

## Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Soğutma Sistemi Analizi

Selin TUNA<sup>1</sup>, Elif ÖĞÜT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kalkancı Pres ve Döküm A.Ş. Tuzla, İstanbul

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık MYO, Makine ve Metal Tek. Bölümü, Kocaeli

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0230-2056>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5647-4040>

\*Sorumlu yazar: elif.ogut@kocaeli.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.08.2022

Kabul tarihi: 09.09.2023

Online Yayınlanma: 22.01.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı

Ürün tasarımı ve analizi

Soğutma sistemi analizi

Basınç düşüşü

Yüzey sıcaklık değişimi

### ÖZ

Plastik malzeme, otomotivden beyaz eşyaya, kırtasiye malzemelerinden oyuncaklara, mutfak eşyalarından ofis malzemelerine kadar her sektörde yerini almıştır. Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik parça üretiminde en çok kullanılan imalat yöntemidir. Üretimi talep edilen plastik malzemeler için, plastik enjeksiyon kalıpları tasarlanmaktadır. Bu kalıplar tasarlanırken, ilk aşamada ürün tasarımı göz önüne alınır. Üretime uygun, kısa sürede ve kaliteli bir imalat yapmak için en önemli faktör tasarlanan ürünün, üretilebilir olmasıdır. Bu çalışmada plastik bir kırtasiye-oyuncak sektörü diyebileceğimiz bir sulu boya paletinin ürün tasarımı ve kalıp tasarımı aşama aşama incelenecektir. Ürün, kalıplamaya uygun hale getirilip, kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı biten ürün, daha üretimi yapılmadan yolluk ve soğutma sistemlerinde karşımıza çıkabilecek olası hataları gözlemlenmiştir. Yapılan analize göre yolluk giriş yerinin en iyi ürün merkezinden olacağı ama maliyeti arttırdığı tespit edilip soğuk yolluk sistemi kullanılarak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Hava birikecek yerler tespit edilmiştir, bu bölgelere hava çıkışını sağlayacak cepler kullanılması önerilmiştir. Soğutma kalitesiyle ilgili yapılan analiz ile ürünün et kalınlığının homojen olduğu ve erken donma ihtimalinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden et kalınlığına müdahale edilmesine gerek görülmemiştir.

## Plastic Injection Mold Design and Its Cooling System Analysis

### Research Article

#### Article History:

Received: 24.08.2022

Accepted: 09.09.2023

Published online: 22.01.2024

#### Keywords:

Plastic injection mold design

Product design and analysis

Cooling system analysis

Pressure drop

Surface temperature change

### ABSTRACT

Plastic material has taken its place in every sector from automotive to white goods, from stationery to toys, from kitchenware to office supplies. Plastic injection method is the most used manufacturing method in the production of plastic parts. Plastic injection molds are designed for the requested plastic materials. While designing these molds, the product design is taken into consideration at the first stage. The most important factor for making a quality production suitable for production in a short time is that the designed product must be producible. In this study, the product design and mold design of a watercolor palette, which we can call a plastic stationery-toy industry, will be examined step by step. The product was made suitable for molding and mold design was carried out. The possible faults that we may encounter in the runner and cooling systems of the product of which design has been completed, have been observed before it is produced. According to the analysis, it has been determined that the best place of runner entrance would be in the center of product, but in this case, it increases the cost, and a design has been carried out using the cold runner system. Places where air

will accumulate have been identified, and it has been suggested to use pockets to provide air outlet to these areas. With the analysis of the cooling quality, it has been determined that when the wall thickness of the product is homogeneous and the possibility of early freezing was low. Therefore, there is no need to interfere with the wall thickness.

---

**To Cite:** Tuna S., Öğüt E. Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Soğutma Sistemi Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(1): 224-246.

## 1. Giriş

Plastikler yaşamımıza yeni giren malzemelerdir. Artık buna rağmen yaşamımızın birçok alanında geniş yelpazede yer kaplamaktadırlar. Gün geçtikçe endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı oldukça artmıştır. Günümüzde havacılık, elektrik-elektronik, kalıpcılık gibi sektörlerde kendine yer edinmiştir. Günlük yaşamda oldukça geniş yer edindiğinden, birçok malzeme plastik olarak üretilmektedir. Plastikler atomların zincir halkaları gibi birbirine bağlanıp, büyük moleküllü sentetik polimer malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Ekici ve ark., 2016). Plastikler hayatımıza girdikçe yeni üretim teknikleri ve yöntemleri gelişmiştir. Bunların en yaygını plastik enjeksiyon ile üretimdir. Bu üretim yöntemlerinin bizi götürmeye çalıştığı nokta, kısa zamanda ve kaliteli malzeme üretimini sağlamaktır. Plastikler birçok özelliği üzerinde barındırmaktadır. Bu özellikleri sayesinde tasarımcılar ve üreticilere merak konusu olmuştur, bu dönem plastik dönemi olarak adlandırılmıştır. Plastik teknolojisi gelişmiştir ve plastikleri araştırmaya yönelim artmıştır.

İlk gelişim döneminde kalıp tasarımları daha ilkel yöntemlerle ve teknik datalar baz alınarak yapılmaktaydı. Gelişen teknolojisi sayesinde computer aided design (CAD) ve computer aided manufacturing (CAM) yazılımları ortaya çıkmıştır. Bu yazılımlarla birlikte tasarım yapmak daha pratik hale gelmiştir. Artık ürün tasarımı, kalıp tasarımı, üretilmesi istenen ürünün programının yapılması, işlenmesi ve sonrasında plastik enjeksiyon yöntemiyle materyalin elde edilmesi önem kazanmıştır. Enjeksiyon parametreleri plastik enjeksiyon esnasında kullanılacak hammadde, parçadan istenen özellikler, parça boyutuna göre önem kazanmaktadır. Bir ürünü üretmek için gerekli tüm prosesler değerlidir. İyi tasarlanmış bir kalıp iyi bir programla ve özenle işlenmelidir. Aynı şekilde kalıp tasarımı ideal olan bir ürüne ait kalıp, doğru parametrelerle ve doğru seçilmiş bir hammadde ile üretilmelidir.

Eğer bir ürün üretecekseniz bunun ilk aşaması tasarımdır. Üretime uygun tasarlanmış bir ürün ve işleme mantığına uygun bir kalıp tasarımı mutlak önemli noktalardandır. Şimdilerde tasarımı daha önce yapılmış parçaların tersine mühendislik yöntemiyle ar-ge çalışmaları yapılabilmektedir.

## 2. Literatür Özeti

Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizine geçmeden önce plastikler, plastiklerin çeşitleri, kullanım alanları ve plastiklerin genel özelliklerini bilmek gerekmektedir. Atomlar zincir halkaları gibi birbirine bağlandığı, büyük moleküllü sentetik olan polimer materyallerdir (Ekici ve ark., 2016). Polimer adı verilen yapılar, mer adı verilen molekül zincirlerinin birleşmesiyle oluşmaktadır. Poli kelimesi ise çok anlamını ihtiva etmektedir. Burada merlerin oluşturduğu zincirlerin yapısı plastiklerin çeşidini belirler. Merler ise

polimerizasyon işlemiyle birleştirilirler. Zincirler arasında zayıf van der Waals bağları vardır ve bağlar ısıtma işlemine tabi tutulduğunda aradaki bağlar kopar, plastik esnekleşmeye ve bir süre sonra akmaya başlar (Koyun, 2005). Yani plastikler çalışma sıcaklığında katı halde bulunurlar, ısı ve basınca maruz bırakılarak şekillendirilebilirler (Şahin, 2018). Plastik malzemelere çeşitli şekillerde ve yapılarda rastlamak mümkündür. Plastik malzemeleri birbiriyle karıştırarak yeni özellikli malzemeler elde etmek mümkündür. Kompozit malzemeler bunlara örnek verilebilir. Metal, seramik gibi malzemeler uzun sürelerdir kullanılıyor olsa da, plastiklerle tanışma daha sonraları gerçekleşmiştir. 40000'e yakın sayıda plastik çeşidi mevcuttur. Isıl özellikleri bakımından plastikleri ikiye ayırmak mümkündür (Ekici ve ark., 2016). Bunlar Termoplastikler ve Termoset plastiklerdir.

Plastiklerin yapısı hakkındaki bu bilgiler plastikle ilgili üretim yapan ve plastik enjeksiyon kalıp tasarımı yapan birçok tasarımcıya yol göstericidir. 1946 yılında Amerikalı mucit J.W. Hendry günümüzdeki makinelerin temelini oluşturan ilk vidalı enjeksiyon makinesini üretmiştir (Tugaytimür, 2016). Topçu (2011) bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı çalışmasını yapmıştır. Çalışmasında endüstriyel bir parçanın üretimini anlatmıştır. Parça modelleyip erkek ve dişi olarak ayırmıştır. Ek olarak çalışmada ısı transfer sistemine değinmiştir. Kafalı (2011) tarafından plastik enjeksiyon kalıp tasarımı çalışması yapılmıştır. Parçaya ait kalıbı modelleyip, üretim öncesi oluşabilecek problemleri görmek adına analizler yapılmıştır. Ceritbinmez (2014) çalışmasında plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ile imalatı yapılan ürünlerde çapaklanma oluşumuna etki eden etmenleri incelemiştir. Kucur (2005) plastik enjeksiyon kalıbı tasarım imalat ve analizi üzerine çalışma yapmıştır. Çamaşır makinelerinde kullanılan deterjan koyma haznesini kalıplayıp, Moldflow programında analizini yapmıştır. Şahin (2018) çalışmasında tersine mühendislik temassız data toplama metodunu kullanarak istediği modelin bilgisayar destekli tasarımını elde etmiştir ve sonra kalıba ait akış analizini eklemiştir.

