

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**CAM KALIPLARININ İDEAL SOĞUTULMASI İÇİN SONLU ELAMANLAR
YÖNTEMİ İLE CAM KALIP TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Umut ŞENGÜL

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

KASIM 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**CAM KALIPLARININ İDEAL SOĞUTULMASI İÇİN SONLU ELAMANLAR
YÖNTEMİ İLE CAM KALIP TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Umut ŞENGÜL
(503211310)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan Murat TABANLI

KASIM 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★GRADUATE SCHOOL

**GLASS MOLD ANALYSIS AND DESIGN USING FINITE ELEMENT
METHOD TO ACHIEVE OPTIMAL COOLING CONDITION**

M.Sc. THESIS

**Mehmet Umut ŞENGÜL
(503211310)**

Department of Mechanical Engineering

Materials and Manufacturing Programme

Thesis Advisor: Assist. Prof. Ramazan Murat TABANLI

NOVEMBER 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 503211310 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Umut ŞENGÜL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "CAM KALIPLARININ İDEAL SOĞUTULMASI İÇİN SONLU ELAMANLAR YÖNTEMİ İLE CAM KALIP TASARIMI VE ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Ramazan Murat TABANLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa BAKKAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Umut KARAGÜZEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Ekim 2024
Savunma Tarihi : 25 Kasım 2024





Kıymetli aileme,



ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışma boyunca bilgi birikimini ve deneyimini benimle paylaşan, çalışmanın her aşamasında yol gösteren çok değerli danışmanım Dr. Ramazan Murat TABANLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Konu ile alakalı araştırma ve incelemelerimde bana destek olan ve motive eden arkadaşlarım Lutfü Bahadır YILMAZ, Berk GÜMÜŞ ve Metin KARAASLAN'a ayrıca teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarla ilgili yardımlarından dolayı GÜROK GRUP bünyesindeki LAV ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde üzerimde büyük emekleri olan sevgili anneme, babama ve kız kardeşime şükranlarımı sunarım.

Kasım 2024

Mehmet Umut ŞENGÜL
İmalat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. CAM ŞEKİLLENDİRME	3
2.1 Cam Nedir?	3
2.1.1 Camın tarihçesi	3
2.1.2 Camın fiziksel ve kimyasal genel özellikleri	3
2.1.3 Camın kullanım alanları.....	5
2.1.4 Camın bileşenlerine göre tipleri	6
2.2 Cam Üretim Yöntemleri.....	7
2.2.1 Harman hazırlama	7
2.2.2 Ergitme.....	7
2.2.3 Şartlandırma ve şekillendirme	8
2.2.4 Tavlama.....	8
2.2.5 Kaplama ve dekorasyon	9
2.2.6 Kalite kontrol ve ambalajlama	9
2.3 Cam Ev Eşyası Şekillendirme Prosesi	9
2.3.1 Presleme metodu	10
2.3.2 Üfleme-üfleme methodu	11
2.3.3 Presleme- üfleme prosesi	11
2.4 Cam Kalıbı	12
3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ve ISI GEÇİŞİ YÖNTEMLERİ	15
3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY).....	15
3.1.1 Sınır koşulları ve yüklemelerin tanımlanması	15
3.1.2 Matematiksel formülasyon ve sistem denklemlerinin oluşturulması.....	15
3.2 Isı Geçişi Yöntemleri	16
3.2.1 İletim (Kondüksiyon).....	16
3.2.2 Taşınım (Konveksiyon).....	16
3.2.3 Işınım (Radyasyon).....	16
3.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Isı Geçişi	16
3.3.1 İletim problemleri	16
3.3.2 Taşınım problemleri.....	17
3.3.3 Işınım problemleri.....	17
4. MATERYAL VE YÖNTEM	19
4.1 Analiz Türü ve Mesh Elemanı	20

4.2 Sisteme Etki Eden Yükler	20
4.2.1 Kalıp yan alanı	21
4.2.2 Kalıp üst çap alanı	22
4.2.3 Kalıp alt çapı	23
4.3 Malzeme Analizleri	24
4.4 Deney Tasarımı	26
4.5 Değişkenlerin Seviyesinin Belirlenmesi	26
4.5.1 Delik sayısı	27
4.5.2 Delik çapı	30
4.5.3 Deliklerin kalıp merkezine uzaklığı	33
4.6 Değişken Seviyelerinin Hesaplanması	36
4.7 Analiz Sonuçları	37
4.8 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	37
4.9 Korelasyon İlişkilerinin Değerlendirilmesi	43
5. UYGULAMALAR	45
6. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	51

KISALTMALAR

AISI	: Amerikan demir ve çelik enstitüsü
ANOVA	: Varyans Analizi
CNC	: Sayısal Kontrollü Bilgisayar
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
Cr	: Krom
Zn	: Çinko
Fe	: Demir
C	: Karbon
Mn	: Manganez
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
SiO₂	: Silisyum Dioksit
NaO₂	: Sodyum Süper Oksit
PbO	: Kurşun Monoksit
B₂O₃	: Borik Oksit



SEMBOLLER

mm	: Milimetre
mm³	: Milimetreküp
m²	: Metrekare
min	: Minimum
max	: Maksimum
Pa	: Pascal
MPa	: Megapascal
GPa	: Gigapascal
°C	: Santigrat Derece
g	: Gram
Kg	: Kilogram



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1: Malzeme cinsi ve minimum kalıp sıcaklığı.....	26
Çizelge 4.2: Delik sayısı ve minimum kalıp sıcaklığı ilişkisi.....	29
Çizelge 4.3: Delik çapı ve minimum kalıp sıcaklığı ilişkisi.....	32
Çizelge 4.4: Deliklerin kalıp merkezine uzaklıkları ve min. kalıp sıcaklığı ilişkisi..	36
Çizelge 4.5: Analiz sonuçlarından elde edilen minimum kalıp sıcaklıkları	37
Çizelge 4.6: Malzeme türüne ait standart sapma ve ortalama değerleri	39
Çizelge 4.7: Delik çaplarına ait standart sapma ve ortalama değerleri.....	39
Çizelge 4.8: Delik ait standart sapma ve ortalama değerleri	39
Çizelge 5.1: Analiz ve uygulama arasındaki kalıp sıcaklıklarının farkları.....	47



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Camın preslenmesinde kullanılan başlıca parçaları	10
Şekil 2.1: Üfleme-üfleme üretim makinası temsili çizimi.....	11
Şekil 2.3: Presleme- üfleme prosesinin akış şeması	12
Şekil 4.1: Kalıp tasarımı	19
Şekil 4.2: Termal kamera ile yapılan parizon ölçümleri.....	21
Şekil 4.3: Kalıp yan alanı	21
Şekil 4.4: Kalıp üst çapı.....	22
Şekil 4.5: Kalıp alt çapı	23
Şekil 4.6: AISI 1045 kalıbının ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	24
Şekil 4.7: AISI 4841 kalıbının ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	25
Şekil 4.8: Incolay 825 kalıbının ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	25
Şekil 4.9: 3 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	27
Şekil 4.10: 3 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	27
Şekil 4.11: 6 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	28
Şekil 4.12: 6 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	28
Şekil 4.13: 9 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	28
Şekil 4.14: 9 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları	29
Şekil 4.15: Delik sayısı – minimum kalıp sıcaklığı	29
Şekil 4.16: 4 mm çapta delikli kalıbın önden ANSYS sıcaklık dağılımları	30
Şekil 4.17: 4 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları	30
Şekil 4.18: 6 mm çapta delikli kalıbın önden ANSYS sıcaklık dağılımları	31
Şekil 4.19: 6 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları	31
Şekil 4.20: 9 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları	31
Şekil 4.21: 9 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları	32
Şekil 4.22: Delik çapı-minimum kalıp sıcaklığı	32
Şekil 4.23: Kalıp merkezine uzaklık 75 mm, önden ANSYS sıcaklık dağılımları ...	33
Şekil 4.24: Kalıp merkezine uzaklık 75 mm, üstten ANSYS sıcaklık dağılımları....	33
Şekil 4.25: Kalıp merkezine uzaklık 82,5 mm, önden ANSYS sıcaklık dağılımları.	34
Şekil 4.26: Kalıp merkezine uzaklık 82,5 mm, üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.	34
Şekil 4.27: Kalıp merkezine uzaklık 90 mm, önden ANSYS sıcaklık dağılımları ...	35
Şekil 4.28: Kalıp merkezine uzaklık 90 mm, üstten ANSYS sıcaklık dağılımları....	35
Şekil 4.29: Kalıp merkezine uzaklık – minimum kalıp sıcaklığı.....	36
Şekil 4.30: SPSS programındaki data görünümü arayüzü.....	38
Şekil 4.31: SPSS programındaki değişken görünümü arayüzü	38
Şekil 4.32: Ortalama değerlere ait sütun grafiği	40
Şekil 4.33: Malzeme türü normallik testi	41
Şekil 4.34: Delik çapı normallik testi	41
Şekil 4.35: Delik sayısı normallik testi.....	41
Şekil 4.36: Deliklerin kalıp merkezlerine uzaklıkları normallik testi.....	42
Şekil 4.37: Kruskal-Wallis testi malzeme türü	42
Şekil 4.38: Non-parametrik korelasyon.....	43

Şekil 4.39: Linerleştirilmiş non-parametrik korelasyon	43
Şekil 5.1: Delik açılmış kalıbın üstten görünümü.....	45
Şekil 5.2: Termal kamera ile kapalı kolda gözlemlenen kalıp sıcaklık değerleri	45
Şekil 5.3: Delik açılmamış AISI 4841 malzemesinin sıcaklık dağılımı	46
Şekil 5.4: AISI 4841, 9 delik, 8 çap, 75mm uzaklık.....	46



CAM KALIPLARININ İDEAL SOĞUTULMASI İÇİN SONLU ELAMANLAR YÖNTEMİ İLE CAM KALIP TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Cam sektörü, günümüz dünyasının en büyük pazarlarından biri olup, hayatın her alanında karşımıza çıkan ürünleriyle kritik bir rol oynamaktadır. Tarihi, binlerce yıl öncesine dayanan cam, başlangıçta basit süs eşyaları ve günlük kullanım için kapacak yapımında kullanılmıştır. Ancak, teknolojinin ve üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, cam üretimi ve kullanımı da günümüze kadar büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Günümüzde çok yönlü bir malzeme olan cam, inşaat sektöründe pencerelerden cephe kaplamalarına, otomotivde camlardan araç içi eşyalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ambalaj endüstrisinde yaygın olarak şişe üretiminde kullanılırken, ev eşyası sektöründe mutfak gereçleri ve dekoratif ürünlerde tercih edilir. Camın dayanımı, şeffaflığı ve estetik görünümü gibi özellikleri sayesinde birçok endüstride ve günlük yaşamda sık kullanılan bir malzeme haline gelmiştir.

Cam ev eşyası sektöründe ana malzemesi silis kumu olan camın üretimi için soda, kireç, kalker gibi yardımcı hammaddeler kullanılarak harmanlanır. Harmanlanan hammaddeler silolar vasıtasıyla cam ergitme fırınına taşınır. Burada 1250-1300°C kadar ergitilen cam ‘foreheart’ adı verilen kanallar vasıtasıyla çeşitli ürün kabiliyetine sahip olan hatlara aktarılır.

Bu çalışmada cam ev eşyası sektöründe özellikle pres üfleme yönteminde yaygın olarak kullanılan Hartford 28 Makinasını incelenmiştir. Çay bardağı, su bardağı ve tablalı bardaklar gibi ürün çeşitlerinin üretiminde kullanılan bu makine tek bir tablaya bağlı olarak dönerek hareket eder. Genellikle 12 veya 18 kola sahiptir. Plunger vasıtasıyla sürekli kesik kesik olarak verilen damla, özel makaslar ile kesilerek damla yollarına verilir. Kepçe, oluk ve saptıricıdan meydana gelen damla yollarından geçerek makinayı besler. Makinaya doğru gelmekte olan damla ‘ebişör’ adı verilen birincil kalıba düşer. Bu kalıpta mastör ile preslemesi yapılan damla ön şeklini alır. Bu yarı mamule ‘parizon’ adı verilmektedir. Parizon homojen bir şekil oluşturulması için ‘müldebak’ adı verilen parçayla birlikte dönerek ilerler. Parizon yer çekimine karşı kendi ağırlığı ile aşağı sarkıtılır. Bu işlem ürünlerin cidarlarının incelenmesi için önem arz etmektedir. Sonrasında ikincil bir kalıp olan ‘finişör’ adlı kalıpta patlatma adı verilen işlem uygulanarak ürüne nihai şekline yakın olan kapeli şeklini alır. Patlatma adı verilen işlem sırasında süflaj başlığı adı verilen parça ürüne az miktarda hava vererek ürünün şişirilmesini sağlar. Şekillenmiş ürün boşaltıcı maşalar yardımıyla kalıptan alınarak sisteme kazandırılır. Daha sonra ikincil bir makine olan ‘Eldred’ adlı makinada kapeli olan ürün doğalgaz beklerinin alevi ile birlikte kapeden kopartılarak ürünün son şeklini alması sağlanır. Ardından ürün konveyörlerle ve yardımcı ekipmanlarla soğutma fırınına aktarılır.

Soğutma fırınında ürünün çeşitli bölümlerdeki farklı sıcaklık kademelerinden geçirilerek ürünün şekillenmesi sırasında meydana gelen artık ısıl gerilmeleri alınır. Soğutma fırınından çıkan ürün robotlar vasıtasıyla toplanarak konveyörlere aktarılır. Konveyörler ürünü kalite makinalarına aktarır. Kalite makinalarında ürünün çeşitli

özellikleri ve hataları kontrol edilir. Örneğin, ürün boyu, taban kalınlığı, çatlak, cam kırığı gibi çeşitli ürün özellikleri ve hataların tespiti optik kameralar ve sensörler aracılığıyla kalite makinalarında yapılır. Burada hatalı veya istenmeyen özelliklere sahip olan ürünler ayıklanarak geri dönüşüme yollanmaktadır. Tüm bu işlemlerin sonucunda paketlenmeye hazır hale gelen ürünün paketlenme ve ambalajlama işlemleri ister manuel, ister robotlarla yapılarak satışa hazır hale getirilir.

Günümüzün rekabetçi cam endüstrisinde, cam kalıplarının hızlı ısıtılması ve soğutulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, cam ev eşyası sektöründe öncelikle pres-üfleme yöntemi kullanılarak çay bardaklarının üretimine odaklanmaktadır. Pres-üfleme üretim sürecinde, ilk şekillendirme kalıbına 'ebişör', oluşturduğu yarı mamul ürüne ise 'parizon' adı verilir. Daha sonra yarı mamule 'finişör' kalıbında son şekli verilir. Finişör kalıplarının ısıyı eşit şekilde dağıtma yeteneği, ürün oluşturma süreci ve nihai ürünün kalitesi açısından çok önemlidir.

Cam sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI 4841, AISI 1045 ve Inconal 825 gibi kalıp malzemelerinin cam kalıbı üzerinden ısıyı uzaklaştırma davranışı ANSYS programında termal analizler yapılarak gözlemlenmiştir. Ayrıca kalıbın daha iyi bir şekilde soğutulması için kalıba boydan boya soğutma deliklerinin açılması çözüm olarak sunulmuştur. Kalıba ait tasarım değişiklikleri ve soğutma delikleri tasarımları SOLIDWORKS programı kullanılarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada termal analizler yapılırken sistemde oluşan yükler; kalıp ve cam arasındaki ısı iletimi, kalıp ve kalıba gelen soğutma havası arasındaki ısı taşınımı olarak kabul edilmiştir. Kalıp ve kalıp soğutma havasının arasındaki ısı taşınımı hesaplanırken dairesel yüzeye paralel ve dairesel yüzeye dik akış formülleri kullanılmıştır. Reynold sayısı bulunarak akışın türünün ne olduğu tespit edilmiş (laminer veya türbülanslı) ardından akış türüne göre Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı hesaplanmıştır.

Farklı değişkenlerin kalıbın soğuma sürecine etkisi gözlemlenmek için ANOVA yöntemiyle deney tasarımı yapılmıştır. Farklı değişkenler olarak; malzeme türü, delik sayısı, delik çapı ve deliklerin kalıp merkezine uzaklıkları esas alınmıştır. Değişkenlerin kombinasyon sayısını azaltmak amacıyla her bir değişkenin sisteme olan etkisi tek başına incelenmiştir. Bu nedenle, herhangi bir değişkenin etkisini değerlendirmek için diğer değişkenler sabit tutularak analizler gerçekleştirilmiştir. Malzeme türü 3. seviye ve diğer değişkenler (delik çapı, delik sayısı ve deliklerin kalıp merkezine uzaklığı) 2. Seviye olarak gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, deney tasarımı için 24 farklı kombinasyon meydana gelmektedir. Bu kombinasyonların görece çok fazla sayıda olmaması sebebiyle tam faktöriyel deney tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Yürütülen çalışmaların sonucunda, veri setinde 7. analizdeki kombinasyon sonucunun minimum kalıp sıcaklığını elde ettiği gözlemlenmiştir. 7. analizdeki değişkenleri ise; malzeme türü inconel 825, delik çapı 8mm, delik adedi 9, deliklerin kalıp merkezine uzaklığının ise 75 mm olduğu gözlemlenmiştir. Malzeme seçiminin yapılan analizler sonucu en önemli değişken olduğu sonucu çıkarımı yapılmıştır.

GLASS MOLD ANALYSIS AND DESIGN USING FINITE ELEMENT METHOD TO ACHIEVE OPTIMAL COOLING CONDITION

SUMMARY

The glass industry is one of the largest markets in today's world, playing a critical role with products that appear in all aspects of life. Glass, with a history dating back thousands of years, was initially used to create simple decorative items and everyday utensils. However, with the advancement of technology and production techniques, glass manufacturing and usage have undergone significant transformations up to the present day. Today, glass is a versatile material widely used in the construction industry for windows and facade claddings, in the automotive sector for windows and interior items, and extensively in the packaging industry for bottle production. Additionally, in the household goods sector, glass is preferred for kitchenware and decorative products. The strength, transparency, and aesthetic appeal of glass make it a frequently used material in many industries and daily life.

In the household glassware sector, the primary raw material for glass production is silica sand, which is mixed with auxiliary raw materials such as soda, lime, and limestone. The blended raw materials are transported to the glass-melting furnace via silos. Here, the glass is melted at temperatures of 1250-1300°C and transferred through channels called 'forehearth' to production lines capable of producing various products.

This study examines the Hartford 28 Machine, widely used in the household glassware sector, particularly in the press-blow method. This machine, used in the production of products such as tea glasses, water glasses, and footed glasses, operates by rotating on a single table, typically with 12 or 18 arms. The continuous intermittent flow of the gob, cut by special shears, is delivered to the gob paths via a plunger. The gob passes through the gob paths, consisting of a scoop, trough, and deflector, to feed the machine. The gob, moving towards the machine, drops into a primary mold called the 'blank mold.' In this mold, the gob is performed with a master, giving it an initial shape known as a 'parison.' The parison moves forward while rotating with a part called 'spinning head' to form a homogeneous shape. The parison is suspended downward against gravity by its own weight, which is crucial for thinning the walls of the products. Subsequently, a process called 'blowing' is applied in a secondary mold known as the 'blow mold,' giving the product a near-final shape. During the blowing process, a part called the blowhead inflates the product with a small amount of air. The shaped product is then removed from the mold with extractor tongs and integrated into the system. Subsequently, in a secondary machine known as 'Eldred,' the product with the cap is detached from the cap using the flame of natural gas burners, giving the product its final shape. The product is then transferred to the annealing lehr for cooling through conveyors and auxiliary equipment.

In the annealing lehr, the product passes through various temperature stages in different sections to relieve residual thermal stresses formed during shaping. The product exiting the annealing lehr is collected by robots and transferred to conveyors. The conveyors carry the product to quality machines. In the quality machines, various

features and defects of the product are inspected. For instance, the product's height, base thickness, cracks, and glass breakage are detected using optical cameras and sensors in the quality machines. Products with defects or undesired features are sorted out and sent for recycling. At the end of all these processes, the product, ready for packaging, is either manually or robotically packaged and prepared for sale.

In today's competitive glass industry, the rapid heating and cooling of glass molds are of great importance. This study focuses on the production of tea glasses using the press-blow method in the household glassware sector. In the press-blow production process, the initial shaping mold is called the 'blank mold,' and the semi-finished product it creates is known as the 'parison.' The parison is then given its final shape in a 'blow mold'. The ability of finisher molds to distribute heat evenly is crucial for the product formation process and the final product's quality.

