

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



EPS STRAFOR KALIPLARINDA ÜRETİM
VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYRETTİN EKEL

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Kadir GELİŞ

BOLU, TEMMUZ - 2023

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hayrettin EKEL tarafından hazırlanan “**EPS STRAFOR KALIPLARINDA ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI**” adlı tez çalışması jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği/ oy çokluğuyla kabul edilmiştir. 18/07/2023

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

.....

Üye
Prof. Dr. Melik ÇETİN
Karabük Üniversitesi

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İbrahim KÜRTÜL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir,

aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Teze ilişkin 31/07/2023 tarihinde Turnitin adlı intihal tespit programından enstitü müdürlüğünce belirlenen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan benzerlik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 10 olarak tespit edilmiştir.

.....
HAYRETTİN EKEL

ÖZET

**EPS STRAFOR KALIPLARINDA ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN
ARTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HAYRETTİN EKEL
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)
(İKİNCİ DANIŞMAN: DOÇ. DR. KADİR GELİŞ)
BOLU, TEMMUZ - 2023
XV + 101**

EPS (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük) üretim prosesinde polistiren hammaddesi kalıplara iletilmeden önce ön şişirme prosesinde birtakım işlemlere maruz bırakılarak hazırlanır. Ön hazırlık prosesinden geçen hammadde 8-24 saat arasında EPS enjeksiyon kalıp makinesine gönderilerek nihai ürün haline getirilmesi gerekmektedir. Hammadde; ön şişirme prosesi akabinde merkezi bir hat vasıtasıyla EPS enjeksiyon makinesine ulaştırılır. Ön şişirme prosesinde hazırlık işlemi tamamlandıktan sonra EPS enjeksiyon makinasında bağlı olan enjektörler yardımıyla doldurulur, buhar kamerasına ürünün pişmesi için kızgın buhar verilir, ürünün ve kalıbın soğuması için soğutma işlemi yapılır, vakumlama işleminden sonra ürünler kalıptan iticiler yardımıyla aşağı düşürülmektedir. Eps üretiminde enerjinin çoğunluğu kalıp ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanıldığı için prostedeki bu adımlar oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kalıplar hem geleneksel alüminyumla (GA) hem de açık gözenekli alüminyumla (AGA) imal edilmiştir. AGA malzeme kullanılarak üretilen kalıpların bir tanesine geleneksel yöntemdeki gibi nozul delikleri de açılmıştır. Bu kalıplar enerji verimliliği açısından değerlendirilerek elde edilen bulgular ve deneyimler sonucunda bazı önerilerde bulunulmuştur. AGA malzeme, enerji absorpsiyonu, seslerin soğurulması, ısı yalıtımı, titreşimlerin sönümleme ve dağıtımı gibi birçok özelliğe sahiptir. AGA; havacılık sektöründe, otomobil sektöründe, petrokimya endüstrisinde ve inşaat malzemelerinde vb. birçok farklı alanda kullanıma alanına sahiptir. Yapılan denemeler sonucunda; AGA ile yapılan EPS kalıp tasarımlarında geleneksel yöntemdeki EPS kalıp tasarımlarına göre dayanımının artırılması ve esnekliğin azaltılması gerektiği gözlemlenmiştir. GA kullanılan kalıplara göre nozul delikleri açılmış AGA malzeme kullanılan kalıbın çevrim süresinde %15, buharlama süresinde %17 oranında azalma tespit edilirken, nozul delikleri açılmayan AGA kalıbın çevrim süresinde %3,6 ve buharlama süresinde ise %212 artış olduğu tespit edilmiştir. Yıllık 750 kalıp kullanıldığında, bu proste yıllık toplam enerji ve su tüketim bedelleri üzerinden 2022 fiyatlarına göre yaklaşık 81.000.000 TL kar edileceği öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Açık Gözenekli Alüminyum, EPS Kalıp Tasarımı, Enerji Verimliliği, EPS, Strafor

ABSTRACT

INCREASING PRODUCTION EFFICIENCY IN EPS STYROFOAM MOLDS

MSC THESIS

HAYRETTİN EKEL

BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. YAHYA ALTUNPAK)

(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. KADİR GELİŞ)

BOLU, JULY 2023

XV + 101

EPS (Expanded Polystyrene Foam) is prepared by subjecting the raw material of polystyrene to a number of processes in the pre-blow molding process before it is transferred to the molds in the production process. The raw material that has passed through the preliminary preparation process must be sent to the EPS injection molding machine between 8-24 hours and turned into the final product. Dec. The raw material is delivered to the EPS injection molding machine via a central line after the pre-inflation process. After the preparation process is completed in the pre-inflation process, the EPS is filled with the help of injectors connected to the injection molding machine, hot steam is supplied to the steam chamber to cook the product, cooling is performed to cool the product and mold, after vacuuming, the products are lowered down from the mold with the help of pushers. Since the majority of the energy in eps production is used in mold heating and cooling processes, these steps in the process are very important. The molds used within the scope of this study are manufactured with both conventional aluminum (GA) and open-pore aluminum (AGA). Nozzle holes were also drilled into one of the molds produced using AGA material as in the traditional method. As a result of the findings and experiences obtained by evaluating these patterns in terms of energy efficiency, some suggestions have been made. AGA material has many properties such as energy absorption, absorption of sounds, thermal insulation, damping and distribution of vibrations. AGA; in the aerospace industry, automobile industry, petrochemical industry and construction materials, etc. it has the ability to be used in many different areas. As a result of the experiments carried out; It has been observed that in EPS mold designs made with AGA, it is necessary to increase the strength and reduce the flexibility compared to EPS mold designs in the traditional method. It was found that the cycle time of the mold using AGA material with nozzle holes drilled decreased by 15% and steaming time by 17%, while the cycle time of the AGA mold without nozzle holes opened increased by 3.6% and steaming time by 212%, according to the molds used in GA. It is estimated that when 750 molds are used annually, approximately TL 81.000.000 profit will be made in this process based on the annual total energy and water consumption prices according to 2022 prices.

KEYWORDS: Open Porous Aluminum, EPS Mold Design, Energy Efficiency, EPS, Styrofoam

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ETİK BEYAN.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	xi
FOTOĞRAF LİSTESİ	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	8
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1 Açık Gözenekli Alüminyum (AGA)	10
2.1.1 Açık Hücreli Metal Köpükler	10
2.1.2 Gözenekli Yapıların Kullanım Alanları	11
2.1.3 Döküm Yöntemiyle Açık Gözenekli Alüminyum Üretimi	17
2.1.4 Döküm Yöntemiyle Diğer Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	19
2.2 EPS Enjeksiyon Kalıp Tasarımı	24
2.2.1 Enjeksiyon Makine Seçimi ve Göz Sayısı.....	25
2.2.2 Draft Analizi	25
2.2.3 Kalıplanacak Parçaya Çekme Payının Verilmesi	27
2.2.4 Dişi ve Erkek Çekirdeklerin Oluşturulması	28
2.2.5 Dişi ve Erkek Çekirdeklerin Prosese Uygun Hale Getirilmesi	30
2.2.6 EPS Kalıp Soğutma Kollektör Tasarımı.....	35
2.2.7 EPS Kalıp Dayama Destek Tasarımı	36
2.3 Enerji Verimliliği.....	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM	42
3.1 Materyal.....	42
3.1.1 Yazılımlar	42
3.1.2 Kalıp Malzemeleri	47
3.1.3 Makine-Teçhizat.....	62
3.2 Yöntem	72
3.2.1 Hammadde Dolum.....	72
3.2.2 Buharlama Zamanı	73
3.2.3 Soğutma Zamanı.....	74
3.2.4 Vakumlama.....	75

3.2.5 Kalıptan Çıkarma.....	76
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	78
5. TARTIŞMA	92
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
7. KAYNAKLAR.....	97
8. EKLER.....	101



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Pilin Katı Modeli (Saw vd., 2017).....	6
Şekil 1.2. Farklı Gözenekli Numuneler (Ercil, 2020).....	7
Şekil 2.1. (a) Açık Hücreli Metal Köpükler (b) Açık Hücre Modeli (Bağcı, 2021)	10
Şekil 2.2. Filtrelerde ki Gözenekli Alüminyum Parçaları (Ercil, 2020)	12
Şekil 2.3. Metal Köpük Susturucular (Bağcı, 2021).....	13
Şekil 2.4. Alüminyum Köpük Eşanjör (Dündar, 2019)	14
Şekil 2.5. İnşaatlarda Kullanılan Gözenekli Alüminyum Parçalar (Ercil, 2020).....	15
Şekil 2.6. Vakumlama Kalıplarda Kullanılan Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020)	16
Şekil 2.7. Alüminyum Köpükten Yapılmış Alev Tutucu (Bağcı, 2021)	17
Şekil 2.8. Gözenekli Parçaların Döküm Yöntemiyle Üretim Şeması (Ercil, 2020)	18
Şekil 2.9. a. Gözenekli Alüminyum b. Metal Köpük İç Kesit (Ercil, 2020)	21
Şekil 2.10. Hassas Döküm Yöntemiyle Gözenekli Yapı Yöntemi (Sunar, 2019).....	23
Şekil 2.11. Gözenekli Seramik ve Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020).....	23
Şekil 2.12. Gözenekli Plastikler ve Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020).....	24
Şekil 2.13. Draft Analizi (Açı Gerekliliği Yüzeyler)	26
Şekil 2.14. Çıkma Yönüne Göre Açı Verilecek Yüzeyler	26
Şekil 2.15. Parçanın Draft Açısı Verilmiş Hali.....	27
Şekil 2.16. Kalıp Ayrım Hattının Belirlenmesi	28
Şekil 2.17. Ayrım Yüzeylerinin Oluşturulması	29
Şekil 2.18. Dişi ve Erkek Çekirdeklerinin Oluşturulması	30
Şekil 2.19. Dişi ve Erkek Gözlere Geçme Boşluğunun Verilmesi	31
Şekil 2.20. Et Kalınlığı Düşürülmüş Erkek Çekirdek.....	31
Şekil 2.21. Et Kalınlığı Düşürülmüş Dişi Çekirdek.....	32
Şekil 2.22. Dişi Çekirdek Bölünmüş Hali.....	32
Şekil 2.23. Erkek Çekirdek Bölünmüş Hali.....	33
Şekil 2.24. İtici Konumlarının Belirlenmesi	33
Şekil 2.25. Enjektör Konumlarının Belirlenmesi.....	34
Şekil 2.26. Nozul Deliklerinin Delinmesi.....	34
Şekil 2.27. Plakalı Kalıp Soğutma Kollektörü.....	35
Şekil 2.28. Dişi Taraf Dayama Destekleri	36
Şekil 2.29. Erkek Taraf Dayama Destekleri	37
Şekil 3.1. Nozul Deliği Açılan AGA ile EPS Kalıp Tasarımı	42
Şekil 3.2. Nozul Deliği Açılmayan AGA ile EPS Kalıp Tasarımı	43
Şekil 3.3. Solidworks Programında Statik Analiz Yapılması	43
Şekil 3.4. Esprit CAM Arayüzü	45
Şekil 3.5. Esprit CAM Programında Yapılan Dişi Taban Parçasının Görseli ..	45
Şekil 3.6. CAM’i Yapılan EPS Kalıbın Simülasyonu	46
Şekil 3.7. Alüminyum Alaşımları (Yalıtımlı Alüminyum, t.y.)	51
Şekil 3.8. Nozul Deliği Açılmayan EPS Kalıp İtici Konumları	53
Şekil 3.9. Nozul Deliği Açılan EPS Kalıp İtici Konumları	54
Şekil 3.10. İtici Pul ve İtici Mil Montaj Hali	55
Şekil 3.11. İtici Grubun Kalıptaki Kesiti	55

Şekil 3.12. Bakır Soğutma Grubu	58
Şekil 3.13. EPS Kalıba Montajlanmış Enjektörler.....	60
Şekil 3.14. Enjektör Kesiti ve Giriş Yerleri	61
Şekil 3.15. Büyük Ebatlı Kalıbın Enjektör Konumları	62
Şekil 3.16. Kazan Dairesi Şeması	63
Şekil 3.17. Kondens Tankı (TSB Energy, t.y.)	63
Şekil 3.18. Degazör Tankı (D&D Mekanik, t.y.).....	64
Şekil 3.19. Buhar Akümülatörü (TSB Energy, t.y.)	65
Şekil 3.20. EPS Enjeksiyon Makinası (Akkaya, t.y.)	67
Şekil 3.21. Kompresör (CompAir, t.y.)	69
Şekil 3.22. Kalıp Soğutma Hattı	69
Şekil 3.23. Köprü Tipi CNC Makinesi	70
Şekil 3.24. EPS Makinesi Proses Aşaması	72
Şekil 3.25. Vakum Hattı	75
Şekil 4.1. Parçalara Bölünmüş ve Destek İlavesi Yapılan Dişi Göz	84
Şekil 4.2. Parçalara Bölünmüş ve Radüs Verilmiş Erkek Göz	84
Şekil 5.1. Nozul Deliği Açılan Kalıpların Denemesi.....	92
Şekil 5.2. GA ve Nozul Deliği Açılmayan Kalıpların Denemesi	94

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	40
Tablo 2.2. Sanayide enerji tasarruf Potansiyeli (Memiş, 2019)	41
Tablo 3.1. AGA malzeme listesi	48
Tablo 3.2. Malzeme termofiziksel özellikler.....	50
Tablo 3.3. Alüminyum 5083 H0 Alurex	51
Tablo 3.4. Alüminyum 5083 kimyasal bileşimi (Seykoç Alüminyum, t.y.) ...	53
Tablo 3.5. Kullandığımız alüminyum nozul ölçüleri	59
Tablo 3.6. Tiplere göre matkap çapı ve nozul aralığı.....	59
Tablo 4.1. GA ile yapılan kalıp deneme 1	80
Tablo 4.2. Nozul deliği açılan AGA ile yapılan kalıp deneme 2	81
Tablo 4.3. GA ile yapılan kalıp deneme 1 (2 ürün kapasiteli)	85
Tablo 4.4. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 2.....	86
Tablo 4.5. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 3.....	87
Tablo 4.6. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 4.....	88
Tablo 4.7. Üretim verimliliğinin karşılaştırılması	89
Tablo 4.8. Yıllık EPS üretim kapasite karşılaştırılması	90
Tablo 4.9. Nozul deliği açılan EPS kalıbın maliyet karşılaştırılması.....	90
Tablo 4.10. Nozul deliği açılmayan kalıbın işçilik kazancı	91

FOTOĞRAF LİSTESİ

Sayfa

Fotoğraf 3.1. EPS Makina Yazılım Menüsü	47
Fotoğraf 3.2. Özel Ölçülerde Üretilmiş Bazı AGA Kalıp Görselleri.....	49
Fotoğraf 3.3. Dişi Göz Malzeme Görselleri.....	49
Fotoğraf 3.4. Alüminyum 5083 H0 Alurex	52
Fotoğraf 3.5. Alüminyum 5083 H111	52
Fotoğraf 3.6. İtici Pul Çeşitleri.....	54
Fotoğraf 3.7. İtici Yayı.....	56
Fotoğraf 3.8. Soğutma Grubu Su Giriş Çeşitleri.....	57
Fotoğraf 3.9. Püskürtme Nozulları.....	57
Fotoğraf 3.10. Farklı Ölçülerde Alüminyum Nozullar	58
Fotoğraf 3.11. Sökülmüş Bir Enjektör Görseli	61
Fotoğraf 3.12. Buhar Kazanı.....	65
Fotoğraf 3.13. Şişirme Ünitesi	66
Fotoğraf 3.14. Soğutma Kulesi	70
Fotoğraf 3.15. Erkek Göz İmalatında Kullanılan CNC Freze Tezgahı.....	71
Fotoğraf 3.16. Dişi Göz İmalatında Kullanılan CNC Freze Tezgahı.....	71
Fotoğraf 3.17. Hammadde Dolum	73
Fotoğraf 3.18. Buharlama Zamanı	74
Fotoğraf 3.19. Soğutma ve Vakum Zamanı	75
Fotoğraf 3.20. Kalıptan Çıkarma	76
Fotoğraf 3.21. Kalıp Açılma Mesafeleri	77
Fotoğraf 4.1. AGA İle Yapılan Nozul Delikli Dişi Göz	78
Fotoğraf 4.2. AGA Malzemede Kaynak Denemesi	79
Fotoğraf 4.3. AGA İle Yapılan Kalıpta Teflon Kaplama Denemesi	82
Fotoğraf 4.4. AGA İle Yapılan Kalıptaki Çatlaklar.....	83

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
AGA	: Açık Gözenekli Alüminyum
Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
CO₂	: Karbon Dioksit
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
CO	: Karbonmonoksit
Cu	: Bakır
Cr	: Krom
dm³	: Desimetreküp
EPS	: Genleştirilmiş Polistren Sert Köpük
Fe	: Demir
GA	: Geleneksel Alüminyum
H₂O	: Su
Kg	: Kilogram
kWh	: Kilowatt Saat
kW	: Kilowatt
LiFePO₄	: Lityum Demir Fosfat
mm	: Milimetre
m	: Metre
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
NaCl	: Sodyum Klorür
N	: Newton
PPI	: Pores Per Inch (İnç Başına Gözenek)
Ppm	: Milyonda Bir
PU	: Poliüretan
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum

Sn	: Saniye
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
Ø	: Çap
2D	: 2 Boyut
3D	: 3 Boyut
°	: Derece
°C	: Santigrat



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasının her aşamasında benden bilgisini ve tecrübesini eksik etmeyen ve bana daima etkin bir şekilde yol gösteren, çalışmalarım boyunca her türlü desteği sağlayan ve değerli görüşlerinden yararlandığım saygı değer danışman hocalarım Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK'a ve Doç. Dr. Kadir GELİŞ'e en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yardımlarını ve imkanlarını esirgemeyen Mefa Endüstri A.Ş. 'ne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve benim yanımda olan saygı değer eşim Hatice EKEL'e ve kızım Zeynep Ela EKEL'e en içten dileklerimle şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

1.1 Literatür Taraması

Enerji tüketen ekipmanların enerji verimliliği perspektifiyle iyileştirilmesi, üretim kapasitelerinin artırılması için sürekli eylem planlarının yapılması oldukça önemlidir. Üretim kapasitesini artırmak için de tüm operasyon birimlerinde çevrim sürelerinin araştırılması ve kritik çevrim sürelerinin bulunması ilk yapılması gereken çalışmalardan biridir (Kaya, 2012; Özyurt, 2016). Enerji verimliliği odaklı endüstriyel tasarımların yapılması, üretim kapasitelerinin artırılması, tüketilen enerjinin azaltılması ve birim ürün başına maliyetlerin minimize edilmesi için uygulanması gereken mühendislik çalışmalarıdır.

Enerji verimliliği projelerinin Türkiye'deki ve Dünyadaki dağılımını belirlemek ve basınçlı hava sistemlerindeki iyileştirmelerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri, enerji verimliliğinin önemi ve faydaları, Türkiye'nin bu alanlardaki enerji verimliliği projelerinin dağılımının dünya ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar ve uygulamalar göz önüne alındığında, hemen hemen her tesisin basınçlı hava sisteminde gereksiz yere tüketilen veya boşa harcanan enerji kaynağı dikkate alınması gerektiği ve boşa harcanan enerjinin olabildiğince azaltılması ve bu enerjinin farklı alanlarda değerlendirilmesi son derece önemli olduğunu belirtmiştir (S. Şahin, 2022). Özyurt tarafından yapılan çalışmada; üretim kapasitesini artırmak, dolayısıyla buzdolabı üreten fabrikada daha ucuza mal üretme ve enerji verimliliği sağlama becerisine ulaşmaktır. Çalışmada üretim montaj hatlarındaki üretim aşamaları araştırılmıştır. Her şeyden önce, tüm üretim hattında kritik çevrim süreleri değerleri bulunduktan sonra, bu süre değerleri istenen değerin altına düşürülmeye çalışılmıştır. Yoğun zamanların her biri analiz edilmiş ve hangi işlemlerin bu fazla mesaiye neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler ve yapılan iyileştirmeler sonucunda üretim hattı kapasitesindeki ürünler %23,5 oranında artış meydana gelmiştir. Çalışan makineler ve operatörün verimliliği artırılmış, üretim maliyetlerini de düşürmüştür. Üretim tesisinde yıllık 126000 kwh elektrik enerjisinden tasarruf sağlanmıştır. Gelişmeler dahilinde yıllık 257.000 TL kazanç sağlanmıştır (Özyurt, 2016). Şahin tarafından yapılan çalışmada; Endüstrinin dünyadaki toplam enerji

tüketimindeki payı %30, basınçlı hava kompresörlerinin endüstri enerji tüketimindeki payı ise %10 civarındadır. 22 Farklı sanayi tesisinde gerçekleştirilen basınçlı hava kaçağı taramasında 1.394 basınçlı hava kaçağı noktasını tespit etmiştir. Bir sızıntının neden olduğu yıllık CO₂ emisyon miktarı 1,44 ton olarak belirlenmiştir. 3 Farklı kompresör odasında bir hafta boyunca yapılan enerji ölçümleri ve simülasyon çalışmaları sonucunda ilgili kompresör odalarındaki kompresörlerin merkezi kontrol cihazları ile kontrol edilmesi sonucunda sırasıyla %7,45, %5,63 ve %17,42 enerji tasarrufu potansiyellerinin olduğunu tespit etmiştir. Kompresörler ve basınçlı hava sistemleri enerji verimliliği potansiyelleri açısından incelendiğinde çok basit uygulamalarla ciddi bir enerji verimliliği olasılığının olduğunu tespit etmiştir (S. Şahin, 2022). Buhar, birçok endüstrideki proseslerin ısı talebini sağlamak için kullanılan en yaygın ısı transfer akışkanıdır. Türkiye'deki buhar sistemlerinin çoğu düşük verimlilikle çalıştırılmakta ve yüksek düzeyde verimlilik potansiyeline sahiptir. Finansal ve teknik olarak uygulanabilir olan modern yanma ve ısıtma teknolojileri, yüksek verimli sistemler sunar. Ayrıca, yatırım maliyetleri, verimlilik artışından kaynaklanan tasarruflarla kısa sürede geri ödenmektedir. Baca gazının hissedilen ısının geri kazanılması, baca gazındaki su buharının gizli ısı, yoğuşma, ani buhar ve kazanın üflenmesi gibi önlemler; yanma havası akış hızının baca gazı içeriğine göre kontrol edilmesi; yetersiz yalıtımın neden olduğu ısı kayıplarının giderilmesi vb. sistem verimliliğini %30 artırabilir. Yaptıkları çalışmanın amacı, buhar sistemlerini ve sistem verimliliğini artırma olanaklarını analiz etmek ve bir tekstil fabrikasında buhar sisteminin verimliliğini artırmaya yönelik önlemleri uygulamışlardır (Durukafa, 2010).

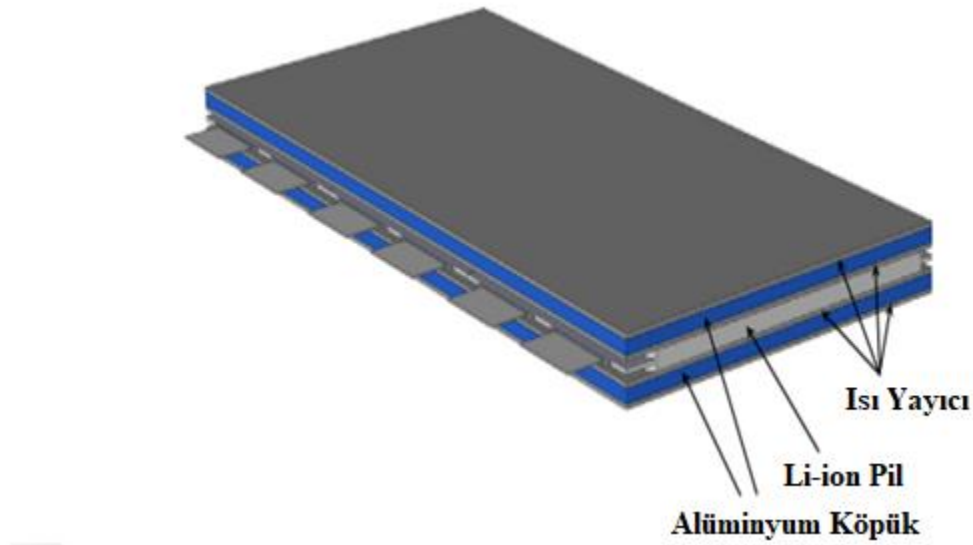
Özellikle Polimer endüstrisinde enerji verimliliği açısından açık gözenekli köpük malzemelerden bazı kalıp uygulamaları, deneme çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Bunun en güzel uygulanabilir örneği olarak termoform ve vakum ile şekillendirme prosesleridir. Bu proseslerde, genel olarak açık gözenekler vakum uygulamalarında ve buhar geçmesi proseslerinde kullanılmak amacıyla gözenekli metaller tercih edilebilmektedir (Ercil, 2020). Açık gözenekli köpük üretimi ile ilgili birçok araştırma mevcuttur. Medik tarafından yapılan bir çalışmada; alüminyum alaşımı AA6061 kullanılarak döküm yöntemiyle açık gözenekli ve düzenli yapıda köpük malzeme üretilmiştir. Daha sonra döküm yöntemi ile düzenli açık gözenekli formlarda numuneler üretilmiş ve bu numunelere T6 ısıtma işlemi

uygulanmıştır. T6 ısıtım işleminin yaklaşık olarak %62 sertlik artışı sağladığı ve daha sünek olduğu tespit etmiştir (S. Medik, 2019).

Vakum- gaz infiltrasyon cihazında açık gözenekli alüminyum (AGA) köpük malzemeler üretilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada boşluk tutucu malzeme için tuz (NaCl) parçaları, A360 (AlSi10Mg) alüminyum köpüklerin üretilmesinde kullanılmıştır. Üretilen AGA malzemesinin yoğunluk ve gözeneklilik değişimlerini incelemiştir. Kesit görünüşlerini yorumlamak için SEM, bilgisayar tomografi görüntüsü kullanılmıştır. Düzensiz morfolojiye sahip AGA üretilmiştir. Işık mikroskobu, SEM ve bilgisayarlı tomografi görüntüleriyle karşılaştırma yapılmıştır (Çetin, 2019). Diğer bir çalışmada ise; açık hücreli köpük metallerin üretim süreçlerine uygun olarak bir 3D (3 boyut) köpük metal tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Farklı yöntemlerin de karşılaştırıldığı bu çalışmada; en uygun sonucu küresel boşluk tutucuların kullanıldığı proses olduğu ifade edilmiştir (Bakırcı, 2019). Sutygina ve arkadaşları; sünger çoğaltma yöntemi ve sünger çoğaltma ve dondurma tekniğinin bir kombinasyonu kullanılarak toplam gözenekliliği %87 olan alüminyum köpüklerin imalatını yapmışlardır. Farklı hücre sayımlarına sahip köpükler, inç başına gözenek sayısı (PPI) 10, 20 ve 30 olan poliüretan (PU) şablonlar hazırlamışlar. Ek lamel gözeneklerin oluşumu, mekanik özellikleri iyileştirmiştir, ancak köpüklerin termal iletkenliğinin azaldığını tespit etmişler. PU şablonunun gözenek hücresi boyutlarının değiştirilmesi, yoğun payandalı köpüklere kıyasla spesifik yüzey alanındaki en yüksek artışın (~ 7 kat) 10 PPI PU'dan yapılan köpüklerde gözlemlendiğini şablon göstermiş. Hücre boyutunun alüminyum köpüklerin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisi de araştırmışlar (Sutygina, Betke, & Scheffler, 2022). Voronoi mozaikleme yönteminin, tek eksenli sıkıştırma yüklemesi altında açık hücreli alüminyum köpüğün modellenmesi analiz edilmiştir. Voronoi kodu, çokyüzlü modeli düzensiz bir açık hücreli hücreye dönüştürmek için bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile birleştirilmiştir. Üç farklı gözenekliliğe sahip örnekler (%30, %60 ve %80) incelenmiştir. Von Mises akma kriterine dayanan, sertleşmeden mükemmel plastisiteye sahip doğrusal olmayan elastik-plastik malzeme modeli %10 altına gerilme uygulanmış. Karşılık gelen gerilme-gerinim eğrileri gözlenmiş ve gözenekliliğin deformasyon mekanizması üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Gözeneklilikteki bir artış hem basınç hem de gerilme gerilmelerinde bir artışa neden

olmuş ve destekler, karmaşık gerilme alanları oluşturmuştur. Voronoi bazlı modelleme, yarı statik durum ve doğrusal elastik bölge (%1'in altında gerilme) durumunda literatürdeki deneysel sonuçlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Voronoi mozaikleme yöntemini kullanarak tüm deformasyon rejimlerinde gerçek dinamik davranışın simülasyonunu sağlamak için daha fazla çalışma gerekli olduğu tespit etmişlerdir (Sharma, Grujovic, Zivic, & Slavkovic, 2019). Fischer ve arkadaşları; mevcut literatür, döküm ve kalıp sıcaklıklarının dökme alüminyum köpüklerin özellikleri üzerindeki etkisi hakkında yalnızca sınırlı bilgi sunmaktadır. Bu mevcut araştırma açığını kapatmak için, yatırım amaçlı döküm açık gözenekli A356 köpüklerin üretimi sırasında döküm ve kalıp sıcaklıkları değişmiş. Sonuçlar, açık gözenekli 10 ve 15 PPI, A356 köpüklerinden statik sıkıştırma testi esnasında azalan kalıp sıcaklığının ve artan döküm sıcaklığının artan mekanik özelliklere yol açtığını göstermiş. Bu artış, ötektik silikon parçacıklarının sayısının azalması ve eriyiğin daha iyi kalıp doldurma kabiliyetinden kaynaklanan dikme çapının artmasından kaynaklanmış. Proses parametrelerinin etkisi; 15 PPI köpüklerin, mekanik özellikleri için istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu köpük tipinin daha düşük dikme çapından kaynaklanmaktadır; daha büyük 10 PPI köpük desteklere kıyasla, çünkü bu daha ince destekler, yüksek silikon faz sayısına ve azaltılmış kalıp doldurma kabiliyeti nedeniyle azalan dikme çapına daha duyarlıymış. Buna ek olarak, soğutma hızındaki bir değişikliğin küçük dikme çapları üzerinde daha büyük bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir (Fischer, Schöler, Fleck, & Bührig-Polaczek, 2013). Pollien ve arkadaşları; çoğaltma işleminin yoğun metalin dış katmanlarının dereceli gözenekliliğe sahip köpükten yapılmış merkezi bir parçayı kapladığı yapıların imal edilmesi ve test edilmesiyle işlevsel olarak dereceli gözenekli yapıların üretimine doğru genişletilebileceğini göstermişler. Bu tür numuneler, 60-90 m granülometri NaCl tozunun tek tek katmanlarına basılarak ve ardından bu katmanların iki yoğun alüminyum kaplama arasına istiflenmesiyle üretilir. Veriler, sandviç ısı teorisi ve Deshpande–Fleck verim kriterine dayalı analizle iyi bir uyum olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, hafif dereceli metal / metal köpük kirişlerin sertlik sınırlı tasarım açısından çok az umut vaat ederken, yük sınırlı tasarım açısından ilgi çekici olabileceğini göstermiştir (Pollien, Conde, Pambaguian, & Mortensen, 2005). Antenucci ve arkadaşları; grafenin açık hücreli alüminyum köpükler üzerinde elektro birikimini ele almışlar. Grafenin sertlik ve iletiminin üstün özelliklerini alüminyum köpüğe birleştirmeye çalışmışlar. Bu yön,

elektro biriktirme teknolojisi nedeniyle toplu taşımada güçlü sınırlamalara neden olur. Düşük sıcaklıkta yeni bir elektro biriktirme yöntemi geliştirmişler. İlk olarak, operasyonel parametrelerin kaplanmış alüminyum köpüklerin genel performansı üzerindeki etkisini incelemek için deneysel testler yapmışlar. Her numune üç adımda veya fazda elektro biriktirildi: ilk bakır, grafen ve bakırdan ve son olarak tekrar bakırdan. İkincisi, üretilen numunelerin mekanik ve termal karakterizasyonu, mekanik bir test makinesi ve iletkenlik testleri ile yönlendirmiş. Son olarak, deneysel sonuçlara dayanarak, grafenin biriktirme sürecinin evriminin yarı deneysel bir modeli ortaya konmuş. Deneysel bulgular, üretilen metal köpüklerin daha yüksek mekanik direnç ve ısı iletkenliği ve düşük proses maliyetleri ile karakterize edildiğini ortaya çıkararak bu malzemeleri birçok teknolojik alanda çok umut verici hale getirmiştir (Antenucci, Guarino, Tagliaferri, & Ucciardello, 2015). Jung ve arkadaşları; şimdiye kadar köpükler için deneysel verim yüzeyi verileri çok sınırlıdır. Bu katkı, X-ışını bilgisayarlı tomografi ile farklı gözenek boyutlarındaki açık hücreli alüminyum köpüklerin yapısal karakterizasyonu ile ilgilenmektedir. 10, 20 ve 30 PPI köpükler için akma yüzeyleri, tek eksenli çekme ve sıkıştırma testleri, saf burulma ve kombine sıkıştırma-burulma ve gerilme-burulma testleri yapılarak deneysel olarak incelemişler. Açık hücreli alüminyum köpükler için şimdiye kadar bildirilen en kapsamlı deneysel veri setlerinden biriyle sonuçlanmıştır. Akma yüzeyinin şekli ve asimetri derecesi, yapısal karakterizasyondan elde edilen geometrik verilerle bağlantılıymış. Karmaşık çok eksenli gerilme durumları altında alüminyum köpüklerin daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır (Jung & Diebels, 2017). Bir pil modülü yan yana yerleştirilmiş üç adet LiFePO_4 kese hücresinden oluşmakta ve bir soğutma plakası oluşturmak için iki ısı yayıcı arasına alüminyum köpük yerleştirmişler. Termal performansı ve akış alanını sayısal olarak araştırmak için farklı gözeneklilik ve gözenek yoğunluğuna sahip alüminyum köpükler modellemişler. Literatürden Nusselt sayısı, geçirgenlik ve direnç kaybı katsayısı korelasyonu çıkarılmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonunda kullanmışlar. Simülasyon sonuçlarından, 0.918 gözenekliliğe sahip 10 PPI alüminyum köpüğün en yüksek termal performansı ve en düşük akış direncini sunduğu göstermişler. Bu nedenle, optimize edilmiş alüminyum köpük soğutma plakası, pil takımı için yeni bir soğutma sistemi türü olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Şekil 1.1’de pilin katı modeli gösterilmektedir (Saw vd., 2017).