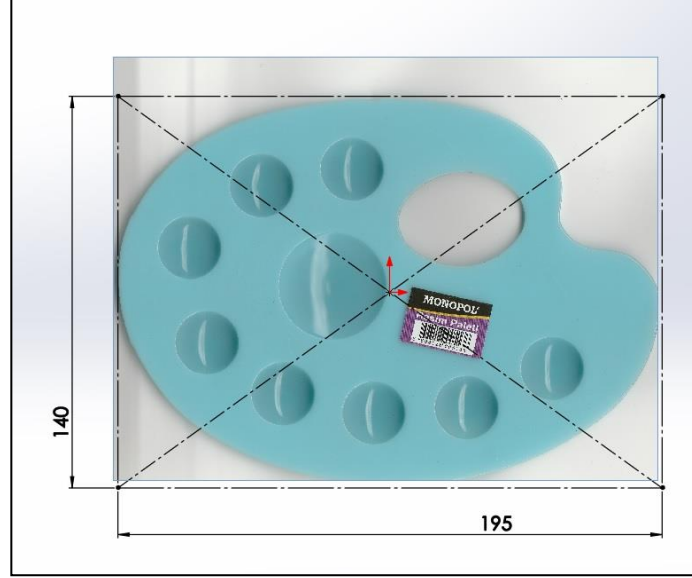
Bu çalışmasının amacı, sıfırdan bir ürün tasarlarlarken ortaya bir bakış açısı koyup, baştan sona bir kalıp tasarımını aşama aşama incelemektir. Bu çalışmada plastik bir kırtasiye-oyuncak sektörü diyebileceğimiz bir sulu boya paletinin ürün tasarımı ve kalıp tasarımı incelenmiştir. Bir kalıp tasarlanırken nasıl başlanır ve üretim sürecine kadar neler üzerinde durulması gerekir sorularına yanıt bulmak hedeflenmiştir. Tüm bunları yaparken, parçaya ait analizler, tasarım ve imalat sürecine geçilmeden önce yol gösterici olmuştur.

### **3. Materyal ve Metot**

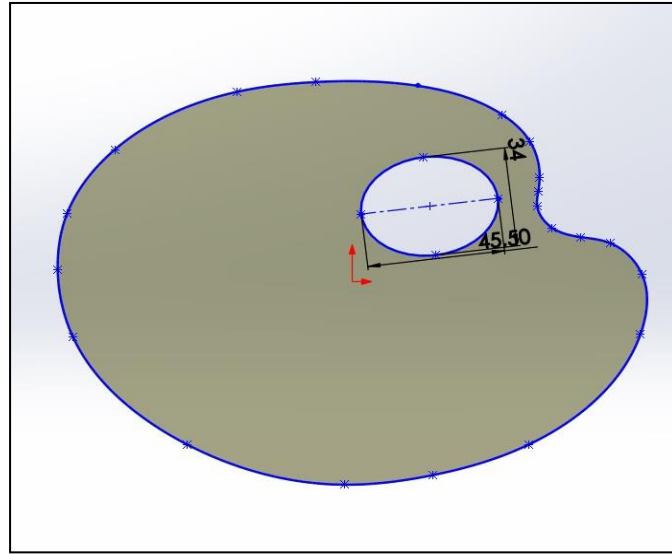
#### *3.1. Bir Ürün Tasarımı Ve Kalıp Tasarımı*

Bu bölümde incelenen ürün tasarımı, baştan sona tasarlanmıştır. İstenilen hedefler doğrultusunda seçilen palet ürün taslağı Şekil 1'de görüldüğü gibidir (Tuna, 2021). Ürünle ilgili gerekli kritik bilgiler edinilmiştir. Ürün fonksiyonu tanımlanmıştır. Ürün sulu boya yapmak için kullanılan bir palettir. Görsel bir parça değildir. Kalıp göz sayısı, yıllık baskı sayısına göre belirlenir. Ayrıca ürün tasarımı gerçekleştirilirken ürün büyüklüğü, maliyet, kalıpcının düşündüğü yolluk, soğutma sistemi gibi faktörler birlikte düşünülerek belirlenmiştir. Palet kalıbı 4 gözlü olarak tasarlanmıştır. Fakat kalıp tasarımından önce ürün tasarımından

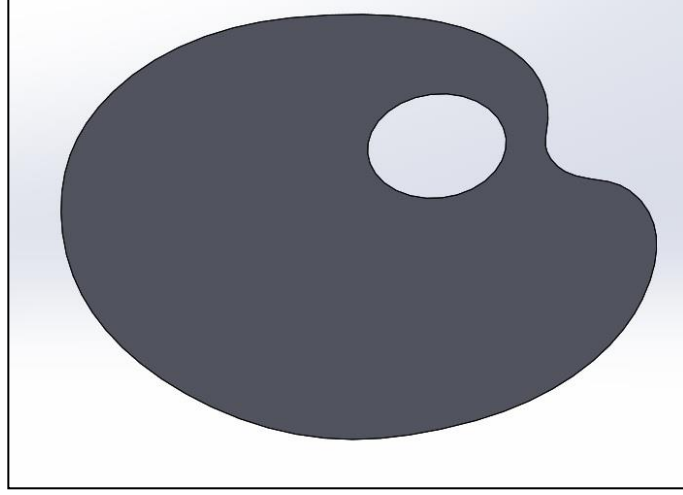
bahsedilecektir. Ürün için bir taslak resim formatında alınıp, Solidworks programı içine aktarılmıştır. Ana taslak oluşturulup, extrude komutuyla katılama yapılmıştır. Palette bulunması gereken sulu boya haznesi çizilmiştir ve katılama işlemi yapılmıştır. Radyüs işlemi uygulanmıştır. Hazne boşaltma işlemi yapılmıştır ve ürün oluşturulmuştur.



Şekil 1. Palet Ürün Taslağı

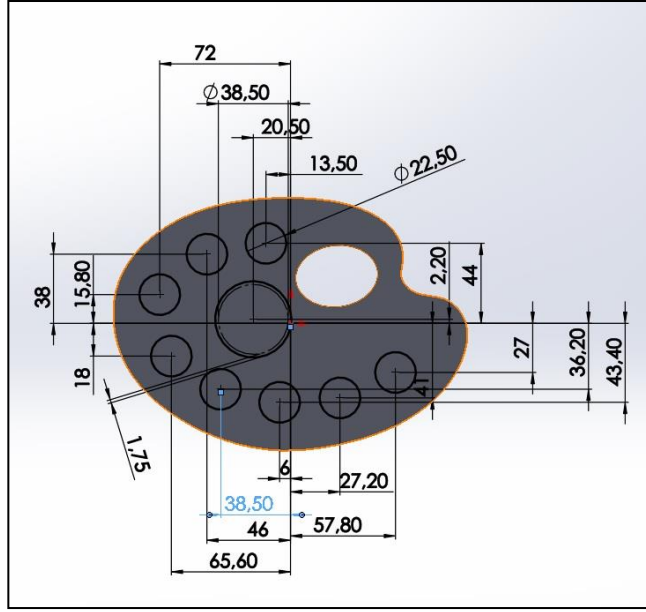


Şekil 2. Palet Çizim Taslağı

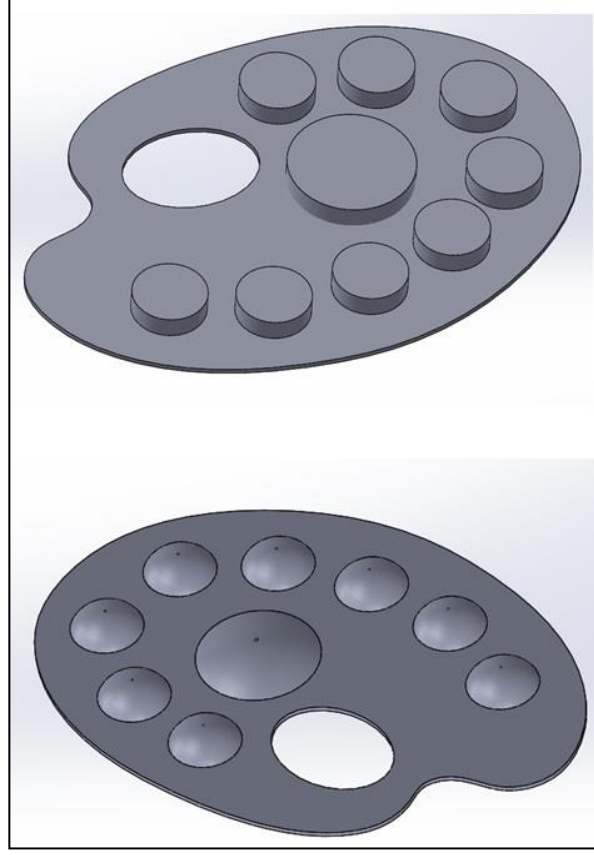


Şekil 3. Ürün Katılama

Palet çizim taslağı Şekil 2’de ve ürün katılama Şekil 3’te verilmiştir. Palet sulu boya haznesi Şekil 4’te görüldüğü gibi çizilmiştir.

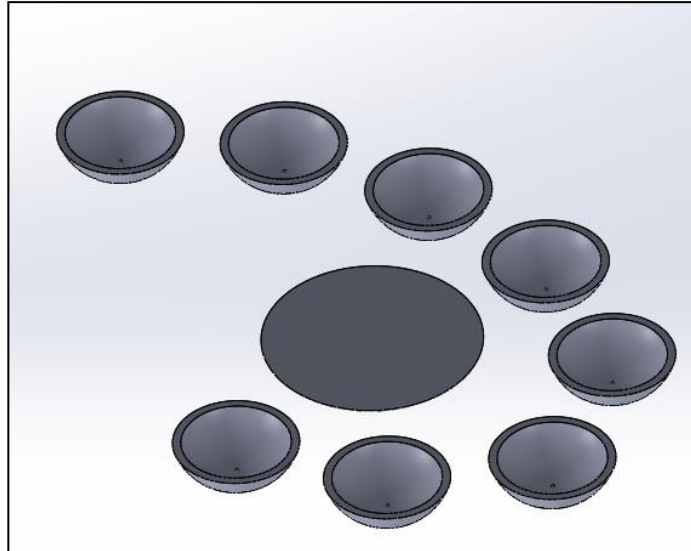


Şekil 4. Palet Sulu Boya Haznesi

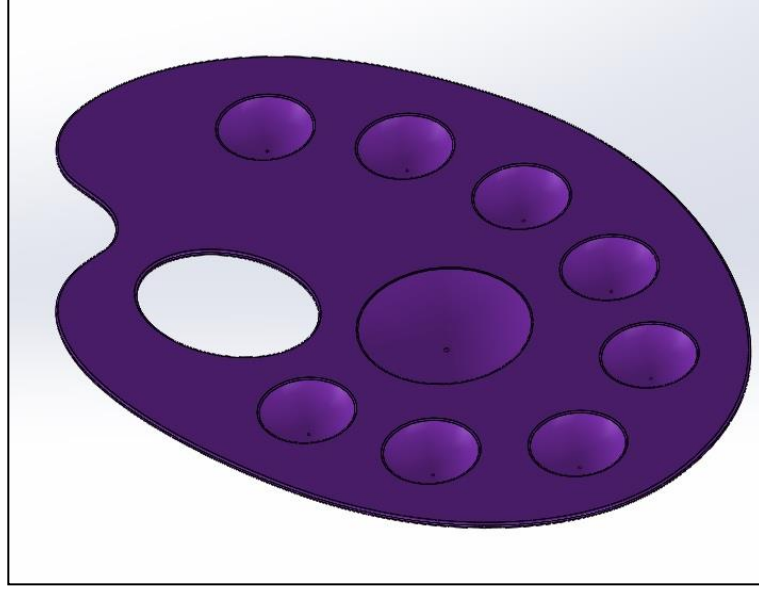


**Şekil 5.** Sulu Boya Haznesi Extrude ve Radyüs İşlemi

Sulu boya extrude ve radyüs işlemi Şekil 5'te gösterilmektedir. Hazne içi boşaltması Şekil 6'daki gibi olup, ürün tasarımının son hali Şekil 7'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Hazne İç Boşaltması



