T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SİLİKON KAUÇUK ENJEKSİYON KALIPLARININ SOĞUK YOLLUK BLOĞU SİSTEMLERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muzaffer ÇAMLIBEL

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Uğur SOY

Kasım 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SİLİKON KAUÇUK ENJEKSİYON KALIPLARININ SOĞUK YOLLUK BLOĞU SİSTEMLERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muzaffer ÇAMLIBEL

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 05/11/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Uğur Soy	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Fehim Fındık	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Mehmet Uysal	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muzaffer ÇAMLIBEL

02/11/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Uğur SOY' a teşekkürlerimi sunarım.

Üretim ve laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Başoğlu Kablo ve Profil A.Ş. yönetimine ve bu süreçte bana her zaman destek olan değerli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
KISALTMALAR ..... **iv**
SİMGELER ..... **vi**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **viii**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**

BÖLÜM 1 . GİRİŞ **1**
1.1. Literatür Taraması 2

BÖLÜM 2 . GENEL BİLGİLER **7**
2.1. Elastomerler 7
2.2. Silikon Elastomerler 11
2.3. Silikon Elastomerlerin Üretim Prosesleri 13
2.4. Silikon Kauçuklar 16
2.4.1. HTV-HCR katı silikon kauçuklar 17
2.4.1.1. HTV-HCR silikonlarda vulkanizasyon ve çapraz bağ yapısı 20
2.4.2. LSR – LR sıvı silikon kauçuklar 26
2.4.2.1. LSR – LR silikonlarda vulkanizasyon ve çapraz bağ yapısı 28
2.4.3. RTV silikon kauçuklar 30
2.5. Silikon Elastomerlerin İşlendiği Üretim Yöntemleri 31
2.5.1. Kompound hazırlama prosesi 32
2.5.2. Ekstrüzyon yöntemi 33
2.5.3. Kalıplama yöntemi 35
2.5.3.1. Kompresyon kalıplama yöntemi 36
2.5.3.2. Transfer kalıplama yöntemi 38
2.5.3.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemi 40
2.6. Soğuk Yolluk Bloğu Sistemleri (CRB) 42

BÖLÜM 3 . DENEYSEL ÇALIŞMALAR 50
3.1. Çalışmanın Amacı 50
3.2. Çalışma Planı ve Akış Diyagramı 51
3.3. Malzeme ve Ekipmanlar 52
3.3.1. HCR katı silikon kompound 52
3.3.2. HCR katı silikon yatay enjeksiyon pres 53
3.3.3. Yatay enjeksiyon kalıbı 54
3.3.4. Soğuk yolluk bloğu (CRB) 55
3.3.5. Laboratuvar test ve kontrol ekipmanları 57
3.4. Yöntem 60
3.4.1. HCR katı silikon kompound üretimi ve laboratuvar kontrolleri 61
3.4.2. Enjeksiyon kalıplama ile üretim ve proses optimizasyonu 67

BÖLÜM 4 . DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 78
4.1. Üretilen Parçaların Kütle ve Çevrim Süresi Ölçümleri 78
4.2. Çalışma Çıktılarının Değerlendirilmesi 83
4.3. Soğuk Yolluk Bloğu Etkilerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması 86

BÖLÜM 5 . GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 89
5.1. Genel Sonuçlar 89
5.2. Öneriler 90

KAYNAKLAR 92
ÖZGEÇMİŞ 95

KISALTMALAR

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AYPE	: Alçak Yoğunluk Polietilen
BET	: Brunauer – Emmett – Teller Surface Area Analysis
BgVV	: Federal Institute for Health Protection of Consumers and Veterinary Medicine
CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineering
CRB	: Cold Runner Block
CRI	: Cure Rate Index
DIN	: Deutsches Institut für Normung
FDA	: U.S. Food and Drug Administration
FEM	: Finite Element Method
FVMQ	: Floro Vinil Metil Polisiloksan
HCR	: High Consistency Rubber
HTV	: High Temperature Vulcanization
ISO	: International Standardization Organization
KAD	: Kalıplama Alan Diyagramları
LSR	: Liquid Silicone Rubber
NYS	: Normal Yolluk Sistemi
PA 6	: Poliamid 6
PC	: Polycarbonate
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVMQ	: Fenil Vinil Metil Polisiloksan
RTV	: Room Temperature Vulcanization
SBR	: Stiren Butadien Rubber

SPI	: Society of Plastic Industry
SYS	: Sıcak Yolluk Sistemi
VMQ	: Vinil Metil Polisiloksan

SİMGELER

C	: Karbon
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
Pt	: Platin
Q	: Quaternary Grup - Polisiloksan
R	: Radikal Grup
Si	: Silisyum

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 : Temel elastomer tipleri için bazı bilgiler- 1 (Walker, 2012). 10
Tablo 2.2 : Temel elastomer tipleri için bazı bilgiler- 2 (Walker, 2012). 10
Tablo 2.3 : Silikon kauçuk türleri ve DIN ISO 1629 Adlandırması 12
Tablo 2.4 : Kullanım sınıflarına göre silikon özellikleri (Butts & Cella, 2007) 18
Tablo 2.5 : Mekanik değerlere katı silikon kauçuklar (Polmanteer & Klosowski, 2001) 19
Tablo 2.6 : HTV silikonlarda kullanılan peroksit katalizörler (Patterson, 1998)..... 21
Tablo 2.7 : Pt ve peroksit sistem HTV silikon karşılaştırılması (Jerschow, 2001).... 26
Tablo 2.8 : Tipik RTV silikon özellikleri (Butts & Cella, 2007)..... 30
Tablo 3.1 : 1336 kodlu kompound mekanik özellikleri 53
Tablo 3.2 : Laboratuvar ölçüm standartları..... 57
Tablo 3.3 : 1336 kompound mekanik özellikler 64
Tablo 3.4 : Enjeksiyon parametreleri..... 71
Tablo 3.5 : Sınır enjeksiyon parametreleri..... 76
Tablo 4.1 : İlk çevrimlerin kütle ve çevrim süresi ölçümleri..... 80
Tablo 4.2 : İkinci çevrimlerin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri 80
Tablo 4.3 : Üçüncü çevrimlerin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri..... 81
Tablo 4.4 : Son üretilen parçaların ortalama kütle ölçümleri ve çevrim süresi 82
Tablo 4.5 : Üretim karşılaştırması..... 88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : CRB optimizasyonu (Proske, 2014) 6
Şekil 2.1 : Monomerlerin oluşturduğu polimer formları (Walker, 2012) 7
Şekil 2.2 : Kürlenme öncesi ve sonrası çapraz bağlı zincir yapısı (Walker, 2012)..... 9
Şekil 2.3 : Siloksan polimerinin gösterimi (Bosshammer, 2019) 11
Şekil 2.4 : Kuvars - SiO_2 ve Silikon metali – Si (O'Lenick 1999) 13
Şekil 2.5 : Rochow sentezi (Bosshammer, 2019) 14
Şekil 2.6 : Wacker silikon elastomerler üretim şeması (Wacker Chemie AG, 2012) 15
Şekil 2.7 : Vulkanizasyon tipine göre silikon kauçuklar (Jerschow, 2001) 17
Şekil 2.8 : Baz halde katı silikon kauçuk (Wacker Chemie AG, 2019)..... 17
Şekil 2.9 : HTV silikonda peroksit ile kürlenme (Wacker Chemie AG, 2019) 21
Şekil 2.10 : Pt katalizör ile vulkanizasyon (Wacker Chemie AG, 2019)..... 23
Şekil 2.11 : LSR enjeksiyon kalıplama gösterimi (Dow Corning, 2008) 27
Şekil 2.12 : LSR Pt katalizör ile kürlenme (Dow Corning, 2008) 28
Şekil 2.13 : Dow Corning LSR reometre eğrileri (Dow Corning, 2008)..... 28
Şekil 2.14 : Milde kompound hazırlanışı 32
Şekil 2.15 : Şematik ekstrüzyon hattı (Jerschow, 2001) 34
Şekil 2.16 : Ekstrüder vida-kovan grubu (Wacker Chemie AG, 2019) 34
Şekil 2.17 : Ekstrüzyon kalıbı (Wacker Chemie AG, 2019)..... 35
Şekil 2.18 : Kompresyon kalıplama (Minnesota Rubber and Plastics, 2013)..... 37
Şekil 2.19 : Transfer kalıplama - açık kalıp (Zorge, 2010)..... 38
Şekil 2.20 : Transfer kalıplama - kapalı kalıp (Zorge, 2010)..... 38
Şekil 2.21 : Yatay enjeksiyon presi temel birimleri..... 40
Şekil 2.22 : Enjeksiyon kalıplama aşamaları (Zorge, 2010) 41
Şekil 2.23 : Soğuk yolluk bloğu kesitleri (Desma, 2014) 43
Şekil 2.24 : Yolluk ve çapak fireleri (Desma, 2014)..... 44
Şekil 2.25 : Yolluk fireleri ve CRB avantajı (Desma, 2014) 45
Şekil 2.26 : Standart bir CRB ve sıcaklık dağılımı (Desma, 2014) 46
Şekil 2.27 : CRB içerisinde malzeme akışı (Desma, 2014) 46
Şekil 2.28 : Valf nozul CRB çalışma şekli (Xiamen, 2015) 48
Şekil 2.29 : Valf nozul CRB (Early, 2008) 48
Şekil 2.30 : Açık nozul CRB çalışma şekli (Xiamen, 2015)..... 49
Şekil 2.31 : Açık nozul standart CRB (OCS Stampi s.r.l., 2010) 49
Şekil 3.1 : Çalışmanın iş adımları 51
Şekil 3.2 : Çalışmada kullanılan 1336 kodlu HCR silikon kompound 52
Şekil 3.3 : Engel VC330/120 yatay enjeksiyon pres..... 53
Şekil 3.4 : Üretimin yapıldığı Engel VC330/120 yatay enjeksiyon pres 54
Şekil 3.5 : Üretimin yapıldığı kalıbın CAD görüntüsü 54
Şekil 3.6 : Üretimin yapıldığı yatay enjeksiyon kalıbı..... 55
Şekil 3.7 : Üretimde kullanılan soğuk yolluk bloğu temel yapısı 56
Şekil 3.8 : Üretimde kullanılan CRB 56
Şekil 3.9 : Gibitre Instruments Rheocheck Profile - MD reometre cihazı 58

Şekil 3.10 : Gibitre Instruments TensorCheck mekanik test cihazı 58
Şekil 3.11 : Gibitre Instruments yoğunluk ve sertlik ölçüm cihazları..... 59
Şekil 3.12 : Laboratuvar ölçümleri için projeksiyon ve hassas terazi cihazları 59
Şekil 3.13 : 1336 kodlu kompound üretimi..... 61
Şekil 3.14 : Tipik bir reometre eğrisi 62
Şekil 3.15 : Malzemenin reometre eğrisi 63
Şekil 3.16 : Sertlik ölçümü..... 64
Şekil 3.17 : Yoğunluk ölçümü 65
Şekil 3.18 : Çekme testi 65
Şekil 3.19 : Yırtılma testi 66
Şekil 3.20 : Engel VC330/120 yatay silikon enjeksiyon pres..... 67
Şekil 3.21 : Soğuk yolluk bloğu ve nozul 67
Şekil 3.22 : Çalışmanın yapıldığı sistemin temel düzeni 68
Şekil 3.23 : Montaj işlemleri tamamlanan CRB ve kalıp..... 68
Şekil 3.24 : Enjeksiyon üretim denemeleri için iş akış şeması 69
Şekil 3.25 : Pres sıcaklık ayarları..... 70
Şekil 3.26 : Enjeksiyon parametreleri 71
Şekil 3.27 : İlk çevrimlerde üretilen parçalar..... 72
Şekil 3.28 : Parametre değişikliği sonrası üretilen parçalar..... 73
Şekil 3.29 : İkinci parametre değişikliği sonrası üretilen parçalar..... 74
Şekil 3.30 : Son parametreler ile üretim..... 75
Şekil 3.31 : Son parametreler ile üretilen parçalar..... 76
Şekil 3.32 : Son parametreler ile üretilen parçaların yolluk ve çapak fireleri..... 77
Şekil 3.33 : Kalıptan çıkan parça ve temizlenmiş final parça..... 77
Şekil 4.1 : Parça kütle ölçümleri yöntemi 78
Şekil 4.2 : İlk çevrimler için ortalama kütle ölçümleri 79
Şekil 4.3 : İkinci çevrimler için ortalama kütle ölçümleri 80
Şekil 4.4 : Üçüncü çevrimler için ortalama kütle ölçümleri 81
Şekil 4.5 : Son ideal çevrimler için ortalama kütle ölçümleri..... 82
Şekil 4.6 : Proses optimizasyonu ve kütle değişimleri..... 83
Şekil 4.7 : Ölçümleri yapılan numunelerin projeksiyon görüntüleri..... 84
Şekil 4.8 : Tüm gözlerden çıkan parçaların ölçümleri 85
Şekil 4.9 : CRB ile üretim için mevcut durum..... 86
Şekil 4.10 : CRB olmadığı durum için enjeksiyon 87
Şekil 4.11 : CRB dağıtım kanalındaki malzeme 87

SİLİKON KAUÇUK ENJEKSİYON KALIPLARININ SOĞUK YOLLUK BLOĞU SİSTEMLERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, silikon elastomer malzemeye form verilen üretim yöntemlerinden biri olan enjeksiyon yönteminde, soğuk yolluk bloğu sistemlerinin prosese etkisi ele alınmıştır. Soğuk yolluk bloğu sistemleri enjeksiyon prosesinde; malzeme fireleri, çevrim zamanları, homojen malzeme akışı, parça kalitesi, makine kapasitesi gibi parametreler açısından önemli rol oynar. Çalışmada soğuk yolluk bloğunun etkinliği; bağlı olduğu bir silikon enjeksiyon kalıbında proses optimizasyonu ve üretilen numune parçalar üzerinden ölçümler ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı olarak, silikon enjeksiyon kalıplarında kullanılan soğuk yolluk bloğu sistemlerinin, üretime entegrasyonuna bağlı olarak elde edilebilecek potansiyel iyileştirmelerin üretim verileri ile karşılaştırmalı olarak ortaya konulmasıdır.

