

**Makale  
(Article)**

## **ENJEKSİYON KALIPLAMA ile ÜRETİLEN BİR PARÇANIN BOYUTSAL KARARLILIĞININ BDM(BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİK) ile ARAŞTIRILMASI**

**Olca EKŞİ<sup>1</sup>, Sencer KARABEYOĞLU<sup>1</sup>, Erol TÜRKES<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Kayalı Merkez Kampüs,  
Kırklareli/39100  
[olcayeksi@klu.edu.tr](mailto:olcayeksi@klu.edu.tr)

Geliş Tarihi:15.08.2016

Kabul Tarihi:13.12.2016

Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Olca Ekşi ([olcayeksi@klu.edu.tr](mailto:olcayeksi@klu.edu.tr))

### **Özet**

Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle Polipropilen(PP) ve Poliamit(PA) 6.6 kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, kalıp yüzey sıcaklığı, ergimiş polimer sıcaklığı gibi parametrelerin değişiminden nasıl etkilendiği Moldflow Plastics Insight yazılımı ile araştırılmıştır. Buna ek olarak, farklı takviye elemanları(cam elyaf, talk pudrası) ilavesinin boyutsal kararlılık üzerine etkisi de araştırılmıştır. Artan takviye elemanı miktarının toplam büzülme azalttığı tespit edilmiştir. Kalıp yüzey sıcaklığının kademeli olarak düşürülmesi, PP ve PA 6.6 malzemeler için boyutsal sapmayı ve hacimsel büzülme azalttığı görülmüştür. Ergimiş polimer sıcaklığının düşürülmesi ise yine her iki türden malzeme için hacimsel büzülme ve boyutsal sapmayı azaltmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik Enjeksiyon, Polipropilen, Poliamit 6.6, Boyutsal Kararlılık, Büzülme.

## **INVESTIGATION OF DIMENSIONAL STABILITY OF AN INJECTION MOULDED PART BY CAE(COMPUTER AIDED ENGINEERING)**

### **Abstract**

In this work, effect of mold surface temperature and polymer melt temperature on dimensional stability of a plastic part which is produced with Polypropylene and Polyamide 6.6 granules by injection molding process, was investigated using Moldflow Plastics Insight. In addition to this, the effect of adding different reinforcing elements(glass fiber, talc) in to the plastic matrix material on dimensional stability was investigated too. It has been determined that increasing amount of reinforcing element decreases the total shrinkage. Decreasing mold surface temperature by stages, has decreased warpage and volumetric shrinkage in PP and PA 6.6 materials. Decreasing polymer melt temperature has decreased warpage and volumetric shrinkage in varying proportions too.

**Keywords:** Plastic Injection, Polypropylene, Polyamide 6.6, Dimensional Stability, Shrinkage.

*Bu makaleye atıf yapmak için*

*Ekşi O., Karabeyoğlu S., Türkes E., "Enjeksiyon Kalıplama İle Üretilen Bir Parçanın Boyutsal Kararlılığının BDM(Bilgisayar Destekli Mühendislik) İle Araştırılması", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2016, 13(4) 77-90*

*How to cite this article*

*Ekşi O., Karabeyoğlu S., Türkes E., "Investigation Of Dimensional Stability Of An Injection Moulded Part By CAE(Computer Aided Engineering)", Electronic Journal of Machine Technologies, 2016, 13(4) 77-90*

## 1. GİRİŞ

Plastikler günümüzde ev eşyalarında, ambalaj, otomotiv, inşaat gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Plastiklerin, özellikle termoplastiklerin kalıplanmasında enjeksiyon kalıplama yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama prosesinde Moldflow Plastics Insight (MPI) gibi yazılımların kullanılması; enjeksiyon kalıplarının optimizasyonunu, imalata geçmeden önce yapılacak denemelerin ve fiziksel prototip sayısının azaltulmasını, yolluk sistemi ve yolluk giriş noktasının yerinin değiştirilmesinin ürün kalitesine olan etkilerinin önceden tespit edilmesini mümkün kılmaktadır.

Yapılan çalışmalara örnek olarak, Zhou vd.[1], 0.5 mm'den 4 mm'ye değişen cidar kalınlığına sahip 395.5mm x 515.7mm x 134.1mm boyutlarındaki parçayı Nova Chemicals firmasının ürettiği PS-115 kodlu Polistiren(PS) malzeme kullanarak enjeksiyon makinesinde kalıplamışlar ve parçayı, geliştirdikleri modelin, Moldflow mid-plane modelinin ve Moldflow 3D modelinin simülasyon sonuçlarını karşılaştırmak için kullanmışlardır. Enjeksiyon işlemini ve simülasyonları; 80 °C kalıp sıcaklığı, 230 °C eriyik sıcaklığı, 1.2 saniye dolun süresi, 136 MPa ütleme basıncı ve 25 saniye katılma süresinde gerçekleştirmişler ve parça üzerinde belirledikleri noktalarda çökme değerlerini tespit etmişlerdir. Çarpılma analizi sonucunda elde edilen değerleri, enjeksiyonla kalıplanan parçalardaki değerlerle karşılaştırmış ve sonuç olarak önerdikleri modeldeki çökme değerlerinin deney sonuçlarındaki değerlere en yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Zhao vd.[2] enjeksiyon prosesindeki hız profilinin, ürünün son boyut ve yüzey kalitesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Zhao vd. bir buzdolabı rafını Polistiren malzeme kullanarak; 50 °C kalıp sıcaklığı, 230 °C eriyik sıcaklığı ve 1 saniyelik dolun zamanı parametrelerinde üretmiştir. Aynı zamanda Moldflow yazılımıyla "Fusion model" ile yaptıkları dolun analizlerinde de bu değerleri kullanmıştır. Zhao vd. bunlara alternatif olarak Microsoft C++ ta hazırladıkları hız profili optimizasyon yazılımıyla, dolun süreci boyunca eriyiğin akış cephesindeki hızı sabit tutulacak şekilde bir hız profili geliştirmeyi amaçlamıştır. Moldflow yazılımıyla yapılan dolun analizleri sonucunda; kompleks geometrilere sahip parçaların kalıplanmasında, ilerleyen akış cephesinde sabit hıza ulaşılammamaktadır. Enjeksiyon hızının, sabit bir akış cephe hızında akış cephe alanı ile lineer olarak değişmesi gerektiğini göstermiştir. Aynı zamanda da kalıbın tam olarak dolması sağlanmalıdır. Yapılan analiz sonuçları, geliştirilen metodun Moldflow yazılımından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu metot sayesinde operatörler en iyi parçaları üretmek için uygun enjeksiyon hız profilini hızlı bir şekilde tespit edebileceklerdir. Zhou vd.[3], enjeksiyon kalıplama prosesinde oluşan artık gerilmelerin parçalarda oluşturduğu etkileri incelemiştir. Zhou vd.[3], artık gerilme oluşumunu ve parça içerisindeki dağılımını incelemek için 300mmx75mmx2.5 mm boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde, Bayer firmasının Novodur P2X ticari adlı ABS malzeme ile dolun zamanı 1.2 saniye, ütleme zamanı 6.3 saniye, enjeksiyon basıncı 60mPa, soğuma zamanı 21.7 saniye, eriyik sıcaklığı 240 °C, kalıp sıcaklığı 52 °C de parçayı üretmişler ve simülasyon aşamasında da bu değerleri kullanmışlardır. Kalıp boşluğu içerisinde akış yolu boyunca artık gerilme oluşumu ve gerilmenin duvarlardaki dağılımı; viskoelastik model hesaplamaları ve Moldflow yazılımında yapılan dolun analizi verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; düzlem için de gerilme dağılımının kalınlık doğrultusunda arttığını göstermişlerdir. Sahu vd.[4], Gillette marka tıraş bıçağının plastik aksamını; alt katmanda Dow Chemicals firmasından tedarik edilen ABS(Magnum 9020) ve bunun üzerine çok bileşenli enjeksiyon kalıplama ile ikinci bir malzeme olarak Shell Chemicals tarafından üretilen Shell Kraton G7705 kullanarak enjeksiyon kalıplama ve simülasyonları gerçekleştirmiştir. Moldflow programında yaptıkları dolun analizlerinde elde edilen dolun aşamasının farklı zamanlardaki akış cephesinin, yaptıkları denemeler sonucunda elde edilen parçalardaki şekillerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu sayede, akış cephesi ve akış şekli inceleme konusu olduğunda enjeksiyon kalıplama için kullanılan simülasyon yazılımlarının çok bileşenli (iki veya daha fazla) enjeksiyon kalıplamanın (overmolding) dolun analizleri içinde kullanılabilceğini kanıtlamışlardır. Lucyshyn vd.[5] iki amorf (BASF, PS 454 C; Polimeri Europa, ABS Urtal M122) iki yarı kristalin (Basell Polyolefins, PP Hostacom BR 735 G; DSM Engineering Plastics, PC/PET Stapron E EM 605) dört farklı termoplastik kullanarak, farklı soğuma hızlarında

