

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞUTUCU İÇ AKSESUAR
PARÇALARININ ALTERNATİF
SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİMERİK
MALZEMELERDEN ÜRETİMİ VE
PERFORMANS ANALİZİ

Nursima SAĞLAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Programı

Danışman

Doç. Dr. Cem AKÇA

Ağustos, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUTUCU İÇ AKSESUAR PARÇALARININ ALTERNATİF
SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİMERİK MALZEMELERDEN
ÜRETİMİ VE PERFORMANS ANALİZİ**

Nursima SAĞLAM tarafından hazırlanan tez çalışması 06.08.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cem AKÇA
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Cem AKÇA, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasibe Aygül YEPREM, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan ÖZER, Üye
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Cem AKÇA sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Soğutucu İç Aksesuar Parçalarının Alternatif Sürdürülebilir Polimerik Malzemelerden Üretimi Ve Performans Analizi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Nursima SAĞLAM

TEŐEKKÜR

Bu tez çalışmam boyunca bana değerli katkılarını ve rehberliğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimiyle her aşamada yol gösteren sayın danışmanım **Doç. Dr. Cem Akça**'ya en içten teőekkürlerimi sunarım.

İlkokula başladığım ilk günden bu yana bana sadece bir ğretmen değil, aynı zamanda bir yol gösterici, bir ilham kaynağı ve yolumu aydınlatan bir ışık olan kıymetli ğretmenim **Fikret Erkoç**'a, üzerimdeki emeği, sevgisi ve her zaman yanımda hissettirdiği desteği için sonsuz teőekkür ederim.

Bu süreçte her zaman yanımda olan, sevgisi, sabrı ve desteğiyle bana g veren **aileme**; motive edici sohbetleri ve yardımlarıyla bana katkı sağlayan arkadaşım **Deniz Karaduman**'a; desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarımı güzelleştiren sevgili ev arkadaşım **Ceren zge Köse**'ye ve tüm yorgunluğumu unutturran canım kedim **Miasu**'ya sonsuz teőekkür ederim.

Nursima SAğLAM

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Buzdolabının Mekanik Bölümleri.....	1
1.1.1 Kapı Rafı Mekanik Özellikleri	3
1.1.2 Çekmece Mekanik Özellikleri	4
1.2 Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanılan Malzemeler.....	5
1.2.1 Polistiren (PS) Malzemesinin Genel Özellikleri ve Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanım Nedenleri	6
1.2.2 Polipropilen (PP) Malzemesinin Genel Özellikleri ve Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanım Nedenleri	9
1.3 Plastik Parça Tasarımı.....	10
1.4 Polimer Şekillendirme Yöntemleri	20
1.4.1 Plastik Enjeksiyon	25
1.5 Sürdürülebilirlik.....	28
1.5.1 Biyobozunurluk ve Biyodönüştürülebilirlik Kavramları	31
1.5.2 Polimerik Malzemelere Alternatif Sürdürülebilir Malzemeler	32
2 DENEYSEL	34
2.1 Malzeme Seçimi.....	34
2.1.1 Transparan Grup İçin Seride Kullanılan Malzemenin Özellikleri ile Alternatif Malzemenin Özelliklerinin Karşılaştırılması	34
2.1.2 Opak Grup İçin Seride Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ile Alternatif Malzemenin Özelliklerinin Karşılaştırılması	37
2.2 Mekanik Tasarım	38

2.2.1 Kapı Rafı Tasarımı	39
2.2.2 Çekmece Tasarımı	43
2.3 Enjeksiyon Denemeleri	51
2.4 Uygulanan Testler ve Raporları	60
3 SONUÇ	71
KAYNAKÇA	72
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	75



KISALTMA LİSTESİ

PLA	Polilaktik Asit
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
ABS	Bütadien Stiren
POM	Poliasetal
PC	Polikarbonat

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Soğutucu iç aksesuarları	3
Şekil 1.2 Cidar kalınlığı farkından dolayı oluşan hava sıkışması.....	13
Şekil 1.3 Cidar kalınlıklarının eşit dağılması	13
Şekil 1.4 Köşe yuvarlatmalar.....	13
Şekil 1.5 Kesit değişiklikleri	14
Şekil 1.6 Akış yönlendiriciler.....	15
Şekil 1.7 Akış engelleyiciler.....	16
Şekil 1.8 Kalın feder sebebi ile meydana gelen çöküntü.....	17
Şekil 1.9 Çöküntülerin azaltılması ile ilgili tasarım örnekleri.....	17
Şekil 1.10 Feder tasarımı	17
Şekil 1.11 Katkısız malzemeler için feder kalınlığına bağlı olarak çarpılma.....	18
Şekil 1.12 Tek federin birden fazla daha küçük feder ile değiştirilmesi	18
Şekil 1.13 Çıkma açıları için tasarım kuralları	19
Şekil 1.14 Yan duvarlarda ters açılardan kaçınılması	20
Şekil 1.15 Tırnak tasarımında ters açıdan kaçınılması	20
Şekil 1.16 Tipik bir basma ile kalıplama sistemi.....	22
Şekil 1.17 Tipik tek vidalı ekstrüder sistemi	23
Şekil 1.18 Döner kalıplamanın çalışma şeması	23
Şekil 1.19 Erkek kalıp kullanarak vakumlu ısıl şekillendirme	24
Şekil 1.20 Sıvı termosetin döküm ile kalıplanması	25
Şekil 1.21 Plastik enjeksiyon makinesi	26
Şekil 1.22 Plastik enjeksiyon makinesi bölümleri.....	27
Şekil 1.23 Sürdürülebilirliğin üç temel boyutu	30
Şekil 1.24 Biyoplastiklerin sınıflandırılması	31
Şekil 1.25 Kompostlanabilir biyobozunur paketleme malzemesinin biyolojik çevrimi	32
Şekil 2.1 Ham maddelerin teknik özelliklerinin karşılaştırılması	35

Şekil 2.2 Çekmece kilitleme detayı tasarımı	44
Şekil 2.3 Çekmece kilitleme detayı	44
Şekil 2.4 Çekmece kapağı çıkarılma kuvveti	45
Şekil 2.5 Çekmece ray sisteminin kapak açılımı ile etkileşimi	46
Şekil 2.6 Çekmece montaj yönünün doğruluğuna ilişkin görsel açıklama.....	46
Şekil 2.7 Separatör demontaj kuvveti ölçümü.....	47
Şekil 2.8 Açık pozisyonda çekmece tasarım kriterleri	49
Şekil 2.9 Yan tutamak boyut gösterimi	50
Şekil 2.10 Çekmece tasarımı CAD gösterimi.....	50
Şekil 2.11 Çekmece tasarımı teknik resmi	50
Şekil 2.12 Enjeksiyon prosesi parameter gösterimi.....	52
Şekil 2.13 Enjeksiyon kapı rafı numuneleri	53
Şekil 2.14 Enjeksiyon akış izi hatası	53
Şekil 2.15 Polimer akıntısı.....	54
Şekil 2.16 Nötrleyici masterbatch ile üretilen kapı rafı numunesi	55
Şekil 2.17 Yeşil masterbatch ile üretilen kapı rafı numunesi	55
Şekil 2.18 Nötrleyici masterbatch numunesi ile saf ham madde numunesi renk farkı	56
Şekil 2.19 Numunedeki akış izleri.....	57
Şekil 2.20 Kapı rafı kimyasal test sonuçları	63
Şekil 2.21 Çekmece kimyasal test sonuçları	64
Şekil 2.22 Ölçüm noktaları bükülme/eğilme	66
Şekil 2.23 Çekmece dayanıklılık testi sonuçları.....	68
Şekil 2.24 Kapı açma kapama döngüsü sonuçları	70
Şekil 2.25 Kapı açma kapama döngüsü sonuçları	70
Şekil 2.26 Kapı rafı yükleme görseli	70

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Buzdolabında kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	6
Tablo 1.2 PS mekanik özellikleri	7
Tablo 1.3 PP mekanik özellikleri	9
Tablo 2.1 Temizlik kolaylığı ve dayanıklılık için önerilen tasarım kriterleri	48
Tablo 2.2 Enjeksiyon deneme parametreleri.....	51
Tablo 2.3 Çekmece kapağı için ideal parameter aralıkları.....	58
Tablo 2.4 Opak grup çekmece gövdesi	59
Tablo 2.5 Kapı rafı ve çekmeceler için kimyasal testler ve parametreleri.....	62
Tablo 2.6 Kapı rafı yüzey alanına göre yüklenme senaryosu	65

SOĞUTUCU İÇ AKSESUAR PARÇALARININ ALTERNATİF SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİMERİK MALZEMELERDEN ÜRETİMİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Nursima SAĞLAM

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Cem AKÇA

Bu tez çalışmasında, soğutucu iç aksesuar parçalarının alternatif sürdürülebilir polimerik malzemeler kullanılarak üretilmesi ve performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, hem şeffaf grup çekmece kapağı hem de opak grup çekmece gövdesi için farklı biyobazlı polimer alternatifleri belirlenmiş, seçilen malzemelerin enjeksiyon kalıplama uygunluğu ve nihai ürün kalitesi sistematik şekilde incelenmiştir. Şeffaf grup için mevcut durumda kullanılan PS yerine, biyobazlı Luminy L130 PLA malzemesi tercih edilmiştir. Parametre optimizasyonları sonucunda istenilen optik şeffaflık ve yüzey kalitesi elde edilmiştir. Opak grup çekmece gövdesi için ise seri üretimde kullanılan PP malzemesiyle uyumlu olacak şekilde Bio-Flex S 5514 biyopolimer alternatifi değerlendirilmiştir. Alternatif malzemeler, akışkanlık, darbe dayanımı, işlem stabilitesi ve gıda temasına uygunluk gibi temel kriterler açısından detaylı karşılaştırılmıştır. Tasarım aşamasında, kapı rafı ve çekmece bileşenlerinin mekanik, fonksiyonel ve ergonomik gereksinimleri dikkate alınarak CAD modeller

geliştirilmiş, kritik tasarım detayları (ör. key lock sabitleme, askı geometrisi, temizlik ergonomisi, çekmece açılabilirliği) literatür ve standartlara uygun şekilde uygulanmıştır. Enjeksiyon denemeleri sonucunda, proses parametre aralıkları belirlenmiş; sıcaklık, basınç ve soğutma optimizasyonları ile ürün kalitesi artırılmıştır. Ayrıca yapılan testler ile numunelerin mekanik dayanım, ısı stabilite ve kimyasal direnç performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir biyopolimerlerin buzdolabı iç aksesuar üretiminde teknik ve fonksiyonel açıdan uygulanabilir olduğunu göstermiş, alternatif malzeme kullanımının hem çevresel etkiyi azaltacağı hem de ürün kalitesini koruyacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir biyopolimer, enjeksiyon kalıplama, polilaktik asit (PLA), polipropilen (PP), polistiren (PS), tasarım optimizasyonu.

PRODUCTION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ALTERNATIVE SUSTAINABLE POLYMERIC MATERIALS FOR REFRIGERATOR INTERIOR ACCESSORIES

Nursima SAĞLAM

Department of Metallurgical and Materials Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Cem AKÇA

In this thesis study, it was aimed to produce refrigerator interior accessory parts using alternative sustainable polymeric materials and to evaluate their performance. Within this scope, various bio-based polymer alternatives were identified for both the transparent group drawer cover and the opaque group drawer body, and the suitability of the selected materials for injection molding and the final product quality were systematically examined.

For the transparent group, instead of the currently used PS, the bio-based Luminy® L130 PLA material was selected. As a result of parameter optimizations, the desired optical clarity and surface quality were achieved. For the opaque group drawer body, the Bio-Flex® S 5514 biopolymer was evaluated as an alternative compatible with the PP material used in mass production. The alternative materials were compared in detail in terms of flowability, impact resistance, process stability, and compliance with food contact requirements.

In the design phase, CAD models of door bins and drawer components were developed considering mechanical, functional, and ergonomic requirements, and critical design details (e.g., key lock fastening, hanger geometry, cleaning

ergonomics, drawer accessibility) were implemented in accordance with the literature and relevant standards. Based on the injection trials, process parameter ranges were determined, and product quality was improved through the optimization of temperature, pressure, and cooling conditions. In addition, tests were conducted to evaluate the mechanical strength, thermal stability, and chemical resistance performance of the samples.

The results demonstrated that sustainable biopolymers can be technically and functionally feasible for refrigerator interior accessory production, and it was concluded that the use of alternative materials can reduce environmental impact while maintaining product quality.

Keywords: Sustainable biopolymer, injection molding, polylactic acid (PLA), polypropylene (PP), polystyrene (PS), design optimization.

1.1 Buzdolabının Mekanik Bölümleri

İnsanlık, var olduğu ilk andan itibaren barınma ve beslenmeyi hayatta kalmanın iki temel gereksinimi olarak görmüştür. Güvenli sığınaklar bulup inşa ederken bir yandan da yiyecekleri bozulmadan saklama çabası sürmüştür. Tuzlama, salamura, kurutma ya da konserve benzeri yöntemler, pek çok gıda için uzun ömür sağlamış olsa da her besine uygulanamayışı farklı çözümlerin peşine düşülmesine yol açmıştır.

Günümüzde ticari anlamda kullanılabilir ilk elektrikli buzdolabı, 1913 yılında geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur. Bu modelde, ahşap bir gövdenin üst kısmına yerleştirilen kompresör aracılığıyla, buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi kullanılmıştır. Modern buzdolaplarında da temel soğutma prensibi benzer şekilde devam etmektedir. Kapalı bir sistem içinde dolaşan soğutucu akışkan, kompresör yardımıyla sıkıştırılarak yüksek basınca çıkarılır ve yoğunlaştırıcı serpantinlere yönlendirilir. Burada ısı kaybederek sıvı hale gelir. Daha sonra genleşme valfi üzerinden geçen sıvı akışkanın basıncı düşer, bu sayede buharlaşma gerçekleşir ve buharlaştırıcı yüzeyinde ortamdaki ısı çekerek iç hacmin soğumasını sağlar. Buhar haline gelen akışkan, yeniden kompresöre ulaşarak çevrim sürekli şekilde tekrar eder [1,2].

Teknolojinin gelişimiyle birlikte, günümüzdeki buzdolapları hem daha geniş iç hacim sunmakta hem de enerji tasarrufu sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıca, kullanılan yeni nesil çevreye duyarlı soğutucu akışkanlar sayesinde, gıdaların tazeliği daha uzun süre korunabilmektedir.

Buzdolapları, yalnızca bir soğutma cihazı olmanın ötesinde, çeşitli mekanik alt sistemlerin bir araya gelmesiyle işlevselliği, dayanıklılığı ve kullanıcı deneyimini

sağlayan kompleks ürünlerdir. Bu mekanik sistemler, ürünün yapısal bütünlüğünü, enerji verimliliğini ve ergonomisini doğrudan etkileyen kritik bileşenlerden oluşur. Mekanik bölümler genel olarak; şasi, depolama çözümleri ve soğutma grubu yerleşimi olmak üzere üç temel başlık altında incelenir.

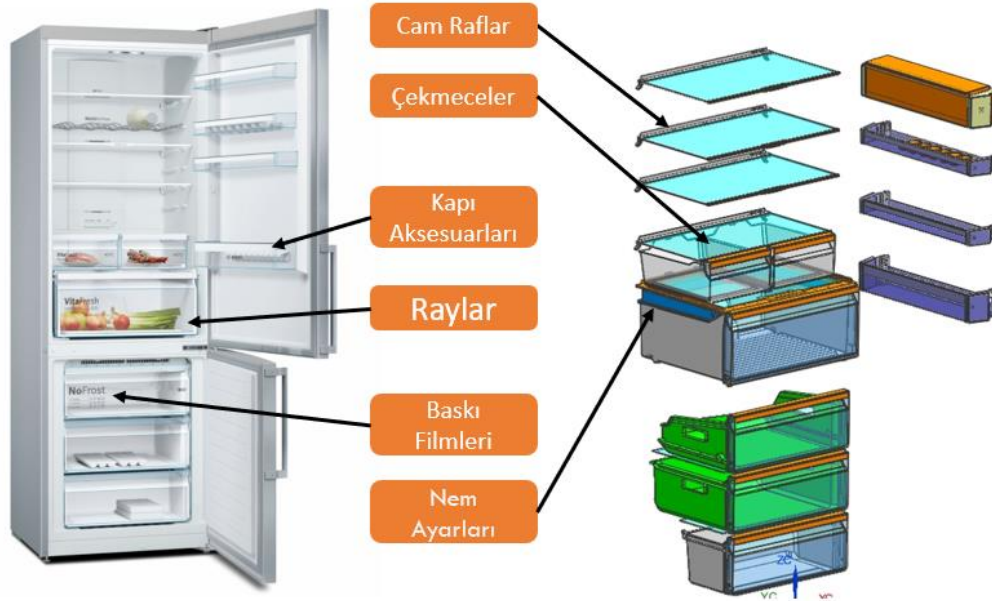
Şasi bölümü, ürünün dış yapısını oluşturur ve aynı zamanda contalar, menteşeler, kapı hareket mekanizması ve kullanıcı erişim konforu gibi özelliklerin temelini oluşturur. Bu mekanik sistemlerin her biri, ürünün hem mühendislik başarımı hem de kullanıcı deneyimi açısından temel öneme sahiptir. Doğru tasarlanmış mekanik bölümler; ürün ömrünü artırır, üretim maliyetlerini düşürür ve nihai kullanıcı memnuniyetini doğrudan etkiler. Buzdolabının dış kabuğu, ürünün yapısal sağlamlığını, güvenliğini, enerji kullanımını ve kullanıcıya sunduğu ergonomiyi doğrudan belirleyen başlıca unsurlardan biridir. Bu bölüm, genel olarak “şasi” olarak ifade edilir ve kapı mekanizması, iç yüzey parçaları, conta sistemleri, menteşeler ve taşıyıcı elemanlardan oluşur [3].

Kapı, hem dış formun önemli bir parçası hem de sızdırmazlığı sağlayan temel elemandır. İç kapak ve conta sistemleri, dolabın ısı kayıplarını minimumda tutmak üzere özel tasarlanır. Menteşe ve rulman sistemleri ile kapı kolayca açılıp kapanabilir. Dış tutamaklar, ergonomi ve marka estetiği açısından büyük rol oynar.

Soğutma birimi yerleşimi bölgesinde, arka bölümde, parçaların maliyet, üretilebilirlik, servis kolaylığı ve titreşim dayanımı gibi kriterlere göre optimum şekilde yerleştirilmesi hedeflenir.

Modern buzdolaplarında soğutma sisteminin en önemli bölümlerinden biri olan agrega bölgesi, kompresör, kondansör, bağlantı hortumları ve elektrikli aksesuarların yer aldığı teknik alandır. Bu bölgenin tasarımı, yalnızca işlevselliği değil; aynı zamanda üretim sürecindeki kolaylık, maliyet etkinliği, servis erişimi ve ürün kalitesini doğrudan etkiler [4].

Depolama çözümleri kısmı, raflar, çekmeceler, kapı içi düzenekler gibi parçalar sayesinde kullanıcıya işlevsel bir iç hacim sunar. Hacim bölünmesi, erişim kolaylığı ve gıda türüne göre bölme yapılması gibi fonksiyonları kapsar.



Şekil 1.1 Soğutucu iç aksesuarları

Temel amacı, kullanıcı ihtiyaçlarına en uygun depolama çözümlerini sağlamak, marka pozisyonuna uygun fonksiyonlar belirlemek, hacim içi bölme ve erişim konforunu optimize etmek, açık hacim – kapalı hacim dengesi kurmak, gıdalar için uygun iklim şartlarını sağlamaktır.

Ana Bileşenler:

- Raflar: Temperli cam, tel veya plastik olabilir. Ayarlanabilirlik, kullanım konforunu artırır.
- Çekmeceler: Genellikle sebzelik, et-balık çekmecesine gibi gıda gruplarına ayrılmıştır. Nem kontrolü özellikleri bulunabilir.
- Kapı Rafları: Yumurtalık, sos rafı gibi küçük eklentilerle ergonomi artırılır.
- Ray Sistemleri: Çekmece konforunu ve taşıma kapasitesini belirler.
- Nem Ayarlayıcı Sistemler: Belirli bölgelerde istenilen nem ortamı sağlanarak gıda tazeliği korunur.
- Dekoratif Filmler: Görsel tasarımı ve marka karakterini güçlendirir [4, 5].

1.1.1 Kapı Rafı Mekanik Özellikleri

Buzdolaplarında kapı rafları, hem iç hacmin daha verimli kullanılmasını sağlayan hem de kullanıcının erişim kolaylığını artıran temel iç aksesuar bileşenlerinden

biridir. Ergonomi, dayanıklılık ve estetik gibi faktörlerin bir arada değerlendirildiği bu yapılar; günlük kullanımda yüksek tekrarlı açma-kapama çevrimlerine, değişken yük kombinasyonlarına ve sıcaklık-nem değişimlerine maruz kalır.

Kapı raflarının tasarım süreci, yalnızca bir plastik formun şekillendirilmesinden ibaret değildir. Ürünün genel mimarisi, kapı panelinin yapısı, menteşe tipi, kapı açıklık açısı ve iç liner geometrisi gibi birçok parametre, kapı raflarının ebatlarını, pozisyonunu ve montaj biçimini doğrudan etkiler. Bu sebeple tasarım aşaması, yapısal dayanıklılık, uygun malzeme seçimi, üretim kolaylığı, kullanıcıya sağladığı ergonomi ve estetik uyum gibi pek çok mühendislik ölçütü dikkate alınarak eş zamanlı şekilde yürütülmektedir.

Modern ürünlerde, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt verebilmek amacıyla sabit ya da ayarlanabilir raf sistemleri tercih edilmektedir. Bununla birlikte, darbe dayanımı, çekme yükü altında deformasyon sınırı ve menteşe yakınında oluşabilecek torsiyon etkileri gibi mekanik sınır koşulları da tasarımın başlangıç noktalarını oluşturur. Özellikle yüksek kapılı modellerde, kapı sarkması ve açılma sonrası geri kapanma dengesini etkileyen momentler, raf yerleşimiyle doğrudan ilişkilidir [4, 5].

1.1.2 Çekmece Mekanik Özellikleri

Buzdolabı iç hacminde yer alan çekmeceler, gıdaların kategorilere ayrılarak saklanmasını kolaylaştıran, kullanıcı konforunu ve hijyenik depolamayı destekleyen önemli iç aksesuar bileşenlerindedir. Fonksiyonel olarak ürün segmentasyonunu desteklemenin yanı sıra, nem kontrolü, hava sirkülasyonu ve ısı stabilitesini doğrudan etkileyen yapılar olduklarından; sadece taşıyıcı hacim elemanı olarak değil, sistemin bütünsel bir parçası olarak değerlendirilirler.

Çekmece tasarımı, çeşitli yük senaryoları, hareketli sistemlerle uyum ve kullanım sıklığı gibi kriterler doğrultusunda yapılır. Tam açılabilir ray sistemleri veya sürgülü kızak mekanizmalarıyla donatılan çekmeceler, defalarca tekrarlanan açma-kapama hareketlerine uzun süre dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu noktada, kılavuz sistemlerle oluşan sürtünme kuvvetleri, ray-taban ilişkisi, çekmece duvarlarının deformasyon sınırları ve lokal yük birikimleri, mekanik analizlerin temelini oluşturur.

