiyaç duyulan endüstriyel ürünleri elde etmek için çeşitli imalat yöntemleri vardır. Döküm yoluyla üretim imalat yöntemlerinden önemli bir tanesidir. Döküm; metallerin veya diğer malzemelerin eritilip bir kalıba dökülerek malzemeye istenen ürün şeklini kazandırma işlemidir. Bu yöntem, yüzyıllardır kullanılan bir üretim tekniğidir ve makine parçalarının üretiminde, otomotiv sektöründe, medikal sektöründe özellikle sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemelerin döküm yoluyla üretilmesi için günümüze kadar geliştirilen tekniklerden uygun olanı seçilerek nihai üründe istenilen karakteristik özellikler elde edilebilmektedir. Bu tekniklerden biri olan hassas döküm, özellikle karmaşık geometrilere ve yüksek hassasiyete sahip parçaların üretimi için kullanılan bir döküm yöntemidir (Subaşı, 2004).

Hassas döküm net şekle yakınlığı, yüzey kalitesi, yüksek adetlerde düşük üretim maliyeti ve çok çeşitli malzeme cinsi üretimi yapılabilmesi gibi özellikleri sebebiyle üretim yöntemleri arasında önemli yere sahiptir. Hassas dökümde parça üretmek için öncelikle mum model üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple öncelikle mum kalıbı üretilmektedir. Mum kalıbından mum baskılar alındıktan sonra modeller mum yolluğa yapıştırılmakta ve ürünlerin mum halinden oluşan bir salkımı oluşturulmaktadır. Salkımdaki ürün sayısı malzeme büyüklüğüne göre değişmektedir.

Seramik kalıbı oluşturmak için bu salkımlar seramik çamuruna daldırılmaktadır. Mum salkım etrafında seramik kabuk oluştuktan sonra mumu seramik kabuktan ayırmak için otoklav fırınında salkım içindeki mum eritilmektedir. Sonraki aşamada seramik kabuk pişirilmek üzere fırına alınmaktadır. Kabuk ısıtıldıktan ve tamamen mumdan arındırıldıktan sonra seramik kabuğa erimiş metal dökülmekte ve belirli bir süre soğuduktan sonra malzeme üzerindeki seramik kabuk kırılmaktadır. Metal salkımdaki ürünler dikey kesim makinelerinde kesilmekte ve tek bir parça halinde ortaya çıkmaktadır. Ürünün salkıma bağlandığı bölgedeki fazlalıklar kesilmekte ve ürün sevke hazır hale gelmektedir.

1.1 Amaç

Bu çalışmanın öncelikli amacı hem maliyet hem zaman açısından önemli bir adım olan hassas döküm seramik kabuğunun mekanik özelliklerine katman sayısı ve kurutma süresi parametrelerinin etkisinin incelenmesi ve optimum parametre

seviyelerinin tespit edilmesidir. Optimum şartların belirlenmesi aşamasından sonra kabuk kimyasal kompozisyonuna dezenfektan (biyosit) takviyesi yapılarak iyileştirilmiş mekanik ve biyolojik özelliklere sahip seramik kabuk elde edilmesi hedeflenmektedir. Hem parametre hem de takviye malzemesi odaklı gerçekleştirilecek çalışma sonunda mekanik özellikleri iyileştirilmiş standart bir kabuk oluşturma prosesi elde edilmesi beklenmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Charkabarti kurutma koşullarını değiştirerek yaptığı çalışmada, kurutma koşullarının seramik kabuk kalıplarının performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Kullanılan bağlayıcı, geleneksel olarak kullanılan bağlayıcılara (etil silikat, koloidal silika vb.) alternatif olarak düşünülen aseton bazlı bir asittir. Kurutma koşullarının etkileri, bulamaçtan hazırlanan, erimiş silis ve bağlayıcıdan yapılmış seramik numuneler üzerinde incelenmiştir. Numuneler farklı sıcaklıklarda ve farklı bağıl nem koşullarında kurutulmuştur. Kurutma koşullarının etkisi, seramik kabuk numunelerinin basınç dayanımının ölçülmesiyle gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, nispeten düşük sıcaklıklarda ve yüksek bağıl nemde kurutulan seramik numunelerin MOR değerlerinin daha yüksek olduğunu gösterilmektedir. Seramik numunelerin basınç dayanımı bakımından en iyi performansının 23°C ve %88 bağıl nemde elde edildiği görülmüştür (Chakrabarti, 2002).

Subaşı, “Kabuk hassas döküm yönteminde kabuk kalınlığına ve mukavemetine etki eden faktörler” başlıklı yüksek lisans tezinde kurutma zamanı, vizkozite ve daldırma sayısının etkisini incelemiştir. Belirtilen parametreler ile deneyler yapılmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Mukavemeti ölçmek için üç noktalı eğme deneyi cihazı kullanılmıştır. Yapılan deneylerdeki sonuçlara göre viskozite, daldırma sayısı, kurutma zamanı arttıkça kabuk kalınlığı ve mukavemet artmaktadır (Subaşı, 2004).

Sidhu ve diğ., yaptıkları çalışmada birincil bulamaç parametrelerinin plaka ağırlığına etkisini incelemişlerdir. Zirkon unu ve erimiş silika tozu bazlı bulamaç hazırlanmış ve kaplamanın morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. X-ışınımı kırınımı (XRD cihazı) kabukta bulunan çeşitli fazları belirlemek için kullanılmıştır. Seramik kalıpların yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için optik profilometre kullanılmıştır. Sonuç olarak bulamaçta yüksek dolgu yüküne karşılık gelen plaka ağırlığının artmasıyla kabuğun yüzey durumunun iyileşebileceği tespit edilmiştir (Sidhu ve diğ., 2006).

Yahaya ve diğ., hassas döküm kalıplarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine aktif kömürün etkisini incelemişlerdir. Kalıba destek olarak %30 aktif kömür içerikli kompozisyon 3. ve 6. katlara eklenmiştir. Yaş ve pişmiş kalıplar yoğunluk, gözeneklilik ve dayanıklılık açısından incelenmiştir. Mukavemet üç noktalı eğme testi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak artan aktif karbon içeriğinin emilimi iyileştirdiği ve mum

alma süresinde azalma sağladığı görülmüştür. Ayrıca kalıbın gözenekliliği artarken mukavemetinin ve yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. %0 ve %25 aktif kömür içeriğine sahip kalıplar için mukavemet verileri üzerinde Weibull analizi yapılmıştır. Mum alma süresi yaklaşık %37,5 oranında azalmış olduğu aynı zamanda aktif kömür içeriğinde %25'lik bir artış için hem ham hem de pişmiş numunelerin yoğunluğunun ve eğilme mukavemetinin azaldığı gözlemlenmiştir (Yahaya ve diğ., 2016).

Pattnaik'in çalışmasında ikincil seramik bulamaçlarına ince elenmiş talaş ilave edilmiş ve bunun kırılabilirlik, eğilme mukavemeti, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi önemli kabuk özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkincil bulamaca talaş ilavesi, ağırlıkça %5 ile sınırlandırılmıştır. Çünkü talaşın bu sınırın ötesinde birikmesi kabuğun fırınlanmış mukavemetini düşürerek kabuk kurutma aşaması sırasında seramik kabuğun etrafında küçük çatlakların oluşmasına yol açmıştır. Deney sonucunda gözenekliliğinin ve geçirgenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. İkincil katmanlara talaş ilavesi, seramik kabuğun birincil katmanının bileşimini etkilememiştir. Talaş modifiye kabuklardan elde edilen alaşımlı dökümlerin mekanik özelliklerinin, eklenmemiş kabuklara göre nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bulamaç viskozitesi ve pH, bir Brookfield Viskometresi ve pH metre kullanılarak ölçülmüştür (Pattnaik, 2017).

Chen ve diğ., yaptıkları çalışmada hassas döküm seramik çamuruna nano boyutlu alümina eklemişler ve alüminanın seramikte mikroyapı gelişimi, eğilme mukavemeti artışı ve kırılma mekanizmasına etkisini araştırmışlardır. Numunelerdeki faz dönüşümlerini incelemek için X-ışını kırınımı (XRD) kullanılmıştır. Sonuç olarak erimiş silis tozları olmadan numunelerin sinterleme sıcaklığındaki artışların bükülme mukavemeti üzerinde çok az etkiye sahip olduğu görülmüştür. (Chen ve diğ., 2019).

Li ve diğ., hassas döküm seramik çamuruna kısa karbon fiber eklemenin kabuk mukavemeti üzerinde etkisini araştırmışlardır. Lif uzunluğunun kabuk mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmak için 2-4 mm uzunluğunda karbon lifleri kullanılmıştır. Kısa kesilmiş karbon lifleri, silika bulamaçla karıştırılarak hassas döküm kabuk performansının durumu incelenmiştir. Karbon fiber içeriği %0,2'den %1'e yükseldiğinde, oda sıcaklığında kabuğun eğilme mukavemeti fiber eklenmemiş örneklerle kıyasla önemli ölçüde artmıştır (Li ve diğ., 2020).

Hassas dökümde seramik kabuklarının karakterizasyonu ve özelliklerini incelemek için yapılan çalışmada geleneksel bulamaçlarda değişiklikler yapılarak seramik kabuklar hazırlanmıştır. İnce iğne kok ve kaba iğne kok tozları sırasıyla iç ve dış kaplama seramik bulamaçlarına karıştırılmıştır. İğne koklu modifiye seramik

bulamacı, geleneksel bulamaca göre daha yüksek bulamaç tutma oranı sağlamıştır. İnce iğneli kok ilavesinin optimum aralığı %0,20 ila %0,50 olarak bulunmuştur. İnce iğne kok tozu yüzdesi arttıkça, iç yüzeyde daha fazla gözenek olduğu için kabuğun eğilme mukavemetinde bir miktar azalma görülmüştür (Kumar ve diğ., 2020).

Karıştırma oranı ve karıştırma süresinin hassas döküm kabuklarının bulamaç tutma ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılan çalışmalarda, zirkon unu ve koloidal silikanın farklı bileşimi (%75- %25, %70- %30 ve %65- %35) farklı karıştırma sürelerinde (24 saat, 48 saat ve 72 saat) analiz edilmiştir. Viskozite, ıslatılabilirlik, bulamaç tutma ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sonucunda Bulamacın karıştırma süresi arttıkça, bulamacın viskozitesinin arttığı bulunmuştur. %75 zirkon ve %25 koloidal silika içeren bileşimin 72 saatlik karıştırma süresinde yüzey kalitesi açısından en iyi sonucu verdiği sonucuna varılmıştır (Vyas ve diğ., 2020).

Pattnaik ve diğ., tarafından yapılan çalışmada hassas dökümde kullanılan seramik bulamacın reolojisinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan deney numunesi; birincil bulamaç yüzeyinin üzerinde atmosferi engelleyecek şekilde ince bir argon gazı tabakası oluşturularak üretilmiştir. Birincil bulamaç özellikleri, yani viskozite, yoğunluk, plaka ağırlığı ve pH değeri, bulamacın argon gazına maruz bırakılmasından 24 saat sonra belirlenmiştir. Bulamaç özelliklerinin karşılaştırması, bulamaç yüzeyinin üstünde argon gazı olmayan ve olan bulamaç arasında yapılmıştır. Çalışma sonunda bulamacın üzerine argon gazı örtüsünün bulamaç özelliklerinin korunmasında önemli bir gelişmeye yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, argon gaz örtülü bulamaç kullanılarak oluşturulan birincil tabakanın iç yüzey dokusunun standart numuneye göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bulamaç yoğunluğu piknometre, vizkozitesi viskozimetre, pH değeri pH metre, iç tabakasının yüzey pürüzlülüğü ise Veeco yüzey profilometresi kullanılarak belirlenmiştir. Bulamacın atmosfere maruz kalması bulamaç içerisindeki suyun buharlaşmasına neden olmaktadır ve bu bulamaç kullanım ömrünü azaltmaktadır. Yapılan deneyde bulamacın üst yüzeyindeki argon gazı örtüsü, bulamaçtan suyun buharlaşmasını azalttığı için çalışma ömrünü arttırmıştır. (Pattnaik ve diğ., 2021).