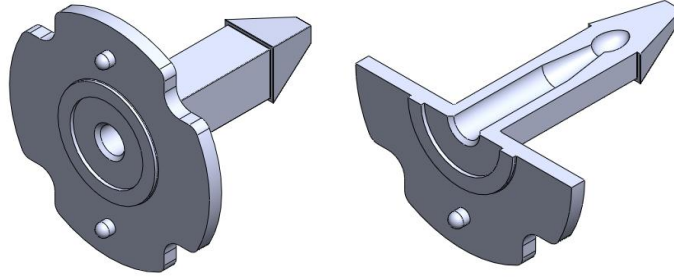
geçiş sıcaklığını ve geçiş sıcaklığının büzülme ve çarpılma üzerindeki etkilerini araştırmıştır. “*Fusion model*” ve “*3D model*” simülasyon sonuçlarını karşılaştırabilmek için 100mmx100mmx40mm boyutlarında kutu şeklinde bir parçayı enjeksiyon makinesinde imal etmiştir. Parçanın alt yüzeyi ve yan duvarlarının kalınlıkları PP için 1 mm, PC/PET için 1.8 mm seçilmiştir. PP ve PC/PET’ in proses parametreleri sırasıyla; eriyik sıcaklığı 220 °C, kalıp sıcaklığı 40 °C, dolun zamanı 1.9 saniye, donma katılma süresi 25 saniye, PC/PET için ise; eriyik sıcaklığı 255 °C, kalıp sıcaklığı 60 °C, dolun zamanı 2.4 saniye, katılma süresi 8.4 saniye olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak farklı soğuma hızlarının amorf yapıdaki iki malzemede geçiş sıcaklığı (sıvı halden katı hale) üzerinde önemli bir etkisi olmadığını saptamışlardır. Buna karşın, yarı kristal yapıdaki malzemelerin ise yüksek soğuma hızlarına karşı oldukça hassas olduğu belirlenmiştir. “*3D model*” ve “*Fusion model*” ile yapılan büzülme ve çarpılma analiz sonuçları deney parçasından elde edilen verilerle karşılaştırıldığında; geçiş sıcaklığının “*3D model*” üzerinde önemli bir etkisi olduğu saptanmış ve “*3D model*” ile yapılan analiz sonuçlarının deney parçasından elde edilen verilere daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın “*Fusion model*” ile elde edilen sonuçların deney verilerine göre oldukça küçük olduğu saptanmıştır. Artan soğuma hızlarında elde edilen geçiş sıcaklığı tahmini büzülme değerlerini düşürmüştür. Zhou vd.[6], enjeksiyon kalıplamanın izotermal olmayan, viskoz, sıkıştırılmaz ve Newtonian olmayan akış problemlerini çözmek için “3D Sonlu Elemanlar Yöntemini” kullanmışlardır. Bu nedenle SUPG (The Streamline-Upwind/Petrov-Galerkin) ve PSPG (Pressure-Stabilizing/Petrov-Galerkin) formüllerini muhtemel dengesizlikleri ortadan kaldırmak için yeniden düzenlemişler, hız ve basınç için eş mertebeli interpolasyon fonksiyonlarını kullandıklarında kararlı(dengesizliklerinden arındırılmış) formülasyonları elde etmişlerdir. Elde ettikleri formülasyonları ve “Hele-Shawn” yaklaşımını kullanan yöntemleri MPI 3D yazılımında karşılaştırmıştır. Zhou vd.[6], Polipropilen(PP 6733, Taiwan) malzeme kullanarak 0.5 s dolma zamanı, 240 °C eriyik sıcaklığı ve 50 °C kalıp sıcaklığı için akış analizini yukarıda belirtilen yöntemler için gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak; akış hızı merkezde ortalama hızdan daha fazla olduğu için ilerleyen akışkanın ön cephesinden kalıbın duvarlarına doğru yönelme olur ve bu noktada akışın şekli “fountain flow” olarak adlandırılan çeşmedeki/fiskiyeadaki akış gibidir. Bu olay 3D akış simülasyonunda görüntülenememesine karşın 2,5D (Fusion Model) ile yapılan simülasyonda görüntülenemediği tespit edilmiştir. Koszcul ve Nabialek[7], enjeksiyon kalıplama işleminin dolun aşamasının simülasyonunda farklı viskozite modelleri(fonksiyonları) kullanmışlardır. Viskozite modelinin kullanım amacı malzemelerin simülasyondaki davranışlarının mümkün olduğu kadar gerçekçi olması ve en doğru sonuçlara ulaşmaktır. Enjeksiyon kalıplama işleminin modellenmesi için Power Law Model (Moldflow Model 1), Moldflow Second Order Model, Cross Model, Carreau Model gibi viskozite fonksiyonlarından birini seçmek gerekir. Koszcul ve Nabialek[7], araştırmalarında yukarıdaki viskozite modellerinin matematiksel fonksiyonlarını, her bir modelinin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Shelesh vd.[8], enjeksiyon kalıplama prosesi için proses parametrelerini belirleyen bir yapay zeka programı geliştirmiştir. Programda kural bazlı sistem(Rule-Based System, RBS) ve olgu(vaka) bazlı (Case-Based Reasoning, CBR) tümevarım sistemini kullanmıştır. Olgu bazlı tümevarım tekniği proses parametrelerinin ilk deneme ayarlarını üretmek için kullanılmaktadır. RBS ise bu esnada alt program olarak kalıplama parametrelerinin varyasyonlarında bir takım düzeltici eylemler önermektedir. CBR, RBS ile beraber kullanılarak oluşturulan karma sistem, enjeksiyon kalıplama işleminde proses parametrelerini belirlemede %100 doğru sonuçlar (uzman görüşleri ve deneylerle elde edilen kalıplama tecrübeleri tamamıyla basit formüllere dönüştürülüp RBS sisteminde uygulanmadığı için) vermemekle birlikte enjeksiyon kalıplama prosesini modellemek için kullanılacak gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilecek bir modeldir. Ayrıca program önceki çözümleri mevcut problemlerle uyumlu hale getirerek bu sistemle birlikte, enjeksiyon kalıplama prosesinde insan tecrübelerine ve insanların karar verme zorunluluğuna olan bağımlılığı azaltacak ve optimum kalıplama parametrelerini belirlemek için gereken zamanı önemli ölçüde azaltacaktır. Buna paralel olarak maliyetler de düşmektedir. Sonuç olarak bu sistem, üretim bölümündeki operatörler tarafından interaktif olarak makine operasyon parametrelerini tespit etmek için kullanılabilir. Enjeksiyon makinelerinde mikro işlemciler kullanılarak yapılan deneyler bu karma

