KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN PLASTİK KORUMA EKİPMANLARININ, TASARIM REVİZYONLARI İLE MEYDANA GELEBİLECEK BOYUTSAL HATALARIN ÖNLENMESİ

FIRAT SÜLE

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN PLASTİK KORUMA EKİPMANLARININ, TASARIM REVİZYONLARI İLE MEYDANA GELEBİLECEK BOYUTSAL HATALARIN ÖNLENMESİ

FIRAT SÜLE

Prof. Dr. Mehmet UÇAR		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof. Dr. Mustafa AY		
Jüri Üyesi,	**Marmara Üniversitesi**	**.....**
Doç. Dr. Abdulkadir CENGİZ		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.07.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında hibrit araçlarda kullanılan plastik koruma ekipmanlarının, tasarımda yapılan revizyonlarla meydana gelebilecek boyutsal hataların önüne geçebilmesi için analiz çalışmalarının yapılması ele alınmıştır. Cam elyaf takviyeli ürünlerin kullanımına yönelik en sık karşılaşılan sorunlardan biri ise, plastik enjeksiyon ile kalıplama işleminden sonra alınan ürünün boyutlarında meydana gelen çarpılma sorunudur. Bu sorunun çözümüne yönelik cam elyaf takviyeli polimer malzemeye sahip plastik üründe farklı tasarımlar yapılıp, bu tasarımdaki değişimlere bağlı olarak boyutsal değişim, sıcaklık, basınç değerleri incelenmiştir. Her bir farklı tasarım modelinde plastik ürün farklı davranışlar sergileyerek farklı boyutsal değişimler gösterdiği belirlenmiştir.

Öncelikle tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarımda yol gösteren, her zaman üzerinde durmamız için çabalayan, eksiklerimi her daim kapatan danışmanım sayın Prof.Dr. Mehmet UÇAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tez çalışmasında Novares firmasına ve çalışma arkadaşlarıma yüksek lisans öğrenimim boyunca destek ve görüşleri ile çalışmalarıma katkıda bulunan, desteğini esirgemeyenlere teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, benim için en önemli ve en değerli olan hem tez hazırlama süresi boyunca hem de hayatım boyunca yanımda olan ve olacak, desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman güvenen biricik eşim Sibel SÜLE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2020 Fırat SÜLE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 2
1.1. Literatür Taraması 2
1.2. Plastik Ürün Tasarımı 9
1.3. Plastik Ürün Tasarımında Uyulması Gereken Genel Kurallar 11
1.3.1. Malzeme seçimi ve ürün cidar kalınlığı 11
1.3.2. Plastik ürünlerde feder tasarımı 15
1.3.3. Montaj için silindirik delikler 19
1.3.4. Plastik ürünlerdeki keskin köşeler 21
1.3.5. Plastik ürünlerdeki çıkma açıları 21
1.3.6. Plastik ürünlerdeki ters açılı bölgeler 23
2. MALZEME VE METOD 24
2.1. Kullanılan Malzeme 24
2.2. Simülasyon Programı (Moldflow) 26
2.3. Bilgisayar Destekli Tasarım Programı (CATIA) 27
2.4. Yapılan Tasarım Çalışmaları 27
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 30
3.1. Tasarım 1 Modelinin Analizi 31
3.2. Tasarım 2 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması 32
3.3. Tasarım 3 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması 35
3.4. Tasarım 4 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması 38
4. SONUÇLAR 41
KAYNAKLAR 43
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 45
ÖZGEÇMİŞ 46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enjeksiyonla Kalıplama Prosesi 10
Şekil 1.2. Sabit ve değişken ürün cidar kalınlığına sahip tasarım modelleri 13
Şekil 1.3. Homojen ürün cidar kalınlığı tasarım örnekleri 14
Şekil 1.4. Köşe tasarımında ürün cidar kalınlığı tasarımı 14
Şekil 1.5. Ürün cidar kalınlık geçiş tasarımı 15
Şekil 1.6. Ürün feder tasarımı 16
Şekil 1.7. Ürün üzerinde oluşabilecek çöküntü görseli 17
Şekil 1.8. Katkısız malzemelerde boyutsal değişim 18
Şekil 1.9. Cam elyaf takviyeli malzemelerde boyutsal değişim 18
Şekil 1.10. Montaj için silindirik delik tasarımı 19
Şekil 1.11. Silindirik deliklerin ürün duvarı ile bağlantısı 20
Şekil 1.12. Ürün federleri ve silindirik delikler için tasarım kılavuzu 20
Şekil 1.13. Plastik ürünlerdeki keskin köşe ve yuvarlatılmış köşe 21
Şekil 1.14. Plastiklerde çıkma açısı olan ve olmayan ürün modelleri 22
Şekil 1.15. Plastik ürünlerde ters açı bölgesi 23
Şekil 2.1. TASARIM 1-Hedeflenen Ürün Tasarımı 28
Şekil 2.2. TASARIM 2-Federsiz Ürün Tasarımı 28
Şekil 2.3. TASARIM 3-Belirlenmiş bölgede ürün cidar kalınlığı azaltılmış ürün tasarımı 29
Şekil 2.4. TASARIM 4-Belirlenmiş bölgede ürün cidar kalınlığı artırılmış ürün tasarımı 29
Şekil 3.1. Hedeflenen ürünün mesh modellemesi 30
Şekil 3.2. Tasarım 1 modelinin çarpılma analizi sonucu 31
Şekil 3.3. Tasarım 1 modeline ait sıcaklık dağılım sonucu 31
Şekil 3.4. Tasarım 1 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu. 32
Şekil 3.5. Tasarım 2 modeline ait çarpılma analizi sonucu 33
Şekil 3.6. Tasarım 2 modeline ait sıcaklık dağılımı sonucu 33
Şekil 3.7. Tasarım 2 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu 34
Şekil 3.8. Tasarım 3 modelinin mesh modellemesi 35
Şekil 3.9. Tasarım 3 modeline ait çarpılma analizi sonucu 36
Şekil 3.10. Tasarım 3 modeline ait sıcaklık dağılımı sonucu. 36
Şekil 3.11. Tasarım 3 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu 37
Şekil 3.12. Tasarım 4 modelinin mesh modellemesi 38

Şekil 3.13. Tasarım 4 modeline ait çarpılma analizi sonucu..... 39
Şekil 3.14. Tasarım 4 modeline ait sıcaklık dağılımı görüntüsü..... 39
Şekil 3.15. Tasarım 4 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu 40

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Ürün malzemeleri ve önerilen ürün cidar kalınlık aralığı 12
Tablo 1.2. Ürün malzemeleri ve beklenilen minimum çöküntü miktarı 17
Tablo 2.1. PA66-GF30'un İşlenebilme ve Fiziksel Karakteristiği 25
Tablo 2.2. PA66-GF30'un Mekanik Özellikleri 25
Tablo 2.3. PA66-GF30'un Elektriksel ve Diğer Özellikleri 25
Tablo 2.4. PA66-GF30'un Isıl Özellikleri 26
Tablo 4.1. Yapılan analiz sonuçları ve kıyaslanması 41
Tablo 4.2. Ürün cidar kalınlığı değişimine göre çarpılma değerinin kıyaslanması 42

HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN PLASTİK KORUMA EKİPMANLARININ, TASARIM REVİZYONLARI İLE MEYDANA GELEBİLECEK BOYUTSAL HATALARIN ÖNLENMESİ

ÖZET

Son yıllarda, yeni nesil hibrit araçların kullanım miktarları giderek artmakta olup bu alanda yapılan çalışmaların sayısı da hızla artmaktadır. Yeni nesil hibrit araçlarda, içten yanmalı motor ve elektrik motoru olmak üzere 2 tip motor sistemi bulunmaktadır. Elektrikli motorların yeni nesil hibrit araçlara entegresi birçok avantaj sağlarken aynı zamanda yenilikçi çözüm ihtiyaçlarını beraberinde getirmektedir. Elektrik motor sistemlerinde, doğrusal akım voltajı artırılırken aynı zamanda sistem içerisinden yüksek miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Yüksek miktarda açığa çıkan ısının giderilmesi ve motor performansının hedeflenen seviyelerde tutulması için soğutma sistemlerinin kullanılması zorunlu bir ihtiyaç haline gelmektedir. Sistemi oluşturan parçaları dışardan gelen etkilerden korumak ve soğutma sistemine katkı sağlaması için mühendislik polimerleri esaslı koruma ekipmanları kullanılmaktadır. Bu ekipmanların üretiminde tasarım, enjeksiyon proses parametreleri ve kalıp soğutma sistemleri gibi değişkenlere bağlı olarak parçada boyutsal hatalar meydana gelebilmektedir. Yapılan çalışmada; üretim aşamasında karşılaşan sorunların önlenebilmesi için parça tasarımda yapılan revizyonlar ile birlikte proses parametreleri optimize edilerek ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak, parçada ortaya çıkabilecek boyutsal sorunların önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyutsal Değişim, Plastik Enjeksiyon İle Kalıplama, Plastik Ürün Tasarımı.

PREVENTING OF ENCOUNTERED DIMENSIONAL FAILURES WITH DESIGN REVISIONS OF THE PLASTIC PROTECTIVE EQUIPMENT OF HYBRID VEHICLES

ABSTRACT

In recent years, while the use of new generation hybrid vehicles is increasing, the number of studies in this field is increasing rapidly. There are two types of engine system on the new generation of hybrid vehicles, such as internal combustion fuel and electric motor. The integration of electric motors into a new generation of hybrid vehicles provides many advantages while providing innovative solutions at the same time. In electric motor systems, a large amount of heat is generated from the system while increasing the direct current voltage. Therefore, the use of cooling systems is a necessity in order to remove the high amount of heat and to keep the engine performance at the target levels. In order to cover the components of the system from external influences, and to support to the cooling system, protective equipment which is based engineering polymers are used. In the production of these equipments, dimensional failure can be occurred on the part due to the variables such as; design, injection process parameters, and mold cooling systems. In this study, it is aimed to prevent the dimensional failures that may occur on the part by using the finite element method and by optimizing the process parameters together with the revisions on the part design in order to prevent encountered a failure during the production stage,

Keywords: Warpage, Plastic Injection Moulding, Plastic Product Design.

GİRİŞ

Polimer esaslı malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmaların son yıllarda artmasına bağlı olarak, otomotiv sektöründe de polimer esaslı malzemelerin (plastiklerin) kullanım miktarı gittikçe artmaktadır. Özellikle termoplastik malzemelerin mekanik ve termal dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi ile birlikte, birçok sektör içerisinde metal malzemelerden üretilen parçalar yerini git gitgide polimer bazlı malzemeler almaktadır. Termoplastik malzemelerin kolaylıkla proses edilebilir olmasının yanı sıra ilave katkılarla özelliklerinin iyileştirilebilir olmasından dolayı, otomotiv sektörüne yönelik parçalarda daha çok tercih edilmektedir. İç ve dış aksam parçalarında, motor parçalarında, ön konsol, tampon, elektrik parçalarında ve plastik koruma parçalarında polimer bazlı malzemelerin kullanım oranı giderek artmaktadır. [1]

Özelikle de fiber takviyeli ürünler mekanik ve ısıl dayanımından dolayı tercih ediliyor. Fakat fiber takviyeli ürünlerin üretiminden sonra en sık karşılaşılan sorunlardan biri ise, enjeksiyon ile kalıplama işleminden sonra alınan ürünün boyutlarında meydana gelen çarpılma sorunudur. Bu çalışma kapsamında, cam elyaf takviyeli termoplastik poliamid 6.6 kullanılarak Voltaj dönüştürücü koruma ekipmanı olarak kullanılması hedeflenen parçanın tasarım aşamasında, termal dayanım ve mekanik dayanım özellikleri bakımından optimum performans göz önüne alınarak tasarımı yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Taraması

Cam elyaf içerikli polimer malzemelerde üretiminde en çok boyutsal değişimler gözlenmektedir. Bu değişimlerinde temel sebebinde çekme oranının iki yöndeki farkından ve fiber yönlenmesinin farkından dolayı olduğu göstermek için analiz çalışmaları yapılmıştır. Mikro gözenekli polimerler ile köpükleme yönteminin cam elyaf katkılı polimer esaslı plastiklerde boyutsal değişimi, iki yöndeki çekme oranı arasındaki farkının azaltılmasıyla minimize edildiği gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde bunlara ek olarak, bu yöntem ile fiber yönlenmesinde, mekanik ve termal dayanımlarında da iyileşmelerin olduğu belirlenmiştir. [2]

Üretim koşulları, ambalaj boyutları ve malzemesi gibi birçok önemli parametrelerin, bir plastik ambalaj üzerindeki boyutsal değişiminde nasıl etkilediğini üzerine çalışma yapılmıştır. Boyutsal değişimi aza indirgeyen optimum çalışma şartları ve kalıplama özellikleri bakımından üzerinde durulan önemli noktalardır. Kalıplama özellikleri olarak; çarpılmayı azaltabilen düşük termal genleşme katsayısı ve düşük kalıplama sıcaklığı olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte de elastisite modülünün boyutsal değişim ile ters orantılı olduğu görülmüştür. [3]

Hızlı ısı çevrimi ile kalıplamada kullanılan proses parametrelerinin araçta kullanılan bir plastik parçada boyutsal değişimi araştırılmıştır. Bu çalışmada, tek faktörlü deney yöntemi ve Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Hızlı ısı çevrimi için kalıpta konformal olarak ısıtıp soğutan kanallar sistemi kullanılarak, parçadaki boyutsal değişimler incelenmiştir. [4]

Boyutsal değişimin ve çekme oranının etkilerinin birleşmesiyle plastik enjeksiyon üretiminde, üretilecek parça ile tasarımda istenen parça arasında farklar gözlenir. Enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında sıcaklık, basınç dağılımı ve diğer enjeksiyon parametreleri, farklı yöndeki çekme oranları ve iç gerilmelerden boyutsal değişimlerin olduğu araştırılmıştır. [5]

Çeşitli plastik parçaların üretimi için en çokça kullanılan üretim yöntemi olarak enjeksiyon kalıplama kullanılır. Bu üretim yönteminde, plastik parçalarının kalitesinde ve verimliliğinin de rol oynayan en önemli etmenler proses parametreleridir. Enjeksiyon kalıplamada parça kalitesini artırmak için Bilgisayar Destekli Mühendislik yazılımları çok önemli yer kaplamaktadır. Bu yazılımlar sayesinde bu çalışmada bir spor aletinde kullanılan plastiğin üretim sonrasındaki boyutsal değişimi gözlemlenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucu, yapılan deneysel çalışmaların sonucu ile doğruluğunun yüksek olduğu görülmüştür. Simülasyon analiz sonucu ve deneysel çalışmalar arasındaki boyutsal değişim sapmasının farkının minimum ve maksimum yüzdelerinin sırasıyla %4 ve %10,89 olduğunu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada yer alan proses parametrelerinde boyutsal değişime en çok etki edenler; dişi ve erkek kalıp sıcaklığı, eriyik malzeme sıcaklığı ve soğutma süresi olduğu tespit edilmiştir. [6]

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, polimer esaslı malzemelerin işlenmesi için en önemli yöntemlerden biridir ve bu yöntemle çoklu sayıda parça üretimi yapılabildiği için yüksek adetli üretimlerde bu yöntem çokça tercih edilir. Gereğinden fazla kalıp denemelerini ortadan kaldırmak, ürün geliştirme döngüsünü en aza indirmek, toplam maliyetleri düşürmek ve ürün kalitesini iyileştirmek için CAE teknolojisi (Bilgisayar Destekli Mühendislik Yazılımları) kullanır ve burada polimer esaslı malzemelerin özellikleri ile üretim şartlarındaki koşullarını birleştirerek, gerçeğe yakın simülasyon sonuçları elde edilir. Bu simülasyon analiz sonuçlarına bakarak, en uygun tasarımı ve üretim koşulları hesaplanır ve uygulanır. Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemi için kullanılan 2 farklı simülasyon yazılımının karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanım kolaylığına, modelin ayarlanmasına, doldurma aşamasına, paketleme aşamasına, soğutma aşamasına, boyutsal değişimine ve rapor oluşturmasına göre kıyaslamaları incelenmiştir. [7]

Plastik enjeksiyon ile kalıplama prosesinde üretilecek yapısını ve kullanılacak malzemenin özellikleri, kalıplama da gerçekleşen adımları incelemiştir. İlk olarak, dişi ve erkek kalıp birbiri üzerine kapatılarak içerisine polimer esaslı malzemenin enjekte edileceği pozisyona gelir. Sonra hammadde ilk olarak besleme bölümüne girer. Besleme bölümünde bulunan ısıtıcılar ve vida sayesinde hammadde ergime haline geçer.

Burada vidanın öteleme hareketiyle de ergimiş hammadde bir piston ile kalıp gözlerine dolduracak şekilde ileri doğru hareket eder. Dolum aşamasında plastik kalıp gözlerini doldurur ve bu doldurma işlemi üzerine baskı devam ettirilerek ütüleme işlemi gerçekleştirilir ve kalıp gözleri tam olarak doldurulmuş olur. Ütüleme işleminin amacı hammaddenin çekmesini ve kalıp içinde dengeli soğumasını sağlamaktır. Bu sürede vida ile basınç devam ettirilir çünkü basınç olmaz ise hammadde geri kaçabilir. Bu basınca da tutma basıncı olarak bilinir. Bir süre sonra yolluk girişine kadar olan bütün ergimiş malzeme donmaya başlar. Bu adımdan sonra kalıp gözleri içindeki plastik ürünün kalıptan çıkabilecek derecede olana kadar soğuması beklenir ve soğuma aşaması bu şekilde devam eder. Soğuma sırasında vida tekrar harekete geçer ve geri çekilir. Vidanın dönme hareketi ile birlikte bir sonraki enjeksiyon için vida yeniden ergimiş haldeki hammaddeyi almaya hazırlanır. Kalıp içindeki plastik ürün yeterince soğuduktan sonra kalıp açılır ve plastik iticiler sayesinde itilerek kalıp dışına çıkartılır. En son olarak dişi ve erkek taraf tekrardan kapanır. Plastik enjeksiyon çevrimi bu şekilde devam eder. [8]

Batarya havalandırma tapası için hem plastik enjeksiyon ile kalıplama prosesinin analizi hem de kalıp tasarımı hakkında bilgiler sunulmuştur. Plastik parçanın modellenmesi ve analizinin yapılmasının amacı, kalıp ayrım hattının belirlenmesi ve enjeksiyon dolum noktalarının tanımlanmasıdır. Fizibilite çalışması için akış analizi ile kalıplama prosesi birleştirilip, en uygun enjeksiyon dolum noktaları belirlenmiştir. Bu da plastik parçanın daha kaliteli bir şekilde üretilmesini hedefleyen analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerini yaparken, Bilgisayar Destekli Tasarım uygulamalarından ve Bilgisayar Destekli Mühendislik uygulamalarından yararlanarak, kalıp çevrim süresini azaltmada ve üretim maliyetlerini düşürmede çok yardımcı olacağını belirtmiştir. [9]

Kalıp tasarımda çok dikkat edilmesi gerekenler birisi de üretilecek ürünün boyutsal değişime uğrayıp uğramayacağını ön görmektir. Özellikle de içeriğinde cam elyaf bulunduran polimer esaslı malzemelerde bu durumla karşılaşılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, deneme parçası olarak yüzde 30 cam elyaf içeren PA66 malzemesi kullanılmıştır. Bu deneme parçası üretilmeden önce ne kadar boyutsal değişime uğrayacağını öngörmek için Moldflow analiz programı kullanılmıştır.