Şekil 1.1. Pilin Katı Modeli (Saw vd., 2017)

Kalkan tarafından yapılan çalışmada, vakumlu döküm yöntemi ile açık hücreli alüminyum köpüklerin üretim parametrelerini araştırmıştır. Bir diğer önemli amaç ise üretilen köpükleri karakterize etmektir. Bu amaçla düşük vakumlu döküm kurulumu tasarlanmıştır. Alüminyum metalin köpürmesi için boşluk tutucu malzeme olarak NaCl ve çözünme tekniği kullanılmıştır. NaCl partikül büyüklüğü değiştirilerek köpük özelliklerinde değişiklik araştırılmıştır. Yoğunluk-mukavemet ilişkileri, NaCl partikül büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmiştir. Statik yük altında köpük davranışını değerlendirmek için sıkıştırma testi kullanılmıştır. Sıvı eriyiğin NaCl partikülleri arasına sızarak başarılı köpük üretimi için optimum vakum koşulları belirlenmiştir. Vakumlu dökümün, NaCl çözünme işleminin entegre edilmesiyle açık hücreli alüminyum köpük üretmek için kullanılabileceği sonucuna varmışlar. Önerilen üretim yolu, metalik köpük üretimlerinin belirsiz hücre şekli sorununu çözmek için büyük potansiyele sahiptir (Kalkan, 2012). Alüminyum köpük metaller, mükemmel mekanik, kimyasal, termal, elektriksel ve akustik özelliklerinden dolayı fonksiyonel ve yapısal ürünlerde, birçok uygulama alanı bulmuşlardır. Günümüzde, alüminyum köpük metallerin uygulama alanları geniştir. Köpük malzemeler savunma, inşaat ve otomotiv sektörleri olmak üzere birçok yapısal uygulamada kapalı hücreli kullanılmaktadır. Titanyum hidrür (TiH_2) kullanılarak köpürtme yöntemiyle kapalı gözenekli metal köpük (Edwin Raj ve Daniel, 2011; Song ve Nutt, 2007; Uzun ve Türker, 2015) malzeme üretimiyle ilgili

bazı araştırmalar yapılmıştır. Döküm yöntemi ile NaCl tuzu kullanılarak alüminyum alaşımından 12, 10 ve 8 mm hücre boyutlarında, açık gözenekli alüminyum köpük numuneler üretilmiştir. Elde edilen küresel tuzlar, basit kübik şekilde şekillendirilen tuzlar kalıp boşluklarına yerleştirilerek dökümü gerçekleştirmiş ve üretilen numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra, su havuzunda yıkanarak tuzdan arındırılmıştır (Ercil, 2020). Genellikle yer tutucu olarak 8mm çapında küresel şekilli döküm kumu (O. şahin, 2017), yer tutucu olarak tuz kullanılarak (Fabrizio, Boschetto, Rovatti, & Santo, 2011; Guo vd., 2015; Liu, Gao, Rao, Wu, & Liu, 2014; Sunar & etin, 2018) açık gözenekli düzensiz yapıya sahip metal köpük üretimi yapımı ile ilgili literatürde benzer bazı çalışmalar mevcuttur. şekil 1.2’de farklı gözenek çaplarındaki numunelerin görseli gösterilmektedir.



şekil 1.2. Farklı Gözenekli Numuneler (Ercil, 2020)

Koyun tarafından yapılan çalışmada; plastik malzemeler kısaca özetlenmiştir ve plastik enjeksiyon makinesi ve prosesi hakkında bazı bilgiler verilmiştir. Bu tip plastik enjeksiyon kalıplarının dışında yolluk sistemleri, soğutma, enjeksiyon ve sürgü sistemleri anlatılmakta ve bazı teorik bilgiler verilmiştir. Bundan sonra kalıp CAD programı ile ticari bir ürün için tasarlanmıştır ve olası üretim problemlerini gerçekleştirmek için bir simülasyon programı ile akış analizi yapmışlardır. Simülasyondan sonra bazı çözüm önermişler ve simülasyon sonuçlarına göre kalıp yeniden tasarlanmaktadır. Ayrıca, proses yükleri altında kalıbın ne kadar güvenli olduğunu bulmak için yapısal analiz yapmışlar. Sonunda simülasyon sonuçları ile üretilen gerçek numuneler karşılaştırılarak simülasyon programlarının kullanımını vurgulamışlardır (Koyun, 2005).

Genleştirilmiş Polistiren köpük, şoku emmek ve ürünlerin zarar görmesini önlemek için ekipman ve ürünlerin koruyucu ambalajlanmasında yastıklama malzemesi olarak kullanılır. EPS köpükler, farklı statik gerilme değerleri için çeşitli

kalınlıktaki köpüğün ileteceği tepe ivmesini gösteren şok yastığı eğrileriyle belirtildiği gibi iyi basınç dayanımına ve yastıklama özelliğine sahip olmalıdır. Geleneksel olarak EPS köpükler, buhar enjeksiyon kalıplama tekniği kullanılarak üretilir. EPS köpükler biyolojik olarak parçalanabilir değildir ve EPS malzemesini geleneksel buhar işleminde geri dönüştürmek için bazı çabalar sarf edilmiştir. EPS köpüklerin geri dönüştürülmüş malzemelerle yastıklama özellikleri bilinmediğinden koruyucu ambalajlarda kullanılmamıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan daha önceki araştırmalar, homojen füzyon elde etmek için rotasyonel kalıplama yoluyla mikrodalga enerjisi kullanarak EPS köpükleri üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu kalıpların basınç dayanımları ölçülmüş ve geleneksel buhar işlemi kullanılarak test edilenlere benzer bulunmuş. Geri dönüştürülmüş EPS malzemesinin eklenmesinin köpüğün basınç dayanımını azalttığını bulmuşlar. Bununla birlikte, basınç dayanımı hala endüstride kabul edilenin içindedir. Köpüğün şok yastığı eğrileri de etkilenmiştir. Geri dönüştürülmüş malzemeli köpükler tarafından iletilen minimum tepe ivmesi, olmayanlara göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (Teo, Yeong, & Lye, 1997). Rossacci ve arkadaşı, desende boncuk füzyonunun köpük bozulması ve döküm oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Enjeksiyonla kalıplanmış ASTM D638 çekme numuneleri, desende boncuk füzyonunun derecesini ölçmek için mikroskobik bir teknik geliştirmek için kullanmışlar. Polimerin gerilme özellikleri, ölçülen boncuk füzyon derecesi ile ilişkilendirilmiştir. Füzyonun köpük bozulması üzerindeki etkilerini vurgulamak için çeşitli deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, füzyon derecesinin polimerde boncuk çökmesi ve viskoz kalıntı oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kalıp doldurma süreleri genellikle desende artan boncuk füzyonu ile artmıştır. Boncuk füzyonu arttıkça metal cephedeki sıcaklık daha hızlı düşmüştür (Rossacci & Shivkumar, 2003).

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Mefa Endüstri A.Ş. bünyesinde çeşitli paketleme köpüklerin imalatları EPS enjeksiyon makinesi kullanarak yapmaktadır. EPS enjeksiyon makinelerinde kullanılmak üzeri yaklaşık 750 adet kalıp vardır. Firmanın; yıllık EPS üretim kapasitesi 1.006.500 kg, EPS üretim prosesinde kullanılan yıllık doğalgaz tüketimi 85.606.550 kWh, EPS üretim prosesinde kullanılan yıllık elektrik tüketimi

126.500.000 kWh ve EPS üretim prosesinde kullanılan yıllık su tüketimi 161.400 ton' dur.

Firmanın enerji verimliliğindeki artışı ve proses sürecindeki azalma ile üretim kapasitesinin artırılması ve kar oranının artışı hedeflenmektedir, bu sayede uluslararası pazarda rekabet gücüne katkı sağlanmış olacaktır. Kullanılan enerjinin çoğunluğu kalıp ısıtma-soğutma çevriminde tüketildiği tespit edilmiştir. Firmamızda enerji maliyetlerini azaltmak adına yurtdışında bir fuarda tanıştığımız tedarikçiden açık gözenekli alüminyum malzemeleri Rusya'dan tedarik ettik. Ülkemizde çalışmada tedarik ettiğimiz açık gözenekli alüminyum için istediğimiz boyutlarda üretim kapasitesine sahip firma bulunmamaktadır. Bu durumdan dolayı dış ülkelere bağımlı hale getirmektedir.

Daha önce açık gözenekli alüminyum kullanılarak EPS kalıp tasarımı, imalatı ve denemeleri yapılmadığından ülkemiz için önemi oldukça yüksektir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar ve öneriler ile ileride yapılacak çalışmalara yön verecektir. Ayrıca bu çalışma, Tübitak 1505 üniversite- sanayi iş birliği proje kapsamında AR-GE çalışması olarak devam etmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan kalıplar hem geleneksel alüminyumla (GA) hem de açık gözenekli alüminyumla (AGA) imal edilmiştir. AGA malzeme kullanılarak üretilen kalıpların bir tanesine geleneksel yöntemdeki gibi nozul delikleri de açılmıştır. Bu kalıplar enerji verimliliği açısından değerlendirilerek elde edilen bulgular ve deneyimler sonucunda bazı önerilerde bulunulmuştur.

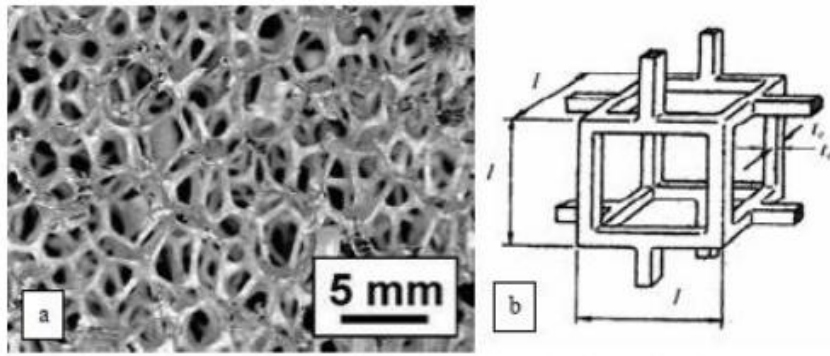
Ayrıca AGA malzemede bulunan gözeneklerin çatlak oluşturma potansiyelleri göz önüne alınarak bu malzeme ile yapılacak EPS kalıp tasarımında geleneksel yöntemdeki EPS kalıp tasarımlarına göre dayanımlarının artırılması ve esnekliğin ise azaltılması gerektiğinden farklı tasarım yapılacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Açık Gözenekli Alüminyum (AGA)

2.1.1 Açık Hücreli Metal Köpükler

Demir, Titanyum, Magnezyum, Alüminyum vb. gibi birçok metaller açık gözenekli yapı olarak üretilmektedir. Alüminyumun zengin rezervi, düşük yoğunluğu, çok iyi sünekliği ve yüksek korozyon direncinden dolayı birçok avantajı olmasından mühendislik çalışmalarında en çok kullanılan demir dışı metal sınıfındadır. Alüminyum metal köpükler, en popüler ve aynı zamanda da en çok incelenen metal köpüklerden biridir. Alüminyum metal köpükler, enerjiyi emmesi, sesi soğurması ve ısı yalıtımı, titreşimin sönümlenmesi ve dağıtımı ile birçok mekanik özelliklere sahiptirler. Alüminyum metal köpükler, havacılıkta, otomobil sektöründe, petrokimya endüstrisinde ve inşaat malzemelerinde vb. gibi birçok farklı alanda kullanma gücüne sahiptir (Fırat, 2021). Açık hücreli metal köpükler, hücreler birbirleri ile temas halindeyse bu nitelikteki yapılar olarak adlandırılmaktadır. Açık hücreli köpükler birbiri ile temas eden boşluklara sahip olduklarından yüzey alanları diğer köpük yapılara göre daha fazladır, bu nedenle köpüklerin ısı iletkenlikleri çok iyidir. Açık hücreli metal köpüklerin en belirgin özellikleri ısı ve gaz geçişinin çok iyi olmasıdır. Mekanik performansları diğer köpük yapılara göre daha elverişsiz olmasından dolayı daha çok fonksiyonel uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de açık hücreli metal köpükten bir örnek ve açık hücre modeli gösterilmektedir (Bağcı, 2021).



Şekil 2.1. (a) Açık Hücreli Metal Köpükler (b) Açık Hücre Modeli (Bağcı, 2021)

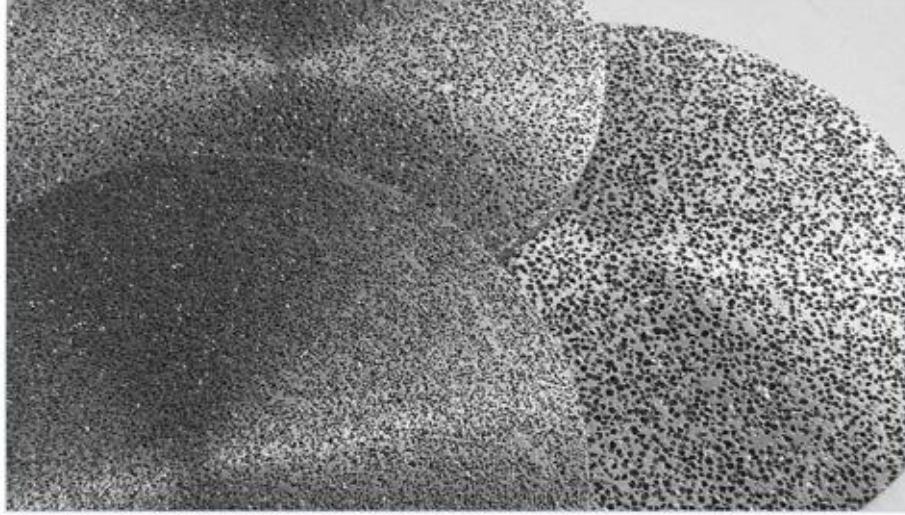
2.1.2 Gözenekli Yapıların Kullanım Alanları

2.1.2.1 Filtreler ve Filtre Elemanları

Filtreler sıvıların içerisindeki katı ya da parçacıklı yapıları ayırtmak için ve gazların içerisindeki sıvı ya da katı partikülleri ayırtmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Açık hücreli metal köpükler; gözenekli boşluklu yapısı ve aşınmaya karşı dayanımı gibi nitelikleri sayesinde filtre malzemesi olarak kullanılmaktadır (Bağcı, 2021).

Açık gözenekli alüminyumlu filtreler, sinterlenmiş filtreler için bir başka alternatiftir, filtre ve filtrenin elemanları hemen hemen sınırsız şekillerde ve boyutlarda üretilmektedir. Açık gözenekli alüminyumlar, kristal tuzlar yardımıyla üretilmektedir. Bu teknolojiyle üretilen gözenekli metaller, mükemmel özellikteki yapılar sağlamaktadır. Gözenekli bir alüminyumun yapısı, mevcut bilinen sinterlenmiş metallerinde yapıları ile birbirlerini tamamlamaktadır. Sinterlenmiş metaldeki gözenekler, açık gözenekli alüminyumdaki metallere karşılık gelmektedir ve bu metallerin tersi de geçerlidir. Teorikte, gözenekli alüminyumun maksimum porozitesi %74 ve sinterlenmiş metallerin minimum porozitesi %26'dır. Gerçekte ise açık gözenekli alüminyumun, tuz parçacıklarındaki kusurlu istiflenmesinden dolayı %55-65 gözenekli yapıdadır. Özel gözenek yapısı ve yüksek gözenekliliğinden dolayı açık gözenekli alüminyum filtreler, sinterlenmiş filtrelerden daha çok uzun çalışma ömrüne sahiptir (Ercil, 2020).

Yüksek gözenekli alüminyum filtreler, çeşitli alanlarda kullanıma sahiptirler. Kullanım alanlarına örnek olarak; gaz filtreleri, yağ filtreleri, hava filtreleri, su filtreleri, kimyasal filtreler, atık su filtreleri, hidrolik filtre, temizleme filtreleri ve sıcak gaz filtresi verilmektedir (Ercil, 2020). Şekil 2.2'de filtrelerde kullanılan gözenekli alüminyum döküm parçaları gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Filtrelerde ki Gözenekli Alüminyum Parçaları (Ercil, 2020)

2.1.2.2 Susturucular

Günümüzde fiyat ve kullanım performansı avantajları sonucunda, geleneksel yöntemlerle üretilen ses izalatörleri yerini açık hücreli metal köpükler almaktadır. Gaz akış türbülansı, gaz akış hızının düşürülmesi, gazlar gözenekli yapıların boyunca aktığı sırada meydana gelmektedir. Alüminyum, çok iyi derecede ısıyı ileten metal olmasından dolayı gazların hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlamaktadır. Şekil 2.3'te metal köpüklerden imalatı yapılmış susturucuların gösterilmektedir (Bağcı, 2021).

Açık gözenekli alüminyum, yaklaşık %55-65 oranında hacim gözenekliliğine sahip olduğundan ağırlığı düşüktür ve döküm yapısından dolayı yüksek dayanımlara sahiptir. Tabanca susturucularında ise açık gözenekli alüminyum malzeme ilave bir avantaj, gözenekli parçaları ve gözeneksiz parçaları tek bir parça haline getirmeyi sağlamaktadır (Ercil, 2020).

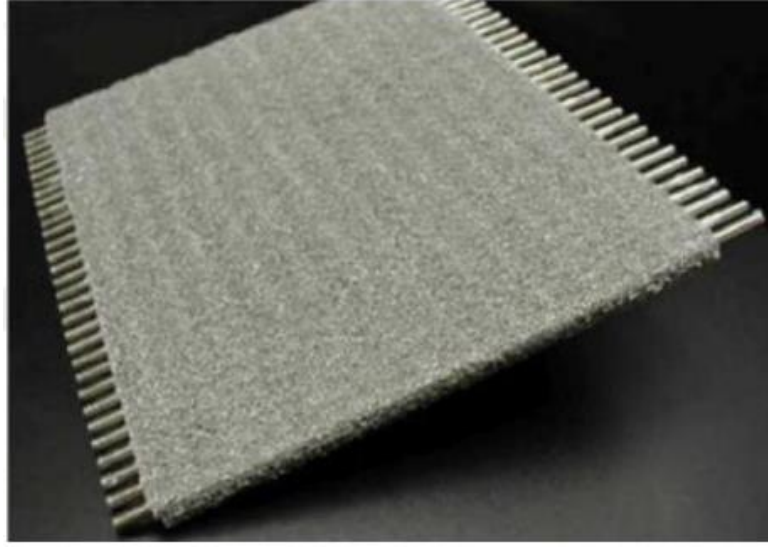


Şekil 2.3. Metal Köpük Susturucular (Bağcı, 2021)

2.1.2.3 Isı Düzenleyiciler

Isı düzenleyicilerde aranan başlıca özelliklerden birisi yüksek ısı iletkenliktir. Açık hücreli metal köpükler, yüzey çeperlerinin fazla olmasından ısı iletkenlikleri oldukça yüksek malzemeler olmasından dolayı eşanjör olarak kullanılması uygundur. İklimlendirme cihazlarında, soğutucu dolaplarda, elektronik çiplerin soğutulmasında ve çeşitli endüstriyel tesislerde bu malzemeler kullanılmaktadır (Bağcı, 2021).

Sıvı, hava ve gaz açık gözenekli alüminyumdan geçerek akar ve böylece sıcaklığın büyük iç yüzeylerden iyi derecede almasını sağlar. Gözenekli bir alüminyumun soğutulmasında idealdir. Soğutulması istenilen parça doğrudan açık gözenekli alüminyumlara tutturulmaktadır, gerektiği zaman havalandırma gerektiğinde de ısı, büyük iç yüzeylerden dış havada optimum olarak yayılmaktadır. Yüksek bir ısı kapasitesinde, ısı iletkenliğinden dolayı, alüminyum malzeme farklı ısı işlemlerde sık sık kullanılmaktadır. Gözenekli bir alüminyum, daha verimli ısı eşanjörlerin geliştirilmesi için ilave avantajlar sunmaktadır. Özellikle malzeme ağırlıklarının son derece önemli olduğu elektrikli araçlar, otomotiv endüstrisi, uçak sanayi ve uzay endüstrisi gibi sektörler için dikkat çekici özelliklere sahiptirler (Ercil, 2020). Şekil 2.4'te alüminyum köpük eşanjör gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Alüminyum Köpük Eşanjör (Dündar, 2019)

2.1.2.4 Yalıtım Uygulamaları

Hücreli yapılarından dolayı gözenekli alüminyumun ağırlığı oldukça hafiftir, iyi derece titreşimleri sönmölemeye sahip ve yüksek enerji emme kapasitesine sahip katı bir malzemedir. AGA malzemesinin özellikleri, gözeneklerin boyutuna da bağılıdır. Yarı mamulden alüminyum köpükler, hafif yapıdakiler için ideal malzemedir. %55-65 oranında gözenekliliğe ve 1.0-1.2 g / cm³ yoğunluklara sahip olan hafif bir gözenekli alüminyum malzemelerdir. Hafif ağırlığa sahip bir malzeme olan gözenekli alüminyumlar, beton ve yapısal çelikler vb. geleneksel olan malzemelerden daha çok pahalıdır. Şekil 2.5'te inşaat işlerinde hafif malzemeler olarak kullanılmakta olan açık gözenekli alüminyum parçalar gösterilmektedir (Ercil, 2020).



Şekil 2.5. İnşaatlarda Kullanılan Gözenekli Alüminyum Parçalar (Ercil, 2020)

2.1.2.5 Vakumlama Uygulamaları

Termoform ve vakum şekillendirme, termoplastiklerin oluşturulmasındaki bir proses olarak tanımlanır. Bu proseslerde, genel olarak vakum delikleri veya buharın geçmesi için buhar nozulları içeren özel bir alüminyumdan oluşan kalıplar kullanılmaktadır. Şekil 2.6’da vakumlama kalıplarında kullanılan gözenekli alüminyum gösterilmektedir. Bu amaçlarda kullanılmak üzere giderek daha da gözenekli metaller tercih edilmektedir. Açık gözenekli bir alüminyum köpük malzemeler termoform parçalarının üretiminde en uygundur (Ercil, 2020);

- Tam anlamıyla geçirgendir, kullanılan vakum deliklerinin delinme ihtiyacı yoktur.
- Alüminyum malzeme iyi derece de ısıyı ileten metal olmasından dolayı malzemenin çok hızlı olarak soğumasını sağlar.
- Döküm yapıdan dolayı yüksek mukavemetli olmasından gözenekli bir alüminyumdan yapılan kalıplarda kullanım olarak ömrü çok uzundur (Ercil, 2020).



Şekil 2.6. Vakumlama Kalıplarda Kullanılan Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020)

Çok karmaşık şekiller, katı alüminyum malzemeden yapılan kalıplarda üretim genel olarak mümkün olmamaktadır. Bu tür karmaşık formlarda, vakum ve buhar için gerekli kanalların yapılamamasıdır aynı zamanda da karmaşık kanallara vakum ve buharın verilmesi oldukça zordur. Gözenekli bir alüminyumda bulunan gözeneklerin düzgün dağılımları ve her yönündeki geçirgenlikleri sayesinde, en çok karmaşık şekillere sahip sınırlama olmadan üretilebilmektedir. Gözenekli bir alüminyum malzemenin yüzeyi, gözeneklerin yaklaşık olarak %50'sinden meydana gelmektedir. Her noktasında eşit vakum ve buharın beslemesinde imkân sağlamaktadır. Plastik malzeme özelliklerinin homojenliği, vakum ve buharın daha seyrek olarak yapılmış kanalların kullanılmasına göre çok yüksektir.

- Düşük gözenekli alüminyumun ağırlığı, köpük veya termoform parçası için hafif olan kalıpların üretilmesine izin vermektedir. Tüm yapının hemen hemen hepsi basitleştirilmiştir, gerekli olan vakum veya buharın iletilmesi için boruların ve hortumların bulunamadığından ağırlıkları da azdır.
- Özel işleme koşullarında gözenekli alüminyum malzemeler tornalarda, freze tezgâhlarında ve diğer başka makineler kullanılarak işlenebilmektedir. Prototiplerin üretimi ve seri üretimler için hızlı olarak karmaşık olan kalıplar oluşturulabilmektedir.

- Gözenekli bir alüminyum, döküm yöntemiyle üretildiğinden herhangi bağlayıcı malzemesi, tutkala ve reçine gibi bir birleştirici madde içermediği için 250-550 °C dereceye kadar yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir (Ercil, 2020).

2.1.2.6 Alev Önleyiciler

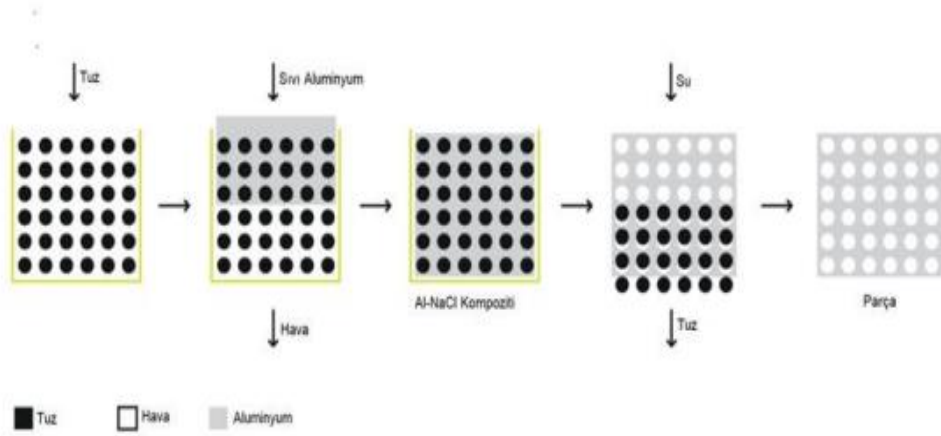
Gözenekli metaller ısı iletkenliklerinin yüksek olmasından dolayı, çeşitli sektörlerde alev tutucu olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de alüminyum köpükten yapılmış alev tutucu gösterilmektedir (Bağcı, 2021).



Şekil 2.7. Alüminyum Köpükten Yapılmış Alev Tutucu (Bağcı, 2021)

2.1.3 Döküm Yöntemiyle Açık Gözenekli Alüminyum Üretimi

Döküm yöntemi ile üretilen gözenekli alüminyum, hacim boyunca geçirgen bir gözenekli malzeme olmaktadır. Döküm yöntemi ile gözenekli bir alüminyumun üretimi, metal köpükler veya sinterlenmiş metaller gibi başka gözenekli olan metallerin üretim yöntemlerinden farklıdır. Şekil 2.8’de gözenekli parçaların döküm yöntemiyle üretim şeması gösterilmektedir (Ercil, 2020).



Şekil 2.8. Gözenekli Parçaların Döküm Yöntemiyle Üretim Şeması (Ercil, 2020)

Açık gözenekli alüminyum üretim süresi 3 aşamada aşağıdaki gibidir;

- Vakum yöntemiyle açık gözenekli alüminyum üretimi (Ercil, 2020)

Döküm yöntemi kullanılarak gözenekli bir alüminyumdan üretilecek parçaların üretiminde geleneksel olan kalıplarla yapılmaktadır. Kalıbın içi kristal tuzla doldurulur, daha sonra da erimiş olan alüminyum dökülerek ve tuz parçacıklarının arasından geçmektedir. Farklı ebatlara sahip gözenek ve gözeneklilik yapılarındaki parçaların elde edilmesi için, tuz farklı ebatlarda kullanılmaktadır. Kullanılan bütün tuz tanecikleri birbirlerine temas etmektedir, böylece gözenekli bir alüminyum parçasının geçirgenliklerini sağlamaktadır. Tuzun kalitesi, gözenekli bir alüminyumun üretilmesini ve malzemenin özelliklerini kesinlikle etkilememektedir. Kullanım alanlarına bağlı olarak, gözenekli bir alüminyum üretilmesi için uygun olan alüminyum alaşımının seçilmesi ve kullanılması sağlanmalıdır. Özel olan durumlarda ise yüksek bir ısı iletimi sebebiyle saf alüminyum malzeme tercih edilmektedir. Sinterleme teknolojisiyle üretilen hücreli metallere, ayrı metal partiküllerini bir araya toplanmaktadır. Metal kürelerin arasındaki temas ettiği noktalar, termal iletkenliğinde direnç noktalarını oluşturmaktadır. Sinterlenmiş metallere aksine gözenekli bir alüminyum, birer birer parçacıklardan oluşmamaktadır ve dökme bir yapıya sahiptir. Gözenekli bir alüminyum parçalarının ısı iletkenliğini ve mukavemetini sinterlenmiş malzemelere göre yüksektir.