The thermal behavior of mold materials such as AISI 4841, AISI 1045, and Inconel 825, commonly used in the glass industry, was observed by conducting thermal analyses using the ANSYS program. Additionally, to improve mold cooling, the introduction of cooling holes throughout the mold was proposed. Design changes to the mold and the design of the cooling holes were developed using the SOLIDWORKS program.

In this study, during thermal analyses, the loads in the system were considered as the heat transfer between the mold and the glass and the heat convection between the mold and the cooling air. The cooling air coming to the mold is considered as three surfaces on the mold (mold bottom diameter, mold top diameter, mold side area) in order to calculate the heat transfer coefficient more effectively. While calculating the heat convection between the mold and the cooling air, formulas for flow parallel and perpendicular to a circular surface were used. By determining the Reynolds number, the type of flow (laminar or turbulent) was identified, and then, based on the flow type, the Nusselt number and heat transfer coefficient were calculated.

To observe the effect of different variables on the cooling time of the mold, an experimental design using the ANOVA method was implemented. The variables considered were material type, number of holes, hole diameter, and the distance of the holes from the center of the mold. To reduce the number of variable combinations, the effect of each variable was examined individually, keeping the other variables constant. Therefore, for assessing the impact of any variable, analyses were performed while other variables were held constant. The material type had 3 levels, while the other variables (hole diameter, number of holes, and distance of the holes from the mold center) had 2 levels each. Based on the analysis results, 24 different combinations were generated for the experimental design. Given that this number of combinations was not excessively high, a full factorial design was conducted. The results were evaluated using the SPSS program with a nonparametric measurement method and the effects of the parameters on each other and on the groups were observed.

The findings of the study revealed that the combination used in the 7th analysis achieved the lowest mold temperature within the dataset. The variables for this analysis were identified as follows: material type, Inconel 825; hole diameter, 8 mm; number of holes, 9; and distance of holes from the mold center, 75 mm. The data were analyzed using a non-parametric analysis method. To verify the accuracy of the theoretical results in representing the actual system, comparisons were made with thermal camera measurements. Based on this comprehensive evaluation, Incoloy 825 was identified as the material with the most effective cooling performance. A larger

hole diameter was found to positively influence the minimum mold temperature by reducing it. While increasing the number of holes provided only a limited improvement in cooling performance, positioning the holes closer to the mold center little enhanced the temperature distribution.





1. GİRİŞ

Cam sektörü, modern dünyanın en büyük ve en dinamik pazarlarından biri olup, günlük yaşamın hemen her alanında karşımıza çıkan ürünleriyle kritik bir rol oynamaktadır. Camın çok yönlü kullanımı, tarih boyunca insanlık için önemli bir kaynak olmuştur. Antik uygarlıklardan günümüze kadar cam, çeşitli formlarda ve amaçlarla kullanılmıştır. Eski Mısır'da ve Mezopotamya'da cam, öncelikle lüks eşyalar ve süs eşyaları yapımında kullanılmıştır. Orta Çağ'da vitraylar, gotik katedrallerin simgesi haline gelmiş ve dini mimarinin vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Sanayi Devrimi ile birlikte, cam üretimi ve kullanımı büyük bir dönüşüm geçirerek daha geniş bir kitleye ulaşmıştır. 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, cam, günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. ("Camın Tarihçesi | Cam Şişe Ambalaj," 2018)

Günümüzün rekabetçi cam endüstrisinde, üretim sürecinin verimliliği ve nihai ürünün kalitesi açısından cam kalıplarının hızlı ısıtılması ve soğutulması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, cam ev eşyası sektöründe pres-üfleme yöntemi, üretim sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Pres-üfleme yöntemiyle çay bardakları gibi ürünlerin üretiminde, ilk şekillendirme kalıbına "ebişör", bu kalıpta oluşturulan yarı mamul ürüne ise "parizon" adı verilir. Yarı mamul, sonrasında "finaşör" kalıbında son şeklini alır. Finaşör kalıplarının ısıyı eşit şekilde dağıtma yeteneği, hem ürün oluşturma sürecinin verimliliği hem de nihai ürünün kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir. (Soykut, 2007)

Pres-üfleme yöntemi, cam üretiminde yenilikçi bir teknolojik süreç olarak kabul edilir. Bu yöntem, camın başlangıçta bir kalıpta şekillendirilip ardından üflenerek son şeklinin verilmesini içerir. Bu süreçte kullanılan kalıpların ısıyı eşit dağıtabilme yeteneği, ürünün homojenliğini ve mukavemetini belirler. (Soykut, 2007)

Günümüzün hızlı gelişen teknolojik dünyasında, üretim süreçlerinde verimlilik ve kalite önemli rol oynamaktadır. Özellikle cam gibi hassas malzemelerin üretiminde, doğru tekniklerin ve kalıpların kullanılması, nihai ürünün performansı açısından belirleyici olmaktadır. Cam endüstrisinde kullanılan kalıpların ısıtma ve soğutma

kapasiteleri, üretim hızını ve ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, pres-üfleme yönteminde kullanılan kalıpların termal özellikleri, bu çalışmanın ana odak noktalarından birini oluşturmaktadır (Jorge Manuel, M., 2018).



2. CAM ŞEKİLLENDİRME

2.1 Cam Nedir?

ASTM tanımına göre cam, viskoz bir eriyik malzemenin düzenli bir kristal kafesin oluşması için yeterli süre oluşmadan, cam geçiş sıcaklığının altına hızlıca soğutulmasıyla elde edilen bir üründür [1]. Antik çağlarda inşaat malzemesi ve süs eşyası alanlarında kullanılmaya başlayan cam, günümüzde ise basit araç gereçlerden iletişime ve uzay teknolojilerine kadar çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Cam ısıtıldığında vizkozitesi kademeli olarak düşmeye başlar, soğutulduğunda ise kademeli olarak vizkozitesi düşer. Metallerde ise sıvı faza dönüşüm anidir. Camın bu özelliğinden yola çıkarak; camın soğutulmasıyla vizkozitesinde yaşanan kademeli artış cama elde edilmek istenen ürün şeklinin verilmesini sağlayarak, metallere göre daha geniş bir çalışma aralığı sağlar [2].

2.1.1 Camın tarihçesi

İnsanlık, ilk çağlarda Obsidyen adı verilen doğal taşı keşfetti. Bu taş, mızrak ucu, ok başı, keskin aletler ve daha sonraları mücevher yapımında kullanıldı. Obsidyen, ani bir şekilde soğuyan lavın katılaşmasıyla oluşur ve bu nedenle "volkan taşı" olarak da adlandırılır. Yapay camın keşfi ise rastlantısal bir olayla gerçekleştiği belirtilir.

Finike'li tüccarlar, teknelerinden sahile çıkıp kamp ateşi yakarken, kaplarını soda bloklarının üzerine koyarlar. Sabahleyin uyandıklarında, ateşte eriyen kumun sodayla birleşerek camı oluşturduğunu fark ederler. Genel tanımıyla, cam; silis, soda, potasyum ve kirecin yüksek sıcaklıkta eritilerek şekillendirilip ardından soğuduktan sonra elde edilen ve kırılma bir şekilde korunan bir maddedir [3].

2.1.2 Camın fiziksel ve kimyasal genel özellikleri

Yoğunluk: Camların yoğunlukları bileşimlerine giren ana bileşenlerinin cinsine ve oranına göre değişiklik gösterir. Çeşitli camlara göre yoğunluk oranı 2.2g/cm^3 ve 3g/cm^3 arasında değerler alır. Bazı özel cam tiplerinde ana bileşene bağlı olarak 8g/cm^3 veya üstünde yoğunluk değerlerine sahip olabilir [4].

Saydamlık: Cam, genellikle yüksek derecede saydamdır ve görünür ışık spektrumunu geçirir. Bu, camın ışığı ileten bir malzeme olmasını sağlar. Camın saydamlığı, içindeki atomik yapı ve düzensizliklerle ilgilidir ve camın optik özelliklerini belirler. Camın saydamlık değeri, gelen ışığın, geçen ışığa bölünmesiyle ölçülür. Bu oran camlarda %80 ile %98 arası değerlerdedir ve oldukça saydamdır [5, 6].

Sertlik: Cam, genel olarak sert bir malzemedir, ancak mineral sertliği ölçeğinde dikkate değer bir sertlik derecesi yoktur. Camın sertliği, bileşimine, işlemine ve içerdiği katkı maddelerine bağlı olarak değişebilir. Cam, genellikle aşınmaya karşı dayanıklıdır, ancak darbelere karşı kırılabilir. Cam sertlik değerleri Mohs testinde 5.5 ve 7 arasındadır. Bu düzeydeki bir sertlik camın görece aşınma direncinin yüksek olduğu anlamına gelir. [4,5].

Kırılma: Camlar gevrek ve kırılabilir bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi ise ergimiş camın düzensiz bir şekilde katılarak amorf bir yapı oluşturmasıdır. Ayrıca kırılma esnasında çatlak ilerlemesini durduracak veya yavaşlatacak bir dislokasyon sistemine sahip değildir. [5].

Yüzey pürüzsüzlüğü: Camın yüzeyi genellikle oldukça pürüzsüzdür ve bu da optik uygulamalar için uygundur. Camın pürüzsüz yüzeyi, ışığı yansıtmadan geçirmesini sağlar ve camın estetik bir görünüme sahip olmasını sağlar [5].

Kırılma indisi: Camın kırılma indisi, cam içinde ilerleyen ışık hızının, boşlukta ilerleyen ışık hızına bölünmesiyle bir maddenin kırılma indisi belirlenir. Camın kırılma indisi 1.52 – 1.60 değerleri arasında camın yoğunluğuyla ilgili olarak değişiklik gösterebilir. Kırılma indisi, camın optik özelliklerini belirler ve optik cihazların tasarımında önemli bir rol oynar [5].

Genleşme katsayısı: Camın ısının etkisiyle genleşme ve büzülme eğilimi vardır. Bu, camın sıcaklık değişikliklerine duyarlı olduğu anlamına gelir. Camın genleşme katsayısı, camın bileşimine ve içsel yapısına bağlıdır ve termal genleşme ve daralma hesaplamalarında dikkate alınır [4,5].

Kimyasal dayanıklılık: Cam, genellikle kimyasallara dayanıklıdır ve çoğu asit ve bazlarla etkileşime girmez. Ancak, bazı agresif kimyasallar, özellikle konsantre asitler, camı etkileyebilir ve çözünebilir. Camın kimyasal dayanıklılığı, bileşimine ve işlemine bağlı olarak değişir [5,10].

Kimyasal bileşimi: Camın kimyasal bileşimi, genellikle silisyum dioksit (SiO_2) gibi ana bileşenlerle birlikte, sodyum oksit (Na_2O), kalsiyum oksit (CaO), potasyum oksit (K_2O), alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi diğer bileşikleri içerir. Bu bileşenler camın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler ve kullanım amacına göre değişebilir [7,8].

Kimyasal dayanıklılık: Cam, genellikle kimyasallara dayanıklıdır ve çoğu asit ve bazlarla nötr tepki verir. Ancak, bazı kimyasallar, özellikle konsantre asitler, camı etkileyebilir ve çözünebilir. Bu nedenle, camın kimyasal dayanıklılığı bileşimine ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişir [5].

Reaksiyonlar: Cam, genellikle asitlerle ve bazlarla nötr tepki verir. Ancak, bazı durumlarda uzun süreli maruz kalma veya yüksek konsantrasyonlarda asitlere maruz kalma durumunda cam, çözünebilir veya bozulabilir. Özellikle laboratuvar camları gibi özel cam türleri, daha yüksek kimyasal dayanıklılığa sahip olabilir [5].

Erime noktası: Cam, belirli bir sıcaklık aralığında eriyebilir. Bu erime noktası, camın bileşimine ve işlemine bağlı olarak değişir. Ancak, genellikle camın erime noktası yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda stabil kalabilir [5].

2.1.3 Camın kullanım alanları

Mimari cam: binalarda geniş bir şekilde kullanılır. Pencereleler, kapılar, cephe panelleri, bina dışı duvarlar ve iç mekân bölümleri gibi birçok mimari uygulamada camın kullanımı yaygındır. Ayrıca cam, bina içi dekorasyonunda estetik bir unsur olarak da kullanılır [15].

Otomotiv camı: otomotiv endüstrisinde cam, araçların camları, aynaları ve far camları gibi birçok alanda kullanılır. Cam, araçların yapısal bütünlüğünü sağlar ve sürücülerin görüş açısını artırır. Ayrıca otomobil camları, güneş ışınlarını engellemek veya iç mekânı korumak için güneşliklerle de kaplanabilir [16].

Endüstriyel cam: endüstriyel alanlarda birçok farklı amaç için kullanılır. Örneğin, laboratuvarlarda cam malzemeleri, kimyasal dayanıklılık ve yüksek sıcaklık toleransı gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ayrıca cam, cam şişeler, cam kaplar ve cam ambalaj malzemeleri gibi endüstriyel ambalajlarda da kullanılır [17].

Elektronik ve teknoloji: elektronik cihazlarda, özellikle ekranlar ve cam yüzeyli cihazlar için önemli bir malzeme olarak kullanılır. Akıllı telefonlar, tabletler, televizyonlar, bilgisayar monitörleri ve diğer elektronik cihazlar genellikle cam

kaplamalı veya cam ekranlıdır. Ayrıca güneş panellerinde ve optik cihazlarda da cam kullanılır [17].

Tıbbi ve laboratuvar camı: tıp ve laboratuvar uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Bu tür camlar, laboratuvar malzemeleri, tıbbi cihazlar ve ekipmanları, cam şişeler, cam tüpler ve laboratuvar cam eşyaları gibi birçok alanda kullanılır. Bu camlar, sterilizasyon, kimyasal dayanıklılık ve optik netlik gibi özellikler sağlar [17].

Sofra Camı: günlük hayatta kullandığımız cam ev eşyalarının kullanımı yaygındır. Örnek olarak çay bardakları, su bardakları, kupalar, kaseler ve benzeri ürünler.

2.1.4 Camın bileşenlerine göre tipleri

Soda-kireç camı; günümüzde en yaygın kullanılan cam türlerinden biridir ve pencere camlarından şişe camlarına kadar çeşitli uygulamalarda kullanılır. Bu camlar, genellikle SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO ve Al_2O_3 gibi bileşenleri içerir ve bu nedenle bileşimi geniş bir yelpazede değişebilir [19].

Borosilikat camı; genellikle "borcam" olarak bilinir ve özellikle ısıya dayanıklı cam olarak tanınır. Bu camın genleşme katsayısı çok düşüktür, bu da ani sıcaklık değişikliklerine karşı dayanıklı olduğunu gösterir. Başlangıçta kimyasal işlemlerde kullanılan araç ve gereçler için tasarlanmış olsa da, günümüzde farklı alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır

Kristal cam; mümkün olduğunca temiz ve çiziksiz olup potasyum ve kurşun içeriği yüksek olan renksiz bir cam türüdür. Yüksek potasyum veya kurşun miktarı, camın ışığı daha fazla kırmasını sağlar. "Kristal cam" terimi genellikle ticari işletmelerde, özellikle aynacılıkta, kullanılır. Bu camlar, yalnızca %24'ten fazla kurşun oksit (PbO) içeren camlar için kullanılır ve genellikle elektronik endüstrisinde ve radyasyon camı olarak kullanılır [19].

Silis camı; saf SiO_2 'den elde edilen ve viskozitesi çok yüksek bir camsı yapıya sahip olan bir cam türüdür. Camın çalışma sıcaklığını artırır. Silis camı, çok yüksek sıcaklıklarda bile saydamlığını korur. Asitlere karşı direnci yüksektir. Camın mukavemetini artırır.

Su camı; camın bileşimine giren sodyum veya potasyum oranına bağlı olarak adlandırılır. Genellikle kum ve soda veya potas içeren alkali eriyin birleşimiyle yapılır. Su camı, suya dayanıksızdır ve suda çözünür.

2.2 Cam Üretim Yöntemleri

2.2.1 Harman hazırlama

Cam Harman hazırlama, cam üretim sürecinin önemli bir adımıdır. Bu aşamada, uygun hammadde seçimi ve hazırlığı, cam üretiminin başarısı için kritiktir. Harman, çeşitli hammaddelerin doğru oranlarda karıştırılmasıyla oluşur. Hammaddelerin kalitesi ve uygunluğu, camın özelliklerini belirleyen faktörler arasındadır. Hammaddeler, genellikle çıkarıldıkları yerde ön işlemlerden geçirilerek cam endüstrisine teslim edilir. Kabul edilen hammaddeler, kapalı sistemler aracılığıyla muhafaza edilen harman silolarına nakledilir. Fiziksel ve kimyasal analizlerin ardından uygunluğu onaylanan hammaddeler, kullanım miktarlarına bağlı olarak işlemden geçirilir ve homojen bir harman elde etmek için karıştırıcı ünitesine gönderilir. Harmanın homojenliği ve kalitesi için karıştırıcı ünitesinde partiler halinde karıştırılır. Bu süreçte, cam kırığı da eklenerek enerji tasarrufu sağlanır. Geri kazanılan cam kırığı, ergitme fırınında daha az enerji tüketilerek eritilir. Her %10'luk cam kırığı eklemesi, %2,5-3 arasında bir spesifik enerji tasarrufu sağlar. Harmanın işlenmesi, tartılması ve taşınması sırasında toz emisyonunu engellemek için önlemler alınmalıdır. Cam endüstrisinde kullanılan belli başlı hammaddeler arasında kum, soda, dolomit, kalker, feldspat, sodyum sülfat vb. bulunur. Bu şekilde, harman hazırlama süreci, cam üretiminin kalitesini ve verimliliğini sağlamak için dikkatle yürütülen bir adımdır [11,12].

2.2.2 Ergitme

Cam üretimi, şekillendirme ve sonrasındaki aşamalarda üretilen cam türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir, ergitme prosesi tüm cam türleri için benzer adımlardan oluşur. Bu süreç, uygun fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip hammadde karışımının yüksek sıcaklıklarda ergitilerek "ergimiş cam" haline getirilmesini içerir. Ergitme işlemi sırasında çeşitli fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir ve ergimiş cam çözülmüş gaz ve kabarcıklardan arındırılır. Bu süreçte fırın atmosferinde çeşitli gazların salınımı ve reaksiyonları meydana gelir. Cam ergitme işlemi, toplam enerji tüketimi içinde en yüksek enerji ihtiyacına sahip adımdır. Fırınlarda genellikle doğal gaz, düşük kükürtlü fuel-oil, motorin ve sıvılaştırılmış petrol gazı gibi yakıtlar kullanılır. Elektrik enerjisi ise ikincil bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Cam fırınları, ergitme işlemi gerçekleştiren temel yapılarıdır. Fırınlarda, ergimiş camın

şekillendirme makinelerine verilmesini sağlar. Ergitme fırınları, genellikle 10-12 yıllık bir kullanım ömrüne sahiptir, ancak iyi işletme ve bakım ile bu süre 20 yılın üzerine çıkabilir. Fırınların kapasitesi genellikle günlük 20-1000 ton arasında değişir ve ergitme teknolojisi ve ısı geri kazanım tekniği fırınların tasarımını belirler [19]. Farklı cam üretim tipleri ve ekonomik faktörlere bağlı olarak farklı fırın tipleri mevcuttur. Bunlar arasında pota fırınları, günlük fırınlar, reküperatif fırınlar, rejeneratif fırınlar, oksijenli fırınlar ve elektrikli fırınlar bulunur. Bu fırınlar, cam üretiminde kullanılan farklı türler için farklı avantajlar sunar. Rejeneratif ve reküperatif sistemler, cam fırınlarının ısı verimliliğini artırarak enerji tüketimini azaltan önemli teknolojilerdir. Bu sistemler, baca gazlarının taşıdığı ısı enerjisini yakma havasına aktararak enerjinin verimli kullanımını sağlar. Tam elektrikli fırınlar, özellikle maliyet, kalite ve çevresel açıdan avantajlı olduğu durumlarda tercih edilir. Bu fırınlarda ergitme enerjisi elektrotlar aracılığıyla iletilir ve sadece fırın ateşlenmesi sırasında ve acil durumlarda fosil yakıt kullanılır [19].

2.2.3 Şartlandırma ve şekillendirme

Cam, ergitme sürecinden sonra şekillendirme için gerekli sıcaklığa soğutulur ve bu sıcaklığın sabit ve homojen olması sağlanır. Bu işlem, şartlandırma adı verilir ve ergitilen camın doğru viskoziteye ulaştırılması için önemlidir. Çalışma havuzu, ergitme prosesiyle bütünleşmiş olup, ergitilmiş camı şekillendirme kısmına taşır. Forehearth adı verilen çoklu kanallar, şekillendirme makinalarına camı iletir. Düz cam üretiminde ise tek bir kanal bulunur. Şartlandırılan cam, şekillendirme adımına iletilir. Cam ambalaj ve cam ev eşyası üretimlerinde, besleme mekanizmasıyla damlalar halinde kesilir ve basınçlı hava ile şekillendirme makinalarına iletilir. Float tekniğiyle düz cam üretiminde ise, ergitilmiş cam içerisinde bulunan kalay banyosunda şekillendirilir. Cam, kalayın üzerinde yüzerek istenilen genişlik ve kalınlığa şekillendirilir [17].