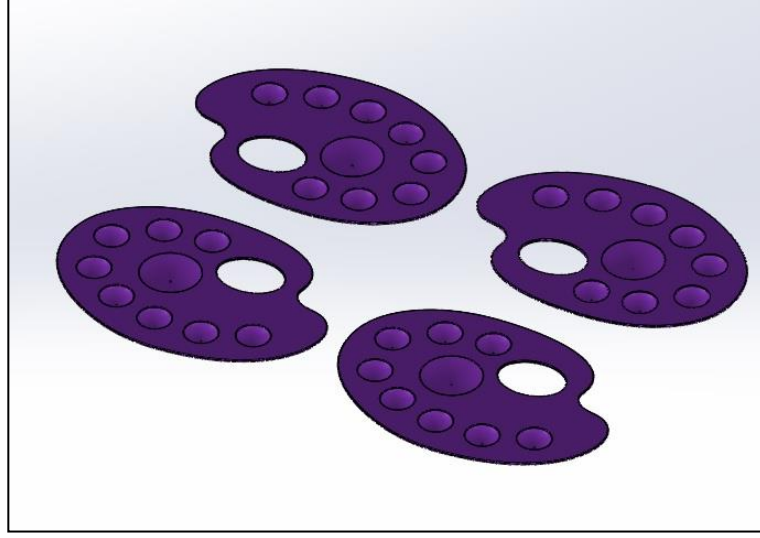
Şekil 7. Ürünün Son Hali

### 3.2. Kalıp Tasarımı

Kalıp tasarımı yapılırken birtakım faktörleri göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Üretilmesi istenen parçanın süresi, parçanın yıllık adedinin yüksek olması, enjeksiyon makinelerinin uygunluğu önemlidir. Bu sayılan faktörler ilk aşamada olmasa da sonra olumsuz olarak geri dönüşü olacaktır. Üretimi engellemeyecek tercihler yaptıktan sonra kalıp göz adedi belirlenir.

Ürün incelenip, kalıp tasarımına uygun olup olmadığına karar verildikten sonra, kalıp tasarım aşamalarına başlanır. Kalıp tasarımının ilk aşamasında, parça üretiminde kullanılacak olan malzemeye göre çekme payı verilir. Oyuncak ve kırtasiye sektöründe çok tercih edilen malzemelerden biri olan polipropilen tercih edilmiştir. Bu malzemenin 0,014-0,025 arasında değişen çekme payı 0,015 seçilmiştir. Parçada kalıpta çıkış açısı verilmesi gereken bölgelere açı verilir. Tasarım üretime uygun dizayn edilmiştir. Komplike bir ürün olmadığı için draft açısı gerekmemektedir. Bu haliyle parça kalıptan rahatça çıkabilecektir.

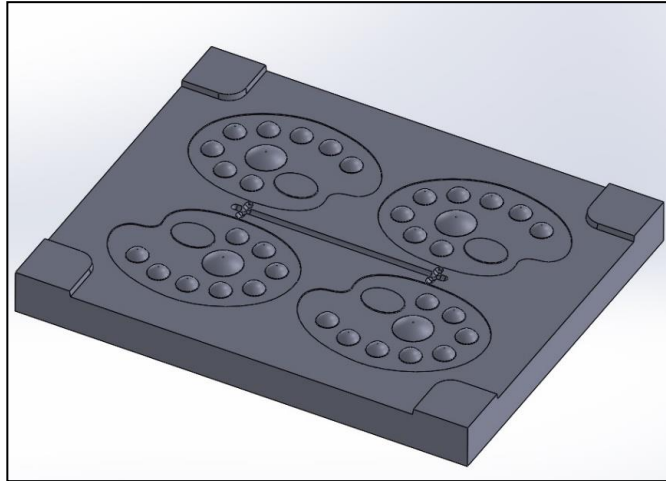
Kalıpta herhangi bir yan delik veya feder yoktur. Bu nedenle maçalı kalıp değildir. Numune yapısı incelenerek, en uygun ürün dağılımı ve yolluk sistemi seçilmelidir. Sonra itici tasarımı yapılmalıdır. İtici parça itme esnasında, gelen kuvveti eşit bir şekilde dağıtmalıdır. İticilerin bırakacağı iz önemli ya da önemsiz olabilir. Olabildiğince iç tarafta konumlandırılması gerekir. İtici tasarımı yapılırken, yolluğun tutma etkisi de göz önüne alınmalıdır. Kalınlığı fazla olan ürünlerde, kasılma oluşturabilir. Bu da iticilerin parçaya zarar vermesi anlamına gelir. Bu şartlarda ya birtakım baskı esnasında yağlayıcı kullanmak ya da enjeksiyon süresini yükseltmek gerekir. Çalışmada incelenen kalıp burada 4 gözlü dizayn edilmiştir. Şekil 8'de kalıp göz sayısı gösterilmiştir. Merkezden bir meme ve eşit uzaklıklarda ürünler yerleştirilmiştir.



**Şekil 8.** Kalıp Göz Sayısı

Kalıp ayırım hattı boyunca erkek ve dişi taraf olarak ayrılmıştır. Kalıp standart bir kalıptır. Kalıp malzemesi olarak birçok alternatif mevcuttur. Genellikle plastik enjeksiyon kalıp malzemesi olarak 1. 2738 çeliği tercih edilir. Kalıp setleri olarak imalat çeliği seçilir. Piyasada impaks olarak bilinen 1.2738 çeliği çekirdekten yüzeye kadar homojen sertlikte olması ve nitrasyona uygun olması yönüyle tercih sebebidir. İmalat çelikleri de ucuz olmaları, karbon miktarına bağlı istenilen sertliğe erişilebilir olmasından ve parlatmaya uygun olmalarından dolayı seçilirler. Bu çalışmada parça görsel bir parça olmadığı için, araştırma çerçevesinde imalat çeliği tercih edilmiştir.

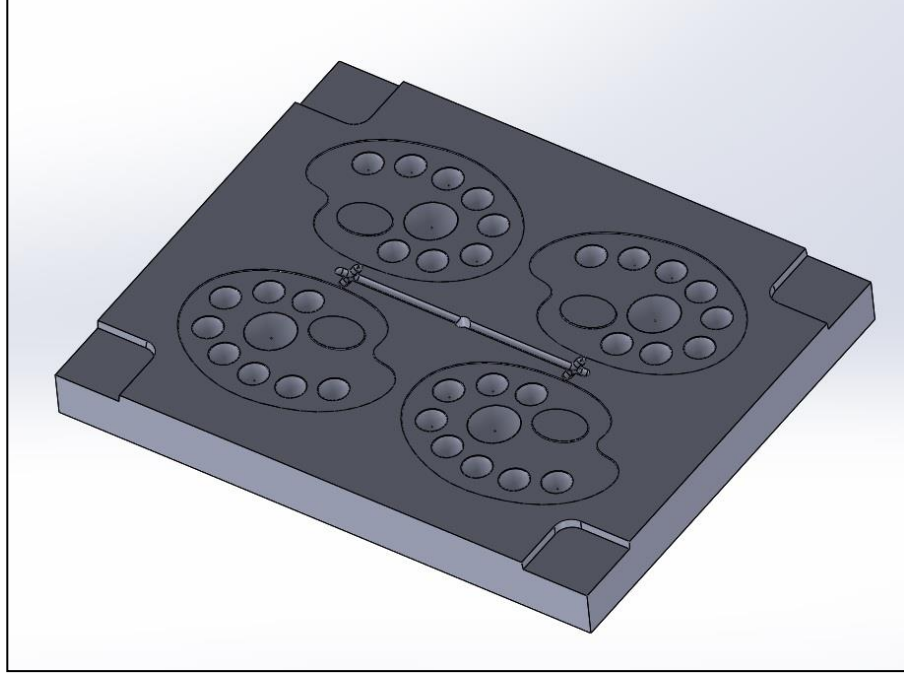
Kalıp memesi merkezde olup, soğuk yolluk kullanılmıştır. Yolluk beslemesinin önemini de göz önünde bulundurarak yolluk tasarlamak gerekir. Bu sistem ise tamamen yolluktan beklentimize bağlıdır. Parça görsel olmamasına rağmen, yolluk izini minimize etmek için tünel yolluk tercih edilmiştir. Dişi kalıp plakası ve erkek kalıp plakası aynı boyutlardadır. Erkek kalıp plakası 400x500x58, dişi kalıp plakası 400x500x48 olarak çizilmiştir.