- Mekanik İşlemler (Ercil, 2020)

Mekanik işlemler de gözenekli bir alüminyum parçalarının üretiminde önemlidir. Şerit testereler ile blok ve plakalar, farklı ebatlarda ve kalınlıklarda üretilmektedir. Silindirik parçalar da elde edilebilmektedir. Alüminyum malzemenin, kalıplara tuzların dökülmesinden ve kalıpların soğutulmasından sonra da mekanik işlem için freze tezgâhı, torna tezgâhı ve CNC tezgâhı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Üretim teknolojileri sayesinde bütün karmaşık parçalarında üretilebilmesi mümkündür.

- Kristal Tuzlardan Temizlenmesi (Ercil, 2020)

Tuzların yıkanması sadece mekanik yapılan işlemlerden sonra da gerçekleştirilir, bundan dolayı bütün gözeneklerin açık bir yapıda olması garanti edilmekte ve ürünler tamamen geçirgen kalmaktadır.

2.1.4 Döküm Yöntemiyle Diğer Yöntemlerin Karşılaştırılması

2.1.4.1 Toz Sinterleme Yöntemiyle Alüminyum Köpük Üretimi

Toz metalurjisi yöntemiyle boşluk tutucu olarak NaCl tuzunun kullanarak birçok çalışma yapılmıştır (F. Medik, Sunar, Çetin, Yaşar, & Turhan, 2017; S. Medik, 2019; Yavuz, 2010). NaCl tanelerinin ergime sıcaklığının yaklaşık 800 °C olması, özellikle çinko, kurşun ve zamak (Zn-Al) gibi düşük sinterleme sıcaklıklarının kullanıldığı metal ve alaşımlar için uygundur. Gözenekli bir alüminyum ile sinterlenmiş metaller hem geçirgenlerdir hem de açık hücreli yapıdadır, ancak üretim teknolojisi ve malzeme yapıları farklıdır. Gözenekli bir alüminyumun üretiminde, sıvı haldeki alüminyumla birlikte kristal tuzlar da dökülmektedir. Soğutmadan ve mekanik işlemten sonra, tuzlar yıkanmaktadır. Tuz tanelerinin ve temas noktalarının yerini gözenekler oluşturmaktadır. Sinterlenmiş olan metaller, metal granüller ile pişirilmektedir. Granüllerin arasında bulunan boşluklar oluştuktan sonra gözenekler meydana gelmektedir. Gözenekli bir alüminyumda, gözenekler tuz taneciklerinin yerini oluşturmakta ve tuzlardaki boşluklarda metal ile doldurulmaktadır. Gözenekli olan metallerin modern

teknolojide son derece önemli rol oynamaktadır. Filtrelerde ve filtre elemanlarında, susturucularda, muylu yataklarında, yangın bariyerlerinde, vb. sinterleme üretim yöntemi olarak isimlendirilen toz metalurjisi yönteminde çeşitli metal tozlar kullanılarak yapılmaktadır. Sinterleme yönteminde, yüksek stabilitede ve yüksek bir hacim gözenekliliğine sahip olan geçirgen malzeme gerektiğinde, genel olarak bakır, bronz ve çelik kullanılmaktadır. Düşük yoğunlukta, iyi bir korozyon direncinde, yüksek bir ısı ve elektrik iletkenliğinden dolayı alüminyuma, bronz, çeliğe ve bakıra göre birkaç avantajı bulunmaktadır. Sinterleme yöntemiyle gözenekli alüminyum malzemelerin üretilmesi zordur. Sinterleme yöntemiyle, alüminyum malzemenin üretilmesinde bazı zor süreçler meydana gelmektedir; alüminyum tozları hızla reaksiyona girmektedir ve alüminyum granüllerin erimeyen okside Al_2O_3 'e oksitlenmektedir. Oksit tabakaların çözünbileceği sıcaklıkta, alüminyumun erime sıcaklığından daha yüksektir. Sıcaklık, alüminyum malzemenin granül boyutuna ve oksitlerin kalınlığına da bağlıdır. Teorikte problemleri çözmeye bazı yöntemler mevcuttur, fakat pratikte de sinterleme yönteminden sonra yeteri kadar dayanıma sahip, yüksek hacimli poroziteli alüminyum malzemelerin üretimi henüz yapılmamıştır (Ercil, 2020).

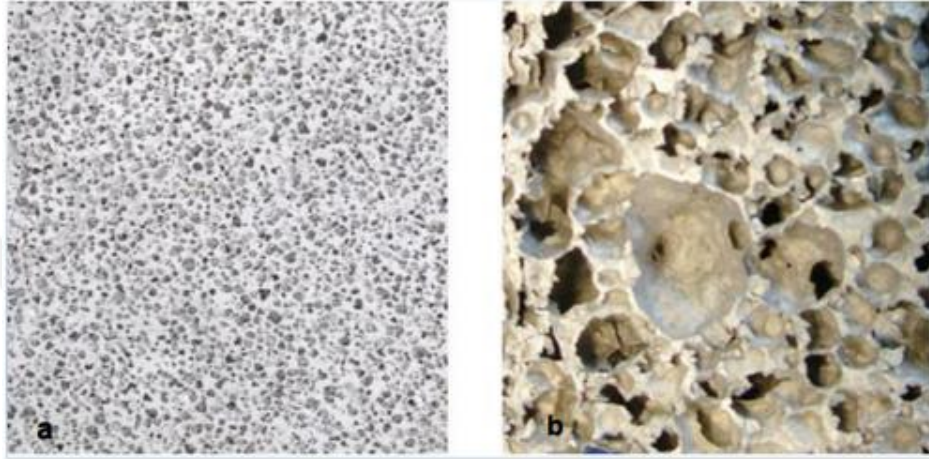
Sinterlenen metallere göre avantajları;

- Gözenekli bir alüminyum, hacim gözenekliliğinin oranı yaklaşık %55-65 arasındadır.
- Sinterlenen metallerin, hacim porozitesinin oranı yaklaşık %30-35 arasındadır.
- Dökme yapıdan dolayı gözenekli bir alüminyum, yüksek bir stabiliteye sahip ve sinterlenmiş olan metallerin aksine parçalanamaz (Ercil, 2020).

2.1.4.2 Köpürtme Yöntemiyle Alüminyum Köpük Üretimi

Açık hücreli olan metal köpükler, gözenekli alüminyumlar gaz ve sıvı ortamlara karşı geçirgen, ancak üretim yöntemleri ve özellikleri için farklılık göstermektedir. Alüminyum malzemeler kristal tuzlar ile dökülmekte, ardından da tuzlar yıkanmakta ve tuz tanelerinin ve temas noktalarının yerini gözenekler oluşturmaktadır bu da gözenekli döküm için alüminyum malzemeler elde

edilmektedir. Yüksek bir kırılma mukavemetleri ve düşük ağırlıkları sayesinde köpüklü olan metaller oldukça önemli hale gelmektedir. Özellikle içyapıları ve çok iyi bir ısı iletkenliğinden dolayı araçların yapımında hafif parçalar, aynı zamanda da ısı mühendisliklerinde kullanılmaktadır. Metal köpüklerde genellikle alüminyumlar ve alüminyum alaşımlarından üretilir. Bakırlar, çinkolar ve kurşun malzemeler de köpüklenebilmektedir. Şekil 2.9'da köpürtme yöntemiyle alüminyum köpük üretimi yöntemi görülmektedir (Ercil, 2020).



Şekil 2.9. a. Gözenekli Alüminyum b. Metal Köpük İç Kesit (Ercil, 2020)

2.1.4.3 Gaz Üfleme Yöntemi ile Alüminyum Köpük Üretimi

Metal tozlar ve diğer farklı bileşenler ile karıştırılmaktadır ve metallerin erime noktalarının üzerinde ısıtılmaktadır. Son olarak, karışımlara köpüren gaz halinde bulunan hidrojen salınarak ve erimiş olan metallere gaz verilmektedir, soğuduktan sonra da gözenekli yapı kalmaktadır. Sonucu elde edebilmenin tek yolu, metal köpük imalatındaki zorluklardan metal ve iticilerin doğru kombinasyonunun bulunması, bunların doğru zamanda kullanılması ve doğru sıcaklıkta ısıtılması gerekmektedir. Gözeneklerin kontrolü, gözeneklerin büyüklüğü ve gözeneklerin dağılımları tahmin edilememektedir. Bu nedenle, basit üretim yöntemleri ile gözenekli dökme alüminyum malzeme değerli bir alternatiftir. Farklı ebatlardaki gözenekler arasında geniş aralıklarla iyi tanımlanmış olan gözenek boyutlarında, istenilen uygulamalar için optimum gözeneklilik üretilmesi sağlamaktadır. Gözeneksiz ve gözenekli malzemelerin ayrılmaz kombinasyonunu, geniş uygulama alanlarına sahiptirler (Ercil, 2020).

Gözenekli alüminyum malzemelerin, metal köpüklere göre aşağıdaki birkaç bazı avantajlarına sahiptir;

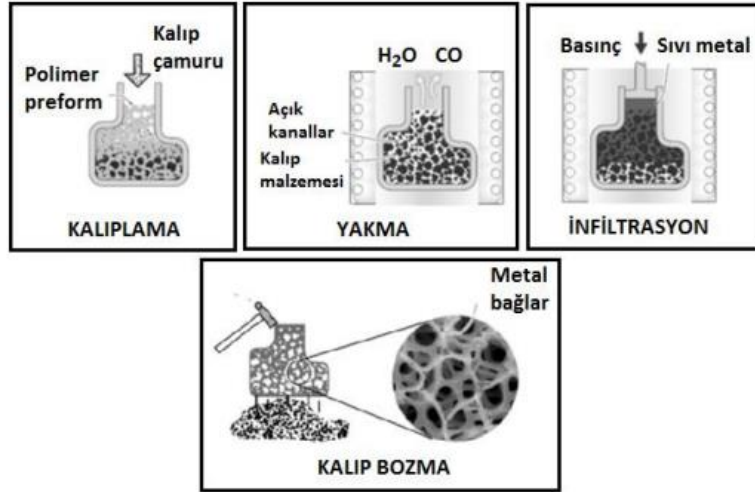
- Hacim porozitelerinin kontrol edilmesi,
- Gözenek ölçülerinin kontrol edilmesi,
- Gözenek dağılımlarının kontrol edilmesi ve homojen yapısı,
- Gözenekli bir alüminyum malzemenin üretimi için iki farklı tuzlar kullanılmaktadır. Küresel ve kayacık şekle ve parçacıklara sahip tuzlardır (Ercil, 2020).

2.1.4.4 Polimer Köpük Üretimi

Gözenekli bir alüminyum malzemenin üretim yöntemi, diğer gözenekli bir malzemenin üretim yöntemlerinden farklıdır. Teknolojisinin yüksek esneklikleri ve uyarlanabilirlikleri sayesinde, gözenekli bir alüminyum çeşitli uygulamalarda diğer gözenekli bir malzemelerle rekabet edebilmektedir. Çoğu durumlarda gözenekli bir alüminyum; sinterlenen metallerde, gözenekli seramiklerde, gözenekli plastiklerde, ağlar ve tel malzemelerinde çok değerli bir alternatif olmaktadır (Ercil, 2020).

Polimer bir köpük malzeme, hassas döküm yöntemiyle de köpük malzemeler üretilmektedir. Polimer bir köpük malzeme, model için kullanıldığında ısıya çok dayanıklı seramik tozlardan oluşturulmuş çamur dolgu malzemelerine batırılarak kalıplar oluşturmaktadır. Polimerlerin uzaklaştırılmasıyla ise metal köpüklerde katı boşluklar meydana gelmektedir. Düşük bağıl yoğunluk ve geniş aralıklarda çeşitli gözenek ebatlarına sahip olan polimer köpükler, model olarak kullanılmaktadır. 1-5 mm aralıklarında gözenek boyutlarında ve 0,05 gibi düşük bağıl yoğunluklarına sahip açık gözenekli köpük malzemeler üretilmektedir. Şekil 2.10'da hassas döküm yöntemiyle gözenekli yapının yöntemi gösterilmektedir (Sunar, 2019).

Polimer köpük üretim yöntemi ile AGA köpük üretilmesine yönelik ülkemizde de bazı çalışmalar mevcuttur. Polimer köpük üretimi ile alüminyum 6063 alaşımından, açık hücreli köpük üretimi yapılmıştır (Yağşi, 2018).



Şekil 2.10. Hassas Döküm Yöntemiyle Gözenekli Yapı Yöntemi (Sunar, 2019)

2.1.4.5 Gözenekli Seramikler

Seramik malzemelerin kullanım alanlarında, yeterli olarak kullanım ömürlerine sahip olabilmeleri için, belli duvar kalınlıklarında olması gerekmektedir. Ağır ve kırılğan olmalarından dolayı özenle işlenilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.11. Gözenekli Seramik ve Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020)

Gözenekli alüminyumlar; seramik parçaların birkaç kullanım alanlarında ise 5-10 kat daha küçük duvar kalınlıklarına, 7-15 kat daha az ağırlıklara ve aynı zamanda daha yüksek dayanımlara sahip olmalarından dolayı titreşimlere ve darbelere karşı çok dayanıklıdır. Gözenekli bir alüminyum, seramik malzemelere

göre daha yüksek bir çalışma basıncına sahiptirler. Şekil 2.11’de gözenekli seramik ve gözenekli alüminyum parçaları gösterilmektedir (Ercil, 2020).

2.1.4.6 Gözenekli Plastikler

Gözenekli plastik malzemelere göre, gözenekli alüminyum parçaları daha yüksek mukavemetlere, daha yüksek çalışma sıcaklıklarına sahip ve korumaya ihtiyaç duymamaktadırlar. Bazı uygulamalarda ise gözenekli alüminyum malzemelerin kullanılması, filtre ve susturucuda daha uzun ömre sahiptirler, aynı zamanda daha yüksek basınçlar altında çalıştırılabilmektedir. Gözenekli alüminyum malzeme yanmazdır. Şekil 2.12’de gözenekli plastikler ve gözenekli alüminyum parçalar gösterilmektedir (Ercil, 2020).



Şekil 2.12. Gözenekli Plastikler ve Gözenekli Alüminyum (Ercil, 2020)

2.2 EPS Enjeksiyon Kalıp Tasarımı

EPS enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilecek parçanın tasarımı çoğunlukla müşteri tarafından tasarlanarak kalıpcı firma ile kalıp tasarımı yapılması için paylaşılmaktadır.

EPS enjeksiyon kalıplama yöntemi için çeşitli paketleme programları kullanılmaktadır. Mefa Endüstri A.Ş. bünyesinde kalıp tasarımları Solidworks paket programı kullanılarak yapılmaktadır.

Literatürde EPS enjeksiyon kalıp tasarımı ile ilgili bilgiler mevcut değildir, bu bölümdeki bilgiler ile EPS kalıp tasarımı yapacak kişilere veya firmalara fayda sağlayacaktır. EPS enjeksiyon kalıplama yöntemi ile ilgili maddeler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

- Enjeksiyon makine seçimi ve göz sayısı
- Draft analizi
- Kalıplanacak parçaya çekme payının verilmesi
- Dişi ve erkek çekirdeklerin oluşturulması
- Dişi ve erkek çekirdeklerin prosese uygun hale getirilmesi
- Kalıp soğutma kollektör tasarımı
- Kalıp dayama desteklerinin tasarımı

2.2.1 Enjeksiyon Makine Seçimi ve Göz Sayısı

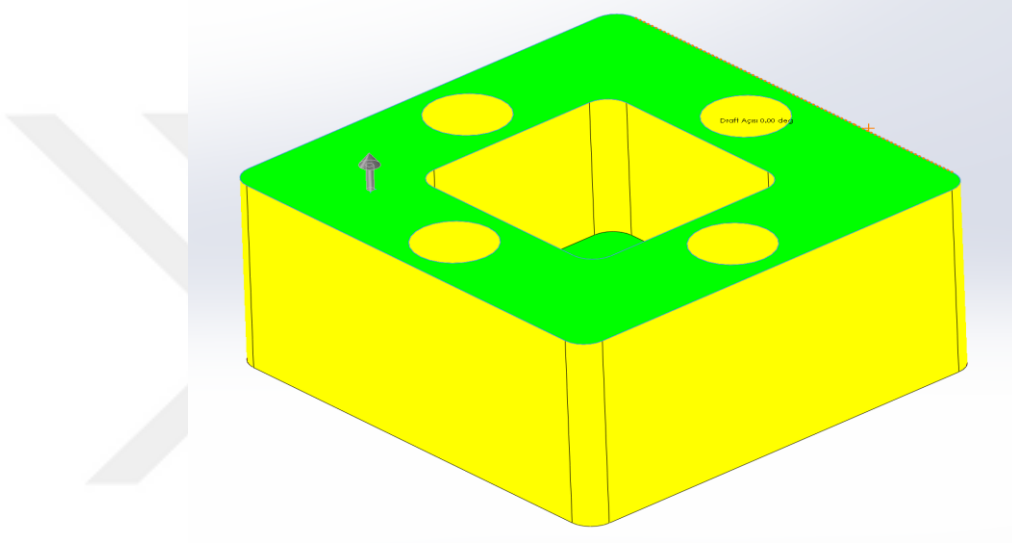
Kalıp teklif aşamasında ürünün ebatına ve makine doluluklarına göre makine seçimi yapılmaktadır. Bazı durumlarda takım olan parçalar aynı makinadan ve kalıptan çıkması için ürünün ebatından büyük makinalar da seçilebilmektedir. Birden fazla ürün aynı kalıpta olabilmesi için parçaların yoğunlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu durum bazı EPS enjeksiyon makinelerinde çift dolum tüpü ile çözülebilmektedir. Tek dolum tüpü olan makinelerde farklı yoğunluklarda birden fazla ürün üretmek mümkün değildir.

Seçilen EPS enjeksiyon makinesi ebatına göre ise göz sayısı belirlenmektedir. Göz sayısı belirlenirken EPS enjeksiyon makinasının kaç adet dolum tüpünün olduğu önemlidir. Tek dolum tüpünde genellikle 16 adet enjektör çıkışı vardır.

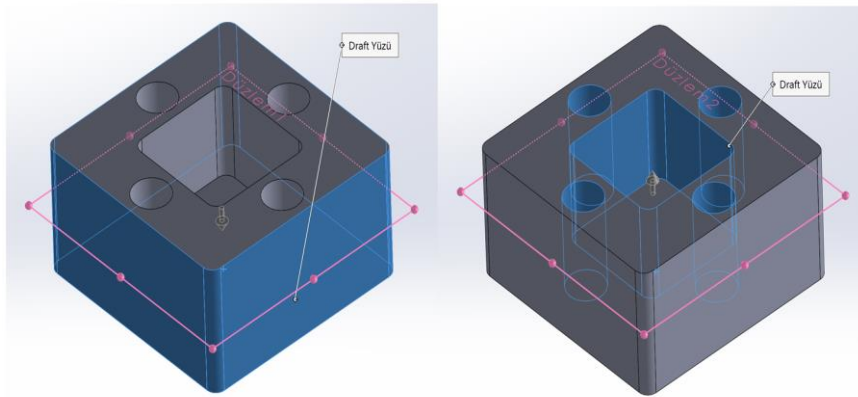
Seçilen EPS enjeksiyon makinesi ebatına göre kalıp plaka ebatları değişmektedir. EPS kalıbında dişi ön plaka, dişi arka plaka ve erkek ön plaka malzeme olarak alüminyum 5083 H111 kullanılmaktadır.

2.2.2 Draft Analizi

Kalıp içerisindeki enjeksiyon işleminden sonra soğuyup katılaştan ürünü kalıptan dışarı rahat çıkabilmesi için, ürünün çıkma eksenine paralel olan yüzeylere draft açısı verilmektedir (Ceritbinmez, 2014). EPS kalıplarında draft açıları parça tasarım aşamasında parçanın tasarımcısı tarafından genellikle 1° (derece) çıkma açısı verilmektedir. Draft açısı verilmediği durumda kalıp tasarımcısı 100 mm kalınlığı üzerinde ise $0,3^\circ$ çıkması açısı vermektedir. Şekil 2.13'te örnek parça üzerinde draft analizi yapılarak çıkma açısı verilecek yüzeyler tespit edilmektedir. Sarı renkli yüzeylere parçanın çıkma yönüne göre çıkma açısı verilmektedir.

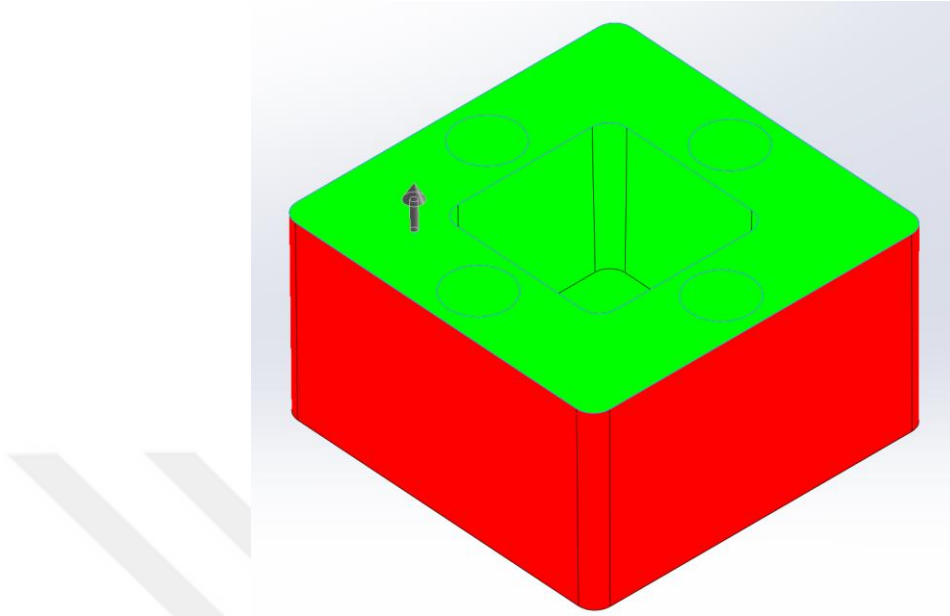


Şekil 2.13. Draft Analizi (Açı Gerekli Yüzeyler)



Şekil 2.14. Çıkma Yönüne Göre Açı Verilecek Yüzeyler

Şekil 2.14'te draft verilecek yüzeyleri ortalayarak nötr düzlem oluşturulur ve çıkma yönüne göre mavi renkli seçilen yüzeylere çıkma açısı verilmektedir.



Şekil 2.15. Parçanın Draft Açısı Verilmiş Hali

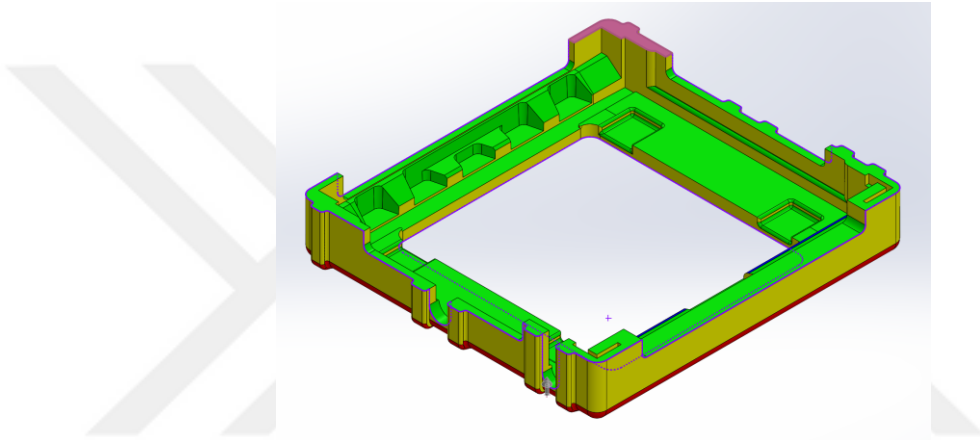
Şekil 2.15'te parçanın çıkma yönüne göre draft açısı verilmiş hali gösterilmektedir. Kırmızı yüzeyler dişi gözde kalacak, yeşil yüzeyler ise erkek gözde kalacağı anlamına gelmektedir.

2.2.3 Kalıplanacak Parçaya Çekme Payının Verilmesi

Tasarlanacak parça EPS enjeksiyon kalıpcılığında üretileceğinden, kullanılacak olan polistiren hammadde seçimine göre parçaya kalıp çekmesi verilmektedir. Kalıbın çekmesi, kalıp boşluğunun ölçüleriyle tasarlanmış parçanın gerçek boyutlarındaki fark olarak tanımlanmaktadır. 1.004 çekme payı parçaya verilerek kalıp tasarımı yapılır. EPS ürününe, çekme payı verilmesinde 100 mm ölçüsünde ürünün 100.40 mm ölçüsündeki bir ürüne gelmesidir. Kalıp çekme payında verilen ürünün, merkezden dışa doğru bütün ölçüleriyle birlikte homojen olarak büyümektedir. Bu şekilde enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra, soğutulup kendini çeken ürün istenilen ölçülerde üretilmiş olmaktadır (Ceritbinmez, 2014).

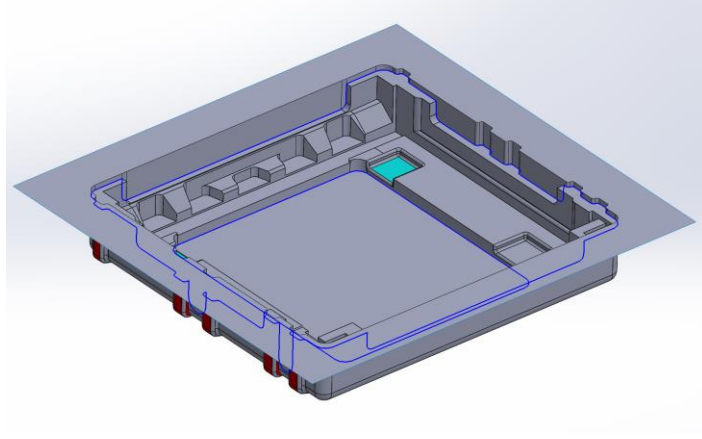
2.2.4 Dişi ve Erkek ekirdeklerin Oluşturulması

Kalıp çekirdeklerinin öpüştüğü, ürünün açılma düzlemi üzerinde bulunan çizgiye ayırım hattı olarak tanımlanmaktadır. Tasarlamış olduğumuz parçanın geometrik şekline, ebatlarına göre ve parça üzerinde patlatılmış boşaltma yapılmış ise birden fazla ayırma çizgisi olmaktadır. Tasarlanan parçanın ortası boş olduğu için iki ayırım çizgisi oluşmaktadır. şekil 2.16’da mor çizgi ile ürünün etrafını dönen ve orta boşluğunun etrafının dönen çizgi parçanın kalıp ayırım hattının belirtildiği gösterilmektedir.



şekil 2.16. Kalıp Ayırım Hattının Belirtilmesi

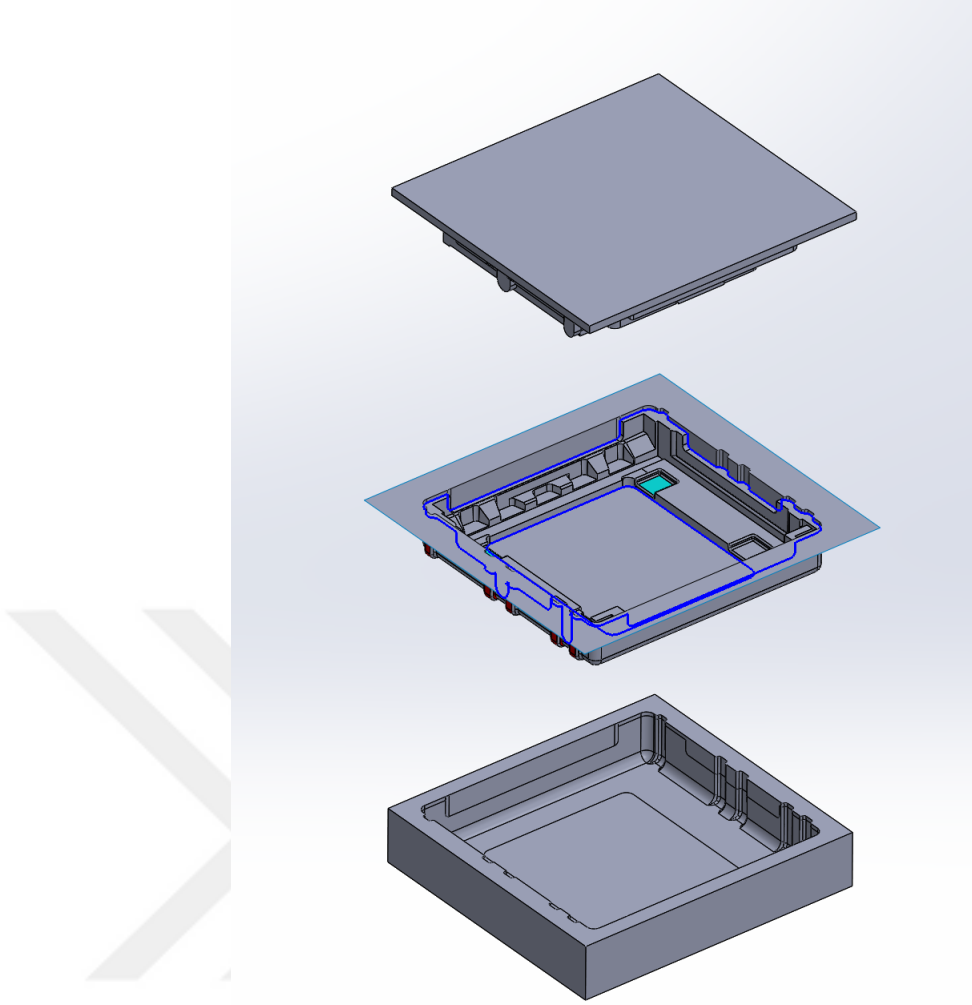
Kalıp ayırım hattının belirlenmesinden sonra, parçanın içinde şekilleneceği erkek ve dişi çekirdeklerinin oluşturulması için gerekli olan ayırım yüzeylerinin belirtilmesi gerekmektedir. şekil 2.17’de ayırım yüzeylerinin oluşturulması gösterilmektedir. EPS Enjeksiyon makinasında 10mm spalt olduğu için ayırım yüzeyi ürünün üstünden 10mm yukarıda yapılır.



