



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOFORM KALIPLARININ ÜRETİM SÜREÇLERİNDE VERİMLİLİĞE
ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

HATİCE KÜBRA KÜRÜMOĞLU

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi ORHAN SEVİNDİK
(danışman imzalı olacaktır)

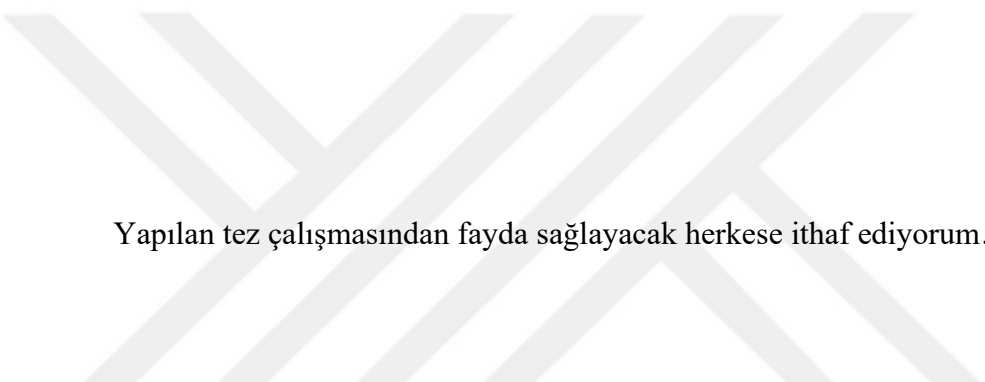
Ambalaj Teknolojileri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Ambalaj Teknolojileri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Mart, 2024







Yapılan tez çalışmasından fayda sağlayacak herkese ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

TERMOFORM KALIPLARININ ÜRETİM SÜREÇLERİNDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam kapsamında bilgi, tecrübe, görüş, tavsiye ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Orhan SEVİNDİK hocam ile Prof. Dr. Erdoğan KÖSE hocama teşekkür ederim.

Bu tez çalışması kapsamında termoform sektöründe çalıştığım günden beri bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, beni her zaman destekleyen kalıp, makine ve ambalaj üreticilerine teşekkürlerimi sunuyorum. Yine aynı zamanda benden bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen çalışmakta olduğum *Euromak&İnpak* firmasına şükranlarımı sunuyorum.

Bugüne kadar eğitim ve iş hayatımda her zaman yanımda olan annem, kardeşlerim ve Ayşeme minnet ve şükranlarımı sunuyorum.

Mart 2024

Hatice Kübra KÜRÜMOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	Error! Bookmark not defined.
BEYAN	Error! Bookmark not defined.
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ.....	xv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xxi
ABSTRACT	xxiii
1. GİRİŞ.....	25
1.1. Problem Durumu.....	25
1.2. Alt Problemler.....	27
1.3. Amaç	28
1.4. Yöntem/Metodoloji.....	28
1.5. Sınırlılıklar	28
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	30
2.1. Plastiklerin Tarihi ve Gelişimi	30
2.2. Plastiklerin Genel Özellikleri.....	34
2.3. Polimerizasyon.....	41
2.3.1. Doğrusal Polimerler	41
2.3.2. Dallanmış Polimerler.....	42
2.3.3. Çapraz Bağlı Polimerler	42
2.3.4. Kopolimer Düzenlemeleri	43
2.4. Plastiklerin Sınıflandırılması	45
2.4.1. Termosetler.....	47
2.4.1.1. Epoksi Reçineler	48
2.4.1.2. Fenolik Reçineler.....	48

2.4.1.3. Amin Formaldehit.....	49
2.4.1.4. Poliüretanlar	49
2.4.1.5. Silikonlar	50
2.4.1.6. Siyanatlar	50
2.4.1.7. Vinil Esterler	51
2.4.1.8. Disiklopentadien ve Diğer Metatez Termosetleri.....	51
2.4.2. Termoplastikler	52
2.4.3. Termoform Kalıplarında Şekillendirilen Termoplastikler	52
3. TERMOFORM.....	55
3.1. Termoforma Genel Bakış.....	55
3.1.1. Termoformun Avantajları	60
3.1.2. Termoformun Dezavantajları	60
3.2. Termoform Şekillendirme Prosesleri.....	61
3.2.1. Termoform Şekillendirmede Isıtma ve Bükme.....	62
3.2.2. Tek Adımda Şekillendirme	63
3.2.2.1. Örtetek Şekillendirme.....	63
3.2.2.2. Vakum Şekillendirme	65
3.2.2.3. Serbest Şekillendirme	68
3.2.2.4. Düzensiz Isıtma.....	68
3.2.2.5. Eşleştirilmiş Kalıp Şekillendirme	69
3.2.2.6. Otoklav Şekillendirme.....	70
3.2.2.7. Diyafram Şekillendirme.....	70
3.2.3. İki Adımda Şekillendirme Prosesleri	71
3.2.3.1. Pnömatik Ön Şekillendirme	71
3.2.3.2. İtici Destekli veya Mekanik Ön Şekillendirme.....	72
3.2.3.3. İtici Destekli veya Mekanik Ön Şekillendirme.....	74
3.2.3.4. Kabartma ile Şekillendirme	76
3.2.4. Üç Adımda Şekillendirme Prosesleri	77
3.2.5. İkiz Levha Şekillendirme	78
3.2.5.1. Ağır Ölçülü İkiz Levha Şekillendirme.....	78
3.2.5.2. Hafif Ölçülü İkiz Levha Şekillendirme.....	80
3.2.6. Temas ile Şekillendirme.....	82
3.3. Genel Üretim Sürecinin Bir Parçası Olarak Termoform	84
3.3.1. Termoformda Kalite Kontrol	84

4. TERMOFORM ÜRETİM SÜREÇLERİNDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN SÜREÇLER	88
4.1. Termoform Şekillendirme Örnekleri	88
4.2. Termoform Makineleri.....	91
4.2.1. Termoform Kalıpları	93
4.2.1.1. Dökme Alüminyum.....	94
4.2.1.2. İşlenmiş Alüminyum.....	95
4.2.1.3. Diğer Kalıp Üretim Materyalleri	95
4.2.2. Prototip Kalıbı Üretim Materyalleri.....	96
4.2.3. Kalıp Tasarımı ve Elemanları	98
4.2.3.1. Soğutma	98
4.2.3.2. Alt Şekilleme ya da Gövde	101
4.2.3.3. Üfleme.....	108
4.2.3.4. İtici (Plug) Asistanlar	109
4.2.3.5. Delme Grubu	113
4.2.3.6. Kesim Grubu.....	116
4.2.3.7. Dizme	118
a. Standart Dizme	119
b. Robot Dizme	120
4.3. Termoform Kalıp Üretim Süreçlerindeki Kalite Faktörleri	123
4.4. Örnek Bir Kalıp Tasarımı ve Üretimi	125
4.5. Termoform Kalıp Üretimindeki Verimliliğine Etki Eden Faktörler.....	133
4.5.1. Hava	133
4.5.2. Su.....	133
4.5.3. Isı.....	134
4.5.4. Vakum	137
5. TARTIŞMA.....	139
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR.....	145
EKLER	150
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	153
ETİK KURUL İZİN YAZISI	154
KURUM İZNİ YAZILARI.....	155
ÖZGEÇMİŞ	156

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Görsel 2.1: Polimerizasyon Formülü.....	39
Görsel 2.2: Bir Kase Solucan ya da Spagettinin Termoplastikte Polidispersitenin Kavramsallaştırması	40
Görsel 2.3: Doğrusal Polimerin Şematik Gösterimi	42
Görsel 2.4: Dallanmış Polimerin Şematik Gösterimi	42
Görsel 2.5: Çapraz Bağlı Polimerin Şematik Gösterimi	43
Görsel 2.6: Alternatif Kopolimer Dizilimi	44
Görsel 2.7: Rastgele Kopolimer Dizilimi	44
Görsel 2.8: Blok Kopolimer Dizilimi	44
Görsel 2.9: Blok Kopolimer Diziliminin Alternatif Gösterimi	44
Görsel 2.10: Dallı ya da Aşılı Kopolimer Dizilimi	45
Görsel 2.11: Plastik Malzeme: Plastik Sınıflandırması	47
Görsel 2.13: Çapraz Bağlanmadan Sonra Termoset.....	48
Görsel 2.14: Bir Termoplastığın Şematik Yapısı.	52
Görsel 3.1: Dişi (Negatif) Bir Kalıp Boşluğuna Basit Vakumla Şekillendirme İçin Duvar Kalınlığı Değişimi	63
Görsel 3.2: Dişi (Negatif) Bir Kalıp Boşluğuna Basit Vakumla Şekillendirme.....	63
Görsel 3.3: Örtetek Şekillendirme.....	64
Görsel 3.4: Örtetek Şekillendirme.....	64
Görsel 3.5: Örtetek Vakum Şekillendirme Prosesi	65
Görsel 3.6: Vakum Şekillendirme	66
Görsel 3.7: GN Makinesinde Vakum Şekillendirme.....	66

Görsel 3.8: GN Makinesinde Şekillendirilen Bir Ürünün Termoform Makinesinde Şekillendirilmesi için Uygun Hale Getirilmiş Hali	66
Görsel 3.9: Vakum Şekillendirme	67
Görsel 3.10: Vakum Şekillendirme Prosesi.....	67
Görsel 3.11: Serbest ya da Şişirerek Şekillendirme.	68
Görsel 3.12: Eşleştirilmiş Kalıp Yarımları Arasında Termoform	69
Görsel 3.13: Eşleştirilmiş Kalıp Şekillendirme	70
Görsel 3.14: Diyafram Şekillendirme.....	71
Görsel 3.15: Erkek veya Pozitif Kalıp ile Şişirerek Ön Şekillendirme.	72
Görsel 3.16: Erkek veya Pozitif Kalıp ile Vakum Emme-Basma Kutusu.....	72
Görsel 3.17: Hafif Ölçülü Tek Bölmeli Kap	73
Görsel 3.18:İtici Destekli Ön Şekillendirme	74
Görsel 3.19: Basınç Şekillendirme Şeması.....	75
Görsel 3.20: Basınç Şekillendirme Sistemi	75
Görsel 3.21: Basınç kutusu,.....	76
Görsel 3.22: Ayrıntı Elde Etmek için Baskı ile Şekilleme	77
Görsel 3.23: İtici (Plug Assistant) Yardımı ile Ters Üfleme ve Vakum Şekillendirme.....	77
Görsel 3.24: İkiz Levha Şekillendirme.....	78
Görsel 3.25: Eş Zamanlı İkiz Levha Üretimi)	79
Görsel 3.26: Ardışık İkiz Levha Üretimi.....	80
Görsel 3.27: İkiz Levhanın Isıyla Şekillendirilmesiyle Elde Edilmiş Ameliyathane Cerrahi Kaskı.....	81
Görsel 3.28: İnce Cidarlı İkiz Levha Şekillendirme.....	82
Görsel 3.29: Sıkıştırılmış Levha Şekillendirme, Tek Plakalı Isıtma	83
Görsel 3.30:İki Taraflı Temaslı Isıtma	84
Görsel 4.1: Farklı Boylardaki Ürünler ve Bu Ürünlere Kapatılan Kapak	88
Görsel 4.2: Köpük Bardaklara Termoform Prosesinde Kapak Üretebilmek için Bardak Numuneleri	89

Görsel 4.3: Kapaklı Kaplar.....	89
Görsel 4.4: Tersine Mühendislik Uygulamaları - 1.....	90
Görsel 4.5: Tersine Mühendislik Uygulamaları - 2.....	90
Görsel 4.6:Termoform Prosesinde Kapak Üretimi.....	91
Görsel 4.7: Dört İstasyonlu Termoform Makinesi	92
Görsel 4.8: Üç İstasyonlu Termoform Makinesi	93
Görsel 4.9: İki İstasyonlu (Yerinde Kesme ya da Kalıp İçi Kesim) Termoform Makinesi	93
Görsel 4.10: Tıkama ve Su Yollarının Gösterilmesi	99
Görsel 4.11: Soğutma için Derin Delinen Deliklerin Gösterimi	99
Görsel 4.12:Kalıp İçi Kesim.....	100
Görsel 4.13: Deliksiz Bir Kapak Kalıbı için Şekilleme, Kesme, Dizme İstasyonları	101
Görsel 4.14: Farklı Hava ve Isı Kullanılarak Şekillendirilen Ürün (Sol: Yanlış, Sağ: Doğru)	102
Görsel 4.15: Sabit Üflemler Negatif Kapak Kalıbı (Üfleme Alt, Şekilleme Üst Taraf).....	103
Görsel 4.16: Sabit Üflemler Negatif Kapak Kalıbı Kesit Görünümü.....	103
Görsel 4.17: Pasta Kabı Kalıbı(Taban) (euromak, 2023).....	106
Görsel 4.18: Pasta Kabı Kalıbı (Kapak) (euromak, 2023)	107
Görsel 4.19:3 İstasyonlu Makinelerde Bulunan Şekilleme, Kesme ve Standart ABC Dizme İstasyonlarının Şematik Gösterimi	107
Görsel 4.20: Kromlu Miller Aracılığıyla Pot Çemberi ve Pot Çemberi İtici Plakası İle Hareketin Şematik Gösterimi	108
Görsel 4.21: Servo Üflemler Et Kabı Kalıbı.....	108
Görsel 4.22: Standart (Sabit) Üflemler Kendinden Kapaklı Cherry Kabı Kalıbı.....	109
Görsel 4.23:İtici (Plug Assistant) Hytac FLX ve Hytac WFT	112
Görsel 4.24: Kestamid İtici.....	112
Görsel 4.25: 3 Bölmeli Yemek Kabı için Delrin İtici.....	112
Görsel 4.26: Delrin Adı Verilen Plastiğe Bağlanan Hytac İtici Grubu	113

Görsel 4.27:4 İstasyonlu Makinelerde Bulunan Şekilleme, Delme, Kesme ve Robot Dizme İstasyonlarının Şematik Gösterimi	113
Görsel 4.28:Delme İstasyonunun 3 Boyutlu Tasarımı	114
Görsel 4.29: Delme Grubunda Katlama Kesimi Yapılmış Kapak Modeli	114
Görsel 4.30: Kap ve Kapak Kısımında Delme Boşlukları Olan Kendinden Kapaklı Kap	114
Görsel 4.31: Oval Delikli Kapak Tasarımı	114
Görsel 4.32:Oval Delikli Kapak için Delme İstasyonunun Şematik Gösterimi	115
Görsel 4.33: Yıldız (*) Delme	115
Görsel 4.34: Delme İstasyonunda Yapılmak Zorunda Olan Yuvarlak Delme	115
Görsel 4.35: X Delme	116
Görsel 4.36: Delme İşleminin Zımbaların Kağıt ile Denenmesi	116
Görsel 4.37:Bıçakta Fiber Merkezleme	117
Görsel 4.38: Bıçak Altı Plakası, Bıçak ve C Bıçaklar	117
Görsel 4.39: Kesim Altı ve C Kesim Karşılığı	117
Görsel 4.40: Düz ve Bombe Kapağın Aynı İstasyonda Dizilmesinin Şematik Gösterimi	118
Görsel 4.41: Standart ABC Dizme	119
Görsel 4.42: Standart ABC Dizmede 1. Kademenin Şematik Gösterimi	119
Görsel 4.43: Vantuz Plakası ile Ürünlerin Dizilmesi	120
Görsel 4.44: Kapak Robot Dizme	121
Görsel 4.45: Ürünlerin İç İç Geçmesini Engellemek İçin Eklenen Ters Açılar	121
Görsel 4.46: Ürünlerin İç İç Geçmesini Engellemek İçin Eklenen Ters Açılar	122
Görsel 4.47: Duvar Kalınlığı ve Açısı Bilinen Ürünün Dizme Mesafesinin Hesaplanması ..	122
Görsel 4.48: Kaplamasız Dip Lokma ve Kaplama Yapılmış Dip Lokma	123
Görsel 4.49: Kaplamasız ve Kaplamalı İnsertler	123
Görsel 4.50: Kaplama Yapılmış Dip Lokma Altıları (Soldaki 7075, Sağdaki 6082)	124
Görsel 4.51: Bıçak Altı (Büte Askılı)	124
Görsel 4.52: Yumurta Numunesi için TS800 Makinesine Göre Yapılan Yerleşim	126

Görsel 4.53: Yumurta Numunesi Örneği.....	127
Görsel 4.54: Yumurta Kabı Numunesi.....	127
Görsel 4.55: Yumurta Kabı Tasarım için Uygunluk Şartlarının Belirlenmesi.....	127
Görsel 4.56: Yumurta Kabı Numunesinin Tarama Datası	128
Görsel 4.57: Yumurta Kabı Kalıbı Gövde ya da Alt Şekilleme Grubu.....	128
Görsel 4.58: Yumurta Kabı Kalıbı Üfleme ya da Üst Grubu	129
Görsel 4.59: Bayrak Oluşmasının Önlenmesi için İtici Tasarımının Örnek Gösterimi.....	129
Görsel 4.60: Yumurta Kalıbı Üfleme ve Gövde (TS1000 Makinesinde Çalışan).....	129
Görsel 4.61: Yumurta Fiberli Bıçak	130
Görsel 4.62: Fiber Merkezlemeli Tahta Bıçaklı Yumurta Bıçak Grubu (TS1000 Makinesi için Üretilen).....	130
Görsel 4.63: Yumurta Bıçak Altı (TS800 Makinesi için Tasarlanan).....	130
Görsel 4.64:Yumurta Kesim Altı	131
Görsel 4.65: Yumurta Kesim Grubu (TS1000 ve TS800 Makineleri için Karşılaştırmalı Tasarım).....	131
Görsel 4.66: Yumurta Dizme Grubu (TS1000 ve TS800 Makineleri için Karşılaştırmalı Tasarım).....	131
Görsel 4.67: Üründe Bayrak Oluşumunun Gösterimi	132
Görsel 4.68:Bayrak Oluşmasının Engellenmesi.....	132
Görsel 4.69: 10'lu Yumurta Kabı Kalıbı Şekilleme Grubu.....	132
Görsel 4.70: Isı Kullanım Ayarlarının Etkisi.....	137
Görsel 4.71: Makinede Sıcaklık Kontrollerinin Yapıldığı Sayfa	137
Görsel 4.72:Çevrim Sayfası.....	138

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Termoform Tarihinde Öne Çıkanlar	33
Tablo 2.2: Termoplastikler ve Termosetlerin Karşılaştırılması.....	36
Tablo 2.3: Plastik, Metal, Seramik ve Cam için Özellik Karşılaştırması.....	38
Tablo 3.1: Hafif Ölçülü ve Ağır Ölçülü Termoformun Özellikleri.....	57
Tablo 3.2: Çeşitli Plastikler İçin İletim Hızları ve Oranları.	59
Tablo 3.3: Plastik Ambalaj Filmlerinin İletim Hızları ve İletim Oranları.....	59
Tablo 3.4: Yaygın Polimerler İçin Isıyla Şekillendirme Sıcaklıkları.	61
Tablo 3.5: Termoform Prosesinde Kullanılabilen Bazı Polimerler için Kurutma Koşulları...	85
Tablo 3.6: Bazı Yaygın Plastiklerin Suya Duyarlılığı.....	86
Tablo 4.1: Bazı Yaygın Plastiklerin Tipik Viskozite Faktörleri.....	106
Tablo 4.2: İtici Tasarım Özellikleri – İtici Malzemesinin Polimerle Eşleştirilmesi.....	111
Tablo 4.3: Bazı Temel Plastik Hammaddeleri için Verilen Şekilleme Dereceleri.....	135
Tablo 4.4: Geri Dönüşümde Kullanılan Kodlar	136

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

1	: PET (Polietilen Tereftalat)
2	: HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
3	: PVC (Polivinil Klorür)
4	: LDPE (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
5	: PP (Polipropilen)
6	: PS (Polistiren)
7	: Diğer (BPA, Polikarbonat ve LEXAN)

Kısaltmalar

Açıklama

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
ACS	: Amerikan Kimya Derneği (American Chemical Society)
APET	: Amorf PET (Amorphous Polyethylene Terephthalate)
ASA	: Akrilat Stiren Akrilonitril (Acrylate Styrene Acrylonitrile)
ASD	: Ambalaj Sanayicileri Derneği
ATH	: Alüminyum Trihidrat (Aluminum Trihydrate)
BASF	: Badische Anilin- & Soda-Fabrik
BDS	: Bütadien Stiren Blok Kopolimer (Butadiene Styrene Block Copolymer)
BMC	: Toplu Kalıplama Bileşiği (Bulk Molding Compound)
BOPP	: Çift Eksenli Yönlendirilmiş Polipropilen (Biaxially Oriented Polypropylene)
BPF	: Britanya Plastik Federasyonu (The British Plastics Federation)
BPA	: Bisfenol A (Bisphenol A)
BR	: Bütadien Kauçuk (Butadiene Rubber)
CA	: Selüloz Asetat (Cellulose Acetate)
CAB	: Selüloz Asetat Butirat (Cellulose Acetate Butyrate)
CAP	: Selüloz Asetat Propiyonat (Cellulose Acetate Propionate)
CE	: Selüloz (Cellulose)
CMC	: Karboksimetil Selüloz (Carboxymethyl Cellulose)

CN	: Selüloz Nitrat (Cellulose Nitrate)
CP	: Selüloz Propiyonat (Cellulose Propionate)
CPET	: Kristalize PET (Crystalline Polyethylene Terephthalate)
CSM	: Kırpık Cam Elyaf Keçesi (veya) Klorosülfonatlı Polietilen (Kauçuk) (Chopped Strand Mat (or) Chlorosulfonated Polyethylene (Rubber))
DMC	: Hamur Kalıplama Bileşiği (Dough Molding Compound)
ECH	: Epiklorohidrin (Epichlorohydrin)
ECTFE	: Etilen Klorotrifloroetilen Kopolimer (Ethylene Chlorotrifluoroethylene Copolymer)
EPDM	: Etilen Propilen Dien Monomer (Elastomer) (Ethylene Propylene Diene Monomer (Elastomer))
EPM	: Etilen Propilen Kauçuk = EPR (Ethylene Propylene Rubber = EPR)
EPR	: Etilen Propilen Kauçuk = EPM (Ethylene Propylene Rubber = EPM)
EPS	: Genişletilmiş Polistiren (Expanded Polystyrene)
EVA	: Etilen Vinil Asetat (Ethylene Vinyl Acetate)
EVOH	: Etilen Vinil Alkol (Ethylene Vinyl Alcohol)
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)
FEP	: Florlu Etilen Propilen (Fluorinated Ethylene Propylene)
FEPM	: Tetrafloroetilen ve Propilenin Kopolimeri (Copolymer of Tetrafluoroethylene and Propylene)
FRP	: Elyaf Takviyeli Polyester/Plastik (Fiber-Reinforced Polyester/Plastics)
FFS	: Form, Dolgu, Mühür (Forming, Filling, Sealing)
FPU	: Florlu Poliüretan (Fluorinated Polyurethane)
FTPE	: Florlu Termoplastik Elastomer (Fluorinated Thermoplastic Elastomer)
FVE	: Florovinil Eter (Fluorovinyl Ether)
GMT	: Cam Mat Termoplastik (Glass Mat Thermoplastic)
GPSS	: Genel Amaçlı Polistiren (General-Purpose Polystyrene)
GRP	: Camla Güçlendirilmiş Plastik (Glass-Reinforced Plastic)
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High-Density Polyethylene)
HEMA	: Hidroksietil Metakrilat Polimer (Hydroxyethyl Methacrylate Polymer)
HIPS	: Yüksek Darbe Dayanımlı Polistiren = TPS (High Impact Polystyrene = TPS)
HFP	: Hekzafloropropilen (Hexafluoropropylene)
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
LCP	: Sıvı Kristal Polimer = SRP (Liquid Crystal Polymer = SRP)

LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen (Low-Density Polyethylene)
LLDPE	: Doğrusal Düşük Yoğunluklu Polietilen (Linear Low-Density Polyethylene)
MBS	: Metakrilat Bütadien Stiren Terpolimer (Methacrylate Butadiene Styrene Terpolymer)
MDPE	: Orta Yoğunluklu Polietilen (Medium-Density Polyethylene)
MEGEP	: Mesleki Teknik Eğitimin Güçlendirilmesi Projesi
MF	: Melamin Formaldehit (Melamine Formaldehyde)
NBR	: Nitril Kauçuk = Akrilonitril Bütadien Kauçuk (Nitrile Rubber = Acrylonitrile Butadiene Rubber)
NR	: Doğal Kauçuk (Natural Rubber)
OPP	: Yönlendirilmiş Polipropilen (Oriented Polypropylene)
OPS	: Yönlendirilmiş Polistiren (Oriented Polystyrene)
PA	: Poliamid (Polyamide)
PA11	: Poliamid 11 (Polyamide 11)
PA12	: Poliamid 12 (Polyamide 12)
PA46	: Poliamid 46 (Polyamide 46)
PA6	: Poliamid 6 (Polyamide 6)
PA610	: Poliamid 610 (Polyamide 610)
PA66	: Poliamid 66 (Polyamide 66)
PA66/610	: Poliamid 66/610 Kopolimeri (Polyamide 66/610 Copolymer)
PAA	: Polaril Amid (Polaryl Amide)
PAGÇEV	: Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı Geri Dönüşüm İktisadi İşletmesi)
PAGEV	: Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PAI	: Poliamid İmid (Polyamide Imide)
PAN	: Poliakrilonitril (Polyacrylonitrile)
PAVE	: Perfloroalkil Vinil Eter (Perfluoroalkyl Vinyl Ether)
PB	: Polibütilen (Polybutylene)
PBR	: Polibütadien (Polybutadiene)
PBT	: Polibütilen Tereftalat (Polybutylene Terephthalate =PTMT)
PC	: Polikarbonat (Polycarbonate)
PCTFE	: Poliklorotrifluoroetilen (Polychlorotrifluoroethylene)
PDAP	: Polidialil Fitalat(Polydiallyl Phthalate)
PE	: Polietilen (Polyethylene)
PEBA	: Polieter Blok Amid (Polyether Block Amide)

PEEK	: Polietereterketon (Polyetheretherketone)
PEEL	: Polyester Elastomer (Polyester Elastomer)
PEI	: Polyester İmid (Polyester Imide)
PEK	: Polieterketon (Polyetherketone)
PES	: Polietersülfon (Polyethersulfone)
PETG	: PET Kopolimer (PET Copolymer)
PETP	: Polietilen Tereftalat (Polyethylene Terephthalate)
PF	: Fenol Formaldehit (Phenol Formaldehyde)
PFA	: Perfloro Alkoksil Alkan (Perfluoro Alkoxy Alkane)
PFEVE	: Poli(Floroetilen Vinil Eter) (Poly(Fluoroethylene Vinyl Ether))
PHB	: Polihidroksibütirat (Polyhydroxybutyrate)
PI	: Poliimid (Polyimide)
PIR	: Poliizosiyanürat Sert (Köpük) (Polyisocyanurate Rigid (Foam))
PLA	: Polilaktik Asit (Polylactic Acid)
PMMA	: Polimetil Metakrilat (Polymethyl Methacrylate)
PMP	: Polimetil Penten (Polymethyl Pentene)
PMVE	: Perfloro Metil Vinil Eter (Perfluoro Methyl Vinyl Ether)
PPVE	: Perfloropropil Vinil Eter (Perfluoropropyl Vinyl Ether)
POM	: Polioksimetilen (Polyoxymethylene)
PP	: Polipropilen (Polypropylene)
PPE	: Polifenilen Eter (Polyphenylene Ether)
PPO	: Polifenilen Oksit (Polyphenylene Oxide)
PPS	: Polifenilen Sülfür (Polyphenylene Sulfide)
PPSS	: Polifenilen Sülfür Sülfon (Polyphenylene Sulfide Sulfone)
PS	: Polistiren (Polystyrene)
PSU	: Polisülfon (Polysulfone)
PTFE	: Politetrafloroetilen (Polytetrafluoroethylene)
PTMT	: Politetrametilen Tereftalat = PBT (Polytetramethylene Terephthalate = PBT)
PUR	: Poliüretan (Polyurethane)
PVA	: Polivinil Asetat (Polyvinyl Acetate)
PVB	: Polivinil Butiral (Butirat) (Polyvinyl Butyral (Butyrate))
PVC	: Polivinil Klorür (Polyvinyl Chloride)
PVCC	: Klorlu Polivinil Klorür (Chlorinated Polyvinyl Chloride)
PVCP	: Polivinil Klorür Plastikleştirilmiş (Polyvinyl Chloride Plasticized)

PVCU	: Polivinil Klorür Plastikleştirilmemiş (Polyvinyl Chloride Unplasticized)
PVDC	: Poliviniliden Klorür (Polyvinylidene Chloride)
PVDF	: Poliviniliden Florür (Polyvinylidene Fluoride)
PVF	: Polivinil Florür (Polyvinyl Fluoride)
PVOH	: Polivinil Alkol (Polyvinyl Alcohol)
RFFS	: Rijit(Katı) Form, Dolgu, Mühür (Rigid Forming, Filling, Sealing)
SAN	: Stiren Akrlonitril (Kopolimer) (Styrene Acrylonitrile (Kopolymer))
SBR	: Stiren Bütadien Kauçuğu (Styrene Butadiene Rubber)
SBS	: Stiren Bütadien Stiren (Blok Kopolimer) (Styrene Butadiene Styrene (Block Kopolymer))
SEBS	: Stiren Etilen Bütadien Stiren (Styrene Ethylene Butadiene Styrene)
SIS	: Stiren İzopren Stiren (Styrene Isoprene Styrene)
SI	: Silikon (Silicone)
SMA	: Stiren Maleik Anhidrit (Styrene Maleic Anhydride)
SMC	: Levha Kalıplama Bileşiği (Sheet Molding Compound)
SRP	: Kendini Güçlendiren Polimer = LCP (Self-Reinforcing Polymer = LCP)
TPE	: Termoplastik Elastomer (Thermoplastic Elastomer)
TPO	: Termoplastik Olefin (Kauçuk) (Thermoplastic Olefin (Rubber))
TPR	: Termoplastik Kauçuk (Thermoplastic Rubber)
TPS	: Sertleştirilmiş Polistiren = HIPS (Toughened Polystyrene = HIPS)
TPU	: Termoplastik Poliüretan (Kauçuk) = TPUR (Thermoplastic Polyurethane (Rubber) = TPUR)
TPUR	: Termoplastik Poliüretan (Kauçuk) = TPUR (Thermoplastic Polyurethane (Rubber) = TPU)
TPX	: Polimetil Penten Kopolimer (Polymethyl Pentene Copolymer)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UF	: Üre Formaldehit (Urea Formaldehyde)
UHMWPE	: Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı PE (Ultra High Molecular Weight PE)
VAE	: Vinil Asetilen (Vinyl Acetylene)
VC	: Vinil Klorür = VCM (Vinyl Chloride = VCM)
VCM	: Vinil Klorür Monomer = VC (Vinyl Chloride Monomer = VC)
WPO	: Dünya Ambalaj Örgütü (World Packaging Organization)
XLPE	: Çapraz Bağlı Polietilen (Cross-Linked Polyethylene)

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[TERMOFORM KALIPLARININ ÜRETİM SÜREÇLERİNDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER]

[Hatice Kübra KÜRÜMOĞLU]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ambalaj Teknolojileri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Ambalaj Teknolojileri, Tezli Yüksek Lisans Programı

[Danışman : Dr. Öğr. ÜyesiOrhan SEVİNDİK]

Oyuncaklardan robotik teknolojilere, uzay ve uçak sanayisinden ilaç ambalajlarına kadar insan hayatının her alanında yer alan ve doğal selülozun keşfedilmesiyle günümüze kadar ulaşan plastik ham maddesi teknoloji ilerledikçe geliştirilmektedir. Esnek ve kolay şekil alması, faydalı ürünlere kolay dönüştürülebilmesi, alternatif kullanım alanlarına göre daha düşük maliyetli ürünler elde edilmesi sayesinde plastik materyallere rağbet artmıştır. Hemen hemen her gün kullanılan ilaç ambalajlarından gıda ambalajlarına kadar plastik materyaller insan hayatında yer edinmiştir.

Gıda ambalajları gibi birçok plastik ambalaj farklı proseslerden elde edilebilmektedir. Bu proseslerden biri de termoform prosesidir. Termoform ısı ile şekillendirme anlamına gelen kelimelerden oluşmaktadır. Termoform prosesinde ısı, basınç, vakum kullanılarak levha haline getirilmiş plastik materyal şekillendirilir. Şekillendirilen bu materyaller neredeyse her gün kullandığımız meyve ve sebze kapları, çikolata ve bisküvi ambalajları gibi materyallere dönüştürülür. Termoform prosesinde elde edilen ürünler ekstrüde edilen plastik ham maddesinin levha haline getirilmesiyle elde edildiği için ikincil üretim teknolojisidir. Ekstrüde edilen plastik ham maddesinden levha üretilerek rulo haline getirilir. Rulo haline getirilen plastik levha makinede üretim hattının ilk kısmını oluşturur. Üretilen ürünün kalıbı termoform makinesine montajlanarak rulo haline getirilen levha ile makineyi dolaylı olarak

besler. Levhanın türüne ve kalınlığına göre ısı, basınç ve vakum kullanılır. Isının etkisiyle yükselen sıcaklığı dengelemek için makine hattında ve kalıpta soğutma gerekir. Uzun süreli çalışma sağlanması için levha tarafından ısınan kalıbın sürekli soğutularak optimum sıcaklıkların elde edilmesi gereklidir. Optimum ısı, basınç, vakum, soğutma ve nitelikli personel ile faydalı ürün elde edilir.

Bu çalışma kapsamında plastiğin tarihsel gelişiminden itibaren termoform kalıp prosesinden ürün olarak elde edilene kadar ki süreç incelenmiştir. Ekstrüzyon, makine, levhanın baskı süreci ve diğer faktörler optimum kabul edilerek termoform kalıpları incelenmiştir. Termoform prosesinde üretilen kalıpların üretim süreçlerinde verimliliğe etki eden faktörler değerlendirilmiştir. Kalıp tasarımı ve üretimi süreçleri anlatılmış ve bu süreçlerde verim faktörünü etkileyen konulara değinilmiştir. |

Mart 2024 , 156. sayfa.

Anahtar kelimeler: Termoform, Termoform Kalıpları, Plastik Ambalaj, Kullan-at Ambalaj, Tek Kullanımlık Gıda Kapları |

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

[FACTORS AFFECTING EFFICIENCY IN THE PRODUCTION PROCESS OF THERMOFORMING MOLDS]

[Hatice Kübra KÜRÜMOĞLU]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Name of Department

Packaging Technologies Program

[Supervisor: Assist. Prof. Dr.Orhan SEVİNDİK]

Plastic raw material, which is present in every aspect of human life, from toys to robotic technologies, from the space and aircraft industry to pharmaceutical packaging, and has survived to the present day with the discovery of natural cellulose, is being developed as technology progresses. The demand for plastic materials has increased due to the fact that they are flexible and easy to shape, can be easily converted into useful products, and produce lower-cost products than alternative areas of use. From pharmaceutical packaging to food packaging, plastic materials used almost every day have gained a place in human life. Many plastic packages, such as food packaging, can be obtained from different processes. One of these processes is the thermoforming process.

Thermoform consists of words meaning forming with heat. In the thermoforming process, plastic material sheet is shaped using heat, pressure and vacuum. These shaped materials are transformed into materials that we use almost every day, such as fruit and vegetable containers, chocolate and biscuit packaging. Since the products obtained in the

thermoforming process are obtained by turning the extruded plastic raw material into sheets, it is a secondary production technology. Sheets are produced from extruded plastic raw material and turned into rolls. The plastic sheet rolled into rolls forms the first part of the production line on the machine. The mold of the product to be produced is assembly on the thermoforming machine and indirectly feeds the machine with the rolled sheet. Heat, pressure and vacuum are used depending on the type and thickness of the plate. Cooling is required in the machine line and mold to balance the rising temperature due to heat. In order to ensure long-term operation, it is necessary to obtain optimum temperatures by continuously cooling the mold heated by the plate. Useful product is obtained with optimum heat, pressure, vacuum, cooling and qualified personnel.

Within the scope of this study, the process from the historical development of plastic until it is obtained as a product from the thermoform molding process has been examined. Thermoform molds were examined by considering extrusion, machine, printing process of the plate and other factors as optimum. Factors affecting efficiency in the production processes of molds produced in the thermoforming process were evaluated. Mold design and production processes are explained and issues affecting the efficiency factor in these processes are touched upon. |

March 2024, |156|pages.

Keywords: |Thermoforming, Thermoforming Molds, Plastic Packaging, Disposable Packaging, Disposable Food Containers |

1. GİRİŞ

1.1. Problem Durumu

Doğal selülozun keşfiyle günümüze kadar ulaşan ve insan hayatının her alanında yer alan plastik hammadde, tarih öncesinden bugüne ilerleyen teknolojiye bağlı olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Günümüzde sıklıkla kullanılan plastik materyallerin üretilmesini sağlayan teknolojilerden biri termoform prosesidir. Termoform prosesi ikincil üretim teknolojisi olsa da, termoform prosesinde üretilen materyaller insan hayatının her alanında yer almaktadır. Esnek ve kolay şekillendirilebilir materyaller faydalı ürünlere dönüştürülerek her alanda insanların ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Özellikle gıda ambalajları, ilaç, sağlık vb. alanlarda kullanıldığı gibi uzun vadede taşınabilecek ya da saklanabilecek ürünlerin üretilmesinde de aktif bir şekilde rol almaktadır.

Petrolün damıtılmasıyla başlayan, plastik hammaddesinin polimerizasyonu ile devam eden süreçte farklı kombinasyonlarda binlerce ürün elde etmek mümkündür. Fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kategorize edilen plastikler, özellikle son yıllarda, salgın ve hastalıkların sıklığı, hijyen ihtiyacının artmasıyla termoform prosesinden elde edilen kullan-at ürünlere talebin artmasına sebep olmuştur. Tüketici koruması gereken gıda gibi özel ürününü ihtiyaç süresinde taşıyıp, kullanıp, ihtiyaç durumu ortadan kalktığında atabilme kolaylığına erişmiştir. Günlük yaşamda kullanım kolaylığı, termoform prosesine rağbet arttırmıştır.

Plastik termoform ambalaj ürünleri, diğer plastik üretim yöntemleriyle elde edilebilen muadillerine göre ucuz ve sürdürülebilir bir alternatiftir. Termoform, kalıptan çekilmiş bir plastik levha ile başlayarak, bir işleme atıfta bulunan genel bir terimdir. İşlem, plastik levhanın yumuşak veya şekillenebilir olduğu bir sıcaklık aralığına ısıtılarak kalıpta vakum ile üretilen bir işlemdir. Termoform, vakumlu şekillendirme, örtülü şekillendirme, serbest kabarcıklı şekillendirme, uyumlu kalıp şekillendirme, basınçla şekillendirme ve ikiz levha şekillendirmeyi içeren bir grup şekillendirme işlemi temsil eder. Termoform prosesi genellikle ince ölçü ve kalın ölçü olmak üzere bölünür. İnce ölçülü, sert ambalaj gibi tek kullanımlık ürünlere yönelir. Kalın ölçülü ise kalıcı veya endüstriyel ürünlere yönelir. Termoform, levhanın kauçuksu bir katı veya elastik sıvı olarak işlendiği düşük sıcaklıkta, düşük basınçlı bir işlemdir. Kalıplar genellikle tek yüzeylidir. Kalıp malzemeleri nispeten ucuzdur ve genellikle nispeten kısa

sürelerde üretilir. Kalın ölçülü termoform, diğer işlemler tarafından üretilenlerin altında üretim maliyetlerinde sınırlı sayıda ürün üretir. Termoformun avantajlarının yanında birkaç dezavantajı vardır. Gelen malzeme, ekstrüde edilmiş bir levhadır ve ekstrüzyon işlemi, oluşturulan ürünün maliyetine %50 veya daha fazlasını ekler. Termoform, diğer işlemlerden önemli ölçüde daha fazla deşe üretir ve bu deşenin ek maliyetle kırılması ve yeniden ekstrüde edilmesi gerekir (Throne, 2011).

Günümüzde kullanılan blister ambalajlar, yumurta kartonları ve gıda saklama kapları da dahil olmak üzere kullanılan ambalajların çoğu termoform ile üretilmektedir. Bu işlemin, bu ürünleri üretmenin diğer yöntemlerine göre birçok avantajı vardır (Klein, 2009). Karmaşık bir şekle sahip parçalara kalıp içi tasarım yapılarak ince film levhaların kalıbın şeklinin alınması sağlanır (Shia vd., 2008). Deneysel ve teorik sonuçlardan elde edilen bulgulara göre, şekillendirilmiş filmlerin duvarlarındaki boyut ve kalınlık değişiminin artan kalıp sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı, hava tahliye derinliği ve şekilleme süresi ile verim faktörünün etkilendiği ve sonuç olarak, kalıp sıcaklığının filmin gerilme oranı ve film kalınlığının değişim oranı üzerinde en önemli etkiyi gösterdiğini göstermektedir. Türkiye’de plastik ambalaj sektörünün %67’si flexible plastik, %18’i tekstil plastik ve %15’i de sert plastik ambalaj malzemelerinden oluşmaktadır (PAGEV, 2019). Bu nedenle şekillendirilebilen levhalar ile üretilecek olan esnek ambalajlar çok büyük bir Pazar payına sahiptir.

Kullan-at ürünler üretilirken PET, PS, PP gibi termoplastik ham maddelerden üretilmektedir. Termoplastik materyaller ateşle karşılaştıklarında yumuşayan, tersinir, kolay işlenebilen, düşük üretim hurdası olan, termoset plastiklere göre daha yüksek darbe dayanımına sahiptir. Termoset materyaller ateşle karşılaştıklarında sert ve katı halini koruyan, yanma esnasında bozunan materyallerdir. Bu özellikleri sayesinde termoform prosesinde ve kullan at ürünlerde tercih edilmektedir.

Termoform prosesinde az zamanda çok sayıda ürün elde etmek mümkündür. Yanlış üretilen ürünler tekrar levha haline getirilip yeniden üretim prosesine dahil edilebilir. Termoform yani ısıyla şekillendirme işlemi, termoplastik levhanın yumuşama veya esneme noktasına kadar ısıtılmasını, yumuşatılmış levhanın soğutulan kalıp yüzeyine gerilerek ve itilerek istenen şekli alınmasını sağlama işlemidir. Levha, kalıbın şeklini aldıktan sonra şeklini koruyacağı noktaya kadar soğutulduğunda, levha ve şekillendirilen kısım kalıptan çıkarılır. Levha ve ürünün kalıptan ayrıldığı her bölüme hatve, kalıptan elde edilecek ürün adedine kavite

ya da göz sayısı denir. Levhada deşe olarak adlandırılan, hatve üzerinde ürün olmayan fazla plastik kırılır.

Termoform prosesi diğer üretim yöntemlerine göre nispeten daha düşük maliyetlidir. Tek kalıp yüzeyi ile milyon adetli ürünler üretmek mümkündür. Üretilen ürünler geri kazanılabilir. Bu sayede düşük maliyetle kısa sürede yüksek adetli ürünler elde edilebilir olması en önemli avantajlarından. Girdi malzemesi olarak ekstrüde levha kullanılması, diferansiyel bir germe işlemi olmadığından elde edilen ürünlerin duvar kalınlığının her yerde eşit olmaması, yüksek sıcaklıklara karşı düşük dayanıma sahip olması dezavantajlarıdır. Aynı ham maddenin farklı polimerizasyon yöntemleri ile elde edilebilir olması kullanım çeşitliliğini artırır.

Farklı şekillendirme yöntemleri ile ihtiyaca yönelik fayda üretilebilir. Bununla birlikte farklı termoform şekillendirme türleri de kullanılabilir. Şekillendirme yöntemi yani kalıp türü ürüne göre en yüksek verim elde edilebilecek şekilde tasarlanır. Kalıp negatif ya da pozitif olabilir. Vakum şekillendirme, örtetek şekillendirme, itici destekli şekillendirme gibi çok çeşitli yöntemler kullanılarak en yüksek verimi sağlayacak ürün elde edilebilir. Termoform proseslerinde ürün şekillendirildikten hemen sonra dolum yapılabilir. Bu sayede el değmeden üretim tesisleri ve yüksek hijyen koşulları sağlanabilir. Fayda sağlayacak ürünün elde edilebilmesi için ihtiyaç faktörü bilinmelidir. İhtiyaç faktörüne göre ürün tipi, kalıp (şekillendirme) türü, ısı, basınç, vakum, hammadde, maliyet ve zaman belirlenir.

Tüm üretim süreçlerinde olduğu gibi termoform üretim süreçlerinde de ürünün ortaya çıkması ve çıkarılan ürünün kullanıcı tarafından doğal ve istenilen şekilde verimli kullanılabilmesi için üretim aşamasında bazı kalite standartlarının sağlanmış olması önem arz etmektedir. Dolayısıyla yürütülen tez çalışmasında “*termoform kalıplarında verimliliğe etki eden faktörler nelerdir?*” sorusuna cevap aranmıştır

1.2. Alt Problemler

Yürütülen tez çalışması, “*termoform kalıplarında verimliliğe etki eden faktörler nelerdir?*” ana sorusu kapsamında;

- Plastik ve termoformun tarihsel gelişimi nasıl olmuştur?
- Plastikler ve termoform türleri nasıl sınıflandırılır?

- Termoform ürünleri ve türleri nelerdir?
- Termoform üretim süreçleri nasıl ilerler?

alt sorularına da cevap aranmıştır.

1.3. Amaç

Bir sistemde avantaj fonksiyonu, beraberinde bazı dezavantajlı durumlar oluşturur. Talebin karşılanması için gerekli koşulların oluşturulması, seri üretime ihtiyaç, ham madde ve prosesin yetersizliği, tecrübeli personel eksikliği gibi durumlar ihtiyaç duyulan üretim prosesinde hatalara ve gecikmelere neden olabilir.

Dolayısıyla hazırlanan tez çalışması kapsamında; Türkiye’de termoform prosesi ile üretilmekte olan esnek ambalajların üretim süreçlerinde verimlilik faktörünün bağlı olduğu etkenlerin neler olduğu ve bu etkenlere bağlı süreçlerin nasıl kalite kriterleri bağlamında ilerlediğinin araştırılması amaçlanmıştır. Termoform alanında Türkçe kaynak yetersizliği dolayısıyla alana katkı vermek de alt amaç olarak değerlendirilmektedir;

1.4. Yöntem/Metodoloji

Yürütülen tez çalışması nitel bir araştırma yöntemini kullanılmış olup, literatüre dayalı betimsel analiz tekniği üzerinde kurgulanmıştır. Betimsel analiz yöntemi, belirli bir alanda ya da belirli bir konuda birbirinden bağımsız olarak yapılan nitel ve nicel çalışmaların detaylıca incelenip düzenlenmesi anlamına gelir. Bu sayede araştırılan konu ya da alandaki genel davranışlar belirlenmektedir. Elde edilen sonuçların, hedeflenen konulara yönelik olarak gelecekte planlanan çalışmalara yön göstermesi beklenmektedir (Ültay, vd., 2021).