sistemin verimliliğini ve etkinliğini arttırabilir. Ayrıca bu sistem Moldflow yazılımı ile birleştirildiğinde enjeksiyon kalıplamada tecrübe ve uzmanlık gereksiniminin azaltılacağı belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise, MPI malzeme kütüphanesinden seçilen kristalin plastikler ile (PA 6.6, Technyl A 218 Natural, Rhodia Engineering Plastics; PP, Hostacom PPU 2090L, Targor) Moldflow yazılımıyla yapılan akış ve çarpılma (flow & warp) analizlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Bu malzemelerin seçilmesinin nedeni olarak; plastik endüstrisinde çok kullanılan iki tür termoplastik olması ve MPI yazılımı kütüphanesinde takviye elemanı içeren farklı granüllerinin özelliklerinin de bulunması gösterilebilir. Yapılan analizlerde; kalıp yüzey sıcaklığı, eriyik sıcaklığı ve takviye oranındaki değişimlerin, dolum zamanı, katılma süresi, hacimsel büzülme ve boyutsal sapma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca kalıp yüzey sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı dışındaki enjeksiyon parametreleri için seçilen malzemelerin üretici firmaların bir dizi deney sonrasında (Çekme deneyi, MFI, MFR v.b.) elde ettiği ve MPI yazılımının malzeme kütüphanesinde hazır bulunan deneysel veriler kullanılmıştır[9-12].

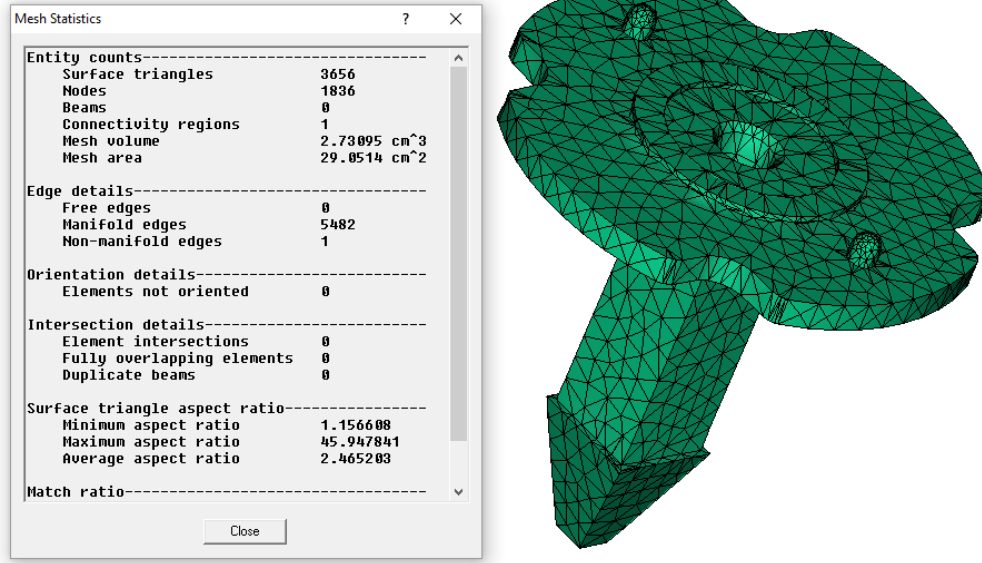
## 2. MALZEME ve METOT

Çalışmada Çorlu Plastik A.Ş. tarafından plastik enjeksiyon ile üretilen ve temizlik setlerinde kullanılan bir plastik parça kullanılmıştır. Bu parçanın katı modeline ait görünüş Şekil 1’de gösterilmiştir. Plastik parçanın takviyeli granüller vasıtası ile üretilmek istenmesi neticesinde bu parça seçilmiştir.

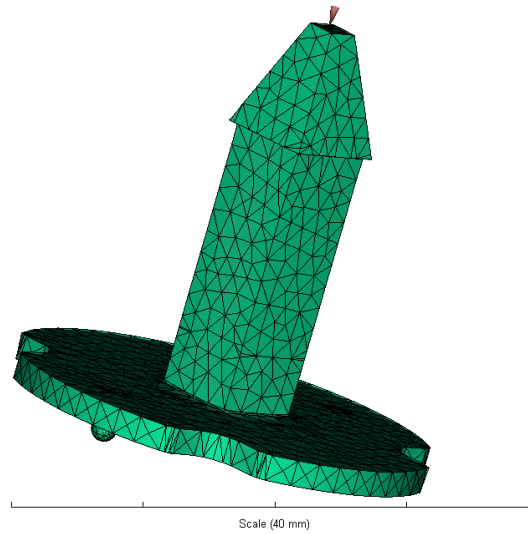


**Şekil 1:** Çorlu Plastik A.Ş. enjeksiyon kalıplama ile üretilen ve çalışmada kullanılan parçanın kesit alınmış katı modeli

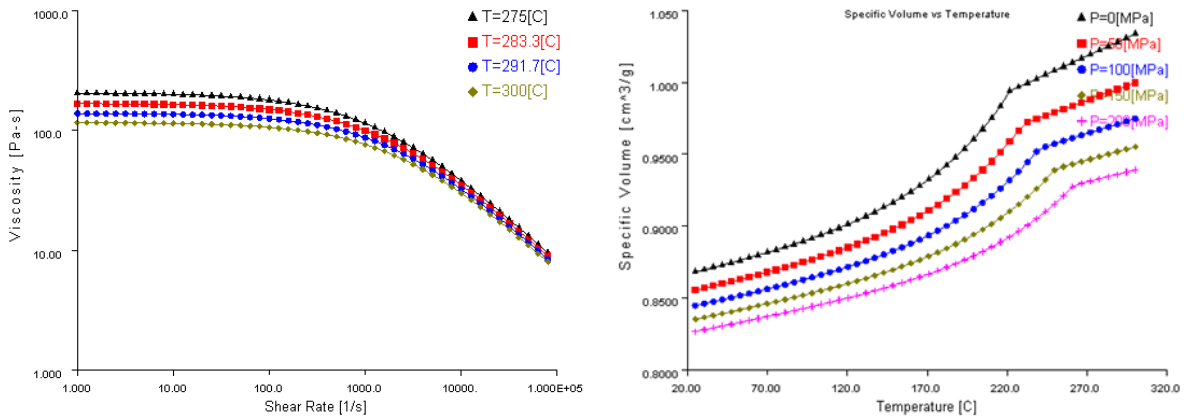
Plastik aparatın öncelikle Solidworks yazılımı yardımıyla katı modeli oluşturulmuş ve farklı dosya formatlarında (\*.stl, \*.sldprt) kaydedilmiştir. MPI yazılımı kullanılarak, parçanın katı modelinin görüntülenmesi ise \*.stl dosya formatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MPI yazılımına import edilen katı model “Fusion mesh” seçeneği ile oluşturulmuştur. Sonra, ağ örme aşaması gerçekleşmiştir. Katı model üzerine örülen ağ Şekil 2’de gösterilmiştir. Buna ek olarak model üzerindeki ağ istatistikleri Şekil 2’de görülmektedir. Enjeksiyon giriş noktası parçanın en uç noktası olarak üretime uygun olarak seçilmiştir. Enjeksiyon giriş noktası Şekil 3’te gösterilmiştir. Analizin gerçekleşmesi için malzeme seçimi yapılarak malzeme kütüphanesinden uygun malzeme seçilir. Buna ek olarak analiz türü seçilir. Analiz türü olarak çoğu denemede Flow+Warp (Akış+Çarpılma) seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Proses ayarları eğer değiştirilecekse bu menü aktif hale getirildikten sonra istenen parametre (Kalıp yüzey sıcaklığı, eriyik sıcaklığı vb.) uygun değer girildikten sonra kaydedilerek kapatılır. Elde edilen sonuçlar sayısal veriler halinde tablolar haline getirilerek, grafik yöntemle değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan iki ayrı tür malzemeye ait özellikler Tablo 1, Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir. Takviye içeren granüllere ait özellikler hâlihazırda MPI yazılımının kütüphanesinde tanımlı olarak bulunmaktadır. Söz konusu takviye içeren granül ile bir simülasyon çalışması yapılacağı zaman malzeme seçimi aşamasında bu malzeme seçildiğinde MPI yazılımı otomatik olarak malzeme parametrelerini tanımlayarak katı modele atamaktadır.