Şekil 2.17. Ayrım Yüzeylerinin Oluşturulması

Ayrım yüzeylerinin oluşturulmasından sonra bu yüzey kullanılarak dişi ve erkek çekirdekler oluşturulmaktadır. Solidworks programında otomatik olarak erkek ve dişi oluştur penceresi açılarak dişi ve erkek çekirdek kalınlıkları belirtilir, ayrım yüzleri seçilerek otomatik olarak dişi ve erkek çekirdekleri oluşturmaktadır.

Şekil 2.18’de tasarlanan parçanın dişi ve erkek çekirdeklerinin oluşturulduğu görülmektedir. Dişi ve erkek seçiminde genellikle ürün yüzeyinden formsuz taraf dişi çekirdek seçilmektedir, tabi bu seçimde parçaya verilen draft açıları en büyük etkindir.



Şekil 2.18. Dişi ve Erkek Çekirdeklerinin Oluşturulması

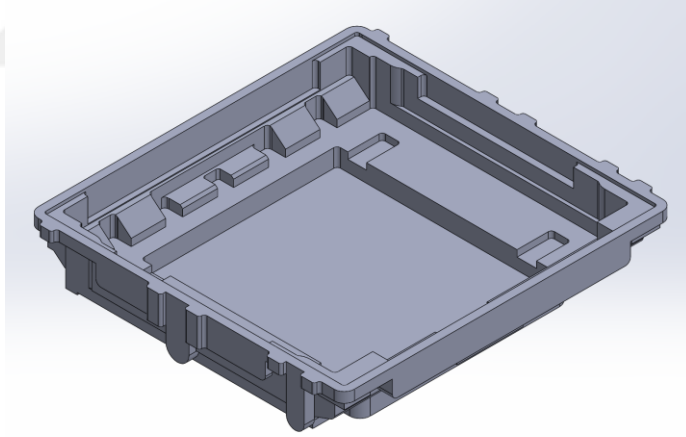
2.2.5 Dişi ve Erkek Çekirdeklerin Prosesle Uygun Hale Getirilmesi

Dişi ve erkek çekirdeklerin birbirine sürtünmemesi için 0,3 mm geçme boşluğu verilmektedir. Erkek çekirdeğin, dişi çekirdeğe sürtündüğü yüzeye 0,3 mm geçme boşluğu ve dişi çekirdekte ise erkek çekirdeğin geçtiği yüzeye 0,3 mm geçme boşluğu verilmektedir. Şekil 2.19’da gösterilmektedir.

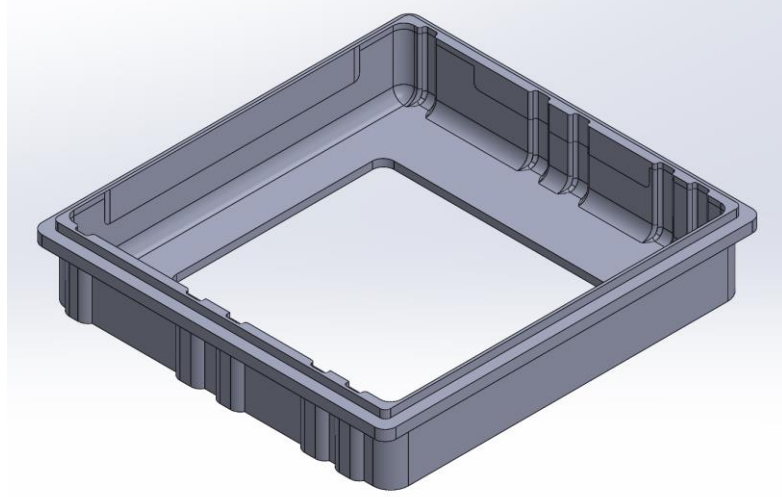


Şekil 2.19. Dişi ve Erkek Gözlere Geçme Boşluğunun Verilmesi

Dişi ve erkek çekirdekler proses gereği ısıtma ve soğutma hızlı olması gerekmektedir. Dişi ve erkek çekirdeklerin et kalınlığı genel olarak 12-15 mm arası yapılmaktadır. Şekil 2.20’de et kalınlığı düşürülmüş ve seçilen enjeksiyon makinasından dolayı 10 mm erkek çekirdek kalınlaştırılmıştır. Bunun sebebi ise erkek çekirdeklerin bağlantı plaka ile dişi çekirdeklerin bağlandığı plaka arasında enjeksiyon makinası kapandığında iki plaka arasında 10 mm boşluk olmasıdır.

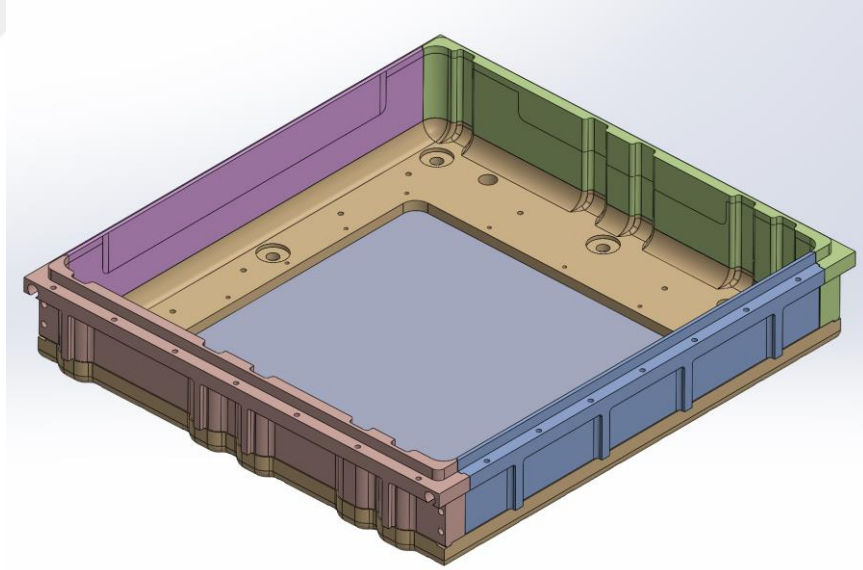


Şekil 2.20. Et Kalınlığı Düşürülmüş Erkek Çekirdek



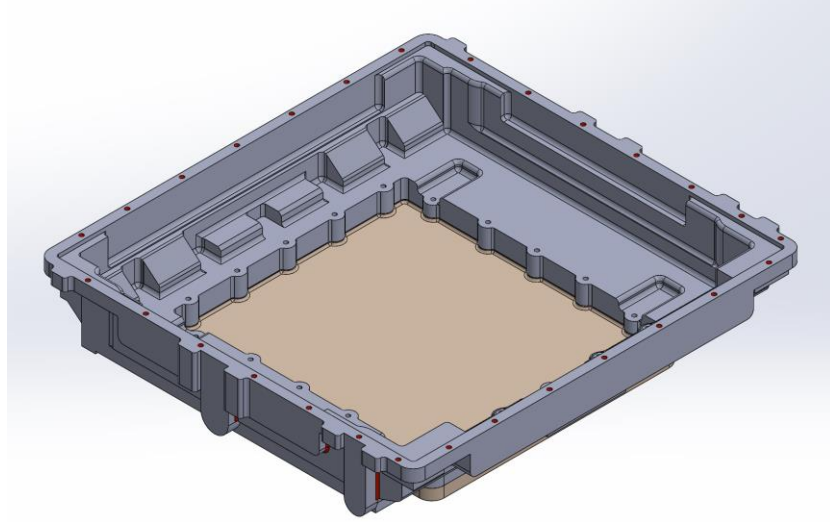
Şekil 2.21. Et Kalınlığı Düşürülmüş Dişi Çekirdek

Şekil 2.21’de dişi çekirdeğin et kalınlığı düşürülmüş hali gösterilmiştir. Aynı zamanda dişi çekirdeklerin dişi ön plakaya bağlandığı 15 mm derinliğinde boşaltma bu aşamada yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra dişi ve erkek çekirdekleri imalatı daha hızlı, kolay ve maliyeti düşürmek için çekirdekler bölünmektedir.



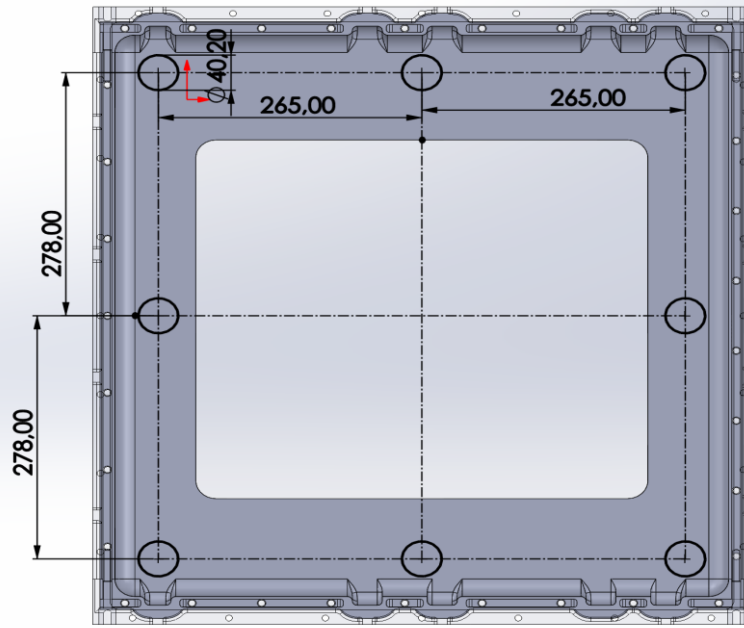
Şekil 2.22. Dişi Çekirdek Bölünmüş Hali

Şekil 2.22’de dişi çekirdeğin (gözün/kazanın) 6 parçaya bölünmüş hali gösterilmektedir. Böylelikle imalat süresinde, maliyette azalma ve montaj kolaylığı sağlanmaktadır.



Şekil 2.23. Erkek Çekirdek Bölünmüş Hali

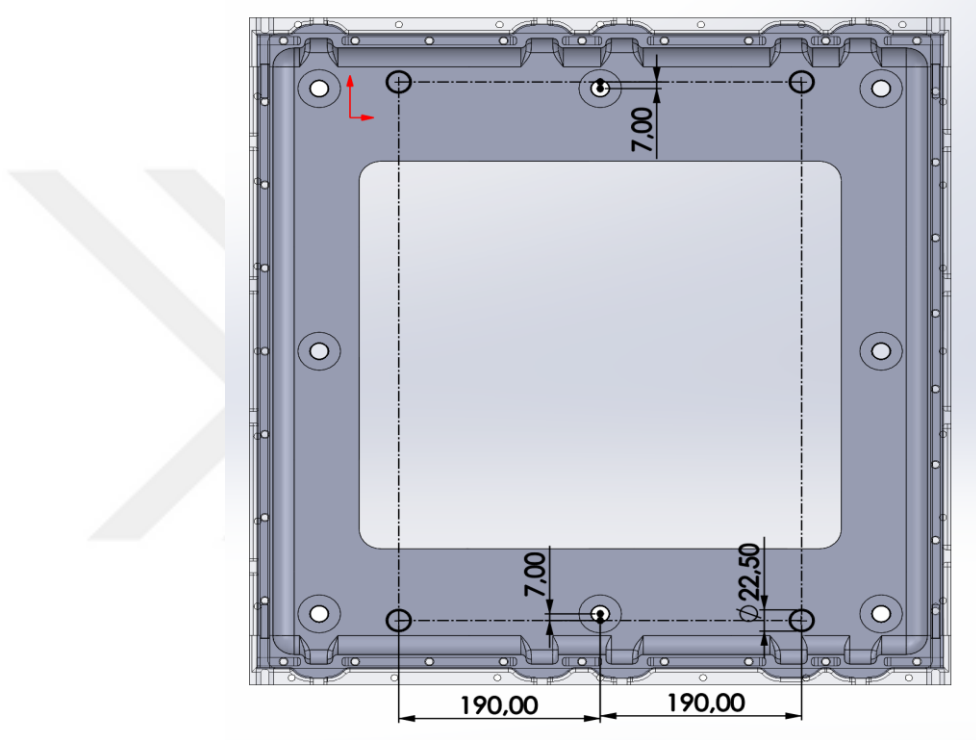
Şekil 2.23'te erkek çekirdeğin / gözün ikiye bölünmüş hali gösterilmektedir.



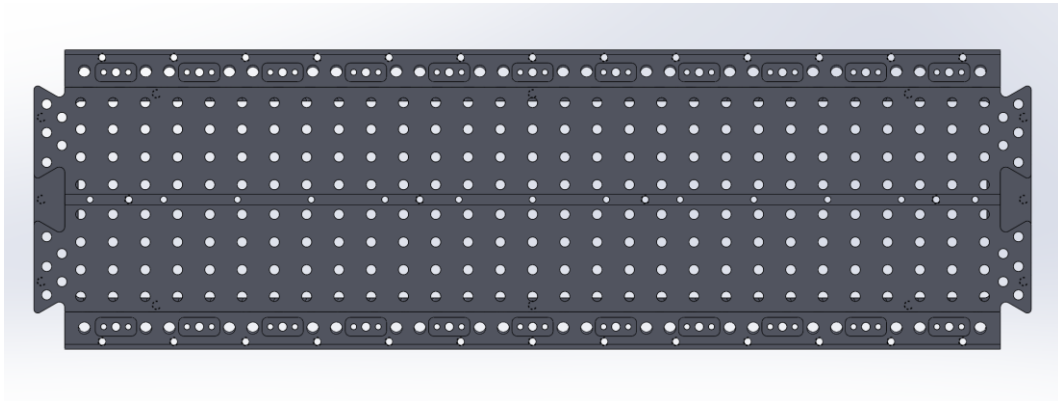
Şekil 2.24. İtici Konumlarının Belirlenmesi

İtici konumları dişi çekirdeğin / gözün tabanına ve genellikle köşe kısımlarına konumlandırılmaktadır. Parçanın geniş olduğu durumlarda ise köşe ortalarına da konumlandırılmaktadır. İtici pul ebatları Ø40 mm, Ø30 mm, Ø25 mm ve Ø20 mm olarak kullanılmaktadır, bu ölçülere göre dişi gözün tabanına geçme boşluğu verilerek 5mm derinliğinde açılmaktadır. Şekil 2.24'te dişi gözün itici konumlarının

belirlenmesi gösterilmektedir. İtici konumları parçanın kalıptan çıkmasını sağlayan en önemli parçalardan birisidir. Kalıba hammaddenin basıldığı enjektör delikleri dişi çekirdeğin tabanına delinmektedir. Enjektörün uç çapı 22 mm olduğu için, dişi tabana 22.5 mm çapında delik delinmektedir. Enjektör konumları belirlenirken tamamen kalıp tecrübesine dayanarak konumlandırılmaktadır, herhangi bir mühendislik hesabı bulunmamaktadır. Şekil 2.25'te enjektör konumlarının belirlenmesi gösterilmektedir. 1 göze 4 adet enjektör konumlaması yapılmıştır.



Şekil 2.25. Enjektör Konumlarının Belirlenmesi

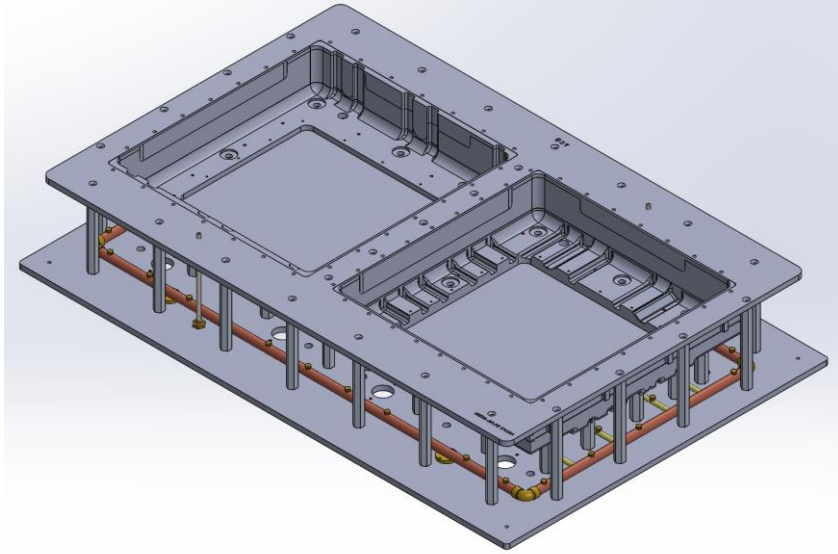


Şekil 2.26. Nozul Deliklerinin Delinmesi

Şekil 2.26’da örnek olarak erkek çekirdeğe nozul deliklerinin delinmesi gösterilmektedir. Ø12 mm’lik alüminyum nozullar 35 x 35 mm genişliğinde, Ø10 mm’lik nozullar 30 x 30 mm genişliğinde, Ø8 mm’lik alüminyum nozullar 25 x 25 mm ebatında vb. dişi ve erkek çekirdeklerin ürünün yansıdığı yüzeylere delinmektedir. Alüminyum nozul deliklerin amacı ürünün pişmesine ve soğumasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda da itici olmayan kalıplar da ürünün kalıptan çıkmasını sağlamaktadır. Dişi ve erkek çekirdeklerin malzemesi alüminyum 5083 H0’dır.

2.2.6 EPS Kalıp Soğutma Kollektör Tasarımı

Ürünün pişmesi, kalıp çekirdeklerinin soğutulması ve ürünün kalıptan çıkması için soğutma kollektörleri oldukça önemlidir. Genellikle soğutma kollektörleri bakır borudan yapılmaktadır. Püskürtme yapan parçalar ve su girişlerin malzemesi pirinçtir. Monoblok kalıplarda derin ürünlerde ise 30 x 30 mm paslanmaz profilden ve gözlerin arasına girecek şekilde bakır boru yaparak soğutma grubu da yapılmaktadır. Plakalı kalıplarda sadece dişi tarafa soğutma kollektörü yapılmaktadır. Buhar kamarası makinada sabit olduğu için erkek tarafın soğutması makinada sabittir. Monoblok kalıplarda ise dişi ve erkek tarafa da soğutma kollektörü yapılmaktadır.

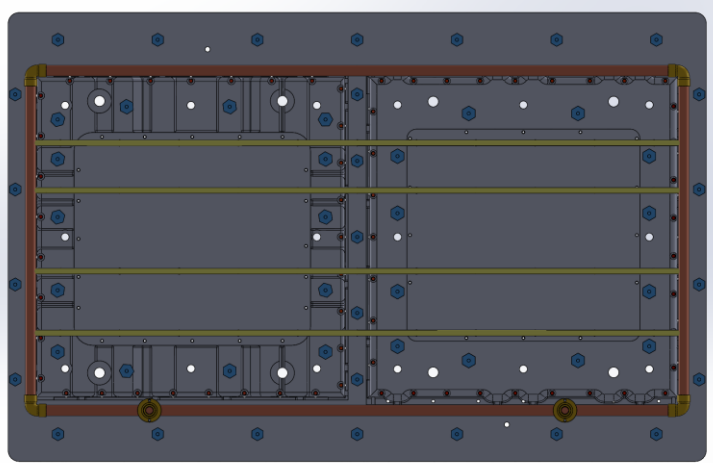


Şekil 2.27. Plakalı Kalıp Soğutma Kollektörü

Şekil 2.27’de bakır borudan yapılmış plakalı kalıpta soğutma kollektörü montajı gösterilmektedir.

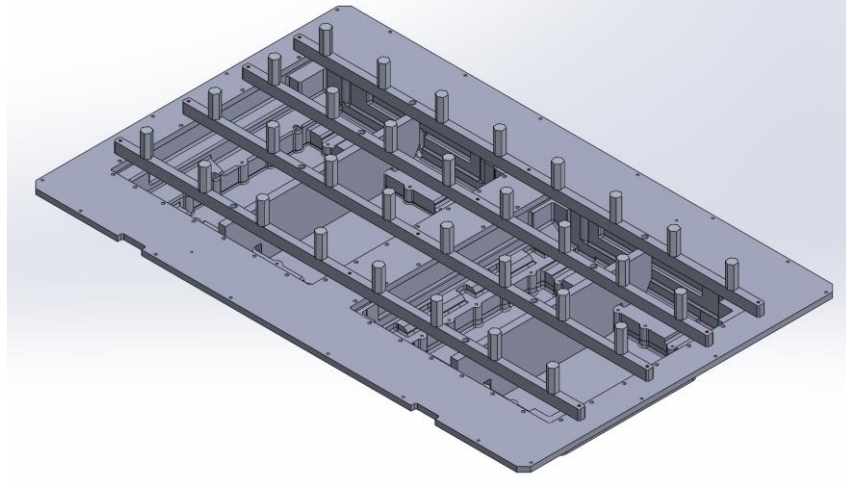
2.2.7 EPS Kalıp Dayama Destek Tasarımı

Kalıbın esnememesi için dayama desteklerinin konumu oldukça önemlidir. Alüminyum 6061 serisi 24 mm veya 27 mm altıgen lama kullanılmaktadır. Dişi ön plaka ile dişi arka plaka arasına makine ebatından dolayı 225 mm boyunda dayama desteği yerleştirilmektedir. Dişi göz ile dişi arka plaka arasına dayama desteği atılması gerekmektedir. Gözün altına dayama yerleştirilmediği durumda gözlerde esneme meydana gelmektedir. Aynı zamanda esnemenin dolayı ürün kalınlıklarında problem yaşanmaktadır. Dişi çekirdeğin derinliğine göre bu dayama boyu değişmektedir. 225 mm dayama desteğinin boyu oldukça önemlidir. Uzun olması durumunda makinede bulunan buhar kamerasına plaka tam oturmayacağı için buhar kaçaqlarına sebep olabilmektedir. Şekil 2.28’de dişi taraf dayama destekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.28. Dişi Taraf Dayama Destekleri

Dişi tarafa dayama desteği konumlandırırken itici, enjektör ve soğutmanın bulunduğu konumlar dikkate alınarak yerleştirilmelidir.



Şekil 2.29. Erkek Taraf Dayama Destekleri

Şekil 2.29’da erkek taraf dayama destekleri gösterilmektedir. Genellikle enjeksiyon makinasının ebatına göre dayama ölçüsü değişmektedir. 65 mm ölçüsünde alüminyum 6061 serisi altıgen malzeme kullanılmaktadır. 30 mm kalınlığında da lama olarak alüminyum 5083 H111 malzeme kullanılmaktadır. Toplam dayama ölçüsü 95 mm’dir. Erkek dayama desteklerinin konumu, plakalı kalıplarda buhar kamarasında sabit olan erkek soğutma kollektörüne çarpmayacak şekilde konumlandırılmaktadır.

2.3 Enerji Verimliliği

Enerji verimliliğinde, harcanan her bir enerji daha çok ürüne ve hizmete dönüşmektedir. Enerji verimliliğinde; buhar, gazlar, ısılar, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, çeşitli bazı atıkların geri kazanımları ve değerlendirilmesinde veya ileri teknolojiler ile üretilmesini düşürmeden enerji ihtiyacının azaltılmasında, daha verimli olan enerji kaynaklarında, gelişmiş endüstriyel süreçlerde, enerjinin geri kazanımlarında gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür. Enerjideki sektörde, talep yönetimi ve enerji verimliliğini arz kaynağı olarak görülmesi konusunda harekete geçmektedirler. 2004 yılında çıkmış yenilenebilir enerji kanununda ve 2007 yılında yürürlüğe girmiş enerji verimliliği kanununda, bu değişimin en önemli göstergesidir. Yapılan farklı analizlerde ve bu analizlerdeki çalışmalarda, ülkemizin farklı sektörlerindeki ekonomik faaliyetlerin ve yaşam standardımız için harcanan enerjilerin azaltılabilmesindeki önemli büyük potansiyelin olduğu göze çarpmaktadır. Günlük

hayattaki enerji yoğunluklarının düşürülmesinde; enerji verimliliklerini artırmak, verimliliği arttırıcı yeni teknolojileri uygulamak, kayıp ve kaçakları azaltmak, çeşitli sektörlerdeki enerjinin verimliliği bağlamında iyileştirmek, enerjideki verimliliği yüksek cihazların tercih edilmesi ve bütün yukarıdaki bölümlere ait eğitimlerin verilmesinde ve her türlü bilinçlendirmende arttırılması gibi çalışmalar ile yapılabilecektir. Dünyada enerji tüketilmesinin 80'li senelerden itibaren takribi olarak %45 arttığını, 2030 ve sonrasında da bu tüketimin %70 oranında daha yüksek olacağını Uluslararası Enerji Ajansı açıklamıştır. Enerjideki verimliliğinin arttırılmasında ülkemizin önündeki en önemli hedeflerden birisi olmalıdır (Acar, 2012).

Günümüzde enerjideki verimlilik; iklim değişikliğinde, enerji arz güvenliğinde ve sürdürülebilirlik vb. politika hedeflerinin gerçekleşmesinde önemli enerji kaynağıdır. Yeni bir enerji kaynakları için değerlendirilmekte olan enerji verimliliği, birçok önemli derecede ekonomik ve çevresel faydalar sağladıkları görülmektedir (Memiş, 2019).

Ülkemizde enerjideki verimliliğe verilen önem artmakta, enerji verimliliklerine yönelik mevzuatlar da hazırlanmış, hedefleri de belirlenmiş ve bu hedeflerin gerçekleştirmeye yönelik çalışma planları yapılmıştır (Memiş, 2019).

➤ Enerji Kaynakları

Dünya üzerindeki bütün enerji kaynakları, her zaman insanlara farklı biçimlerde hizmet vermektedir. Genellikle soğutmada, ısıtmada, taşımada veya elektrik enerjisinin üretilmesi amaçlı olarak da (konutta, sanayide vd.) kullanılmakta olan bu kaynaklarıyla ilgili, yapılan birçok araştırmalardaki ortak sınıflandırma bulunmamıştır. Yaygın olarak kullanılan sınıflandırma, birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak ve aşağıda sınıflandırılan sürdürülebilirlik ayrımıdır. Birincil enerji kaynakları; mevcut doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir. Birincil enerjiyi açığa çıkaran kaynaklar, doğrudan kullanıldıkları gibi ikincil enerjiye dönüştürüldüğünde de kullanılır. Birincil kaynakların fiziksel değişimi ile ortaya çıkan enerji, ikincil enerji olarak tanımlanmaktadır. İkincil enerjinin ortaya çıkmasında birincil olan enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Günümüzdeki enerji

kaynaklarındaki çeşitlilik artmış ancak belli kaynakların önemi korunmaktadır. Petrol, dünyada en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Günümüzdeki, bütün enerji kaynaklarının %90'ını fosil kaynaklı yakıtlar oluşturmaktadır ve bunun %45'ini petrol oluşturur. Petrolün, fosil kaynaklı yakıtlar içindeki oranının artmasında ve 2030 yılına gelindiğinde %58'e geleceği öngörülmektedir. Sanayileşmede ve gelişmelerle tüketimleri artan petrol, Orta Doğuda bulunan ülkelerinin elinde mevcut ve petrolün fiyatlarını yine Orta Doğu ülkeler tarafından belirlenmektedir. Bundan dolayı farklı ekonomide ve kültürel yapıdaki ülkelerin birbirlerine bağımlı olmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte petrol, herhangi bir maden olmasının ötesinde, uluslararası siyasette ve ekonomik stratejilerinde belirlenmesinde önemli bir role sahip olmaktadır (Özel, 2010).

Dünyadaki enerji kaynakları yenilemeyen enerji ve yenilebilir enerji olmak üzere 2 bölüme ayrılmaktadır (Tablo 2.1).

- Yenilemeyen enerji kaynakları: Petrol, gaz, kömür ve nükleer enerji, sonlu kaynaklardan elde edildiklerine bağlı olarak yenilenemez enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Gelecekteki neslin faydalanması için olabildiğince az harcanması sağlanmalıdır. Enerji kaynakları, yenilenemeyen enerji kaynaklarında fiziksel bir oluşum miktarlarını temsil eder (Karakaya, 2017).
- Yenilebilir enerji kaynakları: Tüketildikçe rezervleri hiç azalmayan, kendini devamlı yenileyebilen, akım değişken enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Günümüzün teknolojiye yeni gelişmeleri ve kapasite kullanımlarının artmasında yenilenebilir enerji kaynakları, ülkemizin ve dünyanın geleceğinde önemli rol oynamaktadır (Eskin, 2018).

Tablo 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	
Yenilemeyen Enerji Kaynakları	Yenilebilir Enerji Kaynakları
✓ Petrol	✓ Elektrik Enerjisi
✓ Doğalgaz	✓ Biyokütle Enerjisi
✓ Kömür	✓ Hidrolik Enerji
✓ Nükleer Enerji	✓ Rüzgâr Enerjisi
	✓ Jeotermal Enerji
	✓ Güneş Enerjisi

- Sanayide Enerji Verimliliği,

Ülkelerin yapısına bağlı olarak sanayi, enerji tüketimi içinde en yüksek paya sahip olan sektörlerdendir. Sanayideki enerji verimlilikleri, 1970’li yılların başından beri devam etmektedir. 1970’li yılların başında yaşanan enerji krizi ve petrol fiyatlarındaki artıştan dolayı, enerji verimliliği çalışmalarını tetikleyen en önemli faktördür. Sanayideki enerji verimliliklerinin, uluslararası rekabet gücünden dolayı önemli olmasından, piyasalardaki sert rekabetin ve fabrikaların üretim maliyetlerini de düşürmeye zorlamaktadır. Bu dönem ve sonrasında yapılan veya yapılacak enerji verimlilik çalışmalarının genellikle sanayiye yoğunlaştırılmasının en önemli nedenleri aşağıdaki gibidir;

- Sanayide enerji tasarruf potansiyeli diğer sektörlerle göre daha az olsa bile, yapılan veya yapılacak çalışmalarda, diğer sektörlerde yapılabilecek tasarruf çalışmalarında daha az maliyetlerle yapılabilmekte ve çalışmalarda yapılan yatırım 3 yıldan daha kısa sürede kendisini geri ödemektedir.
- Ülkelerin uzun vadeli hedefleri göz önünde bulundurulduğunda rekabet gücünün geliştirilmesi, enerji güvenliğinin sağlanması ve çevremize sağladığı katkılardan dolayı sanayilerin bu konudaki modernizasyonu ülkeler için oldukça önemlidir.

Sanayi kuruluşlarındaki enerji muhasebesi ve sayaçlama işlerinin geliştirilmesi için yapılan çabalarla daha iyi yönetim, işletme ve bakım pratikleri,

düşük harcama gerektiren, 1 yıldan kısa sürede kendini geri ödeyebilecek kontrol sistemleri, yalıtım gibi yatırımların, yeni teknolojilerin eklenmesinde, donanımların yenilenmesi ve enerji ikameleri vb. büyük harcamalar gerektiren yatırımların sanayideki verimlilik kazançlarının elde edilebilmesindeki öncelikli olarak alınabilecek önlemlerdendir. Bu önlemlerin alınmasında tek başına yeterli değildir. Çünkü değişen hammadde maliyetleri, ürün çeşitlilikleri ve özellikleri, çevresel etkiler, iklim şartları ve kapasitenin kullanılması gibi farklı faktörler de enerji verimliliklerini etkiler. Uluslararası rekabetlerin git gide arttığı günümüz dünyasında, enerji-yoğun sanayilerde yer almakta olan demir-çelik, diğer metaller, topraklar, çimentolar, taşlar, kâğıt sanayileri vb. gibi sanayiler ancak enerjinin etkin üretim süreçlerini kullanarak ayakta kalması sağlanmaktadır (Kaya, 2012).