Tasarım süreci aynı zamanda buzdolabı iç liner geometrisi, alt yüzey eğimleri, hava akımı yolları ve kompresör bölmesi sınırları ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle

çekmeceler, sadece işlevsel değil; aynı zamanda optimum hacim kullanımı ve iç mimari bütünlüğü sağlayacak şekilde modellenir. Yüksek segment ürünlerde, soft-close sistemleri, özel cam-plastik kombinasyonları veya bölmeli yapı tercihleri, mühendislik gereksinimlerini daha da çeşitlendirmektedir.

Özetle, çekmece tasarımında; statik ve dinamik yüklemelere karşı dayanıklılık, tekrarlı hareket çevrimlerinde işlevsel stabilite, üretim süreciyle uyumlu geometrik tasarım ve estetik bütünlük bir arada ele alınarak çok yönlü bir mühendislik yaklaşımı izlenir [6].

1.2 Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanılan Malzemeler

Buzdolapları, gıda ürünlerinin tazeliğini koruyarak uzun süre saklanmasını sağlayan önemli ev tipi soğutma cihazlarıdır. Bu cihazların iç tasarımında kullanılan aksesuarlar, hem kullanıcı deneyimini hem de ürünün genel işlevselliği ve dayanıklılığını doğrudan etkiler. İç aksesuarların üretiminde tercih edilen malzemelerin; mekanik dayanım, termal yalıtım, kimyasal direnç ve işlenebilirlik gibi özellikleri, buzdolabının performansı açısından belirleyici rol oynar. Bu doğrultuda, polistiren (PS) ve polipropilen (PP) gibi yaygın polimerlerin yanı sıra, akrilonitril bütadien stiren (ABS), poliasetal (POM) ve polikarbonat (PC) gibi mühendislik plastikleri de farklı iç aksesuar bileşenlerinin üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu bölümde özellikle PS ve PP malzemelerinin teknik özellikleri, sağladıkları avantajlar ve buzdolabı iç aksesuarlarındaki kullanım alanları ayrıntılı olarak incelenecektir [7].

Polistiren, kimyasal yapısı itibarıyla şeffaf, sert ve işlenmesi kolay bir termoplastiktir. Buzdolabı iç kısımlarında, özellikle genişletilmiş polistiren formu tercih edilmektedir. Bu köpük formu, düşük yoğunluğu ve yüksek ısı yalıtım özellikleri ile enerji verimliliğine olumlu katkıda bulunur.

Polipropilen ise, düşük yoğunluğa sahip olmasının yanı sıra kimyasal maddelere ve yüksek sıcaklıklara karşı gösterdiği direnç sayesinde öne çıkan bir termoplastik polimerdir. Buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasında, düşük sıcaklıklarda bile mekanik özelliklerini koruması ve korozyona karşı dirençli olması yer almaktadır. PP, yüksek gerilme dayanımı ve basınca karşı mukavemeti sayesinde uzun ömürlü, sağlam iç aksesuarların

üretiminde idealdir. Polipropilenin işlenebilirliği de enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemleriyle geniş bir ürün yelpazesine imkan tanır. Bu özellikler, PP'nin özellikle çekmeceler, raflar ve kapak gibi yapısal parçaların üretiminde yaygın şekilde kullanılmasını sağlar [8, 9].

Tablo 1.1 Buzdolabında kullanılan malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Kullanım Alanı	Özellikleri
Polipropilen (PP)	Çekmeceler, iç paneller	Esnek, kimyasal dirençli, hafif
Polistiren (PS/HIPS)	Kapı Rafları, İç kaplama panelleri, bazı sabit raflar	Sert, parlak yüzey, uygun maliyetli
ABS	Özel tasarım parçalar, kapı içi raflar	Darbeye dayanıklı, yüzey kalitesi yüksek
SAN	Şeffaf parçalar, iç kapaklar	Yarı saydam, çizilmeye karşı orta direnç
PU Köpük	Yalıtım katmanı (iç-dış duvar arası)	Isı yalıtımı, düşük yoğunluk

Sonuç olarak, buzdolabı iç aksesuarlarında malzeme seçimi, ürünün dayanıklılığı, işlevselliği ve maliyet etkinliği açısından stratejik bir karar olmaktadır. PS ve PP polimerleri, farklı özellikleri ve avantajları ile bu alanda öne çıkan malzemeler olup, üretim sürecinde bu malzemelerin performans kriterlerine göre uygun kombinasyonlarının kullanılması, hem kullanıcı memnuniyetini artırmakta hem de cihazın enerji verimliliğine olumlu katkılar sağlamaktadır.

1.2.1 Polistiren (PS) Malzemesinin Genel Özellikleri ve Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanım Nedenleri

Polistiren (PS), yüksek molekül ağırlığına sahip bir termoplastik polimerdir ve endüstride geniş bir uygulama alanına sahiptir. Monomer birim olarak stiren'den sentezlenen PS, yapısal ve mekanik özellikleri sayesinde özellikle hafif, sert ve

uygun maliyetli plastik malzeme ihtiyacının karşılanmasında tercih edilmektedir. Polistiren, düşük yoğunluğu, kolay işlenebilirliği ve iyi elektriksel yalıtkanlık özellikleri nedeniyle beyaz eşya sektöründe, özellikle buzdolabı iç aksesuarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polistiren, amorf yapıda bir polimerdir ve cam geçiş sıcaklığı (T_g) yaklaşık 90–105 °C aralığında değişir. Bu özellik, PS'nin oda sıcaklığında sert ve camsı yapıda olmasını sağlar. Moleküler yapısındaki fenil grupları, polimer zincirlerinin rijitleşmesine neden olarak mekanik dayanımı artırır. PS, kimyasal dayanıklılığı bakımından alkali ve asitlere karşı dirençlidir; ancak, bazı organik çözücülerde şişme ve çözünme gösterebilir.

Termal olarak, PS'nin erime noktası bulunmamakla beraber, yüksek cam geçiş sıcaklığı ve düşük ısıl genleşme katsayısı, malzemenin buzdolabı gibi düşük sıcaklıklarda çalışması gereken uygulamalarda form stabilitesini korumasını sağlar. Ayrıca PS'nin işlenmesi genellikle enjeksiyon ve ekstrüzyon teknikleri ile gerçekleştirilir, bu da karmaşık şekillerin yüksek üretim hızıyla elde edilmesine olanak tanır [9, 10].

Tablo 1.2 PS mekanik özellikleri

Özellik	Değer	Açıklama
Yoğunluk	1.04 - 1.06 g/cm ³	Hafif ve dayanıklı yapı
Cam Geçiş Sıcaklığı (T_g)	90 - 105 °C	Sertlik ve termal stabilite
Erime Noktası	Belirgin erime noktası yoktur	Termal davranış amorf yapı
Çekme Dayanımı	40 - 60 MPa	Yüksek mekanik dayanım
Isıl Genleşme Katsayısı	~70-80 x10 ⁻⁶ /°C	Düşük ısıl deformasyon
Kimyasal Dayanıklılık	Orta	Asit/alkali dayanımı iyi

Polistiren (PS), yüksek molekül ağırlığına sahip bir termoplastik polimerdir ve endüstride geniş bir uygulama alanına sahiptir. Monomer birim olarak stiren'den sentezlenen PS, yapısal ve mekanik özellikleri sayesinde özellikle hafif, sert ve uygun maliyetli plastik malzeme ihtiyacının karşılanmasında tercih edilmektedir. Polistiren, düşük yoğunluğu, kolay işlenebilirliği ve iyi elektriksel yalıtkanlık özellikleri nedeniyle beyaz eşya sektöründe, özellikle buzdolabı iç aksesuarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Termal açıdan değerlendirildiğinde, polistirenin belirgin bir erime noktası bulunmaz; ancak yüksek cam geçiş sıcaklığı ve düşük ısıl genleşme katsayısı sayesinde, düşük sıcaklık ortamlarında formunu koruyarak buzdolabı uygulamaları için uygun stabilite sağlar. Ayrıca PS'nin işlenmesi genellikle enjeksiyon ve ekstrüzyon teknikleri ile gerçekleştirilir, bu da karmaşık şekillerin yüksek üretim hızıyla elde edilmesine olanak tanır [11].

Polistiren buzdolabı aksesuarları için oldukça uygun bir malzemeledir. Buzdolabı iç aksesuarları, ürünlerin dayanıklılığı, hijyenik koşullarda korunması ve estetik görünümü açısından yüksek kalite malzemeler gerektirir. Polistiren, bu gereksinimleri karşılayacak birçok avantaja sahiptir:

- **Düşük Yoğunluk ve Hafiflik:** PS, yaklaşık 1.04-1.06 g/cm³ yoğunluğa sahip olup, buzdolabı aksesuarlarının hem hafif hem de sağlam olmasını sağlar. Hafif malzeme, enerji tasarrufu ve kolay montaj avantajları sunar.
- **İyi Yüzey Kalitesi:** Polistiren, yüksek parlaklıkta ve pürüzsüz yüzey elde edilmesine olanak tanır. Bu özellik, buzdolabı iç aksesuarlarının estetik ve temiz görünmesini sağlar.
- **Kolay İşlenebilirlik:** Enjeksiyon kalıplama ve termoform gibi üretim yöntemleri PS ile kolayca uygulanabilir. Bu sayede karmaşık iç aksesuar tasarımları hızlı ve maliyet etkin şekilde üretilebilir.
- **Termal Dayanıklılık:** Polistiren, buzdolabı çalışma koşullarında (genellikle -20 °C ile +5 °C arası) mekanik ve yapısal özelliklerini korur. Cam geçiş sıcaklığı sayesinde düşük sıcaklıklarda çatlama ve deformasyon riski düşüktür.
- **Kimyasal Direnç:** PS, yaygın kullanılan temizlik maddelerine ve gıdalardaki sıvılara karşı dirençlidir. Bu durum, hijyen standartlarının korunmasını sağlar.

- Ekonomiklik: Polistiren, maliyet açısından uygun olması nedeniyle geniş çaplı seri üretimlerde tercih edilmektedir. Maliyet-fayda dengesi, beyaz eşya sektöründe önemli bir seçim kriteridir.

Polistiren, buzdolabı iç aksesuarlarında tercih edilmesinin temel nedenleri arasında yüksek mekanik dayanım, uygun termal özellikler, üretim kolaylığı ve estetik yüzey kalitesi bulunmaktadır. Ayrıca, ekonomik üretim avantajı sayesinde PS, beyaz eşya sektöründe standart bir malzeme haline gelmiştir [12].

1.2.2 Polipropilen (PP) Malzemesinin Genel Özellikleri ve Buzdolabı İç Aksesuarlarında Kullanım Nedenleri

Polipropilen (PP), termoplastik poliolefin ailesine ait yarı kristalin bir polimerdir ve çok yönlü kullanım alanlarıyla bilinir. Yüksek kimyasal direnç, düşük yoğunluk ve iyi mekanik özellikleri sayesinde endüstride özellikle ambalaj, otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde tercih edilir. Buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde, dayanıklılığı, kimyasal kararlılığı ve kolay işlenebilirliği sayesinde polipropilen sıkça tercih edilmektedir. Polipropilene ait mekanik özellikler Tablo 1.3'te gösterilmiştir.

Tablo 1.3 PP mekanik özellikleri

Özellik	Değer	Açıklama
Yoğunluk	0.90 - 0.91 g/cm ³	Hafif yapı
Erime Noktası	160 - 170 °C	Yüksek termal dayanıklılık
Kristalinlik Oranı	%40 - %60	Yarı kristal yapı
Çekme Dayanımı	30 - 50 MPa	İyi mekanik dayanım
İzotropik Genleşme Katsayısı	100 - 150 x10 ⁻⁶ /°C	Orta seviyede termal genleşme
Kimyasal Dayanıklılık	Yüksek	Asit, baz ve çözücülere dayanıklı

PP, polar olmayan yapısı nedeniyle suya ve birçok kimyasal maddeye karşı yüksek direnç gösterir. Bu özellik, buzdolabı iç aksesuarlarında uzun süreli temizlik ve kullanım koşullarında avantaj sağlar.

Polipropilen, polistirene kıyasla daha yüksek darbe dayanımı ve esneklik sunar. Bu nedenle, daha zor şartlarda mekanik yük taşıması gereken uygulamalarda tercih edilir. Ayrıca, PP'nin yorulma dayanımı iyidir ve tekrarlanan mekanik streslere karşı direnç sağlar.

Buzdolabı iç aksesuarlarında polipropilen, aşağıdaki teknik ve ekonomik avantajları nedeniyle tercih edilmektedir:

- **Yüksek Darbe Dayanımı ve Esneklik:** Polipropilen, buzdolabı iç aksesuarlarının günlük kullanım sırasında maruz kalabileceği darbelere ve şekil bozulmalarına karşı yüksek direnç gösterir; esnek yapısı sayesinde kırılma olasılığını minimuma indirir.
- **Kimyasal Dayanıklılık:** PP, temizlik malzemeleri ve gıdalarla teması dayanıklı olup, hijyen koşullarını destekler.
- **Düşük Yoğunluk:** 0.90 g/cm^3 yoğunluğu sayesinde ürünlerin hafif kalmasını sağlar, bu da nakliye ve montaj kolaylığı getirir.
- **Termal Dayanıklılık:** Düşük sıcaklıklarda kırılma yapmadan işlevselliğini sürdürür.
- **Kolay İşlenebilirlik:** Enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon gibi yöntemlerle karmaşık şekillerde üretilebilir.
- **Ekonomik Üretim:** Yaygın ve uygun maliyetli bir hammadde olması nedeniyle seri üretim için idealdir.

Polipropilen, buzdolabı iç aksesuarlarında mükemmel mekanik ve kimyasal performansı bir arada sunar. Yarı kristal yapısı sayesinde yüksek termal dayanıklılık ve esneklik sağlar. Bu özellikleriyle, PS'den farklı olarak daha dayanıklı ve esnek aksesuarlar üretilmesine olanak tanır. Düşük yoğunluk ve ekonomik üretim avantajları da PP'yi beyaz eşya sektörünün vazgeçilmez malzemesi yapmaktadır [13, 14].

1.3 Plastik Parça Tasarımı

Plastik malzemelerin yapısal çeşitliliği ve performans beklentilerinin çok yönlülüğü, plastik parça tasarımını oldukça kapsamlı ve dikkat gerektiren bir süreç haline getirmektedir. Başarılı bir tasarım elde edebilmek adına, sürecin sistematik bir şekilde yürütülmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, izlenmesi önerilen temel adımlar aşağıda özetlenmiştir.

İlk olarak, tasarımı sınırlayan tüm teknik ve çevresel kısıtların açıkça tanımlanması gerekmektedir. Ardından, uygun malzeme ve üretim yöntemi belirlenmeli; bu doğrultuda detaylı bir taslak hazırlanarak, yapısal analizler gerçekleştirilmelidir. Gerekliğinde, tasarımın geçerliliğini test etmek amacıyla yeterli sayıda prototip üretilmeli ve gerçekçi kullanım koşullarını simüle eden testler uygulanmalıdır. Eğer bu testler sonucunda ilk tasarım yetersiz bulunursa, ikinci adımdan itibaren süreç tekrarlanarak iyileştirmeye gidilmelidir [15, 16].

Tasarım sürecinde dikkate alınması gereken temel kısıtlar vardır. Değerlendirme süreci öncelikle yapısal kısıtlarla başlatılmalıdır. Parçanın karşılaşılabilecek yükler hem statik hem de dinamik olarak analiz edilmeli, özellikle darbe yüklerinin karakteri mümkün olduğunca net biçimde ortaya konmalıdır. Ardından, taslak çizimler doğrultusunda kritik ölçü toleransları, kabul edilebilir deformasyon seviyeleri ve öngörülen tasarım ömrü belirlenmelidir.

Yapısal değerlendirmeleri takiben, çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Parçanın maruz kalacağı normal ve ekstrem sıcaklık değerleri, kimyasal maddelerle etkileşim olasılığı, nem seviyesi, UV ışını, radyasyon ve dış ortam koşulları gibi etkiler ayrıntılı biçimde analiz edilmelidir. Elektriksel özellikler ve yanmazlık gereklilikleri de özel dikkat gerektiren hususlar arasında yer almaktadır.

Tasarım estetiğine yönelik beklentiler de göz ardı edilmemelidir. Parçanın renk, parlaklık, opaklık ya da transparanlık gibi yüzey özellikleri; baskı, boyama veya diğer dekoratif işlemlere uygunluk gibi ikincil uygulamalar da tasarım sürecine dâhil edilmelidir. Zira bu gereklilikler, kullanılacak malzemenin seçimini doğrudan etkilemektedir.

Genellikle ilk olarak, en kritik tasarım gereksinimi göz önüne alınarak eleme yapılır. Örneğin, belirli bir yanmazlık sınıfının zorunlu olduğu uygulamalarda malzeme seçenekleri hızla daralır. Benzer şekilde, estetik veya kimyasal dirençle

ilgili talepler de seçim havuzunu sınırlandırır. Uygun özelliklere sahip birden fazla malzeme mevcutsa, bu kez ekonomik kriterler belirleyici olur. Ancak burada yalnızca birim fiyat dikkate alınmamalıdır; çünkü mühendislik plastikleri farklı yoğunluklara sahip olabilir. Bu nedenle birim hacim başına maliyet değerlendirmesi yapmak daha sağlıklı sonuç verecektir. Bazı durumlarda da, daha yüksek dayanım özellikleri sayesinde daha ince kesitlerle tasarlanabilecek bir malzeme, daha pahalı görünse bile toplam maliyet açısından avantaj sağlayabilir.

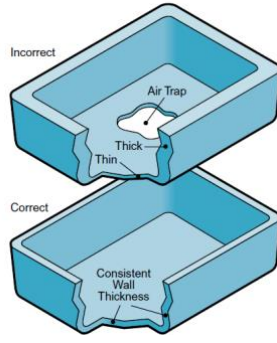
Malzeme seçiminin ardından, üretim yöntemi de belirlenmelidir. Seçilecek yöntemin, malzemenin şekillendirilmesine ve parça geometrisine uygun olması gereklidir. Üretim yöntemine ilişkin teknik sınırlamalar da tasarım kararlarını etkileyeceğinden, bu adım sürecin kritik aşamalarındandır [17].

Son aşamada ise seçilen malzeme ve üretim yönteminin getirdiği sınırlamalar dikkate alınarak parça detaylı bir şekilde tasarlanır. Ayrıca, birçok plastik hammadde üreticisi tarafından yayımlanan tasarım rehberleri (örneğin Bayer firmasının kılavuzu) tasarım sürecinde yararlı bilgiler sunmaktadır.

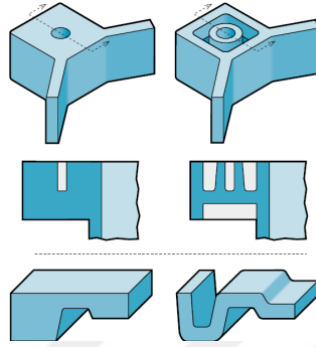
Plastik parçalarda cidar kalınlığı; mekanik dayanım, yüzey kalitesi, üretim süreci ve maliyet üzerinde doğrudan belirleyici bir etkidir. Uygun kalınlık seçimi, hem kalıplama aşamasında sorunları önler hem de gereksiz revizyon masraflarını azaltır. Genel olarak kalınlığın artması, parçanın rijitliğini artırırken ağırlığı ve çevrim süresini de yükseltir. Bu nedenle, kalınlığı artırmak yerine rijitliği artıracak feder ve kaburga gibi destek elemanlarının kullanılması daha verimli bir çözümdür.

Darbe dayanımı da cidar kalınlığına bağlıdır; ancak aşırı kalın cidarlar esnekliği azaltarak performansı olumsuz etkileyebilir. İdeal kalınlık; homojen olmalı, ani kesit değişimlerinden kaçınılmalı ve parça geometrisi kalıplama prosesine uygun olmalıdır. Çok ince cidarlar ise özel kalıp tasarımı gerektirir ve maliyet avantajını azaltabilir [18, 19].

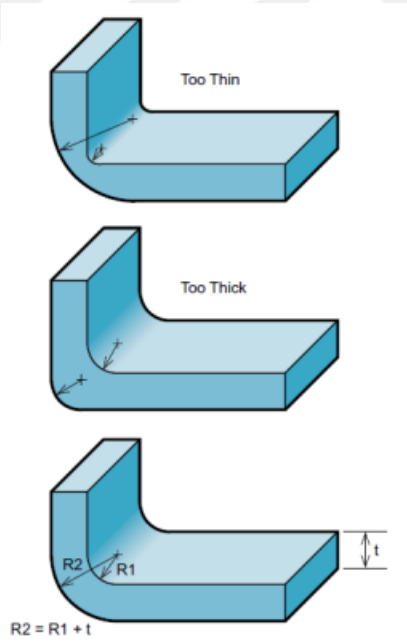
Tasarımda kalınlık geçişlerinin yumuşak yapılması, köşe geçişlerinin düzgün planlanması ve feder-kaburga kalınlıklarının ana cidardan daha ince olması, çökme ve yüzey hatalarını önlemek açısından önemlidir. Ayrıca, parça fonksiyonuna bağlı özel gereksinimlerin (örneğin yanmazlık, ses yalıtımı) da cidar kalınlığına uygun şekilde entegre edilmesi gerekmektedir [18, 19].



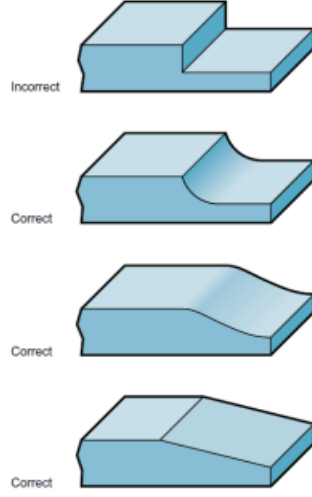
Şekil 1.2 Cidar kalınlığı farkından dolayı oluşan hava sıkışması



Şekil 1.3 Cidar kalınlıklarının eşit dağılması



Şekil 1.4 Köşe yuvarlatmalar



Şekil 1.5 Kesit değişiklikleri

Plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde, parça geometrisi ve malzeme akış davranışı dikkate alındığında, bazı bölgelerde malzeme akışını optimize etmek amacıyla özel yapısal detaylara ihtiyaç duyulabilir. Bu bağlamda akış yönlendiriciler ve akış engelleyiciler, parça kalitesinin artırılmasına ve kalıplama hatalarının önlenmesine yönelik olarak kullanılan önemli tasarım elemanlarıdır [20].

