

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA ÇARPILMA VE KLİMATİK
KOŞULLARDA MEKANİK DEFORMASYON ÖNLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÇAVDAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. İsmail Gerdemeli

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA ÇARPILMA VE KLİMATİK
KOŞULLARDA MEKANİK DEFORMASYON ÖNLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ali ÇAVDAR
(50311221)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. İsmail Gerdemeli

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111221 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ali ÇAVDAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA ÇARPILMA VE KLİMATİK KOŞULLARDA MEKANİK DEFORMASYON ÖNLEME” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. İsmail Gerdemeli**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Serpil Kurt Habiboğlu**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem Boğoçlu
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Kasım 2017**
Savunma Tarihi : **19 Aralık 2017**





Eşime ve Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmamda tavsiye ve önerilerini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail Gerdemli'ye teşekkür ederim. Ek olarak BSH Ev aletleri bünyesinde çalışan iş arkadaşlarıma özellikle Alaattin Yolaçtı Beye desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca sürekli yanımda olan ve maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü de borç bilirim.

Aralık 2017

Ali Çavdar
Makina Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. PLASTİKLER.....	3
3. PLASTİK ENJEKSİYON	7
3.1 Plastik enjeksiyon makinesi	7
3.1.1 Enjeksiyon ünitesi	7
3.1.2 Kapama ünitesi.....	8
3.1.3 Enjeksiyon kontrol ünitesi	8
3.1.4 Kalıp.....	9
3.2 Plastik enjeksiyon prosesi	9
3.2.1 Plastik enjeksiyonda çekme ve çarpılma	11
3.2.2 Plastik enjeksiyonda birleşim izi.....	13
3.3 Plastik enjeksiyon kalıbı.....	14
3.3.1 Kalıp boşluğu	14
3.3.2 Erkek (Hareketli) kalıp tarafı	15
3.3.3 Dişi (Sabit) kalıp tarafı.....	15
3.3.4 Soğutma Sistemi (Soğutma kanalları).....	15
3.3.5 İtici sistemi	15
3.3.6 Yolluk sistemi	16
3.3.6.1 Soğuk yolluk	18
3.3.6.2 Sıcak yolluk sistemi	20
3.3.6.3 Sıcak yolluk ve soğuk yollukların beraber kullanılması	22
4.ÜST TABLA ÇERÇEVE PARÇASI PROBLEMLERİNİN TANIMLANMASI VE ÇÖZÜMÜ.....	23
4.1 Klimatik test ve ölçümler nasıl yapılıyor	23
4.2 Üst tabla çerçevesinde karşılaşılan problemlerin tanımlanması ve analizi	24
4.3 Kalıp 3 te karşılaşılan problemlerin çözüm önerileri ve uygulanması	26
4.4 Üst tabla çerçevesi 4 numaralı kalıp imlatı tasarım iyileştirmeleri	29
4.4.1 Su sisteminin revizyonu	29
4.4.2 Sıcak yolluk sisteminde yapılan revizyon.....	32
4.4.3 Sıcak yolluk revizyonu sonrasında enjeksiyon basınç farklılıkları değerlendirilmesi.....	34
5. SONUÇ ..	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Plastiklerin sınıflandırılması	5
Şekil 3.1 : Termoplastik enjeksiyon makinesi şematik gösterimi	8
Şekil 3.2 : Plastik akışı ve ısı transferi.....	9
Şekil 3.3 : Enejksiyon proses diyagramı	10
Şekil 2.2 : Enjeksiyon çevrim diyagramı.....	10
Şekil 3.4 : Enjeksiyon parametrelerinin çekme üzerine etkisi.....	12
Şekil 3.5 : Farklı yüzey sıcakları kaynaklı çarpılma.....	13
Şekil 3.6 : Birleşim izinin oluşumu, fiber yayılımı ve zayıf bölge.....	13
Şekil 3.7 : Plastik enjeksiyon kalıp elemanları.....	14
Şekil 3.8 : İtici sistemi çalışmas sistemi	16
Şekil 3.9 : Yolluk sistemi ve elemanları.....	17
Şekil 3.10 : Soğuk yolluk kesit tipleri	17
Şekil 3.11 : Tünel yolluk giriş kesitleri	18
Şekil 3.12 : Muz Yolluk kesiti	19
Şekil 3.13 : Kenar yolluk	19
Şekil 3.14 : Fan Yolluk.....	20
Şekil 3.15 : Sıcak yolluk elemanları	21
Şekil 3.16 : Açık uçlu sıcak yolluk sistemi.....	21
Şekil 3.17 : Valve-Gate sıcak yolluk sistemi.....	22
Şekil 4.1 : Üst tabla çerçevesi.....	23
Şekil 4.2 : Üst tabla çerçevesinde yaşanan bir kırılma örneği.....	24
Şekil 4.3 : Üst Tabla Çerçeve 3 numaralı kalıp en uzun enjeksiyon mesafesi	25
Şekil 4.4 : Üst tabla çerçevesi dolum zaman analizi	25
Şekil 4.5 : Üst tabla çerçevesi hacimsel çekme analizi	26
Şekil 4.6 : Feder ilavesi yapılmış çerçeve parçaları	27
Şekil 4.7 : Erkek taraf su kanalı değişikliği.....	28
Şekil 4.8 : Dişi taraf su kanalı modifikasyonu.....	28
Şekil 4.9 : Kalıp 3 dişi kalıp su sistemi	30
Şekil 4.10 : Kalıp 4 dişi kalıp su sistem.....	30
Şekil 4.11 : Kalıp 3 erkek kalıp su sistemi	31
Şekil 4.12 : Kalıp 4 erkek kalıp su sistemi	31
Şekil 4.13 : Üst Tabla Çerçeve 3 numaralı kalıp en uzun enjeksiyon mesafesi	32
Şekil 4.14 : Kalıp 4 dolum süresi analizi.....	33
Şekil 4.15 : Kalıp 3 çarpılma anazlizi.....	33
Şekil 4.16 : Kalıp 4 çarpılma analizi	34
Şekil 4.17 : Kalıp4 ve Kalıp 3 enjeksiyon basınç – zaman grafiği.....	34



PLASTİK ENJEKSİYON KALIPÇILIĞINDA ÇARPILMA VE KLİMATİK KOŞULLARDA MEKANİK DEFORMASYON ÖNLEME

ÖZET

Polimerlerin farklı kimyasal bağlar oluşturarak meydana getirdikleri; termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere üç ana grup hakkında temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Aynı zamanda polimerlerin avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Bu çalışmada termoplastik malzemeden üretilmiş bir plastik parçaya odaklanılmıştır.

Plastik malzemelerin üretim teknolojilerinden birisi olan plastik enjeksiyon üretim yönteminden, prosesinden, enjeksiyon makinasını oluşturan kısımlar hakkında bilgiler paylaşılmıştır.

Plastik enjeksiyon prosesinde; sıcaklık, basınç, zaman ve baskı gramajı önemli olan dört ana parametre üzerinde parçaya has ayarlamalar ile oluşturmaktadır. Çalışma içerisinde enjeksiyon prosesinde plastik hammaddenin çekme, çarpılma ve birleşim izlerinin nasıl davranış gösterebileceği konusunda da bilgiler paylaşılarak bu bilgilerinle kalıpların nasıl daha optimum bir seviyeye getirilerek parça kalitesinin artırılabilceği konusunda bilgi paylaşımları yapılmıştır.

Plastik enjeksiyon üretim yönteminin olmazsa olmazı olan plastik enjeksiyon kalıpları için kullanılan terimlerden bahsedilmiş, kalıpcılıkta kullanılan elemanlar tanıtılmıştır. Özellikle soğuk yolluk sistemleri; yolluk giriş tipleri-kesitleri ve sıcak yolluk sistemi elemanları tanıtılmış ve tiplerinden bahsedilmiştir.

Plastik parçaların kalıplanması sürecinde yolluk sisteminin ve soğutma sisteminin parça üzerindeki etkisi incelenmektedir. Bu çalışmada çarpılma beklentisi yüksek olan bir plastik parçanın kalıplanması aşamasında iki farklı kalıbın analiz edilmesi ve karşılaştırılması, sıcak yolluk sisteminde ve soğutma kanallarında revizyon yapılması, bu revizyonlar sonrasında da enjeksiyonu yapılan parçaların hem ölçüsel olarak kontrollerinin yapılması hem de farklı iklimatik koşullardaki mekanik davranışlarının karşılaştırılarak incelenmesine yer verilmiştir.

Plastik enjeksiyon kalıpcılığında enjeksiyon süresinin parçaya etkisi, kalıp boşluğunda mümkün olduğunca stabil sıcaklık ve basınç değerlerinin parça üzerindeki etkileri yapılan analizler ve ölçümler ile desteklenerek irdelenmiştir.

Yapılan iyileştirmeler sonrasında farklı termal koşullara maruz kalan yani son ürünün nihai tüketiciye ulaşana kadar ki lojistik hareketlerinin termal olarak simüle edilmesi şeklinde uygulanan bir test sonrasında parçalarda meydana gelebilen-gelen kırılma probleminin nasıl ortadan kaldırıldığını ve parçanın kalitesinin ölçüsel olarak %75 oranında iyileştirilebileceği sonuçları ortaya çıkmaktadır. Aslında hem parça tasarımının, kalıp tasarımının ve enjeksiyon prosesinin optimum olarak yapılması parçanın kalitesine iyi yönde etki edeceği ortaya çıkmaktadır.



REVENTING MECHANICAL DEFORMATION IN PLASTIC MOLDING ON CLIMATIC CONDITIONS

SUMMARY

This work includes information on the general properties and classification of plastic materials. The polymers are studied in three main groups: thermoplastics, thermosets and elastomers. This work focused on a plastic piece made of thermoplastic material. Thermoplastics can be molten when heated and hard when cooled. When frozen, however, a thermoplastic becomes glass-like and subject to fracture. These characteristics, which lend the material its name, are reversible. That is, it can be reheated, reshaped, and frozen repeatedly. This quality also makes mechanically recyclable.

Injection molding is a manufacturing process for producing parts. It is most typically used in mass-production processes where the same part is being created thousands or millions of times. The advantage of injection molding is the ability to scale production. Once the initial costs have been paid the price per unit during injection molded manufacturing is cheap. The price also tends to drop drastically as more parts are produced. The advantages of using injection molding for manufacturing plastic parts and components; detailed features and complex geometry, high efficiency, enhanced strength, ability to use multiple plastic types simultaneously, automation to save manufacturing costs.

Injection molding machines have many components and are available in different configurations, including a horizontal configuration or a vertical configuration. However, without of their design, all injection molding machines utilize power source, injection unit, mold assembly space, and clamping unit to perform the four stages of the process cycle.

In addition next step is the actual injection of the melted plastic. The plastic usually begins this process as pellets that are put into a large hopper. The pellets are then fed to a cylinder; here they are heated until they become molten plastic that is easily forced into the mold. The plastic stays in the mold, where it is being clamped under pressure until it cools.

The next couple of steps consist of the dwelling phase, which is basically making sure that all of the cavities of the mold are filled with the melted plastic. After the dwelling phase, the cooling process begins and continues until the plastic becomes solid inside the form. Finally, the mold is opened and the newly formed plastic part is ejected from its mold. The part is cleaned of any extra plastic from the mold.

Molding conditions and process parameters take an important role for the plastic injection molding. The quality of the molded part including strength, warpage, and residual stress is sizably influenced by the conditions under which is processed. Molding conditions also affect the productivity, cycle time, and energy consumption. Molding conditions have a close relationship with other factors such as materials,

part design, and tooling, which determine the quality of the plastic products. Molding conditions include the following important parameters; melt temperature, mold temperature, filling time, packing time and packing pressure.

This study focuses on 3 important plastic injection terms; shrinkage, warpage and weld lines. In the injection molding of thermoplastic plastics, it is possible to obtain a molded product with the desired dimensions using the mold shrinkage factor. Mold shrinkage is the fact where the volume of the molten plastic filled inside the cavity of a mold is shrinking at the time as being cooled and solidifying. The value of the molding shrinkage factor is generally a number in the range of about 2/1000 to 20/1000 (about 0.2 to 2%).

Warpage is a distortion where the surfaces of the molded part do not follow the intended shape of the design. Part warpage results from molded-in residual stresses, which, in turn, is caused by differential shrinkage of material in the molded part. If the shrinkage throughout the part is uniform, the molding will not deform or warp, it simply becomes smaller. However, achieving low and uniform shrinkage is a complicated task due to the presence and interaction of many factors such as molecular and fiber orientations, mold cooling, part and mold designs, and process conditions.

Weld lines are where two flow fronts come together. Often the result is a “witness” line, also referred to as a flow line, knit line, meld line, etc. Weld lines cause significant reject rates and are a common problem that all molders face. Weld lines significantly weaken the structural integrity of a molded part and have resulted in liability issues.

Mold or Die are the common terms used to describe the tooling used to produce injection molded plastic parts. Injection molds have been expensive to manufacture. They were usually only used in mass production where thousands of parts were being produced. Molds are typically constructed from hardened steel, pre-hardened steel, aluminum, and/or beryllium-copper alloy. The choice of material to build an injection molded part is primarily one of economics. Steel molds generally cost more to construct, but their longer lifespan will offset the higher initial cost over a higher number of parts made before wearing out. Pre-hardened steel injection molds are less wear resistant and are used for lower volume requirements or larger components. The molds used to produce plastic parts using core and cavity. The mold construction depends on the shape of the component, the shape of component is the criteria for parting line selection, runner and gate selection, component ejection system selection etc. The mold base size selection depends on component size and number of cavities to be planned per mold.

We can simply explain runner systems with 2 different types. “Hot runner” is a term used in injection molding that refers to the system of parts that are physically heated such that they can be more effectively used to transfer molten plastic from a machine’s nozzle into the various mold tool cavities that combine to form the shell of your part. Sometimes they are called “hot sprues.” You can contrast the term “hot runner” with its opposite, and the historically more common “cold runner.” Cold runners are simply an unheated, physical channel that is used to direct molten plastic into a mold tool cavity after it leaves the nozzle. The primary difference is that hot runners are heated while cold runners are not.

The effect of the hot runner design and cooling system on the plastic part examined in the molding process of our specific plastic parts. In this study, the plastic part with high-expected warpage, analyzed on two different mold that revised of the hot runner and cooling system, with the different climatic conditions. Information is shared about improvements which redesign cooling system, hot runner system and part design, the topic on traces of shrinkage, warpage and weld lines. With this improvements, how the quality of the parts can be increased by bringing the molds to more optimum level is answered.

In conclusion it is seen that in the parts exposed to different thermal conditions, the resulting fracture problem is eliminated, the part dimensional quality improved by 75% after the improvements.



1. GİRİŞ

Plastik imalat teknolojisindeki gelişmeler ve değişimler ile plastik ürün kullanımı günümüzde artarak devam etmektedir. Plastik malzemelerin ve üretim metotlarının seri üretime yatkın olmaları ve ihtiyaç duyulan özeliğe göre optimize edilebilme özellikleri her geçen gün önemlerini ve kullanım alanlarını arttırmaktadır.

Plastik ürün imalatında kullanılan teknolojilerin başında plastik enjeksiyon yöntemi gelmektedir. Bu yöntem de plastik enjeksiyon makinaları ve enjeksiyon kalıpları kullanılan ekipmanların başında gelmektedir. Plastik parçaların seri imalatında yüksek kalite, düşük maliyet ve yüksek verimlilik sağlanabilmektedir. Verimliliğin yüksek seviyelerde tutulabilmesi için seri imalatla, plastik hammadde seçimi, parça tasarımı, kalıp tasarımı, enjeksiyon işlemi ve doğru planlama kritik önceliklerdir.