Tablo 2.2’de Sanayi alt sektörleri bazında enerji tasarruf potansiyeli gösterilmektedir. Sanayi sektörlerinde enerjinin tasarrufu; mevcut teknik seçeneklerde, alt sektörlerde ve proseslerin yapılarına göre çeşitlilik oluşabilmektedir. Sanayide enerjinin verimlilik çalışmalarında genellikle basınçlı hava sistemlerinde, yakma tesislerinde, yakıtlarda ve yanma, elektrik motorlarında, aydınlatmada ve yalıtım alanlarında gerçekleştirilmektedir (Memiş, 2019).

Tablo 2.2. Sanayide enerji tasarruf Potansiyeli (Memiş, 2019)

Alt Sektör	Enerji Tasarruf Potansiyeli (%)	
	Elektrik	Yakıt
Gıda	18	32
Çimento	25	29
Tekstil	57	30
Demir Çelik	21	19
Cam	10	34
Kimya	18	64
Kâğıt	22	21
Şeker	26	46

3. MATERYAL VE YÖNTEM

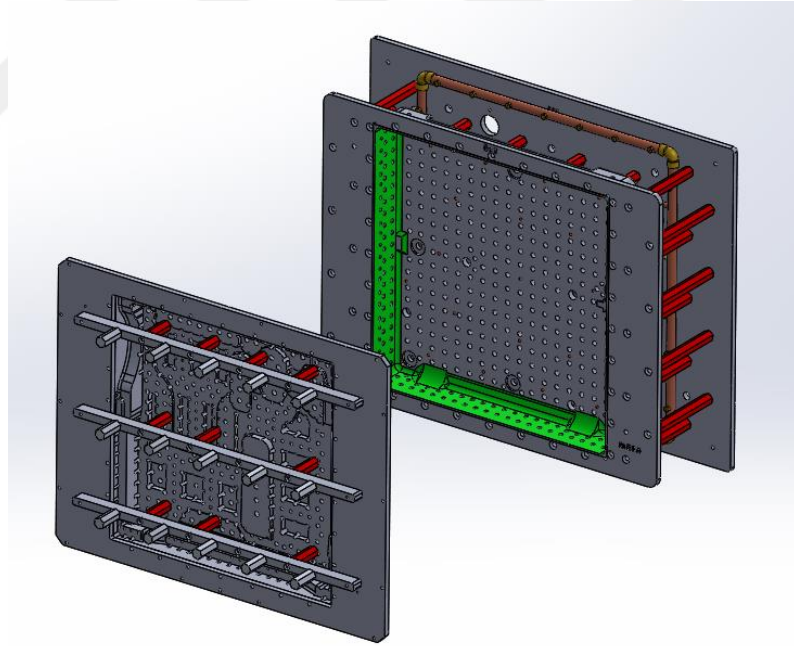
3.1 Materyal

3.1.1 Yazılımlar

3.1.1.1 Bilgisayar Destekli Tasarım Aracı (Solidworks)

Solidworks, 3D (3 boyut) katı modelleme ve 2D (2 boyut) teknik çizim yapabilmek için kullanılan bir CAD ve CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) yazılımıdır.

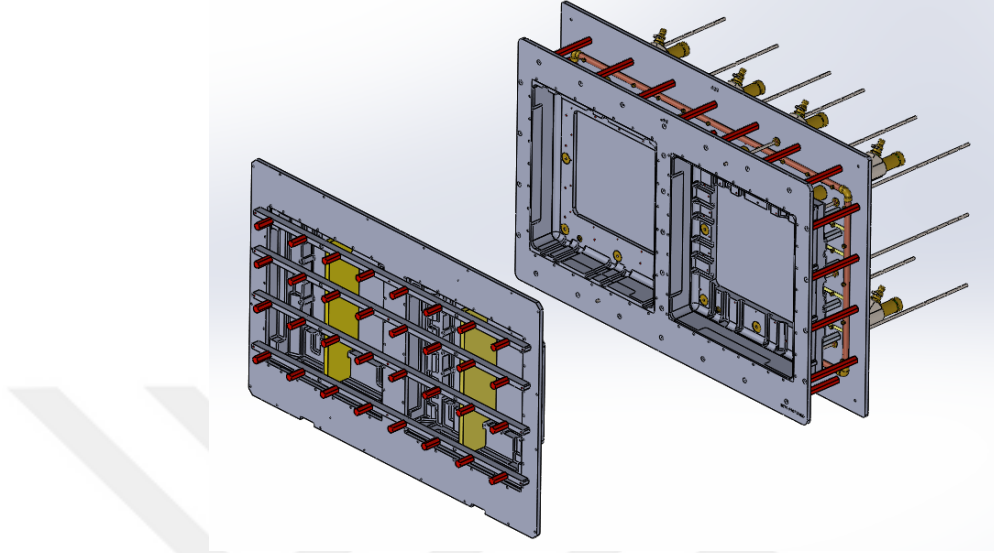
Solidworks programı, 3D çizim konusundaki en popüler programların arasından birisi olmasının nedeni kolay komutlar ile en basit teknik çizimlerden, en karmaşık 3D modellere kadar tüm modellemelerin yapılabilmesidir. Tasarımlar renklendirildiğinde gerçeğe yakın haline dönüştürülebilir.



Şekil 3.1. Nozul Deliği Açılan AGA ile EPS Kalıp Tasarımı

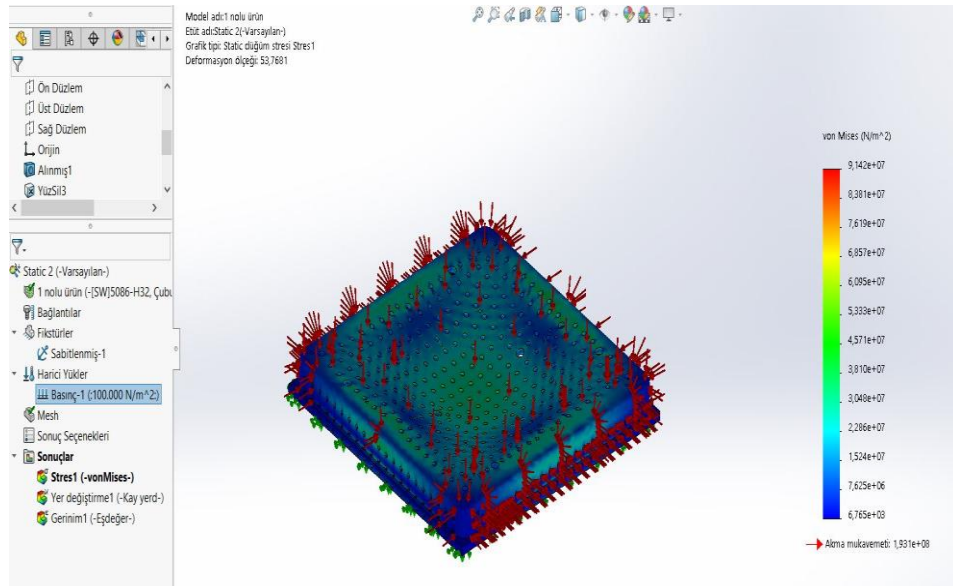
Solidworks programında; 2D ve 3D modelleme, sac levha işlemleri, yüzey modellemesi, kalıp uygulamaları, profiller, parça montajlama işlemleri, analiz ve simülasyon vb. işlemler bu programla yapılabilmektedir.

Şekil 3.1’de Solidworks programı kullanılarak yapılan ve nozul deliği açılan EPS kalıp tasarımı görseli verilmektedir. Bu kalıbın dişi ve erkek göz malzemelerinde AGA kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Nozul Deliği Açılmayan AGA ile EPS Kalıp Tasarımı

Şekil 3.2’de Solidworks programı kullanılarak yapılan ve nozul deliği açılmayan EPS kalıp tasarımı görseli verilmektedir. Bu kalıbın dişi ve erkek göz malzemelerinde AGA kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Solidworks Programında Statik Analiz Yapılması

Kalıpların bağlandığı buhar kamarası içerisinde 1 bar basınç altındaki dış gözün statik analizi yapılmıştır. Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

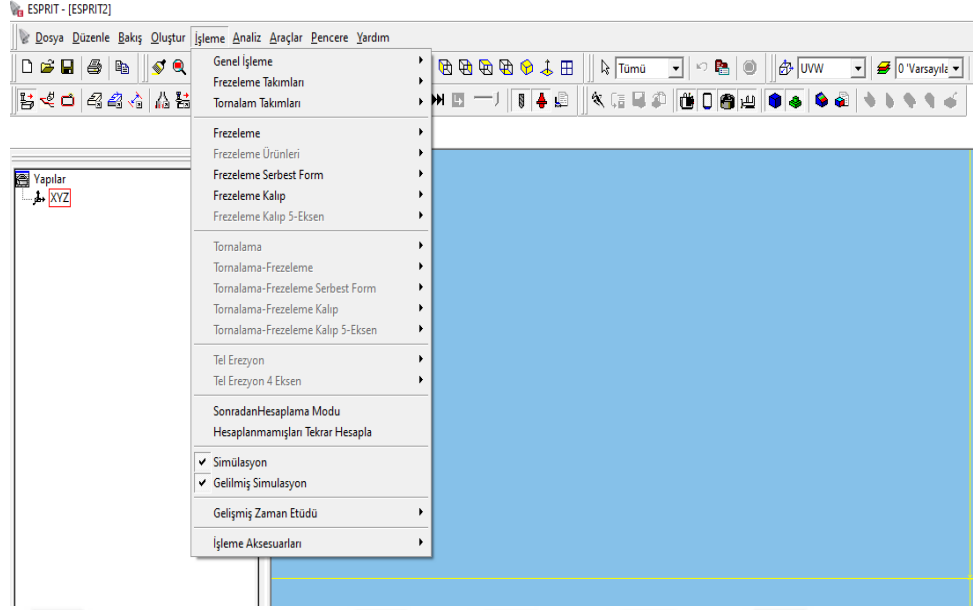
Çalışmada; geleneksel yöntemde kullanılan alüminyum 5083 serisi (GA) ile yapılan kalıpların ve açık gözenekli alüminyum (AGA) kullanılarak yapılan kalıpların deneme sonucundaki (çevrim süreleri ve buharlama süreleri) veriler ile kıyaslanacağı için GA ile yapılan kalıpların itici-enjektör konumları aynı olması gerektiğinden, AGA ile yapılan kalıp tasarımlarında itici ve enjektör konumları aynı yapılmıştır.

AGA malzemede bulunan gözeneklerin çatlak oluşturma potansiyelleri göz önüne alınarak bu malzeme ile yapılacak EPS kalıp tasarımında GA ile yapılan EPS kalıp tasarımlarına göre dayanımlarının artırılması ve esnekliğin ise azaltılması gerekmektedir. Bu yeni kalıplarda esnemeyi azaltmak için dışın gözün yanlarına destekler oluşturulmuştur, aynı zamanda da Şekil 3.2'de erkek gözün iç kısımlarına sarı renkli dayamalar ilave edilmiştir.

3.1.1.2 Bilgisayar Destekli Üretim Yazılımı (Esprit)

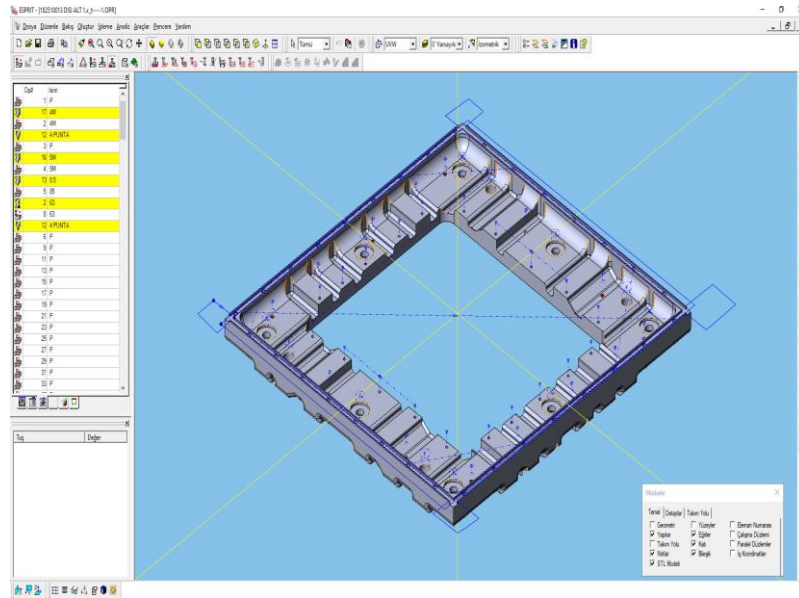
CAM (Bilgisayar Destekli Üretim) programları, imalat yapacak CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) tezgahlarının yönlendirmesini yapacak olan kodları üretmektedir. İmalat başlamadan bir önceki adımdır. CAD programlarında tasarlanmış parçaların üretime hazır hale getirebilmesi için CNC makinelerinin programlama kısmını sağlar. Tasarlanan bir CAD parçası üretime başlamadan önce bir parça üretmek için kullanılacak olan kesme yollarının hesaplanması için CAM yazılımlarının programlanması gereklidir. Bu programlama dili de G-Kodu olarak isimlendirilir.

Esprit CAM programında CNC freze, CNC torna ve Tel erezyon tezgâhları için CAM yapılmaktadır. Esprit CAM programının arayüzü Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



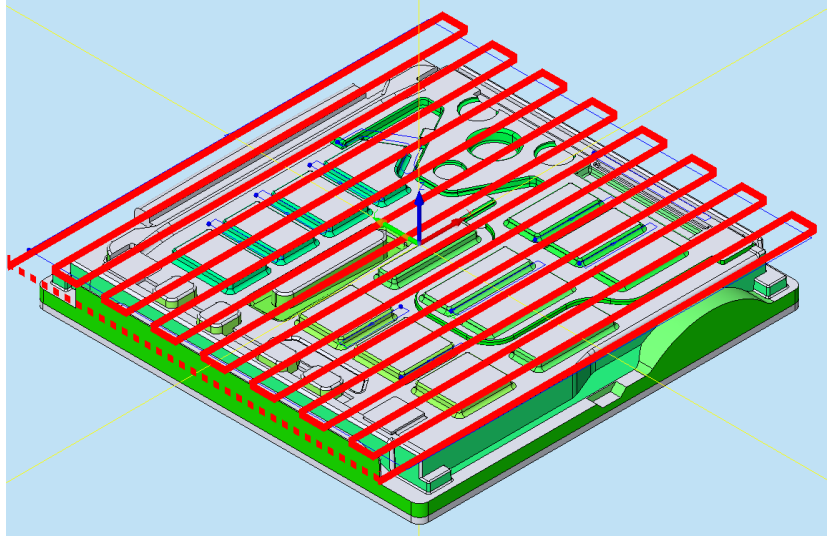
Şekil 3.4. Esprit CAM Arayüzü

Çalışma için tasarlanan yeni kalıpların CAM’leri Esprit programı kullanılarak yapılmıştır. AGA malzemeye nozul deliği açılmadan yapılan EPS kalıba ait dişi taban parçasının Esprit CAM programında yapılmış ekran görüntüsü Şekil 3.5’te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Esprit CAM Programında Yapılan Dişi Taban Parçasının Görseli

Esprit programında yapılan CAM’lerin simülasyonu yapılabilmektedir. İmalat öncesinde oluşabilecek hataların önüne geçilmektedir.



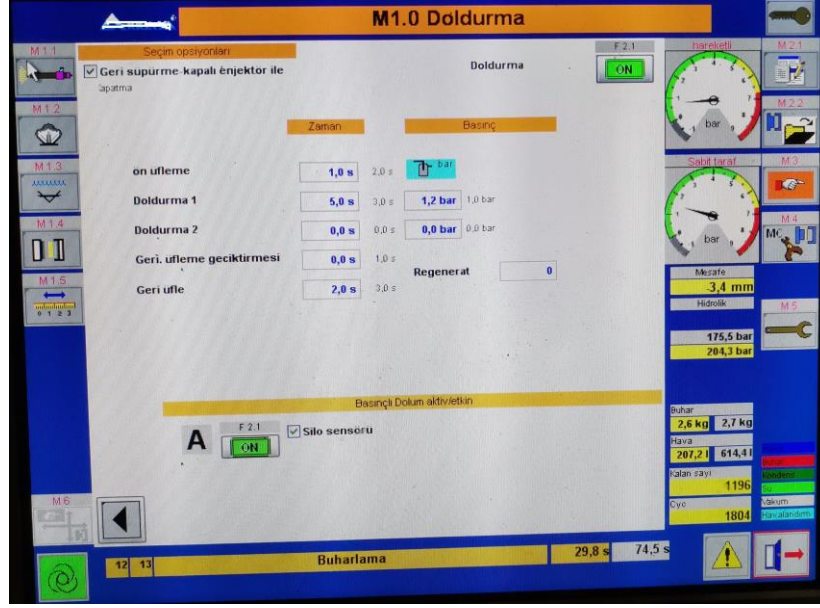
Şekil 3.6. CAM’i Yapılan EPS Kalıbın Simülasyonu

Esprit programında CAM’leri yapılan AGA malzemeye nozul deliği açılarak yapılan EPS kalıba ait erkek gözün simülasyon görseli Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Yukarıdaki görselde Ø63 mm tarama kafası ile yüzeyden fazla olan pasoların alındığı ve takım yollarının hareketi gösterilmektedir.

3.1.1.3 EPS Yazılımları

EPS enjeksiyon makinasında makinayı yapan firmalar tarafından amaca uygun özel yazılımlar yapılmıştır. EPS enjeksiyon makinası yazılımı için 5 adet menü vardır; Doldurma, Buharlama, Soğutma/Vakum, Kalıptan Çıkarma ve Mesafeler.

Doldurma menüsünde, hammaddenin kaç barda ve kaç saniye de dolum yapılacağı bilgilerinin girildiği yerdir. Enjeksiyon makinasında bulunan kalıba dolum, enjektörler yardımıyla hava ile gerçekleşmektedir. Enjeksiyon makinasında kullanılan menünün görseli Fotoğraf 3.1’de gösterilmektedir. Hammadde dolum süresi ürüne göre 3-6 sn arası değişmektedir.



Fotoğraf 3.1. EPS Makina Yazılım Menüsü

Buharlama menüsünde, üretimde hammadde dolumundan sonra 2. aşamada ürünün pişmesi için buharlama yapılmaktadır. Enjeksiyon makinasının sabit ve hareketli tarafın üstünde 4'er adet buhar girişi mevcuttur.

Buharlama zamanı ürünün pişmesine göre 10 ile 40 sn arasında değişmektedir. Soğutma/ Vakum menüsü, Pişen ürünün kalıptan ayrılabilmesi için kalıbın soğutulması gerekmektedir.

Soğutma ve vakum eş zamanlı çalışmaktadır. Kalıptan Çıkarma ve Mesafeler menüsünde, ürünün basılması ve kalıptan çıkarılması için gerekli değerler bu menülerde belirlenir.

3.1.2 Kalıp Malzemeleri

3.1.2.1 Açık Gözenekli Alüminyum (AGA)

Çalışma için tasarlanan kalıpların yapımında kullanılan AGA kütük malzeme Rusya'da seri üretim yapan bir firma da özel olarak dökümleri yaptırılarak tedarik edilmiştir. Tedarik edilmiş söz konusu AGA kütük malzeme listesi, ölçüleri ve adetleri Tablo 3.1'deki gibidir;

Tablo 3.1. AGA malzeme listesi

Parça Ebatı	Parça Adı	Adet
45 x 660 x 705 mm	12 Dişi Alt	1
60 x 110 x 670 mm	12 Dişi Yan 1-2	3
30 x 110 x 620 mm	12 Dişi Yan 3-4	3
30 x 420 x 470 mm	12 Erkek Üst	1
60 x 660 x 685 mm	13 Dişi Alt	1
30 x 110 x 595 mm	13 Dişi Yan 2-4	2
50 x 110 x 700 mm	13 Dişi Yan 3-4	3
40 x 420 x 470 mm	13 Erkek Üst	1

Söz konusu firma tarafından kalınlık ölçüsü 40 mm'ye kadar olanları standart ürün olarak, seri olarak üretmektedir. Bu çalışma kapsamında teknik resimleri çizilerek talep edilen, kalınlığı 40 mm'den daha fazla olan AGA kalıp malzemeleri ise ilgili firma tarafından özel kalıp yapılarak üretilmiştir.

Yukarıdaki tabloda listelenen malzemelere ilave olarak, kalıp ölçüleri standart dışı olan, özel üretim gerektiren bazı AGA dişi ve erkek gözlerinin üretimi için ihtiyaç duyulan bazı kalıplar için de Solidworks programında özel teknik resim hazırlanmış, ilgili firmaya gönderilerek ilgili firmaya yaptırılmıştır. Fotoğraf 3.2'de özel ölçülerde (135 x 627 x 672 mm) üretimi yaptırılmış AGA erkek göz fotoğrafları verilmiştir.

Çalışma için tedarik ettiğimiz AGA malzemelerin özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Por (gözenek) boyutu: 0,2-0,4 mm arasında
- Açık gözenekli alüminyum malzeme yoğunluğu: 1,05-1,35 g/cm³
- Katı malzemedeki gözeneklilik oranı: %55- 60 arası



Fotoğraf 3.2. Özel Ölçülerde Üretilmiş Bazı AGA Kalıp Görselleri

Tablo 3.1’de malzeme listesinde bulunan kalemlerden bazılarının görselleri Fotoğraf 3.3’te verilmiştir.



Fotoğraf 3.3. Dişi Göz Malzeme Görselleri

3.1.2.2 Alüminyum Serisi

EPS kalıbının malzeme seçiminde dikkat edilmesi kriterler ve EPS proses gereği aşağıdaki gibidir;

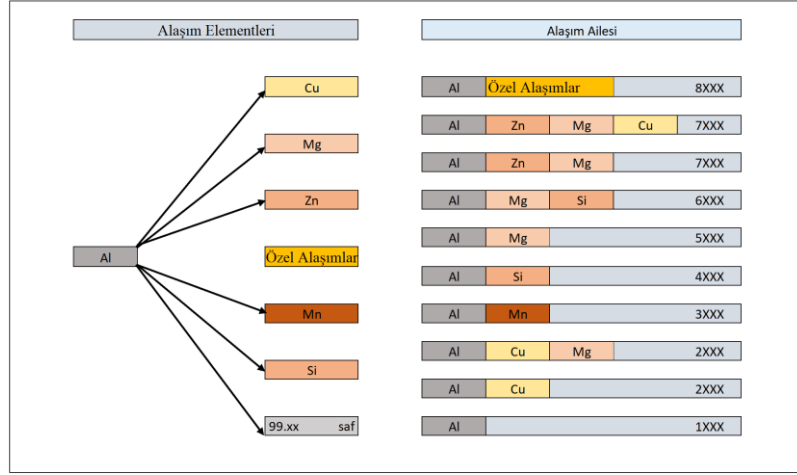
- Korozyon direnci yüksek (Buhar ve soğutma suyuna)

- Isıl iletkenliğin yüksek olması (Seçilen malzemenin çabuk ısınıp, çabuk soğuması gerekmektedir.)
- Malzemenin hafifliği (Kalıbın hafif olması gerekmektedir.)
- İşlenebilirliğinin yüksek olması
- Malzeme maliyeti
- Malzeme tedarikinin kısa olması

Tablo 3.2. Malzeme termofiziksel özellikler

Malzeme	Termofiziksel Özellikler				
	Yoğunluk [kg/m ³]	Özgül Isı [kJ/kg.°C]	Isıl Kapasite [kJ/m ³ .°C]	Isıl iletkenlik [W/m.°C]	Isıl Yayılım [m ² /s]
Alüminyum	2700	0,217	585,9	236	0,4
Titanyum	4506	0,532	2397,2	22,4	0,009
Krom	7100	0,12	852	94,8	0,11
Bakır	8950	0,1	895	401	0,44
Gümüş	10500	0,056	588	428	0,72
Kurşun	11370	0,031	352,4	30	0,08
Demir	7500	0,115	862,5	52	0,06

Yukarıdaki kriterler ve Tablo 3.2’deki malzeme özellikleri beraber değerlendirildiğinde; düşük maliyet, işlenebilirlik, düşük yoğunluk, yüksek ısı iletkenliği ve ısı iletim kabiliyeti gibi malzeme özellikleri de oldukça iyi olan alüminyum malzeme ve alaşımları EPS kalıplarında, dişi-erkek gözlerde, kalıp plakalarında ve kalıp destek elemanlarında tercih edilmektedir. Şekil 3.7’de alüminyum alaşım standartları ve içerdikleri alaşım elementleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Alüminyum Alaşımları (Yalıtımlı Alüminyum, t.y.)

Geleneksel kalıp yönteminde kullanılan Seykoç firmasından temin edilen Alurex alüminyum malzeme olağan üstü işleme özelliğine sahip, iç gerilimi giderilmiş, temel olarak 5083 gereksinimlerine sahip bir döküm plakasıdır. Alurex fikstür, model, gıda ve paketleme makine imalatı, uçak ve havacılıkta işleme plakaları, kalıp yapımı ve birçok sektörün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde üretilen özel bir malzemedir.

Tablo 3.3. Alüminyum 5083 H0 Alurex

Özellikler	Uygulama Alanları
İşlenebilirliği çok iyi	Takım yapımı ve kalıp yapımı
Mükemmel korozyon dayanımı	Şişirme kalıpları ve enjeksiyon kalıpları
İyi kaynaklanabilirliği	Model yapımı
Düşük stres ve boyutsal olarak kararlılık	Kalıplar ve ısıya dayanıklı parçalar

Tablo 3.3'te EPS kalıp göz malzemesi olarak kullanılan alüminyum 5083 H0 Alurex malzemesinin özellikleri ve uygulama alanları verilmektedir. Alüminyum 5083 H0 plakalarının yüzeyleri tırtıllıdır. Kalınlık toleransları +2 mm verilmektedir. Fotoğraf 3.4'te alüminyum 5083 H0 Alurex malzeme görseli gösterilmiştir. Alüminyum 5083 H0 Alurex malzeme alüminyum 5083 H111 malzemeye göre daha ucuz olduğu için dişi ve erkek göz malzemesi olarak tercih edilmektedir.



Fotoğraf 3.4. Alüminyum 5083 H0 Alurex

Dişi ve erkek gözlerin montajı yapıldıktan sonra 5083 H111 soğuk haddelenmiş alüminyum döküm plakalara bağlanmaktadır. 5083 H111 malzemesinin yüzey kalitesi çok iyidir (Kalınlık toleransları $+0,2$ mm). Bu nedenle 5083 H111 malzemesi kalınlık ölçüsü işlenmeden doğrudan kullanılmaktadır. 5083 H111 malzeme kalıbın enjeksiyon makinasına bağlanması için bağlantı plakaları olarak kullanılmaktadır. Fotoğraf 3.5'te alüminyum 5083 H111 görseli gösterilmiştir. EPS kalıplarda tercih edilen 5083 H111 plakaların yüzey kalitesi 5083 HO'a göre daha iyi olması ve kalınlık toleransından dolayı plaka kalınlıkları işlenmemektedir.



Fotoğraf 3.5. Alüminyum 5083 H111

Tablo 3.4'te alüminyum 5083 H0 (EN573-3) ve 5083 H111 (EN573-3) malzemesinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

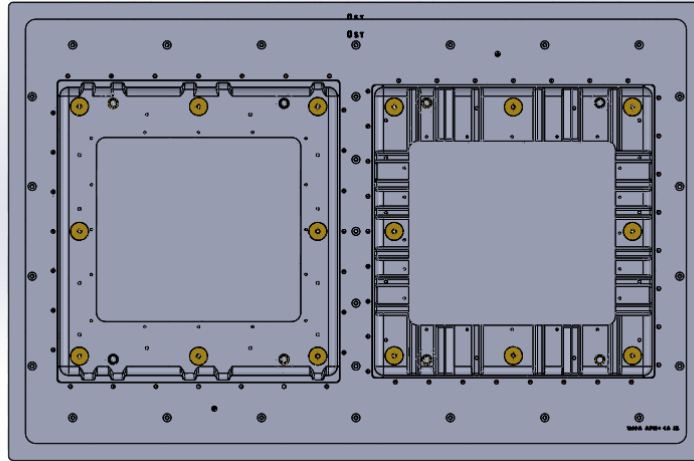
Tablo 3.4. Alüminyum 5083 kimyasal bileşimi (Seykoç Alüminyum, t.y.)

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
0,40	0,40	0,10	0,40- 1,0	4,0- 4,9	0,25	0,05- 0,25	0,15	0,15

3.1.2.3 İticiiler

EPS kalıplar, enjeksiyon makinasında yatay şekilde çalışmaktadır. Kalıptan ürünün düşmesi için iticiler önemli rol oynamaktadır. Ürünün kalıptan çıkarken kırılmadan, yamulmadan düşmesi için iticilerin kalıp gözleri üzerinde konumu çok önemlidir. İtici konumları için bir mühendislik hesabı yoktur. Tecrübeye dayalıdır ve itici konumları ürünün şekline, girinti ve çıkıntısına göre karar verilmektedir.

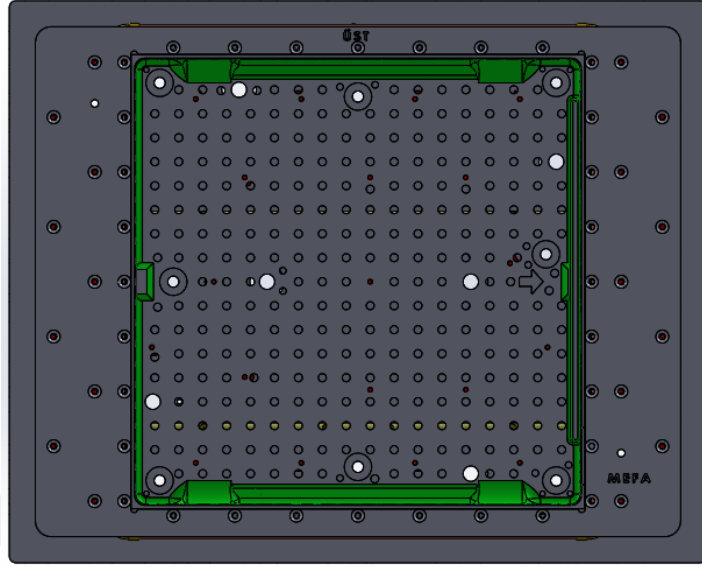
Çalışma için tasarlanan nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan EPS kalıpta, ürünlerin kalıptan çıkması için toplam 2 gözde 16 adet itici vardır. Şekil 3.8'de EPS kalıp üzerinde itici dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Nozul Deliği Açılmayan EPS Kalıp İtici Konumları

EPS kalıbında sabit (dişi) tarafın arkasında hareketli (erkek) tarafa bağlantılı alüminyum plaka mevcuttur. Kalıp açılırken söz konusu plaka itici milleri iterek

ürünün çıkmasını sağlamaktadır. İtici millerinin geri gelmesi için itici millerin arkasına yaylar takılmaktadır.