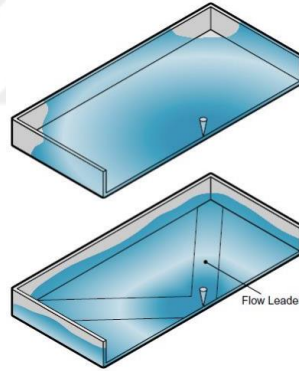
Akış yönlendirici olarak adlandırılan detaylar, genellikle parça cidar kalınlığına kıyasla daha kalın kesitlere sahip olan, iç yolluk görevi gören kanallardır. Bu yapılar, özellikle yolluk giriş noktasından uzak, dolumu zor olan kritik bölgelere polimerin ulaşmasını kolaylaştırmak amacıyla kullanılır. Ayrıca, simetrik olmayan parçalarda malzeme akışının dengelenmesini sağlayarak, çökme gibi şekilsel deformasyonların önlenmesine katkı sunarlar. Bu detayların işlevsel olabilmesi için yolluk girişinden itibaren akış yönlendirici hattı boyunca herhangi bir engelin bulunmaması gerekir.

Akış yönlendiricilerin boyutlandırılması sırasında malzemenin yapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Amorf yapıdaki polimerler için yönlendirici kalınlığı, parça cidar kalınlığının %25'ini; kristalin yapıdaki polimerler için ise %15'ini geçmemelidir. Aksi takdirde yönlendirme amacıyla eklenen bu detaylar, tersine çarpılma veya gerilme kaynaklı deformasyonlara sebep olabilir. Yönlendiricilerin diğer yapısal unsurlarla birleşim bölgelerinde, kesit geçişlerinin yumuşak yapılmasına dikkat edilmeli; ani kalınlık değişimleri engellenmelidir.

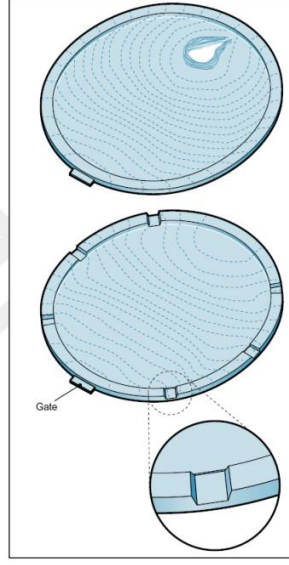
Akış engelleyici olarak tanımlanan detaylar ise, malzeme akışının belirli bölgelerde yavaşlatılması ya da yönlendirilmesini sağlamak amacıyla kullanılan, kalınlık azaltmalarından oluşan lokal geometrik tasarım unsurlarıdır. Özellikle hava sıkışmalarının önlenmesinde önemli rol oynarlar.

Akış engelleyicilerin uygulanmasında da malzemenin çekme davranışı dikkate alınmalıdır. Yüksek çekme dayanımına sahip malzemelerde cidar kalınlığı en fazla %33 oranında azaltılabilirken, daha düşük çekme dayanımı olan malzemelerde bu oran %50'ye kadar çıkabilmektedir. Engelleyicilerin etkisini artırmak amacıyla bu yapılar boylamasına uzatılarak malzeme akışı üzerinde istenen kontrol elde edilebilir [18, 19].

Bu tür detaylar çoğunlukla ilk kalıp baskıları sonrasında deneme-yanılma yöntemi ile optimize edilmekteydi. Ancak günümüzde, bilgisayar destekli kalıplama simülasyon yazılımları sayesinde, akış yönlendirici ve engelleyici yapıların konumlandırılması ve etkileri üretim öncesinde sayısal olarak analiz edilip tasarıma entegre edilebilmektedir.



Şekil 1.6 Akış yönlendiriciler



Şekil 3.7 Akış engelleyiciler (Bayer, b.t.)

Şekil 1.7 Akış engelleyiciler

Plastik enjeksiyon kalıplamada, parçanın genel kalınlığını artırmadan mekanik dayanımını yükseltmek amacıyla federler sıklıkla tercih edilen yapısal detaylardır. Bu unsurlar yalnızca rijitliği artırmakla kalmaz; aynı zamanda montaj kolaylığı sağlama, diğer parçalarla hizalama ve sabitleme işlevlerini de üstlenebilirler. Raylı sistemlerde durdurucu olarak görev almaları da mümkündür.

Feder tasarımında dikkate alınması gereken temel parametreler; kalınlık, yükseklik, konum, adet ve kalıplama uygunluğudur. Bu değişkenlerin her biri, parçanın hem işlevsel performansı hem de üretilebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Plastik enjeksiyon kalıplama yönteminde federler, parça kalınlığını artırmaya gerek kalmadan mekanik dayanımı güçlendirmek amacıyla sıkça kullanılan yapısal destek unsurlarıdır. Federler yalnızca rijitliği artırmakla kalmaz; montaj uyumu, hizalama ve durdurucu görevi gibi ek işlevler de üstlenebilir.

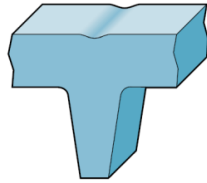
Feder tasarımında dikkate alınması gereken temel unsurlar; kalınlık, yükseklik, konum, adedi ve kalıplama uygunluğudur. Feder kalınlığı fazla olduğunda, yüzeyde çökme izleri oluşabilir; bu nedenle kalınlık genellikle ana cidarın belirli bir oranı kadar seçilir. Yüzey kalitesinin kritik olduğu durumlarda feder daha ince tasarlanır ve geçiş bölgeleri yumuşak tutulur [20].

İnce cidarlı parçalarda feder kalınlığı daha yüksek tutulabilir; ancak bu durum kalıplama zorluklarına neden olabilir. Federlerin kalıptan sorunsuz çıkması için

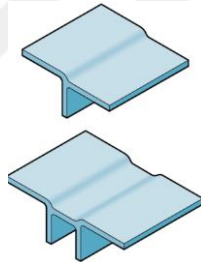
yeterli çıkma açısı verilmesi önemlidir. Soğuma sırasında federler, parçanın çekme ve çarpılma davranışını da etkiler; özellikle cam elyaf katkılı malzemelerde feder yönünde daha fazla çekme görülebilir.

Federlerin konumu ve sayısı, mekanik performansı ve üretim kolaylığını doğrudan etkiler. Yanlış yerleşim veya gereğinden fazla feder kullanımı, parçanın darbe dayanımını azaltabilir ve düzlemsellik sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle federlerin yerleşimi, tasarım sürecinin başında dikkatle planlanmalı ve gerektiğinde ek federler için uygun alanlar bırakılmalıdır.

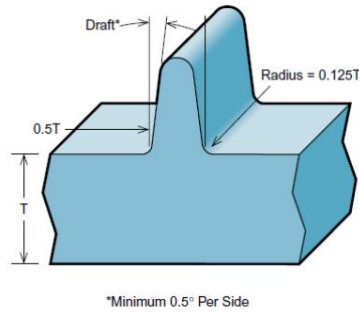
Bu şekilde tasarlanan federler, hem parça dayanımını artırır hem de üretim sürecinde olası hataları en aza indirir.



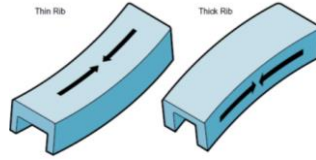
Şekil 1.8 Kalın feder sebebi ile meydana gelen çöküntü



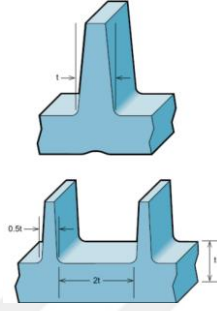
Şekil 1.9 Çöküntülerin azaltılması ile ilgili tasarım örnekleri



Şekil 1.10 Feder tasarımı



Şekil 1.11 Katkısız malzemeler için feder kalınlığına bağlı olarak çarpılma



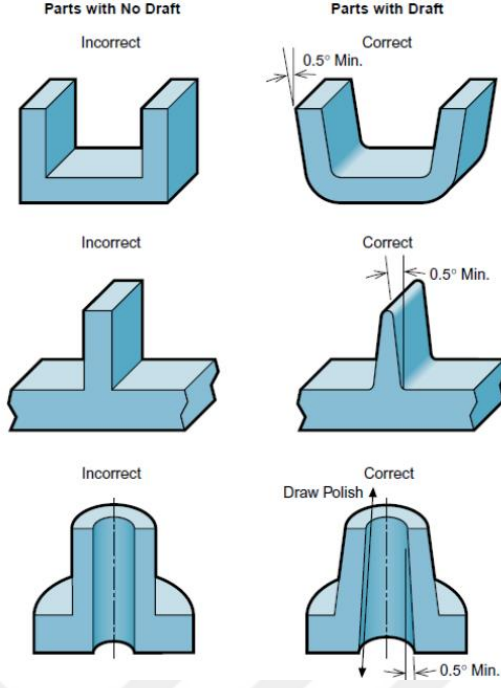
Şekil 1.12 Tek federin birden fazla daha küçük feder ile değiştirilmesi

Enjeksiyon kalıplamayla üretilen plastik parçaların kalıptan hasarsız ve sorunsuz şekilde çıkarılabilmesi için, parçanın kalıptan çıkış yönüne paralel olan yüzeylerine çıkma açısı (taper/draft angle) verilmesi gerekmektedir. Bu yüzeyler; düz duvarlar, federler, çıkıntılı delikler ve benzeri detayları içerebilir. Şekil 3.24'te çıkma açısına ilişkin genel tasarım prensipleri gösterilmiştir.

Çıkma açıları, kalıp ayırım yüzeyine paralel olan tüm yüzeylerden verilmelidir. Genel uygulamada yarım derece ($0,5^\circ$) çıkma açısı yeterli görülmekle birlikte, tasarım kısıtlarının elverdiği durumlarda bu açı 1° veya daha fazla olarak da belirlenebilir. Özellikle çıkış yönünde sürtünmenin fazla olduğu durumlarda çıkma açısı artırılarak parçanın kalıptan daha kolay ayrılması sağlanabilir.

Yetersiz çıkma açısı verilmesi durumunda, parça kalıptan çıkarılırken sürtünme artar, bu da parçada deformasyona, yüzey kusurlarına veya kalıpta aşınmalara neden olabilir. Ayrıca bu gibi durumlarda kalıp üreticileri özel yüzey kaplamaları, ayırıcı sıvılar veya çevrim süresinin uzatılması gibi önlemlerle süreci dengelemeye çalışmaktadır. Ancak bu tür ek önlemler, üretim maliyetini ve çevrim süresini artırmaktadır [20].

Dolayısıyla, çıkma açıları parça tasarımının ilk aşamalarında dikkate alınmalı ve hem üretim verimliliği hem de ürün kalitesi açısından uygun değerlerde tasarlanmalıdır.

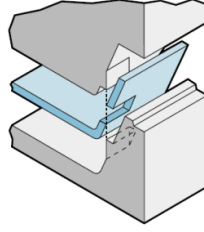


Şekil 1.13 Çıkma açıları için tasarım kuralları

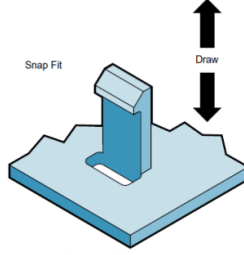
Plastik enjeksiyonla üretilecek parçaların bazı detayları, kalıplama yönüne ters olacak şekilde konumlanabilir. Bu tür detaylar ters açılı bölgeler olarak tanımlanır. Genellikle parçanın işlevselliği veya montaj gereklilikleri nedeniyle bu bölgelerin kalıbın hareketli parçalarının hareket yoluna denk gelmesi gerekebilir. Ancak bu durum kalıp tasarımını zorlaştırmakta ve maliyeti artırmaktadır.

Ters açılı bir bölgenin kalıptan çıkarılabilirliği, söz konusu bölgenin şekline, derinliğine ve kullanılan malzemenin elastikiyetine bağlıdır. Bazı durumlarda, yeterli esnekliğe sahip malzemelerle üretilen parçalar, bu ters açılı bölgelerde hafifçe esneyerek, ek mekanizmalara ihtiyaç duyulmadan kalıptan çıkarılabilir. Ancak bu yalnızca parçanın çevresindeki geometrik koşullar buna uygun olduğunda mümkün olur. Özellikle feder, köşe duvar gibi rijit yapılar bu esnemeyi engelleyebilir.

Ayrıca, parçanın ters açılı bölgesinin serbestçe esneyebilmesi için yeterli boşluğa ihtiyaç duyulur. Bu boşluk olmadığında, parçanın hasar görmeden kalıptan çıkarılması mümkün olmayacaktır [18, 19].



Şekil 1.14 Yan duvarlarda ters açılardan kaçınılması



Şekil 1.15 Tırnak tasarımında ters açıdan kaçınılması

1.4 Polimer Şekillendirme Yöntemleri

Plastik hammaddelerin istenilen form ve işlevde nihai ürünlere dönüştürülmesini sağlayan temel üretim süreçlerini ifade eder. Bu süreçler; kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, ürünün geometrisine, yüzey kalitesine, üretim miktarına ve maliyet gibi tasarım kriterlerine bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Özellikle buzdolabı gibi fonksiyonel ve kullanıcıya yönelik ürünlerde şekillendirme teknolojisi, yalnızca parçanın üretimini değil; ürünün dayanıklılığı, estetik kalitesi, hijyenik özellikleri ve montaj kolaylığını da doğrudan etkileyen kritik bir adımdır.

Plastik malzemelerin şekillendirilmesinde en sık tercih edilen yöntemler arasında enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, termoform, şişirme ve sıkıştırma kalıplama teknikleri bulunur. Bu yöntemler, temel olarak termoplastiklerin ısıtılarak eritilmesi, istenilen kalıp geometrisine aktarılması ve ardından kontrollü şekilde soğutulmasıyla gerçekleştirilir. Bu aşamaların hassas yönetimi, özellikle boyutsal hassasiyet, yüzey kalitesi ve mekanik dayanım açısından son derece önemlidir [21].

Polimer işleme teknikleri genel olarak eriyik hâlde şekillendirme ve katı hâlde şekillendirme olarak iki ana grupta incelenir. Eriyik şekillendirme yöntemleri, endüstride en yaygın kullanılan grup olup, polimerin akışkanlık davranışı, sıcaklık kontrolü, kalıp dolumu ve soğuma süresi gibi parametrelerin dikkatle yönetilmesini

gerektirir. Bu durum, buzdolabı gibi estetik ve hijyen gereksinimleri yüksek ürünlerde üretim sürecini yalnızca bir şekillendirme işlemi olmaktan çıkarıp, bir mühendislik ve optimizasyon problemi haline getirir.

Şekillendirme işlemlerinde kullanılan yöntemler, genel olarak şu başlıklar altında toplanabilir:

- Enjeksiyon Kalıplama
- Ekstrüzyon
- Termoform
- Şişirme Kalıplama
- Rotasyon Kalıplama
- Sıkıştırma Kalıplama

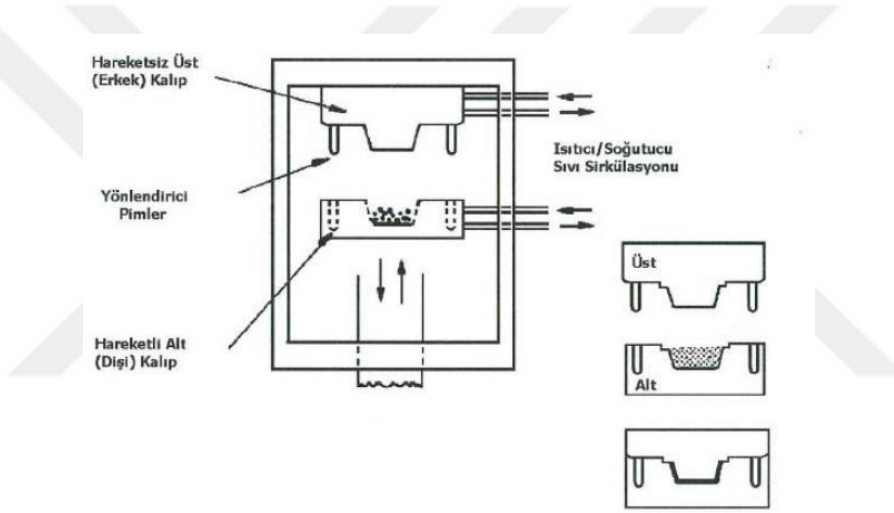
Bu tekniklerin her biri, belirli uygulama alanları ve performans gerekliliklerine göre geliştirilmiştir. Örneğin, buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde genellikle enjeksiyon kalıplama tercih edilirken; contalar gibi sürekli profillerin üretiminde ekstrüzyon, iç yüzey panelleri için ise termoform yöntemi kullanılmaktadır.

Günümüzde şekillendirme yöntemi seçiminde yalnızca teknik yeterlilik değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, malzeme kullanımı ve geri dönüşüm gibi kriterler de büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla mühendislik tasarımı, ürünün yaşam döngüsünün her aşamasını içine alan kapsamlı ve bütünlük bir yaklaşımla planlanmalıdır. Sonuç olarak, buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde uygun polimer şekillendirme yönteminin seçimi; ürün kalitesini, üretim verimliliğini, maliyet etkinliğini ve müşteri memnuniyetini doğrudan etkileyen temel bir unsurdur. Hem literatürdeki bilgiler hem de sektörel tecrübeler, bu teknolojilerin bütüncül bir mühendislik perspektifiyle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Basma ile kalıplama yöntemi, özellikle basit geometri ve sınırlı boyuttaki plastik parçaların üretiminde tercih edilen, ekonomik ve uygulanabilirliği yüksek bir şekillendirme tekniğidir. Bu yöntem, özellikle düşük üretim adetleri için uygun olup, kalıp maliyetlerinin sınırlı tutulması gereken uygulamalarda tercih edilmektedir [22, 23].

Bu proseste, işlenmek istenen plastik ham madde (granül, toz veya ön şekillendirilmiş plaka formunda olabilir) alt kalıba (dişi kalıp) yerleştirilir. Kalıpta erkek kalıp sabittir ve iki kalıp arasında yönlendirme pimleri içerir. İşlem sırasında, alt kalıp yukarı doğru hareket ederken, üst kalıpla birleşerek kapalı kalıp boşluğu oluşturur. Uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç sayesinde plastik, kalıp boşluğu içerisinde yumuşayarak biçim alır.

Basma ile kalıplama, buzdolabı sektöründe doğrudan kullanılan birincil yöntem olmasa da, bazı destekleyici parçaların prototip üretiminde veya termoset esaslı dayanım parçalarının düşük adetli üretimlerinde hâlen kullanılabilirliğini korumaktadır. Özellikle şekli karmaşık olmayan parçalarda ve özel mühendislik uygulamalarında işlevsel bir alternatif sunmaktadır.



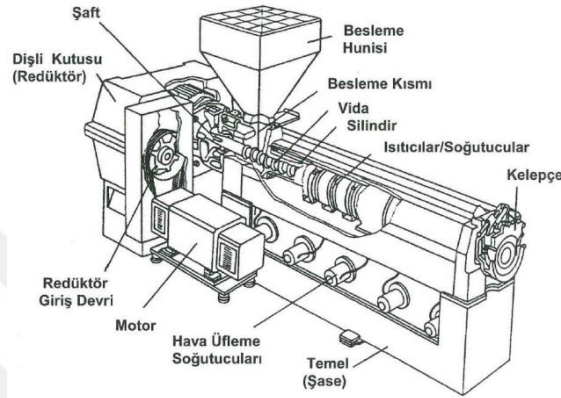
Şekil 1.16 Tipik bir basma ile kalıplama sistemi

Ekstrüzyon, termoplastik polimerlerin sürekli üretim yöntemiyle işlenmesini sağlayan ve boru, profil, film, levha gibi ürünlerin üretiminde yaygın kullanılan bir şekillendirme teknolojisidir. Temel prensip, polimerin eritilip sabit kesitli bir kalıptan yüksek basınçla itilerek şekillendirilmesi ve ardından hızlıca soğutularak istenilen boyutlarda kesilmesidir.

Bu yöntem, özellikle buzdolabı üretiminde conta, sızdırmazlık profilleri, kenar koruyucular ve bağlantı şeritleri gibi elemanların imalatında avantaj sağlar. Sürekli üretim yeteneği, düşük kalıp maliyeti ve profil boyunca tutarlı geometri, ekstrüzyonu hem ekonomik hem de verimli kılar. Ekstrüde edilen parçalar, montajlanabilir veya diğer bileşenlerle birleştirilerek daha karmaşık yapılar oluşturulabilir [22, 23].

Ancak ekstrüzyon, karmaşık üç boyutlu geometriler için uygun değildir; sadece kesiti sabit profiller üretilebilir. Ayrıca soğutma ve taşıma sistemleri, boyutsal kararlılık ve termal büzülme kontrolü için dikkatle planlanmalıdır.

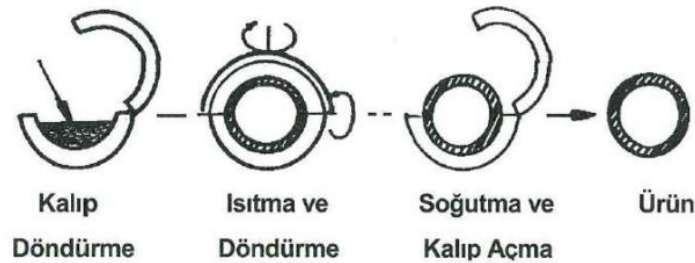
Sonuç olarak, ekstrüzyon yöntemi, buzdolabı endüstrisinde profil tipi, sızdırmazlık sağlayan veya dekoratif katkı sunan parçaların üretiminde vazgeçilmezdir. Sürekli üretim kabiliyeti sayesinde verimliliği artırırken, uygun kalıp ve malzeme seçimiyle yüksek ürün kalitesi elde edilir.



Şekil 1.17 Tipik tek vidalı ekstrüder sistemi

Döner kalıplama, özellikle içi boş ve basit geometrili plastik ürünlerin düşük maliyetle ve tek parça olarak üretilmesini sağlayan bir şekillendirme yöntemidir. Endüstriyel tanklar, oyuncaklar, taşıma kutuları gibi büyük hacimli parçalar için yaygın olarak tercih edilir.

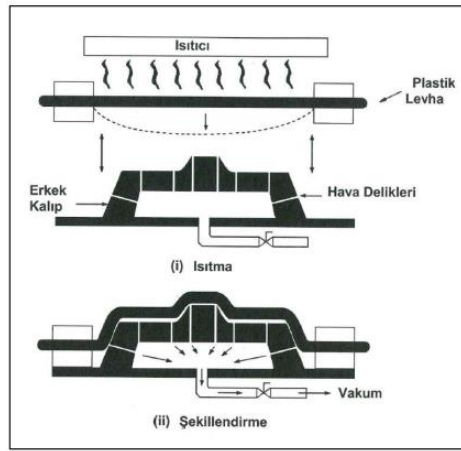
Buzdolabı sektöründe, döner kalıplama doğrudan kullanılan bir ana proses değildir; ancak bazı taşıma kutuları, özel üretim kasalar veya ambalaj birimleri gibi yardımcı elemanların düşük adetli ve büyük prototip üretiminde pratik ve ekonomik bir çözüm sunabilir [24].