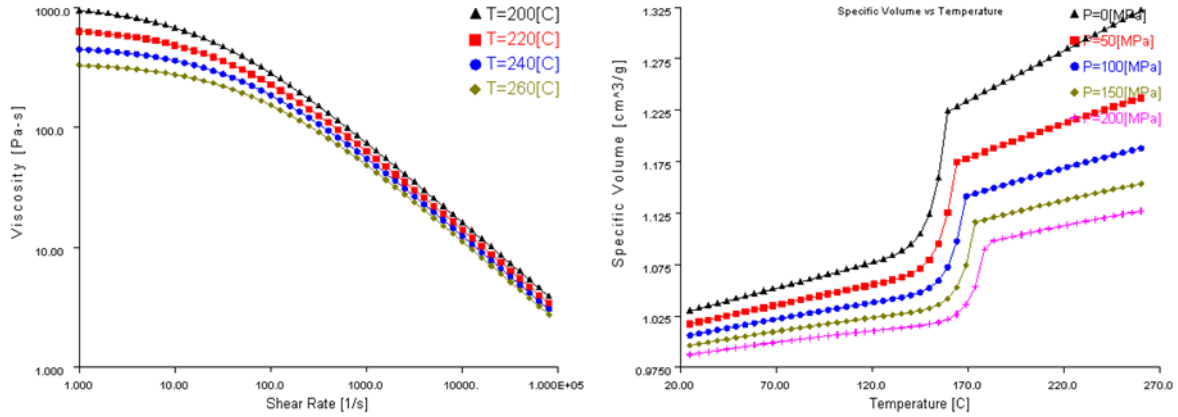
Şekil 2: Ağ örülmüş katı modelin görünümü ve ağ örme istatistikleri



Şekil 3: Enjeksiyon giriş noktası



Şekil 4: Technyl A 218 Natural (REP tested) ticari adlı malzemeye ait reolojik özellikler.



Şekil 5: Hostacom PPU 2090L ticari adlı malzemeye ait reolojik özellikler.

**Tablo 1:** Technyl A 218 Natural (REP tested) ve Hostacom PPU 2090L malzemelere ait mekanik özellikler.

<b><i>Technyl A 218 Natural (REP tested)</i></b>				
Elastisite modülü E(GPa)	Poisson oranı (ν)	Kayma Modülü (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı(1/°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
	0.4	1.071	8e-005	1.1546
Üretici: Rhodia Engineering Plastics				
<b><i>Hostacom PPU 2090L</i></b>				
Elastisite modülü E(GPa)	Poisson oranı (ν)	Kayma Modülü (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
1.340	0.392	0.481	9.05e-005	0.97113
Üretici: Targor				

### 3. SONUÇLAR

Öncelikle, MPI yazılımının malzeme kütüphanesinden PA 6.6 ailesinden Technyl A 218 Natural (REP tested) ticari ön adlı plastik malzeme seçilmiş ve bu malzeme kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, kalıp yüzey sıcaklığı, ergimiş polimer sıcaklığı gibi parametrelerin değişiminden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Buna ek olarak, farklı takviye elemanları(cam elyaf, talk pudrası) ilavesinin boyutsal kararlılık üzerine etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar diyagramlarla Şekil 6'dan 15'e kadar verilmektedir. Bu malzemenin seçilmesinin nedeni plastik endüstrisinde yaygın kullanıma sahip olması ve farklı oranlarda takviye elemanı içeren granüllerinin deneysel verilerinin MPI yazılımı malzeme kütüphanesinde bulunmasıdır.

**Tablo 2:** Technyl A 218 Natural (REP tested) malzeme için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları.(Kalıp yüzey sıcaklığı değişiminin diğer parametreler üzerine etkisi)

Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katlaşma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma(Her yönde) [mm]
80	285	0,8151	35,66	11,94	14,59	0,6279
75	285	0,7125	35,16	11,92	14,53	0,6229
70	285	0,7132	34,16	11,86	14,52	0,616
65	285	0,7136	33,41	11,82	14,5	0,6102

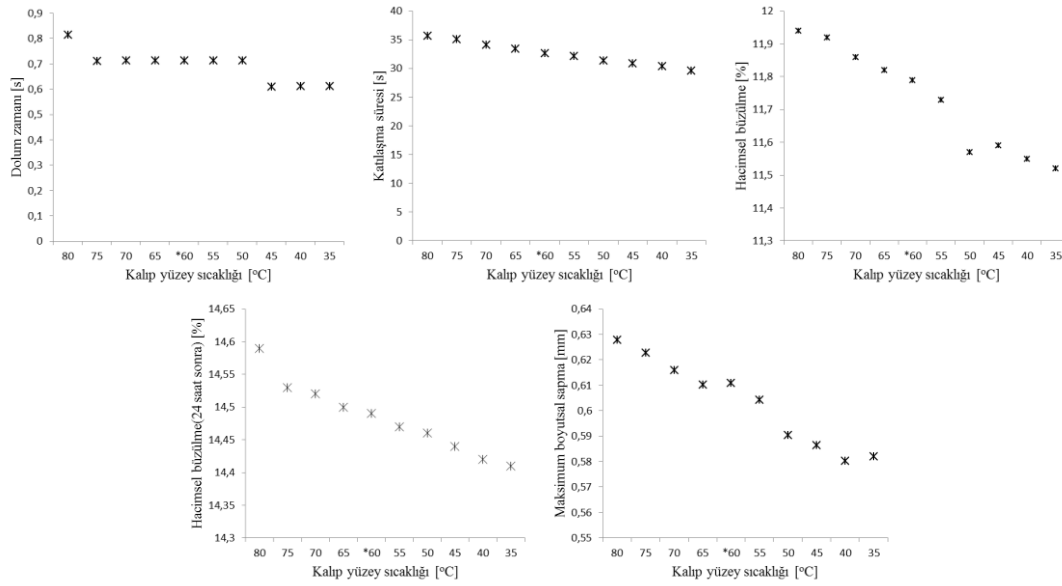
*60	*285	0,7139	32,66	11,79	14,49	0,6109
55	285	0,7141	32,16	11,73	14,47	0,6044
50	285	0,714	31,41	11,57	14,46	0,5904
45	285	0,6115	30,91	11,59	14,44	0,5864
40	285	0,6119	30,41	11,55	14,42	0,5803
35	285	0,6117	29,66	11,52	14,41	0,5822

\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.