Literatürde hassas döküm kabuğunun mekanik özelliklerine etki eden parametreler araştırılmış fakat deney tasarımlarının kullanıldığı optimizasyon odaklı çalışmaların yapılmadığı görülmüştür. Ayrıca optimum parametreler dikkate alınarak kimyasal kompozisyonun zenginleştirilmesi odaklı çalışmalarda mevcut değildir. Bu

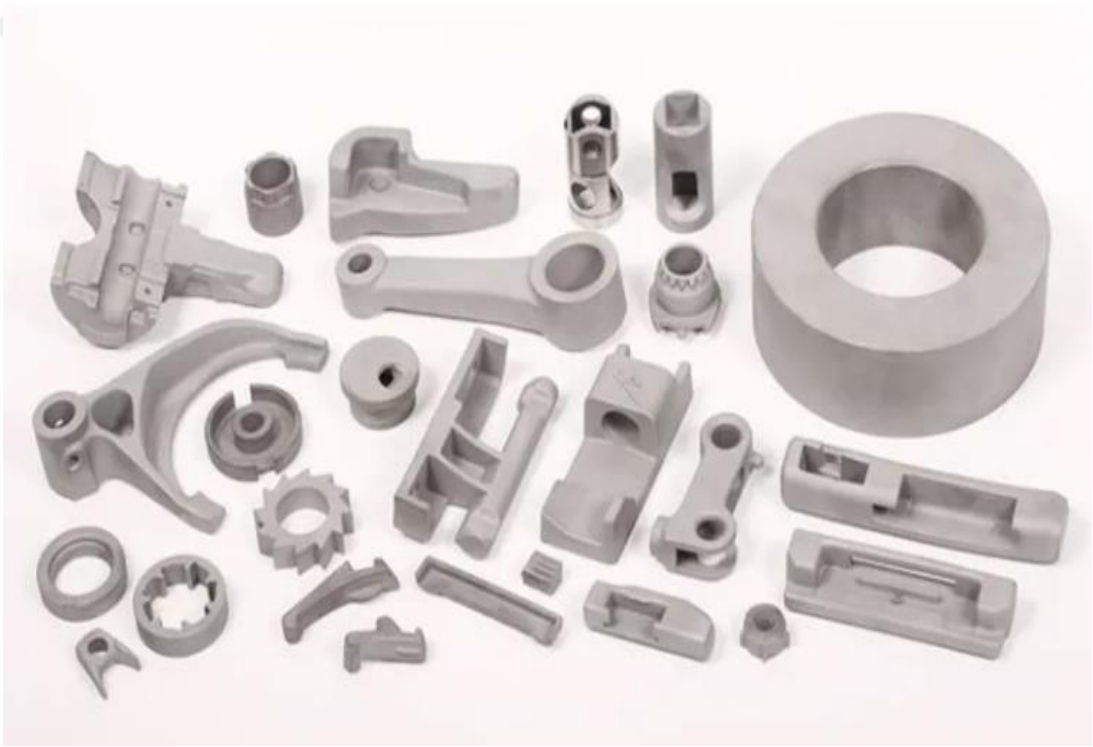
Çalışmada kabuk dayanımının arttırılması hedefiyle optimizasyon ve kimyasal kompozisyon odaklı çalışılmıştır.



3. HASSAS DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

Kaybolan mum yöntemi, seramik kabuk yöntemi gibi isimlerle de bilinen hassas döküm yöntemi, döküm teknolojisinin alt dallarından biridir. Savunma sanayi, makine sanayi, medikal sanayi, otomotiv sanayi gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılan bu yöntem süs eşyaları, takılar ve heykel yapımında da kullanılmıştır.

Bu teknik sayesinde, uygun model elde edilebildiği müddetçe çok karmaşık şekilli metal dökümler yüksek hassasiyet ve iyi yüzey kalitesi ile üretilebilmektedir. Bu özelliği ile hassas döküm, çoğu talaşlı imalat işleminin gerekliliğini ortadan kaldırır (Anlar, 2009). Hassas döküm yöntemi ile üretilmiş bazı ürünler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Hassas döküm yöntemi ile üretilmiş ürünler

3.1. Hassas Dökümün Avantajları

- Dökümü yapılabilen bütün metallere uygulanabilir olması sebebiyle geniş malzeme cinsi seçeneğinin olması (Pik, Kalay bronzlar, Sfero Alüminyum bronzlar, Çelik Bakır alaşımları, Paslanmaz çelik, Yüksek kromlu dökme demir)
- Net şekle yakınlığı ile sonradan işlem gerekmemesi,

- İşleme ile uzun sürelerde üretilebilecek ya da işlenmesi güç, çok küçük/kompleks parça üretilebilirliği,
- Malzeme hurdasını azaltarak malzemeden tasarruf elde etme,
- Mum kalıbının bozulmaması ve sürekli kullanılabilmesi sayesinde işçilik ve kalıp masrafının tekrarlanmaması,
- Pürüzsüz yüzey elde edilmesi,
- Sonradan ısıtılma işlemi uygun olması ile istenilen mekanik özelliklere uygun parça üretimi,
- Tasarımda geniş tolerans aralığı,
- Seramik kabuk tek parça olduğu için ayrıca düzlem izi oluşmaması, Şeklinde sıralanabilir.

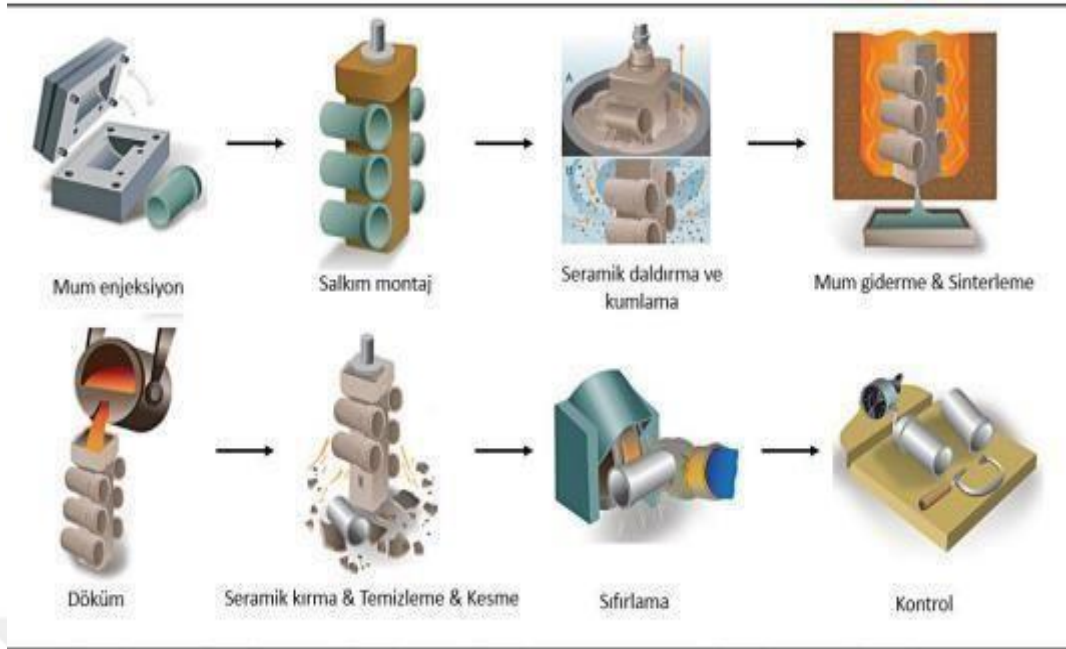
3.2. Hassas Dökümün Dezavantajları

- Her yeni parça için farklı mum model gerekmesi,
- Az sayıda ve büyük parçalar için proses uygunluğu,
- Üretim için gerekli ekipman standart olmamasından kaynaklı temin ve maliyet yüksekliği,

Hassas dökümde tolerans, kalıp tasarımından itibaren kullanılan mum çeşidi, seramik malzemesi ve döküm alayına bağlı olarak ölçüsel sapmaların toplamıdır. Ölçülerin tekrarlanabilirliği parça özelliklerine de bağlıdır. Hassas dökümde ölçüsel toleranslar, VDG (Association of German Foundrymen-Alman Döküm Uzmanları Birliği) P690 bildirileriyle belirlenmektedir (Karafazlıoğlu, 2016). VDG P690 standardı EK-1’de sunulmuştur.

3.3. Hassas Döküm Aşamaları

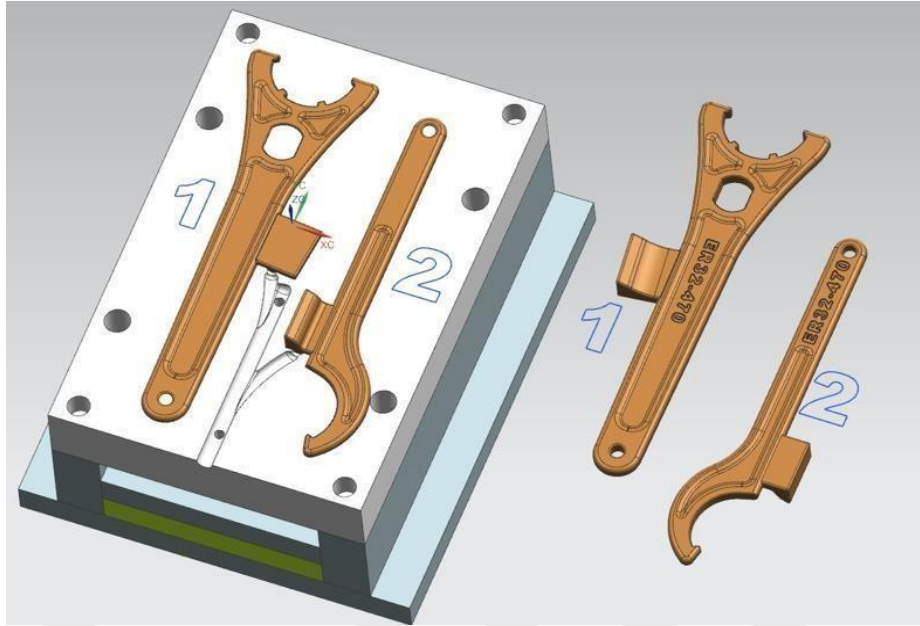
Hassas döküm istenen parçanın mum modelini üretmek için süreç mum kalıbının üretimi ile başlar, salkımdan ayrılan parçalarının besleme kısımlarının ayrılması sonucu net ürüne ulaşılması ile proses son bulur. Hassas döküm prosesi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Hassas döküm proses aşamaları (Kavaklıoğlu, 2019).

3.3.1. Mum enjeksiyon kalıbı yapımı

İstenen parçayı elde etmek için mum veya benzeri bir plastik hammaddeden mum model oluşturulması gerekmektedir. Mum modelin üretimi için mum enjeksiyon kalıbı hazırlanmalıdır. Bir kalıpta birden fazla parça çeşidi veya bir parçadan birkaç göz olabilmektedir. Kalıbın boyutu kalıptaki parça adedi, parçanın biçimi, parçanın büyüklüğü gibi özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Dökümden sonra çekinti oranları hesaplanarak model belli bir oranda daha büyük boyutlarda hazırlanır. Hassas döküm mum kalıbı tasarımı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3. Hassas döküm mum kalıbı tasarımı

Mum kalıbı CAD olarak tasarlandıktan sonra işleme aşamasına geçilir. Kalıbın malzemesi alüminyum ya da çelik olabilmektedir. Kalıp işleme işlemi tamamlandıktan sonraki görüntüsü Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3. 4. Hassas döküm mum kalıbı

3.3.2. Mum model oluşumu

Modeller için en yaygın kullanılan iki mum çeşidi parafinler ve mikro kristalinlerdir. Bu malzemelerin kombinasyonları, birbirini tamamlayıcıdır ve sıklıkla bu şekilde kullanılır. Parafin kullanımı mumda kırılganlık oluşturduğu ve yüksek çekmepayı olması sebebiyle sınırlıdır. Mikro kristalin mumlar ise, mum karışımları için yüksek oranda plastik ve sertlik sağlamaktadır. Mikro kristalin mumlar, parafin mumlardan daha yüksek erime noktasına sahiptirler (Sinan,2010).