Şekil 1.18 Döner kalıplamanın çalışma şeması

Isıl şekillendirme, özellikle termoplastik levhaların ısıtılıp yumuşatılarak bir kalıba vakum, basınçlı hava veya mekanik itkiyle şekil verilmesi esasına dayanan bir polimer şekillendirme yöntemidir. Bu yöntem, buzdolabı iç panelleri, çekmeceler ve geniş hacimli iç parçalar gibi büyük boyutlu ve detay seviyesi düşük ürünlerin ekonomik şekilde üretilmesine imkân tanır.

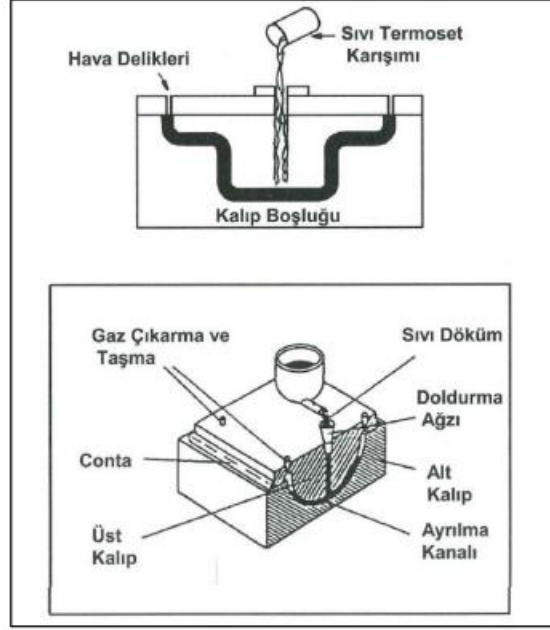
Buzdolabı üretiminde, geniş yüzeyli iç kaplamalar, sebzelikler ve çekmece altlıkları bu yöntemle üretilir. Enjeksiyon kalıplamaya kıyasla daha az detaylı, ancak daha ekonomik bir çözüm sunar.



Şekil 1.19 Erkek kalıp kullanarak vakumlu ısıl şekillendirme

Döküm kalıplama, sıvı hâlde hazırlanan polimer veya monomer karışımlarının bir kalıba dökülerek şekil verilmesi esasına dayanan ve özellikle düşük viskoziteli reçinelerle basit, fonksiyonel parçaların üretiminde kullanılan eski fakat yaygın bir yöntemdir. Optik parçalar, kalın plakalar, borular, zarlar ve özel membranlar bu yöntemin tipik uygulama alanlarıdır [22, 23].

Döküm kalıplama üç temel teknik altında incelenir: Monomer döküm kalıplama, Polimer döküm kalıplama, Çözücülü döküm kalıplama.

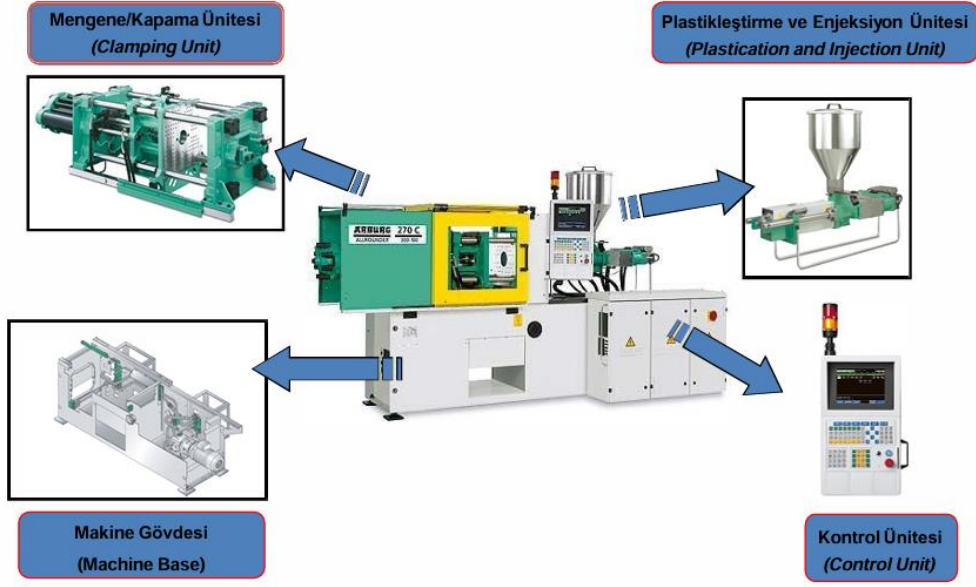


Şekil 1.20 Sıvı termosetin döküm ile kalıplanması

1.4.1 Plastik Enjeksiyon

Enjeksiyonla kalıplama, termoplastik polimerlerin işlenmesinde en yaygın kullanılan şekillendirme yöntemlerinden biri olup, yüksek hacimli ve hassas üretim gerektiren endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Temel prensibi; plastik hammaddenin eritildikten sonra yüksek basınçla bir kalıp içerisine enjekte edilerek şekillendirilmesi esasına dayanır. Süreç, özellikle karmaşık geometri, ince cidarlı ve estetik gereksinimleri yüksek parçaların üretiminde önemli avantajlar sunar [23, 24].

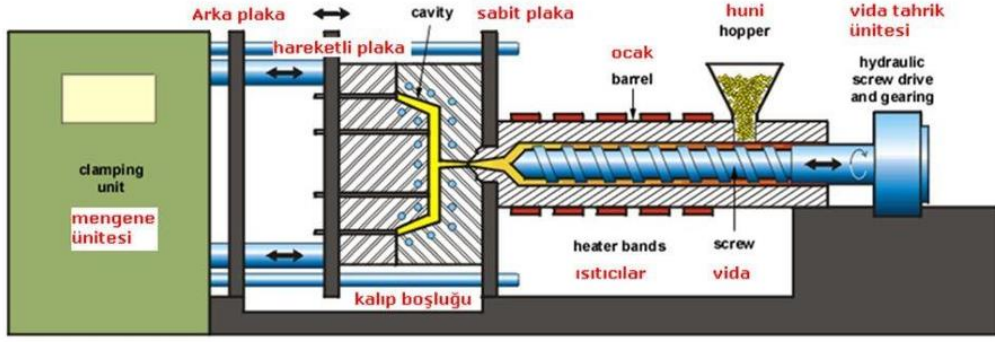
Sistem genel olarak üç ana ünitelerden oluşur: besleme hunisi, silindir-vita mekanizması ve enjeksiyon kalıbı. Besleme hunisine yerleştirilen granül veya toz formundaki plastik, silindir içerisinde bulunan sonsuz vida (veya bazı sistemlerde piston) yardımıyla ileri doğru taşınır. Bu esnada vida hareketi ile oluşan sürtünme ve silindirin dış çeperlerine yerleştirilen rezistanslar aracılığıyla sağlanan ısıtma sayesinde malzeme eritilerek homojen bir akışkan hâle getirilir. Elde edilen eriyik, vida hareketiyle kalıp boşluğuna doğru yüksek hız ve basınçla itilir. Bu işlem sırasında enjeksiyon basıncı 50–260 MPa gibi yüksek değerlere ulaşabilir. Kalıba doldurulan eriyik, kalıp içinde uygun süre bekletilerek soğutulur ve katı formunu alır. Ardından kalıp açılarak nihai ürün çıkarılır ve döngü tekrar başlatılır.



Şekil 1.21 Plastik enjeksiyon makinesi

İşlem döngüsünün sürekliliğini sağlamak adına vida, enjeksiyon sonrasında geri çekilerek besleme haznesinden yeni hammadde alır ve bir sonraki döngüye hazırlanır. Bu işlem yapısı itibariyle kesikli üretim modeline dayansa da, döngü sürelerinin oldukça kısa olması nedeniyle yüksek adetli üretimlerde verimli bir yöntem hâline gelmiştir. Modern sistemlerde ertirme süresini azaltmak için hammaddeye ön ısıtma uygulanabilir ve sistemler genellikle sonsuz vida mekanizmasına sahiptir.

Kalıba enjekte edilen plastik malzemenin erime akış indeksi, proseste kritik bir parametredir. Yüksek akışkanlığa sahip malzemeler enjeksiyon sisteminde daha kolay işlenebilirken, düşük akış indeksine sahip polimerlerde kalıp boşluğunun tam olarak dolmaması veya sistemin zorlanması gibi sorunlar yaşanabilir. Ayrıca düşük akışkanlık, daha uzun çevrim süresi ve artan enerji tüketimi gibi üretim ekonomisini olumsuz etkileyen sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle enjeksiyon kalıplamada kullanılacak polimerin seçimi, sistemin tasarımıyla doğrudan ilişkilidir [23, 24].



Şekil 1.22 Plastik enjeksiyon makinesi bölümleri

Kalıp içerisinde oluşabilecek hava boşluklarının önlenmesi amacıyla enjeksiyon işlemi sırasında yeterli sıkıştırma basıncı uygulanır. Bu sıkıştırma, kalıpta kalan havayı dışarı atarak ürün içinde gözenek oluşumunu engeller. Ayrıca kalıba uygulanan basınç, ürünün daha hassas ölçülerle ve düşük tolerans aralığında üretilmesini mümkün kılar.

Kalıplar genellikle yüksek mukavemetli alüminyum veya paslanmaz çelikten üretilir. Bunun sebebi, kalıpların yüksek basınca ve sürekli tekrarlanan termal çevrimlere uzun süre dayanacak şekilde tasarlanmak zorunda olmasıdır. Kalıp yüzey özellikleri, üretilecek parçanın yüzey kalitesi ve temas ettiği polimer türüne göre belirlenir. Örneğin parlak yüzeyli ürünler için kalıp iç yüzeyi yüksek yüzey kalitesine sahip olmalıdır.

Enjeksiyon sistemlerinde kullanılan sonsuz vidalar genellikle üç ana bölümden oluşur: besleme, eritme ve itme (sıkıştırma) bölümü. Bu bölümler, plastiğin makinaya yüklenmesi, ön ısıtma ile hazırlanması, eritilmesi ve sonunda kalıba doğru itilmesi süreçlerinde görev alır. Besleme bölümünde vida dişleri daha yüksek, sıkıştırma bölümünde ise daha alçaktır. Bu oran, termoplastikler için yaklaşık 2–3,5:1 civarındayken, termosetlerde daha düşüktür. Bu yapı sayesinde polimer önce sıkıştırılır, ardından ısıtılarak eritilir ve kalıba basılmaya hazır hâlde enjeksiyon bölgesinde bekletilir.

Bazı gelişmiş enjeksiyon sistemlerinde döner kalıplar kullanılarak işlem süresi kısaltılabilir. Bu sistemlerde bir kalıp doldurulurken diğer kalıp, aynı makinede bir önceki döngünün soğutma sürecini tamamlar. Bu sayede çevrim süreleri azalır ve

üretim verimliliği artar. Böylece birden fazla kalıp ardışık olarak işlenebilir [23, 24].

Enjeksiyonla kalıplama sistemleri yüksek yatırım maliyetine sahip olmakla birlikte, aynı parçadan çok sayıda üretilmesi planlandığında birim başı üretim maliyeti oldukça düşük seviyelere inmekte ve bu yöntem ekonomik bir seçenek hâline gelmektedir. Özellikle buzdolabı iç aksesuar parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmasının temel sebebi de budur. Enjeksiyon kalıplama, parçaların estetik kalitesi, boyutsal hassasiyeti ve işlevselliği açısından bu tip ürünler için en uygun üretim yöntemidir.

Buzdolabı endüstrisinde enjeksiyon kalıplama, iç aksesuar bileşenlerinin üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kapı rafları, çekmeceler, conta ve montaj elemanları gibi parçalar bu yöntemle üretilmektedir. Bu tercihin temel sebepleri arasında, üretilen parçaların yüksek dayanıklılığı ve ısı direnci yer almaktadır. Kullanılan termoplastikler, düşük sıcaklıklarda bile yapısal bütünlüklerini koruyabilmektedir (Büyüköztürk, 2017). Ayrıca enjeksiyon kalıplama sayesinde pürüzsüz ve estetik yüzeyler elde edilmekte, bu da buzdolabı iç aksesuarlarının görünümü açısından önem taşımaktadır. Parçaların hassas boyutlarda üretilmesi, soğutma ve depolama performansını olumlu etkileyerek enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Yüksek adetlerde üretim yapıldığında maliyetler düşmekte ve süreç daha ekonomik hale gelmektedir. Ayrıca, geri dönüştürülebilir polimerlerin tercih edilmesi sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Tüm bu nedenlerle, enjeksiyon kalıplama buzdolabı sektöründe hem fonksiyonel hem de estetik parçaların üretiminde standart ve güvenilir bir yöntem olarak kullanılmaktadır [24].

1.5 Sürdürülebilirlik

Günümüzde yaşanan çevresel sorunlar, ani gelişen olaylar olmaktan ziyade, insan faaliyetlerinin zaman içinde birikimi sonucunda ortaya çıkmıştır. Özellikle Fransa gibi ülkelerde çevre regülasyonları plastik kullanımını ciddi şekilde sınırlandırmaya başlamıştır. Örneğin, Fransa 2022 yılından itibaren bazı meyve ve sebzelerde tek kullanımlık plastik ambalajları yasaklamış, 2025 yılı itibarıyla okul ve çocuk bakım kurumlarında plastik kap kullanımını kaldırmayı planlamış ve 2040 yılına kadar tek kullanımlık plastik ambalajları tamamen yasaklama hedefi koymuştur. Bu nedenle,

bu proje ile buzdolabı iç aksesuarlarında plastik parçalara alternatif, sürdürülebilir malzemeler kullanılarak hem yeni regülasyonlara uyum sağlanması hem de çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır [25].

Sanayi devrimiyle birlikte hızlanan nüfus artışı ve teknolojik ilerlemeler, doğal kaynakların bilinçsiz ve aşırı tüketilmesine yol açmıştır. Bu durum, kaynakların yenilenme kapasitesinin üzerinde kullanılmasıyla birlikte çevresel dengenin bozulmasına neden olmuş ve artan atık miktarı çevresel tehditleri büyütüştür. İşte bu sorunların çözümüne yönelik olarak “sürdürülebilirlik” kavramı gündeme gelmiştir.

Sürdürülebilirlik kavramının ortaya çıkışına ve gelişimine bakıldığında, günümüzde halen aşırı tüketim, kaynak kullanımı, kirlilik ve nüfus artışı gibi temel engellerle karşı karşıya olduğu görülmektedir. Bu sorunlar, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için çözülmesi gereken kritik alanlardır. Bu kapsamda, bu proje sayesinde hem ulusal ve uluslararası regülasyonlara uyum sağlanması hem de çevresel etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramı, farklı disiplinler ve kurumlar tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmış ve zaman içinde gelişim göstermiştir. Wikipedia, sürdürülebilirliği biyolojik sistemlerin zaman içinde değişimini sürdürerek üretken kalmasıyla ilişkilendirerek, insanların uzun vadeli sağlığının doğal hayatın korunmasına ve doğal kaynakların bilinçli kullanımıyla sağlanabileceğini belirtmektedir. Bu tanım, insan yaşamının devamlılığının doğanın sürdürülebilirliğiyle doğrudan bağlantılı olduğunu vurgulamaktadır.

Genel olarak incelendiğinde, sürdürülebilirlik tanımlarının temelinde üç ana unsurun bulunduğu görülmektedir: çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlar. İnsanların sosyal yaşam standartları ve ekonomik durumları, çevre koşullarından bağımsız olarak sürdürülebilirlik kavramının ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bu üçlü yapı, sürdürülebilir kalkınmanın dengeli bir biçimde gelişmesi için vazgeçilmezdir [26].



Şekil 1.23 Sürdürülebilirliğin üç temel boyutu

Ekonomik boyut, maliyetlerin azaltılması, değer yaratılması ve ekonomik fırsatlar sunulmasını hedefler. Harris'e göre, sürdürülebilir bir ekonomi, mal ve hizmet üretiminin sürekliliğini, borç yönetiminin sürdürülebilirliğini ve üretime zarar verebilecek dengesizliklerden kaçınılmasını gerektirir. Sağlıklı bir yerel ekonomi, toplumun refahını artırır. Neoklasik ekonomi teorisine göre ise sürdürülebilirlik, refahın maksimize edilmesiyle ilişkilendirilir. Bu bağlamda doğal kapital kavramı, toprak, hava ve diğer tüm doğal kaynakları içerir.

Sosyal boyut, bireylerin temel ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra güvenlik, eşitlik, sağlık, özgürlük, eğitim ve istihdam gibi sosyal gereksinimlerin de karşılanmasına odaklanmaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP), sosyal kalkınmanın yalnızca gelir düzeyiyle değerlendirilemeyeceğini; eğitimsizlik, sosyal güvence eksikliği ve sosyal katılım yetersizliğinin de yoksunluğu derinleştirdiğini belirtmektedir [27].

Çevresel boyut, doğal kaynakların korunmasını, çevresel tahribatın önlenmesini ve gelecek nesillerin yaşam kalitesini tehdit etmeyecek dengeli bir çevre politikasının oluşturulmasını hedefler. Ancak teknolojik ilerlemeler, sanayileşme ve nüfus artışı gibi etkenler; küresel ısınma, iklim değişikliği, çevre kirliliği, ormansızlaşma gibi pek çok soruna neden olmaktadır.

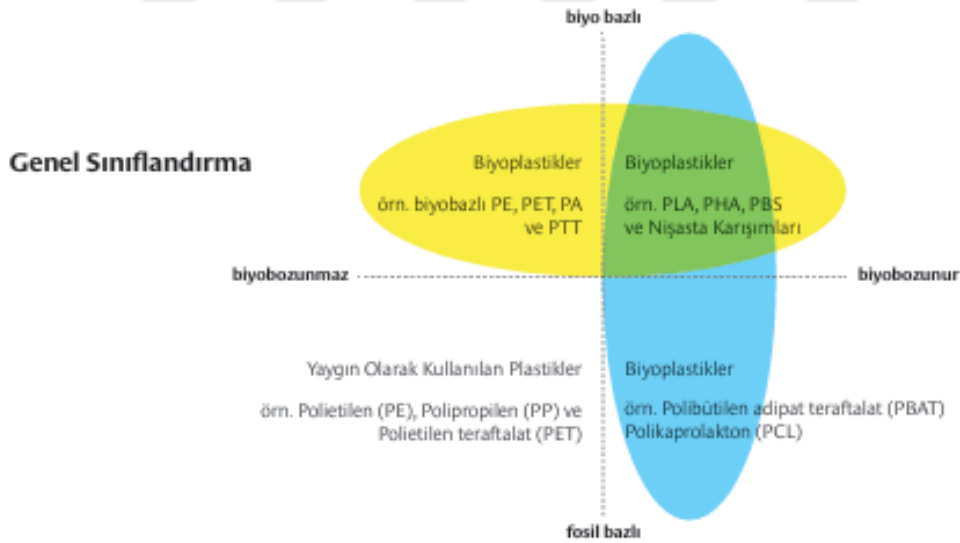
Sonuç olarak, sürdürülebilirlik kavramı ekonomik, sosyal ve çevresel boyutların bir arada ve dengeli şekilde yönetilmesi gerektiğini ortaya koymakta ve insan faaliyetlerinin ekosistemle uyumlu hâle getirilmesini hedeflemektedir [28, 29].

1.5.1 Biyobozunurluk ve Biyodönüştürülebilirlik Kavramları

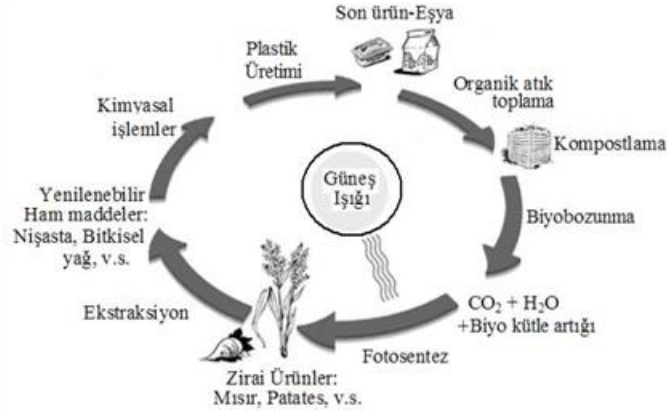
Sürdürülebilir malzeme kullanımı bağlamında biyobozunurluk ve biyodönüştürülebilirlik, günümüz malzeme bilimi ve çevre teknolojilerinde önemli kavramlardır. Biyobozunurluk, bir malzemenin doğal ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanarak su, karbondioksit ve biyokütleye dönüşebilme yeteneğini ifade eder. Biyodönüştürülebilirlik ise, bu malzemelerin kontrollü koşullarda organik maddelere dönüşebilmesini sağlar.

Bu özellikler, özellikle buzdolabı iç aksesuarlarında kullanılan polimerlerin çevresel etkilerini azaltmak için önemlidir. Biyobozunur ve biyodönüştürülebilir malzemeler, plastik atık probleminin hafifletilmesine ve sürdürülebilir üretime katkıda bulunur. Ancak, bu malzemelerin seçimi yapılırken performans, dayanıklılık ve maliyet gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, biyobozunurluk ve biyodönüştürülebilirlik, sürdürülebilir malzeme tercihinde temel kriterler arasında yer almakta olup, buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır [30. 31].



Şekil 1.24 Biyoplastiklerin sınıflandırılması



Şekil 1.25 Kompostlanabilir biyobozunur paketleme malzemesinin biyolojik çevrimi

1.5.2 Polimerik Malzemelere Alternatif Sürdürülebilir Malzemeler

Plastik ve polimer ürünlere alternatif olarak geliştirilen sürdürülebilir malzemeler, genellikle biyolojik kökenli ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Bu malzemeler arasında bitkisel lifler, nişasta bazlı biyoplastikler, lignoselülozik atıklar, protein bazlı polimerler ve mikrobiyal kaynaklı biyopolimerler yer almaktadır. Bitkisel lifler ve lignoselülozik materyaller, doğal olarak bol miktarda bulunan, çevre dostu ve biyobozunabilir özelliklere sahip malzemelerdir. Bu tür biyolojik kaynaklar, geleneksel petrol bazlı plastiklere kıyasla karbon ayak izini azaltmakta ve doğada daha hızlı ayrışabilmektedir. Ayrıca, bu malzemeler ekonomik anlamda da tarımsal atıkların değerlendirilmesini sağlayarak sürdürülebilir bir döngü oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır [32, 33].

Bu bağlamda, mısır kamışı gibi tarımsal atıklar, polimerik malzemelere alternatif sürdürülebilir malzemelerin üretiminde önemli bir hammadde olarak öne çıkmaktadır. Mısır kamışı, nişasta, lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi biyopolimerler içermektedir. Bu bileşenler, uygun işlemlerle ayrıştırılarak biyoplastik üretiminde veya kompozit malzemelerin güçlendirilmesinde kullanılabilir. Bu çalışmada, mısır kamışının sürdürülebilir polimerik malzemelere alternatif olarak kullanımı, üretim yöntemleri ve uygulama alanları detaylı şekilde incelenmiştir.