2.2.4 Tavlama

Tavlama, sıcak camın ortam sıcaklığına kadar kontrollü bir şekilde soğutulması sürecidir. Bu süreçte, camın iç gerilmeleri kabul edilebilir seviyelere indirilir. Normal soğuma durumunda, camın molekülleri düzensiz bir şekilde yerleşir ve içinde stres adı verilen gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler zamanla camın kırılmasına veya çatlamasına neden olabilir. Bu sorunu önlemek için, şekillendirme sonrası ürünler tavlanaarak yüzey

gerilimleri giderilir ve mekanik dayanıklılık artırılır. Tavlama fırınları, üretim makinelerinde şekillendirilen sıcak ürünlerin mukavemet kazanması için sıcaklığın kontrollü ve kademeli olarak düşürüldüğü fırınlardır. Bu süreçte kullanılan fanlar da elektrik tüketimi gerektiren unsurlardır [11,17].

2.2.5 Kaplama ve dekorasyon

Cam ambalaj üretiminde, ürünler genellikle sıcak ve soğuk kaplama işlemine tabi tutulurlar. Sıcak kaplama, cam ambalaj kaplarında mikro çatlakları kapatmak, basınç ve darbe mukavemetini artırmak ve soğuk kaplamanın daha iyi yapışmasını sağlamak için kullanılır. Şekillendirme sonrası üretilen şişeler, üretim bandı üzerinde sıcak kaplama işlemine tabi tutulur ve ince bir metal oksit tabakası uygulanır. Bu işlem genellikle sadece gövdeye uygulanır ve 700-750 °C civarında gerçekleştirilir. Soğuk kaplama ise, şişelerin taşınma ve dolum hatları sırasında çizilmelerini engellemek için yapılan bir işlemdir. Bu işlemde uygulanan sıvı genellikle insan sağlığına zarar vermeyen polietilen ve reçine karışımı içerir. Şişeler, tavlama fırınından çıktıktan sonra 70–100 °C aralığında bir nozul aracılığıyla soğuk kaplama işlemine tabi tutulur. Dekorlama ise, cam ambalaj ve cam ev eşyası üretimlerinde cam yüzeylerine baskı ve dekor uygulanarak estetik değeri artırmayı amaçlar. Bu amaçla organik ve inorganik boyalar kullanılır ve çeşitli tekniklerle uygulanır, örneğin serigrafı, tampon baskı, giydirme, püskürtme, elektrostatik püskürtme, çatlatma gibi.

2.2.6 Kalite kontrol ve ambalajlama

Tavlamadan veya soğutmadan çıkan cam ürünleri, ilgili kalite standartlarına göre elle veya otomatik olarak fiziksel kalite kontrollerine tabi tutulur. Bu kontrollerde istenmeyen ürünler hattan ayrılırken, kalite kriterlerini karşılayan ürünler paketleme ve ambalajlama adımına geçer. Kaliteli ürünler, pakatlendikten sonra depoya veya sevkiyata hazırlanarak gönderilir.

2.3 Cam Ev Eşyası Şekillendirme Prosesi

Cam ev eşyası üretiminde temel üç üretim prosesi şunlardır:

Presleme prosesi: Bu proses, camın istenilen şekli alması için presleme yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntem genellikle daha küçük ve düz cam parçalarının üretiminde kullanılır.

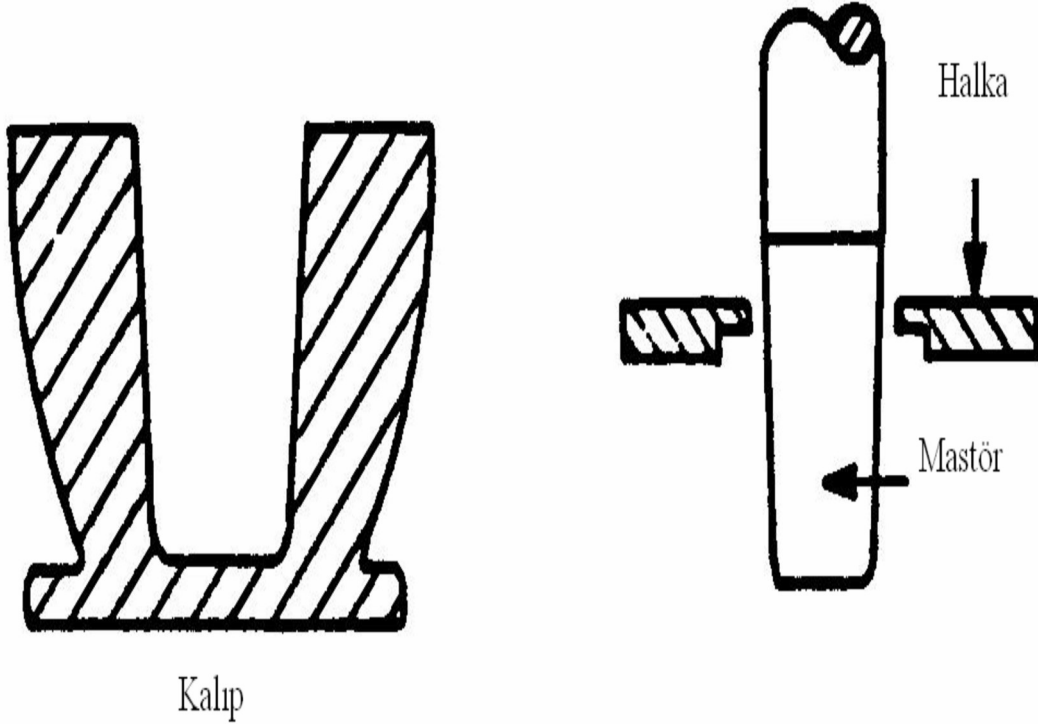
Üfleme- üfleme prosesi: Bu proses, camın eritilmesi ve ardından bir üfleme borusu aracılığıyla istenilen şekli almasıyla gerçekleşir. Bu yöntem genellikle cam şişe ve benzeri ürünlerin üretiminde kullanılır.

Presleme- üfleme prosesi: Bu proses, presleme ve üfleme yöntemlerinin bir kombinasyonunu içerir. Önce cam parçası preslenir ve daha sonra üfleme işlemiyle şekil verilir. Bu yöntem, karmaşık veya özel tasarımlı cam ürünlerin üretiminde kullanılır.

2.3.1 Presleme metodu

Ürünlerin üst kısmı tabanından daha geniş olduğunda ideal bir seçenektir. Bu yöntemle üretilen cam ürünler arasında çay fincanları, kulplu bardaklar, tablalar, kahve fincanları, vazolar, araç farları bulunur.

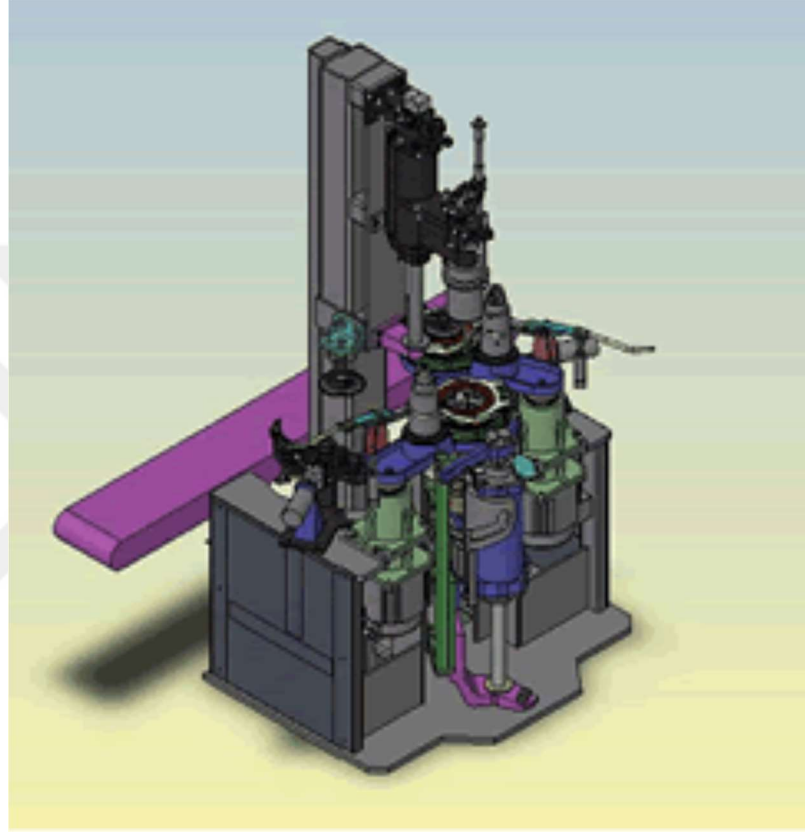
Presleme, genellikle tek aşamalı bir şekillendirme prosesidir ve tek bir makine tablası üzerinde gerçekleşir. Bu tabla elde çalışırken sabitken, otomatik makinelerde döner. Kalıp donanımı, sınıai kap üretimi için kullanılan kalıplardan daha basit olmasına rağmen, dar toleranslar gerektirir. Şekil 2.1 de görülebileceği üzere, kalıp yarı mamulün dış formunu oluştururken, mastör yarı mamulün iç formunu oluşmasını sağlar. Ringte belirli bir açıyla mamülün ağzını şekillendirir.



Şekil 2.1: Camın preslenmesinde kullanılan başlıca parçalar [11].

2.3.2 Üfleme-üfleme methodu

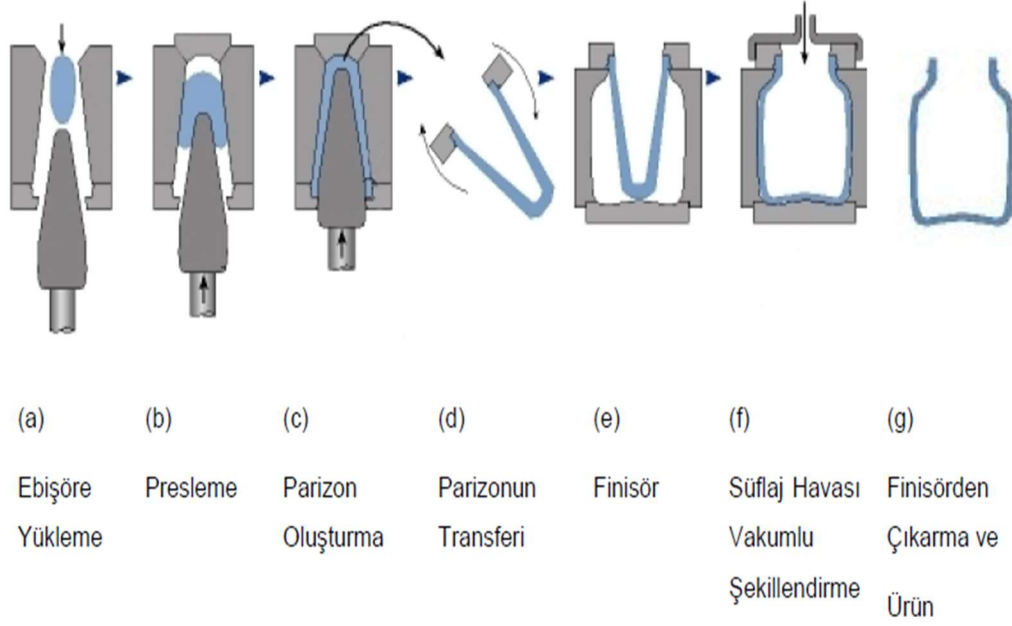
1925 yılında ortaya çıkan IS (Individual Section) makinası, her bir makine kolunun ayrı olduğu ve her bir kolun bir cam mamulünü kendi başına gerçekleştirdiği bir üretim yöntemidir. Bugün, şişe ve kavanoz üretiminde dünya çapında en yaygın olarak kullanılan makine türüdür. Modern bir IS makinasının temsili resmi Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Üfleme-üfleme üretim makinası temsili çizimi [11].

2.3.3 Presleme- üfleme prosesi

Presleme-üfleme prosesi, cam ürünlerin üretiminde su ve çay bardakları, şarap kadehleri gibi ayaklı ürünler ve elektrik ampulleri gibi ürünlerin şekillendirilmesi için kullanılır. Bu süreçte yaygın olarak üç tür makine kullanılır: Westlake kaplamalı kalıp makinesi, Hartford kaplamalı kalıp makinesi ve Corning Ribbon makinesi. Westlake ve Hartford makineleri genellikle yüksek hacimli üretim için çay, su bardakları ve ayaklı içki bardaklarında tercih edilirken, Ribbon makinesi özellikle elektrik ampulleri üretiminde kullanılır, ancak çay ve su bardağı yapabilme yeteneğine de sahiptir [11,17]. Şekil 2.3’te presleme- üfleme prosesinin akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Presleme- üfleme prosesinin akış şeması [14].

Hartford 28 kaplamalı kalıp makinesi: Presleme-üfleme operasyonlarını bir arada kullanarak bardakların gövde kısımlarını şekillendirir. Bu makine, 12 veya 18 kola sahip olup, sürekli döner ve cam damlaları bir yükleme oluğu ile makinaya beslenir. Yükleme oluğu, bir ebüşör ile yakın mesafede hareket ederek cam damlalarını yerleştirir, ardından bir sonraki ebüşör için geri çekilir. Bu işlemde, cam damlası makineye yerleştirildikten sonra ebüşörün üstü bir tampon ile kapatılır. Üfleme yerine, cam soğutmalı bir mastör yardımı ile preslenerek şekillendirilir. Mastör, ebüşöre ring merkezinden girerek presleme işlemini gerçekleştirir. Bu adım tamamlandıktan sonra mastör geri çekilir ve üfleme işlemine geçilir [14].

2.4 Cam Kalıbı

Cam kalıpları, yüksek sıcaklıktaki ergimiş camın şekillendirilmesinde rol alır. Ancak, bu süreçte yüksek sıcaklık nedeniyle kalıplarda aşınma, oksidasyon ve korozyon gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu faktörler, kalıp ömrünü olumsuz etkiler ve dolayısıyla cam ürünlerinin değerini etkiler. Özellikle, dökme demir ve çelik gibi metal kalıpların yüzeylerinde, yüksek sıcaklıktaki erimiş camla temas sonucu deformasyonlar meydana gelebilir. Bu nedenle, metal kalıpların özelliklerini iyileştirmek için çeşitli yüzey kaplama yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların amacı, kalıp ömrünü uzatmak ve üretim maliyetlerini azaltmaktır [11].

Cam kalıp malzemeleri: Cam kalıp malzemesinin seçimindeki bazı önemli faktörler göz önüne alınmalıdır. Şekillendirme makinasının üretim hızı ve kalıp ömrü ve ürün geometrisi gibi özellikler bunlardan bazılarıdır. Özellikle mamul kalitesi, bu seçimde önemli bir rol oynar. Kalıbın yüzey pürüzlülüğü ve çalışma koşullarındaki yüksek sıcaklıklara karşı daha az genişmesi, mamul kalitesini doğrudan etkiler. Bu nedenle, kalıp malzemesi seçilirken bu özelliklere dikkat edilmelidir. Kalıp malzemesinin bu gereksinimleri karşılaması, üretim sürecinde daha yüksek kaliteli cam mamullerinin elde edilmesine ve makine verimliliğinin artmasına yardımcı olur. [13].

Cam kalıplarında olması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Ekonomik ve kolay temin edilebilir olması,

Yüksek sıcaklıklarda yüzey parlaklığını koruyabilmesi,

Düşük ısıl genişmeye sahip olması,

Cam ve metal arasındaki yapışma sıcaklığının yüksek olması,

Yüzey bozulmalarına karşı kararlı olması,

Yüksek ısıl iletkenliğe sahip olması,

Korozyona karşı dirençli olması,

İyi kaynaklanabilirlik özelliğine sahip olması,

Bu kalıp özelliklerinin çalışılacak olan mamulün özellikleri ile birlikte göz önüne alınarak optimizasyon yapılır. [13,14].

Paslanmaz çelikler: Paslanmaz çelikler, farklı alaşım elementleri ve bileşimlerle geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Özellikle AISI 4841 ve AISI 410 gibi paslanmaz çelikler, ostenitik ve martensitik yapılarıyla dikkat çeker. Yüksek sıcaklık dayanıklılığına sahip olmaları, özellikle mastör gibi yüksek sıcaklık gerektiren parçalarda tercih edilmelerini sağlar. Ancak ısıl iletkenlikleri düşüktür, bu nedenle özel soğutma sistemleri gerekebilir [14].

Bakır esaslı alüminyum bronz: Bakırın yüksek iletkenliğe sahip olmasından faydalanmak amacıyla tercih edilir. Yüksek ısıl geçirgenlikleri, cam üretim koşullarında avantaj sağlar ve müldebak gibi yüksek devir gerektiren parçalarda kullanılırlar. Corundal GZ, Minox, ABX ve XX ticari olarak bilinen alüminyum bronz türlerdendir [11,14].

Nikel esaslı kalıp alaşımları: Yüksek sertlikleri ve iyi kaynaklanabilirlikleri nedeniyle tercih edilirler. Kabuk kalıp yöntemi ve hassas döküm gibi modern üretim teknikleriyle kullanımları artmıştır. Nikel alaşımları, bor ve krom ilavesiyle sertleştirilebilir ve genellikle çeşitli kalıp parçalarının imalinde kullanılır.

Seramik esaslı kalıp malzemeleri: Metal kalıplara alternatif olarak geliştirilmişlerdir ancak termomekanik gerilimler nedeniyle sınırlı kullanıma sahiptirler. Bazı seramikler, özellikle IS makinelerindeki üretimler için uygun ısıl iletkenlik özellikleri gösterirler.

Dökme demir kalıp malzemeleri: Gri dökme demirler, uzun dayanıklı malzemeler olarak cam üretiminde sıkça kullanılır. Grafit büyüklükleri ve dağılımı, bu malzemelerin kalıp parçalarında önemli bir rol oynar. Küresel grafitli dökme demirler, sınırlı alanlarda kullanılır ve ısıl iletim özellikleri nedeniyle belirli parçalarda tercih edilir. [11].

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ ve ISI GEÇİŞİ YÖNTEMLERİ

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)

Mühendislik uygulamalarında karmaşık yapıların analizi ve tasarımı için yaygın olarak kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. SEY, bir yapıyı oluşturan parçaları, yani sonlu elemanları, matematiksel modeller kullanarak analiz eder. Bu yöntem, gerçek dünya problemlerine yönelik çözümler üretmek için güçlü bir araçtır. SEY'nin temel prensibi, bir yapıyı küçük parçalara bölmek ve her parçayı matematiksel olarak modellemektir. Bu parçalara "sonlu elemanlar" denir. Her bir sonlu elemanın davranışı, elastisite teorisi, ısı transferi, akışkanlar dinamiği veya elektromanyetizma gibi fizik kanunlarına dayalı matematiksel denklemlerle tanımlanır. İlk adım, analiz edilecek yapının matematiksel modelinin oluşturulmasıdır. Yapı, küçük parçalara bölünür ve her bir parça matematiksel bir modelleme ile temsil edilir. Bu parçalar, genellikle üçgensel, dörtgen veya daha karmaşık geometrilere sahip olabilir [18]

3.1.1 Sınır koşulları ve yüklemelerin tanımlanması

Sonraki adım, yapıya etki eden sınır koşullarının ve dış yüklemelerin tanımlanmasıdır. Bu koşullar, yapı üzerindeki gerçek davranışı simüle etmek için gerekli olan sınır ve başlangıç koşullarını sağlar.