Balmumu doğal bir böcek mumudur. Geniş bir şekilde mum model yapmak için kullanılır. Seramik kabuklu hassas döküm yönteminde kullanımı yüksektir ancak diğer mumlara göre maliyetinin yüksek olması sebebiyle limitli kullanım alanına sahiptir (Sinan,2010).

Suda eriyen mumlar; kalıptan çıkamayacak kadar girintili parçaların mum baskısı için yardımcı olarak kullanılır. Mum şekli tamamlandıktan hemen sonra suda bekletilerek eritilir, nihai ürün şekline ulaşmış olur. Model oluşumunda mum kullanılmasının nedenleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Ucuz olması
- Eritilerek tekrar kullanılabilir hale gelmesi
- Kolay şekil alabilmesi
- Kalıbı doldurma özelliği bulunması
- Çekintisinin az olması

Kullanılacak mum seçiminden sonra mum basımı aşamasına geçilir. Preslerde 10-50 sn süreyle kalıpta bulunan boşluklara mum doldurulur. Her mum model basımında kalıp açılmalıdır. Hassas dökümde mum presi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3. 5. Hassas dökümde mum basılan pres

Mum, kalıba enjekte edildikten sonra soğur ve model şeklini alır. Daha sonra parçalar mum yolluktan ayrılır. Mum, model kalitesi kabuk iç yüzeyini dolayısıyla nihai parça yüzeyini etkileyen bir parametredir. Mum model kalitesini etkileyen faktörler ise şunlardır

- Enjeksiyon esnasında mum sıcaklığı
- Ejeksiyon hızı
- Enjeksiyon basıncı
- Enjeksiyon esnasında kalıp sıcaklığı
- Kalıp boşluğu dolduktan sonra devam eden basınç ve zaman (Kurul, 1999).

Çeşitli sebeplerle parçanın etrafında oluşan çapaklar model üzerinden temizlenir. Çapak alma işlemi Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3. 6. Çapak alma işlemi

3.3.3. Model ağacı oluşumu

Mum eritilerek yolluk adı verilen yine mumdan oluşmuş ürünlere yapıştırılır. Şekil 3.7 numaralı görselde model ağacı verilmiştir. Bir model ağacı üzerinde aynı malzeme cinsine sahip farklı parçalar olabilmektedir. Model ağacı oluşturulurken dikkatedilmesi gereken noktalar şu şekildedir;

- Taşımaya dayanım,
- Mumun boşaltılma kolaylığı ve seramik kabuk oluştuktan sonra döküm kolaylığı,
- Çekme sırasında besleme bölgesinin yeterliliği,
- Parçaların kesime uygun şekilde yerleştirilmesi.



Şekil 3. 7. Hassas döküm model ağacı

3.3.4. Seramik kabuk oluşumu

Model ağacı tamamlandıktan sonra seramik çamuru adı verilen karışıma model ağacı birkaç kez daldırılıp çıkarılarak 10-20 mm kalınlığında bir katman oluşturulur. Daldırmaya başlamadan önce ürün yüzeyindeki kir, toz ve enjeksiyon yağlayıcılarından arındırılması için temizlenir. Daldırma için yolluğun tutulmasını sağlayan bir aparat kullanılır. Aparatın kullanım şekli Şekil 3.8’de verilmiştir. Seramik kabuk oluşturma aşaması hem süre hem maliyet olarak hassas dökümde önemli bir aşamadır. Bu aşamada yapılacak çalışma ürün kalitesine doğrudan etki etmektedir.



Şekil 3. 8. Daldırma işleminde kullanılan aparat

Ürünlerin kaplama işlemleri arasında ve katlar tamamlandıktan sonra seramik salkım özel olarak üretilmiş arabalara yerleştirilir ve kurumaya bırakılır. Seramik salkımda kullanılan ham maddeler şu şekildedir;

Silika: Kolloidal silika amorf silisyum dioksit (SiO_2) nanopartiküllerinin su içerisinde kararlı ve homojen bir şekilde dağılmış halidir. Oldukça düşük ısı genleşme katsayısına sahiptir. Seramik kalıba ısı şok direnci vermekte ve çözelti içinde çözünebilmektedir.

Refrakter kum: Birincil çamur ince refraktör tozu içerir. Bu çamur yüksek viskozitelerde kullanılır ve diğer katmanlara göre daha iyi partiküllerle kaplama yapar. Bu özellikler sayesinde yumuşak yüzeyli bir kalıba metalin nüfuz etmesi esnasında, direnç gösterebilme kapasitesi sağlar. İkincil katmanlar birincil katmanın üzerinde yüksek direnç oluşturmak ve gerekli kalınlığa ulaşmayı sağlamak amaçlı formalize edilmiştir. Bazen ikincil katmanın yapılmasına başlanmadan önce iki kez birincil kaplama yapılır. Kaplama sayısı salkımın ebatları ve dökülen metalle ilişkilidir. (Sinan ,2010)

Zirkon: Pek çok kullanım alanı olan zirkonyum metalinin ana minerali olan zirkon volkanik kayalarda bulunan bir mineraldir. Yüksek ergime noktasına ve düşük ısı genleşmesiyle yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için çok uygun bir malzemedir. (Güler, 2012)

Köpük kesici: Köpük oluşmasını engellenmek için kullanılır. Köpük oluşumu istenmemesinin sebebi, sıvı kabarcıkların malzemenin yüzey kalitesini bozmasıdır.

Islatıcı: Islatılabilirlik sağlamak amacıyla genellikle sıvı ağırlığının %0.03 ile %0.3 arasındaki bir miktarda kullanılır.

Malzemelerin hepsi homojen bir karışım elde edilene kadar seramik kazanında karıştırılır. Seramik kazanı Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Önce seramik çamuruna daldırılan salkımlar sonra yağmurlama kabinine girerek katlar elde edilir. Yağmurlama kabini Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3. 9. Seramik çamur kazanı



Şekil 3. 10. Yağmurlama kabini

Seramik salkım kururken oda sıcaklığı 22-27 °C arasında olmalıdır. Nem değerinin %50'yi geçmemesi gerekmektedir. Oda sıcaklığı ve nem değerlerinin istenilen aralıkta tutulabilmesi için ilgili değerler takip edilmektedir. Ürünlerin kururken bulundukları ortam görüntüsü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 11. Seramik salkım kuruma ortamı düzeni

3.3.5. Mum giderme

Seramik kaplama tamamlanıp yeterli bekleme süresinde kuruma sağlandıktan sonra kaplama içerisindeki mumun giderilip seramiğin kabuk halinde kalması gerekmektedir. Bu işlem için salkımlar otoklav adı verilen fırına yerleştirilir. Otoklav fırını Şekil 3.12’de verilmiştir. Sıcaklığı 180-220 °C olan fırında mum giderilir. Salkımların otoklava yerleşim durumu mumun akabileceği şekilde olmalıdır. Yerleşim şekli örneği Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3. 12. Otoklav fırını



Şekil 3. 13. Salkımların otoklava yerleşim şekli

3.3.6. Sinterleme

Döküm işleminden önce kabuklar 800-900 °C sıcaklıkta döner fırın adı verilen fırında 2-3 saat sinterlenir. Otoklav fırınında giderilmemiş mum kalıntıları fırında buharlaşarak uzaklaştırılır. Ayrıca kabuk sıcaklığı arttırılarak dökümde akışkanlık için ortam sağlanır. Otoklavda mum giderme işleminden sonra ısıtıl işlem yapılan ve yapılmayan üründe mum kalıntılarından dolayı kabuk iç yüzeyindeki fark Şekil 3.14’te verilmiştir. Döner fırın görseli Şekil 3.15’te verilmiştir.



Şekil 3. 14. Mum giderme sonrası ısıtıl işlem yapılan ve yapılmayan ürünün iç yüzeyindeki mum farkı



Şekil 3. 15. Döner fırın

3.3.7. Döküm

Kabuk halinde bulunan seramiğin içersine istenen malzeme cinsine göre hazırlanmış olan erimiş metal dökülür. Boşluklara dolan erimiş metal soğutularak seramik ile kaplı metal ürün salkımı elde edilir. Dökme sıcaklığının sertliğe yaklaşık % 99,28, yüzey pürüzlülüğü için % 49,66 ve boyutsal hassasiyete % 68,38 oranında katkı sağladığı literatürde belirtilmiştir. (Niu S. 2015).

Ergitme işlemi hassas dökümde malzeme doğruluğu açısından en önemli adımdır. Bu nedenle bu aşamada aşağıda belirtilen önemli noktalara dikkat etmek gerekir.

- Metal alaşımların kimyasal kompozisyonları bilinmeli ve ona göre gerekli alaşımlar eklenerek istenilen kompozisyona ulaşılmalıdır.
- Hurdalar kalıntılardan temizlenmelidir.
- Metal eriyik halde mümkün olduğu kadar kısa süre tutulmalıdır.
- Dökümden önce metal sıcaklığı alaşımın ergime sıcaklığı üstünde tutulmalıdır.
- Hurda malzeme kullanılacaksa minimum seviyede tutulmaya özen gösterilmelidir. Hurda içeriği iyi bilinmeli, alaşım hesaplanmasında dikkate alınmalıdır (Güler, 2012). Seramik kabuğa döküm anı Şekil 3.16'da gösterilmektedir.



Şekil 3. 16. Seramik kabuğa döküm anı

3.3.8. Kabuk kırma

Döküm yapıldıktan sonra ürün soğutulur. Metalin etrafındaki seramik kabuğu temizlemek için kabuk kırma makinesinde titreşim hareketi ile metal salkım etrafındaki seramik kabuk kırılarak temizlenir. Kabuk kırma makinesi Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3. 17. Kabuk kırma makinesi

3.3.9. Ürün temizleme/zımparalama

Seramik kabuğu kırıldıktan sonra ürünler metal salkım halinde kalır. Dikey kesim makinelerinde kesilerek metal salkımdan ayrılan ürünler, daha sonra yolluğabağlandığı besleme yerleri zımparalanarak son şekle ulaşır.

3.3.10. Sevkiyat

Dökülen parçalara sevkiyat öncesi göz kontrolü yapılır ve göz kontrolünden geçen parçalara ölçüm kontrolü yapılır ve müşteri talebine göre tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri uygulanır. Ayrıca her döküm şarjının malzeme uyumluluğu kimyasal analiz spektrometresi ile kontrol edilir. Parçada istenilenekstra özellikler için ürüne ısıtıl işlem, talaşlı işlem gibi ekstra işlemler yapılabilmektedir.

3.4. Hassas Döküm Seramik Çamurunda Bakteri

Bakteriler nefes, öksürük, hapşırık, eller ve ter yoluyla bulaşabilmesi sebebiyle birçok alanda ve dolayısıyla seramik çamurunda bulunurlar. Çoğu bakteri operatörler ile seramik kazanına taşınır. Çamurda bulunan bakteriler pek çok çeşitte olabilmektedir.