Bu program ile birçok farklı planın uygulanmasını, birbiriyle karşılaştırılmasını ve yönetilmesini sağlanmıştır. Bu planlara bakılarak en uygun tasarım seçilip üretilmeye başlanabileceği öngörülmüş olur. Bu şekilde uygulamalar ile en uygun tasarımın yapılmasını, üretimde boşa gidecek zaman ve kayıp önlenmesini sağlamış olur. [10]

Kalıpların tasarımı, belirli bir zaman çerçevesinde istenen sayıda adeti üretebilmek için gerekli geliştirme çalışmalarının temelini oluşturur. Özellikle çok gözlü kalıplar, çok yüksek adetli üretilecek parçaların kısa sürede üretilmesine yardımcı olur. Kalıpların tasarımın sadelik üretilecek parçaya hem kalite yönünden hem de geliştirme maliyetleri açısından kolaylık sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kullanılacak bir kalıbın geliştirilmesi için minimum zamanı sağlayacak, deneme ve test sırasında kaliteli bir ürün üretebilecek bir plastik enjeksiyon kalıbının tasarlanması hedeflenmiştir. Feder yapısı olmayan bir üründe ki doldurma zamanı, basıncı, hava kabarcıklarının oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Sonuç olarak, kalıpların tasarımı ve proses parametreleri üretilecek bir parçanın kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Kalıplardaki akış simülasyonu ile kalıpların geliştirilmiş tasarımları sayesinde karşılaşılacak hatalar en aza indirilebilir. Ayrıca, üretilecek parça için doğru kalıp tasarımını geliştirmek için gerekli malzeme, boyut, karmaşıklık ve üretilecek parça sayısı incelenmelidir.[11]

Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile proses değişkenlerinin optimum şekilde ayarlanması, enjeksiyonla kalıplanan ürünlerin kalitesini kontrol etmede çok önemli bir rol oynar. Özellikle de çöküntü izleri gibi görsel hataları kontrol etmede çok önemli rol oynar. Çöküntü izleri temelde tasarım kaynaklı bir sorundur ve bu nedenle tasarım aşamalarında bu konu daha ciddiye alınmalıdır. Bazı koşullar ve kısıtlamalar nedeniyle, bazen tasarım aşamalarında bu konu göz ardı edilir. Çöküntü hatalarını kontrol etmek için çok sayıda proses değişkeninin ele alınması zaman, enerji ve maliyet kaybına mal olacaktır. Bu makalede Taguchi yaklaşımını kullanarak enjeksiyonlu kalıplama ile proses değişkenlerinin çöküntü izleri üzerindeki etkisini incelemek için basit ve etkili bir yol sunmaktadır. Taguchi yaklaşımı kullanılarak farklı erime sıcaklıkları, farklı kalıp sıcaklıkları, farklı yükleme süreleri, farklı feder-duvar kalınlık oranları, farklı feder uzunlukları, gibi parametrelerle 27 farklı deney gerçekleştirilmiş olup, her bir deneydeki çöküntü derinliği birbiri ile kıyaslanmıştır.

Sonuç olarak, bu yaklaşımın ile tasarım alanındaki çeşitli proses değişkenlerinin kombinasyonu için çöküntü derinliğini tahmin edilerek en uygun parametrelerin seçildiği gözlemlenmiştir.[12]

Plastik enjeksiyon kalıplama günümüzün üretim sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama yönteminde, soğutma kanallarının performansı çok önemli bir faktöre sahiptir çünkü hem üretim oranı hem de plastik parçanın kalitesi üzerinde önemli ölçüde etkiler. Çevrim süresini azaltmak ve sıcaklığın eşit dağılımını kontrol etmek için, kalıp boşluğuna ve çekirdeğin şekline bağlı olarak uygun konformal soğutma kanalları oluşturmak gerekir. Bu proje çalışmasında, enjeksiyonla kalıplanmış plastik bir parça üzerinde farklı tipte soğutma kanallarını kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. En kısa ve en uygun çevrim süresi ile düzgün bir soğutma sağlamak için ve bu farklı tipteki soğutma kanallarının hangisinin daha uygun olacağını belirlemek için soğutma performansına, sıcaklık dağılımına ve parçanın boyutsal değişimine bakılarak kıyaslaması yapılmıştır. Soğutma kanalları performansının sonuçlarını incelemek için Autodesk Moldflow Insight (AMI) simülasyon yazılımından yararlanılmıştır. Soğutma fazı, tüm çevrim süresinin 2 / 3'ünden fazlasını kapsar ve bu da onu çevrim süresinde diğer faktörlerden daha baskın olanı yapar. Bir şişe kapağı parçası üzerinde düz delinmiş soğutma kanalları ile konformal soğutma kanalları kullanılarak 4 farklı tipte soğutma sistemi oluşturulup, bunların birbiriyle kıyaslanmasına bakılarak soğutma kanallarının etkisi incelenmiştir. [13]

Enjeksiyon kalıplama ile %30 cam elyaf takviyeli PA66 malzemesinden bir pompa contasının üretilirken ki akış davranışının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada kullanılacak kalıpta çok gözlü olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu duruma göre de en uygun plastik dolum noktalarının belirlenmesi, çarpılma ve doldurma analizlerinin yapılması için akış analizi programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde eksik doldurma, eşit dolduramama, fazla doldurma, birleşim izleri, hava kabarcıklarının oluşması gibi birçok hataların önceden belirlenmesini sağlamıştır. Yapılan analizler sonucunda, birçok hatanın önceden giderilmesini sağlayarak ve en uygun proses parametrelerin de belirlenmesini yardımcı olarak, kaliteli bir ürün çıkmasını sağlamıştır. [14]

Otomotiv sektöründe kullanılan plastik ürünlerde daha yüksek kaliteye ve verimliliğe ihtiyaç vardır. Artan ihtiyaçlar doğrultusunda, bu araştırma makalesi, otomotiv sektöründe belirli bir ürün için bir enjeksiyon kalıplama ile üretimi konu alınmıştır. Kullanılacak plastik ürün araçların ön farında destekleme çerçevesi olarak kullanılmaktadır. Plastik ürün için sadece PBT ya da cam elyaf takviyeli PBT ya da cam boncuklu PBT malzemesi kullanılmıştır. Tasarlanan 4 dolum şekli ve farklı dolgu maddesi içeriği ve dolgu şekliyle ve farklı soğutma sistemleriyle deformasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan dolum ve deformasyon analizleri sonuncu farklı farklı sonuçlar elde edilmiş olup, en uygun parametrelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Analiz sonuçları, esas olarak imalat üretimi ve deformasyonu etkilediği görülmüştür. Bu parametrelerin uygun kullanılması halinde kaliteyi daha da artırabilir ve plastik parçada ki deformasyonu azaltabilir.[15]

Plastik ürünlere olan yoğun talepten dolayı plastik endüstrisi gitgide hızlı şekilde büyümektedir. Bu ihtiyaçlardan dolayı bilgisayar destekli tasarım ve analiz yazılımlarının benimsenmesi ve kullanılması önem kazanmıştır. Bu çalışmada, mühendislik malzemesi olan POM hammaddesi kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilecek plastik parça üzerinde yaptıkları analizleri kaliteli bir ürün ve maliyet azaltması için incelenmiştir. Günümüz şartlarında yenilikçi üretim yöntemlerine ve üretim verimini artırmaya yönelik gereksinimlerini ve üretim hedeflerini sağlayabilmek için bilgisayar destekli tasarım ve analiz programlarına ilgi giderek artmıştır. Analiz programlarını yararlanılarak çevrim süresini düşürülebileceğinden ve enjeksiyon parametrelerinin de en uygun şartların belirlenebileceğinden bahsedilmiştir. Çalışma sonunda plastik parçasının en uygun yolluk yeri belirlenmiş olup, plastik parçanın kalitesi için dolum analizine, çöküntü analizine, hava kabarcıklarına, malzeme birleşim çizgilerine bakılmıştır. Belirlenen hataların en aza indirgenerek daha kaliteli ve verimli bir plastik parça ortaya çıkması sağlanmıştır.[16]

Bu çalışmada, tıraş makinesinde kullanılacak bir plastik parçada, mühendislik malzemesi olarak da bilinen POM termoplastik hammaddesi kullanılarak, plastik parçadaki ürün akış analizi ve deformasyon analizi incelenmiştir. Tek gözlü bir kalıptan üretilmiş plastik parça ile çok gözlü kalıptan üretilmiş parçanın kıyaslaması yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, çevrim süresinin boyutsal değişimine etkisinde en önemli faktör olduğu saptanmıştır. Çevrim süresi ne kadar uzarsa boyutsal değişimde azalır. Çekme oranının da ki farklılıklar, parça kalıptan çıktıktan sonra ki soğumada ki farktan kaynaklı çekme oranı farkından ve çekmenin yönlendirmesinden kaynaklı boyutsal değişime etken olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için akış analizi yapılmadan önce yüksek kalitede mesh analizinin yapılması sonradan karşılaşılabilecek hataların önüne geçeceğini ifade etmişlerdir.[17]

Son zamanlarda, polimer esaslı hammaddelerin günümüzde kullanılan birçok ürünün üretilmesinde kullanılmaktadır. Polimer esaslı hammaddelerle üretilmiş ürünler, maliyet ve kolaylaştırılmış üretim yöntemlerinden dolayı birçok sektörde tercih edilir bir hal almıştır. Polimer teknolojisinin gelişimi üzerine yapılan çalışmalarla ihtiyaç duyulan özelliklerde plastik ürünler elde edilmeye başlanmış ve özellikle sertlik, mukavemet, sıcaklık dayanımı gibi birçok kriteri sağladığından dolayı, otomotiv sanayisinde, havacılık endüstrisinde ve savunma sanayisinde kullanımı giderek artmıştır. Polimer esaslı ürünlerin sağladığı avantajların yanı sıra plastik ürünlerin üretimi sırasında karşılaşılacak sorunlara yönelik yenilikçi çözümleri de beraberinde getirmektedir. Yapılan çalışmalarda göz önünde bulundurulduğunda, boyutsal değişim ya da çarpılma olarak bilinen bu problem, plastik ürünlerin üretimde karşılaşılan hatalardan birisidir. Yapılan çalışmalarla bu problem için, proses parametrelerinde optimizasyon edilmesiyle, soğutma kanallarındaki çalışmalarla, kalıp tasarımı üzerinde yapılan değişiklerle giderilmeye çalışılmasına rağmen, otomotiv sektöründe kullanılacak mukavemet ve ısıl dayanım gerektiren, katkılı bir polimer ürün üzerine ürün tasarımı değişikliği uygulanarak boyutsal değişimin incelenmesine yönelik detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli termoplastik poliamid 6.6 kullanılarak hibrit araçta mekanik ve ısıl dayanım gerektiren Voltaj dönüştürücü koruma ekipmanı olarak kullanılması hedeflenen parçanın tasarım aşamasında, optimum performans ve maliyet gibi faktörler göz önüne alınarak tasarımı yapılmıştır. Plastik parçalarda meydana gelen çarpılma sorunun çözümüne yönelik, tasarım revizyonları geliştirilmiş olup, sıcaklık ve basınç dağılımının homojen olmasına yönelik analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, plastik parçalarda meydana gelen çarpılmaların akış yönünde çok az olduğu, ağırlıklı olarak Z yönünde ve her iki eksende de meydana geldiği (+Z, -Z) gözlemlenmiştir. İncelenen sonuçlar içerisinde, meydana gelen çarpılmaların parça üzerinde akış yönüne dik olan alan içerisinde meydana geldiği ve parçanın uç noktalarında boyutsal hataların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yapılan parça revizyonlarında kalınlık artışının, sıcaklık dağılımı üzerine olumsuz etki gösterirken, basınç dağılımı olumlu yönde etki göstermiştir. Parça kalınlığının azaltıldığı tasarımda ise sıcaklık dağılımı üzerinde etkisinin daha az olduğu gözlemlenirken, parça üzerinde oluşan basınç farkının ise daha az olduğu belirlenmiş olup, çarpılmanın ise daha az olduğu gözlemleniştir.

1.2. Plastik Ürün Tasarımı

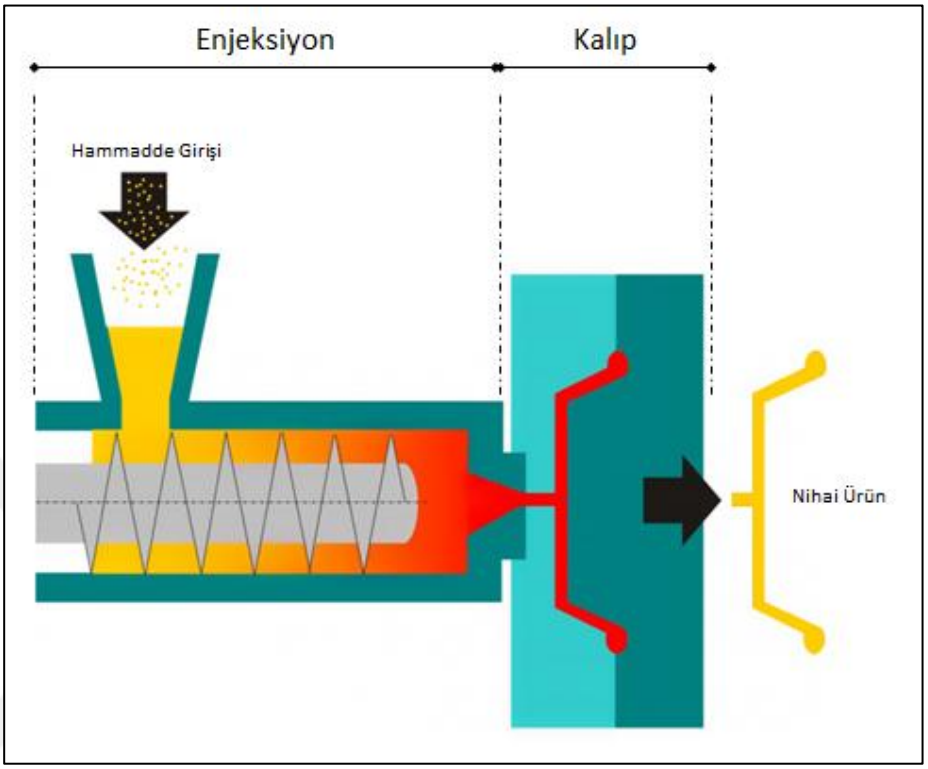
Plastik ürün üretim yöntemlerinin en sıklıkla kullanılanı enjeksiyon ile kalıplamadır. Enjeksiyon ile kalıplama yüksek üretim adetleri ve düşük maliyeti sağlayabildiği için plastik ürünlerin üretilmesinde kullanılır. Enjeksiyon ile kalıplamada plastik ürün tasarımında izlenecek yolların takip edilmesi yüksek kalitede üretilmiş ürünlerin ortaya çıkmasını sağlar. [18]

Enjeksiyon ile kalıplama da ürünler tasarlanırken, üretim süreci önemli bir husustur. Enjeksiyonla kalıplama, katı termoplastik parçalarının (granüllerinin) eritildiği, sonra bir kalıba enjekte edildiği, daha sonra da geri soğutulduğunda yeni şeklini almış halde katı hale döndürüldüğü bir süreçtir. (Şekil 1.1) [19]

Üretim sürecinin hem enjeksiyon hem de soğutma aşamaları sırasında, nihai ürünün kalitesini ve üretim sürecinin tekrarlana bilirliğini etkileyebilecek çeşitli faktörler vardır. Bu yüzden, tüm önerilerin hepsini aynı anda takip etmek her zaman mümkün olmamakla birlikte, bu çalışmada enjeksiyonla kalıplama da bir plastik ürünün tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konuları ele alınmıştır. [20]

Plastik ürünler tasarlarken ve geliştirirken, ürünün işlevini ve ürünün görünümünü tanımlamaya ve en üst düzeye çıkarmaya, nihai ürünün gereksinimlerini belirlemeye, üretim proses seçeneklerini değerlendirmeye, uygun bir malzeme seçmeye, üretim maliyetlerini azaltmaya ve prototip testi yapmaya odaklanılmalıdır.

Bununa birlikte dikkate alınması gereken yapısal sınırlamalar, çevresel sınırlamalar, ekonomik sınırlamalar ve görünüş sınırlamaları gibi tasarımı etkileyecek kısıtlar bulunmaktadır. [20]



Şekil 1.1. Enjeksiyonla Kalıplama Prosesi [19]

Tasarımı etkileyen yapısal sınırlamalar:

- Statik yükler
- Titreşim kaynaklı yükler
- Darbe kaynaklı yükler
- Stres kaynaklı gerilmeler
- Genel ölçülendirme ve toleranslar

Tasarımı etkileyen çevresel sınırlamalar:

- Sıcaklık
- Kimyasal etkileşim
- Elektriksel performans
- Nem faktörü
- Yanmazlık

Tasarımı etkileyen ekonomik sınırlamalar:

- Hammadde maliyetleri
- Kalıp üretim maliyetleri
- Yıllık üretim adetleri
- Bilgisayar destekli tasarım programların kullanım maliyetleri

Tasarımı etkileyen görünüş sınırlamaları:

- Ürün rengi
- Ürün yüzey kalitesi
- Desenli ürün
- Ürün markalamaları

1.3. Plastik Ürün Tasarımında Uyulması Gereken Genel Kurallar

1.3.1. Malzeme seçimi ve ürün cidar kalınlığı

Ürünün fonksiyonelliğine, çalışma koşullarına ve ihtiyaç duyulan özelliklerine bağlı olarak bir malzeme seçimi yapılmalıdır. Malzemelerin yapısına göre bazı malzemeler esnek, bazıları sert, bazıları dayanıklı, bazıları kırılgan yapıdadır. Seçilen malzeme tipi genellikle parçanın tasarımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve malzemenin seçimine göre üretilecek üründen ona göre performans beklenilmelidir. [21]

Ürün cidar kalınlığını, ürünün mekanik performansı, ürünün estetik görünümü, kalıplana bilirliği ve maliyeti gibi birçok önemli faktör önemli derecede etkiler. Optimum ürün cidar kalınlığı genellikle mukavemet ile ağırlık azaltma veya dayanıklılık ile maliyet arasındaki eğilimle dengedir.

Üretimde yüksek maliyetli kalıp modifikasyonları ve kalıplanabilme gibi problemlerle karşılaşmamak için tasarım sürecinde ürün cidar kalınlığına çok dikkat edilmelidir. Aşağıda ürün malzemelerine göre önerilen ürün cidar kalınlıkları belirtiliştir. (Tablo 1.1)

Plastik ürün tasarımı yapılırken, ürün cidar kalınlığını verirken ürünün kalıplana bilirliğini göz önünde bulundurmak gereklidir.