Plastik enjeksiyon üretim yöntemi ile plastik parça üretimi sürecinde öncelikle parça tasarımının hem kalıplanmaya uygun olması, hemde gerekli mekanik şartları yerine getirebilmesi aynı zamanda da enjeksiyon prosesine uygun olarak tasarlanması ürün ve üretim sağlığı açısından anahtar rolündedir. Tabi bu süreç devamında plastik enjeksiyon kalıbın tasarımının da plastik enjeksiyon prosesi için en optimum şekilde tasarlanarak imal edilmesi seri üretim şartlarının ve parça kalitesinin vazgeçilmezidir. Yine plastik enjeksiyon makinası ile diğer yan ekipmanların seçimleride en optimum seviyede üretilecek parçalar ve enjeksiyon kalıpları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Çalışma içerisinde plastik enjeksiyon makineleri hakkında genel, enjeksiyon prosesi ve önemli parametreleri, plastik hammaddenin-parçanın çekme, çarpılma ve birleşim izlerinin nasıl davranış gösterebileceği konusunda ve plastik enjeksiyon kalıpları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Buna ek olarak seri üretimde kullanılan bir parçanın yeni bir kalıbı yapılırken iyileştirilme potansiyeli olan çarpılma ve iklimatik testler altında mekanik deformasyon noktalarının paylaşarak bu bilgilerin kalıpların nasıl daha optimum bir seviyede üretim yapabilir sorusuna cevaplar arayarak yolluk ve soğutma sisteminde revizyonlar ile parça kalitesinin artırılabilceği konusunda çalışmalar anlatılmıştır.

2. PLASTİKLER

Plastik malzemeler uygun maliyetli oldukları için , birçok tasarım engelini de ortadan kaldırılabildikleri için teknolojik ve gündelik kullanımda oldukça yer bulmuş ve bulmaya da devam etmektedir. Plastik malzemelerin sık sık kullanılmalarının sebepleri arasında çok yönlü kullanıma uygun, hafif, dayanıklı, farklı mekanik ve kimyasal özelliklere farklı çeşitleri ile cevap vermeleri ve düşük maliyetli olmalarıdır. Özellikle günümüzde mühendislik parçalarının plastik malzemeler ile üretilmesi ürün maliyetlerini düşürmekte ve rekabet ortamında avantaj sağlamaktadır.

Plastik malzemelerin avantajlarını sıralayacak olur isek; plastikler genellikle ekstra işleme ve operasyonlara ihtiyaç duymadan kompleks geometrilerin kalıplanabilmesini için uygundurlar.

Çeşitli yüzey işleme, kaplama, boyama gibi kozmetik işlemlerin yanında kaynak gibi uygulamalara da çeşitli tür plastikler yatkındırlar.

Geleneksel mühendislik malzemeleri ve seramiklere nazaran düşük yoğunluğa sahip olmalarına karşın dayanım/yoğunluk performansları iyidir.

Yüksek korozyon direnci ve düşük ısı - elektrik iletkenliğine sahiptir malzemelerdir.

Hacimsel bazda plastik parçaların üretilmesi için ihtiyaç duyulan düşük işleme sıcaklıkları nedeni ile metal malzemeler için ihtiyaç duyulan enerji açısından ciddi farklar oluşmaktadır.

Plastiklerin bir diğer avantajı ise ihtiyaç duyulan özelliklere cevap verebilmesi için geliştirilebilir bir yapıda olmasıdır. Tokluk, dayanım, şeffaflık, renk, korozyon dayanımı gibi bir çok farklı özellikte plastik malzemeler günümüzde piyasaya sunulmuştur.

Plastik malzemeyi tanımlarken monomer ve polimer kavramlarını birlikte açıklamak gereklidir. Monomerler, birbirine kovalent bağlar ile bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük moleküller yapısındadır. Polimerler ise birden fazla monomerin

birbirlerine kovalent bağlarla bağlanması ile meydana gelen daha büyük moleküllerdir.

Monomer moleküllerinin polimer moleküllerine dönüştürülmesi işlemine polimerizasyon denir. Polimerizasyon ise monomer moleküllerinin polimer moleküllerine dönüştürülmesi prosesine verilen isimdir. Plastik malzemeler, monomerlerin zincir benzeri bir yapı ile kendi aralarında birbirlerine kenetlenerek oluşturduğu makro-moleküller yapıdaki sentetik malzemelerdir. [1]

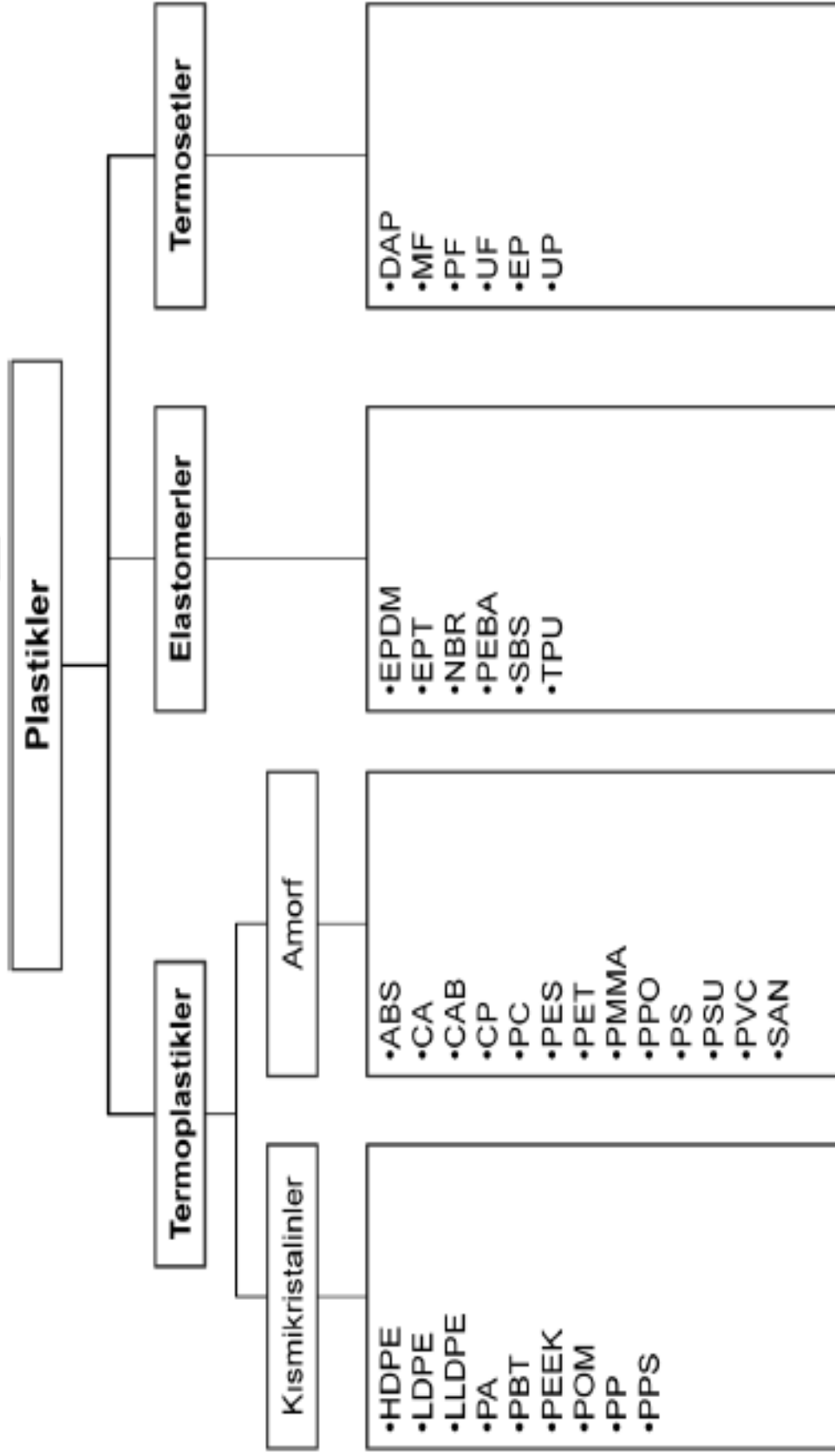
Polimerler farklı kimyasal yapıları da oluşturulabileceğinden plastikleri 3 ana başlık altında inceler isek;

- Elastomerler (elastoplastikler)
- Termosetler
- Termoplastikler olarak 3 ana grup oluşmaktadır.

Elastomerler; molekül yapısının ağ şekline benzer bir yapıda olan plastik malzemelerdir. Bu yapı malzemeye esneklik, yumuşaklık ve sıkışabilirlik açısından olumlu etki etmektedir.

Termosetler; Makromoleküler yapıda üç boyutlu ve kuvvetli bağlarla oluşmuş bir ağ yapısına sahiptir. Yumuşama sıcaklığı bozunma sıcaklığından yüksek olduğu için şekillendirilmek üzere bir kere ısıtıldıkları zaman polimerleşme oranı artar ve çoğunlukla çapraz bağlar barındıran bir yağına dönüşürler. İşlem sıcaklığı ağ yapısını değiştirdiği için bir kez ısıtıldıklarında bir daha eriyik hale geçemezler.

Termoplastikler ise; ağ yapısı birbirine çapraz bağlarla bağlı olmayan uzun moleküllerden oluşmaktadır. İşlem sıcakları ise, önce camlaşma sıcaklığını aşarak yumuşarlar daha yüksek sıcaklıklarda ise bozunmadan sıvı hale geçerler.



Şekil 2.1 : Plastiklerin sınıflandırılması.



3. PLASTİK ENJEKSİYON

Enjeksiyon, ham plastik malzemenin eritilerek kalıba basınç altında enjekte edilmesi işlemidir. Enjekte işlemi tamamlandığında ham erimiş plastiğin soğuyarak kalıp boşluğunun şeklini alması amaçlanır.

Plastik malzemeyi tipine göre belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıp kalıba belirli basınç altında enjekte eden, malzemenin kalıp boşluğunu dolmasından sonra plastiğin soğumasını sağlayan, soğuyup katılaştıktan sonra da kalıptan çıkarılmasını sağlayan mekanizmayı bütününe enjeksiyon makinası adı verilmektedir.

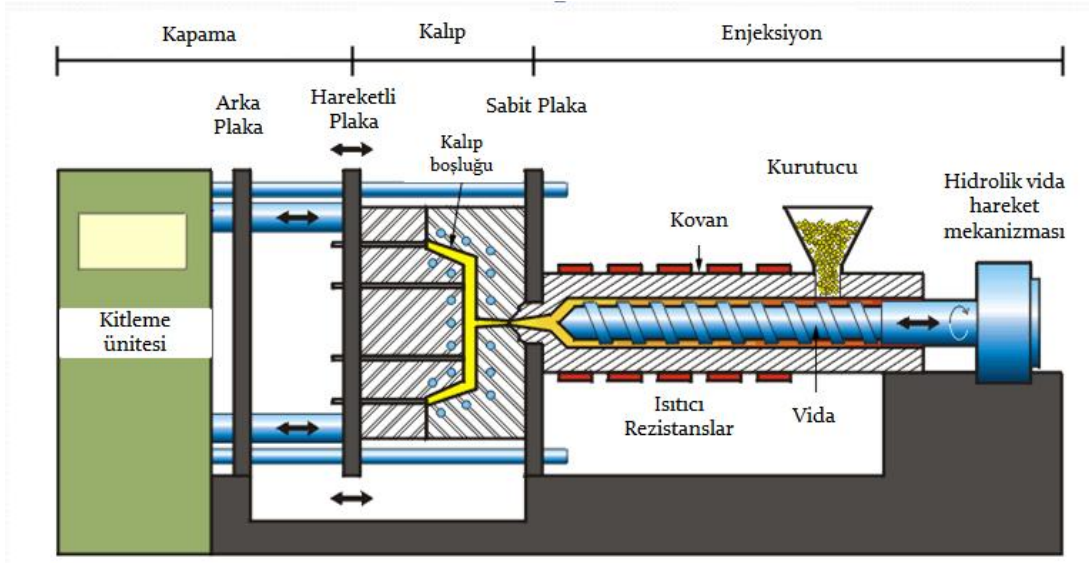
Enjeksiyon makinalarında, uygulanan kaplama kuvveti ve enjekte plastik miktarı makinenin sınıflandırılması açısından iki önemli kriterdir. Katalog enjeksiyon makinelerinde kapama kuvveti 10 ton ile 5000 ton arasında, enjekte edilen plastik miktarı ise birkaç gram ile 40 kilogram arasında olabilmektedir. [2]

3.1 Plastik Enjeksiyon Makinesi

Termoplastik enjeksiyon makineleri günümüzde bir çok farklı tipte geliştirilmiştir. Enjeksiyon makinelerinin talep edilen özel proses ihtiyaçlarına göre seçmek yada üretirmek mümkündür. Günümüzde dikey enjeksiyon, çok komponent gibi ana tipler yanında farklı vida, motor ve kapama üniteleri ile özelleştirmek mümkündür. Aşağıda bir enjeksiyon makinesi şematik çizimi görülmektedir.

3.1.1 Enjeksiyon ünitesi

Enjeksiyon ünitesi seçimi öncelikle kalıp boşluğu için gerekli olan plastik malzeme miktarı ile orantılı olan enjeksiyon kapasite göre seçilmelidir. Yine kovan, vida ve roket (check valf) de üretilmesi planlanan malzemenin tip ve katıklarına göre seçilmelidir.



Şekil 3.1 : Termoplastik enjeksiyon makinesi şematik gösterimi.

3.1.2 Kapama ünitesi

Kapama ünitesi kuvveti kalıplama boşluğunun, enjeksiyon makinesi hareketli plakası üzerindeki izdüşüm alanına göre seçilmelidir. Detaylı hesaplama yöntemlerinin yanında pratik olarak hesaplamak için [3];

$$F(\text{Ton}) = (0,5 \sim 0,35) \times S(\text{cm}^2)$$

F: Kapama kuvveti

S: kalıp boşluğu izdüşüm alanı (cm^2)

Kapama ünitesi mekanizması için hidrolik, mekanik, hidro-mekanik gibi sisteme hareket vermek için ise hidrolik motorlar, elektrikli motorlar veya servo motorlar gibi seçenekler günümüzde sunulmaktadır.