Ayrıca; tez çalışmasını hazırlayan araştırmacının termoform kalıp ve makine üretimi yapan bir işletmede çalışıyor olması dolayısıyla, araştırmacıya ait gözlemlere ve tecrübelere de yer verilmiştir.

1.5. Sınırlılıklar

Yürütülen tez çalışması;

- Arama motorları aracılığı ile yapılan aramalarda kullanılan “termoform”, “thermoforming”, “thermoform mold”, “vacuum thermoforming”, “steps in thermoforming”, “thermoforming

machine”, “thermoforming plastics”, “reverse engineering in thermoforming”, “disposable plastics”, “plastic packaging”, “termoform kalıpları”, “termoform makinesi”, “tek kullanımlık plastik”, “tersine mühendislik”, “plastik ambalaj”, “gıda ambalajları”, “termoform şekillendirme”, “termoform plastiklerinin sınıflandırılması” kelimeler sonucunda ortaya çıkan kaynaklarla,

– Bulunan kaynakların yazarları tarafından konuya bakış açılarıyla,
sınırlıdır.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Plastiklerin Tarihi ve Gelişimi

Doğal kauçuğu ilk kez toplayan Antik Mezo Amerikalıların heykelcikler ve bantlar başta olmak üzere M.Ö. 1600'den beri polimerlerin insanlar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzdeki yapısına sahip modern termoplastiklerin gelişimi 19. yüzyılda olmuş, 20. ve 21. yüzyıllarda, sadece köklü kullanımları için eski malzemelere meydan okumakla kalmayan, aynı zamanda ürün yelpazesini genişletmeye yardımcı olan yeni ürünleri de mümkün kılan, birbiriyle yakından ilişkili iki yeni malzeme sınıfı olan plastikler ve kauçuklar tanıtılarak geliştirilmiştir. İlk olarak doğal polimerler, boynuz, mumlar, doğal kauçuk ve reçineler kullanılmıştır. Termoplastikler üzerine deneyler sonucunda, giderek artan oranda plastik ve kauçuğa olan ilgi ve güven artmıştır. Kullanımı antik çağlara kadar dayanan doğal kauçuğun kullanımı yirminci yüzyılın başlarında yaygınlaşmış olsa da, plastik endüstrisinin en büyük büyüme dönemi 1930'lardan itibaren olmuştur.

Eski Mısır'da mumyalar, çeşitli şekillerde Suriye Asfaltı veya Yahudiye Bitümü olarak bilinen lavanta yağındaki bir bitüm çözeltisine batırılmış bir beze sarıldığı bilinmektedir. Işığa maruz kaldığında ürün sertleşir ve çözünmez hale gelir. Bu süreç, modern zamanlarda kauçuğun vulkanizasyonunda ve ısıyla sertleşen plastiklerin üretiminde büyük önem kazanan kimyasal çapraz bağlama eylemini içermektedir. Goodyear 1839 yılında vulkanize kauçuğu icat ettiği ve Selüloit, 19. yüzyıl boyunca bardo topları için sayısız uygulamada kullanıldı. Devam eden süreçte Polivinil klorür (PVC) ve giysiler için viskoz (rayon) gibi önemli maddeler üreten doğal/sentetik polimerler üzerinde çalışmalar geliştirmeye devam edildi (Çömez ve Öztürk, 2022; Gilbert, 2017; chemicalsafetyfacts, 2022; Vahapoğlu, 2007).

Polivinil klorür (PVC) ilk olarak 1872'de Eugen Baumann tarafından icat edildiği bilinmektedir. Alman eczacı Eduard Simon tarafından keşfedilen polistirenin (PS) ise ticari üretimi 1930'larda Alman şirketi BASF (IG Farben) tarafından başlatılmış ve 1937'de ABD'ye tanıtılmıştır. Genel kullanım amaçlı olan Polistiren (PS) ve Polibütadien (PBR) ile modifiye edilmiş Polistiren oranının yüksek etkili olduğu bir kalitede olmak üzere iki temel formda mevcuttur. Dow Chemical Company 1954'te, binalar için mükemmel bir yalıtım ortamı olan yaygın olarak kabul edilen ve kalıplanabilir bir ambalaj malzemesi olarak genişletilmiş Polistiren'i icat etmiştir (ASD, E.T. 10.03.2023; chemicalsafetyfacts, 2022; Çetiner, E.T.16.09.2023).

Genişletilmiş Polistiren (PS) kapları ve tepsileri, tüketime malları için yaygın olarak kullanılırken, endüstriyel ambalajlar, taşıma sırasında elektronik ürünler, televizyonlar, çamaşır makineleri ve aydınlatma gibi yüksek değerli ürünleri korur. Polietilen, Mart 1933'te Birleşik Krallık'taki Winnington Laboratuvarı'nda iki araştırma kimyacısı olan Reginald Gibson ve Eric Fawcett tarafından keşfedildi ve ilk olarak 1935'te düşük yoğunluklu reçine olan Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE) olarak sentezlendi (chemicalsafetyfacts, 2022).

Polipropilen ise 1954 yılında Giulio Natta tarafından keşfedildi ve reçinenin ticari üretimi 1957'de başladı. Modern plastiklerin gelişimi, yirminci yüzyılın ilk 50 yılında, en az 15 yeni polimer sınıfının sentezlenmesi ile genişledi. Bu süre boyunca plastiğin bir malzeme olarak başarısı önemli olmuştur. Doğal polimerler, modifiye edilmiş doğal polimerler, ısıyla sertleşen plastikler, termoplastikler ve daha yakın zamanda biyolojik olarak parçalanabilen plastikler dahil olmak üzere bir dizi tür ve formda kullanımı açısından çok yönlü olduklarını kanıtlamıştır (Andrady ve Neal, 2009). Günümüzde mevcut olan uygulamaların çoğu ve plastiğin öngörülen faydaları 1940'larda Yarsley ve Couzens tarafından özetlenen bilgileri takip etmektedir. Plastikler dayanıklı, tek kullanımlık ve yaygın kullanılması öngörülen çeşitli uygulamalar için kullanım potansiyeline sahip olduğu tahmin edilen maddelerdir. Ancak bu tahminler arasında atık yönetimi ve kirlilik yer almamış olmakla birlikte tarihsel gelişim açısından bakıldığında çevre duyarlılığının artması sonucu plastiklerin çevre ve buna bağlı olarak geri dönüşüm kapasitesinin de önemi artmıştır (Thompson vd, 2009; Andrady vd, 2009).

Kimyager ve mucit Alexander Parkes, 1862'de Londra'daki Uluslararası Sergide ısıtıldığında kalıplanabilen ve soğutulduğunda şeklini koruyan selülozdan elde edilen "*Parkesine*" adını verdiği ilk insan yapımı plastiği tanıtmıştır. Parkes, şeffaf olabilen ve binlerce farklı şekle dönüşebilen bir malzeme olan "*Parkesine*", ilk üretilen plastik olup fildişi ya da kaplumbağa kabuğu yerine renkli ve daha ucuz bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Parkesine'nin yerine geçecek kişi olan ve John Wesley Hyatt tarafından icat edilen selüloz ve alkolize kafurdan türetilen selüloit plastiği ise plastik materyalin günümüze kadar ulaşan ve çeşitlenen keşfinin başlangıç noktasıdır. 1860'ların sonlarında fildişi bilye toplarının yerine selüloit kullanılmasına rağmen bu maddenin hala çok yanıcı olduğu kanıtlandı. Ancak 1800'lerin sonlarında selüloit, film ve fotoğraf endüstrisinin temeli ve yapı taşı haline geldi (chemicalsafetyfacts, 2022).

Leo Baekeland, 1907'de doğada bulunan hiçbir molekül içermeyen ilk tam sentetik plastik olan Bakalit'i icat etmiştir. Baekeland, Amerika Birleşik Devletleri'nin ihtiyaçlarını

karşılamak için doğal bir elektrik yalıtkanı olan gomalak için alternatif olabilecek sentetik bir materyal ararken Bakalit ismini verdiği bir malzemeyi keşfetmiştir. Bakalit sadece iyi bir yalıtkan değil, aynı zamanda yüksek dayanımlı, ısıya karşı dayanıklı ve selüloitten farklı olarak mekanik seri üretim için idealdi. "*Binlerce kullanım malzemesi*" olarak pazarlanan Bakalit, neredeyse her şeye şekillendirilebilir, kalıplanabilir ve sonsuz farklı türde olanaklar sağlayan bir materyaldir. Bakalit oluştuktan sonra erimez ve elektriksel yalıtım özelliklerinden dolayı kamera, telefon, radyoların iletken olmayan parçaları ve diğer elektrikli cihazların yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Bakalit ayrıca yeşim, mermer ve kehribarın yerine de kullanılmıştır. Baekeland, 1909'da "*plastik*" terimini kullanarak bu yeni malzeme kategorisini tanımlamıştır. Böylece 1907'de dünyanın ilk sentetik plastiği olan Bakalit'in piyasaya sürülmesi, Polimer Çağı'nın başlangıcını oluşturmuştur. (Science History Institute, 2022; chemicalsafetyfacts, 2022; acs.org, 2022).

Hermann Staudinger'in öne sürdüğü "*Makromolekül Hipotezi*" 1924 yılında polimer teknolojisinin deneme-yanılma yaklaşımından oluşturulup araştırmacıya Nobel Ödülü kazandırmıştır. Makromolekül hipotezi; birçok monomerden uzun zincirli moleküller oluşması olarak özetlenebilir. Hipotez aracılığıyla doğal kauçuk ve polistirenin yapısını aydınlatmış böylece Selüloz Asetat, Polivinil Klorür, Polimetilmetakrilat, Üre Formaldehit reçineleri gibi polimerlerin üretimine olanaklı hale gelmiştir. Polimerlerin gelişimi ile 1930 yılında üretilen Polistren ile başlamış, sonraki yıllarda üretilen Stiren-Bütadien kopolimeri (SBR sentetik kauçuğu) ve sentetik kauçuk olan Neopren (Dupren) polimer teknolojisinin keşfiyle çeşitlenerek devam etmiştir (MEGEP, 2006; Kaya, 2005; Alevcan, 2016).

İlk sentetik fiber olan Nylonun türevi Nylon 6,6 DuPont firması tarafından 1935 yılında üretilmiş olup 1939 yılında da Nylon 6 (Perlon)'un üretimi gerçekleştirilmiştir (Kaya, 2005; Alevcan, 2016; Altunbaş, 2008). Poliakrilonitril, 1936 yılında, stiren – akrilonitril kopolimeri ve polivinilasetat, 1937 yılında, poliüretan, 1938'de politetrafloroetilen (Teflon), 1939'da melamin – formaldehit (Formika) reçineleri, 1940'da silikonların hammaddesi olan silanlar, 1941'de polietilen ve polietilentereftalat, 1942'de de orlon ticari adıyla poliakrilonitril fiber üretimleri gerçekleştirilmiştir. II. Dünya Savaşı sonrasındaki yıllarda yeni polimerlerin sentezi artarak devam etmiş, 1947'de epoksi reçineleri, 1948'de ABS (Akrilonitril – Butadien Stiren Terpolimeri) sentezlenmiştir. 1953 yılında sentezlenen polipropilen, araştırmacıları Ziegler ve Natta'ya Nobel Ödülü kazandırmıştır. Başta polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen olmak üzere son 10 yılda termoplastiklerde önemli bir artış olmuştur. Günümüzde en çok

tüketilen genel amaçlı plastikler; alçak ve yüksek yoğunluklu polietilenler (AYPE ve YYPE), polipropilen (PP), polistiren(PS) ve polivinil klorür (PVC) olduğu bilinmektedir. Zamanla akrilonitil-stiren-butadien terpolimeri (ABS) ve stiren-akrilonitril kopolimeri (SAN) de bu gruba dahil edilmiştir (MEGEP, 2006; Kaya, 2005; Alevcan, 2016; Altunbaş, 2008).

Tablo 2.1: Termoform Tarihinde Öne Çıkanlar (Throne, 2008: syf. 2)

Zaman	Mekan (Yer)	Termoform Faaliyeti
Tarih Öncesi	Mısır ve Mikronezya	Kaplumbağa kabuğu (keratin) kızgın yağda ısıtıldı ve yiyecek kapları üretmek için şekillendirildi.
Tarih Öncesi	Amerika ve Mikronezya	Ağaç kabuğu (doğal selülozik) sıcak suda ısıtılarak çanak ve kano haline getirildi.
1870'ler	İngiltere	Parkes, Nitroselüloz ile Dökülme Deneyi yapıldı.
	ABD	Hyatt kalıplanabilir kafurlu selüloz nitrat geliştirdi.
	ABD	Charles Burroughs Co., NJ tarafından, İnce Selüloit levhalarını kesmek için hidrolik düzlem geliştirildi.
1910	İngiltere	Piyano diyez tuşları, sabit ahşap çekirdekler üzerinde perde şeklinde oluşturuldu.
1930	ABD	Fernplas Corp. tarafından iki yarıdan oluşan şişe ısıyla şekillendirildi.
1930'lar	ABD	US Coast & Geodetic Survey, Washington, DC için kabartma haritalar şekillendirildi.
1933	Avrupa	Phillips buzdolabında kullanılan sert polivinil klorür (PVC) şekillendirildi.
1935	ABD	EI DuPont de Nemours Co., Inc., Wilmington, DE tarafından oluşturulan selüloz asetat pinpon topları ikiz levha olarak şekillendirildi.
1938	ABD	Selüloz nitrattan blister paketi yapıldı.
1938	ABD	Klaus B. Strauch Co. tarafından otomatik ince rulo levha beslemeli termoform şekilleyici geliştirildi.
1938	ABD	Sigara uçları, buz küpü tepsileri otomatik olarak ısıyla

		şekillendirildi.
1942	ABD, İngiltere	Avcı uçağı, bombardıman uçağı camları, tabanca kapakları, ön camlar için dökme akrilik (PMMA) ısıyla şekillendirildi.
1943	ABD, İngiltere	Selüloz asetat, Planör pencereleri için şekillendirildi.
1948	İngiltere	Troman Brothers tarafından ısıyla şekillendirilmiş dökme akrilik (PMMA) küvetler şekillendirildi.
1954	ABD	Donanım Üreticileri Birliği ticaret fuarında, Chicago'da gösterilen ince paketle paketlenmiş ürünler sergilendi.
1970	ABD	Borg-Warner, Inc. tarafından ABS konsept otomobil gövdesi ısıyla şekillendirildi.
1985	ABD	Viking Products tarafından gıdaların yeniden ısıtılması için kullanıma sunulan kristalleştirici polietilen tereftalat (CPET) tanıtıldı.

2.2. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastik, *"esnek ve kolay şekillendirilebilir"* anlamına gelen, monomer denilen basit yapıların polimer adı verilen yüksek molekül ağırlıklı, karmaşık ve zincir şeklinde bir yapıya dönüştürülerek elde edilen maddelere verilen genel bir isimdir. Plastikler petrolün damıtılması ile üretilmektedir. Plastik üretiminde kullanılan selüloz, kömür, doğal gaz, tuz, petrol gibi maddeler doğal ürünlerden oluşmaktadır. Plastik üretimi ham petrolün damıtma işlemi başlatılarak fraksiyon adı verilen bir işlem aracılığıyla daha küçük gruplara ayrılması ile başlar (Balkan, 1999; PAGEV, E.T.28.09.2022; Kızılay, 2022).

Polimerler, tüm modern plastikleri oluşturan kimyasal malzeme sınıfının genel bir adıdır. Polimerler, yapısal olarak tekrarlayan küçük molekül zincirlerinden (monomerler) oluşan büyük moleküllerdir. Bu monomerlerin (örneğin etilen gazı) ısı ve basınçla birleştirilmesi işlemine polimerizasyon denir (sciencemuseum, 2022). Polimerler plastik ve lastik malzemeleri oluşturan grubun adıdır. Tarım ve petrol ürünlerinin organik moleküllerinden polimerizasyon işlemi ile elde edilerek üretilirler. Genel olarak ısı ve elektrik yalıtkanlığı, düşük dayanım, korozyon direnci ve hafiflik gibi özelliklere sahiptirler (Karagöz, 2008).

Polimer kelimesi Latince'deki “*poli=çok*” ve “*mer=kısım*” olmak üzere iki kelimenin birleşimi ile türetilmiş olan bir kelimedir. Öte yandan “*Monomer*” kelimesi ise yine Latince'de yer alan “*mono=bir, tek*” anlamına gelen kelimeden yola çıkarak, polimerik maddelerin yapısında bulunan en küçük birimi temsil etmek üzere türetilmiştir. Yapılarında C, H, O, N elementleri yer almaktadır.

Polimerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, monomerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birleşmesiyle oluşturulan bileşik belirler. İki monomerin birleşmesi ile latince rakamlar olan “*di=iki*”, “*tri=üç*”, “*tetra=dört*” rakamlarının “*mer¹*” ile birleşerek oluşan bileşiği tanımlar. Çok sayıda monomerin kimyasal bileşimi ile polimer, bu monomerlerin oluşturduğu zincirlere ise polimerizasyon adı verilir. Polimerler sünek, hafif, ve ucuz malzemelerdir. Sahip oldukları bağların karakterleri nedeniyle düşük dayanıma sahiptirler. İkincil bağlar içeren polimer türleri kolay şekillendirilir ve düşük sıcaklıkta yumuşar. Elektriksel olarak yalıtandırılar (MEGEP, 2006; Güneş, 2012; Bayrak, 2005).

Plastikler, termoplastikler, elastomerler, termosetler ve polimer bileşikler olmak üzere dört ana gruba ayrılır. Yapılarında bulunan makromoleküler yapıları sayesinde, herhangi bir plastik malzemenin sınıfı ve fiziksel özellikleri ayırt edilir. Çapraz bağlı polimerler termosetler ve elastomerlerdir. Elastomerler yumuşak ve termosetler sert esnekliğe sahiptir ve reçineleri geri dönüşüm amacıyla eritilemez. Termoplastikler ise ya şekilsiz ya da yarı kristaldir. Plastikler bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına ve doğadaki bakterilere karşı dayanıklı olması, uzun süre bozunmadan kalmaları, çürümeye, paslanmaya, çözünmeye, biyolojik ya da doğada bozulmaya uğramadan uzun yıllar kalabilme özelliklerine sahiptir. İnsan hayatını kolaylaştırır ve pek çok alanda kullanılması kolaylığına rağmen plastikler suyun ve toprağın kirlenmesine neden ve toprağa ya da suya karışması halinde, sularındaki canlılara zarar verir hatta burada yaşayan canlıların ölümlerine neden olur. Odun içerdiği selüloz hammaddesi sayesinde polimer teknolojisinin en önemli doğal kaynaklarının başında gelir. Uzun yıllar kağıt ve fiber yapımında odundan elde edilen selüloz kullanılmıştır. Günümüzde ise birçok alanda selülozdan türetilmiş şekilleri kullanılmaktadır (MEGEP, 2006; Soy, 2017; Ay, E.T. 03.10.2022; Gülmez, 2018; Ibeh, 2011; Maddah, 2016; Tanzi vd., 2019).

Termoplastik collins dictionary’e göre “*ısıtıldıklarında yumuşayan soğutulduğunda sertleşen plastik türleri*” dir (collinsdictionary, 2022). Termoplastik malzemeler moleküller

¹Yunan köklerinden türetilen “*meros*”

arası kuvvetler tarafından bir arada tutulan lineer veya dallanmış zincirleri ile makromoleküller içeren plastik grubudur. Moleküller arası kuvvetlerin mukavemeti bağların tipine ve zincir sayısı ve tipine göredir. Termoplastik kelimesi “*thermo=ısı*” ve “*plastik*” kelimelerinin birleştirilmesiyle türetilmiştir. Bu sayede sıcaklık ile bağlar zayıflatılabilir ve plastik kalıplanabilir (Soy, 2017). Termoplastikler, ısıtıldığı zaman homojen bir sıvı haline gelen ve soğutulduğunda sertleşen polimer reçinelerinden üretilen plastik türüdür. Termoplastik dondurulduğu zaman cama benzeyen bir hal alır ve bu hal çatlamaya elverişlidir. Bu özellikleri sayesinde tersine çevrilebilir. Tekrar tekrar ısıtılabilme, şekillendirilebilme ve dondurulabilme özelliklerine dolayısıyla termoplastiklerin geri dönüştürülebilmesi mümkündür.

Termoplastiklerin sahip olduğu her bir kristalin yapısı ve yoğunluğu farklı olan düzinelerce termoplastik türü mevcuttur. Sıcaklık ergime sıcaklığı altına düştüğü zaman amorf polimer molekülleri lastik gibi davranış gösterir Sıcaklık camsı faza geçiş sıcaklığının altına düşerse amorf polimerler camsı malzemelere dönüşürler. Amorf plastikler geniş bir yumuşama aralığı (belirgin olmayan ergime sıcaklığı) ve ortalama değerlerde ısı direnci yani iyi bir çarpma direnci ve düşük çekme değerlerine sahiptir. Yarı-kristal termoplastikler ise katı halde amorf faz içerisinde düzenli kristal yapı şeklinde dağılmışlardır. Yarı kristal termoplastikler kristal yapı içerisinde ergiyik halden katı hale geçişte oluşurlar. Kristalizasyon derecesi polimer segmentlerinin hareketine, uzunluğuna, ergime ve kalıp sıcaklıklarına bağlı değişkenlik gösterebilir (Yelkenci, 2008; PAGEV, 19.10.2022; McKeen, 2018).

Tablo 2.2: Termoplastikler ve Termosetlerin Karşılaştırılması (Sastri, 2022).

Termoplastikler	Termosetler
Yumuşak	Sert
Şeffaf	Opak
Yüksek Hacim	Düşük Hacim
Kolay İşlenebilirlik	İşlemesi Zor
Daha Yüksek Sıcaklıkta İşlenir	Daha Düşük Sıcaklıkta İşlenir
Düşük Üretim Hurdası	Yüksek Üretim Hurdası
Başlangıç Maliyeti Daha Yüksek	Başlangıç Maliyeti Daha Düşük
Daha Düşük Toplam Parça Maliyeti	Daha Yüksek Toplam Parça Maliyeti
Yüksek Akışkanlık	Düşük Akışkanlık
Yalıtkan	İletken

Daha Yüksek Darbe Dayanımı	Daha Düşük Darbe Dayanımı
Isı Direnci Daha Düşük	Isı Direnci Daha Yüksek
Daha Yüksek Sürünme	Daha Düşük Sürünme
Geri Dönüştürülebilir	Geri Dönüştürülemez
Zayıf Ark Direnci	Mükemmel Ark Direnci
İyi Elektriksel Özellikler	Mükemmel Elektriksel Özellikler
Ticari termoplastikler: Poliolefinler, Polivinil Klorür, Stirenikler, Akrilikler Mühendislik Termoplastikleri: Polikarbonat, Polyesterler, Poliamitler, Polieterler, Poliüretanlar, Polisülfonlar, Poliimidler	Epoksiler, Fenolikler, Alkidler, Vinil Esterler, Doymamış Polyesterler, Poliüretanlar, Amino plastikler

Çapraz bağlı polimerler bireysel molekül zincirlerinin enine bağlanan zincir molekülleri olarak tanımlanan plastik kategorisidir. Enine bağlantılar çapraz bağlantılı olarak da nitelendirilmektedir. Termosetler ve elastomerler bu grubu oluşturmaktadır. Her biri çapraz bağların çokluğuna göre kategorize edilirler. Moleküller arası kuvvetler haricinde atomik bağlar ile de bir arada tutunurlar.

Termosetlerin zincir molekülleri düzenli olmayan bir dizilime sahiptir. Termosetler elastomerlerin yapısı ile karşılaştırıldığında, moleküller arası çapraz bağlantılarda önemli ölçüde bolluk gösterir. Oda sıcaklığında çapraz bağlantılı moleküller çok sert ve kuvvetli fakat darbelere karşı kırılgandır. Termoset malzemeler termoplastiklerle karşılaştırıldığında ısıtıldıkları zaman daha çok yumuşama gösterirler. Elastomerler ve termosetler ergimezler ve çapraz bağlantıları sayesinde şişmeleri de mümkün değildir.

Elastomerlerin zincir molekülleri rastgele düzenlenmiş termosetlere göre nispeten daha az çapraz bağ içerirler. Elastomerler oda sıcaklığında kauçuk gibi davranış gösterirler. Çapraz bağlantıları bireysel molekül zincirleri arasında hareket kabiliyetini kısıtlar. Atomik bağlantıları yalnızca çok yüksek sıcaklıklarda kırılır ve sıcaklık azaldığında eski formuna dönmediği için ergimez ve çözünmezler. Elastomerler belli bir genişliğe kadar şişebilir ve molekülleri arasında az sayıda çapraz bağ gösterdikleri için yağ ve benzin gibi maddelerde bulunan küçük moleküller elastomer zincirleri arasındaki alanlara nüfuz edebilirler. Termoset plastikler, işlendiği zaman üç boyutlu bir ağ oluşturarak kimyasal bir değişim geçiren sentetik malzemelerdir. Isıtılan ve şekil verilen termoset plastik molekülleri yeniden işlenemez ve şekillendirilemez.

Termoplastiklerin aksine termosetler, zincir hareketini sınırlayan çapraz bağlar oluşturmak için kimyasal olarak reaksiyona girer. Bu polimer zincir ağı, aşırı ısıya maruz kaldığında yumuşamak yerine bozulma eğilimi gösterir. Termoset plastik türlerinin her biri farklı ve birbirine benzemeyen özellikler gösterir. Bileşenleri çok iyi dayanıma sahiptir ve sıcaklık arttırıldığında dayanım özelliklerini kaybetmezler (Soy, 2017:20; PAGEV, 19.10.2022; McKeen, 2018).

Plastikler ısı, ışık gibi maddelere karşı gösterdikleri davranışlarına göre sınıflandırılır. Termosetler ısı ile karşılaştıkları zaman sert ve katı özellik göstermelerine karşın termoplastikler belirli bir sıcaklığın üzerinde ısıtıldığında akışkandılar. Termoplastik örneklerinden olan polipropilen, polietilen, polistiren, polivinil klorür gibi plastik maddeler ateşle karşılaşp yanmaya başlamadan önce akışkan hale gelir. Gösterdikleri bu davranışlara göre kullanım alanları belirlenir.

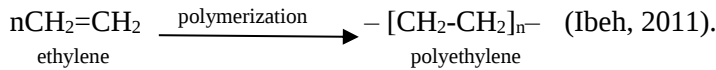
Tablo 2.3:Plastik, Metal, Seramik ve Cam için Özellik Karşılaştırması (Sastri, 2022)

Özellik	Plastikler	Metal	Seramikler	Cam
Esneklik	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Şeffaflık	İyi	Zayıf	Zayıf	Mükemmel
Tasarımda Çok Yönlülük	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Bariyer Özellikleri	İyi	Mükemmel	Zayıf	Mükemmel
Tokluk	Mükemmel	İyi	İyi	Zayıf
Dayanıklılık	Zayıf	Mükemmel	İyi	İyi
Kimyasal Dayanım	İyi	Zayıf	Mükemmel	Mükemmel
Sızdırmazlık için yapıştırılabilir	Mükemmel	İyi	Zayıf	Zayıf
Performans	Mükemmel	Zayıf	İyi	Zayıf
Ağırlık/Hacim Oranı	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf
Performans/Ağırlık Oranı	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	İyi
Performans Oranı/Maliyet	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf

Termosetler ateşle karşılaştıklarında sert ve katı halini koruyarak yanma esnasında bozunurlar. Bir tava sapı ateş ile karşılaştığında şeklini korur ve yangına maruz kaldığında

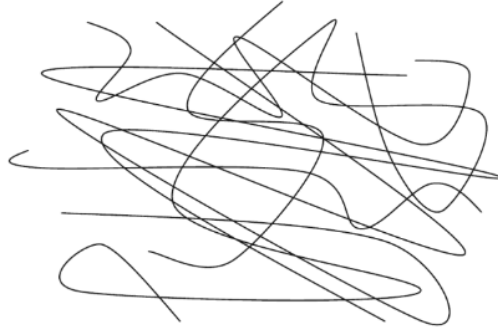
duman üretir. Fenolikler, epoksiler ve doymamış polyesterler tipik termoset örneklerindendir. Isıtıldığında termoplastik ve termoset plastiklerin farklı davranış gösterme sebepleri kimyasal yapılarından kaynaklanır. Termoplastikler katı halde yarı kristalli ya da amorf camsı yapıda bulunan doğrusal polimerlerdir. Isıtıldığı zaman kristallerin erime noktası (polietilen gibi yarı kristalli termoplastikler için) ya da camsı geçiş sıcaklığının üstünde (ataktik polistiren gibi amorf termoplastikler için) polimer zincirinin hareket etmesi serbesttir ve bu hareket sayesinde akış gerçekleşir. Termosetler ise çapraz bağlı polimerlerdir ve kovalent kimyasal bağlar yok edilmediği sürece katı halde kalırlar.

Politetrafloro etilen gibi bazı doğrusal polimerler ısıtıldığında akma davranışı göstermez. Polifenilen oksit gibi diğer doğrusal polimerler ise akmadan önce bozulur. Bu zıtlığa rağmen iki tür de termoplastik olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma polimer grubunun doğrusal zincir yapısına sahip olmasından kaynaklanır. Ayrıca yüksek basınçta sentezlenen düşük yoğunluklu polietilen de termoplastik grubuna dahildir. Termoplastikler yeterli çözücü içinde çözünebildikleri veya akma davranışı gösterebildikleri için zincirleri birbirinden ayrılabilir. Bir termoset materyal akamaz. Bir termoset, kovalent kimyasal bağlar tarafından tüm kütleyi süzen çapraz bağlı bir polimer ağı olarak daha iyi tanımlanabilir (Guo, 2018).



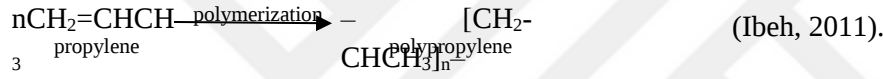
Görsel 2.1: Polimerizasyon Formülü

Burada n harfi ile gösterilmek istenen, tekrar eden monomer birimlerinin sayısıdır. Bu değer polimerizasyon derecesini ve belirli bir polimer zincirinin uzunluğunu ifade eder. Polimer derecesi n ile ifade edilen bir polimer zinciri kimyasal özelliklerine göre bir polimer tipini belirler. Belirlenen bu polimer tipi polietilen için nispeten 10.000'den daha fazladır. Çeşitli tipler ve çeşitli uzunluklardan meydana gelen polimer zincirleri termoplastik ya da polimerin polidispersite gibi belirli bir karakteristik özelliğini işaret eder. Bu karakteristik ya da belirgin özellik fiziksel olarak bir kase solucan ya da spagetti şeklinde görselleştirilebilir (Ibeh, 2011; Tanzi vd., 2019).

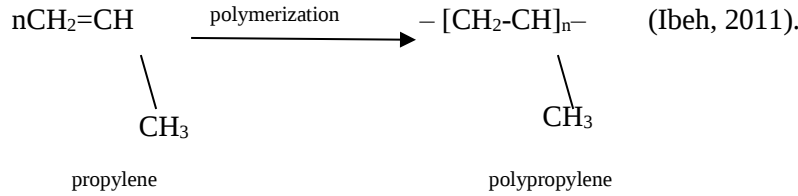


Görsel 2.2: Bir Kase Solucan ya da Spagettinin Termoplastikte Polidispersitenin Kavramsallaştırması (Ibeh, 2011).

Belirli bir polimer veya termoplastik reçinede bulunan zincir uzunlukları üretim yöntemi, sıcaklık, basınç, katalizör tipi gibi koşullara göre belirlenir. Polipropilen ikinci en popüler plastik materyale başka bir örnektir.



Propilen ve polipropilenin kimyasal yapısı aşağıdaki gibi daha doğru temsil edilir.



Görsel 2.2’de en temel ve basit olan tanım olup, polimerlerin tanımı ilerledikçe homopolimer, kopolimer, termopolimer, doğrusal ve dallı polimer, eklemeli ve yoğuşma polimerleri, ağ polimerleri, vb. plastikler daha net hale gelir.

Plastikler termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki ana gruba toplanır. Termoplastik polimerler amorf ve yarı kristalli tiplerden oluşur. Amorf ve yarı kristalli termoplastiklerin her ikisi de benzer olduğu kabul edilerek basitçe termoplastikler olarak adlandırılır. Amorf plastikler, yarı kristalliğin çeşitli dereceleri tarafından karakterize edilen yarı kristalli termoplastiklerin aksine %0 kristallliğe sahiptir. Termoplastikler %100 kristallik elde edemedikleri için yarı kristaller gibi tasarlanmıştır. Amorf plastikler Polistiren, Polymethyl methacrylate (PMMA), Polikarbonat, Polisülfonlar, Poliimidler ve diğer plastikler gibi doğal

olarak şeffaftır. Şekilsiz olmaları ışığın iletimini engelleyen kristallize ve küreciklere sahip olmadıkları anlamına gelir. Hem amorf hem de yarı kristalli termoplastik materyallerin kristallik ile karakterize edildiği kabul edilir halbuki termoset muadilleri çapraz bağlanma ile karakterize edilir (Ibeh, 2011; Tanzi vd., 2019).

2.3. Polimerizasyon

Polimerizasyon kısaca polimer oluşturma işlemine denir. Polimerler oluşturma işlemi aracılığıyla daha sonra çeşitli plastik ürünler oluşturmak için işlenir. Polimerizasyon sırasında, monomer veya yapı taşı olarak adlandırılan daha küçük moleküller bloklar, daha büyük moleküller oluşturmak için kimyasal olarak birleştirilir veya makro moleküller oluşur. Oluşturulan yüzlerce makromolekül birleşerek polimer oluşturur. Moleküler zincirlerin morfolojisi, plastik ürünlerin genel özelliklerini etkileyen atomik ölçekte bireysel tekrar eden birimlerin düzenlenmesi tarafından yönetilir. Oluşturulan mikroyapı düzenlemeleri, tekrar eden birimlerin, fonksiyonel grupların, dalların, olası çapraz bağların ve zinciri oluşturan monomer sınıfının doğasına bağlıdır. Tekrar eden birimlerin sıralı düzeni ve zincir arasındaki etkileşim doğrudan kohezyon kuvvetlerini belirleyerek paketlenme yoğunluğu, mukavemet, esneklik, uzama ve moleküler hareketlilik ve böylece plastiğin ve uygulama sırasındaki genel davranışını kontrol eder (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019).

2.3.1. Doğrusal Polimerler

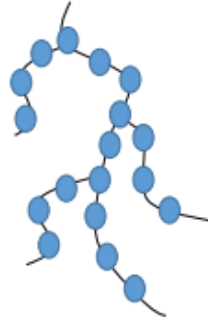
Lineer polimerlerde tekrar eden birimler tek bir esnek zincirde uç uca birleştirilir. Polimerik zincirler fiziksel çekicilikler aracılığıyla bir arada tutulur. Oluşturulan geniş polimer zincirlerini Vander Waals bağları bir arada tutar. Tipik olarak doğrusal polimerler, monomerlerden yapılır. Monomer yapısının bir parçası olarak yan gruplar içeren lineer polimerler, dallı polimerler olarak nitelendirilmezler. Lineer polimerlerin yaygın örneklerinden bazıları polietilen, PVC, polistiren ve poliamidlerdir. Doğrusal polimerler genellikle daha katıdır (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019).



Görsel 2.3: Doğrusal Polimerin Şematik Gösterimi
(Shrivastava, 2018)

2.3.2. Dallanmış Polimerler

Yan zincirler veya dallar, ana polimer zincirleriyle aynı anda tekrar eden, birimlerden yapılır. Dallar, polimerizasyon sırasındaki yan reaksiyonlardan kaynaklanır. İki veya daha fazla uç grubu olan monomerlerin dallanmayı desteklemesi muhtemeldir. Bir polimerin dallı polimer olarak sınıflandırılması için yan zincirler veya dallar en az bir tam monomer biriminden oluşmalıdır. En yaygın örneklerden biri düşük yoğunluklu polietilendir (LDPE) ve plastik poşetler, kaplar, tekstil materyalleri ve elektrik yalıtımından ambalaj malzemeleri için kaplamalara kadar çok çeşitli uygulamalara sahiptir (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019).

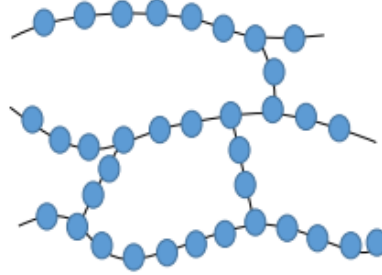


Görsel 2.4: Dallanmış Polimerin Şematik Gösterimi
(Shrivastava, 2018)

2.3.3. Çapraz Bağlı Polimerler

Çapraz bağlı polimerler, adından da anlaşılacağı gibi içinde bitişik polimer zincirleri, üç boyutlu bir ağ yapısında bağlanır. Bağlantılar aynı zamanda çapraz bağlar olarak da bilinir. Çapraz bağlar, zincirler veya dallar arasındaki kovalent bağın bir sonucu olabilir. Zincirler arasındaki çapraz bağlar geliştikten sonra polimer termoset hale gelir. Bu tür polimerler, birim

hacim başına birleşme noktası sayısının göstergesi olan çapraz bağlanma yoğunlukları veya çapraz bağlanma dereceleri ile karakterize edilir. Epoksiler, toplu kalıplama bileşikleri, kauçuk ve çeşitli yapıştırıcılar yaygın örnekler arasındadır (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019).



Görsel 2.5: Çapraz Bağlı Polimerin Şematik Gösterimi
(Shrivastava, 2018)

2.3.4. Kopolimer Düzenlemeleri

Kopolimerler, farklı malzemelerin özelliklerini, yeni ayırt edici malzemeler oluşturarak birleştirmek için araçlar sağlar. Dolayısıyla plastik endüstrisi için çok önemlidir. Kopolimerler, tek tür monomerlerden (homopolimerler) oluşturulan polimerlerde genellikle gözlemlenmeyen faydalar sağlar. Bireysel monomer sınıflarına özgü çeşitli özellikler, tek bir polimer oluşturmak üzere birleştirilir. Örneğin, akrilonitril bütadien stiren (ABS), stiren bütadien kauçuğu, stiren-akrilonitril ve stiren-izopren-stiren gibi kauçuk türevleri, günlük uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kopolimerlerdir. Benzer şekilde hidrofilik ve higroskopik polimerlerin kopolimerleri de kozmetik sanayinde, ilaç salımı ve kendi kendini cilalayan boya uygulamalarında sıklıkla kullanılan kauçuk türevleri arasındadır. Kopolimerler; alternatif, rasgele, blok ve aşılansız kopolimerleri içeren kategorilerde sınıflandırılabilen, polimer yapısında tekrar eden birimlerin farklı düzenlemelerine sahip olabilen ve polimer zincirindeki tekrar eden birimlerin düzenine bağlı olarak, birçok uygulama için faydalı olan farklı özellikler sağlayabilen yapılardır. “A” ve “B” tekrar eden birimlerden yapılmış bir kopolimer örneği göz önüne alındığında, farklı düzenlemeler şu şekilde tanımlanabilir:

İki monomer “A” ve “B” dönüşümlü olarak düzenlendiğinde, polimere alternatif kopolimer denir. Örneğin, bütadien polipropilen kopolimeri, poli izopren’e kıyasla üstün ısıyla eskitme (ısı yaşlanması) özelliklerine sahiptir (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019; Drobný, 2019).

-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B- (Alternatif Kopolimer)

Görsel 2.6: Alternatif Kopolimer Dizilimi

Bu dizilim alternatif kopolimerdeki "A" ve "B" monomerlerinin alternatif düzenlenmesini göstermektedir.

İki monomer (A ve B) belirli bir sırayı takip etmeyecek şekilde düzenlendiğinde, bunlara rastgele kopolimer denir.

-A-A-B-A-B-B-A-B-A-A-B-B-B-A-B-A-A- (Rastgele Kopolimer)

Görsel 2.7: Rastgele Kopolimer Dizilimi

Rastgele kopolimer yapısındaki "A" ve "B" nin rastgele düzenini göstermektedir. Örneğin, etilen bağlantılı rastgele polipropilen kopolimeri, azaltılmış erime noktaları ve sızdırmazlık başlatma sıcaklıkları ile iyi şeffaflık ve parlaklık gösterir. Bir blok kopolimerde, her bir monomer türü birlikte gruplanır ve diğerlerinin tümü birlikte gruplanır (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019; Drobny, 2019).

-A-A-A-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B-B- (Blok Kopolimer)

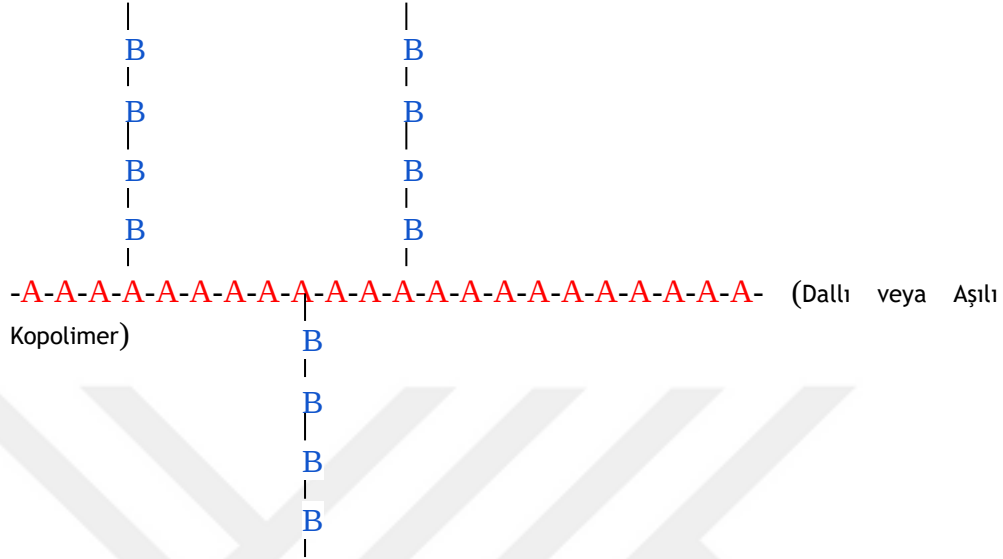
Görsel 2.8: Blok Kopolimer Dizilimi

Blok kopolimer diziliminde gösterildiği gibi birleştirilmiş iki homopolimer olarak düşünülebilir. "A" türü ile "B" türünün birlikte gruplandığı gözlemlenebilir. Blok kopolimerlerin yaygın uygulamaları yapııştırıcılar, yüzey aktif maddeler, zarlar, köpükler ve kozmetiklerdir. Bunlara ek olarak, monomerlerin her birinin büyük gruplandırılmış bloklarından oluşan bir polimer de bir blok kopolimer olarak kabul edilir. Örneğin, poliüretan köpüğün çok bloklu bir kopolimeri, yüksek sıcaklık direnci ve düşük sıcaklık esnekliği sergiler. Başka bir örnekte polistiren, endüstriyel bir eriyik yapışkan oluşturmak için yapışkan özelliklere sahip kauçuk benzeri polimer ile kopolimerize edilir (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019; Drobny, 2019).

-A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-A-A-A-A-A- (Blok Kopolimerin Başka Bir Düzenlemesi)

Görsel 2.9: Blok Kopolimer Diziliminin Alternatif Gösterimi

Bir tür monomerden yapılmış polimer zincirleri, bir aşılı kopolimeri oluşturan başka bir tür monomerden yapılmış polimer zincirlerine aşılandığında Şekil 2.10'daki gibi bir dizilim oluşmaktadır.



Görsel 2.10: Dallı ya da Aşılı Kopolimer Dizilimi

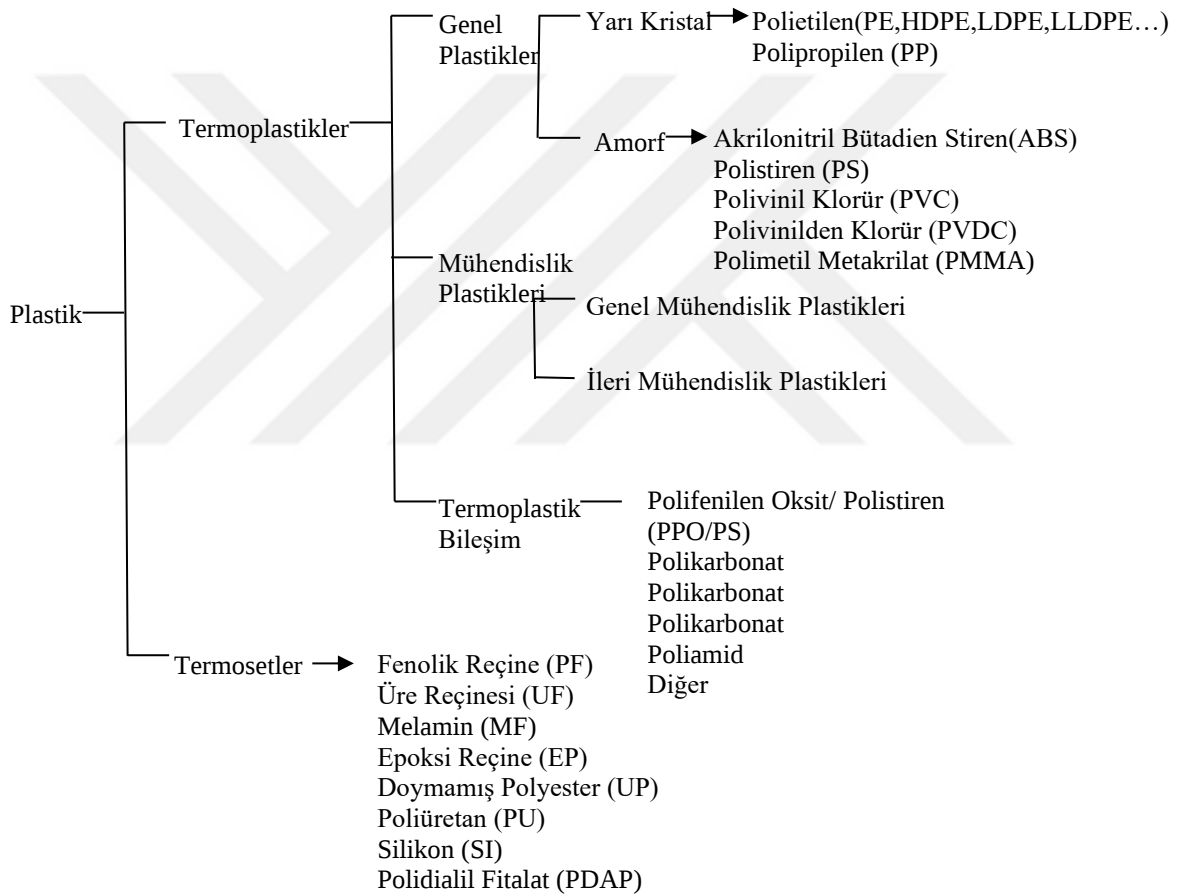
"B" monomerinden yapılan bir polimerin zincirlerinin, "A" monomerinden oluşan bir polimer zincirine aşılandığını göstermektedir. Aşılı kopolimerleri genellikle bir malzemenin lineer zincirinden ve diğer bazı malzemelerin rastgele dağılmış dallarından oluşur. Aşılı kopolimerlerinin yaygın uygulaması, gazları ve sıvıları ayırmak için zarları, polimer karışımları için bağdaştırıcıları, emülgatörleri, hidrojenleri ve bazı biyomedikal uygulamaları içerir. Plastikler gibi, elastomerler de termoset veya termoplastik olabilir. Termoplastik elastomerler (TPE'ler), geleneksel termoset elastomerlere göre önemli avantajlara sahiptir, çünkü TPE'ler bir termoplastığa benzer işlenebilirlik gösterir (Shrivastava, 2018; McKeen, 2018; Tanzi vd., 2019; Drobny, 2019).