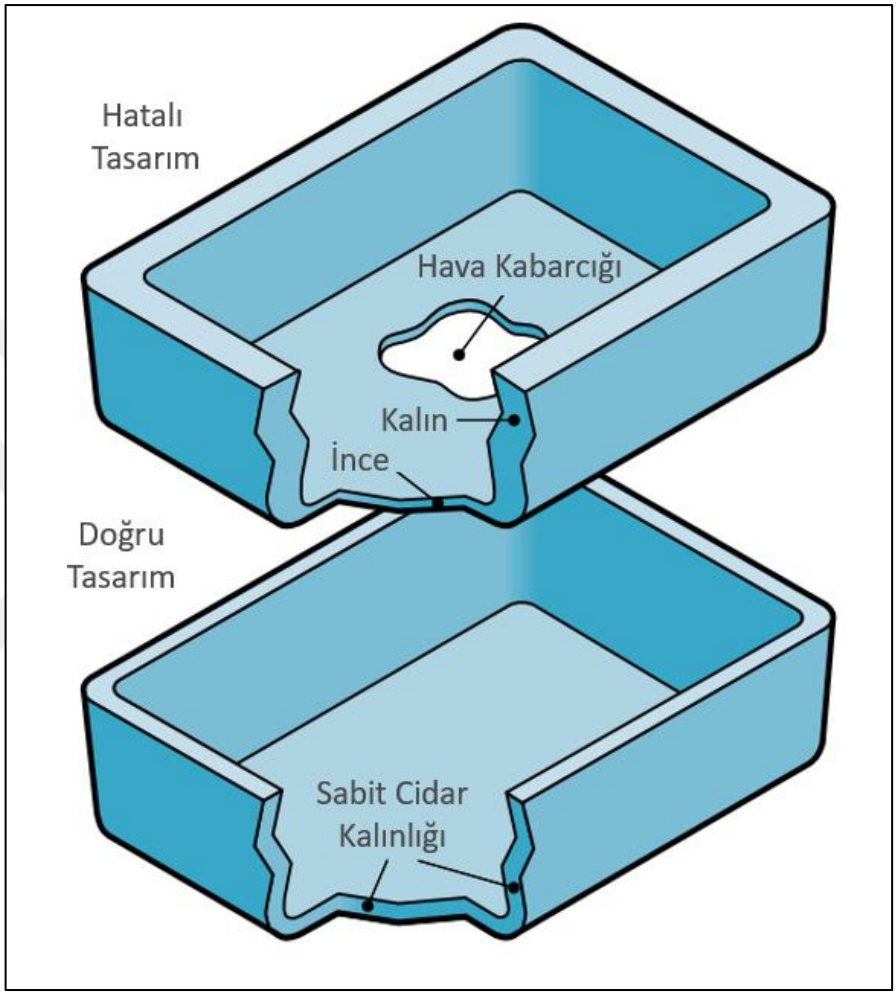
Plastik enjeksiyon sürecinde seçilen ürün malzemesi kalıp içerisine enjekte edilirken, dolum noktasından en uç noktasına kadar olan kısma gelirken dengeli bir şekilde akış gerçekleşmelidir. Değişken bir cidar kalınlığına sahip olmamalıdır. Aşırı ince cidar kalınlığına sahip ürünlerde, kalıp içerisindeki ince kesitlerden dolayı yüksek basınçlı bir şekilde plastik enjekte edilir. Bu durumda ürün üzerinde kalıplanırken gerilime sahip, görünüş hataları olan ve doldurma problemi yaşayan bir ürün elde olabiliriz. Aşırı kalın cidar kalınlığına sahip ürünlerde ise, uzun üretim süresine yüksek maliyetlere ve paketleme gibi sorunlara yol açabilir. Bu yüzden ürün cidar kalınlığı belirlenirken dikkat edilmesi gereken maddeler şunlardır: [20]

Tablo 1.1. Ürün malzemeleri ve önerilen ürün cidar kalınlık aralığı [21]

ÜRÜN MALZEMESİ	**Önerilen Cidar Kalınlık Aralığı (mm)**
Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS)	1.143-3.556
POM-Asetal	0.762-3.048
Akrilik	0.635-3.81
Sıvı Kristal Polimer (LCP)	0.762-3.048
Uzun Elyaf Takviyeli Plastikler	1.905-25.4
Naylon	0.762-2.921
Polikarbonat (PC)	1.016-3.81
Poliester (PES)	0.635-3.175
Polietilen (PE)	0.762-5.08
Polifenilen Sülfit (PPS)	0.508-4.572
Polipropilen (PP)	0.635-3.81
Polistiren (PS)	0.889-3.81

- Kalın cidar kalınlığına sahip ürünlerde ince cidar kesitlerinin olmamasına çok dikkat edilmelidir. Dikkat edilmemesi durumunda ürün kalıp içerisinde gaz atma problemi gözlemlenebilir. Bu da yüksek kalite ürünler yerine hatalı düşük yüzey kalitesine ürünler üretilmesine sebep olabilir. (Şekil 1.2)

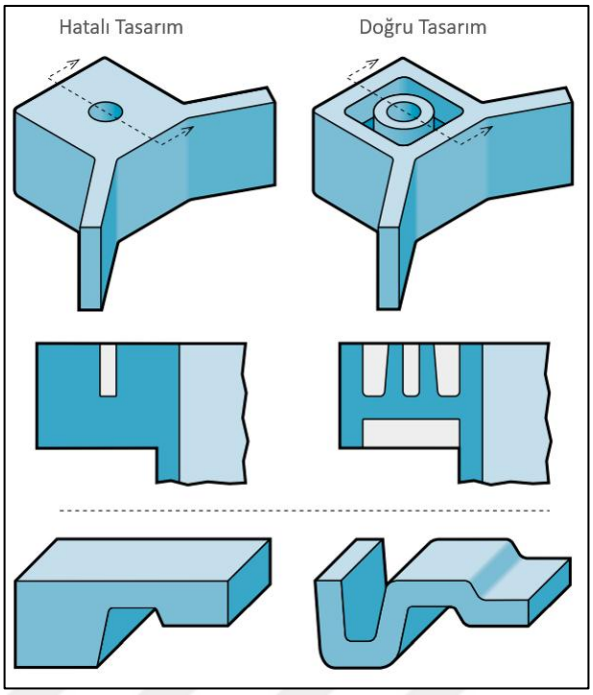
- Ürün cidar kalınlığını ürünün her yerinde nominal değerde tutulmasına dikkat edilmelidir. Ürün üzerinde olacak cidar kalınlık farkları birçok görsel hatanın meydana gelmesine sebep olabilir. Ürün cidar kalınlığı ürünün her yerinde aynı değere sahip olması beklenmelidir. (Şekil 1.2)



Şekil 1.2. Sabit ve değişken ürün cidar kalınlığına sahip tasarım modelleri [20]

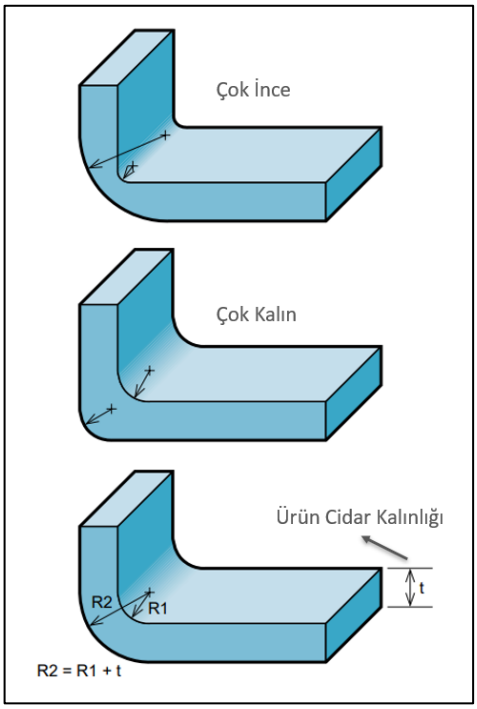
Çoğu ürün tasarımında, özellikle de sac metalden plastiğe dönüştürülmüş ürünlerde çöküntü ve eksik doldurma gibi problemlere yol açabilecek kalın kesitlere sahip olabilirler. Böyle ürünleri plastik ürünlere uyarlarken ürün tasarımın da aşağıda belirtilmiş maddeleri göz önünde bulundurulması gereklidir. [20]

- Homojen bir ürün cidar kalınlığı elde etmek için, üründeki bulun kalın cidarların yeniden tasarlanarak düzgün bir cidar kalınlığı elde edilmelidir. (Şekil 1.3)



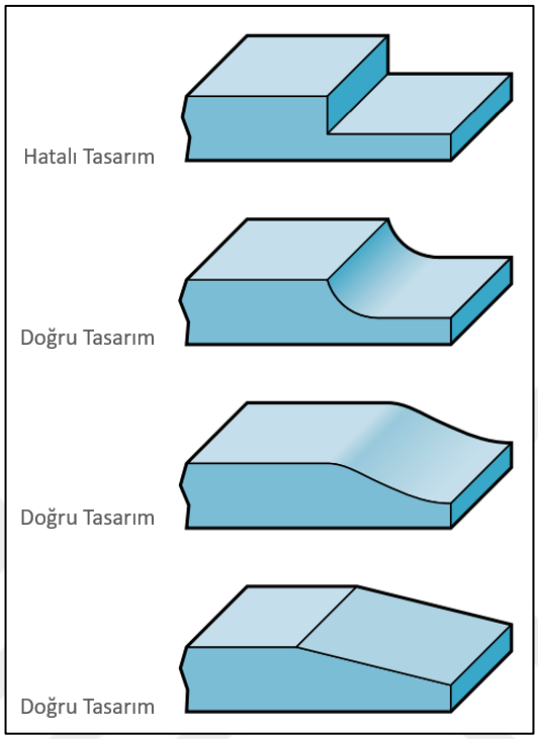
Şekil 1.3. Homojen ürün cidar kalınlığı tasarım örnekleri [20]

- Ürün tasarımı yapılırken, köşe kısımlardaki ürün cidar kalınlıklarını sabit tutmak için köşenin dış yarıçapının iç yarıçapından daha büyük olacak şekilde tasarlanmalıdır. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4. Köşe tasarımında ürün cidar kalınlığı tasarımı [20]

- Ürün yüzeyindeki görüntü ve parlaklık farklarının en aza indirilmesi için, ürün cidar kalınlığındaki geçişi yuvarlak ve konik şekilde yapılmalıdır. Keskin ürün cidar kalınlık geçişlerinden kaçınılmalıdır. (Şekil 1.5)



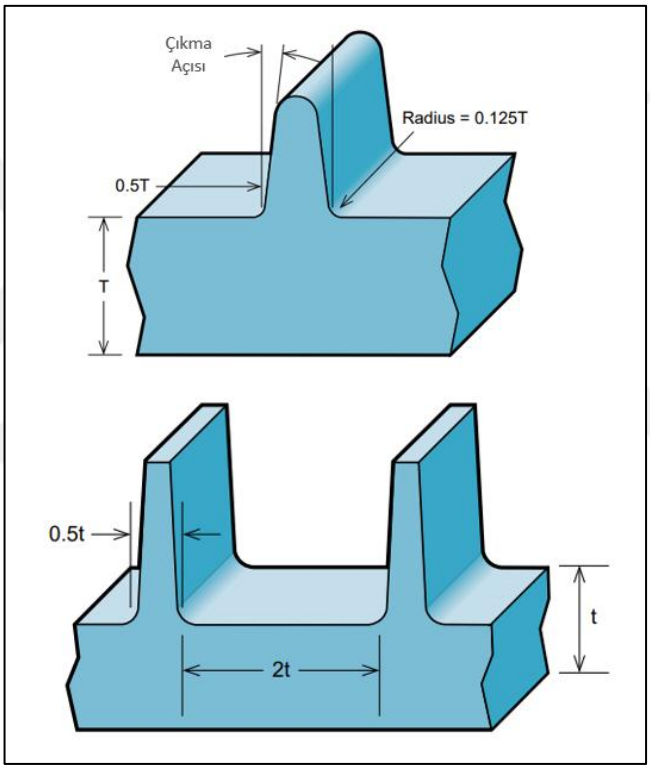
Şekil 1.5. Ürün cidar kalınlık geçiş tasarımı [20]

1.3.2. Plastik ürünlerde feder tasarımı

Federler, ürün cidar kalınlığını artırmadan plastik enjeksiyonla üretilmiş ürünlerdeki sertliği ve mukavemetini artırmak için ekonomik bir yöntem sağlar. Federler buna ek olarak, montaj yapılırken birleşenlerini düzgün şekilde yerleştirmede, eşleşen parçalarla hizalanmasında ve mekanizmalar için sınırlayıcı ya da referans olarak kullanılmasında yardımcı olur. Uygun feder tasarımı için kalınlık, yükseklik, konum, miktar ve kalıplana bilirlik gibi 5 kritik konunun çok dikkatlice düşünülüp belirlenmesi gereklidir. Feder tasarımı yapılırken aşağıdaki önerilen maddeler dikkate alınmalıdır. [20]

- Ürün üzerinde çöküntü oluşmasını önlemek için feder kalınlığının nominal ürün cidar kalınlığının maksimum 0,5 katı olmalıdır.

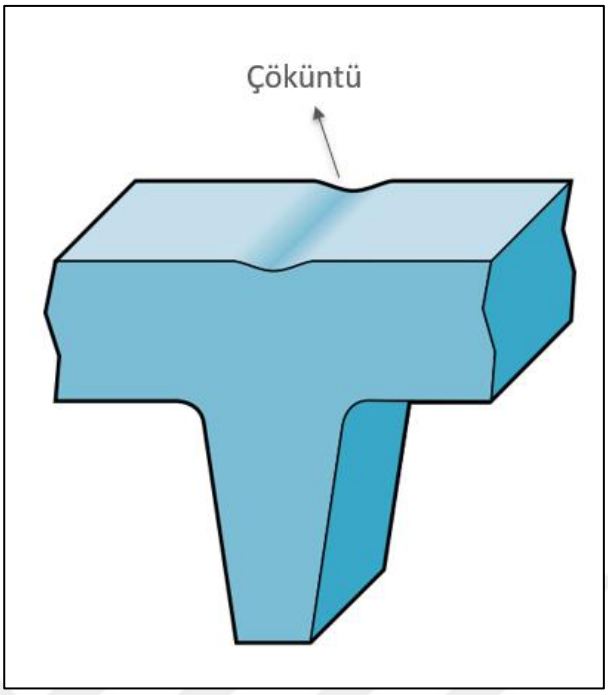
- Ürün kalıbının içerisinde ince çelik kesitlerinin oluşmaması için 2 feder arasındaki mesafe nominal ürün cidar kalınlığının en az 2 katı olmalıdır.
- Federlerin kalıptan daha rahat çıkarılmasını sağlamak için federin her iki yüzündeki çıkma açısı en az 0,5 derece olmalıdır.
- Ürün cidar kalınlığındaki büyük farklılıkları önlemek için maksimum feder yüksekliği nominal ürün cidar kalınlığının 3 katından fazla olmamalıdır.
- Boyutsal değişime sebep olabilecek olan homojen olmayan çöküntüleri önlemek için nominal feder yüzeyinin her 2 tarafında denge olmalıdır. (Şekil 1.6)



Şekil 1.6. Ürün feder tasarımı [20]

Uygun feder kalınlığını belirlemek için birçok etken vardır. Kalın feder yapıları genellikle bağlandıkları ürün duvarının karşı yüzeyinde çöküntü ve görsel hatalara sebep olabilir. (Şekil 1.7)

Ürün malzemesi, feder kalınlığı, plastik ürün yüzey deseni, enjeksiyon dolum noktasına yakınlık, farklı üretim süreçlerine bağlı olarak ürün üzerindeki çöküntü oranı değişebilir. Aşağıdaki tabloda farklı malzemelere göre ürün cidar kalınlığının feder kalınlığına yüzdesel olarak oranları belirtilmiştir. (Tablo 1.2) Bu tablo, ortak koşullar altında yapılan sübjektif gözlemlere dayanarak sonuçlar belirlenmiştir.

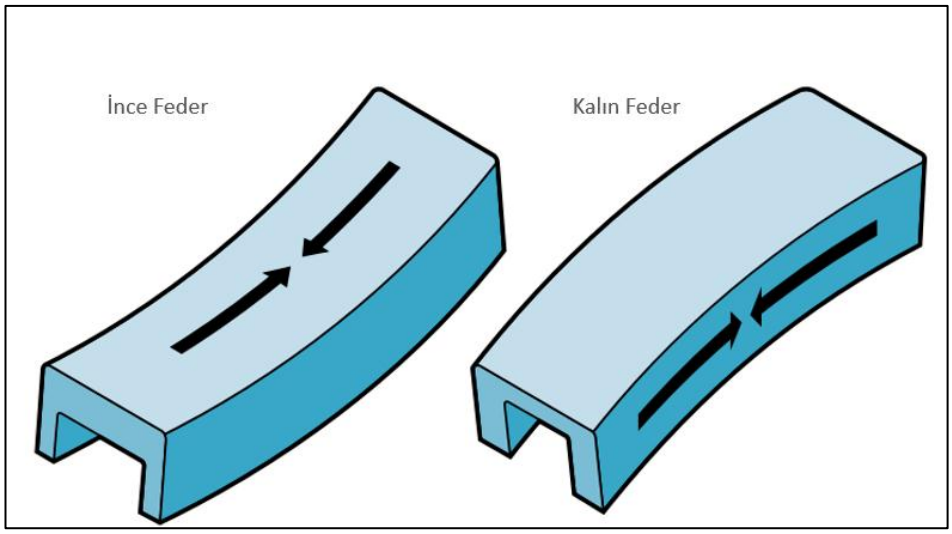


Şekil 1.7. Ürün üzerinde oluşabilecek çöküntü görseli [20]

Tablo 1.2. Ürün malzemeleri ve beklenilen minimum çöküntü miktarı [21]

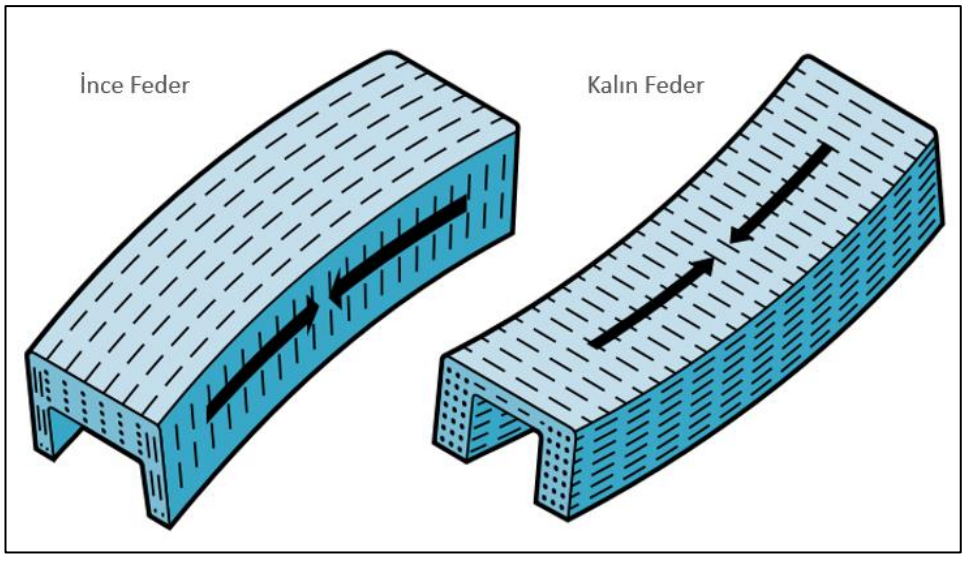
ÜRÜN MALZEMESİ	**Minimum Çöküntü**
PC (Polikarbonat)	50% (40%-eğer yüksek parlaklık isteniyorsa)
ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren)	40%
PC/ABS	50%
PA (Poliamid)-Katkısız	30%
PA (Poliamid)-Cam elyaf katkılı	33%
PBT Poliester-Katkısız	30%
PBT Poliester-Katkılı	33%