3.1.3 Enjeksiyon kontrol ünitesi

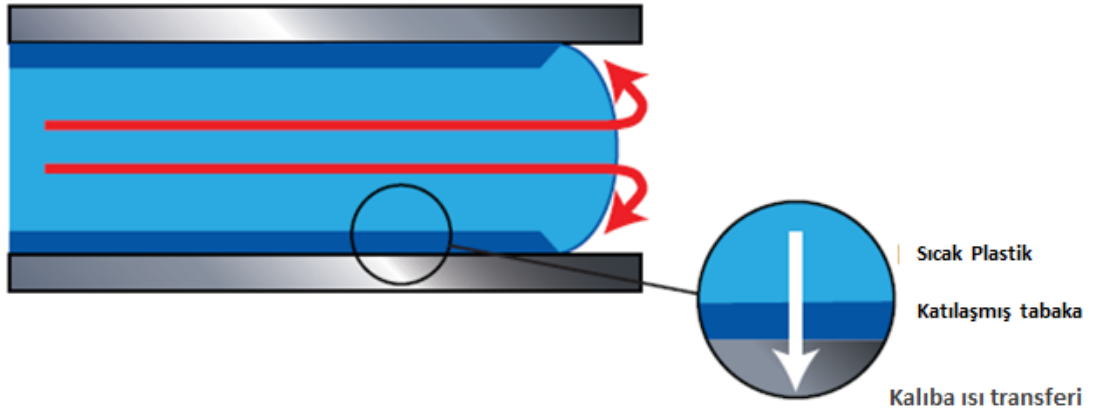
Enjeksiyon tezgahının kilitleme, enjeksiyon prosesi ve kalıp ayarlarının yapıldığı bir PLC kontrol ünitesi günümüz enjeksiyon makinelerinde sunulmaktadır. Farklı markaların farklı ara yüzler ile farklı enjeksiyon parametre ayarlama imkanları sunulmaktadır. Kompleks parça yapıları için kullanılması muhtemel olan hidrolik ve pnömatik kalıp bağlantıları da yine enjeksiyon makineleri özelleştirilerek seçilebilmektedir. Yine bu parametrelerde enjeksiyon makinesi kontrol ünitesi vasıtası ile kontrol edilebilmektedir.

3.1.4 Kalıp

Plastik parçanın imal edilmesi için üretilen, erimiş plastik malzemenin şekil ve form alarak soğuması sürecinin gerçekleştiği elemandır. Kalıplar bir tanesi hareketli bir diğeri ise sabit olmak üzere en az iki farklı plakan oluşmaktadır. Kalıp tasarımlarında dikkat edilmesi gereken ana hususlar ise; kalıp boşlukları dengeli ve homojen bir şekilde dolmalıdır. Dolan malzeme homojen ve hızlı bir şekilde soğumalıdır. Soğuyan plastik parça ise kalıptan rahat bir şekilde çıkmalıdır.

3.2 Plastik Enjeksiyon Prosesi

Enjeksiyon prosesinin anlaşılabilmesi adına soğuk kalıp yüzeyi ile erimiş plastiğin teması esnasında fiziksel olaylar nasıl gerçekleşiyor biraz bahsetmek gerekmektedir. Öncelikle erimiş plastik soğuk kalıp yüzeyi ile temasından kısa bir zaman sonra hemen bir plastitite gerçekleştirmiş bir yüzey oluşurken iç kısımlar ise halen erimiş olduğundan kalıp boşluğunu doldurmaya devam eder. Bu durumu Şekil 3.2’de tasviri şeklinde görebiliriz. [9]

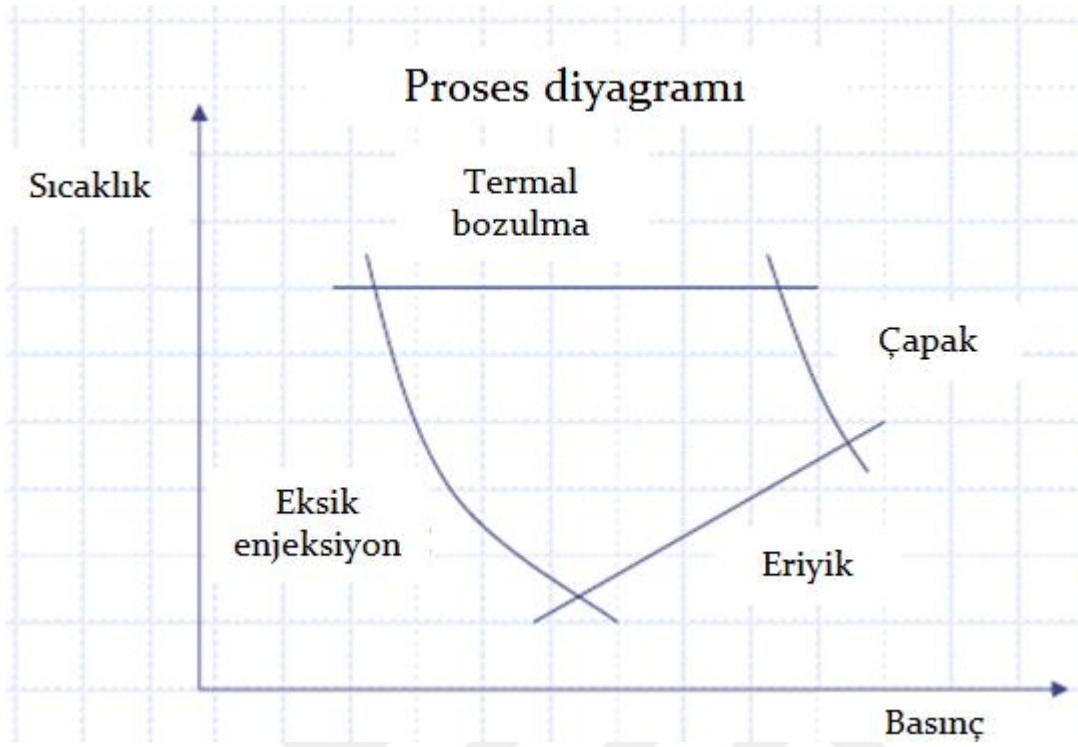


Şekil 3.2 : Plastik akışı ve ısı transferi.

Enjeksiyon prosesinde sıcaklık, basınç, zaman ve baskı gramajı önemli dört parametredir. Bu parametrelerin ayarlanabildiği noktalar ise,

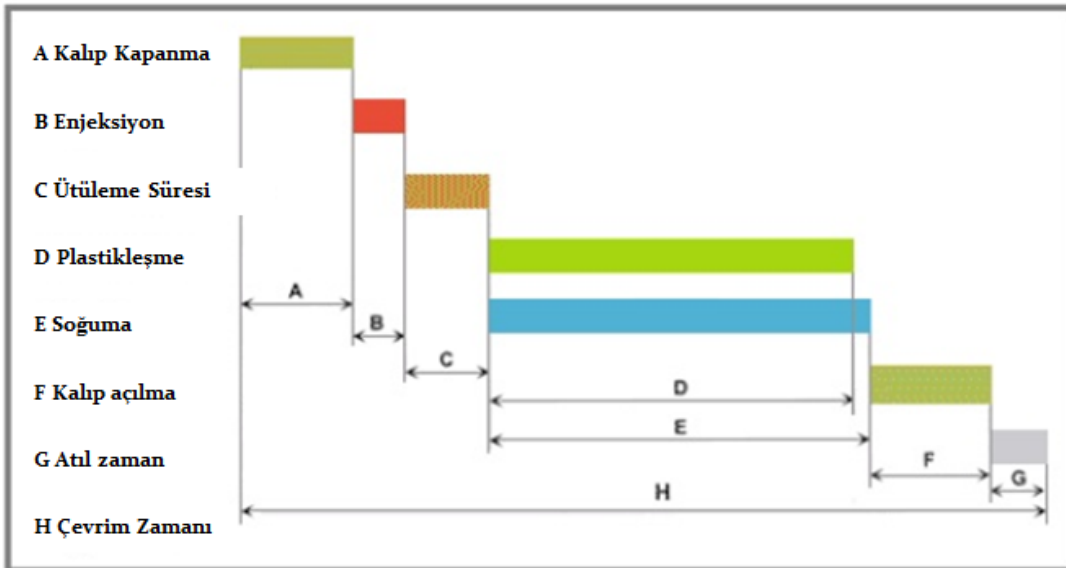
- Sıcaklık; kovan sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve sıcak yolluk sıcaklığı
- Basınç; maksimum enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, geri basınç
- Zaman; enjeksiyon zamanı, ütüleme zamanı, kalıp açma zamanı ve soğuma zamanı
- Baskı gramajı ve hız; vida konumu ve hareketi olarak kriterize edilebilir.

Bu kriterlerin birbirleri ilişkileri ve sonuçları Şekil 3.3'te şematize edilmiştir [4].



Şekil 3.3 : Enjeksiyon proses diyagramı.

İki plastik parçanın kalıp içerisinde çıkması için arada geçen süreye çevrim süresi adı verilmektedir. Çevrim süresini hangi parametrelerin oluşturduğunu ise Şekil3.4'de çevrim süresi diyagramı ile şematize edebiliriz.



Şekil 3.4 : Enjeksiyon çevrim diyagramı.

Çevrim süresinin yaklaşık %70 lik kısmını sağıma süresi almaktadır. Sağıma süresinin yaklaşık basit hesabı ise;

$$T_{Soğuma} = \frac{(Parça kalınlığının yarıısı)^2}{\alpha}$$

α : 10^{-3} cm²/saniye (polimerler için)

olarak hesaplanabilmektedir [4].

Enjeksiyon prosesinde kullanılacak hammaddelerin diğere parametre bilgileri hammadde üreticileri tarafından malzemeye özgü önerilen enjeksiyon parametre değerlerini içeren malzeme özellik dokümanları dikkate alınarak oluşturulmalıdır.

3.2.1 Plastik enjeksiyonda çekme ve çarpılma

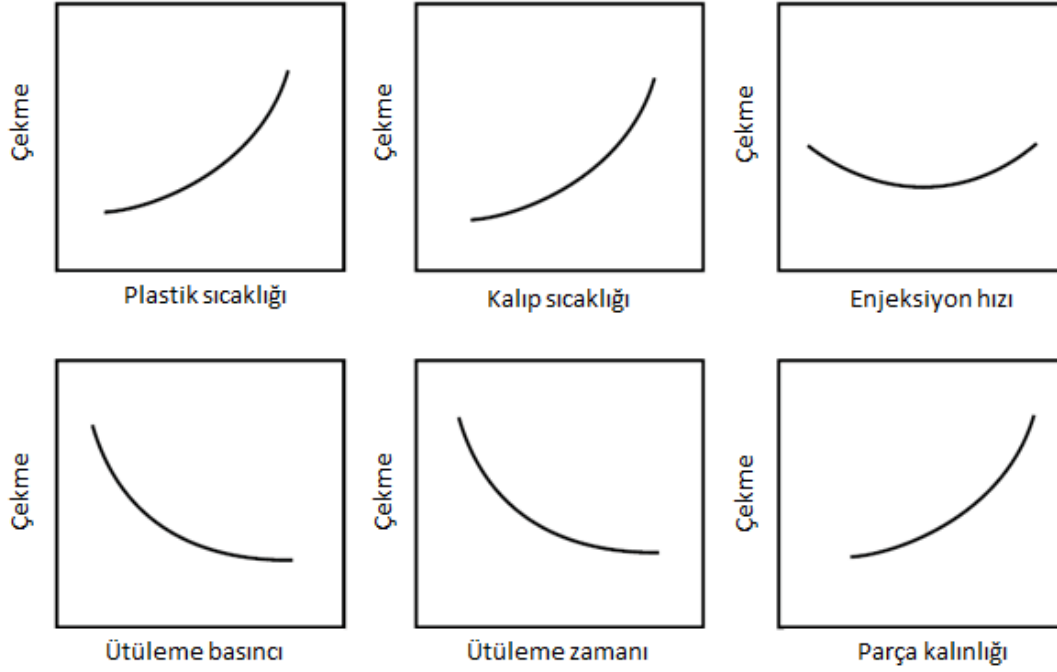
Çekme geometrik olarak parçanın ölçülerinin küçülmesi olarak düşünülebilir. Eğer parçada çekme unifrom ise şekil değişikliği ve form bozukluğu olmadan kolayca küçülebilir.

Çekme düzgün olmadığında ise çarpılma meydana gelmektedir. Parça üzerinde bölgesel çekmelerde oluşur ve eşit olmayan çekme miktarları meydana gelirse parçanın rijitliğine bağlı olarak şekil ve form bozulmalarına neden olabilir. Hatta uzun vadede parçanın kırılmasına bile neden olabilir. Şekil 3.5'te bir paçanın çekme ve çarpılmasına enjeksiyon ayarlarının nasıl etki ettiğı anlatılmaktadır. [9]

Yolluk giriş bölgelerinde çekme miktarı için basıncı artırmak veya azaltmak akış son noktalarına göre daha kolaydır ve basınç, zaman ve çekme arasındaki ilişki basittir. Yolluk bölgesinde ütüleme basıncı yolluk bölgesinde malzeme katılaşana kadar (ütüleme devam ettiğı sürece) diğere bölgelere nazaran daha düşün bir çekme miktarının olmasına neden olur.

Basınç kalıp boşluğunun uç noktalarına plastik vasıtası ile iletilmektedir. Kalıp boşluk geometrisi, viskozite, erimiş plastik yolunun hem yolluk sisteminde hem de kalıp içerisinde erimiş olacağı süre boyunca basıncın iyi bir şekilde iletildiğini düşünebiliriz. Yüksek bir ütüleme basıncı, bu basıncın plastik vasıtası ile tüm kalıp boşluğuna hızlı bir şekilde yayılacağı, bu basıncın devamında da plastiğın çekme boşluğuna yeni malzemenin hızlı bir şekilde göndereceğı durumunu ortaya çıkarır. Ancak bu süreç devamında hacimsel soğuma ile birlikte ütüleme basıncı kaynaklı malzeme hareket hızında azalma meydana gelecektir. Düşük bir ütüleme basıncı ise

bu durumun biraz tersi bir durum ortaya çıkaracaktır. Plastiğin katılaşması başlayacağı için çekmeden kaynaklı doğacak son dolum bölgelerindeki boşluklara malzemenin akışı olmayabilir. [9]



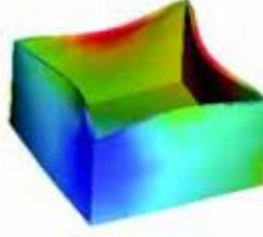
Şekil 3.5 : Enjeksiyon parametrelerinin çekme üzerine etkisi.

Bütün plastik malzemelerin büyük hacimsel çekme oranları vardır. Bu çekme süreci ise ermiş halden katı hale geçene kadarki soğumalarıyla devam eder. Basıncsız bir ortamda ortalama %25 olarak kabul edilebilir. Aslında plastik parçanın hacimsel çekme ve lineer çekmesi arasındaki ilişki kalıp tutması, kristalleşme ve yönelimden etkilenmektedir. Çarpılma farklı çekme tiplerinden oluşmaktadır. Çarpılmayı oluşturan çekme tipleri ise;

Yönelim etkisi; paralel ve dikey çekme arasındaki farktan ortaya çıkmaktadır. Bu fark moleküler veya fiber yöneliminden kaynaklanabilir.