Çalışmanın çıkış noktası olarak, ülkemizde çeşitli üretim sektörlerinde hammaddeden ürüne doğru işlenen metal, termoplastik gibi malzemelere göre daha az bilinen silikon elastomeri için enjeksiyon kalıplama prosesi ve bu proses de önemli bir ekipman olan soğuk yolluk bloğu sistemlerinin sağladığı potansiyel iyileştirmelerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Engel VC330/120 marka bir yatay silikon enjeksiyon presinde, 24 gözlü bir enjeksiyon kalıbı ve bu kalıbı besleyen 6 adet açık nozule sahip akış kontrollü bir CRB ile çalışma yapılmıştır. Silikon malzeme olarak 65±5 Shore A sertlik ve 1,28±0,02 g/cm³ yoğunlukta HCR özellikte malzeme kullanılmıştır. 6 nozul CRB ile uyumlu çalışan 24 gözlü enjeksiyon kalıbında parça üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretim optimizasyonu toplamda 16 adet çevrimde sağlanmıştır. Çalışmada bir önceki çevrimde elde edilen parçalar üzerinden inceleme yapılarak proses parametreleri her 4 çevrimde güncellenmiştir. Bu şekilde 4 grup çevrim ile üretim yapılmıştır. Optimizasyonun sağlandığı parametrelere kadar çevrim süreleri ve proses parametreleri kayıt altına alınmıştır. Her çevrimde üretilen parçalardan malzeme firesi, parça çapağı ve yolluk firesi ölçümleri yapılmıştır. Optimize üretim parametreleri ile proses iyileştirmesi olarak; daha düşük çevrim süresi, kalıpta bulunan yolluklarda daha az malzeme firesi ve parça çapağında düşüş elde edilmiştir. Bu iyileştirmelere bağlı olarak enjeksiyon pres kapasitesinin daha etkin kullanılabileceği, parça geometrik ölçülerinde kararlılık, daha düşük malzeme, enerji ve işçilik giderleri sağlanabileceği görülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar soğuk yolluk bloğunun olmadığı durum için malzeme fireleri, proses süreleri ve parça kalitesi parametreleri için teorik yaklaşımlarla karşılaştırmalı değerlendirilmiştir. Silikon enjeksiyon prosesinde her çevrimde CRB' nin sağladığı verimlilik ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Silikon, elastomer, CRB, soğuk yolluk bloğu, enjeksiyon, kalıplama

IMPROVEMENT OF SILICONE RUBBER INJECTION MOLDS WITH COLD RUNNER BLOCK SYSTEMS

SUMMARY

In this study, the effect of cold runner block systems on the injection method, which is one of the production method to vulcanize silicone elastomer material, was evaluated. Cold runner block systems in the injection process; it plays an important role in terms of parameters such as material waste, cycle times, homogeneous material flow, part quality, machine capacity. The effectiveness of the cold runner block in the study; it was evaluated by process optimization and measurements on the produced sample parts in a silicone injection process. The aim of the study is to present the potential improvements that can be obtained due to the integration of cold runner block systems used in silicone injection molds.

As the starting point of the study, silicone elastomer is less known than materials such as metal and thermoplastic processed from raw material to product in various production sectors in our country. Cold runner block systems are used in silicone injection molding. It was aimed to reveal the potential improvements provided by cold runner block systems, which are an important equipment in the silicone injection molding process. This study has been done with an Engel VC330/120 horizontal silicone injection press, a 24 cavity injection mold and a manuel flow controlled 6 open nozzles CRB. As the silicone material, the hardness of 65 ± 5 Shore A and 1,28 ± 0,02 g/cm³ the density HCR solid silicone compound was chosen. Parts production have been done in a 24 cavities silicone injection mold that works in compatible with 6 nozzles CRB. Production optimization has been achieved in 16 cycles in total. In the study, the parts manufactured in the previous cycle were evaluated and the process parameters were updated in every 4 cycles. In this way, production was made with 4 groups of cycles. Cycle times and process parameters are recorded up to the parameters that optimization is provided. Material waste, part flashes and the runner waste were calculated from the parts produced in each cycle. As process improvement with optimized production parameters; lower cycle time, less material waste in the runners of the mold and reduction in part flashes were achieved. Depending on these improvements, it has been observed that the injection press capacity can be used more effectively, stability in geometric dimensions of the part, lower material, energy and labor costs can be achieved. The results were compared with theoretical approaches for material waste, process times and part quality parameters for the production without cold runner block. In the silicon injection process, the efficiency provided by the CRB has been demonstrated in each cycle.

Keywords: Silicone, elastomer, CRB, cold runner block, injection, molding

BÖLÜM 1 . GİRİŞ

Günümüz üretim endüstrisinde verimlilik, kalite, yalın üretim, kaynakların etkin kullanılması gibi kavramlar firmaların kendilerini geliştirmesi ve imalat sanayiinde bulunan rekabet ortamı içerisinde pazar paylarını artırabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda üretim proseslerinde yer alan makine, ekipman, operatör, hammadde, enerji kaynakları, proses şartları gibi her parametrenin analiz edilmesi gereklilik haline gelmiştir. Üretim süreçlerinin en az birinde yapılacak bir iyileştirme çalışması, yüksek adetli üretimlerde ciddi kazançlar sağlamaktadır. Özellikle ithal edilen hammaddelerle yapılan üretimlerde oluşan firelerin, geri dönüştürülerek tekrar kullanılamadığı durumlarda iyileştirmeler işletmeler için daha önemli olmaktadır. Silikon elastomer de bu sınıfta yer alan bir hammaddedir.

Silikon elastomer işleyen işletmelerin hammadde tüketimlerini kontrol altına alması gerekmektedir. Geri dönüştürülerek tekrar işlenmesi mümkün olmayan bu malzemenin üretimdeki kayıplarının mümkün olabildiğince azaltılması gerekmektedir. Üretim proseslerine soğuk yolluk bloğu entegrasyonu, malzeme kayıplarının azaltılması ve üretim verimliliğin artırılmasında etkin rol oynamaktadır. Kalıplarda gözlerin geleneksel yolluk sistemi ile beslenmesi, geri dönüşümü olmayan malzeme firelerinin oluşmasına neden olur. Soğuk yolluk bloğu kullanılması malzeme firelerinin azaltılmasına olanak sağlar. Bu sistemler her kalıp gözünü ayrı olarak direkt besleyen su soğutmalı nozullardan oluşur. Soğutmalı nozullar, direkt kalıp gözüne malzeme girişi sağlar ve soğutma sayesinde malzemede istenmeyen vulkanizasyonu önler. Bu sistem termoplastik kalıplarında kullanılan sıcak yolluk sistemine benzerdir (LeFan, 2011).

Bu çalışmada, CRB sistemlerinin silikon enjeksiyon kalıplarına entegrasyonu ile üretim operasyonlarında etkisi incelenmiştir. Proseste oluşan malzeme fireleri, çevrim zamanları, parça kalitesi, makine kapasitesi, kalıp verimliliği parametreleri üzerine çalışılmıştır. Soğuk yolluk bloğunun olmadığı durum için teorik yaklaşımlarla numune parçalar üzerinden karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Silikon elastomerlerden LSR (liquid silicone rubber) ve HCR (high consistency rubber) özellikteki malzemeler enjeksiyon kalıplama yöntemine daha uygundur ve geniş bir alanda kullanılırlar. Bu malzemelerin vulkanize edildiği enjeksiyon kalıplarında soğuk yolluk bloğu kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Sadece silikonlarda olmamakla birlikte diğer kauçuk gruplarının enjeksiyon kalıplarında soğuk yolluk blokları çoğunluklar kullanılmaktadır. Otomasyon, yazılım ve talaşlı imalat gibi alanlarda sağlanan teknolojik gelişmeler ve elastomer malzemelerle çalışan firmaların yaptıkları çalışmalar neticesinde soğuk yolluk bloğu için geliştirmelere halen devam edilmektedir. Bu bölümde tez çalışmasında incelenen malzeme, ekipman, yöntem ve parametreler açısından daha önce yapılmış benzer çalışmalar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Yapılan bir çalışmada termoplastik malzemelerin enjeksiyon kalıplanmasında sıcak yolluk sistemi ile bu sistemin olmadığı normal yolluk sisteminin farklı malzemeler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplarında sıcak yolluk sistemlerinin kalıplama prosesine ve iş parçasına etkileri değişik açılardan deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada düşük ve orta yoğunluklu naturel beş farklı polimer malzeme (PP, PS, AYPE, ABS, PA 6) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar iki bölüm halinde yapılmıştır. Birinci bölümde enjeksiyon kalıbında sıcak yolluk sistemi kullanılarak, ikinci bölümde ise aynı kalıp normal yolluklu sisteme dönüştürülerek, enjeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı yolluk sistemleriyle (SYS ve NYS) aynı kalıpta çalışabilmesi, yolluk sistemlerinin etkilerinin daha net bir şekilde görülerek, karşılaştırılabilme imkânı sağlamıştır. Özellikle sıcak yolluk sistemi elemanlarının (dağıtıcı, meme) etkilerinin görülebilmesi açısından kalıp iki gözlü olarak imal edilmiştir. Soğutma sistemi, çevrim süreleri, enjeksiyon hızları ve kalıp sıcaklıkları her bir malzeme için eşit tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, plastik malzemeler her iki yolluk sistemiyle geniş bir proses aralığında basılarak kalıplama alan diyagramları (KAD) çıkarılmıştır. Numunelerin kalıplama sonrası çekme, çarpılma ve ağırlık değişimleri her iki yolluk sistemi için belirlenmiştir. Sıcak yolluk sistemiyle yapılan enjeksiyon işleminde en önemli kazanım, enjeksiyon basıncında sağlanmıştır. Bu kazanç PP malzemede %43, ABS malzemede %40 ve PA6 malzemede %34'lere ulaşmaktadır. Ayrıca numunelerde çekme ve çarpılmaların daha düşük ve dengeli bir yapıda seyrettiği belirlenmiştir. Oldukça geniş bir basınç ve

sıcaklık aralığında yapılan çalışmalar sonucunda, en uygun kalıplama şartlarının belirlenmesini büyük ölçüde kolaylaştıran ve pratik kullanım için uygun olan kalıplama alan diyagramları çıkarılmıştır. Numune ağırlıklarındaki değişim incelendiğinde, sıcak yolluk sistemiyle basılan PP, AYPE, ABS, PA6 ve PS malzemelerde sırasıyla %8,52, %5,60, %4,75, %4,60 ve %3,96 oranında ağırlık artışı tespit edilmiştir. Bu artışın, birçok mekanik özelliği olumlu yönde etkileyeceği muhakkaktır. Proses sıcaklığının artmasıyla iki yolluk sisteminde de çekme ve çarpılmalarda artış görülmektedir. PP, PS, ABS ve PA6 malzemelerin işlenmesinde düşük proses sıcaklıklarında yüksek basınç, orta ve yüksek sıcaklıklarda ise düşük basınçla enjeksiyon işleminin yapılması çekme, çarpılma ve ağırlık değerlerini iyileştirmektedir. AYPE malzemede ise bütün proses sıcaklıklarında düşük basıncın uygulanması olumlu sonuç vermektedir (Demirer, 2002)

Silikon enjeksiyon kalıplarında kullanılan yolluk sistemleri temel amaç olarak termoplastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan yolluk sistemleri ile benzerdir. Plastik enjeksiyon kalıpları için yapılan bir çalışmada sıcak ve soğuk yolluk sistemlerinin karşılaştırılması ele alınmıştır. Plastik enjeksiyon için soğuk yolluk sisteminde kullanılan elemanlar: yolluk burçları ve yolluk dağıtım sistemleridir. Sıcak yolluk sistemlerde kullanılan elemanları; termokupul (sıcaklık kontrol elemanları), Sıcaklık kontrol cihazları, ısıtıcılar (dağıtıcı ve meme ısıtıcıları), Sıcak yolluk memesi ve Sıcak yolluk dağıtıcısı (manifold), açma/kapamalı (valfgate) yolluk giriş uçları olarak altı ana gruba ayırabiliriz. Sıcak yolluk sistemi; Plastik enjeksiyon kalıplarında enjeksiyon makinesinin memesinden plastik enjeksiyon kalıp gözüne kadar ergimiş plastik malzemeyi sıcaklık, basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan kontrollü bir şekilde bekletme ve istenildiğinde kalıp gözüne enjekte etme sistemidir. Sıcak yolluk sistemleri plastik enjeksiyon parçalarının kalitesini iyileştiren ve üretimi optimize eden en etkili yöntemdir. Bu sistem temel olarak enjeksiyon makinesi memesinin bir devamıdır ve kalıbın her gözüne dağıtıcı görevi görür. Sıcak yolluk sisteminde, tüm basınçlar düşeceği için makine daha az yıpranır ve makine ömrü uzar. Dakikada alınan ürün sayısının artması, işçilik maliyetinin düşmesi, baskı sorunun olmaması ve en önemlisi geri dönüşüm olarak kullanılan (kırma) yolluk sarfiyatının ortadan kalktığı düşünüldüğünde çok büyük maddi tasarruf sağlanır. Sıcak yolluk sisteminin, bir enjeksiyon makinesinin kapasitesini yaklaşık olarak %20 arttırmaktadır (Öztürk, 2015).

Yapılan bir diğer çalışmada termoplastik enjeksiyon kalıp üzerinde yolluk sisteminin etkileri incelenmiştir. Çalışmada çıkan sonuçlara göre bir plastik parça için pek uygun olmayan bir yolluk grubun tercih edilmesi kalıbın çalışma kalitesini, dolayısı ile zaman, hammadde, işgücü, enerji, vb. kayıplara sebep olacaktır. Bir kalıbın günümüz rekabet koşullarında 7 gün 24 saat çalıştırıldığı düşünüldüğü zaman bir çevrimde oluşabilecek en ufak kayıpların bile kalıbın toplam çalışma ömrü boyunca çok büyük kayıplara sebep olacağı çok basit hesaplarla görülebilir. Bu çalışmanın amacı bir plastik parça için en uygun yolluk sistemini kalıp tasarım aşamasından evvel belirlemek ve böylece oluşacak kayıpları daha kalıp tasarımı yapılmadan önlemektir. Bu çalışmada aynı plastik parçaya uygulanan farklı yolluk sistemlerinin bilgisayar destekli dolum analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildikten sonra olumlu sonuçlar veren yolluk sistemlerinden bir tanesinin kalıp uygulaması yapılarak analiz sonuçlarının pratik uygulama sonuçları ile karşılaştırması yapılmış ve bu karşılaştırmalar neticesinde çalışmanın değerlendirmesi yapılmıştır (Yıldırım, 2009).

Elastomer ve kauçuk parçaların kalıplanmasıyla ilgili detaylı incelemelerin yapıldığı bir yayında, kauçuk enjeksiyon kalıplama durumunda, çok gözlü kalıpların kullanıldığı belirtilmiştir. Bu nedenle, uygun bir yolluk sistemi tasarımı için bir kriter gereklidir. Yolluk sisteminin çalışma rejiminin dengeli veya dengesiz olması prosesi direkt etkilediği açıklanmıştır. Yolluk sisteminin tasarımı yapılırken, uygulamada enjeksiyon kaynaklı yolluklarda viskoz ısınmanın oluşabileceği ve kalıbı doldurma aşamasında erken kürlenmenin önlenmesine dikkat edilmesi gerektiği açıklanmıştır. Erken kürlenmeyi önlemek için, dağıtım yani yolluk sisteminin kauçuğun enjeksiyonu sırasında tüketilen izotermal olmayan indüksiyon süresinin sürekli olarak hesaplanması gerektiği değerlendirilmiştir. Yolluk sistemlerine oluşabilecek viskoz ısınmaların en çok yaşandığı bölgenin yolluktan kalıp gözüne girişin başladığı kısım olduğuna dikkat çekilmiştir. Bu kısımdaki malzemenin akış yaptığı kesitin erken kürlenmeye sebep olmayacak dizayna sahip olması gerektiği ele alınmıştır. Kalıp gözlerinde bulunan girişlerin termal dengeyi sağlayacak şekilde tasarlanması ardışık üretimlerin kararlılığı açısından önemlidir. Termal etkilerin ön değerlendirmesinde analiz yazılımlarının kullanılabileceği üzerinde durulmuştur. Çalışmada bu girişlerde yapılacak dizayn farklılıklarının oluşturduğu etkilere değinilmiştir ve çevrimler sırasında oluşan durumlar ortaya konmuştur (Isayev, 1989).