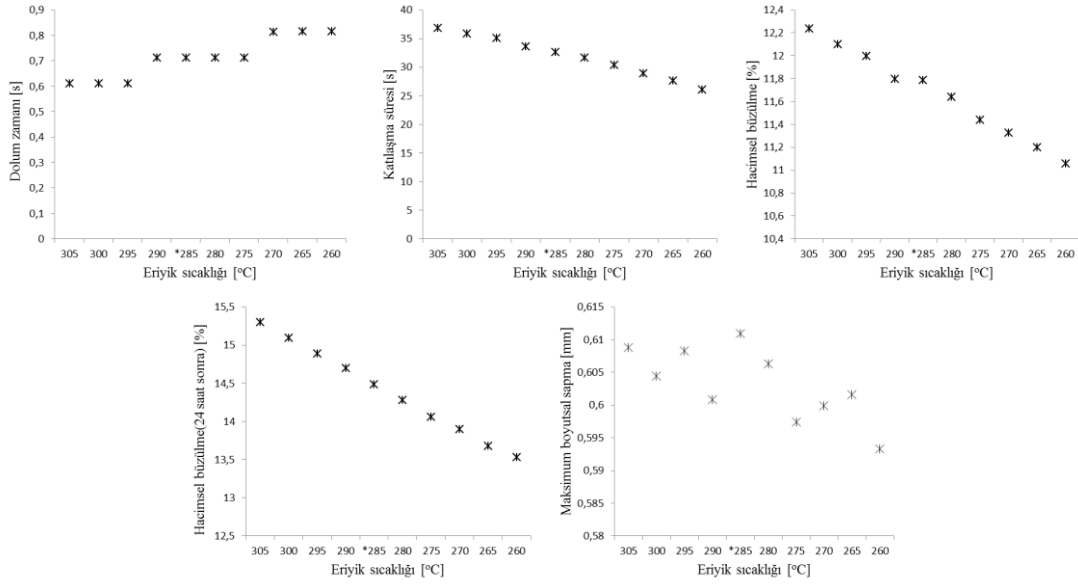
**Tablo 3** Technyl A 218 Natural (REP tested) malzeme için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları.(Eriyik sıcaklığı değişiminin diğer parametreler üzerine etkisi)

Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katılma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma(Her yönde) [mm]
60	305	0,6111	36,91	12,24	15,3	0,6088
60	300	0,6111	35,91	12,1	15,1	0,6044
60	295	0,6112	35,16	12	14,89	0,6083
60	290	0,7137	33,66	11,8	14,7	0,6008
*60	*285	0,7139	32,66	11,79	14,49	0,6109
60	280	0,7131	31,66	11,64	14,28	0,6063
60	275	0,7132	30,41	11,44	14,06	0,5974
60	270	0,8152	28,91	11,33	13,9	0,5999
60	265	0,816	27,66	11,2	13,68	0,6016
60	260	0,8165	26,16	11,06	13,53	0,5933

\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.



**Şekil 6:** Technyl A 218 Natural (REP tested) malzeme kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, kalıp yüzey sıcaklığıyla değişiminin grafik yöntemle incelenmesi



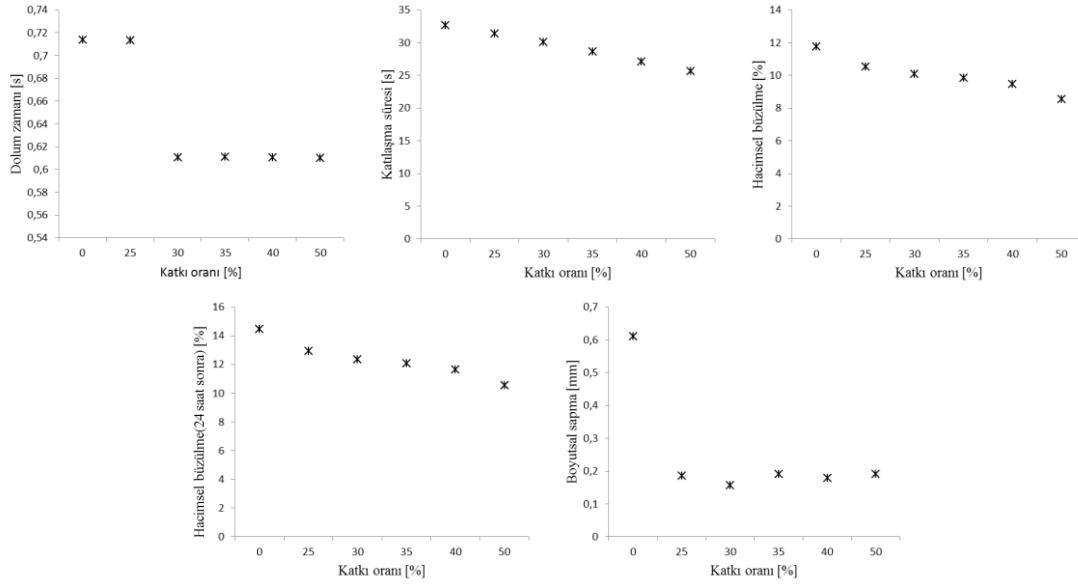
**Şekil 7:** Technyl A 218 Natural (REP tested) malzeme kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, erimiş polimer sıcaklığıyla değişiminin grafik yöntemle incelenmesi

**Tablo 4:** Cam elyaf takviyeli PA 6.6 malzemeler için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları.

Katkı oranı (Ağırlıkça) [%]	Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katılaşma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma(Her yönde) [mm]	TİCARİ ADI
0	*60	*285	0,7139	32,66	11,79	14,49	0,6109	Technyl A 218 Natural (REP tested)
25	*80	*290	0,7137	31,41	10,55	12,97	0,1861	Technyl A 216 V25 Natural (REP tested)
30	*80	*290	0,6108	30,16	10,1	12,35	0,1578	Technyl A 218 V30 Natural (REP tested)
35	*80	*290	0,6115	28,66	9,853	12,09	0,1911	Technyl A 218 V35 Natural (REP tested)
40	*80	*290	0,611	27,16	9,499	11,66	0,1795	Technyl A 218 V40 Natural (REP tested)
50	*80	*290	0,6102	25,66	8,559	10,58	0,1922	Technyl A 218 V50 Natural (REP tested)

\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.