Alansal çekme; bu tip çekmede ise parçada bölgeden bölgeye farklı çekmeler meydana gelebilir. Bu bölgelerden başlıcaları yolluk bölgeleri, son dolum noktaları gibi bölgeler olarak düşünülebilir. Ayrıca bölgesel olarak soğutma isteminin stabil olarak yüzey sıcaklığını oluşturamaması da düşünülebilir. Kalıp yüzeyindeki bu sıcaklık farkı parça kalıptan çıkarılmadan önce fark edilmez ancak parça kalıptan alındıktan sonra parça yüzeylerindeki ısı farkları bükülme momenti oluşturularak çarpılmaya neden olur. Kalıp yüzeyindeki bu sıcaklık farkları kutu gibi farmlu

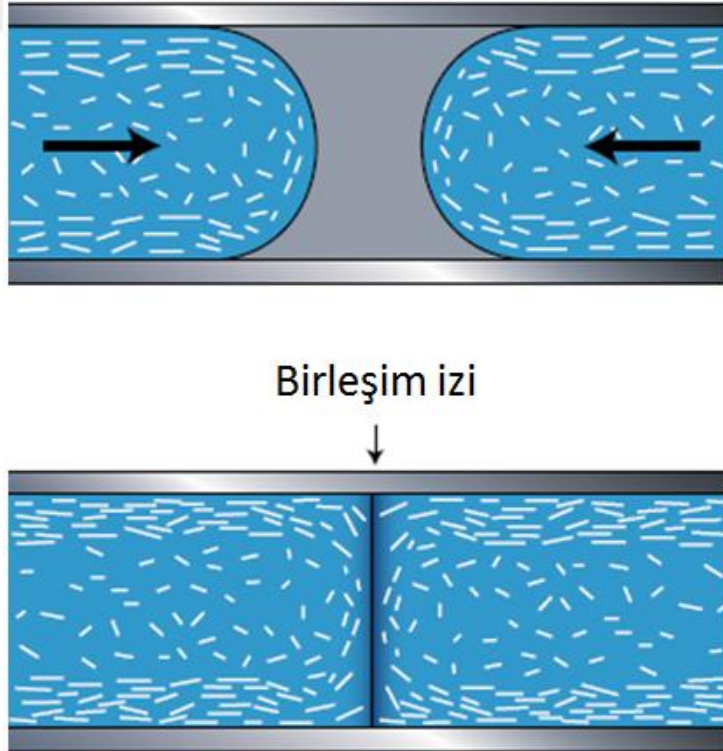
parçalar ile kalınlıkları farklı olan bölgelerin olduğu parçalarda sıkça karşılaşılmaktadır.[9]



Şekil 3.6 : Farklı yüzey sıcakları kaynaklı çarpılma.

3.2.2 Plastik enjeksiyonda birleşim izi

Birleşim izleri paçadaki delikler veya insertler, çoklu yolluk girişleri değişken duvar kalınlıklarının olduğu bölgelerde oluşur. Birleşim izleri lokal sıcaklık artışı, veya bölgesel basınç artışı ile iyileştirilebilir. Parça dayanımı ve görsel özellikler öncelik ise birleşim izleri kabul edilmezler. Birleşim izi olan bölgeler kullanılan plastik malzeme dayanımının %10-90 oranı arasında olabilmektedir.



Şekil 3.7 : Birleşim izinin oluşumu, fiber yayılımı ve zayıf bölge [9].

Daha iyi bir birleşim izi elde edebilmek için;

- Yüksek ermiş plastik sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı

- Yolluk girişlerine yakın bölgelerde birleşim izinin yönlendirilmesi
- Ortaya çıkan iki akış arasındaki sıcaklık farkının 10 °C den az olması
- Yollukların ve sıcak yolluk nozzle boyutlarının büyütülmesi
- Enjeksiyon prosesinde enjeksiyon hız ve basıncının artırılması

3.3 Plastik Enjeksiyon Kalıbı

Enjeksiyon kalıpları genellikle plastik malzeme özelliğine göre seçilen çelik bloklardan ve ön işçiliği yapılmış olarak temin edilen standart parçalardan, talaşlı imalat yöntemleri ve montaj işlemleri ile imal edilirler. Plastik enjeksiyon kalıpları parça geometrisini oluşturan kalıp boşluğu, kalıp boşluğuna eriyik plastiğin enjekte edilmesi için kullanılan yolluk sisteminden, parçanın dengeli bir şekilde soğumasını ve çevrim süresinin kısaltılmasını sağlayan soğuma kanallarından, parçanın kalıpta erkek taraftan ayrılmasını sağlayan itici sistemlerden ve kalıp çalışma yönünde ters açılar ve geometriler barındıran parçaların kalıplanabilmesi maça sistemlerinden oluşmaktadır. Maça istemleri mekanik, hidrolik yada pnömatik sistemler ile çalıştırılabilirler. Kalıp elemanları aşağıdaki Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Plastik enjeksiyon kalıp elemanları [5].

3.3.1 Kalıp boşluğu

Üretim yapılan kalıbın içerisine malzemenin yani plastiğin gönderildiği ve bu plastiğin soğutulma işleminin gerçekleştirildiği yere kalıp boşluğu adı verilir. Eğer ki kalıp da bir adet boşluk var ise tek gözlü kalıp, birden daha fazla boşluk var ise çok

gözlü kalıp adını almaktadır. Bu kalıp boşlukları oluşturulma işlemleri gerçekleştirilirken bir önemli bir konuya dikkat edilir bu da üretilen malzemenin kalıbın içerisinde çekme oranıdır.

3.3.2 Erkek (Hareketli) kalıp tarafı

Üretim yapılan makineye bağlanmış kalıbın hareketli olan yarısına erkek kalıp adı verilmektedir. Erimiş olan malzemenin soğuduğu sırada, soğuyan malzemenin çekme özelliğinden dolayı soğuyan bu baskı hareket halinde olan erkek kalıp üzerinde çekilir. Bu çekme özellikleri basılan parçanın içinden çıkartılabilmesi için iticiler erkek kalıpların üzerinde yerleştirilmektedir.

3.3.3 Dişi (Sabit) kalıp tarafı

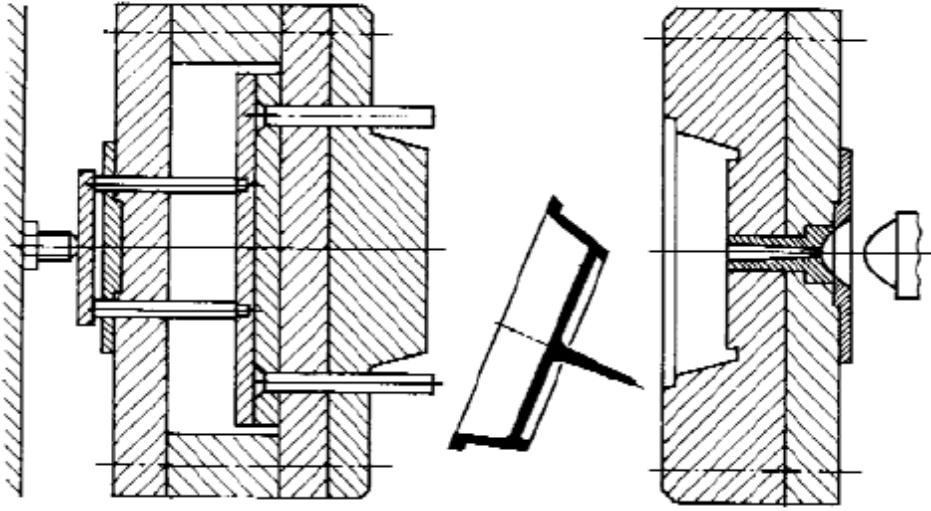
Üretim yapılan makinenin hareket etmeyen plaka üzerine montajı yapılmış olan kalıba da dişi kalıp adı verilmektedir. Kalıpların besleme sistemi genel olarak hareket etmeyen dişi kalıpların üzerine yerleştirilmektedir. Bunun sebebi ise makinelerin enjeksiyon ünitelerinin olduğu taraftır.

3.3.4 Soğutma Sistemi (Soğutma kanalları)

Üretim de enjeksiyon işleminde, kalıbı ergimiş plastiğin sıcaklığı bir süre sonra ısıtmaya başlar. Isınan kalıp ile birlikte bu kalıbın çalışma performansı, çevrim süresi ve parçanın kalitesi de etkilenir. Kalıp sıcaklığını istenilen seviye de sabit tutmak için kalıbın içine açılmış olan kanallarda soğutma sıvısının akışının gerçekleştirilmesi gereklidir. Genel olarak en basit sistem olan kalıbın bir ucundan diğer ucuna kadar delinme işlemiyle gerçekleştirilen soğutma sistemidir. Bu sistemden çok daha fazla etkili olan kalıp soğutma yöntemleri maça pimi veya dalıcı zimba ve dişi kalıbın içinde dolaşım sağlayan kanalların oluşturulmasıyla mümkün hale getirilir.

3.3.5 İtici sistemi

Baskı işlemi bittikten sonra üretilen parçanın kalıptan çıkartılmasını itici sistem sağlamaktadır. İtici sistemi genel olarak kalıbın açıldığı sırada mekanik hareket gerçekleştirilerek tahrik işlemi yapılır. Tahrik yeterli olmadığında ise bu işlem hidrolik ya da pnömatik olarak tanımlanabilirler. Şekil 3.9’da itici pimler yardımı ile parça çıkartılması gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : İtici sistemi çalışması.

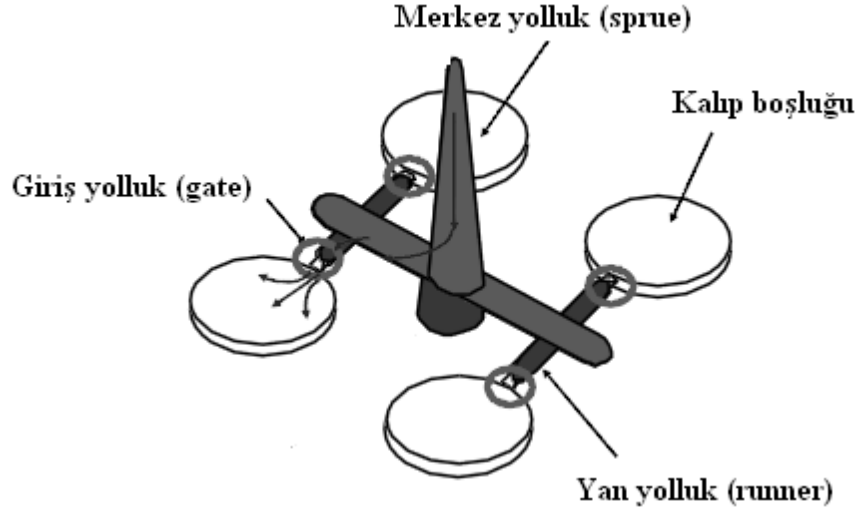
İtici metodu belirleme aşamasından kalıptan çıkartılma işlemi gerçekleştirilecek olan parçanın estetik görünüş ve tasarımı öncelikle ele alınır. İtici sistemlerin dizaynı yapılırken dikkate alınması gereken şartlar şunlardır; İtici sistem, baskısı yapılan parçayı zedelemeyen kalıp içerisinden çıkarabilmelidir. Parçaların üzerlerinde görülür izler bırakmaması gerekir.

Sayı fazla olan parçaların kalıptan çıkartılma işlemini sağlamak için dengeli kuvvet dağılımının gerçekleşmesi gerekmektedir. İticilerin piminin istenilen konumda ayarlanabilmesinin sağlanması gereklidir. İtici sistemleri ile soğutma sistemleri bağlantılı bir şekilde çalışması gereklidir.

3.3.6 Yolluk sistemi

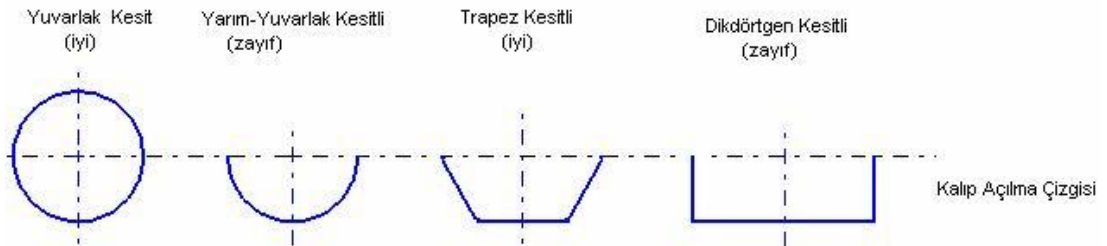
Erimiş halde ki malzemenin enjeksiyonu gerçekleştiren makinenin memesinden kalıbın boşluğuna dağılımını sağlayan kanallar sistemine verilmesine yolluk sistemi denir. Yolluk sistemi üç kısımdan oluşur; merkez yolluk (sprue), tali ya da yan yolluk (runner) ve giriş yolluğu (gate) kısımlarıdır. Şekil 3.10'da yolluk sisteminin elemanları görülmektedir.

Ürünlerin kalitesi, ekonomik nedenler başta olmakla beraber yolluk sistemleri; kaynak çizgisi, basıncın düşmesi, malzeme de gerçekleşen kayıp, ürünün kalıptan kolay çıkarmaması, yolluk sisteminde ki uzunluk, parçanın kesit alanı ile doğrudan ilgiye sahiptir.



Şekil 3.10 : Yolluk sistemi ve elemanları.

Kalıbın içinde ki erimiş olan malzeme iki ya da daha fazla ayrı akış çizgisinin birbirleri ile karşılaşması bu karşılaşma sonucunda üretimi gerçekleştirilen parça da kaynak çizgileri oluşumu görülebilir. Bu da istenmeyen bir durumdur. Bundan dolayı yolluk sistemleri uzun kaynak çizgileri oluşmayacak şekilde dizaynı gerçekleştirilmeli ve bu şekilde yerleşimi yapılmalıdır. Yolluk sisteminin akış direnci en az olacak şekil ile dizaynının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde enjeksiyonun basıncı düşebilir. Bunu gerçekleştirmek için kalıbın keskin olan köşelerinin yuvarlatılması ve eğim açısının verilmesi gereklidir. Ayrıca büyük kesit alanlarının farklılığından da kaçmak gereklidir. Yolluğun kesiti, basıncın düşmesi ve malzemede ki kayıplara dikkate alınarak optimize edilmesi gerekir. Şekil 3.11’de soğuk yolluğun kesit tipleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Soğuk yolluk kesit tipleri.

Kesit alanı dairesel olan yolluklar, en küçük yüzey/hacim orantısına sahip olduğundan ısı kaybı ve basınç düşmesini en az da tutarlar. Soğumaların hızları da düşük olmasından kaynaklı, merkezi en son da katılaşmakta ve verimi yüksek tutma basınç süreci gerçekleştirilmektedir. Bu yollukların her bir kalıp parçasına işlenmeleri zor olduğundan dolayı yapılmasının maliyeti pahalı olmaktadır. Parabolik

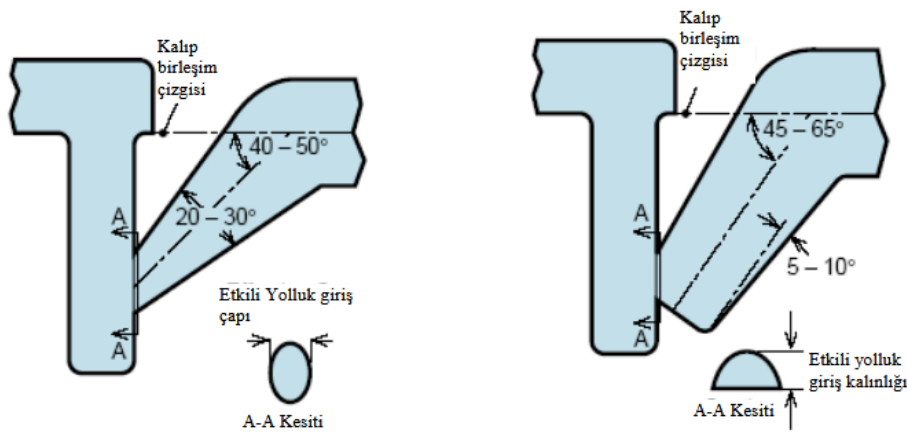
ya da trapez kesite sahip olan yollukları daha basit olarak işlenebilirler ve dairesel şekle yakın olan özellikleri de gösterirler. Yolluk sistemine ait olan kesiti, bu yolluk sistemini dışarıya çıkarmak için gerekli olan itici kuvvetleri üzerine etkisi bulunmaktadır. Açısı olan ya da eğimi olan yolluklar, örnek olarak tam ve yarım olan yuvarlaklar ya da kesiti trapez şeklinde olan yolluklar kalıptan çıkarılması sırasında kuvvete daha az gereksinim duyarlar. Kesiti yarı dairesel ya da dikdörtgensel olan tasarımlara zayıf tasarım denir ve bunlar için daha basit kalıplar seçilirler.