3.1.2 Matematiksel formülasyon ve sistem denklemlerinin oluşturulması

Her bir sonlu eleman için, matematiksel modelleme ile ilgili denklemler oluşturulur. Tüm sonlu elemanların matematiksel modellemesi bir araya getirilerek yapıya özgü genel denklemler oluşturulur. Bu denklemler, yapıyı tanımlayan büyük bir matris denklem sistemi şeklinde ifade edilir. Oluşturulan matris denklem sistemi, sayısal hesaplama yöntemleri kullanılarak çözülür. Sonuçlar, yapı üzerindeki gerilme, şekil değişikliği, titreşim karakteristikleri, ısı dağılımı gibi önemli parametreleri içerir. Bu sonuçlar, yapının tasarımının iyileştirilmesi veya gerçek dünya koşullarına göre uyarlanması için kullanılabilir. Mühendisler, SEY kullanarak karmaşık yapıların davranışını daha iyi anlayabilir ve optimize edebilirler. Sonlu Elemanlar Yöntemi,

mühendislik uygulamalarında karmaşık yapıların analizi ve tasarımında güçlü bir araçtır. Doğru bir şekilde uygulandığında, SEY mühendislere gerçek dünya problemlerine yönelik sağlam çözümler sunar. [18]

3.2 Isı Geçişi Yöntemleri

3.2.1 İletim (Kondüksiyon)

İletim, bir malzemenin içindeki moleküllerin veya atomların enerjilerini doğrudan temas yoluyla iletme sürecidir. Fourier'in ısı iletim yasası ile tanımlanır: $q = -k\nabla T$, burada q ısı akısı, k malzemenin termal iletkenliği ve ∇T sıcaklık gradyanıdır. İletim, katıların yanı sıra sıvı ve gazlarda da meydana gelir, ancak en belirgin olarak katılarda gözlemlenir.

3.2.2 Taşınım (Konveksiyon)

Taşınım, bir akışkanın (sıvı veya gaz) hareketi ile ısının taşınması sürecidir. Taşınım, iki bileşene ayrılır: zorlanmış konveksiyon (bir dış kuvvet, örneğin bir fan veya pompa, akışkanı hareket ettirir) ve doğal konveksiyon (yoğunluk farkları nedeniyle akışkanın kendiliğinden hareketi). Newton'un soğuma kanunu ile tanımlanır: $q = hA(T_s - T_\infty)$, burada h taşınım ısı transfer katsayısı, A yüzey alanı, T_s yüzey sıcaklığı ve T_∞ ortam sıcaklığıdır [20].

3.2.3 Işınım (Radyasyon)

Işınım, elektromanyetik dalgalar yoluyla enerji transferidir ve herhangi bir ortam gerektirmez; bu nedenle boşlukta bile gerçekleşebilir. Stefan-Boltzmann yasası ile tanımlanır: $q = \epsilon\sigma T^4$, burada ϵ emisyon katsayısı, σ Stefan-Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Işınım, Özellikle yüksek sıcaklıklarda önemlidir [20].

3.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Isı Geçişi

Sonlu Elemanlar Yöntemi, mühendislik ve fizik problemlerini sayısal olarak çözmek için kullanılan güçlü bir tekniktir. Isı geçişi problemlerinin FEM ile çözülmesi, farklı ısı transfer mekanizmalarının modellenmesini ve analiz edilmesini sağlar.

3.3.1 İletim problemleri

FEM, Fourier'in ısı iletim denklemlerini çözmek için kullanılır. Malzeme içinde sıcaklık dağılımını belirlemek için, alan çeşitli küçük elemanlara bölünür ve bu

elemanlar için denklemler kurulup çözümler. İletim problemi genellikle Laplace veya Poisson denklemleri ile ifade edilir ve FEM ile bu denklemlerin çözümü, karmaşık geometrilerde ve sınır koşullarında bile mümkündür.

3.3.2 Taşınım problemleri

Taşınım problemleri, genellikle akışkan dinamiği ile ilişkilidir ve Navier-Stokes denklemleri ile birlikte ısı transfer denklemleri çözülür. FEM, bu tür çok alanlı problemleri çözmek için uygundur. FEM, taşınım iletim denklemlerini kullanarak, akışkanın hareketi ile birlikte sıcaklık dağılımını da hesaplar.

3.3.3 Işınım problemleri

Işınım, genellikle sınır koşulu olarak modellenir ve FEM, yüzeylerden yayılan radyasyonu hesaplamak için kullanılır. Radyatif ısı transferi problemleri, özellikle yüksek sıcaklıklarda FEM ile daha karmaşık modeller kullanılarak çözülebilir.

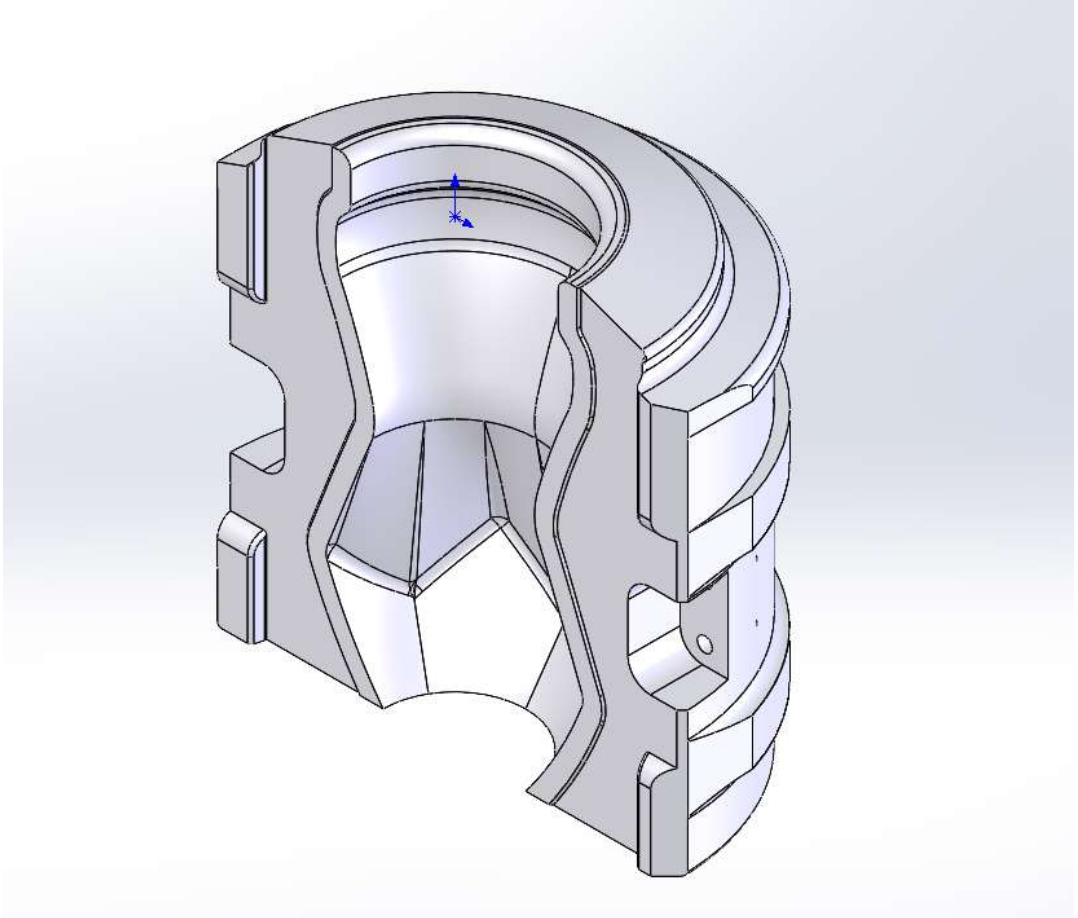


4. MATERYAL VE YÖNTEM

Cam ürün imalatı esnasında kullanılan ilk kalıp ebişör, ikincil (patlatma veya üfleme) kalıp olarak bilinen finişör adlı kalıplar kullanılmaktadır. Ebişör adlı kalıpta mastör ile preslenip parizon adı verilen yarımamül elde edilir. Sonrasında bu yarımamül, yerçekiminin etkisi kullanılarak, kendi ağırlığıyla aşağı sarkarak ürünün cidarlarının incelmelerini sağlar. Finişör adı verilen kalıpta ürün şişirilerek kapeli olarak nihai şeklini alınması sağlanır.

Aşağıdaki sabit üfleme çay bardağı imalatı için tasarlanan finişör kalıbında (Şekil 4.1) sektörde kullanılan yaygın malzemelerin ANSYS programında analizleri yapılmıştır.

Cam sektöründe yaygın kullanılan malzemelerden AISI 1045, AISI 4841, Incolay 825 malzemelerinin Şekil 4.1'deki kalıpta analizleri gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.1: Kalıp tasarımı.

4.1 Analiz Türü ve Mesh Elemanı

Tasarlanan kalıbının (Şekil 4.1) sıcaklık değişiklerini görmek amacıyla ANSYS programı kullanılarak 3 boyutlu termal analiz yapılacaktır. Bu termal analizde kullanılacak mesh elemanı olarak SOLID87 elemanı seçilmiştir.

ANSYS'de SOLID87 elemanı, üç boyutlu yapısal analizlerde kullanılan, düğüm noktalarına sahip (10 düğümlü) bir tetrahedral (dört yüzlü) elemandır. Bu eleman, karmaşık geometrilere sahip modellerde tercih edilir çünkü düzensiz ve karmaşık yüzeyleri iyi temsil ettiği varsayılır.

Avantajları: Karmaşık geometrilere mesh (ağ) oluşturmak kolaydır. Küçük eleman boyutlarıyla yüksek doğruluk sağlar. Hem doğrusal hem doğrusal olmayan analizlere uygundur.

Dezavantajları: Tetrahedral yapısı nedeniyle düzgün olmayan yüzeylerde doğruluk kaybı yaşanabilir. Büyük modellerde hesaplama süresi yüksek olabilir.

ANSYS'te SOLID87 elemanını seçmek için, genellikle komut dosyasında veya grafik arayüzde bu eleman türü seçilir ve ardından ilgili düğüm noktaları ve malzeme özellikleri tanımlanarak analiz gerçekleştirilir.

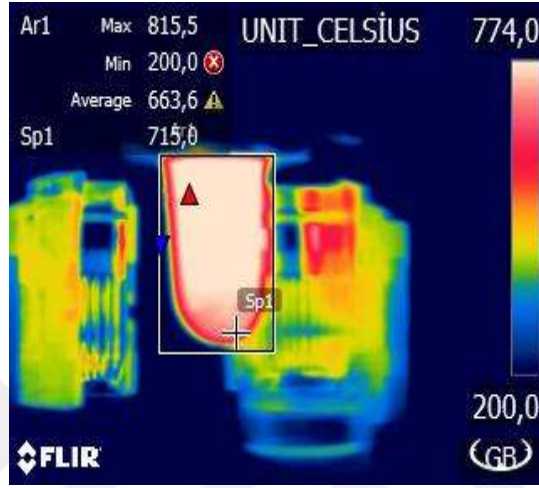
Bu eleman kullanılarak bu tasarım üzerinde toplamda 14497 eleman oluşturulmuştur.

4.2 Sisteme Etki Eden Yükler

Parizon adını verdiğimiz yarımamül'e belirli bir basınçta hava verilerek, finişör kalıbının şeklini alması sağlanır. Parizon şişip finişör kalıbına temas etmesiyle ısı alışverişi başlar. Finişör kalıbının yüksek sıcaklıklara çıkmasını önlemek amacıyla kalıbın bağlı olduğu kalıp kolundaki soğutma portlarından 6 m/s hızda ortalama 300K sıcaklığında soğutma havası üflenmektedir. Bu hava kalıp üzerinden taşınım yoluyla ısı transferi sağlar. Kalıp üzerinde bu havayı alan kısımlar 3 kısım olarak sadeleştirilebilir. Sadeleştirilen bu 3 kısım, kalıp üst yüzeyi, kalıp alt yüzeyi ve kalıp yan alanı olarak tanımlanabilir.

Ayrıca termal kamera ile yapılan ölçümler sonucunda yaklaşık 700 C derece olarak kalıp ile parizonun temas ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de sistem çalışırken termal kamera ile yapılan ölçümler gözlemlenmektedir. Yapılacak olan analizlerde bu değer referans olarak kullanılacaktır.

Kalıp yan alanı hesaplanırken yüzeye paralel akış formüllerinden yararlanır. Kalıp üst çapı ve alt çapı hesaplanırken ise dairesel alana dik akış formülleri kullanılarak hesaplamalar yapılır. Isı taşınım katsayısını bulmak için ilk olarak Reynolds sayısı hesaplanarak akışın laminer veya türbülanslı olup olmadığı belirlenir. Ardından akış türüne göre belirlenen formüllerle Nusselt sayısı hesaplanır. Nusselt sayısı hesaplandıktan sonra ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir.



Şekil 4.2: Termal kamera ile yapılan parizon ölçümleri.

300°K sıcaklıkta ve atmosfer basıncında havanın bazı termodinamik özellikleri;

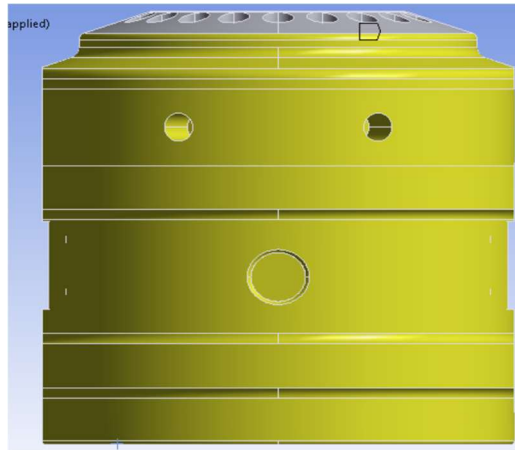
$$\nu = 15,89 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (Kinematik viskozite)}$$

$$k = 0,0338 \text{ W/m}^\circ\text{K} \text{ (Isı iletim katsayısı)}$$

$$\text{Pr} = 0,707 \text{ (Prandtl sayısı)}$$

4.2.1 Kalıp yan alanı

Kalıp yan alanı aşağıdaki Şekil 4.3'teki gibidir.



Şekil 4.3: Kalıp yan alanı.

$D = 0,127m$ olduğunda;

$$Re_D = \frac{u \cdot D}{\nu} \quad (4.1)$$

$$Re_D = \frac{u \cdot D}{\nu} = \frac{6.0 \times 0,127}{15,89 \cdot 10^{-6}} = 47954,688 \quad (4.2)$$

$47954,688 \leq 10^5$ olduğundan akış laminardır. Bu durumda Nusselt sayısı;

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + (0,4/Pr)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \quad (4.3)$$

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 \cdot 47954,688^{\frac{1}{2}} \cdot 0,707^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + (0,4/0,707)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{47954,688}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \cong 151,989 \quad (4.4)$$

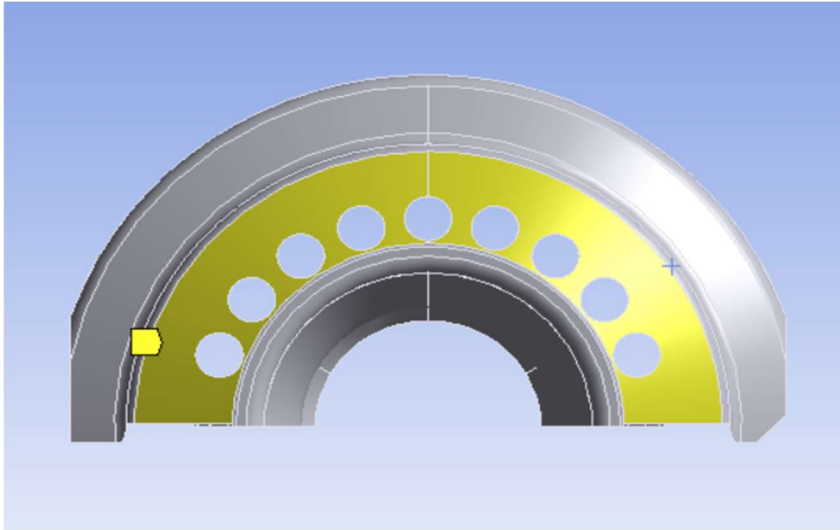
Isı taşınım katsayısı;

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad (4.5)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \Rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{D} = \frac{151,989 \cdot 0,0338}{0,17} = \frac{30,21W}{m^2 K} \quad (4.6)$$

4.2.2 Kalıp üst çap alanı

Kalıp üst çap alanı aşağıdaki Şekil 4.4'teki gibidir.



Şekil 4.4: Kalıp üst çapı.

$x = L = 0,031m$ olduğunda;

$$Re_x = \frac{u_x x}{\nu} \quad (4.7)$$

$$Re_x = \frac{u_x x}{\nu} = \frac{6 \cdot 0,031}{15,89 \cdot 10^{-6}} = 11705,475 \quad (4.8)$$

$23159,22 \leq 10^5$ olduğundan akış laminardır. Bu durumda Nusselt sayısı;

$$Nu = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.9)$$

$$Nu = 0,664 \cdot 11705,475^{\frac{1}{2}} \cdot 0,707^{\frac{1}{3}} = 63,998 \quad (4.10)$$

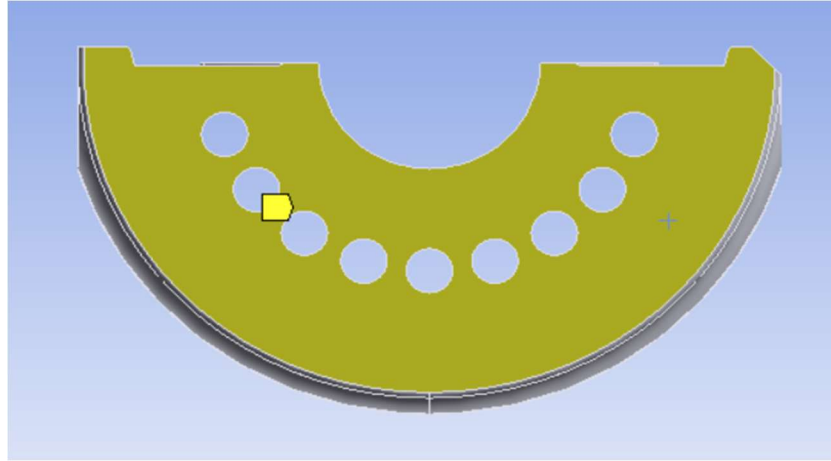
Isı taşınım katsayısı;

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (4.11)$$

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \Rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{63,998 \cdot 0,0338}{0,031} = \frac{69,779 \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (4.12)$$

4.2.3 Kalıp alt çapı

Kalıp alt çap alanı aşağıdaki Şekil 4.5'teki gibi gibidir.



Şekil 4.5: Kalıp alt çapı.