Feder kalınlığı, federlerdeki soğutma oranını ve çöküntü miktarını belirlerken bu durumda genel ürün boyutsal değişimini de etkiler. Enjeksiyon akış yönünde ve çapraz akış yönlerinde homojen çekme oranına sahip malzemelerde, ince feder kalınlığına sahip plastiklerde daha erken katılaşmaya başlarken ürün cidarı daha geç katılaşır. Bu durumda, feder yüzeylerinin uç kısımları karşı duvara doğru eğilebilir. (Şekil 1.8)



Şekil 1.8. Katkısız malzemelerde boyutsal değişim [20]

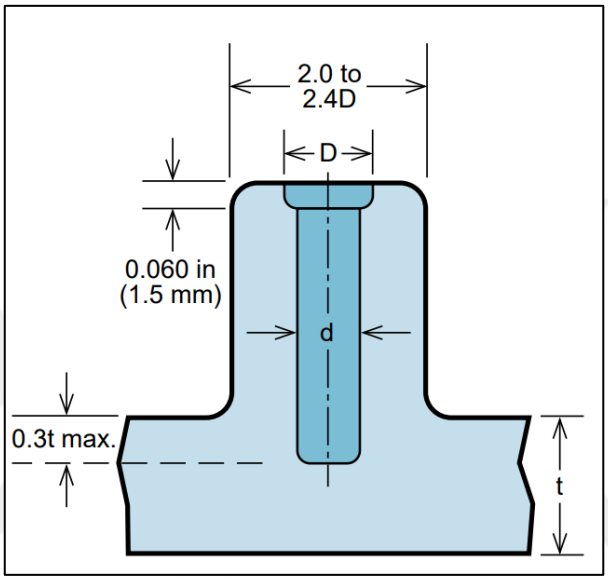
Feder kalınlığı ürün cidar kalınlığına yaklaştıkça, üründeki boyutsal değişme azalma eğilimlidir. Bununla birlikte, ürün cidar kalınlığı ile aynı kalınlığa sahip federli plastik ürünlerde de federin olduğu tarafa doğru boyutsal değişimler gözlemlenebilir. Bu boyutsal değişimin önüne geçmek için, feder tarafında oluşan ısı yükünü azaltacak şekilde federli kısımda kalıp içerisinde ekstra soğutma sistemi tasarlana bilinir. Bütün yönlerdeki çekme oranı daha fazla olan cam elyaf takviyeli malzemeler için, feder kalınlığının ürün boyutsal değişimi üzerine etkisi oldukça farklı olabilir. (Şekil 1.9) İnce federler uzunlukları yerine tabandan yukarı doğru doldurma eğilimi gösterdiğinden feder uzunluğu boyunca yüksek çapraz akış, uçların federlere doğru eğilmesine sebep olabilir.



Şekil 1.9. Cam elyaf takviyeli malzemelerde boyutsal değişim [20]

1.3.3. Montaj için silindirik delikler

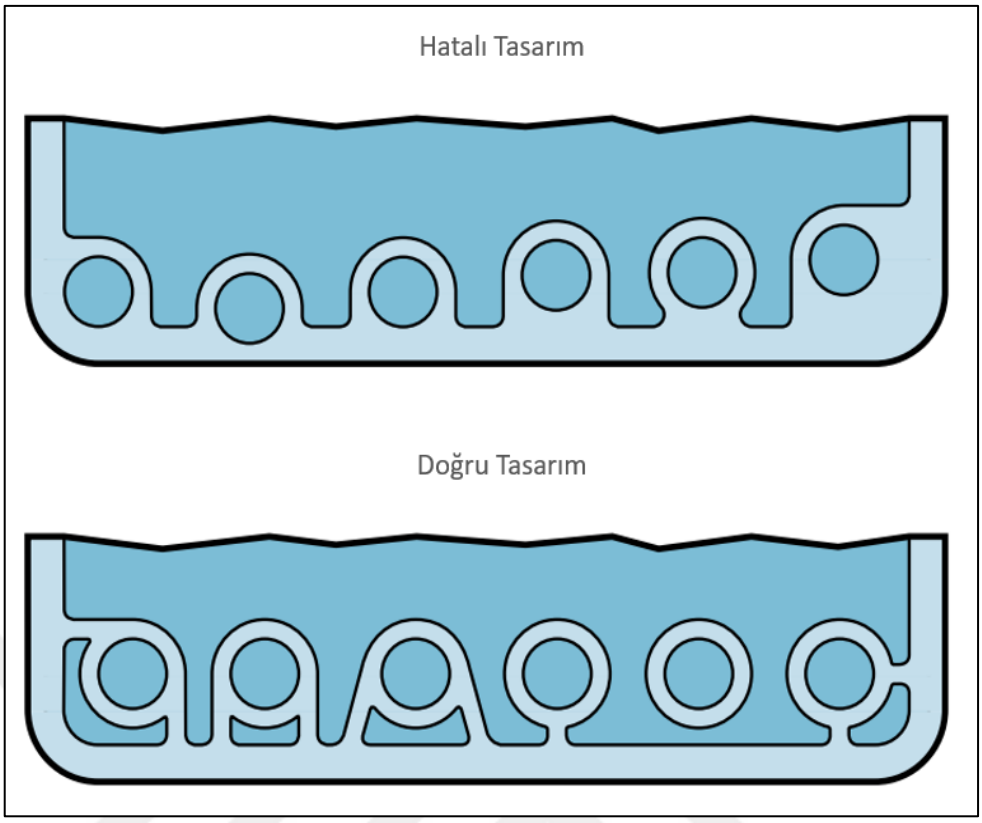
Silindirik delikler birçok ürün tasarımında bağlantı ya da montaj noktaları için kullanılırlar. Silindirik delikleri çeşitli vidalar ve dişli eklentiler için ya da farklı yapıdaki sabitlemeler için tasarlanmış deliklerde çok yaygın şekilde kullanılırlar. Genel bir kural olarak silindirik deliğinin dış çapı, vidanın ya da dişli eklentinin dış çapının 2 ile 2,4 katı arasında bir değerde olmalıdır. (Şekil 1.10) [20]



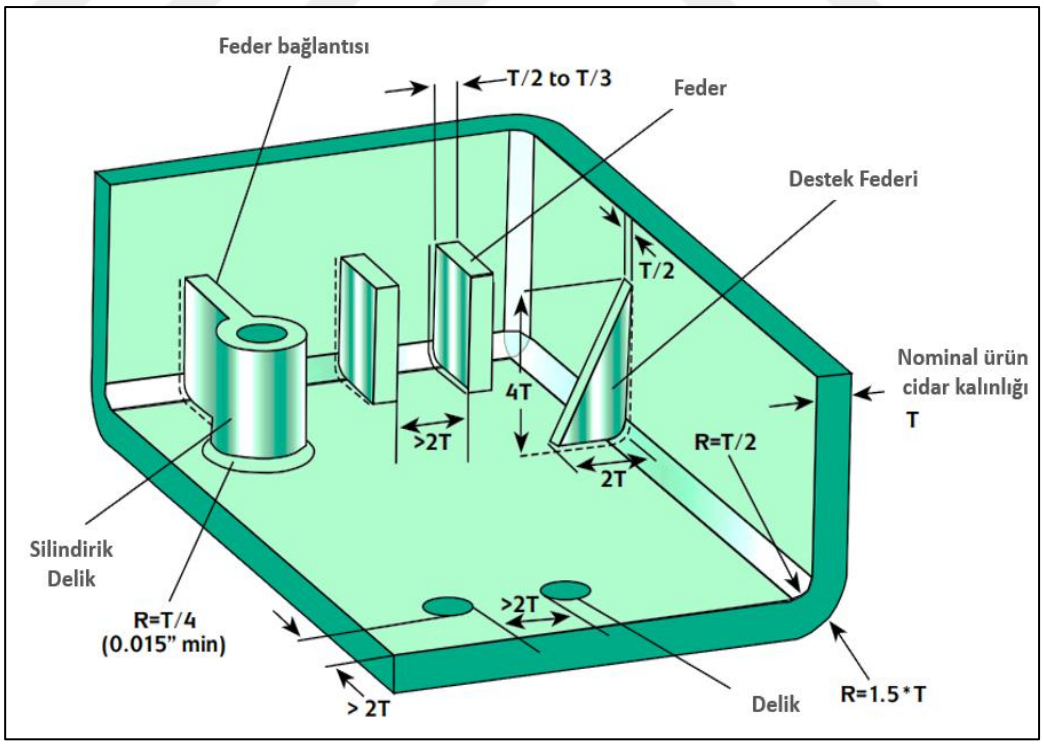
Şekil 1.10. Montaj için silindirik delik tasarımı [20]

Montaj için silindirik delik tasarımı yapılırken, silindiriklerin ürün yan duvarları ile birleştirilmesinde çok dikkatli olunmalıdır. Birleştirme yaparken kalın ürün cidarları meydana gelebilir ve bu durumda ürün üzerinde çöküntüler yaratıp ürün kalitesini düşürebilir. Bunların önüne geçmek, silindirik delikleri ürün yan duvarlarından biraz daha uzak konumlara yerleştirilebilir ve gerekirse ürün yan duvarı ile silindirik delikler arasını bağlayan federler kullanılabilir. (Şekil 1.11)

Silindirik delikleri plastik ürünün ömrü boyunca farklı yüklere maruz kalırlar. Bu nedenle, silindirik deliklerini yapısal olarak güçlendirmek için bağlantı federleri veya etrafına destek federleri eklenmelidir. Plastik enjeksiyon ile kalıplama da karşılaşılacak hataların önüne geçmek için silindirik delik tasarımı kılavuzuna uyulması gereklidir. (Şekil 1.12) [19]



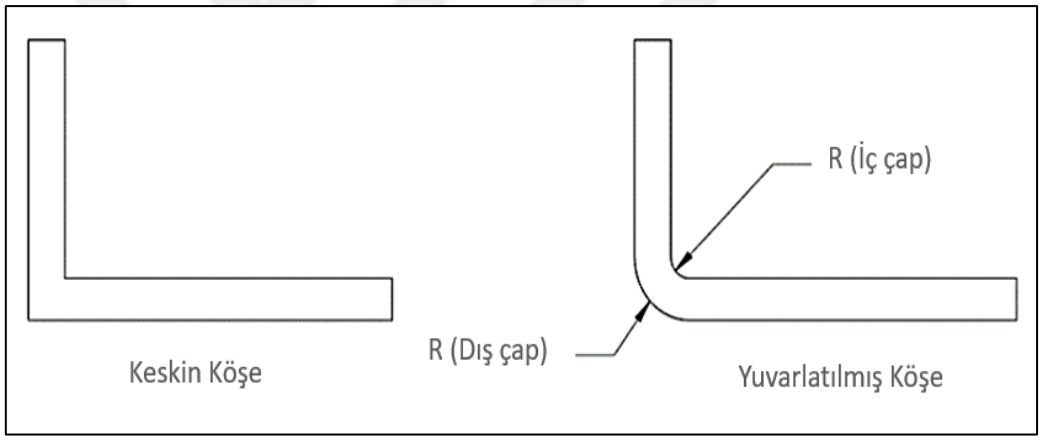
Şekil 1.11. Silindirik deliklerin ürün duvarı ile bağlantısı [20]



Şekil 1.12. Ürün federleri ve silindirik delikler için tasarım kılavuzu [19]

1.3.4. Plastik ürünlerdeki keskin köşeler

Plastik ürünlerdeki keskin köşeler, ürün üzerinde strese sebep olabilir, malzeme akışını sınırlayabilir ve hatalı ürün oluşmasına yol açabilecek şekilde ürünün mukavemetini düşürebilir. Keskin köşeler plastik ürün tasarımında önerilmez. Onun yerine yuvarlatılmış köşelerle tasarım iyileştirilir ve plastik enjeksiyon kalıplamada oluşabilecek ürün hataların önüne geçilmiş olunur. Yuvarlatılmış köşenin iç yarıçapı, nominal ürün cidar kalınlığının 0,5 katından fazla olması önerilir. Ayrıca yuvarlatılmış köşenin dış yarıçapı, iç yarıçap ile ürün cidar kalınlığın toplamı kadardır. Keskin köşelerde stres yığılma faktörü köşe yarıçapına ve nominal ürün cidar kalınlığına bağlıdır. Yarıçap ve kalınlık oranı 0,5'ten büyükse, stres yığılma faktörünün değeri yüksektir. Bu nedenle, R / T değerlerinin 0,5'ten fazla tutulması önerilir. (Şekil 1.13) [18]

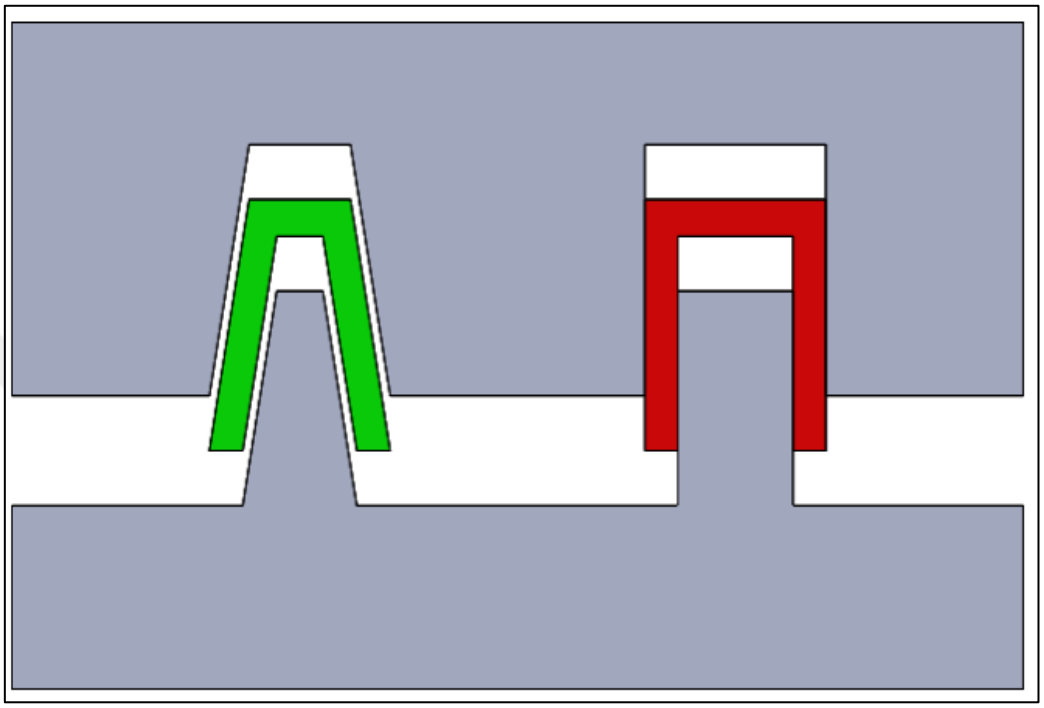


Şekil 1.13. Plastik ürünlerdeki keskin köşe ve yuvarlatılmış köşe [18]

1.3.5. Plastik ürünlerdeki çıkma açıları

Çıkma açıları plastiğin kalıptan rahatça çıkarılmasını sağlar. Üründe çıkma açıları olmadan, ürünü enjeksiyon kalıbı içerisinden çıkarma sırasında sürtünmeye bağlı olarak önemli bir direnç sunacaktır. Çıkma açıları ürünün içinde ve dışında bulunmalıdır. (Şekil 1.14) Tasarlanacak ürün ne kadar derin olursa, çıkma açısı da o kadar büyük olur. Çıkma açısının uygulanacağı tüm yüzeylerde çıkma açısı, kalıp çıkma yönüne paralel olan yüzeyden uygulanmalıdır. Genel olarak çıkma açısı yarım derece olarak verilebilir ama bazı bölgelerde yeterli gelmeyebilir ve plastik ürün kalıp içerisinde tutma yapabilir.

Böyle durumlarda tasarım sınırlamalarının izin verdiği kadarıyla plastik ürünün kalıptan çıkmasını kolaylaştırmak için bu değer bir derece olarak da yapılabilir. Yeterli çıkma açısının olmaması durumunda plastik ürünün yan duvarlarında çiziklere veya büyük ejektör pimi izlerine neden olabilir. [21]



Şekil 1.14. Plastiklerde çıkma açısı olan ve olmayan ürün modelleri [21]

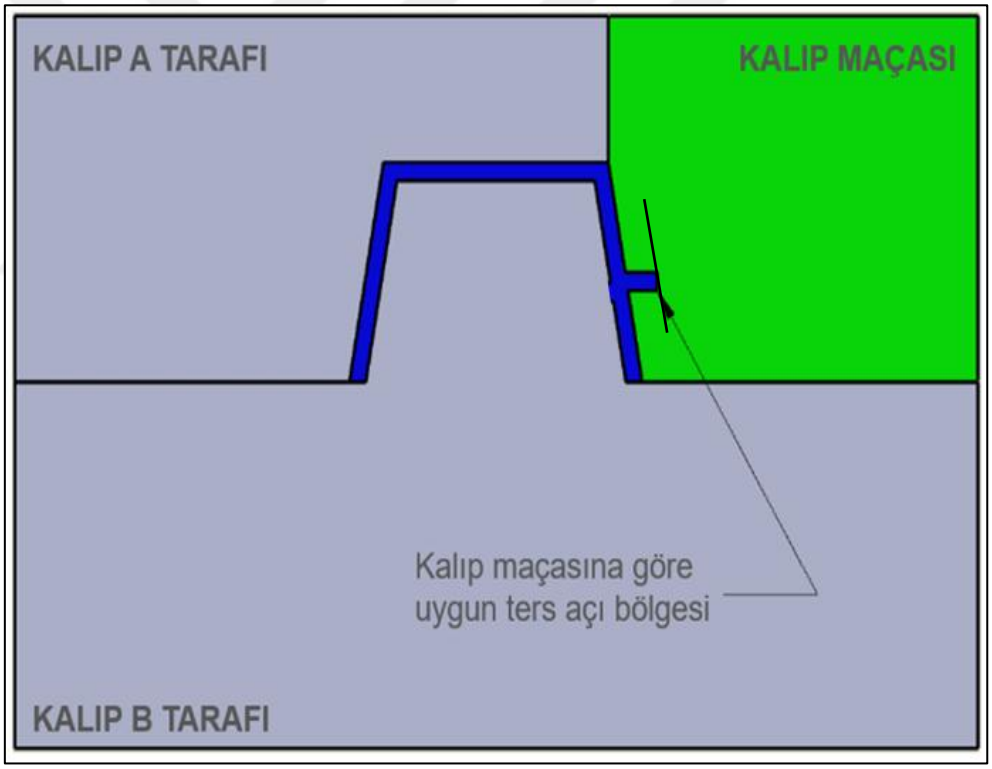
Çıkma açısının değerini etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır. [18]

- Üründeki yapının derinliği
- Üründeki yapının boyutu
- Ürün üzerindeki yapının yüzey deseni
- Plastik ürün hammaddesi
- Ürünün geometrisi
- Kalıp itici sistemi

Bazı plastik ürünler kullanıcı tarafından direkt temas halinde olabilirler. Bu plastik ürünlerin yüzeyinde desenler eklenilmesi istenebilir. Ürün üzerinde yüzey deseni istendiğin zaman ürünün kalıptan çıkma açı değeri de değişir. Plastik ürünün kalıptan rahat çıkması için, her 0,025mm derinliğe sahip desenlerde minimum "1,5° + ürün çıkma açı değeri" olmalıdır.