Yolluk sistemleri iki ana gruba ayrılırlar bunlar; soğuk yolluk ve sıcak yolluktur.

3.3.6.1 Soğuk yolluk

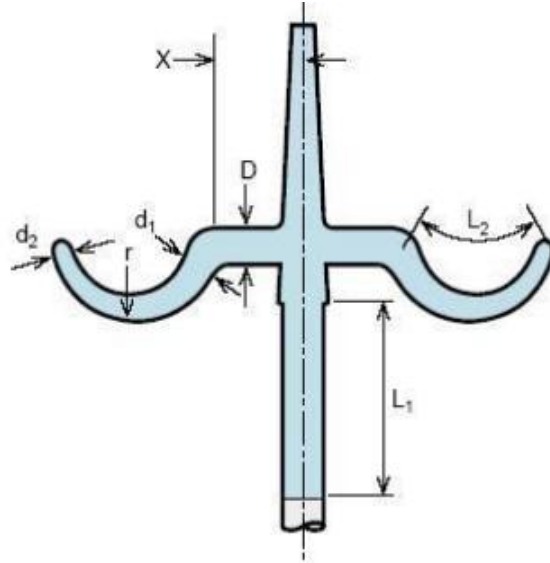
Bu yolluk sisteminde parçaya harcanan malzemelerin dışında yolluk sisteminde hurda olacak kısım içinde malzemeler gerekir. Bu yolluk sistemi genel olarak giriş yolluğunun şekline göre ad alırlar. Giriş yolluğu ise kalıp boşluğuna yan yolluktan geçişi gerçekleştiren bölümdür. Üretimi gerçekleştirilen parçaların kalıp sistemlerinden düzgün ve kolay ayrılabilmesi için giriş yolluğunun kesiti mümkün olan en ince şekilde olması gerekmektedir. Üretimi gerçekleştirilen parçanın şekli, dolum hızı, hacmi ile ilgili olarak giriş yolluğunun tasarımı kullanılacak yere göre değişiklik gösterir. Soğuk yolluklar olarak kullanılan belli başlı yolluk tipleri ise;

- Tünel yolluk; parçaya konik bir yapıyla açılı olarak yaklaşan ve et kalınlığının 0,3~0,7 katı patlama çaplarına sahip soğuk yolluk sistemleridir. Kalıplar otomatik olarak çalışabilirler.



Şekil 3.12 : Tünel yolluk giriş kesitleri [6].

- Muz (Banana) yolluk; Tünel yollukların parça tasarımı dolayısı ile tercih edilemediği zamanlarda kullanılır. Hassas işçilik gerektiren bir yapıdır. Genellikle insert şeklinde imal edilirler, standart olarak bulunabilirler. [7,8]



Şekil 3.13 : Muz Yolluk kesiti [6].

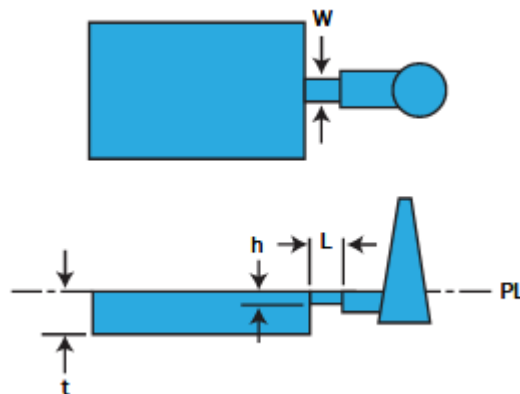
$X/D \geq 2.5$ veya minimum 15 mm olmalıdır.

$d_1 \leq D$ ve D ise 4-6 mm arasında olmalıdır.

$r = 2.5 * d_1$ yada $3 * d_1$ olmalıdır.

$L_1 \geq L_2$ olarak tasarımda dikkate alınmalıdır.

- Kenar yolluk; kalıp ayırım hattında parçanın kenar, alt yada üst kısmından parçayı doldurur.

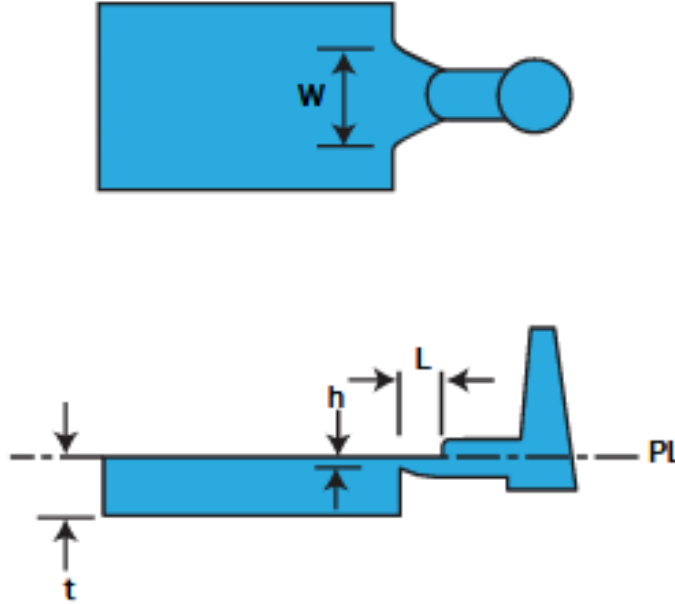


Şekil 3.14 : Kenar yolluk [9].

- Disk (Diyafram) yolluk; Silindirik yada disk şeklindeki parçalar da sıklıkla kullanılır. Çap, ovallik, çarpılma gibi kritik ölçülerin olduğu parçalarda ve

birleşim izinin istenilmediği parçalarda tercih edilir. Parçanın iç çapında yolluk kendinden kopmayacaktır ve ek bir işçilik yapılması gerekecektir. Genellikle yolluk kalınlığı; 0,25~1.27 arasındadır. [9].

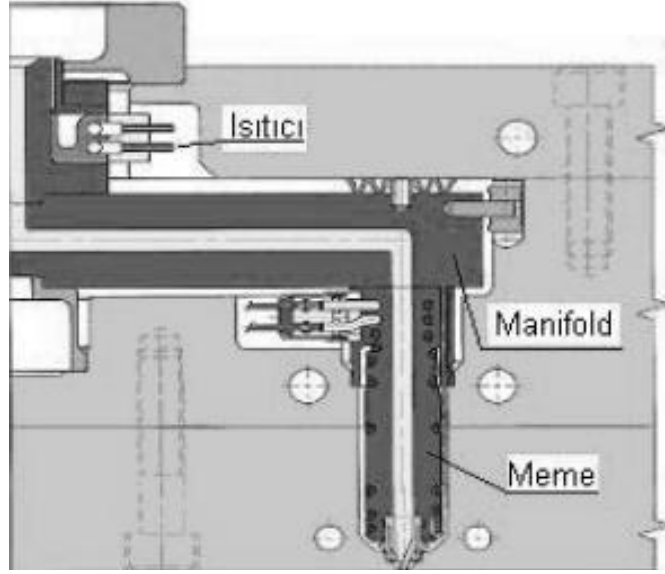
- Fan yolluk; kalınlığı değişen geniş bir yolluk tipidir. Büyük parçaların hızlı bir şekilde doldurulması için geniş ve kalın bir giriş dizayn edilebilir. Homojen bir akış sonrasında boyutsal hassasiyet ve çarpıklığın az olması istenilen parçalarda kullanılır. Yolluğun genişliği ve kalınlığı iyice incelenmelidir. Genellikle fan yolluklarda kalınlığı ~1 mm iken genişlik 25 mm den büyüktür. Hatta 750 mm genişliğindeki yolluklar ise çok büyük parçalar içinde kullanılmaktadır [9].



Şekil 3.15 : Fan Yolluk [9].

3.3.6.2 Sıcak yolluk sistemi

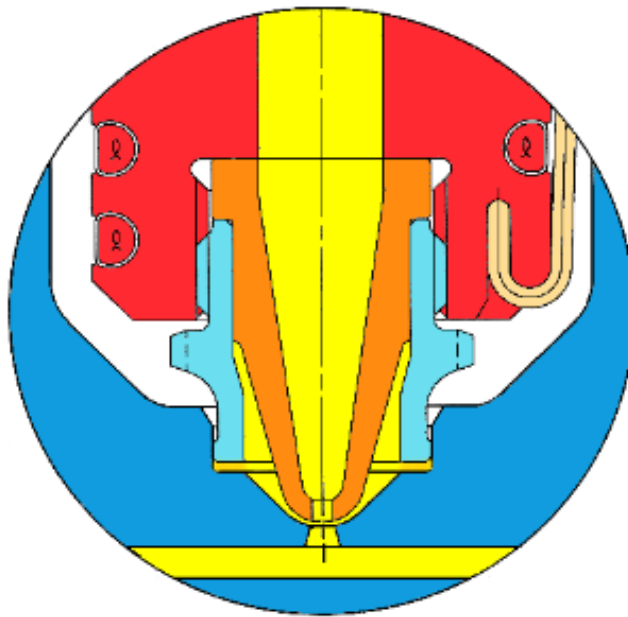
Bu yolluk sistemi enjeksiyonu gerçekleştiren makinenin memesinden plastik enjeksiyon kalıp boşluklarına erimiş plastiğin sıcaklık düşmesi gerçekleşmeden, basınç kaybını en aza indirecek şekilde ve hasar gerçeklemeden kontrol edilerek bekletilmesi ve istenildiği taktirde tekrar kalıbın gözüne tekrar enjekte etme sistemine sıcak yolluk sistemi adı verilmektedir. Sıcak yolluk sistemini oluşturan elemanlar; sıcaklığın kontrolünü gerçekleştiren elemanlar, sıcaklığı kontrol eden cihaz, ısıtıcılar, sıcak yolluk memesi ve sıcak yolluk dağıtıcısıdır. Şekil 3.16'da sıcak yolluk sisteminin elemanları görülmektedir.



Şekil 3.16 : Sıcak yolluk elemanları.

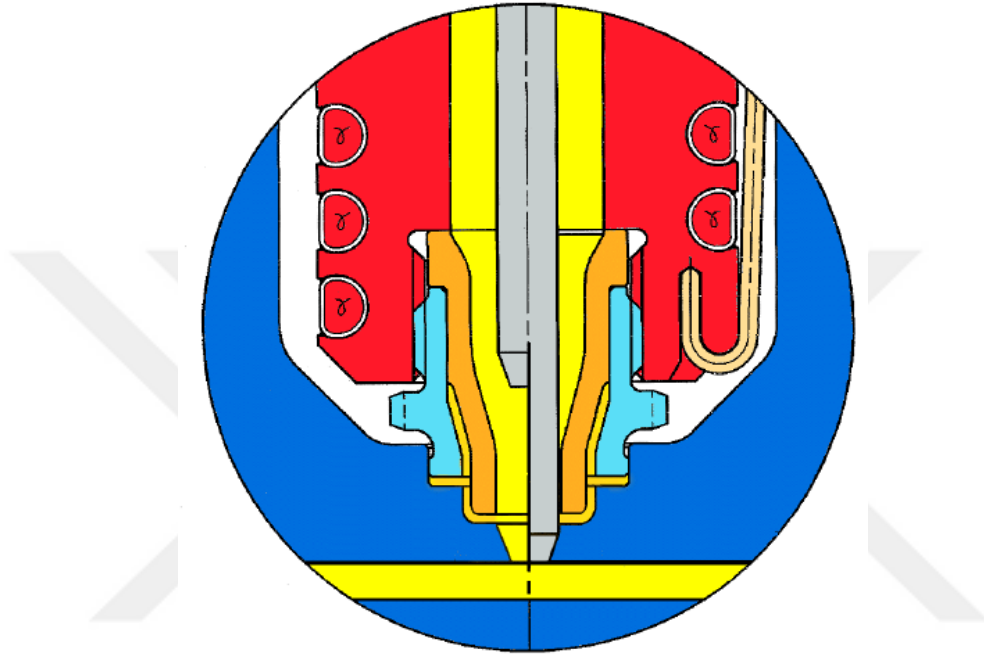
Sıcak yolluk sistemlerinde başlıca 2 farklı tip giriş uç geometrisi bulunmaktadır.

- Açık uçlu sıcak yolluk sistemleri; bu sistemler erimiş plastik malzemenin direk olarak kalıp boşluğuna verilmesi şeklinde tasarlanmıştır. Kalıp tasarımcısının tasarımına göre yolluk geometrisi değişebilmektedir. Kimi zaman uç geometri daha küçük bir geometride de seçilebilir. Bu yapıya ise iğne uçlu sıcak yolluk sistemleri adı verilebilmektedir. Parça üzerinde yolluk girişi bölgesinde bir iz bırakmaktadır. Ütöleme süresi yolluk bölgesindeki malzemenin soğuması ile kontrol edilmektedir.



Şekil 3.17 : Açık uçlu sıcak yolluk sistemi.

- Valve-Gate sıcak yolluk sistemlerinde is sıcak yolluk memesinin içerisinde bir valf pimi bulunmaktadır. Enjeksiyon başlangıcı ve ütüleme sürecinin bitişi kontrol edilebilmektedir. Bu sistem ile birlikte yolluk girişinde görünmesi muhtemel giriş izi daha düzgün bir formda görünmektedir. Bu sistem ile ayrıca farklı zamanlarda farklı yolluları açmak ve kapatmak söz konusu olduğundan prosesin kontrol edilebilmesi kolaylaşmaktadır.



Şekil 3.18 : Valve-Gate sıcak yolluk sistemi.

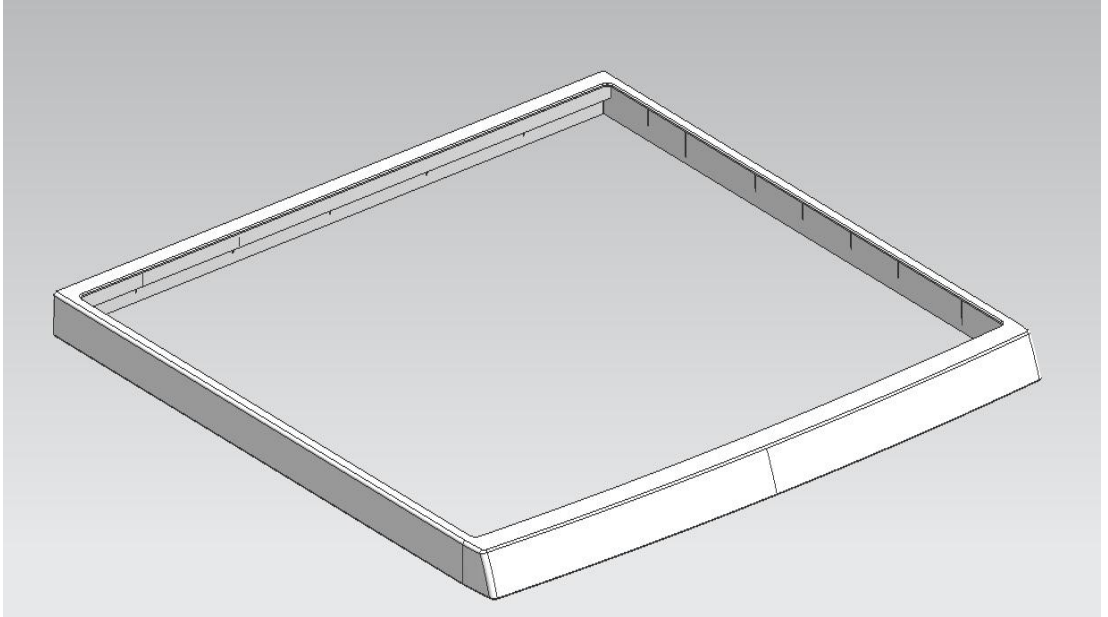
3.3.6.3 Sıcak yolluk ve soğuk yollukların beraber kullanılması

Sıcak yolluk sistemlerinde her zaman direk olarak parça üzerine denk gelecek bir şekilde tasarım yapılması özellikle görsel parçalarda ve enjeksiyon sonrası boya prosesine girecek parçalarda tercih edilmezler. Bunun sebebi ise enjeksiyon bölgesindeki yük basınç ve sıcaklık bölgesel olarak parça üzerinde ayırt edilebilir ve boya işlemi sırasında da kararmalara neden olabilmektedir.