Şekil 3.9. Nozul Deliği Açılan EPS Kalıp İtici Konumları

Şekil 3.9’da nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan EPS kalıbın itici ve enjektör konumları gösterilmektedir.

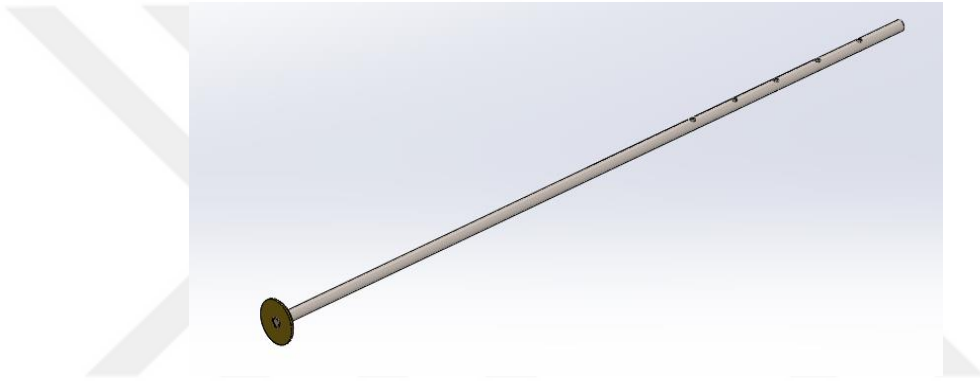
EPS kalıplarda kullanılan itici miline takılan genel olarak 4 farklı çapta itici pullar mevcuttur. İtici pullar mukavemet ve korozyon dayanımı açısından pirinç malzemeden yapılmaktadır. 40mm, 30mm, 25mm ve 22mm çaplarında 5mm kalınlığında yapılmaktadır. (Fotoğraf 3.6).



Fotoğraf 3.6. İtici Pul Çeşitleri

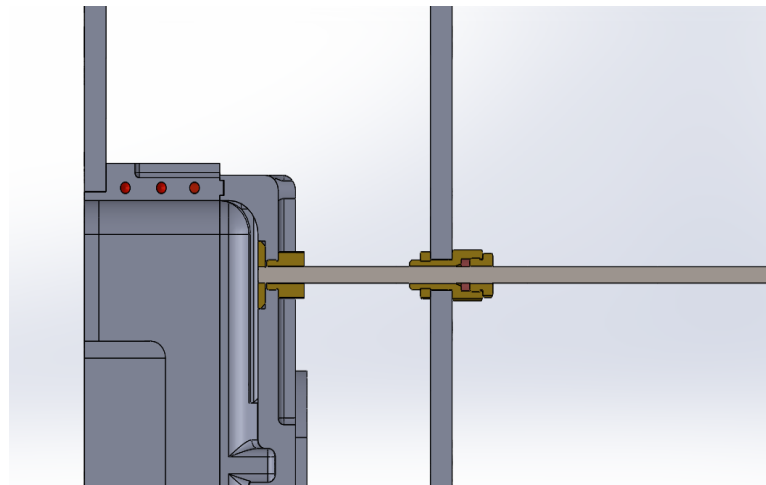
Proses şartlarından dolayı korozyon direnci yüksek ve iyi işlenebilirlik özelliklerinden dolayı 304 paslanmaz çelik itici mil malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genellikle 10 mm çapında itici miller kullanılmaktadır, özel durumlarda ise 10-12 mm ölçülerinde altıgen iticiler kullanılmaktadır. İtici milin boyutları ise, makinenin boyutuna, kalıbın derinliğine göre 750 mm, 1000 mm veya 1300 mm olabilmektedir. İtici millerinin arka kısmına 4 mm çapında 50 mm aralıklar ile yayı gerdirmek için delik delinmektedir.

Ø40 mm pirinç itici pul ile Ø10 mm 304 paslanmaz itici milin montajlanmış hali Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. İtici Pul ve İtici Mil Montaj Hali

İtici mil hareketinden dolayı dişi göz ve dişi arka plaka aşınmasın diye itici merkezleme grubu kullanılmaktadır. Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. İtici Grubun Kalıptaki Kesiti

İtici yatakları (merkezlemeleri) pirinç malzemeden yapılmaktadır. İtici merkezlemesi toplam 4 parçadan oluşmaktadır. Dişi gözün arkasında 1 tane, dişi arka plakasında ise 3 tane itici yatağı bulunmaktadır. Sızdırmazlığı önlemek için dişi arka plakaya montajlanan yatağın içerisine silikon conta konulmaktadır.



Fotoğraf 3.7. İtici Yay

İtici millerin geri gelmesi için galvaniz kaplı yay çeliği kullanılmaktadır. Ø10 mm itici miline göre yay iç çapı 11 mm, tel çapı 2 mm, hatve 3,5 mm ve boyu 750 mm yay kullanılmaktadır. (Fotoğraf 3.7). Ancak bu ölçüler itici milin boyuna göre değişebilmektedir.

3.1.2.4 Soğutma Kolektörü

EPS üretiminde kullanılan enerjinin çoğunluğu kalıbı ısıtma ve soğutma da kullanıldığından soğutma kollektörün tasarımı oldukça önemlidir. Genel olarak EPS enjeksiyon makinalarında, hareketli (erkek) taraftaki soğutma kollektörü hareketli (erkek) buhar kamarasına sabittir.

EPS kalıbı yapıldığında sadece dişi tarafa soğutma kollektörü yapılır. Monoblok kalıplarda ise hareketli ve sabit tarafa soğutma kollektörü yapılır. Soğutma grubunda kullanılan paslanmaz ve pirinç malzemelerden yapılmış 3 çeşit su giriş vardır. Bunlardan 2 adeti monoblok kalıplarında 1 adeti ise plakalı kalıplarda kullanılmaktadır. Fotoğraf 3.8’de görselleri gösterilmektedir.



Fotoğraf 3.8. Soğutma Grubu Su Giriş Çeşitleri

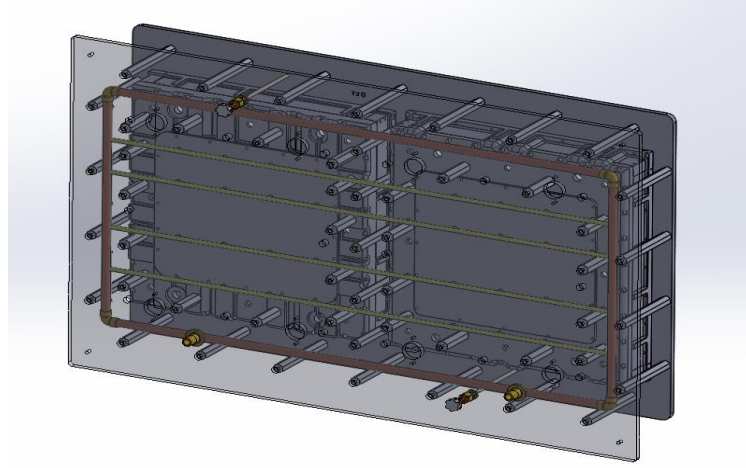
Kaynakla birleştirme yapıldığı için soğutma grubu bakır olduğu durumda pirinç su girişi, paslanmaz olduğu durumda ise paslanmaz su girişi kullanılmaktadır.



Fotoğraf 3.9. Püskürtme Nozulları

Soğutma kollektörü bakır olduğu durumda Fotoğraf 3.9'daki görülen 2 tip pirinç püskürtme nozulları kullanılmaktadır. Genel olarak hareketli (erkek) taraftaki soğutma kollektörü için büyük olan tip, sabit (dişi) taraftaki soğutma kollektöründe ise küçük tip püskürtme nozulu kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kapsamında tasarlanan ve üretilen EPS kalıpların soğutma kollektörlerin imalatında bakır ve pirinç malzemeler kullanılmıştır. (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Bakır Soğutma Grubu

3.1.2.5 Alüminyum Nozul

EPS kalıplarında dişi ve erkek gözlerinde ürünün pişirilmesi için buharın geçişi, hammadde dolumu, kalıbın soğutulması ve ürünün kalıptan çıkarılması gibi birçok işlem için alüminyum nozulların kullanılmaktadır. Genel olarak 5 farklı ölçülerde kalıplara nozul deliği delinip Fotoğraf 3.10'da görülen alüminyum nozullar gözlere sıkı geçme yöntemiyle montajlanmaktadır. Alüminyum nozullarda delikleri ağzılaması için yer vardır ve nozulların yanları tırtıl çekilmiş durumdadır. Dişi ve erkek göz parçalarına delinmiş deliklere ağızlatılır ve üzerine kestamit parça konularak plastik çekiç yardımıyla alüminyum nozulların montajı yapılır, sonrasında da üzerine hafif zımpara atılır.



Fotoğraf 3.10. Farklı Ölçülerde Alüminyum Nozullar

EPS kalıplarda kullanılan alüminyum nozul ölçüleri ve teknik özellikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Özel durumlarda 14-16 mm çaplarında alüminyum nozullar da kullanılabilir. Genellikle nozul içerisindeki delik çapı 0,8 mm'dir. Yüksek density olan ürünlere ait EPS kalıplarda kullanılan nozulların içindeki deliklerin tıkanmaması için 0,5 mm delik çapı olan alüminyum nozullar kullanılmaktadır.

Tablo 3.5. Kullandığımız alüminyum nozul ölçüleri

Alüminyum Nozul Ölçüleri (mm)	Nozul İçindeki Delik Çapı (mm)	Nozul İçindeki Delik Adeti	Nozul Yüksekliği (mm)
Ø12	0,8	28	5,5
Ø10	0,8	20	5,5
Ø8	0,8	12	5,5
Ø6	0,8	6	7
Ø4	0,8	4	7

Tablo 3.6'da verilen alüminyum nozul ölçülerine göre dişi ve erkek gözlere hangi matkap çapı ile delineceği ve kaç mm aralıklar ile alüminyum nozul montajlanacağını bilgileri verilmiştir. Bu ölçüler ürünün formuna, girinti ve çıkıntısı göre değişmektedir.

Tablo 3.6. Tiplere göre matkap çapı ve nozul aralığı

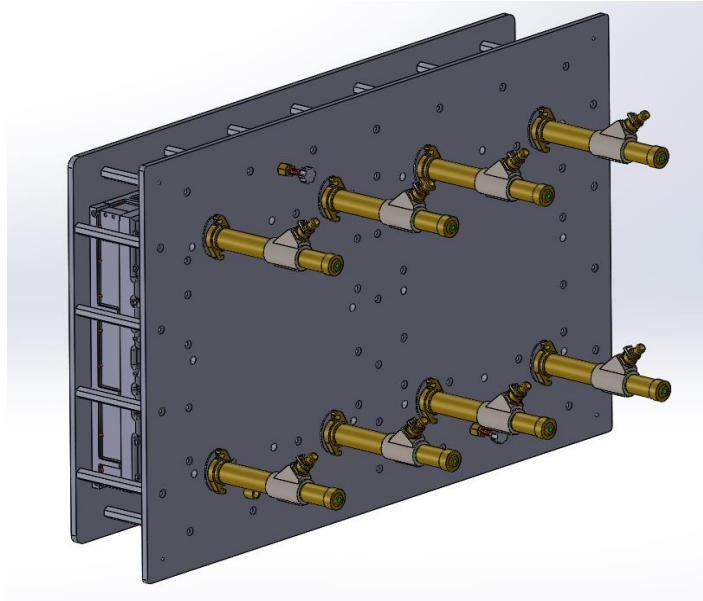
Alüminyum Nozul Ölçüleri (mm)	Matkap Çapı (mm)	Nozul Aralığı (mm)
Ø12	11,8	35x35
Ø10	9,8	30x30
Ø8	7,8	25x25
Ø6	5,8	-
Ø4	3,8	-

EPS kalıplarda genel olarak büyük çapta alüminyum nozul kullanılması tercih edilmektedir. Bunun nedeni çap küçüldükçe delik adeti arttığı için imalat süresinin uzamasına ve fazla alüminyum nozul kullanılmasına neden olmaktadır. Ürünün formundan, girinti ve çıkıntısından dolayı büyük çapta alüminyum nozul kullanılamayan yerlerde 4 mm veya 6 mm çapında alüminyum nozul kullanılmaktadır.

Ürünün formundan, girinti ve çıkıntısından dolayı hiç alüminyum nozul kullanılamayan yerler de olmaktadır. Böyle durumlarda hızlı delik delme tezgahlarında yeterli sayıda ve aralıkta 0,8 mm çapında delikler delinmektedir. Nozul aralıkları ise tamamen tecrübelerle göre belirlenen aralıklardır. Dişi ve erkek gözlerde ürünün temas ettiği bütün yüzeylerde alüminyum nozul kullanılmalıdır.

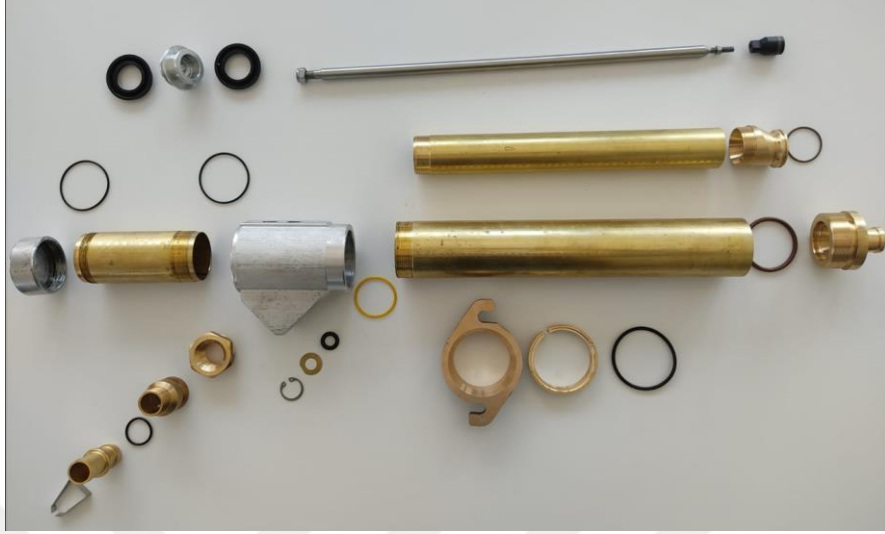
3.1.2.6 Enjektörler

EPS kalıplarda hammaddenin kalıba dolumu için enjektörler kullanılmaktadır. EPS kalıpta enjektörler, dişi arka plakasına içten sıkılmış 2 adet M8 x 50 mm civataya somun ile bağlanmaktadır. Şekil 3.13'te kalıba montajlanmış enjektörler gösterilmektedir.



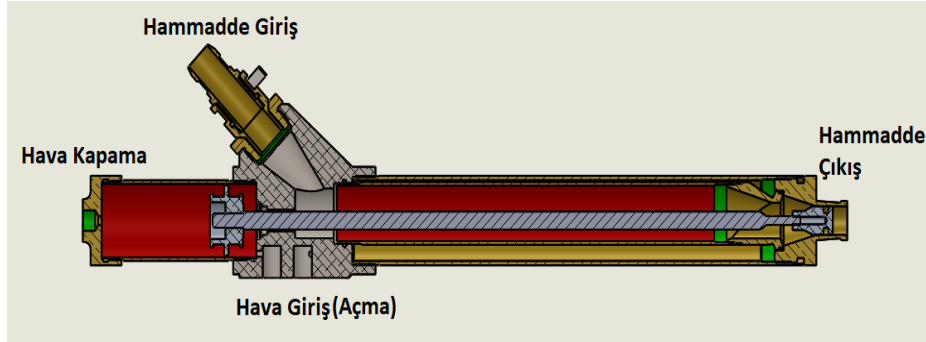
Şekil 3.13. EPS Kalıba Montajlanmış Enjektörler

Toplam 29 parçadan oluşan sökülmüş bir enjektör fotoğrafı aşağıda gösterilmektedir (Fotoğraf 3.11).



Fotoğraf 3.11. Sökülmüş Bir Enjektör Görseli

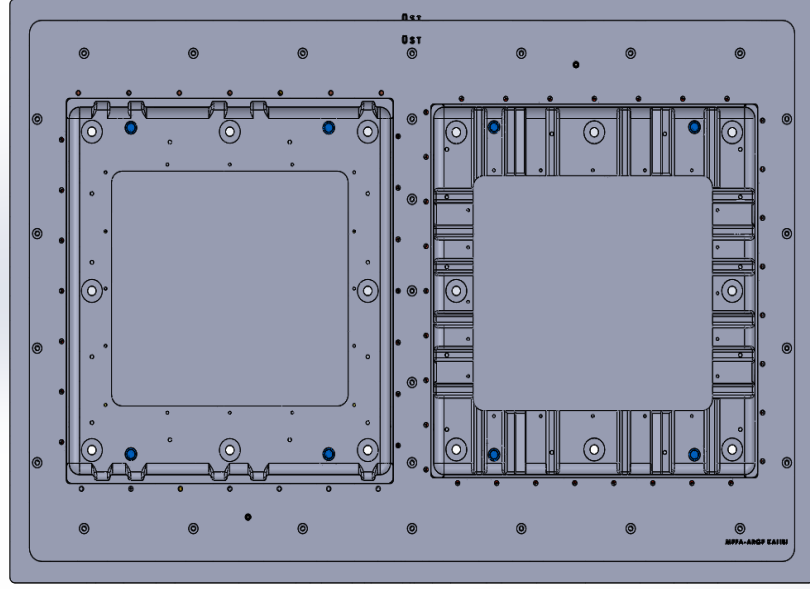
Enjektörün uç çap ölçüsü 22 mm, uç uzunluğu 16-22 mm arası değişmektedir. Enjektörün dış çap ölçüsü 50 mm'dir. Bu ölçülere göre dişi arka plakada Ø50,5 mm, dişi alt taban parçasında ise 22,5 mm delik açılmaktadır.



Şekil 3.14. Enjektör Kesiti ve Giriş Yerleri

Kalıp içerisine hammadde dolumunda 1 bar hava basıncı kullanılmaktadır. Enjektör üzerinde genel olarak 2 adet hava girişi vardır. Bu girişlerden birisi açma görevi diğeri kapama görevi yapmaktadır. Şekil 3.14'te gösterildiği gibi 1 adet de hammadde girişi vardır. Çalışma kapsamında tasarlanan nozul deliği açılmayan AGA ve GA ile yapılan kalıpta 8 adet enjektör vardır. Şekil 3.15.'te gösterilmektedir.

Çalışma kapsamında tasarlanan nozul deliği açılan AGA ve GA ile yapılan kalıpta da 6 adet enjektör vardır. Hammaddenin dolumu için enjektör konumları ve sayısı; ürünün şekline, girinti ve çıkıntısına göre belirlenmektedir.



Şekil 3.15. Büyük Ebatlı Kalıbın Enjektör Konumları

3.1.3 Makine-Teçhizat

3.1.3.1 Kazan Dairesi

Mefa Endüstri A.Ş. 'inde EPS üretimi için gerekli olan kazan dairesinin şeması Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Detayları ise aşağı açıklanmaktadır.



Şekil 3.16. Kazan Dairesi Şeması

R/O yumuşatma suyu sisteminden geçen su kondens tankında toplanmaktadır. Su yumuşatma sistemi, su kaynaklarından sertlik (kireç) gidermek amacıyla kullanılan arıtma sistemidir. Kondens tankı buharın ısıtıcı akışkan olarak kullanıldığı tesislerde enerjinin büyük kısmını sisteme bırakan buharın, kondenstoplar aracılığı ile sistemden çıkarak kondens suyu halinde ulaştığı depoya olarak tanımlanmaktadır. Kondens tankları kullanılacak basınca uygun olarak tasarım hesapları yapılarak ve bu hesaplara uygun olarak da sac kalınlığı belirlenmesi gerekmektedir. Kondens tankındaki suyun ortalama sıcaklık 70 °C'dir. Şekil 3.17'de kondens tankı gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Kondens Tankı (TSB Energy, t.y.)

Kazanın ön su besleme tankıdır. Kondens tankı yatay ve dik olarak imal edilmektedir. Kondens tankı, kondens enerjisinin atmosfere atılmasını büyük oranda engellemektedir. Kondens tankları izolasyonlu olarak üretilmektedir. Su kondens tankından degazör besli pompaları yardımıyla degazör tankına gelmektedir. Tesisatı ve kazanı korumak için sıcaklık 102 °C'ye çıkarılmaktadır. Şekil 3.18'de degazör tankı gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Degazör Tankı (D&D Mekanik, t.y.)

Buhar ve kızgın su sistemlerinde korozyona ve deformasyona neden olan iki başlık vardır. Sudaki kireç gibi sertlik ve taş yapıcı malzemeler, oksijen ve karbondioksit gibi gazlardan ayrıştırılması için kullanılmaktadır. Kazan besleme sularının oksijen ve karbondioksit gazlarından arındırılması için degazör cihazından geçirilerek degaze edilmesi oldukça önemlidir. Kazan besleme suları bu gazlardan arındırılmaz ise tüm tesisatın ve kazanın ömrünü kısaltır, çok kısa sürelerde dahi kazanda, sistemi oluşturan cihaz ve tesisatlarda korozyon ve delinmelere neden olmaktadır. Buradan kazan besli pompaları yardımıyla 6 ton kapasiteli kazana gönderilmektedir. Fotoğraf 3.12'de gösterilmektedir.

Kazanın sıcaklığı 176 °C ve buhar basıncı 6-6,5 bardır. Sistemde yedek olarak 4 ton kapasiteli kazan mevcuttur. Üretim yoğunluğuna göre devreye girmektedir. Buhar kazanı suyun ısıtılarak buharlaşmasını sağlayan bir sistemdir. Buhar kazanlarında motorin, kömür, doğalgaz ve diğer fosil yakıtları kullanılabilir.



Fotoğraf 3.12. Buhar Kazanı

Sonrasında da basınç düşürücü istasyondan geçerek akümülatörde buhar basıncı 4 bara düşmektedir. Şekil 3.19’da gösterilmektedir. Buhar tüketimleri her zaman sabit bir değerde değildir. Değişken buhar tüketiminin olmasından dolayı akümülatör kullanılmaktadır. Buhar akümülatörü buhar tüketimleri düştüğü zaman buhar kazanında üretilen fazla buharı depolamaktadır. Buhar akümülatörleri, buhar kazanların sabit yükte çalışmasına ve kurulu kazan kapasitesinin düşürülmesine fayda sağlamaktadır.



Şekil 3.19. Buhar Akümülatörü (TSB Energy, t.y.)

Akümülatörden buhar, enjeksiyon makinelerine ve şişirme makinelerine gitmektedir. Enjeksiyon makinelerinin buhar hatlarında yoğunlaşan su geri kondens tankında toplanmaktadır.

3.1.3.2 Şişirme Ünitesi / Makinası

EPS enjeksiyon makinasında üretim yapılmadan önce polistiren hammadde şişirme ünitesinde ön şişirme işlemi uygulanır ve en az 8 saat ön şişirme işlemi yapılan hammaddenin silolarda beklenmesi gerekmektedir. Şişirme işlemi yapıldıktan 24 saat içerisinde hammaddenin EPS enjeksiyon makinalarında kullanılması gerekmektedir.

1 çevrimde yaklaşık 8kg hammadde ön şişirme işlemi yapılır. Şişirme ünitesi 3 bölmeden oluşmaktadır;

- Pişirme bölmesi (en üst)
- Dinlenme bölmesi (orta)
- Transfer bölgesi (en alt)

Şişirme makinasının görseli fotoğraf 3.13.'de gösterilmektedir.



Fotoğraf 3.13. Şişirme Ünitesi

Polistiren hammadde bir hazneden şişirme makinasının üzerinde bulunan teraziye gönderilir. Yaklaşık 8 kg hammadde şişirme bölmesine aktarılır. 1 çevrimde kullanılan teknik veriler aşağıdaki gibidir;

- Hazne sıcaklığı yaklaşık 90 °C,
- Buhar basıncı 0,13 bar
- Ortalama çevrim süresi 100 sn'dir.
- Buharlama zamanı hesaplama, $((\text{density} \times 2) + 5/10 \text{ sn}))$.

3.1.3.3 EPS Enjeksiyon Makinesi

Strafor üretilmesi için tasarlanan EPS enjeksiyon makinaları yatay olarak çalışmaktadır. Şekil 3.20'de eps enjeksiyon makinası görseli gösterilmektedir.



Şekil 3.20. EPS Enjeksiyon Makinası (Akkaya, t.y.)

Yaygın kullanılan eps enjeksiyon makinası ebatları;

- 870 mm x 670 mm ebatında plakalı tip,
- 1395 mm x 870 mm ebatında plakalı tip,
- 1400 mm x 1400 mm ebatında plakalı tip,
- 1800 mm x 1400 mm ebatında monoblok tip

Plakalı tiplerde makine üzerinde sabit buhar kamaraları vardır ve EPS kalıpları da plakalı olarak yapılmaktadır. Monoblok tiplerde ise makine üzerinde

buhar kamarası yoktur, EPS kalıplar plakaları ve buhar kamarası ile yapılmaktadır. Çalışma da kullanılan EPS kalıpların tipleri, 1395 mm x 870 mm ve 870 mm x 670 mm ebatlarında plakalı tiptir. EPS enjeksiyon makinasının bazı teknik özellikleri (Akkaya, t.y.);

- Buhar kamaraları alüminyum malzemedir,
- Çerçevesiz hızlı kalıp değiştirme sistemi,
- Sabit tarafta ayarlanabilir arka fırlatma plakası,
- Makine üzerinde kalıp değiştirme rayı ve 1000/2000 kg hareketli manuel vinç,
- Makine üzerinde 1 ya da 2 adet basınçlı dolum tankları mevcuttur, 1 tanesi yaklaşık 150 litre ve 16 çıkış vardır,
- Pnömotik komuta ve kontrol,
- Kontrol paneli/ proses kontrolü.

Plakalı tip EPS enjeksiyon makinelerinde hareketli tarafta soğutma kollektörü buhar kamarasında sabittir. Plakalı tip EPS kalıplarında soğutma kollektörü sadece kalıp içerisine yapılmaktadır. Soğutma kollektörlerin de 1 ya da 2 adet 3/4" giriş vardır. Monoblok tip EPS enjeksiyon makinelerinde dışı-erkek soğutma kollektörleri her EPS kalıpla birlikte yapılmaktadır. Soğutma kollektörlerin de 2 adet 1" giriş vardır. Plakalı tip EPS enjeksiyon makinelerinde buhar kamaraları makinaya sabit olduğu için buhar giriş-çıkışları makinadadır. Sabit ve hareketli tarafta 4'er adet genellikle 2" giriş ve çıkışlar vardır. Monoblok tip EPS enjeksiyon makinelerinde EPS kalıplar ile buhar-giriş çıkışları da yapılmaktadır. Sabit ve hareketli tarafta 6'ar adet genellikle 2" giriş ve çıkışlar vardır.

3.1.3.4 Kompresör

Hammaddenin silolardan EPS enjeksiyon makinasının üzerinde bulunan dolum tanklarına gelmesi ve dolum tanklarından enjektörler yardımıyla kalıba enjekte edilmesinde, ürünleri kalıptan çıkarılması veya düşürülmesi için 6 bar havaya ihtiyaç bulunmaktadır. Şekil 3.21'de kompresör görseli gösterilmiştir.

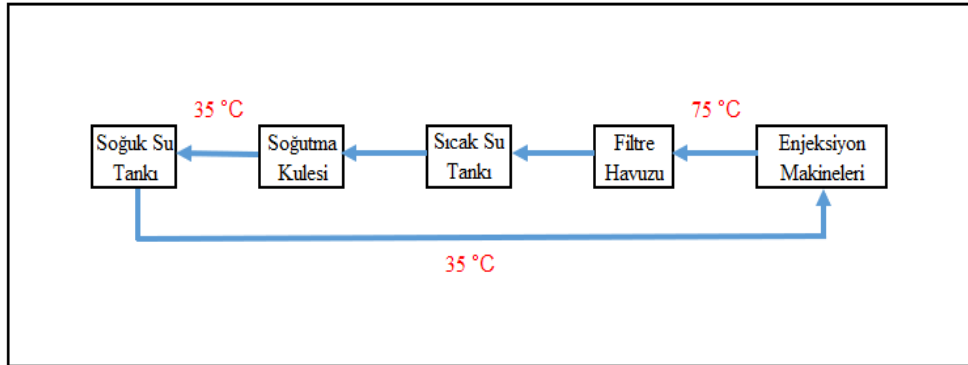


Şekil 3.21. Kompresör (CompAir, t.y.)

Sistemde 1 adet 160 kW motor gücünde vidalı kompresör kullanılmaktadır.

3.1.3.5 Kalıp Soğutma Hattı

EPS enjeksiyon makinelerinde dişi ve erkek tarafta bulunan soğutma kollektörlerinden, kalıbı soğutmak için 35-50 °C su püskürtülmektedir. EPS makinelerinden vakumlama pompaları ile su çekilmektedir.



Şekil 3.22. Kalıp Soğutma Hattı

Şekil 3.22’de kalıp soğutma hattı gösterilmektedir. 75 °C’ye çıkan su ilk öncelik olarak filtre havuzuna gelmektedir. Burada strafor taneciklerinden ve sudaki yabancı katı maddelerden arındırılır ve sıcak su tankında toplanır. 75 °C’yi düşürmek için soğutma kulesinde su sıcaklığı 35 °C’ye düşürülür ve soğuk su

tankında toplanır. Daha sonra da makinelere bu sıcaklıkta pompalar aracılığıyla gönderilir. Fotoğraf 3.14’te soğutma kulesi gösterilmiştir.



Fotoğraf 3.14. Soğutma Kulesi

3.1.3.6 CNC Makinesi

CNC tezgahlarının en önemli amacı, parçaya toleranslarda belirtilen kalitede şekil verme işlemidir. Şekil verme işleminde, takımın ve parçanın izafi hareketlerinin sonucunda talaş kaldırma ile gerçekleşmektedir. Şekil 3.23’te köprü tipi CNC makinesi gösterilmektedir (Tezmaksan, t.y.).

