

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLAMA İLE BİR BARDAĞIN DOLUM ANALİZİ

Melik Ziya YAKUT *

Özet

Plastik ürünlerin üretilmeden önce analizinin yapılarak değerlendirilmesi üreticiler için pek çok kazanç sağlamaktadır. Bu çalışmada da günlük hayatta sıklıkla kullanılan plastik bir bardağın baskı analizi bilgisayar destekli programla (Autodesk Moldflow) yapılmıştır. Analiz için 16oz büyüklüğündeki bir bardak çizilmiştir. Enjeksiyon makinasının değerleri ve PoliStiren(PS) malzemeyle bardağın kalıp içerisindeki dolumu analiz edilmiştir. Analiz sonucunda tam dolum olup olmadığı, baskı süresi, sıcaklık, basınç ve yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyonla Kalıplama Üretimi, Bilgisayar Destekli Mühendislik Programı, Plastik Akış, Dolum Analizi

A CUP FILLING ANALYSIS WITH PLASTIC INJECTION MOLDING

Abstract

Analysis of plastic products provides many gains for manufacturers before the production and assessment. In this study, a plastic cup which commonly used in daily life was analyzed with Computer Aided Engineering (CAE) program (Autodesk Moldflow). 16 oz sized a cup was drawn for analysis. The properties of Injection Molding Machine and PolyStyrene (PS) filling the material within the mold cup were analyzed. As a result of analysis as to whether the full filling, injection time, temperature, pressure and density values were obtained.

Keywords: Injection Molding Manufacturing, Computer Aided Engineering Program, Plastic Flow, Filling Analysis

1. Giriş

Plastikler günlük yaşamın birçok alanında giderek daha büyük oranda kullanılmaktadır. Kullanım kolaylığı, ucuzluk, dayanıklılık, kolay işlenebilirlik vb. özelliklerinden dolayı kâğıt, karton, cam, demir, pamuk, keten vb. hammaddelerden üretilen ürünlerin yerini almaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Özellikle gıda ve ambalaj sektöründe daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

Enjeksiyon kalıplama hatalarını önlemek için enjeksiyonla kalıplama sırasında ideal çalışma şartlarının olması gereklidir. Enjeksiyon prosesini ve üretilen parça kalitesini etkileyen pek çok parametre vardır. Plastik enjeksiyon kalıplamada dolum süreci analiz edilerek en iyi ürün ve en düşük çevrim zamanları elde edebilmek mümkündür.

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma Uygulama Merkezi, ISPARTA

E-posta: ziyayakut@sdu.edu.tr

Ürün tasarımı, kullanılan malzeme ve enjeksiyon işlem şartları bir plastik ürünün kalitesini etkileyen en önemli unsurlardır. Bu unsurlar, bir plastik üründe meydana gelebilecek problemlerin incelenmesinde oldukça etkilidir (Öktem ve Erzincanlı, 2012). Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) programı, ürün tasarım sürecindeyken, baştan çok kısa zamanda değişik seçeneklerin avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırarak daha az maliyetle daha kaliteli ürünlerin tasarlanmasını ve gerekli iyileştirmelerin yapılmasını sağlamaktadır. Autodesk Moldflow programı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz yapmaktadır. Analizin yapılabilmesi için öncelikle bir CAD programı kullanılarak ürünün tasarımı bilgisayara aktarılmalıdır.