Bir diğer çalışmada enjeksiyon kalıplamada firelerin azaltılmasının enjeksiyon kalıplama yönteminde yeni bir dizayn unsuru olduğuna vurgu yapılmıştır. Çalışmanın amacı FEM (finite element method) analizleri ile enjeksiyon kalıplarının dizayn aşamalarında yolluk ve kalıp gözüne giriş kaynaklı oluşan malzeme firelerinin azaltılmasıdır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, yeni yolluk ve giriş geometrisi ile hurda ve çevrim sürelerinde önemli kazançlar elde edildiği görülmüştür. Malzeme firesinde %25 ve çevrim süresinde %2,5 düşüş sağlanmıştır. Ayrıca kalıpta yolluk yüzeylerinden kaynaklı temasın azalmasıyla parçanın kalıptan daha kolay çıkmasını da iyileştirdiği görülmüştür (Moayyedian, 2015).

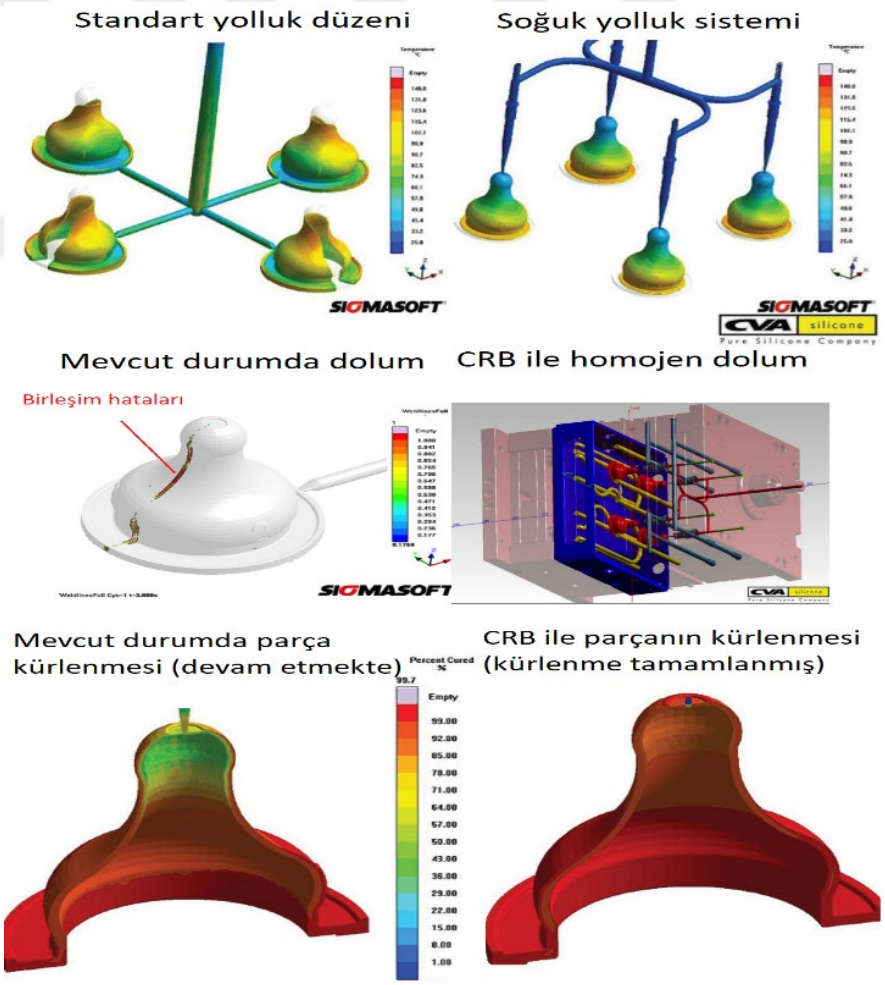
CAE (computer aided engineering) yazılımlarının, soğuk yolluk bloğu tasarımları ve imalatındaki etkinliğini ele bir başka çalışmada malzeme firelerinin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada CAE yazılımı ve SBR malzeme kullanılarak soğuk yolluk bloğu dizaynı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ve gerçek değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Mevcut konvansiyonel sisteme göre %12 malzeme firesinin azaltıldığı ortaya konmuştur. Bu sayede parça birim fiyatının azaltıldığı ve CAE yazılımlarının tasarımcı ve imalatçılara destek olabileceği ele alınmıştır. Çalışmanın bir diğer çıktısı da kauçuk malzemelerin enjeksiyon prosesinde akış ve vulkanizasyon davranışının daha detaylı incelenmesi gerektiğidir (Rodkwan, 2008).

Bir diğer çalışmada sıcak ve soğuk yolluk sistemlerinin enjeksiyon kalıpları üzerindeki reolojik ve maliyet açısından değerlendirilmiştir. 80.000 adetlik bir üretime göre %36 olan malzeme firesinin %6 civarına düşürülebildiği görülmüştür. Yollukların kalıpta olmadığı durum için enjeksiyon esnasında daha düşük kapama kuvveti uygulanarak prosesin gerçekleştirebildiği incelenmiştir. Ayrıca yolluk sistemi kullanıldığında kalıp gözlerini doldurmak için geçen sürenin %35 oranında düşürüldüğü ortaya konmuştur ve üretim parametrelerine göre uygun yolluk sisteminin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Janostik, 2016).

Malzeme firelerinin azaltılmasına yönelik sıcak yolluk sistemlerinin plastik enjeksiyon kalıplarında analiz ve gerçek durum karşılaştırılmıştır. PC malzeme ile yapılan çalışmada simülasyon ile yolluk sisteminin optimizasyonu sağlanmıştır. Özellikle malzemenin yolluklarda erime sıcaklığı dağılımına bakılmıştır. Gerçek kalıpta yolluklara yerleştirilen sıcaklık sensörleri ile simülasyondan çıkan sonuçların

örtüştüğü görülmüştür. CAE yazılımlarının yolluk sistemlerinin dizayn aşamalarında sağladığı avantajlar ele alınmıştır (Chen, 2013).

Başka bir çalışmada ise LSR silikon ile bebek emziği üretilen bir kalıpta, soğuk yolluk bloğu entegrasyonu, proses ve yolluk optimizasyonu Sigmasoft yazılımı ile sağlanmıştır. CVA Silicone isimli firmanın yeni kalıbı için dizayn aşamasında yapılan bu çalışma daha sonra kalıp imalatı tamamlanarak uygulanmıştır. Standart yolluk sisteminden valf nozul soğuk yolluk bloğu sistemine geçilen kalıpta, CRB sayesinde %52 yolluk firesi azaltılmıştır. Şekil 1.1'de çalışmanın simülasyon ve dizayn aşamaları görülmektedir. Yolluk değişimi, kürlenme dağılımı ve dolum farklılığı gösterilmiştir. Bloğun kullanımı ile kalıp gözlerinde sağlanan homojen sıcaklık dağılımı sayesinde kürlenme zamanı 30 saniyeye düşürülmüştür. Toplam çevrim zamanı %43 azaltılmıştır (Proske, 2014).

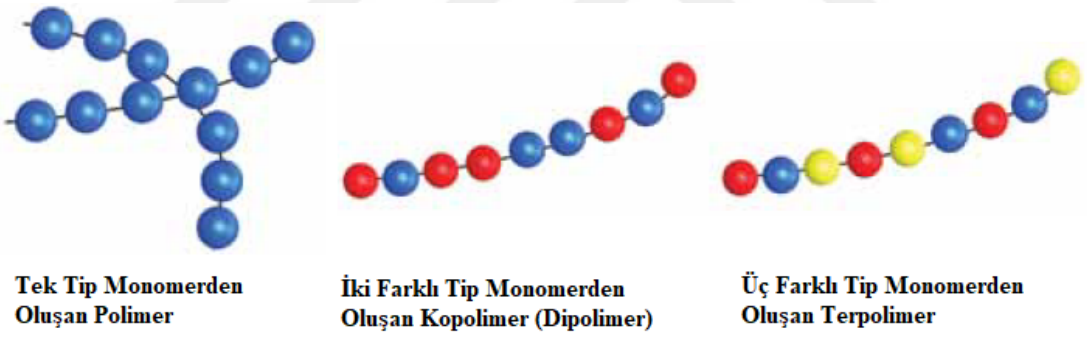


Şekil 1.1. CRB optimizasyonu (Proske, 2014)

BÖLÜM 2 . GENEL BİLGİLER

2.1. Elastomerler

Elastomerler, elastikiyet özelliğine sahip polimerlerdir. Elastomerler başta karbon, hidrojen ve oksijen atomlarının oluşturduğu uzun polimer zincirlerinden oluşur ve bu polimer zincirleri çapraz bağlanma özelliği gösterir. Zincirler tipik olarak 300.000 veya daha fazla monomer biriminden oluşabilir. Şekil 2.1'de görülen bu zincirler aynı monomerin tekrarlanan birimlerinden veya daha fazla farklı monomer birimlerinden oluşabilir. İki farklı tip monomerden oluşan polimerler, kopolimerler veya dipolimerler olarak bilinirken, üç farklı tip monomerden oluşan polimerlere, terpolimerler denilmektedir (Walker, 2012).



Şekil 2.1. Monomerlerin oluşturduğu polimer formları (Walker, 2012)

Mühendislik malzemeleri içerisinde elastomerler çok yönlü özellikleri ile öne çıkmaktadır. Elastomerler özellikle belirli yükler altında belirli deformasyona uğramaları ve yük kaldırıldığında eski formlarına geri dönebilme özellikleri ile plastik ve metallerden oldukça farklı davranırlar. Elastikiyet ve eski formuna dönebilme kabiliyetleri ile birlikte diğer kullanışlı özelliklerin bir araya geldiği kompleks yapılı malzemelerdir. Tüm elastomerler çekme, basma veya burulma kuvvetleri ile şekil değişikliğine uğratılabilirler ve deformasyona neden olan kuvvetlerin kaldırılmasıyla orijinal şekillerine geri dönerler (Walker, 2012).

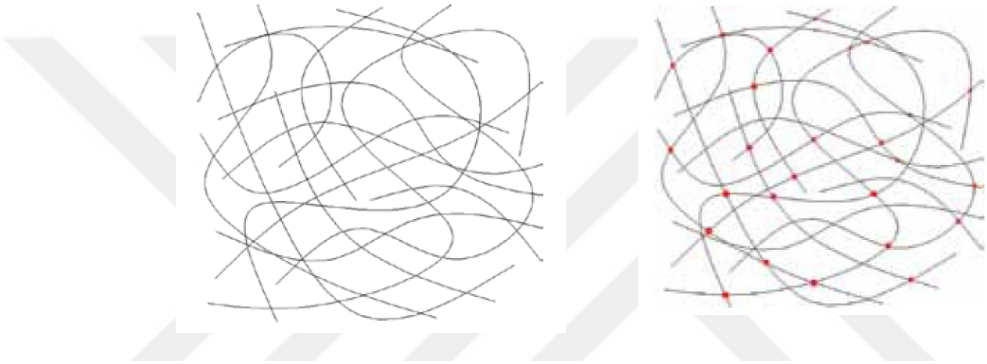
Bir malzemeye çekme, basma, burulma gibi kuvvetler uygulandığında malzemede belirli deformasyonlar meydana gelir, kuvvetler kaldırıldığında malzemenin deformasyonlu formundan ilk formuna dönebilme yeteneğine elastikiyet denir. Elastik deformasyon kuvvetler var olduğu sürece bulunur, kuvvetler kaldırıldığında elastik deformasyon ortadan kalkar. Elastomerlerin elastikiyeti uzun polimer zincirlerinin kendilerini yeniden yapılandırabilme kabiliyetinden gelir. Zincirler arasındaki çapraz bağ yapısı, malzeme üzerindeki stres kaldırıldığında elastomerin orijinal yapıya dönmesini sağlar. Bu aşırı esnekliğin bir sonucu olarak, elastomerler, spesifik malzemeye bağlı olarak, geri dönüşümlü olarak yaklaşık %200-1000 aralığında uzayabilirler. Zincir yapısında çapraz bağlanma olmadığı zaman veya yapılandırılmamış kısa zincirler var ise malzemeye kuvvet uygulandığında kalıcı deformasyonlar oluşur. Malzemede kuvvetler ile oluşturulan elastik deformasyon sonrası malzemenin tekrar eski formuna dönebilme hızına geri dönme esnekliği denir. Bir elastomer malzemede kalıcı deformasyon var ise elastomer malzemeye bir enerji girişi olmuştur. Kalıcı deformasyona neden olan ve eski forma dönmeyi engelleyen bu enerji elastomer malzemenin içine ısı olarak dağılmaktadır. Bir başka şekilde, deformasyonu oluşturmak için uygulanan enerjiye, geri döndürülen enerjinin oranı, malzemenin geri dönme esnekliği olarak tanımlanır.

Çoğu elastomer malzemenin sahip olduğu bazı özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Elastikiyet sayesinde vulkanizasyon ile oluşturulan formu koruma
2. Çok düşük oranda hava, gaz, su ve buhar geçirgenliği
3. İyi elektriksel ve termal yalıtım özellikleri
4. İyi mekanik özellikler
5. Fiber, metal ve termoplastiklere yapışabilme kabiliyeti
6. Uygulama alanına göre sağladıkları avantajlar ile benzersiz olmaları

Ayrıca kompound bileşenleri uygun şekilde istenilen özelliklerde seçilirse, birçok ister için özel karışımlar tasarlanabilir. Kompound içeriğinde amaca yönelik hizmet eden katkı malzemeleri kullanılarak elastomer karışımları özelleştirebilme imkânı bulunmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı elastomerler, sızdırmazlık, darbe emici, titreşim sönümleme, elektrik ve ısı yalıtımı, sürekli dinamik yüklere maruz kalan parçalarda ve esnek iletim elemanları gibi birçok mühendislik ihtiyacına çok çeşitli sektörlerde hizmet ederler.