Literatürde mısır kamışı liflerinin termoplastik ve termoset polimerlerle hibrit kompozitler olarak kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar, mısır kamışı bazlı kompozitlerin özellikle polipropilen, polietilen ve poliüretan gibi yaygın polimerlerle entegre edilerek, hem çevresel ayak izini düşürdüğünü hem de

ekonomik üretim potansiyelini ortaya koymaktadır. Ayrıca, mısır kamışından elde edilen lignoselülozik bileşenlerin kimyasal olarak modifiye edilerek yeni biyobazlı monomerlerin sentezlenmesi, gelecek nesil sürdürülebilir polimerlerin geliştirilmesi için önemli bir araştırma alanıdır.

Sonuç olarak, mısır kamışı bazlı sürdürülebilir malzemeler, fosil yakıt kaynaklı polimerlerin yerini alabilecek çevreci ve ekonomik alternatifler sunmakta, özellikle biyobozunabilirlik, yenilenebilirlik ve atık yönetimi açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Tez kapsamında kullanılacak mısır kamışı hammaddesi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de performans kriterleri açısından umut vadeden bir hammadde olarak, polimerik malzemelere alternatif çözümler geliştirilmesinde kritik bir rol üstlenecektir [32, 33].



2.1 Malzeme Seçimi

Bu çalışmada, buzdolabı iç aksesuarlarının üretiminde kullanılmak üzere alternatif polimerik malzemelerin seçimi, mevcut seri hammaddeleriyle teknik uyumluluk, proses verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Alternatif biyobozunur polimerlerin belirlenmesinde; mekanik dayanım, akışkanlık, ısı özellikler, darbe dayanımı, yüzey kalitesi ve gıda temasına uygunluk gibi temel parametreler tablo halinde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2.1.1 Transparan Grup İçin Seride Kullanılan Malzemenin Özellikleri ile Alternatif Malzemenin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Transparan grup için, seri üretimde yaygın olarak kullanılan PS 165L malzemesi; yüksek optik berraklık, uygun akışkanlık ve yeterli mekanik dayanımı sayesinde buzdolabı iç aksesuarlarında tercih edilmektedir. Tabloda yer alan Luminy L105 ve Luminy LX175 alternatifleri, çok yüksek erime akış hızına (65 g/10 dk) sahip oldukları için enjeksiyon kalıplama sırasında kalıp doldurma kontrolünü güçlendirmekte ve yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, Bioflex F7510 ise daha düşük şeffaflık ve optik özellik sunmaktadır. Bu nedenle, aynı Luminy ailesinden olan Luminy L130, kontrollü akışkanlık, yüksek optik kalite ve şeffaf uygulamalara uygunluğu ile tercih edilmiştir. Luminy L130, biyobazlı içeriği ve endüstriyel kompostlanabilirliği sayesinde sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunarken, gıda temasına uygunluk belgesine sahip olması da buzdolabı iç aksesuarları için seçiminde belirleyici olmuştur [34].

Opak grup için seri üretimde tercih edilen Hostacom HBC 489R polipropilen bileşiği; orta düzey akışkanlık, yeterli mekanik rijitlik, darbe dayanımı ve proses

kararlılığı ile uygulama gereksinimlerini karşılamaktadır. Bu malzemenin yerine kullanılacak alternatifler arasında Bioflex F7510, Terraprene SI 370 ve Biotype 5200 gibi biyopolimer bileşikler de incelenmiş; ancak bu seçenekler mekanik özellikler, darbe dayanımı veya üretim süreci uyumluluğu açısından yetersiz bulunmuştur. Alternatifler içerisinde Bioflex S5514, 25 g/10 dk MFR değeriyle Hostacom HBC 489R'nin 10 g/10 dk değerine yakın bir akış davranışı sergileyerek işlenebilirlik açısından en uygun alternatif olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, PLA bazlı formülasyonu sayesinde yeterli rijitlik ve endüstriyel kompostlanabilirlik özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bioflex S5514'ün gıda temasına uygunluğu ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı avantajlar da seçiminde etkili olmuştur.

Sonuç olarak, transparan parçalarda Luminy L130, opak parçalarda ise Bioflex S5514, seri hammaddelerin teknik gereksinimlerine en yakın özellikleri sağlamlarının yanı sıra biyobozunur ve biyobazlı yapılarına bağlı olarak çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemeleri nedeniyle bu çalışmada alternatif olarak tercih edilmiştir [35, 36].

Company	Raw material description	Process method	Reinforcem	MFR g/10dk	MVR cm ³ /10dk	Density g/cm ³	Tensile modulus Mpa	Tensile stress at yield Mpa	Charpy impact strength notched kJ/m ²	Charpy impact strength unnotched kJ/m ²	Vicat softening temperature °C (B50)	HDT A (1.8MPa) °C	Flammability
Seri	PP Hostacom HBC 489R	Injection molding	mineral % ?	10 (230°/5kg)	11 (230°/5kg)	1,14	3400 (23°)	33 (23°)	4,5 (23°) 2 (0°)	42 (23°) 21 (0°)	95	-	UL
	PP CT 5746 PPW	Injection molding	talc % ?	-	4 (230°/2,16kg)	1,14	>2700	>27	>3 (23°)	>25 (230°)	94	64	GWIT
	PS 165L	Injection molding	-	-	3.4 (200°/5kg)	1,04	3300	52	-	-	89	76	UL
	PS 486N (HIPS)	Extrusion	-	-	3.9 (200°/5kg)	1,04	1800	24 (23°)	12	-	90	74	UL
	ABS Deneiac	Extrusion	-	-	30 (220°/10kg)	-	1,05	-	40	14	100	98	82
KUMRU	TPE-S Allruna W55 E264	Extrusion 2k	-	-	-	1,13	-	-	-	-	-	-	-
	Luminy L105	Injection molding	-	65 (210°/2,16kg)	-	1,24	3500	-	<5	-	-	55-60	-
	Luminy LX175	Extrusion	-	6 (210°/2,16kg)	-	1,24	3500	-	<5	-	-	-	-
	Fkur Bioflex F7510	Extrusion	-	2-4 (190°/2,16kg)	-	1,25	3000	-	4,2	64,5	-	-	-
	Bioflex S5514	Injection molding	-	25 (190°/2,16kg)	-	1,37	2550	-	3,5	43	110	-	-
Biolive	TERRAPRENE® SI 370 75A	Extrusion 2k	-	-	-	1,04	-	-	-	-	-	-	-
	Biotype 5200-5009	Injection molding	-	-	-	1,09	3800	-	-	-	-	-	UL
Gema	E2992	Injection molding	-	12 (190/ 2.16kg)	-	1,35	2600	40	4,5	32	-	-	-
	BPP 3217	-	-	8 (230/2.16)	-	1,17	-	19	-	-	-	-	-
	BPP 3221	-	-	8.5 (230/2.16)	-	1,15	-	21	-	-	-	-	-

Şekil 2.1 Ham maddelerin teknik özelliklerinin karşılaştırılması

Transparan grup için, seride transparan PS165L ticari isimli polistiren esaslı malzeme kullanılmaktadır. Bu malzeme, yüksek berraklık, iyi işlenebilirlik ve yeterli mekanik dayanım gibi özellikleri sayesinde endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir.

Proje kapsamında, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan bir alternatif olarak Luminy L130 ticari isimli biyobazlı polilaktik asit (PLA) kullanılmıştır. Bu malzeme, şeffaf yapıdaki uygulamalarda kullanılmaya uygun olup, biyolojik kaynaklardan elde edilmesi ve endüstriyel kompostlanabilirlik özellikleriyle öne

çıkılmaktadır. Ayrıca Luminy L130'un gıda teması sertifikasına sahip olması, bu uygulama için tercih edilmesinde belirleyici olmuştur.

Seride kullanılan PS 165L hammaddesi; yüksek optik berraklık, uygun akışkanlık, yeterli mekanik dayanım ve işlenebilirlik gibi özellikleriyle buzdolabı iç aksesuarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alternatif sürdürülebilir malzeme arayışında, mevcut polistirenin teknik gerekliliklerine en yakın özellikleri sunan Luminy L130 tercih edilmiştir [37].

Özellikle:

- Optik şeffaflık: PS 165L'in sağladığı yüksek berraklığa benzer şekilde, Luminy L130 da doğal şeffaf yapısıyla bu gereksinimi karşılamaktadır.
- Akışkanlık: PS 165L'in orta seviyedeki akış özelliğine benzer şekilde Luminy L130 da orta-yüksek erime akış hızına sahip olup enjeksiyon kalıplama için uygundur.
- Mekanik dayanım: İki malzemenin çekme dayanımı (~50 MPa) ve elastik modülü (3300–3500 MPa) birbirine oldukça yakındır. Böylece ürün formu ve kullanım esnasında gerekli dayanım sağlanabilir.
- Isıl dayanım: Luminy L130, kristalin fazda PS 165L'den daha yüksek HDT değerine sahiptir. Bu, parçanın buzdolabı iç koşullarına uygunluğunu garanti eder.
- Gıda teması: PS 165L'in gıda ile temas edebilirlik özelliğine benzer şekilde, Luminy L130 da Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri düzenlemelerine uygun sertifikalarla bu gerekliliği yerine getirmektedir.
- Sürdürülebilirlik: Petrol bazlı PS'ye kıyasla Luminy L130 %100 biyobazlı içeriği ve kompostlanabilir yapısıyla çevre dostu bir alternatif sunar.

Bu benzerlikler sayesinde Luminy L130, seride kullanılan PS 165L'in yerini alabilecek hem teknik gerekliliklere uyumlu hem de sürdürülebilir bir çözüm olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, alternatif malzeme çalışmaları kapsamında farklı biyobozunur polimerler yerine, Luminy L130 ile odaklı testler yapılmıştır.

Opak grup uygulamalarında, seri üretimde HBC 489R ticari isimli polipropilen (PP) bazlı bileşik kullanılmaktadır.

Bu malzeme, darbe dayanımı, yüzey kalitesi ve kalıplama süreçlerine uyumu ile birlikte gıda temasına uygunluğu nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır [38].

2.1.2 Opak Grup İçin Seride Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ile Alternatif Malzemenin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Proje kapsamında sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda opak grup için çeşitli biyobazlı ve biyobozunur malzeme alternatifleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle GeaBio E2992 ticari isimli biyobozunur malzeme denemeye alınmıştır. Ancak yapılan kimyasal dayanım ve ısı testleri sonucunda bu malzeme yeterli performansı gösterememiştir. Özellikle yüksek sıcaklık altında boyutsal stabilitenin bozulması ve kimyasallara karşı zayıf direnç göstermesi nedeniyle GeaBio E2992 ile devam edilmemiştir [39].

Alternatif olarak seçilen FKUR Bio-Flex S5514, biyobozunur polimerler grubuna dahil olup, hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi hem de gıda teması için gerekli olan sertifikalara sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Mekanik özellikleri ve kalıplama sürecine uyumu incelenmiştir.

Seride kullanılan Hostacom HBC 489R W92607 polipropilen bileşiği; orta akışkanlık, yeterli mekanik sertlik, darbe dayanımı ve beyaz eşya uygulamalarına uygunluğu sayesinde buzdolabı iç aksesuarları gibi opak parçalarda yaygın şekilde tercih edilmektedir. Alternatif sürdürülebilir malzeme seçimi yapılırken, teknik olarak mevcut PP bileşiğine en yakın özellikleri sunan Bio-Flex S 5514 seçilmiştir.

Benzerlikler sayesinde Bio-Flex S 5514, mevcut opak PP bileşiğine teknik olarak yakın olup, çevresel sürdürülebilirlik kriterini de karşılayarak alternatif olarak seçilmiştir [40]. Bio-Flex S 5514, Hostacom HBC 489R'nin sahip olduğu mekanik özellikler, akışkanlık ve işlem koşullarına uyum gibi gereksinimleri karşılamakla kalmaz; ayrıca biyobozunur yapısı sayesinde çevresel sürdürülebilirlik avantajı sağlar. Bu nedenle başka biyobozunur polimerler yerine bu malzeme odaklı çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, seri üretimde kullanılan geleneksel polimer malzemelerin çevresel etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir üretim anlayışına katkı sağlamak amacıyla, benzer teknik özelliklere sahip çevre dostu alternatifleri belirlemektir. Bu doğrultuda, hâlihazırda kullanılan Hostacom HBC 489R W92607 malzemesi ile Bio-Flex S 5514 karşılaştırılmış, ancak bu kıyaslama bir üstünlük

belirleme amacı taşımamıştır. Asıl hedef, Bio-Flex S 5514'ün mevcut uygulama şartlarını karşılayıp karşılayamayacağını değerlendirmektir [41].

Hostacom HBC 489R W92607, beyaz eşya sektöründe yaygın olarak kullanılan, enjeksiyon kalıplamaya uygun, sert ve darbe dayanımı yüksek bir polipropilen (PP) türevidir. Bu malzeme, hem fiziksel dayanımı hem de gıda temasına uygunluğu ile kullanıcı güvenliği ve uzun ömürlü kullanım açısından avantaj sunmaktadır. Ancak fosil bazlı yapısı nedeniyle çevresel sürdürülebilirlik açısından sınırlıdır [42].

Bu bağlamda yapılan çalışma kapsamında, alternatif olarak seçilen Bio-Flex® S 5514, biyobazlı içeriği ve biyobozunur yapısı ile çevre dostu üretim ilkelerine daha uygundur. Aynı zamanda gıda temasına uygunluğu ile, kullanıldığı alanlarda insan sağlığı açısından da güvenli bir alternatiftir. Yoğunluk, erime sıcaklığı ve işlenebilirlik gibi fiziksel parametrelerde bazı farklılıklar bulunsa da, bu farklılıklar malzemenin uygulama performansını olumsuz yönde etkilememiştir.

Yapılan ön testlerde Bio-Flex S 5514'ün:

- Enjeksiyonla şekillendirilmeye uygun olduğu,
- Yüzey kalitesinde istenen parlaklık ve düzgünlüğü sağladığı,
- Parça formunu stabil şekilde koruyabildiği

gözlemlenmiştir.

Bu nedenle, Bio-Flex S 5514 ile yürütülen uygulama çalışmaları, seri üretimde kullanılan PP malzemeye olabildiğince yakın özelliklerde bir sürdürülebilir alternatifin mevcut olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, çevresel etkileri azaltırken ürün performansından ödün vermeden dönüşüm yapılabileceğini ortaya koymaktadır [42, 43].

2.2 Mekanik Tasarım

Beyaz eşya sektöründe ürün performansı, yalnızca dış görünüm ya da enerji verimliliğiyle sınırlı değildir; iç hacimde yer alan her bir bileşenin dayanıklılığı, kullanım ergonomisi ve üretim verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Buzdolabı iç aksesuar parçaları olan kapı rafları ve çekmeceler, hem işlevsel yük taşıyıcı elemanlar olarak hem de kullanıcı ile en çok etkileşime giren parçalar olarak öne

çıkılmaktadır. Bu nedenle, bu parçaların mekanik tasarımı, ürünün genel kullanıcı deneyimi ve uzun vadeli performansı açısından kritik öneme sahiptir [44].

Mekanik tasarım süreci; sadece bir form oluşturma çalışması değil, aynı zamanda çeşitli mühendislik gerekliliklerini karşılayan çok yönlü bir problem çözme sürecidir. Bu bağlamda, tasarım çalışmaları sırasında hem malzeme özellikleri hem de kullanım senaryoları göz önünde bulundurularak, parça üzerinde oluşabilecek yüklerin, zorlanmaların ve çevrimsel etkilerin detaylı analizi yapılmıştır. Kullanıcı davranışları, ürün konumlandırması, çevresel koşullar ve montaj ilişkileri gibi pek çok parametre, tasarım kararlarını şekillendirmiştir.

Kapı rafı ve çekmece gibi yapılar, sırasıyla menteşe sistemleriyle birlikte çalışan dinamik yapılar ve sürgülü ray sistemlerine entegre edilen taşıyıcı hacim birimleri olduklarından; her iki bileşen de farklı yönlerden gelen mekanik yüklemelere karşı optimize edilmelidir. Bu süreçte; çekme, bükülme, darbe, torsiyon ve burkulma gibi temel mekanik zorlanmalara karşı analizler yürütülmüş, gerektiğinde yapısal takviyeler ya da geometrik revizyonlar yapılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan sürdürülebilir polimerik alternatif malzemeler, geleneksel malzemelerden farklı davranışlar gösterebildiğinden, tasarım süreci yalnızca geometriye değil; malzeme-mekanik etkileşimine de dayandırılmıştır. Bu sayede hem çevreci yaklaşım korunmuş hem de parça işlevselliğinden ödün verilmemesi sağlanmıştır.

Sonuç olarak, bu bölümde sunulan mekanik tasarım yaklaşımı, dayanıklı, kullanıcı dostu ve üretilebilir ürün bileşenlerinin geliştirilmesi için bütüncül bir mühendislik sürecini temsil etmektedir [45].

2.2.1 Kapı Rafı Tasarımı

Bu bölümde, kapı raflarının tasarımı detaylı olarak ele alınacak; yapısal özellikleri, yük taşıma kriterleri, malzeme-mekanik ilişkisinin sınırları ve üretim sonrası kalite kontrolleri literatür ve sektörel veriler ışığında değerlendirilecektir.

Kapı rafı tasarımı, buzdolabı ürünlerinde yalnızca estetik ve hacim kullanımı açısından değil; aynı zamanda malzeme-mekanik davranış, çevresel etkileşimler ve üretim/servis ömrü boyunca performans kararlılığı açısından da titizlikle ele alınması gereken bir mühendislik problemidir. Bu çerçevede geliştirilen P-

Diagram, kapı raflarının tüm fonksiyonel gereksinimlerini ve etki-tepki faktörlerini sistematik şekilde modellemektedir [46].

Luminy L130'un rijit ancak darbe dayanımı sınırlı bir malzeme olması dikkate alınarak, keskin köşeler yerine yuvarlatılmış köşe geçişleri kullanılmıştır. Gerilme birikimini önlemek amacıyla duvar kalınlığı parça genelinde homojen dağıtılmış, ani kalınlık geçişlerine yer verilmemiştir. Darbe alabilecek bölgelerde, lokal kalınlık artırımları ve destekleyici nervürler eklenerek kırılma riski azaltılmıştır.

Kapı rafı, sık açma-kapama hareketlerinden kaynaklanan dinamik yükleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Raf tabanında, bükülmeyi engelleyen takviye hatları ve yan duvar destekleri kullanılmış; uzun açıklıklar, rijitliği artıran dikey ve yatay destek profilleriyle güçlendirilmiştir. Montaj noktaları, yükün kapı paneline dengeli iletilmesini sağlayacak geniş yüzey alanları ve kılavuz geçmeler ile tasarlanmıştır.

Enjeksiyon kalıplama prosesi göz önünde bulundurularak, kalıp ayırım yüzeyine paralel tüm yüzeylerde minimum 1° - 2° çıkma açısı uygulanmıştır. Derin ve dar bölgelerde, kalıp çıkışının sorunsuz olması için bu açı değerleri artırılmıştır[45].

Rafın kapı paneline montajı, tırnaklı geçme ve kaydırmalı bağlantı detayı kullanılarak planlanmıştır. Tırnak kalınlıkları, Luminy L130'un kırılma özelliği göz önünde bulundurularak optimize edilmiş; montaj ve söküm sırasında çatlama oluşmaması için uygun tolerans aralıkları seçilmiştir.

Luminy L130'un doğal şeffaf yapısının iç estetiğe katkısı korunacak şekilde, yüzey geçişleri akıcı formda tasarlanmış; ani form değişimlerine yer verilmemiştir. Kalıp tasarımı aşamasında, akış yönü ve yolluk yerleşimi optimize edilerek soğuk birleşme hatlarının oluşması engellenmiştir.

Buzdolaplarında kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen temel unsurlardan biri de iç aksesuarların temizlik kolaylığıdır. Bu çalışmada, kapı rafı tasarımında kullanıcı tarafından kolay erişilebilir, hijyenik ve ergonomik yüzeyler oluşturulmasına özel önem verilmiştir.

Kapı rafının tüm iç yüzeyleri, olası sıvı dökülmeleri, yoğurt veya sos kalıntıları gibi yapışkan içeriklerin birikmesini önleyecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, tozlanma veya terleme sonucu oluşabilecek film tabakalarının da kolayca temizlenebilmesi

hedeflenmiştir. Bu amaçla, raf geometrisi nemli bez, sünger veya deterjanlı suyla yapılacak rutin temizliğe uygun biçimde planlanmıştır [46].

Temizlik ergonomisini sağlamak amacıyla:

- Rafın iç köşe birleşim bölgelerinde (örneğin yan duvar-taban birleşimi), minimum 1 mm iç köşe yarıçapı ($R \geq 1 \text{ mm}$) uygulanmıştır.
- Sivri 90° iç köşeler yerine, tüm köşe geçişleri yuvarlatılarak (filleted) kir birikimi ve temizlik zorlukları önlenmiştir.
- Yatay ve düşey yüzey geçişlerinde pürüzsüz form geçişleri kullanılmış; toz ve kir birikimine neden olabilecek tırnak, kanal veya gereksiz girintiler en aza indirilmiştir.

Tasarımı yapılan kapı rafının temizlik performansı, aşağıdaki şartları karşılayacak şekilde doğrulanmıştır:

- Islak temizlik testi sonucunda, bez veya sünger ile tüm iç yüzeylerin 30 saniye içinde tamamen silinebilir olduğu kontrol edilmiştir.
- Temizlik sonrası yüzeyde gözle görülür kalıntı, film tabakası veya temizlik ekipmanına zarar verecek aşınma oluşmamıştır.

Luminy L130'un enjeksiyon kalıplamadaki akış davranışı dikkate alınarak, eriyik akış yönü, yolluk yerleşimi ve soğutma hatları uygun şekilde planlanmıştır. Soğutma süresi dengelenerek, kalıptan çıkış sırasında deformasyon oluşmaması sağlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen kapı rafı tasarımı, Luminy L130 malzemenin mekanik özellikleri, estetik beklentiler ve üretim kısıtları göz önünde bulundurularak optimize edilmiştir. Yapısal dayanımı artıran destek unsurları, uygun çıkma açıları, yüzey kalitesi ve montaj detayları sayesinde hem kullanıcı güvenliği hem de üretim verimliliği sağlanmıştır. Sürdürülebilir, biyobazlı malzeme kullanımıyla buzdolabı iç aksesuarlarında çevresel etki azaltılmış, sektörel regülasyonlara uyum desteklenmiştir [45, 46].

Kapı rafının buzdolabı kapağına entegrasyonu sırasında, askı yüzeyi ile iç kapak arasındaki temas bölgeleri, yapısal uyum ve yüzey dayanımı açısından kritik noktalar olarak değerlendirilmiştir. Bu temas bölgeleri, montaj ve kullanım

sırasında oluşabilecek temas kaynaklı hasarları en aza indirecek şekilde optimize edilmiştir.

Kapı rafının askı bölgesinde kullanılan kanca, pim ve çentik gibi bağlantı elemanları, köşeli ve sivri formdan kaçınılarak yuvarlatılmış geçişlerle tasarlanmıştır. İç kapak yüzeyinde çizik, kesik veya deformasyon oluşumunu engellemek amacıyla bağlantı noktalarındaki iç ve alt köşe bölgelerinde minimum 3 mm köşe yarıçapı ($R \geq 3$ mm) uygulanmıştır. Özellikle yumuşak yüzeyli iç kapak malzemelerinde (örneğin termoform PS veya HIPS), daha büyük yarıçap değerleri tercih edilerek yüzey basıncı azaltılmış ve çizilme riski düşürülmüştür.