Hassas döküm seramik çamurunda bakteri oluşumunu ve üremesini durdurmak için yapılabilecek herhangi bir işlem yoktur ancak miktarları ve varlıklarının etkisi azaltılabilir. Çamurdaki bakterilerin sorun oluşturma sebebi polimer tüketmeleri ve asitli bir dışkı üretmeleridir. Aşırı bakteriyel aktivite ve yüksek üreme oranı; uzun bir süre boyunca pH'ı baskılamakta ve bu durum seramik çamurunu dejenere etmektedir¹.

Bakteri miktarını azaltmak için çamura biyosit takviyesi yapılabilmektedir. Biyosit kavramı genel olarak bir veya birden fazla aktif maddenin birbirleriyle teması sonucunda meydana gelen, mantar, su yosunu, bakteri, küf ve benzeri mikroorganizmaları öldürücü bir etkiye sahip olan kimyasal maddeler olarak tanımlanabilmektedir. Aynı zamanda da biyosit kelime anlamı olarak canlı öldüren, canlı kıran gibi anlamlara da gelebilmektedir.²

Çamur kazanında düşük hızda karıştırmada bakteri öldürücüler bakteriler üzerinde etkili olamamaktadır. Bu sebeple bakteri öldürücüler bakteri oluşumundan önce çamur kazanına ilave edilmelidir¹.

Bakterilerin neden olduğu pH düzensizliği jelleşmeye sebep olmakta ve homojen bir kat kaplaması yapılmasını engelleyebilmektedir. Katların homojen olmaması mekanik özelliklerde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında optimum şartlar sağlandıktan sonra bakteri oluşumunu azaltmak için çamura dezenfektan (bir çeşit biyosit) eklenmiş ve bakterilerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

¹ <https://www.remet.com/en/insights/investment-casting-hygiene-part-1/> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2023].

² <https://www.kimteks.org/biyosit-nedir-nerelerde-kullanilir/> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2023].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Deney Tasarımı

Yapılan deneysel çalışmada, seramik kabuğun üretiminde farklı kurutma sürelerinin ve farklı kat sayılarının, seramik kabuğun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Optimum koşullar sağlandıktan sonra kimyasal kompozisyona eklenecek olan dezenfektan ile özelliklerin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında zirkonunu ile yapılan ön kaplamadan sonra 3 farklı kat sayısı (5,6,7) ve 3 farklı kurutma süresi arttırımı (30,45,60) (dakikalar belirlenen sürelerde artarak eklenmiştir) kullanılarak tam faktöriyel bir deney tasarımı yapılmıştır. Her deney grubu için 3 tekraryapılmıştır. Belirlenen deney parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4. 1 Deney parametreleri

Deney Grup Sırası	Katman Sayısı	Süre Arttırımı (dk.)
1	5	30
2	6	30
3	7	30
4	5	45
5	6	45
6	7	45
7	5	60
8	6	60
9	7	60

Tüm tasarım grupları için hem otoklav hem ısıtma işlem sonrası yüzey pürüzlülüğü ve üç noktalı eğme deneyi ölçümleri yapılmış,otoklav sonrası ölçüm için deney grubuna ‘a’ ısıtma işlem sonrası ölçüm için deney grubuna ‘b’ kodu verilmiştir.

Kurutma süresi için sabit değer 2 saat olarak kabul edilmiştir. Süre arttırımı bu değer üzerine eklenerek ilerlenmiştir. Örneğin katman sayısı 5, süre arttırımı 30 dakika olan bir deney grubu için;

Zirkon kaplamadan sonra,

1. Deney grubu 1/2/3 (a-b) numaralı deneyler,
Birinci katın kuruması için 2 saat 30 dakika,
İkinci kat katın kuruması için 3 saat,
Üçüncü katın kuruması için 3 saat 30 dakika,
Dördüncü katın kuruması için 4 saat,
Beşinci katın kuruması için 4 saat 30 dakika,
Toplam deney süresi; 17 saat 30 dakika bekleme şeklinde çalışılmıştır.

Sırasıyla diğer deney grupları için;

2. Deney grubu 4/5/6 (a-b) numaralı deneyler,
Birinci katın kuruması için 2 saat 30 dakika,
İkinci kat katın kuruması için 3 saat,
Üçüncü katın kuruması için 3 saat 30 dakika,
Dördüncü katın kuruması için 4 saat,
Beşinci katın kuruması için 4 saat 30 dakika,
Altıncı katın kuruması için 5 saat,
Toplam deney süresi; 22 saat 30 dakika bekleme şeklinde çalışılmıştır.

3. Deney grubu 7/8/9 (a-b) numaralı deneyler
Birinci katın kuruması için 2 saat 30 dakika,
İkinci kat katın kuruması için 3 saat,
Üçüncü katın kuruması için 3 saat 30 dakika,
Dördüncü katın kuruması için 4 saat,
Beşinci katın kuruması için 4 saat 30 dakika,
Altıncı katın kuruması için 5 saat,
Yedinci katın kuruması için 5 saat 30 dakika,
Toplam deney süresi; 28 saat bekleme şeklinde çalışılmıştır.

4. Deney grubu 10/11/12 (a-b) numaralı deneyler
Birinci katın kuruması için 2 saat 45 dakika,
İkinci katın kuruması için 3 saat 30 dakika,

Üçüncü katın kuruması için 4 saat 15 dakika,,
 Dördüncü katın kuruması için 5 saat,
 Beşinci katın kuruması için 5 saat 45 dakika,
 Toplam deney süresi 21 saat 15 dakika bekleme şeklinde çalışılmıştır.

5. Deney grubu 13/14/15 (a-b) numaralı deneyler

Birinci katın kuruması için 2 saat 45 dakika,
 İkinci katın kuruması için 3 saat 30 dakika,
 Üçüncü katın kuruması için 4 saat 15 dakika,
 Dördüncü katın kuruması için 5 saat,
 Beşinci katın kuruması için 5 saat 45 dakika,
 Altıncı katın kuruması için 6 saat 30 dakika,
 Toplam deney süresi 27 saat 45 dakika bekleme şeklinde çalışılmıştır.

6. Deney grubu 16/17/18(a-b) numaralı deneyler

Birinci katın kuruması için 2 saat 45 dakika,
 İkinci katın kuruması için 3 saat 30 dakika,
 Üçüncü katın kuruması için 4 saat 15 dakika,
 Dördüncü katın kuruması için 5 saat,
 Beşinci katın kuruması için 5 saat 45 dakika,
 Altıncı katın kuruması için 6 saat 30 dakika,
 Yedinci katın kuruması için 7 saat 15 dakika,
 Toplam deney süresi 35 saat bekleme şeklinde çalışılmıştır.

7. Deney grubu 19/20/21 (a-b) numaralı deneyler

Birinci katın kuruması için 3 saat,
 İkinci katın kuruması için 4 saat,
 Üçüncü katın kuruması için 5 saat,
 Dördüncü katın kuruması için 6 saat
 Beşinci katın kuruması için 7 saat,
 Toplam deney süresi 25 saat bekleme şeklinde çalışılmıştır.

8. Deney grubu 22/23/24 (a-b) numaralı deneyler

Birinci katın kuruması için 3 saat,

İkinci katın kuruması için 4 saat,
 Üçüncü katın kuruması için 5 saat,
 Dördüncü katın kuruması için 6 saat,
 Beşinci katın kuruması için 7 saat,
 Altıncı katın kuruması için 8 saat,
 Toplam deney süresi 33 saat bekleme şeklinde çalışılmıştır.

9. Deney grubu 25/26/27 (a-b) numaralı deneyler

Birinci katın kuruması için 3 saat,
 İkinci katın kuruması için 4 saat,
 Üçüncü katın kuruması için 5 saat,
 Dördüncü katın kuruması için 6 saat,
 Beşinci katın kuruması için 7 saat,
 Altıncı katın kuruması için 8 saat,
 Yedinci katın kuruması için 9 saat,
 Toplam deney süresi 42 saat bekleme şeklinde çalışılmıştır.

Çıkış parametresi olarak eğilme mukavemeti ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Eğilme mukavemeti değeri için üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü profilometre ile ölçülmüştür. Eğilme dayanımı için hem otoklav sonrası ham seramik kabuk hem de kabuk fırınlanma işlemi sonrası pişmiş seramik kabuk için test yapılmıştır. Bu sayede ısı işlem etkisi de incelenmiştir. Optimum parametreler belirlendikten sonra kimyasal kompozisyona dezenfektan eklenerek eğme deneyi sonuçlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Kimyasal kompozisyona eklenecek takviye seçimi için temin edilebilirlik, ekonomiklik ve mevcut koşullarda gereklilik dikkate alınmıştır. Deneyde kullanılacak numune boyutları için deneylerin yapılacağı merkeze uygun ölçülerde (40*200 mm) numune üretimi yapılmıştır. Numunenin yüksekliği kat sayısına göre değişim göstermiştir. Deneysel sonuçlar ANOVA analizi ile istatistiksel ve görsel olarak incelenmiştir. Eğilme zorlanmasında maksimizasyon, yüzey pürüzlülüğünde minimizasyon dikkate alınarak optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Deney numunesinin üretimi için standart ürünlerde kullanılan yolluk seçilmiştir. Mum yolluğa ait görsel Şekil 4.1’de verilmiştir. Zirkon kaplama işlemine tabi tutulan mum yollukların görseli Şekil 4.2’de verilmiştir.

Zirkon ile iki kat ön kaplama yapıldıktan sonra mullit kumu kaplamasına

geçilmiştir. Kaplama sonrası ilk kat kaplaması yapılmış numune görseli Şekil 4.3'te verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 2. Kat kaplaması yapılan numune Şekil 4.4'te verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 3. Kat kaplaması yapılan numune Şekil 4.5'te verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 4. Kat kaplaması yapılan numune Şekil 4.6'da verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 5. Kat kaplaması yapılan numune Şekil 4.7'de verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 6. Kat kaplaması yapılan numune görüntüsü Şekil 4.8'de verilmiştir. Belirlenen sürede kurutulduktan sonra 7. Kat kaplaması yapılan numune görüntüsü Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4. 1. Mumdan imal edilmiş yolluk görüntüsü



Şekil 4. 2. Ön kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 3. İlk kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 4. İkinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 5. Üçüncü kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 6. Dördüncü kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 7. Beşinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 8. Altıncı kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü



Şekil 4. 9. Yedinci kat kaplaması yapılmış numune görüntüsü

Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra numuneler otoklava alınmış ve mumdan arındırılmıştır. Otoklavdan çıkmış numune görseli Şekil 4.10'da verilmiştir. Otoklav fırınından çıktıktan sonra sinterlenecek olan numuneler fırına alınmıştır. Sinterleme işlemi tamamlanmış numuneler Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4. 10. Otoklav yapılarak mumu giderilmiş numuneler



Şekil 4. 11. Isıl işlemi tamamlanmış numuneler

Üretim işlemi biten numuneler kesilmek için hazır hale gelmiştir. Kesim işlemi Şekil 4.12’de gösterilen spiral taş ile yapılmıştır.



Şekil 4. 12. Kesme işlemi için kullanılan spiral taş

Eğme deneyi yapılacak olan cihaza uygun boyutlarda kesilen numuneler Şekil 4.13’te verilmiştir. Numuneler deney sırasına göre numaralandırılmıştır. Numaralandırılmış numuneler Şekil 4.14’te verilmiştir. Kesim sonrası numuneler deney için hazır hale gelmiştir.



Şekil 4. 13. Uygun ölçülerde kesilmiş numuneler



Şekil 4. 14. Numaralandırılmış numuneler

İlk grup ölçümü yapıldıktan ve deneyler açısından herhangi bir sorun olmadığı tespit edildikten sonra diğer numunelerin üretimine geçilmiştir. Üç nokta eğme deneyi öncesi numunelere ilişkin görüntü Şekil 4.15’te verilmiştir.