Çoğu elastomer türü termoset malzemelerdir, sahip oldukları mukavemet ve mekanik özelliklerini vulkanizasyon prosesi sonrası kazanırlar. Basınç ve ısıya maruz kalan elastomerlerde geri dönüşümü olmayan çapraz bağlı polimer zincirleri oluşur, bu proses vulkanizasyondur. Vulkanizasyon öncesi moleküler zincirler birbirleri üzerinden kayarak daha az elastikiyet gösterirler. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere vulkanizasyon sonrası zincirler çapraz bağ kurar ve bağ yapısı sayesinde malzeme daha fazla elastiklik yeteneği kazanır. Termoplastik elastomerler daha zayıf çapraz bağ yapısına sahiptir, elastomerlerin tipik özelliklerini sergilerken proses şartları diğer plastik malzemeler gibidir, kalıplanabilir, ekstrüde edilebilir ve geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilir (Walker, 2012).



Şekil 2.2. Kürlenme öncesi ve sonrası çapraz bağlı zincir yapısı (Walker, 2012).

Elastomerler avantajlı oldukları çoğu özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Hidrolik, pnömatik sistemlerden, endüstriyel makinalara, hassas medikal ürünlerden, otomotiv, uzay ve havacılık endüstrisine kadar oldukça geniş bir yelpaze de kullanılırlar. Elastikiyet özellikleri sayesinde; sızdırmazlık elemanları, darbe sönümleyici, esnek iletim elemanları, dinamik kuvvetler altında çalışan konstrüksiyon parçaları veya çalışma boşluğu sağlayan parçalarda elastomerler malzeme tercihi olarak öne çıkmaktadırlar.

Son yüzyılda çok çeşitli uygulamaları ve işletim şartlarını karşılamak için çok sayıda temel ve özel elastomerler geliştirilmiştir. Elastomerlerin kompound aşamasında kendi temel özelliklerinin üzerine; katkı malzemeleri, dolgular, proses ve mekanik özellikleri iyileştiren ek bileşenler ile bazı özellikleri iyileştirilebilmektedir. Elastomer malzemelerde gereksinime göre kompound dizaynı yapılabildiği için işletim şartlarının ve çalışma sürelerinin belli olması malzeme seçimini daha net yapabilmeyi ve maliyetleri düşürebilmeyi sağlamaktadır.

Temel elastomer tipleri, kimyasal adlandırmaları ve kullanılan kısaltmaları ile bazı temel mekanik bilgileri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2' de görülmektedir. Bu tablolarda elastomer malzemelerin birim maliyetleri de verilmiştir. Elastomerlerin özellikle termoplastiklere göre üst sıcaklıklarda formunu koruyabildiği bilindiği üzere tabloda sürekli, aralıklı ve minimum sıcaklık dayanımları için genel değerler verilmiştir. Bazı katkı ve özel seri baz malzemeler için bu değerler farklılıklar gösterebilmektedir.

Tablo 2.1. Temel elastomer tipleri için bazı bilgiler- 1 (Walker, 2012).

Yaygın Adı	**Doğal Kauçuk**	**SBR**	**EPDM**	**Neopren**	**CSM**	**Nitril**	**Akrilik**
Kimyasal Adı	Poliizopren	Stiren Bütadien Kauçuk	Etilen Propilen Dien Monomer Kauçuk	Kloropren Kauçuk	Klorosülfonil Polietilen Kauçuk	Akrilonitril Butadien Kauçuk	Poliakrilik Kauçuk
Terminoloji	NR	SBR	EPDM	CR	CSM	NBR	ACM
Maliyet	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	3.5
Sertlik Aralığı (IRHD)	30-95	40-95	30-85	30-90	40-85	40-100	50-85
Renk Skalası	Geniş	Geniş	Limitli	Geniş	Geniş	Limitli	Siyah
Sıcaklık Dayanımı Sürekli (°C)	75	85	130	95	130	100	150
Aralıklı (°C)	105	115	150	125	160	130	180
Minimum Sıcaklık Dayanımı (°C)	-60	-55	-50	-40	-25	-50, -5 arası	-20

Tablo 2.2. Temel elastomer tipleri için bazı bilgiler- 2 (Walker, 2012).

Yaygın Adı	**Vamac**	**Epiklorohidrin**	**Bütil**	**Silikon**	**HNBR**	**Florokarbon**	**Florosilikon**	**Kalrez**
Kimyasal Adı	Etilen Akrilik Kauçuk	Epiklorohidrin Kauçuk	Poliizo bütilen Kauçuk	Poli siloksan	Hidrojene Nitril Kauçuk	Florokarbon Kauçuk	Florosilikon Kauçuk	Perfloro karbon Kauçuk
Terminoloji	AEM	ECO	IIR	Q	HNBR	FKM	FQ	FFKM
Maliyeti	4	4	4	11	20	30	40	1000
Sertlik Aralığı (IRHD)	45-90	40-85	40-85	30-80	50-95	50-95	40-80	65-90
Renk Skalası	Limitli	Limitli	Limitli	Geniş	Limitli	Limitli	Limitli	Limitli
Sıcaklık Dayanımı Sürekli (°C)	150	140	120	205	150	205	180	
Aralıklı (°C)	180	160	135	300	180	250	200	325
Minimum Sıcaklık Dayanımı (°C)	-40	-30	-50	-60 (özel -80)	-30	-40, 0 arası	-60	0 (özel -25)

2.2. Silikon Elastomerler

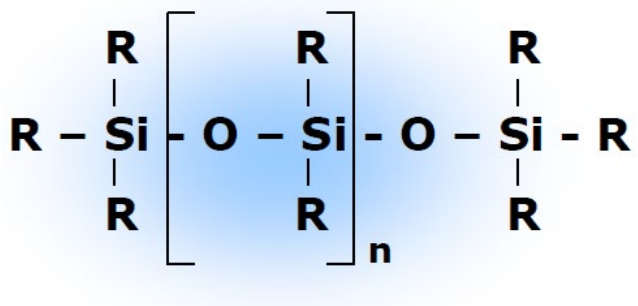
Silikon elastomerler, üç boyutlu bir ağda, çapraz bağlanmış doğrusal silikon polimerleri içeren elastik maddelerdir. Çoğu durumda bu üç boyutlu ağ bir takviye gibi davranır ve mekanik, kimyasal veya fiziksel özellikleri barındıran bir yapı gibidir (Jerschow, 2001).

Başka bir tanımlama olarak; silikon kauçuk, karbon, hidrojen ve oksijenle birlikte silikon içeren polimer yapılarından oluşan elastomerdir (Shah & Shit, 2013).

“Silikon / Silicon” (Latince: Silisyum), periyodik tabloda “Si” simgesi ile gösterilen ve atom numarası 14 olan bir kimyasal elementtir. Yoğunluğu 2,33 g/cm³, molar kütlesi 28,09 g/mol, erime sıcaklığı 1420°C, kaynama sıcaklığı 3265°C, metalik görünümlüdür ve oda sıcaklığında katı haldedir. Doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur ve yer kabuğunun %27,6’ sının oluşturur. Oksijenden sonra yerkabuğunda en çok bulunan ikinci element ve güneş sisteminde en çok bulunan on elementten biridir (O'Lenick, 1999).

"Silikon / Silicone" terimi, 20.yy. başlarında Dr. F. S. Kipping’in (1863-1949) yaptığı çalışmalar neticesinde ortaya çıkmıştır ve bu terim silikon bileşikleri ile karbonun eşdeğer oksijen bileşikleri (polisilikoketonlar) arasındaki yapısal ilişkiyi ifade eder. Bununla birlikte Si-O-Si grubu, “siloksan” terimi ile daha iyi tanımlanmaktadır. Bu nedenle, tüm silikonlar doğru bir şekilde "polisiloksanlar" olarak adlandırılmalıdır. Günümüzde silikon terimi temel olarak polisiloksanların teknik uygulamaları için kullanılmaktadır (Wacker Chemie AG, 2012).

Şekil 2.3 silikon kauçuklar için siloksan polimer zincirinin genel bir yapısını göstermektedir.



Şekil 2.3. Siloksan polimerinin gösterimi (Bosshammer, 2019)

Silikon kauçuklar benzersiz polimer yapılarından dolayı diğer kauçuklara göre organik ve inorganik özellikleri bir arada bulundururlar. Kürlenmemiş silikon kauçuk, farklı zincir uzunluklarında polimerler içerir. Ancak her zaman temel bir Si-O zinciri (siloksan omurgası) ve silisyuma bağlı organik bir kısım içerir. Silikon atomunun 4 valens elektronu vardır, bu nedenle silikon kauçuğu genellikle dörtlü grubu "quaternary group" ifade eden bir "Q" harfi ile kısaltılarak gösterilir. Silikon kauçuğun özellikleri, organik gruplara ve kimyasal yapıya bağlı olarak büyük ölçüde değişir (Wacker Chemie AG, 2019).

Şekil 2.3'te siloksan yapısında gösterilen "R" organik grupları ifade etmektedir. Bu organik gruplar metil, fenil, vinil veya trifloropropil olabilmektedir. Tablo 2.3'te, siloksan polimerinde bulunan organik gruplara bağlı olarak DIN ISO 1629'a göre adlandırmaları değişen silikon kauçuklar gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Silikon kauçuk türleri ve DIN ISO 1629 Adlandırması

"R"- Organik Grup	Kısaltma	DIN ISO 1629 Adlandırması
$- CH_3$	MQ	Metil - polisiloksan
$- CH{=}CH_2$	VMQ	Vinil - metil - polisiloksan
- Ph	PVMQ	Fenil - vinil - metil - polisiloksan
$- CH_2{-}CH_2{-}CF_3$	FVMQ	Floro - vinil - metil - polisiloksan

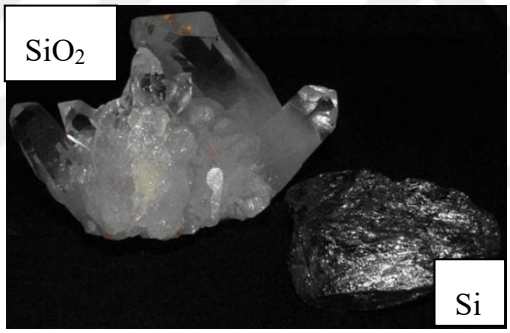
Vinil grupları, siloksan ağındaki kimyasal çapraz bağlarını kontrol edilebilecek şekilde polimer molekülleri içine seçilen pozisyonlara yerleştirilebilir. Bu da mekanik davranışları daha dayanıklı ürünlerin yapılmasına izin vermektedir. Ayrıca polimer molekülleri arasında özelleştirme esnekliği, gereksinime özgü malzeme dizaynına imkan sunmaktadır. Bu durum yaklaşık 10 yıl boyunca çok fazla araştırma ve geliştirme çalışmasından sonra 1960'ların ortalarında gelişmiş silikon kauçuk ürünlerinde görülmeye başladı. Vinil grupları VMQ, PVMQ ve FVMQ kopolimerlerinde bulunur. Silikon polimerlerde vinil gruplarının kullanılması, gelişmiş performans ve otomotiv contaları gibi uzun vadeli güvenilirlik gerektiren yeni uygulamalara kapı açtı (Polmanteer & Klosowski, 2001).

2.3. Silikon Elastomerlerin Üretim Prosesleri

Silikon, kuvarsların (SiO_2) karbonla termal indirgenmesiyle elde edilir. Reaksiyon çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve bu nedenle gereken enerjiyi sağlamak maliyet açısından uygun olmalıdır. Reaksiyon denklem 2.1'de görüldüğü üzere aşağıdaki gibidir.

$$SiO_2 + C \xrightarrow{1700°C} Si + CO_2 \qquad (2.1)$$

Tepkime sonrası silikonun saflığı genellikle en az %99 saflıktadır. Ayrıca, silikon mamullerinin hazırlanmasına uygun bir hammadde elde etmek için bazı kontamine maddeler de kontrol edilmelidir. Bu şekilde üretilen silikon, metalik bir malzeme olduğundan, Rochow prosesinde reaksiyona girmesi için parçacık boyutu 100 ila 350 nm arasında olan toz haline parçalanarak getirilir (O'Lenick, 1999).



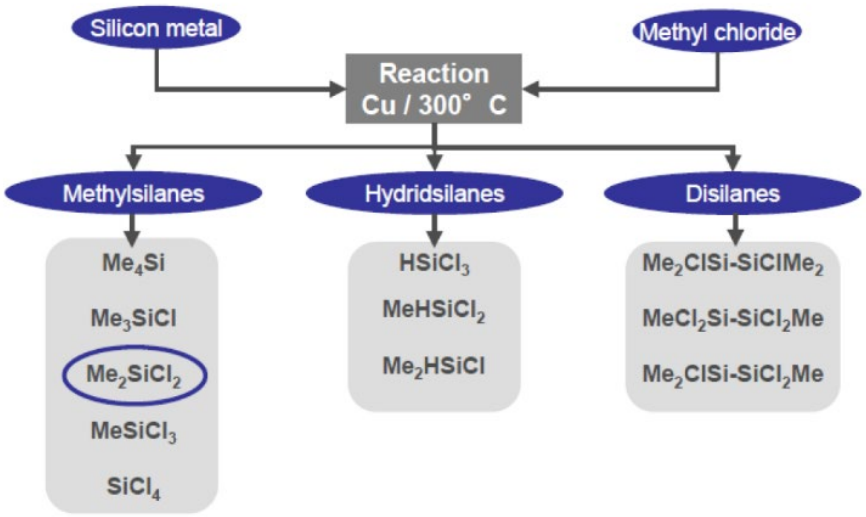
Şekil 2.4. Kuvars - SiO_2 ve Silikon metali – Si (O'Lenick 1999)

Mayıs 1940'ta General Electric, araştırmacı kimyager Eugene G. Rochow'un doğrudan reaksiyon sürecini keşfi, günlük yaşamın neredeyse her yönüne dokunan binlerce üründe silikonların uygulanmasına yol açan bilimsel yenilik yolculuğunu başlattı (Bosshammer, 2019).

Rochow'un metilklorosilan olarak da adlandırılan doğrudan reaksiyon işleminde metil klorür, metilklorosilan karışımı oluşturmak için yüksek sıcaklıkta (250°-300°C) bir silikon ve bakır yatağından geçirilir. Buradaki reaksiyon sonrası önemli çıktılardan biri olan diklorodimetilsilandır $(CH_3)_2SiCl_2$. Aynı dönemde Müller bağımsız bir çalışma ile Almanya'da benzer bir keşif yaptı. Sonuç olarak, işleme sıklıkla Rochow işlemi ve bazen de Rochow-Müller reaksiyonu denir. Bu keşifler, ticari silikon endüstrisinin başlangıcına yön veren önemli çalışmalardır (Butts & Cella, 2007).

Endüstriyel ve ticari silikon elastomer ürünlerinin elde edilebilmesi için uygulanan Rochow prosesi, kontrol edilebilir yüksek teknoloji prosesleri gerektirir ve bu proseslerle birlikte yüksek yatırım maliyetlerini beraberinde getirmektedir. Ayrıca proseslerin gerçekleştiği tesisler kuvarsların çıkarıldığı lokasyonlara yakın konumlandırılır. Bu nedenle endüstriyel ve ticari silikon elastomer ürünlerinin hammaddesel süreçlerini uygulayıp üretebilen sayılı büyük firmalar vardır. Bu firmaların üretim tesislerinde sağladığı proses dizilerinin çıktıları çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Ana ve yan ürünler kullanıldıkları sektöre göre ana hammadde veya yarı mamul olarak işlenebilmektedir.