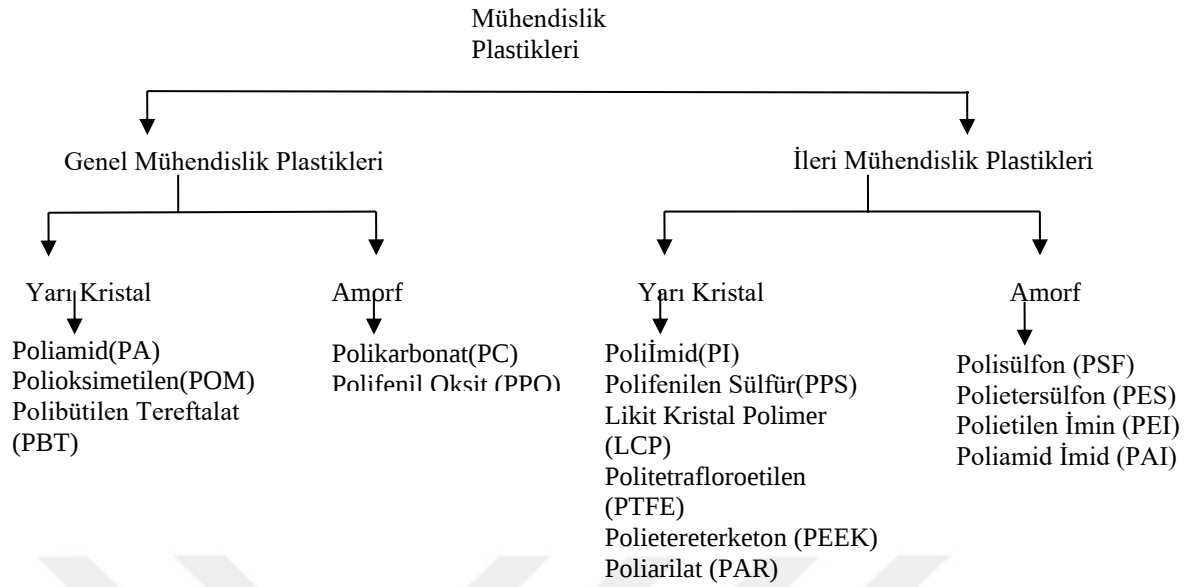
2.4. Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler ısı, basınç, fiziksel ve kimyasal faktörler gibi etkilere karşı gösterdikleri davranışlara göre termoplastik ve termoset olarak; moleküler yapılarının dizilimlerine göre ise amorf, yarı kristal ve kristal olmak üzere gruplandırılırlar. Sınıflandırma yapılırken atom dizilişi, bağ tipi (kovalent, iyonik vb.), atomları arasındaki bağ tipi (hidrojen, Van der Waals), fiziksel, kimyasal, termal etkilere karşı gösterdikleri davranışlara göre belirlenir. Polimer materyalin fiziksel hal ve geçişlerini camsı geçiş sıcaklığı adı verilen ısı değişimine göre

zincirlerin hareket kabiliyetinin bulunduğu ya da ısı değişimi olsa bile zincir hareketinin tamamen durağan, yani cam gibi kırılğan olduğu hale göre belirlenir. Polimer zincirleri ısı değişimlerine göre hareketli ise camsı geçiş sıcaklığının üstünde olduğu, polimer zincirinin hareket kabiliyetinin tamamen durağan olduğu durumlara ise camsı denir (Kızılay, 2022; MEGEP, 2006; Tanzi vd., 2019)

Polimerik malzemeler (veya plastik malzemeler), kovalent bağlarla birbirine zincirlenmiş birçok tekrar biriminden (monomerik birimler) oluşan uzun moleküler zincirlerden (polimerler) oluşan organik malzemelerdir. Görsel 2.11’de plastiklerin sınıflandırma ağacı yer almaktadır.





Görsel 2.11: Plastik Malzeme: Plastik Sınıflandırması

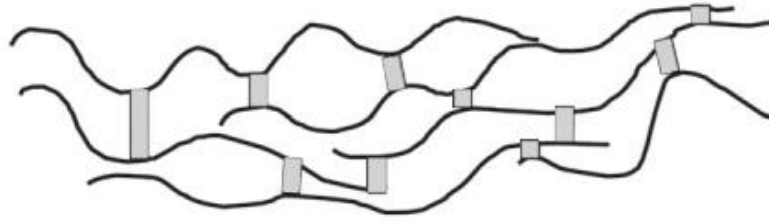
Plastik Malzeme Sınıflandırılması ile Mühendislik Plastiklerinin Sınıflandırması
Termoplastikler ve Termosetler Plastikler, Ji-Horng Plastic Co., Ltd., (E.T. 17.10.2022)

2.4.1. Termosetler

Termosetler, günlük tüketim ürünlerinde ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan polimer türüdür. İstenilen özelliklerde kompozitlerinin oluşturulabilmesi sayesinde tasarım ve üretim esnekliği sağlayan plastik türüdür. Katkı maddelerine göre çok çeşitli özelliklere sahip termoset materyaller üretilmesi mümkündür. Monomer, katalizör, çapraz bağlayıcı, zincir uzatıcı, kürlenme programı, dolgu maddeleri ve lifler gibi katkı maddelerinin birleşik seçimlerine bağlı olarak çok çeşitli özelliklerin elde edilebilmesini sağlar. Örneğin, aynı epoksi monomer, $<20^{\circ}\text{C}$ ila $>200^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında, yüksek düzeyde çapraz bağlı ağdan çapraz bağlı olmayan termoplastiklere ve hidrofilikten hidrofobik karaktere kadar T_g (cam geçiş sıcaklığı) değerleri gösterecek şekilde hazırlanabilir. Bu durum termosetlerin özelliklerini incelerken karşılaşılan zorluklardan biridir.

Termoset materyallerin katsayıları, saf reçine için sürekli elyaf takviyesi ile 2 GPa'dan 100 GPa'nın üzerine kadar değişebilir. Epoksi reçineler, Fenolik reçineler, Amin-formaldehit, Poliüretanlar, Silikonlar, Siyanatlar, Vinil esterler, Disiklopentadien ve diğer metatez termosetleri bu grubun sınıflandırılmasında incelenmektedir. Termoplastikler gibi sertleşmeden önceki termosetler bağımsız makromoleküllerdir. Ancak nihai hallerinde, sertleştikten sonra, (püskürtmeli kalıplama veya filaman sarımı) veya işleme sırasında (örneğin sıkıştırma veya

enjeksiyonlu kalıplama) üretilen kimyasal çapraz bağlama ile elde edilen 3 boyutlu bir yapıya sahiptirler (Mullins vd., 2018; Biron, 2013).



Görsel 2.12: Çapraz Bağlanmadan Sonra Termoset (Biron, 2013).

2.4.1.1. Epoksi Reçineler

Epoksi reçine, moleküler yapısında epoksit gruplarından oluşan bir termoset polimerdir ve bisfenol A (BPA) ile epiklorohidrin (ECH) arasındaki yoğunlaşma reaksiyonuyla üretilir. Büyük güç ve modül gibi nihai özellikler, kimyasallara ve neme karşı iyi direnç, sürünme-aşınma ve korozyona karşı yeterli direnç, daha fazla yapışkanlık, mükemmel yorulma direnci ve epoksi reçinenin üstün izolasyonu yalnızca uygulanabilir sertleştiriciler yardımıyla kürlendikten sonra elde edilebilir. Epoksilerin bu özellikleri, onları koruyucu kaplamalar, yüksek mukavemetli yapıştırıcılar, mühendislik ve yapısal kompozitler vb. için uygun aday haline getirmiştir. Epoksi reçineler, neredeyse her uygulamaya uyarlanabilen çok yönlü monomerlerdir. Aminler, fenolik reçineler, anhidritler ve tioller dahil olmak üzere çeşitli sertleştiriciler kullanılarak sertleştirici olmadan asidik bir katalizörle kürlenebilir. Sertleştiricinin reaktivitesine bağlı olarak 0°C'nin altından >200°C'ye kadar kürlleme sıcaklıkları kullanılır (Vengatesan vd., 2018; Mullins vd., 2018; Biron, 2013).

2.4.1.2. Fenolik Reçineler

Fenol-formaldehit termosetler ilk sentetik polimerlerdir. Asidik koşullar altında stokiometrik bir formaldehit eksikliği kullanıldığında, novolak oligomerler üretilir. Novolac oligomerler, fenollerle reaksiyona giren ikinci bir monomer ile iyileştirilmelidir. Alkalın koşullar altında fazla miktarda formaldehit kullanıldığında, ürünler, yan ürün olarak su ile termosetlere kendiliğinden yoğunlaşabilen rezollerdir. Novolakların aksine, resoller sınırlı depolama kararlılığına sahiptir. Kontrplak gibi yüksek hacimli uygulamalarda, gereken raf ömrünü en aza indirmek için son ürünün üretildiği yerin yakınında üretilirler (Mullins, vd., 2018).

2.4.1.3. Amin Formaldehit

Üre-formaldehit olarak da bilinen amin formaldehit, öncelikle kontrplak, sunta ve sunta için bir bağlayıcı olarak kullanılan düşük maliyetli bir termosettir. Bu reçineler, yüksek polar grup konsantrasyonu sayesinde ahşaba iyi bir şekilde yapışır ve kürlenme sırasında suyun salınması sorun olmaz. Su salımı, yalıtım için yararlı olan köpüklerin üretilmesinde bir avantaj sağlar. Üre-formaldehitin bir dezavantajı, formaldehitin kürlenmiş termosetlerden yavaşça salınabilmesi ve bunun havalandırmanın yetersiz olduğu alanlarda tahriş edici olabilmesidir. Üre yerine melamin kullanımı, geliştirilmiş termal stabilite ve oldukça iyi alev direnci ile daha yüksek performanslı bir termoset sağlar. Bu özelliklerin her ikisi de melaminden gelen yüksek nitrojen içeriği ve yüksek aromatik/alifatik orandan kaynaklanmaktadır. Melamin reçinelerinin baskın uygulaması, mobilya, döşeme ve mutfak yüzeyleri ile sofrta takımları ve pişirme gereçleri için bir laminasyon levhasıdır. Bu uygulamalar için temel özellikler, iyi termal kararlılık, boyalar ve pigmentlerle iyi uyumluluk ve çekici bir görünüm için baskı kolaylığıdır (Mullins, vd., 2018).

2.4.1.4. Poliüretanlar

Poliüretanlar, izosiyanatların poliollerle yoğunlaştırılmasıyla üretilerek çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. En yaygın olarak, toluen diizosiyanat veya metilen diizosiyanat gibi bir aromatik izosiyanat kullanılır, fakat alifatik izosiyanatlar ışığa maruz kaldığında renk stabilitesini iyileştirmek için kullanılır. Kürlenmiş termoset içindeki üretan grupları, sertlik kazandıran "sert segmentler" oluşturmak için birleşir. Poliol ayrı bir faz, "yumuşak segment" oluşturur. Bu bölümlerin nispi konsantrasyonlarının ayarlanması, modülün geniş bir aralıkta ayarlanmasına izin verir. Mevcut poliol çeşitliliği özellikle tekstil ürünleri için başka bir seçenektir. Poliol, bir etilen oksit oligomeri veya bir kaprolakton oligomeri gibi nispeten hidrofilik bir malzeme olabilir.

Diğer uçta, tetrahidrofuranın oligomerleri veya doğal yağların alkollü türevleri gibi hidrofobik polioller bulunur. Çapraz bağlanma derecesi, poliol işlevselliği seçimi ile veya başka yollarla ayarlanabilir ve böylece, ısıyla sertleşen veya termoplastik olan poliüretanlar hazırlanabilir. Ek olarak, izosiyanatların bir kısmının aminlere ve karbondioksit dönüştürülmesiyle bir köpük üretmek için poliole su eklenebilir. Esnek köpükler, otomotiv koltukları, yalıtım ve kalafat gibi ev kullanımları dahil olmak üzere şilteler ve mobilyalarda kullanılır. Poliüretanlar, mekanik esneklik ve bitmiş parçaların imalat kolaylığı nedeniyle tercih

edilmektedir. Sert köpükler, özellikle buzdolapları gibi cihazlarda ısı ve ses yalıtımında kullanılmaktadır (Mullins, vd., 2018).

2.4.1.5. Silikonlar

Silikon termosetler, ağırlıklı olarak poli (dimetilsiloksan) olmak üzere lineer silikon polimerlerinden hazırlanır. Silikonların sentezi sırasında, zincirleri çapraz bağlayan köprü bağlarını oluşturabilen küçük bir monomer yüzdesi eklenir. Silikon elastomerler pahalı olmalarına rağmen birçok yönden özellikleri benzersizdir. Yararlı mekanik özellikler, 40°C ile 200°C arasındaki sıcaklıklarda korunabilir. Silikonlar olağanüstü termo oksidatif ve ultraviyole (UV) ışık kararlılığına sahiptir ve normal koşullar altında yanmazlar. Malzemeler son derece hidrofobiktir ve genel olarak boya, ahşap ve metallere zayıf yapışma özelliğine sahiptir. Silikon elastomerler, kalafat, contalar ve O-ringler, döküm kalıpları ve ısı yalıtımlı pişirme kapları kulpları gibi sızdırmazlık malzemeleri olarak kullanılır. Silikonlar ayrıca yüksek güçlü ışık yayan diyotlar (LED'ler) için de kullanılır. Bu uygulamada, silikonun sararma veya başka bir bozulma olmaksızın binlerce saatlik yoğun 400 nm yakın UV ışığı akışına ve 0°C'den 150°C'ye kadar tekrarlanan döngüye dayanması gerekir (Mullins, vd., 2018).

2.4.1.6. Siyanatlar

Ar-OCN genel formülüne sahip siyanatlar ("Ar" aromatik bir gruptur), bisfenol A gibi bir fenolün siyanojen klorür ile reaksiyona sokulmasıyla hazırlanır. Siyanat monomerleri tipik olarak oda sıcaklığında kristal katılardır ve yüksek sıcaklıkta kürenirler. Sertleştirme reaksiyonu, karbon-hidrojen bağı olmayan çok kararlı bir aromatik grup olan bir triazin oluşturan bir trimerizasyondur. Kısmen trimerize siyanat, saf siyanatın kristalliğinin (ve dolayısıyla zayıf çözünürlüğünün) üstesinden gelmek için genellikle bir monomer olarak kullanılır. Siyanat termosetler oldukça pahalıdır ve havacılık kompozitleri gibi son derece yüksek Tg (Glass Transition Temperature, Camı geçiş sıcaklığı), düşük su absorpsiyonu ve mükemmel termo oksidatif stabilitenin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Siyanat homopolimerleri oldukça çapraz bağlıdır ve bu nedenle kırılmandır. Siyanatlar, daha çok istenilen bir özellik seti elde etmek için genellikle bismaleimidler ve epoksiler gibi diğer monomerlerle kombinasyon halinde kullanılır. Örneğin, "BT" baskılı devre kartları yapmak için kullanılan kısmen trimerize siyanat ile bismaleimidin bir kombinasyonudur (Mullins, vd., 2018).

2.4.1.7. Vinil Esterler

Vinil ester reçineleri tipik olarak stirenden ve bir epoksi ile metakrilik asidin bir yoğuşma ürününden formüle edilerek elde edilen, epoksilerin ve doymamış polyesterlerin birleşik özelliklerini sergileyen termoset ürünlerinin gelişmiş bir üyesidir. Çift bağ sonlu termosetler, epoksi reçinesinin akrilik monomer ile esterleştirilmesi ve ardından genellikle stiren olmak üzere vinil monomer varlığında serbest radikal kaynaklı kürleme kullanılarak sentezlenir. Bu yoğuşma ürünü, bir çapraz bağlama maddesi görevi görür ve cam elyaflarına yapışmayı geliştirir. Bu imalat tekniği, kompozit parçalar yapmanın ucuz bir yoludur ve tekne gövdeleri, kaplıcalar ve çeşitli türden depolama kapları gibi uygulamalar için kullanılır. Fakat Stirenin uçuculuğu bir dezavantajdır olduğu için bu işlemi yapan operatör için uygun koruyucu ekipman gereklidir.

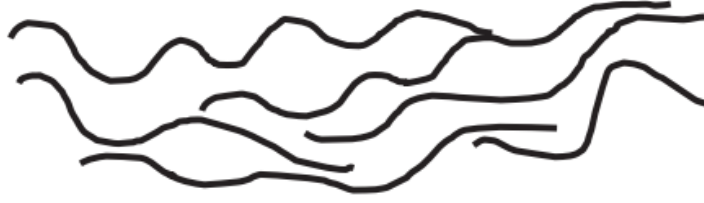
Vinil ester kompozitlerin aşındırıcı sulu çözeltilere ve gazlara karşı kimyasal direnci iyidir ve sonuç olarak bu tür kompozitler kimyasal işleme ekipmanlarında kullanılır. Vinilester kompozitler, epoksi materyallere göre daha kırılmandır, daha yanıcıdır ve güneş ışığından korunarak muhafaza edilmelidir. İyi mekanik özellikleri, mükemmel korozyon direnci, nispeten daha hızlı kürlenme, azaltılmış viskozite, olağanüstü tokluk vb. nedeniyle yapısal ve mühendislik kompozitlerinin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Mullins, vd., 2018; Vengatesan, vd. 2018).

2.4.1.8. Disiklopentadien ve Diğer Metatez Termosetleri

Olefin metatezi, olefinlerden çeşitli termosetler hazırlamak için kullanılabilir de, bu nispeten yeni teknolojinin ve yeni uygulamalarının çoğu disiklopentadien (DCPD) kullanır. Bu monomer, yağların parçalanması sırasında üretilen siklopentadienin dimerizasyonu ile hazırlanır. Bu nedenle, nispeten ucuzdur, ancak yüksek katalizör devir sayıları elde etmek için gereken yüksek saflık, maliyeti artırır. Günümüzde birkaç alternatif tescilli katalizör mevcut olmasına rağmen bu süreç için en iyi bilinen katalizörlerin öncülüğünü Robert Howard Grubbs yapmıştır. Bu termoset hazırlama yönteminin birkaç çekici özelliği vardır. Herhangi bir yan ürün salmaz ve reaksiyon entalpisi düşüktür, bu da kürlenme sırasındaki ısı artışının düşük olduğu anlamına gelir. DCPD monomeri nispeten düşük viskoziteye sahiptir ve bu durum, kompozitler yapmak için reaksiyon enjeksiyonlu kalıplama gibi infüzyon işlemleri için her zaman bir avantajdır. Bu termosetler gövde panelleri, sulu depolama kapları ve yel değirmeni bıçakları için kullanılır (Mullins, vd., 2018; Ünnü,2018).

2.4.2. Termoplastikler

Termoplastikler, kimyasal olarak bağımsız makromoleküller içeren en basit moleküler yapıya sahiptir. Isıtılarak yumuşatılır veya eritilir, yumuşama ya da eritilme işleminden sonra şekillendirilir ve form verilebilir, kaynak yapılır ve soğutulduğunda katılaşır. Birden fazla ısıtma ve soğutma döngüsü içinde yeniden işleme ve geri dönüşüme izin verecek şekilde ciddi hasar olmadan tekrarlanabilme özelliğine sahiptir (Biron, 2013).



Görsel 2.13: Bir Termoplastiğin Şematik Yapısı (Biron, 2013).

Kimyasal veya termal kararlılık, ultraviyole direnci, vb. gibi belirli özellikleri geliştirmek için termoplastik materyallere genellikle bazı katkı maddeleri veya dolgu maddeleri eklenir. Oluşturulan kompozitler kısa, uzun veya sürekli lifler kullanılarak elde edilir. Termoplastik tüketimi, toplam plastik tüketiminin kabaca %80'i veya daha fazlasıdır. Uyumlu olan termoplastik materyal alaşımları, uygulamaların kusurlarını maskelerken her bir polimerin çekici özelliklerinden faydalanmasına olanak tanır. Bazı termoplastikler çapraz bağlanabilir ve endüstriyel olarak termoplastik ve termoset olmak üzere iki formda kullanılır; örneğin, polietilenler veya vinil asetatetilen (VAE) kopolimerleri (zincirler arasında oluşturulan bağlantılar, hareketliliklerini ve göreceli yer değiştirme olasılıklarını) sınırlar.

Termoplastikler, işlenmeden önce doğru şekilde kurutulurlarsa gaz veya su buharı salmazlar. Fiziksel yumuşama veya erimenin tersine çevrilebilirliği nedeniyle atıklar kısmen işlenmemiş madde olarak yeniden kullanılabilir. Sıcaklık yükseldiğinde, makromoleküller arasında kimyasal bağların olmaması nedeniyle modül tutma azalır. Aynı nedenle sünme ve gevşeme davranışları termosetler kadar iyi değildir. Bir yangın sırasında eriyebilirlik, damlamayı destekler ve son kalan fiziksel kohezyonu yok eder (Biron, 2013).

2.4.3. Termoform Kalıplarında Şekillendirilen Termoplastikler

Plastik terimi polimer materyallerden enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, termoform, şişirme, rotasyonel kalıplama gibi farklı proseslerden elde ürünleri ifade eder. Plastikler veya polimerler termoplastik (yumuşak) plastikler ve termoset (sert) plastikler olmak üzere iki ana

gruba ayrılır. Termoplastikler yüksek sıcaklıklarda dövülebilir. Modern termoplastik polimerler 65 °C ile 200+ °C arasında herhangi bir yerde yumuşar. Bu durumda çeşitli şekillerde kalıplanabilirler. Yeniden ısıtılarak bu plastik duruma geri döndürülebilmeleri bakımından termoset plastiklerden farklıdır. Daha sonra tamamen geri dönüştürülebilirler.

Yumuşatılmış plastiği şekillendirmek için; Enjeksiyon kalıplama, Rotasyonel kalıplama, Ekstrüzyon, Vakum şekillendirme, Sıkıştırma kalıplama termoplastikleri şekillendirme yöntemleridir. Herhangi bir polimer türü sahip olduğu özelliklere göre yapıştırıcılar, kaplamalar, elastomerler, lifler vb. ürün türünde kullanılabilir (İbeh, 2011). Farklı polimer zincirleri veya polimer zincirleri içindeki segmentler arasındaki çekici veya itici kuvvetler, bir polimerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Atomlar, polariteye veya dipol momentlere sahip olabilir. Negatif yükler, zıttı olan pozitif yükler tarafından çekildiği ve aynı yükler tarafından itildiği için, belirli yapılara götüren çekimler oluşturmak mümkündür.

En güçlü dipol etkileşimlerinden biri olan hidrojen bağları, bazı oksijen atomlarının diğer atomlara kovalent olarak bağlı olmalarına rağmen hidrojen atomlarını çekmesidir. Buna hidrojen bağı denir ve poliamid molekülleri kullanılarak bir şeması gösterilmektedir. NH bağı, hidrojen atomu üzerinde düşük miktarda pozitif yüke sahip olduğunda ve nitrojen atomu düşük miktarda negatif yüke sahip olduğunda bir dipol sağlar. Karbonil grubu, C=O, aynı şekilde, oksijenin hafif negatif yüke sahip olduğu ve karbonun biraz pozitif olduğu bir dipoldür. Polimer zincirleri sıralandığında, kovalent bağlardan çok daha zayıf olan ancak yine de önemli ölçüde güçlü bağlar sağlayan hidrojen bağları oluşur.

Zincir polimer üzerindeki diğer yan gruplar, polimerin kendi zincirleri arasında hidrojen bağları oluşturulmasını sağlayabilir. Bu gibi daha güçlü kuvvetler, tipik olarak polimer zinciri üzerinde daha yüksek gerilme mukavemeti ve daha yüksek kristalin erime noktaları ile sonuçlanır. Polyesterler, C=O gruplarındaki oksijen atomları ile H-C gruplarındaki hidrojen atomları arasında dipol dipol bağlarına sahiptir. Dipol bağları, hidrojen bağları kadar güçlü değildir. Polietilen gibi birçok polimer kalıcı dipole sahip değildir.

Buna ek olarak, polietilen zincirleri arasındaki çekici kuvvetler, Van Der Waals kuvvetleri olarak adlandırılan zayıf kuvvetlerden kaynaklanır. Van Der Waals kuvvetleri kimyasal bağlardan çok daha zayıftır ve oda sıcaklığındaki rastgele termal hareket genellikle bunların üstesinden gelebilir veya onları bozabilir. Moleküllerin etrafında, negatif bir elektron

bulutu ile çevrelenmiř olduđu dűřűnűlebilir. Ancak elektronlar hareketlidir ve herhangi bir anda elektronlar, molekulűn bir kısmından bařka bir kısmına dođru hareket etmiř olarak bulunabilirler ve bu ucu biraz negatif (δ^-) yapabilirler. Diđer uęta elektron hareketinden kaynaklanan elektron eksikliđi olacaktır ve bűylece (δ^+) olur. Temel olarak, tűm molekulűlerde geęici dalgalanan dipoller bulunur ve bu dipollerden kaynaklanan kuvvetler Van Der Waals çekimi ile aęıklanır. Van Der Waals kuvvetleri oldukęa zayıftır, polietilenin hidrojen bađına sahip diđer polimerlere kıyasla daha dűřűk bir erime sıcaklıđına sahip olması bununla aęıklanabilir (McKeen, 2018; Soy, 2017).



3. TERMOFORM

3.1. Termoforma Genel Bakış

Plastikler, polimerler ve katkı maddeleri kullanılarak farklı prosesler aracılığıyla ürüne dönüştürülür. Enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon birincil dönüştürme teknolojileridir. Bu teknolojiler dikkate alındığında termoform, şişirme kalıplama, rotasyonel kalıplama ve diğer birçok proses gibi dönüştürme teknolojisidir. Termoform, ikincil bir dönüştürme teknolojisi olarak kabul edilir. Bunun sebebi girdi malzemesini olan ekstrüde levha ve filmi sağlamak için başka bir dönüştürme teknolojisi olan ekstrüzyon kullanılması gerekir (Throne, 2008).

Thermoforming, thermo ve forming kelimelerinin birleşimi olan, ısıyla şekillendirme, vakumlu şekillendirme, dökümlü şekillendirme, dalgalı veya serbest kabarcıklı şekillendirme, mekanik bükme, uyumlu kalıp şekillendirme, basınçlı şekillendirme ve ikiz levha şekillendirme işlemlerini içeren bir grup işlem için genel bir terim olan ısıl şekillendirme metodu olarak adlandırılır (Throne, 2008; Paulson, 2015; Crawford, 2020; Schwarzmänn ve Illig, 2018).

İnce levha termoform prosesleri kullanılarak yapılan ürünler arasında istiridye kabukları, kaplar, kapaklar, tepsiler, tek kullanımlık ürünler, gıda için kullanılan diğer ürünler, medikal ve genel perakende endüstrileri için ürünler yer alır. Termoform tesislerinde kısa sürede çok miktarda ürün elde etmek mümkündür. Yanlış üretilen ürünler geri dönüşüm prosesinde kırılıp tekrar levhaya dönüştürülür. Geri dönüştürülen ürünlerden oluşan levha aracılığıyla tekrar yeni ürün elde edilebilir. Böylece kısa sürede çok miktarda faydalı ürün üretmek mümkündür (Throne, 2008; Paulson, 2015; Crawford, 2020; Schwarzmänn ve Illig, 2018).

Termoform yani ısıyla şekillendirme işlemi, bir termoplastik levhanın yumuşama veya esneme noktasına kadar ısıtılmasını, ardından yumuşatılmış levhanın soğutulan kalıp yüzeyine gerilerek istenen şekle getirilmesi işlemidir. Levha, kalıbın şeklini aldıktan sonra şeklini koruyacağı noktaya kadar soğutulduğunda, levha ve şekillendirilen kısım kalıptan çıkarılır ve levhada deşe olarak adlandırılan fazla plastik kırılır. Levhanın kırılan kısmı olan deşe genellikle yeni levha üretmek için geri dönüştürülür (Throne, 2008; Paulson, 2015; Schwarzmänn ve Illig, 2018).

Levha veya film ön ısıtma adı verilen bir fırında, bir kalıp içine veya üzerine gerilmesine ve bitmiş bir şekle soğutulmasına izin verecek kadar yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Termoform polimer işleme tekniklerinin en hızlı büyüyen proseslerinden biridir. Şekillendirme süreci açısından uygulaması en kolay ve düşük maliyetli bir imalat sistemine sahip olan yöntem ile birçok ambalaj ürünleri 1870'li yıllardan bu yana kullanılmaya başlamıştır (Throne, 2008; Paulson, 2015; Crawford, 2020).

ABD'de, 1870'lerde modern plastik işlemenin babası olarak kabul edilen John Wesley Hyatt ve makine mühendisliği meslektaşı Charles Burroughs ince, sıyrılmış selüloit veya selüloz nitrat tabakaları tüplere aktarılıp, çelik kalıplara yerleştirilmesi neticesinde ince cidarlı ambalajların geliştirilmesini sağlamışlardır. Oluşturulan levhalar ısı ve basınç altında kalıpların şeklinin alınması zorlanarak ve su ile soğutulan kalıplardan sertleştirilmiş plastiği ayırarak ince cidarlı ürünler elde edilmiştir (Throne, 2008; Paulson, 2015; Crawford, 2020).

Ambalaj endüstrisi 1940'ların sonlarında ise ısı ile şekil verme yöntemini (Thermoforming) temel almış, 1950'li yıllarda ise ısı ile şekil verilmiş ambalajlar üreterek ambalaj sektöründeki en önemli ilerleme sağlanmıştır. Daha sonra 1970'lere gelindiğinde ise daha önce yaşanan gelişmelerin paralelinde gıdaların kolaylıkla ambalajlanması talebi, fırınlanabilir porsiyon servisler ve tek kullanımlık yiyecek ve içecek kaplarının gelişimini beraberinde getirmiştir. (Ekşi, 2014; Büker, 2019; Maddah, 2016; Throne, 2008; Paulson, 2015).

Termoform ürünleri genellikle tek kullanımlık ürünler, kalıcı veya endüstriyel ürünler olarak kategorize edilir. Tek kullanımlık ürünlerin büyük çoğunluğu sert ambalajlarda kullanılmaktadır. Kalıcı veya endüstriyel ürünler, nispeten kalın plastik levhadan yapılır. Bu işlem genellikle ağır ölçülü veya kalın ölçülü termoform olarak adlandırılır. Tek kullanımlık ürünler, nispeten ince plastik levhadan yapılır ve işlem genellikle hafif ölçülü veya ince ölçülü termoform olarak adlandırılır. Son yıllarda termoform ürünlerinin üçte ikisinden fazlası tek kullanımlık ürünlerden oluşmaktadır. Tipik tek kullanımlık ürünler arasında blister ambalajlar, kullan at kaplar, seperatörler, kapaklı kaplar, ürün seperatörleri, kozmetik kutuları, et ve kümes hayvanları kapları, servis kapları, geri dönüştürülebilir fırın yemek servis tepsileri, taşıma seperatörleri, sıcak ve soğuk içecek kapakları, yumurta ambalajları, mantar kabı, şale, peynir kabı, helva kabı, tıbbi ürün kapları, gıda maddeleri paketlenme ve taşıma kapları, sos kapları, hırdavat malzemeleri için kaplar, küvetler, havuzlar, bagaj, hayvan taşıma seperatörleri,

otomotiv parçaları, döşemeler, taşıyıcı standlar bilinen yaygın örneklerdir (Throne, 2008; Crawford, 2020).

Isıyla şekillendirme işlemi genellikle levhanın kalınlığına veya ölçüsüne göre alt kategorilere ayrılır. Levha kalınlığı 1,5 mm'den (0,060 inç) azsa, işleme ince ölçülü veya hafif ölçülü termoform denir. Levha kalınlığı yaklaşık 0,25 mm'den (0,010 inç) azsa, genellikle film veya folyo olarak adlandırılır. Levha kalınlığı yaklaşık 3 mm'den (0,120 inç) daha büyükse, işleme ağır ölçülü veya ağır ölçülü ısıyla şekillendirme (termoform) denir. Levha kalınlığı yaklaşık 13 mm (0,500 inçten) büyükse, genellikle levha olarak anılır. Levhayı ısıtmak ve şekillendirmek genellikle geleneksel olmayan ekipman gerektirir. Isıyla şekillendirme sürecini sınıflandırmanın bir başka yolu ise, levhanın ısıyla şekillendirme presine aktarılma şeklidir. Levha ince ise, genellikle rulolar halinde ekstrüde edilir. Rulo çapları 1 ila 1.5 m (40 ila 60 inç) olabilir, 1800 kg (4000 pound) ağırlığa kadar çıkabilir ve 3000 m (10.000 fit) kadar levha içerebilir. Bu levha sürekli olarak rulo beslemeli makineler (ekstrüzyon) adı verilen termoform sistemlerini beslemek için kullanılır.

Tablo 3.1: Hafif Ölçülü ve Ağır Ölçülü Termoformun Özellikleri (Throne, 2008)

Karakteristik Özellikler	Hafif Ölçülü	Ağır Ölçülü
İlk Levha Kalınlığı	< 1.5 mm(< 0.060 in)	> 3 mm(> 0.120 in)
Yaygın Kullanım Alanları	Ambalajlama, Tek Kullanımlık Ürünler	Endüstriyel Ürünler, Stand
Hammadde Besleme Sistemi	Rulo Beslemeli	Kesilmiş ve Paletlenmiş Levha
Tipik Makine Türü	Pin-Zincir Lineer Başlatma ve Durdurmalı İstasyonlu Makineler	Kayar veya Döner Presler
Makine Kontrol Sistemi	Otomatik	Otomatikleştirilmiş Manuel Sistem
Isıtma Kontrol Durumu	Isıtıcı Çıkışı W/in ² (kW/m ²)	Levhaya İletim
Model Isıtma	Genellikle Yapılmaz	Yaygın
Üretilen Parça Boyutları	İnce, Hafif, Küçük	Orta ila Çok Büyük
Kalıp Göz Sayısı	Birçok Gözlü	Genellikle bir ya da iki
Mekanik Destek	İtici/Keçe	İtici, Şişirme, Vakum Kasası
Kalıp Tipi	Genellikle (Negatif) Dişi Kalıplar	Erkek (Pozitif), Dişi (Negatif), Erkek Dişi Karışık Kalıplar
Kalıp Malzemeleri	İşlenmiş Alüminyum	Alüminyum Döküm

		(üretilmiş), Ahşap, Alçı, Kabarcıklı Sünger, Beyaz Metal
Kalıp Soğutma	Aktif Olarak Kontrol Edilen	Prototip İçin Aktif Değil
Serbest Yüzey Soğutma	Genellikle Ortam	Basınçlı Hava, Buğulama, Buhar
Deşe	Kesme Kalıbı(Kesim İstasyonu), Delme Kalıbı (Delme İstasyonu),	Çok Eksenli Yönlendirme
Ürün Dışı Kırpma Seviyesi	yaklaşık %50	Yaklaşık %30'dan az
Duvar Kalınlığı Toleransı, Normal	%20	%20
Duvar Kalınlığı Toleransı, Kritik	%10	%10
Basınçlı Şekillendirme Uygulamaları	Derin Çekme, Gererek Şekillendirme,	Dokulu Yüzeyler, Derin Çekme

Levha, sabitlenmeden veya kalıcı bir kıvrılma olmadan haddelenemeyecek kadar kalınsa, paletler üzerine istiflenen ayrı parçalara giyotinlenir. Bu levhalar daha sonra manuel veya otomatik olarak kesik levha makineleri adı verilen termoform makinelerine beslenir. Kalınlık aralığı 1,5 ila 3 mm olan levha (0,060 ila 0,120 inç) genellikle tek kullanımlık ürünlerin üretiminde kullanılamayacak kadar pahalıdır ve genellikle yapısal özelliklere sahip olamayacak kadar incedir. Bununla birlikte, büyük hacimli, derin çekme içecek bardakları ve belirli kaput altı otomotiv uygulamaları için bu orta kalınlıkta levha kalınlığına artan bir ilgi bulunmaktadır. Levha genellikle kalıcı kıvrılmaya neden olmadan haddelenemeyecek kadar kalın olduğundan, bu ürünleri üretmenin tipik yolu kesilmiş tabaka termoform yöntemidir. Bunun istisnası, 3 mm'den (0,120 inç) daha kalın rulolar üzerinde üretilen düşük yoğunluklu polistiren (PS) veya poliolefin (PO) köpük levhadır (Throne, 2008; Schwarzmman ve Illig, 2018).

Tablo 3.2:Çeşitli Plastikler İçin İletim Hızları ve Oranları (Crawford, 2020).

Polimer	Katman Dağıtımı (μm)	Yoğunluk (kg/m ³)	Oksijen (cm ³ /m ² 24 hr atm)	Su Buharı (g/m ² 24 hr)
ABS	1000	1050	30	2
uPVC	1000	1390	5	0.75
Nylon 6	1000	1140	2	7
Polipropilen	1000	910	60	0.25
Polistiren	1000	1040	162	5.2
PLA	1000	1240	12	8
PET	1000	1360	1	2
LDPE	1000	920	140	0.5
HDPE	1000	960	60	0.3
PS/EVOH ^a /PE	825/25/150	1050	5 ^b	1.6
PS/PVdC/PE	825/50/125	1070	1	0.4
PP/EVOH/PP	300/40/660	930	1 ^b	0.25

^a EVOH etil vinil alkol. ^b Neme Bağlıdır.

Tablo 3.3:Plastik Ambalaj Filmlerinin İletim Hızları ve İletim Oranları (Crawford, 2020).

Film Malzemesi	Katman Dağıtımı (μm)	Oksijen (cm ³ /m ² 24 hr atm)	Su Buharı (g/m ² 24 hr)
Alüminyum Folyo	7	0.15	0.2
Dökme PP	30	4800	12
BOPP	20	2000	8
Metalize BOPP	20	100	0.8
PET	12	110	50
PVdC Kaplı PET	12	8	8
Metalize PET	12	1.5	1.5
BOPA	15	30	180
LDPE	12	8000	18

3.1.1. Termoformun Avantajları

Isıyla şekillendirilmiş parçaların diğer işlemlerle üretilen parçalarla iyi rekabet etmesinin birçok nedeni vardır. Termoform, düşük sıcaklıkta, düşük basınçlı bir işlemdir. Genellikle nispeten ucuz kalıp malzemeleri gerektirir ve genellikle tek yüzeyli kalıplar kullanır. Kalıplar genellikle nispeten kısa sürelerde üretilir. Ağır ölçülü termoform, genellikle diğer işlemlerle üretilen ürünlerin prototiplerini üretmek için kullanılır. Ağır ölçülü termoform, genellikle diğer işlemler tarafından üretilenlerin altında maliyetlerle sınırlı sayıda üretim parçası imal etmek için kullanılır. Hafif ölçülü ısıyla şekillendirilmiş parçalar geleneksel olarak 100.000:1 kadar büyük yüzey alanı-kalınlık oranlarına sahiptir. Başka hiçbir işlem benzer sonuçlar üretemez. Hafif ölçülü termoform, genellikle diğer işlemler tarafından üretilenlerin altında maliyetlerle milyonlarca üretim parçasını imal etmek için kullanılır (Throne, 2008; Crawford, 2020).

3.1.2. Termoformun Dezavantajları

Termoformun birkaç dezavantajı vardır. Gelen malzeme ekstrüde levhadır. Ekstrüzyon işlemi, şekillendirilmiş ürünün maliyetine %20 ila %50 veya daha fazlasını ekleyebilir. Levhanın ısıtma, şekillendirme ve düzeltme sırasında bir fıkstürde tutulması gerektiğinden, levhanın ürün olmayan kısmı geri dönüştürülmeli ve yeniden ekstrüde edilmelidir. Bu, ek ekstrüzyon maliyetine neden olur. Isıyla şekillendirme, diferansiyel bir germe işlemi olduğundan ürün duvar kalınlığı her yerde eşit değildir. Isıtılmış levhanın kalıp yüzeyi ile temas ettirilmeden önce mekanik veya pnömatik olarak gerilmesi ile cidar kalınlığı homojenliğinde bir miktar iyileşme sağlanabilir. Bununla birlikte, duvar kalınlığı toleransı tipik olarak %10 ila %20'dir. Şekillendirilmiş parçaların yerel alanları tipik olarak kritik kalınlıkları minimuma indirecek şekilde tasarlandığından, şekillendirilmiş parçaların birçok bölümü performans için gerekenden daha fazla plastik içerir.

Oluşturulan parçanın sadece bir tarafı kalıp yüzeyini kopyalar. Isıyla şekillendirme nispeten düşük basınçlı bir işlem olduğundan, oluşan plastiklerin çoğu doldurulmamış veya güçlendirilmemiştir. Isıyla şekillendirme, bir plastik levhanın esas olarak elastik bir şekilde gerildiği bir işlem olduğundan, şekillendirilmiş ürünler önemli ölçüde artık gerilim altındadır. Kullanım sırasında ürün bozulmasını en aza indirmek için, yüksek sıcaklıklara maruz kalmayı en aza indirmeye özen gösterilmelidir (Throne, 2008; Crawford, 2020).

3.2. Termoform Şekillendirme Prosesleri

Isıyla şekillendirmenin en basit yöntemi, bir plastik levhayı şekillendirme sıcaklığına kadar ısıtmaktan ve mekanik olarak kalıp adı verilen soğutulmuş katı bir şekle doğru zorlamaktan oluşur. Bu basit sürecin birçok çeşidi ve iyileştirmesi vardır. Ağır ölçülü termoformda, hafif ölçülü termoformdan çok daha fazla varyasyon kullanılır. Bunun birincil nedeni, kalın levhanın şekillendirilebilir sıcaklığını daha uzun süre koruyabilmesi ve ısıyı levhadan daha geç uzaklaştırabilmesidir. Sıcak levhanın kalıp yüzeyine doğru zorlanmadan önce yumuşak halini koruması, ısıyı üzerinde tutması nedeniyle kalıbın şeklini almak için daha fazla zaman tanınması gerektirdiğinden, daha fazla şekil değiştirebilmesine izin verir. İnce levhadan ısı çok çabuk kaybedilir. Bunun sonucunda, ince levha daha hızlı şekillendirilmelidir. Termoform işleminde malzeme katı fazdayken yumuşama sıcaklığına yani erime sıcaklığının altında bir değere kadar ısıtılır. Çoğu durumda ideal termoform sıcaklık aralığı cam geçiş sıcaklığı (T_g) ile erime sıcaklığı (T_m) arasındadır.

Polistiren (PS) veya Polivinil Klorür (PVC) gibi amorf polimerler için yumuşama, cam geçiş sıcaklığına ulaşıldığında başlar ve bu tür malzemeler normal olarak T_g 'nin üzerindeki geniş bir sıcaklık aralığında başarılı bir şekilde ısıyla şekillendirilebilir. Polipropilen gibi yarı kristalli polimerlerde, polimer yalnızca kristalin erime noktasına yaklaştığında ısıyla şekillendirme için yeterince yumuşak olur. Bu durum, çok dar bir ısıyla şekillendirme sıcaklık aralığı oluşturur ve polipropilen ve diğer yarı kristalli polimerlerin ısıyla şekillendirilmesinde tipik olarak yakın sıcaklık kontrolü çok önemlidir. PET durumunda, ısıyla şekillendirme sıcaklık aralığı, polimerin amorf (aPET) veya yarı kristal (cPET) olmasına göre belirlenir. aPET ile maksimum ısıyla şekillendirme sıcaklığı 120°C ile sınırlıdır, çünkü bu sıcaklığın üzerinde polimer doğal olarak soğuk kristalizasyon olarak bilinen bir mekanizma aracılığıyla kristal forma geri döner (Throne, 2008, syf.9-25; Crawford, 2020, syf.357-376).

Tablo 3.4: Yaygın Polimerler İçin Isıyla Şekillendirme Sıcaklıkları (Crawford, 2020).

Sıcaklıklar (°C)			
Polimer	Camsı Geçiş (T_g)	Erime (T_m)	İdeal Termoform Aralığı (T_{form})
ABS	105	200	140-150
PVC	87	210	110-140
PMMA	105	160	160-180

PS	100	239	135-150
PC	150	265	170-190
LDPE	-110	115	135-145
HDPE	-90	137	130-150
PP	-14	167	155-165
cPET	73	265	135-160
aPET	73	265	90-120
PLA	60	170	90-110

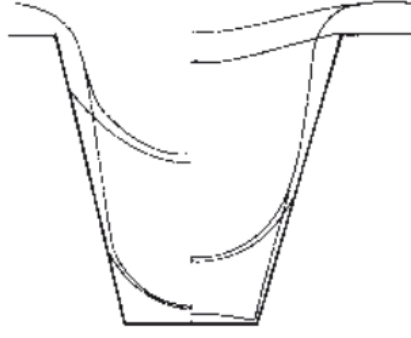
3.2.1. Termoform Şekillendirmede Isıtma ve Bükme

Termoform ile yapılan şekillendirme proseslerinde üç genel ısıtma yöntemi kullanılır:

1. Levhadan kalıbın kopyaladığı şekli kesebilmek için bir elektrikli şerit ısıtıcı
2. Levha genel bir bölgede yumuşatılacaksa sıcak hava tabancası
3. Levhanın tüm yüzeyi boyunca yumuşatılacaksa, ön ısıtma adı verilen sıcak hava fırını kullanılır.

Levhanın şekillendirilecek bölgesi yumuşatıldığında, kalıp yüzeyine bükülerek son halinde soğuması sağlanır.

Termoform, ısıtılmış bir levhanın diferansiyel olarak gerilmesinden oluşur. Sadece kalıp yüzeyinden bağımsız olan levha esner. Levha kalıp yüzeyine temas ettiğinde soğur ve esnemeyi durdurur. Germe devam ettikçe, kalıp yüzeyinden kurtulan levha inceler. Ürünün en son oluşan kısmı en ince, en yönlü ve en zayıf kısımdır. Sonuç olarak, nihai ısıtılmış şekillendirilmiş parça, tekdüze olmayan duvar kalınlığına sahiptir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi dişi veya negatif kalıp oluşturmak için en ince kısım ürünün alt köşesindedir (Throne, 2008, syf.7; Crawford, 2020, syf.360; Schwarzmann, 2018, syf.7).