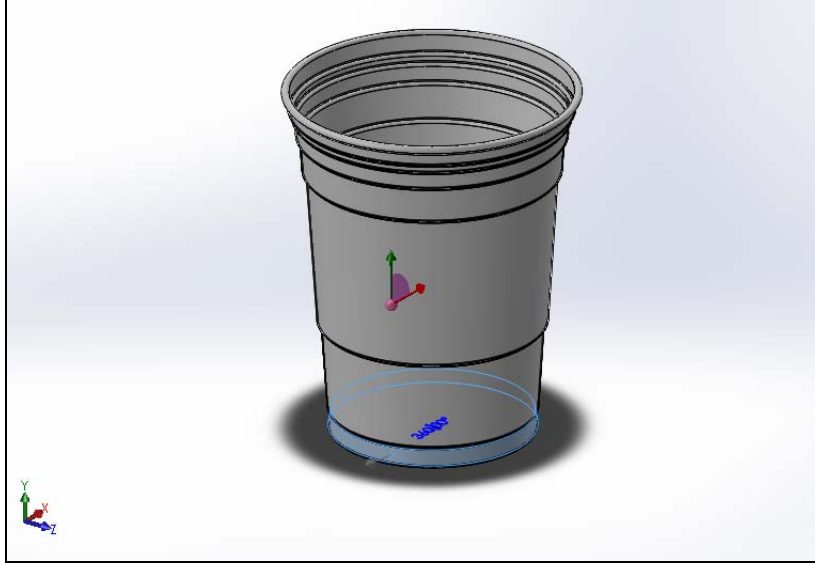
Bilgisayar desteği kullanılarak kalıp tasarımı da yapılabilmektedir. Kalıplama işlemi birçok parametre ve değişkene bağlıdır. Bu parametreler kullanılarak tasarlanmış model yardımıyla kalıp birimleri oluşturulur. Kalıp bölümleri katı modelleme veya yüzey modelleme metotları ile oluşturulur. Karmaşık yapıdaki ürünler ancak yüzey modelleme sayesinde elde edilebilmektedir. Kalıp, programların montaj modüllerinde birleştirilir. Son olarak ise gerekli birimler için G-kodları (Bilgisayarlı imalat kodları) yazılarak imalat işlemi tamamlanır. Kalıp, çok karmaşık ve hassas bir sistem olduğu için imalatı ve birleştirilmesinin maliyeti yüksektir. Kalıp üretildikten sonra geriye dönüş söz konusu değildir. Hatalı yapılan bir kalıbın tekrar işlenmesi durumunda bu süreçten verim alınamaz. (Yılmazçoban, 2003)

Enjeksiyon işlemi sırasında karşılaşılabilecek problemlerin büyük bir çoğunluğu genelde proses esnasında çözülebilecek küçük değişikliklerle giderilebilir. Karşılaşılan problemi çözmek için probleme doğru yaklaşılmalıdır. Üretilen parça istenildiği gibi değilse problem, malzeme, kalıp, proses tekniği yani çalışma şartları veya makine dörtlüsünden birine ya da birkaçına birden müdahale edilerek çözülür. Bir parçada problem; proses öncesinde (malzeme tedariki ve depolama), proses sırasında (çevrim sırasındaki çalışma şartları) ya da proses sonrasında (parçalara son işlem uygulanması, paketleme) meydana gelir. Proses öncesinde ya da sonrasında meydana gelen problemler genelde “malzeme kirlenmesi, renklendirme, tozlanma, nem alma” gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu tür problemlerin çözümleri genelde açık ve kolaydır ama proses sırasında meydana gelen problemler daha karmaşıktır ve dikkat isterler. Bu problemler de makine, kalıp, çalışma şartları, malzeme ve parça tasarımı ile ilgili olmaktadır. (Akyürek, 2009)

Kalıplanmış parçaların mekanik ve fiziksel özellikleri parçanın imal edildiği plastik malzemenin kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden kullanılacak alana göre en uygun ürün malzemesinin seçimi yapılmalıdır. Günümüzde 20.000 civarında enjeksiyona uygun plastik malzeme çeşidi olduğu tahmin edilmektedir ve bu sayının her geçen gün değişen ihtiyaçlara göre arttığı bilinmektedir. (İçten, 2004)

1. MATERYAL ve METOT

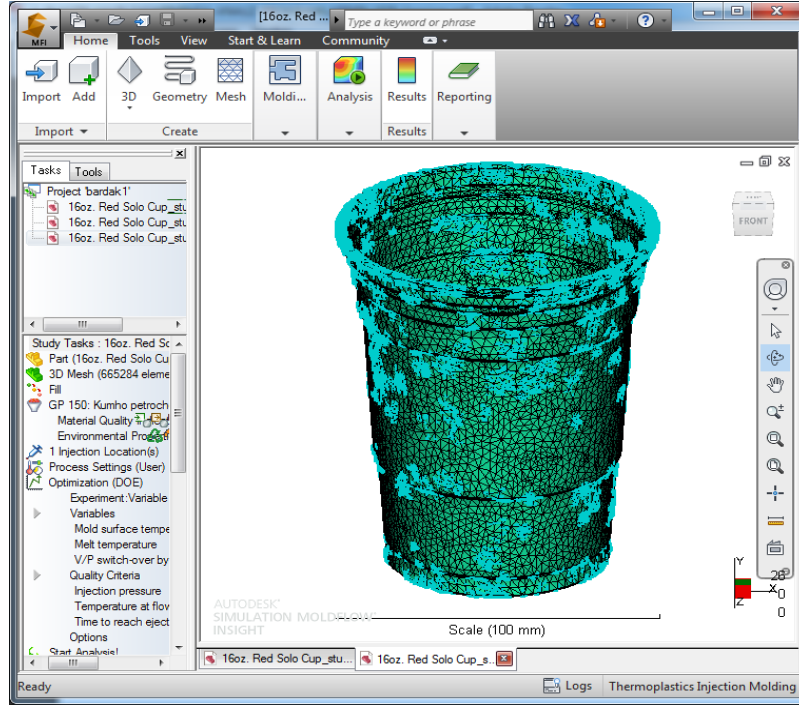
Ürün analizi için öncelikle kalıplanacak ürünün tasarımı AutoCAD programı kullanarak DWG uzantılı olarak çizilerek, bilgisayara aktarılır. Ürünün boyutları piyasada sıklıkla kullanılan 16 oz hacmindeki bardaktan ölçülerek Şekil 1’deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 1. Bardağın CAD programındaki tasarımı