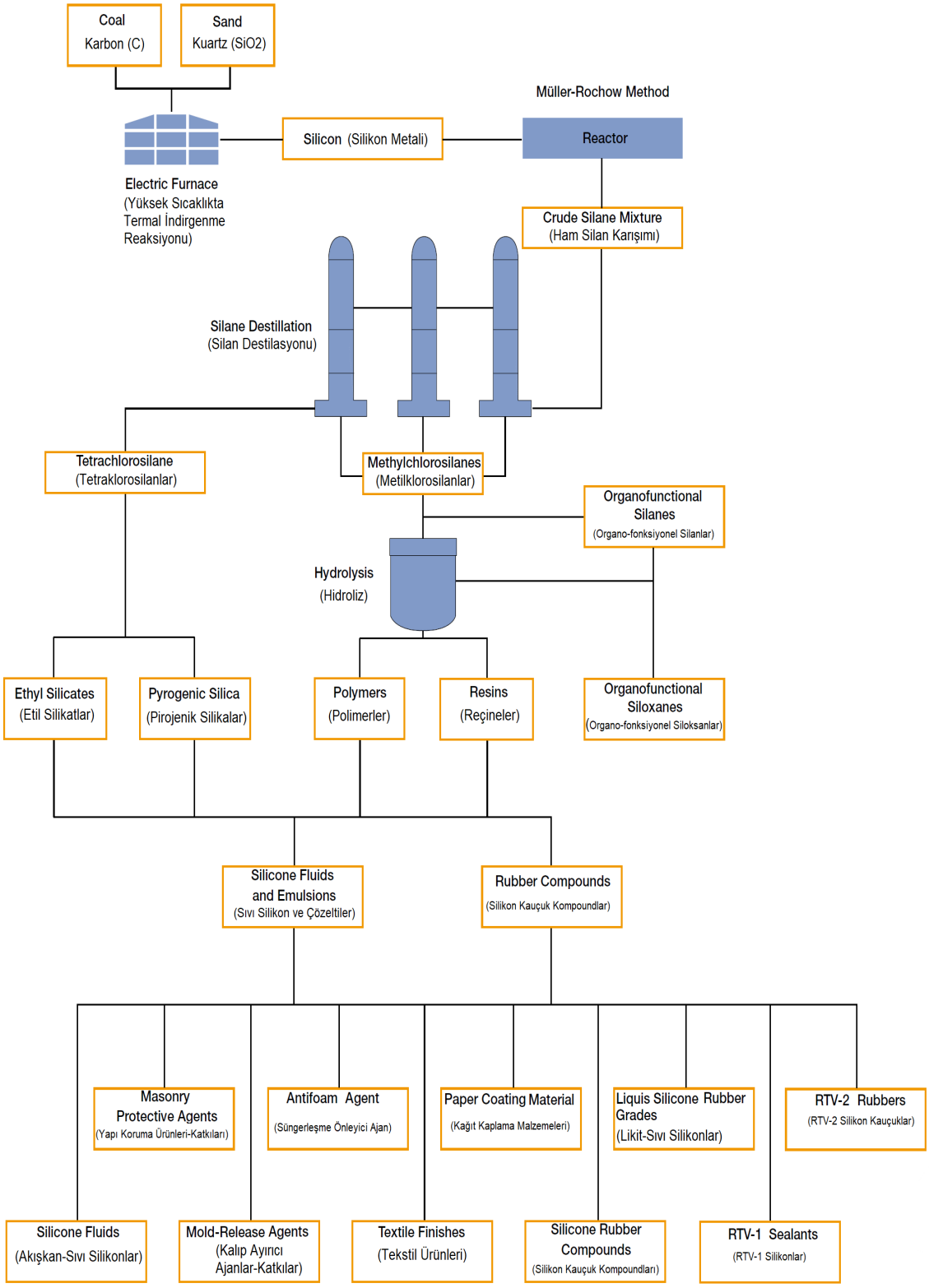
Şekil 2.4'te, Rochow sentezinin uygulandığı proses sonrası elde edilen bileşikler ve önemli çıktılarından biri olan Me_2SiCl_2 görülmektedir. Burada metilklorosilanlar sonraki proseslerde polimer ve resinleri oluşturan ana yapılar olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Rochow sentezi (Bosshammer, 2019)

Şekil 2.4'te görülen reaksiyon ekzotermik ve verimi %85-90 arasındadır. Destilasyon sonrası çeşitli silan yapıları ayrıştırılır. Silanların kaynama noktaları birbirlerine yakın olduğu için silikon elastomer ürünleri üreten fabrikalarda uzun destilasyon kolonları görülmektedir. Burada reaksiyon sonrası ayrıştırılan Me_2SiCl_2 bir sonraki aşamada monomer olarak polidimetilsiloksanların hidrolizine hazırlanır. Dimetilklorosilan harici kalan silan yapıları da tekrarlı reaksiyonlar ile resin, çözeltiler, kalıp ayırıcılar, koruyucu kaplamalar, kompound katkı ajanları gibi diğer ticari ürünlere çevrilebilir (Colas, 2005).

Şekil 2.6'da Wacker Chemie AG firmasının silikon elastomerler için üretim şeması görülmektedir.



Şekil 2.6. Wacker silikon elastomerler üretim şeması (Wacker Chemie AG, 2012)

2.4. Silikon Kauçuklar

Genel olarak tüm silikonlar (genellikle silikonları polidimetilsiloksanlar olarak adlandırırız) yüksek termal stabiliteleri, biyouyumlulukları, hidrofobik yapıları, elektriksel ve ayırıcı özellikleri ile öne çıkarlar. Silikonlar, bir silikon kauçuk oluşturmak için çapraz bağlandıklarında, karakteristik özellikleri hala mevcuttur (Jerschow, 2001).

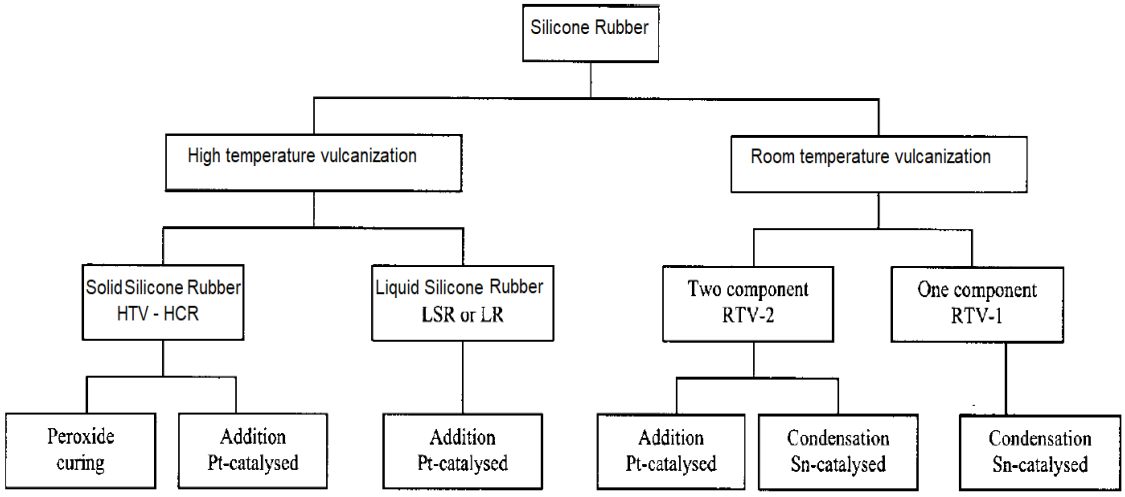
Silikon elastomerlerin üretim aşamalarında birçok ana ürün ve yan ürünler çıktı olarak elde edilmektedir. Silikon kauçuk grubu da bu sentez sonrası çıkan ana ürünlerden birisidir. Silikon kauçuklar; kürlenme yöntemi, baz polimerin viskozitesine göre sınıflandırabilir. Ana sınıflandırma tipi vulkanizasyon sistemine göre olandır. Burada vulkanizasyon sistemine göre yapılan sınıflandırma aynı zamanda silikon kauçuklara verilen kısaltma ve isimlerinde altyapısını oluşturmaktadır. Üreticilerde bu kısaltmalara göre ticari ürünlerinde kodlandırma sistemleri oluşturmaktadır.

İsimlendirme olarak, oda sıcaklığında vulkanizasyon RTV (room temperature vulcanization) ve yüksek sıcaklıkta vulkanizasyon HTV (high temperatıre vulcanization). RTV sistemleri oda sıcaklığında ve HTV sistemleri de 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kürlenebilir. İsimde bir sayı var ise, kürlenmeyi sağlamak için karıştırılması gereken komponentlerin sayısını belirtir, örneğin RTV-2.

HTV silikon kauçuklar esas olarak katı silikon kauçuklardır. Kürlenmemiş durumda çok yüksek viskoziteye sahiptirler ve katı madde olarak görünürler. Bu davranış aynı zamanda HCR (high consistency rubber) teriminin ortaya çıkmasına da yol açmıştır.

1975'li yıllarda, enjeksiyon makinelerinde işlenmesi amaçlanan yeni bir malzeme grubu ortaya çıktı. Düşük viskoziteleri ve macun benzeri davranışları ve HTV silikonlara göre sahip oldukları akışkanlık nedeniyle likit silikon, LSR (liquid silicone rubber) veya basitçe LR (liquid rubber) olarak adlandırıldılar. Katı silikon kauçuklarda olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda vulkanize olsalar bile, kısaltma olarak HTV yerine LSR veya LR kullanılması yaygındır. Enjeksiyon prosesinde LSR veya LR silikonların vulkanizasyonu ve proses edilebilirliği HTV silikonlara göre oldukça hızlıdır. LSR silikonlarda prosesler davranış olarak termoplastikler gibi davranış gösterir. Daha düşük çevrim sürelerinin elde edilebilmesi mümkün olduğu için otomasyon uygulamalarına bu malzeme tipi daha yatkındır. Tamamen kontrol edilebilir hızlı çevrimlerin elde edilebilmesi mümkündür (Jerschow, 2001).

Şekil 2.7'de silikon kauçuk için vulkanizasyon tipine göre yapılan sınıflandırmanın şeması görülmektedir



Şekil 2.7. Vulkanizasyon tipine göre silikon kauçuklar (Jerschow, 2001)

2.4.1. HTV-HCR katı silikon kauçuklar

Katı silikon kauçuklar, yüksek moleküler ağırlıklı ve nispeten uzun polimer zincirlerine sahip polimerler içerir. Katı silikon kauçuklar, organik peroksitler veya platin katalizörler aracılığıyla yüksek sıcaklıkta kürlenir. Kürlenmiş kauçuk, mekanik mukavemeti de oluşturan ilave dolgu ve katkı malzemeleri ile kompound karışımdan elde edilir. Tercih edilen dolgu maddeleri, BET yüzey alanları> 100 m^2/g olan pirojenik silikalardır. Ayrıca çökeltilmiş silikalar, inaktif dolgular (kuvars, diyatomik kumlar) veya özel karbon siyahı sınıfları eklemek de mümkündür. Olağanüstü özellikleri sayesinde, HTV silikon kauçukların çok sayıda uygulama alanı vardır. Bu durum sayesinde çok çeşitli sıcaklıklarda, -50°C ila +200°C veya özel seriler için -90°C ila +300°C' de kullanılabilirler. Bilinen hiçbir fiziksel veya fizyolojik zararlı etkisi yoktur ve çok iyi yaşlanma direnci bulunur (Wacker Chemie AG, 2012).



Şekil 2.8. Baz halde katı silikon kauçuk (Wacker Chemie AG, 2019)

Vulkanize olmamış, kompound haline getirilmeye ve işlenmeye hazır silikon kauçuk, baz ve baz silikon olarak adlandırılır ve parça üreticilerine hamur kıvamından biraz sert bir yapıda blok formunda katı halde tedarik edilir. Baz silikon kauçuk işlenmeden önce kompound haline getirilmesi gerekmektedir. Genellikle düşük hacimde olan karışımlar ikili mil sistemi (two-roll mill) denilen merdaneli makinalarda, daha büyük hacimde olanlar ise mikserlerde kompound haline getirilir. İkili mil sistemi ve kapalı mikserlerde yapılan kompound hazırlama işlemi mekanik sürtünmeye bağlı karıştırma prensibine dayanmaktadır. Burada önemli nokta karışım hazırlanan mil veya mikserlerin soğutma sisteminin kontrol edilebilir ve yeterli düzeyde olmasıdır. Yetersiz soğutma karışım içerisinde istenmeyen ön kürlenmelerin oluşmasına sebep olabilir ve kompound asıl işleneceği ana proseste üreticiye sorunlar çıkarabilir. Baz silikonlar işlenmeye ve form verilmeye hazır, karışım - kompound haline getirilirken kürlenme (vulkanizasyon) katkıları, mekanik özellikleri değiştiren katkılar, dolgu malzemeleri, özel katkılar ile belirli bir formülasyonda, belirli şartları sağlamak adına, daha önce belirlenmiş proses şartlarında karıştırılırlar. Silikon kauçuk ürünler; kompresyon, transfer veya enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve kalenderleme gibi kauçuk işleme teknikleri kullanılarak çok çeşitli boyutlarda ve şekillerde üretilebilir. Bu nedenle, büyük hacimli üretimler sorun değildir; ancak üretim ekipmanları oldukça pahalıdır (Patterson, 1998).

Tablo 2.4'te HTV – HCR silikon kauçukların önemli ticari kullanım alanları ve tipleri için genel mekanik özellikleri verilmiştir. Farklı sertlik aralıklarında farklı mekanik özelliklerin elde edilebildiği tablodan görülmektedir. Mekanik özellikler baz silikon, katkı, proses, katalizör parametrelerine göre de değişkenlik göstermektedir.