**Şekil 9.** Erkek Kalıp Plakası

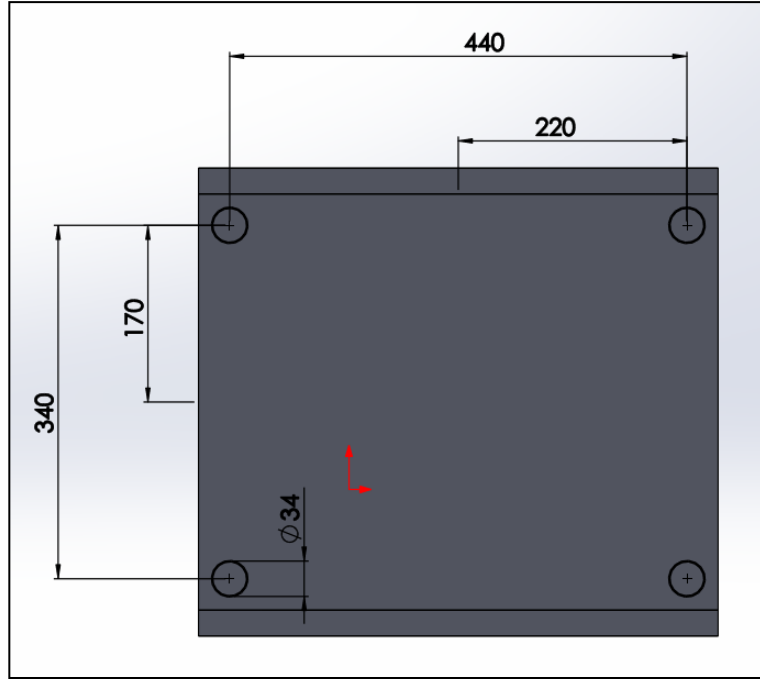


Erkek kalıp plakası ürünler dikkatlice incelenirse, yönleri aynı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ürünler arasındaki mesafe konusunda standart bir bilgi yoktur. Bu konu tamamen ürüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Et kalınlığı fazla olan bir üründe ürünler arasındaki mesafe, et kalınlığı az olan bir ürüne göre daha fazla olmalıdır. Genelde yolu çok uzatmayacak şekilde, itici mesafesini ayarlayarak yerleştirilir. En az 20 mm olmalıdır. Erkek kalıp plakası Şekil 9’da, dişi kalıp plakası Şekil 10’da, kolon çapları Şekil 11’de verilmiştir.



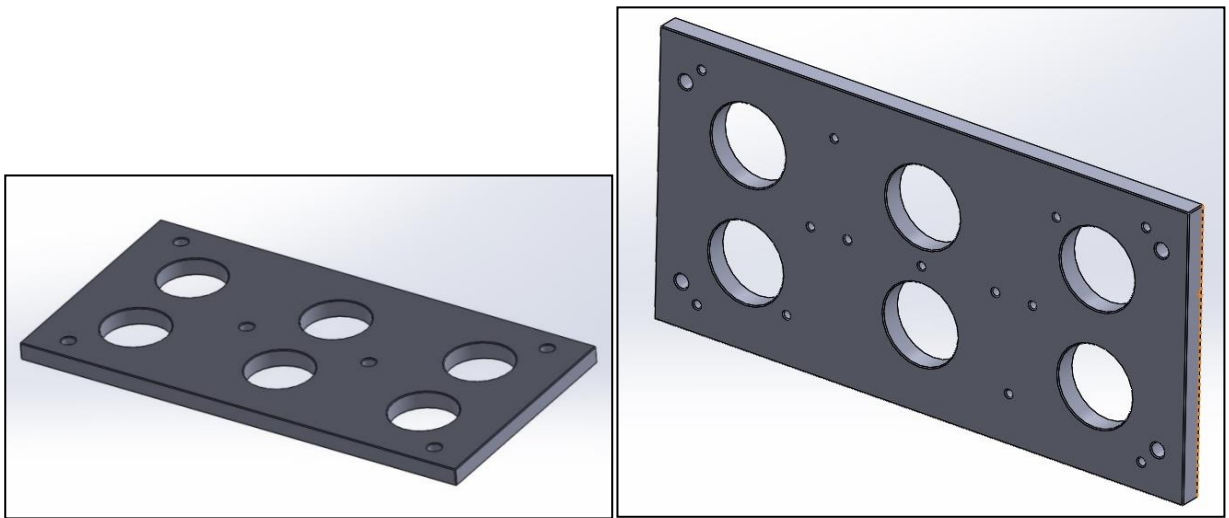
**Şekil 10.** Dişi Kalıp Plakası

Dişi ve erkek kalıp plakalarının dört tarafında kolonları karşılayacak olan burçların çakılacağı delikler bulunmaktadır. Kolon çapı 34 mm’dir. Kolon çapları, kalıp seti büyüklüğüne göre seçilir. Büyük bir kalıpta küçük bir çap açılması doğru olmaz. Çünkü kolonlar bu durumda kalıbı taşıyamaz ve sarkma meydana gelir. Aynı durum bağlantı delikleri için de geçerlidir. Bağlantı delikleri kalıp setlerini birbirine bağlamaktadır.



**Şekil 11.** Kalıp Kolon Çapları

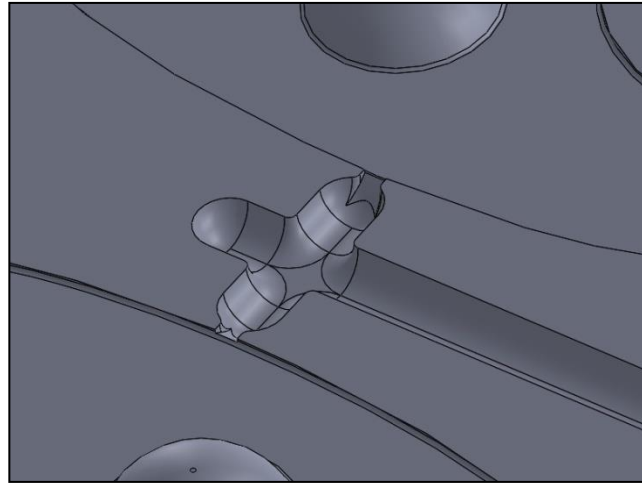
Su yollukları tasarlanırken, itici, kolon ve geri vuruculara denk gelmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik kalınlıklarını ayarlarken de su yolluğu faktörünü göz önünde bulundurmalıyız. Eğer erkek kalıp plakasının paylı olması istenmez ise erkek kalıp plakasını destekleyecek bir erkek destek plakası ilave edilmelidir. Tasarımcı destek plakasını koyma gereksinimi duymaz ise, itici plakalar baba adı verilen parçalar konulur. Baba aşırı yüklenme ve zorlanmaları azaltır. Parçanın sehim yapmasını önler. Çeliğin deformasyon süresini uzatır. Kalıba ait paralel kalınlığı verilirken itici destek plakası ve itici plakası baz alınır. Çünkü ancak bu iki plakanın hareketi kadar hareket mesafesi vardır. Yani takoz kalınlığı ürünün hareket mesafesine göre ayarlanır. Paralel en ve boyu ise kolonları içine alacak şekilde fakat iticilere denk gelmeyecek şekilde ölçülendirilmelidir. İtici destek ve itici plakalar Şekil 12’deki gibidir.



**Şekil 12.** İtici Destek ve İtici Plakalar

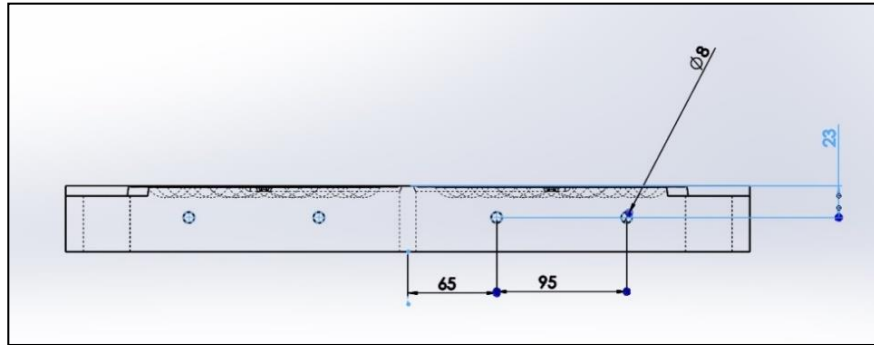
Kalıpta erkek ve dişi kalıp plakalarına kilitleme sistemi konulmuştur. Kilitleme koyma sebebi, kalıp çalışıkça zamanla kayma meydana gelir. Birleşme yerlerinde izler oluşmaya başlar. Bu kayma ise kolonlardan kaynaklanır. Kolon ve burç sürtünmeyle çalışmaktadır. Sürtünme zamanla aşınma meydana getirir. Kolon burç arası boşluk oluşur. Kolondaki yükü azaltmak ve kalıp ömrünü uzatmak için kilitleme sistemi kullanılır. Bu çalışmada da bu düşünülerek kilitleme konulmuştur. Kilitlemelere, hareket kolaylığı sağlamak için küçük bir açı verilmiştir.

Soğuk yolluk sistemi tercih edilmiştir. Şekil 13'teki gibi tünel yolluk kullanılarak yolluk izi azaltılmıştır. Rahat dolum sağlamak için yolluk hem erkek hem dişi yarısında kalacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım rahat dolum sağladığı gibi enjeksiyon basıncını da zorlamaz. Aksi takdirde baskı esnasında enjeksiyon basıncı artırılır. Bu da bir süre sonra kalıpta açma oluşturur. Kalıp çapak oluşturmaya başlar.