Askı ucunda yer alan köşeler R3 mm ve üzeri olacak şekilde modellenmiş, böylece montaj sırasında sürtünme kaynaklı hasar önlenmiştir. Askı bölgesi iki parçalı bir yapı (örneğin sabit iç kılavuz + kayar dış parça) şeklinde tasarlandığında, her bir birleşim noktası benzer şekilde yuvarlak geçişlerle tasarlanarak yapısal bütünlük sağlanmıştır.

Tüm geometrik detaylar, CAD ortamında üretim toleranslarıyla birlikte tanımlanmış ve üretim sonrası numuneler, koordinat ölçüm cihazı (CMM) veya optik tarayıcı kullanılarak ölçülüp doğrulanmıştır [47].

Kapı rafları, yalnızca yapısal bir aksesuar değil; aynı zamanda kullanıcıya işlevsel bir hacim sunan ergonomik bir modüldür. Bu modülün kapı şasisi ile olan uyumu, hem estetik hem de güvenlik açısından önem taşır. Bu bağlamda, rafın kullanım hacmi ile ön yüzey yüksekliği arasındaki oran, ürünün genel dengesini ve kullanıcı deneyimini doğrudan etkiler.

Kapı rafının iç kapağa montajında, rafın eğim açısı kritik bir tasarım parametresi olarak belirlenmiştir. Rafın iç kapak üzerindeki yuvasına güvenli bir şekilde monte edilebilmesi ve gerektiğinde kolayca sökülüp takılabilmesi amacıyla, montaj ve demontaj açıları detaylı şekilde değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda, Trast ekibi tarafından yapılan güvenlik değerlendirmeleri doğrultusunda, kapı rafının iç kapak yuvasına giriş/çıkış açısı minimum 34° olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu açı, montaj sırasında yeterli sıkılık sağlayarak rafın istenmeyen şekilde yerinden çıkmasını önlerken, aynı zamanda kullanıcı veya servis personeli tarafından gerektiğinde kolayca çıkarılmasına olanak tanımaktadır.

Açının tanımı, ilgili teknik çizimlerde ve montaj şemalarında yer almakta olup, prototip üzerinde yapılan denemelerle doğrulanmıştır [47, 48].

2.2.2 Çekmece Tasarımı

Buzdolabı iç aksesuarlarının tasarım sürecinde, çekmeceler hem kullanıcı etkileşimi hem de ürün tazeliğinin korunması açısından önemli fonksiyonel bileşenlerdir. Çekmece tasarımında, farklı iç ve dış etkenlerin sistem üzerindeki etkilerinin sistematik şekilde analiz edilmesi, kalite ve dayanıklılık hedeflerine ulaşmak için kritik öneme sahiptir.

Bu doğrultuda, P-Diagram yaklaşımı kullanılarak; çekmecenin kullanım ömrü boyunca maruz kaldığı yükler, çevresel koşullar, sistem entegrasyonu parametreleri ve kontrol edilemeyen gürültü faktörleri tanımlanmıştır. Ayrıca, istenen performans çıktıları ve olası yan etkiler de aynı şemada gösterilerek, tasarım sürecinde her bir değişkenin ürün performansı üzerindeki rolü ortaya konmuştur.

Bu şematik yaklaşım sayesinde; çekmecenin ürün içindeki konum toleransları, hava akışı entegrasyonu, montaj ve kullanıcı kaynaklı mekanik yükler gibi temel tasarım kriterleri, kontrol faktörleri ve kontrol dışı değişkenlerle birlikte değerlendirilmiş, böylece tasarım doğrulama ve risk yönetimi süreçlerine temel veri sağlanmıştır [49].

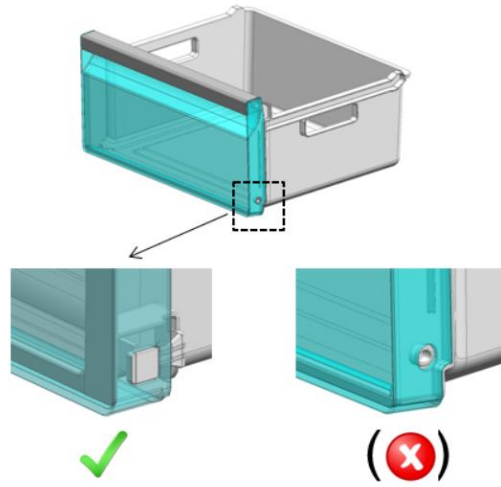
Sonuç olarak, hazırlanan P-Diagram, çekmece tasarımının gereksinimlerini bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koyarak, çekmece performansının kalite limitleri içinde kalmasını sağlayacak sistematik bir rehber görevi görmektedir.

Bu çalışmada, çekmece, kullanıcı ergonomisini ve fonksiyonel esnekliği artırmak amacıyla çok parçalı (two-part) yapı olarak tasarlanmıştır. Bu yapıda, çekmece ön yüzeyinin (drawer front) gövdeye güvenli ve stabil şekilde sabitlenmesi hedeflenmiş ve bu amaçla key lock (kilitlemeli geçme) sabitleme mekanizması kullanılmıştır [50].

Fonksiyonel gereklilik, iki parçalı kapı rafı tasarımında, ön yüzeyin gövdeye montajı için:

- Key lock tipi sabitleme detayı uygulanmıştır.
- Sabitleme sırasında parça, yerine yönlendirilerek klik sesiyle kilitlemiş, böylece kullanıcı hatasına yer bırakmayacak net bir pozisyon sağlanmıştır.

- Aşırı zorlanmayı engellemek için mekanik durdurucu (stopper) tasarlanmış ve bükülme limitleri kontrol altına alınmıştır.



Şekil 2.2 Çekmece kilitleme detayı tasarımı



Şekil 2.3 Çekmece kilitleme detayı

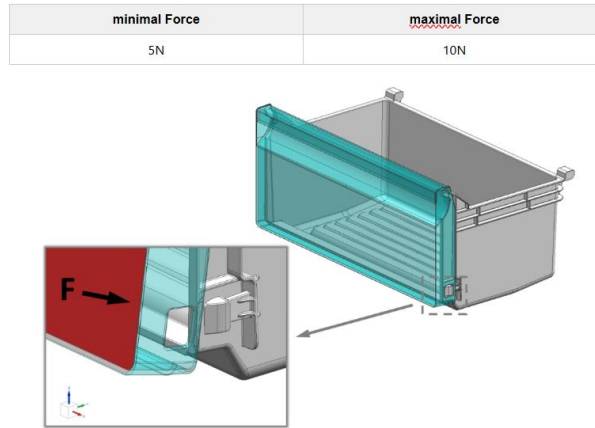
Bu çalışmada, key lock tipi sabitleme mekanizması, iki parçalı kapı rafı sisteminde ön yüzeyin (drawer front) gövdeye sağlam, tekrarlanabilir ve kullanıcı dostu şekilde bağlanmasını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde, kilitleme fonksiyonu yalnızca mekanik kilitleme açısından değil, aynı zamanda üretim kolaylığı, kullanıcı etkileşimi ve uzun ömürlü kullanım performansı açısından da optimize edilmiştir [51].

Key lock bölgesinde, kilit bileşenlerinin etrafına kısmi çevreleme kaburgası (rib) eklenerek, sistemin genel rijitliği artırılmış ve tekrarlı montaj-sökme sırasında oluşabilecek aşınma sınırlandırılmıştır.

Bu amaçla:

- Rib yapısı, kilit noktasının yalnızca ön yüzüyle temas eden kenarlarını çevreleyecek şekilde yerleştirilmiştir.
- Tam çevreleme kullanılmayarak gereksiz plastik tüketimi ve kalıplama zorlukları önlenmiştir.
- Kaburga detayı, yatay ekseninde yeterli stabiliteyi sağlarken, dikey yönde kontrollü esneme imkânı sunacak şekilde boyutlandırılmıştır.

Bu sayede hem üretim sürecinde malzeme verimliliği sağlanmış hem de key lock sisteminin uzun süreli kullanımda performans kaybı yaşaması engellenmiştir.



Şekil 2.4 Çekmece kapağı çıkarılma kuvveti

Buzdolabı kapı içi çekmece sistemleri, kullanıcı erişimi ve günlük kullanım konforu açısından önemli bir tasarım bileşeni olarak ele alınmıştır. Özellikle sınırlı alanlarda, örneğin mutfak köşe yerleşimlerinde veya ankastre kurulumlarda, kapı kanadının yalnızca 90° açıyla açılabilirdiği durumlarda bile çekmecenin tam işlevselliği korunacak şekilde tasarım yapılmıştır [52].

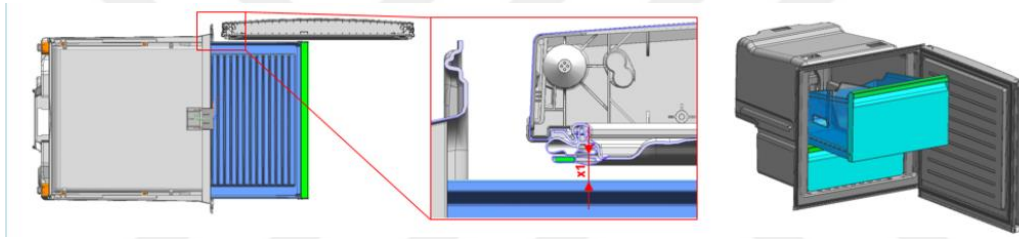
Kapı 90° açı konumunda açıkken:

- Çekmece, ray üzerinde tamamen sonuna kadar açılabilir şekilde boyutlandırılmış ve konumlandırılmıştır.

- Gerektiğinde, kullanıcı çekmeceyi alet kullanmadan kolayca çıkarabilir (demonte edebilir) şekilde stop ve kılavuz sistemi uygulanmıştır.
- Çekmece hareketi sırasında kapı iç yüzeyi, şasi veya diğer iç aksesuarlarla temas, sürtünme veya takılma oluşmayacak şekilde boşluk toleransları tanımlanmıştır.

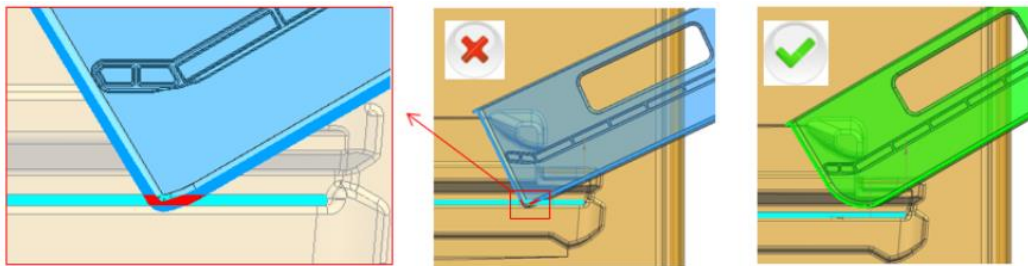
Çekmece çıkışı sırasında kapı ve gövde arasında minimum 5 mm serbestlik boşluğu bırakılarak, montaj toleransları korunmuştur.

- Çekmece açma, kapama ve demontaj işlemlerinde takılma, sıkışma veya zorlanma gözlenmemiştir.
- Raylarda deformasyon veya kalıcı aşınma oluşmamıştır.
- Kapı iç duvarında sürtünme izi veya mekanik hasar oluşmamıştır [53].



Şekil 2.5 Çekmece ray sisteminin kapak açılımı ile etkileşimi

Buzdolabı iç yapısında kullanılan çekmeceler, kullanıcı tarafından düzenli olarak açılıp kapatılan, temizlenen veya yeniden konumlandırılan işlevsel bileşenlerdir. Bu bağlamda, ürünün uzun ömürlü ve kullanıcı dostu olabilmesi için çekmecelerin tüm varyasyonlarıyla birlikte veya onsuş şekilde kolayca çıkarılabilir şekilde tasarlanmıştır [53].



Şekil 2.6 Çekmece montaj yönünün doğruluğuna ilişkin görsel açıklama

Buzdolabı çekmecelerinde, gıdaların düzenli, güvenli ve hijyenik şekilde yerleştirilebilmesi amacıyla bölücü (divider) uygulaması tasarıma entegre edilmiştir. Bölücü kullanımı, çekmece içi organizasyonu iyileştirirken, belirli

senaryolarda ürün güvenliği, onay süreçleri (approbation) ve gıda güvenliği standartları kapsamında özel sabitleme kriterlerine uygun olarak tasarlanmıştır.

Bölücüler, kullanıcı tarafından aletsiz şekilde çıkarılamayacak biçimde sabitlenmiştir, çıkarılabilir bir tasarım tercih edilen durumlarda, bölücünün yerinden çıkarılabilmesi için en az 50 N kuvvet gerekecek şekilde bağlantı noktaları tasarlanmıştır.

Bu gereksinimler sayesinde:

- Kullanıcı hatası sonucu yanlışlıkla çıkarılma riski ortadan kaldırılmış, iç organizasyon bozulmamıştır.
- Çocuk güvenliği dikkate alınarak çekmece içi hareketli parçaların istenmeyen şekilde yer değiştirmesi engellenmiştir.
- Raf içi yük dengesi korunarak, çekmece çekme-kapama sırasında bölücünün pozisyonunun stabil kalması sağlanmıştır [54, 55].



Şekil 2.7 Separatör demontaj kuvveti ölçümü

Buzdolabı çekmeceleri, gıdaların doğrudan yerleştirildiği ve kullanım süresince çeşitli kirletici maddelere maruz kalan önemli alanlar arasında yer almıştır. Özellikle meyve suyu, sos veya yağ gibi sıvı içerikler, karmaşık yüzey geometrisine sahip bölgelerde birikerek hijyen sorunlarına ve kullanıcı memnuniyetsizliğine yol açabilmektedir. Bu nedenle çekmece tasarımı, kolay temizlenebilirlik ilkesi gözetilerek detaylandırılmıştır.

Tasarımı yapılan çekmece iç hacminde:

Taban, yan duvarlar ve köşe birleşim bölgeleri, insan parmağına bez sarılı şekilde erişilebilir olacak biçimde geometrik olarak optimize edilmiştir.

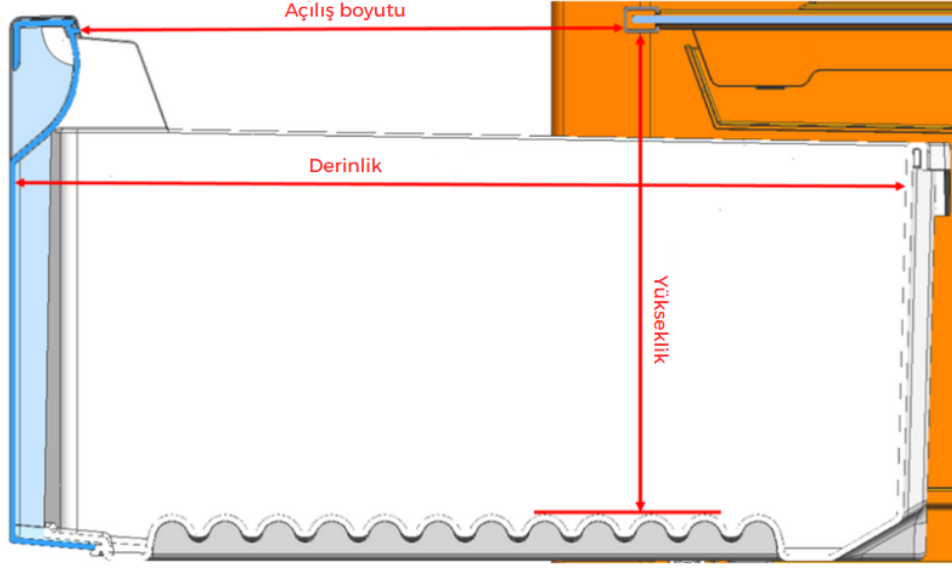
Yüzey konturları, parmakla yapılan baskı sırasında yüzeye tam temas sağlayacak şekilde pürüzsüz geçişlerle tasarlanmıştır.

Örnek kirletici madde olarak kullanılan vişne suyu, test senaryosu kapsamında yüzeye dökülerek, nemli bez yardımıyla iz bırakmadan tam temizlik sağlanacak şekilde yüzey bitirme kalitesi belirlenmiştir [54, 55].

Tablo 2.1 Temizlik kolaylığı ve dayanıklılık için önerilen tasarım kriterleri

Unsur	Önerilen Özellik
Köşe geçiş yarıçapı	Min. $R \geq 1 \text{ mm}$
Yüzey pürüzlülüğü (Ra)	$\leq 0.8 \text{ }\mu\text{m}$ (temizlik kolaylığı ve deterjan tutmaması için)
Kapalı hacim açıklıkları	Genişliği $\geq 15 \text{ mm}$ olan bölgeler bezle erişilebilir olmalı
Materyal tipi	Kimyasal dirençli, leke tutmayan, kokusuz polimer malzemeler (PP, ABS) önerilir

Soğutucu iç aksesuar parçalarının işlevselliği ve kullanıcı ergonomisi açısından çekmecelerin, kapak tam olarak 90° veya daha fazla açıldığında yeterli bir açılma mesafesi sunması büyük önem taşımaktadır. Bu gereklilik doğrultusunda, çekmecelerin açılma boyutu belirlenirken yüksekliğinin üçte üçü ($\frac{3}{4}$), derinliğinin yarısı ($\frac{1}{2}$) veya 150 mm değerinden hangisi daha büyükse o değer esas alınarak tasarım yapılmıştır. Yüksekliği 150 mm'den küçük olan çekmeceler için ise tam açılabilirlik sağlanmıştır. Örneğin, yüksekliği 200 mm ve derinliği 400 mm olan bir çekmecedeki, yüksekliğin üçte üçü olan 150 mm değeri ile derinliğin yarısı olan 200 mm karşılaştırıldığında, daha büyük olan 200 mm açılma mesafesi uygulanmıştır. Bu ölçüm, çekmecenin kulp kısmından başlayarak üstte bulunan en yakın yüzeye, örneğin cam rafın ön profiline kadar olan mesafe olarak tanımlanmıştır. Derinlik, çekmecenin iç yüzeyleri arasında ön ve arka duvarlar arasındaki yatay mesafe, yükseklik ise tabandan üstteki en yakın yüzeye kadar olan dikey mesafe olarak dikkate alınmıştır. Belirlenen bu standartlar sayesinde, soğutucu iç aksesuar çekmecelerinin kullanıcı erişilebilirliği artırılmış ve fonksiyonel tasarım gereksinimleri optimum düzeyde sağlanmıştır.



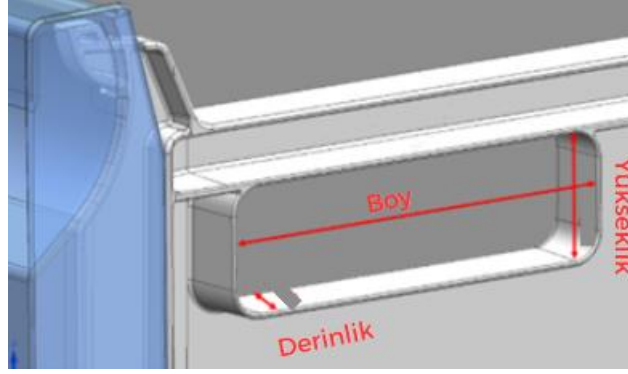
Şekil 2.8 Açık pozisyonda çekmece tasarım kriterleri

Örneğin; yüksekliği 200 mm, derinliği 400 mm olan bir çekmecede:

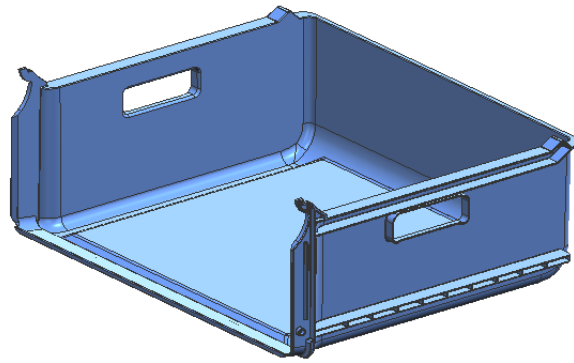
- Yüksekliğin dörtte üçü: $200 \text{ mm} \times (\frac{3}{4}) = 150 \text{ mm}$
- Derinliğin yarısı: $400 \text{ mm} \times (\frac{1}{2}) = 200 \text{ mm}$

Karşılaştırıldığında daha büyük değer olan 200 mm, çekmecenin açılma mesafesi olarak tasarlanmıştır.

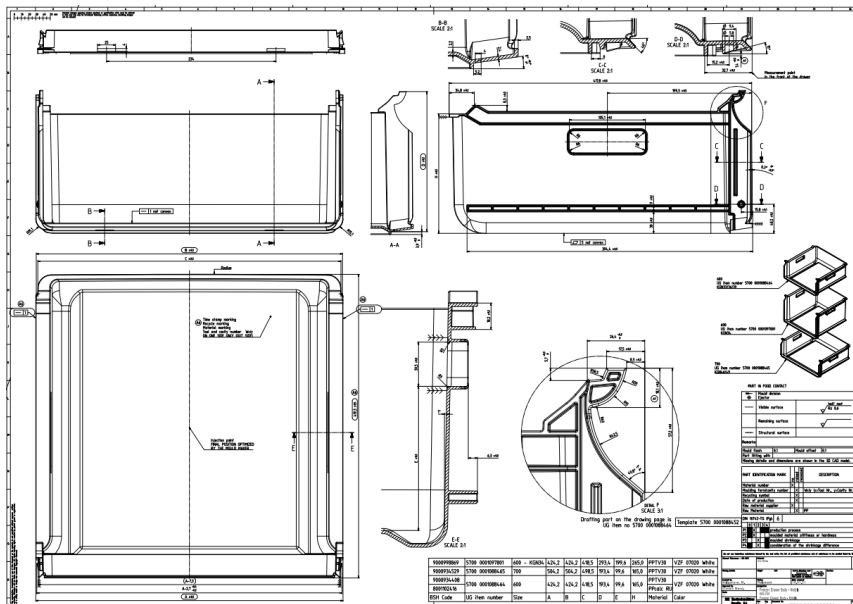
Dondurucu çekmecelerinin kullanıcı dostu ve ergonomik bir yapıya sahip olması amacıyla, çekmece yüksekliği 120 mm veya daha fazla olan modellerde yan tutamak kullanımı zorunlu tutulmuştur. Bu tutamaklar, çekmecenin açılma ve kapama sırasında kullanıcıya yeterli kavrama alanı sunarak işlevselliği artırmakta ve kullanım sırasında kayma veya zorlanma riskini azaltmaktadır. Yan tutamakların boyutları, hem fonksiyonel gereklilikler hem de uzun vadeli dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak belirlenmiş ve asgari ölçüler tablo hâlinde standartlaştırılmıştır. Bu tasarım yaklaşımı sayesinde, çekmeceler farklı kullanıcı profilleri için kolayca erişilebilir hâle getirilmiş, güvenli ve konforlu kullanım sağlanmıştır. Uygulanan bu standart, ürünlerin kalite düzeyini korumayı ve kullanım kolaylığı açısından markalar arasında tutarlılığı garanti altına almayı hedeflemektedir [54, 55].