Şekil 4. 15. Deney numuneleri

Sonuçlar incelendikten sonra maksimum ve minimum MOR değeri veren parametreler belirlenmiş ve çamur içerisine hacimsel olarak %0,05 oranında dezenfektan ilave edilerek 1 ve 9 numaralı deneysel reçeteye göre üretim yapılmıştır. Bu veriler ile yapılan üretimde 12 adet numune imal edilmiştir.

5 kat sayılı, 30 dk artırımlı kurutma süreli ve dezenfektan ilaveli deney grubuna ait olan numuneler Şekil 4.16'da verilmiştir. 7 kat sayılı, 60 dk artırımlı kurutma süresi olan deney grubuna ait numuneler Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4. 16. Beş kat sayılı, 30 dk artırımlı kurutma süreli ve dezenfektan ilaveli deney grubuna ait olan numuneler



Şekil 4. 17. Yedi kat sayılı, 60 dk artırımlı kurutma süresi olan deney grubuna ait numuneler

Seramik kabuğun mukavemetini ölçmek için kırılma modülü (MOR) değeri tespit edilmelidir. Bu çalışmada MOR değeri hem otoklavdan çıkmış numunelerde hem de sinterlenmiş numunede ölçülmüştür. Denklem (1.1) ile kırılma modülü hesaplaması yapılmaktadır.

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (1.1)$$

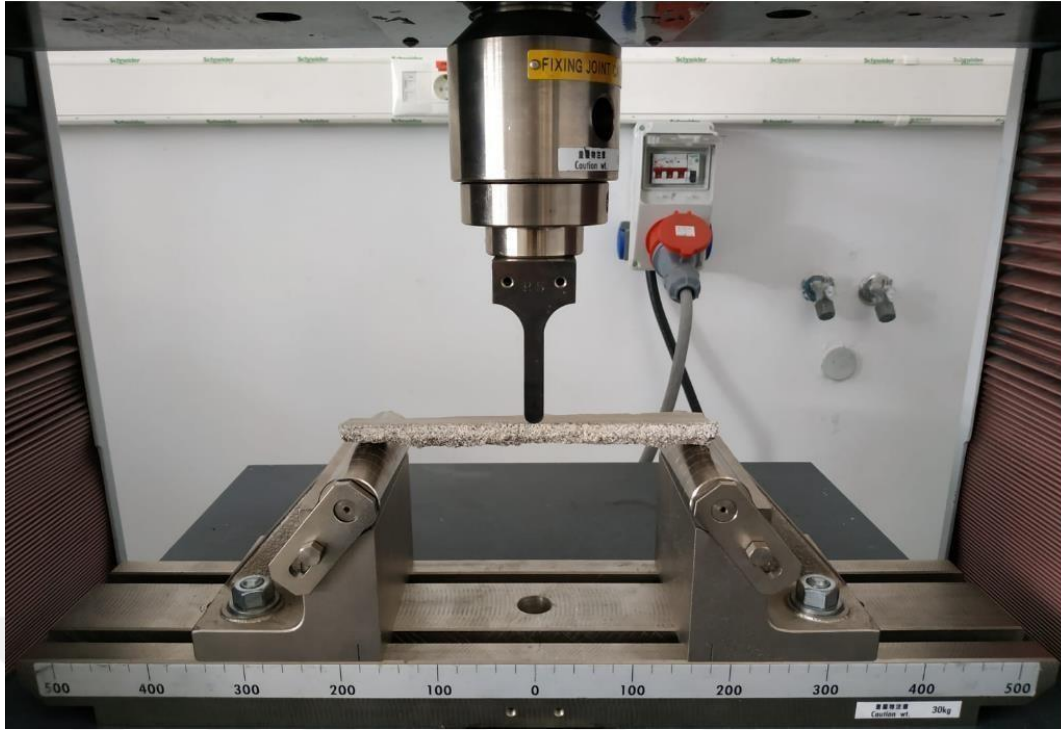
- σ : Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme (N/mm²)
 F: Yük sehim eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N)
 L: İki destek arası mesafe (mm)
 b: Kiriş genişliği (mm)
 d: Kirişin yüksekliği (mm)

MOR tespitinde 3 noktalı eğme deneyi yapılan ölçüm cihazından elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Numune üretimi tamamlandıktan sonra eğilme mukavemeti ölçümü için kullanılan 3 noktalı eğme deneyi cihazı Şekil 4.18’de verilmiştir. Ölçümler numunelerin orta noktası işaretlenerek tam orta noktadan yapılmıştır.

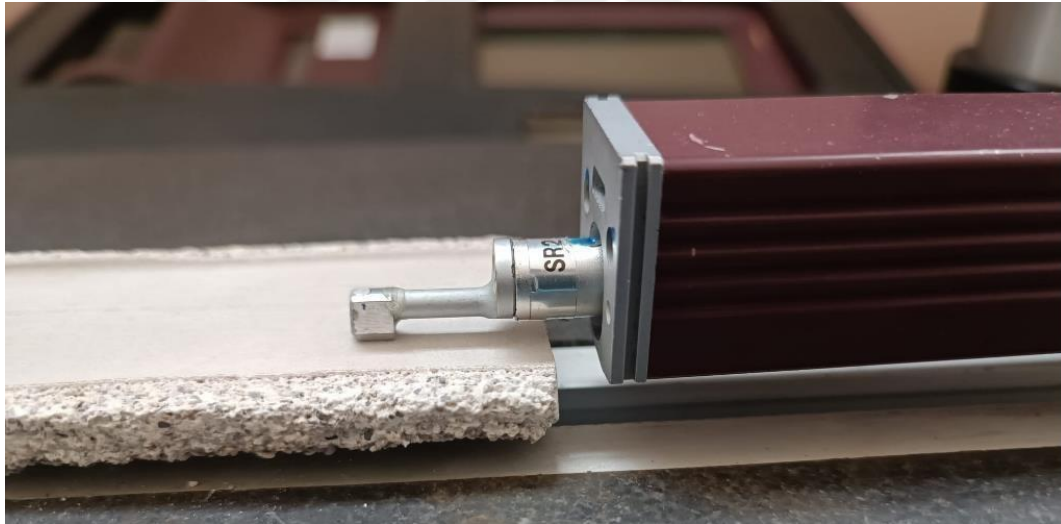


Şekil 4. 18. Üç nokta eğme deneyi yapılan cihaz

Deneyler 1 mm/dk hız ile gerçekleştirilmiştir. Deney cihazı ucunun görseli Şekil 4.19’da verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için kullanılan ölçüm cihazının görseli Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4. 19. Üç noktalı eğme deneyi yapılan cihazın ucunun görseli



Şekil 4. 20. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

4.2. Deney Numuneleri Ölçü ve Ağırlıkları

Numunelerin ölçü ve ağırlıkları Tablo 4.2’de verilmiştir. Üretilen kabuklarda boyutsal hassasiyet düşük olduğu için her bir boyut üç kez ölçülmüş ve ortalama değerler tabloya aktarılmıştır.

Tablo 4. 2. Deney numuneleri ölçü ve ağırlıkları

OTOKLAV İŞLEMİ SONRASI NUMUNE					
	Numune numarası	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Ağırlık (Gr)
1.grup	1a	41,8	10,6	200	116,8
	2a	42,2	10,5	200	120,4
	3a	42	10,2	200	125,5
2.grup	4a	41,9	11	200	147,5
	5a	42,1	11,1	200	157,5
	6a	42,1	11,6	200	159,0
3.grup	7a	40,3	12,8	200	155,1
	8a	40,9	13,3	200	173,8
	9a	41,9	14,59	200	181,7
4.grup	10a	40,2	11,3	200	106,0
	11a	40,3	11,8	200	122,3
	12a	40,1	12,1	200	123,7
5.grup	13a	40,7	13,1	200	156,1
	14a	39,6	13,8	200	167,6
	15a	40,1	12,1	200	151,0
6.grup	16a	39,6	11,6	200	145,1
	17a	40,8	12,6	200	166,5
	18a	40,7	12,9	200	178,5
7.grup	19a	40,4	11,5	200	130,1
	20a	40	11,7	200	132,2
	21a	39,2	10,4	200	117,0
8.grup	22a	38,6	12,1	200	140,9
	23a	39,8	11,2	200	134,2
	24a	40,1	12,4	200	144,3
9.grup	25a	40,4	12,8	200	161,9
	26a	40,3	12,3	200	161,6
	27a	40,3	12,3	200	160,2

SİTERLEME SONRASI NUMUNE					
	Numune numarası	b (mm)	d (mm)	L (mm)	Ağırlık (Gr)
1.grup	1b	41,2	10,7	200	112,1
	2b	40,8	10,6	200	122,3
	3b	40,6	10,6	200	120,5
2.grup	4b	42,1	11	200	148,3
	5b	42,2	11,2	200	163,2
	6b	42,2	11,2	200	158,3
3.grup	7b	40,2	12,8	200	154,0,
	8b	40,8	13,2	200	158,5
	9b	40,1	13,3	200	168,1
4.grup	10b	39,9	13,3	200	149,5
	11b	40,2	11,6	200	159,1
	12b	39,8	11,2	200	140,1
5.grup	13b	40,4	13,2	200	160,0
	14b	40,4	14,2	200	183,6
	15b	39,2	13,6	200	167,7
6.grup	16b	40,2	13,6	200	162,5
	17b	40,1	12,5	200	160,1
	18b	40,2	14,5	200	184,4
7.grup	19b	40,1	12,2	200	135,6
	20b	40,1	10,6	200	123,9
	21b	39,3	11,6	200	129,5
8.grup	22b	40,1	11,7	200	152,9
	23b	40,3	13,3	200	165,3
	24b	40,3	11,8	200	137,5
9.grup	25b	40,7	13,5	200	170,7
	26b	40,4	14,2	200	187,2
	27b	39,8	13,9	200	183,0

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

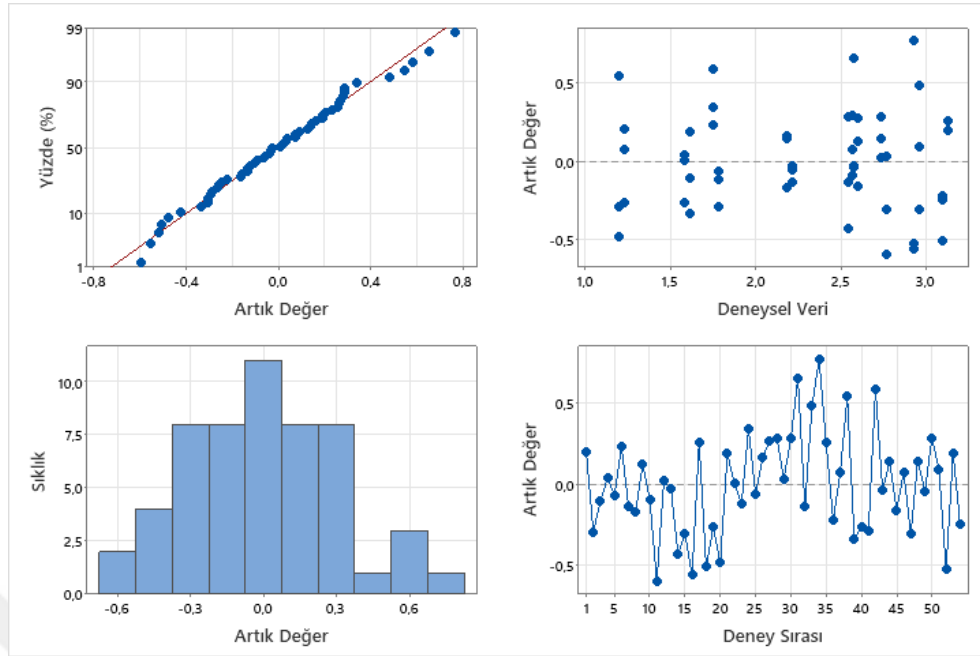
5.1. Kat Sayısı, Kurutma Süresi ve Isıl İşlem Parametrelerinin MOR Değerlerine Etkisi

54 adet numune için ölçülen MOR değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. MOR değerleri kabuğun çamur esaslı olmasına bağlı olarak düşük değerlerde çıkmıştır. MOR değerlerinin ortalaması 2,30 MPa, standart sapması ise 0,69 MPa olup, maksimum MOR değeri 3,69 MPa, minimum MOR değeri ise 0,72 MPa olarak ölçülmüştür. Sonuçların normal dağılıma uygunluğu Şekil 5.1 ile verilmiştir. Histogram grafiğinin normal dağılım eğrisi ile uyumluluk gösterdiği, deneysel verilerin de regresyon doğrusu etrafında toplandığı Şekil 5.1’de görülmektedir. Elde edilen grafikler, MOR açısından deneysel tasarımın ve sonuçların anlamlılık taşıdığını göstermektedir.