1.3.6. Plastik ürünlerdeki ters açılı bölgeler

Plastik ürünlerin tasarımı yapılırken, bazı yapılar kalıbın her 2 yarısından çıkarılması mümkün olmaya biliyor. Ürün üzerinde kalıptan çıkarılamayan yapıların olduğu bölgelere ters açılır bölgeler olarak isimlendirilir. Bunlar ürün tasarımı üzerinde herhangi bir yerde görülebilir ve bazı ters açılı bölgeler üründe kaçınılmaz olabilirler. Plastik ürünün kalıp yönüne göre çıkması uygun olmayan bu açılar, kalıp içerisinde kullanılacak bir hareketli parça (kalıp maçası) ile ürün kalıptan çıkartılabilir. (Şekil 1.15) Ancak unutulmamalıdır ki kalıp üretiminde, kalıp içerisinde ne kadar hareketli parçalar kullanılırsa buda kalıp maliyetini ciddi derecede etkileyecektir. Bu bölgelerdeki ürün tasarımı en optimum şekilde yapılmalı ve kalıp içerisindeki hareketli parça sayısı minimum tutulmalıdır. [21]



Şekil 1.15. Plastik ürünlerde ters açı bölgesi [21]

2. MALZEME VE METOD

2.1. Kullanılan Malzeme

Yapılan çalışma kapsamında, yoğunluğu 1370 kg/m^3 olan DuPont firmasından temin edilen %30 cam elyaf takviyeli poliamid66 (PA66-GF30) polimeri Zytel-70G30HSLR BK099 ticari ürünü kullanılmıştır. [22]

Bu polimer malzeme genel kullanım yerleri aşağıda belirtilmiştir.

- Otomotiv sektöründe-Motor kapaklarında / muhafazalarında
- Yağ karterlerinde
- Silindir kapağı contalarında
- Kablo izolasyonunda
- Elektrikli ve elektronikteki plastiklerde
- 3D Baskı için yüksek performanslı malzemelerde
- Spor malzemelerinde ki plastiklerde
- Termoplastik borularda
- Elastomerik hortumlarda
- Trafo İzolasyonunda

Sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- Elektriğe karşı direnç
- Yalıtım
- Isı dayanımı
- Kimyasal direnç
- Mekanik Dayanıklılığı
- Sertlik
- Yorulmaya karşı direnç
- Kolay işlenebilme

Tablo 2.1. PA66-GF30'un İşlenebilme ve Fiziksel Karakteristiği [22]

İşlenebilme/Fiziksel Karakteristiği	Değeri	Birimi	Test Standardı
ISO Verileri			
Paralel yöndeki kalıp çekmesi	0.3 / *	%	ISO 294-4, 2577
Normal yöndeki kalıp çekmesi	1.0 / *	%	ISO 294-4, 2577
Eriyik özgül ısı kapasitesi	2290	J/ (kg K)	-
Parça çıkış sıcaklığı	210	°C	-

Tablo 2.2. PA66-GF30'un Mekanik Özellikleri [22]

Mekanik Özellikleri	Değeri	Birimi	Test Standardı
ISO Verileri			
Gerilme Katsayısı	10000 / 7000	MPa	ISO 527
Kopma Sırasındaki Gerilme	200 / 130	MPa	ISO 527
Kopma Sırasındaki Deformasyon	3 / 5	%	ISO 527
Charpy Darbe Dayanımı, +23°C	70 / 80	kJ/m²	ISO 179/1eU
Charpy Darbe Dayanımı, -30°C	70 / 70	kJ/m²	ISO 179/1eU
Charpy Çentikli Darbe Dayanımı, +23°C	12 / 14	kJ/m²	ISO 179/1eA
Charpy Çentikli Darbe Dayanımı, -30°C	9 / 9	kJ/m²	ISO 179/1eA
ASTM Verileri			
Gerilme Dayanımı	180/-	MPa	ASTM D 638
Kopma Sırasındaki Uzama	3/-	%	ASTM D 638
Eğilme Katsayısı	8275/-	MPa	ASTM D 790
Izod Çentikli Darbe Dayanımı, 1/8 in	110/-	J/m	ASTM D 256

Tablo 2.3. PA66-GF30'un Elektriksel ve Diğer Özellikleri [22]

Elektriksel Özellikler	Değeri	Birimi	Test Standardı
ISO Verileri			
Hacim Direnci	>1E13 / 1E9	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Elektrik Dayanımı	38/32	kV/mm	IEC 60243-1
Karşılaştırmalı izleme endeksi	400 /-	-	IEC 60112
Diğer Özellikler	**Değeri**	**Birimi**	**Test Standardı**
Su Tutması	6 / *	%	ISO 62
Nem Tutması	1.9 / *	%	ISO 62
Yoğunluk	1370/-	Kg/m³	ISO 1183
Yoğunluk	1370	Kg/m³	ASTM D 792

Tablo 2.4. PA66-GF30'un Isıl Özellikleri [22]

Isıl Özellikleri	Değeri	Birimi	Test Standardı
ISO Verileri			
Erime Sıcaklığı, 10°C/dk	262 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Cam Geçiş Sıcaklığı, 10°C/dk	75 / *	°C	ISO 11357-1/-2
Yük altındaki sapma sıcaklığı, 1.80 MPa	253 / *	°C	ISO 75-1/-2
Yük altındaki sapma sıcaklığı, 0.45 MPa	261 / *	°C	ISO 75-1/-2
Paralel ısıl genleşme katsayısı	22 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Normal ısıl genleşme katsayısı	81 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
1.5mm kalınlıktaki yanma davranışı	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Test edilmiş kalınlık	1.5 / *	Mm	-
Sarı Kart Bulundurma	Evet / *	-	-
1mm kalınlıktaki yanma hızı, FMVSS	24	Mm/dk	ISO 3795 (FMVSS 302)
Oksijen endeksi	24 / *	%	ISO 4589-1/-2
ASTM Verileri			
UL 94 Alev Derecesi	HB	-	UL 94
Test edilmiş kalınlık	1,5	Mm	-
DTUL @ 264 psi	248	°C	ASTM D 648
Erime Sıcaklığı	263	°C	ASTM D 3418

2.2. Simülasyon Programı (Moldflow)

Analitik olarak çözülmesi zor olan karmaşık problemler uygun şekilde modellenebildikleri takdirde, sayısal yöntemler kullanılarak çözülebilirken, bilgisayar desteği problemin çözümünü son derece kolaylaştırır. Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik problemlerinin sayısal çözümünde oldukça etkili ve esnek bir yaklaşımdır. Sonlu elemanlar yöntemi problemin modelinin oluşturulması, çözüm için kullanılacak mekanik ilkelerin belirlenmesi, modele ait malzeme parametrelerinin atanması, modelin sonlu elemanlara bölünmesi, sınır şartlarının ve etkileşimlerin tanımlanması, bu çalışma için proses parametreleri ve aşamalarının tanımlanması gibi farklı adımlardan oluşur. Optimum eleman sayısının belirlenmesi sonlu eleman çözümünde son derece önemlidir. Bu çalışma kapsamında, bilgisayar destekli analiz çalışmalarında AutoDesk firmasına ait Moldflow Mold Snergy 2019 programı kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan modeller Catia V5 katı modelleme programı ile hazırlandıktan sonra Moldflow yardımı ile enjeksiyon proses modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Programın kütüphanesinde plastik hammadde üreticilerinin piyasaya sunmakta oldukları ürünlerinin teknik verileri kullanılmıştır. Analiz öncesinde örnek model en küçük kontrol hacimlerine bölünerek, sistemi temsil edecek şekilde en küçük elemanlara bölünmüştür. Oluşturulan model de ortalama 2.5 mm boyutuna sahip üç boyutlu elemanlar kullanılmış ve elde edilen modelde düğüm noktası sayısı 57 877, eleman sayısı ise 126 286 olarak belirlenmiştir.

2.3. Bilgisayar Destekli Tasarım Programı (CATIA)

Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Interaktif Kullanım için Fransız Dassault Systèmes şirketi tarafından yapılmış tasarım ve analiz yapabilen bir yazılımdır. Başta otomotiv sektörü olmak üzere, uçak sektörü, raylı sistemler sektörü gibi birçok sektörde birçok ihtiyaca cevap olabilecek bir yazılım programıdır.

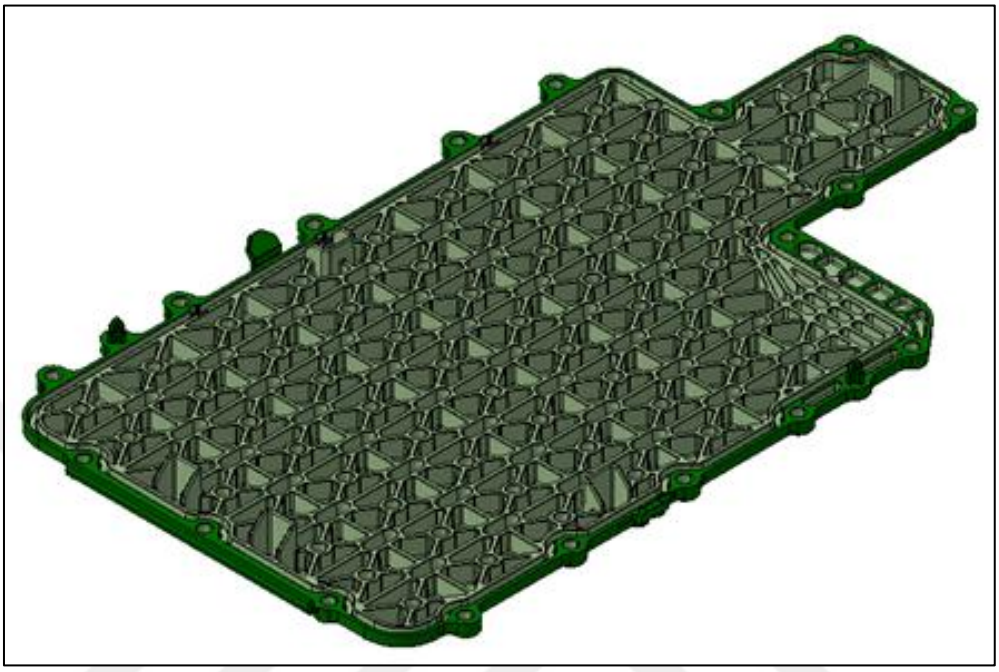
CATIA bir ürünün üretiminden önce ve sonrasında veyahut üretimi esnasında ürünün sanal ortamda incelenebilmesinden dolayı her sektörde kullanılabilme olanağı sunmaktadır. Çalışma süresince de CATIA üzerinde birden fazla tasarım çalışmaları yapıldı.

2.4. Yapılan Tasarım Çalışmaları

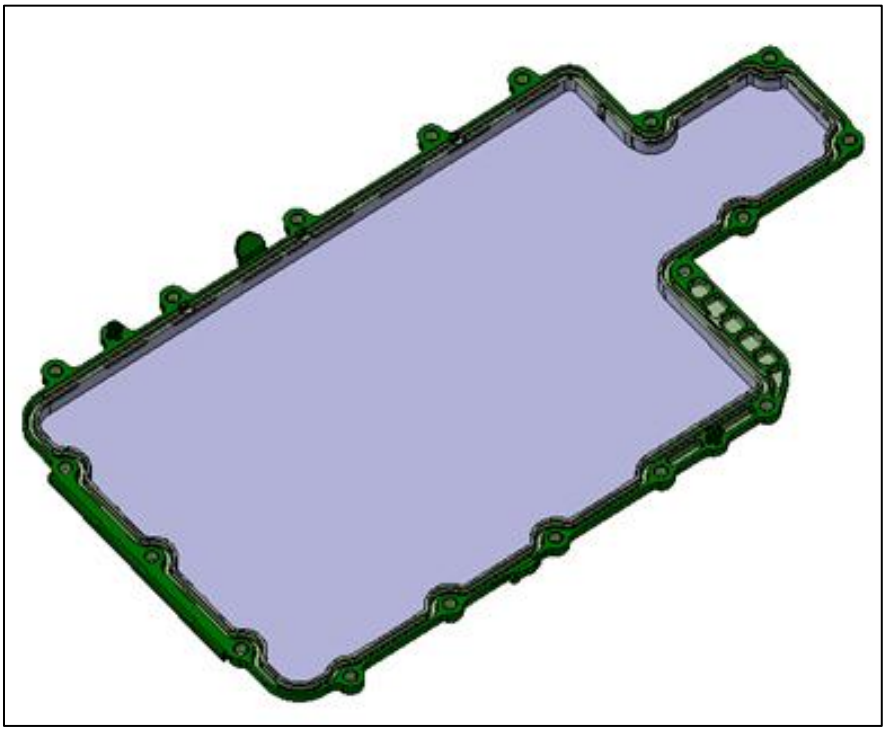
Bu tasarım çalışmalarında bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak farklı tasarım çalışmaları yapılmış ve her bir tasarımdan sonra akış analizleri bilgisayar destekli mühendislik programında yapılarak elde edilen sonuçlara göre tasarım üzerinde revizyonlar yapılmıştır.

İlk olarak Tasarım 1 modeli olarak hedeflenen plastik ürün tasarımı CATIA programında bulunan katı modelleme ile yüzey modelleme modülleriyle tasarlanmıştır. Bu çalışmanın başlangıç aşamasında araç kullanım alanına yönelik üretilmesi hedeflenen plastik ürünün 555mm x 320mm x 36mm boyutlarında, ürün cidar kalınlığı 2,5mm olarak belirlenmiştir. Hedeflenen plastik üründe daha fazla mukavemet sağlamak için ürün modeli içerisine feder ağ yapısı tasarlanmıştır. Şekil 2.1 ‘de ilk hedeflenen Tasarım 1’e ait katı model görüntüsü yer almaktadır. Tasarım 1 modeline göre analizler yapılmıştır.

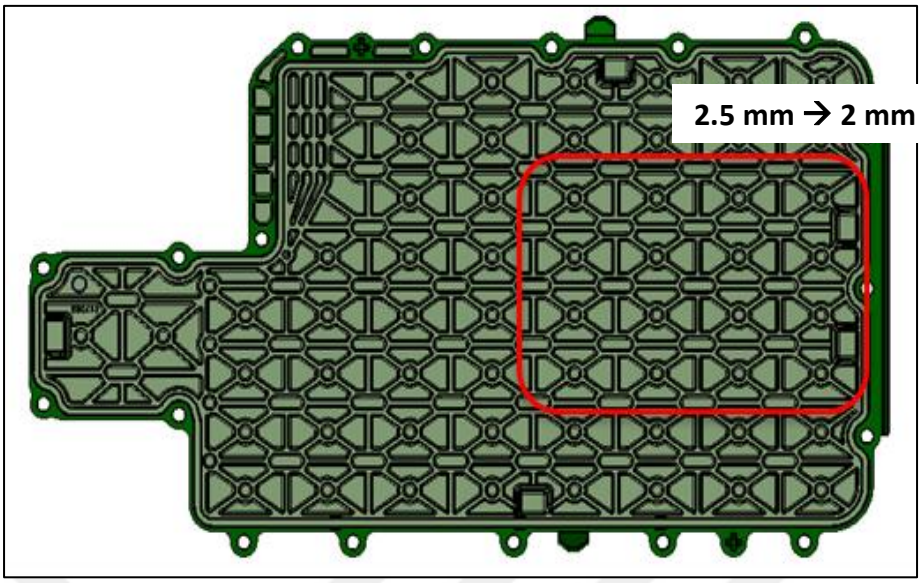
Elde edilen analiz sonuçlarına göre plastik ürün tasarımında farklı revizyonlar uygulanarak Tasarım 2, Tasarım 3, ve Tasarım 4 (Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4) modelleri elde edilmiştir. Bu modellerdeki değişimler analiz edilip incelenmiştir.