$x = L = 0,0405m$ olduğunda;

$$Re_x = \frac{u_x x}{\nu} \quad (4.13)$$

$$Re_x = \frac{u_x x}{\nu} = \frac{6 \cdot 0,0405}{15,89 \cdot 10^{-6}} = 15292,637 \quad (4.14)$$

$15292,637 \leq 10^5$ olduğundan akış laminierdir. Bu durumda Nusselt sayısı;

$$Nu = 0,664 Re^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.15)$$

$$Nu = 0,664 \cdot 15292,637^{\frac{1}{2}} \cdot 0,707^{\frac{1}{3}} = 73,150 \quad (4.16)$$

Isı taşınım katsayısı;

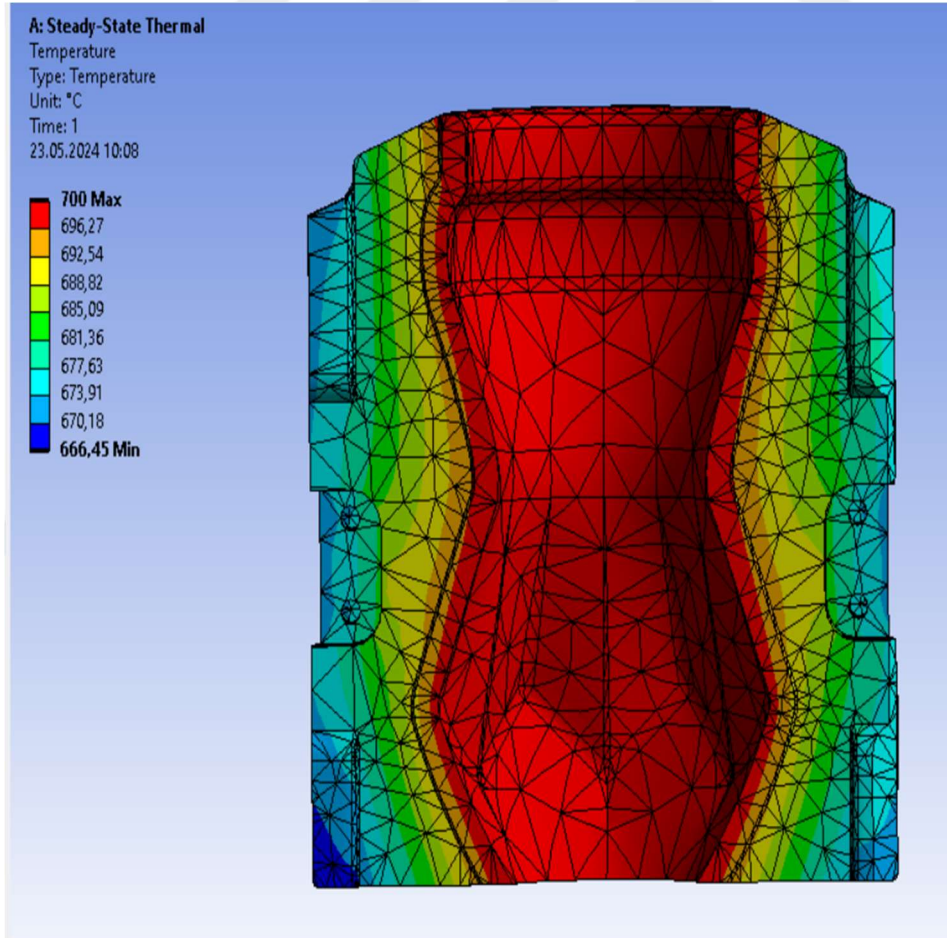
$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (4.17)$$

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \Rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{73,150 \cdot 0,0338}{0,046} = \frac{61,049 \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (4.18)$$

4.3 Malzeme Analizleri

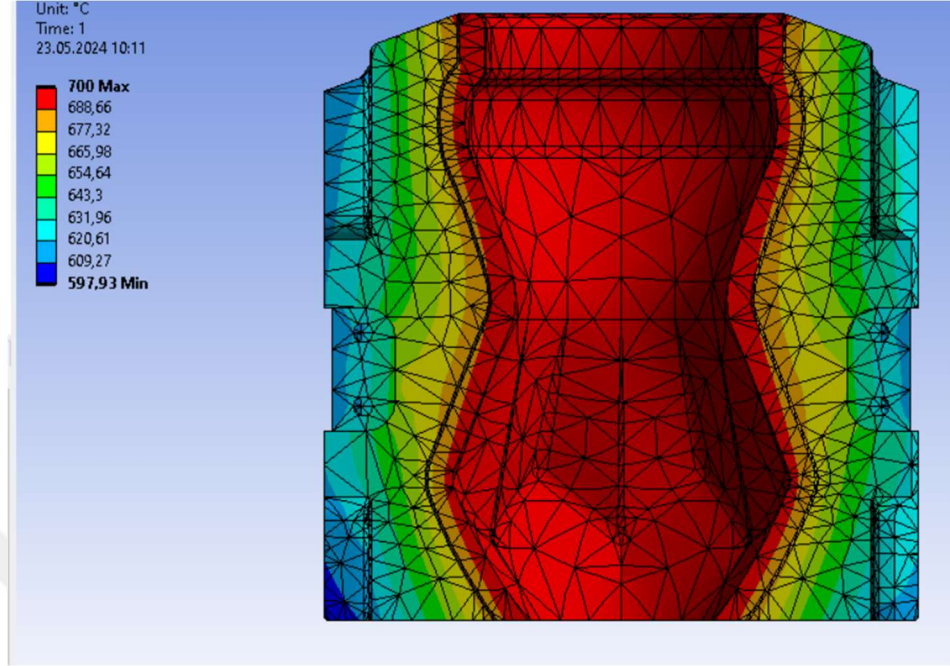
Aşağıda 3 farklı malzeme için yapılan analizler ve sonuçları gözlemlenmektedir.

AISI 1045 malzemesi için yapılan analizler sonucundaki sıcaklık dağılımları Şekil 4.6 da görülmektedir.



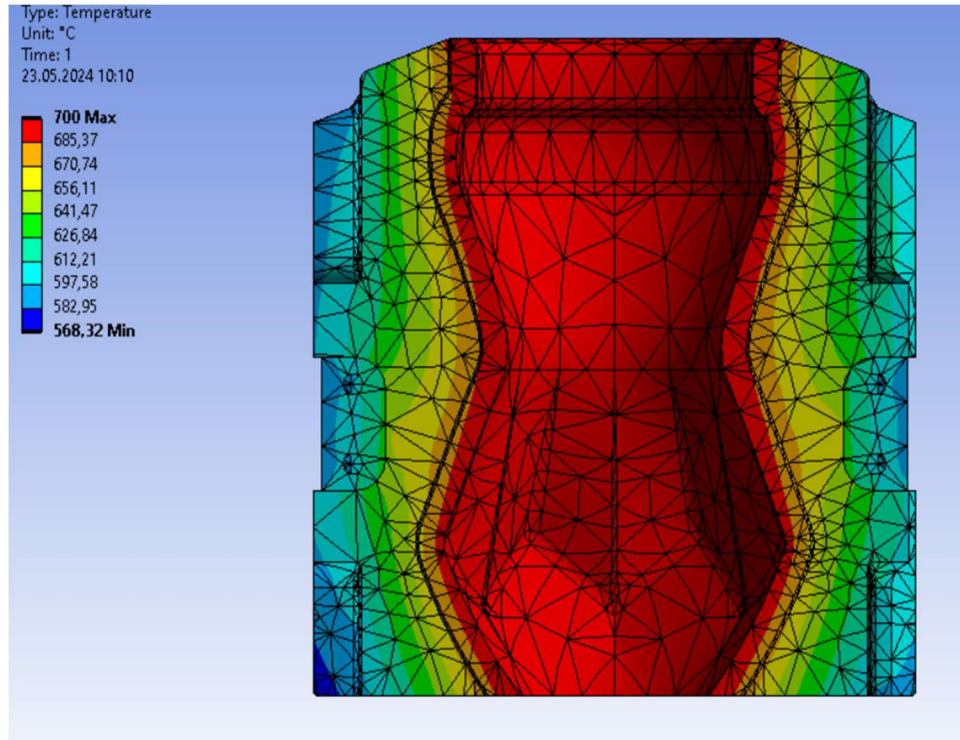
Şekil 4.6: AISI 1045 malzemesi kullanılan kalıbın ANSYS sıcaklık dağılımları.

4841 malzemesi için yapılan analizler sonucundaki sıcaklık dağılımları Şekil 4.7 de görülmektedir.



Şekil 4.7: AISI 4841 malzemesi kullanılan kalıbın ANSYS sıcaklık dağılımları.

Incolay 825 malzemesi için yapılan analizler sonucundaki sıcaklık dağılımları Şekil 4.8 de görülmektedir.



Şekil 4.8: Incolay 825 malzemesi kullanılan kalıbın ANSYS sıcaklık dağılımları.

Çizelge 4.1: Malzeme cinsi ve minimum kalıp sıcaklığı.

Malzeme cinsi	Minimum kalıp sıcaklığı (°C)
AISI 1045	666,45
AISI 4841	597,93
Incolay 825	568,32

Yukarıda Çizelge 4.1 de görüldüğü üzere, analizlerin sonuçlara göre Incolay 825 ve AISI 4841 malzemeleri AISI 1045 malzemesine göre kalıbın daha iyi bir şekilde soğutulmasını sağlamaktadır. Fakat kalıbın daha fazla ve homojen bir şekilde soğutulmasıyla ürün özelliklerinde iyileşme ve üretim hızında artış sağlanabilmektedir. Bu sebepten ötürü yapılan analizler sonucunda cam kalıplarda ideal bir soğutma elde edilmesi için kalıp içinden boydan boya geçecek soğutma kanallarının eklenmesi önerilmektedir.

4.4 Deney Tasarımı

Kalıp içinden geçecek olan bu soğutma kanallarının, delik çapı, delik sayısı ve kalıp merkezine olan uzaklığının sınır koşulları aşağıda verilmiştir.

Tasarım sınırları göz önüne alınarak delik sayısı (a): $3 \leq a \leq 9$, delik çapı (mm): $4 \leq x \leq 8$, kalıp merkezine olan uzaklığı (d): $75 \leq d \leq 90$ olarak soğutma deliklerinin sınır koşulları belirlenmiştir. Aynı zamanda kalıp malzemesi olarak seçilen; Incolay 825, AISI 4841 ve AISI 1045 malzemeleri bu 3 farklı değişkene eklenerek toplamda 4 farklı değişken üzerinden deney tasarlanmalıdır.

Belirlenen değişkenlerden kaynaklanan çok sayıda kombinasyon oluşabilir. Bu kombinasyon sayısını azaltmak için her bir değişkenin sisteme etkisinin ayrı ayrı incelenmesi gerekir. Bu nedenle, herhangi bir değişkenin etkisini değerlendirmek için diğer değişkenler sabit tutularak analizler gerçekleştirilir. Analiz sonuçlarında sistem çıktısında yer alan değişiklikler üzerinden incelenir ve yalnızca incelenen değişkenin sisteme olan etkisi belirlenir. Bu şekilde, deney tasarımıda kullanılacak değişken seviyeleri belirlenir.

4.5 Değişkenlerin Seviyesinin Belirlenmesi

Anova Tablosunun çıkarılabilmesi için değişkenlerin seviyesinin öncelikli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Delik sayısı, deliklerin kalıp merkezlerine olan uzaklığı ve delik çapı değişkenlerinin seviyesi bu kısımda belirlenecektir.

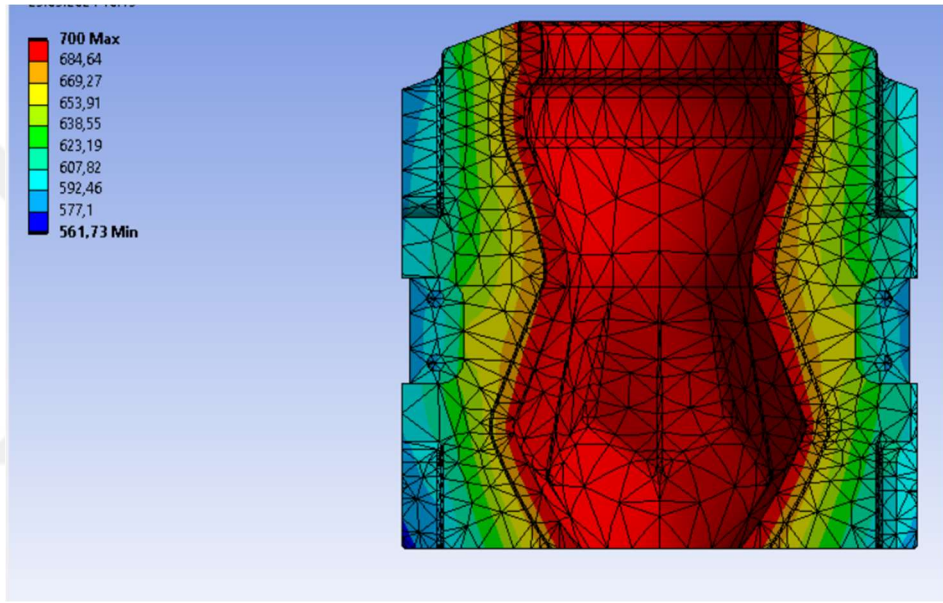
4.5.1 Delik sayısı

Delik çapı: 8mm, deliklerin kalıp merkeze uzaklığı: 90mm ve malzeme olarak incolay 825 malzemesi sabit tutulmuştur.

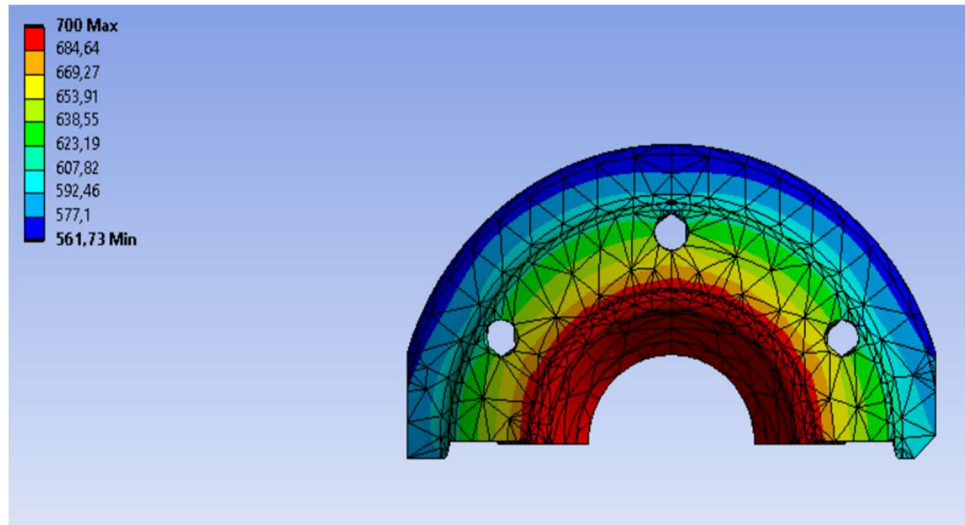
Delik sayısının (a) sınır koşulları ise; $3 \leq a \leq 9$ 'dur. Analiz sonucunda seviyeyi belirlemek için 3 farklı parametre gözlemlenmesi yeterli olacaktır.

Delik sayısı 3,6 ve 9 değerleri kabul edilebilir.

Delik sayısı 3 adet için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.9 kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.10'da ise üstten görünümü verilmiştir.

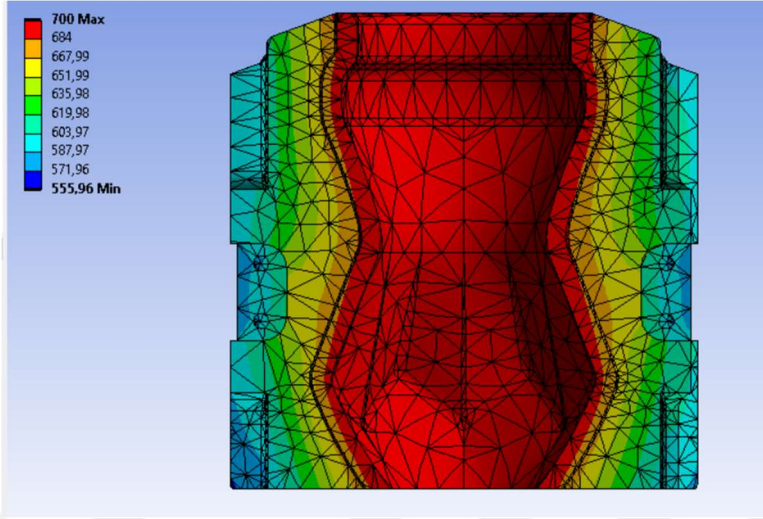


Şekil 4.9: 3 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.

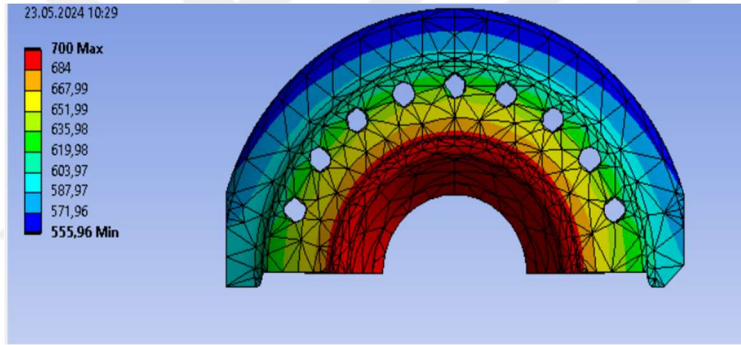


Şekil 4.10: 3 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.

Delik sayısı 6 adet için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.11 kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.12’de ise üstten görünümü verilmiştir.

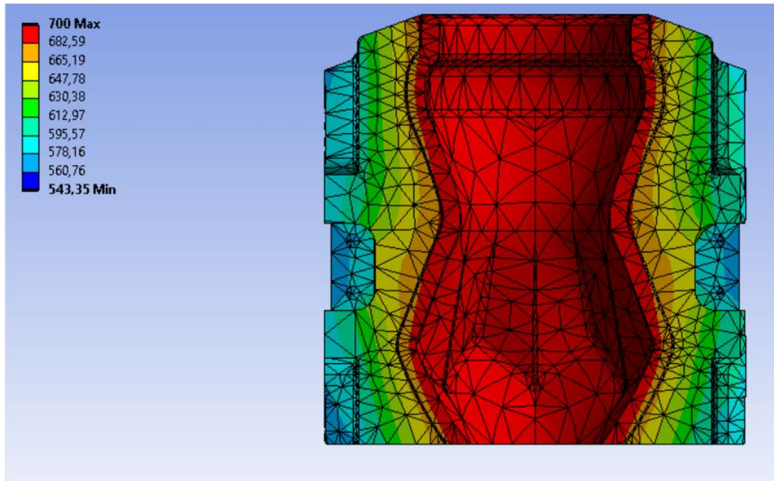


Şekil 4.11: 6 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.

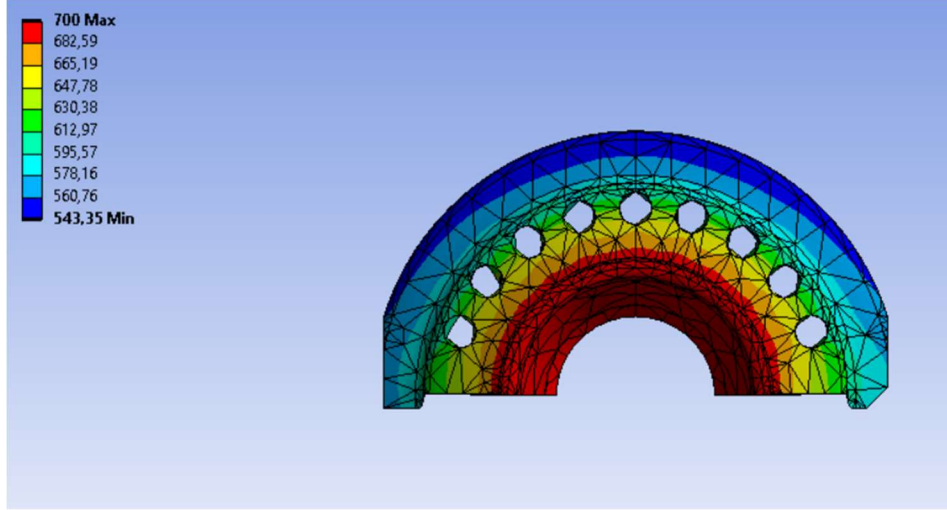


Şekil 4.12: 6 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.

Delik sayısı 9 adet için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.13 kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.14’de ise üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 4.13: 9 delikli kalıbın önden ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.



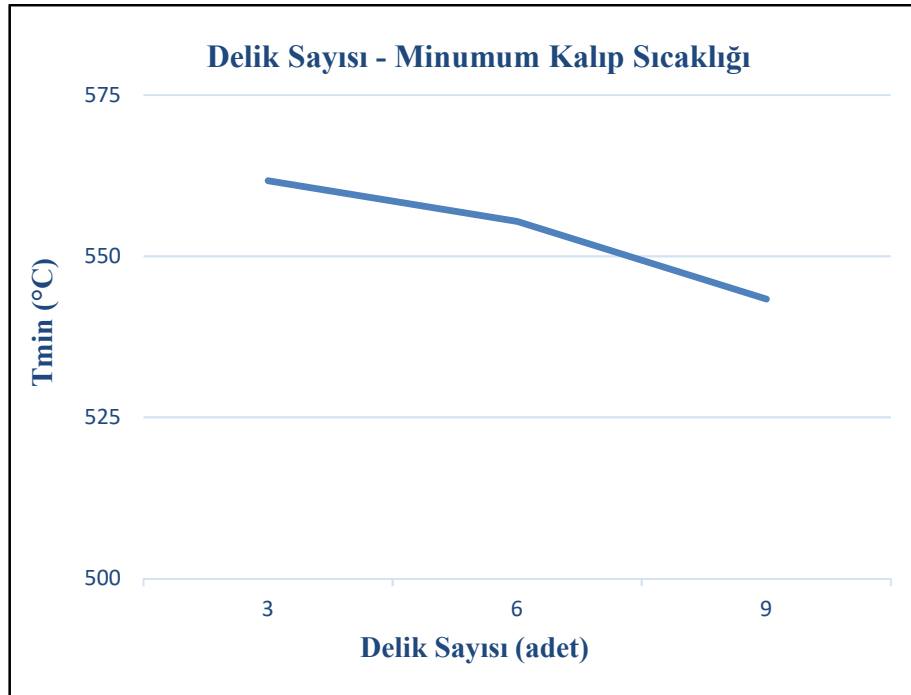
Şekil 4.14: 9 delikli kalıbın üstten ANSYS programındaki sıcaklık dağılımları.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen Çizelge 4.2'deki gibidir.

Çizelge 4.2: Delik sayısı ve minumum kalıp sıcaklığı ilişkisi.

Delik sayısı	Minumum kalıp sıcaklığı (°C)
3	561,73
6	555,44
9	543,35

Oluşturulan grafik Şekil 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.15: Delik sayısı – minumum kalıp sıcaklığı.