Çizilen bardak daha sonra analiz yapılması için CAE programı olan Autodesk Moldflow plastik ürün baskı analizi programına aktarılmıştır. Cebirsel olarak kolaylıkla çözülemeyen karmaşık geometrilere sahip bölgelerde, çözüm ağı uygulanıp oluşan hücreler matematiksel olarak ifade edilirler. Ortaya çıkan matematiksel ifade de diferansiyel denklem takımı ve sınır şartları da bulunmaktadır. Bu diferansiyel ifadelerin çözümlenmesi için ayrıklaştırılma işlemi uygulanır. Ayrıklaştırma işlemi için Autodesk Moldflow programı Sonlu Elemanlar yöntemi kullanarak çözümü sağlamaktadır.

Analiz öncesi hazırlanan geometrik modelin üç boyutlu olarak çözümlenebilmesi için elemanlara ayrılmıştır. Bu işleme örgü ağı oluşturma (mesh) denir. Hazırlanan örgü ağı ile ürün geometrisi Şekil 2'deki gibi 120.008 düğüm noktasına ve 665.284 tetral parçaya bölünmüştür. Bu işlem, analiz programınca kontrol edilerek seçilen parça şekline göre otomatik yapılmaktadır. Otomatik örgü ağı işlemi uygulandığında sistem analizi için en ideal parça sayısını oluşturan bir matematiksel algoritma ile çalışmaktadır. Ayrıca hazırlanan örgü ağında sorunlu parça oluşmaması için ayrıca analiz ettirilerek kontrol edilmiştir.

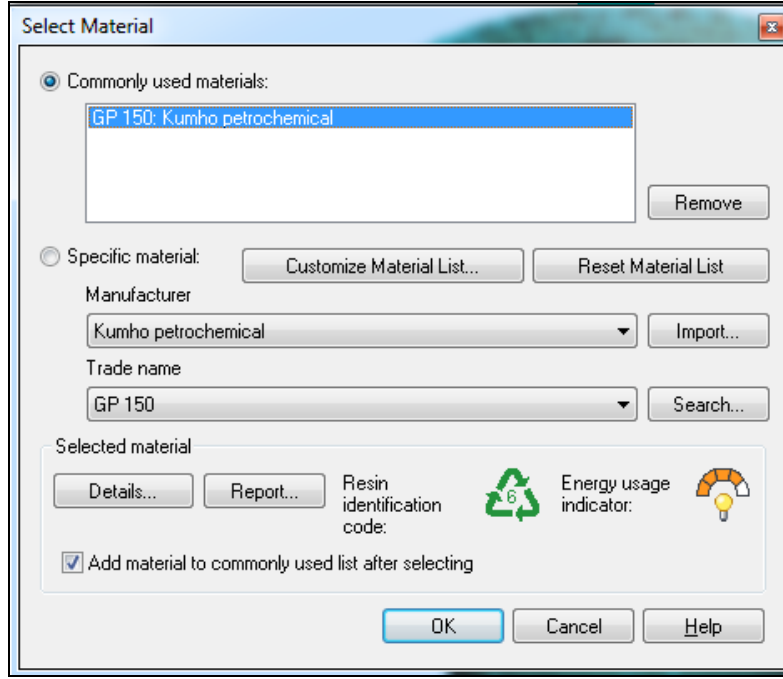


Şekil 2. Bardağın Örgü Ağının Oluşturulması

Hazırlanan üç boyutlu örgü ağından sonra malzeme seçimi yapılmıştır. Malzeme olarak geri dönüşümü kolay olacak ve gıda sektöründe kullanılacağı için daha güvenilir olan PS (PoliStiren) termoplastik malzeme tercih edilmiştir.