Tablo 5. 1. MOR değerleri

Kat Sayısı	Kurutma Süresi (dk)	Isıl İşlem	MOR Değeri (MPa)
5	30	Yok	1,43264
5	30	Var	0,90599
5	45	Yok	1,51045
5	45	Var	1,61973
5	60	Yok	1,71774
5	60	Var	1,98346
6	30	Yok	2,07957
6	30	Var	2,01644
6	45	Yok	2,72502
6	45	Var	2,47400
6	60	Yok	2,17474
6	60	Var	2,75612
7	30	Yok	2,54941
7	30	Var	2,11584
7	45	Yok	2,65435
7	45	Var	2,36933
7	60	Yok	3,38801
7	60	Var	2,58781
5	30	Yok	0,96741

5	30	Var	0,72007
5	45	Yok	1,80443
5	45	Var	1,58873
5	60	Yok	1,66309
5	60	Var	2,08994
6	30	Yok	2,15966
6	30	Var	2,34529
6	45	Yok	2,87000
6	45	Var	2,85375
6	60	Yok	2,80255
6	60	Var	3,01712
7	30	Yok	3,22889
7	30	Var	2,40748
7	45	Yok	3,44397
7	45	Var	3,69419
7	60	Yok	3,38861
7	60	Var	2,87262
5	30	Yok	1,30259
5	30	Var	1,74159
5	45	Yok	1,28087
5	45	Var	1,32079
5	60	Yok	1,49725
5	60	Var	2,33304
6	30	Yok	2,18228
6	30	Var	2,32374
6	45	Yok	2,44162
6	45	Var	2,64080
6	60	Yok	2,46249
6	60	Var	2,88000
7	30	Yok	2,53657
7	30	Var	2,82867
7	45	Yok	3,05000
7	45	Var	2,40465
7	60	Yok	3,32241
7	60	Var	2,84846

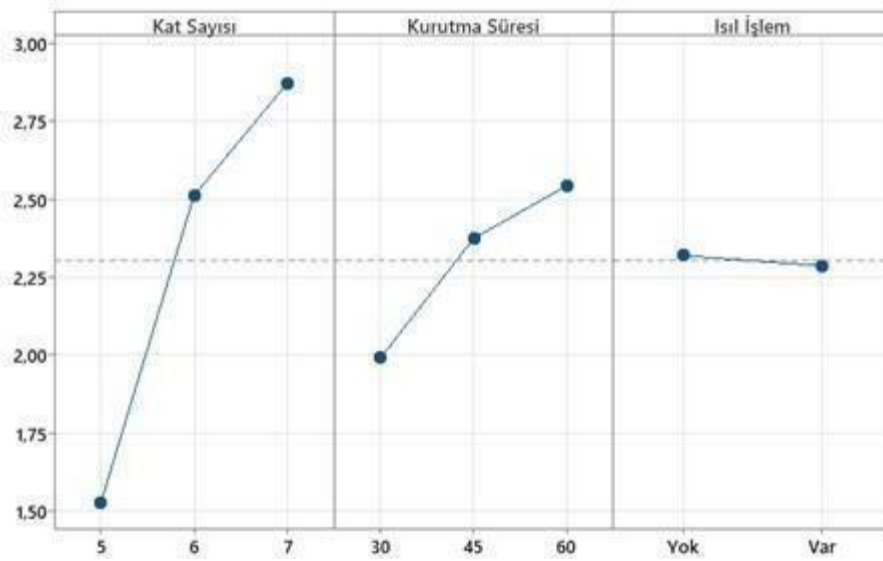


Şekil 5. 1. Eğilme deneyi sonuçlarının normal dağılıma uygunluğu

Deney sonuçlarının istatistiksel anlamlılığı ANOVA tablolarına göre analiz edilmiştir. Bu tablolarda P değeri faktörün istatistiksel anlamlılığını göstermektedir. Tablo 5.2’de serbestlik derecesi DF, kareler toplamı SS, kareler ortalaması MS, yüzdelik etki değeri ise % etki değeri ile ifade edilmektedir. 3 Noktalı Eğilme deneyi sonucunda ulaşılan veriler ANOVA ile değerlendirildiğinde Tablo 5.2’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5. 2. MOR değeri analiz sonucu						
	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı SS	Kareler Ortalaması MS	F-Value	P-Value	% Etki Değeri
Kat Sayısı	2	17,4528	8,72642	80,91	0	68,3662
Kurutma Süresi	2	2,8835	1,44175	13,37	0	11,2952
Isıl İşlem	1	0,0149	0,0149	0,14	0,712	0,05836
Error	48	5,1771	0,10786			20,2797
Total	53	25,5284				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0,328415	79,72%	77,61%	74,33%			

Deneylerde elde edilen anlamlılık katsayısı %77,61 oranındaki R-Sq (adj) değeri ile açıklanmıştır. %77,61 değeri deneysel çalışmanın yeterliliğini göstermektedir. MOR değeri için yapılan ANOVA sonucunda çıkan verilere göre MOR değeri üzerinde %68,36 oranı ile en yüksek etkiye sahip değişken kat sayısıdır. Kat sayısı arttıkça MOR değeri dolayısıyla mukavemet artmaktadır (Şekil 5.2). Kat sayısı arttıkça artan tabaka sayısı yani kalınlaşma, kabuğun daha fazla yük taşıyabilmesini sağlamıştır. Artan kat sayısına bağlı olarak elde edilen olumlu sonuç, tabakalar arasında minimum hata oluşumu ile katların atıldığını ve kullanılan malzemeler arasında fiziksel veya kimyasal açıdan kararsızlık oluşturabilecek bir reaksiyonun oluşmadığını göstermiştir. Katlar arasında üretim prosesinden kaynaklı oluşan gözenekler, kat sayısı artışına bağlı olarak ihmal edilebilir kusur seviyesine inmiştir. Her kat atımında kusurlar bir üst kat tarafından kapatıldığı için maksimum kat sayısında maksimum eğilme dayanımı elde edilmiştir. Fakat fazla kat atımı üretimin maliyetini olumsuz etkileyeceği için 7 kat ve üzeri uygulamalar endüstriyel olarak tercih edilmemektedir. Kurutma süresinin etkisi ise %11,29 ile daha düşük bir oranda etkiye sahiptir. Fakat kurutma süresi için elde edilen p değeri 0,05 değerinden küçük olduğu için, kurutma süresi MOR değeri üzerinde istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur. Kat atılırken katlar arasında nem bulunması dengesiz kurumaya neden olmaktadır. Bu sebeple kurutma süresi arttıkça homojen halde kuruma sağlanmış olur. Kuruma tamamlanmadan yeni kat atılması durumunda kurumaya devam eden katta önlenemez çatlamlar meydana gelebilir ve bu durum mukavemetin azalmasına neden olur. Kuruma tamamlandıktan sonra atılan katta ise çatlama meydana gelse dahi üzerine atılan kat ile bu çatlaklar doldurulabilmektedir. Isıl işlem parametresi için $P > 0,05$ olması ısıl işlemin MOR değerine etkisinin olmadığını göstermektedir. Mum giderme aşamasındaki sıcaklık ile mukavemet kazanan kabukta ikinci bir ısıl işlem ile ekstra mukavemet artışı sağlanamamıştır. Viskozite değeri, kurutma ortamındaki sıcaklık ve nem değeri, otoklav sıcaklığı gibi deney tasarımına dahil edilmeyen faktörlerin etkisi %20,27'lik hata oranı ile açıklanmıştır. Kat sayısı, kurutma süresi ve ısıl işlemin numunelerde MOR değeri üzerinde etkisi görsel olarak Şekil 5.2'de verilmiştir



Şekil 5. 2. Kat sayısı, kurutma süresi ve ısıtılmanın MOR değerine etki grafiği

5.2. Kat Sayısı, Kurutma Süresi ve Isıl İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

54 adet numune için yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ortalaması $4,73 \mu\text{m}$, standart sapması ise $1,67 \mu\text{m}$ olup, maksimum yüzey pürüzlülüğü $9,83 \mu\text{m}$, minimum yüzey pürüzlülüğü ise $2,34 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Standart sapma değerinin yüksek olması numune yolluk için kullanılan mum kalitesinin standart olmaması ile ilgilidir. Yüzey pürüzlülüğü değeri numunelerde iki noktadan ölçülmüş, iki değer standart sapmasının yüksek olması durumunda üçüncü bir noktadan ölçüm yapılmıştır.

Tablo 5. 3.Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Sıralama	Numune Numarası	Ra-1 (μm)	Ra-2 (μm)	Ra-3 (μm)	Ortalama (μm)
1	1a	2,44	2,24		2,34
2	1b	2,21	2,86		2,54
3	2a	8,90	8,54		8,72
4	2b	9,93	9,73		9,83
5	3a	3,37	3,02		3,20
6	3b	5,48	3,63	4,52	4,54
7	4a	6,39	7,16		6,78
8	4b	3,21	3,11		3,16
9	5a	5,08	4,38		4,73
10	5b	5,32	5,88		5,60
11	6a	4,67	4,29		4,48
12	6b	4,82	3,93		4,38
13	7a	4,72	4,41		4,57
14	7b	4,79	4,57		4,68
15	8a	3,27	3,01		3,14
16	8b	5,4	5,44		5,42
17	9a	9,53	8,47		9,00
18	9b	4,45	4,21		4,33
19	10a	7,38	6,18		6,78
20	10b	3,74	4,52		4,13
21	11a	9,25	9,31		9,28
22	11b	2,32	3,08		2,70
23	12a	5,17	5,52		5,35
24	12b	3,37	3,86		3,62
25	13a	6,01	8,52		7,27
26	13b	4,7	5,19		4,95
27	14a	4,65	4,92		4,79
28	14b	4,12	4,07		4,10
29	15a	4,81	4,49		4,65
30	15b	3,51	3,29		3,40
31	16a	2,47	3,28		2,88
32	16b	5,22	4,27	3,49	4,33
33	17a	4,01	4,95		4,48
34	17b	4,14	3,94		4,04
35	18a	3,41	3,44		3,43
36	18b	2,37	2,91		2,64
37	19a	3,85	3,51		3,68
38	19b	4,74	4,35		4,55
39	20a	3,09	2,96		3,03
40	20b	4,98	5,47		5,23
41	21a	5,44	5,5		5,47
42	21b	4,33	4,03		4,18
43	22a	4,85	4,61		4,73
44	22b	4,08	3,87		3,98
45	23a	4,79	4,26		4,53

46	23b	4,76	5,15		4,96
47	24a	5,61	5,09		5,35
48	24b	3,72	3,68		3,70
49	25a	3,96	4,42		4,19
50	25b	2,71	3,49		3,10
51	26a	4,38	5,02		4,70
52	26b	3,86	3,9		3,88
53	27a	5,61	6,07		5,84
54	27b	5,98	6,73		6,36



Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları ANOVA analizi ile değerlendirildiğinde elde edilen veriler Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5. 4. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi sonucu						
	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı SS	Kareler Ortalaması MS	F- Value	P- Value	% Etki Değeri
Kat Sayısı	2	0,05	0,0252	0,01	0,988	0,0475
Kurutma Süresi	2	1,007	0,50334	0,25	0,78	0,9582
Isıl İşlem	1	7,378	7,37781	3,66	0,062	7,0210
Error	48	96,649	2,01352			91,9730
Total	53	105,084				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
1,41899	8,03%	0,00%	0,00%			

Tüm parametreler için $P > 0,05$ olması kurutma süresi kat sayısı ve ısıtma işlemin yüzey pürüzlülüğünü etkilemediğini göstermektedir. R-sq değerinin 0,00 olması istatistiksel anlamsızlığı desteklemektedir. Parametrelerin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olmamasının sebebi, parça ile temas eden kaplama yüzeyinde farklı parametre kullanılmamasıdır. Bütün deneylerde en alt tabakada ön kaplama Zirkon ile yapılmış ve 2 saat beklenmiştir. Zirkon kaplama üzerinde farklı kat kalınlığı ve bekleme sürelerinde yapılan kaplama işlemleri eriyik-kabuk temas yüzeyinde anlamlı bir değişim oluşturmamıştır.