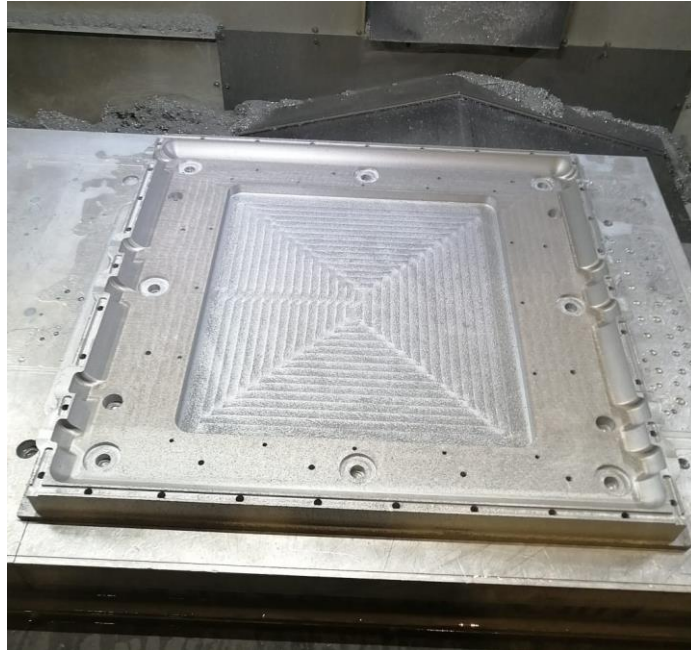


Şekil 3.23. Köprü Tipi CNC Makinesi

CNC tezgahlarındaki programlarla belirtilen bu hareketler, tezgâhta bulunan kontrol ünitesinde elektronik sinyallere dönüştürülmektedir. Bu sinyallerle motorları ve mekanik iletim sistemlerine (dişli çark, cıvata mekanizması vb.) bağlı olan kayıt ve kızakları da harekete geçirmektedirler (MEGEP, 2013). Çalışmada kullanılan EPS kalıpların imalatları CNC freze tezgâhları kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan CNC freze tezgâhı 3 eksenlidir (X, Y ve Z).



Fotoğraf 3.15. Erkek Göz İmalatında Kullanılan CNC Freze Tezgahı



Fotoğraf 3.16. Dişi Göz İmalatında Kullanılan CNC Freze Tezgahı

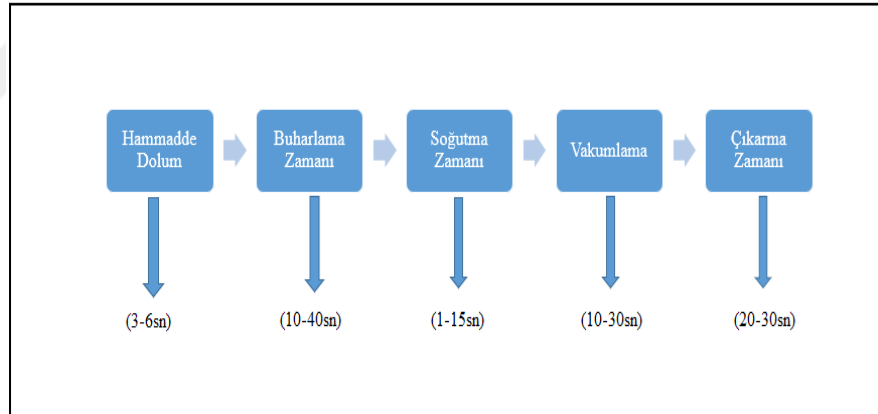
Çalışmada AGA malzeme kullanılarak ve nozul deliği açılmadan yapılan EPS kalıbın bazı parçaları Fotoğraf 3.15’te ve Fotoğraf 3.16’da gösterilmektedir.

Erkek gözlerin imalatları 1.operasyonda içi boşaltıldıktan sonra kalıbın erkek plakasına montajlanarak 2. operasyonları işlenmiştir. 1.operasyon işlenirken parçalara pim yeri atılmaktadır. Böylece 2. Operasyonda eksen kaçıklığının önüne geçilmektedir.

3.2 Yöntem

Nozul deliği açılarak ve açılmadan yapılan AGA kalıpları ile GA ile yapılan kalıpları EPS enjeksiyon makinasına bağlanarak üretim denemeleri yapılacaktır.

Denemesi yapılacak 4 adet kalıbın EPS enjeksiyon makinesi proses aşamalarındaki sürelerin analizi yapılmıştır (Şekil 3.24).

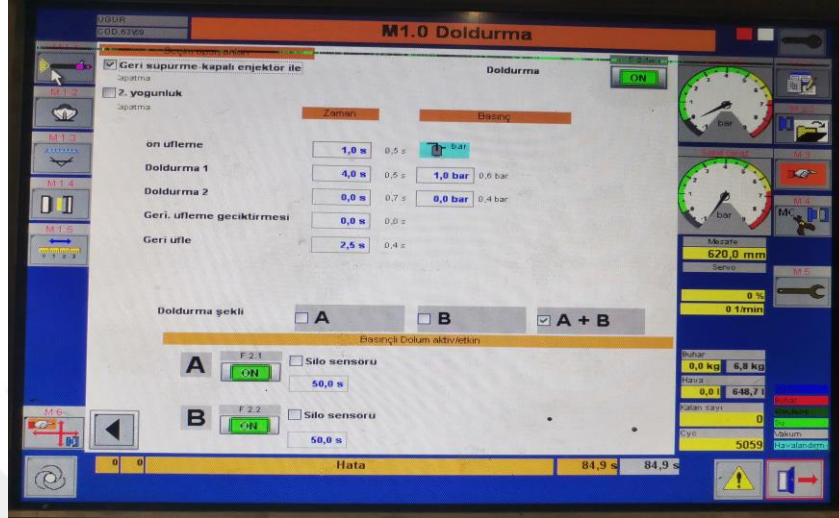


Şekil 3.24. EPS Makinesi Proses Aşaması

3.2.1 Ham madde Dolum

Şişirme ünitesinde ön şişirme işlemi yapıldıktan sonra silolarda dinlenen ham madde, EPS enjeksiyon makinasının üstünde bulunan dolum tanklarına gelmektedir. Dolum tankından enjektör yardımıyla EPS kalıba, hammaddenin gönderilme süresine ham madde dolum süresi denir. Fotoğraf 3.17’de ham madde dolum ekranı gösterilmektedir. Kalıp içerisine dolum 1 bar hava ile yapılmaktadır. Çalışmada denemesi yapılan büyük ebatlı kalıplarda 8 adet enjektör, küçük ebatlı

kalıplarda 6 enjektör vardır. AGA ve GA kalıpların enjektör konumları ve sayısı aynıdır. Hammadde dolum süresi ürünün formuna, derinliğine ve büyüklüğüne göre değişmektedir.



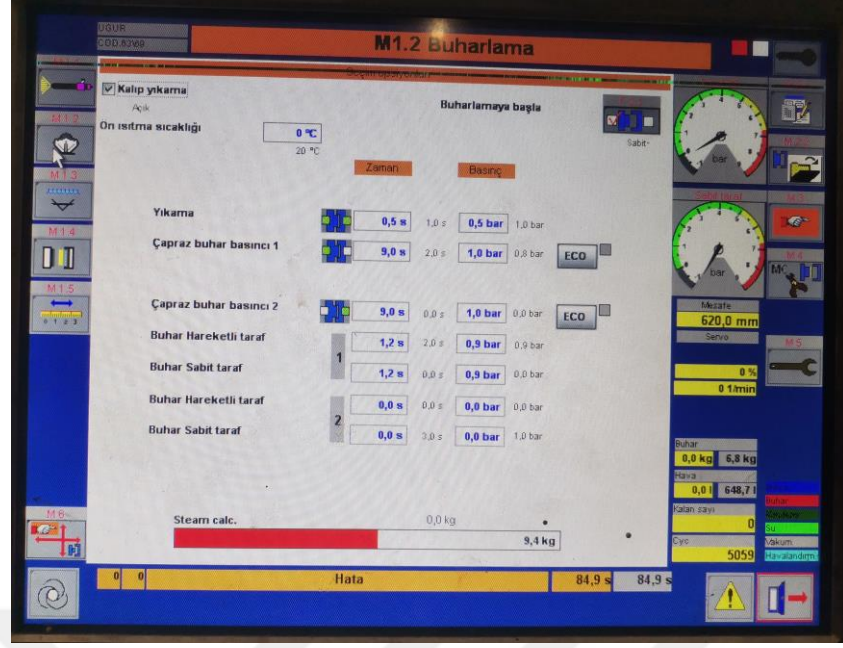
Fotoğraf 3.17. Hammadde Dolum

Kalıp içerisindeki enjektör konumu, dolum süresini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Hammaddenin kalıp içerisine dolum süresi ortalama 3-6 sn arasındadır.

3.2.2 Buharlama Zamanı

Üretimde hammadde dolumundan sonra ürünün pişmesi için buharlama yapılmaktadır. EPS Enjeksiyon makinasının sabit ve hareketli tarafın üstünde 4'er adet buhar girişi mevcuttur. Ürünün pişmesi için verilen kızgın buharın basıncı 1 Bar'dır. Fotoğraf 3.18'de buharlama ekranı görülmektedir.

Buharlama zamanı ürüne göre değişmektedir. Buharlama zamanı ürünün pişmesine göre 10 ile 40 sn arasında değişmektedir. Buharlama sabit taraftan daha çok yapılmalıdır, nedeni ise regülatöre yakın olduğu için enerji tasarrufu sağlamaktadır. Çapraz buharlama esnasında hangi taraftan buhar veriliyorsa karşı kondensi açar kendi kondensini kapatır.

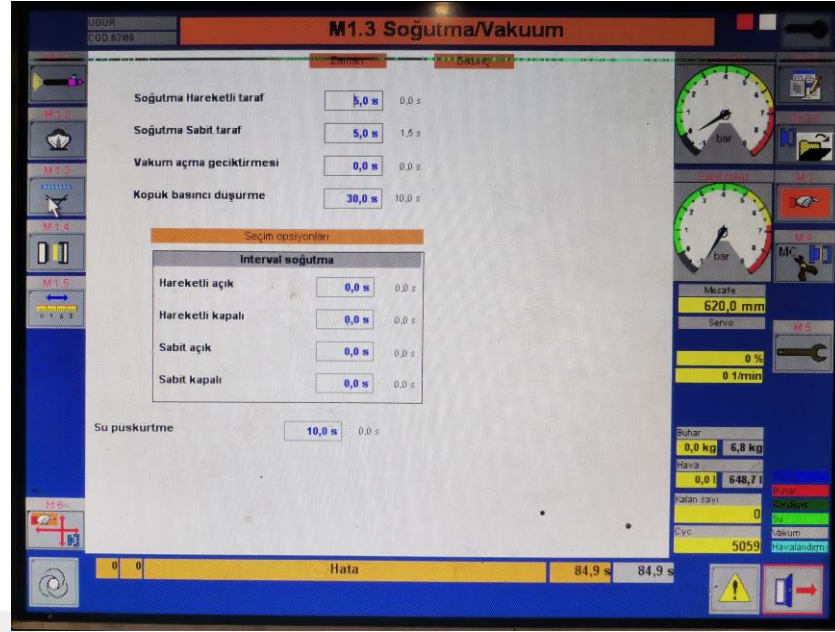


Fotoğraf 3.18. Buharlama Zamanı

İlk çapraz buhar malzemede kalıbın girintili ve çıkıntılı yerlerine eşit ve tam vermek için kullanılır, değerlerini fazla vermemek gerekir. İkinci çapraz birincide ürünün girinti ve çıkıntı yerlerini doldurduğu için geri kalan yerleri tamamlamak için kullanılır. Genellikle derin kalıplarda kullanılır. Buharlama Autoclav, ürün yüzeyinin parlatılması için kullanılmaktadır.

3.2.3 Soğutma Zamanı

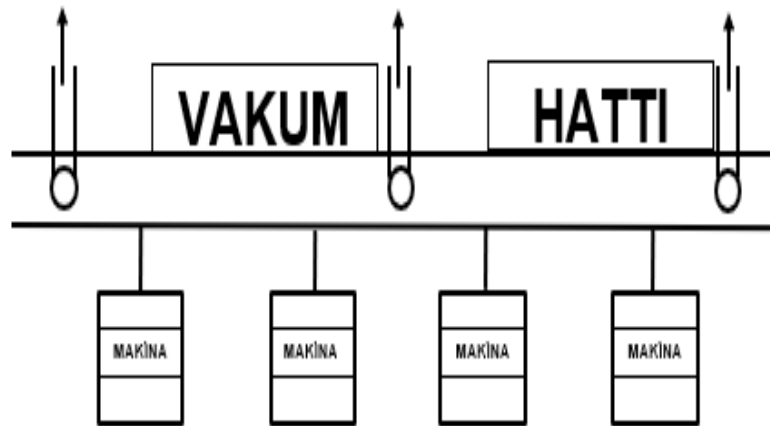
Buharlama aşamasından sonraki aşama soğuma aşamasıdır. Pişen ürünün kalıptan ayrılabilmesi için kalıbın soğutulması gerekmektedir. EPS enjeksiyon makinesinde sabit ve hareketli tarafta bulunan soğutma kolektörleri sayesinde 35 °C’de kalıba su püskürtülmektedir. Suyun derecesi 50 °C’ye kadar değişebilmektedir. Fotoğraf 3.19’da soğutma ve vakum zamanı ekranı gösterilmektedir. Soğutma zamanı 1 ile 15 sn arasında değişmektedir. Ürünlerin kuru olması için soğutma süresi kısa tutulmalıdır.



Fotoğraf 3.19. Soğutma ve Vakum Zamanı

3.2.4 Vakumlama

Soğutma süresi ile eş zamanlı başlaması gerekmektedir. Soğutma süresi kısa tutulup vakumlama süresi uzun tutulmalıdır. Makinaların yüksek verim ve minimum enerji tüketmesi için minimum -6 bar, maksimum -8 bar olmalıdır. Vakumlama hattında bulunan vakumlama pompası veya EPS makinasının kendi özelliği ile vakumlama yapmaktadır. Vakumlama ne kadar iyi yapılır ise strafordaki nem o kadar düşük olur.

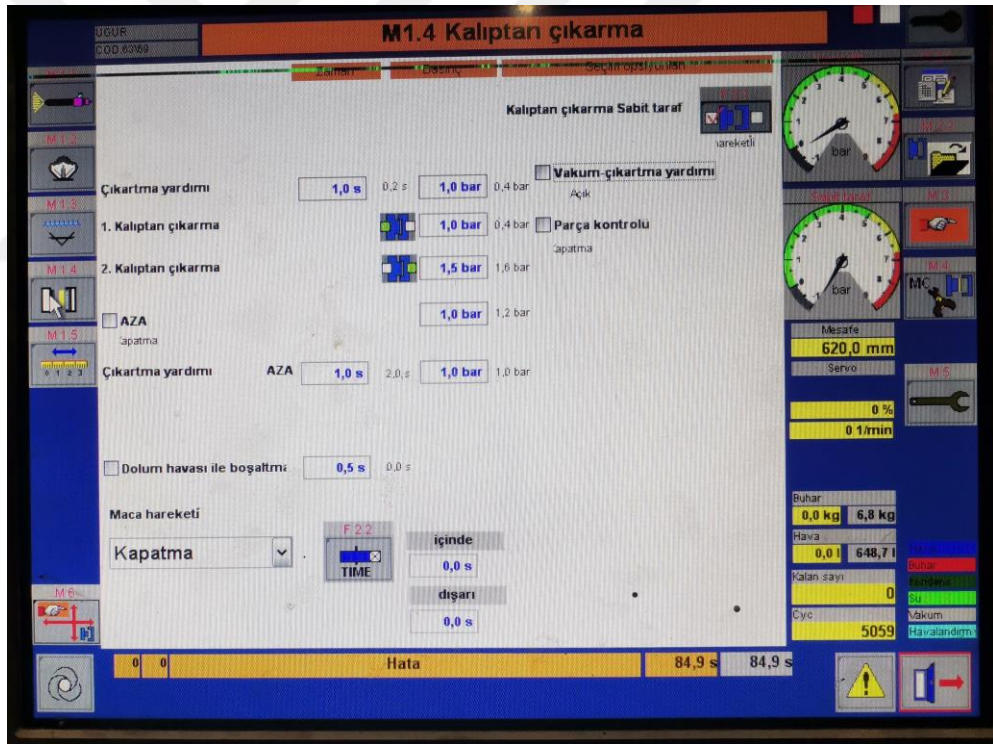


Şekil 3.25. Vakum Hattı

Vakum hattı bacaları Şekil 3.25'te gösterildiği gibi olmalıdır. Kalıp değişimi sırasında kondens çıkışlarından kesik kesik buhar geliyorsa vakum bacalarının yetersiz olduğunu göstermektedir. Vakumlama süresi 10 ile 30 sn arasında değişmektedir.

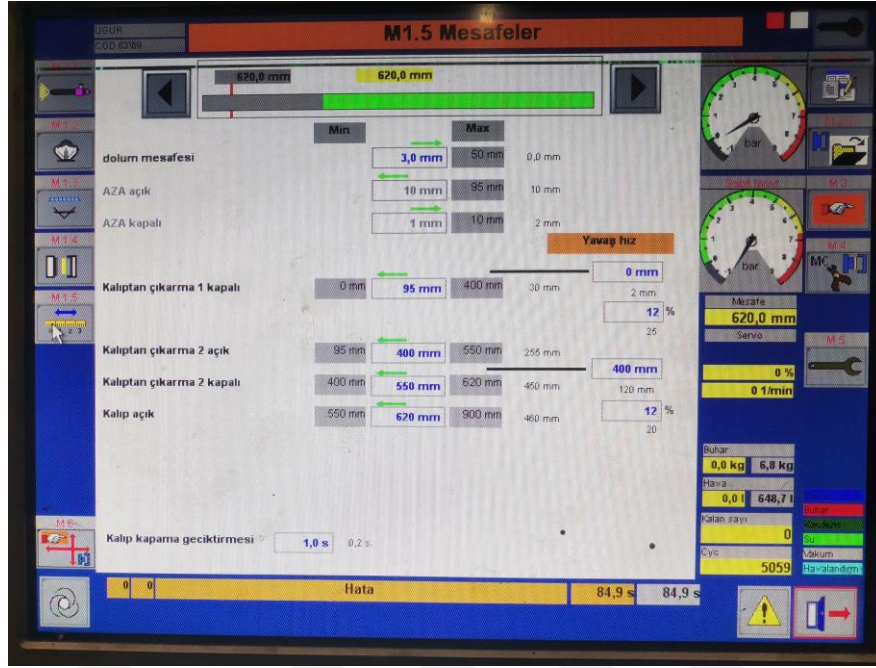
3.2.5 Kalıptan Çıkarma

Üretimin en son aşaması kalıptan çıkarma zamanıdır. Ürünün dişi gözlerde kalması için hareketli taraftan yani erkek taraftan hava verilmektedir. Sonrasında dişi gözlerde kalan ürün bir miktar hava yardımıyla ve iticiler yardımıyla kalıptan düşmektedir. 1 ile 1,5 bar çıkarma havası kullanılmaktadır. Fotoğraf 3.20'de kalıptan çıkarma ekranı gösterilmektedir. Kalıptan çıkarma zamanı 20 ile 30 sn arasındadır.



Fotoğraf 3.20. Kalıptan Çıkarma

Üretim sırasında kalıp tam kapanmadan dolum yapılır, sonrası da tam kapanarak ütülenmesi yapılır. Fotoğraf 3.21'de mesafeler gösterilmektedir.

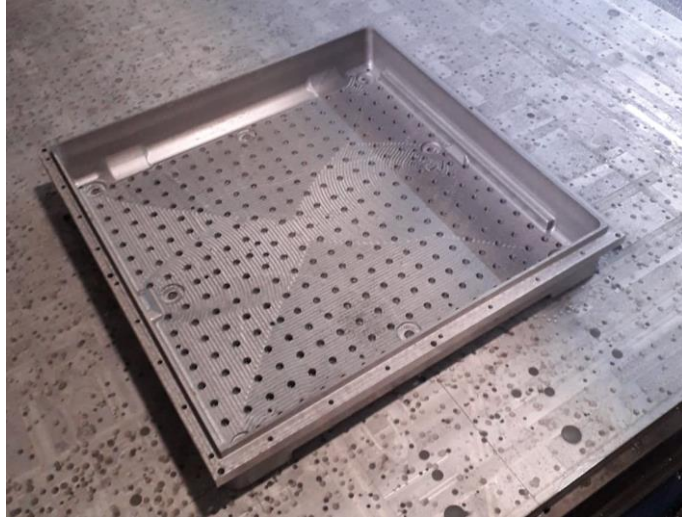


Fotoğraf 3.21. Kalıp Açılma Mesafeleri

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma kapsamında kullanılan kalıplar hem geleneksel alüminyumla (GA) hem de açık gözenekli alüminyumla (AGA) imal edilmiştir. AGA malzeme kullanılarak üretilen kalıpların bir tanesine geleneksel yöntemdeki gibi nozul delikleri de açılmıştır. Kıyaslanacak kalıpların itici konumları ve sayısı, enjektör konumları ve sayıları, kullanılan makineler aynıdır. Aynı olmasının sebebi ise bu maddeler çevrim sürelerini ciddi oranda değiştirebilecek olmasıdır. GA ile yapılan ve nozul deliği açılan AGA ile yapılan kalıpların, EPS enjeksiyon makinesindeki deneme değerlerinin özeti Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de verilmektedir. AGA kullanılarak yapılan kalıpta geleneksel yöntemlerde olduğu gibi alüminyum nozullar kullanılmıştır.

AGA ile yapılan kalıbın dişi gözün yan yüzeyleri imalat sonrasında içeri doğru 1-2 mm kapandığı gözlemlenmiştir. AGA ile yapılan kalıbın dişi gözün yan yüzeyleri imalat sonrasında içeri doğru 1-2 mm kapanarak kalıp ölçülerinin bozulduğu gözlemlenmiştir (Fotoğraf 4.1). Tek parçadan yapılmış olan bu dişi göz kalıbın yanlarına destek olarak federler ilave edilerek söz konusu problemin çözüleceği öngörülmüştür. Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi nozul deliği açılmayan AGA kalıpta söz konusu bu önlemler alınarak içeri doğru kapanma sorunu çözülmüştür.



Fotoğraf 4.1. AGA İle Yapılan Nozul Delikli Dişi Göz

EPS kalıp tadilatları yapılırken tadilatın durumuna göre dişi veya erkek gözlere kaynak atılıp işlenme ihtiyacı duyulmaktadır. Fotoğraf 4.2’de AGA malzemede deneme kaynak işlemleri yapılmıştır. AGA malzemeye kaynak atılarak EPS kalıplara tadilat yapılmasının uygun olmadığını görölmüştür. Malzeme gözenekli olduğundan kaynak tutmamaktadır.



Fotoğraf 4.2. AGA Malzemede Kaynak Denemesi

Tablo 4.1. GA ile yapılan kalıp deneme 1

Geleneksel Alüminyum ile Yapılan- 1 Ürün Kapasiteli			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 1	11	86	299
1. Deneme			
25. Enjeksiyon Makinası		15.02.2021	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	1,5	
2	Dişi çıkartma havası	1,5	
3	Çıkartma yardımı	0,9	1
4	Çıkartma yardımı	0,9	1
5	Dolum basıncı	1	3
6	Erkek Sulama		5
7	Dişi Sulama		5
8	Vakumlama		15
9	Erkek buhar		
10	Dişi Buhar		
11	Çapraz buhar erkek	0,8	2,5
12	Çapraz buhar dişi	0,8	2,5
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	100
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	450	570
Makine Çevrim Süresi 50,1 sn'dir.			

Tablo 4.2. Nozul deliği açılan AGA ile yapılan kalıp deneme 2

AGA ile Yapılan (Nozul Deliği Açılan)- 1 Ürün Kapasiteli			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 1	13	84	303
2. Deneme			
25. Enjeksiyon Makinası		20.03.2021	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	2,5	
2	Dişi çıkartma havası	2,5	
3	Çıkartma yardımı	1,6	2
4	Çıkartma yardımı	1,6	2
5	Dolum basıncı	1	3
6	Erkek Sulama		3
7	Dişi Sulama		3
8	Vakumlama		13
9	Erkek buhar		
10	Dişi Buhar		
11	Çapraz buhar erkek	1	2
12	Çapraz buhar dişi	1	2,15
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	85
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	400	540
Makine Çevrim Süresi 42,58 sn'dir.			

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 karşılaştırıldığında çevrim süresinde %15 ve buharlama süresinde %17 oranında düştüğü görülmektedir.



Fotoğraf 4.3. AGA İle Yapılan Kalıpta Teflon Kaplama Denemesi

EPS kalıplarda ürünlerin kalıptan çıkarken sürtünmesi azaltmak ve böylece çevrim süresinin düşmesine yardımcı olmasını sağlamak için dişi ve erkek gözlere teflon kaplama işlemi yapılmaktadır. Teflon kaplama için dişi ve erkek gözlere 40-70 mikron arasında 3 katlı Dupont FEP kaplama yapılmaktadır.

Fotoğraf 4.3'te AGA ile yapılan ve nozul deliği açılan kalıba teflon kaplama denemesi yapılmıştır. Teflon kaplama işleminden sonra dişi ve erkek gözlerde yüzey pürüzlülüklerinin arttığı görülmektedir. Bunun en büyük nedeni olarak teflon kaplama öncesi yapılan kumlama işlemi olduğu düşünülmektedir.

AGA kullanılarak yapılan ve nozul deliği açılan EPS kalıpta, enjeksiyon makinasında çalışma esnasında erkek gözde bölgesel çatlaklar meydana gelerek kalıp deformasyona uğramıştır. Fotoğraf 4.4'te erkek gözde meydana gelen çatlaklar gösterilmektedir.



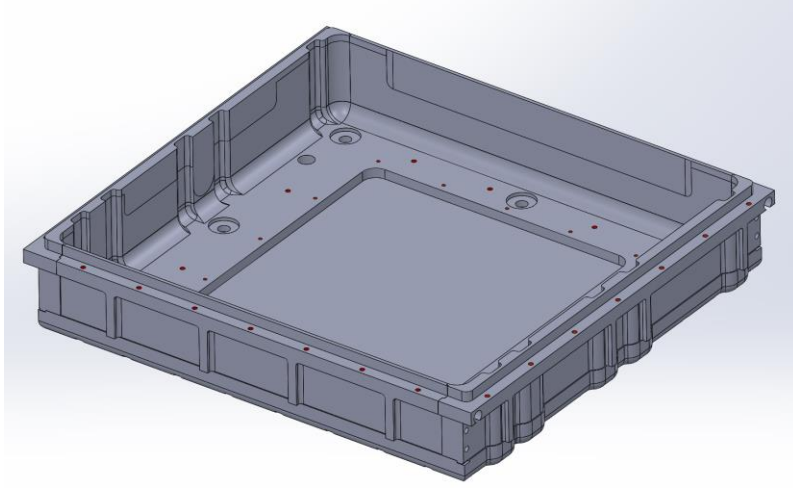
Fotoğraf 4.4. AGA İle Yapılan Kalıptaki Çatlaklar

Kalıbın çatlamasının nedenleri arasında AGA malzemeye delikler delinerek alüminyum nozul eklenmesi, erkek gözün iç yüzeyinde bulunan boşaltmaların keskin bırakıldığından çentik etkisi oluşturduğunu ve erkek tarafta bulunan dayamaların geleneksel yöntemde yapılan kalıplardaki gibi altıgen lamadan dayamalar konumlandırılmasından meydana gelmiştir.

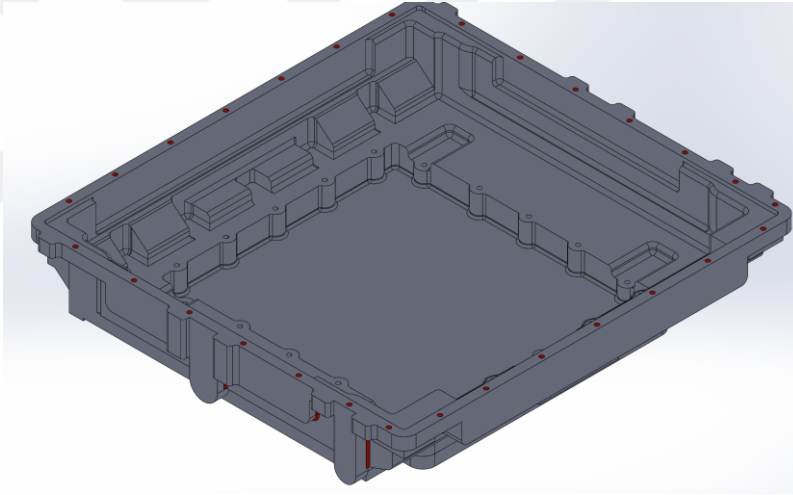
Nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan kalıpta yukarıda bahsedilen sıkıntılar dikkate alınarak tasarımı ve imalatı yapılmıştır.

Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan EPS kalıbın tasarımı yapılırken;

- Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan EPS kalıbın dişi ve erkek gözleri tek parçadan yapılmıştı, bu durum her zaman geçerli olmayacağı için dişi ve erkek gözler parçalanmıştır.
- Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan kalıbın dişi gözünde, imalattan sonra içe doğru daralma meydana gelmişti, bunu önlemek için büyük ebatlı AGA ile yapılan kalıpta dişi gözün yan parçalarına destekler yerleştirildi. Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Parçalara Bölünmüş ve Destek İlavesi Yapılan Dişi Göz



Şekil 4.2. Parçalara Bölünmüş ve Radüs Verilmiş Erkek Göz

- Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan kalıbın erkek gözlerindeki çatlaklar, büyük ebatlı AGA ile yapılan kalıpta yaşanmaması için erkek gözün çentik etkisi oluşturabilecek yerlere radüs verilmiştir. Şekil 4.2’de 2 parçaya bölünmüş, bağlantı elemanları ile birleştirilecek ve erkek gözün iç kısımlarına radüs verilen erkek göz tasarımı gösterilmektedir.

Tablo 4.3. GA ile yapılan kalıp deneme 1 (2 ürün kapasiteli)

GA ile Yapılan Kalıp- 2 Ürün Kapasiteli			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 2	11	84	261
Ürün 3	11	83	256
1. Deneme			
12. Enjeksiyon Makinası		20.10.2022	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	1,5	
2	Dişi çıkartma havası	1,5	
3	Çıkartma yardımı	0,9	1,5
4	Çıkartma yardımı	0,9	1,5
5	Dolum basıncı	1	3
6	Erkek Sulama		4
7	Dişi Sulama		4
8	Vakumlama		25
9	Erkek buhar		
10	Dişi Buhar		
11	Çapraz buhar erkek	0,8	2,1
12	Çapraz buhar dişi	0,8	2,1
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	100
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	450	570
Makine Çevrim Süresi 66,7 sn'dir.			

Tablo 4.3'te GA ile yapılan kalıbın EPS enjeksiyon makinasındaki deneme değerleri verilmektedir. Tablo 4.4'te nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan kalıbın EPS enjeksiyon makinasındaki 2. deneme değerleri verilmektedir.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 karşılaştırıldığında çevrim süresinde %3,6 oranında artış ve buharlama süresinde %212 artış görülmektedir. Nozul deliği açılarak yapılan ve nozul deliği açılmadan yapılan AGA kalıpların denemeleri göz önünde

bulundurulduğunda, AGA ile yapılan bütün EPS kalıplara nozul deliği eklenip alüminyum nozul montajı yapılması gerektiği görülmektedir.