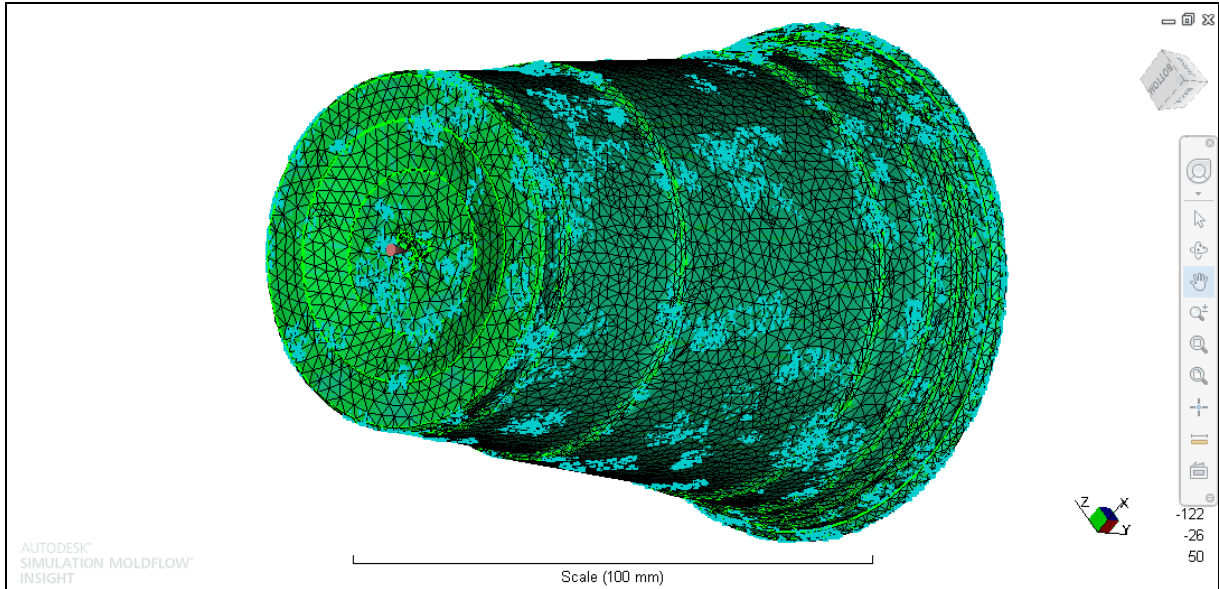
Termoplastik malzemeler, molekül benzeri uzun zincirli yapılar birbirlerine göreceli olarak zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Malzeme ısıtıldığında moleküller arasındaki bu zayıf kuvvetler kalkmakta ve yumuşak, esnek bir yapı oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda sıvılaşabilmektedir. Malzeme soğumaya terk edildiğinde ise tekrardan katılaşmaktadır. Bu ısıtarak yumuşatma ve soğutarak sertleştirme çevrimi pek çok defa tekrar edilebilmektedir. Bu özelliği nedeniyle plastik endüstrisinde günümüzde kullanılan tüm plastiklerin içinde %90'lık bir kullanım oranına sahiptirler (İçten, 2004).

Polistiren malzeme olarak, Şekil 3'teki gibi Autodesk Moldflow programının veri tabanında bulunan, Kumho Petrochemical firmasının GP150 modeli tercih edilmiştir.