Parçaların görsel (kozmetik yüzeye sahip) olması durumunda genellikle sıcak yolluk sisteminin bir soğuk yolluğa plastik akışkanı iletmesi daha sonrasında da bu soğuk yolluk sisteminden parçanın boşluğunun doldurulması işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yolluk sistemi ile parça üzerinde görülebilecek akış izlerinin yönlendirilmesi ve diğer enjeksiyon kusurlarını ortadan kaldırmak için uygulanmaktadır.

4. ÜST TABLA ÇERÇEVE PARÇASI PROBLEMLERİNİN TANIMLANMASI VE ÇÖZÜMÜ

Bulaşık makinesinin süt bölgesinde bulunan plastik çerçeve ve ahşap malzemenin birbirine montajlanması ile elde edilen parçalar üst tabla olarak isimlendirilmektedir. Bu parçaların enjeksiyon şartlarının zor olmasının sebebi yapıların ince kesitli ve çarpılmaya müsait bir yapıda olmalarıdır. Diğer taraftan bir avantajları plastik parçanın elastik şekil değişimlerine karşı daha rijit bir yapıya sahip ahşap plaka ile montajlanmasıdır. Bu montajlama işlemi parçanın ana ürüne montajı ve sonrası için rijitliğini korumasına yardımcıdır.



Şekil 4.1 : Üst tabla çerçevesi.

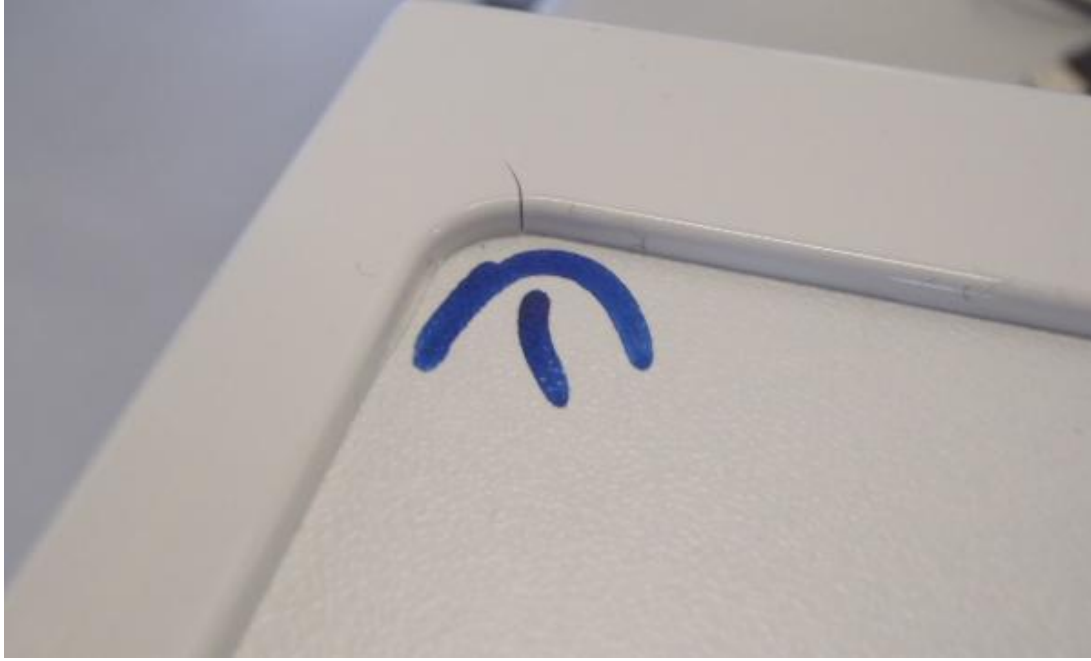
4.1 Klimatik Test ve Ölçümler Nasıl Yapılıyor

Ölçümler her parça için malzemesine ve parçanın yapısına göre belirlenmiş bir enjeksiyon sonrası çekmesi süresi tamamlandığında 3 boyutlu ölçüm cihazlarıyla parçaya özgü fikstürleriyle sabitlenerek ve gerekli bölgeler içinde el ölçümü ile yapılmaktadır ve raporlanmaktadır. Bu ölçümlerden sonra ise iklimik test ismi verilen makinenin nakliyesi esnasındaki sıcaklık değişimlerini simule etmek için

yapılan testlerdir. Belirli sıcaklıklar altında belirli periyotlar altında yapılan testte sıcaklık farkı 100 °C olacak şekilde iklimlendirme yapılmaktadır.

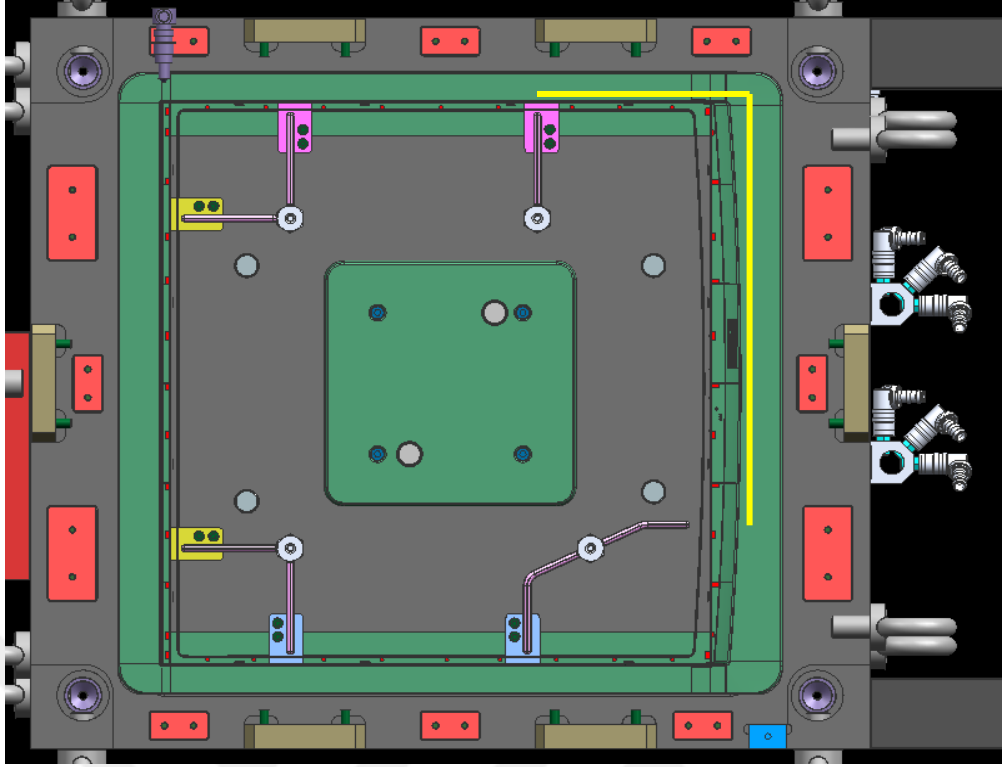
4.2 Üst Tabla Çerçevesinde Karşılaşılan Problemlerin Tanımlanması ve Analizi

Parça yapısı gereği çarpılmalara oldukça müsait olması sebebi ile nominal ölçülerde tolerans dışı gerçek ölçüm sonuçları ve iklimik testler sonrasındaki uygunsuz sonuçlar olan kırılmalar olarak iki ana kriterde toplanabilir.



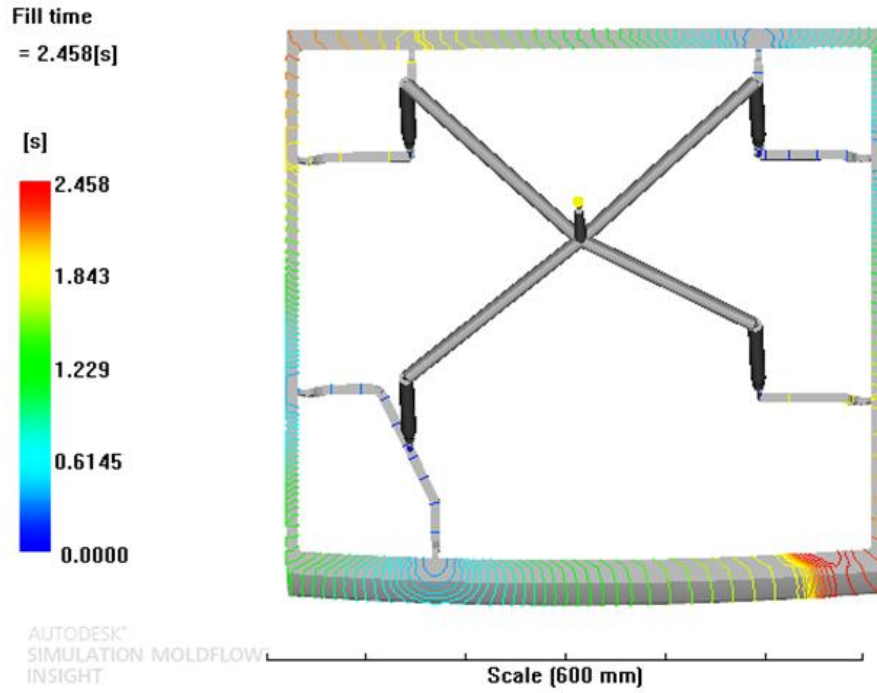
Şekil 4.2 : Üst tabla çerçevesinde yaşanan bir kırılma örneği.

İlk kalıp yaptırılırken ölçüm sonuçlarına göre parçada çok sayıda iterasyon sonrasında yine parçada sadece proses ile giderilmeyen ölçüsel bozukluklar ve kırılmalar yaşanmaktadır. Kırılmaların yaşandığı yerler birleşim bölgeleri üzerinde toplanmaktadır. Bu durumun kök sebebi ile ilgili yapılan araştırmada kalıpta sıcak yolluk sistemine bağlı olan soğuk yolluk girişleri arasındaki en uzun mesafe yaklaşık olarak 600 mm olarak ölçülebilmektedir. Şekil 4.3'te yaklaşık olarak erimiş plastiğin gitmesi gereken en uzun yol görülmektedir. Plastik malzemenin diğer yolluk girişlerine nazaran bu bölgede daha fazla yol kat etmesi bu yol boyunca özellikle birleşim bölgesinde plastik erimiş malzemenin sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Bu durumda ilgili bölgenin kalıp boşluğunun duvarlarındaki sıcaklıklarda da stabil bir seviye korunamamaktadır ve çarpılmalara sebebiyet vermektedir.



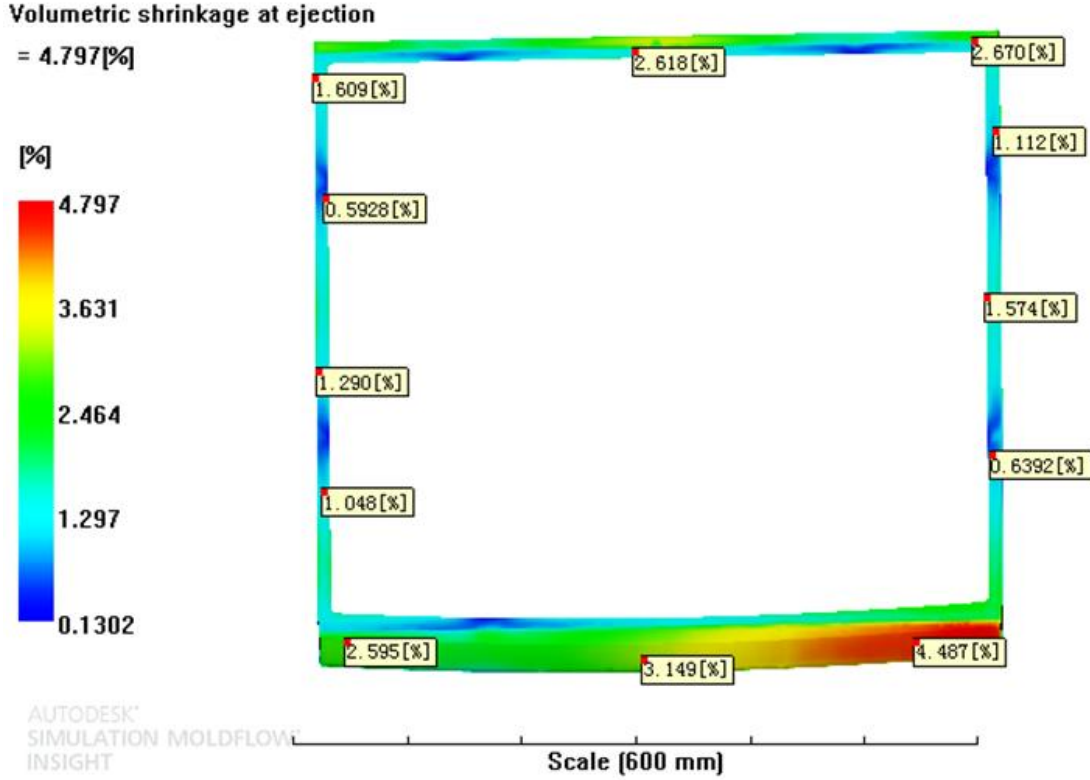
Şekil 4.3 : Üst Tabla Çerçeve 3 numaralı kalıp en uzun enjeksiyon mesafesi.

Beklenileceği gibi Mold-Flow simülasyonu incelendiği zaman ise Şekil 4.4'te görülebileceği üzere en son dolum noktası olan bölge bu iki nokta arasında bir bölgedir.



Şekil 4.4 : Üst tabla çerçevesi dolum zaman analizi.