Tablo 2.4. Kullanım sınıflarına göre silikon özellikleri (Butts & Cella, 2007)

Kullanım Sınıfı	Sertlik (Shore A)	Kopma Mukavameti (MPa)	Uzama (%)	Kalıcı Deformasyon (%) 150°C 22s	Kullanışlı Olduğu Sıcaklık Aralıkları Min.(°C)	Maks.(°C)	Yırtılma Mukavemeti (N/mm)
Genel Kullanım	40 - 80	4,8 - 7,0	100 - 400	15 - 50	-60	260	9
Düşük Kalıcı Deformasyon	50 - 80	4,8 - 7,0	80 - 400	10 - 15	-60	260	9
Düşük Sıcaklık	25 - 80	5,5 - 10,3	150 - 600	20 - 50	-100	260	31
Yüksek Sıcaklık	40 - 80	4,8 - 7,6	200 - 500	10 - 40	-60	315	
Tel ve Kablo	50 - 80	4,1 - 10,3	100 - 500	20 - 50	-100	260	
Çözücüye Dayanıklı	50 - 60	5,8 - 7,0	170 - 225	20 - 30	-68	232	5,7
Yüksek Alev Dayanımı	40 - 50	9,6 - 11,0	500 - 700				28 - 38

Tablo 2.5'te, Polmanteer'in kullanım yerleri ve mekanik parametrelere göre oluşturduğu katı silikon kauçukların özellikleri bulunmaktadır. Kullanım yerleri göz önüne alındığında aslında basit gibi görünen ancak servis ömrü ve parça önemi açısından kritik yerlerde bu malzemelerin kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 2.5. Mekanik değerlere göre genel katı silikon kauçuklar
(Polmanteer & Klosowski, 2001)

Sınıflandırma	Çoğunlukla Kullanım Yeri	Çalışma Sıcaklık Aralıkları (°C)	Sertlik (Shore A)	Kopma Mukavameti (MPa)	Uzama (%)	Yırtılma Mukavemeti (kN/m)	Kalıcı Deformasyon (%) 150°C 22 saat
Genel Kullanım	Kelepçe kapakları, tıpalar, kapatmalar, körükler, diyaframlar, tozluklar, contalar	-57 ile 260	40	5,67	340	7,88	15
			55	6,65	300	14	25
			80	5,95	230	13,13	30
Yüksek Sıcaklık	Fırın contaları, otoklav contaları, cam ve metal sanayi	-57 ile 315	50	5,95	300	10,5	22
			80	4,9	175	14,88	25
Yüksek Mukavemet	Contalar, sızdırmazlık elemanları, darbe emici parçalar, körükler, tozluklar, kayışlar, form verme plakaları	-90 ile 250	28	7,35	800	19,25	25
			50	10,5	600	33,25	21
			60	9,45	500	31,5	35

Sınıflandırma	Çoğunlukla Kullanım Yeri	Çalışma Sıcaklık Aralıkları (°C)	Sertlik (Shore A)	Kopma Mukavameti (MPa)	Uzama (%)	Yırtılma Mukavemeti (kN/m)	Kıvılcım Testi (kV)	Yalıtım Direnci (Mohm/ 1000 ft)
Tel ve Kablo	Hava taşıtları, füzeler, gemi güç ve kontrol, iletişim, enerji hatları	-57 ile 260	60	6,65	300		15	60000
			60	5,6	400	19,25	13	16000
			50 ile 60	6,3	350	14	12	80000
			60	6,3	250	14	17	3000
			65	5,25	225	14	12	2500

HTV-HCR katı silikon kauçuklar, kullanım yeri ve şartlarına göre en başta kompound aşamasından itibaren tasarlanabilirler. HTV-HCR silikondan üretilecek parçanın servis şartlarına göre formülasyonda kullanılacak baz silikon, proses ve mekanik özellikler için katkı materyalleri, vulkanizasyon ajanları ve diğer dolgu – katkı malzemeleri belirlenebilir. HTV silikonlarda kompound, bileşenlerin oran ve nitelikleri değiştirilerek üretilecek parçaya özgü olabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde HTV silikonlar, silikon işleyen ve form veren üretici firmalara, çeşitli taleplere hizmet sağlayabilecek farklı parçaların üretiminde esnek çözüm kabiliyeti sağlamaktadır.

2.4.1.1. HTV-HCR silikonlarda vulkanizasyon ve çapraz bağ yapısı

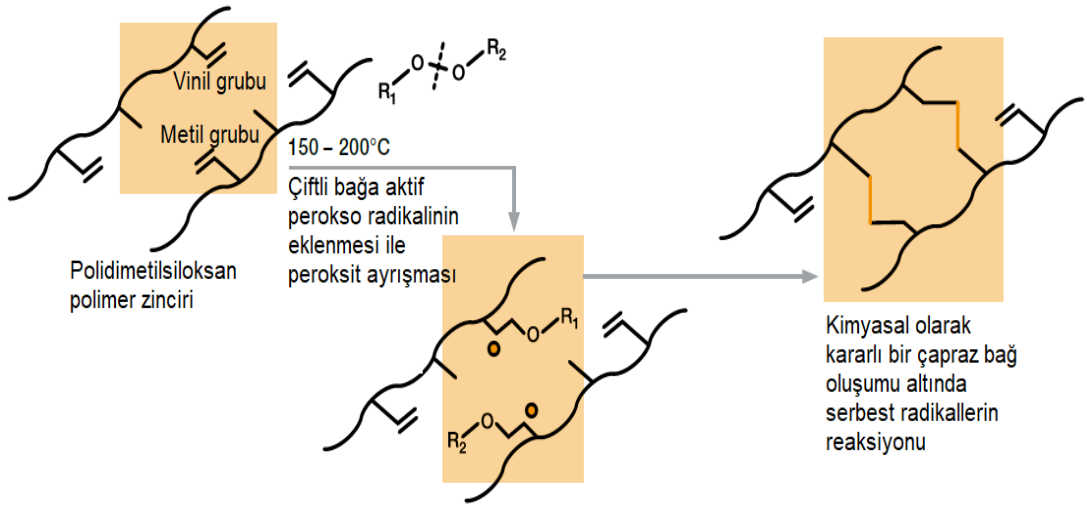
Diğer elastomerlerde olduğu gibi, üç boyutlu stabilite sağlamak için polimer moleküllerinin kimyasal olarak birbirine bağlanması gerekir. Bu kimyasal bağlar (çapraz bağlar), normalde birbirinden birkaç yüz (yaklaşık 100-400 aralığında) tekrar eden polimer zinciri birimi uzaklıkta ayrı bulunmaktadır. Bu uzaklıkların kimyasal olarak bağlanması ile polimer zincirinde birbirine geçen oldukça etkili bir çapraz bağ yapısı oluşur. Elastomere dolgu maddeleri de eklendiğinde, etkin çapraz bağ yapısında efektif birçok komplikasyon ortaya çıkabilir (Polmanteer & Klosowski, 2001).

Elastomerik malzeme elde etmek için, ham (baz) silikon kauçuğun her zaman kürlenmesi gerekir. HTV–HCR katı silikon kauçuklarda kürlenme reaksiyonu, peroksit yapılı veya platin ilaveli sistemler ile yapılabilir (Wacker Chemie AG, 2019).

Peroksit ile kürlenme, organik peroksitlerin kullanımını içerir. Yüksek sıcaklıklarda, organik peroksitler polimer zincirlerini kimyasal olarak çapraz bağlayan oldukça reaktif radikaller oluşturur ve daha sonra peroksit olarak ayrışırlar. Sonuç oldukça elastik, üç boyutlu, çapraz bağlı bir polimer ağıdır (Wacker Chemie AG, 2019).

Peroksitler, oda sıcaklığında kimyasal olarak kararlıdır. Yüksek sıcaklıklarda molekülleri bölünür ve silikon kauçuğun vulkanizasyonunu sağlayan radikaller sağlarlar. HTV-HCR silikon kauçukların vulkanizasyonu için çok kullanılan üç tip peroksit vardır. Bu üç peroksidin farklı kimyasal yapıları kullanımlarını belirler. C1 Dicumyl peroksit ve C6 2,5-(bis-t-butylperoxy)-2,5-dimethylhexane peroksitlerin nispeten yüksek sıcaklıklarda molekül yapıları bölünür (C1 155°C ve C6 160°C). Bu nedenle kürlenmeden önce kalıplama yöntemiyle üretimde, malzemenin kalıp gözlerine doldurulmasına olanak sağlarlar. C1 ve C6 tipi peroksitler, yüksek sıcaklıklarda silikon kauçuğun vinil grupları yerine ortamdaki hava ile reaksiyona girdiği için ekstrüzyona uygun değildirler. Bu davranışa hava inhibisyonu da denir. Çapraz bağlayıcı E tipi 2,4-dichlorobenzoyl peroksit, ekstrüzyon üretim yöntemi için uygundur. E tipi peroksitin molekülleri 90°C'nin üzerinde bölünür ve çok küçük bir hava inhibisyonu eğilimi gösterir. E tipi peroksit, C1 veya C6'dan daha az vinile özgüdür. Bu nedenle E tipi peroksit ile polimeri saf polidimetilsiloksan olan bir HTV-HCR silikon kauçuğu kürlemek mümkündür. Proses ve makine yeterliliğine göre işlenecek kompounda özgü katalizör kullanımı işletme üretim verimliliği açısından önemlidir (Jerschow, 2001).

Şekil 2.9'da HTV-HCR katı silikon kauçukların peroksit ile çapraz bağ oluşturma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.9.HTV silikonda peroksit ile kürlenme (Wacker Chemie AG, 2019)

Tablo 2.6'da HTV-HCR silikon kauçukların kürlenme reaksiyonu için uygulama ve üretim yöntemine göre en çok kullanılan peroksit tipleri verilmiştir. Ayrıca bu isimler üreticilerin ticari adlandırmalarında kullanılmaktadır. Parçanın üretileceği üretim yöntemine göre de çalışma performansı sunan katalizör tipleri tabloda görülmektedir.

Tablo 2.6. HTV silikonlarda kullanılan peroksit katalizörler (Patterson, 1998)

Peroksit Tipi	Ticari İsmi	Form	Kullanım Oranı (%)	Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı Proses
Bis 2,4-dichlorobenzoyl peroxide	Cadox TS-50 veya Luperco CST	50% katı	1,2	104-132	Sıcak hava tüneli vulkanizasyonu, ekstrüzyon
Benzoyl peroxide	Cadox BS veya Luperco AST	50% katı	0,8	116-138	Kalıplama, buharla kürleme
Di Cumyl peroxide	DiCup 40C	40% katı	1	154-177	Kalın kesitlerin kalıplanması, yapıştırma, buharla kürleme
2,5 Dimethyl-2,5 Di(t-butyl Peroxy) hexane	Varox veya Luperco 101-XL	50% katı veya 100% sıvı	0,4 - 0,8	166-182	Kalın kesitlerin kalıplanması, yapıştırma, buharla kürleme

Bork ve Roush (1964), silikon elastomerleri vulkanize etmek için ticari olarak kullanılan birçok çeşit farklı peroksiti yaptıkları çalışmalar ile değerlendirmişlerdir. Silikona bağlı organik radikallerle reaktivitelerinin farklılık gösterdiğini ve moleküllerde ayrışma olduktan sonra kalan ürünlerin de farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Örneğin, benzoil peroksit, 2,4-diklorobenzoil peroksit ve t-butil perbenzoatın her biri hem metil hem de vinil gruplarıyla reaksiyona girecek kadar reaktiftir ve bunların ayrışma ürünleri, bazı durumlarda zararlı olan organik asitleri içerir. Öte yandan, di-t-butil peroksit, dikumil peroksit ve 2,5-bis (t-butil peroksit) - 2,5-dimetilheksan gibi peroksitler, metil gruplarına göre vinil gruplarıyla çok daha fazla reaktiviteye sahiptir ve reaktivitelerinde daha seçicidirler. Ek olarak, ayrışma sırasında organik asit oluşturmazlar, daha çok keton oluştururlar, ketonlar daha az zararlıdır ve sonraki prosesler ile üründen çıkarılmaları daha kolaydır. Peroksitler, ısıtıldığında serbest radikaller oluşturmak için ayrışır. Belirlenmiş bir reaksiyon için seçilen spesifik peroksitin reaktivitesi o reaksiyon için önemlidir ancak çapraz bağlanma reaksiyonları Bork ve Roush (1964) yaptıkları çalışmada dikkate alınmamıştır (Polmanteer & Klosowski, 2001).

HTV-HCR katı silikon kauçuklarda kürlenme ve çapraz bağlanmayı sağlamak için kullanılan bir diğer yöntem platin (Pt) katalizör kürlenme sistemidir. Pt veya peroksit kürlenme sistemlerinin seçiminde farklı parametreler devreye girmektedir. Pt ile katalize edilerek sağlanan kürlenme, ilave kürlenme (addition curing) ve hidrosililasyon (hydrosilylation) olarak da adlandırılmaktadır.

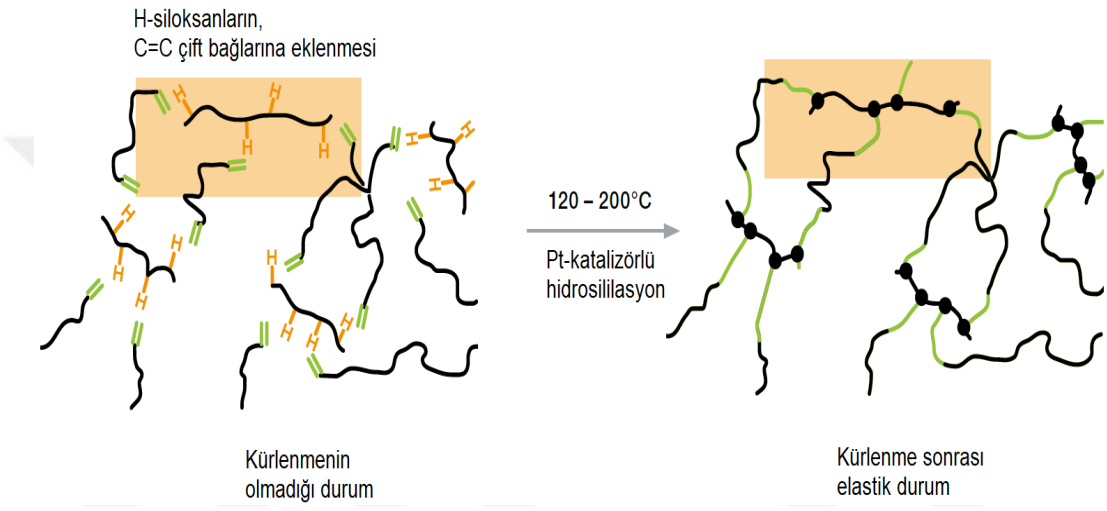
Bir alkilenik bağlantı oluşturmak için bir silikon hidrit grubu ile bir olefin arasındaki reaksiyon olan hidrosililasyon, silikon ağların oluşumu için son derece önemlidir. Çapraz bağlanma ve ağ oluşumu, çok işlevli silikon hidrit gruplarının çok işlevli silikon olefinik gruplarla reaksiyona girmesiyle oluşur. Tipik olarak silikona bağlı vinil grupları kullanılır; bununla birlikte, çok işlevli silikon hidrit polimerlerinin heksenil-sonlu siloksanlarla reaksiyonu sonucu ağ oluşur. Bu tip kürlenme ile Pt kalıntısı dışında hiçbir yan ürün oluşmaz (Butts & Cella 2007).