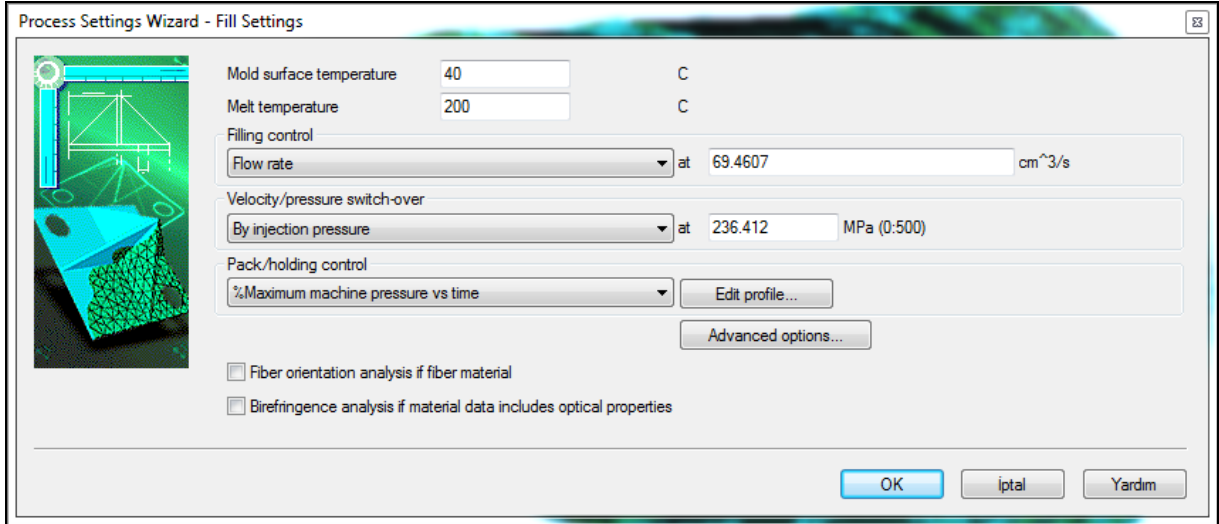
Şekil 3. Ürün için Malzeme Seçim Menüsü

Malzeme türü belirlendikten sonra ürünün hangi noktasından eriyik plastiğin enjekte edileceği Şekil 4'teki gibi belirlenir. Bu bardakta enjeksiyon alt orta kısmından olacağı belirlenmiştir. Eğer analiz sonucunda tam dolum olmaması halinde birden çok enjeksiyon noktası ya da farklı bir enjeksiyon noktası da belirlenebilir.



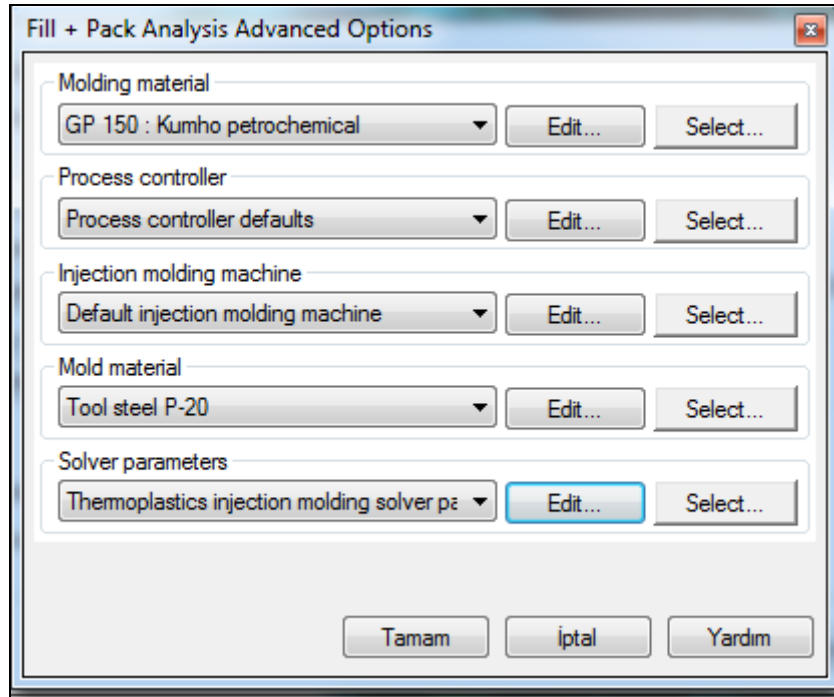
Şekil 4. Enjeksiyon noktasının belirlenmesi

Daha sonra analiz başlangıç değerleri, Şekil 5'teki menüden girilir. Burada malzemenin eriyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı malzemeye özel olarak belirlenen değerler baz alınarak verilmiştir. Enjeksiyon makinasının debisi ve maksimum enjeksiyon basıncı değerleri, mevcut makinanın özellikleri girilerek verilmiştir.



Şekil 5. Analiz Başlangıç Değerlerinin Girildiği Menü

İleri seçenek menüsünden de enjeksiyon makinasının vida çapı, atalet kuvveti etkisi ve yerçekimi etkisi değerleri Şekil 6'daki menüden girilmiştir. Yine analizde kullanılacak iterasyon sayısı ve yakınsama hassasiyeti de seçilir. Bu menüdeki seçeneklerin etkileri oldukça yüksektir.



Şekil 6. İleri Seçenek Menüsü

Böylece analiz yapılmaya hazır hale gelmiştir.