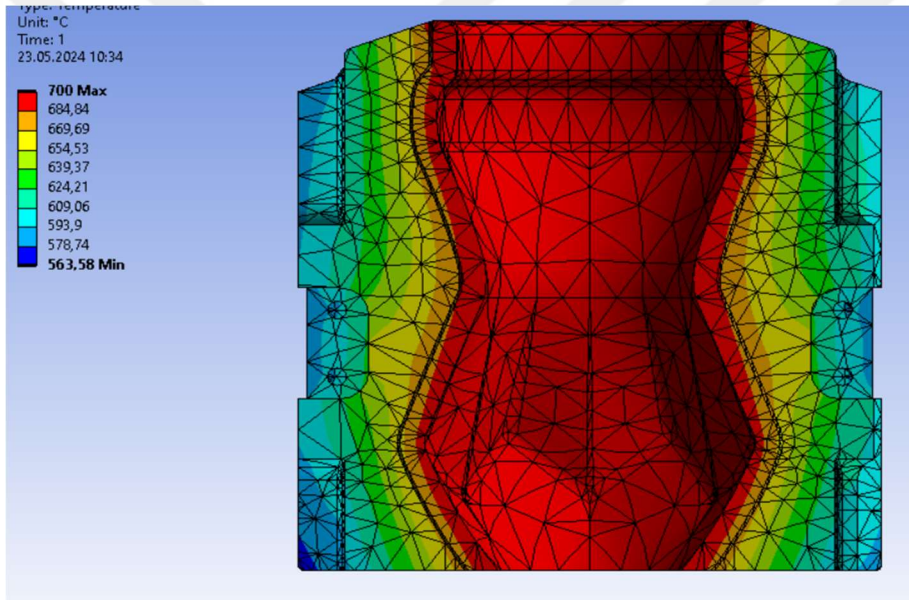
Grafik incelendiğinde sonuç olarak doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Delik sayısı değişkeni 2 seviyeli olarak gözlemlenmektedir. Sınırdaki iki değer alınabilir.

4.5.2 Delik çapı

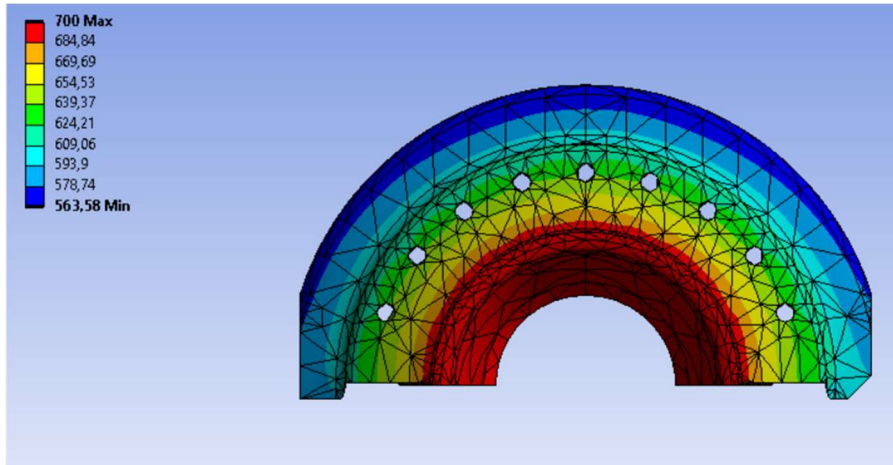
Delik çapının sınır koşulları, delik çapı (mm): $4 \leq x \leq 8$ 'dir. Analiz sonucunda seviyeyi belirlemek için 3 farklı parametre gözlemlenmesi yeterli olacaktır. Bunun için 4mm, 6mm ve 8mm delik çapları parametre olarak ele alınabilir.

Sabit tutulacak değişkenler ise; malzeme olarak Incolay 825, delik sayısı 9, delik merkezinin kalıba uzaklığı 90mm olarak ele alınacaktır.

Delik çapı 4 mm için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.16 kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.17'da ise üstten görünümü verilmiştir.

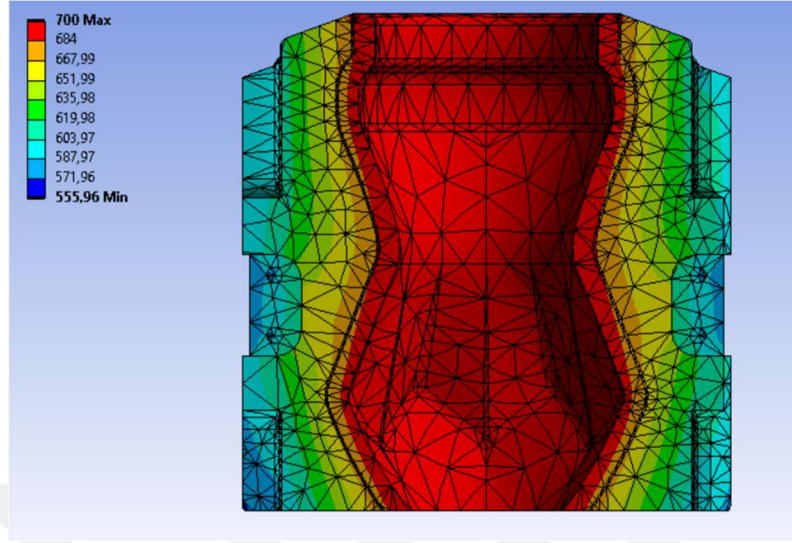


Şekil 4.16: 4 mm çapta delikli kalıbın önden sıcaklık dağılımları.

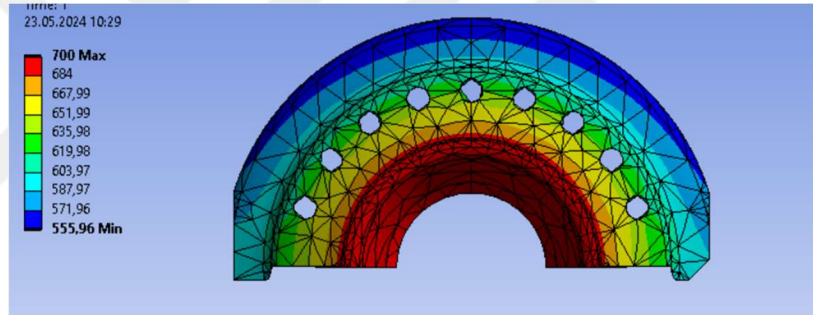


Şekil 4.17: 4 mm çapta delikli kalıbın üstten sıcaklık dağılımları.

Delik çapı 6 mm için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.18'te kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.19'da ise üstten görünümü verilmiştir.

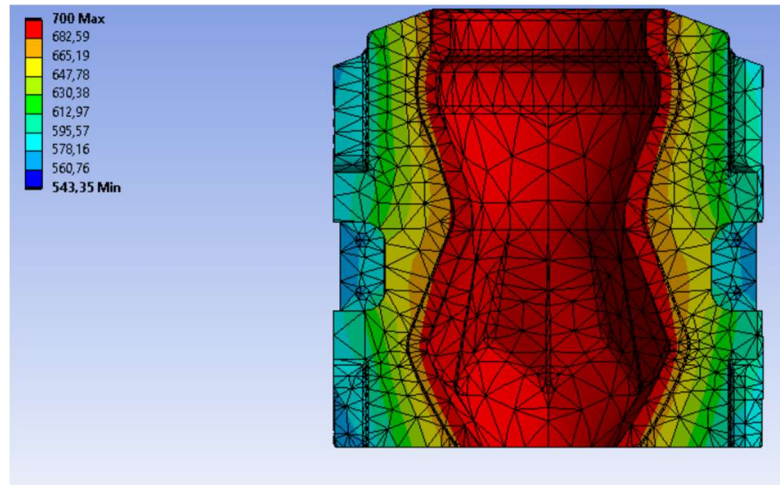


Şekil 4.18: 6 mm çapta delikli kalıbın önden ANSYS sıcaklık dağılımları.

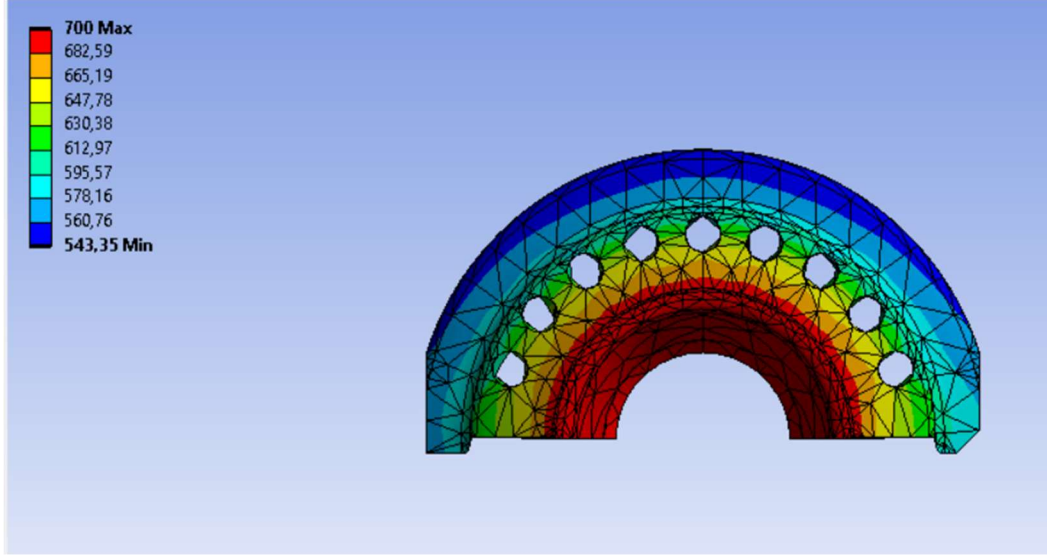


Şekil 4.19: 6 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.

Delik çapı 8 mm için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.20'de kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.21'de ise üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 4.20: 9 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.



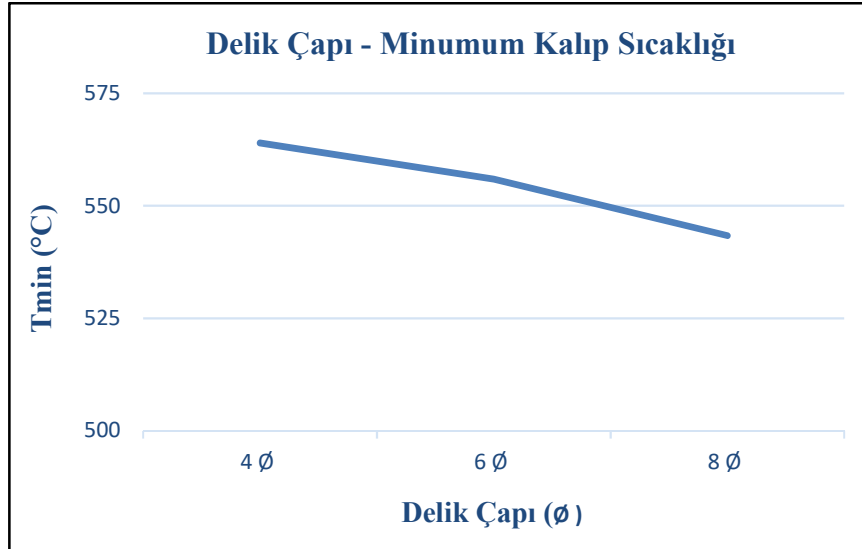
Şekil 4.21: 9 mm çapta delikli kalıbın üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.

Yapılan analizler delik çapına ait Çizelge 4.3'teki gibidir.

Çizelge 4.3: Delik çapı ve minumum kalıp sıcaklığı ilişkisi.

Delik çapı	Minumum kalıp sıcaklığı (°C)
4 Ø	563,96
6 Ø	555,96
8 Ø	543,35

Oluşturulan grafik Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22: Delik çapı-minumum kalıp sıcaklığı.

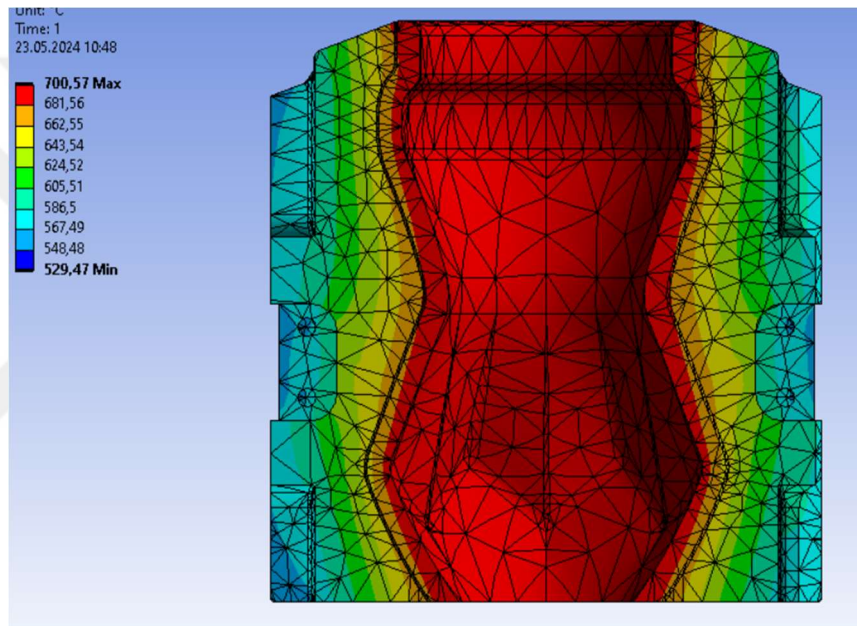
Grafik incelendiğinde sonuç olarak doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Delik çapı değişkeni 2 seviyeli olarak gözlemlenmektedir. Sınırdaki iki değer alınabilir.

4.5.3 Deliklerin kalıp merkezine uzaklığı

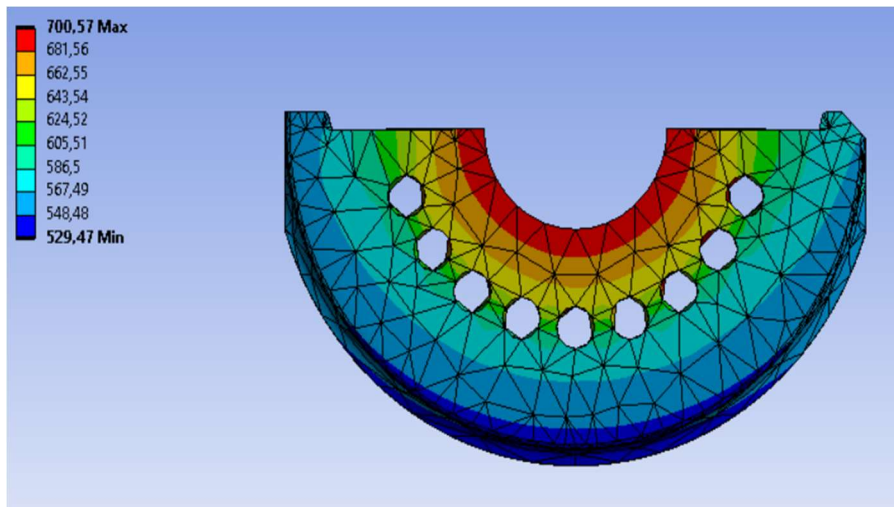
Deliklerin kalıp merkezine uzaklığının sınır koşulları, kalıp merkezine olan uzaklığı (d): $75 \leq d \leq 90$ 'dır. Analiz sonucunda seviyeyi belirlemek için 3 farklı parametre gözlemlenmesi yeterli olacaktır. Bunun için 75mm, 82,5mm ve 90mm uzaklıkları parametre olarak ele alınabilir.

Sabit tutulacak değişkenler ise; malzeme olarak Incolay 825, delik sayısı 9, delik çapı 8mm olarak ele alınacaktır.

75 mm kalıp merkezine uzaklık için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.23'de kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.24'de ise üstten görünümü verilmiştir.

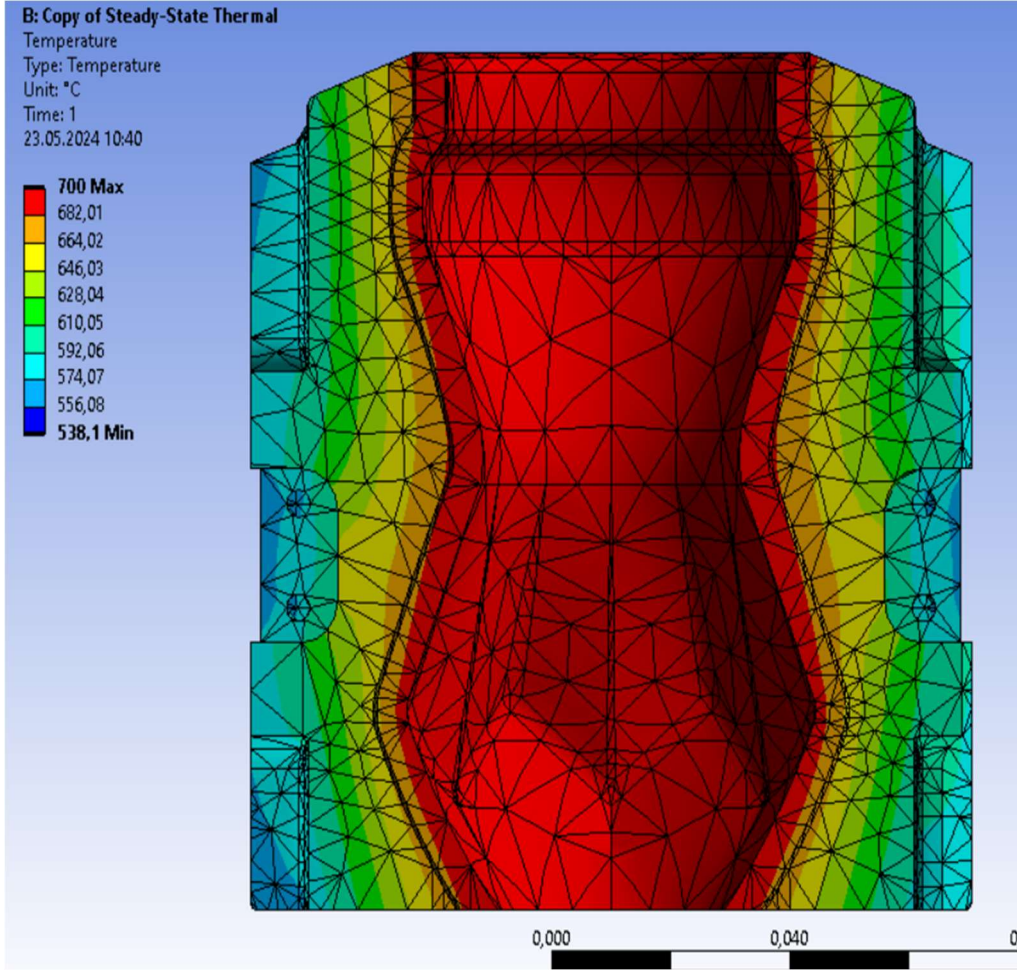


Şekil 4.23: Kalıp merkezine uzaklık 75 mm için önden ANSYS sıcaklık dağılımları.

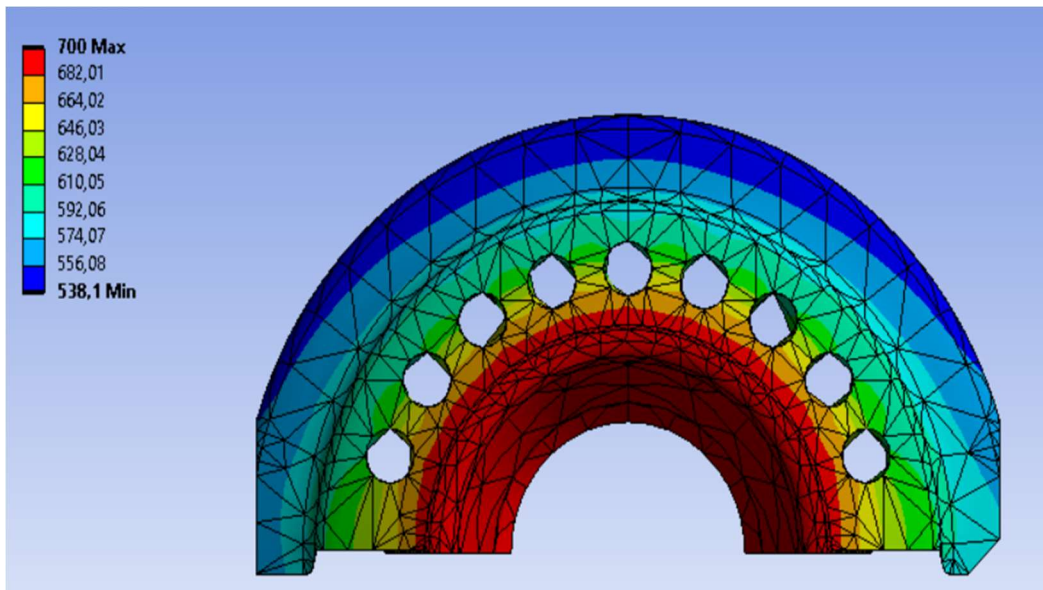


Şekil 4.24: Kalıp merkezine uzaklık 75 mm için üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.