Şekil 13. Tünel Yolluk

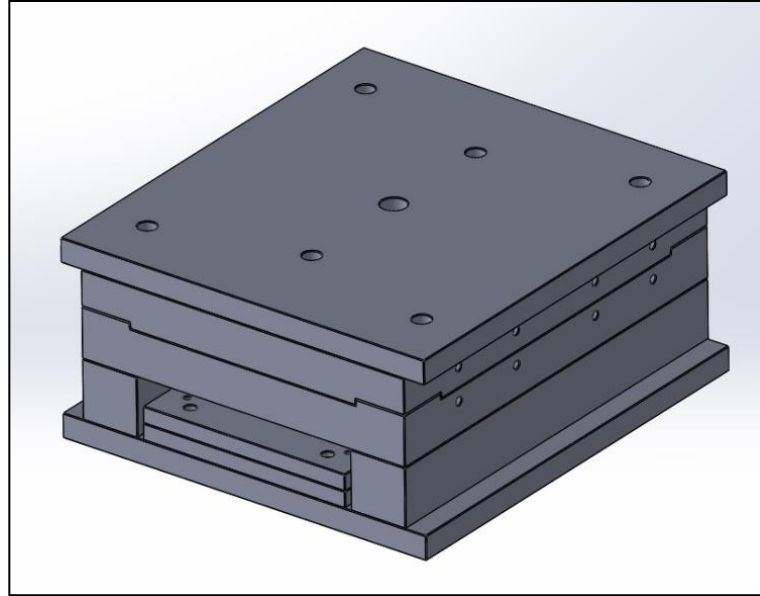
Yolluk tasarımını takip eden bir sonraki aşama su yollukları tasarımıdır ve dişi kalıp plakası su yolluğu Şekil 14'te görüldüğü gibidir. Baskı esnasında kalıp açıldığında, kalıptaki ürünü çıkarabilecek sıcaklığa getiren sistem su yolluklarıdır. Dizaynı kötü olan bir soğutma sistemi tasarımı, kalıpta iç gerilmeler oluşturur. Soğutma etkin değilse, çevrim zamanı uzar. Etkin bir soğutma için su yolluğu mesafesi, ürün yüzeyine olabildiğince yaklaştırılmalıdır.



Şekil 14. Dişi Kalıp Plakası Su Yolluğu

Kalıbın dişi tarafı genel olarak parçanın görünen kısmı olmaktadır. Görsellik açısından dişi kısımlarda lokma kullanımı pek tercih edilmez. Dişi taraf genel olarak itici sistem içermemesi ve az lokmalı dizayn edilmesi soğutma sisteminin tasarımını basitleştirir. Kalıbın dişi tarafında istenilen bölgelerde su yolluğu deliği açmak mümkündür. Erkek plakada olduğu gibi bir itici pim deliğiyle, su yolluğu deliğinin çakışma olasılığı yoktur. Bu nedenle dişi tarafında etkili bir soğutma yapılması kolaydır. Kalıp konstrüksiyonu uygunsa boydan boya bir çap açılarak su yolluğu tasarlanabilir. Ürün geniş bir ürün ise bu kanalı boydan boya tek bir bölgeden değil, ürüne göre birkaç bölgeden vermek gerekebilir. Çünkü baskı esnasında kanallarda dolaşan su, giderek ısınacak ve kalıp soğutma etkinliği azalacaktır. Bundan daha etkin bir soğutma sistemi düşünülürse, bu sistem, plastik ürünün çevresini dolanan bir dizayn oldukça homojen bir soğutma sağlar.

Erkek tarafı soğutma ise her zaman daha zordur. İtici pimlerin varlığı, kalıp maçalı ise maça boynuz delikleri gibi çaplar, su yolluğu giriş yerlerini kısıtlamaktadır. Derin figürlü erkek kalıplarda, en uygun giriş çıkış bölgeleri belirlenir. Dikine seperatör ile ikiye ayrılmış delik sistemleri bu tip kalıplarda en uygun soğutma sistemidir. Bu çalışmada, kalıp konstrüksiyonu izin verdiği için boydan boya derin delik açılarak, soğutma kanalı parçaya eşit dağılacak şekilde açılmıştır. Kalıp son hali Şekil 15'te gösterilmiştir.



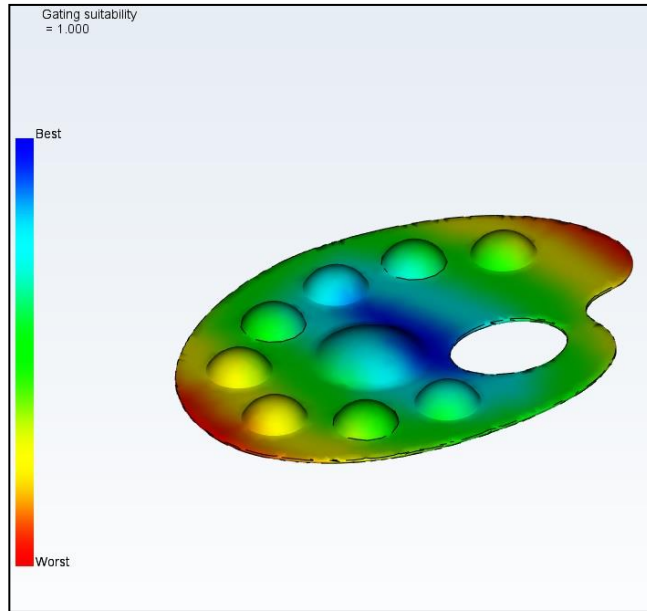
**Şekil 15.** Kalıp Genel Görüntüsü

#### **4. Bulgular ve Tartışma**

Moldflow programı plastik enjeksiyon kalıplarında tasarımla ilgili bizlere yol gösterici bir analiz programıdır. Program, birçok soruya yanıt vermektedir. Örneğin; Giriş noktası nerede olmalı? Yolluk sistemi dengeli mi? Soğuk birleşme mevcut mu ve nerelerde gözlemlendi? Hava atılamayan bölgeler neresi? Parça tamamen dolacak mı ya da eksik dolum oluşabilir mi? Soğutma düzenli mi? Yüzey kalitesi iyi mi? Çarpılma mevcut mu ve nerelerde oluşmuştur?

#### 4.1. En Uygun Giriş Yeri Belirleme

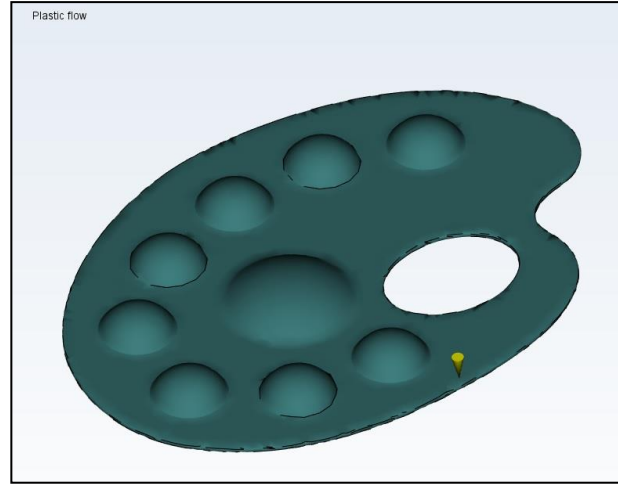
Moldflow programı, parçayı ve kullanılan malzemeyi göz önüne alarak, kalıbı doldurmak için en uygun giriş yerini belirler. Şekil 16'da en iyi giriş yeri lacivert renk ile gösterilmiştir. Fakat bu çalışmadaki giriş yeri ile önerilen bölge aynı değildir. Bu şu şekilde yorumlanmalıdır. Ürün incelendiğinde eğer programın öngördüğü giriş yeri uygulanırsa, sıcak yolluk sistemi kullanılmak durumunda kalır. Sıcak yolluk sistemi, soğuk yolluk sistemine göre birçok avantaja sahip olmasına rağmen, bu kalıpta bunu uygulamak çok uygun değildir. Zaman ve maliyet açısından bir kayıp söz konusudur. Bu çalışmada yapılan yolluk sistemi, analizdeki plastik akışından da görüleceği üzere rahat bir şekilde akmaktadır. Ayrıca yolluk hem erkek taraf hem de dişi tarafından verildiğinden akış rahattır. En iyi giriş yeri analizi Şekil 16'da Tuna (2021) tarafından gösterilmiştir.



**Şekil 16.** En iyi giriş yeri belirleme

#### 4.2. Akış Analizi

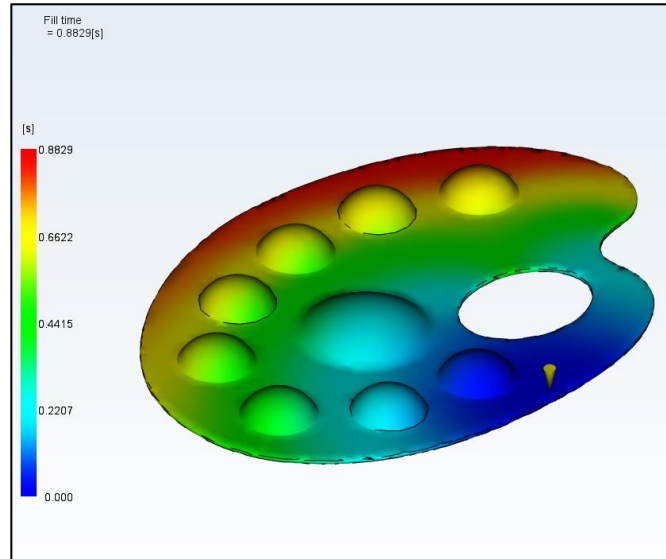
Moldflow programı, malzemenin kalıp boşluğuna nasıl dolduğunu analiz eder. Yapılan analiz simülasyonu sonucunda, plastik akışının kabul edilebilir bir kalite elde edilmesine olanak sağlayan seviyede olduğu görülmektedir. Plastik akışı analizi Şekil 17'de gösterilmiştir.



**Şekil 17.** Plastik Akış Analizi

#### 4.3. Dolum Zamanı Analizi

Şekil 18’de dolum zamanı analizi görülmektedir. Moldflow programı, parçada aynı anda dolan bölgeleri tespit etmektedir. Lacivert alan ilk ulaştığı, kırmızı alan en son ulaştığı noktayı ifade eder. Kalıp boşluğunda eğer dengesiz bir akış meydana gelirse, bir kısım çoktan dolarken, diğer kısım daha hiç malzeme alamamış olabilmektedir. Bu durum eksik dolum, soğuk birleşme, hava boşluğu gibi hatalara neden olabilir. Erken dolan bölgelerde sabit bir basınç birikmesi oluşacaktır. Bu basınç kalıp boşluğuna girecektir. Diğer bölgelere göre daha düşük çekme oluşacaktır. Bu da çarpılmalara sebep olmaktadır.