Şekil 2.9 Yan tutamak boyut gösterimi



Şekil 2.10 Çekmece tasarımı CAD gösterimi



Şekil 2.11 Çekmece tasarımı teknik resmi

2.3 Enjeksiyon Denemeleri

Deneyisel çalışmalarda buzdolabı kapı rafı üretimi için Total Corbion PLA markasına ait Luminy® L130 PLA homopolimer kullanılmıştır. Bu hammadde yüksek kristallenme oranına sahip olup, enjeksiyon kalıplama için önerilen işlem sıcaklıkları nozzle, manifold ve meme bölgelerinde 180–220°C, kalıp sıcaklığı ise 20–30°C ve 90–100°C aralığındadır. Hammaddenin işlenebilirliğini artırmak amacıyla enjeksiyon öncesinde 4-6 saat boyunca 100°C'de ön kurutma işlemi uygulanmıştır.

Yapılan enjeksiyon denemelerinde başlangıçta nozzle 205–210°C, meme bölgeleri ortalama 210–217°C, manifold 205°C ve kalıp sıcaklığı ise 25°C olarak belirlenmiştir. Deneme parametreleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 2.2 Enjeksiyon deneme parametreleri

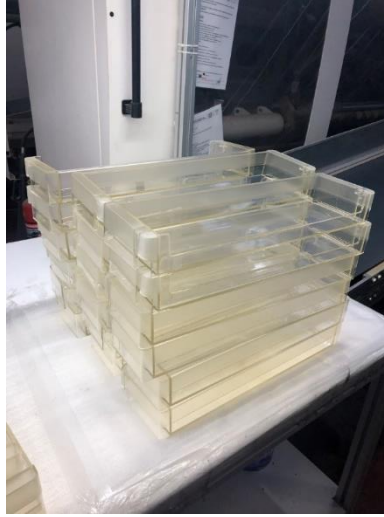
Parametre	Değer
Meme sıcaklıkları	210–217°C
Manifold sıcaklığı	205°C
Nozzle sıcaklığı	205–210°C
Kalıp sıcaklığı	25°C
Enjeksiyon basıncı	75–85 bar
Enjeksiyon hızı	%25–%55
Tutma basıncı	65 bar
Soğutma süresi	35 s

Denemelerde, ilk baskılarda akış izleri ve kısa dolun gibi yüzey kusurları gözlemlenmiştir. Bu durum, meme ve nozzle sıcaklıklarının düşük kalması ve kalıp sıcaklığının yetersiz olması ile ilişkilendirilmiştir. Parametre optimizasyonu kapsamında manifold ve meme sıcaklıkları kademeli olarak artırılmış, enjeksiyon

basıncı %10 artırılmıştır. Böylece düzgün dolum sağlanmış ve yüzey kalitesi iyileştirilmiştir. Ancak aşırı sıcaklık artışı durumunda ise malzeme sızıntısı ve yanma gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.12 Enjeksiyon prosesi parameter gösterimi



Şekil 2.13 Enfeksiyon kapı rafı numuneleri



Şekil 2.14 Enfeksiyon akış izi hatası

Düşük sıcaklıkta, özellikle meme sıcaklığı 200 °C ve altına, manifold sıcaklığı ise 202–204 °C seviyesine düşürüldüğünde akış izlerinin ve dolun hatalarının belirginleştiği görülmüştür. Fotoğraflarda tipik olarak merkezden dağılma şeklinde buz çiçeği deseni oluşmuş, bu alanlarda mekanik mukavemet ve görsel kalite zayıflamıştır.

Düşük sıcaklık:

- Malzeme viskozitesini artırarak kalıp doldurma yetisini azaltmıştır.
- Dolum hızının düşük kalması, kalıp içinde soğuma başlatarak akış izini artırmıştır.

Yüksek sıcaklıkta, meme ve manifold sıcaklığının 220 °C ve üstüne çıkartıldığı durumda ise: numunelerde yanık izleri, şeffaflık kaybı, bazı bölgelerde aşırı incelme ve çökme hataları görülmüştür.

Ayrıca silindir bölgelerinde sızıntı şeklinde polimer akıntısı (eriyik sızıntısı) da kaydedilmiştir (ilgili fotoğraflarda görülmektedir). Bu, aşırı sıcaklığa bağlı malzeme akışkanlığının kontrolden çıkması ve conta bölgelerinden kaçak oluşmasıyla açıklanabilir.



Şekil 2.15 Polimer akıntısı

Tüm bu gözlemler ışığında, optimum üretim parametresi kademeli denemelerle belirlenmiş, önce düşük sıcaklık ve basınçtan başlanarak kademeli artırma yöntemi uygulanmıştır. Her parametre değişiminde: dolum kalitesi, soğutma sonrası şekil kararlılığı, yüzey pürüzsüzlüğü gözle kontrol edilerek değerlendirilmiştir.

Sonuçta optimum bölge olarak:

- Meme: 210–215 °C
- Manifold: 205–210 °C

- Barrel bölgeleri: 220–228 °C
- Enjeksiyon basıncı: 80–85 bar
- Hız: %50–55
- Soğutma süresi: 55 saniye

olarak belirlenmiştir.

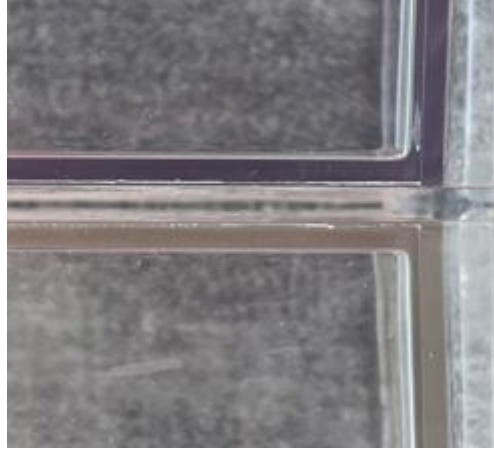
Kapı rafı üretiminde kullanılan Luminy L130 biyobazlı PLA hammadde ile gerçekleştirilen ilk denemelerde, numunelerde istenmeyen sarımtırak bir ton oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu renk sapması, özellikle şeffaflık gerektiren uygulamalarda estetik açıdan olumsuz bir görüntüye neden olmuştur. Bu sorunu çözmek amacıyla, Sukano marka PLA OB S515 renk nötrleyici masterbatch kullanılarak yeni denemeler yapılmıştır. Masterbatch, istenilen şeffaflık sağlanana kadar kademeli olarak artırılmış ve optimum sonuç, hammaddeye %0,8 oranında eklenerek elde edilmiştir. Bu şekilde, sarımtırak ton etkili bir şekilde nötralize edilerek, şeffaflık ve renk dengesi sağlanmıştır. Ayrıca alternatif bir çözüm olarak, farklı ton arayışları kapsamında yeşil renk denemesi için NYL 230333 kodlu yeşil masterbatch ile de test yapılmıştır. Seri üretimde ise marka kimliğini desteklemek amacıyla, mevcut sistemde Schulmann marka mavi masterbatch kullanılmaya devam edilmektedir.



Şekil 2.16 Nötrleyici masterbatch ile üretilen kapı rafı numunesi



Şekil 2.17 Yeşil masterbatch ile üretilen kapı rafı numunesi



Şekil 2.18 Nötrleyici masterbatch numunesi ile saf ham madde numunesi renk farkı

Deneysel çalışmalarda, şeffaf grup çekmece kapağı üretimi için Total Corbion PLA markasına ait Luminy® L130 PLA homopolimer kullanılmıştır. Bu malzeme, yüksek kristallenme hızına ve yüksek ısı dayanımına sahip olup, şeffaf ve yarı kristal yapıdaki parçalar için uygun bir biyopolimerdir. Üretim öncesinde nem hassasiyeti nedeniyle TDS'de belirtildiği üzere hammadde 4-6 saat süreyle 100°C sıcaklıkta ön kurutmaya tabi tutulmuştur.

Enjeksiyon kalıplama prosesi, Battenfeld 650T-10 marka makine üzerinde gerçekleştirilmiştir. İşlem parametreleri makine ekran görüntülerinden teyit edilmiştir. Başlangıçta TDS önerileri doğrultusunda silindir bölümleri için ısı ayarları Nozzle ve son bölge 200°C, ilerleyen bölgeler 195–170°C aralığında ayarlanmıştır. Kalıp sıcaklığı ise şeffaflık korunması amacıyla 30–35°C aralığında tutulmuştur.

Yapılan ilk denemelerde, düşük kalıp sıcaklığı ve vida hızı nedeniyle malzeme akışında eksiklikler ve yüzeyde matlaşma, swirl izleri ve dalgalanma gibi optik kusurlar gözlenmiştir. Özellikle fotoğraflarda da görüldüğü üzere, parçaların şeffaflığı tam sağlanamamış, malzeme içinde akış izleri belirgin şekilde oluşmuştur. Bu durumun, kristallenme oranının artmasına bağlı olarak malzemenin lokal soğumasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



Şekil 2.19 Numunedeki akış izleri

Parametre optimizasyonu kapsamında:

- Silindir sıcaklıkları kademeli olarak 5–10°C artırılarak Nozzle 205–210°C, ilk bölgeler 200–210°C aralığına çıkarılmıştır.
- Vida hızı ve geri basınç ayarları 250 mm/s, 25 bar seviyesinde stabilize edilmiştir.
- Soğutma süresi ise 25 saniyeye ayarlanmıştır.

Bu optimizasyonla birlikte akış izlerinin ve swirl bölgelerinin belirginliği azalmış, şeffaflık ve yüzey düzgünlüğü iyileştirilmiştir. Ancak sıcaklığın aşırı artırılması durumunda eriyik viskozitesinin düşmesi sonucu, kalıp içinde flash oluşumu ve malzeme yanması riski gözlenmiştir.

Sonuç olarak, çekmece kapağı için ideal işlem parametre aralığı aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu parametrelerle üretilen numuneler, görsel kalite ve fonksiyonel gereksinimleri karşılamıştır.

Tablo 2.3 Çekmece kapağı için ideal parameter aralıkları

Parametre	Değer
Nozzle sıcaklığı	205–210°C
Silindir bölgeleri	200–210°C
Kalıp sıcaklığı	30–35°C
Vida hızı	250 mm/s
Geri basınç	25 bar
Soğutma süresi	25 s

Opak grup çekmece gövdesi üretimi için, seri üretimde kullanılan Hostacom HBC 489R ticari isimli polipropilen (PP) bileşiği tercih edilmiştir. Bu malzeme, orta seviye akışkanlık, yeterli mekanik rijitlik ve darbe dayanımı özellikleri sayesinde çekmece gövdesi gibi geniş hacimli ve yük taşıyan parçalarda uygun performans sunmaktadır.

Üretim öncesinde, polipropilenin nemden etkilenme eğilimi düşük olmakla birlikte, proses stabilitesi ve yüzey kalitesi açısından granüller 60–70°C sıcaklıkta yaklaşık 2–3 saat süreyle kurutularak işlem hazırlığı yapılmıştır.

Enjeksiyon kalıplama işlemleri, şeffaf grup deneyimlerinden elde edilen bilgi birikimi doğrultusunda, Battenfeld 650T-10 marka enjeksiyon makinesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Başlangıç parametreleri, malzeme teknik veri sayfasında (TDS) belirtilen önerilere uygun olarak belirlenmiştir. Silindir (barrel) bölgeleri için sıcaklık ayarları, Nozzle 200–210°C, ilerleyen bölümler ise 190–200°C aralığında ayarlanmıştır. Kalıp sıcaklığı ise, çekmece gövdesinin boyutsal stabilitesini sağlamak amacıyla 25–30°C seviyesinde tutulmuştur.

İlk denemelerde, kalıp dolumu sırasında büyük hacimli alanlarda kısa dolun (short shot) ve kenar bölgelerde eriyik soğumasına bağlı yüzey dalgalanmaları tespit

edilmiştir. Bu durumun giderilmesi için, enjeksiyon parametreleri aşamalı şekilde optimize edilmiştir:

- Silindir ve Nozzle sıcaklıkları, kademeli artışlarla ayarlanarak Nozzle bölgesi için 210–220°C, silindir bölgeleri için ise 200–210°C aralığına yükseltilmiştir.
- Enjeksiyon hızı %50–55 seviyesine, geri basınç ise 30 bar düzeyine ayarlanarak eriyik akış stabilitesi sağlanmıştır.
- Soğutma süresi, çekmece gövdesinin cidar kalınlığı ve geometrisi dikkate alınarak 40–45 saniye olarak belirlenmiş ve kalıptan sorunsuz ayrılma sağlanmıştır.

Optimizasyon sonrası elde edilen numunelerde, dolum eksiklikleri giderilmiş, yüzey düzgünlüğü iyileştirilmiş ve bağlantı bölgelerinde deformasyon oluşmadan mekanik bütünlük sağlanmıştır.

Sonuç olarak, opak grup çekmece gövdesi için ideal enjeksiyon kalıplama parametre aralığı aşağıdaki tabloda verilmiş olup, bu parametreler ile üretilen parçalar, ürünün dayanım, boyutsal hassasiyet ve estetik gereksinimlerini başarıyla karşılamıştır. Uygulanan ideal parametreler tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Opak grup çekmece gövdesi

Parametre	Değer
Nozzle sıcaklığı	210–220°C
Silindir bölgeleri	200–210°C
Kalıp sıcaklığı	25–30°C
Enjeksiyon hızı	%50–55
Geri basınç	30 bar
Soğutma süresi	40–45 s

2.4 Uygulanan Testler ve Raporları

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kapı rafı ve çekmece parçalarının, soğutucu cihaz içerisinde uzun süreli kullanılabilirliğini, farklı iklim koşullarına ve kullanıcı kaynaklı yıpranmalara karşı dayanımını değerlendirmek amacıyla bir dizi laboratuvar testi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen testler ile ürünlerin mekanik sağlamlığı ile birlikte kimyasal ve fiziksel etkenlere karşı dayanım düzeyi değerlendirilmiştir. İlk aşamada, sıcaklık değişimi testi kapsamında parçalar farklı sıcaklık koşullarına tabi tutulmuştur.

Öncelikle sıcaklık değişimi testinde, parçalar farklı sıcaklık senaryolarına maruz bırakılmıştır. Bu kapsamda, numuneler +40 °C sıcaklıkta 16 saat, ardından -25 °C sıcaklıkta 8 saat bekletilmiş, bu çevrim 21 gün boyunca %96 bağıl nem ortamında tekrarlanarak malzeme genişmesi, daralması ve olası çatlama davranışları gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, tropikal iklim testi kapsamında parçalar +40 °C sıcaklıkta 16 saat ve +13 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle iklimlendirilmiş, yine 21 gün boyunca %96 bağıl nemde test edilmiştir. Bu testler, ürünün farklı coğrafyalarda karşılaşılabileceği ısı ve nem yüklerinin simülasyonunu sağlamaktadır.

Isıl dayanım testinde, numuneler +60 °C ve +70 °C sıcaklıkta toplam 168 saat süreyle bekletilerek yüksek ısıya karşı yapısal bütünlük ve şekil koruma özellikleri değerlendirilmiştir. Tuz püskürtme testi ise parçaların korozyon dayanımını görmek amacıyla +30±5 °C sıcaklıkta 72 saat boyunca yürütülmüş ve yüzeyde korozyon, renk değişimi veya kabarma gibi etkiler kontrol edilmiştir.

El teri testi, kullanıcının temas ettiği bölgelerdeki malzemenin uzun süreli temas sonrası performansını incelemek amacıyla +20±5 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca gerçekleştirilmiş, test sonunda yüzeyde renk solması veya deformasyon olup olmadığı analiz edilmiştir. Meyve asidi püskürtme testi ise mutfak ve buzdolabı ortamlarında olası asitli sıvı temasını simüle etmek amacıyla yapılmıştır. Bu testte tartarik asit 5 g, sitrik asit 5 g, laktik asit 4 ml, asetik asit 2.5 ml oranında hazırlanan karışım kullanılarak +20±5 °C sıcaklıkta toplam 96 saat boyunca, 8 saat püskürtme ve 16 saat bekleme döngüsü şeklinde uygulanmıştır.

Kapı rafı, tasarlandığı geometrik alan ve kullanım senaryolarına uygun olarak belirli bir taşıma kapasitesine sahip olmalıdır. Bu kapasite, hem performans yükü

hem de güvenlik yükü açısından değerlendirilir. İlgili yüklerin hesaplanmasında, uluslararası geçerliliğe sahip DIN EN 62552 standardı temel alınmaktadır.

Kapı rafı üzerine uygulanacak yük, rafın efektif yüzey alanı dikkate alınarak hesaplanır. Bu alana bağlı olarak tanımlanan yük, sistem tasarımına özel olarak belirlenen XY yüzdesi ile çarpılarak nihai test yükü elde edilir. Bu yaklaşım hem fonksiyonel kullanım yükünü hem de aşırı yüklenme senaryolarındaki güvenlik seviyesini değerlendirmek için kullanılır.

Bunlara ek olarak, parçaların farklı kimyasal etkenlere karşı davranışını incelemek amacıyla çözücülere karşı dayanım testi ve temizlik maddelerine karşı dayanım testi yapılmıştır. Bu testlerde yaygın kullanılan deterjan ve çözücü formülleri kullanılarak yüzeyde renk kaybı, aşınma ya da yapısal bozulma olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Duyusal testler kapsamında numuneler +4 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilmiş ve bu süreç sonunda koku ve tat kontrolleri gerçekleştirilerek olası malzeme bazlı istenmeyen kokuların ürün kalitesi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Dinamik testler aracılığıyla parçaların tekrarlayan mekanik yükler altındaki performansı gözlemlenmiş; yangınlık testleriyle ise malzemenin olası alev teması durumunda sağlaması gereken güvenlik kriterleri değerlendirilmiştir.

Yapılan tüm testlerin sonucunda kapı rafı ve çekmece parçaları, soğutucu iç ortamda maruz kalabilecek sıcaklık, nem, kimyasal temas, mekanik yükler ve kullanıcı etkileşimi gibi çeşitli etkilere karşı yeterli dayanımı göstermiştir. Bu kapsamda, parçaların uzun süreli kullanımda performans kaybı yaşamadan işlevini sürdürebileceği tespit edilmiştir.

Ek olarak, gerçekleştirilen test sonuçları kalite standartları ve ilgili uluslararası normlarla karşılaştırılmış, elde edilen değerlerin mevzuatta belirtilen minimum gereklilikleri karşıladığı ve birçok parametrede bu gerekliliklerin üzerine çıktığı doğrulanmıştır. Bu doğrulama süreci, ürünlerin yalnızca mevcut tasarım hedeflerine değil, aynı zamanda pazarın gerektirdiği güvenlik, dayanıklılık ve kullanıcı memnuniyeti kriterlerine de uygunluğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, yapılan karşılaştırmalı analizler, kullanılan malzemelerin benzer ürünlerde yaygın olarak tercih edilen alternatiflere kıyasla daha yüksek mekanik dayanım ve kimyasal direnç sergilediğini göstermiştir.

Tablo 2.5 Kapı rafı ve çekmeceler için kimyasal testler ve parametreleri

Test Adı	Uygulama Koşulları	Test Süresi	Amaç
Sıcaklık Değişim Testi	+40 °C (16 saat), -25 °C (8 saat), %96 nem	21 gün	Genleşme, daralma, çatlama davranışı
Tropikal İklim Testi	+40 °C (16 saat), +13 °C (8 saat), %96 nem	21 gün	Yüksek nemde form ve dayanım
Isıl Dayanım Testi	+60 °C / +70 °C	168 saat	Yüksek ısıya karşı şekil koruma
Tuz Püskürtme Testi	+30±5 °C	72 saat	Korozyon dayanımı
El Teri Testi	+20±5 °C	24 saat	Kullanıcı teması sonrası yüzey kontrolü
Meyve Asidi Püskürtme Testi	+20±5 °C, asit karışımı: tartarik 5 g, sitrik 5 g, laktik 4 ml, asetik 2.5 ml	96 saat (8 saat püskürtme + 16 saat bekleme döngüsü)	Asitli sıvılara dayanım
Çözücülere Karşı Dayanım	Çözücü temas simülasyonu	Anlık gözlem	Kimyasal dayanım
Temizlik Maddelerine Karşı Dayanım	Deterjan ve temizlik ajanları	Anlık gözlem	Yüzeyde renk ve form korunumu
Duyusal Test (Koku/Tat)	+4 °C	24 saat	Malzeme bazlı istenmeyen koku kontrolü
Dinamik Test	Mekanik zorlanma simülasyonu	Anlık gözlem	Tekrarlı kullanım dayanımı
Yanıcılık Testi	Standart yanıcılık testi	Anlık gözlem	Yangın güvenliği kontrolü

Material Information

Proje	Biomaterial Hammadde Denemesi
Material Code	9000510941

Overall Test Assessment

* Spec. No: 60100000402259

Performed Test	Standard	Test Requirement	Test Result
Temperature Change	Spec. 57000000031880, 21 cycles (504 h)	No discoloration and delaminationNo colour change	PASSED
Tropical Climate	Spec. 570000000030948, 21 cycles (504 h)	No discoloration and delaminationNo colour change	PASSED
Heat Test	Spec. 570000000137599	No discoloration and delaminationNo colour change	PASSED
salt spray	57000000136638	No discoloration and delaminationNo colour change	PASSED
hand sweat	57000000136696	No discoloration and delaminationNo colour change	PASSED
fruit acid	96 h load in the fruit acid spray, temperature: (20± 5) °C	Visible changes to the surface in comparison with the initial state (e.g.distinct colour and gloss changes, peeling,blister) are not permitted	PASSED
resistance to solvents	Spec. 57000000136696	after approx. 15 sec. : No changes in the surface	PASSED
resistance to cleaning agents	Spec. 60100000402259	after approx. 15 sec. : No changes in the surface	PASSED
sensory test	Spec. 57000000136648	The odour and taste examination is performed by at least three examinersEvaluation degree: ≤ 2, For exterior parts: Evaluation degree: ≤ 3	PASSED

Test Result

--

Pass **Not Pass****Şekil 2.20** Kapı rafı kimyasal test sonuçları

Material Information

Material Name	Drawer Body - Hammadde Denemesi
Material Code	9000985077

Overall Test Assessment

Performed Test	Standard	Test Requirement	Test Result
Heat Test	Spec. 57000000137599	The parts are stored for 168 h (7days) at (60±3) °C.	PASS
Resistance to solvents	Spec. 60100000402259	after approx. 15 sec.: No changes in the surface	PASS
Fruit Acid Spray	96 h load in the fruit acid spray, temperature: (20± 5) °C	Visible changes to the surface in comparison with the initial state (e.g. distinct colour and gloss changes, peeling, blister) are not permitted	PASS
Resistance to hand sweat	Spec. 57000000136696	* The immersed surface is visually compared to the initial state. * After the test duration, sample is removed from the artificial hand sweat solution, rinsed with water and dried.	PASS
Sensory Test	Spec. 57000000136648	The odour and taste examination is performed by at least three examiners Evaluation degree: ≤ 2. For exterior parts: Evaluation degree: ≤ 3	Odor: 0 Taste: 1 PASS
Resistance to cleaning agents	Spec. 60100000402259	after approx. 15 sec. : No changes in the surface	PASS
Tropical Climate Test	Spec. 57000000030948, 21 cycles (504 h)	Rt: 0 Level of blistering 0 Gt ≤ 2 No discoloration and delamination No colour change Blistering: m0/g0	PASS
Temperature Cycle Test	Spec. 57000000031880, 21 cycles (504 h)	Rt: 0 Level of blistering 0 Gt ≤ 2 No discoloration and delamination No colour change Blistering: m0/g0	PASS

Test Result

After the tests no problems were observed.