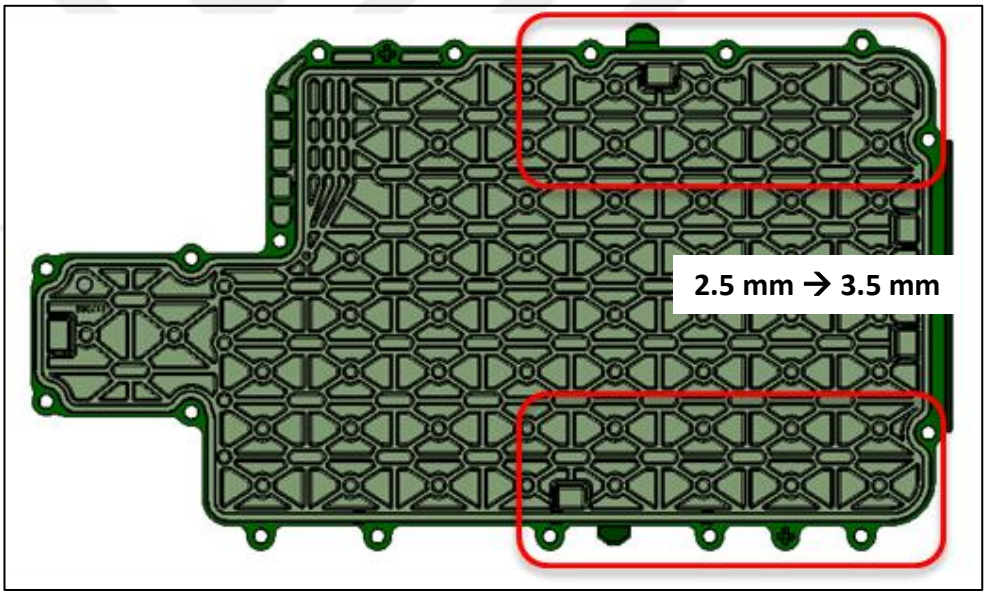
Şekil 2.1. TASARIM 1-Hedeflenen Ürün Tasarımı



Şekil 2.2. TASARIM 2-Federsiz Ürün Tasarımı



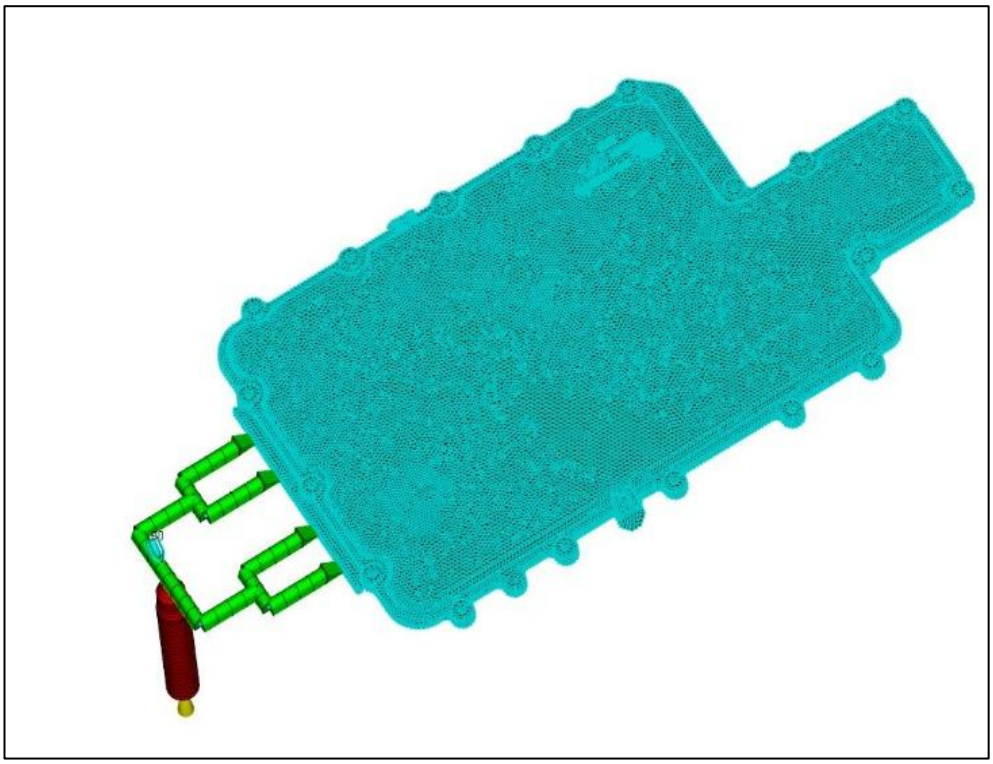
Şekil 2.3. TASARIM 3-Belirlenmiş bölgede ürün cidar kalınlığı azaltılmış ürün tasarımı



Şekil 2.4. TASARIM 4-Belirlenmiş bölgede ürün cidar kalınlığı artırılmış ürün tasarımı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

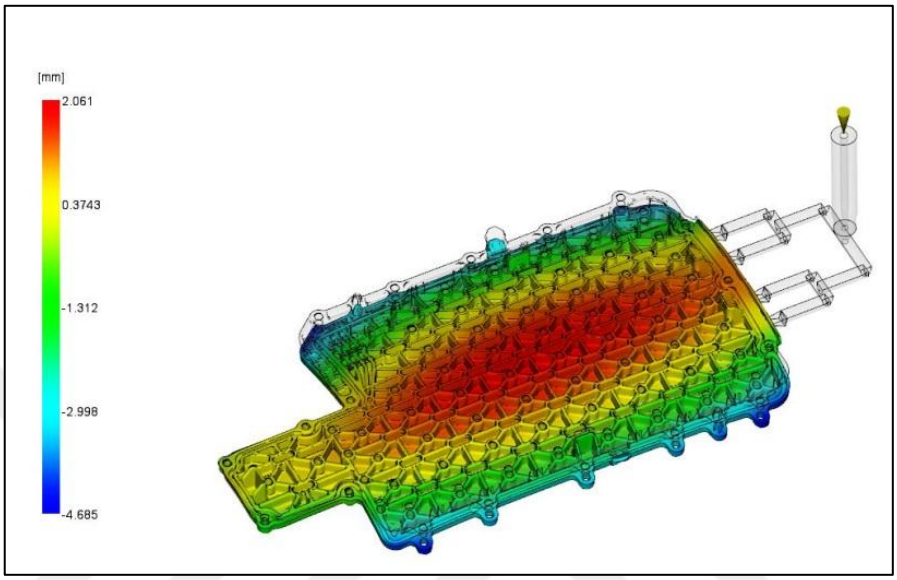
Yapılan tasarım revizyonlarından sonra tasarım modelleri akış analizi için hazır hale gelmiştir. Akış analizinin bize sağladığı en büyük avantaj, plastik ürünün gerçek hayatta üretilmeden aynı üretim şartlarını uygulayarak program üzerinde üretilmesini ve plastik ürünün incelenmesini sağlamaktadır. Akış analizine başlamadan önce farklı bir yazılım programında mesh işlemi yapılarak akış analizi için uygun hale getirilmiştir. Bu işlemden sonra sınır şartları yazılım içerisinde belirlenerek analizler parça üzerinde akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi hedeflenen plastik ürünün mesh modellemesi gösterilmektedir. Mesh modellemesi yapıldıktan sonra plastik ürün üzerinde enjeksiyon dolum noktaları tanımlanır. Enjeksiyon kalıbı henüz imal edilmemiş plastik ürünlerde birçok farklı noktadan plastik enjeksiyon dolumu gerçekleştirilebilir ve buna göre de farklı analiz sonuçları elde edile bilinir. Hedeflenen plastik ürün için en uygun enjeksiyon dolum noktaları da aşağıdaki görselde belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Hedeflenen ürünün mesh modellemesi

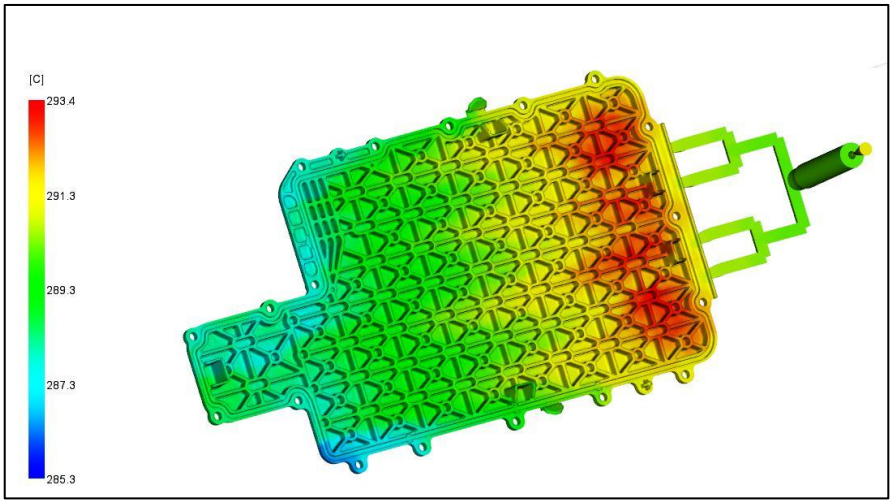
3.1. Tasarım 1 Modelinin Analizi

Aşağıda yer alan analiz sonuçlarında, Tasarım 1 modelinin akış analizine göre elde edilen çarpılma analizi (Şekil3.2), sıcaklık dağılımı (Şekil 3.3) ve basınç dağılımları (Şekil 3.4) incelenmiştir.



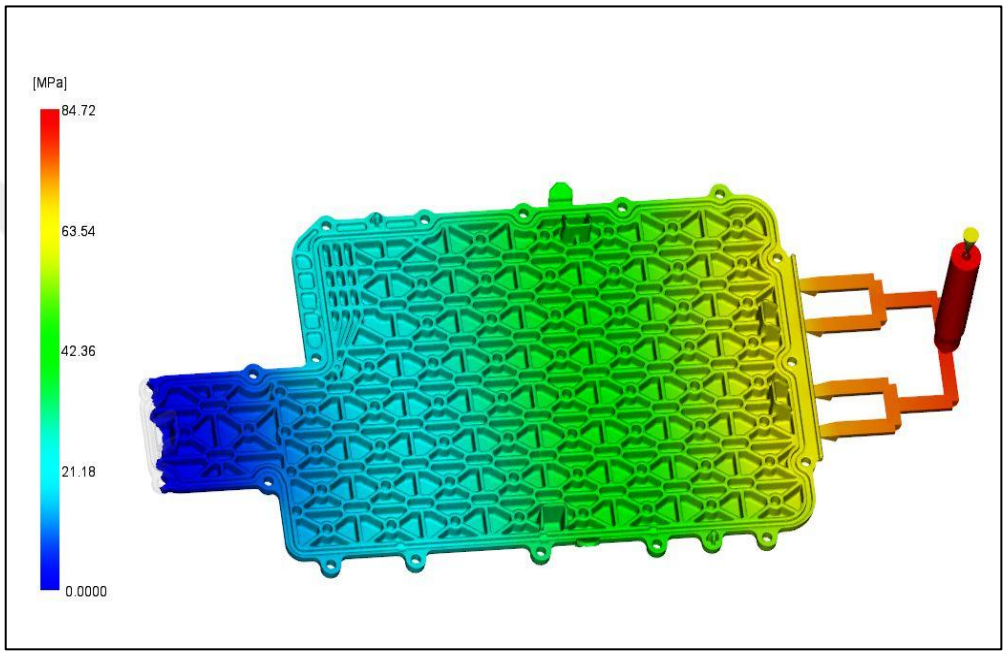
Şekil 3.2. Tasarım 1 modelinin çarpılma analizi sonucu

Tasarım 1modeli için yapılan çarpılma analizine göre plastik ürün üzerinde, Z yönünde görülen toplam çarpılma değerinin yaklaşık olarak 6,75 mm olduğu gözlemlenmiştir. Cam elyaf katkılı hammaddenin akış yönündeki çarpılmanın daha az olduğu gözlemlenirken, akış yönüne dik ve parça uç kesimlerinde çarpılmanın daha az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Tasarım 1 modeline ait sıcaklık dağılım sonucu

Tasarım 1 modeli için sıcaklık dağılımı incelendiğinde maksimum sıcaklık değerinin 293,4 ^{o}C olduğu gözlemlenmiş olup, plastik ürün üzerindeki toplam sıcaklık farkının yaklaşık olarak 8 ^{o}C elde edilmiştir. Çarpılmanın daha fazla görüldüğü uç kesimlerde ise sıcaklık farkının en fazla olduğu bölgeler olduğu analiz sonuçlarından belirlenmiştir. Sıcaklık farkından göz önünde bulundurularak mavi bölgelerde daha önce soğuma gerçekleşmesinden dolayı plastik üründe mavi bölgelerde daha çarpılma gözlemlenmiştir.

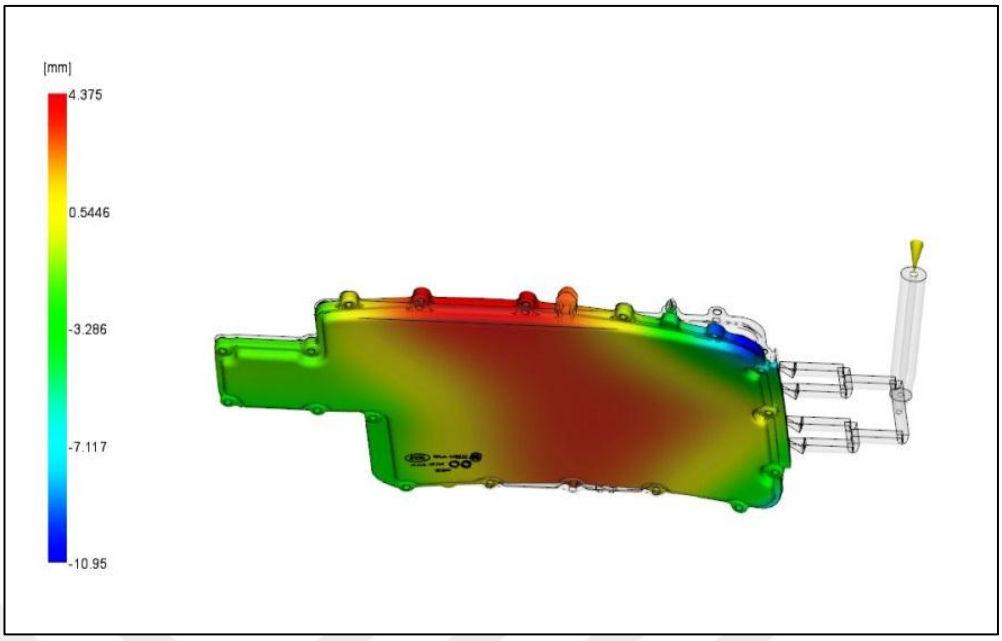


Şekil 3.4. Tasarım 1 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu

Tasarım 1 modeli için yapılan analize göre, plastik ürün üzerinde oluşan toplan basınç farkının yaklaşık olarak 85 MPa olduğu görülürken, plastik malzemenin akış yönüne bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Çarpılmanın fazla olduğu uç bölgelerde ise basınç dağılımı homojen olduğu belirlenmiştir.

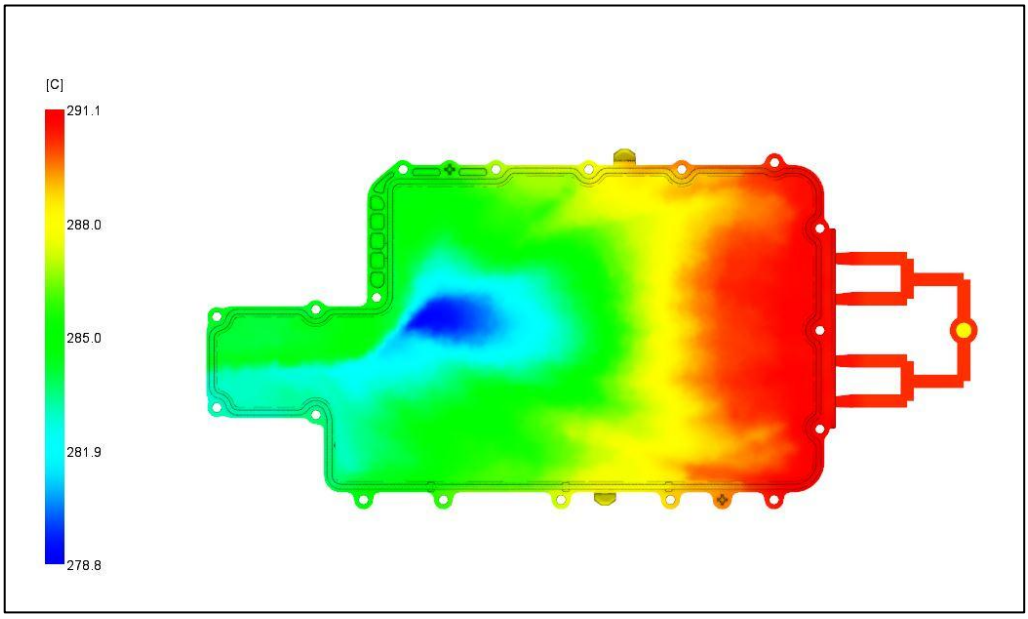
3.2. Tasarım 2 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması

Tasarım 2 modelinde, Tasarım 1 modelinden farklı olarak plastik ürün üzerinde bulunan feder ağ yapısı olmadan yani federsiz plastik ürün tasarımı gerçekleştirildi Tasarım 2 modeli için yapılan akış analizlerinden elde edilen çarpılma analizi sonucu (Şekil 3.5), sıcaklık dağılımı sonucu (Şekil 3.6) ve basınç dağılımı sonucu (Şekil 3.7) aşağıda yer almaktadır.



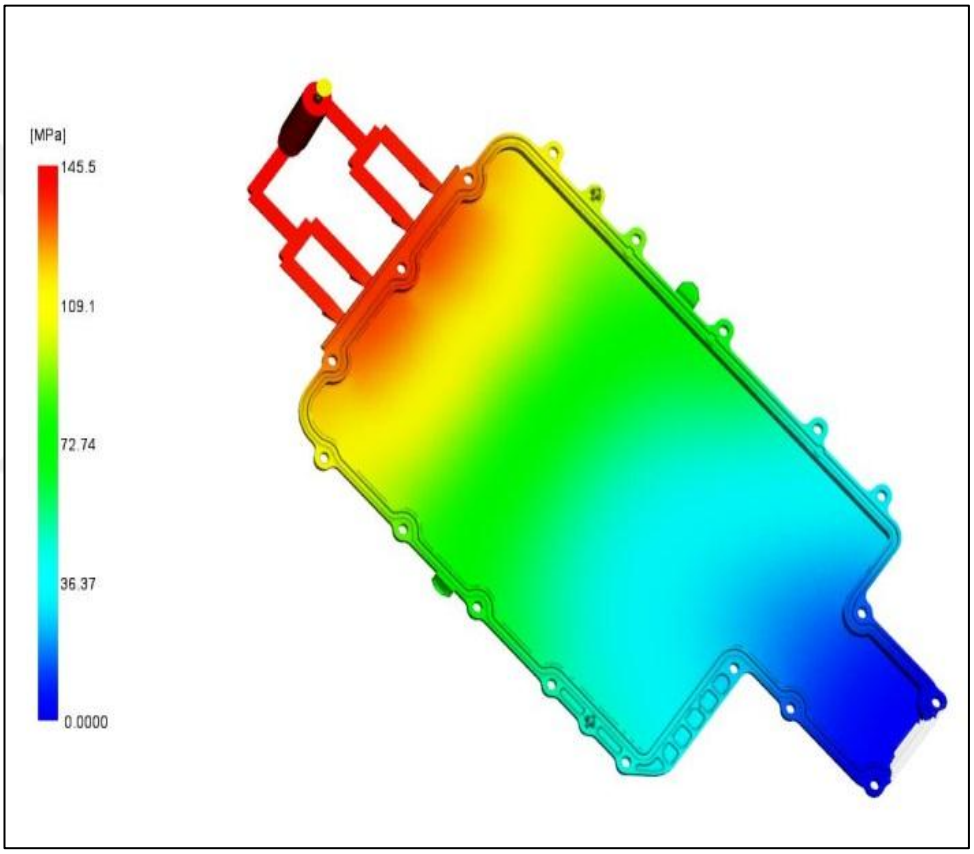
Şekil 3.5. Tasarım 2 modeline ait çarpılma analizi sonucu

Tasarım 2 modeli için yapılan çarpılma analizine göre plastik ürün üzerinde Z yönünde görülen toplam çarpılma değerinin yaklaşık olarak 15,33 mm gözlemlenmekte olup, polimer akışın başlangıç bölgesindeki yüksek basınçtan dolayı plastik ürünün kenar uç kısımlarında ve orta bölgesinde çarpılmanın daha fazla olduğu belirlenmiştir. Tasarım 1 modeli ile karşılaştırılınca, feder ağ yapısı olmadan plastik ürün yaklaşık %127,11 daha kötü durumda bir çarpılma analizi sonucuna sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.6. Tasarım 2 modeline ait sıcaklık dağılımı sonucu

Sıcaklık dağılımı incelendiğinde maksimum sıcaklık değerinin 291,1 ^{o}C olduğu gözlemlenmiş olup, plastik ürün üzerindeki toplam sıcaklık farkının yaklaşık olarak 12,3 ^{o}C olduğu gözlenmiştir. Şekil 3.6'daki analiz sonucunda da görüldüğü gibi sıcaklık dağılımının dengesiz olduğu gözlemlenirken, plastik ürün üzerindeki ani sıcaklık değişikleri plastik üründe dengesiz bir çarpılmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Tasarım1 modeli ile kıyaslandığında sıcaklık farkında yaklaşık %53,75 artış olduğu hesaplanmıştır. Buradaki artış plastik ürün üzerinde dengeli bir şekilde olmadığı için homojen olmayan bir sıcaklık dağılım sonucu elde edilmiştir.