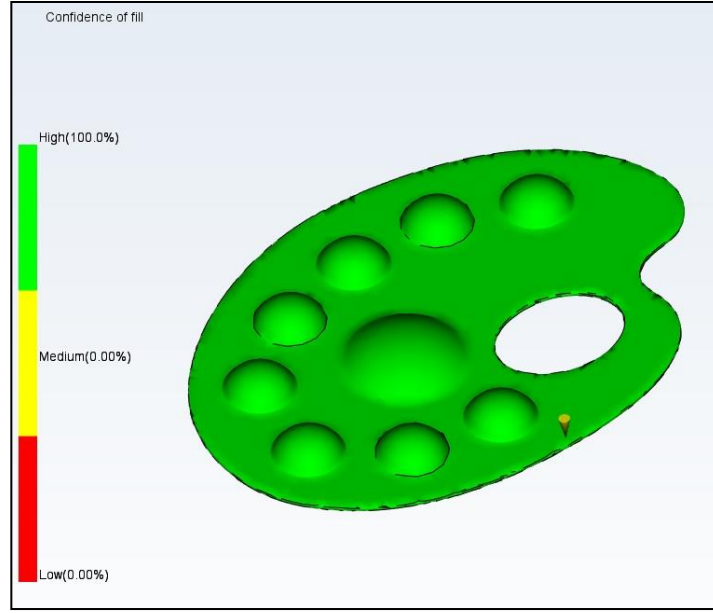


**Şekil 18.** Dolum Zamanı Analizi

#### 4.4. Dolum Kalitesi

Şekil 19’da dolum kalitesi görseli yer almakta olup, kalıp gözlerine dolan plastiğin dolum kalitesini göstermektedir. Kalıbın iyi dolması parçanın da kaliteli olacağı anlamına gelmez. Kalıp iyi dolar; ancak homojenizasyonun sağlandığı tutma süresinde yeterli basınç ve sıcaklıkta tutulmaz ise parça kalitesi düşer.

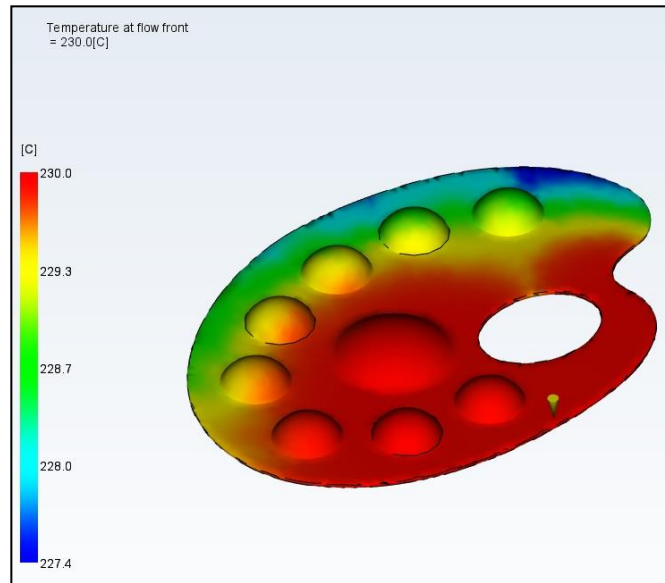
Bu çalışmada parça kalitesi oldukça yüksektir. Bu da gösteriyor ki yolluk ve soğutma sistemleri iyi dizayn edilmiştir.



Şekil 19. Dolum Kalitesi

#### 4.5. Ergiyik Sıcaklığı

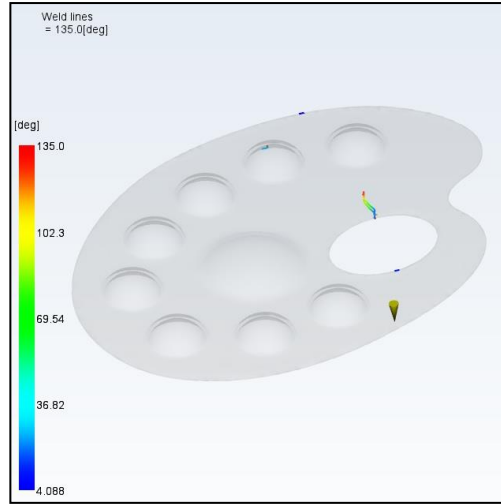
Kalıp dolumu esnasında, ergiyik sıcaklığında meydana gelen sıcaklık değişimleri Şekil 20'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kırmızı bölgelerin oranı oldukça yüksektir. Dolumun bitmesine yakın olan bölgelerde renk açılmaları gözlenmiştir. Parçada yüksek oranda bir kararsızlık mevcut değildir. Bu haliyle bırakılabilir. Fakat istenilirse giriş yeri arttırılabilir. Parçanın güçsüz olan kısımları da isteğe bağlı olarak arttırılabilir. Enjeksiyon süresi düşürülebilir.



Şekil 20. Ergiyik Sıcaklığı

#### 4.6. Kaynak Çizgileri

Kaynak çizgilerinin var olup olmadığını ve hangi bölgelerde yoğunlaştığını gösterir. Kaynak çizgisi güçsüz ve görünmeyen çatlakları ifade eder. Aslında soğuk birleşme olan yerleri gösterir. İki ya da daha fazla akış yolu mevcutsa kalıp dolum sırasında karşılaşılır ve ergiyiğin önünde donmuş haldeki malzeme tekrar erir ve sonra tekrar soğur. Bu durum uygun bir birleşme oluşmasını önler. Bu bölgelerde dayanım azalır. Sulu boya paletinde beklenir çizgiler Şekil 21’de gösterilmiştir. Önlemek için giriş bölgeleri değiştirilebilir, parçanın et kalınlığı değiştirilebilir.

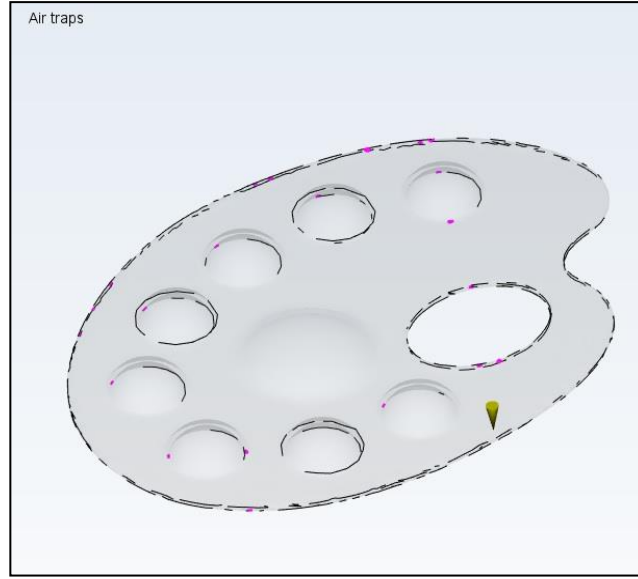


Şekil 21. Kaynak Çizgileri

#### 4.7. Hava Kapanı

Kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu meydana gelir. Genellikle farklı et kalınlıklarına geçiş yaparken oluşur. Hava kabarcıkları ergiyik malzeme ile karşılaşır sıkışır ve o kısımlara dolum gerçekleşmez. Bu durum küçük boşluklara sebebiyet verir. Yani konu, kalıp boşluğundaki havanın dışarı atılamaması kaynaklıdır. Ürün çıkışına hava cepleri konulabilir. Parça et kalınlığı homojen hale getirilebilir. Kalıp boşluğu giriş yerlerine müdahale edilebilir. Hava kapanı Şekil 22’de gösterilmiştir.

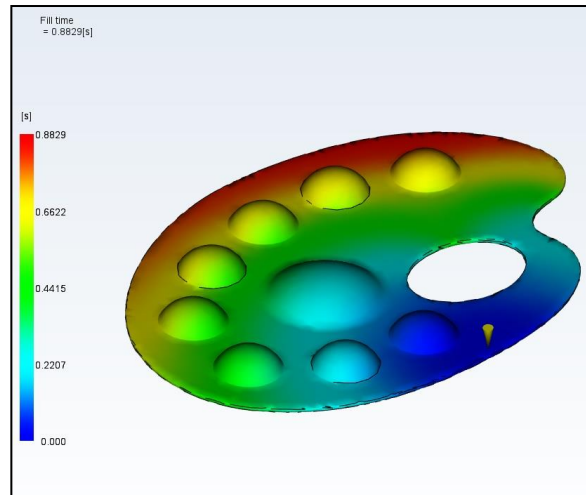




**Şekil 22.** Hava Kapanı

#### 4.8. Enjeksiyon Basıncı

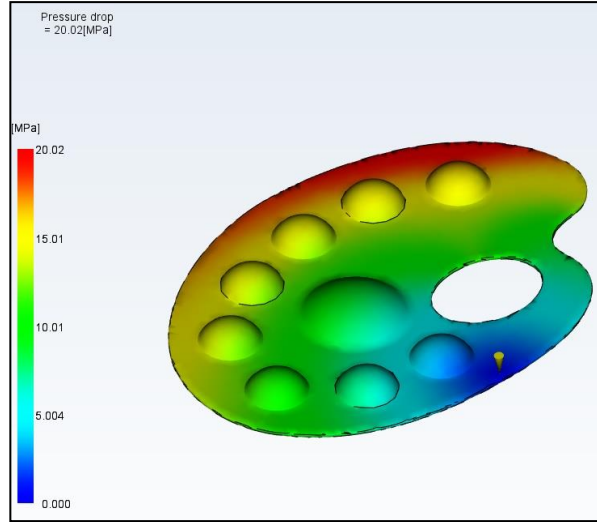
Parça plastik dolumu tamamlandıktan sonra, parça boyunca oluşan enjeksiyon basıncını gösterir. Enjeksiyon basıncı Şekil 23'te gösterildiği gibidir. Giriş bölgesinde basınç maksimum seviyededir. Kalıp dolumu esnasında, Moldflow programı bunu aralıksız hesaplar. Basıncın yüksek olması, parçada ince olan kısımlarının önce dolmasına neden olur. Ayrıca dolum bitene kadar basınç devam ettiği için, dolan bölgeler ekstra bir basınca maruz kalırlar ve bu da o bölgelerdeki çekme oranını düşürür. Bu parametreyi etkileyen en önemli faktör süredir. Dolum süresi kısa ise bu problem ortaya çıkacaktır. Enjeksiyon basıncının oluşturduğu problemleri gidermek için enjeksiyon basıncı yükseltilebilir. Eğer tasarımcı uygun görüyorsa yüksek ergime sıcaklığına sahip bir malzeme seçilmelidir. Malzeme değiştirilemez ise ergiyik sıcaklığı artırılarak problemin önüne geçilebilir.