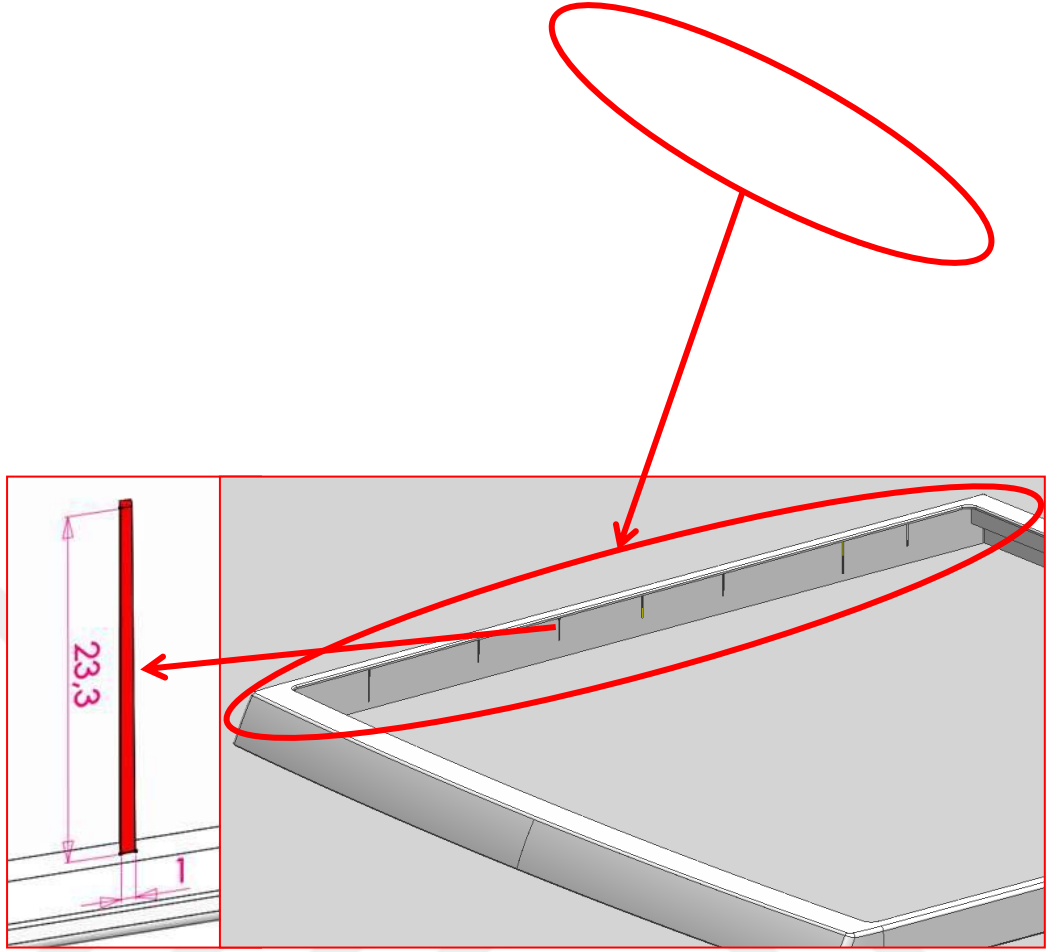
Bu mesafe uzaklığına ek olarak enjeksiyon süresinin de 2,45 saniye civarında olması bu gölge ve civarında soğuk birleşim yaşanması, diğer bölgeler ile çekme miktarının farklı olması yani proses stabilitesinin sağlanması ve proses şartlarının ayarlanmasının zor olacağı anlamına gelmektedir. Çekme oranları arasındaki analiz sonuçları Şekil 4.5'te de görülmektedir.



Şekil 4.5 : Üst tabla çerçevesi hacimsel çekme analizi.

4.3 Kalıp 3'te Karşılaşılan Problemlerin Çözüm Önerileri ve Uygulanması

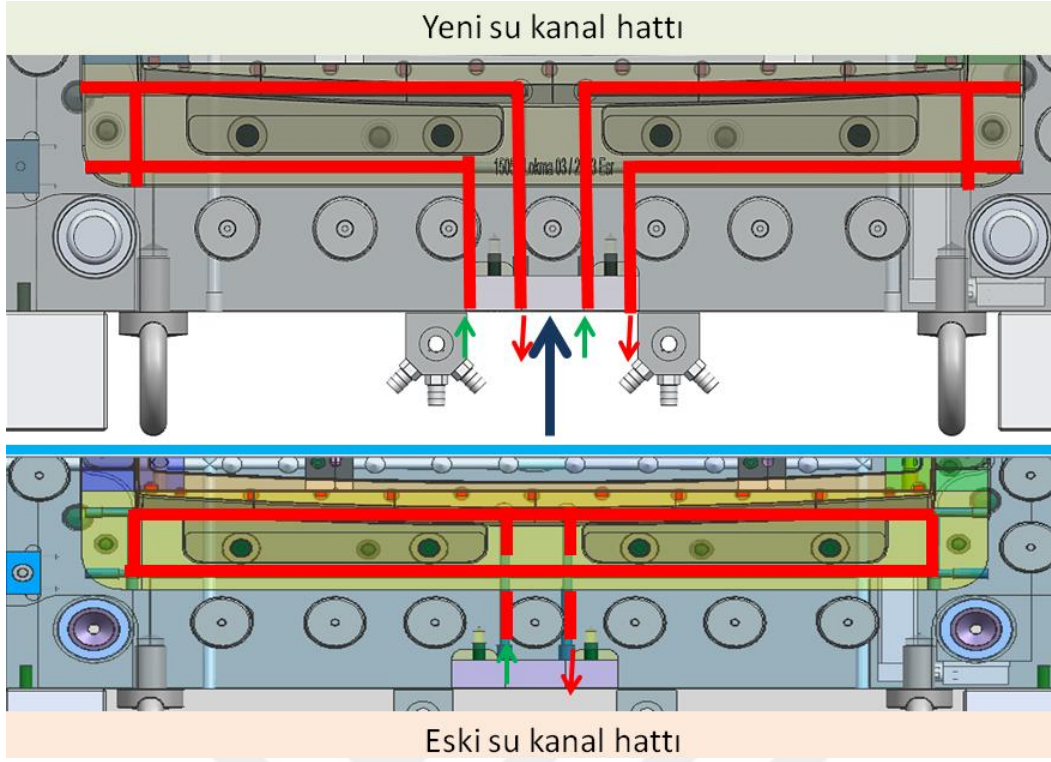
Kalıp 3 teki problemleri 2 ana başlık altında değerlendirmemiz gerekir ise ilk olarak ölçüsel farkların giderilmesi için yan duvarlardaki diklik ve doğrusallık probleminin aşılması amacı ile parça tasarımında bazı feder ilaveleri söz konusu olmuştur. Her iki yan bölgeye de sekizer adet feder eklemesi ile birlikte ölçüsel iyileşmeler görülmüştür.



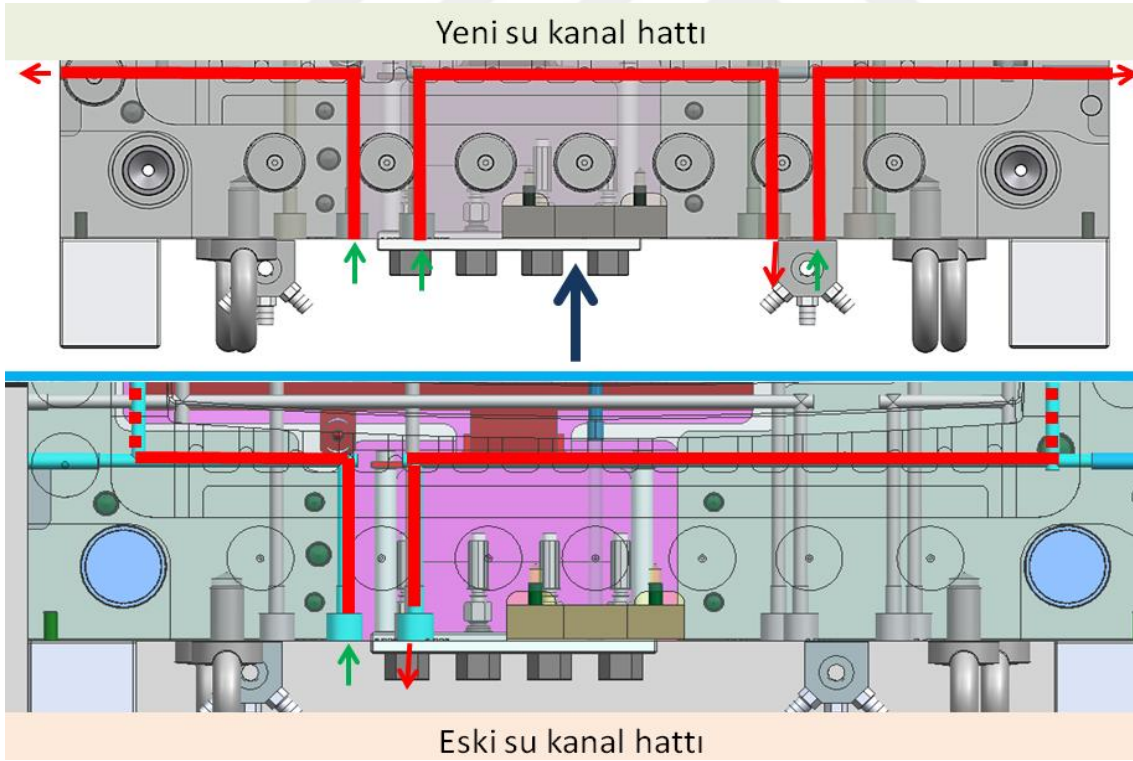
Şekil 4.6 : Feder ilavesi yapılmış çerçeve parçaları.

Çatlama bölgesinde; kalıp su sistemi incelendiğinde ise uzunca bir hat boyunca tek bir giriş çıkış olması kalıp boşluğunun sıcaklığının bölgesel olarak farklı olmasına sebep olmaktadır. Buna ek olarak su sisteminin farklı bölgelerden geçen su kanallarına sahip olacak şekilde bölünerek revize edilmesi soğutma kapasitenin artırılması ve farklı sıcaklıkta su bağlama esnekliği gibi avantajlar sağlamıştır. Ayırma işlemi ile ilgili bilgiler Şekil 4.7’de erkek kalıp bölümü için ve Şekil 4.8’de de dişi kalıp bölümü için paylaşılmıştır.

Su kanallarının bölünerek soğutma kapasitesinin artırılması parçanın özellikle ön bölgesinde sıcaklık farklarının azaltacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle çarpılma sonucunda meydana gelen ölçüsel farklarda da iyileşmeler görülmesi beklenmiştir. Yine farklı sıcaklıkların bağlanabilecek olması prosesin esnekliğini artırması hedeflenmiştir.



Şekil 4.7 : Erkek taraf su kanalı değişikliği.



Şekil 4.8 : Dişi taraf su kanalı modifikasyonu.

4.4 Üst Tabla Çerçevesi 4 Numaralı Kalıp İmlatı Tasarım İyileştirmeleri

Yeni bir üst tabla çerçevesi imalatı kararı ile birlikte kalıp tasarımında dikkate alınarak iyileştirilmesi gereken, bir önceki kalıpta yaşanan problemler üzerine ki bu sorunlar kırılma problemi ve ölçüsel farkların olması olarak değerlendirilebilir.

Süreçte asıl kritik noktanın kalıp 4 olarak adlandırılan kalıpta yolluklar arası mesafenin daha kısa olarak dizayn edilmesi ve enjeksiyon süresinin daha kısa olması da parça kırılma probleminin iyileşme yada ortadan kaldırma beklentisidir.

Bu mesafenin azaltılması ve enjeksiyon zamanının düşürülmesi için yeni bir sıcak yolluk memesi eklemek fikri hem yolluklar arası mesafeyi azaltacak hem de enjeksiyon süresini kısaltacak hem de enjeksiyon prosesinin daha kolay kontrol edilebilir olmasını sağlayacaktır.

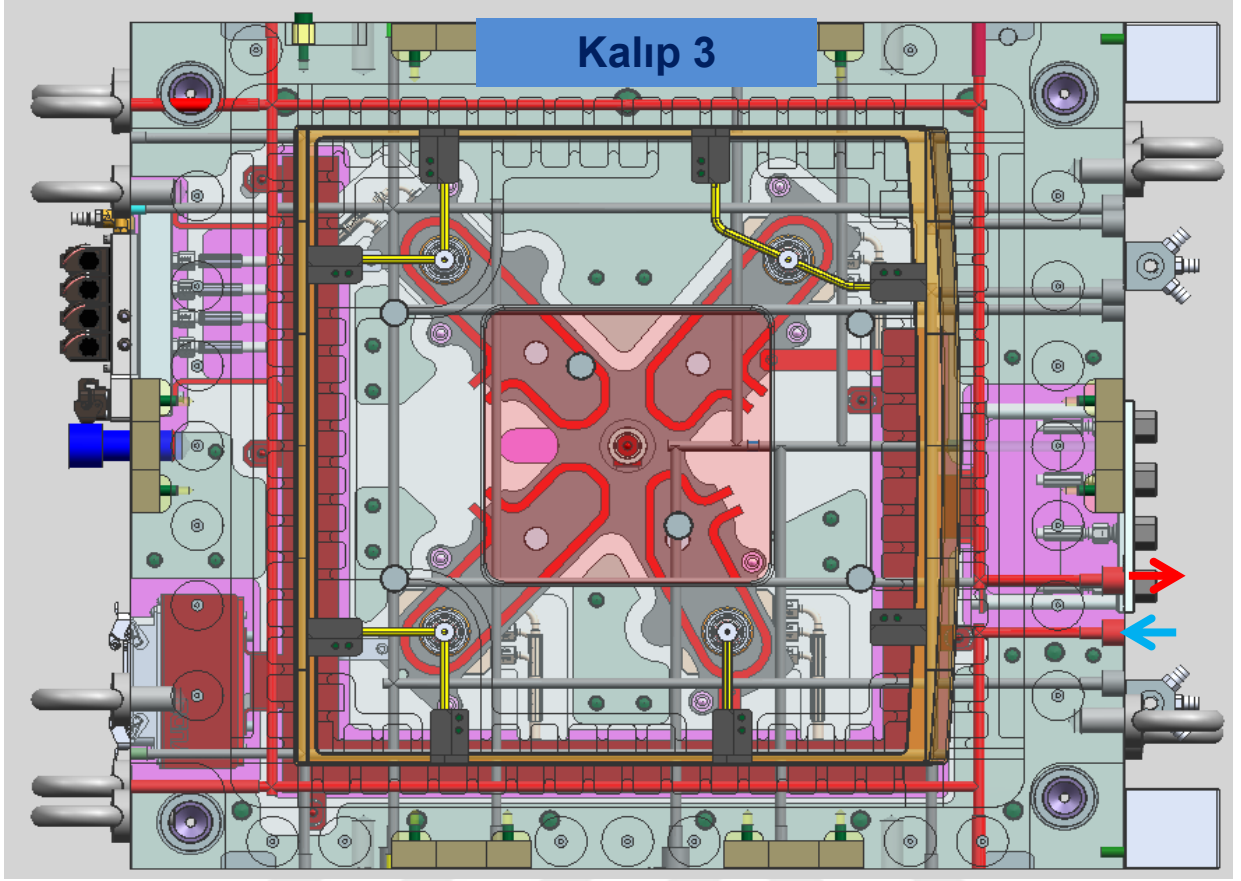
Kalıp 3 tasarımına 5 sıcak yolluk memesi olan bir sıcak yolluk eklenerek analiz işlemine başlanmıştır.