Görsel 3.1: Dişi (Negatif) Bir Kalıp Boşluğuna Basit Vakumla Şekillendirme İçin Duvar Kalınlığı Değişimi (Throne, 2008, syf.7)



Görsel 3.2: Dişi (Negatif) Bir Kalıp Boşluğuna Basit Vakumla Şekillendirme
Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu

3.2.2. Tek Adımda Şekillendirme

Ön müdahale olmadan levha şekillendirme işlemidir. Şekillendirilebilir bir levhayı kalıbın şeklini alabilecek duruma getirecek şekilde germek için diferansiyel hava basıncı kullanılır. Bu durum, levhanın arasından hava çekilerek veya levhanın şişirilmesiyle sağlanır. Tek adımlı şekillendirme, ısıtılmış levhanın ön etki olmaksızın basitçe şekillendirilmesi olarak tanımlanır. Üç genel tek adımlı şekillendirme yöntemi ve birincil olarak ağır ölçülü şekillendirme için kullanılan bir işlem türü mevcuttur (Throne, 2008, syf.11; Crawford, 2020, syf.360).

3.2.2.1. Örtetek Şekillendirme

En eski ısıyla şekillendirilmiş ürünlerden bazıları, levhayı yumuşak olana kadar basitçe ısıtmak ve ardından levhayı basit bir formun üzerine manuel olarak dökmek suretiyle üretilmiştir. Görsel 3.3'de gösterildiği gibi erkek veya pozitif bir kalıp üzerinde oluşan form,

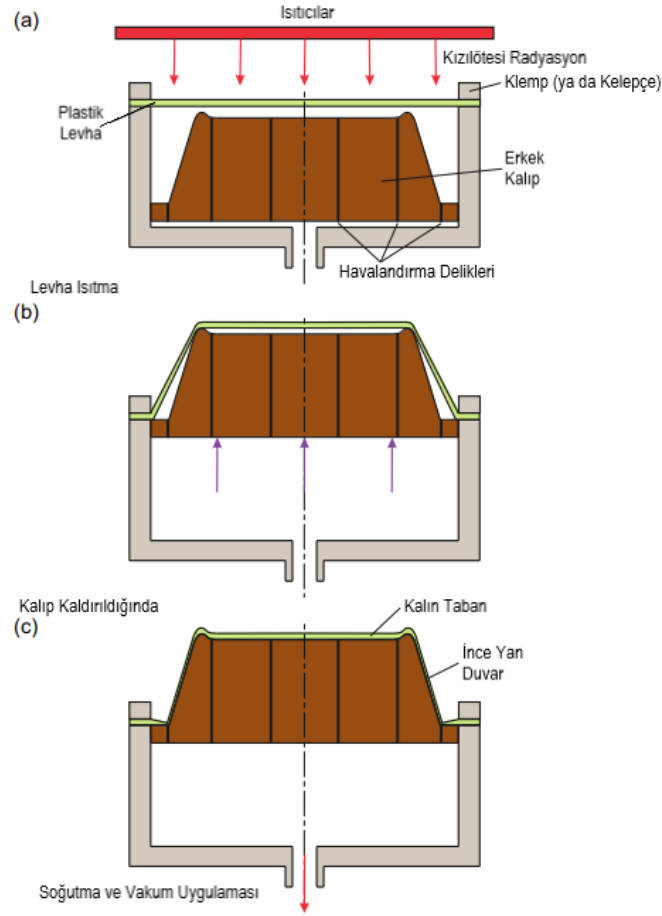
yan duvarları, kenarı ve köşeleri boyunca alt kısmına göre daha ince olan bir parça oluşur. Kalıp ile drape (örtü) levhası arasındaki hava manuel olarak ifade edilebilse de, genellikle vakum uygulanarak çıkarılır. Oluşan parçanın içi kalıp yüzeyine temas eder ve kalıp yüzeyinin şeklini alır. Örtü şekillendirme, dış tabela ve buzdolabı astarları gibi ağır ölçülü ürünler yapmak için kullanılır. Kapaklı kaplar gibi birleşme yüzeylerinin yüksek toleransa sahip olması gereken hafif ölçülü ürünler yapmak için kullanılır (Throne, 2008, syf.11; Crawford, 2020, syf.362; Schwarzmänn, 2018, syf.7).



Görsel 3.3: Örtük Şekillendirme (Throne, 2008, syf.11)



Görsel 3.4: Örtük Şekillendirme
(Fotoğraf Çekimi: euromak, 2023)

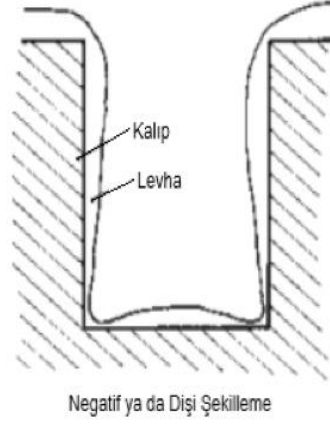


Görsel 3.5: Örtetek Vakum Şekillendirme Prosesi (Crawford, 2020, syf.362)

3.2.2.2. Vakum Şekillendirme

Vakumlu şekillendirmenin ticarileştirilmesi 20. yüzyılın başlarında, elektrikle çalışan basit vakum sistemlerinin gelişimini takip etmiştir. Görsel 3.6'da görüldüğü gibi ısıtılan levha ile dişi boşluk veya negatif kalıp arasındaki hacim boşaltıldıkça levha istenilen parçayı oluşturmaktadır. Sonuç olarak, oluşturulan parçanın dışı kalıp yüzeyine temas eder ve kalıp yüzeyini kopyalar. Dişi kalıpta vakumla şekillendirme, levhanın değdiği kenarda kalın, yan duvarları boyunca aşağı giderek daha ince ve alt ve köşelerinde çok ince olan bir parça oluşturur. Parça cidar kalınlığındaki düzensizliğin, örtetek şekillendirilen erkek kalıpta oluşturulmuş parçalar için tam tersidir. Vakum şekillendirme, genellikle ekipman dolapları ve küvetler vb. ağır ölçülü ürünler yapmak için kullanıldığı gibi kullan at ürünler, ilaç kapları, tabaklar, kaplar ve kapaklar gibi hafif ölçülü ürünleri üretmek için kullanılır. Hem vakumlu şekillendirme hem de örtetek şekillendirme, homojen olmayan duvar kalınlıklarına sahip parçalar verir. Günümüzde sıg çekme parçalar veya duvar kalınlığı değişiminin ürünün

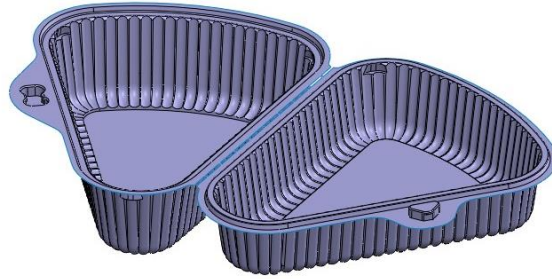
alışması için kritik olmadığı durumlarda ticari olarak kullanılmaktadır (Throne, 2008, Crawford, 2020).



Görsel 3.6: Vakum Şekillendirme (Throne, 2008, syf. 12).



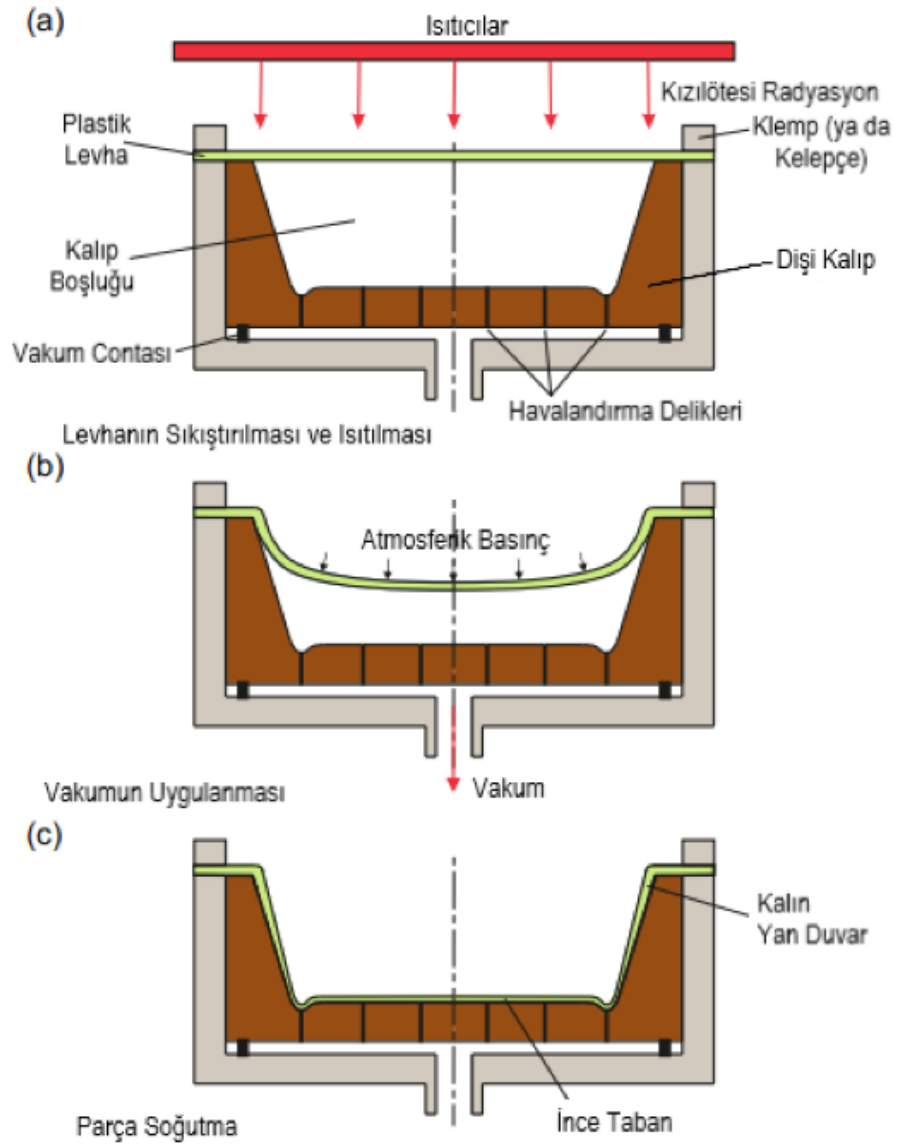
Görsel 3.7: GN Makinesinde Vakum Şekillendirme (Fotoğraf ekimi: euromak, 2023)



Görsel 3.8: GN Makinesinde Şekillendirilen Bir Ürünün Termoform Makinesinde Şekillendirilmesi için Uygun Hale Getirilmiş Hali
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



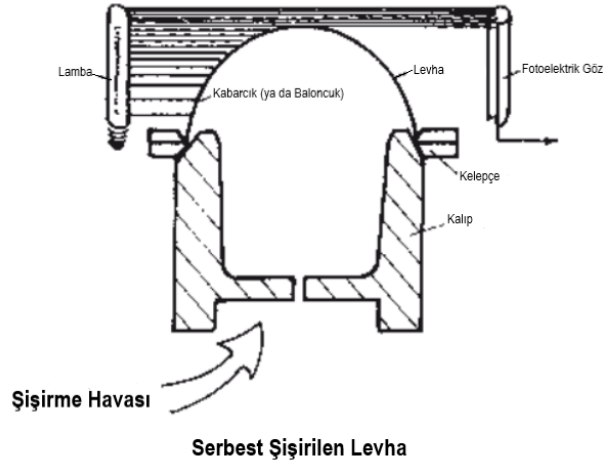
Görsel 3.9: Vakum Şekillendirme
(Fotoğraf Çekimi: euromak, 2023)



Görsel 3.10: Vakum Şekillendirme Prosesi (Crawford, 2020, syf.361)

3.2.2.3. Serbest Şekillendirme

Dalgalı veya serbest kabarcık oluşturma olarak da adlandırılan serbest şekillendirme, Görsel 3.11'de şematik olarak gösterilmiştir. Diğer tüm termoform formlarının aksine, serbest şekillendirme kalıp gerektirmez. Levha genellikle bir mahfazanın kenarına kenetlenir (Throne, 2008, syf.14).



Görsel 3.11: Serbest ya da Şişirerek Şekillendirme (Throne, 2008, syf.13).

Daha sonra sadece bir taraftan ısıtılır. Levha şekillendirme sıcaklığına ulaştığında, levha yüzeyine 0,07 MPa'dan (10 psi) az ve tipik olarak 0,014 ila 0,028 MPa'dan (2 ila 4 psi) fazla olmayan hava basıncı uygulanarak levhanın genişmesi sağlanır. Levha genişledikçe taç bir mikro anahtara dokunabilir veya levha bir ışık huzmesini kesebilir. Balon olarak ifade edilen kabarcık, ortam havasında soğurken kabarcık boyutunu korumak için şişirme basıncı daha sonra kontrol edilir. Yumuşatılmış plastik kabarcık hiçbir zaman katı bir yüzeyle temas etmediğinden, bozulmadan kalır. Tipik olarak, kenetleme (kısırtma) bölgesi hariç, kabarcığın kalınlığı oldukça muntazamdır. Çatı pencerelerinde ve uçak ön camlarında ağır ölçülü serbest biçimli şekiller kullanılır. Blister ambalajlar üretmek için hafif ölçülü serbest biçimli şekiller kullanılmıştır. Bu uygulamalar için en çok selülozikler, amorf polietilen tereftalat (APET), polivinil klorür (PVC), yönlendirilmiş polistiren (OPS), polimetil metakrilat (PMMA), polikarbonat (PC) ve diğer şeffaf plastikler kullanılır (Throne, 2008, syf.13).

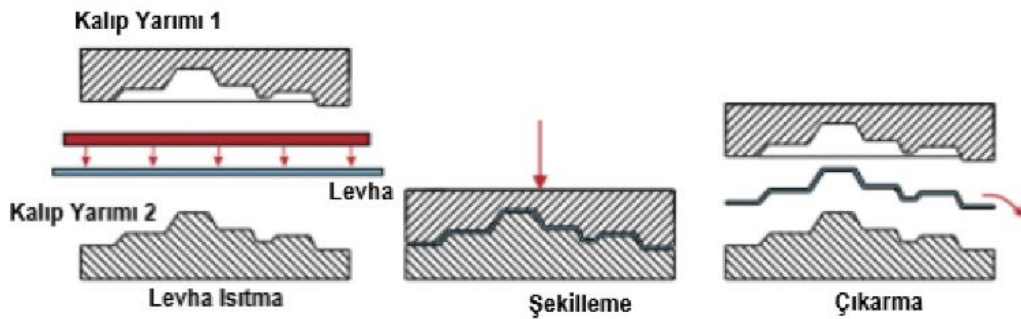
3.2.2.4. Düzensiz Isıtma

Çoğunlukla ağır parçalar oluştururken, yerel ısıtıcı sıcaklığı ayarlanarak yerel duvar kalınlığı elde edilebilir. Model ısıtma, bölgesel ısıtma veya bölgesel ısıtma olarak da adlandırılan düzensiz (homojen olmayan) ısıtma, belirli alanlarda diğerlerinden daha sıcak olan bir levha

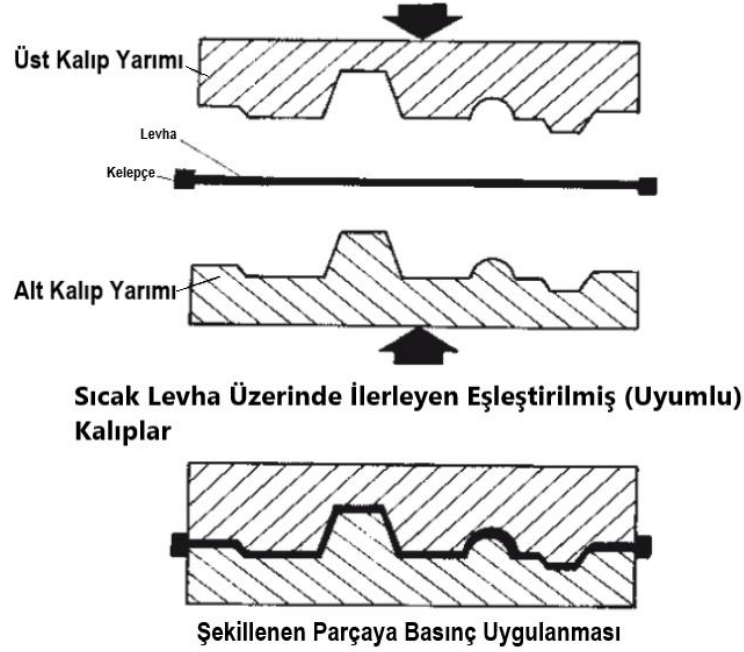
elde edilmesini sağlar. Daha sıcak olan levha, daha soğuk olan levhaya göre daha yumuşak olduğu için daha kolay uzar. Bunun sonucunda, şekillendirilmiş parçanın çok kalın olan bölgeleri, bu bölgelerdeki levhaya giden ısı enerjisi enerji arttırılarak inceltilebilir. Buna karşılık, parçanın çok ince olan bölgelerinde levhaya giden enerjiyi düşürerek fazla çekilmez. Düzenli olmayan ısıtma, hafif ağırlıklı ürünlerin ısıl şekillendirmesinde nadiren kullanılır. Hafif ölçekli ürünlerde şekillendirilmiş parçaların boyutları, ısıtıcı elemanların boyutuyla karşılaştırıldığında genellikle küçüktür (Throne, 2008, syf.13; Crawford, 2020).

3.2.2.5. Eşleştirilmiş Kalıp Şekillendirme

Eşleştirilmiş kalıp şekillendirme, plakanın şekillendirme sıcaklığında vakumla şekillendirilemeyecek kadar sert olduğu durumlarda kullanılır. Düşük yoğunluklu köpük levha, yoğun köpük hücresi kopması olmadan geleneksel polimer oluşturma sıcaklıklarına ısıtılamadığı için çoğunluğu uyumlu kalıp yüzeyleri oluşturularak ısıyla şekillendirilir. Yaklaşık 0,3 MPa (45 psi'lik) basınçlar kullanılır. Yüksek oranda tok levha, normalde polimer oluşturma sıcaklığında vakumla veya basınçla şekillendirilemeyecek kadar serttir. Genellikle uyumlu kalıplar kullanılarak 1 MPa (150 psi'ye) kadar olan basınçlarda şekillendirilir. Kısa cam takviyeli levha ise tek taraflı kalıplar kullanılarak şekillendirilemeyecek kadar serttir. İstenen şekilleri elde etmek için 1 MPa (150 psi'ye) varan basınçlar, uyumlu kalıplarla birlikte kullanılır. Uzun cam ve sürekli cam elyaf takviyeli polimerleri şekillendirmek için 10 MPa (1500 psi'ye) yaklaşan sıkıştırma kalıplama basınçlarına yaklaşan uyumlu kalıplar ve daha yüksek basınçlar gereklidir. Eşleştirilmiş kalıp şekillendirme veya iki taraflı şekillendirme, Görsel 3.12 ile Görsel 3.13'de şematik olarak gösterilmiştir (Throne, 2008, syf.14; Crawford, 2020, syf.366).



Görsel 3.12: Eşleştirilmiş Kalıp Yarımları Arasında Termoform (Crawford, 2020, syf.366)



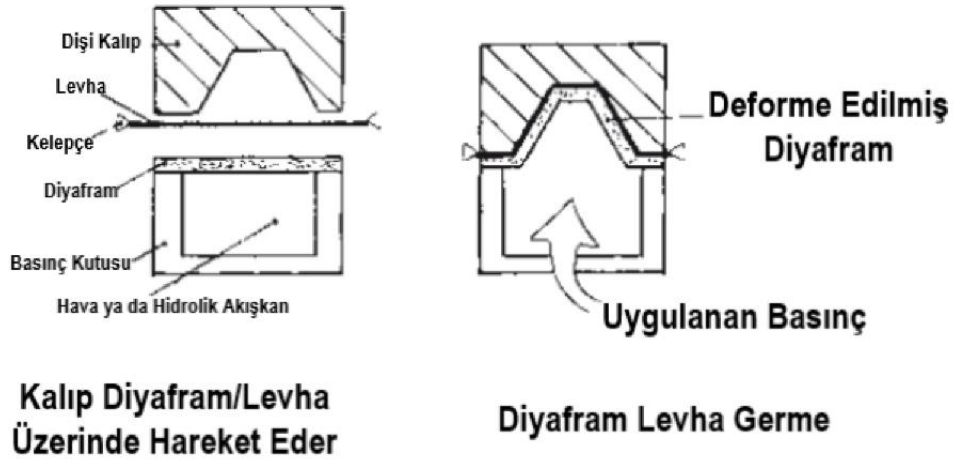
Görsel 3.13: Eşleştirilmiş Kalıp Şekillendirme (Throne, 2008, syf.14).

3.2.2.6. Otoklav Şekillendirme

Şekillendirme levhasının serbest yüzeyleri üzerinde tek taraflı kalıplar ve basınç keselerini içeren son çalışmalar, termoset ıslak kompozit şekillendirmeye benzer şekilde uç sertlikte polimer levha şekillendirmek için umut vaat eder. Çoğu zaman, bu teknik bir basınçlı otoklavda gerçekleştirilir (Throne, 2008, syf.14).

3.2.2.7. Diyafram Şekillendirme

Diyafram kalıplama, Görsel 3.14. 'de gösterildiği gibi, ısıyla şekillendirilebilen levhanın sıcak bir diyaframa karşı yerleştirilmesini, ardından diyaframın tek taraflı bir kalıba karşı pnömatik veya hidrolik olarak şişirilmesini işlemidir. Diyafram, silikon veya neopren gibi ısıya dayanıklı bir malzemeden yapılmıştır. Ortaya çıkan parçanın duvar kalınlığı oldukça eşittir. Uygun koşullarda diyaframlar yüzlerce ürünün şekillendirilmesi için kullanışlıdır. Bu teknik genellikle, polimerin geleneksel vakumla şekillendirme sırasında lokal olarak kolayca parçalanması veya ciddi şekilde deforme olması durumunda kullanılır (Throne, 2008; Crawford, 2020).



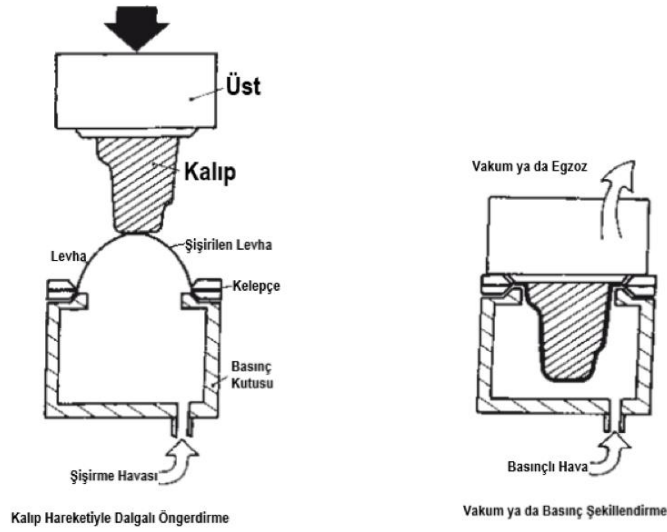
Görsel 3.14: Diyafram Şekillendirme (Throne, 2008, syf.15).

3.2.3. İki Adımda Şekillendirme Prosesleri

Tüm derin çekme parçalar ve diğer çoğu ısıyla şekillendirilmiş parçalar, tek adımlı temel ısıyla şekillendirme işlemleri, yerel olarak kabul edilemez duvar kalınlıklarına sahip parçalar için kullanılır. Sonuç olarak, sıcak levhanın kalıp yüzeyi ile temas etmeden önce kalıp şeklini alacak duruma getirilmesine yönelik teknolojiler geliştirilmiştir. Bu bölümde, iki adımda şekillendirme süreci gözden geçirilmektedir.

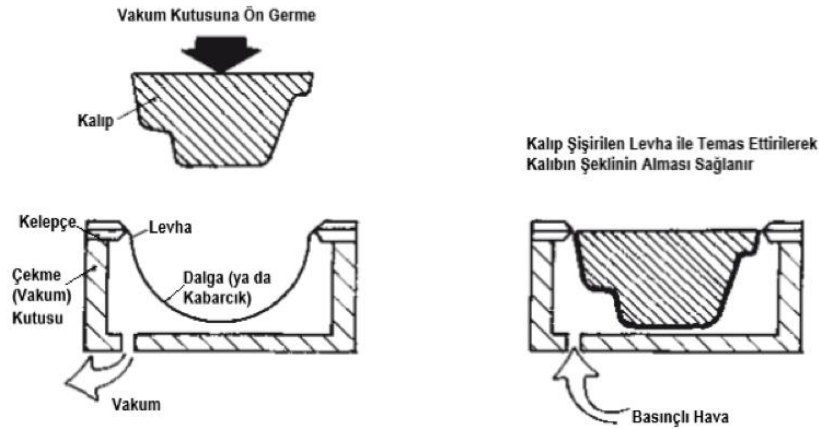
3.2.3.1. Pnömatik Ön Şekillendirme

Serbest şekillendirmede, sıcak levha pnömatik olarak şişirildiğinde, yüzeyi boyunca neredeyse tekdüze bir kalınlığa sahiptir. Bu etki, son parçanın duvar kalınlığı tekdüzeliğini iyileştirmek için ilk adım olarak belirli ağır ölçülü termoform yöntemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemlerden biri olan dalgalı dökümlü şekillendirme, Görsel 3.15'de şematik olarak gösterilmektedir. Kalıp şişirilmiş levhaya bastırılırken, levha erkek veya pozitif kalıbın etrafını sarar. Kalıp ve levha arasındaki hava daha sonra, levhanın kalıp yüzeyini taklit etmesini sağlamak için boşaltılır. Bu tekniğin bir varyasyonunda, erkek veya pozitif kalıp şişirilmiş levhanın içine kaldırılır.



Görsel 3.15: Erkek veya Pozitif Kalıp ile Şişirerek Ön Şekillendirme (Throne, 2008, syf.16).

Çekiş (vakum) kutusu ön şekillendirmesi, Görsel 3.16'da gösterildiği gibi, levhayı önceden gerdirmenin başka bir yoludur. Levha ısıtılır ve çekme kutusu adı verilen beş kenarlı bir kutuya vakumla çekilir. Daha sonra erkek veya pozitif kalıp, önceden gerdirilmiş levhaya batırılır veya daldırılır. Çekme kutusu yöntemi, polimerin lokalize patlama olmadan gerilmesinin zor olabileceği durumlarda tercih edilir. Sert polivinil klorür (RPVC) ve yangın geciktirici ABS, çekme kutusu yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde önceden gerdirilen polimerlerdir (Throne, 2008; Crawford, 2020).



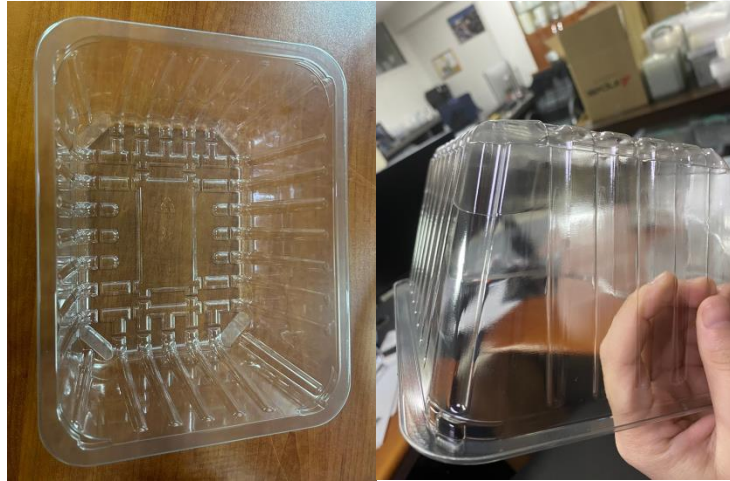
Görsel 3.16: Erkek veya Pozitif Kalıp ile Vakum Emme-Basma Kutusu (Throne, 2008, syf.16).

3.2.3.2. İtici Destekli veya Mekanik Ön Şekillendirme

Pnömatik ön gerdirmede, levhanın tamamı şişen hava ile inceltirilir. Pnömatik ön gerdirme genellikle ağır ölçülü ısıtılmış şekillendirme ile sınırlıdır. Ekipman dolapları ve buzdolabı kapı kaplamaları gibi bazı ağır ölçülü uygulamalarda, levhanın bir alanda diğerlerinden daha

fazla önceden gerilmesi gerekebilir. Hafif ölçülü uygulamalarda, önceden gerdirilecek alan genellikle tüm levhaninkinden çok daha küçüktür. İçecek kutuları neredeyse her zaman iticiler kullanılarak oluşturulur. Çok bölmeli paketler oluşturulurken genellikle birden fazla iticiye ihtiyaç duyulur. İticiler olarak da bilinen keçeler (plugs), levha kalıp yüzeyiyle temas etmeden önce kalıp yüzeyini kopyalayacak olan şekillendirilebilir levhaya, mekanik olarak ilettilen, şekillendirilebilir levhanın kalıp yüzeyini kopyalamasına yardımcı olan katı malzemelerdir. Bu teknoloji, itici destekli termoform olarak adlandırılır.

İtici malzemeleri genellikle ısıya dayanıklı, düşük ısı iletkenliğe sahip ve germe levhasından önemli miktarda ısı çıkarmayan malzemelerden yapılır. Keçeler, yumuşatılmış levhadan daha soğuk olması gereken katı yüzeyler olduğundan, keçeye temas eden levha, itici tarafından soğutulur. Temas eden levha, iticiye temas etmeyen kısım kadar esnemediğinden, Görsel 3.17’de gösterildiği gibi, iticiler nihai şekillendirilmiş parça üzerinde işaret bırakma veya iz bırakma eğilimindedir. İticiler ahşap, kontrplak, orta yoğunlukta elyaf levha (MDF), yüksek yoğunluklu ısıyla sertleşen kabarcıklı sünger, naylon (PA) ve floropolimerler (FEP) gibi plastikler ve ısıtılmış alüminyumdan yapılmıştır. Bir itici, kalıp düzeneğinin bir parçası olarak kabul edilir (Throne, 2008).

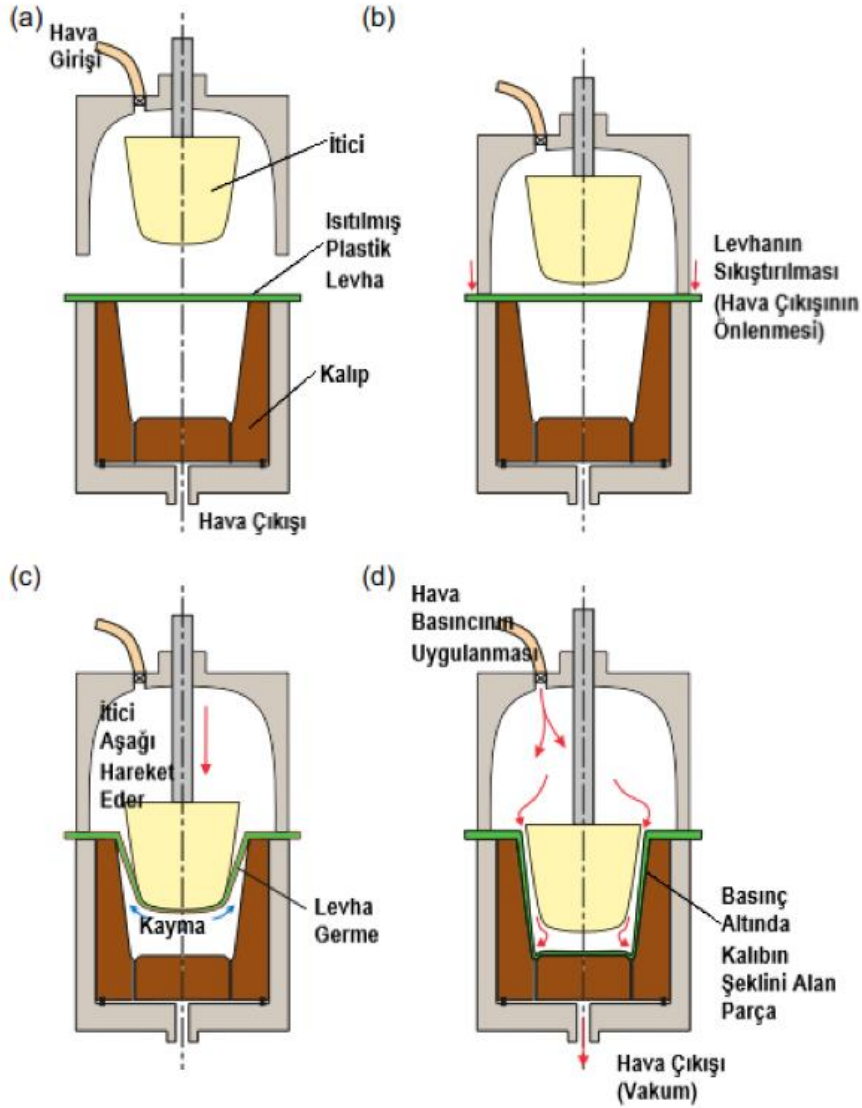


Görsel 3.17: Hafif Ölçülü Tek Bölmeli Kap

Tabana Yakın Kısımdaki Dalga Keçenin Değdiği Yeri, Üst Kısımdaki Dalga ise Hava ve Vakumun Başladığı Zamanı Gösterir (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu).

Levhanın oda sıcaklığında aşırı soğumasını önlemek için, iticiler genellikle mümkün olan en kısa sürede şekillendirilebilir levhaya temas ederek levhayı kalıp yüzeyine iter ve levha, mümkün olan en kısa sürede iticiden sıyrılır. İticilerin etkili olabilmesi için, levhanın itici yüzeyi ile kalıbın kenarı arasında düzgün bir şekilde gerilmesi gerekir. Levha germe

homojenliğini elde etmek için germe levhası boyunca hava basıncında optimum bir denge olmalıdır. Gerdirme levhası ile kalıp boşluğu arasındaki hava basıncı, levhanın üzerindeki basınçtan daha yüksekse, levha tercihen iticiye yaslanacaktır. Gerdirme levhası ile kalıp boşluğu arasındaki hava basıncı, levhanın üzerindeki basınçtan düşükse, levha tercihen kalıp yüzeyine eğilimli olacaktır. Levha kalınlığı boyunca diferansiyel basınç yaklaşık 0,014 ila 0,028 MPa'dan (2 ila 4 psi) az olmalıdır (Throne, 2008; Crawford, 2020).

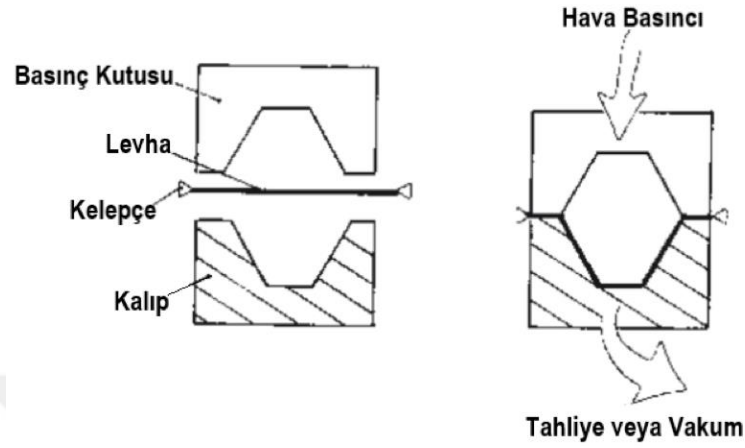


Görsel 3.18:İtici Destekli Ön Şekillendirme (Crawford, 2020, syf.365)

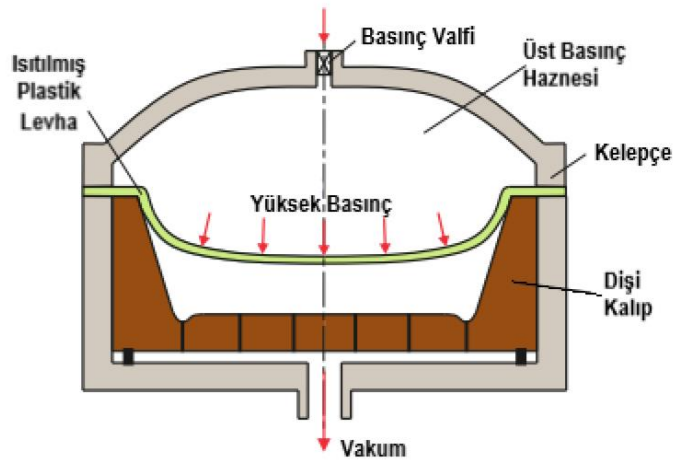
3.2.3.3. İtici Destekli veya Mekanik Ön Şekillendirme

Teknik olarak mekanik bükme ve şekillendirme dışındaki tüm termoform yöntemlerinde, levhayı kalıba karşı germek için diferansiyel basınç kullanılır. Bu nedenle tüm ısıyla şekillendirme yöntemleri, basınçla şekillendirme olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte,

kabul edilen teknolojiye göre ısıtılma şekillendirme sadece levha kalınlığı boyunca, fark basıncı mutlak 0,1 Mpa'yı (15 psi mutlak) aştığında basınç oluşturma olarak kabul edilir. Levha kalınlığı boyunca fark basınç $> 0,1$ Mpa (15 psi)'dir (Throne, 2008; Crawford, 2020).

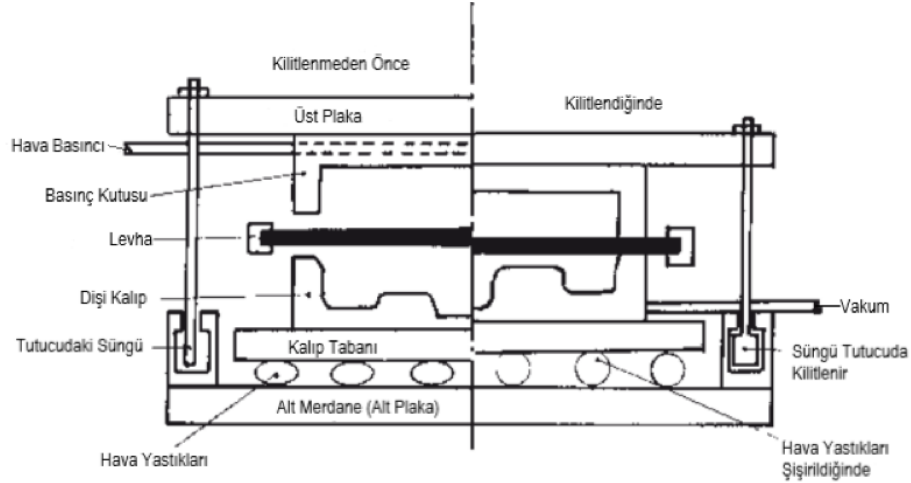


Görsel 3.19: Basınç Şekillendirme Şeması (Throne, 2008, syf.18).



Görsel 3.20: Basınç Şekillendirme Sistemi (Crawford, 2020, s.364)

Basınçla şekillendirme, şekillendirme sıcaklığındaki levhanın, kalıbın en uzak bölgelerine yeterince gerilmek veya kalıp yüzeyinin dokusunu yeterince kopyalamak için çok sert olduğu durumlarda kullanılır. Geleneksel basınçlı şekillendirme, levha ile kalıp yüzeyi arasındaki havayı çıkarmak için levhanın serbest tarafında 1 MPa'ya (150 psi) kadar hava basıncı ve vakum kullanır. Görsel 3.20'de, basit bir basınç oluşturma biçimi gösterilmektedir.



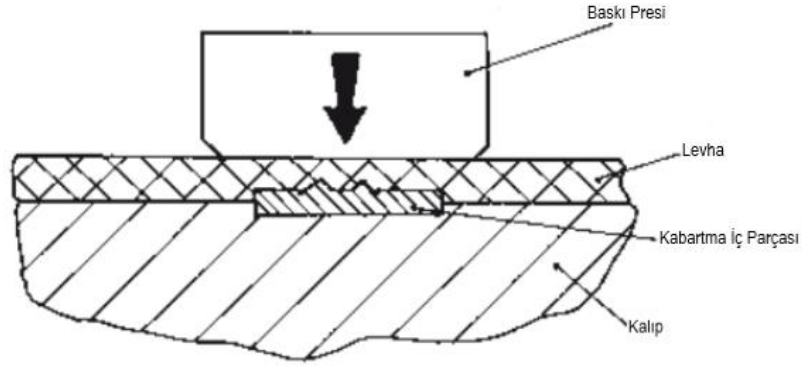
Görsel 3.21: Basınç kutusu, (Throne, 2008, syf.18).

Bayonet kelepçeler ve hava yastıkları ile donatılmış ağır ölçülü termoform Solda: Basınç kutusunu levha ve kalıba kilitlemeden önceki pozisyon. Sağda: Kilitlemeden sonra sonraki pozisyon. Kilidi sabitlemek için bayonet 90 derece döner. (Throne, 2008, syf.18).

Tipik olarak basınç oluşturma için iki aşamalı bir işlem kullanır. Levha ilk olarak kalıp boşluğundan havanın boşaltılmasıyla kalıp yüzeyine (çoğunluğuna) doğru çekilir. Daha sonra Görsel 3.21'de şematik olarak gösterildiği gibi basınç kutusu adı verilen metal bir kutu, süngü veya döner mengeneler kullanılarak levha ve kalıp yüzeyine kenetlenir. Kalıp ile makine levhası arasına yerleştirilen esnek hava yastıkları, sızdırmazlığı sağlamak için şişirilir. Ardından, levhayı kalıp yüzeyini kopyalamaya zorlamak için hava basıncı verilir. Oluşan parça yeterince soğuduktan sonra basınç kutusundan ve hava yastıklarından hava basıncı alınarak kutu, levha ve kalıptan ayrılır. Basınçla şekillendirilmiş ağır ölçülü parçalar, enjeksiyonla kalıplanmış parçalara rakip olan yüzey dokularına ve yarıçaplara sahiptir. Hafif ölçülü parçalar, levhayı iticilerden hızla sıyrarak ve soğuk kalıp yüzeylerine doğru iterek soğutma sürelerini iyileştirmek ve önündeki boşluk havasını dışarı atmak için basınçla şekillendirilmiştir (Throne, 2008, syf.18).

3.2.3.4. Kabartma ile Şekillendirme

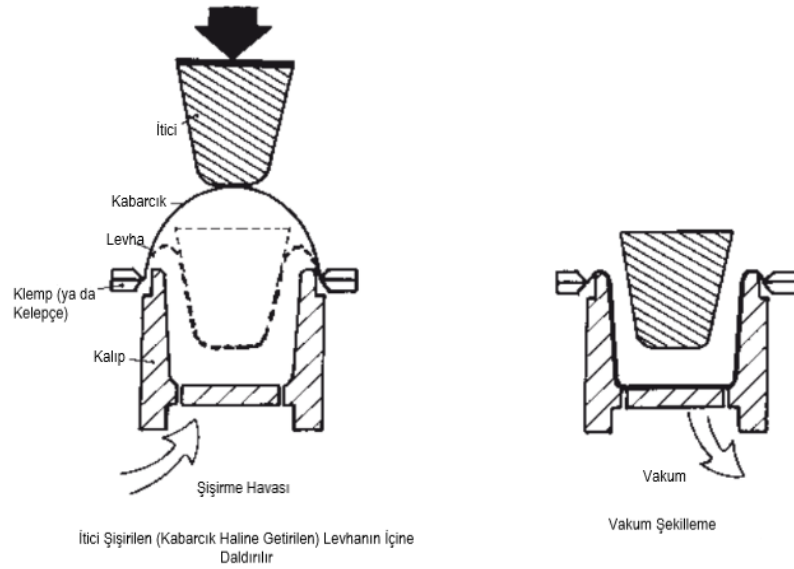
Görsel 3.22'de gösterildiği gibi, kaplama, plastik tabakanın iki soğuk kalıp yüzeyi arasında yerel olarak preslenmesidir. Ağır ölçülü ısıl şekillendirmede bu teknik, yerel olarak daha doğru parça duvar kalınlığı üretmek için kullanılabilir. Baskı, rondelalı bir fittingin parça duvarından geçmesi gereken yüksek toleranslı bir bölge sağlamak için kullanılır. İnce cidarlı ürünlerin üretildiği termoformda bu teknik, çok düz, eşit kalınlıkta sızdırmaz flanşlara veya eşit kalınlıkta menteşelere sahip kapaklı parçalara sahip parçalar üretmek için kullanılır (Throne, 2008).



Görsel 3.22: Ayrıntı Elde Etmek için Baskı ile Şekilleme (Throne, 2008, syf.18)

3.2.4. Üç Adımda Şekillendirme Prosesleri

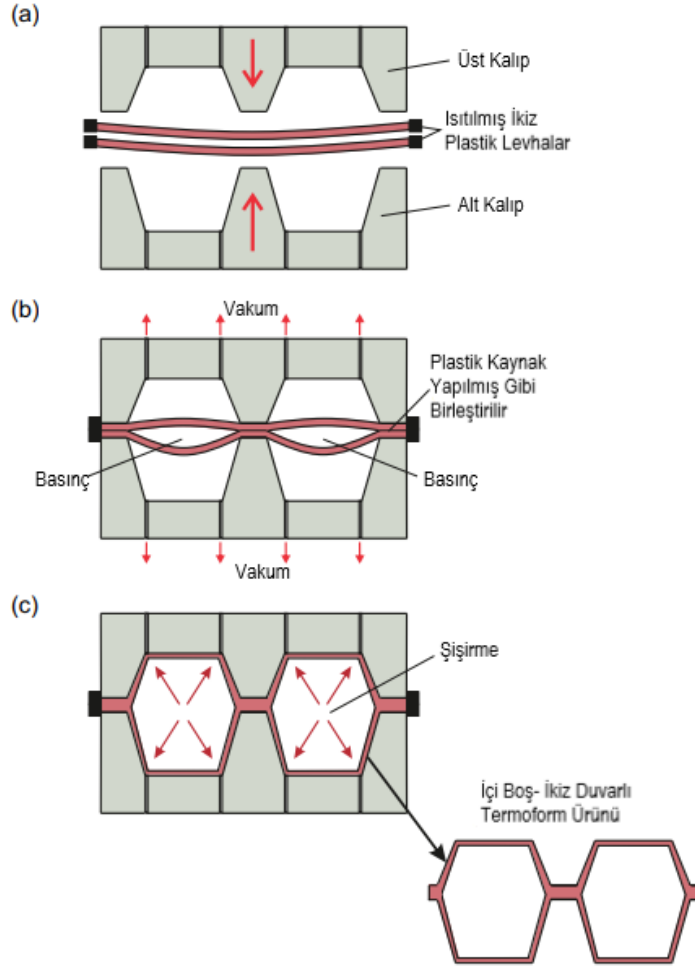
Çoğunlukla kalın cidarlı ya da ağır ölçülü termoform dediğimiz prosesler için geliştirilen üç adımda şekillendirme prosesleri, nadiren de olsa ince cidarlı ürünler üretilirken de kullanılmaktadır. Şişirerek-itici ile (Billow-plug) kalıplama adı verilen klasik üç aşamalı şekillendirme işlemi, Görsel 3.23'te şematik olarak gösterilmektedir. Şekil verilebilir levha kalıbın üzerine kenetlenerek pnömatik olarak şişirilir. Daha sonra bir itici yardımıyla vakum veya hava basıncıyla, şişirilen levhayı iterek erkek veya dişi kalıp yüzeyine doğru zorlar (Throne, 2008; Crawford, 2020).