Hidrosililasyon, genellikle periyodik tabloda Grup 8-10 (VIII) bulunan elementlerin metal kompleksleri veya destekli metal katalizörleri tarafından katalize edilir. Platin kompleksleri en yaygın kullanılanlardır, ancak rodyum (I) komplekslerinin kullanılabildiği bilinmektedir. Tipik endüstriyel katalizörler, platin-diviniltetrametildisiloksan kompleksi (Karstedt katalizörü) gibi çözünür platin

türlerini içerir. Bu katalizörler yüksek reaksiyon ve dönüşüm hızları sergiler ve 1-2 ppm kadar düşük konsantrasyonlarda bile işlevseldir (Butts & Cella 2007).

Platinle katalize edilen ilave kürlenme sırasında, çapraz bağlayıcının Si-H grupları, üç boyutlu bir ağ oluşturmak için polimerlerin vinil grupları ile reaksiyona girer (Wacker Chemie AG, 2019).

Şekil 2.10' da Pt katalizör sistemiyle vulkanizasyon ve çapraza bağlanma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Pt katalizör ile vulkanizasyon (Wacker Chemie AG, 2019)

Ortam havasındaki küçük miktarlarda bile istenmeyen maddeler ve özellikle organik kauçuk sınıflarının işlenmesi sırasında karşılaşılan türden amin ve kükürt içeren bileşikleri platin katalizörünün yapısının bozulmasına ve reaksiyonunu kötü yönde etkilenmesine sebep olabilir. Bu nedenle platin katalizörlü sistemler, organik kauçuk sınıflarından çok uzakta ayrı bir bölgede depolanmalı ve işlenmelidir. Çapraz kontaminasyonu önlemek için kompoundu işleyen mil ve mikserlerin temizliğinin sürekli olması da önemlidir. Platin katalizör sistemi, peroksit kürlenme ile karşılaştırıldığında iki yönteminde birbirine göre bazı artı ve eksileri bulunmaktadır. (Wacker Chemie AG, 2019).

Bazı özel parçaların platin katalizör sistemi üretilmesi gerekmektedir. Kürlenme sonrası kararlılıkları, gıdaya temasa uygunluk ve biyouyumluluk açısından çok daha fazla avantaj sağlamaları nedeniyle platin katalizör ile kürlenme parçanın kullanım alanına göre tercih edilebilmektedir.

HCR-HTV silikon elastomerlerde kullanılan bu iki tip kürlenme mekanizmasının bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Üretilecek parçanın kullanım yeri ve çalışma şartları, maliyet parametreleri, kompoundun kullanılacağı proses ve üretim yöntemleri vb. kıstaslara göre iki tip yönteminde avantajları değerlendirilerek üretimde seçimi yapılabilmektedir.

Peroksit kürlenme, zaman içinde test edilmiş ve teknik olarak olgunlaşmış bir süreçtir. Peroksit içeren kompoundlar, katalizörü etkileyen maddelere karşı daha düşük hassasiyet ile karakterize edilir ve özellikle uzun bir raf ömrüne sahiptir. Pt katalizörlü sistem ise peroksit sisteme göre reaksiyon sonrası koku veya tat bozucu yan ürünler üretmez. Bu durum Pt katalizörlü sistemler için gıdayla temas eden uygulamalar için büyük bir avantajdır. Pt katalizörlü sistemde vulkanizasyon hızlıdır ve kürlenme hızı sıcaklık ile kontrol edilebilir. Kalıpta kürlenmiş silikon kauçuk parçalar, kalıptan daha kolay çıkarılır ve kuru bir yüzeye sahiptir, böylece çevrim süreleri azaltılır, üretim hacmi artar, kolaylaşır ve üreticiler için parçaları etkileyen birim maliyetler açısından verimlilik sağlanabilir (Wacker Chemie AG, 2019).

Silikon elastomer işleyen firmaların, HTV-HCR katı silikonlarda genellikle tercih ettiği kürlenme sistemi peroksit sistemdir. Peroksit katalizörler işletmeciler açısından daha ulaşılabilir ve bulunabilir katalizörlerdir. Ayrıca uzmanlık gerektirmeden karışımlarda basit bir şekilde uygulanabilir. Peroksit katalizörlerin kullanıldığı kompoundlar, platin katalizörlerin kullanıldığı kompoundlara kıyasla işlendiği proseste daha az hassasiyet ile çok daha rahat kullanılabilmektedir. Bugüne kadar firmalar, maliyetler dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle peroksit sistemleri tercih etmektedir. Peroksitle kürlenmiş HTV'lerin dezavantajları:

- Post-cure işlemi sonrası sararma
- Üründe koku oluşumu
- Silikon kauçuk da peroksit artıkları oluşumu
- Ekstrüde edilen HTV de süreklilik sorunları
- Sürtünme katsayısı çok yüksek olan yüzey (yüzey yapışkanlığı)
- Tat ve koku sorunları
- Prosesler sırasında ortama verilen peroksit yapılı yan ürünler
- Kalıplama prosesinde platin sisteme göre daha uzun çevrim süreleri

olarak sıralanabilir (Jerschow, 2001).

HTV-HCR katı silikon kauçuğun geleceği Pt katalizörlü kürlenme teknolojisidir. Maliyet anlamında peroksit katalizör sistemlerine göre daha pahalı olsa da platin sistemlerin avantajları oldukça fazla ve verimlidir. Günümüzde çoğu medikal uygulama alanı, Pt katalizör kürlenme teknolojisine geçmiştir. Pt katalizör sistemin avantajları:

- Vulkanizasyon ve post-cure işlemi sonrası bile sararma yapmaması
- Kokusuz ve temiz üretim sağlaması
- Üretim sonrası kuru bir yüzey oluşması
- Kalıptan parça çıkarmanın daha kolay olması ve hava inhibisyonu olmaması
- Yüksek şeffaflık sağlaması
- Proseste kürlenme kararlığının daha iyi olması
- Gıdaya temas ve biyouyumluluk açısından daha elverişli olması
- Yüksek yırtılma ve çekme mukavemeti sağlaması
- Post-cure işlemine gerek kalmaması
- Ürünlerde peroksit yan ürünleri kalmaması
- Kalıplama prosesinde daha iyi çevrim süreleri

olarak sıralanabilir (Jerschow, 2001).

Pt katalizör sistemin yukarıdaki avantajlarının yanında dezavantajlı olduğu durumlarda mevcuttur. Peroksitlerden daha maliyetlidirler. Pt katalizörlü kompoundlar için üretim öncesi raf ömrü peroksitler kadar uzun değildir. Peroksit karışımlar sıcaklık ve basınç ile reaksiyona zorlanmadığı sürece Pt sistem karışımlara göre daha uzun rafta bekleyebilir. Ancak Pt sistem karışımların, kompoundun içeriğinde katalizörün karışım oranına bağlı olarak 6 ile 24 saat aralığında üretim öncesi raf ömrü bulunmaktadır. Bu sürelerin üzerinde karışım beklediğinde kürlenme reaksiyonu kompound içeriğinde başlayarak malzemenin herhangi bir üretim yönteminde kullanımına engel olacaktır.

Pt katalizör kürlenme teknolojisinin avantajlarından biri olan, peroksitin parçalanmış yan ürünlerinin, bitmiş üründe artık halinde olmamasıdır. Bu nedenle birçok uygulama ve üretim için sonradan post-cure prosesi gerekli değildir. Bununla birlikte, bir firma ürettiği parçalarda FDA, BgVV'ye uygunluk sağlamak veya tıbbi cihazlarda kullanılacak iyileştirilmiş ürünler üretmek istiyorsa, Pt katalizör sistemi ile kürlenmeyi sağlamak zorundadır (Jerschow, 2001).

Tablo 2.7'de Wacker firmasının ürettiği ve ticarı kodları bulunan HTV-HCR silikonların peroksit ve Pt sistem ile kürlendiğinde meydana gelen mekanik özelliklerdeki değişimler bulunmaktadır. Tabloda aynı seri katı silikonlar farklı tip katalizör ile kürlendiğinde mekanik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Buradan katalizör tipinin kompoundun mekanik değerlerine etkisine ulaşılabilir.

Tablo 2.7. Pt ve peroksit sistem HTV silikon karşılaştırılması (Jerschow, 2001)

Ticari İsim	ELASTOSIL® R plus 4001/60	ELASTOSIL® R plus 4020/60	ELASTOSIL® R 401/60
Tip	Pt katalizör, standart	Pt katalizör, yüksek yırtılma dayanımlı	Peroksit katalizör, standart
Sertlik (Shore A)	60	60	60
Çekme mukavameti (N/mm²)	10	10	11
Kopmada uzama (%)	800	850	600
Yırtılma dayanımı (N/mm)	32	43	24
Geri dönme esnekliği (%)	53	53	55
Kalıcı deformasyon (%)	19	30	15

2.4.2. LSR – LR sıvı silikon kauçuklar

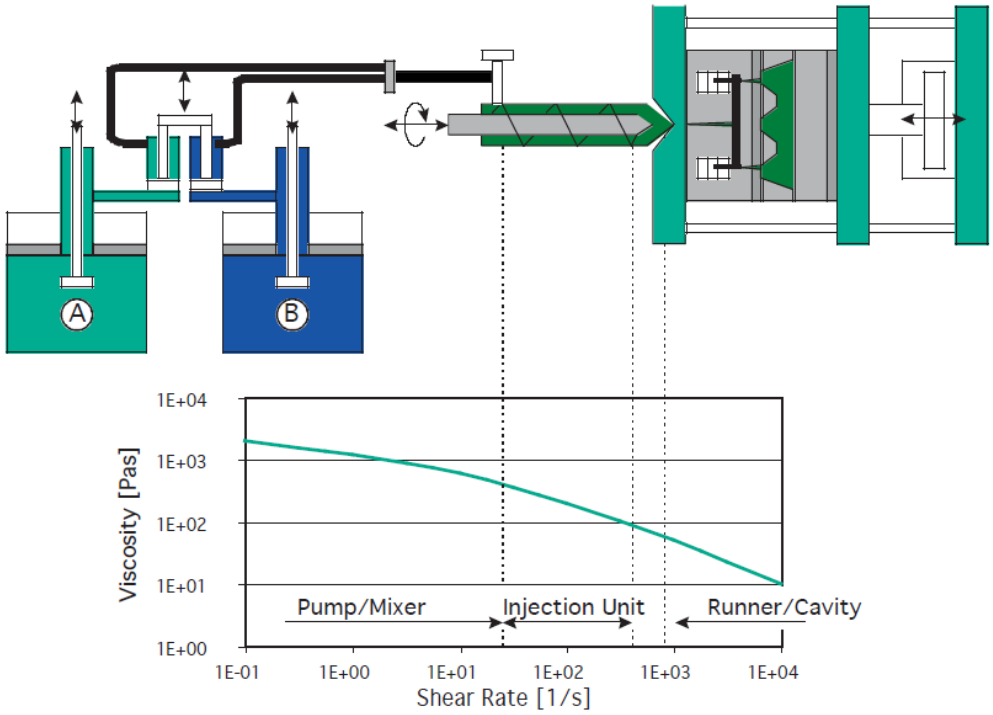
LSR – LR sıvı silikon kauçuk, daha düşük moleküler ağırlıklı polimerler ve dolayısıyla daha kısa zincirler içerir. Aynı zamanda daha iyi akış özelliklerine sahiptir. Sıvı silikon kauçuklar her zaman Pt katalizör ile kürlenir (Wacker Chemie AG, 2019).

Sıvı silikon kauçuklar yüksek sıcaklıklarda kürlenirler ve ana kullanımları enjeksiyon kalıplama ile üretilen silikon parçalar ve tekstil kaplamalardır. Sıvı silikon kauçukların uygulama alanı çok geniştir. Enjeksiyon kalıplamada, yüksek adetli parçaların seri üretimleri ve parça başına maliyetin düşük olması gereken yerlerde kullanılırlar. Kısa kürlenme süresi, firesiz üretim imkanı, kısa çevrim süreleri, proses esnekliği ve üretim teknolojileri sayesinde RTV ve HTV silikonlara göre öne çıkarlar (Jerschow, 2001).

Günümüzde çoğu silikon kauçuk işleyen işletme artık LSR teknolojisine geçmektedir. LSR silikonlar, zamanla HTV-HCR katı silikonların yerini almaktadır. Termoplastik benzeri hızlı proses süreleri ve otomasyona uygulamalarına elverişli olmaları nedeniyle LSR silikonlar maliyetine rağmen sağladığı avantajlar ile tercih edilir.

Çift komponentli malzeme sistemi LSR sayesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu komponentlerden biri Pt katalizör içeren A komponent ve çapraz bağlanma bileşenini içeren B komponentden oluşur. Pt katalizör, oda sıcaklığında çapraz bağlanmaya neden olacağı için proses öncesi bu iki bileşenin ayrı muhafaza edilmesi gerekmektedir. Ayrıca A komponent, belirli bir sıcaklığın altında çapraz bağlanma etkisini yavaşlatan bir inhibitör içerir. Bu sıcaklığın üzerinde, çapraz bağlanma serbest ve hızlı bir şekilde gerçekleşir ve bu da LSR silikonların, HTV silikonlara göre daha düşük çevrim sürelerinde işlenmesini sağlamaktadır. Çift komponentli sistemde, üreticiler LSR silikonun komponentlerini, 200kg variller veya 20kg kovalar halinde üretirler ve tipik olarak pnömatik bir pompalama mekanizması ile enjeksiyon prese malzemenin iletimi sağlanır. Pompalama ünitesindeki bir dizi çek valf, pompalama yönünden bağımsız olarak pozitif malzeme yer değiştirmelerine izin verir. Enjeksiyon presin vida kovan grubuna hem A hem de B komponentin doğru şekilde iletilmesini sağlamak için dişli pompa gibi bir ölçüm cihazı kullanılır. Çift komponentli LSR sisteminde en yaygın karıştırma oranı 1:1'dir; bununla birlikte, daha küçük oranlı B bileşeninde bulunan katalizörle 10:1'de kullanılır (LeFan, 2011).

Şekil 2.11'de A ve B çift komponentli LSR sisteminin enjeksiyon kalıplamada kullanımı şematik olarak gösterilmiştir.