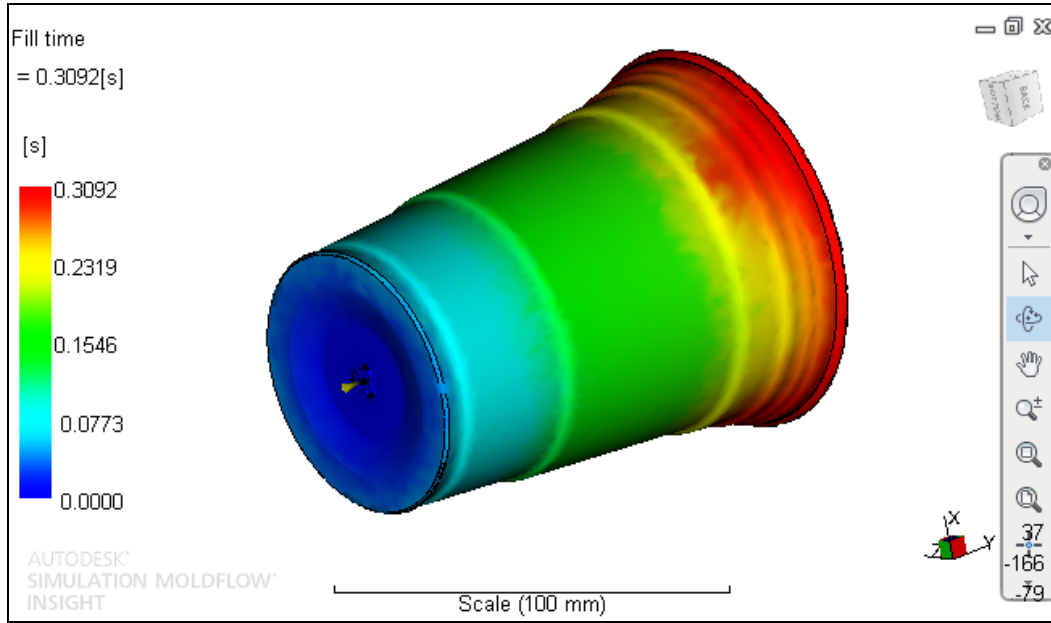
2. BULGU

Analiz sonucunda kalıp içi ürünün zamana bağlı dolum değerleri aşağıdaki Tablo 1’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 1. Zamana Bağlı Dolum Oranı ve Basıncı

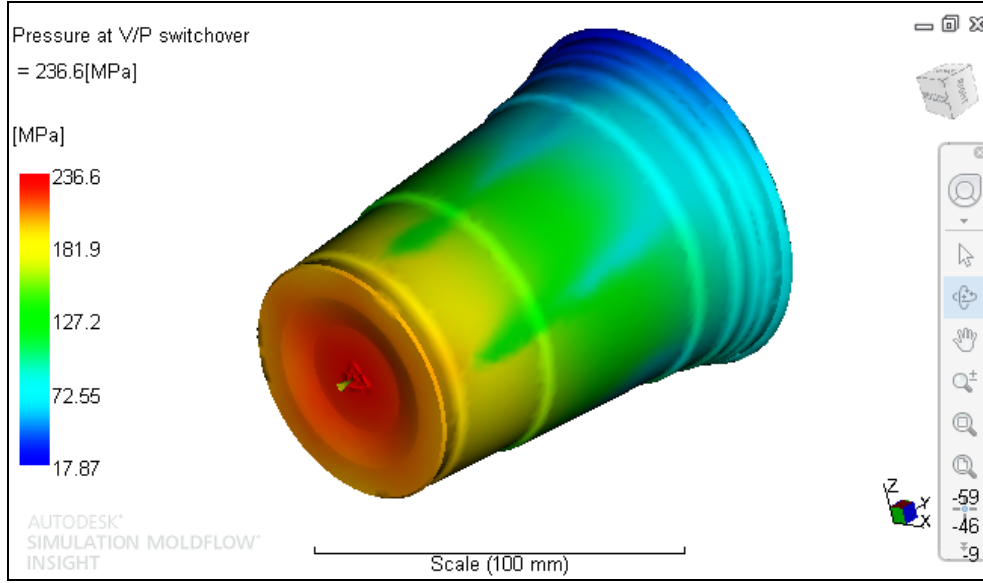
Enjeksiyon Süresi (s)	Dolma Oranı (%)	Enjeksiyon Basıncı (MPa)
0.000	0.002	6.496e-02
0.001	0.157	4.326e+00
0.050	11.911	5.071e+01
0.100	28.718	8.370e+01
0.150	38.422	1.089e+02
0.200	67.516	1.637e+02
0.250	77.334	1.910e+02
0.300	89.506	2.142e+02
0.309	100.000	2.364e+02

Dolum tam anlamıyla gerçekleşmiş olup, Şekil 7’deki gibi toplam 0.309 saniyede tamamlanmıştır.