Görsel 3.23: İtici (Plug Assistant) Yardımı ile Ters Üfleme ve Vakum Şekillendirme (Throne, 2008, syf.19)

3.2.5. İkiz Levha Şekillendirme

İkiz levha şekillendirme, içi boş veya kısmen içi boş parçalar oluşturmak için kullanılır. İkiz sac şekillendirmenin temel unsurları onlarca yıldır bilinmesine rağmen, makineler ve kalıplardaki son teknik gelişmeler tarafından döner kalıplama ve üflemlili kalıplamaya karşı ticari olarak uygun hale getirilmiştir. Günümüzde birçok ticari yöntem kullanılmaktadır (Throne, 2008; Crawford, 2020).



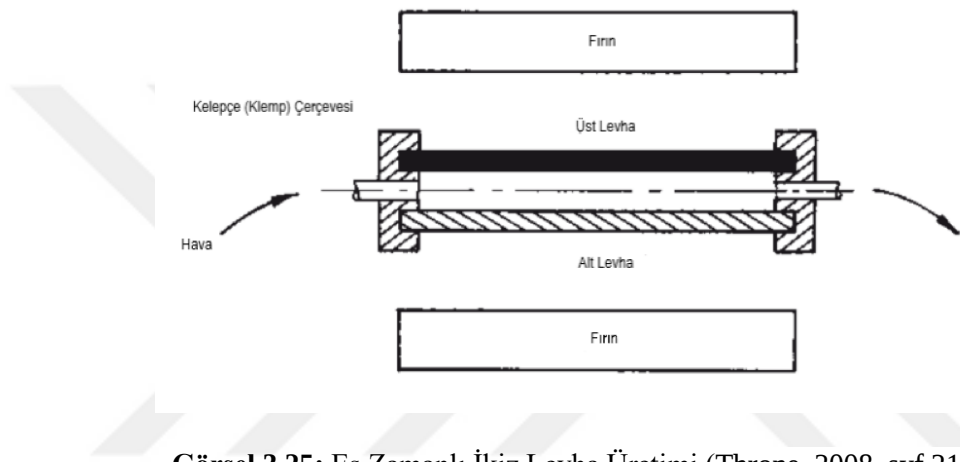
Görsel 3.24: İkiz Levha Şekillendirme (Crawford, 2020, syf.367)

3.2.5.1. Ağır Ölçülü İkiz Levha Şekillendirme

Öncelikle ağır ölçülü ürünlerin imalatında kullanılan en eski yöntemde, Görsel 3.25'de görüldüğü gibi ürünün iki yarısı bağımsız olarak basit, tek taraflı kalıplar üzerinde üretilir ve birbirine yapıştırılır veya termal olarak kaynaklanır. Bu teknik, montajdan önce bileşenlerin dikkatli bir şekilde incelenmesini sağlar. Aynı zamanda farklı kalınlıklarda levhaların kullanılmasına da olanak sağlar. Levha kalınlıkları, daha önce açıklanan ön gerdirme

yöntemleriyle kontrol edilebilir. Diğer ticari yöntemlerden daha yavaştır ve polimerlerin solvent veya termal olarak kaynaklanabilir olmasını gerektirir (Throne, 2008).

Bir tür eş zamanlı ikiz levha şekillendirmede, Görsel 3.25'de şematik olarak gösterildiği gibi iki levha, aralarında üfleme ve egzoz pimleri bulunan tek bir çerçeveye kenetlenir. Isıtma sırasında, levhaların sarkarken birbirine temas etmemesi için levhalar arasındaki boşluk basınçlandırılır. Levhalar iki taraflı bir kalıpta oluşturulur. Üst tabaka, üst kalıp yarısına kadar oluşturulurken, alt tabaka ise alt kalıp yarısına kadar oluşturulur. Daha sonra kalıp yarımları, çevresel sızdırmazlığı oluşturmak üzere bir araya getirilir.

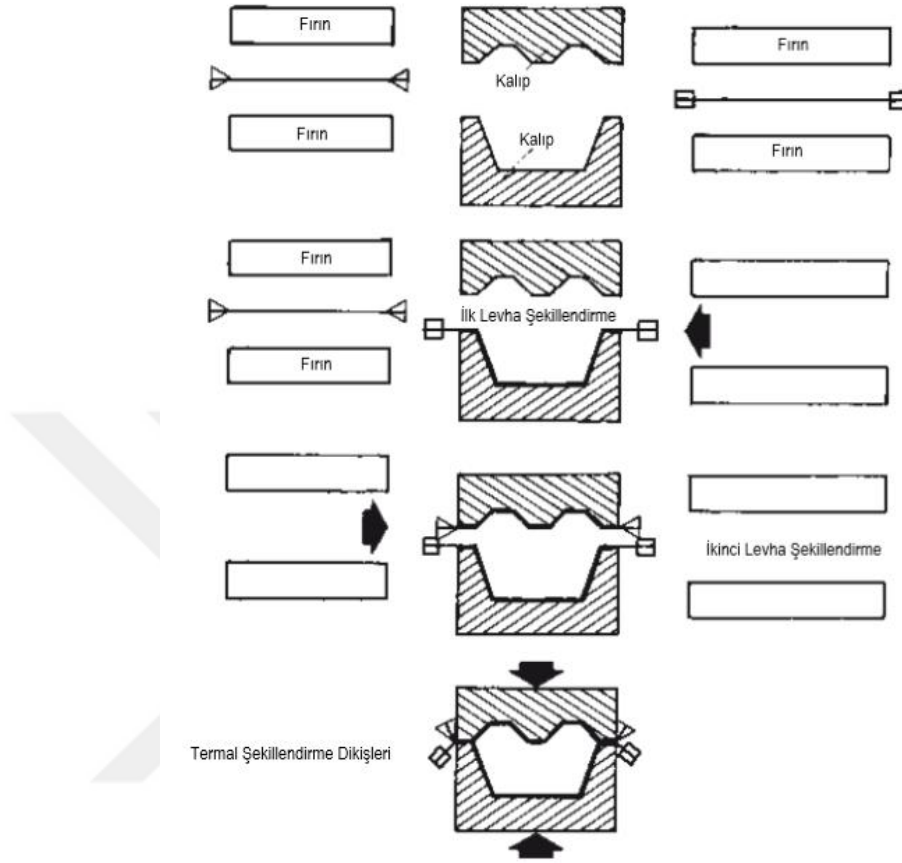


Görsel 3.25: Eş Zamanlı İkiz Levha Üretimi (Throne, 2008, syf.21)

Eşzamanlı ikiz levha şekillendirmenin ikinci bir tipinde, bir mekik presinde iki fırın kullanılır. Her tabaka bir çerçeveye kenetlenir ve bir fırına aktarılır. İki levha şekillendirme sıcaklığındayken, fırınlardan şekillendirme istasyonuna götürülürler. Yukarıdaki gibi, üst levha yukarı doğru oluşturulurken, alt levha aşağı doğru şekillendirilir ve kalıp yarımlarının bir araya getirilmesiyle çevresel sızdırmazlık oluşturulur (Throne, 2008).

Ardışık ikiz levha şekillendirme normal olarak tek bir dört istasyonlu döner pres üzerinde gerçekleştirilir. Ürünün alt kısmı olacak levha mengene çerçevesine yüklenir ve birinci fırına döndürülür. Ürünün üst kısmı olacak levha bir sonraki mengene çerçevesine yüklenir. Birinci levha belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında ikinci fırına döndürülür ve ikinci levha birinci fırına girer. İlk levha şekillendirme sıcaklığına ulaştığında, şekillendirildiği şekillendirme istasyonuna döndürülür. Bu sırada ikinci levha ikinci fırına döner. İkinci levha şekillendirme sıcaklığına ulaştığında, ikinci levhanın ikinci fırından şekillendirme istasyonuna döndürülebilmesi için kelepçe çerçevesinden serbest bırakılır. İkinci levha oluşturulur. İki kalıp yarısı daha sonra içi boş parçayı oluşturmak üzere bir araya getirilir. Ardışık ikiz levha

şekillendirme prosesi, Görsel 3.26'da şematik olarak gösterildiği gibi, parça soğuduğunda kelepçe çerçevesinden serbest bırakılır (Throne, 2008).



Görsel 3.26: Ardışık İkiz Levha Üretimi (Throne, 2008, syf. 22)

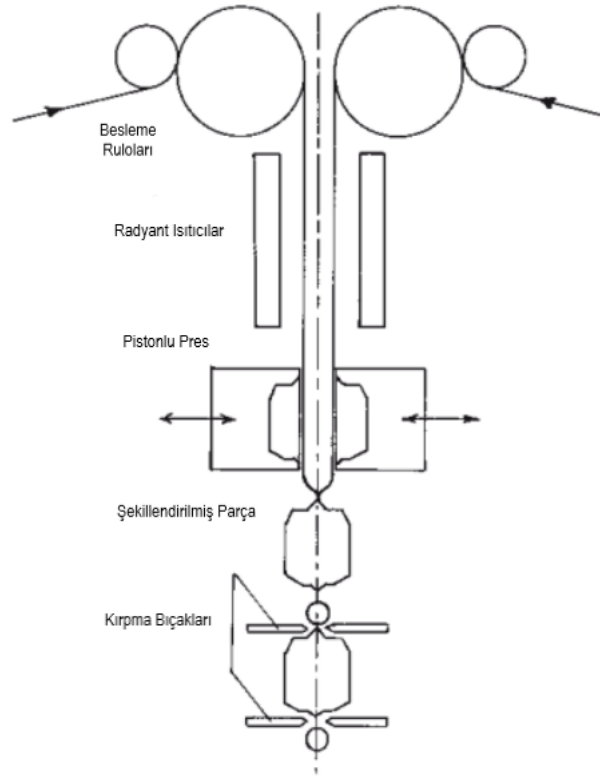
3.2.5.2. Hafif Ölçülü İkiz Levha Şekillendirme

Hafif ölçülü ikiz levha şekillendirme teknik olarak onlarca yıldır mümkün olmasına rağmen, yaygın olarak kullanılmamaktadır. İçi boş hafif kaplar için ürünün ayrı ayrı oluşturulmuş iki levha arasına yerleştirilmesiyle veya oluşturulmuş kap üzerine menteşelenebilen yekpare bir 'kapak'ın ısıyla şekillendirilmesi daha baskın uygulamalar ile karşılanır. Bununla birlikte, Görsel 3.27'de gösterildiği gibi, bu teknik kullanılarak, çift uçlu bir mekik poresi aracılığıyla 1 mm (0,040 inç) levhadan bir cerrahi kaskın üretildiği özel uygulamalar sunulmaktadır (Throne, 2008).



Görsel 3.27: İkiz Levhanın Isıyla Şekillendirilmesiyle Elde Edilmiş Ameliyathane Cerrahi Kaskı
(Throne, 2008, syf. 23)

Onlarca yıl önce, dar boyunlu homopolimer polipropilen süt ürünleri kaplarının yüksek hızlı üretimi için bir yöntem geliştirilmiştir. Homopolimer polipropilen (homoPP) ısıtıldığında aşırı sarkma gösterdiğinden, Görsel 3.28'de şematik olarak gösterildiği gibi makine tek tarafı ısıtılarak, levhaları dikey olarak oluşturulmuştur. Rulo beslemeli yatay levhaların şekillendirme istasyonuna girmeden önce her iki taraftan sürekli olarak ısıtıldığı makineler de geliştirilmiştir. Şekillendirme aşaması, üfleme kalıplamada kullanılan benzer bir üfleme piminin, kalıp iki levha etrafında kapanırken levhaları kalıp yüzeylerine karşı şişirdiği, eş zamanlı ağır ölçülü şekillendirmeye benzer. Kalıp, tam bir çevresel sızdırmazlık oluşturmak için yeterli basınç ile kapanır. İçi boş kaplar daha sonra özel tertibatlarla kesilir (Throne, 2008).



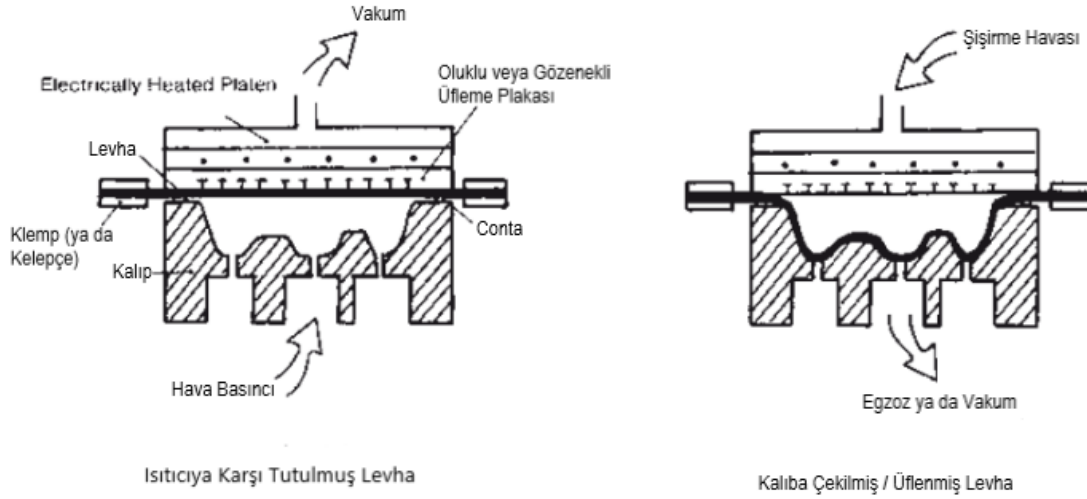
Görsel 3.28: İnce Cidarlı İkiz Levha Şekillendirme (Throne, 2008, syf. 23)

3.2.6. Temas ile Şekillendirme

Kalınlığı 0,5 mm (0,020 inçten) fazla olmayan ve genellikle 0,25 mm (0,010 inç) kadar küçük olan ince levha en iyi şekilde, ısıtılmış metal yüzeylerle doğrudan temas yoluyla ısıtılır. Levha genellikle mekanik olarak ısıtılmış metal yüzeylere karşı tutulur. Üniform temas sağlamak için vakum da kullanılabilir. Başarılı temas oluşturma anahtarı, levhanın asla ısıtıcıların sıcaklığının üzerine ısıtılamamasıdır. Hafif levhayı ısıtmak ve şekillendirmek için iki genel yöntem kullanılır. Görsel 3.29'da şematik olarak gösterilen bir yöntemde, levha mekanik veya pnömatik olarak ısıtılmış bir plaka ile temas ettirilir. Levha bir taraftan iyice ısıtıldığında, levhayı ısıtılmış levhanın hemen altında bulunan dişi bir kalıba aktarmak için hava basıncı ve vakum kullanılır. Levha önceden gerilmemiş olduğundan, teknik oldukça sık çekmelere sahip ürünlerle sınırlıdır.

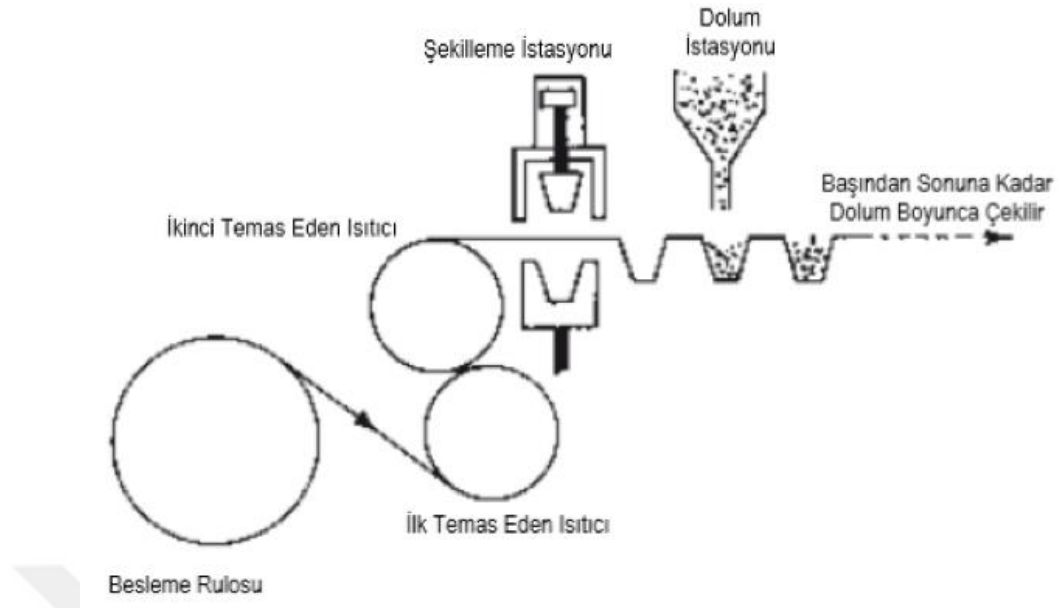
Çoğu zaman, ısıtılmış ve şekillendirilmiş levha, bir kesme kalıbı ile kalıp yüzeyine karşı tutulur. Oluşturulan parça yeterince soğuduğunda, pres tamamen kapanır ve kesme kalıbını levha boyunca ve kalıp yüzeyine doğru zorlar. Parça, trim (kesme/kırpma) sekmeleri adı verilen belirlenmiş noktalar dışında her yerde levhadan ayrılır. Bu, kırılan/kesilen/koparılan parçaların, levhanın şekillendirme istasyonundan dizme istasyonuna bir birim olarak

iletilmesine izin verir. Teknik, yönlendirilmiş polistiren (OPS) oluşturulurken geniş uygulama alanı bulur. Türkiye’de bu işleme yerinde kesme ya da kalıp içi kesim, bu uygulamanın gerçekleştirildiği makinelere de yerinde kesme ya da kalıp içi kesim makinası adı verilir (Throne, 2008).



Görsel 3.29: Sıkıştırılmış Levha Şekillendirme, Tek Plakalı Isıtma (Throne, 2008, syf. 24)

Hafif termoform genellikle, üretim planının sadece küçük bir parçasıdır. Bu durum, özellikle rijit şekillendirilmiş kapların sıralı operasyonlarda doldurulduğu ve kapatıldığı ilaç ve gıda endüstrileri için geçerlidir. Bu teknoloji, form, dolgu ve mühür (FFS) olarak adlandırılan, çiğ köfte gibi dolum makinelerinde levhanın şekillendirilip ürünün konulduğu ve kapatıldığı sistemleri ifade eder. Kaplar ısıyla şekillendirildiğinde, teknolojiye rijit FFS (RFFS) adı verilir. Görsel 3.30'da şematik olarak gösterilen bu süreçte, levha mekanik olarak bir dizi ısıtılmış merdane içinden ve basınç veya vakumla şekillendirmeden önce mekanik olarak önceden gerdirilebileceği şekillendirme presine çekilir. Oluşturulan levha daha sonra, RFFS parçaları kesimden veya levhadan ayrılmadan önce doldurma, mühürleme ve düzeltme istasyonlarına aktarılır. Bu nitelikteki RFFS işlemlerinde, levha genellikle uzak ucundan çekilir ve bu işlemde geçen levhayı sıkıştırmak için pim zincirlerine veya diğer mekanik araçlara olan ihtiyaç ortadan kaldırılır (Throne, 2008).



Görsel 3.30:İki Taraflı Temaslı Isıtma (Throne, 2008, syf. 25)

3.3. Genel Üretim Sürecinin Bir Parçası Olarak Termoform

Termoform genellikle genel üretim sürecinin sadece bir parçasıdır. Hemen hemen tüm ısıyla şekillendirme işlemlerinde şekillendirilmiş parçanın levhadan veya şekillendirilmemiş levhadan kırılması gerekir. Kırpma, genellikle şekillendirme işleminden daha karmaşık olan ikincil bir süreçtir. Ağır ölçülü ısıyla şekillendirmede, şekillendirilmiş parça, delme, testereyle kesme veya kanal açma gibi makineyle işleme adımlarını gerektirebilir. Oluşturulan parça, tavan penceresi, araç veya buzdolabı gibi çok daha büyük bir montajın bir bileşeni olabilir. Şekillendir-doldur-ve-mühürle işleminde belirtildiği gibi, ısıyla şekillendirilmiş kısım, birim doz farmasötikler veya gıda maddeleri gibi ürünler için doldurulabilir ve kapatılabilir (Throne, 2008).

3.3.1. Termoformda Kalite Kontrol

Termoform ürünleri elde edilirken, kaliteli ürün elde edilmesi için kaliteli levha gereklidir. Kaliteli levhanın elde edilmesi ekstrüzyon işlemine ve polimerin özelliklerine bağlıdır. Ekstrüzyon işlemi yapılırken maksimum minimum ölçüler, sıcaklık, makine özellikleri, ekstrüzyon sınırları dikkate alınmalıdır. Termoform ürünler üretilirken proses ekstrüzyon işlemi ile başlar. Ekstrüzyon işleminde sıcaklık levha için en önemli faktörlerden biridir. Kırılmış ve eritilmiş plastik, ekstrüzyon vidalarından geçerek merdanelere aktarılır. İşlenmemiş granüller ve yeniden öğütülmüş katı polimer, ekstrüderin besleme veya huni ucuna

sürekli olarak eklenir. Elektrikle ısıtılan içi boş çelik namlu, bir elektrik motoru tarafından döndürülen kanatlı, burgu benzeri bir vida içerir. Plastik enjeksiyon ile benzer bir sistem olan sonsuz vida içerisindeki plastik, vida tarafından namlu boyunca ilerletilir. Plastik, ısı ve basınç altında akıcı bir duruma gelene kadar erir veya yumuşar. Daha sonra bir şekillendirme kalıbı aracılığıyla sıkıştırılır. Kalıbın ucundaki boşluk, istenen levha kalınlığını sağlayacak şekilde ayarlanır.

Ekstrüde edilmiş plastik eriyik, soğumaya başladığı çok rulolu yığının, bir rulosu üzerine serilir. Soğutma levhası, daha fazla soğutma için birinci rulodan ikinci bir ruloa aktarılır. Silindirler hız ve sıcaklık kontrollüdür. Rulo hızı, levha yönlendirmesini en aza indirmek için ekstrüder çıkış hızına uyarlanır. Hafif levha kalınlığı, nükleer göstergelerle izlenir ve kalınlık, rulo ya da merdane adı verilen kaplama kalıplarının üzerindeki esnek dudakları hareket ettiren termal cıvatalarla otomatik olarak ayarlanır. Ağır ölçü levha kalınlığı genellikle elde tutulan bir mikrometre ile ölçülür. Gösterge kalınlığı, kaplama kalıbına monte edilmiş cıvataları çevirerek manuel olarak ayarlanır. Gerekli levha genişliğini elde etmek için levha kenarları mekanik olarak kırılır. Kırılan kenar veya kenarlar genellikle yeniden taşlanır ve ekstrüder hunisine geri gönderilir (Throne, 2008).

Tablo 3.5: Termoform Prosesinde Kullanılabilen Bazı Polimerler için Kurutma Koşulları (Throne, 2008, s.210)

Polimer	Tipik Kurutma Sıcaklığı		Tipik Kurutma Süresi [h]
	[°F]	[°C]	
APET	150	65	3–4
CPET	320	160	4
ABS	175	80	2
PBT*	320	160	4
PMMA	175	80	3
PC	300	150	4

* PBT = polybutylene terephthalate

Tablo 3.6: Bazı Yaygın Plastiklerin Suya Duyarlılığı (Crawford, 2020).

Kurutma Gerekli Değildir (Malzemeler Hidrolize Olmaz)	Kurutma Gereklidir	
	Yalnızca Emer	Hidrolizler
Polietilen	Akrilik (0.02/0.08) ^a	PET (0.002/0.002)
Polipropilen	ABS (0.02/0.08)	Polikarbonat (0.01/0.02)
Polistiren	SAN (0.02/0.08)	Nylon 66 (0.08/0.15)
PVC		PLA (0.025/0.025)

^aEkstrüzyon/enjeksiyon kalıplama için gerekli maksimum nem içeriği (%).

Daha kalın levhalar için kuruma süreleri, levha kalınlığının karesiyle orantılı olarak artırılmalıdır. Levha, ekstrüzyon kalıbından paletler veya rulolar halinde nakliye yöntemine geçerken soğumaya devam eder. Levha, bu işlem sırasında lastik gibi elastik olduğu için, gerilimler ve yönlenme genellikle donar. Bu gerilimler, levha ısıtıldığında giderilir.

- İlk levha sıkma, rulo veya paletteki ısı tutma ölçüsüdür.
- Buharlama, depolama sırasında toplanan nemin ölçüsüdür.
- Dalgalanma veya yüzme, levha soğuması sırasında polimer geçiş sıcaklığı etraftaki kilitli artık gerilimlerin bir ölçüsüdür.
- Levhadaki ikincil gerginlik, rulo stoğunun ilk rulosunda indüklenen bir yönlendirme ölçüsüdür.
- Gaz çıkışı plastikteki yağlayıcıların, işleme yardımcılarının ve/veya kauçuk modifiye edicilerin uçuculuğunun bir ölçüsüdür.
- Sarkma, ekstrüzyon kalıbı ile rulo istifinin ilk ruloları arasındaki ekstrüde etme davranışının bir ölçüsüdür.

Termoformda kullanılacak levhalarda dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır.

- Kalınlık değişimi
- Hafif ölçülü levha rulo genişliğinde, kalın ölçülü levha genişliğinde ve uzunluğunda değişiklik
- Parlaklık seviyesi değişimi veya doku tekdüzeliği gibi yüzey görünümü
- Renk bütünlüğü ve yoğunluğu

- Doğrusal yüzey işaretleri veya kalıp çizgileri, düzensiz yüzey işaretleri, çentikler, taşlama veya şerit işaretleri ve mikroskobik dokuma gibi istenmeyen yüzey koşulları
- Delikler, çukurlar, topaklar, benekler, pus ve jeller veya balık gözleri gibi istenmeyen toplu düzensizlikler
- Nem mikro kabarcıkları

Polimer reçinelerin çoğu anti-blokaj maddeleri, ultraviyole dengeleyiciler, alev geciktiriciler, koku bastırıcılar, kimyasal köpürtücü maddeler, nükleantlar ve antistatik maddeler gibi birçok katkı maddesi içerir. Doldurulmuş ve güçlendirilmiş polimer reçineler, dolgu maddelerini veya elyafları polimere bağlayan maddelere de sahip olabilir. Boyalar, pigmentler, opaklaştırıcılar, renk dengeleyiciler ve renk tonlarını içeren birçok renklendirici türü vardır. Katkı maddeleri birleştirildiğinde levha kalitesinden ödün verilmemesine özen gösterilmelidir. Katkı türü veya seviyesindeki küçük değişiklikler, levhanın nihai kalitesini değiştirebilir. Ekstrüzyon sıcaklığındaki ve ekstrüderde kalma süresindeki değişiklikler de levha kalitesini değiştirebilir. Termoforcunun kalite kontrol yöntemleri geliştirmesinin birçok nedeni vardır. Bunların çoğu, gelen ürün kalitesinin doğrulanmasına ve giden ürün kalitesinin müşteri özellikleriyle karşılaştırılmasına odaklanır. Bu yöntemlerin çoğu, belirli test prosedürlerinin geliştirilmesini gerektirir. Müşteri beklentilerinin karşılanmasına ek olarak, test yöntemleri aşağıdakilerden bazılarını sağlar:

- Tasarım konseptlerini kanıtlama
- Güvenilirlik için bir temel oluşturma
- Ürünün güvenlik gereksinimlerinin değerlendirilmesi
- Sorumluluk koruması
- Kabul edilebilir kalite limitlerinin (AQL'ler) oluşturulması
- Standartları/şartname gerekliliklerini karşılama
- Rakip ürünleri değerlendirme
- Yeni ürünler için bir geçmiş veya kağıt izi oluşturma
- Ürün işlevselliğini değerlendirme
- Yeni malzeme değerlendirmesi
- Genel ürün geliştirme
- İşleme/malzeme sorunlarını çözme
- Sorun giderme
- Süreç simülasyonu için temeller oluşturma

4. TERMOFORM ÜRETİM SÜREÇLERİNDE VERİMLİLİĞE ETKİ EDEN SÜREÇLER²

4.1. Termoform Şekillendirme Örnekleri

Günümüzde sıcak soğuk içecek kapaklarından meyve kapları, bisküvi, çikolata hatta ve hatta ilaç ambalajlarına kadar her alanda yer edinen hafif ölçülü termoform, ince cidarlı kaplar ya da kullan at adı verilen ambalajların üretim prosesinde büyük bir yer edinen termoform, gelecek yıllarda da plastiğin hızlı yükselişi ve hijyen ihtiyacının karşılanmasına yönelik artış göstermektedir. Korona virüsün yayılması, salgın hastalıklarının artması, bireyin hijyen ihtiyaçlarını karşılamasına yönelik gelişmekte olan termoform ambalaj sektörü içinde de uzun yıllardır sürdürülebilir ürünler üretmektedir.

Görsel 4.1’de görüldüğü gibi günlük hayatta karşılaşılan ya da bir ürünün sabit durmasını sağlayacak, zarar görmesini engelleyecek veya şeklini korumasını sağlayacak ürüne özgü ambalajlar üretilebilir. Termoform kalıpları üretilirken öncelikle termoform tipi belirlenmelidir. Ağır ölçülü termoform adı verilen yöntemde levha kalınlığı ve ürün ağırlığı yüksek olduğundan kalıp tasarımı yapılırken bu faktörler göz önüne alınır. İnce cidarlı kaplar termoform prosesinde üretilirken kullanılacağı alan, gıda ile doğrudan ya da dolaylı olarak teması, ürün ağırlığı, kullanılacak levhanın özellikleri, ürünün kullanılacağı alan, üretilecek olan ürünün işlevi gibi konulara dikkat edilmelidir.



Görsel 4.1: Farklı Boylardaki Ürünler ve Bu Ürünlere Kapatılan Kapak
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

² 4. Bölümde yer alan bilgiler aynı zamanda tez yazarının iş yaşantısında yaşamış olduğu tecrübelerle de dayanmaktadır.



Görsel 4.2: Köpük Bardaklara Termoform Prosesinde Kapak Üretebilmek için Bardak Numuneleri
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.3: Kapaklı Kaplar

Kendinden Kapaklı(Deliksiz) Meyve Kabı (Şale), 2 ve 3 Bölmeli Mikrodalga Yemek Kabı ve 2 Bölmeli Yemek Kabı Kapağı (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.4: Tersine Mühendislik Uygulamaları - 1

Tersine mühendislik uygulamaları ile yeniden tasarlanmış 8'li Çikolatalı Marshmallow Dolgulu Bisküvi (Soldaki Müşteriden Gelen, Sağdaki Üretilen) (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.5: Tersine Mühendislik Uygulamaları - 2

Müşteriden Gelen Polistiren (PS) Çiçek Kabı (Siyah Saksı) ve Polipropilen'den (PP) Üretilmek İstenen Ürünün (Şeffaf Saksı) Tasarlanan Numune Kalıbından Elde Edilen Ürünler, Sağ Tarafda ise Gerçek Kalıptan Elde Edilen Ürün (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.6:Termoform Prosesinde Kapak Üretimi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Termoform prosesi birçok kompleks sistem ile entegre halinde çalışmaktadır. Termoform kalıp tasarımı yapılırken ilk girdi olan levhanın ekstrüzyon işleminden, levhanın şekillendikten sonraki saklama koşullarına kadar göz önüne alınmalıdır. Ekstrüzyon işleminden elde edilen levhanın genişliği kalıp genişliği ile doğru orantılıdır. Levha uzunluğu ise kalıptan elde edilecek ürün sayısına göre kg ya da ton olarak elde edilir. Bu işlemde kg olarak alınan levhanın uzunluğu ağırlığa göre belirlenmiş olur. Levha kalınlığı elde edilecek ürünün kullanılacağı alana, malzeme türüne ve gramajına göre belirlenir. Dayanım gerektiren, sıvı ya da katı ürün için üretilen, sıcak ya da soğuk ile temas edecek gibi kategorilere ayrılarak levha kalınlığı inceltilebilir ya da daha kalın levha seçimi yapılabilir.

4.2. Termoform Makineleri

Türkiye’de hammadde fiyatlarının yüksek olması, nakliye taşımacılık giderleri, plastiğe ulaşım gibi faktörlerin etkisi ile düşük gramajlı ya da geri dönüştürülmüş levhadan üretilen ürünler daha fazla tercih edilirken, plastik ham maddesinin ucuz olduğu ülkelerde saf plastik tercih faktörüdür. Plastik levha kalıbın şeklini alacak kabiliyette olmalıdır. Hafif ölçülü ve ağır ölçülü olmak üzere ikiye ayrılan termoform işleminde kalın levha küçük yüzeyin şeklini almakta zorlanır. İnce levha ise kalıp boşluklarına dolabilir. Bu nedenle ağır ölçülü ya da

kalınlığı yüksek levhalar için geniş ve büyük yüzey tasarımları tercih edilmelidir. Kalıp boşluğu levha kalınlığından küçükse, şekilleme zorlaşır. Hafif ölçülü termoform yönteminde elde edilebilecek çok çeşitli ürünler vardır. İstasyonlu makineler bu alanda daha çok kullanılır. Yumurta ambalajından çikolata bisküvi ambalajlarına kadar her alanda termoform insan hayatında yer almaktadır. Satılacak bir ürünü dik tutmak, korumak izole etmek, taşımak, saklamak gibi çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Dünyada birçok farklı termoform kalıbı ve termoform makinesi olmasına rağmen Türkiye’de hafif ölçülü ürünlerin termoform yönteminde Görsel 4.7’de gösterildiği gibi istasyonlu makineler kullanılmaktadır.



Görsel 4.7: Dört İstasyonlu Termoform Makinesi

(E.T. 05.08.2023, <https://www.inpakmakina.com/tr/urun/ts-800-termoform-makinesi/>)

Hafif ölçülü ürünlerin termoformunda çok çeşitli makineler kullanılmaktadır. Termoform makineleri Görsel 4.7’de gösterildiği gibi 4 istasyonlu, Görsel 4.8’de gösterildiği gibi 3 istasyonlu ya da Görsel 4.9’da gösterildiği gibi 2 istasyonlu olabilir. İstasyonlu makineler kalıbın bağlanacağı alana göre farklı ölçülerde olabilir. Görsel 4.7’de gösterildiği gibi TS800 (800x580) makinesinin maksimum ölçülerine göre yapılabileceği gibi Görsel 4.8’de daha geniş alanı olan TS850 (850x650) makinesi de tercih edilebilir. Makine seçimi yapılırken üretim kapasitesi, maksimum kalıp alanı, üretim hızı, güç tüketimi, kullanım kolaylığı, uzun makine ömrü, üretim sürekliliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak seçim yapılır.



Görsel 4.8: Üç İstasyonlu Termoform Makinesi
(E.T. 05.08.2023, <https://www.inpakmakina.com/tr/urun/ts-850-termoform-makinesi/>)



Görsel 4.9: İki İstasyonlu (Yerinde Kesme ya da Kalıp İçi Kesim) Termoform Makinesi
(E.T. 05.08.2023, <https://www.inpakmakina.com/tr/urun/tsr-800-termoform-makinesi/>)

Kalıp içi kesim makinesine kalıp tasarımı yapılırken ürün türü, kilitleme türü, kalıp göz sayısı gibi nicelikler çok önemlidir. Kalıbın şekilleme istasyonunda kesim yapıldığı için kesim ölçüsü istenen ölçülerde hassas toleranslarla elde edilebilir. Şekilleme kısmı ürün yüksekliklerine göre servo ya da standart üfleme olabilir. Görsel 4.9’da ve Görsel 4.12’de görüldüğü gibi bıçak üfleme kısmında çalışmaktadır. Kalıpta ürün şekillenip kesildikten sonra dizme istasyonuna gönderilir. Dizme ürün tipi ve müşteri isteğine göre pnömatik, standart ya da robotlu yapılabilir.

4.2.1. Termoform Kalıpları

Termoform kalıpları birkaç ana amaca hizmet eder. Her şeyden önce, müşterinin tüm ihtiyaçlarını karşılayacak özellikte olmalı ve ürünü doğru bir şekilde oluşturacak şekilde levha şekillendirilmelidir. Şekillendirilebilir plastik levha, basınçlı hava ve itici aracılığıyla kalıpla temas ettiğinde boyutsal olarak kararlı bir yüzey sağlamalıdır. Kalıp, levhadan ısıyı

tekrarlanabilir ve verimli bir şekilde uzaklaştıran bir ısı eşanjörü görevi görür. Nispeten düşük basınçlarda çalışmasına rağmen basınçlı bir kaptır. Vakum ile kalıptan çıkacak havayı kontrol edilebilir bir şekilde açıklıklardan dışarı çıkmasına izin vermelidir. Yüksek basınçlarda ve polimer levha sıcaklıklarında tekrarlanan şekillendirmeye dayanacak kadar sağlam olmalıdır.

Plastikten kaynaklanan olası aşındırıcı gazlara ve dolgulu veya güçlendirilmiş plastikten kaynaklanan erozyon ve aşınmaya dayanmalıdır. Uzun süreli depolama sırasında, çeşitli çevresel koşullarda, makine geri taşındığında ya da kötü veya yanlış kullanım sırasında basit onarımlara ihtiyaç duymayacak kadar sağlam olmalıdır. Termoform kalıplarının iki genel kategorisi vardır. Bunlar üretim kalıpları ve prototip kalıplardır. Üretim kalıpları tipik olarak alüminyumdan yapılır ve yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya takviyeli levha şekillendirme için kullanılan belirli metal ve çelik türleri vardır. Prototip kalıplar metalden de yapılabilir, ancak genellikle alçı veya ahşap gibi daha kolay işlenen malzemelerden üretilir.

4.2.1.1. Dökme Alüminyum

Geniş kalıp yüzeyleri için genellikle atmosferik veya dökümhane alüminyumu seçilir. A-356.2 alüminyum alaşımı mükemmel dökülebilirliğe, işlenebilirliğe ve kaynaklanabilirliğe sahiptir. Döküm prosedürü, genellikle ahşaptan, bazen de alçıdan veya güçlendirilmiş cam elyafı-polyester reçinesinden yapılan bir modelle başlar. Nihai biçimlendirilmiş parça alttan kesmeler içerecekse, desenin bölümler halinde yapılması gerekecektir. Kalıbı yapmak için dökümhane kumu ve reçine bağlayıcı karışımı kalıba sıkıca sıkıştırılır. Neredeyse tüm geniş yüzeyli dökümler, duvar kalınlığı 13–38 mm (0,5–1,5 inç) arasında değişen kabuk döküm olduğundan, kalıbı oluşturma işlemi birkaç adımdan oluşur. Kalıbın iç veya B-yüzey yarısı ve kalıbın dış veya A-yüzey yarısı ayrı adımlarda yapılır. Eğer gerekliyse, kum kalıp yarımları daha sonra reçine bağlayıcıyı reaksiyona sokmak için ısıtılır. Yolluklar, maçalar, yükselticiler ve akma noktaları daha sonra kum kalıp yarımlarına eklenir.

Isıl şekillendirme kalıbı ya da diğer adıyla termoform kalıplarında olağanüstü büyük olmadığı sürece, erimiş alüminyum genellikle mümkün olan en kısa sürede ancak hava girmeden tek bir dökme noktasına dökülür. Kum kalıbı, hava erimiş metalin önüne atılacak şekilde yerleştirilmelidir. Alüminyum katılaştıktan sonra kum kalıbı kırılır. Daha sonra tüm flaş ve akış cihazları çıkarılarak döküm tamamlanır (Throne, 2008). Günümüzde ince cidarlı ya da hafif ölçülü olarak adlandırılan termoform kalıplarında bu yöntem kesim altı olarak bilinen, ürünün kesme istasyonunda bıçakların kesim karşılığında kullanılmaktadır.

4.2.1.2. İşlenmiş Alüminyum

Bilgisayar destekli freze makinelerinin geliştirilmesiyle, işlenmiş alüminyum levha, hafif termoform endüstrisi için aynı anda çoklu ürün elde edilebilen kalıpları üretmenin standart yolu haline gelmiştir. Al 6061-T6, bu kalıp yapım endüstrisinin en güçlüsüdür. Kolayca işlenir ve boyutsal olarak kararlıdır. Daha yüksek sıcaklık uygulamaları için, bazen uçak yapımında kullanılan, havacılık alüminyum olarak adlandırılan Al 7075-T651³ önerilir. Polikarbonat (PC), polisülfon (PSO), florokarbonlar (FEP'ler) ve dolgulu ve güçlendirilmiş polimerlerle kullanılan daha sert, daha yüksek sıcaklıkta bir metaldir. Soğutma kanalları derin çekme kalıplar için derin delik delme yöntemi ile delinmiştir. Sığ kalıplar için kalıp tabanına bir soğutma plakası monte edilir. Kalıp doğrudan ürün tasarımındaki ölçülerden yapıldığı için kalıp ölçüleri oldukça doğrudur (Throne, 2008).

4.2.1.3. Diğer Kalıp Üretim Materyalleri

Çelik bazen yüksek sıcaklık polimerleri için kullanılır. Yüksek basınç ve sıcaklık gerektiren kalıplar veya aşınmaya karşı dayanıklı olması gereken kalıplar için önceden sertleştirilmiş P20 çeliği önerilir.

Elektroform nikel, çok büyük, çok detaylı parçalar için kullanılır. Ahşap, alçı, plastik ve hatta mum modeli, karbon dolgulu epoksi gibi çok ince bir iletken reçine tabakasıyla kaplanır. Daha sonra bir nikel klorür elektrolitik banyosuna indirilir, burada katot olur ve bir çubuk saf nikel anot olur. Biriktirme oranları, saatte 0,025 mm (0,001 inç) mertebesinde. İletken bir modele karşı soğuk elektro şekillendirme, en iyi yüzey kalitesini verir. İstenen nikel kalınlığı 1,5 mm (0,060 inç)dir. Soğutucu hatları yerleştirildikten sonra çentikli kısım sıcak elektroform nikel, dökme alüminyum, püskürtülmüş beyaz metal veya alüminyum dolgulu epoksi ile desteklenir. Kalıp boyutları şekillendirilecek parçaların yerleşiminin eksenel dağılmasına göre çoğaltıldıktan sonra elde edilen ölçüdür. Kalıp boyutları, üretilecek parçanın makine ölçülerine göre optimum çalışma koşullarını karşılayacak sayıda çoğaltılır. Bu sayıya aynı zamanda kavite (cavity) denir. Elektroform nikel kalıpları hem hafif ölçü hem de ağır ölçü termoformda kullanılır (Throne, 2008).

Gözenekli metaller onlarca yıldır mevcuttur. Gözenekli metalden yapılmış bir kalıbın en önemli avantajı, havalandırma delikleri veya vakum deliklerine gerek olmaksızın vakumun

³ Al-7075-T651 çekme mukavemeti = 83.000 psi, Al-6061-T6 için 45.000 psi. Al-7075-T651 Brinnell sertliği = Al-7075-T651 için 150, Al-6061-T6 için 30.

doğrudan kalıptan çekilebilmesini sağlamasıdır. Sinterlenmiş gözenekli metal, alüminyum veya bakır gibi metal granüllerinin sıkıştırılmasıyla, ardından kompakt kütlenin granüller birbirine yapışırken, yekpare bir yapıya dönüşmeyene kadar ısıtılmasıyla elde edilir. Sinterlenmiş metallerdeki gözenekler tipik olarak 20-100 mikron boyutundadır. Gözeneklilik yaklaşık olarak %20–50 aralığındadır. Sinterlenmiş metal kalıplar, katı metal kalıp muadillerine benzer sıcaklık kapasitelerine sahiptir. Sinterlenmiş metal yüzeylere karşı kalıplanan plastikler genellikle mat bir yüzeye sahiptir. Metal granüller epoksi ile karıştırıldığında, fırında sertleştirildiğinde ve reçineyi kısmen ayrıştırmak için ısıtıldığında, 15 mikron büyüklüğünde gözeneklere ve %15 gözenekliliğe sahip gözenekli bir metal üretilir. Bu gözenekli metal, gözenekleri kapatmadan işlenebilir. Alüminyum granüller ile reçine olarak epoksi kullanıldığında, kalıp malzemesinin sürekli kullanım sıcaklığı 100 °C (210 °F) olur. Yüksek sıcaklık reçineleri kullanıldığında, kalıp malzemesi 210 °C'ye (410 °F) kadar kullanılabilir. Polistiren (PS) gibi plastikler, bu tür yüzeylere karşı kalıplandığında parlağa yakın görünüm elde edebilir (Throne, 2008).

4.2.2. Prototip Kalıbı Üretim Materyalleri

Geleneksel vakumlu şekillendirmedekine göre basınç düşük olduğundan, kalıp yüzeyleri olarak birçok yaygın malzeme kullanılır. Prototip kalıpları oluşturmak için iki genel teknik kullanılır. Tümdengelimli imalat, istenen yüzeyi elde etmek için kalıp malzemesinin çıkarılmasıdır. Endüktif üretim, istenen şekli oluşturmak için malzemenin birikmesidir. Tercih edilen prototip malzemeleri arasında sert ağaçlar ya da sunta, endüstriyel sıva, elyaf levha, sintaktik (kabarcıklı sünger) köpük, termoset plastik ve epoksi ile desteklenmiş püskürtülmüş beyaz metal bulunur.

Sert akçaağaç, ceviz ve dişbudak gibi sert ağaçlar ucuzdur, kolayca şekillendirilir, delinir ve zımparalanır. Bu nedenle birkaç parça üretmek için kısa tirajlarda kullanılır. Ceviz gibi ahşaplar sıcak plastik levha ile temas ettiklerinde yağ çıkarırlar bu nedenle kullanılmak istenmez. Kavak bir sert ağaç olmasına rağmen, prototip parçaları için çok yumuşaktır. Meşe ve çam gibi yumuşak ağaçlar ısı ve basınç altında sıkışarak boyut ve yüzey dokusunu kaybeder. Ahşabın ortak sorunu yarılmaya, kontrole ve eğilmeye yol açan uzun süreli kurumadır. Kalıp yüzeyi epoksi veya poliüretan gibi kaplamalar veya cilalarla işlenirse bu sorun daha da kötüleşebilir. Düzensiz nem emilimi kontrole yol açar. Sonuç olarak, ahşap kalıpların korunmasız uzun süreli depolanmasından kaçınılmalıdır. Çoğu sert ağacın damara paralel basınç dayanımları 27 MPa (4,000 psi) mertebesinde dir. Düşük mukavemet, ahşabın vakum

veya çok düşük basınçlı şekillendirme için kullanımını sınırlar. Ahşap kalıplar kolayca onarılabilir. Ağaç işleme t mdengelimlidir.