**Şekil 8:** Cam elyaf takviyeli PA 6.6 malzemeler için katkı oranıyla Dolum zamanı, Katılaşma süresi, Hacimsel büzülme ve En büyük boyutsal sapma parametrelerinin değişimi

Çalışmalar dâhilinde PP ailesinden Hostacom PPU 2090L ticari ön adlı bir plastik malzeme seçilmiş ve akış+çarpılma analizleri MPI yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5:** Hostacom PPU 2090L malzeme için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları. (Kalıp yüzey sıcaklığı değişiminin diğer parametreler üzerine etkisi)

Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katılaşma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma(Her yönde) [mm]
75	230	1,682	128,4	14,86	19,42	0,4984
70	230	1,579	121,7	14,82	19,4	0,4957
65	230	1,584	115,7	14,8	19,37	0,4923
60	230	1,479	109,4	14,39	19,34	0,4808
*55	*230	1,481	104,4	14,27	19,31	0,4763
50	230	1,376	99,92	14,23	19,28	0,4721
45	230	1,379	96,17	14,14	19,26	0,4695
40	230	1,382	93,17	14,05	19,24	0,4654
35	230	1,276	90,17	14,05	19,21	0,4636
30	230	1,278	87,92	14,12	19,19	0,4634
25	230	1,28	85,17	13,95	19,17	0,4575

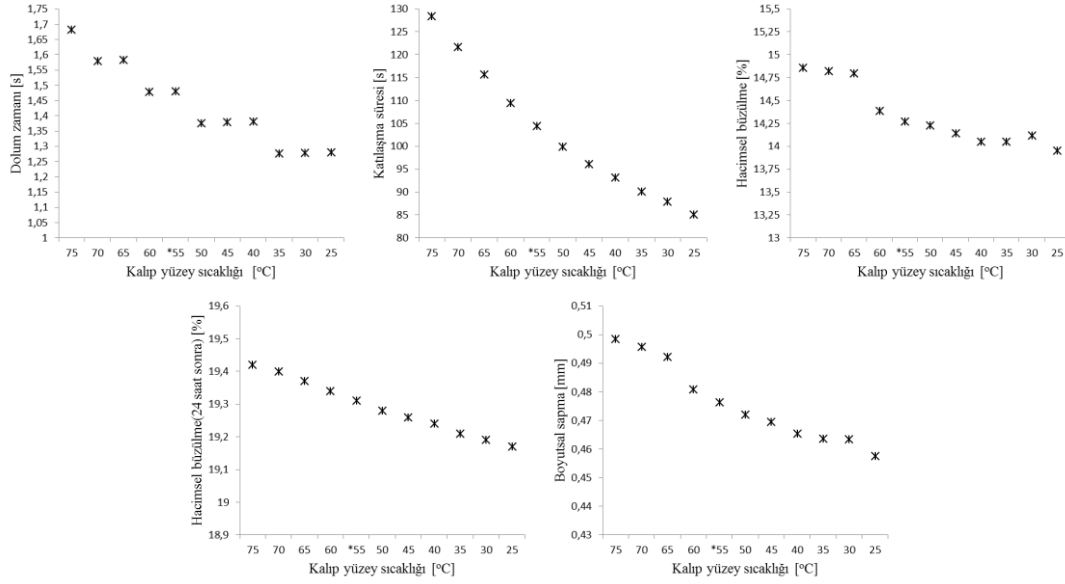
\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.

**Tablo 6:** Hostacom PPU 2090L malzeme için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları. (Eriyik sıcaklığı değişiminin diğer parametreler üzerine etkisi)

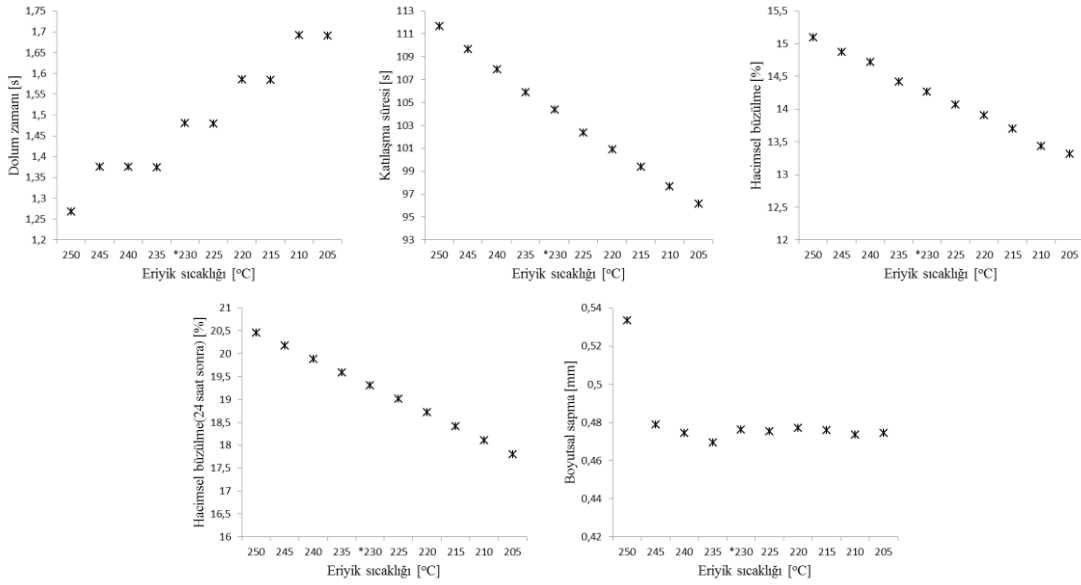
Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katılaşma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma(Her yönde) [mm]
55	250	1,268	111,7	15,1	20,46	0,5336
55	245	1,376	109,7	14,88	20,18	0,4791
55	240	1,376	107,9	14,72	19,89	0,4745
55	235	1,375	105,9	14,42	19,6	0,4695
*55	*230	1,481	104,4	14,27	19,31	0,4763
55	225	1,48	102,4	14,07	19,02	0,4753

55	220	1,586	100,9	13,91	18,73	0,4771
55	215	1,585	99,42	13,7	18,42	0,4761
55	210	1,692	97,67	13,44	18,12	0,4736
55	205	1,691	96,17	13,32	17,81	0,4745

\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.



**Şekil 9:** Hostacom PPU 2090L malzeme kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, kalıp yüzey sıcaklığıyla değişiminin grafik yöntemle incelenmesi

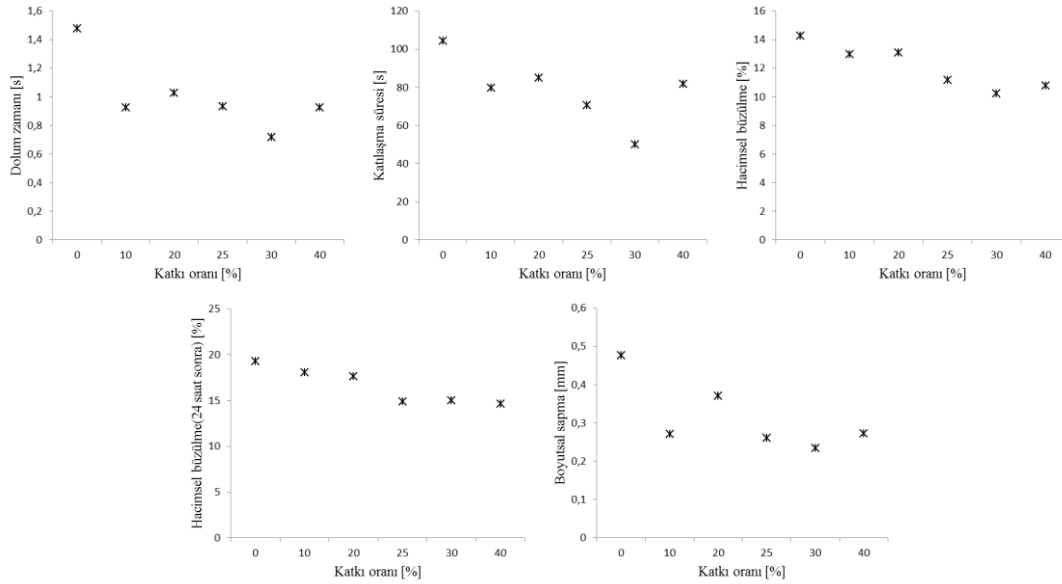


**Şekil 10:** Hostacom PPU 2090L malzeme kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, erimiş polimer sıcaklığıyla değişiminin grafik yöntemle incelenmesi