**Şekil 23.** Enjeksiyon Basıncı

#### 4.9. Basınç Düşüşü

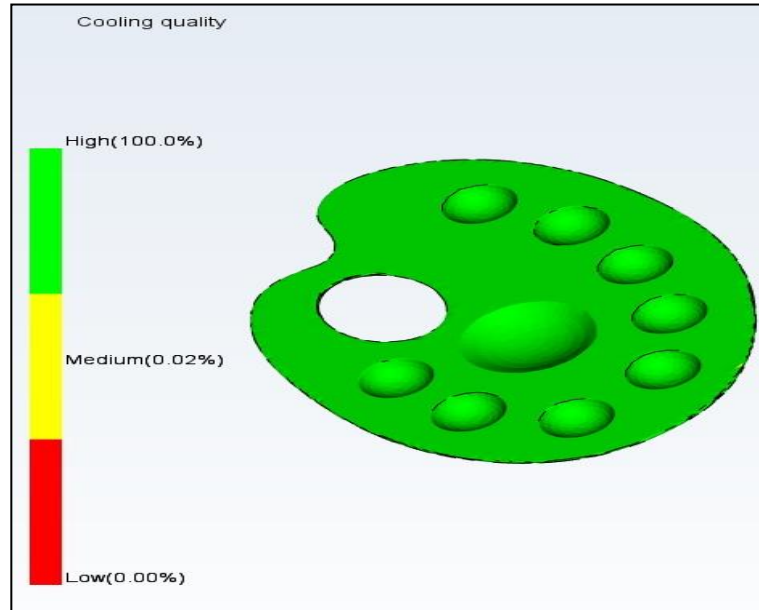
Kalıp boşluğundaki her noktada akışkanın akmasını sağlayan basınçtır. Basınç düşüşü dolum kalitesini etkiler. Basınç düşüşü arttıkça dolum kalitesi de düşecektir. Basınç düşüşü Şekil 24'te gösterilmektedir.



**Şekil 24.** Basınç Düşüşü

#### 4.10. Soğutma Kalitesi

Soğutma kalitesi, parçanın şekli ve et kalınlığına bağlı olarak ısının kalma eğilimini ifade etmektedir. Soğutma kalitesi Şekil 25’te gösterilmiştir. Soğutma kalitesi düşük olan bölgelerde akış zayıflar. Parçanın tüm bölgelerinin tamamen soğuması için gerekli zamanı hesaplar. Sonuç hangi bölgenin daha fazla soğutulması hangi bölgenin daha az soğutulması gerektiğini yorumlamamızı sağlar. Hızlı soğuyan bölgeler, soğumaya devam eden bölgeler dolmaya devam ederken donacaktır.



**Şekil 25.** Soğutma Kalitesi

Soğutma sistemi ile ilgili hesaplamalarda taşınım ve soğutma kanalı ile ortama atılan ısı miktarları denklem 1 kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$Q = Gqn \quad (1)$$

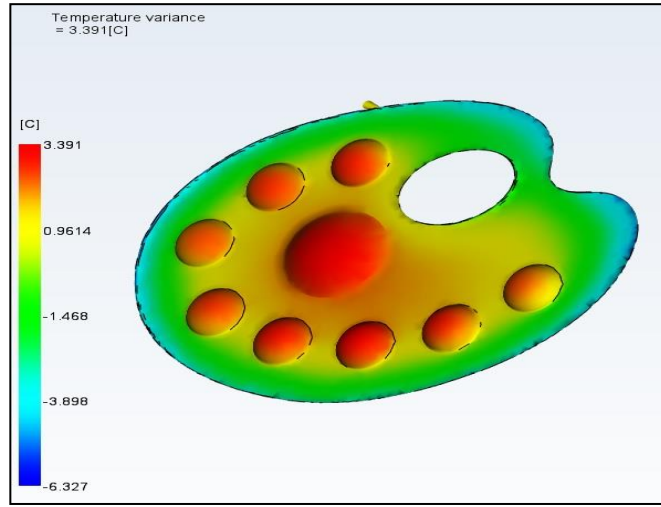
Denklem 1’de yer alan  $Q$  ortama atılan ısı miktarını (*Joule*),  $n$  bir saatte yapılan baskı adedini ifade etmektedir.  $q$  değeri plastik sıcaklıklarındaki entalpilerin farkını ifade etmektedir (*kJ/kg*) ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$q = C_p(T_c - T_g) \quad (2)$$

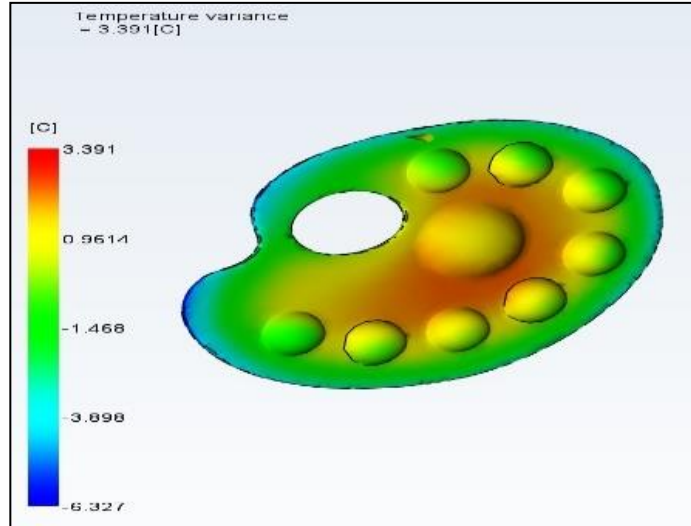
Burada  $C_p$  özgül ısı değeri ( $kJ/kgK$ ),  $T_c$  plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığı ( $K$ ) ve  $T_g$  plastiğin kalıplama sıcaklığıdır ( $K$ ).

#### 4.11. Yüzey Sıcaklık Dağılımı

Parçadaki ortalama sıcaklıklardan sapan bölgelerin ne kadar saptıklarını yorumlamamızı sağlar. Kırmızı bölgeler ortalamadan daha sıcak, mavi tonlarındaki bölgeler ortalamanın altındaki sıcaklık bölgelerini ifade eder. Sıcaklık değişimi ortalama altındaysa, soğuma hızını azaltmak için, ürün kalınlığı artırılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı yükseltilmelidir, aksi halde parça kalınlığı azaltılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı düşürülmelidir. Yüzey sıcaklık dağılımı Şekil 26a ve Şekil 26b’de gösterilmiştir.



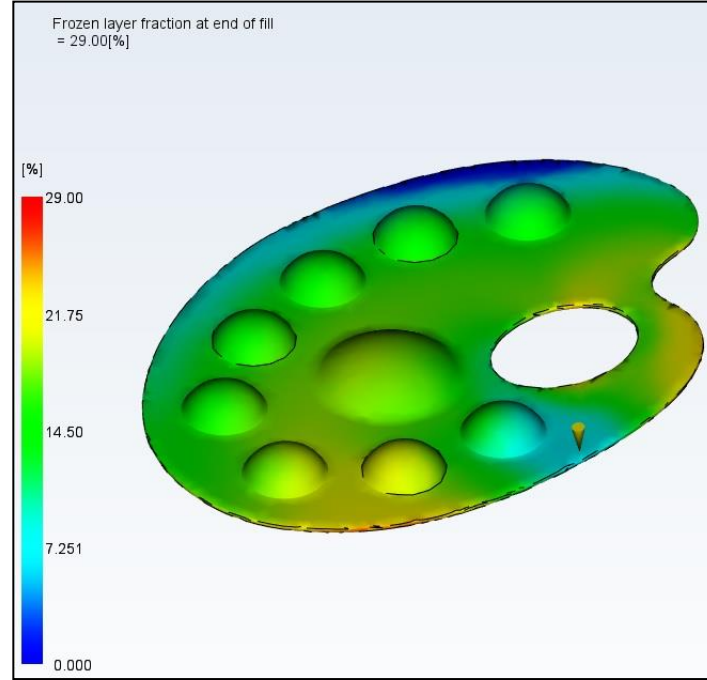
Şekil 26a. Yüzey Sıcaklık Değişimi-1



Şekil 26b. Yüzey Sıcaklık Değişimi-2

#### 4.12. Donma Zamanı Dağılımı

Kalıp boşluğunda bulunan parça, bir süre sonra soğur ve katılaşma gerçekleşir. Eğer soğumaya devam ederse donma meydana gelir. Ortalama donma sıcaklığından sapsmış olan parça yüzeylerini yorumlamamızı sağlar. Donma zamanı dağılımına ait analiz Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Dolum Sonu Katman Donma Dağılımı

### 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı, sıfırdan bir ürün tasarlarırken ortaya bir bakış açısı koyup, baştan sona bir kalıp tasarımını aşama aşama incelemektir. Bir kalıp tasarlanırken nasıl başlanır ve üretim sürecine kadar neler üzerinde durulması gerekir sorularına yanıt bulmak hedeflenmiştir. Tüm bunları yaparken, parçaya ait analizler, tasarımda ve imalat sürecine geçilmeden önce yol gösterici olmuştur. Bir sulu boya paleti, görsellerin ön plana çıktığı bir kalıp dizaynı yapılmıştır. Kalıp baskısı sonrasında oluşabilecek problemlerin sebepleri ve sonuçları anlatılmıştır.