Birçok endüstriyel sıva sınıfı vardır. Prototip kalıplar için basınç dayanımı 34 MPa'dan (5,000 psi) fazla olan sıvalar tavsiye edilir. Basınç dayanımları çok yüksek olan sıvalar, orta basınçlı şekillendirme operasyonlarında kullanılır. Çoğu zaman, sıva işlemi, bir kalıba karşı sıva dökülerek ba lar. Genellikle sıva, pamuklu kuma la güçlendirilir. Alçı döküm, alçı kalıbı üretmek için kullanılır. Alçı her zaman ılık içme suyuna elenir. Daha küçük kalıplar üretilirken elle karıştırmak yeterli olurken, b   k kalıplar üretilirken güçlü karıştırma gereklidir. Nihai mukavemeti elde etmek için sıva yaklaşık %18 (ağırlık) suya kadar kurutulmalıdır. 100–120  C'de (210–250  F)  alı an düşük nemli basınçlı hava fırınlarında kapsamlı kurutma önerilir. Alçı, parke ve orta yoğunluklu sunta ile karşılaştırıldığında daha ağır bir materyaldir. Sonuç olarak, b   k kalıplar genellikle önemli duvar kalınlığına ve önemli ölçüde dahili çapraz desteğe sahip kabuk kalıplar olarak tasarlanır. İnce sıva bölümleri gevrek kırılmaya tabidir. Sisal, cam elyafı, kenevir hasır, tel örgü ve hatta açık dokuma pamuklu kumaş, bir alçı kalıbın sertliğini ve eğilme mukavemetini arttırmak için bir takviye maddesi olarak kullanılır. Daha sonra yüzeyleri toleransa göre bitirmek ve gerekli havalandırma deliklerini eklemek için sıva çıkarılır. Alçı kalıplar, hasarlı alanı ıslatarak, daha fazla alçı bulamacı ekleyerek ve kalıbı kurutarak onarılabilir. Alçı kalıp imalatı, kalıp neredeyse bitene kadar endüktiftir.

Bunların dışında orta yoğunlukta sunta, sintaktik (kabarcıklı sünger) köpük, termoset plastikler ve püskürtme metal yöntemleri ile prototip kalıp imalatı yapmak mümkündür. Orta yoğunlukta suntanın basınç dayanımı 34 MPa'dan düşük olduğu için basınçlı şekillendirmede kullanılmamalıdır. Kabarcıklı köpükler itici (plug) asistanlarında kullanılır. Termoset plastikler, birkaç çok geniş alan parçasına ihtiyaç duyulduğunda prototip olu tırmada kullanılır. Cam takviyeli epoksi ve yüksek sıcaklıkta ısıyla sertleşen polyesterler tercih edilen malzemelerdir. Kabuk kalıpları, biçimlendirme sırasında kalıp bozulmasını en aza indirmek için önemli i  yapılar ve çapraz desteklerle desteklenir. Bu  r nler, 68 MPa'ı (10,000 psi) açan basınç dayanımlarına sahiptir. Sürekli kullanım sıcaklıkları, plastiğin termal bozulmasını en aza indirmek için 120  C (250  F) ile sınırlandırılmıştır. Prototip plastik kalıplar, çok katmanlı ve takviyesiz kompozit yapılar olu tırmak için kullanılmıştır.

Kalıplar genellikle, deniz taşıtları, sıhhi küvetler ve du  çevrelerinin imalat yöntemine benzer bir şekilde, desenlere karşı geleneksel yerleştirme veya püskürtme tarzında üretilir. Tümdengelim malzemeleridir. Tel şeklindeki çinko veya çinko alaşımı gibi beyaz metal sürekli

olarak yüksek sıcaklıktaki bir alana beslenir ve burada eritilir. Basınçlı hava, metali, desene çarpan, kaynaşan ve soğuyan mikron boyutlu damlacıklara atomize eder. Yüksek sıcaklık alanı ya bir oksijen-asetilen alevi ya da bir elektrik arkıdır. Püskürtme metal kalıplar birkaç saat içinde yapılabilir. Soğutma hatları içerebilirler ve son derece detaylı kalıp yüzeyleri verebilirler. Püskürtülen metal kalıp kabuk kalınlığı tipik olarak 6 mm (0,25 inç) dir. Çinko ve alaşımları nispeten yumuşak olduğundan, kalıp kabukları alüminyum dolgulu epoksi ile desteklenir. Tüm epoksi destekli kalıp yüzeylerinde olduğu gibi, sürekli çalışma sıcaklıkları 120 °C (250 °F) ile sınırlıdır. Püskürtülen metal lehimleme ile onarılabılır. Desen ahşap, alçı ve hatta kağıttan yapılabilmesi prototip termoform kalıp üreticilerine avantaj sağlamasına rağmen, püskürtme metal teknolojisi üreticileri cezbeden bir teknoloji değildir. Püskürtme metal teknolojisi tımdengelimlidir (Throne, 2008).

4.2.3. Kalıp Tasarımı ve Elemanları

Kalıbın veya şekillendirme yüzeyinin tasarımı, nihai parçanın tasarımı ile doğru orantılı gitmelidir. Ek olarak, kalıbın tasarımı, daha önce detaylandırıldığı gibi, kalıp malzemelerinin mevcudiyetini dikkate almalıdır. Soğutma, havalandırma, alt kesimler ve yüzey dokusu kalıp tasarımında önemli unsurlardır.

4.2.3.1. Soğutma

Levha (varsa) ön ısıtmadan şekillendirme kısmına aktarılırken, makinede bulunan rezistanslar ve ön ısıtmada bulunan fırınlar aracılığıyla ısıtılır. Teknik olarak, en iyi soğutma modeli, kalıp yüzeyinin hemen altında kalıp boyunca her yerde soğutma sıvısı kanalları kullanılmasıdır. Pratik olarak, bu genellikle fiziksel olarak mümkün değildir ve bu nedenle yaygın bir uygulama değildir. Üretim alüminyumunun yüksek termal iletkenliği, soğutma sıvısı hatlarının kalıp yüzeyinden biraz uzakta olmasına izin verir. Derin olmayan ürünler şekillendirilirken, parçaların genellikle hafif ölçülü termoformunda, kalıbın kendisi soğutma hatları içermeyebilir. Bunun yerine, kalıba doğrudan bir soğutma plakasına monte edilir. Soğutma plakaları genellikle Al 6061-T veya QC7'den yapılır ve soğutma kanalları tamamen plakanın içinden derin delik yöntemi ile delinir. Daha sonra soğutucuyu plaka boyunca yönlendirmek için tapalar ile tıkamalar kullanılır. Soğutma plakası kalınlığı tipik olarak (2 inç) 50 mmdir. Soğutma kanalı çapı 13 mm'den (0,5 inç) az ve plaka kalınlığının yarısından büyük olmamalıdır (Throne, 2008).



Görsel 4.10: Tıkama ve Su Yollarının Gösterilmesi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

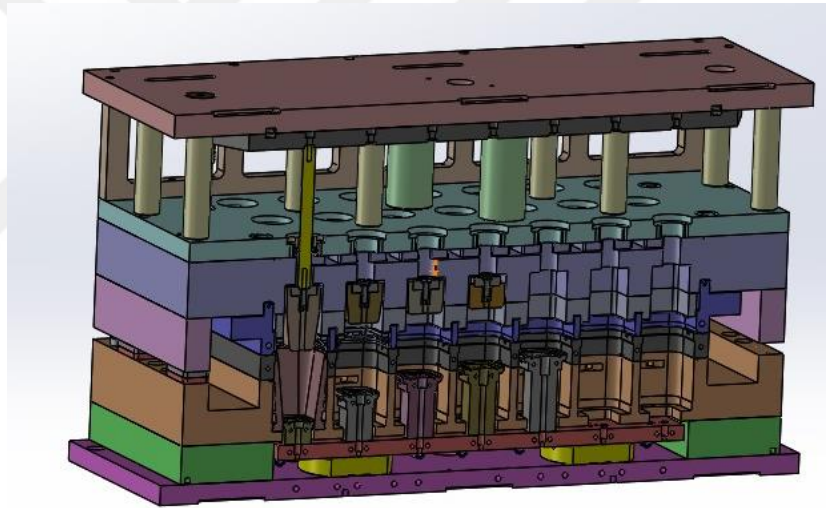


Görsel 4.11: Soğutma için Derin Delinen Deliklerin Gösterimi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Soğutma kanalları merkezde 25–50 mm’den (2 inç) fazla olmayacak şekilde 1 ila açılmalıdır. Dökme alüminyum kalıplar için soğutma sıvısı hatları genellikle kalıbın iç yüzeyine yapıştırılır. Genellikle hatları birbirine bağlayan sıkıştırma bağlantı parçalarıyla birlikte geniş çaplı bakır borular ilk tercih edilen manifoldlama kullanılarak montajlanır. Mümkünse manifoldlar kalıp yapısının dışında olmalıdır. Akış kontrolü için küresel vanalar kullanılmalıdır. Soğutma hortumlarının bükülmemesine veya kalıbın hareketini engellememesine dikkat edilmelidir. Soğutma kanalının tasarımı ne olursa olsun, başarılı parça kalite kontrolünün anahtarı, üretim süreci boyunca tekdüze kalıp yüzey sıcaklığıdır. Manifoldlama her zaman serpantinleme yerine tavsiye edilir. Soğutma sıvısı girişinden çıkışına

kadar en fazla 3 °C (5 °F) soğutma sıvısı sıcaklık artışı sağlamak için yeterli soğutma yolları gereklidir. Bu yöntemler geçmişte tercih edilse de günümüzde hafif ölçülü termoformda üretim alüminyumunun içine derin delikler delinerek soğutma sıvısı gezdirilir. Bu yöntem hem daha teknolojik hem de daha ekonomiktir (Throne, 2008).

Kalıp yüzeyi tek tip yüzey sıcaklığına sahip değildir. Rezistanslara ve ısıtıcılara yakın kısımlar daha sıcakken, uzak kısımlar daha soğuktur. Bu nedenle kalıp yüzeyinde homojen bir soğutma elde etmek mümkün değildir. Bu sıcaklıklara levhanın kalıp yüzeyine her teması da eklenmektedir. Kalıp yüzeyi aynı anda levha ve ısıtıcılar aracılığıyla ısınmaktadır. Optimum soğutma şartlarına göre yapılan tasarımlar ve doğru malzeme seçimleri ile en iyi soğutmayı elde etmek mümkündür. Hafif ölçülü termoform ürünler elde edilirken minimum maliyet maksimum verim esasına dayanarak elde edilir. Bakır boruların manifold etme yöntemleri hem işçilik hem de ekonomik olarak tercih sebebi değildir (Throne, 2008; euromak, 2023).



Görsel 4.12:Kalıp İçi Kesim
(Görsel Tasarım: euromak, 2023)

Kalıp tasarımı yapılırken makine türü ve istasyon sayısı çok önemlidir. Türkiye’de seri imalat olmayan düşük bütçeli ya da az adetli ürünler (blister gibi) ya da numune olarak üretilecek ürünler sadece şekilleme istasyonu kullanılarak manuel kesme ya da manuel dizme yöntemleri ile de elde edilebilir. Sadece makinede şekillenen ürünler bir personel aracılığıyla kesilir ve toplanır ya da şekillenip kesilen ürünler bir personel aracılığıyla elle dizilerek toplanır. Termoform makineleri yani istasyonlu makineler genellikle çok adetli seri imalat yapılacak ürünler için tercih edilir. Üretilecek kalıbın tasarım aşamasına başlamadan müşteri istekleri ve ihtiyaçları, makine bilgisi, ürünün malzemesi yani şekillenecek levhanın türü, dakikada elde

edilmek istenen ürün sayısı gibi bilgiler elde edilmelidir. Kalıp tasarımı yapılırken ilk öncelik elde edilecek olan üründür. Aynı ürün farklı kalıp tasarımları ile elde edilebilirken, ürünler kalıplar üzerinde makineye göre değişiklikler yapılarak farklı verimlerde elde edilebilir.



Görsel 4.13: Deliksiz Bir Kapak Kalıbı için Şekilleme, Kesme, Dizme İstasyonları
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Kalıp tasarımı yapılırken makine bilgisi edinilmesi gereken en önemli bilgilerden biridir. Makine ölçülerine göre sığabilecek kalıp ölçüsü hesaplanır bu hesaplama yapılırken üfleme tipi, kesim ölçüsü, malzeme tipi, itici malzemesi, bıçak türü, dizme şekli gibi bilgiler elde edilmelidir.

4.2.3.2. Alt Şekilleme ya da Gövde

Birinci istasyonda bulunan kalıbın genellikle alt tarafını oluşturan kısımdır. Bu kısım vakumun yapıldığı ürünün şekillendirildiği kısım olarak bilinir. Bazı durumlarda vakum üste bağlanarak kalıp ters de çalıştırılabilir. Vakum alta mı bağlanacak kalıp ters mi çalışacak gibi soruların cevabı ürüne bağlı olarak değişmektedir. Ürünün şekilleme, kesme, delme ya da dizmedeki uygunlukları göz önüne alınarak vakumun ve havanın yerine karar verilir. Yumurta kabı kalıbı göz önüne alındığı zaman kalıp tasarımı yapılırken ürünün yuvalarının küçük

olması, işleme-tasarım-montaj maliyetleri açısından kalıp insertlü, kilit ve kule parçaları değişken olacak şekilde tasarıma başlanır. Kalıpta bulunan kilit, ters aç, kule gibi yüksek ve erkek parçaların kalıptan çıkarılmasına destek vermek amacıyla kalıba pot çemberi tasarımı yapılır. Pot çemberi insert ile birlikte ısıtılmış levha ile ilk temas eden yüzeylerden biridir.

Sıcak yüzey ile temas eden yüzeylerin ısınma ve şekilleme bozuklukları oluşturmaması, şekillendirme hızını ve verimini düşürmemesi için sürekli soğutulmalıdır. Bu nedenle pot çemberinde su dolaştırılarak levhaya temas eden pot çemberi soğutulur. Kalıpta diğer soğutulması gereken kısım inserttür. Insert çekirdek adı verilen parça ile montajlanır ve çekirdek aracılığıyla insertte bulunan su ve havalar tahliye edilir.



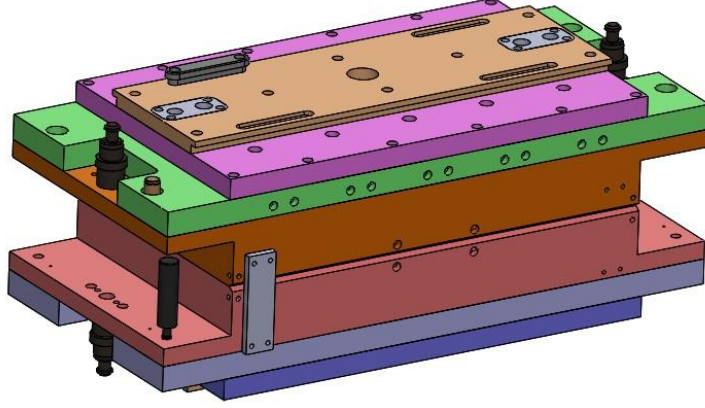
Görsel 4.14: Farklı Hava ve Isı Kullanılarak Şekillendirilen Ürün (Sol: Yanlış, Sağ: Doğru)
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

(İnpak Makina Teze Katkı Sağlamak Amacıyla Doğru ve Yanlış Şekillendirilen Ürünler İnpak Makine Firmasında Oluşturulmuştur.)

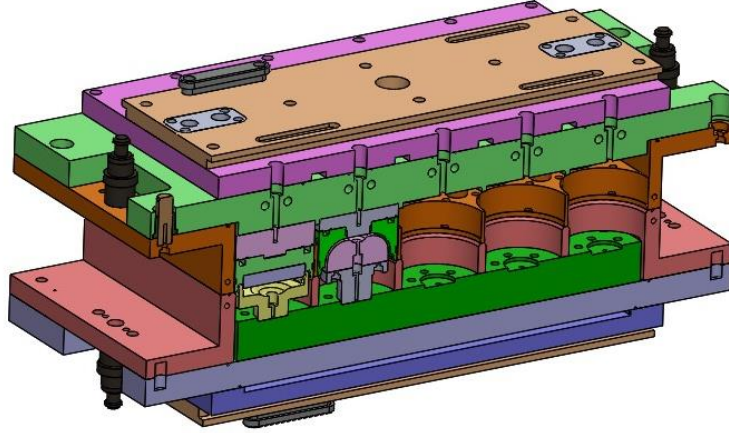
Insert levhadan aldığı ısıyı çekirdekte bulunan kanallarda dolaşan suya ısı transferi aracılığıyla aktarılır. Bu sisteme evlerde bulunan kalorifer sistemleri de örnek gösterilebilir. Levha ile temas eden inserte soğutma suyu ve vakumu sağlaması için yeterince hava tahliye delikleri eklenmelidir. Çekirdeğe toplanan havalar çekirdek altı adı verilen vakum plakasına toplanır buradan makinede vakum yapılabilmesi için makine bağlantı plakasına aktarılır ve makineden verilen hava geri toplanır. Oluşturulan vakum sayesinde levha ile insert arasındaki hava çekirdekten aktarılarak levhanın insert yüzeyine sıvanmasına ve bu sayede levhanın insert yüzeyini kopyalaması sağlanır.

Levha yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılır ve kalıp yüzeyinin kopyalaması sağlanır. Bu nedenle levha ile temas eden kısımların soğutulması gerekir. Levhanın kalıp yüzeyini kopyalayabilmesi için vakum gereklidir. Bu vakum basınçlı hava ile sağlanır. Görsel 4.20’de

görüldüğü gibi pot çemberi, insert, çekirdek, çekirdek altı, makine bağlantı ve pot çemberi itici plakası görülmektedir. Pot çemberi itici ya da pot çemberi hareket plakası adı verilen bu plaka pot çemberine çekirdeğin içinden kromlu miller aracılığıyla bağlanarak pot çemberinin yukarı aşağı hareket etmesi sağlanır. Pot çemberi levha kalıp yüzeyini kopyaladığı zaman kalıp yüzeyinden kalkmasını ve ters açılı, kilit gibi mekanizmalardan levhanın kurtulmasını sağlar.



Görsel 4.15: Sabit Üflemlili Negatif Kapak Kalıbı (Üfleme Alt, Şekilleme Üst Tarafta)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.16: Sabit Üflemlili Negatif Kapak Kalıbı Kesit Görünümü
(Üfleme Alt, Şekilleme Üst Tarafta, Alt tarafta Sarı Kestamid İtici, Pembe Hytac İtici)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Termoform kalıplarında havalandırma ve soğutma en önemli iki unsurdur. Kontrol edilebilir hava tahliye sistemlerine sahip kalıplarda kaliteli parçalar yapılmalıdır. Ürünün elde edileceği kısımlarda tahliye, birincil kalıp yüzeyinden açılan vakum veya havalandırma delikleri ile başlar. Bu vakum delikleri, bir plenum veya vakum kutusuna bağlı işlenmiş vakum kanallarına bağlanır. Kalıbın bir döküm kabuk olduğu ağır ölçülü termoform için, kalıbın arkası

ile kalıp tabanı arasındaki hacim bir plenum görevi görür. Hafif ısıtma şekillendirme için, genellikle kalıp ile soğutma plakası veya pres plakası arasında ayrı bir vakum kutusu kullanılır. Plenum veya vakum kutusu, geniş çaplı, dahili olarak pürüzsüz bir vakum hattı aracılığıyla vakum pompasına ve dengeleme tankına bağlanır. Vakum kutusu ile dengeleme deposu arasına sıralı olarak solenoidle çalıştırılan bir döner valf yerleştirilmiştir. Bu sayede vakum kutusu ya da vakum plakası olarak adlandırılan sistem, havanın kalıp içerisinde daha iyi yönlendirilmesini sağlar. Tüm kalıplar, pozitif kalıp yüzeyi ile sıcak, gerilen levha arasında sıkışan kalıp boşluğu havasını hızlı bir şekilde çıkarmak için yeterli havalandırmaya ihtiyaç duyar.

Vakum veya havalandırma deliklerinin sayısı, kalıp boşluğundan hava tahliye hızı tarafından belirlenir. Levhanın esnemesinin kalıp içindeki bir hava yastığı tarafından kısıtlanmaması zorunludur. Herhangi bir vakum deliğinin çapı, onu kaplayan levhanın kalınlığını geçmemelidir. Vakum deliği çok büyükse, levha ısıyla onun içine girecektir. Oluşturulan kısımda ortaya çıkan uç veya emzik istenmeyen bir durum olabilir. Levha, vakum deliğine çekilirken gerçekten kırılabilir ve özellikle parça sınırları tutacak şekilde tasarlanmışsa, parçayı kullanılamaz hale getirir. Yaygın olarak açılan en küçük vakum deliği Ø80 veya 0,34 mm (0,0135 inç)⁴ çapındadır (Throne, 2008).

Daha önce açıklandığı gibi, daha küçük vakum deliklerinin gerekli olduğu bölgelerde mikron boyutlu gözeneklere sahip gözenekli sinterlenmiş metaller kullanılır. Elektrik boşaltma işleme (EDM), 0,3–6 mm (0,012–0,240 inç) çapında delikler ve 0,12 mm (0,005 inç) genişliğinde yuvalar delmek için kullanılır. Karbondioksit lazerleri, 10 mikron çapında delikler oluşturmak üzere nispeten ince kalıp alanlarını delmek için kullanılabilir. Bu daha egzotik ve pahalı teknikler, çok ince şeffaf plastikler için kalıplarda hava tahliye delikleri oluşturmak için kullanılır. Vakum veya havalandırma deliklerinin yerleştirilmesi her zaman önemlidir. Plastik levha, bir kalıbın üç boyutlu ve yatay iki boyutlu köşelerine en son gerilir. Bunun sonucu olarak levhanın kalıbın şeklini alabilmesi için bu alanlarda her zaman vakum delikleri gereklidir. Vakum delikleri ayrıca kalıbın dikey iki boyutlu köşeleri, dikey yüzeyleri, dudak ve kenar bölgeleri boyunca yer alır. Vakum delikleri genellikle bölmeler, çıkıntılar ve logolar gibi yükseltilmiş bölgelerde dişi veya negatif kalıplara dahil edilir. Havanın gerilen plastik tarafından hapsolmesini önlemek için vakum delikleri genellikle düz, çok pürüzsüz yatay yüzeyler boyunca bir ızgara düzeninde yerleştirilir. Vakum delikleri köşelerde kümелendiğinde

⁴Hafif ölçülü termoform ürünleri elde edilirken şekillendirilecek levhaya göre vakum yapacak delik çapı Ø0,4–Ø0,6 aralığında tercih edilmektedir (euromak, 2023).

en etkili hale gelmiş olmasına rağmen, estetik nedenlerle genellikle kenarlar boyunca düzenli aralıklarla yerleştirilirler.

Geleneksel vakumlu şekillendirmede, sıcak plastik levha, kalıp yüzeyindeki ince detayları kopyalamaz. Polimerin düşük basıncı ve kauçuksu katı yapısı, levhanın yaklaşık olarak 0,05 mm (0,002 inç) yükseklikten daha küçük kalıp yüzeyi ayrıntılarını kopyalamasını engeller. Sıcak plastik levha daha soğuk bir kalıp yüzeyine temas ettiğinde, mat bir yüzey oluşur. Bir parçanın parlak bir yüzeye sahip olması gerekiyorsa, serbest üfleli açıklıklarda olduğu gibi kalıpsız şekillendirilebilir. Parça yüzeyi ayrıca alevle işlenebilir veya 2400 grit Crocus kumaşla parlatılabilir.

Basınçla şekillendirilen parçalar ya da çok sıcak kauçuksu katı veya elastik sıvı polimerler için 0,01 mm (0,0004 inç) kadar ince kalıp yüzey dokuları kopyalanabilir. Mat yüzeyli bir parça üretmenin yaygın yolu, kalıp yüzeyini kumlamak veya taşlamaktır. Altmış ila 100 gözenekli kum püskürtmeli bir yüzey tipik olarak 0,2–0,3 mm (0,008–0,010 inç) pürüzlülük boyutuna sahiptir. Kimyasal aşındırma genellikle kalıp yüzeyinde deri veya ahşap damar gibi bir desen oluşturmak için kullanılır. Kimyasal olarak oyulmuş kalıp yüzeyleri, 0,013–0,13 mm'ye (0,0005–0,005 inç) kadar pürüzlülük boyutlarına sahip olabilir. Kimyasal olarak kazınmış kalıp yüzeylerinin çok ince dokusu, yalnızca basınçla şekillendirilmiş sıcak levha ile doğru ve güvenilir bir şekilde kopyalanabilir. Elektroform nikel kalıpları, boyut olarak 0,013 mm'den (<0,0005 inç) daha küçük doku ayrıntılarına ulaşabilir.

Alüminyum yoğunluğu, döküm kalıp yüzeyinde bir miktar değişiklik gösterebileceğinden, dökme alüminyum tekstüre edilirken dikkatli olunmalıdır. Yumuşak noktalar, sert noktalardan daha fazla doku derinliği gösterebilir. Kalıbın bir kısmı kaynaklanmışsa, bu bölge kalıbın geri kalanından farklı doku derinliği de gösterebilir. Değişken doku derinliğine sahip bir kalıba karşı oluşturulan parçaların yüzeyi lekeli görünecektir. Doku derinliği ve yapısı, parçanın kalıptan ayrılmasını etkileyebilir. Dikey kalıp yüzeylerindeki derin doku, alttan kesme işlevi görerek parçanın ayrılmasını zorlaştırabilir veya imkansız hale getirebilir. Derin dokunun erkek kısımlarında da negatif çekim varsa yani desen ya da doku levhayı aşağı çekiyorsa ve levha çok sıcaksa, yatay kalıp yüzey alanlarında bile levhanın parçayı oluşturan kısmı dokuya kilitlenebilir ve doku ile bütünleşebilir.

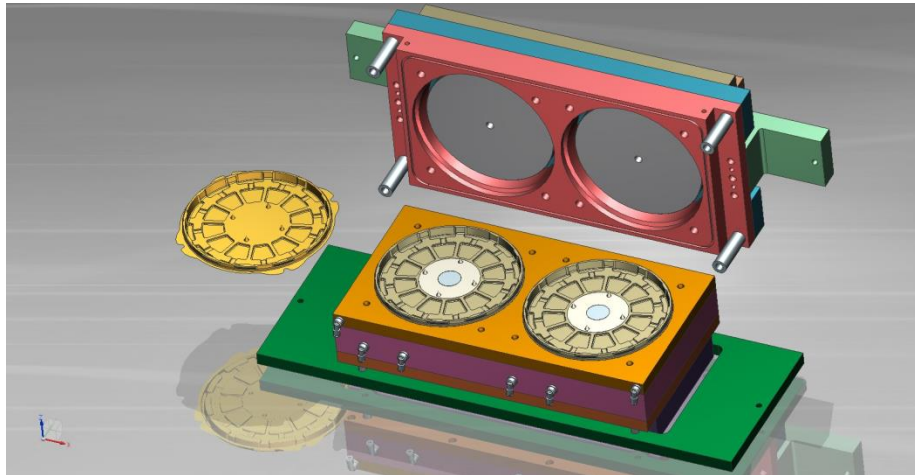
Dokulu ya da desenli yüzeye sahip bir parça oluşturmak için çoğu tasarımcı, dokulu bir kalıp yüzeyi ve pürüzsüz bir levha seçer. Bununla birlikte, dokulu görünüm yüzeyinin serbest

yüzey olması gerektiği gibi, pürüzsüz bir kalıp yüzeyinin ve dokulu bir levhanın kullanıldığı durumlar da vardır. Prototip kalıplarda sıklıkla olduğu gibi, kalıbın tekstüre edilemediği durumlar vardır. Ayrıca, kalıp tasarımında istenen doku, tüm kalıp yüzeyi üzerinde eşit olarak uygulanamayacak şekilde olabilir. Bu gibi durumlarda levha, polimerin dokulu bir ruloya karşı ekstrüde edilmesiyle dokulu hale getirilir.

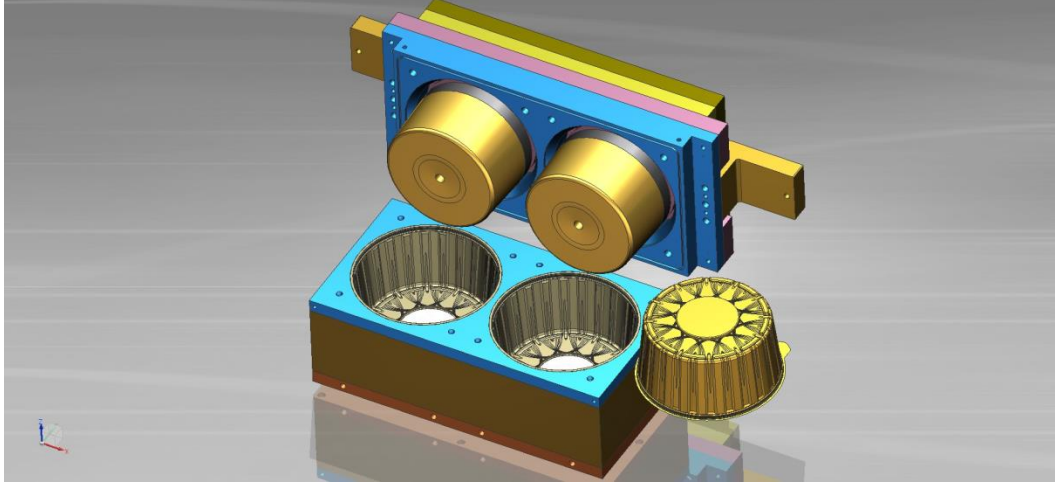
Dokulu levha ile çalışmanın en büyük sınırlaması, doku düzleştirme veya dokuları oluşturan görünümün yüzeysel pürüzlülüğüdür. Bu, levha yüzeyi ısıtılırken gevşediği için dokunun bir kısmının kaybolduğu anlamına gelir. Levha kalıba karşı gerildiğinde doku da kaybolur. Bu özellikle iki boyutlu ve üç boyutlu erkek veya pozitif köşelerde kritik bir konudur. Genel kural, doku aşınmasını en aza indirmek için, her yerde şekillendirilmiş parça kalınlığının her zaman orijinal levha kalınlığının %50'sinden fazla olması gerektiğidir.

Tablo 4.1: Bazı Yaygın Plastiklerin Tipik Viskozite Faktörleri(Crawford, 2020).

Malzeme	Viskozite Faktörü
Polietilen, Polipropilen, Polistiren	1
Nylon 66	1.2 → 1.4
ABS	1.3 → 1.4
Akrilik	1.5 → 1.7
PVC	1.6 → 1.8
Polikarbonat	1.7 → 2.0



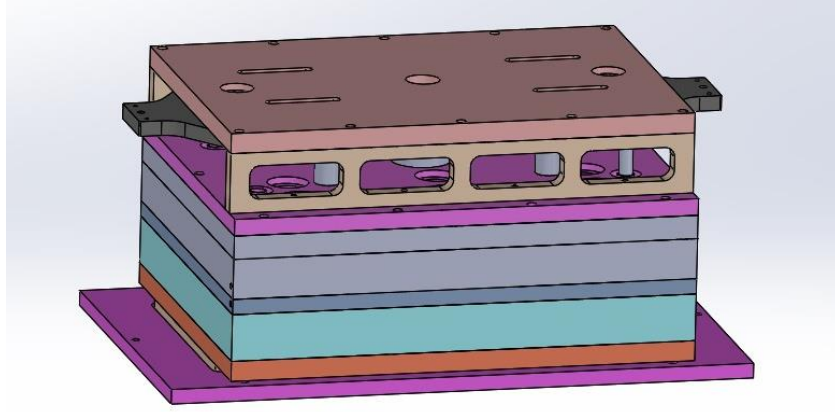
Görsel 4.17: Pasta Kabı Kalıbı(Taban) (euromak, 2023)



Görsel 4.18: Pasta Kabı Kalıbı (Kapak) (euromak, 2023)



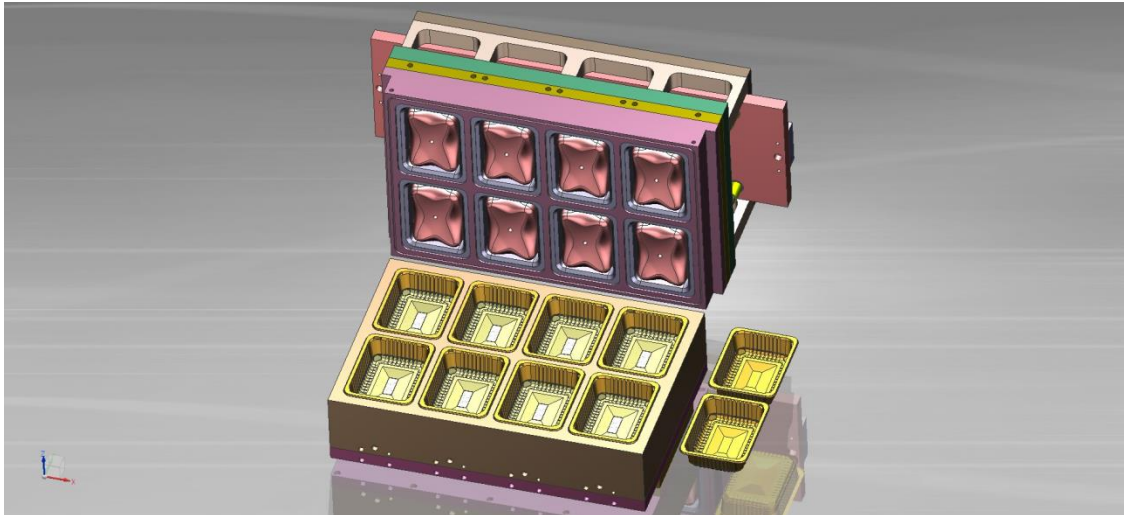
Görsel 4.19:3 İstasyonlu Makinelerde Bulunan Şekilleme, Kesme ve Standart ABC Dizme İstasyonlarının Şematik Gösterimi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



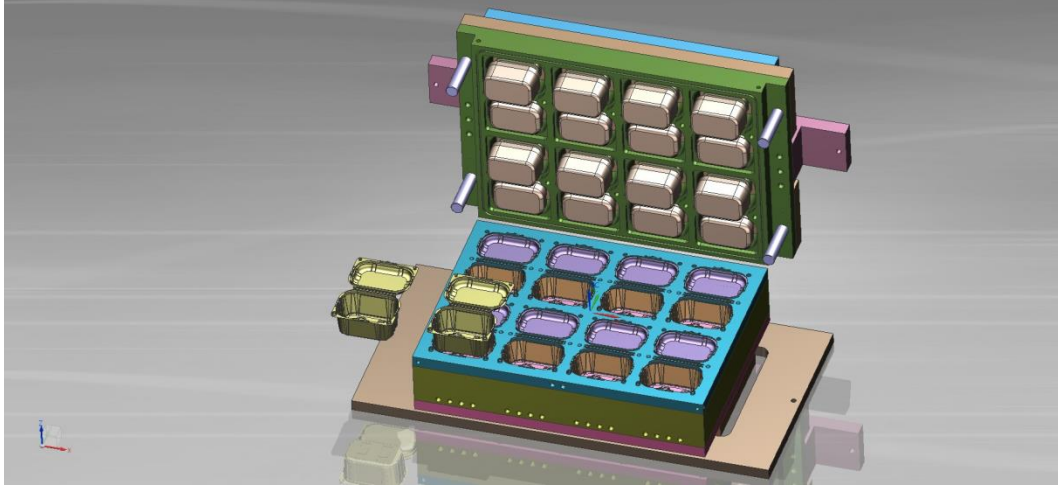
Görsel 4.20: Kromlu Miller Aracılığıyla Pot Çemberi ve Pot Çemberi İtici Plakası İle Hareketin Şematik Gösterimi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

4.2.3.3. Üfleme

Birinci istasyonda bulunan kalıbın üst tarafını oluşturan kısımdır. Bu kısım havanın verildiği ya da adından da anlaşılacağı gibi havanın üflendiği, ürünün şekillendirilmesi için levhanın kalıp yüzeyine gerilmesini sağlayan kısım olarak bilinir. Bazı durumlarda vakum üste bağlanarak kalıp ters de çalıştırılabilir. Havanın alt ya da üst tarafa bağlanması ya da kalıbın ters çalışması ürüne bağlı olarak değişmektedir. Ürünün şekilleme, kesme, delme ya da dizmedeki uygunlukları göz önüne alınarak karar verilir. Kalıp farklı ürün derinliklerine sahipse ya da ürünler birbirine benzer tasarımlara sahipse her bir ürün için farklı sabit/standart üfleme yapmak yerine, kalıp maliyetinden tasarruf etmek için servo üfleme yapılır.



Görsel 4.21: Servo Üflemeli Et Kabı Kalıbı (euromak, 2023)



Görsel 4.22: Standart (Sabit) Üflemele Kendinden Kapaklı Cherry Kabı Kalıbı (euromak, 2023)

Servo üfleme iticinin hareketine müdahale etme imkanı verdiği için ürün formuna müdahale edilebilir, levhanın insert duvarlarında mı, tabanda mı yoksa homojen bir ürün mü elde edilmek istendiği şekilleyicinin isteğine göre karar verme imkanı sunar. Üfleme kısmında havanın doğru zamanda ve homojen verilmesi, iticinin şekillenmesi zor alanlara doğru mesafede girerek bayrak yapacak kısımları engellemesi, levha ile temas eden yerlerin soğutulmasına destek sağlamak, üfleme kısmında levhanın her gözde eşit miktarda şekillenmesinin sağlanması bu kısımdaki en önemli faktörlerdir.

4.2.3.4. İtici (Plug) Asistanlar

Kabarcıklı köpükler, naylon (PA) ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) gibi katı plastikler, ısıtılmış alüminyum ve keçe kaplı ahşap mekanik iticilerin ön gerdirilmesi için genel seçeneklerdir. Malzeme seçimi birkaç faktöre bağlıdır:⁵

Kabarcıklı ya da sentaktik köpük, sinterlenmiş veya köpüklenmiş uçucu kül, fenolik veya içi boş cam mikrokürelerinin poliüretan, fenolik veya epoksi reçineye dahil edilmesiyle yapılır. Polimer köpürtülebilir veya köpürtülmeyebilir. Kabarcıklı köpükler genellikle 200–800 kg/m³ (12–50 lb/ft³) yoğunlukta plakalar veya çubuklar olarak bulunur. Dökülebilir versiyonları da mevcuttur. Kabarcıklı köpükler, karbür uçlu kesme yüzeyleriyle kolayca işlenir ve delinir. Ticari ürünlerin basınç dayanımları büyük ölçüde yoğunluğa bağlıdır. Vakumlu kalıplama uygulamaları için basınç dayanımları 44 MPa'dan (6.500 psi) büyük olmalıdır. Sentaktik

⁵ İtici seçimi ve tasarımı yapılırken kalıp maliyeti ve şekillendirilecek plastik göz önüne alınır. Termoform kalıp üreticileri genellikle kabarcıklı köpük kullanırken şekillendirilmiş levha üzerinde en yüksek verimi elde eder. Kalıp maliyeti kabarcıklı köpüğe uygun değilse yüksek sıcaklığa dayanımı, plastiğe karşı yüksek ısı dayanımı ve levhaya kayganlaştırıcı özellikler sağlamasıyla bilinen PET malzeme de tercih faktörleri arasındadır.

köpükler, orta basınçta biçimlendirme operasyonları için kullanılabilse de, yüksek basınçlı biçimlendirmede veya uzun çalışmalarda kalıplar kadar iyi sonuç vermezler. Genellikle itici malzemesi olarak kullanılırlar. Kabarcıklı köpükler tündengelim malzemeleridir (Throne, 2008; Illıg, 2001).

- İşlem üretim veya prototipe bağılıdır.
- İtici tasarımı zamanla değişikliklere uğrayarak sağlamlaştırılır.
- İtici malzemesi şekillenecek polimer levhaya göre tercih edilir.
- İtici seçimi yapılırken değişken sıcaklıklara dikkat edilmelidir.
- Levha lamine ya da kompozit olabilir.
- Levha kalın ya da ince olabilir.
- Levha itici malzemesi için tavsiye edilen sıcaklığın üzerinde olabilir.
- İtici tasarlanırken ve malzemesi seçilirken üretilcek ürün dikkate alınmalıdır.

Tahta iticiler, hafif olmak, kolayca üretilir ve yeniden işlenir, mükemmel sıkıştırılabilirliğe ve düşük termal iletkenliğe sahip oldukları için çoğu prototipleme işleminde ve birçok ağır ölçülü üretimde kullanılır. Birincil yüzey, iticiden plastik yüzeye tane transferini en aza indirmek ve ek ısı yalıtımı sağlamak için genellikle keçe ile kaplanır. Sentaktik yani kabarcıklı köpükler, yüksek performanslı hafif ölçülü termoformda, iticiler için özel olarak geliştirilmiştir. Nihai itici tasarımı, itici izini en aza indirmek için poliüretan (PUR), epoksi veya floroetilen polimer (FEP) ile sonradan kaplanabilse de, daha yeni sentaktik itici malzemeleri bu yumuşatma malzemeleriyle emprenye edilir. Sıcaklık kontrollü işlenmiş alüminyum ve çelik iticilerden üretildiğinde levhanın yapışmasını veya soğumasını en aza indirmek için itici sıcaklığının dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gereken veya iticinin şekillendirme sıcaklığında levhanın direncinin üstesinden gelecek kadar sağlam olması gereken yerlerde kullanılır. Ayrıca iticinin şekli nihai parçanın şekline bağlıdır. İticinin tek amacı şekillendirilebilir levhayı kalın alanlardan ince alanlara doğru germek ve kalıbın şeklini almasına yardımcı olmaktır. Nihai itici şekli bu nedenle parçanın şekline ve ince alanların konumlarına göre belirlenir.

Tablo 4.2: İtici Tasarım Özellikleri – İtici Malzemesinin Polimerle Eşleştirilmesi

Tahta	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE), ABS, Yüksek Etkili Polistiren (HIPS), Naylon (PA), Politetrafloroetilen (PTFE), Floroetilen Polimer (FEP), Polivinil Klorür (PVC), Poliolefin (PO), Polipropilen (PP)
Kabarcıklı Köpük	Yüksek Etkili Polistiren (HIPS), ABS, Amorf Polietilen Tereftalat (APET), Polivinil Klorür (PVC)
Epoksi	Amorf Polietilen Tereftalat (APET), Polioksümetilen (Asetal veya POM)
Isıtılmış, Kaplanmış Alüminyum	Kristalleşen Polietilen Tereftalat (CPET), Yönlendirilmiş Polistiren (OPS), Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE)
Isıtılmış, Kaplanmış Çelik	Dolgulu Veya Güçlendirilmiş Yüksek Sıcaklık Levhası

Keçelerin birçok türü vardır. En dayanıklı keçe tipi bilardo masası keçesidir. Fötr keçe genellikle pahalı bir tavşan derisi olmasına rağmen kolayca aşınır.

İtici şeklini belirlemenin en doğru yolu basit olarak vakumla şekillendirme ile oluşturulmuş parçanın en ince bölgesini belirlemek ve ardından parçanın tasarım bütünlüğünü olumsuz yönde etkilemeden ürünün şekillendirilmesi gereken yerel bölgeyi belirlemektir. Sonlu elemanlar yöntemine (FEM) dayalı bilgisayar destekli matematiksel modeller kullanılarak itici tasarım öğelerine yardımcı olunur. Bununla birlikte, itici tasarımının son şekli genellikle deneme yanılma yoluyla belirlenir, bunun anlamı itici tasarlanırken bilgisayar destekli yöntemler ile testler yapılsa da, itici tasarımlarının her zaman malzeme açısından güvenli olması, sentaktik köpük gibi kolayca işlenen malzemelerden yapılması gerektiği anlamına gelir.



Görsel 4.23: İtici (Plug Assistant) Hytac FLX ve Hytac WFT
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.24: Kestamid İtici
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



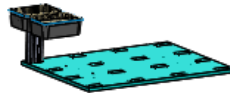
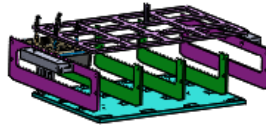
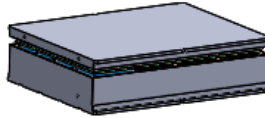
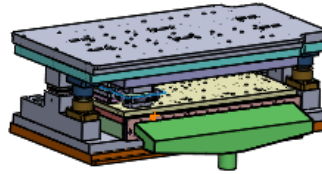
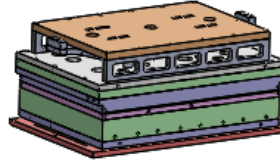
Görsel 4.25: 3 Bölmeli Yemek Kabı için Delrin İtici
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



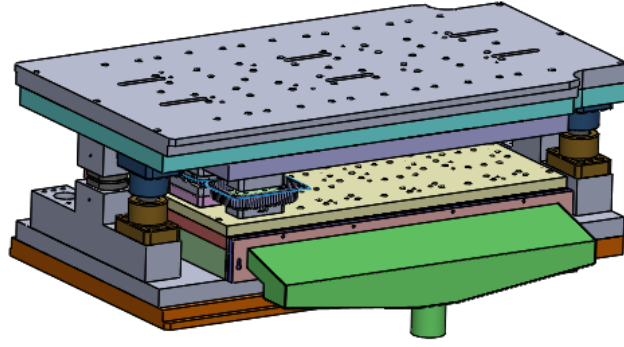
Görsel 4.26: Delrin Adı Verilen Plastiğe Bağlanan Hytac İtici Grubu
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

4.2.3.5. Delme Grubu

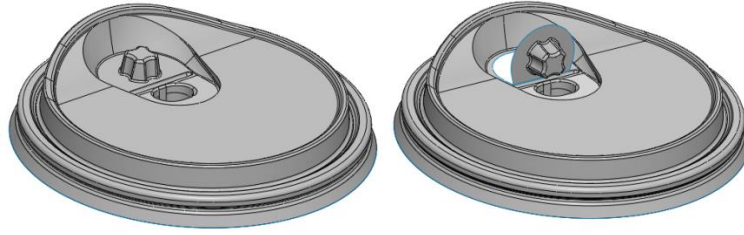
Dört istasyonlu makinelerin ikinci istasyonunda bulunan delme bir ürüne delik, yarık, çarpı, c şeklinde kesikler açmak için kullanılan gruptur.