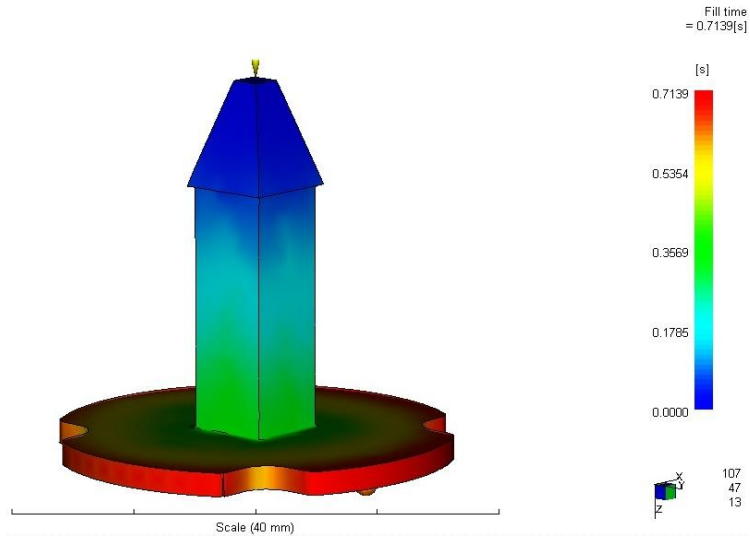
**Tablo 7:** Talk Pudra takviyeli PP malzemeler için yapılan akış ve çarpılma analizinin sayısal sonuçları.

Katkı oranı (Ağırlıkça) [%]	Kalıp yüzey sıcaklığı [°C]	Eriyik sıcaklığı [°C]	Dolum zamanı [s]	Katılma süresi [s]	Hacimsel büzülme (Kalıptan çıktığı an) [%]	Hacimsel büzülme (24 saat sonra) [%]	En büyük boyutsal sapma (Her yönde) [mm]	TİCARİ ADI
0	*55	*230	1,481	104,4	14,27	19,31	0,4763	Hostacom PPU 2090L
10	*40	*245	0,9276	79,67	13	18,11	0,2718	Hostacom XM1 W04 101201
20	*60	*240	1,029	85,17	13,1	17,64	0,3713	Hostacom XM2V05
25	*60	*240	0,9349	70,67	11,17	14,94	0,2604	Hostacom XM3T08
30	*40	*220	0,7206	50,16	10,26	15,04	0,2347	Hostacom XM3 T14 100051
40	*55	*230	0,9261	81,92	10,8	14,66	0,2723	Hostacom M4 U04

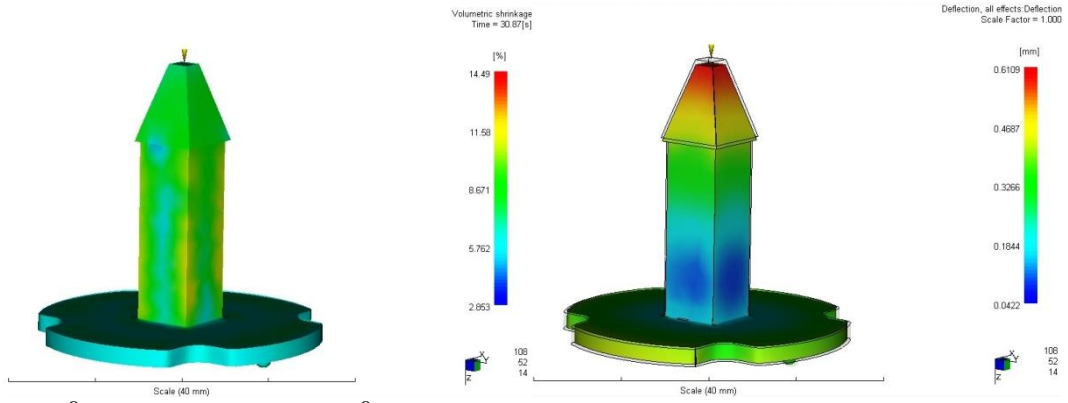
\*Üretici firma tarafından tavsiye edilen enjeksiyon parametrelerinde test yapılmıştır.

**Şekil 11:** Talk pudra takviyeli PP malzemeler için katkı oranıyla Dolum zamanı, Katılma süresi, Hacimsel büzülme ve En büyük boyutsal sapma parametrelerinin değişimi

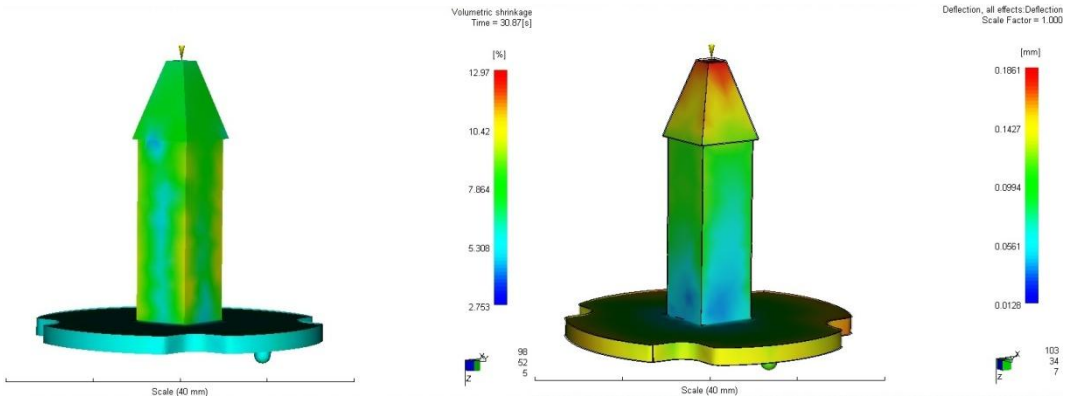
Yapılan simülasyon çalışmasında dolum analizi her iki tür plastik içinde yapılmıştır. Şekil 12'de PA 6.6 malzeme için (takviyesiz) dolum analizi sonuçları görsel olarak verilmiştir. Şekil 13 ve 14'te PA 66 malzeme için yapılan akış ve çarpılma analizinin görsel sonucu olarak hacimsel büzülme ve boyutsal sapma değerleri hem takviyesiz hem de % 25 takviye içeren plastik için verilmiştir. Şekil 15'te ise Talk takviye oranına göre parçadaki (PP) hacimsel büzülme artan takviye oranıyla azaldığı görsel olarak ifade edilmektedir.