82,5 mm kalıp merkezine uzaklık için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.25'te kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.26'da ise üstten görünümü verilmiştir.

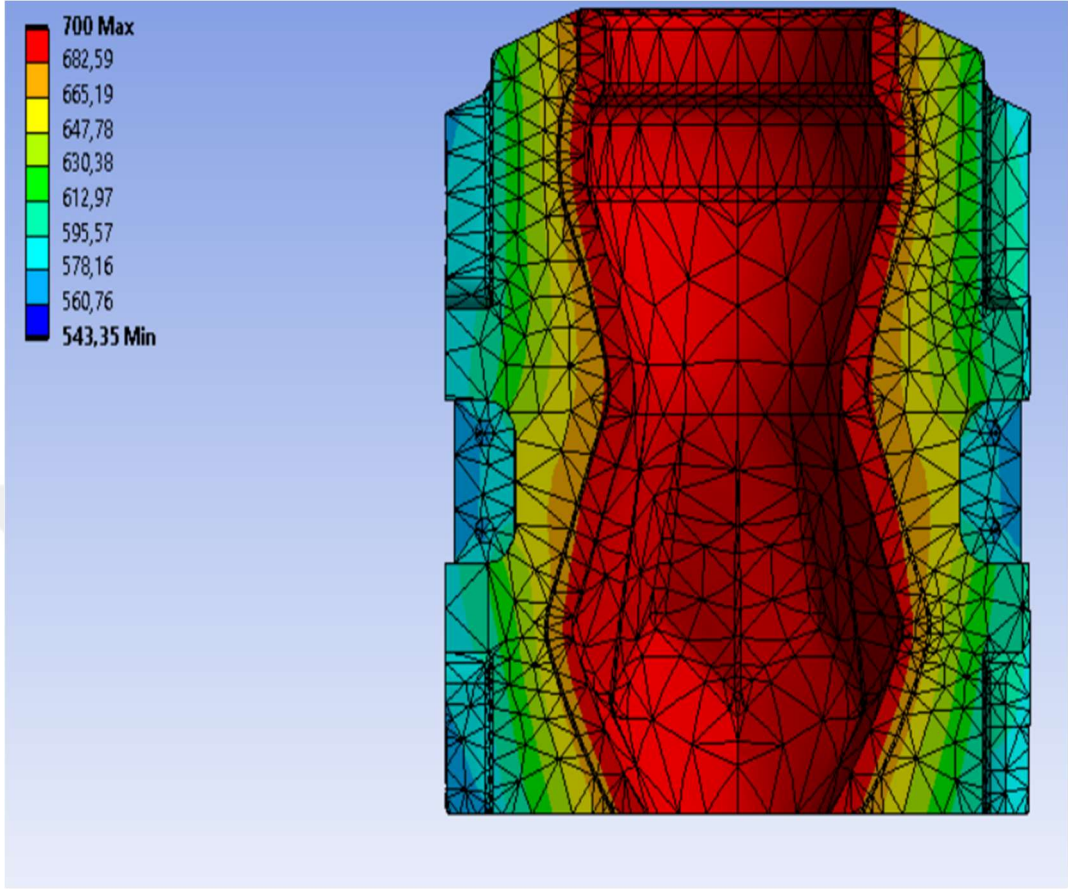


Şekil 4.25: Kalıp merkezine uzaklık 82,5 mm için önden ANSYS sıcaklık dağılımları.

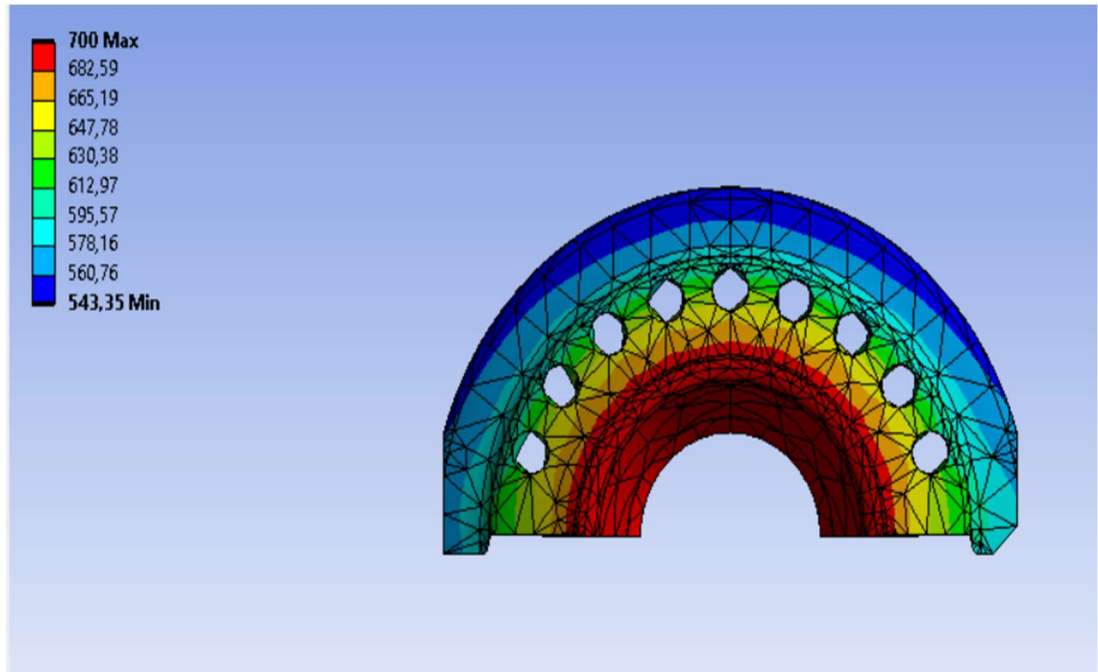


Şekil 4.26: Kalıp merkezine uzaklık 82,5 mm için üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.

90 mm kalıp merkezine uzaklık için ANSYS programındaki sıcaklık dağılımı Şekil 4.27’de kalıpta önden görünüşü ve Şekil 4.28’te ise üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 4.27: Kalıp merkezine uzaklık 90 mm için önden ANSYS sıcaklık dağılımları.



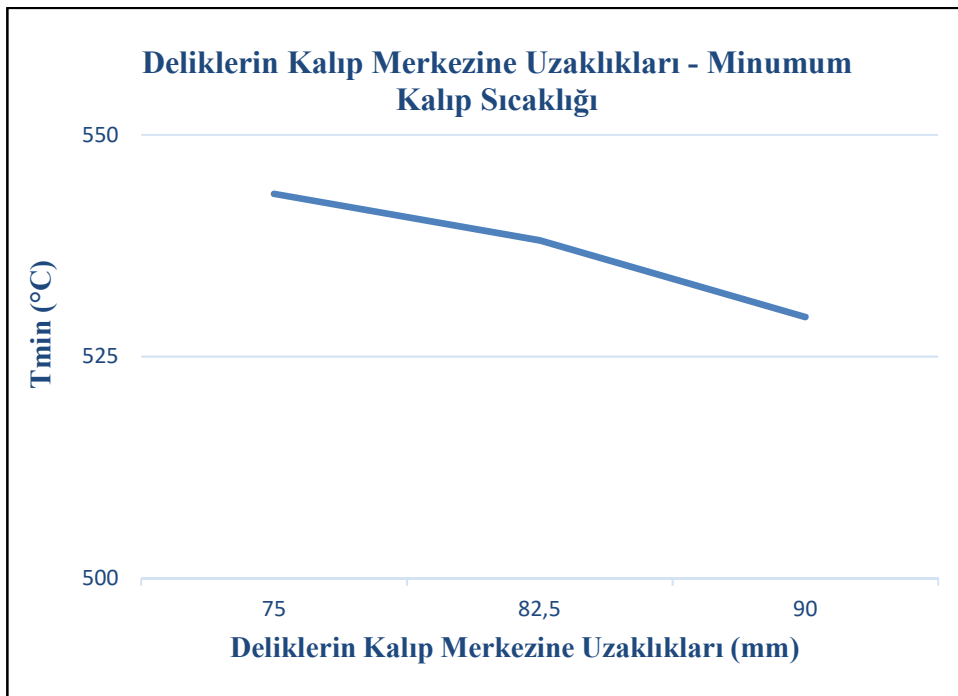
Şekil 4.28: Kalıp merkezine uzaklık 90 mm için üstten ANSYS sıcaklık dağılımları.

Yapılan analizler delik çapına ait Çizelge 4.4'teki gibidir.

Çizelge 4.4: Deliklerin kalıp merkezine uzaklıkları ve min. kalıp sıcaklığı ilişkisi.

Deliklerin kalıp merkezine uzaklıkları (mm)	Minumum kalıp sıcaklığı (°C)
75	543,35
82,5	538,1
90	529,47

Oluşturulan grafik Şekil 4.29'da görülmektedir.



Şekil 4.29: Kalıp merkezine uzaklık – minumum kalıp sıcaklığı.

Grafik incelendiğinde sonuç olarak doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Kalıp merkezine uzaklık değişkeni 2 seviyeli olarak gözlemlenmektedir. Sınırdaki iki değer alınabilir.

4.6 Değişken Seviyelerinin Hesaplanması

Malzeme türü için 3. seviye, delik sayısı için 2. seviye, delik çapı için 2. seviye, deliklerin kalıp merkezine uzaklıkları için 2. Seviye olarak bulunmuştur.

Deney tasarımı için 3x2x2x2 adet toplamda 24 adet deney kombinasyonu gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kombinasyon sayısı görece az olduğundan tam faktöriyel olarak deney tasarımı gerçekleştirilmiştir.

4.7 Analiz Sonuçları

ANSYS programında yapılan deney kombinasyonları sonucu elde edilen değerleri ve parametreleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5: Analiz sonuçlarından elde edilen minimum kalıp sıcaklıkları.

Analiz No:	Malzeme Türü	Delik Çapı (Ø)	Delik Sayısı (a)	Kalıp Merkezine Uzaklıkları (d)	Minimum Kalıp Sıcaklığı (°C)
1	incolay 825	4 Ø	3	75 mm	566,63
2	incolay 825	4 Ø	3	90 mm	563,78
3	incolay 825	4 Ø	9	75 mm	552,75
4	incolay 825	4 Ø	9	90 mm	563,68
5	incolay 825	8 Ø	3	75 mm	547,21
6	incolay 825	8 Ø	3	90 mm	561,73
7	incolay 825	8 Ø	9	75 mm	529,47
8	incolay 825	8 Ø	9	90 mm	543,35
9	1045	4 Ø	3	75 mm	666,01
10	1045	4 Ø	3	90 mm	657,18
11	1045	4 Ø	9	75 mm	660,48
12	1045	4 Ø	9	90 mm	665,29
13	1045	8 Ø	3	75 mm	648,47
14	1045	8 Ø	3	90 mm	653,56
15	1045	8 Ø	9	75 mm	649,41
16	1045	8 Ø	9	90 mm	650,26
17	4841	4 Ø	3	75 mm	596,54
18	4841	4 Ø	3	90 mm	594,8
19	4841	4 Ø	9	75 mm	595,6
20	4841	4 Ø	9	90 mm	594,07
21	4841	8 Ø	3	75 mm	577,23
22	4841	8 Ø	3	90 mm	566,48
23	4841	8 Ø	9	75 mm	565,64
24	4841	8 Ø	9	90 mm	570,95

Sonuç olarak 7 numaralı analiz sonucu oluşan deney kombinasyonunun kalıp için minimum sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir.

Malzeme: Inconel 825, delik çapı: 8mm, delik sayısı: 9, kalıp merkezine uzaklık: 75mm olarak gerçekleştirilmiştir.

4.8 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için SPSS programı kullanılarak sonuçlar üzerinde anlamlı farklılıklar ve korelasyonlar arasındaki ilişkiler gözlemlenmiştir.

İlk olarak analiz sonuçlarındaki data setinin SPSS'e veri girişi yapılmıştır. Şekil 4.30'da gösterildiği üzere toplamda 24 adet veri girişimiz mevcuttur. (Şekil 4.30)

	material	hole	numbe r_of_ho le	distanc e	min_le mpatur e	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	incolay 825	40	3 adet	75 mm	566,63											
2	incolay 825	40	3 adet	90 mm	563,78											
3	incolay 825	40	9 adet	75 mm	552,75											
4	incolay 825	40	9 adet	90 mm	563,68											
5	incolay 825	80	3 adet	75 mm	547,21											
6	incolay 825	80	3 adet	90 mm	551,73											
7	incolay 825	80	9 adet	75 mm	529,47											
8	incolay 825	80	9 adet	90 mm	543,35											
9	1045	40	3 adet	75 mm	666,01											
10	1045	40	3 adet	90 mm	657,18											
11	1045	40	9 adet	75 mm	660,48											
12	1045	40	9 adet	90 mm	665,29											
13	1045	80	3 adet	75 mm	648,47											
14	1045	80	3 adet	90 mm	653,96											
15	1045	80	9 adet	75 mm	654,41											
16	1045	80	9 adet	90 mm	650,26											
17	4841	40	3 adet	75 mm	596,54											
18	4841	40	3 adet	90 mm	594,80											
19	4841	40	9 adet	75 mm	595,60											
20	4841	40	9 adet	90 mm	594,07											
21	4841	80	3 adet	75 mm	577,23											
22	4841	80	3 adet	90 mm	566,48											
23	4841	80	9 adet	75 mm	565,64											
24	4841	80	9 adet	90 mm	570,96											
25																
26																
27																
28																

Şekil 4.30: SPSS programındaki data görünümü arayüzü.

Veri setinin girişi yapıldıktan sonra değişkenler tanımlanmıştır. (Şekil 4.31)

Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1 material	Numeric	8	2	Malzeme türü	(1,00, incol...	None	11	Right	Nominal	Input
2 hole	Numeric	8	2	delik çapı	(1,00, 40)	None	8	Right	Ordinal	Input
3 number_of_holes	Numeric	8	2	delik sayısı	(1,00, 3 ade...	None	8	Right	Ordinal	Input
4 distance	Numeric	8	2	kalıp merkezine...	(1,00, 75 m...	None	8	Right	Ordinal	Input
5 min_temperature	Numeric	8	2	minimum sıcak...	(1,00, 75 m...	None	8	Right	Scale	Input
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										

Şekil 4.31: SPSS programındaki değişken görünümü arayüzü.

Data setimizdeki tek bağımlı değişken sıcaklık parametresidir. Bağımsız değişkenlerimiz ise malzeme türü, delik çapı, delik sayısı ve deliklerin kalıp merkezine uzaklıklarıdır. Bağımsız değişkenlerimizden malzeme türü 3 gruptan, diğer bağımsız değişkenlerimiz ise 2 gruptan oluşmaktadır.

Öncelikleri gruplara ait ortalama değerler ve standart sapmalar belirlenmesi gerekmektedir. SPSS programında means seçeneğinden ortalama değerler ve standart sapmalar gözlemlenmektedir.

Aşağıda Çizelge 4.6’da minimum malzeme sıcaklığına göre malzeme türüne ait ortalama ve standart sapma dağılımları gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.6: Malzeme türüne ait standart sapma ve ortalama değerleri.

Malzeme türü	Ortalama	N	Standart sapma
incolay 825	553,5750	8	12,92829
1045	656,9575	8	6,53302
4841	582,6638	8	13,91683
Total	597,7321	24	45,82619

Çizelge 4.6 da görülebileceği üzere en düşük sıcaklık ortasına sahip malzeme incolay 825 adlı malzeme olmuştur.

Aşağıda Çizelge 4.7’de ise minimum malzeme sıcaklığına göre delik çapına ait ortalama ve standart sapma dağılımları gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.7: Delik çaplarına ait standart sapma ve ortalama değerleri.

Delik Çapı (Ø)	Ortalama	N	Standart sapma
4 Ø	606,4008	12	43,82457
8 Ø	589,0633	12	48,02543
Total	597,7321	24	45,82619

Çizelge 4.7’de görülebileceği üzere analizde büyük çapa sahip olan kalıpların minimum kalıp sıcaklıklarının düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Aşağıda Çizelge 4.8’de ise minimum malzeme sıcaklığına göre delik sayısına ait ortalama ve standart sapma dağılımları gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.8: Delik ait standart sapma ve ortalama değerleri.

Delik Sayısı (a)	Ortalama	N	Standart sapma
3	599,9683	12	43,90358
9	595,4958	12	49,52330
Total	597,7321	24	45,82619

Çizelge 4.8’de görülebileceği üzere analizde fazla delik sayısına sahip olan kalıpların minimum kalıp sıcaklıklarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

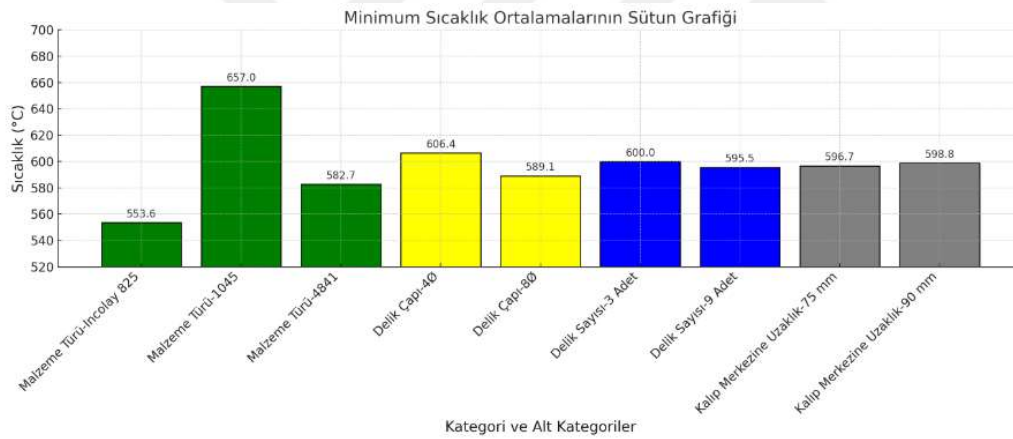
Aşağıda Çizelge 4.9’de ise minimum malzeme sıcaklığına göre deliklerin kalıp merkezlerine uzaklıklarına ait ortalama ve standart sapma dağılımları gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.9: Kalıp merkezine uzaklıklara göre standart sapma ve ortalama değerleri.

Kalıp Merkezine Uzaklıkları (d)	Ortalama	N	Standart sapma
75 mm	596,7063	12	48,64745
90 mm	598,7321	12	44,96786
Total	597,7321	24	45,82619

Çizelge 4.9’da görülebileceği üzere analizde kalıp merkezine uzaklık azaldıkça minimum kalıp sıcaklıklarının biraz daha azaldığını söylemek mümkündür.

Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ait minimum kalıp sıcaklıkları ve grupların oluşum şekli Şekil 4.32’deki gibidir.



Şekil 4.32: Ortalama değerlere ait sütun grafiği.

Yapacağımız analiz türünü belirlemek için sistemin normal dağılıma sahip olup olmadığı belirlenmelidir. Bu sebeple aşağıdaki normallik testleri %5 hata payı ile hesaplanmıştır. Normal dağılıma sahip olmadığı SPSS’te yapılan normallik testinde Sig. değerleri 0,05 değerinden büyük olması durumunda data setimizin normal dağılıma sahip olmadığı, aksi durumda ise normal dağılıma sahip olduğu kabul edilebilir.

Malzeme türü için yapılan normallik testinin sonuçlarına göre AISI 1045 ve Incolay 825 malzemelerinin normal dağılıma sahip olmadığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.33). Şekil 4.35’te görüleceği üzere 1045 ve incolay 825 malzemeleri için Sig. değerleri 0,05’ten büyüktür.

Tests of Normality							
	Malzeme türü	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
minimum sıcaklık	incolay 825	,236	8	,200*	,894	8	,254
	1045	,152	8	,200*	,937	8	,586
	4841	,294	8	,041	,805	8	,032

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.33: Malzeme türü normallik testi.

Delik çapı için yapılan normallik testinin sonuçlarına göre normal dağılım gösterilmektedir. (Şekil 4.34).

Tests of Normality							
	delik çapı	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
minimum sıcaklık	4Ø	,256	12	,029	,839	12	,027
	8Ø	,264	12	,021	,820	12	,016

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.34: Delik çapı normallik testi.

Delik sayısı için yapılan normallik testinin sonuçlarına göre kalıbın 9 adet delik sayısına sahip olması durumunda normal dağılıma sahip olmadığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.35).