5.3. Hassas Döküm Seramik Çamuruna Dezenfektan Eklemenin MOR Değerlerine Etkisi

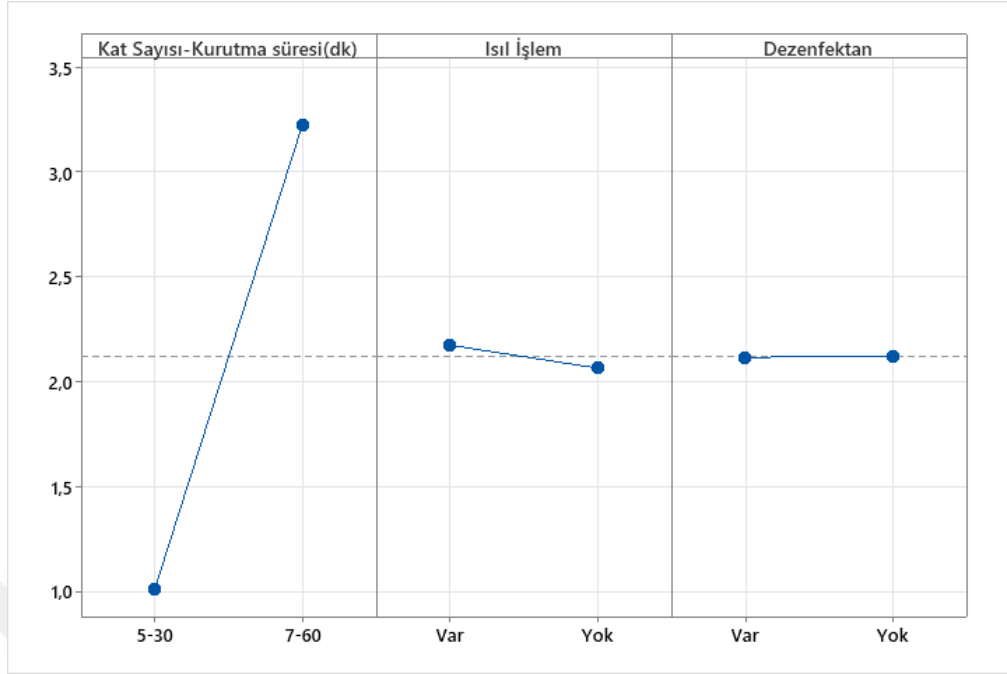
Dezenfektan takviyeli olarak üretilen 12 adet numune için yapılan ölçümlerde; Çamur içerisinde bulunan bakteri miktarı ölçümü önce dezenfektansız şekilde yapılmış ve bakteri miktarı $9,1 \cdot 10^6$ kob/ml olarak tespit edilmiştir. Detaylı sonuç EK-2’de verilmiştir. Daha sonra dezenfektan katkılı çamurdaki bakteri miktarı ölçülmüş ve $2,2 \cdot 10^6$ kob/ml olarak tespit edilmiştir. Detaylı sonuç EK-3’te verilmiştir. Bu sonuçlara göre bakteri miktarında % 75,82’lik bir azalma sağlanmıştır. Eğme deneyi yapılarak elde edilen MOR değerleri Tablo 5.5’te verilmiştir. Dezenfektan katkılı numunelerin MOR değerlerinin ANOVA analizi değerlendirmesi Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5. 5.Dezenfektan katkılı numune MOR değerleri

Kat Sayısı	Kurutma Süresi	Isıl İşlem	MOR Değeri (MPa)
5	30	Yok	1,05156
5	30	Var	0,89986
7	60	Yok	3,24798
7	60	Var	3,58436
5	30	Yok	0,79338
5	30	Var	0,71895
7	60	Yok	3,13867
7	60	Var	4,71319
5	30	Yok	0,59080
5	30	Var	1,02895
7	60	Yok	2,15578
7	60	Var	3,47318

Tablo 5. 6.Dezenfektan katkılı numune MOR değerleri analizi						
	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı SS	Kareler Ortalaması MS	F-Value	P-Value	% Etki Değeri
Kat Sayısı- Kurutma süresi(dk)	1	29,4092	29,4092	108,19	0	84,223
Isıl İşlem	1	0,0721	0,0721	0,27	0,612	0,206
Dezenfektan	1	0,0003	0,0003	0	0,975	0,001
Error	20	5,4367	0,2718			
Total	23	34,9182				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0,521378	84,43%	82,09%	77,58%			

Kat sayısı ve kurutma süresi birlikte tek parametre olarak alınmıştır. Bu tabloya göre kat sayısı- kurutma süresi parametresinin P değerinin 0,05'den küçük olması daha önceki deneyde de ispatlandığı gibi kat sayısı ve kurutma süresinin MOR değeri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Isıl İşlem ve dezenfektan eklentisi parametreleri için $p > 0,05$ olması parametrelerin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Şekil 5.5'te kurutma süresi- kat sayısı ve dezenfektanın sonuç üzerine etkisi görsel olarak verilmiştir.



Şekil 5. 3. Seramik çamuruna dezenfektan ilave etmenin MOR değerine etki grafiği

Burada dezenfektan eklentisinin sonucu etkilememesi; $9,1 \cdot 10^6$ kob/ml'lik bakteri sayısının hassas döküm çamurunun homojenliğini bozacak seviyede olmaması ile açıklanabilir.

5.3. Hassas Döküm Seramik Çamuruna Dezenfektan Eklemenin Yüzey Pürüzlülüğü Değerlerine Etkisi

Dezenfektan katkılı 12 adet numune için yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5. 7. Dezenfektan katkılı numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Numune numarası	Ra-1 (μm)	Ra-2 (μm)	Ortalama (μm)
28a	3,68	4,45	4,07
28b	5,52	5,05	5,29
29a	5,49	6,94	6,22
29b	4,39	4,65	4,52
30a	3,62	4,27	3,95
30b	6,97	7,0	6,99
31a	3,4	3,69	3,55
31b	6,56	6,21	6,39
32a	3,51	4,13	3,82
32b	3,64	2,85	3,25
33a	5,72	6,53	6,13
33b	3,1	3,05	3,08

Sonuçlar ANOVA analizi ile incelendiğinde dezenfektan eklemenin malzeme yüzey pürüzlülüğüne etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Dezenfektan katkılı numunelerin yüzey pürüzlülüğü için yapılan ANOVA analizinden elde edilen veriler Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5. 8. Dezenfektan katkısının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi						
	Serbestlik Derecesi DF	Kareler Toplamı SS	Kareler Ortalaması	F-Value	P-Value	% Etki Değeri
Kat Sayısı-Kurutma süresi	1	2,6136	2,6136	0,66	0,427	3,165
Isıl İşlem	1	0,3851	0,3851	0,1	0,759	0,466
Dezenfektan	1	0,1634	0,1634	0,04	0,841	0,198
Error	20	79,4226	3,9711			96,171
Total	23	82,5846				
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
1,99277	3,83%	0,00%	0,00%			

Kat sayısı ve kurutma süresi maksimum MOR ve minimum MOR sonucu olarak 2 grup halinde kullanılarak deney yapıldığı için analizde de katsayısı ve kurutma süresi birlikte tek bir parametre olarak alınmıştır. Kat Sayısı-Kurutma süresi, ısıtma işlemi, dezenfektan eklentisi parametreleri için $P > 0,05$ olması, parametrelerin sonuç üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. R-sq değerinin 0,00 olması anlamsızlığı desteklemektedir.

MOR değerinde olduğu gibi burada da bakteri sayısının homojenliği bozacak seviyede olmaması sonuç üzerinde etkili olmuştur. Aynı zamanda bir önceki deneyde de ölçüldüğü üzere ön kaplama yapılan çamurda değişim yapılmadığı sürece yüzeylerin pürüzlülük değerleri etkilenmemektedir.

6. SONUÇLAR

Hassas döküm teknolojisi çok aşamalı ve her aşamanın kendi içinde çok sayıda parametresi olan karmaşık bir prosese sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, önemli bir adım olan hassas döküm seramik kabuk oluşumu aşamasında farkı katman sayısı ve kurutma süresi parametreleriyle üretilen kabuk mekanik özelliklerin ölçülmesi, parametrelerin MOR değerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi sonrası optimum parametre seviyelerinin tespit edilmesidir. Optimum şartların belirlenmesi aşamasından sonra kabuk kimyasal kompozisyonuna dezenfektan (biyosit) takviyesi yapılarak iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip seramik kabuk elde edilmesi hedeflenmiştir. Numuneler üretilip deneyler gerçekleştirildikten sonra ulaşılan sonuçlar şu şekildedir;

- Seramik kabuk aşamasında parametrelerden biri olan kurutma süresi 30, 45, 60 dk için kurutma süresi arttıkça MOR değeri artmıştır. Ancak kurutma süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.
- Diğer parametre olan katman sayısı 5, 6, 7 kat için; katman sayısı arttıkça artan bir MOR değeri elde edilmiştir. Ancak yine kurutma süresinde olduğu gibi katman sayısının da yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.
- En yüksek ve en düşük MOR değerinin elde edildiği koşullar hacimce %0,05 oranında dezenfektan takviyesi ile tekrarlanmıştır. Dezenfektan ilavesi ve dolayısıyla bakteri azalımının malzemenin MOR değeri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Anlar, T. T. (2009). Hassas dökümde kullanılan mum kalıbında besleme yolluklarının yerinin optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Chakrabarti, B. K. (2002). Drying conditions and their effect on ceramic shell investment casting process. *Materials science and technology*, 18(8), 935-940.
- Chen, X., Liu, C., Zheng, W., Han, J., Zhang, L., & Liu, C. (2020). High strength silica-based ceramics material for investment casting applications: Effects of adding nanosized alumina coatings. *Ceramics International*, 46(1), 196-203.
- Güler, K. A. (2012). Hassas dökümde boyutsal hassasiyete ve yüzey kalitesine etki eden unsurlar. Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Kumar, S., & Karunakar, D. B. (2021). Characterization and properties of ceramic shells in investment casting process. *International Journal of Metalcasting*, 15, 98-107.
- Kurul, A. (1999). Hassas Döküm Prosesinin, Kalite Teknik Ve Araçları Kullanılarak Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Karafazlıoğlu, K. (2016). Hassas döküm sürecinde ürün kalitesinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Kavaklıoğlu, B. Titanyum hassas dökümünde kimyasal aşındırma prosesi sonrasında yüzey ve içyapı özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Li, Z., Liu, X., & Lv, K. (2020). Study on the strength of short carbon fiber-reinforced silicon sol shells for the investment casting process. *International Journal of Metalcasting*, 14, 432-441.
- Niu S., Investigation on Nano-fused Silica in Silica-based Ceramic Cores for Investment Casting, *Materials Science Forum*, 2015, 816, 266-270.
- Pattnaik, S. (2017). Influence of sawdust on the properties of the ceramic shell used in investment casting process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93, 691-707.
- Pattnaik, S., & Sutar, M. K. (2021). Enhancement of Ceramic Slurry Rheology in Investment Casting Process. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(12), 12065-12076.
- Sidhu, B. S., Kumar, P., & Mishra, B. K. (2008). Effect of slurry composition on plate weight in ceramic shell investment casting. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17, 489-498.
- Sinan, D. (2010). Hassas döküm için seramik kalıpların hazırlanmasında otomatik sistemlerin incelenmesi ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Subaşı, T. (2004). Kabuk hassas döküm yönteminde kabuk kalınlığına ve mukavemetine etki eden faktörler. Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Vyas, A. V., Pandya, M. P., & Sutaria, M. P. (2020). Effect of mixing proportion and mixing time on primary slurry retention and surface roughness of investment casting shells. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 872, No. 1, p. 012094). IOP Publishing

Yahaya, B., Izman, S., Idris, M. H., & Dambatta, M. S. (2016). Effects of activated charcoal on physical and mechanical properties of microwave dewaxed investment casting moulds. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 13, 97-103.