4.4.1 Su sisteminin revizyonu

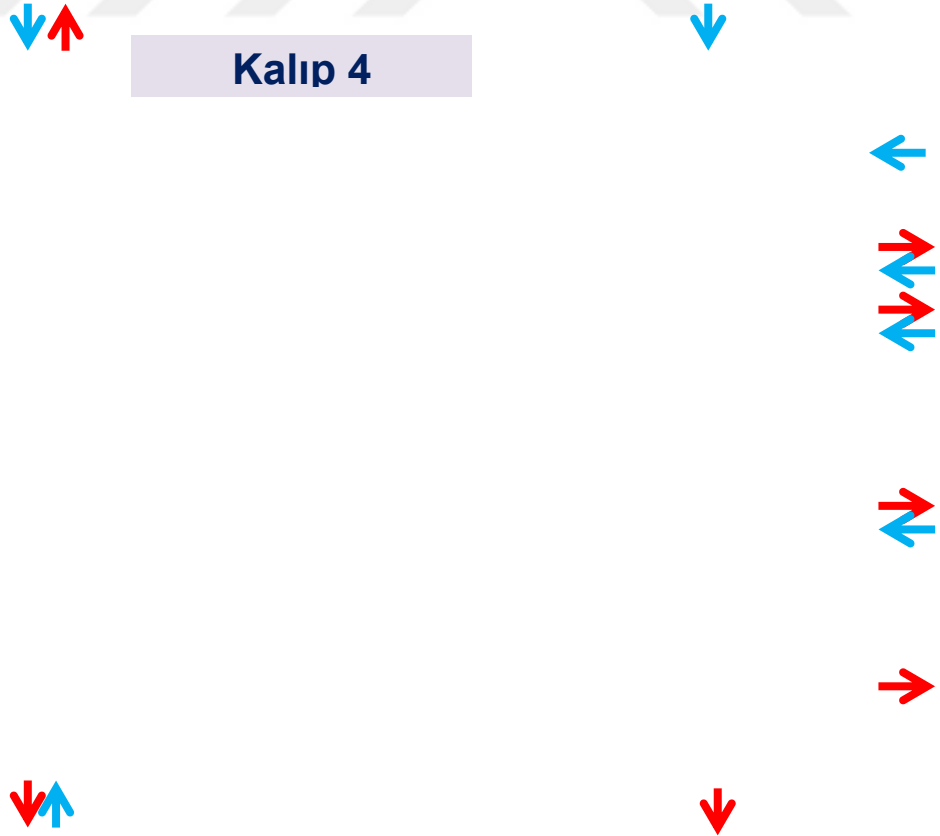
Çekme sürecinde kalıp yüzeyinde ısı dağılımının daha homojen olması dolayısı ile çarpılmanın daha az olması için soğutma sistemi de revize edilmiştir. Soğuma kanalı ile ilgili olarak ise yapılan revizyon Şekil 4.9’da kalıp 3 dişi kalıp, Şekil 4.10’da kalıp 4 dişi kalıp, Şekil4.11’de kalıp 3 erkek kalıp, Şekil4.12’de kalıp 4 erkek kalıp gösterilmiştir.

Kalıp boşluğu dişi kalıp üzerindeki yüzey sıcaklığını etkileyen su yolları ile ilgili olan su sisteminde bir giriş çıkıştan oluşan sistem 7 giriş çıkış olacak şekilde revize edilmiştir. Bu revizyon ile kalıp yüzeyindeki sıcaklık farkı optimizasyonunu ısıl kapasitenin artırılması ile sağlanmıştır.

Kalıbın erkek tarafında ise toplamda 12 giriş ve çıkış olacak şekilde 6 yeni giriş çıkış su bağlantısı yapılacak şekilde revizyon yapılmıştır ve ısıl kapasite artırılmıştır.



Şekil 4.9 : Kalıp 3 dişi kalıp su sistemi.



Şekil 4.10 : Kalıp 4 dişi kalıp su sistem.



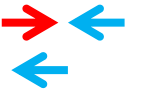
Kalıp 3



Şekil 4.11 : Kalıp 3 erkek kalıp su sistemi.



Kalıp 4



Şekil 4.12 : Kalıp 4 erkek kalıp su sistemi.

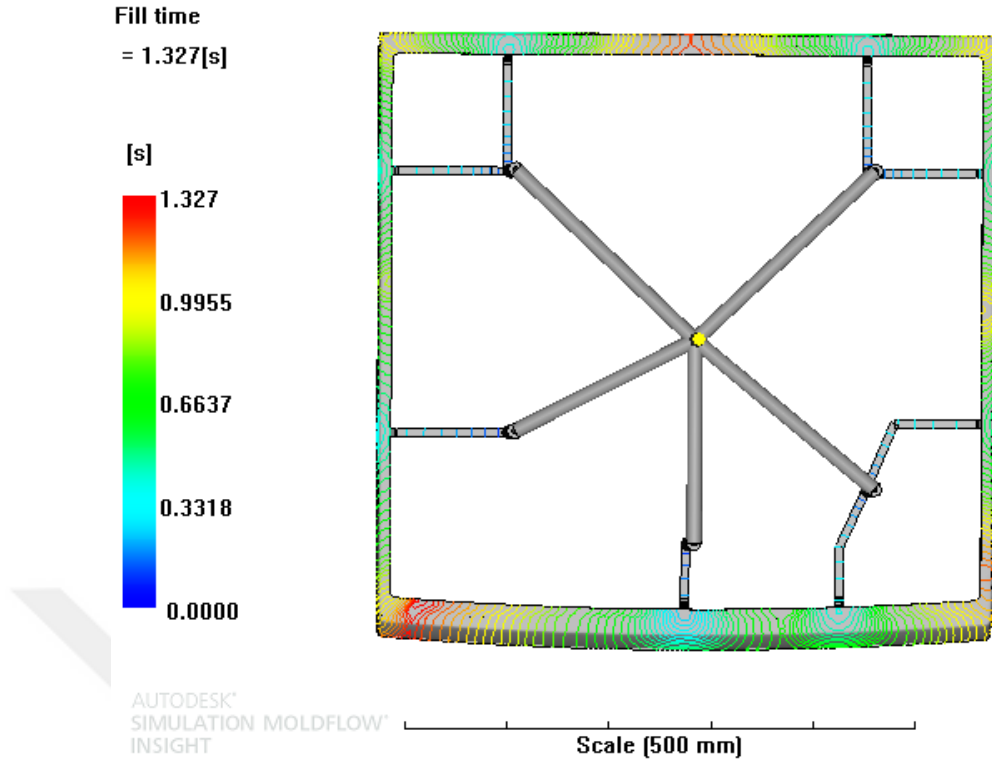
4.4.2 Sıcak yolluk sisteminde yapılan revizyon

Sıcak yolluk sisteminde en uzak iki giriş noktası arasında mesafe yaklaşık 600 mm ölçülmüş olup bu değer yen bir nozzle eklemek ile 480 mm seviyelerine düşürülmüştür.



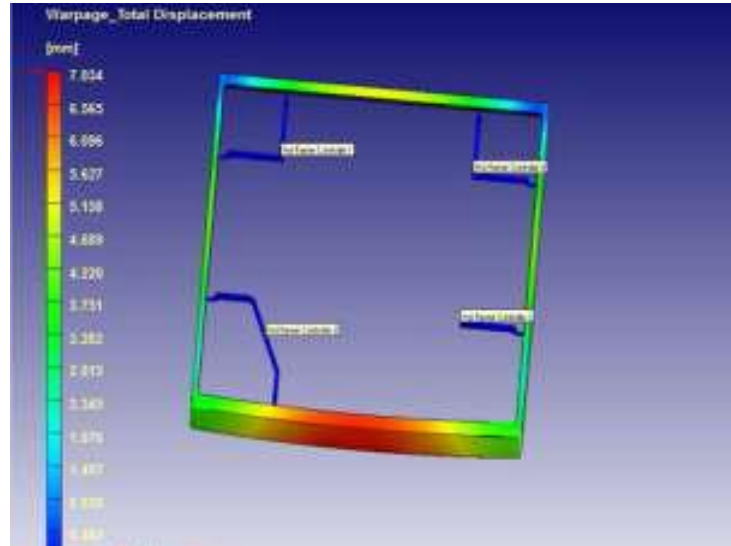
Şekil 4.13 : Üst Tabla Çerçeve 4 numaralı kalıp en uzun enjeksiyon mesafesi.

Sağlanan bu mesafesi kısılması ve yeni bir giriş noktasının elde edilmesi ile birlikte enjeksiyon süresi 2,45 saniyeden 1,33 saniyeye düşürülmüştür. Şekil4.14'te yeni nozzle eklenmiş 4 numaralı kalıp için dolum analizi paylaşılmıştır. Dolum işleminin hızlandırılması plastik malzemenin kalıp boşluğunda dolum esnasında sıcaklığının daha az değişmesi yani soğuk birleşme oranında iyileşme sağlamaktadır. Yine aynı zamanda malzeme sıcaklığındaki oluşacak daha az düzeydeki sıcaklık değişimi malzemenin çarpılma yani ölçüsel farklarının da basıncın daha düzgün dağılması ve sıcaklıkların daha stabil olması nedeni ile iyileşmesine olanak sağlamaktadır. İki kalıp için yapılan dolum analizlerinde Kalıp 3'ün son noktada ilerleyişinin daha fazla vakit aldığını gözlemleyebiliriz.

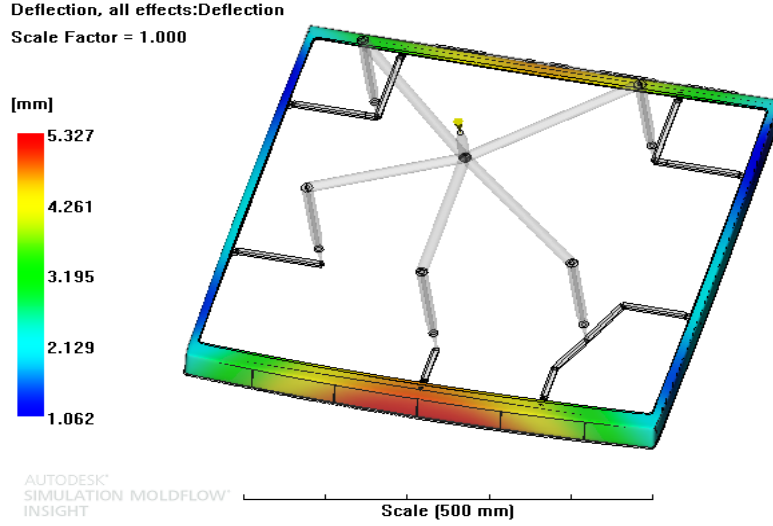


Şekil 4.14 : Kalıp 4 dolum süresi analizi.

Yapılan analizler sonrasında çarpılma miktarında 5 yolluk memeli 4 numaralı kalıpta iyileşmeler görülmüştür. Bu iyileşmeler ile ilgili olarak 4 numaralı kalıpta %35 seviyelerinde daha az çarpılan parçaların çıkması simülasyonlarla tespit edilmiştir.



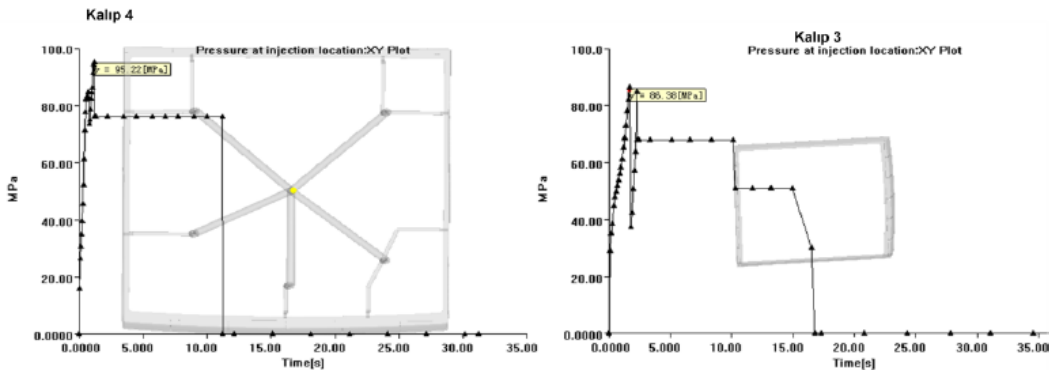
Şekil 4.15 : Kalıp 3 çarpılma analizi.



Şekil 4.16 : Kalıp 4 çarpılma analizi.

4.4.3 Sıcak yolluk revizyonu sonrasında enjeksiyon basınç farklılıkları değerlendirilmesi

İki kalıp arasındaki enjeksiyon süresince basınç-zaman grafiğini incelediğimiz zaman eklenilen yeni nozzle ile maksimum enjeksiyon basıncında %10,2 artış görülmektedir. Enjeksiyon basıncındaki bu artış enjeksiyon yolunun azalması yani parçadaki 600 mm olan en uzak iki enjeksiyon mesafesinin 480 mm olarak yeniden düzenlenmesi nedeni ile ters yönde bir düşüş olarak beklenirken ek bir nozzle ile malzemenin akışı için toplamda kat etmesi gereken mesafe artırıldığı artışın nedeni olarak belirtilebilir. Ek olarak basınç grafikleri incelendiğinde Kalıp 3'te enjeksiyon süresinin sonuna doğru basınçta bir düşüş görülmektedir ki bu durumda parçanın en son birleşim bölgesinde erimiş plastik en uzun yolu kat etmesi nedeni bir artış beklentisi olmaktadır. Buna karşın kalıp 4 ise daha düzenli ve beklenti seviyesinde bir basınç – zaman grafiği ortaya koymaktadır.



Şekil 4.17 : Kalıp4 ve Kalıp 3 enjeksiyon basınç – zaman grafiği.

5. SONUÇ

İyileştirilmesi gereken kırılma ve ölçüsel bozukluklar konusunda yapılan çalışmalar soğutma sistemi revizyonu ve sıcak yolluk sisteminin revizyonu olarak iki farklı adımda yapılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda kırılma problemi klimatik testler sonrasında 10 parça 6 parça seviyelerinde iken ortadan kalkmıştır. Yine ölçüsel farklılıklar ise %75 oranında iyileşme göstermiştir. Yapılan iyileştirmeler sürecin bir plastik parça kalıplanmasında kalıp akış analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu analizler ile görülebilen veriler üzerinde çalışmalar yapılarak hem kalıp hem de gerekli ise parça üzerinde değişiklikler yapılmalıdır. Bizim çalışmamız dahilinde yolluk sisteminin, parça dolum noktalarının arasındaki mesafelerin, soğutma sisteminin parça kalitesine nasıl etki edebildiğini değerlendirme ve bu veriler ile de parça kalitesini iyileştirme konularında çalışmalar yapıldı. Bunlara ek olarak enjeksiyon sonrası parçaya yapılan klimatik testler sonucunda ortaya çıkan kırılma problemi ise aslında iyi seviyede olduğunu düşündüğümüz parçaların farklı iklimlerde deformasyona uğrama risklerini de ortaya koymaktadır.



KAYNAKLAR

- [1].**Akkurt, S.**, 1991. Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2].**Koçak, M., Abalı, B.E.**, 2006. PLASTİK Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı, Bitirme Tasarım Projesi, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul
- [3].**Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation**, 2010. Molding, Japan
- [4].**Gutowski, T.**, 2015. Injection Molding, MIT, Cambridge
- [5].**Megep**, 2013. Makine enjeksiyon Kalıpçılığı, Ankara
- [6].**Bayer Engineering**, Polymers Design Guide, 2004, Mold Design
- [7].**Paul J. Gramann., Tim A. Oswald, Lih-Sheng Turng**, 2008. Injection Molding Handbook, Hanser, Munich
- [8].**Robert A. Malloy.**, 1994. Plastic Part Design for enjection Molding, Hanser
- [9].**Shoemaker, J.**, 2006. Mold Flow design guide, Hanser



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyadı : Ali Cavdar
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.02.1988 Ereğli / Konya
E-posta : alicavdar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Kocaeli Üniversitesi / Makine Mühendisliği, 2011

MESLEKİ DENEYİM:

- Proje ve Üretim Mühendisi, Akplas AŞ., 2012
- Teknik Planlama Mühendisi, BSH Ev Aletleri AŞ., 2016