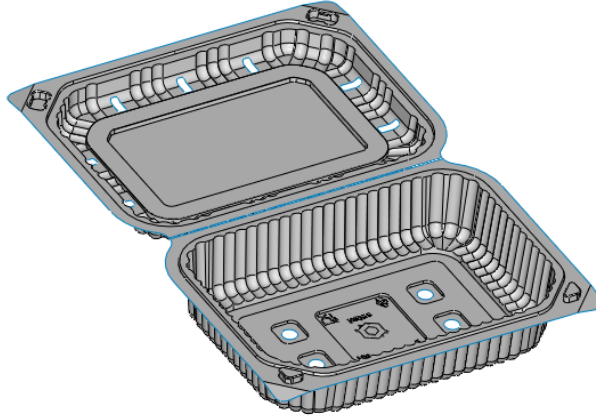
Görsel 4.27:4 İstasyonlu Makinelerde Bulunan Şekilleme, Delme, Kesme ve Robot Dizme İstasyonlarının Şematik Gösterimi (Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



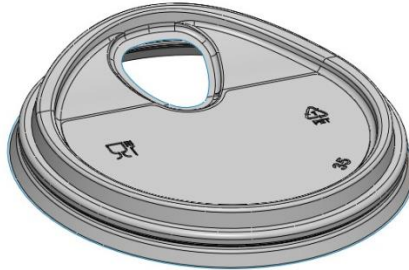
Görsel 4.28: Delme İstasyonunun 3 Boyutlu Tasarımı
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



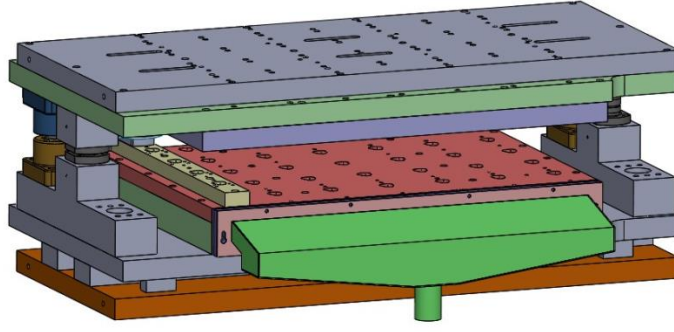
Görsel 4.29: Delme Grubunda Katlama Kesimi Yapılmış Kapak Modeli
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.30: Kap ve Kapak Kısımında Delme Boşlukları Olan Kendinden Kapaklı Kap
(Görsel Tasarım: euromak, 2023)

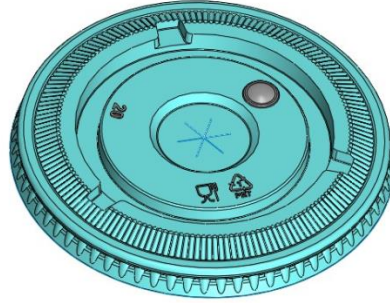


Görsel 4.31: Oval Delikli Kapak Tasarımı
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

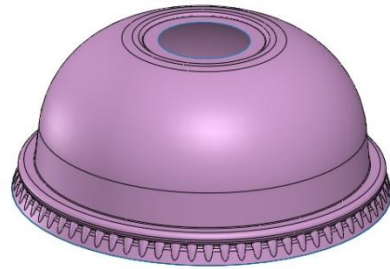


Görsel 4.32: Oval Delikli Kapak için Delme İstasyonunun Şematik Gösterimi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

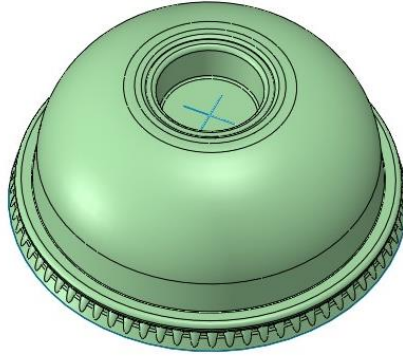
Delme grubu bir üründen parça koparmak ya da ürün üzerinde belirtilen bir şekilde kesik açmak için kullanılır. Delme grubunun çalıştırılabilmesi için 4 istasyonlu yani delme istasyonu bulunan makineler gereklidir. Termoform ürünleri delme istasyonu bulunmayan makinelerde şekillenerek sonradan manuel ya da otomatik delinerek de elde edilmektedir ancak sonradan delinen ürünlerde maliyet faktörü önemli olduğu için istasyonlu makineler tercih sebebidir. Bazı ürünlerde kesimler delme grubu olmadan da yapılabilir. C, X, U gibi üründen parça koparmadan yapılan işlemler ürün kesme istasyonundayken bıçağa eklenen bıçak sayesinde elde edilebilir.



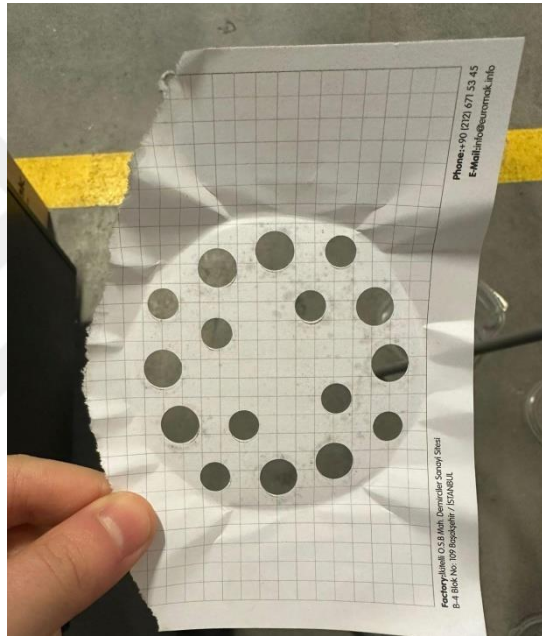
Görsel 4.33: Yıldız (*) Delme
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.34: Delme İstasyonunda Yapılmak Zorunda Olan Yuvarlak Delme
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



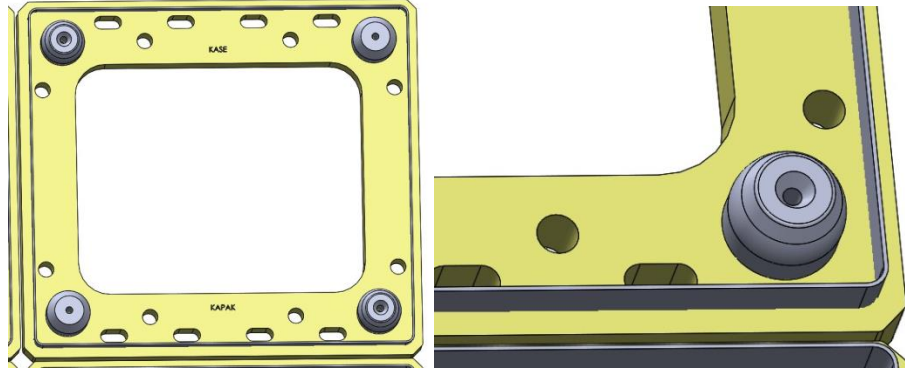
Görsel 4.35:X Delme
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



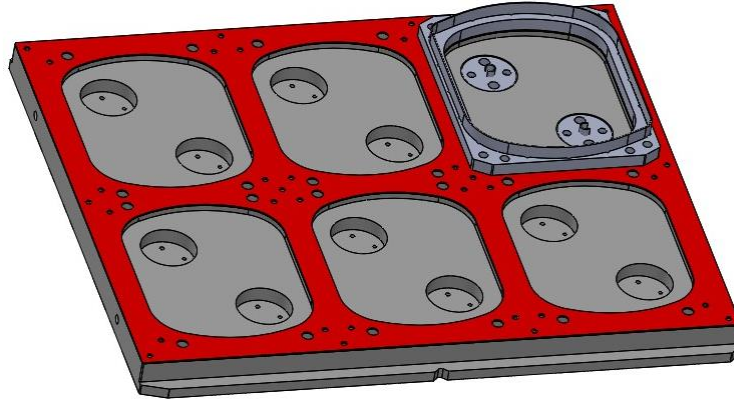
Görsel 4.36: Delme İşleminin Zımbaların Kağıt ile Denenmesi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

4.2.3.6. Kesim Grubu

İki istasyonlu makinede birinci istasyonda üfleme kısmına bağlı olarak, üç istasyonlu makinede ikinci, dört istasyonlu makinede de üçüncü kısımda bulunan kesme istasyonunda çalışan gruptur. Gövde ve üfleme tarafından şekillenen levha, kalıp yüzeyini kopyalayan ürün adı verilen kısmı levhadan ayırmak için kullanılır. Genellikle üst tarafta bıçaklar alt tarafta da kesim karşılığı bulunsa da, bazı durumlarda ve bazı makinelerde tam tersi de olmaktadır. Delmede elde edilebilecek olan bazı kısımlar, delme grubu kullanılmadan kesmede de üretilebilir.

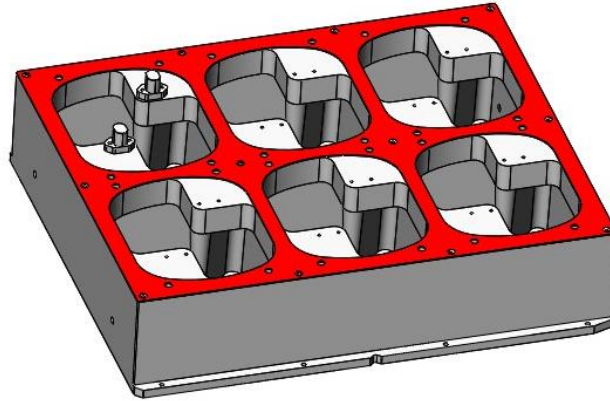


Görsel 4.37:Bıçakta Fiber Merkezleme
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.38: Bıçak Altı Plakası, Bıçak ve C Bıçaklar
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Bıçak altı ürünlerin kesilmesi için kullanılan bıçakların bağlandığı plakaya denir. Bıçak altına X, C, U gibi kesim çizgileri için bu bıçaklar da eklenebilir. Bıçak altını ve bıçağı ürünün kesim ölçüsü belirler. Ürün merkezleme pimleri ya da fiber merkezlemeler ile etek kısımları eşit olacak şekilde kesilir.

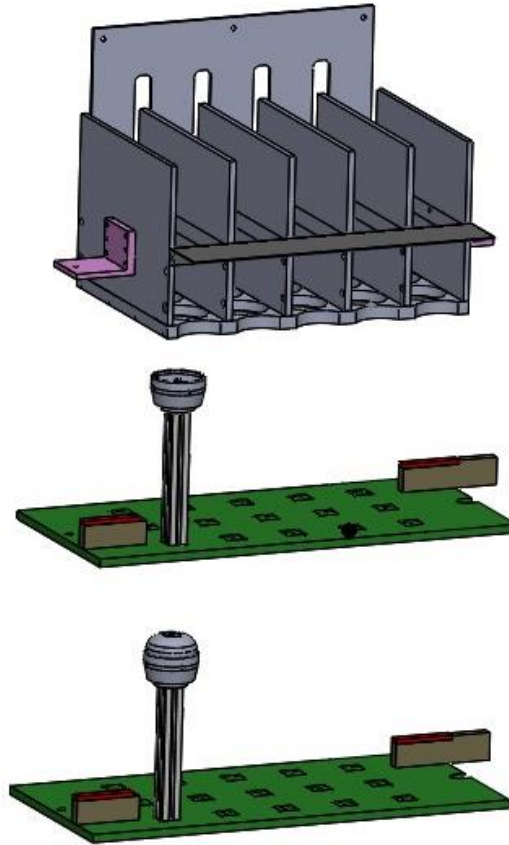


Görsel 4.39: Kesim Altı ve C Kesim Karşılığı
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Kesim Altı dökümden ya da alüminyumdan yapılabilen, bıçaklar ürünü keserken bıçakların degeceği kesim karşılığını oluşturan kısımdır. Bıçağın keskin yüzü ve bıçağın sırt kısmı alüminyuma zarar verecek ya da deforme edecek seviyede olduğu için daha uzun ömürlü olan çelik saclar ya da çelik plakalar ile oluşturulur.

4.2.3.7. Dizme

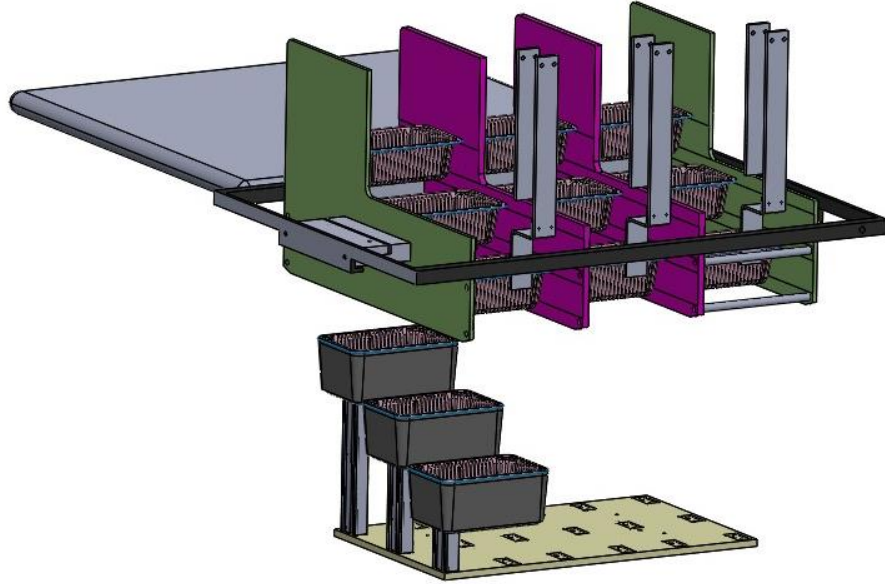
Şekillenen ve kesilen ürünlerin istenen adette üst üste dizildiği istasyondur. Makinede bu istasyondan çıkan ürünler konveyör aracılığıyla paketlenmek üzere bir robot ya da görevli personel tarafından kutulanır. Dizme grubu ürün tipine göre farklılık gösterir. Ürünlerin üst üste dizdirilmesinin birçok farklı yolu vardır. Ürünler kalıbın çevrim hızı göz önüne alınarak dizdirilir. Ürünlerin üzerinde bulunan bayrak gibi deformasyon dizmede istif mesafesini, üst üste konulduğunda sabit ya da homojen durmasını engeller. Dizme mesafesi aynı zamanda kutu içine konulacak ürün adetine de etki etmektedir.



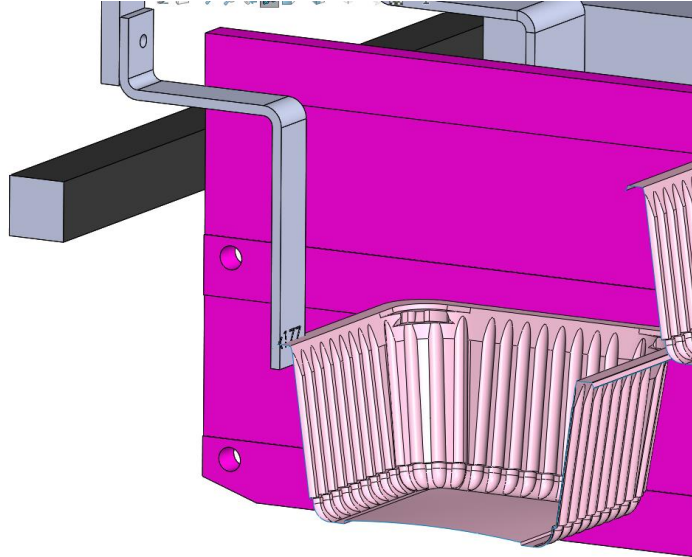
Görsel 4.40: Düz ve Bombe Kapağın Aynı İstasyonda Dizilmesinin Şematik Gösterimi
(Görsel Tasarım: euromak, 2023)

a. Standart Dizme

Standart dizme bir ürünün dizme istasyonunda dizme duvarlarında bulunan yaprak yaylara üst üste dizilerek konveyöre aktarılmasını ifade eder. Standart dizmede ürünlerin iç içe geçmesini engellemek için ters açılı ya da AB, ABC, ABCD gibi kalıpta insert üzerine şaşırtmalar eklenerek dizmesi ile elde etmek mümkündür.



Görsel 4.41: Standart ABC Dizme
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

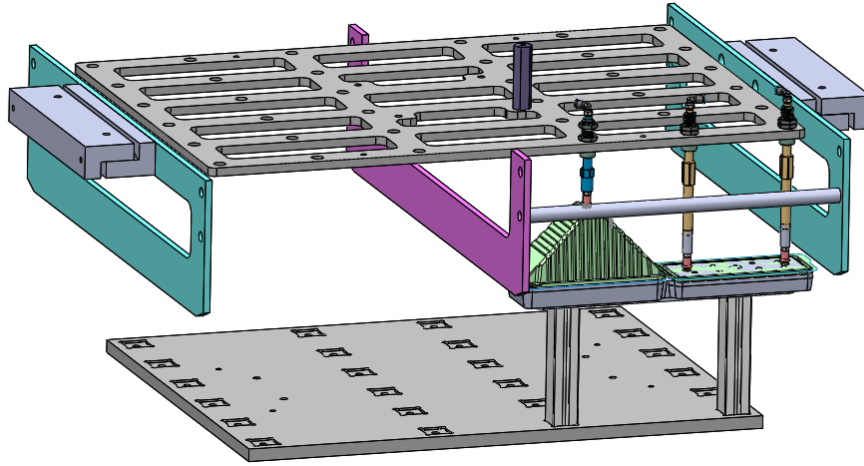


Görsel 4.42: Standart ABC Dizmede 1. Kademenin Şematik Gösterimi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)

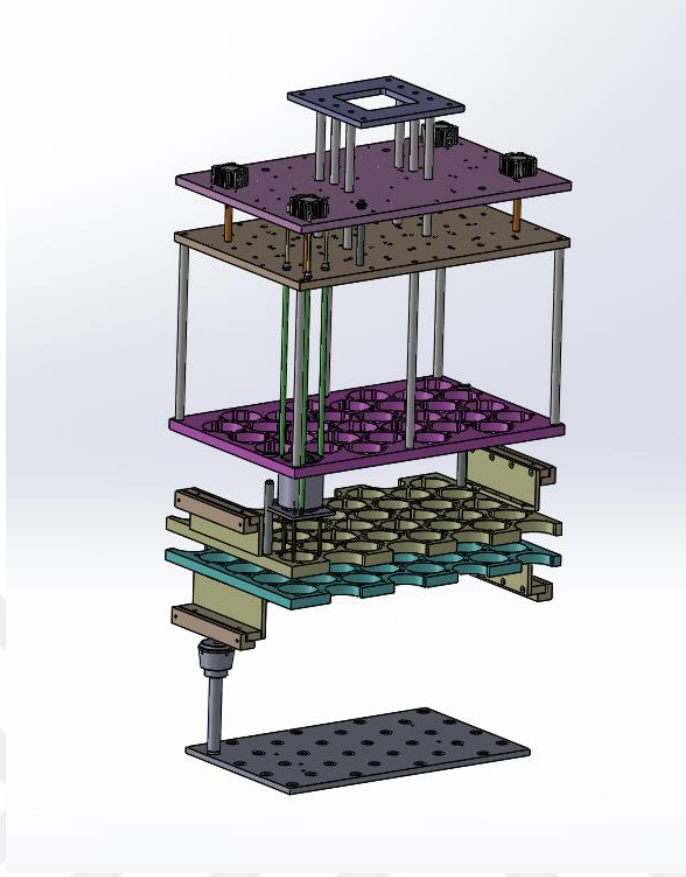
b. Robot Dizme

Robot dizme makinede bulunan robot kolunun ürünleri dizmesi olarak bilinse de robot dizme ve kapak robot dizme olmak üzere 2 gruba ayrılabilir. Görsel 4.43'de gösterildiği gibi vantuz plakasına bağlanan vantuzlar aracılığıyla ürünler dizici kafalarından alınarak konveyör üzerine üst üste dizilir. Bu işlem için makinede robot seçeneğinin bulunması gerekir. Termoform makinelerinde istasyon numarasının yanında bulunan R harfi makinede robot opsiyonunun bulunduğunu gösterir. Makinelerde bulunan opsiyonlar aracılığıyla ürünleri birçok farklı yöntemle dizdirmek mümkündür.

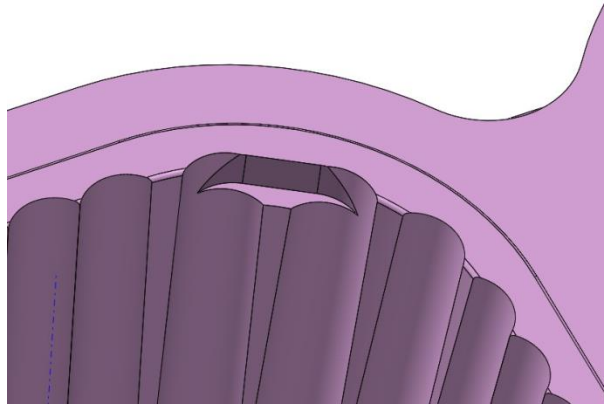
Görsel 4.44'de gösterilen kapak robot dizme standart dizme ve robot dizme ile aynı mantıkta işlemekte, robot dizmede olduğu gibi ürünlerin konveyör üzerinde dizdirilmesini sağlamaktadır. Alt kıştırma adı verilen plaka ürünü levhadan ayırarak üst kıştırma adı verilen plakaya dizici kafalar aracılığıyla dizdirilir. Robot millerinde üst üste dizdirilen ürünler istenilen adetlere ulaşıncı üst kısım yani robot devreye girerek dizdirilmiş ürünleri konveyöre getirir. Pnömatik sistem ile tırnaklar açılarak dizilmiş ürünleri konveyörün üzerine bırakır. Belli bir dizme mesafesinde dizdirilebilmek, kullanıcının ürünleri rahat alması, sıkışmayı engellemek gibi amaçlarla ürünlere çentik gibi görünen bir şekil eklenir. Bu çentik ters açılı ya da şaşırtma olarak adlandırılabilir.



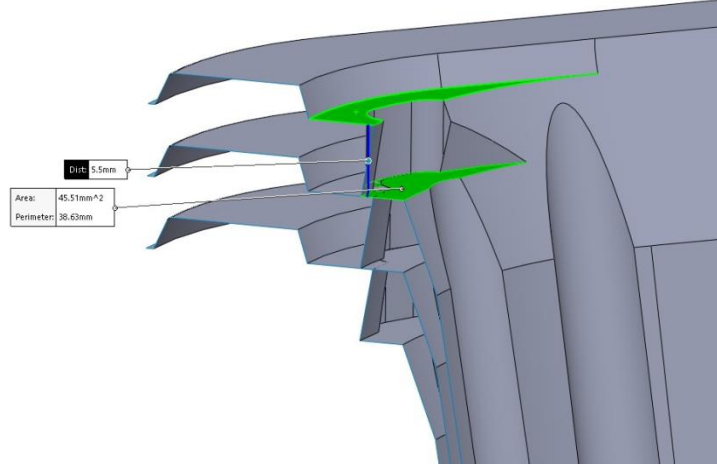
Görsel 4.43: Vantuz Plakası ile Ürünlerin Dizilmesi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



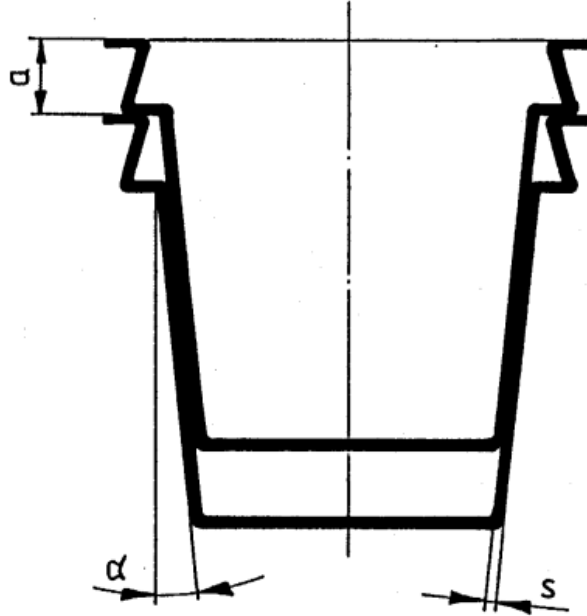
Görsel 4.44: Kapak Robot Dizme
(Görsel Tasarım: euromak, 2023)



Görsel 4.45: Ürünlerin İç İçe Geçmesini Engellemek İçin Eklenen Ters Açılar
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.46: Ürünlerin İç İç Geçmesini Engellemek İçin Eklenen Ters Açılar
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.47: Duvar Kalınlığı ve Açısı Bilinen Ürünün Dizme Mesafesinin Hesaplanması (İllic, 2001)

α = Yan Duvar Açısı

a = İstif Mesafesi

s = Duvar Kalınlığı

$$a = \frac{s+0,1}{\sin \alpha} \quad \sin \alpha = \frac{s+0,1}{a}$$

4.3. Termoform Kalıp Üretim Süreçlerindeki Kalite Faktörleri

Termoform kalıplar üretilirken kalıbın uzun ömürlü olması, yüksek çevrim süresi (cycle) ile çalışması, maksimum verimde olması, düşük maliyet gibi özelliklere sahip olması istenir.

Maliyeti arttıracak olan soğutma, ısı, basınç gibi faktörlerin optimum değerlerde çalışırken minimum enerji tüketimi ve en iyi ürün elde edilecek şekilde tasarlanması ve üretilmesi istenir. Isıtılmış levha alüminyum ile her temas ettiğinde mikro düzeyde yüzeyden parça koparır. Zamanla kalıp yüzeyinde deformasyon, levha üzerinde metal partiküller ve ömür faktöründe kısalma olur. Bu durumun önlenmesi için kalıbın alüminyum aksamalarının anodizasyon adı verilen metal kaplama yöntemi uygulanır.



Görsel 4.48: Kaplamasız Dip Lokma ve Kaplama Yapılmış Dip Lokma
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.49: Kaplamasız ve Kaplamalı İnsertler
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.50: Kaplama Yapılmış Dip Lokma Altları (Soldaki 7075 , Sağdaki 6082)
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.51: Bıçak Altı (Büte Askılı)
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

Kalıp tasarımı yapılırken kesimi yapacak olan bıçaklar tahta, çelik ya da alüminyum olabilir. Tahta bıçak seçimi yapıldığında kesim yapılırken bıçak arası dolayısıyla kalıbın eni ve boyu büyük olur. Bunun nedeni tahtaya bıçak çakılırken tahtanın kırılmaması ya da çatlamaması için maksimum genişlikte olması gerekir. Çelik bıçakta bıçağın çakılacağı yer tel erezyonda kesileceği için minimum ölçüler seçilerek kalıp boyutları oluşturulabilir. Bıçakların bağlandığı bıçak altı plakası ısıtıldığı için yüksek sıcaklıklarda çelikten mikropartiküller koparak makineye, kalıba ve levhaya aktarılabilir. Çelikten kopan demir ya da diğer elementler kalıp içinde deformasyona neden olabilir. Bu durumun engellenmesi için kaplama yapılır.

4.4. Örnek Bir Kalıp Tasarımı ve Üretimi

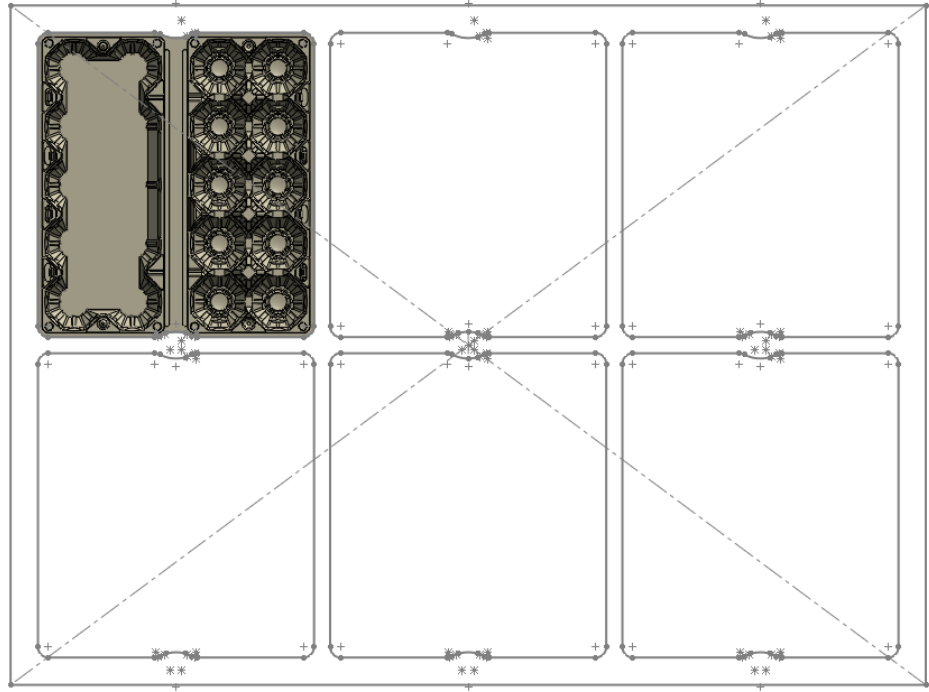
Termoform kalıp tasarımı yapılırken birinci etki üretilmek istenen ürünün bu prosese uygunluğudur. Uygun numune olarak belirlenen yumurta kabının kalıbı örnek olarak incelendiğinde kalıp tasarımına başlarken Görsel 4.53’de gösterildiği gibi ürün ölçüleri ya da Görsel 4.54’de gösterildiği gibi ürüne uygun kab numunesinin ölçülerine ihtiyaç vardır. Kalıp tasarımı yapılırken gövde ya da alt şekilleme olarak tanıdığımız, vakumun yapıldığı kısım alta havanın verildiği üfleme kısmı üste bağlanır. Bu durum tam tersi olacak şekilde de yapılabilir ancak kuleler gibi ince, dar ya da şekillenmesi zor kısımlar için negatif (dişi) kalıp yapmak en uygun seçimdir. Ayrıca seçim yapılırken levhanın ilk değeceği kısımlar da dikkate alınmalıdır. Kalıpta tek ürün şekilleneceği için servo üfleme ek bir maliyet oluşturacaktır. Kalıp tasarımı yapılırken en uygun maliyet göz önüne alındığında gerek olmadığı anlaşılır. Kalıp ölçüleri ve kavite yani göz sayısı belirlenirken makinenin kalıp alanı ölçülerinin uygunluğu göz önüne alınarak yerleşim yapılır. Kesim ölçüsü makinenin maksimumlarına göre yerleştirilerek kalıpta çalışacak maksimum göz sayısı (kavite) belirlenir.

Bazı özel durumlarda müşteri kalite, levha hattının uygunluğu, dolum hattının uygunluğu ya da verim gibi faktörleri esas alarak kalıbı maksimum ölçüde ya da maksimum göz sayısı olacak şekilde istemeyebilir. Kalıp tasarımı ve üretimi yapılırken kalıbın üretileceği alüminyum çelik gibi ham maddeler ve itici malzemesi şekillemede en önemli faktörler arasındadır. Göz sayısı, ham maddeler, tasarım, üretim, montaj, makine ve ortam şartları kalıbın verimliliğini doğrudan etkiler. Kalıpta levha ürün elde etmek için şekillendirildiği zaman ısı, hava ve vakum çok önemlidir. Havanın ve vakumun etkisi bazı durumlarda ürünü tek başına şekillemeye yeterli olsa da çoğu zaman yardımcı itici tasarlamak en iyi ürünü elde etmeyi sağlar. Bu durum dolaylı olarak kalıp verimliliğine etki etmektedir. Kalıptan en iyi ürünü elde

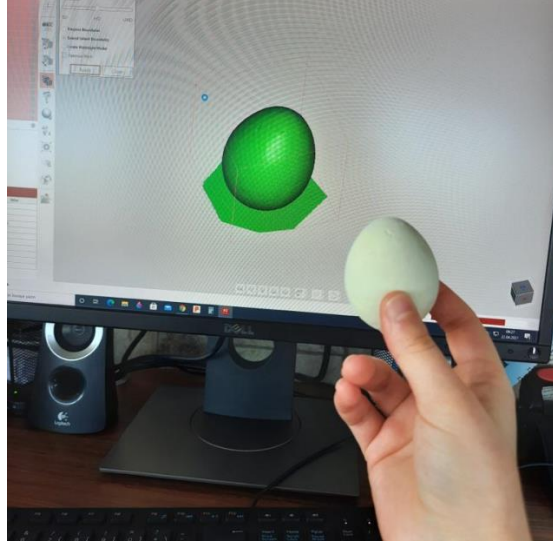
edebilmek için hava, su, vakum ve ısı optimum ölçülerde olmalı, kalıpta kullanılacak malzemeler de bu faktörlere göre seçilmelidir.

Örnek bir ürün olan yumurta kabı kalıbı tasarlanmak istenildiğinde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

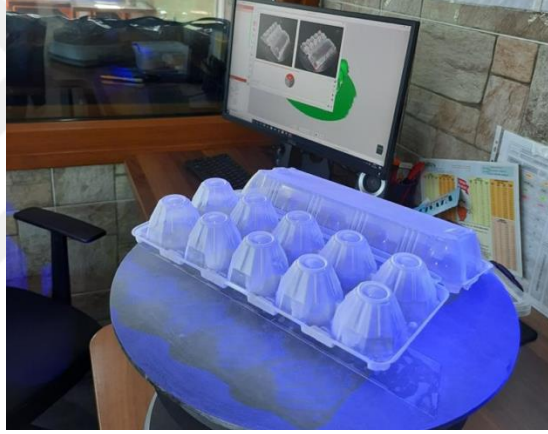
- Ürüne kaç adet yumurta konulacak?
- Ürün kesim ölçüleri nelerdir?
- Hangi makineye kalıp yapılacaktır?
- Kalıpta istenen özellikler nelerdir?
- İstasyonlara ait teknik detaylar nelerdir?
- Makinenin hava, su, ısı, vakum gibi makine teknik özellikleri nelerdir?
- Daha önce üretilmiş bir ürün mü üretilecek yoksa yumurtaya uygun piyasa koşullarını sağlayan bir ürün mü tasarlanacaktır?
- Hangi malzemeden üretilecek levha ile kalıp şekillenecek (PP, PS, PET)
- İtici (Plug) hangi materyalden üretilecek



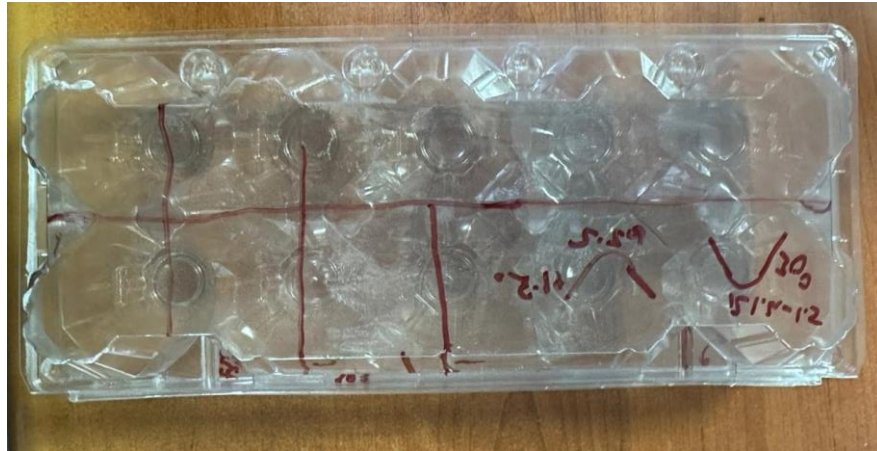
Görsel 4.52: Yumurta Numunesi için TS800 Makinesine Göre Yapılan Yerleşim
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



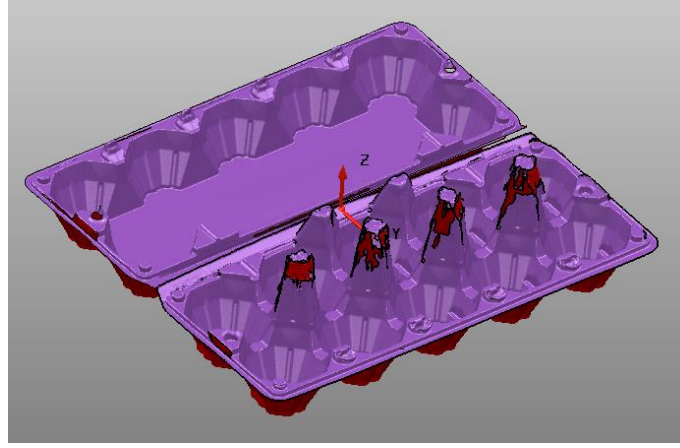
Görsel 4.53: Yumurta Numunesi Örneği
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.54: Yumurta Kabı Numunesi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

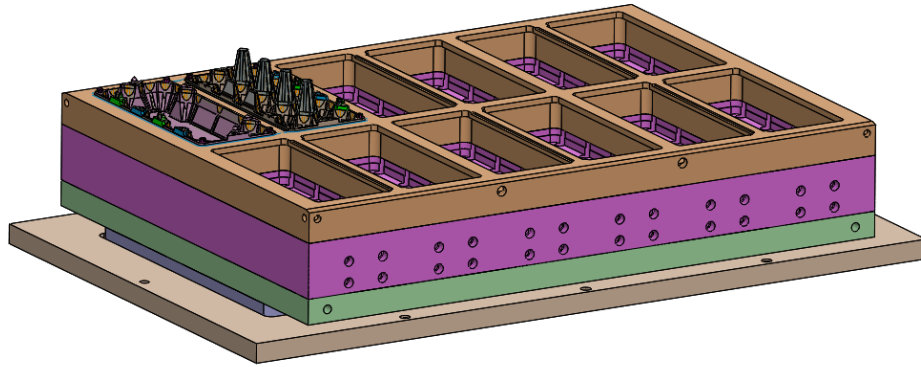


Görsel 4.55: Yumurta Kabı Tasarım için Uygunluk Şartlarının Belirlenmesi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

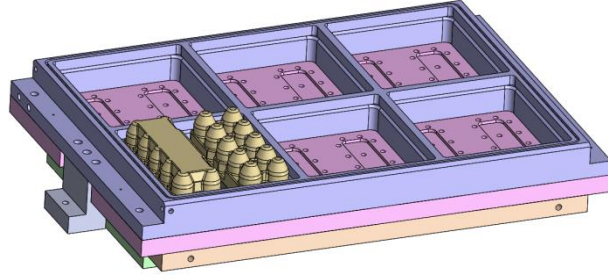


Görsel 4.56: Yumurta Kabı Numunesinin Tarama Verisi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

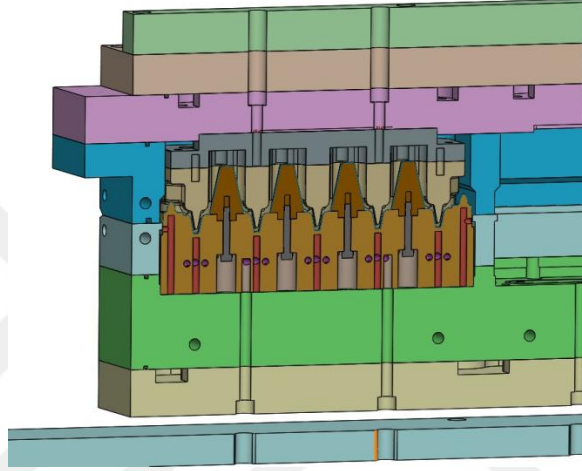
Görsel 4.53 ve Görsel 4.54’de görüldüğü gibi tersine mühendislik uygulamaları ile ürün ya da ürüne göre üretilmek istenen kabın verileri elde edilir. Bu işlem tecrübeli personeller tarafından kumpas ve özel ölçü yöntemleriyle de yapılmaktadır. Elde edilen veriler aracılığıyla kalıptan elde edilecek ürünün katı modeli solidworks, powershape, nx gibi 3 boyutlu katı modelleme programlarından elde edilir. Elde edilen modelin kesim ölçüsüne göre yapılacak kalıbın ölçüleri ve kalıptan her hatvede elde edilecek ürün miktarı belirlenir. Ürün, makine bilgisi, göz sayısı, ürünü oluşturacak hammadde gibi bilgiler elde edildikten sonra kalıp tasarım süreci başlar.



Görsel 4.57: Yumurta Kabı Kalıbı Gövde ya da Alt Şekilleme Grubu
(TS800 Termoform Makinesine Göre Tasarlanmıştır) (Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



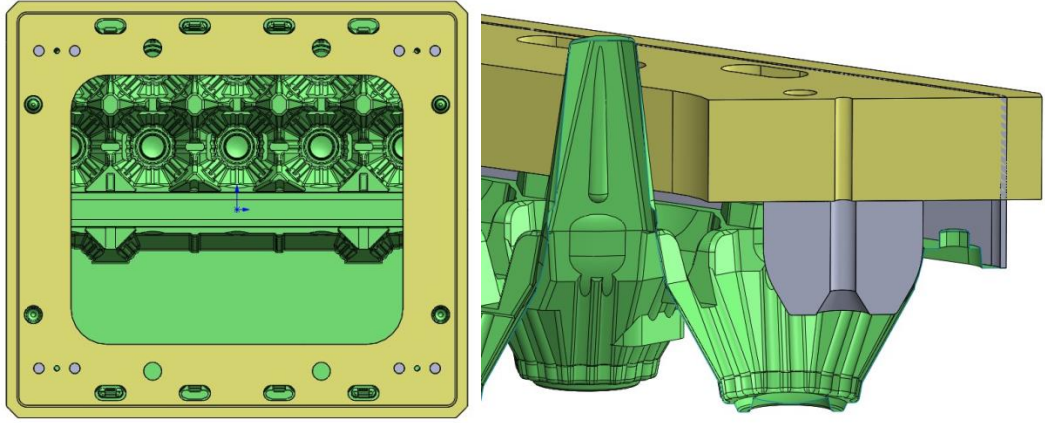
Görsel 4.58: Yumurta Kabı Kalıbı Üfleme ya da Üst Grubu
(TS800 Termoform Makinesine Göre Tasarlanmıştır) (Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.59: Bayrak Oluşmasının Önlenmesi için İtici Tasarımının Örnek Gösterimi
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



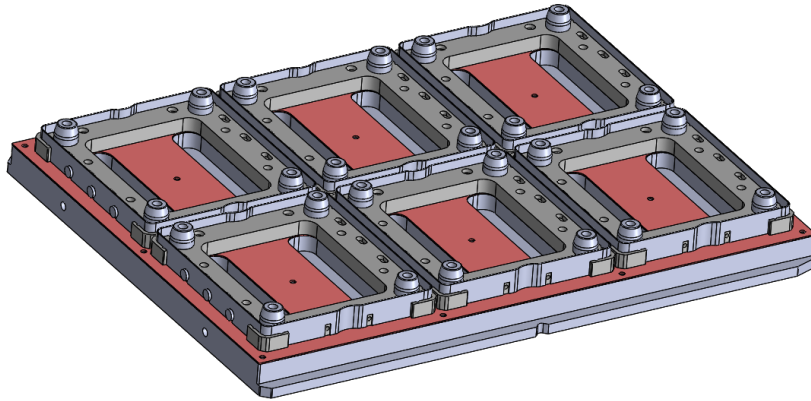
Görsel 4.60: Yumurta Kalıbı Üfleme ve Gövde (TS1000 Makinesinde Çalışan)
Sol Tarafta Üretilen Üfleme, Sağ Tarafta ise Üretilen Gövde Kısım (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



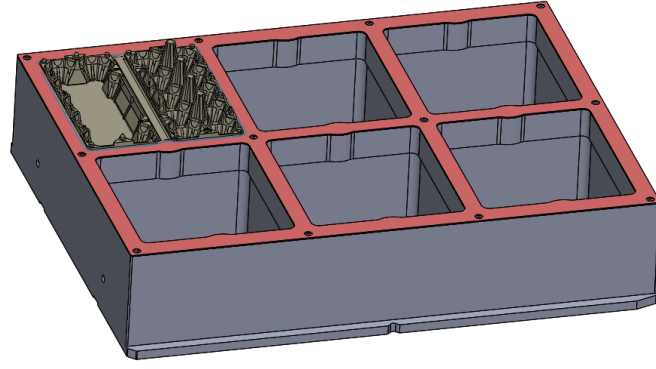
Görsel 4.61: Yumurta Fiberli Bıçak
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



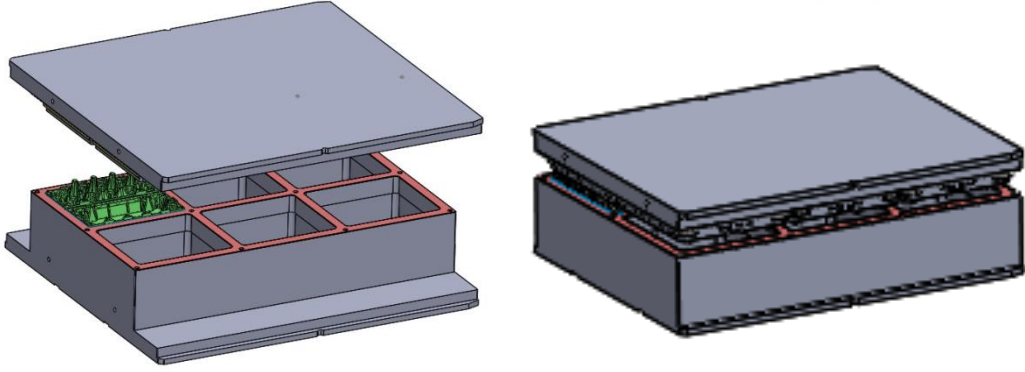
Görsel 4.62: Fiber Merkezlemeli Tahta Bıçaklı Yumurta Bıçak Grubu (TS1000 Makinesi için Üretilen)
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



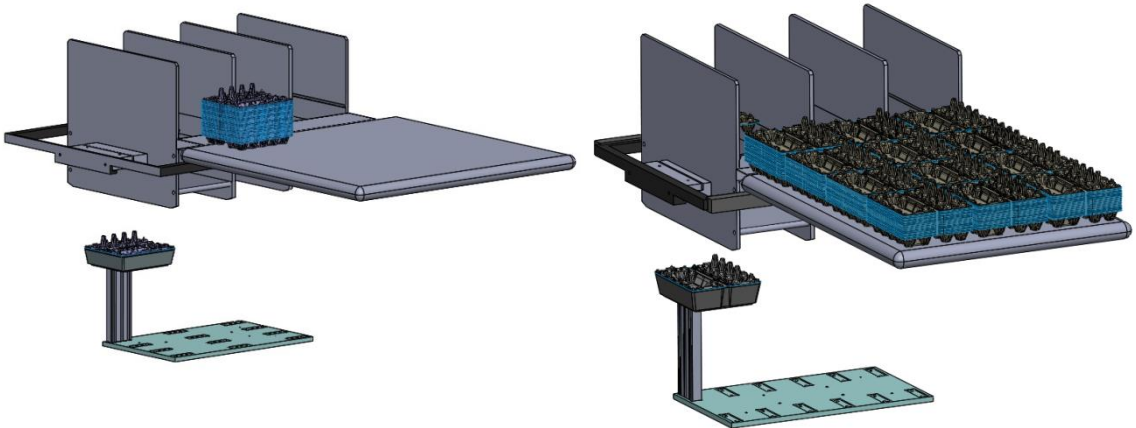
Görsel 4.63: Yumurta Bıçak Altı (TS800 Makinesi için Tasarlanan)
(TS800 Termoform Makinesinde Demir Bıçak ile Çalışacak Şekilde Tasarlanmıştır)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.64: Yumurta Kesim Altı
(TS800 Termoform Makinesinde Çalışacak Şekilde Tasarlanmıştır)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.65: Yumurta Kesim Grubu (TS1000 ve TS800 Makineleri için Karşılaştırmalı Tasarım)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



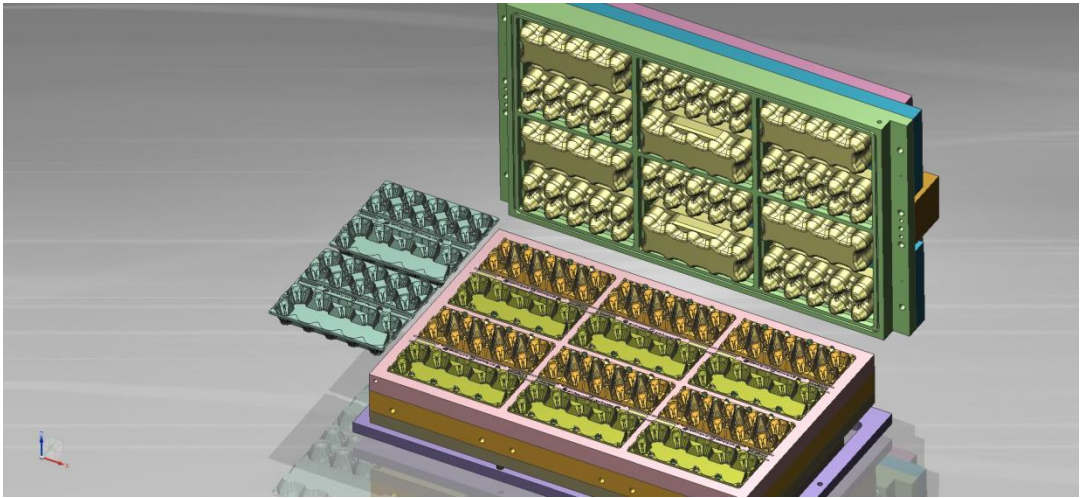
Görsel 4.66: Yumurta Dizme Grubu (TS1000 ve TS800 Makineleri için Karşılaştırmalı Tasarım)
(Görsel Tasarım: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.67: Üründe Bayrak Oluşumunun Gösterimi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.68: Bayrak Oluşmasının Engellenmesi
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.69: 10'lu Yumurta Kabı Kalıbı Şekilleme Grubu
(euromak, 2023)

4.5. Termoform Kalıp Üretimindeki Verimliliğine Etki Eden Faktörler

Termoform kalıplarında verimlilik söz konusu ise levhayı şekillendirmek için kullanılan basınçlı hava, soğutma suyu, levhayı yumuşama sıcaklığına getirmek amacıyla kullanılan ısı ve levhanın kalıp yüzeyini kopyalayabilmesi için vakum bilinmelidir.