Moldflow analiz programı ile görsellerle desteklenen bir analiz yapılmıştır. Bu program ile üretim aşamasına geçilmeden kalıpla ilgili revizyonları yapmayı sağlamıştır. Tasarım yaparken analiz programı kullanmak yol gösterici olmaktadır. Burada göz ardı edilmemesi gereken en önemli husus, insan faktörüdür. Çünkü yapılan analizler yol gösterici olsa da tecrübe ve personel bilgisinin ön planda tutulması gerekmektedir. Gelen her yeni parça yeni bir kalıp tasarımı anlamına gelir. Bilgisayar destekli tasarım ve analiz programları, insanların tecrübe ve bilgi birikimlerini aktaracağı araçlardır. Moldflow programında yapılan en iyi giriş yeri analizine göre, yolluk sistemi ürünün tam merkezinden verilmelidir. Bu parça için sıcak yolluk kullanılacağı anlamına gelir. Fakat bu parça için sıcak yolluk sistemi kullanmak zaman ve maliyet kaybı olacaktır. Arz ve talebe göre sıcak yolluk sistemi de tercih edilebilir. Tasarımda belirlenen giriş yerine göre yapılan analizde ise dolum yolluk sisteminin hem erkek hem dişi kalıp plakasında verilmesinden dolayı gayet iyidir. Giriş yeri analizinin önemi yolluk sistemi tasarımının soğutma sistemini

doğrudan etkiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Belirlenen giriş yerine göre plastik dolumu ise plastik paletin et kalınlığının stabilizasyonundan kaynaklanmaktadır. Dolum kalitesi incelendiğinde parça alanının tamamı yeşil renktedir. Bu yüksek kaliteli bir tasarım yapıldığını, soğutma ve yolluk sistemlerinin doğru olduğunu göstermektedir.

Kalıp ergiyik sıcaklığı analizinde, parçada yüksek oranda kırmızı bölgenin olduğu dolum bitişine yakın sürede ise renklerde açılmalar gözlenmiştir. Parçada yüksek oranda bir kararsızlık mevcut değildir. Parçada yolluk giriş yeri arttırılarak problem giderilebilir. Fakat bunu yapmak yerine tasarımda kırmızı bölgelerin olduğu bölgelerden, soğutma suyu yani su yolluğu geçirilerek, o bölgelerde eşit soğutma sağlanmıştır.

Kaynak çizgisi güçsüz ve görünmeyen çatlakları ifade eder. Aslında soğuk birleşme olan yerleri gösterir. İki ya da daha fazla akış yolu mevcutsa kalıp dolum sırasında karşılaşmalar ve ergiyiğin önünde donmuş haldeki malzeme tekrar erir ve sonra tekrar soğur. Bu durum uygun bir birleşme oluşmasını önler. Bu bölgelerde dayanım azalır. Kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu kaynak çizgisi meydana gelir. Ayrıca hava kapanı analizine göre, kalıp boşluğu dolduğu esnada, akış yolu ile havanın karşılaşması sonucu oluşan kaynak çizgisi, genellikle farklı et kalınlıklarına geçiş yaparken gözlemlenir. Hava kabarcıkları ergiyik malzeme ile karşılaşır sıkışır ve o kısımlara dolum gerçekleşmez. Bu durum küçük boşluklara sebebiyet verir. Yani konu, kalıp boşluğundaki havanın dışarı atılamaması kaynaklıdır. Bu küçük boşluklar ürün çıkışına hava cepleri konularak giderilmiştir. Enjeksiyon basıncı analizinde, parça plastik dolumu tamamlandıktan sonra, parça boyunca oluşan enjeksiyon basıncını gösterir. Ergiyik girişinin gerçekleştiği ilk anda basınç en yüksek ve dolum sonuna kadar azalmaktadır. Enjeksiyon basıncı dolum süresini etkilemektedir. Bu problemin önüne geçmek için eğer yolluk sisteminin değişmesi istenmiyorsa, soğutma sistemini iyi tasarlayarak bunun önüne geçilebilmektedir.

Soğutma kalitesi analizi, parçanın şekli ve et kalınlığına bağlı olarak ısının kalma eğilimini inceler. Soğutma kalitesi düşük olan bölgelerde akış zayıflar. Parçanın tüm bölgelerinin tamamen soğuması için gerekli zamanı hesaplar. Sonuç hangi bölgenin daha fazla soğutulması hangi bölgenin daha az soğutulması gerektiğini yorumlamamızı sağlar. Soğumaya devam eden bölgeler dolmaya devam ederken hızlı soğuyan bölgeler donacaktır. Soğutma kalitesi analizi, parçadaki ortalama sıcaklıklardan sapan bölgelerin ne kadar saptıklarını yorumlamamızı sağlar. Palet kalıbında, ürün et kalınlığı ürünün hemen hemen her yerinde homojendir. Bu sebeple soğutma kalitesi yüksektir. Kalıp alıştırması fazla olan kalıplarda bunu sağlamak için çok daha karmaşık tasarımlar yapmak gerekir.

Yüzey sıcaklık değişimi ortalama altındaysa, soğuma hızını azaltmak için, ürün kalınlığı arttırılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı yükseltilmelidir, aksi halde parça kalınlığı azaltılmalıdır ve soğutma sıvısı sıcaklığı düşürülmelidir. Soğutma sıvısı sıcaklığını kalıba ve ürüne göre yorumlamak gerekir. Giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığına göre daha düşük olmaktadır. Bununla ilgili standart bir değer yoktur, kalıba ve ürüne bağlı değişkenlik göstermektedir. Çıkışta kalıpta dolaşan soğutma sıvısı ile kalıp arasında ısı transferi gerçekleşeceği için çıkış sıcaklığı yükselecektir. Plastik enjeksiyon sistemlerine ait soğutma genel olarak chiller soğutma sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Palet kalıbı soğutma sistemi tasarımı, kalıp

konstrüksiyonu izin verdiği için boydan boya soğutma kanalları açılarak yapılmıştır. Dişi kalıp plakası tarafında herhangi bir itici sistem ya da maça sistemi olmadığı için boydan boya delikler açılması oldukça kolaydır. Erkek kalıp plakası tarafında itici pimlerin varlığı, maça sistemi ve geri vurucu pimler bu sisteme kısıt getirmektedir. Palet kalıbında iticiler olabildiğince homojen dağıtılıp, su yollukları boydan boya delinebilmiştir. Derin delik delme işlemi radyal matkapta gerçekleştirilmiştir. Bu esnada matkabin sağa sola kaçma, salgı yapma olasılığı yüksektir. Bu yüzden soğutma kanalları diğer deliklere belirli bir mesafede açılmıştır. Bu ölçü ortalama bir kalıpta en az 3 mm, daha derin kalıplarda ise en az 5 mm olmalıdır. Soğutma kanalları yüzeye uzak olursa yeterli soğutma olmaz. Çok yakın olursa da hızlı soğuma gerçekleşir. İkisi de iyi değildir. Kalıbın arka yüzeyinde ürün hattı boyunca havuz açılıp, su kanalları geçirilerek daha kararlı bir soğutma alternatifi de mümkündür. Burada havuz açma süreyi uzatmaktadır ve işçiliği arttırmaktadır. Kalıpta yolluk girişinden ergiyiğin ilk girdiği nokta, en sıcak, yolluktan uzaklaştıkça ergiyik sıcaklığı düşmektedir. Yüzey sıcaklığı analizinde kırmızı bölgeler sıcak olan bölgeleri ve rengin açıldığı noktalar yolluktan uzaklaştığındaki ergiyik sıcaklığının yüzeyde oluşturduğu sıcaklığı göstermektedir. Kararsızlık yoktur. Fakat hem itici pimlerin varlığı göz önüne alınarak hem de yüzey sıcaklığı analizi önemsenerak su yollukları boydan boya derin delik olarak açılmıştır ve soğutma kalitesi yapılan analize göre yüksektir. Enjeksiyon makinelerinde su yolluklarından geçecek olan suyun debisi ve sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Eşit soğutma için sıcak olan bölgelerdeki soğutma suyu sıcaklığı düşürülmekte olup, soğuk olan bölgelerde sıcaklık artırılmıştır. Parçanın kalıptan çıkması için, yeterli debide su geçmesi ve bu sebeple soğutma kanallarının çaplarının uygun ölçülerde açılması gerekir. Kalıpta su yolluklarının ürüne olan mesafesi önemlidir ve tercih edilen değer çapın yaklaşık 2,5 kat mesafesi olması iyi bir soğutma için ortalama bir değerdir. Bu çalışmada da mesafe 2,5 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışma soğutma ve yolluk sistemi tasarım ve analizini birlikte içermesi yönüyle yol gösterici olacak bir çalışmadır.

Kalıpcılık sektörü çok değerli ve çok nitelikli olmasına karşın, yeterince yaygın değildir. Günümüzde tecrübeli kalıp ustası dahi bulmak zorlaşmıştır. Bu alanda çalışan uzman mühendislerimizin de nitelikli işlere el atması gerektiği düşüncesiyle bu çalışma hazırlanmıştır. Konuyla ilgili literatürde çalışmalar mevcut olsa da sayısı azdır. Her araştırmacının da konuya dair bakış açısı ve değerlendirmesi farklı perspektif sunmaktadır. Bu çalışmada da tasarlanan ürün ve kalıp, gerçek anlamda üretilmektedir. Amaç burada sadece bir kalıbı tasarlamak değil, tasarlanan ürünün kalıplanabilirliği ve kalıbın üretilmesini de göz önüne almaktır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynaklar**

- Ceritbinmez F. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve üretilen parçalarda çapaklanmaya etki eden parametreler. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 130, Hatay, Türkiye, 2014.
- Ekici E., Pazarkaya İ., Nas E. Plastik enjeksiyon kalıpcılığı. 2.Baskı Ankara: Seçkin Yayıncılık; 2016.
- Kafalı MS. Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 116, Kayseri, Türkiye, 2011.
- Koyun Ç. Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 217, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Kucur MZ. Plastik enjeksiyon kalıbı esasları tasarım-imalat ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 155, İstanbul, Türkiye, 2005.
- Şahin O. Tersine mühendislik yöntemi ile plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve kalıp dolum parametrelerinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 63, Sakarya, Türkiye, 2018.
- Topçu E. Plastik enjeksiyon yöntemiyle üretilen deney numunelerinin kalıp tasarımı. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 63, Tekirdağ, Türkiye, 2011.
- Tugaytimür C. Plastik enjeksiyon kalıp tasarım kurallarının analizi ve uygulanması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 112, Ankara, Türkiye, 2016.
- Tuna S. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve soğutma sisteminin analizi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 82, Kocaeli, Türkiye, 2021.