Pass Not Pass

**Şekil 2.21 Çekmece kimyasal test sonuçları**

Kimyasal testlerin yanısıra, mekanik testler de uygulanmıştır. Kapı rafı, tasarlandığı geometrik alan ve kullanım senaryolarına uygun olarak belirli bir taşıma kapasitesine sahip olmalıdır. Bu kapasite, hem performans yükü hem de güvenlik yükü açısından değerlendirilir. İlgili yüklerin hesaplanmasında, uluslararası geçerliliğe sahip DIN EN 62552 standardı temel alınmaktadır.

Kapı rafı üzerine uygulanacak yük, rafın efektif yüzey alanı dikkate alınarak hesaplanır. Bu alana bağlı olarak tanımlanan yük, sistem tasarımına özel olarak belirlenen XY yüzdesi ile çarpılarak nihai test yükü elde edilir. Bu yaklaşım hem fonksiyonel kullanım yükünü hem de aşırı yüklenme senaryolarındaki güvenlik seviyesini değerlendirmek için kullanılır.

Tablo 2.6 Kapı rafı yüzey alanına göre yüklenme senaryosu

Raf Yüzey Alanı (cm²)	Temel Yük [kg]*	XY Katsayısı (%)	Hesaplanan Yük [kg]	Yuvarlanmış Uygulama Yüğü [kg]
450 cm ²	1,80	100 %	1,80	2,00
450 cm ²	1,80	150 %	2,70	2,75
600 cm ²	2,40	200 %	4,80	5,00
720 cm ²	2,88	125 %	3,60	3,75
900 cm ²	3,60	175 %	6,30	6,50

Bu bölümde tanımlanan kurallar, kapı rafının aşağıdaki durumlara karşı test edilmesini garanti altına alır:

- Uzun süreli yük altında kalıcı deformasyon
- Ani yüklenme sırasında kırılma veya çatlama
- Askı detayından yerinden çıkma riski
- Sarkma ve yük sonrası geri dönmeyen eğilme

Kapı raflarının yapısal tasarımı, yalnızca yük taşıma kapasitesi açısından değil; aynı zamanda yük altında ve sonrasında gösterdiği deformasyon tepkisi açısından da değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, bükülme ve eğilme davranışları, hem kullanım konforu hem de estetik görünüm açısından kritik öneme sahiptir.

Kapı raflarının yük altındaki deformasyon karakteri, DIN EN 62552 standardı referans alınarak iki ayrı ölçüm noktasından değerlendirilir:

- Bükülme Ölçüm Noktası:

Komponentin dış kenarlarını birleştiren iki çapraz çizginin kesim noktasıdır. Bu nokta, rafın genel rijitliğini temsil eder.

- Eğilme Ölçüm Noktası:

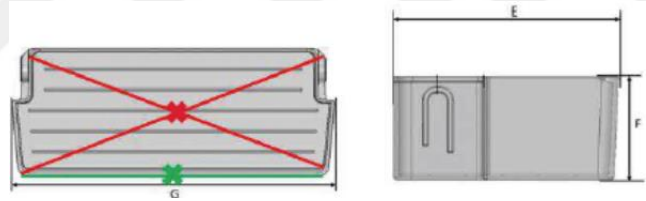
Kapı rafının ön kenarının tam orta noktasıdır. Genellikle yük altında öne doğru oluşan eğilme davranışını gösterir.

Testler aşağıdaki koşullarda gerçekleştirilmelidir:

- Kurulum: Kapı rafı, ilgili buzdolabı kapağı ile montaj pozisyonuna uygun olarak test düzeneğine yerleştirilir.
- Yükleme Tipi: Standart çapta ($\text{Ø } 80 \text{ mm}$) 0,5 kg / 1 kg ağırlık diskleri kullanılır.
- Yükleme Süresi: Sabit yük altında 1 saat boyunca bekletilir.
- Sıcaklık: Test ortam sıcaklığı $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ayarlanır.
- Yük Seviyesi: Daha önce belirlenmiş performans yükü değeri uygulanır.

Uygulanan yük sonrası yapılan ölçümlerde:

- Bükülme değeri ve
- Eğilme miktarı,



Şekil 2.22 Ölçüm noktaları bükülme/eğilme

Çekmece için olan mekanik testler ise; sebzelik çekmecesini gibi buzdolabı iç aksesuar parçaları, kullanıcı tarafından günlük olarak defalarca çekilip itilmekte, farklı ağırlıklar taşımakta ve ani hareketlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, çekmece sistemlerinin uzun süreli kullanımda mekanik dayanıklılığını, fonksiyonelliğini ve kullanıcı ergonomisini koruyup koruyamayacağı standart testler ile değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda gerçekleştirilen Çekmece Dayanım Testi, parçanın gerçek kullanım ömrü boyunca maruz kalacağı tipik açma-kapama döngülerini simüle eder. Testin temel içeriği şunlardan oluşur:

Çekmece, standart bir test cihazına yerleştirilmiştir. Bu cihaz, çekmeceyi yaklaşık 50–60 N açma kuvveti ve 200–300 mm/s hareket hızıyla otomatik olarak açıp

kapatacak şekilde programlanmış, toplamda 10.000 açma-kapama döngüsü boyunca test edilmiştir.

Test boyunca çekmeceye belirlenen yükleme senaryosu uygulanabilir (örneğin nominal kapasite veya üretici tarafından belirlenen maksimum yük).

Test, genellikle binlerce kez tekrarlanan açma-kapama döngüsünü içerir ve bu süre boyunca parçanın mekanik bağlantılarında gevşeme, ray mekanizmasında aşınma, yüzey deformasyonu ve sarkma olup olmadığı gözlemlenir.

Ek olarak, test sonunda çekmece açılma kuvveti ölçülerek kullanıcının günlük kullanımda karşılaştığı sürtünme direncinin konfor seviyesinde kalıp kalmadığı kontrol edilir.

Bu tez kapsamında yapılan dayanım testi de benzer şekilde planlanmış olup, çekmece; alternatif biyopolimer malzeme kullanılarak, nominal sebzelik çekmecesi yükü ve gerçekçi hareket senaryosu altında, otomatik test düzeneği ile defalarca açma-kapama döngüsüne tabi tutulmuştur.

Testin değerlendirme kriteri olarak, çekmece hareket kuvvetinin 70 N değerini aşmaması esas alınmış ve test sonunda yapılan ölçümlerde kuvvet değerlerinin bu sınırın oldukça altında kaldığı doğrulanmıştır. Ayrıca mekanik fonksiyon, yüzey aşınması, hasar, ses seviyesi, sarkma ve kendiliğinden kapanma özellikleri kontrol edilerek, parçanın kullanıcı beklentilerine ve kalite standartlarına uygun olduğu kanıtlanmıştır.

Drawer Endurance Test

Spect No : 5700 0000137438

Test Değerlendirme Kriterleri

- * Hareket etme kuvveti $\leq 70N$ olmalıdır

Test Cihazları

VIB	Seri Numarası	Numune Bilgisi
KG36NL30U	100029	Sebzelik çekmececi Kumru Kimya hammadde numunesi(9000985077)



Test Sonucu

Test sonucunda problem yoktur.

Kontrol Listesi	OK	nOK
Mekanik fonksiyonu	X	
Çekmece, raf ve diğer parçaların zarar görmesi	X	
Aşınma ve yüzey hataları (küvet hariç)	X	
Küvetteki hasarlanma ve aşınma	X	
Ses	X	
Çekmecenin standart yük altında sarkması	X	
Çekmece açılma kuvveti	X	
Çekmecenin kendiliğinden kapanma özelliği(eğer varsa)		
Diğer	X	

Geçti Geçmedi

Ölçüm	Çekmece Açılma Kuvveti(N)	
	Testten Önce	Testten Sonra
1	33,15	37,8
2	33,3	37,95
3	33,8	38,05

Şekil 2.23 Çekmece dayanıklılık testi sonuçları

Soğutucu kapılarında uzun ömürlü ve güvenilir kullanımın sağlanabilmesi, kapının menteşe bölgesi, conta yapısı ve genel montaj kalitesinin uzun süreli döngülerde dahi fonksiyonunu eksiksiz yerine getirmesine bağlıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen kapı performans dayanım testi, yalnızca kapının kendi mekanik dayanıklılığını değil, aynı zamanda kapıya entegre edilen kapı raflarının da uzun vadeli kullanımda herhangi bir deformasyon, gevşeme veya uyumsuzluk sorunu oluşturmadığını göstermek amacıyla uygulanmıştır.

Test sürecinde kapı, belirlenen yük ve standart çevrim sayıları altında açılıp kapatılmış; her belirli döngü aralığında kritik parametreler ölçülerek performans kayıpları takip edilmiştir. Ölçüm sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

Kapı açıklığı: kapının üst, orta ve alt bölgelerinde hem menteşe tarafı hem de tutamak tarafında yapılan ölçümler sonucunda, açıklık değerlerinde döngü ilerledikçe öngörülen tolerans aralığında bir azalma veya stabil sapma gözlemlenmiştir. Bu değişim, menteşe oturması ve contanın yerleşmesi gibi beklenen doğal etkilerle uyumludur.

Kapı mesafesi ve sarkma: kapının kapalı konumda panel mesafesi ve sarkma miktarı değerlendirilmiştir. 200.000 çevrim sonunda, menteşe ve tutamak tarafında

sarkma değerlerinin yaklaşık 0,9–1,5 mm arasında kaldığı tespit edilmiş olup bu değerler kabul edilebilir düzeydedir.

Kapı açma kuvveti: kapının açılması için gereken kuvvet tüm test süresi boyunca yaklaşık 31 N seviyesinde sabit kalmış; bu da menteşe torkunun stabil kaldığını ve kullanım konforunun korunduğunu göstermektedir.

Conta sızdırmazlığı: kapı contasının yüzeyle tam temas ederek sızdırmazlık görevini koruyup korumadığı her kontrol noktasında doğrulanmış, tüm sonuçlar “ok” olarak değerlendirilmiştir.

Panel kalınlığı ve yüzey durumu: kapı panelinde kalınlık ve yüzey bütünlüğü test boyunca korunmuş, herhangi bir inceleme veya deformasyon tespit edilmemiştir.

Ses: açma-kapama hareketleri sırasında anormal ses oluşumu, sürtünme veya mekanik gıcırta gözlemlenmemiştir.

Kapanma açıları ve kapanma fonksiyonu: kapı kapatma mekanizması bulunan sistemlerde, kapının belirli açılarda kendiliğinden kapanma özelliği de test edilmiş ve tüm fonksiyonlar sorunsuz şekilde çalışmıştır.

Bu dayanım testi, hem kapının hem de kapıya entegre edilen kapı raflarının 200.000 açma-kapama döngüsü boyunca mekanik bütünlüğünü, sızdırmazlık performansını ve kullanıcı konforunu başarıyla koruduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, kapı raflarının uzun ömürlü ve güvenilir şekilde kullanılabileceğini ve herhangi bir uyumsuzluk ya da hasar riski taşımadığını kanıtlamaktadır.

Measurement	Condition after cycles									
	0 w/o load	0 standard	50.000 standard	100.000 standard	100.000 BSH	130.000 BSH	130.000 70%	200.000 70%		
1. Door gap (mm)										
Hingeside	Top	11,68	11,51	11,26	11,45	12,11	11,23	11,28	11,31	
	Middle	11,99	12,21	11,95	11,06	11,64	11,87	12,02	12,02	
	Bottom	11,62	11,43	11,13	11,01	11,18	11,21	11,09	11,21	
Handleside	Top	13,19	12,79	13,44	12,76	13,26	14,03	13,84	13,73	
	Middle	12,89	13,12	13,07	12,46	12,58	14,10	13,86	14,11	
	Bottom	11,83	12,42	12,50	11,84	12,53	13,53	13,18	12,93	
2. Door deflection (mm)	Handleside	Absolut	35,84	36,76	37,46	37,18	37,35	37,71	37,36	37,32
		Sagging	-	0,92	1,62	1,34	1,51	1,87	1,52	1,48
	Hingeside	Absolut	34,41	35,21	35,36	35,66	35,68	35,99	35,34	35,32
		Sagging	-	0,80	0,95	1,25	1,27	1,58	0,94	0,91
	Door slant	-	0,12	-	-	-	0,29	-	0,57	
	3. Door opening force 0° (N)	31	31	31	31	31	31	31	31	
4. Gasket covering (ok / not ok)	ok	ok	-	-	-	-	-	-		
5. Thickness (ok / not ok)	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
6. Noise	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
For G-closer										
TS 5700 0000136106	0	50.000	100.000	-	-	-	-	-		
7. Closing angle with SL (°)	-	-	-	-	-	-	-	-		
8. Closing angle w/o Load (°)	-	-	-	-	-	-	-	-		
9. Self-closing 10° with SL (ok / not ok)	-	-	-	-	-	-	-	-		
10. Self-closing 10° w/o Load (ok / not ok)	-	-	-	-	-	-	-	-		

Şekil 2.24 Kapı açma kapama döngüsü sonuçları



Şekil 2.25 Kapı açma kapama döngüsü sonuçları

- Further
- There is no any problem with door bin after test



Şekil 2.26 Kapı rafı yükleme görseli

3

SONUÇ

Bu tez kapsamında, soğutucu iç aksesuar parçalarında kullanılmak üzere çevre dostu, biyobazlı polimerlerin uygulanabilirliği araştırılmış ve geleneksel fosil bazlı malzemelerle kıyaslanarak performansları değerlendirilmiştir. Çalışma, hem malzeme seçimi hem de tasarım ve üretim süreçleri bakımından sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyecek şekilde planlanmıştır.

Gerçekleştirilen enjeksiyon kalıplama denemeleri sonucunda, şeffaf grup için tercih edilen Luminy L130 PLA malzemesinin uygun proses parametreleri sağlandığında istenilen optik kaliteyi verebildiği görülmüştür. Opak grup için değerlendirilen Bio-Flex S 5514 biyopolimer de, akışkanlık ve darbe dayanımı açısından seri üretimde kullanılan PP bileşiğine yakın sonuçlar sunmuştur. Tasarım tarafında, kapı rafı ve çekmece bileşenlerinin işlevsellik, ergonomi ve temizlik kolaylığı gibi kullanıcı beklentileri gözetilerek optimizasyonları yapılmış, kritik sabitleme ve bağlantı detayları geliştirilmiştir. Uygulanan fonksiyonel testler ve dayanım testleri, yeni malzemelerin ve revize tasarımın kullanım ömrü boyunca güvenilir performans sağladığını kanıtlamıştır. Bu çalışma ile, buzdolabı iç aksesuar üretiminde fosil kaynaklı polimerlerin yerine biyobazlı alternatiflerin tercih edilmesinin, hem ürün kalitesinden ödün vermeden hem de çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayarak mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Ancak polimerik malzemelerden üretilen bu tür numunelerin maliyetleri hâlen yüksek düzeydedir.

Gelecek çalışmalarda; gerek tasarım optimizasyonları, gerekse proses geliştirme ve hammadde tedarik stratejileriyle maliyet iyileştirmesi sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca biyopolimerlerin geri dönüşüm zincirine entegrasyonu ve endüstriyel üretim ölçeğine uygun işlenebilirlik parametrelerinin daha detaylı araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] B. A. Nummer, Historical Origins of Food Preservation, National Center for Home Food Preservation, University of Georgia, 2002.
- [2] R. B. Hill, A History of Refrigeration. Elsevier, 2017.
- [3] International Energy Agency, The Future of Cooling, Paris, France: IEA, 2018.
- [4] M. P. Coleman and H. S. Lee, “Design Considerations for Domestic Refrigerator Structural Components,” *J. Mech. Des.*, vol. 128, no. 6, pp. 1205–1211, 2006.
- [5] D. Chaturvedi, *Industrial Design for Engineers*, CRC Press, 2017.
- [6] J. Smith and M. Brown, “Ergonomic Design of Kitchen Appliances,” *Ergonomics Journal*, 2018.
- [7] Polystyrene, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>, 23.06.2025.
- [8] Which plastics are commonly used in refrigerator production, <https://applianceupdate.com/what-type-of-plastic-is-used-inside-refrigerators/>, 23.06.2025.
- [9] Polypropylene, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>. 25.06.2025.
- [10] Z. Muranko, *Circular economy and behaviour change: Using persuasive communication to encourage pro-circular behaviours towards the purchase of remanufactured refrigeration appliances*, Ph.D. dissertation, London South Bank Univ., 2023.
- [11] S. Yin, *Development of Recycled Polypropylene Plastic Fibres to Reinforce Concrete*, Ph.D. dissertation, James Cook Univ., 2015.
- [12] USEON, Polypropylene (PP): Properties, Uses and Processing, <https://www.useon.com/polypropylene/>. 26.06.2025
- [13] DoonX, Polypropylene (PP) Plastic: Uses, Properties, Benefits & Toxicity. <https://www.doonx.com/materials/polypropylene>, 20.07.2027.
- [14] Polypropylene, <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/polypropylene>, 20.07.2025
- [15] Ş. Büyüköztürk, *Plastik Teknolojisi*. Ankara, Turkey: Nobel Yayınları, 2017.
- [16] Journal of Applied Polymer Science, “Buzdolabı üretiminde plastik parça tasarımı ve malzeme seçimi,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 138, no. 14, 2021.
- [17] T. A. Osswald and J. P. Hernández-Ortiz, *Polymer Processing: Modeling and Simulation*. Hanser Gardner Publications, 2006.

- [18] D. V. Rosato and D. V. Rosato, *Injection Molding Handbook*, Springer, 2000.
- [19] A. B. Strong, *Plastics: Materials and Processing*. Pearson Prentice Hall, 2006.
- [20] T. Osswald and G. Menges, *Material Science of Polymers for Engineers*, 4th ed. Hanser Publishers, 2016.
- [21] C. A. Harper, *Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance*. McGraw-Hill, 2006.
- [22] J. George, “Polymer Processing and Structure Development,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 211, no. 12, pp. 1859–1868, Dec. 2011.
- [23] A. B. Strong, *Plastics Materials and Processing*. Pearson Education, 2015.
- [24] B. Strong, “Fundamentals of Injection Molding,” in *Plastics Engineering Handbook*, 5th ed. Springer, 2011, pp. 285–315.
- [25] J. Elkington, *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone, 1997.
- [26] J. Rockström et al., “Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity,” *Ecol. Soc.*, vol. 14, no. 2, p. 32, 2009.
- [27] W. Steffen et al., “Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet,” *Science*, vol. 347, no. 6223, p. 1259855, 2015.
- [28] H. E. Daly, *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*. Beacon Press, 1996.
- [29] J. M. Harris, *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*. M.E. Sharpe, 2010.
- [30] A. Smith, *Principles of Economics*, 7th ed. Cengage Learning, 2015.
- [31] A. Demir, *Sürdürülebilirlik ve Sosyal Sorumluluk*. Ankara Üniversitesi Yayınları, 2018.
- [32] United Nations Development Programme (UNDP), *İnsani Gelişme Raporu*. UNDP, 2010.
- [33] B. Yılmaz, *Sürdürülebilir Kalkınma ve Sosyal Boyutu*. İstanbul, Turkey: Beta Yayınları, 2020.
- [34] I. Endres, A. Siebert-Raths, and K. Müssig, *Processing of Biodegradable Polymers*. Hanser Publications, 2017.
- [35] Total Corbion PLA, *Luminy® PLA Product Information Sheet*, Technical Datasheet, 2021.
- [36] T. Rydz, M. Sikorska, M. Kyulavska, and D. Christova, “Poly(lactic acid) (PLA): The future material for resilient applications,” *Polym. Adv. Technol.*, vol. 26, no. 7, pp. 707–761, 2015.
- [37] J. George and S. Thomas, “Polypropylene: Structure, Properties, Manufacturing Process, and Applications,” in *Thermoplastic Materials: Advances in Research and Applications*. Nova Science Publishers, 2018, pp. 113–148.
- [38] FKUR Kunststoff GmbH, *Bio-Flex® S 5514 Technical Data Sheet*, 2022.

- [39] FKUR Kunststoff GmbH, *Bio-Flex® S 5514 Technical Data Sheet*. FKUR Biopolymers, 2022.
- [40] A. Niaounakis, *Biopolymers: Applications and Trends*. Elsevier, 2015.
- [41] T. Rydz, M. Sikorska, M. Kyulavska, and D. Christova, “Poly(lactic acid) (PLA): The future material for resilient applications,” *Polym. Adv. Technol.*, vol. 26, no. 7, pp. 707–761, 2015.
- [42] Borealis AG, *Hostacom HBC 489R Technical Data Sheet*. Borealis Polymers, 2020.
- [43] J. George and S. Thomas, “Polypropylene: Structure, Properties, Manufacturing Process, and Applications,” in *Thermoplastic Materials: Advances in Research and Applications*. Nova Science Publishers, 2018, pp. 113–148.
- [44] J. S. Colton and J. Suh, *Injection Molding Handbook*. Hanser Publishers, 2011.
- [45] T. A. Osswald and L. E. Turng, *Injection Molding Handbook*, 2nd ed. Hanser Publishers, 2008.
- [46] D. V. Rosato and D. V. Rosato, *Injection Molding Handbook*, 3rd ed. Springer, 2000.
- [47] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2016.
- [48] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10th ed. Wiley, 2018.
- [49] A. Ibeh, *Thermoplastic Materials: Properties, Manufacturing Methods, and Applications*. CRC Press, 2020.
- [50] T. A. Osswald, J. P. Hernández-Ortiz, and P. Gramann, *Polymer Processing: Principles and Design*. Hanser Publishers, 2019.
- [51] M. F. Ashby and K. Johnson, *Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design*, 4th ed. Butterworth-Heinemann, 2019.
- [52] J. S. Colton and J. Suh, *Injection Molding Handbook*. Hanser Publishers, 2011.
- [53] D. V. Rosato and D. V. Rosato, *Injection Molding Handbook*, 3rd ed. Springer, 2000.
- [54] M. Kutz, *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, 2015.
- [55] J. R. Davis, *Handbook of Materials for Product Design*. ASM International, 2004.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Nursima Sağlam, *Soğutucu İç Aksesuar Parçalarının Sürdürülebilir Polimerik Malzemedен Üretilmesi ve Performans Analizi*, 21. Uluslararası İstanbul Fen Mühendislik Mimarlık ve Matematik Bilimlerinde Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 2025.