4.5.1. Hava

Hava doğada bulunan oksijen, azot gibi gazların bileşimiyle oluşan bir maddedir. Havanın nispeten ucuz ya da maliyetsiz olduğu düşünülebilir. Ancak termoform kalıplarında şekillendirme esnasında kullanılan hava basınçlı havadır. Ortalama 4 bar verilen hava basıncı atmosfer basıncının neredeyse 4 katına tekabül etmektedir. (1 atm=101,325kPA) Bu durumda hava kompresörde sıkıştırılarak hızlandırılır ve her bar maliyeti arttırmaktadır. Düşük hava basıncı levhayı deforme edebilir. Kaliteli ürün elde edilmesinin önüne geçer. Verimi düşürerek maliyet~zarar dengesini bozar. Optimum değerin üzerinde kullanılan her bir bar basınç, maliyeti doğrudan ve dolaylı artırır. Levhanın kalıbın şeklini homojen bir şekilde almasını engeller.

- Levha kalıpta şekillenirken zayıf detay varsa ilk olarak levha sıcaklığı ve hava basıncının kontrol edilmesi gerekir. Optimum sıcaklıktaki levhaya yeterli miktarda hava basıncının verilmesi en iyi ürünün elde edilmesini sağlar.
- Deformasyonun bir diğer sebebi hava basıncının düşük olmasıdır. Hava basıncı yeterli olduğu halde mukavemetli olmayan ürün uygun keçe kullanılarak şekillenir.
- Isıtılarak yumuşatılan levhanın üzerinde izler varsa ya da kalıp yüzeyinin şeklini alırken çizik yarık nokta gibi şekilleri alıyorsa erken ya da yüksek basınçla şekillendirildiği anlaşılarak hava basıncı düşürülür.

4.5.2. Su

Kalıp makineye bağlandığı anda kalıba chiller adı verilen soğuk proses sistemi aracılığıyla kalıp içerisinde dolaşım başlatılır. Akan su soğutma için ideal seviye ulaştıncaya ısı, basınç ve vakum değerleri hazır hale getirilerek kalıp çalıştırılır. Çevrim esnasında ısıtılarak yumuşatılan levha kalıpta dolaşan soğutma aracılığıyla şekillendikten sonra ısı transferi aracılığıyla rijit hal alması istenir. Şekillendirmek için ısıtılan plastikten şeklini koruması ve rijit bir hal alması için ısı hızlı bir şekilde uzaklaştırılmalıdır. Kalıpta soğutma yeterli değilse kalıp ısınır. Isınan kalıp yumuşak levhayı soğutamadığı için ürün kalitesini bozar. Makinede bulunan ve soğutma suyunu kalıp içine aktaran chiller kalıba ortalama 3,5~4 bar basınçla 8~10 derece soğutma suyu

aktarır. Kalıp içerisinde dolaşım uygun ya da yeterli değilse, su tıkanıyor, ilerlemiyor ya da gerekli basınç sağlanamıyorsa levha üzerinden ısı aktarılamadığı için gözle görülür deformasyonlar, kalıba levha yapışması, büzüşme, eğrilme gibi problemler görülür (Crawford vd., 2020).

- Polimer aşırı büzüşmesi, kalıba ya da keçeye yapışması, kalıbın aşırı ısınması soğutmanın yetersiz olduğunu gösterir.
- Kalıpta bulunan su kanalları optimum miktarda tasarlanmış olsa da kanallarda ya da deliklerde bulunan çapak gibi tıkanıklık oluşturacak durumlar soğutma hızını düşürür.
- Termoform kalıpları levhaya aktarılan ısı nedeniyle ısındığı için soğutma temas yüzeyine yakın ve homojen olmalıdır.
- Soğumayan kalıbın levhayı bozmasının mümkün olduğu gibi tam tersi durum da mevcuttur. Aşırı soğuk kalıp ısıtılarak yumuşatılmış levha üzerinde şok etkisi yaratarak verimli ürün elde edilmesini engeller.
- Kalıp yüzeyinin levha ile temas eden kısmında çarpılma mevcutsa o alanda soğutmanın yeterli olmadığı anlaşılır. Çarpılan alana soğutma suyu verilerek çarpılma giderilir.

4.5.3. Isı

Plastik hammaddelerinin türlerine göre levha yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılarak kalıbın şeklini alması ya da çapraz bağlanma reaksiyonunu katalize etmek amacıyla yumuşatmak ya da eritmek ısı aracılığıyla sağlanır. Yeterince ısınmayan ya da fazla ısıtılan levha farklı reaksiyonlar verir. Yeterince ya da hiç ısıtılmayan levha soğuk şekilleme adı verilen levhanın üzerinde deforme görünüme sebep olan, zayıf detaylar çıkaran hatta bazı durumlarda kalıbın şeklini alamayan ürünler verir. Fazla ısıtılan levha eriyerek kalıp boşluklarına dolabilir ya da levha yanabilir. Bu durum hem kalıba hem de makineye zarar vermektedir. Tablo 4.3’de bazı plastik hammaddeleri için referans değerler verilmiştir. Ancak levha makine ve kalıpta şekillenirken levhanın elde edilme koşullarına göre bu değerler farklılık gösterebilir. Bu durumda tecrübeli personel levhayı belli sıcaklık değerleri arasında şekilleyerek en iyi ürünü elde etmeye çalışır. Şekillenecek olan levha ham maddesinin sıcaklığına göre makine ısıtıcıları, itici asistanlar ve kalıp malzeme seçimleri yapılır. Kalıpta soğutma levha sıcaklığına göre optimum seviyede olmalıdır. Bu nedenle birçok faktör ısıyla doğrudan ya da dolaylı olarak bağlantılıdır (Crawford vd., 2020).

Tablo 4.3: Bazı Temel Plastik Ham Maddeleri için Verilen Şekilleme Dereceleri (CMT, 2023)

Plastik	°F	°C
ABS	300	149
PET	300	149
EVOH	212	100
HIPS	302	150
HDPE	295	146
PMMA	350	177
PC	375	191
PETG	300	149
PLA	212	100
PP	330	165
RİJİT PVC	280	138
PS	300	149

Isıtıcılar şekillenen ürünün kalitesine göre arttırılır ya da azaltılır. Örneğin;

- Kalıbın şeklini alamayan ürün üzerinde deformasyon, çizik soğuma izleri bulunan ürün için ısıtıcı değerleri olması gereken optimum değerlerde mi kontrol edilmelidir.
- Şekilleme esnasında levhanın optimum değerden fazla sarkması, yanması, buruşma, çizik, eğrilme ve deformasyon oluşması ısıtıcıların optimum değerlerin üzerinde olduğunu gösterir.
- Yüzeyde anormal dalgalanmalar, renk farklılığı ya da yüzey kalitesinin kötü görünmesi levhaya yanlış ısı verildiğinin en önemli göstergesidir.
- Levhaya verilen ısılar doğru ise devir zamanı kontrol edilmelidir.
- Levha kalıpta şekillenirken sıcak ve soğuk noktalar varsa yani kalıpta güçlü ve zayıf noktalar varsa bu durum levhanın homojen dağılımının olmadığını gösterir. Isıtıcıların levhaya homojen ısı vermesi, ısı dağılımının levhanın her yerinde eşit olması sağlanır.
- Levha kalıpta şekilleme sırasında yırtılırsa, levhanın ısıtıcı fırında fazla kaldığı ya da alması gerekenden fazla ısı ile temasta olduğu anlaşılır.

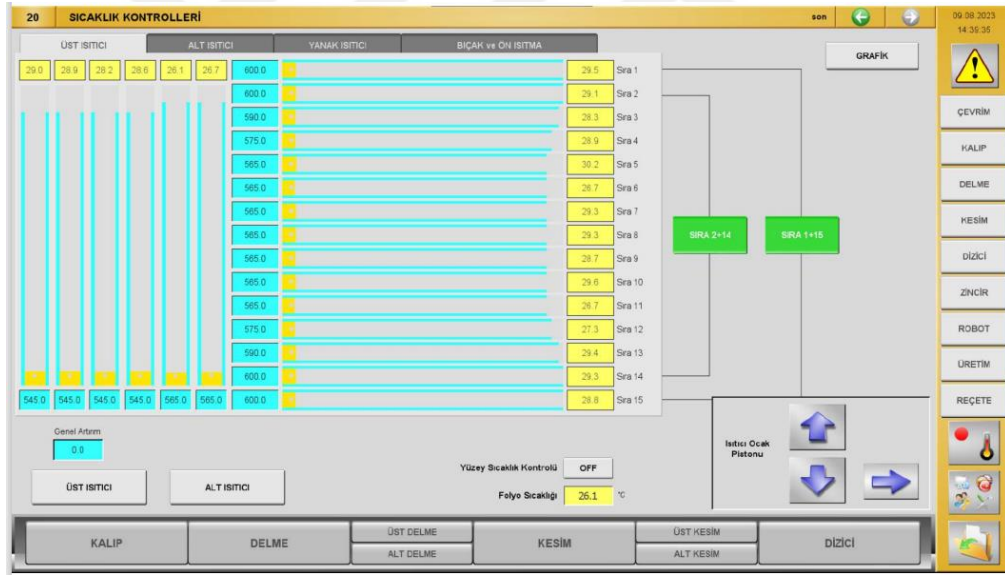
- Makinede levha gerdirilirken sarkma problemi ısıdan değil makine gerdirmesinden kaynaklanıyorsa ısıtıcı ayarı ile bu durum geçici olarak telafi edilebilir. Makinede gerdirme ayarı yapılarak levhanın doğru ısı ile şekillendirilmesi sağlanır. Fazla sarkan ve gerdirilemeyen levhaya daha az ısı verilerek sarkmanın önüne geçilir. Ancak levha uygun ısıda değilse ürün üzerinde deformasyonlara neden olur.
- Levhaya temas eden yüzeylerden bir diğeri de keçe yüzeyidir. Keçe malzemesi uygun değilse, keçe aşırı sıcak ya da soğuksa, keçe hızı yeterli değilse levha üzerinde dalgalanmalar oluşur.
- Kalıptan çıkan ürün kesme istasyonuna gidene kadar yeterince soğumadıysa kalıp soğutması, levha ve keçe ısısı kontrol edilmelidir. Gerekli durumlarda levha ısısı düşürülmelidir.
- Ürün üzerinde hava tahliye deliklerinin belirgenliğinin artması ısının da bu oranda yüksekliğini gösterir. Parça üzerindeki hava tahliye ne kadar belirgin ise levhanın şekillendirme ısısı da bu ölçüde yüksektir.

Tablo 4.4: Geri Dönüşümde Kullanılan Kodlar (Tayyar, Üstün, 2009).

Dönüş No	Kısaltma	Polimer	Kullanım
1	PETE-PET	Polietilen Tereftalat	Polyester Fiberler, Film, Elyaf, Şişe
2	YYPE-HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Taşımaya Elverişli Kapların Yapımı, Şişe, Çanta
3	PVC-V	Polivinil Klorür	Çit ve Parmaklık Malzemeleri, Yiyecek Dışı Şişeler
4	LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Sera Örtüsü, Film, Ambalaj, Elektrik Sanayi
5	PP	Polipropilen	Plastik Şişe, Mutfak Eşyası
6	PS	Polistiren	Oyuncak, Videokaset, Tepsi, Yalıtım Malzemesi
7	Diğer	Akrilik, polikarbonat, naylon ve diğer	



Görsel 4.70: Isı Kullanım Ayarlarının Etkisi
Yanlış Isı Kullanılarak Şekillendirilen Ürün ile Doğru Isı Kullanılarak Şekillendirilmiş Ürün
(İnpak Makina Bu Teze Katkı Sağlamak Amacıyla Doğru ve Yanlış Şekillendirilen Ürünleri Oluşturmuştur.) (Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)



Görsel 4.71: Makinede Sıcaklık Kontrollerinin Yapıldığı Sayfa
(Fotoğraf Çekimi: Hatice Kübra Kürümoğlu)

4.5.4. Vakum

Vakum şekillendirme sıcaklığına ulaştırılmış levha ile kalıp yüzeyi arasındaki havanın aktararak levhanın kalıp yüzeyini kopyalamasını sağlayan en önemli etkenlerden biridir. Makineye bağlı olan hava pompası ya da kompresörün basınç kapasitesi ile doğru orantılıdır.

5. TARTIŞMA

Termoform kalıp, makine, levha ve ambalaj üreticilerine sorulduğunda faydalı ürün elde edilebilmesi için ekstrüzyon prosesinden kalıbın şekillenip ürün elde edildiği tüm süreçte belirli kalite faktörlerinin bulunması gerektiği ortak fikirdir. Ekstrüzyon aşamasında iyi üretilmeyen levhadan ürün elde edilirken tam verim sağlanamaz. Bu tez kapsamında “*Termoform Kalıplarının Üretim Süreçlerinde Verimliliğe Etki Eden Faktörler*” konu alındığı için ekstrüzyon, makine ve ambalaj üretiminin optimum şartlarda ve verimli olduğu kabul edilmektedir.

Termoform kalıp üreticilerine göre iyi kalıbı üretebilmek için yetkin personel, kaliteli kalıp ham maddesi, doğru tasarım, iyi üretim prosesleri, uygun montaj ve kalite kontrol gereklidir. İhtiyaca yönelik ürün ve kalıp tasarımının yanlış yapılması, kalıptan elde edilen ürünün de hatalı olmasına neden olur. Bir içecek kapağı örnek olarak incelenirse, hiçbir tüketici içeceğinin kapağının kapanmamasını ve olası dökülme-damlama kazalarını yaşamak istemez. Tüketicinin memnuniyeti için uygun ve doğru tasarımın yapılması gerekmektedir. Ürün ve kalıp tasarımının optimum şartlarda tamamlanması, kalıbın tasarım aşamasından üretim proseslerine aktarım sürecini başlatır. Bu aşamada tasarlanan kalıp için malzeme tedariki gerçekleştirilir.

Kalıp üreticisi için kaliteli ham maddeyi, uygun fiyata almak çok önemlidir. Ham madde doğru kalitede olmazsa ürün üzerinde, işleme sırasında ya da şekillendirme aşamasında ısı ve basınç değişimlerine karşı verimi etkiler. Montaj esnasında kalitesiz ham madde bozulabilir ya da ambalaj üreticileri tarafından uzun vadede kullanılamaz. Sipariş edilen ham madde işlenirken doğru kesici takımlarla, uygun takım hızları ve kaliteli yüzey elde edilecek en kısa süre kullanılarak tasarıma uygun işlenmelidir. Uygun şartlarda ve temiz yüzey olarak işlenmeyen ham madde, kalıbın verimini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. İşleme sonrasında montaj aşamasına geçen kalıp parçaları düşürülmemeli ve uygun koşullarda muhafaza edilmelidir. Kalıp parçalarına uygulanacak herhangi bir darbe zarar verebilir ya da parçayı bozabilir. Kalıp aksamlarına zarar vermeden tasarıma uygun montaj edilmelidir. Kalite kontrol süreci üretilen kalıptan elde edilmek istenen ürün müşteriden geldiği ve son kullanıcıya ulaşana kadar hataların tespiti ve giderilmesi sürecidir. Tasarım, imalat ve

montajdan hatasız olarak elde edilen kalıp, makine üzerine bağlanarak ya da montajlanarak test edilir. Denemenin birinci amacı kalıptan elde edilen ürünün müşteri isteklerine ne kadar yanıt verdiğinin tespit edilmesidir.

Kalıp üzerinde plastik levha şekillendirildiği için herhangi bir koşulun değişmesi halinde, elde edilecek ürün de değişebilir. Bir içecek kapağı örnek olarak incelenirse, kalıptan elde edilecek bir kapak farklı şekillendirme koşullarında farklı kilit sıklığı oluşturabilir. Bu durumda elde edilen bir ürün tüketicinin içeceğini sızdırabilirken, başka bir ürün kapanmayabilir ya da optimum olabilir.

İlk denemede müşterinin isteğine yanıt vermek mümkün olsa da gerekli verim faktörleri yerine getirilmediği durumlarda kalıp denemesi tekrar edilmek zorundadır. Gerekli koşullar, standartlar ve kalite faktörleri incelendiği zaman Türkiye’de bununla ilgili yeterli kaynak bulunmadığı tespit edilmiştir. Dünyada belirli standartlar İllig gibi Avrupa ülkelerinde tanınan firmaların İngilizceye çevrilmiş kaynakları bulunsa da Türkçe kaynak bulmak oldukça zordur. Termoform ürünleri ve kalıpları üretilirken firmalar arası standartlar geliştirilmiş, olası hatalar ya da iyileştirmeler için Türkiye piyasasında tanınmış firmaların kalıpları incelenmiş, kalıp üreticileri olası hatalara karşı kendi standartlarını oluşturmuştur. Bütün bu tecrübelerle rağmen hala hatalı üretim yapmak mümkündür. Hatalı üretimin önüne geçmek için tecrübeli personellere ulaşılması gerekmektedir. Türkiye’de sanayi üniversite işbirliğinin yeteri kadar olmaması, termoform ürünleri üretilirken gerekli proseslerin standardize edilememesi, nitelikli personelin az olması ya da olmaması olası hataları arttırmaktadır. Türkiye’de termoform kalıp üreticileri, Alman standartları başta olmak üzere Avrupa ve Amerika standartları referans alınarak Türk standartlarına uygun kalıp yapmak isteselerde olası bir hataya ya da probleme karşı tecrübe ile çözüm aramak zorundadırlar. İllig gibi firmalar makineden kalıba üretim süreçlerinde referans alınacak kullanım klavuzları üretselerde Türkiye’de bu tür kaynaklara ulaşamamaktadır. Bu durum üretim süreçlerinde verim faktörünü doğrudan etkilemektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsan hayatının her alanında yer alan plastikler fayda sağlayabilmek için uzun bir süreçten geçmektedir. Granül haldeki plastik hammaddesi farklı proseslerde bir dizi işlemten sonra kullanılabilir hale getirilir. Doğal kauçuğun ilk kullanıldığı antik çağlardan itibaren polimer insanlar tarafından kullanılmaktadır. Doğal polimerler ile kullanımı başlayan plastiklere güven arttıkça, sentetik polimerler geliştirilmiştir. Bu süreçte Polivinil Klorür (PVC), Polistiren (PS), Polibütadien (PBR), Polietilen (PE), Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE), Polipropilen (PP) gibi türevleri keşfedilmiştir.

Keşfedilen plastikler sayesinde dayanıklı, tek kullanımlık, yaygın kullanılabileceği ön görülen, çeşitli uygulamalar için kullanım potansiyeline sahip materyaller elde edilmektedir. Mucitler doğal materyallerden ya da farklı polimerleri sentezleyerek esnek, şekil değiştirebilir, kalıplanabilir, kolay ulaşılabilir, geri dönüştürülebilir, iletken ya da yalıtkan olabilen sonsuz çeşit ürüne dönüşebilecek materyaller keşfederek polimer çağını başlatmıştır. Latincedeki “*Monomer*” kelimesi, Latince de yer alan “*mono=bir, tek*” anlamına gelen kelimeden, Polimer kelimesi ise “*poli=çok*” ve “*mer=kısım*” olmak üzere iki kelimenin birleşimi ile türetilmiş olan, yapılarında C, H, N, O gibi elementleri ihtiva eden plastiklerin türlerini ifade ederken kullanılan latince kökenli kelimedir. İnsan hayatını kolaylaştırması ve pek çok alanda kullanım kolaylığı sağlamasına rağmen, plastikler sahip oldukları bozunma sıcaklıklarının yüksek olması, ultraviyole ışınlarına ve doğadaki bakterilere karşı dayanıklı olması, uzun süre bozunmadan kalmaları, çürümeye, paslanmaya, çözünmeye, biyolojik ya da doğada bozulmaya uğramadan uzun yıllar kalabilme özellikleri nedeniyle suyun ve toprağın kirlenmesine neden olur. Toprağa ya da suya karışması halinde, sulardaki canlılara zarar verir hatta burada yaşayan canlıların ölümüne neden olur.

Odun’un içerdiği selüloz hammaddesi sayesinde polimer teknolojisinin en önemli doğal kaynaklarının başında geldiği, bu nedenle uzun yıllar kağıt ve fiber yapımında odundan elde edilen selülozun kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde ise birçok alanda selülozdan türetilmiş şekilleri kullanılmaktadır. Türetilen bu materyaller ısı, ışık, nem gibi faktörlere karşı gösterdiği davranışlara göre kategorize edilmiştir. Kalıplanabilen, yumuşak, ısıtıldıklarında bağları zayıflayan ve geri dönüştürülen materyallere termoplastik denilmiştir. Sert, opak, düşük

hacimli, iletken, geri dönüştürülemeyen materyaller ise termoset olarak kategorize edilmiştir. Bu plastik türleri kendi kategorilerinde en verimli ürünleri elde edebilmek için kullanılmış ve geliştirilmiştir. Türetilen plastiklerden fayda elde edebilmek için molekül ve zincir yapısı incelenmiş, camsı geçiş sıcaklığı ve zincir yapısı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sayesinde daha dayanıklı, daha tok, daha fazla alanda kullanım sağlanabilen türler geliştirilmek istenmiştir.

Plastikler, katkı maddeleri ve polimerik materyallerin farklı kombinasyonları oluşturularak proseslerde ürünlere dönüştürülür. Bu proseslerde birincil ve ikincil üretim teknolojileri kullanılır. Ekstrüzyon ve enjeksiyon birincil üretim teknolojileridir. Ekstrüzyon aracılığıyla oluşturulan levhanın termoform ile ürüne dönüştürülmesi ise ikincil üretim teknolojileri arasındadır. Termoform prosesi ekstrüde edilen levhanın kalınlığına göre ağır ölçülü veya hafif ölçülü olmak üzere iki farklı yöntemle şekillendirilir. Ağır ölçülü termoformda uzun vadeli kullanılabilecek ürünler üretilir. Hafif ölçülü termoform sisteminde ise günlük kullanılabilecek, genellikle kullan at ürünler elde edilmektedir. Kullan at ürünler elde edilirken düşük maliyet, yüksek mukavemet, ürünü muhafaza edecek sağlamlıkta ve toklukta olması istenir. Sonuç olarak kullan at bir üründen düşük maliyet ve yüksek fayda beklenir.

Termoform prosesinde kullan at ürünler, gıda kapları, ilaç ambalajları, meyve sebze kapları gibi yaygın kullanılan ürünler elde edilir. Koronavirüs gibi insan hayatını tehlikeye atacak ölümcül virüs ve hastalıklar yayıldıkça, hijyen ihtiyacı artmış özellikle de gıda ambalajlarında hijyene olan talep artmıştır. Yiyecek ve içeceklere kap, kapak gibi birçok alanda ürünler kullanılmakta ve atık olan ürünler kolay geri dönüştürülmelidir. Termoform prosesinde üretilen bu ürünler hızlı üretililebilecek, kalıp yüzeyini kopyalayabilen, geri dönüştürülebilir, insan ve çevre sağlığına zararlı olmayan plastik ham maddelerden elde edilmelidir. Termoform kalıpları tasarlanırken, üretilecek ürün prosesten elde edilebilir mi sorusuna yanıt verilmelidir.

Termoform prosesinde elde edilen ürünlerle günlük hayatta sıklıkla karşılaşılır. Kahve kapakları, meyve sebze kapları, seperatör gibi kullan at ürünler genellikle termoform proseslerinden elde edilmektedir. Benzer ürünler nadiren başka sistemlerden elde edilebilse de termoform prosesi diğer proseslere göre daha avantajlıdır. Üretilen ürünün hafif olması, kolay dönüştürülmesi, su şişeleri gibi geri dönüştürülen Polietilen Tereftalattan oluşan ürünlerin kırılması ve levha haline getirilmesiyle sürekli dönüşüm elde edilebilir. Bu sistemlerden elde edilen ürünlerin kullanılacağı alanlara hem hız hem de fayda sağlanmış olur. Benzer amaçla

kullanılan ürünün termoform prosesinden elde edilmesi nispeten daha hızlıdır. Kullan-at ürünler tüketici davranışlarına göre yaygınlık gösterir. Sokak ürünlerinin basit ambalajlara konulması buna en iyi örnektir. Tüketici kullan-at ürünü belli noktalar arası taşıyıp ihtiyaç faktörü ortadan kalktığında atabilir. Bu durumun çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaması için tüketici geri dönüşüm konusunda bilinçlenmelidir. Türkiye AB mevzuatlarına paraleldir. Bu sayede fayda sağlayacak ürün insan ve çevre sağlığı göz önüne alınarak üretilir.

Ürünün üzerinde üretildiği materyale dair bilgilendirecek işaretler ve işaretin numarası yer alır. Bu işaretlerin yanı sıra kalıpta hangi gözden elde edildiğine dair bir numaraya da yer verilir. Kullan at ürünlerin üretildiği hafif ölçülü termoform kalıpları genellikle çok gözlüdür. Kalıpta gözlere yani kavitelere verilen bu numaralar kalıptan elde edilen ürünlerden herhangi birinde olası bir problemi tespit edebilmek amacıyla, hatanın kaynağının bulunmasında fayda sağlar. Ürünler üzerinde bulunan yazılar kullanıcıyı bilgilendirecek, ürünün hangi koşullar ile kullanacağını gösterecek nitelikte olmalıdır. PET bir içecek kapağı soğuk içecekte kullanılırken, PS ya da PP bir ürün sıcak içecekte kullanılacak niteliktedir. PET malzemenin camsı geçiş sıcaklığı, sıcak madde için uygun olmadığından kullanılamaz. Bunun yerine C-PET olarak adlandırılan camsı geçiş sıcaklığı arttırılmış bir materyal kullanılabilir ya da alternatif bir malzeme seçilmelidir. PP materyal mikrodalga fırına konulabilirken, PET mikrodalga fırına konulamaz. PET türleri arasında RPET recycle geri dönüştürülmüş PET ve PETG olarak bilinen PET'in Glikol ile polimerizasyonu da bulunmaktadır.

Malzemenin hangi koşulda kullanılacağı 3. ve 4. bölümlerde bulunan tablolara bakılarak anlaşılabilir. Hafif ölçülü ürünlerin termoformunda kullanıcının kolay erişebileceği, uygun maliyetle elde edileceği ve ihtiyacı ortadan kalktığında atabileceği nitelikte olmalıdır. Çikolata, bisküvi, meyve-sebze kapları buna en iyi örnektir. Ambalaj, içine konulacak maddeyi tüketiciye ulaşana kadar koruyacak nitelikte olmalıdır.

Termoform ürünleri ve kalıpları üretilirken, belirlenen kalite faktörlerine göre uygun maliyet ve zaman kullanılmalıdır. Yetkili ve tecrübeli personeller gerekli üretim koşullarını sağlayarak proses içinde sirkülasyonu sağlar. Üretilen ve kalite kontrolleri yapılan kalıp makine testleri için uygun hale getirilir. Makineye bağlanan kalıp soğutulmak zorundadır. Makinenin su, hava, vakum ve ısı koşulları kalıba ve şekillenecek levhaya uygun olmalıdır. Bu faktörlerin optimum seviyeden düşük ya da yüksek olması, doğru ayarlanmaması, uygun koşulların sağlanamaması kalıp üzerinde olası bir hatanın fark edilmesini engeller. Bu durum verimi düşürür. Bu nedenle kalıp üretiminde tecrübeli personelin olması gerektiği gibi, kalıbı test eden

personelin de gerekli donanıma sahip olması gerekir. Tecrübesiz personelin uygulayacağı yanlış ısı, vakum gibi faktörler kalıp üzerindeki dolaylı olarak üretilecek ürün üzerindeki verim faktörünü doğrudan etkiler. Uygun kalıp donanımlı personel tarafından optimum koşullarda test edilerek ilk ürün elde edilir. Bu sayede ilk ürün müşterinin ihtiyaçlarını karşılayacak nitelikte ise üretim sirkülasyonu tamamlanmış olur.

İlk ürün müşterinin ihtiyaç faktörüne yanıt vermiyor ise kalıp üzerinde işlemler yapılarak bir sonraki testte müşteri isteklerini ve ihtiyaçlarını karşılayacak nitelikte ürünler elde edilir. İlk testten elde edilen ürünler aynı zamanda prova niteliğindedir. Bir sonraki benzer uygulamalarda da buradan elde edilen tecrübeler biriktirilir. Bu tecrübeler sayesinde her yapılan uygulamada hataların tekrar edilmesi engellenmiş olur. Bu tecrübeler biriktirilmez ya da kayıt altına alınmazsa makine değişiklikleri, farklı malzeme kullanımı, çalışan personelin işten ayrılması gibi durumlarda tekrar eden hataların artması ihtimalini arttırır. Bu nedenle termoform kalıplarında verimin arttırılması için nitelikli personele, bilgi havuzu oluşturulmasına ve kalıp testlerinden elde edilen bilgilerin kayıt altına alınmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- acs.org, Leo Hendrick Baekeland ve Bakalitin İcadı, (Çevrim içi), (<https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/bakelite.html>), (Ziyaret Tarihi: 01.Ekim.2022).
- Alevcan, V., (2016), *Fotopolimerleşme Süreçlerinin Monte Carlo Yöntemi İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alp, B., Burhanoglu, T., Cesur, S., Balköse, D., (E.T. 09.10.2022), Biyobozunur Ve Oxobozunur Katkılı Polipropilen Kompozit Filmlerinin Karakterizasyonu, 2. Uluslararası Katılımlı Polimerik Kompozitler Sempozyum Sergi Ve Proje Pazarı, (Çevrim içi), (https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/be4aa1ef8cb7820_ek.pdf)
- Altunbaş E., (2008), *Polirodaninin Bakir Üzerine Elektrokimyasal Sentezi Ve Korozyon Davranışlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Andrady, A.L. and Neal, M.A. (2009), Applications And Societal Benefits of Plastics, *Philosophical Transactions, of The Royal Society*, 364, 1977-1984, <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>.
- ASD, Plastik Ambalajlar, (Çevrim içi), (<https://ambalaj.org.tr/tr/ambalaj-ve-cevre-plastik-ambalajlar>), (Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2023).
- Ashter, S. A., (2014), Thermoforming of Single and Multilayer Laminates, ([bağlantı](#))
- Ay, İ., Plastik Malzemelerin İşlenme Teknikleri Plastiklerin Geri Dönüşümü (Recycling), Balıkesir Üniversitesi Yayınlanmış Ders Notu, s;124-126 (Çevrim içi), (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/recycle.pdf>) (Ziyaret Tarihi: 03 Ekim 2022)
- Balkan, O., (1999), *Plastiklerin Sıcak Gaz Kaynağı İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayrak, İ., (2005), *Polyvinylpyrrolidone Serbest Radikal Polimerizasyonunun Dielektrik Spektroskopisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Biron, M. (2013). Outline of the Actual Situation of Plastics Compared to Conventional Materials. *Thermoplastics and Thermoplastic Composites*, <https://doi.org/10.1016/b978-1-4557-7898-0.00001-9>.

Biron, M. (2018). *Thermoplastic Processing*. Thermoplastics and Thermoplastic Composites, Third Edition, William Andrew Publishing, 767-820, ISBN: 978-0-08-102501-7, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102501-7.00005-9>.

Büker, E., (2019), *Thermoform Kalıplarında İtici Tasarımları ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

ChemicalSafetyFacts.org, Plastiklere Giriş, (<https://www.chemicalsafetyfacts.org/introduction-to-plastics/>) (Ziyaret Tarihi: 01 Ekim 2022),

CMT Materials, Hytac Malzeme Seçme Kılavuzu, Basılı Kaynak, (<https://www.cmtmaterials.eu/>), (Ziyaret Tarihi: 19 Ağustos 2023).

Collins Dictionary, Termoplastik Nedir?, (2022), (<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/thermoplastic>) (Ziyaret Tarihi: 17 Ekim 2022),

Collins Dictionary, Termoset Nedir?, (Çevrim içi), (<https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/thermoset>) (Ziyaret Tarihi: 17 Ekim 2022),

Crawford, R. J., & Martin, P. J. (2020). *Processing of plastics*. Plastics Engineering, Chapter 4, Butterworth-Heinemann, 4. Edition, 279-409, ISBN: 978-0-08-100709-9, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100709-9.00004-2> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780081007099000042>)

Çetiner, Ş., Ambalajlama, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Çine Meslek Yüksekokulu, Aydın, Türkiye, Yayınlanmış Ders Notu, (Çevrim içi), (<https://akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/files/20200601095133-ZC76AOL1YEK4XZLRWKIG-EYARALI-432593107.pdf>) (Ziyaret Tarihi: 16 Eylül 2023),

Çömez, E.E., Öztürk, S., (2022), Etilen Vinil Asetat (EVM) ve Etilen Propilen Dien (EPDM) Karışımlarına Eklenen Huntit/Hidromanyezit'in Etkilerinin İncelenmesi, e-ISSN 2717-8811 *JournalMM*, 2022, 3(1), 33-49 <https://doi.org/10.55546/jmm.1013165>

Drobny, J. G. (2014). *1- Introduction*, Introduction. Handbook of Thermoplastic Elastomers, William Andrew Publishing, Second Edition, ISBN: 978-0-323-22136-8, 1-11, <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-22136-8.00001-6>

Ekşi, O., (2014), *Plastik Esaslı Kompozit Levhaların Thermoforming (Vakum ve Isı İle Şekil Verme) Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Gilbert, M. (2017). *1-Plastics Materials: Indroduction and Historical Development*, *Plastics Materials*. Brydson's Plastics Materials, 9. Edition, Butterworth-Heinemann, 1-18, ISBN: 978-0-323-35824-8, <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-35824-8.00001-3>

- Guo, Q., (2018), *Thermosets Structure, Properties and Applications, Second Editions*, Elsevier Ltd., ISBN: 978-0-08-101021-1.
- Gülmez, S., (2018), *Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler*, Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Güneş, H. H., (2012), *Polistirenin Çift Fonksiyonlaştırılması*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yüksek Lisans Tezi), Konya.
- Ibeh, C., C., (2011), *Thermoplastic Materials Properties, Manufacturing Methods, and Applications*, CRC Pres, New York, ISBN: 978-1-4200-9383-4.
- Illig, (2001), *Formenbauhandbuch, RDKP 72g, Ausgabe: DE / 07.01-2*, ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG Maschinen und Werkzeuge für Thermoformung und Verpackungstechnik, by ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG, Die Urheber- und Eigentumsrechte verbleiben bei ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG, Robert-Bosch-Strasse 10, 74081 Heilbronn/Germany, (www.illig.de)
- Ji-Horng Plastic Co., Ltd., , Plastik Malzeme: Plastik Sınıflandırması, Termoplastikler ve Termosetler Plastikler, (<https://www.ji-horng.com/plastic-material-plastics-classification>) (Ziyaret Tarihi: 17 Ekim 2022)
- Karagöz, S., (2008), *Malzeme Bilgisi*, Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu, Makine Resim Konstrüksiyon Programı, Yayınlanmış Ders Notu, Aydın, s8, (malzemebilimi.net)
- Kaya, A., (2005), *Yüksek Molekül Ağırlıklı Blok Polistirenlerin Asetik Anhidritle Kimyasal Modifikasyon Reaksiyonunun ve Ürünlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kızılay, F., (2022), *Polimerik ve Plastik Malzemeler*, Mühendis ve Makina Güncel Dergisi, (www.mmo.org.tr), (https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/08_18.pdf) (Ziyaret Tarihi: 12 Mart 2022).
- Klein, P. W., (2009), *Fundamentals of Plastic Thermoforming*, Springer Nature Switzerland, ISBN: 978-3-031-02392-7, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-02392-7>.
- Maddah, H., A., (2016), *Polypropylene as a Promising Plastic: A Review*, *American Journal of Polymer Science*, 6(1), 1-11, (<https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>).
- McKeen, L. (2018). *Introduction to Plastics and Polymers*, The Effect of Sterilization Methods on Plastics and Elastomers, William Andrew Publishing, Fourth Edition, 41-61, ISBN: 978-0-12-814511-1, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814511-1.00002-0>.
- MEGEP, (2006), *Plastik Teknolojisi Polimerlerin Fiziksel Özellikleri 2*, Ankara, (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Polimerlerin%20Fiziksel%20%C3%96zellikleri%202.pdf) (Ziyaret Tarihi: 02 Ekim 2022),

- Mullins, M. J., Liu, D., & Sue, H.-J. (2018). *Mechanical properties of thermosets*. Thermosets, Elsevier, Second Edition, 35-68, ISBN: 978-0-08-101021-1, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101021-1.00002-2>.
- PAGEV, (2022), Plastikler Nasıl Üretilir?, (<https://pagev.org/plastik-nasil-uretilir>) (Ziyaret Tarihi: 28 Ekim 2022)
- PAGEV, (2023), Polietilen, (<https://pagev.org/polietilen>) (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2023)
- PAGEV, (2022), Polipropilen, (<https://pagev.org/polipropilen>) (Ziyaret Tarihi: 09 Ekim 2022)
- PAGEV, (2023), Polistiren, (<https://pagev.org/polistrien>) (Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2023)
- PAGEV, (2022), Termoplastik, (<https://pagev.org/termoplastikler>) (Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2022)
- PAGEV, (2022), Termosetler, (<https://pagev.org/termosetler>) (Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2022)
- Paulson, (2015), Welcome To Thermoforming Training, (<https://www.paulsontraining.com/welcome-to-thermoforming-training/>) (Ziyaret Tarihi: 19 Ekim 2022)
- Sastri, V., R., (2022), *Plastics in Medical Devices* (Third Edition), William Andrew Publishing, 41-64, ISBN: 978-0-323-85126-8, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85126-8.00015-1> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323851268000151?via%3Dihub>)
- Schwarzmann, P., Illig, A., (2018), *Thermoforming: A Practical Guide*, Carl Hanser Verlag GmbH Co. KG, ISBN: 978-1-56990-709-2, <https://doi.org/10.3139/9781569907092.fm> (<https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9781569907092>)
- Science History Institute, (2022), Plastiğin Tarihi ve Geleceği, (<https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>) (Ziyaret Tarihi: 01 Ekim 2022)
- sciencemuseum.org.uk, (2022), Plastiğin Çağı, Parkesine'den Kirliliğe, (<https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/chemistry/age-plastic-parkesine-pollution>) (Ziyaret Tarihi: 01 Ekim 2022)
- Shrivastava, A. (2018). *Polymerization*. Introduction to Plastics Engineering, William Andrew Publishing, 17-48, ISBN: 978-0-323-39500-7, <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-39500-7.00002-2>.
- Soy, U., (2017), *1000 Soruda Malzeme Bilimi* içinde, (2. bs, 19-20. ss.). İstanbul; Türkiye
- Tanzi, M. C., Farè, S., & Candiani, G. (2019). *Organization, Structure, and Properties of Materials*. Foundations of Biomaterials Engineering, Academic Press, 3-103, ISBN: 978-0-08-101034-1, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101034-1.00001-3>
- Tayyar, A., E., Üstün, S., (2009), Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 53-62,

- Thompson, R.C, Moore, C.J., Vom Saal, F.S., Swan, S.H.(2009), Plastics, the Environment and Human Health: Current Consensus and Future Trends, *Philosophical Transactions, of The Royal Society*,364, 2153-2166, <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>.
- Throne, J. L. (2008). *Understanding Thermoforming. Understanding Thermoforming*, 2nd Edition, Hanser Grandner Publications Inc, ISBN: 978-1-56990-428-2, <https://doi.org/10.3139/9783446418554.fm>.
- Üçüncü, M. (2004). Etlerin Ambalajlanması. *Akademik Gıda*, 2 (6), 12-13.
- Ültay, E., Akyurt, H., Ültay, N. (2021). Sosyal bilimlerde betimsel içerik analizi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi*, (10), 188- 201.
- Ünnü, V., Ş., (2018), *PoliHipe-Destekli Rutenyum Katalizörlerinin Sentezi Ve Katalitik Uygulamaları*,Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Vahapoğlu, V., (2007), Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk, *Celal Bayar University Journal of Science*, 3(1), 57-70.
- Vengatesan, M. R., Varghese, A. M., & Mittal, V. (2018). *Thermal properties of thermoset polymers*. Thermosets, Secont Edition, Elsevier, 69-114, ISBN: 978-0-08-101021-1, <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101021-1.00003-4>
- Yelkenci, Ş., (2008), Plastik Enjeksiyon Kalıplama Teknikleri ve Özel Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

EKLER

Ek1: TERMOFORM PLASTİKLERİ VE SEMBOLLERİ

Plastik Materyal	ISO Sembolleri
(Standart) Polistiren	PS
Darbeye Dayanıklı Polistiren	SB, HIPS
Stiren-Bütadien-Stiren	SBS
Yönlendirilmiş Polistiren Levha	(OPS, BOPS)
Polistiren- Köpük Levha	EPS, XPS
Stiren- Akrolonitril	SAN
Akrolonitril- Bütadien-Stiren	ABS
Akrolonitril- Stiren- Akrilik Ester	ASA
Plastikleştirilmemiş Polivinil Klorür	PVC-U
Plastikleştirilmiş Polivinil Klorür	PVC-P
Köpüklü Polivinil Klorür Levha	EPVC
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	HDPE
Düşük Yoğunluklu Polietilen	LDPE
Polietilen Köpük Levha	EPE
Polipropilen	PP
Polipropilen Köpük Levha	EPP
PolimetilMetakrilat	PMMA
Polioksimetilen Metakrilat	POM
Polikarbonat	PC
Polikarbonat Köpük Levha	EPC
Polyester Karbonat	PEC (Bazen PAR)
Polifenilen Eter	PPE (ESKİDEN PPO)
Poliamid	PA

Polietilen Tereftalat PET ⁷ , Pratik Olarak Kristalleşmeyen PET ⁸ , Amorf PET ⁹ [3], Şiddetli Kristalleşme (Çekirdeklenme ile) Yönlendirilmiş PolietilenTereftalatLevha	PET (OPET)
Polietilen Tereftalat Köpük Levha	EPET
Polisülfon	PSU
Poliester Sülfon	PES
Polifenilen Sülfid	PPS
Akronitril/ Metakrilat/ Bütadien	A/MMA/B
SelülozAsetat	CA
Selüloz Asetat Bütirat	CAB
Selüloz Diasetat	(CdA)
Polieterimid	PEI
Termoplastik Elastomerler	TPE
Termoplastik Poliolefinler	TPO

(Schwarzmann/Illığ, 2001:2-3).

⁷PETG olarak da bilinir; Isıyla şekillendirme sırasında glikol (G) ile kopolimer olarak kristalleşmez ve şeffaf kalır.

⁸APET olarak da bilinir; Cam berraklığındaki APET levhası, ısıyla doğru şekilde şekillendirildiği takdirde kristal berraklığında kalır (levha sıcaklığı < 120 °C)

⁹CPET olarak da bilinir; Isıyla şekillendirme sırasında her zaman yüksek kristallik elde edilir. Ürünler artık şeffaf değildir ve ısıya oldukça dayanıklıdır (bu nedenle levhalar genellikle beyaz pigmentle renklendirilir).

Ek2: ÖNEMLİ AMORF VE YARI KRİSTALLİ TERMOFORM PLASTİKLER

Amorf Termoplastikler	Yarı-Kristal Termoplastikler
Polivinil Klorür PVC-U & PVC-P	Yüksek Yoğunluklu Polietilen HDPE
Stiren Polimerleri PS, SB, SAN, ABS, ASA	Düşük Yoğunluklu Polietilen LDPE
Polimetil Metakrilat PMMA	Polipropilen PP
Polikarbonat PC	Poliamid PA 6, PA 66, PA 11, PA 12
Polifenilen Eter PPE	Poliasetaller POM
Selüloz Türevleri CA, CAB, CP	Doğrusal Polialkilen Tereftalatlar PET, PBT
Amorf Poliamid PA 6-3-T	Polifenilen Sülfid PPS
Polisülfon PSU	
Polietersülfon PES	

(Schwarzmann/Illig, 2001:6)

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Termoform Kalıplarının Üretim Süreçlerinde Verimliliğe Etki Eden Faktörler

ORJİNALLİK RAPORU

%**5**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**5**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**1**

YAYINLAR

%**3**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

%**1**

2

Roy J. Crawford, Peter J. Martin. "Processing of plastics", Elsevier BV, 2020

Yayın

%**1**

3

Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK)

Öğrenci Ödevi

%**1**

4

vdoc.pub

İnternet Kaynağı

<%**1**

5

issuu.com

İnternet Kaynağı

<%**1**

6

www.plastikteknik.com

İnternet Kaynağı

<%**1**

7

dspace.trakya.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<%**1**

8

Submitted to Konya Necmettin Erbakan University

Öğrenci Ödevi

<%**1**

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.

☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Hatice Kübra KÜRÜMOĞLU
(İmza)



KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Hatice Kübra KÜRÜMOĞLU
(İmza)



ÖZGEÇMİŞ