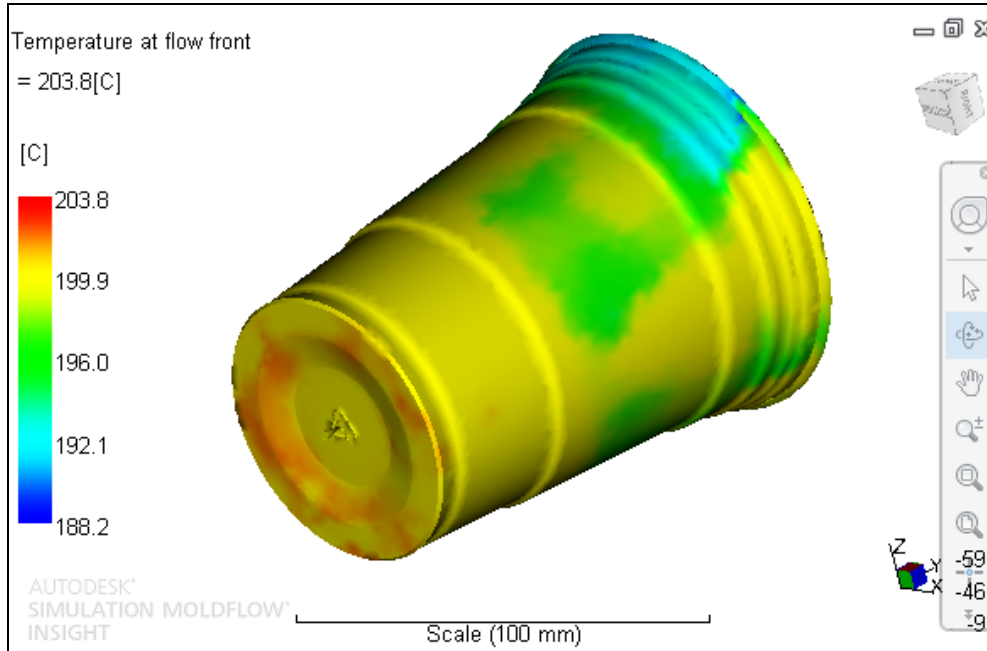
Şekil 7. Ürünün Zamana Bağlı Olarak Dolum Süresi

Bardak maksimum basınca yakın bir değerde ancak dolabilmektedir. Analizde yerçekimi etkileri, atalet kuvveti etkileri, yüzeyler arası farklılıklar Şekil 8’de görülmektedir. Ayrıca basıncın enjeksiyon noktasından uzaklaşıp uçlara doğru azalarak devam ettiği de Şekil 8’de görülmektedir. Basıncın azalarak uçlarda görülmesi baskının basınç analizinin tutarlı olduğunu göstermektedir.



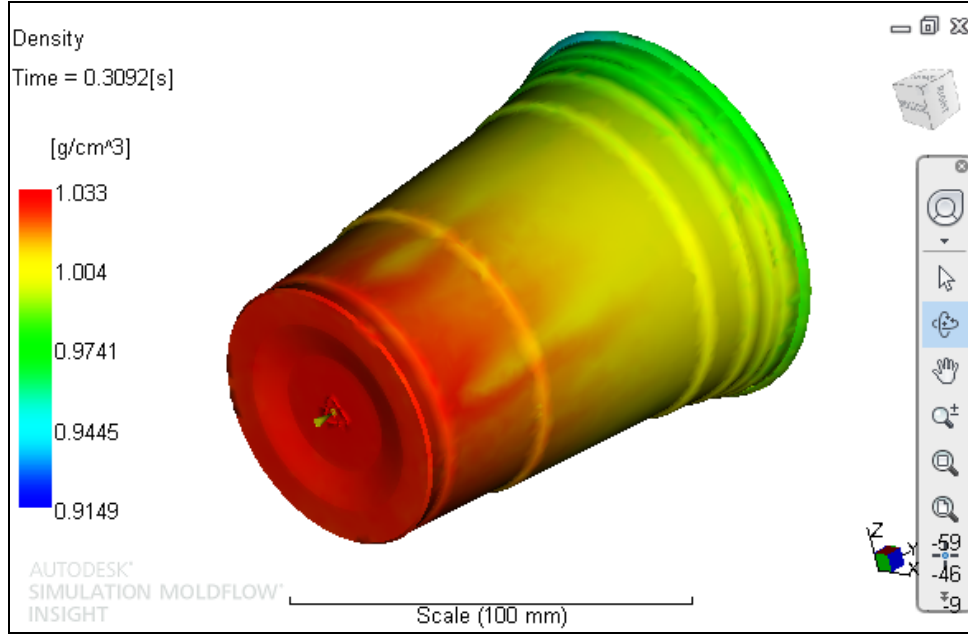
Şekil 8. Ürünün Üzerindeki Basınç Dağılımı