Tablo 4.4. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 2

Nozul Deliği Açılmayan AGA ile Yapılan Kalıp			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 2	16	83	273
Ürün 3	16	86	261
2. Deneme			
12. Enjeksiyon Makinası		17.10.2022	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	2,5	
2	Dişi çıkartma havası	2,5	
3	Çıkartma yardımı	1,6	2
4	Çıkartma yardımı	1,6	2
5	Dolum basıncı	1	3
6	Erkek Sulama		10
7	Dişi Sulama		10
8	Vakumlama		20
9	Erkek buhar		
10	Dişi Buhar		
11	Çapraz buhar erkek	1	4,7
12	Çapraz buhar dişi	1	4,2
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	100
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	400	550
Makine Çevrim Süresi 69,1 sn'dir.			

Tablo 4.5'te nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan kalıbın EPS enjeksiyon makinasındaki 3. deneme değerleri verilmektedir.

Tablo 4.3 ve Tablo 4.5 ile karşılaştırıldığında çevrim süresinde yaklaşık %22 ve buharlama süresinde ise yaklaşık 4,4 kat arttığı görülmüştür. Bu nedeni ise

büyük ebatlı farklı makinada denemesinin yapılması ve kalıpta alüminyum nozul olmadan AGA verimliliğin artırılmasına tek başına yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.5. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 3

Nozul Deliği Açılmayan AGA ile Yapılan Kalıp			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 2	14	86	269
Ürün 3	14	83	259
3. Deneme			
11. Enjeksiyon Makinası		22.11.2022	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	1	
2	Dişi çıkartma havası	2	
3	Çıkartma yardımı	1,5	3
4	Çıkartma yardımı	1	1
5	Dolum basıncı	1	4
6	Erkek Sulama		5
7	Dişi Sulama		5
8	Vakumlama		20
9	Erkek buhar		
10	Dişi Buhar		
11	Çapraz buhar erkek	1,1	9,5
12	Çapraz buhar dişi	1,1	9
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	95
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	400	580
Makine Çevrim Süresi 81,6 sn'dir.			

Tablo 4.6'da nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan kalıbın EPS enjeksiyon makinasındaki 4. deneme değerleri verilmektedir. Tablo 4.3 ve Tablo 4.6 ile karşılaştırıldığında çevrim süresinde yaklaşık %14 ve buharlama süresinde ise yaklaşık 4,76 kat arttığı görülmüştür. Bu nedeni ise kalıpta alüminyum nozul olmadan AGA verimliliğin artırılmasına tek başına yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.4 ve Tablo 4.6 karşılaştırıldığında, deneme de aynı değerler girildiğinde aynı sonuçlar alınamamaktadır. AGA ile yapılan kalıbın denemelerinde alüminyum nozul olmadığı için her deneme de uygun parametreler sağlanamamıştır.

Tablo 4.6. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıp deneme 4

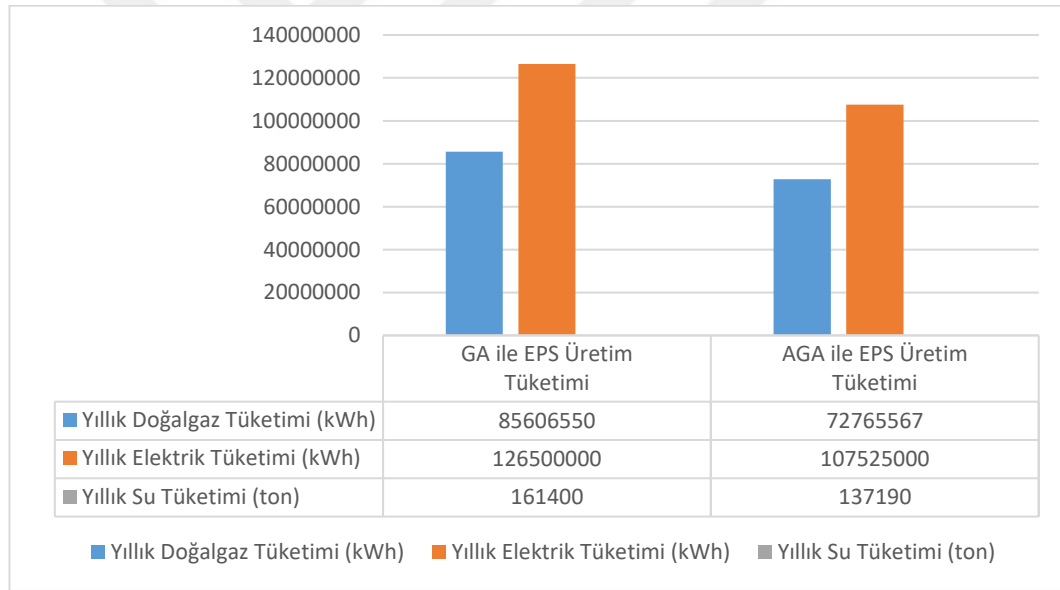
Nozul Deliği Açılmayan AGA ile Yapılan Kalıp			
	Ortalama Nem	Ortalama Pişme	Ağırlık (gr)
Ürün 2	15	85	271
Ürün 3	12	80	257
4. Deneme			
12. Enjeksiyon Makinası		15.03.2023	
No	Açıklama	Basınç (bar)	Süre (sn)
1	Erkek çıkartma havası	2	
2	Dişi çıkartma havası	2	
3	Çıkartma yardımı	1,6	3
4	Çıkartma yardımı		
5	Dolum basıncı	1	4
6	Erkek Sulama		8
7	Dişi Sulama		8
8	Vakumlama		20
9	Erkek buhar	0,8	3
10	Dişi Buhar	0,8	2
11	Çapraz buhar erkek	1	8
12	Çapraz buhar dişi	1	7
13	Erkek çıkarma hava mesafesi (mm)	0	85
14	Dişi çıkarma hava mesafesi (mm)	450	540
Makine Çevrim Süresi 75,8 sn dir.			

Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan kalıbın deneme sonucunda çevrim süresinde elde edilen %15 azalma baz alınarak ve aşağıda maddeler halinde belirtilen kabuller yapılarak mevcut EPS üretimi için harcanan doğalgaz, elektrik

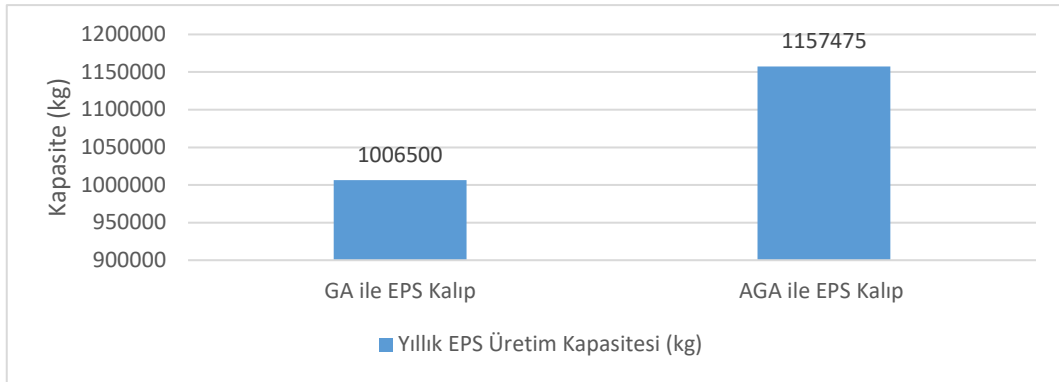
ve su tüketimlerinin üretim verimliliğinin karşılaştırması Tablo 4.7’de değerlendirilmiştir. Bu değerlere göre Tablo 4.8’de yıllık üretim kapasite karşılaştırması yapılmıştır. Çevrim süresinde %15 azalma olduğu için üretim kapasitesi %15 artmıştır.

- 750 adet nozul deliği açılan, GA ve AGA malzeme kullanılarak EPS kalıp yapılacaktır,
- Kızgın buhar basıncı, hava basıncı ve sıcaklıklar yaklaşık aynı kabul edilecektir,
- AGA ile yapılan EPS kalıplara da GA ile yapılan kalıplardaki gibi aynı sayıda ve büyüklükte nozul delinecektir.

Tablo 4.7. Üretim verimliliğinin karşılaştırılması



Tablo 4.8. Yıllık EPS üretim kapasite karşılaştırılması



Tablo 4.9’da nozul deliği açılan GA ve AGA ile yapılan EPS kalıbın göz maliyetlerinin (2022 yılı) karşılaştırılması yapılmıştır. AGA ile yapılan EPS kalıbın göz malzemeleri GA ile yapılan göz malzemelerinden 3 kat daha yüksektir.

Tablo 4.9. Nozul deliği açılan EPS kalıbın maliyet karşılaştırılması

Nozul Deliği Açılan	Göz Kütük Hacimleri (dm ³)	Yoğunluk (g/cm ³)	Ağırlık (Kg)	Maliyet (TL)
GA ile Yapılan	61,347	2,7	165,64	35000
AGA ile Yapılan	61,347	1,05	64,41	105000

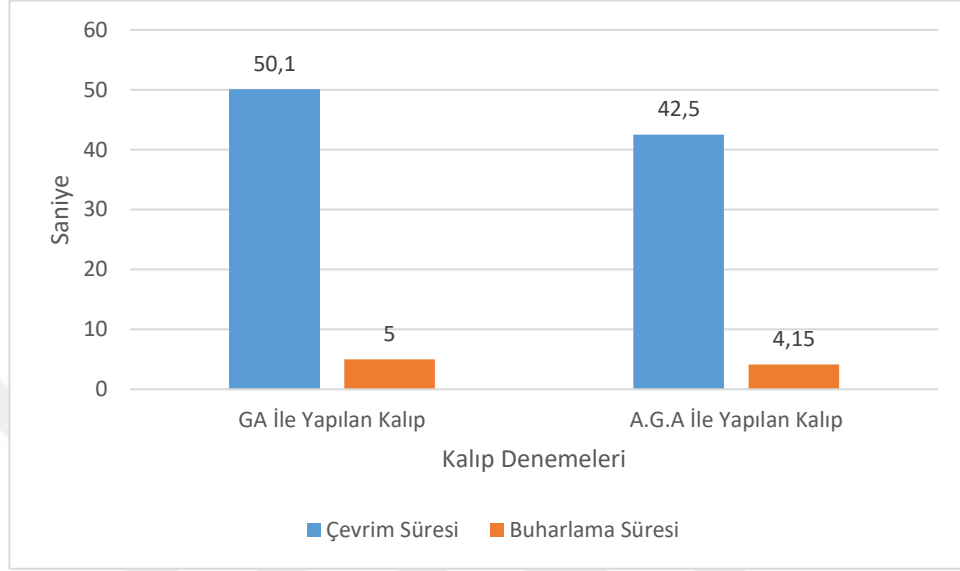
GA ile yapılan kalıpta kullanılan nozul deliği AGA ile yapılan kalıpta kullanılmadığı için Tablo 4.10’da işçilik kazancı hesaplanmıştır. Nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıpta, bir kalıp maliyetinin diğerine göre yaklaşık 4960 TL daha düşük olduğu açık olarak görülmektedir. Ancak bu çalışma sonuçları (Bkz. Şekil 5.2) nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan kalıplarda çevrim ve buharlama süresinde iyileştirme sağlanamadığı için söz konusu nozuluz kalıpların kullanılmasından vazgeçilmiştir.

Tablo 4.10. Nozul deliği açılmayan kalıbın işçilik kazancı

	İmalat Süresi (Saat)	İmalat Maliyeti (TL)	Nozul Maliyeti (TL)	Nozul İşçilik Maliyeti (TL)
GA ile Yapılan	180	18000	2000	960
AGA ile Yapılan	160	16000	0	0
		İmalat Kazanç (TL)	Nozul Kazanç (TL)	Nozul İşçilik Kazanç (TL)
		2000	2000	960
		Toplam Kazanç (TL)		4960

5. TARTIŞMA

GA ile yapılan ve nozul deliği açılarak AGA ile yapılan kalıpların çevrim süreleri ve buharlama sürelerinin karşılaştırılması Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Nozul Deliği Açılan Kalıpların Denemesi

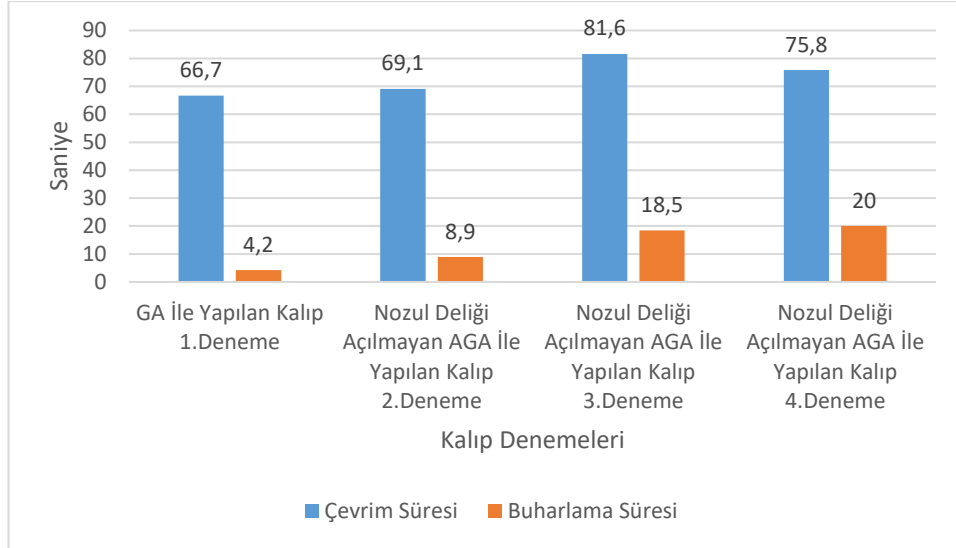
Nozul deliği açılan AGA ile yapılan EPS kalıbın maliyeti geleneksel yöntemle göre yapılmış kalıbın maliyetinden 3 kat yüksektir. Yüksek olmasının sebeplerinden birisi de malzemenin yurtdışından temin edilmesidir. Küçük ebatlı AGA ile yapılan kalıbın boyutlarında ülkemizde gözenekli malzemeyi üretebilecek firma henüz mevcut değildir. Bu ebatlarda AGA üretilebilecek yerli firmalar tarafından ülkemizde de üretildiği durumda kalıp maliyetlerinin düşeceği öngörülmektedir.

GA ile yapılan kalıba göre nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan kalıbın çevrim süresinde %15 ve buharlama süresinden %17 kazanç sağlanmıştır. İlgili firmanın halihazırda kullandığı gerçek verileri dikkate alınarak bu proste kullanılacak Tablo 4.7’de verilen yıllık su, elektrik ve doğalgaz tüketim miktarlarına göre; 2022 yılı fiyatlarına göre toplam tüketim bedelleri; GA ile EPS üretiminde, yaklaşık 540.000.000 TL iken AGA ile EPS üretiminde yaklaşık 459.000.000 TL olarak hesaplanmıştır. Yıllık 750 adet yapılacağı kabul edilen GA kalıpların yaklaşık maliyeti 26.250.000 TL iken aynı kalıpları AGA ile yapıldığında

78.750.000 TL olmaktadır. AGA kalıpların maliyeti 52.500.000 TL daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu üretim sürecinde kullanılacak olan yıllık toplam enerji ve su tüketim bedelleri üzerinden 81.000.000 TL kar edileceği göz önüne alındığında; toplam maliyet üzerinden yaklaşık olarak yılda 28.500.000 TL kazanç sağlanacağı öngörülmektedir. EPS enjeksiyon makinasına buhar sayacı, elektrik sayacı ve su sayacı takıldığı durumda net iyileştirme maliyetinin hesaplanabileceği öngörülmektedir.

Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan kalıp CNC freze tezgahında işlendikten sonra özellikle dişi gözün yan yüzeyleri içeri doğru kapanmıştır. Bunun nedeni de malzeme yoğunluğunun geleneksel kalıba göre neredeyse 3 katı daha düşük olmasıdır.

GA ile yapılan EPS kalıplara tadilat gerektiği durumlarda parçaların yenisini yapmadan kaynak yöntemiyle onarımları yapılabilmektedir. AGA malzeme üzerine yapılan ön testlerde kaynağa uygun olmadıkları tespit edilmiştir. AGA malzeme kaynaklamaya uygun olmadığı için kalıp tamirâtı ve tadilatı gerektiğinde, ilgili parçaların her tadilatı yeni gözenekli alüminyum parçalar ile değiştirilmesi gerekmektedir. AGA ile yapılacak kalıplara teflon kaplama ilgili yapılan ön testlerde pürüzlülüğün arttığı ve bunun en büyük nedeninin teflon işlemi öncesi kumlama işlemi olduğu düşünüldüğü için zaten gözenekli ürün olan AGA kalıplarında kumlama yapılmadan teflon kaplama yapılabilir veya daha farklı teflon kaplama malzemeleri ve yöntemleri denenebilir.



Şekil 5.2. GA ve Nozul Deliği Açılmayan Kalıpların Denemesi

Şekil 5.2’de GA ile yapılan EPS kalıbın (2 ürün kapasiteli) ve nozul deliği açılmayan AGA kullanılarak yapılan kalıbın enjeksiyon makinesinde deneme sonuçları (çevrim ve buharlama süreleri) özetlenmiştir. GA ile yapılan kalıbın çevrim süresi ile buharlama süresi nozul açılmayan AGA ile yapılan kalıba göre düşüktür. GA ile yapılan kalıplarda enerjinin çoğunluğu kalıbı ısıtma ve soğutmada kullanılmaktadır. Kullanılan alüminyum nozullar sayesinde ürünün daha hızlı pişmesine, soğumasına, hammadde dolumuna ve kalıptan çıkmasına yardımcı olmaktadır. Nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan EPS kalıpta alüminyum nozul olmadığı için çevrim süresinde ve buharlama süresinde iyileştirme sağlanamamıştır. Alüminyum nozul olmadığı için geleneksel kalıba göre çevrim süresi maksimum %22 oranında ve buharlama süresinde de 4,76 kat fazladır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. GA malzeme kullanılarak yapılan EPS kalıp ile nozul deliği açılarak AGA malzeme kullanılarak yapılan EPS kalıbın sonuçları karşılaştırıldığında; AGA kullanılan kalıpların çevrim süresinde %15 ve buharlama süresinde %17 azalma meydana gelerek iyileşme sağlanmıştır. Yıllık 750 kalıp kullanıldığında, bu proseste yıllık toplam enerji ve su tüketim bedelleri üzerinden 2022 fiyatlarına göre yaklaşık 81.000.000 TL kar edileceği öngörülmektedir.
2. GA malzeme kullanılarak yapılan EPS kalıp ve nozul deliği açılmayan AGA ile yapılan EPS kalıbın sonuçları karşılaştırıldığında, çevrim süresinde %3,6 ve buharlama süresinde %212 artış olduğundan iyileştirme sağlanamamıştır. Bunun nedeninin söz konusu AGA kalıbında nozul deliğinin kullanılmaması olduğu düşünülmektedir. Ancak nozul deliklerinin gözenekli malzeme içerisine açılmasının kalıp dayanımını düşürebileceği konusunda bazı bulgular elde edilmiştir.
3. AGA ile yapılacak EPS Ancak kalıpta üretim sırasında çatlaklar oluştuğu ve hasar gördüğü için henüz kalıp dayanımı noktasında tam sonuç alınamamıştır. Söz konusu kalıpların tasarımlarında, parçaların esnememesi, dişi kalıp ölçülerinin bozulmaması için gerekli bölgelere destek federlerinin atılmasının, erkek gözlerin arkasına ise lama şeklinde dayama konumlandırılması kalıbın dayanımını ve ömrünü artıracığı tespit edilmiştir. AGA ile yapılacak EPS kalıpların tasarımlarında dişi ve erkek gözün iç yüzeylerinde çentik etkisi oluşturabilecek yüzeylere radüs verilmesi gerekmektedir.
4. AGA malzemede kaynak ile yapılan ön çalışmalarda kaynaklanmaya uygun olmadıkları tespit edilmiştir. EPS kalıplarda tadilat gerektiği durumlarda kaynak yöntemiyle onarımları yapılabilmesi için bu malzemelere uygun kaynak yöntemlerinin ve kaynak parametrelerinin de araştırılması gerekmektedir.
5. Nozul deliği açılan ve AGA ile yapılan EPS kalıbın teflon kaplama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi için kaplama öncesi

kumlama yapılmaması veya farklı teflon kaplama yöntemleri araştırılmalıdır.

6. Nozul deliği açılmayan ve AGA ile yapılan dişi ve erkek gözlerin montaj ve demontaj işlemlerinde cıvatalı birleştirme yöntemleri kullanılabilir. Ancak kalıp parçaların 4-5 kere sökülüp takılması sonrasında parçalardaki bulunan dişlerde deformasyon gözlenmiştir. Eğer mümkün ise daha büyük çaplarda cıvata kullanımı söz konusu problemin kısmen çözümü için önerilmektedir.
7. AGA malzeme kullanılarak yapılan EPS kalıplarda zamanla, özellikle kireçlenme sonucu gözeneklerin tıkanması durumunda kalıp gözeneklerinin nasıl temizleneceği konusu henüz tam olarak açığa kavuşturulmamıştır. Bu konu üzerinde de çalışılması gerekmektedir.
8. Kalıp maliyetlerinin düşürülmesi, buharlama ve soğutma prosesinin etkin şekilde yapılabilmesi için Solidworks Flow Simulation, Ansys vb. paket programı kullanılarak kalıp içindeki sıcaklık ve basınç dağılımlarının analiz edilmesi önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

Bu tez çalışmasında APA atıf sistemi kullanılmıştır.

- Acar, E. (2012). *Enerji yoğunluklu bir fabrikanın enerji verimliliği özelinde incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akkaya. (t.y.). EPS-EPP enjeksiyon makinesi. Geliş tarihi Şubat 4, 2023, gönderen <https://www.akkaya-akkaya.com/tr/urunler/eps-epp-strafor-enjeksiyon-makinasi.html>
- Antenucci, A., Guarino, S., Tagliaferri, V., & Ucciardello, N. (2015). Electro-deposition of graphene on aluminium open cell metal foams. *Materials and Design*, 71, 78-84. Elsevier Ltd.
- Bağcı, İ. A. (2021). *Açık hücreli metal köpüklerin hassas döküm yöntemi ile üretilebilirliğinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Bakırcı, A. (2019). *Açık hücreli alüminyum köpük metallerin üretim pratikliğinin deneysel olarak incelenmesi ve 3 boyutlu modellenebilirliğe uygunluğu* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Ceritbinmez, F. (2014). *Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve üretilen parçalarda çapaklanmaya etki eden parametrelerin incelenmesi* (Yüksek Lisans). Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Hatay.
- CompAir. (t.y.). Yüksek hızlı yağlamalı vidalı kompresör 160 - 250 kW. Geliş tarihi Şubat 4, 2023, gönderen <https://www.compair.com/en-tr/rotary-screw-air-compressors/160-250kw>
- Çetin, M. (2019). Tersine mühendislik ile düzensiz şekilli açık gözenekli metal köpük morfolojisinin incelenmesi. *4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*, 303-304.
- D&D Mekanik. (t.y.). Degazör tankı. Geliş tarihi Şubat 4, 2023, gönderen <http://www.ddmekanik.com/urun-gruplari/buhar-kazanlari-ve-ekipmanlari/degazor-tanki>
- Durukafa, D. (2010). *Buhar üretim merkezlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve bir endüstriyel tesisin analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dündar, K. (2019). *Hassas döküm yöntemiyle alüminyum A356 alaşımından açık gözenekli (hücreli) metal köpük üretimi ve ısı eşanjörüne uygulaması* (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Edwin Raj, R., & Daniel, B. S. S. (2011). Customization of closed-cell aluminum foam properties using design of experiments. *Materials Science and Engineering: A*, 528(4-5), 2067-2075. Elsevier.
- Ercil, A. (2020). *Döküm yöntemi ile açık gözenekli parça üretiminde gözenek boyutunun mekanik özelliklere etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eskin, M. C. (2018). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye ve ekonomiye etkisi* (Uzmanlık Tezi). 2018. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.

- Fabrizio, Q., Boschetto, A., Rovatti, L., & Santo, L. (2011). Replication casting of open-cell AlSi7Mg0.3 foams. *Materials Letters*, 65(17-18), 2558-2561. North-Holland.
- Fırat, T. (2021). *Alüminyum 5083 alaşımlarının infiltrasyon yöntemiyle üretilen metal köpüklerin mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Fischer, S. F., Schuler, P., Fleck, C., & Bührig-Polaczek, A. (2013). Influence of the casting and mould temperatures on the (micro)structure and compression behaviour of investment-cast open-pore aluminium foams. *Acta Materialia*, 61(14), 5152-5161. Elsevier Ltd.
- Guo, C., Zou, T., Shi, C., Yang, X., Zhao, N., Liu, E., & He, C. (2015). Compressive properties and energy absorption of aluminum composite foams reinforced by in-situ generated MgAl₂O₄ whiskers. *Materials Science and Engineering: A*, 645, 1-7. Elsevier.
- Jung, A., & Diebels, S. (2017). Microstructural characterisation and experimental determination of a multiaxial yield surface for open-cell aluminium foams. *Materials and Design*, 131, 252-264. Elsevier Ltd.
- Kalkan, Y. (2012). *Vakum döküm yöntemi ile açık gözenekli alüminyum köpük üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Karakaya, H. (2017). *Sürdürülebilir kalkınma kapsamında Türkiye’de enerji verimliliğinin ekonomik açıdan analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Kaya, M. (2012). *Sanayide enerji verimliliği potansiyeli ve basınçlı hava sistemlerinde verimlilik* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Koyun, Ç. (2005). *Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liu, J. A., Gao, F., Rao, Y. Q., Wu, C. L., & Liu, Y. (2014). Compressive properties of aluminum foams produced by replication route using spheroidal calcium chloride as space holder. *Materials Transactions*, 55(12), 1906-1908. Japan Institute of Metals (JIM).
- Medik, F., Sunar, T., Çetin, M., Yaşar, M., & Turhan, L. (2017). Production of open cell aluminum foam via infiltration method. *1st International Conference of Advanced Materials and Manufacturing Technologies* (ss. 25-27).
- Medik, S. (2019). *Döküm yöntemi ile açık gözenekli düzenli yapılu alüminyum köpük üretimi ve mekanik özelliklerine ısıtılmanın etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- MEGEP. (2013). CNC Freze Tezgahları. *Milli Eğitim Bakanlığı*. Geliş tarihi Şubat 4, 2023, gönderen http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/CNC%20Freze%20Tezg%C3%A2hlar%C4%B1.pdf
- Memiş, F. (2019). *Endüstriyel bir tesisin enerji verimliliğinin artırılması için teorik ve deneysel bir yaklaşım geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özel, C. (2010). *İşletmelerde enerji verimliliği çalışmalarının etkilerinin incelenmesi ve hizmet sektöründe bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Özyurt, H. (2016). *Fabrika üretim hattında üretim kapasitesini artırmak ve enerji verimliliğini sağlamak* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pollien, A., Conde, Y., Pambaguian, L., & Mortensen, A. (2005). Graded open-cell aluminium foam core sandwich beams. *Materials Science and Engineering A*, 404(1-2), 9-18.
- Rossacci, J., & Shivkumar, S. (2003). Influence of EPS bead fusion on pattern degradation and casting formation in the lost foam process. *Journal Of Materials Science* 38 .
- Saw, L. H., Ye, Y., Yew, M. C., Chong, W. T., Yew, M. K., & Ng, T. C. (2017). Computational fluid dynamics simulation on open cell aluminium foams for Li-ion battery cooling system. *Applied Energy*, 204, 1489-1499. Elsevier Ltd.
- Seykoç Alüminyum. (t.y.). Alaşım - 5083 - Seykoç Alüminyum. Geliş tarihi Nisan 9, 2023, gönderen <https://www.seykoc.com.tr/icerik/5083?dil=tr>
- Sharma, V., Grujovic, N., Zivic, F., & Slavkovic, V. (2019). Influence of porosity on the mechanical behavior during uniaxial compressive testing on Voronoi-based open-cell aluminium foam. *Materials*, 12(7). MDPI AG.
- Song, Z., & Nutt, S. R. (2007). Rheology of foaming aluminum melts. *Materials Science and Engineering: A*, 458(1-2), 108-115. Elsevier.
- Sunar, T. (2019). *Açık gözenekli alüminyum köpük üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi* (Doktora Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Sunar, T., & Çetin, M. (2018). An experimental study on boron carbide reinforced open cell aluminum foams produced via infiltration technique. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8(6), 3640-3645. Engineering, Technology & Applied Science Research.
- Sutygina, A., Betke, U., & Scheffler, M. (2022). Manufacturing of open-cell aluminium foams: comparing the sponge replication technique and its combination with the freezing method. *Materials*, 15(6). MDPI.
- Şahin, O. (2017). *Döküm yöntemi ile alüminyum metalik köpük üretimi* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Şahin, S. (2022). *Basıncılı hava sistemlerinde enerji verimliliği ve uygulama örnekleri* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Teo, M. Y., Yeong, H. Y., & Lye, S. W. (1997). Microwave moulding of expandable polystyrene foam with recycled material. *Abstract Journal of Materials Processing Technology Journal of Materials Processing Technology*, 63, 514-518.
- Tezmaksan. (t.y.). Kaoming KMC-218HIS CNC yüksek hızlı köprü tipi işleme merkezi. Geliş tarihi Şubat 4, 2023, gönderen https://www.tezmaksan.com.tr/kaoming-kmc-218his-cnc-yuksek-hizli-kopru-tipi-isleme-merkezi-urundetay-433&arkadasina_oner-1
- TSB Energy. (t.y.). Kondens tankı. Geliş tarihi Şubat 4, 2023a, gönderen <https://tsbenergy.com/tr/pdetay.asp?TID=56&Kondens-Tanki>
- TSB Energy. (t.y.). Buhar akümülatörü. Geliş tarihi Şubat 4, 2023b, gönderen <https://tsbenergy.com/tr/pdetay.asp?TID=63&Buhar-Akumulatoru>
- Uzun, A., & Türker, M. (2015). ALSİ7 köpüklerin gözenek morfolojisi üzerine B4C ilavesinin etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakülte Dergisi* , 30(3), 523-532.

Yağşı, C. (2018). *Polimer emdirme yöntemi ile alüminyum 6063 alaşımı esaslı açık hücreli köpük üretimi ve karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yalıtımlı Alüminyum. (t.y.). Alüminyum alaşımlar. Geliş tarihi Nisan 9, 2023, gönderen <https://yalitimli-aluminyum.com/aluminyum-alasimlar>

Yavuz, İ. (2010). Metalik köpük malzemeler ve uygulama alanları. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2(1), 49-58.



8. EKLER

EK 1

Mefa Endüstri A.Ş. Tasarım ve Kalıphane Bölümü Onay Metni



T.C.

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ

LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

Mefa Endüstri A.Ş.'nin EPS kalıplarında enerji ve üretim verimliliğinin artırılması ile yapılması planlanan ve Hayrettin Ekel'in sorumlu araştırmacı olduğu EPS STRAFOR KALIPLARINDA ÜRETİM VERİMLİLİĞİNİN ARTIRILMASI isimli çalışmanın MeFa Endüstri A.Ş. açısından bir sakıncası olmadığını ve çalışmayı desteklediğimizi bildirmek isterim.

07/03/2023

Mefa Endüstri A.Ş. Kıdemli Tasarım ve Kalıphane Müdürü

Erdem ERDEN

İMZASI