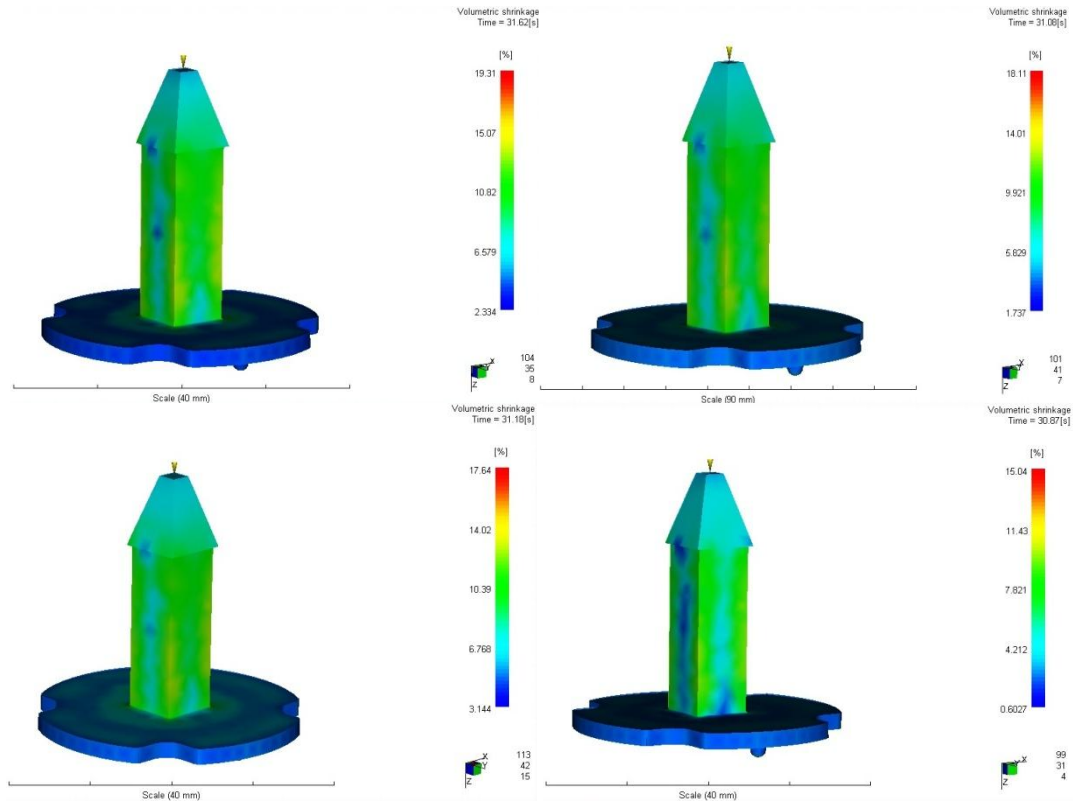
Şekil 12: 65 °C kalıp sıcaklığı, 285 °C ergiyik sıcaklığında parçanın (PA 6.6) dolum analizi



Şekil 13: 65 °C kalıp sıcaklığı, 285 °C eriyik sıcaklığında parçadaki (PA 6.6) hacimsel büzülmeler, boyutsal sapmalar(soldan sağa)



Şekil 14: %25 cam elyaf takviyeli(Technyl A 216 V25 Natural (REP tested)) parçadaki hacimsel büzülmeler ve boyutsal sapmalar(soldan sağa)



**Şekil 15:** Talk takviye oranına göre parçadaki (PP) hacimsel büzülme, (soldan sağa) Hostacom PPU 2090L-takviye elemanı içermeyen, Hostacom XM1 W04 101201-%10, Hostacom XM2V05-%20, Hostacom XM3 T14 100051-%30

#### 4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle Polipropilen(PP) ve Poliamit(PA) 6.6 kullanılarak üretilmiş bir parçanın boyutsal kararlılığının, kalıp yüzey sıcaklığı, ergimiş polimer sıcaklığı gibi parametrelerin değişiminden nasıl etkilendiği Moldflow Plastics Insight yazılımı ile araştırılmıştır. Buna ek olarak, farklı takviye elemanları(cam elyaf, talk pudrası) ilavesinin boyutsal kararlılık üzerine etkisi de araştırılmıştır. PA 6.6 malzeme kullanılarak yapılan gerçekleştirme çalışmasında, kalıp yüzey sıcaklığı 80 °C' den 35 °C' ye, düşürülmüştür. Buna karşın her iki hacimsel büzülme değeri azalma eğilimi göstermiş fakat büyük bir değişim görülmemiştir. Ancak en büyük boyutsal sapma değeri 0,6279 mm'den 0,5822 mm'ye gerilemiştir. PP malzeme için ise kalıp yüzey sıcaklığı 75 °C' den 25 °C' ye kadar kademeli olarak düşürülüp yapılan analizlerde; hacimsel büzülme değerlerinin kayda değer bir değişim göstermediği ancak en büyük boyutsal sapma değerinin 0,4984 mm'den 0,4575 mm'ye gerilediği görülmüştür. Polimer eriyik sıcaklığının düşürülmesiyle, her iki malzeme için parçanın boyutsal kararlılığını arttıran yönde hacimsel büzülme ve boyutsal sapmanın azaldığı görülmüştür. Yapılan analizlerde; takviye malzemesi içermeyen ve ağırlıkça %25, %30, %35, %40, %50 cam elyaf içeren PA 6.6. kullanılmıştır. Takviye oranının artışına bağlı olarak büzülme değerlerinin belirgin oranlarda düştüğü görülmektedir. Buna ek olarak en büyük boyutsal sapma değeri de artan takviye oranıyla kayda değer oranda azalmıştır. Aynı eğilim, PP'nin takviyesiz ve ağırlıkça %10, %20, %25, %30, %40 talc (pudra) takviyeli seleflerinde de görülmüştür. Parçada oluşan boyutsal sapmanın yani çarpılmanın en büyük nedeni parçanın farklı kalınlıklara sahip olmasıdır. Farklı kalınlıktaki bölgelerde soğuma hızları da farklı olacağından oluşan iç gerilmeler boyutsal sapmayı tetiklemektedir. Yapılan bu çalışmada kalıp yüzey sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı gibi proses parametrelerinin hacimsel büzülme ve çarpılmayı azaltıcı yönde değiştirilebileceği MPI yazılımı yardımıyla tespit edilmiştir. Ancak veriler göstermektedir ki, takviye elemanı veya katkı malzemeleri ilavesiyle boyutsal kararlılık daha etkin bir şekilde sağlanabilmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Zhou, H., Wang, Z., Li, J., Li, D., (2011), A Surface Model-Based Simulation for Warpage of Injection-Molded Parts, *Polymer Engineering And Science*, 51(4), 785–794.
2. Zhao, P., Yang, D., (2011), Fast Optimization of Injection Velocity Profile Based on Graph Theory, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(6), 581-587.
3. Zhou, H., Xi, G., Liu, F., (2008), Residual Stress Simulation of Injection Molding, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 17(3), 422-427.
4. Sahu, R., Yao, D., Kim, B., (1999), Simulation of Filling Pattern of Multicomponent Injection Molding, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 38(2), 241-254.
5. Lucyshyn, T., Knapp, G., Kipperer, M., Holzer, C., (2012), Determination of the Transition Temperature at Different Cooling Rates and Its Influence on Prediction of Shrinkage and Warpage in Injection Molding Simulation, *Journal of Applied Polymer Science*, 123, 1162-1168.
6. Zhou, H., Yan, B., Zhang, Y., (2008), 3D filling simulation of injection molding based on the PG method, *Journal of Materials Processing Technology*, 204, 475-480
7. Koszkul, J., Nabialek, J., (2004), Viscosity models in simulation of the filling stage of the injection molding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 157, 183–187.
8. Shelesh, K., Siores, E., (1997), An Intelligent System for Plastic Injection Molding Process Design, *Journal of Materials Processing Technology*, 63, 458-462.
9. Fischer, J.M., (2003). *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*, Plastics Design Library / William Andrew, Inc., U.S.A.
10. Osswald, T.A., (1998). *Polymer Processing Fundamentals*, Hanser/Gardner, Munich.
11. Peters, S.T., (1998). *Handbook of Composites*, Chapman & Hall, London.
12. Rao, N., O'Brien K., (1998). *Design Data for Plastics Engineers*, Hanser/Gardner, Cincinnati.