Sıcaklığın ürünün kalıbına girişindeki soğutulmaya tabi tutulmadan önceki hali Şekil 9’da sunulmaktadır. Yaklaşık 200 °C kadar plastik akışkanla kalıp dolmaktadır. Burada sıcaklık farkının düşük kalması gerekmektedir. Aksi takdirde çıkan üründe çarpılma sorunu oluşabilmektedir. Çarpılma sorunu, ürün üzerindeki yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının 5°C dereceden çok olduğu bölgelerde form bozukluğu oluşabilmektedir. Şekil 9’da görüldüğü gibi bardağın uç kısımlarındaki mavi renkli bölgelerde oluşma ihtimali büyüktür.



Şekil 9. Ürünün Soğutulmadan Önceki Yüzey Sıcaklığı

Bardağın ucundaki bazı bölgelerde çeşitli form uygulanan soğutma ile yüzey sıcaklığı 40 °C kadar düşeceği kabul edilerek analiz sağlanmıştır. Ürünün son olarak yoğunluk analizi Şekil 10’daki gibi incelenecek olursa,



Şekil 10. Yoğunluk Analizi Sonucu

bardağın uç kısımlarının yoğunluğunun az olduğunun bununda kırılma ve bükülmede zayıf bölgelerin burası olabileceği hakkında fikir vermektedir.

3. SONUÇ ve ÖNERİ

Sonuç olarak, enjeksiyonla kalıplama işleminde parçanın düzgün üretilmesi, üretim zamanını ciddi anlamda düşürmekte ve hatalı ürün çıktısını da azaltmaktadır. Böylece maliyetlerde de büyük hafifleme etkisi olduğu için analiz yapmak neredeyse bir zorunluluktur. Analizler sayesinde ürün çıktısının kalitesi de artmaktadır.

Analiz edilen bardak ürününde enjeksiyon basıncının maksimum basınca yakın olarak çıkması ve ürünün çok kısa sürede tam anlamıyla dolabildiğinin ortaya çıkması ürünün üretilebilirliğine pozitif katkı sağlamıştır. Aksi takdirde malzemenin türü veya giriş parametrelerinin tekrar gözden geçirilerek değişimi gerekebilir. Analiz sonucunun daha kötü olduğu durumlarda ise ürün geometrisinin değişimi gibi kapsamlı çalışmalara da varılabilir.

Analizde enjeksiyon noktasının en uzağındaki bölgelerde yani bardağın ağız kısımlarında sıcaklık, basınç ve yoğunluk etkilerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden çarpılma ve deformasyon oluşumunun bu bölgelerde görülebilme olasılığı yüksek bulunmaktadır. Ürün çıktısı alınmadan önce başta soğutma sistemi olmak üzere eriyik malzemenin giriş sıcaklığı gibi parametreler dikkatle tekrar incelenmelidir.

Sistemin, ayrıca optimizasyon yöntemleriyle incelenmesi yerinde olacaktır. Optimizasyon çalışması için de güçlü bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Optimizasyon sonuçları ile mevcut geometrinin enjeksiyon makinasının ayarları değiştirilerek nasıl daha uygun sonuçlar elde edilebileceği görülebilir.

KAYNAKLAR

Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., (1997). Plastikler, Ankara, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, 46.

Yılmazçoban, İ. K., (2003). “Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Bilgisayar Destekli Malzeme Akış Analizleri Ve Kavite Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi F. B. E., Sakarya.

İçten, B., (2004). “Plastik Enjeksiyonda Basınç, Sıcaklık, Zaman, Hız Gibi Faktörlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi F. B. E., İstanbul.

Akyürek, A., 2009, Plastik Enjeksiyon Süreci Optimizasyonunda Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Öktem, H., Erzincanlı, F., (2012). “Bir Dvd-Rom Ön Kapağının Plastik Enjeksiyonla Basılması Sonucunda Oluşan Çekmeye Etki Eden En Uygun İşlem Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi”, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi Balıkesir, 431-441.