Tests of Normality							
	delik sayısı	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
minimum sıcaklık	3 adet	,199	12	,200*	,849	12	,036
	9 adet	,199	12	,200*	,883	12	,097

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.35: Delik sayısı normallik testi.

Deliklerin kalıp merkezlerine uzaklığı için yapılan normallik testinin sonuçlarına 75mm uzaklığa sahip olduğu grupta normal dağılıma sahip olmadığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.36).

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	kalıp merkezine uzaklık	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
minimum sıcaklık	75 mm	,190	12	,200*	,896	12	,142
	90 mm	,232	12	,074	,839	12	,027

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Şekil 4.36: Deliklerin kalıp merkezlerine uzaklıkları normallik testi.

Bu bilgiler ışığında analiz yönteminin seçimine karar verebiliriz. Analiz grubumuzda 1 adet bağımlı değişkenimiz, 4 adet bağımsız değişkenimiz bulunmaktadır. Bağımsız değişkenlerimizden biri 3 gruplu (malzeme türü) diğerleri ise 2'şer gruptan oluşmaktadır. Normallik analizi sonucunda normallik durumunu bozan toplam 4 adet grubumuz bulunmaktadır. Veri setimizde ise toplam 24 farklı data seti bulunmaktadır. Analizi en iyi şekilde temsil edebilecek non-parametrik bir yöntem olan Kruskal-Wallis yöntemidir. Bu yöntem bize bağımsız parametreler arasında anlamlı farklılık olup-olmadığı hakkında bilgi verir. Eğer 'Sig.' değeri, %5'ten küçükse anlamlı bir farklılık olduğu söylenebilir. Yapılan testlerin sonucunda Malzeme türü için anlamlı farklılık gösterildiği (Şekil 4.37) diğer parametreler içinse anlamlı farklılık gözlemlenmediği tespit edilmiştir.

Nonparametric Tests

[DataSet1] C:\Users\Mehmet Umut Sengul\Documents\krukel varri.sav

Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of minimum sıcaklık is the same across categories of Malzeme türü.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	<,001	Reject the null hypothesis.

a. The significance level is ,050.

b. Asymptotic significance is displayed.

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

minimum sıcaklık across Malzeme türü

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary	
Total N	24
Test Statistic	19,860 ^a
Degree Of Freedom	2
Asymptotic Sig. (2-sided test)	<,001

a. The test statistic is adjusted for ties.

Şekil 4.37: Kruskal-Wallis Testi malzeme türü.

Bu analizin sonucunda veri setinde malzeme türü parametresinin, min. kalıp sıcaklığı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu söylenebilir.

4.9 Korelasyon İlişkilerinin Değerlendirilmesi

SPSS programında non-parametrik korelasyon analizi yapılarak minimum sıcaklık ile diğer bağımsız parametreler karşılaştırılmıştır. Malzeme türü ile minimum sıcaklık arasındaki ilişkinin orta-zayıf bir etkileşim olduğunu belirlenmiştir (Şekil 4.38).

Nonparametric Correlations

		Correlations					
			minimum sıcaklık	Malzeme türü	delik çapı	delik sayısı	kalıp merkezine uzaklık
Spearman's rho	minimum sıcaklık	Correlation Coefficient	1,000	,442*	-,301	-,084	-,024
		Sig. (2-tailed)	.	,030	,153	,695	,911
		N	24	24	24	24	24
Malzeme türü		Correlation Coefficient	,442*	1,000	,000	,000	,000
		Sig. (2-tailed)	,030	.	1,000	1,000	1,000
		N	24	24	24	24	24
delik çapı		Correlation Coefficient	-,301	,000	1,000	,000	,000
		Sig. (2-tailed)	,153	1,000	.	1,000	1,000
		N	24	24	24	24	24
delik sayısı		Correlation Coefficient	-,084	,000	,000	1,000	,000
		Sig. (2-tailed)	,695	1,000	1,000	.	1,000
		N	24	24	24	24	24
kalıp merkezine uzaklık		Correlation Coefficient	-,024	,000	,000	,000	1,000
		Sig. (2-tailed)	,911	1,000	1,000	1,000	.
		N	24	24	24	24	24

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Şekil 4.38: Non-parametrik korelasyon.

Ancak sistemin non-parametrik bir sistem olması dolayısıyla bağımlı değişkenimiz kalıp minimum sıcaklıkları ile diğer bağımsız değişkenlerimiz arasında (delik çapı, delik sayısı ve deliklerin kalıp merkezlerini) olan ilişkileri anlamsız çok zayıf çıkmıştır. Bu ilişkilerin biraz daha linerleştirilerek, aralarındaki ilişkilerin açıklanması adına data setindeki malzeme türü tek bir grup (Incolay825) seçilip tekrar non-parametrik korelasyon analizi yapılmıştır (Şekil 4.39).

Nonparametric Correlations

		Correlations				
			minimum sıcaklık	delik çapı	delik sayısı	kalıp merkezine uzaklık
Spearman's rho	minimum sıcaklık	Correlation Coefficient	1,000	-,764*	-,546	,218
		Sig. (2-tailed)	.	,027	,162	,604
		N	8	8	8	8
delik çapı		Correlation Coefficient	-,764*	1,000	,000	,000
		Sig. (2-tailed)	,027	.	1,000	1,000
		N	8	8	8	8
delik sayısı		Correlation Coefficient	-,546	,000	1,000	,000
		Sig. (2-tailed)	,162	1,000	.	1,000
		N	8	8	8	8
kalıp merkezine uzaklık		Correlation Coefficient	,218	,000	,000	1,000
		Sig. (2-tailed)	,604	1,000	1,000	.
		N	8	8	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Şekil 4.39: Linerleştirilmiş non-parametrik korelasyon.

Bu korelasyon analizi sonucunda delik çapı artıkça, minumum kalıp sıcaklığının azaldığı, yüksek bir ilişki ile gözlemlenmiştir. Delik sayısı artıkça, minumum kalıp sıcaklığının azaldığı, orta büyüklükte bir ilişki ile gözlemlenmiştir. Deliklerin kalıp merkezine uzaklığı artıkça, minumum sıcaklığın arttığı zayıf bir ilişki ile tespit edilmiştir.



5. UYGULAMALAR

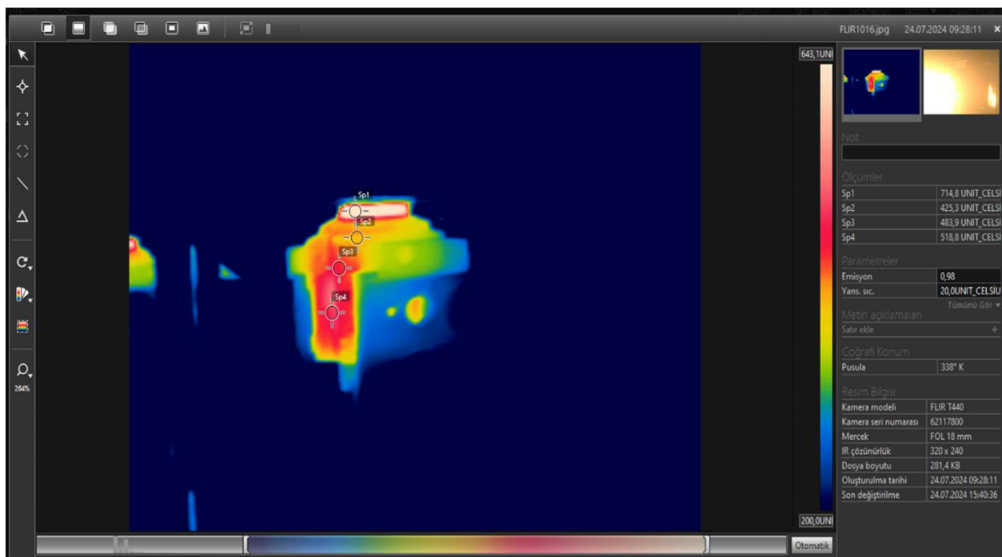
ANSYS programı kullanılarak yapılan analizlerin gerçek bir sistemi ne derece doğru temsil ettiğini gözlemlemek amacıyla termal kamera ile gözlemler yapılmıştır.

18 kollu H-28 makinasının 1, 2 ve 3 numaralı kollarına 4841 malzemesinden imal edilen orijinal kalıplar (soğutma deliği açılmamış) yerleştirilmiştir. 9, 10 ve 11 numaralı makine kollarına ise aynı malzemeden imal edilen boydan boya 9 adet, 8mm çaplı, kalıp merkezine 75mm uzaklıkta olan soğutma delikleri açılmıştır (Şekil 5.1). Analiz sonuçları ve termal kameradan elde edilen görüntüler karşılaştırılmıştır.



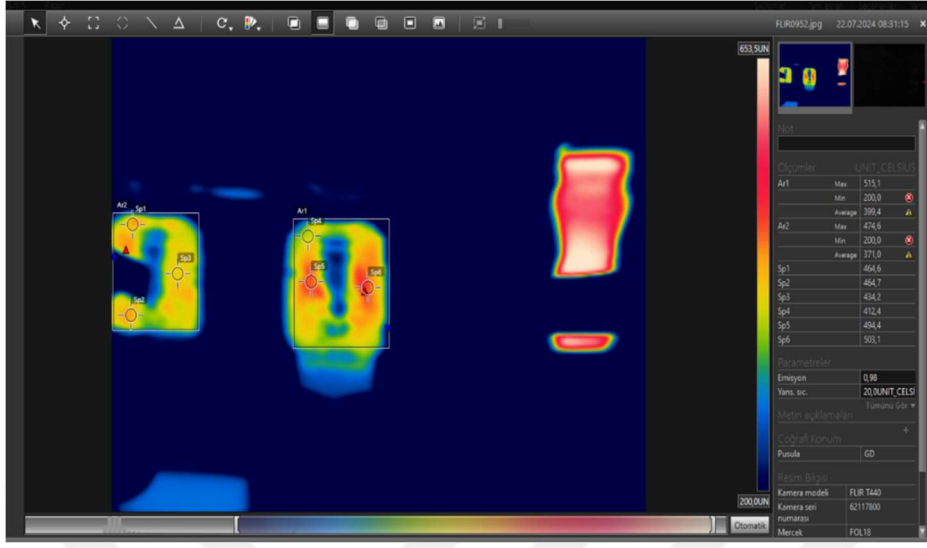
Şekil 5.1: Delik açılmış kalıbın üstten görünümü.

İlk olarak, termal kamera ile kapalı bir koldaki sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir (Şekil 5.2).



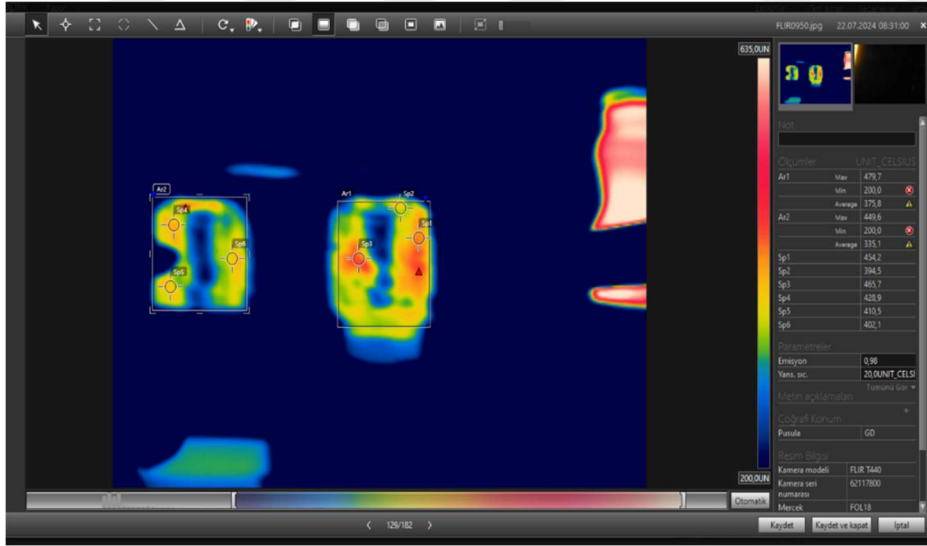
Şekil 5.2: Termal kamera ile kapalı kolda gözlemlenen kalıp sıcaklık değerleri.

Şekil 5.3'te delik açılmamış AISI 4841 malzemesine ait kalıbın sıcaklık dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.3: Delik açılmamış AISI 4841 malzemesinin sıcaklık dağılımı.

Şekil 5.4'te ise aynı malzemeden 9 adet boydan boyda delik açılmış, 8mm çapta ve kalıp merkezine 75mm uzaklıkta delikleri bulunan kalıba ait sıcaklık dağılımları gözlemlenmektedir.



Şekil 5.4: AISI 4841, 9 delik, 8 çap, 75mm uzaklık.

Termal kamera ile finişör kalıbına yapılan gözlemler ile normal şartlarda ulaşılması gereken finişör kalıp sıcaklıkları arasında bir miktar sapma gözlemlenmiştir. Bunun sebepleri olarak, parizonun yaydığı yüksek ısının, ışıma yapması dolayısıyla termal kamerada ölçülen değerlerin bir miktar sapma göstermesi. Sistemin sürekli çalışmasından kaynaklı bir rejim sıcaklığına oturmuş olmasıdır.

Analiz sonuçları ve termal kameradan elde edilen kalıp sıcaklıkları arasındaki fark Çizelge 5.1'deki gibidir.

Çizelge 5.1: Analiz ve uygulama arasındaki kalıp sıcaklıklarının farkları.

Malzeme	Analiz Kalıp Sıcaklığı (°C)	Uygulama Kalıp Sıcaklığı (°C)
Deliksiz	597,93	515,10
8 çap – 9 delik- 75mm	565,64	479,70

Termal kamera ile yapılan gözlemlerle ANSYS programında bulunan değerler arasında maksimum kalıp sıcaklığı için yaklaşık 15°C'lik bir fark vardır. Bunun sebebi ise parizonun ışıma yaparak sıcaklığı bir miktar saptırması gözlemlenebilir. Minimum kalıp sıcaklığı gerçek sistemde yaklaşık 85°C daha düşük olarak gözlemlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında; kalıp ve kalıp kolu arasındaki ısı geçişinin hesaplanmaya dahil edilmemesi ve tek bir kalıp yarımına göre analiz yapılması gösterilebilir. Sonuç olarak, sisteme etki eden diğer etkiler göz önüne alındığında sistemin doğru bir şekilde temsil edilebildiği gözlemlenmektedir.

Kalite makinalarından alınan bilgilere göre alınan bilgiye göre %1,5 ürün kaybının fark olarak verime yansıdığı belirlenmiştir. Bu farklılığın sebebi ürünün daha homojen ve sağlıklı bir şekilde soğutulmasına olanak sağlanmasıdır. Bu sayede üründe oluşan artık gerilmeler azaltılmış ve çatlak oluşumunun azaldığı gözlemlenmiştir.



6. SONUÇLAR

Cam sektöründe yaygın olarak kullanılan AISI 4841, AISI 1045 ve Inconel 825 gibi kalıp malzemelerinin, cam kalıplarında ısı uzaklaştırma performansları incelenmiştir. Ayrıca, cam kalıplarında sıcaklığı ideal seviyede düşürerek ısı transferini homojenleştirmek ve ürün üzerinde oluşabilecek çatlak gibi hataları azaltmak amacıyla, SOLIDWORKS programı ile soğutma delikleri tasarlanmıştır.

Bu çalışmada farklı değişkenlerin kalıbın soğuma sürecine etkisini analiz etmek için ANOVA yöntemiyle deney tasarımı yapılmıştır. Değişkenler arasında malzeme türü, delik sayısı, delik çapı ve deliklerin kalıp merkezine uzaklığı yer almıştır. Sistemdeki kombinasyon sayısını azaltmak adına her bir değişken ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Malzeme türü üç seviyede, diğer değişkenler (delik çapı, sayısı ve merkez uzaklığı) ise iki seviyede analiz edilmiştir. Bu parametrelerle 24 farklı kombinasyon oluşturulmuş ve tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır.

Termal analizlerde, kalıp ve cam arasındaki ısı iletimi ile kalıp-soğutma havası arasındaki ısı taşınımını dikkate alınmıştır. Soğutma havası ile kalıp arasındaki ısı taşınımını hesaplamak için dairesel yüzeye paralel ve dik akış formülleri kullanılmış; Reynolds sayısı hesaplanarak akış türü belirlenmiş ve akış türüne göre Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısı hesaplanmıştır. ANSYS programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda 24 farklı analiz verisi elde edilmiştir. Elde edilen veriler, non-parametrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Teorik sonuçların gerçek sistemi doğru yansıtmayı yansıtmadığı termal kamera ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.

Tüm bu bilgiler ışığında,

En iyi soğutma performansına sahip malzemenin Incoloy 825 olduğu belirlenmiştir.

Delik çapının büyük olması, kalıptaki minimum sıcaklığı azaltarak olumlu etki yaratmaktadır.

Delik sayısının artması, soğutma performansında sınırlı bir katkı sağlamaktadır.

Merkeze daha yakın delik yerleşiminin, sıcaklık dağılımına olumlu etkisi gözlemlenmiştir.

Bu analizler sonucunda, kalite makinelerinden alınan verilere göre %1,5 oranında bir verim artışı öngörülmektedir. Hedef ürünün devir hızı 80 d/dk olup, yılda iki aylık bir üretim kampanyası olduğu varsayılırsa, yılda 103.680 adet hatalı ürünün yeniden kazandırılabilceği tahmin edilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] ASML. (1945). *Glass standards and ceramic standards - Standards products standards & publications - Products & services.*
- [2] **Url-1** <<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/basakm/71273/cam.pdf>> erişim tarihi: 20 Şubat 2024
- [3] **Url-2** <<https://www.sisecamcamerleri.com/tr/camin-tarihcesi/camin-gelisimi/>>, erişim tarihi: 6 Mart 2024.
- [4] **Ashby, M. F., & Jones, D. R. H.** (2013). *Engineering materials 1: An introduction to properties, applications and design.* Elsevier.
- [5] **Url-3** <<https://avys.omu.edu.tr/public/basakm/cam/>>, erişim tarihi: 12 Mayıs 2024.
- [6] **Alibey, T. (2010).** *Kalıp malzemelerin uygulama alanlarına göre sınıflandırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [7] **Url-4** <<https://labakademi.com/analiz-vialleri-kimyasal-ve-fiziksel-bilesimleri/>>, erişim tarihi: 18 Haziran 2024.
- [8] **Ashby, M. F., & Jones, D. R. H.** (2013). *Engineering materials 1: An introduction to properties, applications and design.* Elsevier.
- [9] **Meyers, M. A., & Chawla, K. K.** (2009). *Mechanical behavior of materials.* Cambridge University Press. Cambridge
- [10] **Richerson, D. W.** (1996). *Modern ceramic engineering: Properties, processing, and use in design.* CRC Press. Utah
- [11] **Soykut, A.** (2007). *Cam şekillendirme makinalarındaki aşınan parçalara uygulanan yüzey işlemlerinin performansa etkileri* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Kuşculuoğlu, S., Yücesoy, D., & Engin, S.** (1993). *Cam teknolojisine giriş I. cilt.* Türkiye Şişe ve Cam A.Ş. Eğitim Müdürlüğü. İstanbul.
- [13] **Kuşculuoğlu, S., Yücesoy, D., & Engin, S.** (1993). *Cam teknolojisine giriş II. cilt.* Türkiye Şişe ve Cam A.Ş. Eğitim Müdürlüğü. İstanbul.
- [14] **Öztop, E.** (2007). *Cam ambalaj sektöründe kullanılan ebişör kalıplarındaki ısıtma deliklerinin optimum tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- [15] **Tartan, Y.** (2022). *Cam kalıplarının ideal soğutulması için sonlu elemanlar yöntemi ile analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Haider, J.** (2017). *Glass in building: Principles, applications, examples.* Birkhäuser. Basel

- [17] **Url-5** <<https://cevresehiriklimkutuphanesi.csb.gov.tr/Books/Book/17789546-529d-4cdc-b4be-4c7411670ec5>>, erişim tarihi: 14 Mayıs 2024.
- [18] **Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z.** (2005). *The finite element method: Its basis and fundamentals*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [19] **Güvel, Ş. B.** (2013). *Refrakter kaynaklı cam hatalarının fırın içerisindeki oluşum yerlerinin tespiti* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Incropera, F. P., & DeWitt, D. P.** (2002). *Introduction to heat transfer* (4th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1115/1.1763164>
- [21] **Reddy, J. N.** (2006). *An introduction to the finite element method* (3rd ed.). McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.1115/1.801666>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Mehmet Umut ŞENGÜL

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İmalat Mühendisliği