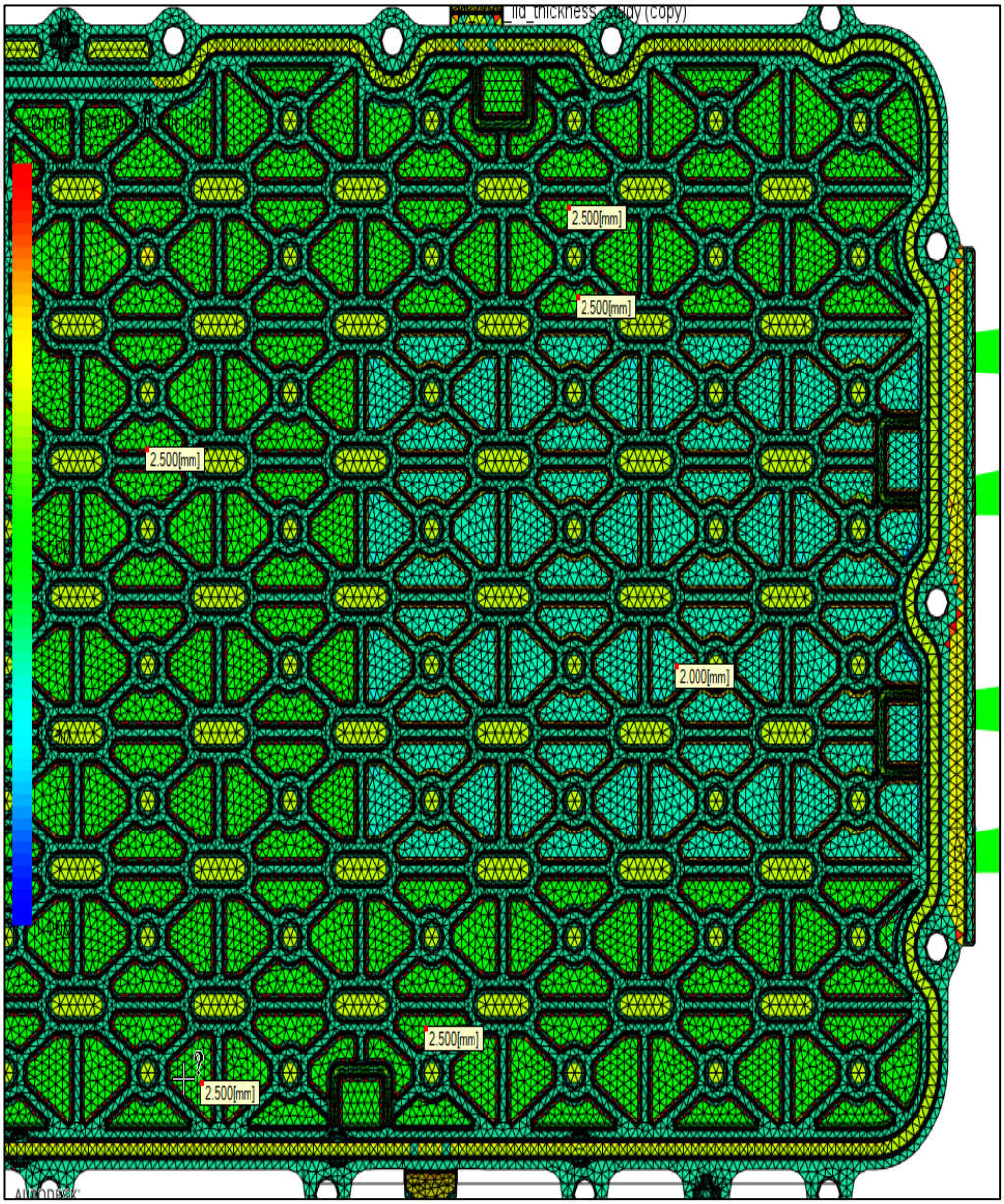


Şekil 3.7. Tasarım 2 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu

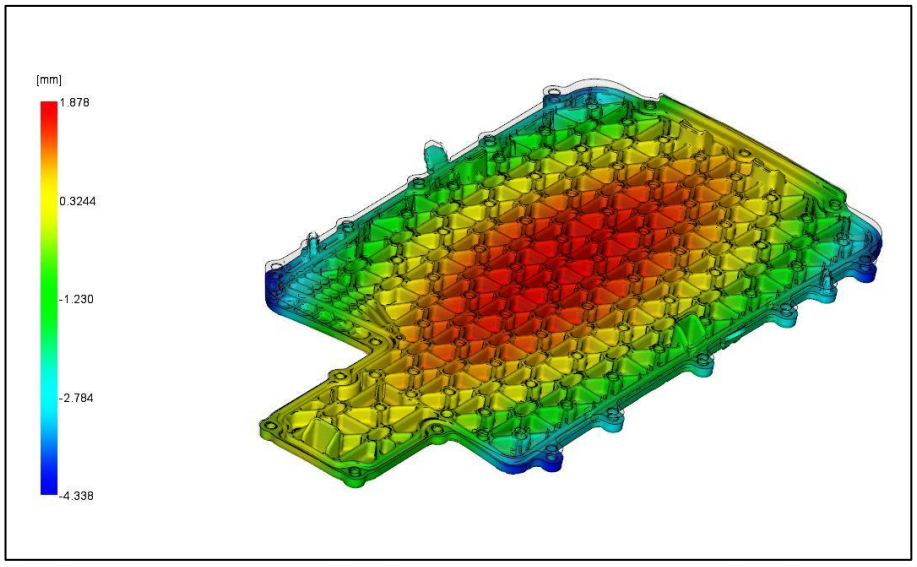
Tasarım 2 modeline ait yapılan analize göre, plastik ürün üzerinde oluşan toplam basınç farkının yaklaşık olarak 145,5 MPa olduğu görülürken, plastik malzemenin akış yönüne bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Tasarım 1 modeli ile karşılaştırıldığında plastik ürün üzerindeki basınç dağılımının dengeli olmadığı ve farklı bölgelerdeki yüksek basınçtan dolayı Z yönündeki çarpılmanın her iki yönde dengesiz bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir. Basınç farkında yaklaşık olarak %71,1 artış olduğu hesaplanmıştır.

3.3 Tasarım 3 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması

Tasarım 3 modelinde tasarım 1'den elde edilen akış analizine göre belirlenmiş bölgelerde ürün cidar kalınlığını 2,5mm'den 2mm'ye getirilmiştir. Tasarım 3 modeli için yapılan tasarım çalışmasının mesh modellemesi aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 3.8). Ürün cidar kalınlığının azaltılmasının plastik ürün üzerindeki çarpılma, sıcaklık ve basınç dağılım sonuçları incelenmiş olup, tasarım 1 modeline göre kıyaslanması yapılmıştır. (Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11)

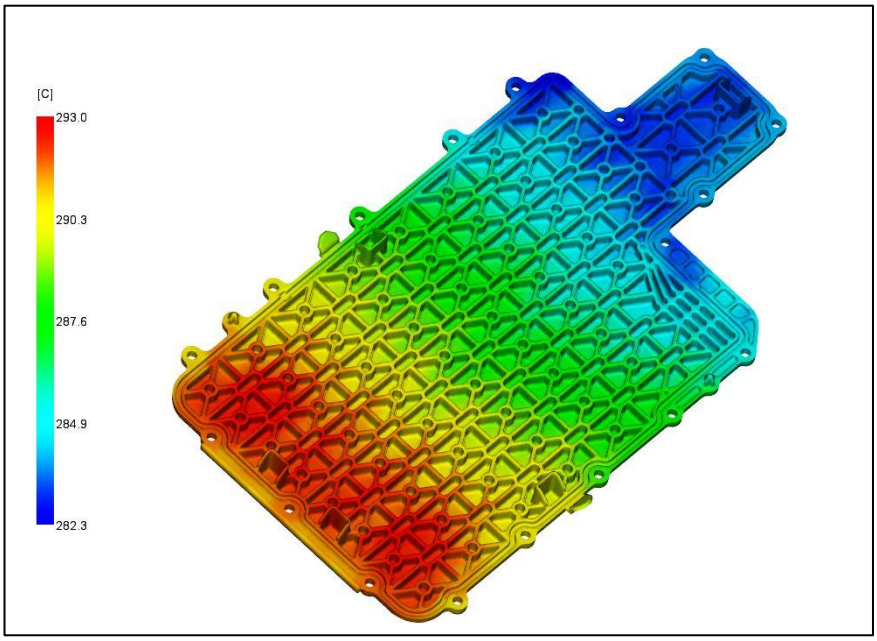


Şekil 3.8. Tasarım 3 modelinin mesh modellemesi



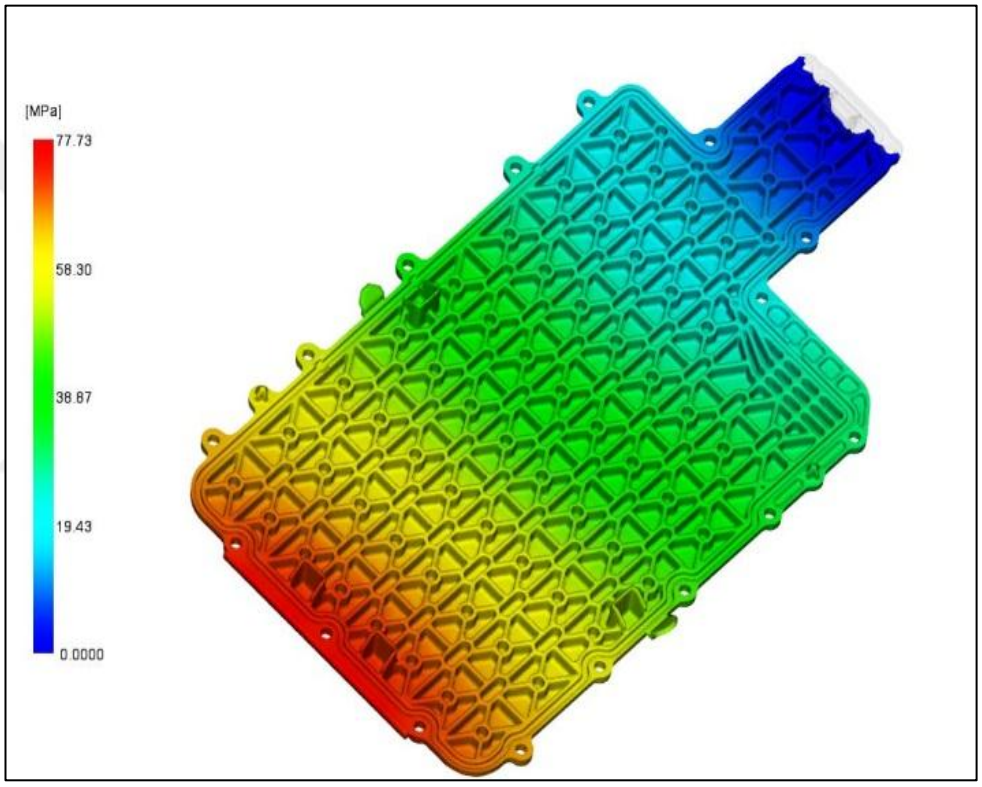
Şekil 3.9. Tasarım 3 modeline ait çarpılma analizi sonucu

Şekil 3.9'de yer alan Tasarım 3 modeli için yapılmış çarpılma analizine göre, plastik ürün üzerinde Z yönünde görülen toplam çarpılma değerinin yaklaşık olarak 6,21mm olduğu gözlemlenmiştir. Buradaki iyileşmenin sebebi olarak polimer akışının başlangıç bölgesindeki daha düşük basınç dağılımından dolayı plastik ürünün orta bölgesinde ki çarpılma değerini de azalttığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucuna göre; plastik ürün üzerindeki çarpılma değeri Tasarım 1 modeli ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %8 iyileşme sağlandığı gözlemlenmiş olup, plastik ürünün uç bölgelerinde meydana gelen çarpılma değerinin daha homojen olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Tasarım 3 modeline ait sıcaklık dağılımı sonucu

Şekil 3.10’ da yer alan sıcaklık dağılım sonucu incelendiğinde, maksimum sıcaklık değerinin 293 ^{o}C olduğu gözlemlenmiş olup, parça üzerindeki toplam sıcaklık farkının yaklaşık olarak 10,7 ^{o}C olduğu sonucu elde edilmiştir. Tasarım 1 modeli ile karşılaştırılınca maksimum sıcaklığın neredeyse aynı olduğu gözlenirken, minimum sıcaklıkta daha da düştüğü görülmüştür. Plastik üründeki polimer akışın daha ince cidarlı bölgeden geçerken ısı kaybettiğini ve sıcaklığın uç bölgeye doğru ilerlerken giderek daha da azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuca bakıldığında sıcaklık farkında da yaklaşık olarak %33,75 artış gözlemlenmiştir.

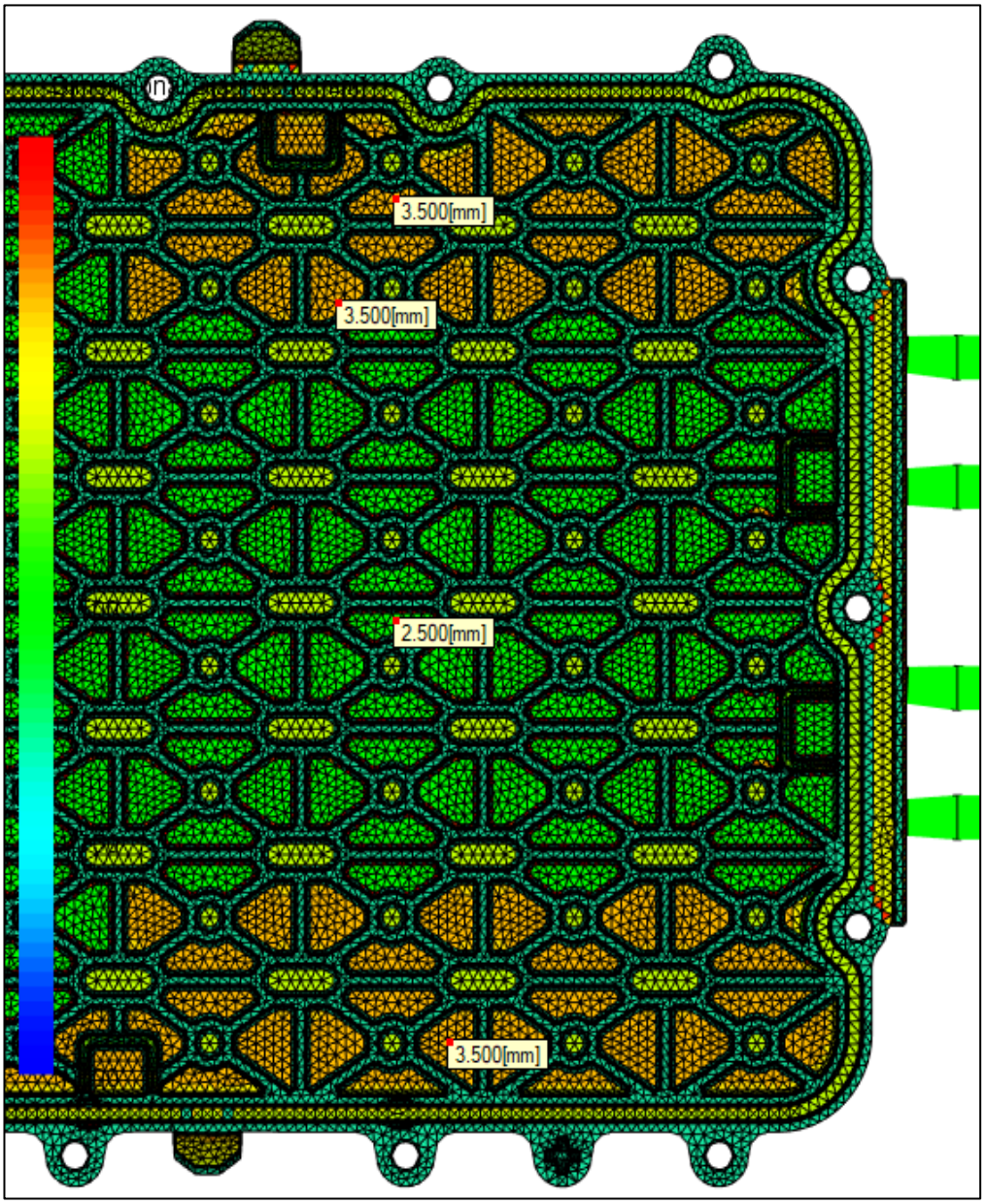


Şekil 3.11. Tasarım 3 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu

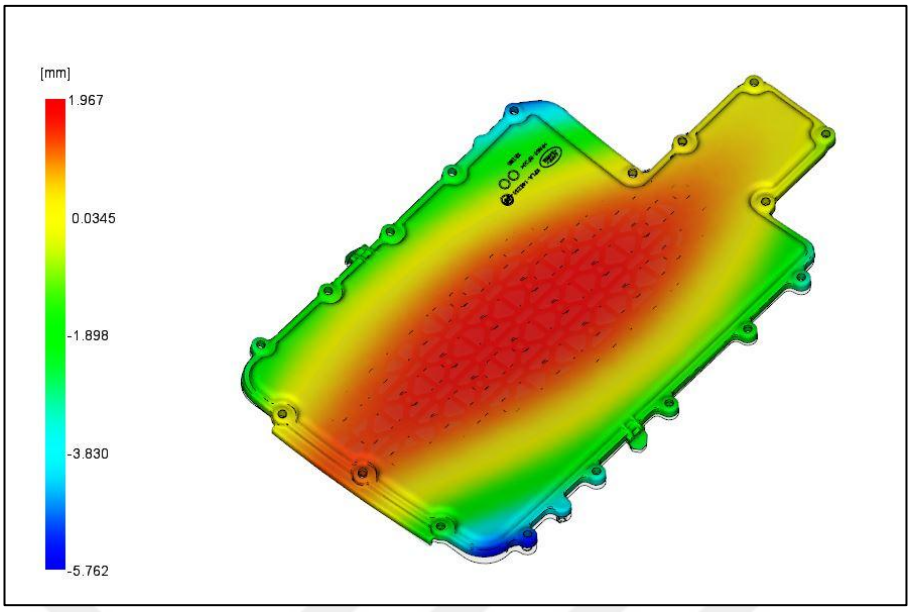
Tasarım 3 modeline ait yapılan analize göre, plastik ürün üzerinde oluşan toplan basınç farkının yaklaşık olarak 77,7 MPa olduğu ve malzemenin akış yönüne bağlı olarak basıncın azaldığı görülmektedir. Sıcaklık dağılımının Tasarım 1 modeline göre nispeten daha kötü olduğu gözlemlenmekte iken, plastik üründeki basınç dağılımının daha homojen olduğu belirlenmiştir. Basınç farkının Tasarım 1 modeline göre %8,5 düştüğü hesaplanmıştır. Sonuç olarak çarpılma analiz sonuçlarına bakıldığında basınç dağılımının, boyutsal değişimde daha fazla etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır.