İNTERNET KAYNAKLARI

¹ Brown, B. 2023, Investment Casting Hygiene: Its a Bugs Life! Part 1[online], <https://www.remet.com/en/insights/investment-casting-hygiene-part-1/> Ziyaret Tarihi: [4 Aralık 2023].

² <https://www.kimteks.org/biyosit-nedir-nerelerde-kullanilir/> [Ziyaret Tarihi: 4 Aralık 2023].



EKLER**EK-1 VDG P690 STANDARDI**

Ölçü aralığı (mm)		Uzunluk Genişlik Yükseklik		
		D1 (+/-)	D2 (+/-)	D3 (+/-)
0	6	0,1	0,08	0,06
6	10	0,12	0,1	
10	14	0,15	0,12	0,09
14	18	0,2	0,14	
18	24	0,25	0,17	0,12
24	30	0,3	0,2	0,14
30	40	0,37	0,25	0,17
40	50	0,44	0,3	0,2
50	65	0,52	0,38	0,23
65	80	0,6	0,46	0,27
80	100	0,68	0,53	0,3
100	120	0,76	0,6	0,33
120	140	0,84	0,65	0,36
140	160	0,92	0,72	0,38
160	180	1,02	0,8	0,42
180	200	1,12	0,88	0,43
200	225	1,28	0,95	0,47
225	250	1,44	1,05	0,51
250	280	1,64	1,15	0,56
280	315	1,84	1,25	0,63
315	355	2,1	1,4	0,71
355	400	2,4	1,6	0,8
400	450	2,7	1,8	0,9
450	500	3	2	1

VDG P 690'a göre

D1: Genel (geni) toleranslar

D2: Sağlanması gereken (normal) toleranslar

D3: En dar toleranslar

Ölçü (mm)				
Aralık		D1 (+/-)	D2 (+/-)	
...	50	0,25	0,1	DÜZLEMSELLİK
50	130	0,5	0,3	
130	255	1	0,5	DOĞRUSALLIK
255	380	1,56	0,9	
...	50	0,25	0,13	DKLK PARALELLİK
50	130	0,75	0,25	
130	255	1,25	0,5	
255	380	2	0,9	
		1°	0,5°	AÇI
Boyut tolerans tablosu değerleri				PROFL
Boyut tolerans tablosu değerleri				DELK

D1: normal
toleranslar (mm)

D2: dar
toleranslar (mm)

EK-2 DEZENFEKTANSIZ SERAMİK ÇAMURUNDA BAKTERİ SAYISI



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
KONYA GIDA VE TARIM ÜNİVERSİTESİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ SARGEM ÖZEL GIDA KONTROL LABORATUVARI
(KONYA FOOD AND AGRICULTURE UNIVERSITY SARGEM LABORATORY)

MUAYENE ve ANALİZ RAPORU
(ANALYSIS REPORT)

Rapor Tarihi(Date of Report)	: 03.11.2023						
Rapor No (Report Number)	: 1206						
Müşterinin Adı ve Adresi (Sample sent by/Address)	: KHD HASSAS DÖKÜM VE SAVUNMA SAN LTD ŞTİ Adres: Büyükkayacık OSB Mh 101. Cad No: 13/1 Selçuklu/KONYA	Numunenin Cinsi (Sample Type)	: SERAMİK				
Analizin Amacı (Analysis Purpose)	: Özel İstek	Seri /Parti Numarası (Serial No/LOT no)	:				
Üretici Firma (Manufacturer)	:	Numune Kod No (Sample Code no)	:				
Numuneyi Gönderen (Sample Sender)	: KHD HASSAS DÖKÜM VE SAVUNMA SAN LTD ŞTİ	Üretim Tarihi / Son Kullanma Tarihi (Production Date/Expiration Date)	: 27.10.2023				
Numune Kabul Tarihi (Date of Receipt Test Item)	: 30.10.2023	Ambalajı (Package)	: NAYLON AMBALAJ				
İhracatçı/İthalatçı Adı (Exporter/Importer Name)	:	Analiz Başlama Tarihi Analysis Start Date	: 30.10.2023				
Miktarı (Amount)	: 1 LİTRE	Analiz Bitiş Tarihi Analysis Finish Date	: 03.11.2023				

Analizler (Analysis)	Sonuç (Results)	Birim (Unit)	Ölçüm Limiti (Limit of Measurement)	Geri Kazanım (Recovery)	Ölçüm Belirsizliği (Measurement Uncertainty)	Analiz Metodu (Method of Analysis)	Değerlendirme (Comment)
-------------------------	--------------------	-----------------	---	-------------------------------	--	---------------------------------------	----------------------------

Aerobik Koloni Sayımı 9,1x10⁶ kob/ml TS 4833-1 D.Y.

Açıklamalar (Descriptions)

Yapılan muayene ve analiz sonucunda yukarıda belirtilen değerler tespit edilmiştir.(Values mentioned above were detected in inspection and analysis result)

1. Bu analiz raporunun hiçbir bölümü tek başına veya ayrı ayrı kullanılamaz.(Any part of this report cannot be used separated from the whole report)
2. Analiz sonuçları numunenin teslim alındığı hali için geçerlidir.(The results of the analysis are valid for the delivery of the sample.)
3. Bu analiz raporu adli-idari işlemlerde ve reklam amacıyla kullanılamaz.(This report should not be used for judicial/governmental issues and advertorial matters.)
4. Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.(This report should not be reproduced without the written permission of the laboratory. / Unsigned and unsealed reports are invalid)
- 5.T.E:Tespit Edilemedi,U:Uygun,U.D:Uygun Değil,D.Y:Değerlendirme Yapılamadı.(T.E:Could not be detected, S:Suitable ,N.S :Not Suitable ,N.C :No Comment)
- 6.Gerektiğinde 'Ölçüm Belirsizliği ve Geri Kazanım Oranları' analiz sonucu ile birlikte verilir.(Measurement uncertainty and recovery rates are given with analysis result if it is necessary)
- 7.Uygunluk Beyanı, genişletilmiş belirsizlik için %95'ten yüksek kapsama olasılığına dayanmaktadır. (The Declaration of Conformity is based on the coverage probability greater than 95% for extended uncertainty).
- 8.Bu rapordaki analizler müşteri talebi ile Ar-Ge amaçlı olarak çalışılmıştır. 5996 sayılı kanun ve ilgili mevzuat kapsamında resmi işlemlerde kullanılamaz.(The analyzes in this report were conducted for R & D purposes with customer demand. It cannot be used in official works within the scope of Law No. 5996 and related legislation.)

EK-3 DEZENFEKTANLI SERAMİK ÇAMURUNDA BAKTERİ SAYISI



T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
KONYA GIDA VE TARIM ÜNİVERSİTESİ
İKTİSADİ İŞLETMESİ SARGEM ÖZEL GIDA KONTROL LABORATUVARI
(KONYA FOOD AND AGRICULTURE UNIVERSITY SARGEM LABORATORY)

MUAYENE ve ANALİZ RAPORU
(ANALYSIS REPORT)

Rapor Tarihi(Date of Report)	: 31.10.2023		
Rapor No (Report Number)	: 1205		
Müşterinin Adı ve Adresi (Sample sent by/Address)	: KHD HASSAS DÖKÜM VE SAVUNMA SAN LTD ŞTİ Adres: Büyükkayacık OSB Mh 101. Cad No: 13/1 Selçuklu/KONYA	Numunenin Cinsi (Sample Type)	: 2. SERAMİK
Analizin Amacı (Analysis Purpose)	: Özel İstek	Seri /Parti Numarası (Serial No/LOT no)	:
Üretici Firma (Manufacturer)	:	Numune Kod No (Sample Code no)	:
Numuneyi Gönderen (Sample Sender)	: KHD HASSAS DÖKÜM VE SAVUNMA SAN LTD ŞTİ	Üretim Tarihi / Son Kullanma Tarihi (Production Date/Expiration Date)	:
Numune Kabul Tarihi (Date of Receipt Test Item)	: 27.10.2023	Ambalajı (Package)	: NAYLON AMBALAJ
İhracatçı/İthalatçı Adı (Exporter/Importer Name)	:	Analiz Başlama Tarihi Analysis Start Date	: 27.10.2023
Miktarı (Amount)	: 1 LİTRE	Analiz Bitiş Tarihi Analysis Finish Date	: 30.10.2023

Analizler (Analysis)	Sonuç (Results)	Birim (Unit)	Ölçüm Limiti (Limit of Measurement)	Geri Kazanım (Recovery)	Ölçüm Belirsizliği (Measurement Uncertainty)	Analiz Metodu (Method of Analysis)	Değerlendirme (Comment)
-------------------------	--------------------	-----------------	--	----------------------------	---	---------------------------------------	----------------------------

Aerobik Koloni Sayımı 2,2X10⁶ kob/ml TS 4833-1 D.Y.

Açıklamalar (Descriptions)

Yapılan muayene ve analiz sonucunda yukarıda belirtilen değerler tespit edilmiştir.(Values mentioned above were detected in inspection and analysis result)

- Bu analiz raporunun hiçbir bölümü tek başına veya ayrı ayrı kullanılamaz.(Any part of this report cannot be used separated from the whole report)
- Analiz sonuçları numunenin teslim alındığı hali için geçerlidir.(The results of the analysis are valid for the delivery of the sample.)
- Bu analiz raporu adli-idari işlemlerde ve reklam amacıyla kullanılamaz.(This report should not to be used for judicial/governmental issues and advertorial matters.)
- Bu rapor, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.(This report should not be reproduced without the written permission of the laboratory. / Unsigned and unsealed reports are invalid)
- S.T.E: Tespit Edilemedi, U: Uygun, U.D: Uygun Değil, D.Y: Değerlendirme Yapılamadı. (T.E: Could not be detected, S: Suitable, N.S :Not Suitable, N.C :No Comment)
- Gerektiğinde 'Ölçüm Belirsizliği ve Geri Kazanım Oranları' analiz sonucu ile birlikte verilir.(Measurement uncertainty and recovery rates are given with analysis result if it is necessary)
- Uygunluk Beyanı, genişletilmiş belirsizlik için %95'ten yüksek kapsama olasılığına dayanmaktadır. (The Declaration of Conformity is based on the coverage probability greater than 95% for extended uncertainty).
- Bu rapordaki analizler müşteri talebi ile Ar-Ge amaçlı olarak çalışılmıştır. 5996 sayılı kanun ve ilgili mevzuat kapsamında resmi işlemlerde kullanılamaz.(The analyzes in this report were conducted for R & D purposes with customer demand. It cannot be used in official works within the scope of Law No. 5996 and related legislation.)