3.4 Tasarım 4 Modelinin Analizi Ve Tasarım 1 Modeli İle Kıyaslanması

Tasarım 4 modelinde yapılan akış analizine göre plastik üründe, ürün cidar kalınlığı belirlenmiş bölgelerde 2,5mm'den 3,5 mm'ye kadar çıkartılmıştır. Tasarım 4 modeli için yapılan tasarım çalışmasının mesh modellemesi aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 3.12) Ürün cidar kalınlığının artırılmasının plastik ürün üzerindeki çarpılma, sıcaklık ve basınç dağılım sonuçları incelenmiş olup, tasarım 1 modeline göre kıyaslanması yapılmıştır. (Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15)

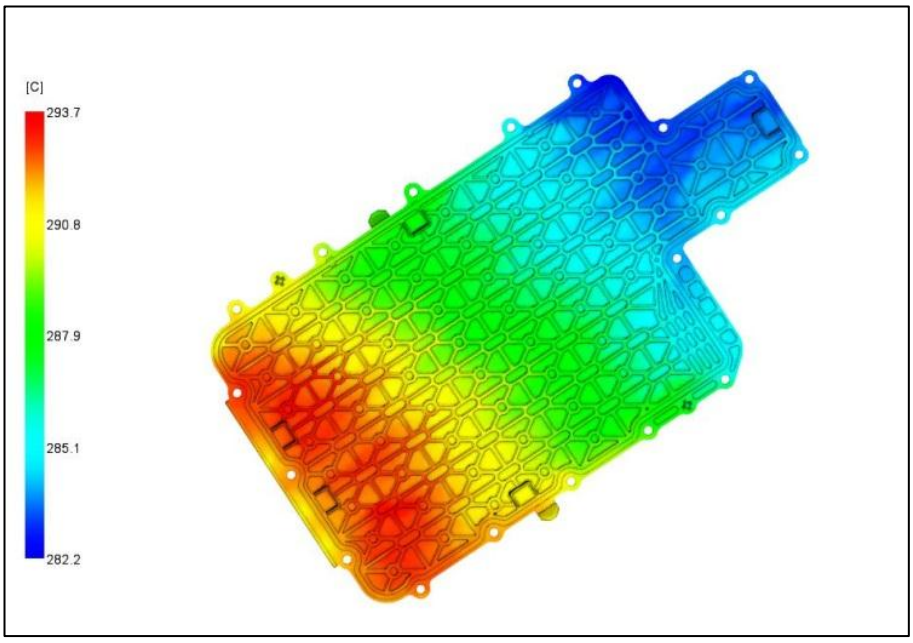


Şekil 3.12. Tasarım 4 modelinin mesh modellemesi



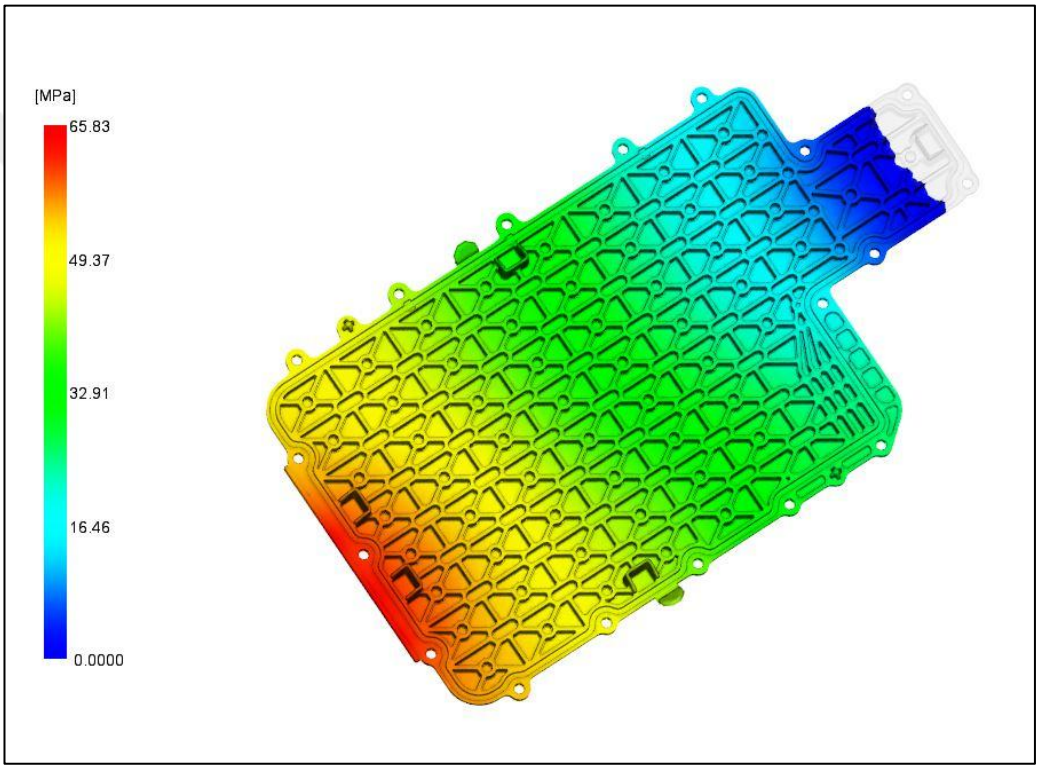
Şekil 3.13. Tasarım 4 modeline ait çarpılma analizi sonucu

Tasarım 4 modeli için yapılan çarpılma analizine göre parça üzerinde Z yönünde görülen toplam çarpılma değerinin 7,73 mm olarak gözlemlenmekte olup, polimer akış yönündeki çarpılmanın daha az olduğu gözlemlenirken, parçanın uç kesimlerinde çarpılmanın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yapılan çarpılma analizin sonucuna göre çarpılmanın uç bölgelerde homojen olmadığı belirlenmiştir. Tasarım 1 modeli ile kıyaslandığında plastik üründeki çarpılmada yaklaşık olarak %14,5 daha kötü durumda olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14. Tasarım 4 modeline ait sıcaklık dağılımı görüntüsü

Tasarım 4 modeli için sıcaklık dağılımı incelendiğinde maksimum sıcaklık değerinin 293,7 ^{o}C olduğu gözlemlenmiş olup, plastik ürün üzerindeki toplam sıcaklık farkının yaklaşık olarak 11,5 ^{o}C olduğu gözlenmiştir. Kenar bölgelerdeki ürün cidar kalınlığının Tasarım 1 modeline göre daha çok olması sebebiyle sıcaklık dağılımındaki farkında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık farkında yaklaşık olarak %43,75 oranında artış hesaplanmıştır. Belirlenmiş bölgelerdeki ürün cidar kalınlığının artması sıcaklık dağılımını homojen olmayan şekilde etkilediği görülmüştür.



Şekil 3.15. Tasarım 4 modeline ait yapılan moldflow basınç dağılım sonucu

Şekil 3.15'de yer alan Tasarım 4 modeline ait yapılan analize göre, parça üzerinde oluşan toplan basınç farkının yaklaşık olarak 65,8 MPa olduğu görülürken, malzemenin akış yönüne bağlı olarak basıncın azaldığı görülmektedir. Tasarım 1 modeline göre kıyasla çok daha düşük basınç dağılımı görülmesine rağmen homojen olmayan bir basınç dağılımı gözlemlenmiştir. Bu sonuca bakıldığında, plastik ürün üzerindeki çarpılma değerinde artış belirlenmiştir. Basınç farkının Tasarım 1 modeline göre yaklaşık olarak %22,5 oranında azalma hesaplanmıştır.

4. SONUÇLAR

Fiber takviyeli ürünlerin üretilmesine yönelik en sık karşılaşılan sorunlardan biri ise, enjeksiyon ile kalıplama işleminden sonra alınan ürünün boyutlarında meydana gelen çarpılma sorunudur. Bu sorunun çözümüne yönelik proses parametrelerinde optimizasyon yapılması, malzemelere yönelik iyileştirme çalışmaları veya kalıp tasarım geometrisinde revizyonlar yapılarak ya da soğutma sisteminde yapılan iyileştirmeler ile farklı yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada cam elyaf katkılı polimer ürün üzerinde meydana gelen boyutsal değişimin iyileştirilmesi üzerine, plastik ürün tasarımında yapılan revizyonlarla çarpılma değerlerindeki değişimi ve buna bağlı olarak sıcaklık ve basınç değerlerindeki değişimi incelenmiştir. (Tablo 4.1)

Tablo 4.1. Yapılan analiz sonuçları ve kıyaslanması

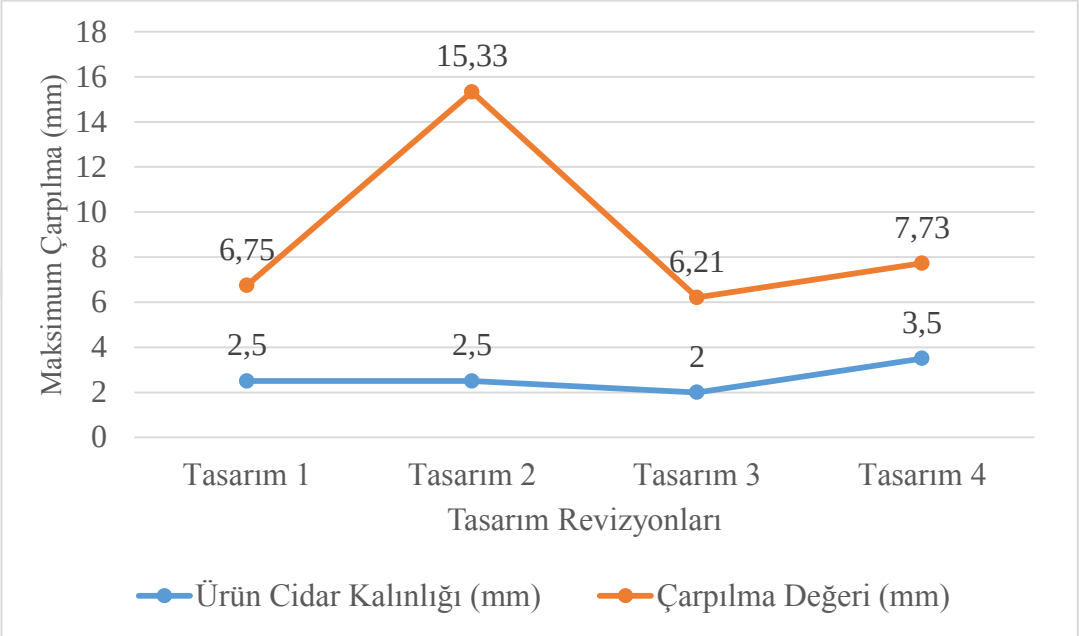
Tasarım Revizyonları	Çarpılma farkı değeri (mm)	Çarpılmanın Tasarım 1 modeline göre Değişim Oranı	Sıcaklık farkı değeri (°C)	Sıcaklığın Tasarım 1 modeline göre Değişim Oranı	Basınç farkı değeri (MPa)	Basıncın Tasarım 1 modeline göre Değişim Oranı	Ağırlık (g)
TASARIM 1	6,75	-	8	-	85	-	1312
TASARIM 2	15,33	127,11%	12,3	53,75%	145,5	71,1%	615
TASARIM 3	6,21	8%	10,7	33,75%	77,7	8,5%	1300
TASARIM 4	7,73	14,5%	11,5	43,75%	65,8	22,5%	1333

Her bir tasarımda farklı sıcaklık ve basınç dağılımı olduğu görülürken, bu değişkenlere bağlı olarak çarpılma değerinin etkilendiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, parça üzerinde meydana gelen basıncın homojen dağılımına bağlı olarak çarpılma analiz sonucunu etkileyen faktörlerden biri olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, çarpılma analizine göre belirlenmiş bölgelerde plastik ürün üzerinde cidar kalınlığının 2,5mm‘den 2mm’ye azaltılmasıyla, çarpılma değerinde yaklaşık olarak %8 iyileşme sağlandığı gözlemlenirken, belirlenmiş bölgede plastik ürün üzerinde cidar kalınlığının 2,5mm’den 3,5mm’ye artırılmasıyla çarpılma değerinde yaklaşık olarak %14,5 olumsuz bir etki meydana getirdiği belirlenmiştir.

Ürün cidar kalınlığındaki değişim ile çarpılma değerine etki edebileceği görülmüştür. (Tablo 4.2) Bundan sonraki tasarım çalışmalarında, çarpılmanın davranışına göre plastik ürün üzerinde belirlenecek bölgelerde cidar kalınlığının azaltılmasıyla çarpılmanın iyileştirilebileceği bulgusu elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Ürün cidar kalınlığı değişimine göre çarpılma değerinin kıyaslanması



Literatür araştırmasında incelediğimiz çalışmalar ile yapılan bu çalışma göz önünde bulundurulduğunda, cam elyaf katkılı bir plastik ürün üzerinde birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak fiber oryantasyonu ile ilgili çalışmalar yapılarak plastik ürünlerdeki oluşan çarpılma problemi için iyileştirme çalışmaları yapılabilir. Bundan sonra yapacağımız çalışmada cam elyaflı katkılı plastiklerde fiber oryantasyonunun çarpılma ile olan ilişkinin incelenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu, Pagev, 2017 https://www.pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/T%C3%BCrkiye%20Otomotiv%20Plastikleri%20Sekt%C3%B6r%20%C4%B0zleme%20Raporu%202017.pdf (Ziyaret tarihi: 5 Mart 2019).

[2] Hyun K., Joo S., Youngjae R., Shin K., And Sung W., "Warpage Reduction of Glass Fiber Reinforced Plastic Using Microcellular Foaming Process Applied Injection Molding", Polymer, 2019, **11**(360), 1-12.

[3] Kong J., Kim J., Yuen M., "Warpage in plastic packages: Effects of process conditions, geometry and materials", *Ieee Transactions On Electronics Packaging Manufacturing*, 2003, **26**(3), 245-252.

[4] Dong L., Yong X., Wen H. and Ling S., Effects of process parameters on warpage of rapid heat cycle moulding plastic part, *Journal of Central South University*, 2014, **21**(8), 3024- 3036.

[5] Manoraj M., Ansari M. and Robert S., "Review on the Effects of Process Parameters on Strength, Shrinkage, and Warpage of Injection Molding Plastic Component", Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2017, **56**(1), 1-12.

[6] Amran M., Salmah S., Marjom Z., Al-Amani U., Izamshah R., Hadzley M. and other, Warpage analysis verification between simulation and experimental of dumbbell plastic part in the injection moulding process, *Science International Lahore*, 2014, **26**(4), 1575-1579.

[7] Bujanić B., Sercer M., and Sokele M.R., Comparison of moldex3d and moldflow injection moulding simulations, *Journal Of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 2006, https://pdfslide.net/documents/comparison-of-moldex3d-and-moldflow-for-injection-moulding-simulation-moldex3d.html (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2019).

[8] Kennedy P.K., Practical and scientific aspects of injection molding simulation, Doktora Tezi, Eindhoven Teknik Üniversitesi, Eindhoven, 2008.

[9] Khichadi R.S., Injection mold design and optimization of battery air vent, International Journal of Innovations in Engineering and Technology, 2013, **3**(2), 88 – 93.

[10] Liu J., Application of moldflow technology in the warp analysis, Przeglad Elektrotechniczny, 2013, **89,** 99-101.

[11] Mahale K.C. and Patil A.V., Design enhancement for a plastic injection mold for an automotive component using results of simulation for input, *Indian Journal of Research*, 2013, **3**(4), 80-82.

[12] Mathivanan D., Nouby M. and Vidhya R., Minimization of sink mark defects in injection molding process – Taguchi approach, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2010, **2**(2), 13-22.

[13] Mohamed O., Masood S. and Saifullah A., A simulation study of conformal cooling channels in plastic injection molding, *International Journal of Engineering Research*, 2013, **2**(5), 344-348.

[14] Rao J. and Ramni D., Analysis of plastic flow in two plate multi cavity injection mould for plastic component for pump seal. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2013, **3**(8), 1-4.

[15] Senkerik V., Stanek M., Manas D., Skrobak A. and Navratil J., Optimization of gate location and cooling system, *Recent Researches in Circuits and Systems*, 2012, **3**, 294-298.

[16] Shakkarwal P., and Yadav L., Design and mould flow analysis of injection mould for connecting link, *International Journal on Emerging Technologies*, 2013, **4**(1), 182-185.

[17] Shen J., Design and molding simulation of a plastic part, Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford, Connecticut, 2010.

[18] Smlease Design, Plastic Part Design Guidelines for Injection Molding, https://www.smlease.com/entries/plastic-design/plastic-part-design-guidelines/ (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2020).

[19] RTP Imagineering Plastics, Part Design Guidelines for Injection Molded Thermoplastics, https://www.rtpcompany.com/wp-content/uploads/RTP-Part-Design_Guidelines-for-Injection-Molded-Thermoplastics.pdf (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2020).

[20] Bayer Material Science, (b.t). Engineering polymers - Part and mold design, http://www.mtn.com.tr/faydali/PartandMoldDesign.pdf (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2020).

[21] Jaycon Systems, Engineering Guidelines to Designing Plastic Parts for Injection Molding, https://medium.com/jaycon-systems/engineering-guidelines-to-designing-plastic-parts-for-injection-molding-1c554a4545be (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2020).

[22] Material Data Center, https://www.materialdatacenter.com/ms/en/Zytel/DuPont/Zytel%C2%AE+70G30HSLR+BK099/6dbd4c37/839 (Ziyaret tarihi: 10 Şubat 2020).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Süle F., Balıbaş B., Yıldırım F., Tataş Ş., Uçar M., Hibrit Araçlarda Kullanılan Plastik Koruma Ekipmanlarının, Tasarım Revizyonları ile Meydana Gelebilecek Boyutsal Hataların Önlenmesi, IMSEC 2019, 4. *International Mediterranean Science and Engineerig Congress*, 25-27 Nisan 2019, ALANYA / TÜRKİYE

ÖZGEÇMİŞ

Fırat SÜLE ilk ve orta öğrenimini Mersin'de tamamladı. Lise öğrenimini Mersin Çağdaşkent Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında girdiği Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği (İngilizce) Bölümü'nden 2016 yılında mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde otomotiv sektöründe kullanılan plastikler ve plastik tasarımı için kendini geliştirmeye yönelik dersler alarak tez aşamasına geldi. Çalışma hayatına 2016 yılında otomotiv sektöründe plastik alanında üretim yapan firmalarda Proje Kalite Mühendisi ve Mühendislik Lideri olarak görevler aldı. Plastik enjeksiyon üretim sürecinde araştırma ve geliştirme departmanında 4 yıllık tecrübeye sahip oldu. Plastik enjeksiyon üzerine çalışmalarına devam istemektedir.