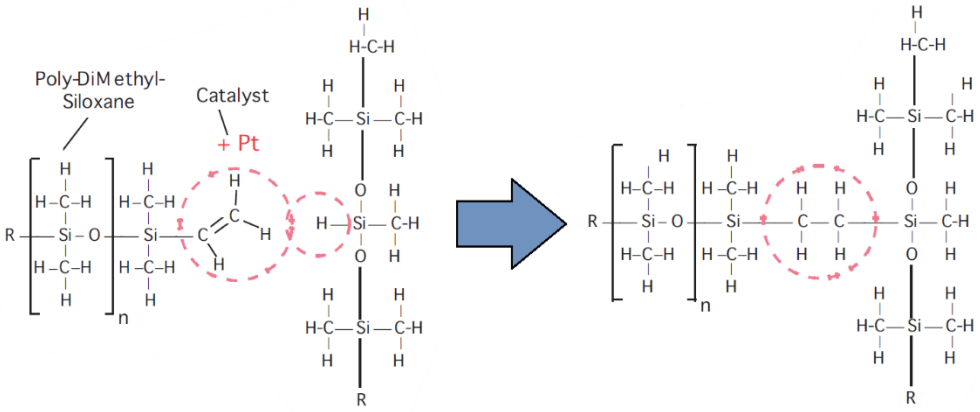


Şekil 2.11. LSR enjeksiyon kalıplama gösterimi (Dow Corning, 2008)

2.4.2.1. LSR – LR silikonlarda vulkanizasyon ve çapraz bağ yapısı

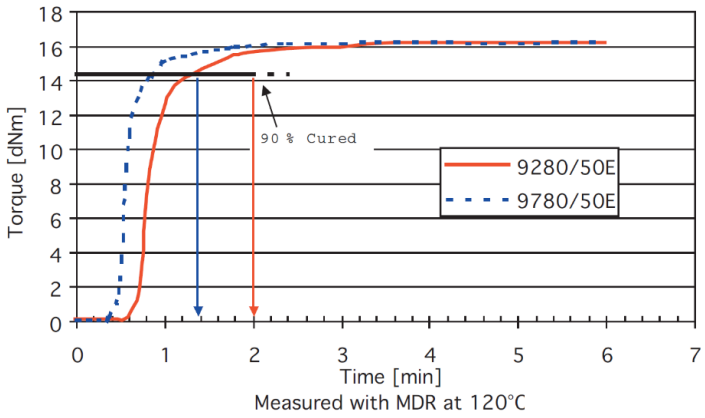
Vinil ve hidrojen fonksiyonel polisiloksanlar, bir platin katalizör kullanılarak kürlenir. Bu reaksiyon oda sıcaklığında gerçekleşebilir ancak daha yüksek sıcaklıklarda çok daha hızlıdır (Dow Corning, 2008).

Şekil 2.12 de Pt katalizör ile kürlenme davranışı ve oluşan çapraz bağlanma gösterilmiştir.



Şekil 2.12. LSR Pt katalizör ile kürlenme (Dow Corning, 2008)

LSR silikon kauçuğun kürlenmesi, reometrede ölçüldüğünde, tork, test süresinin bir fonksiyonu olarak gösterilir. Şekil 2.13'te grafik, kürlenme davranışının aşamalarını göstermektedir. Başlangıçta, numune tam olarak kürlenmediği için test ekipmanının uyguladığı deformasyona çok az direnç gösterir. Test cihazının hazne ısısının sıvı silikon kauçuğa transferi ile vulkanizasyon başlar ve bununla birlikte uygulanan deformasyonun çıktısı olarak tork değeri yükselmeye başlar. Tork sabitlenmeye başladığında, kürlenme yüksek oranda tamamlanmıştır (Dow Corning, 2008).



Şekil 2.13. Dow Corning LSR reometre eğrileri (Dow Corning, 2008)

LSR silikonun proses ve ürün tarafında bazı avantajları bulunmaktadır. Üretilecek parça; üretim adetleri, parça geometrisi, parçanın kullanım alanı, ve LSR malzeme ile çalışmaya uygun ise proses ve ürün için optimum verim sağlanabilir. LSR malzemenin getirdiği avantajların yanında, malzeme birim maliyetlerinin HTV silikona göre fazla olması, katalizörü karıştırıldığında belirli sürede kullanım gerektirmesi, üretim kalıbı maliyetleri gibi açılardan dezavantajları olabilmektedir.

LSR silikonun HTV-HCR silikona göre bazı temel avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Daha Kısa Çevrim Zamanı – LSR için genel çevrim süreleri enjeksiyon kalıplama üretim için 30-60 saniye civarındadır ve HTV-HCR silikonda enjeksiyon, kompresyon, transfer kalıplama için çevrim süreleri genellikle birkaç dakika ve üzerimdedir.
- Kompleks Geometriler – LSR silikonun HTV-HCR silikona göre enjeksiyondaki daha düşük viskozitesi, daha ince ve kompleks geometrileri kalıp gözünde doldurmaya olanak sağlar. HTV-HCR silikonlarda, bu tür geometrilerde akış ve gaz sıkışması sorunlarıyla karşılaşabilir.
- Otomasyon – HTV-HCR silikonlarda, kalıplama ile üretimde işçilik fazladır. Transfer ve kompresyon kalıplamada, katı silikonun kalıp gözüne göre önceden şekillendirilmesi gerekir ve çevrim sonrası parça manuel olarak kalıptan çıkarılır. LSR silikon, hem dozajlama hem de parça kalıptan çıkarma işlemleri açısından otomasyonuna olanak sağlar
- Gelişmiş Güvenlik – Uygun otomasyona sahip LSR makinelerinde çalışan operatörler nadiren kalıplama alanına girerler ve parçalar makineden genelde robot veya konveyör yoluyla taşınabilir. Bu durumda operatörlerin makineye elini sıkıştırması, sıcak kalıp nedeniyle yanma vb. diğer güvenlik sorunlarını önlemeyi sağlar.
- Malzeme Hazırlama – HTV-HCR silikonların üretimde kullanılabilmesi için önce mil veya mikserde kompoundun içerdiği bileşenler ile hazırlanması gerekir. Bu süreç işçilik gerektirir ve ortamda bulunan diğer malzemelerden kompounda kontaminasyon riski bulunur. Ayrıca kompound içeriğinin uygun oranlarla hazırlanamaması gibi sorunlar olabilir. LSR hazırlık gerektirmez üreticiden geldiği gibi üretimde kullanıma hazırdır (LeFan, 2011).

2.4.3. RTV silikon kauçuklar

Pek çok RTV silikon kauçuk sistemi, silikon dolgu macunu veya yapıştırıcı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. RTV silikonların kullanım alanları diğer silikon elastomerleri kalan tipik değildir. Daha çok yapısal alanlarda, cephe ve inşaat sektöründe dolgu macunları olarak kullanılmalarıdır. Ayrıca silikon elastomer teknolojisinde RTV silikonlar, silikon profilleri ve kalıplanmış parçaları birleştirmek için kullanılır. Bu tür yapıştırıcıların uygulamaları, binalardan sağlık hizmetlerine, otomotivden havacılığa kadar uzanmaktadır. Çeşitli elastomerik işlevlere sahip olan RTV silikonlar, statik veya dinamik parçalar olarak görev alırlar, örneğin contalarda, prototiplerde ve esnek silikon kalıplarında yardımcı olarak kullanılan malzemelerdir. Ayrıca RTV silikonlar, orta ve yüksek voltaj için elektrik izolatörleri gibi kalıplanmış parçalar üretmek için de kullanılır (Jerschow, 2001).

RTV silikonlar atmosferik neme maruz kaldıklarında hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarına girer ve yüksek mukavemetli elastomer formuna dönüşmek üzere kürlenirler. Sızdırmazlık malzemeleri ve yapıştırıcılar, RTV silikonlarının başlıca kullanım alanlarıdır. Bu ürünlerin kürlenme hızı, sıcaklık ve neme bağlıdır. Kürlenmemiş durumda, nemin olmadığı durumlarda, tek komponentli RTV silikonların raf ömrü 6 aydan birkaç yıla kadardır. RTV silikonlar kürlenme sırasında cam, metal, ahşap, duvar ve plastik gibi çeşitli yüzeylere astarsız olarak çok iyi bir şekilde yapışma kabiliyetine sahiptir. Ek avantajlar arasında hava koşullarına dayanıklılık, elektrik yalıtımı, kimyasal direnç, yüksek sıcaklıklarda stabilite ve düşük sıcaklıklarda esneklik bulunur (Butts & Cella 2007).

Tablo 2.8. Tipik RTV silikon özellikleri (Butts & Cella, 2007)

Özellik	Değer
Yoğunluk (g/cm³)	1,07
Sertlik (Shore A)	30 - 35
Çekme mukavameti (MPa)	2,55 - 3,24
Uzama (%)	375 - 450
Sürekli çalışma sıcaklık aralığı (°C)	200 - 260
Kısa süreli maksimum çalışma sıcaklık aralığı (°C)	260 - 315
Dielektrik mukavemeti (kV/mm)	19,7

2.5. Silikon Elastomerlerin İşlendiği Üretim Yöntemleri

Silikon elastomerler doğası gereği sağladıkları çeşitli avantajlar sayesinde farklı üretim yöntemleri ile proses edilebilmektedirler. Bu üretim yöntemlerinden temel olanlar, metal ve termoplastiklerden aşina olunan ekstrüzyon ve kalıplama yöntemleridir. Silikon kauçuklarda ekstrüzyon ve kalıplama yöntemleri, prensip olarak metal ve termoplastiklere benzer olsa da proses olarak bazı detaylar açısından farklıdır. Üretim öncesi; HCR-HTV silikonlarda kompound üretimi ve hazırlığı gerekirken, LSR ve RTV silikonlar direkt kullanıma hazır olarak ana üreticiden tedarik edilebilmektedir ve üretimde kullanılabilmektedir.

Özellikle son yıllarda, üreticiler silikon elastomerlerin nasıl işleneceği konusunda giderek daha fazla fikir geliştirdiler ve bu da yakın gelecekte birçok yeni işleme teknolojisinin olacağını tahmin etmemizi sağlıyor. Kalenderleme, kaplama, dökme, farklı yapıştırma uygulamaları gibi çeşitli üretim yöntemleri geliştirilmektedir. Silikon elastomerlerin üretimde kullanılmadan önce dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da saklama koşullarıdır. Tüm silikon elastomerler orta sıcaklıklarda, yani 15 ila 30 ° C arasında saklanmalıdır. Silikon elastomer stoğunun kapalı alanların dışında tutulması tavsiye edilmez. Bu durum sıcak dönemlerde raf ömrünün kısalmasına neden olur. Çok soğuk bir depolamada tavsiye edilmez, ortamdaki havada bulunan su buharının yoğunlaşması dolayısıyla reaktif olarak istenmeyen etkilere yol açar (Jerschow, 2001).

Silikon kauçuk ile üretilecek bir parçanın üretimi öncesi, aşağıdaki bazı temel konuların gözden geçirilmesi doğru malzeme ve proses – üretim yönteminin seçimi açısından önem arz etmektedir.

- Parça ve kullanılacağı alan için spesifik özelliklerin belirlenmiş olması
- Silikon malzemede ilgili isterler doğrultusunda olması gereken kimyasal ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi
- Üretilecek parçanın, geometrik şartları, üretim adetleri, fiziksel özellikleri, üretilebilirlik kontrollerinin yapılması
- Parça için belirlenecek üretim yönteminin efektif fizibilite çalışmalarının yapılması
- Ekipman, yatırım gerekiyorsa maliyet kontrolü yapılması ve daha önceki üretim tecrübelerinin gözden geçirilmesi

2.5.1. Kompound hazırlama prosesi

HTV-HCR katı silikonlarda üretimde kullanılacak kompoundun; belirli bir formülasyonun mekanik ve kimyasal özelliklerini sağlayacak şekilde, belirli bileşen oranlarında ve belirli bir sıraya göre uygun sürelerde mil veya mikserlerde karışım halinde hazırlanması gerekmektedir. Şekil 2.14 milde karışım hazırlanışını göstermektedir. Daha sonra hazırlanan kompound kullanılacağı üretim yöntemine göre fiziksel ön şekillendirme yapılarak parça geometrisine göre ekstrüzyon veya kalıplama ile vulkanize edilir.

Kompound oluşturma, yüksek adetli silikon ürünleri verimli şekilde üretmek için bir yol sağlar. Kompound oluşturma işlemi, yaklaşım olarak üç kategoriye ayrılabilir: genişletme, karıştırma ve modifiye etme. Genişletme; maliyeti düşürmek, sertliği artırmak veya sıvılara karşı direncini artırmak için silikon kompounda diyatomlu veya inceltilmiş kuartz gibi takviye dolgu maddelerinin eklenmesi işlemidir. Spesifik takviye dolgu malzemeleri özel uygulamalar için seçilir. Nemli, ıslak koşullar altında elektriksel dayanım özelliklerini korumak için pirojenik silikalar, düşük sünme-sertleşme eğilimi için ıslak proses silikaları, elektriksel iletkenlik için karbon siyahı silikaları tercih edilmektedir. Bir formülasyonun belirli özelliklerinin iyileştirilmesi, karıştırma ve / veya modifiye etme yoluyla gerçekleştirilir. İki veya daha fazla baz silikon, çiğ mukavemet veya daha düşük kalıcı deformasyon elde etmek için yeni bir kompound elde etmek üzere karıştırılabilir. Modifiye etme, katkı malzemesinin belirli küçük oranlarda silikon kompounda dahil ederek bir formülasyonun bir yönünü iyileştirme işlemidir. Kullanılan katkı malzemesinin tipine bağlı olarak, alev geciktirme, yüksek sıcaklık kararlılığı, dahili kalıp ayırma veya iyileştirilmiş raf ömrü gibi belirli özellikler geliştirebilir (Patterson, 1998).



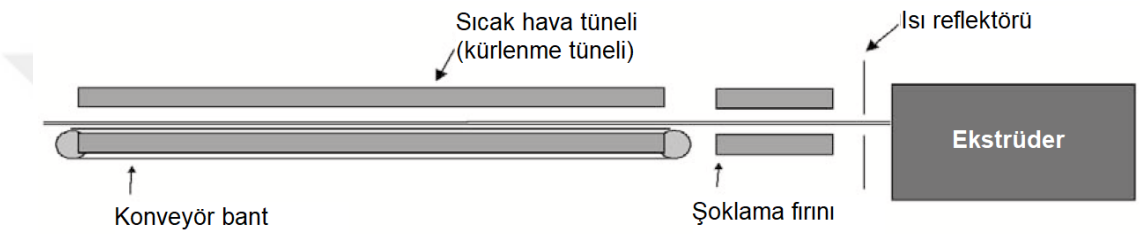
Şekil 2.14. Milde kompound hazırlanışı

2.5.2. Ekstrüzyon yöntemi

Çoğu malzeme için oldukça sık kullanılan üretim yöntemlerinden birisi olan ekstrüzyon silikon elastomerlerin şekillendirilmesinde de kullanılır. Silikon elastomerlerde kullanılan ekstrüzyon yöntemi temel prensipler açısından daha yaygın olarak bilinen termoplastik, termoset, metal gibi malzemelerde de kullanılan ekstrüzyon yöntemine benzemektedir. Ancak bazı detaylar ile diğer malzemelerde kullanılan ekstrüzyon yönteminden ayrışmaktadır. Silikon kalıcı olarak şekil almadan önce, yani vulkanizasyon öncesi, ekstrüder içerisinde vida – kovan grubu veya hidrolik bir piston yardımıyla basınçla şeklini alacağı bir kalıba doğru beslenir. Malzemenin ekstrüder içerisinde hareketi sırasında sürtünmelerden kaynaklı oluşan ısı nedeniyle istenmeyen vulkanizasyon gerçekleşebilir. Bu sebeple ekstrüder içerisindeki malzeme kalıp çıkış anına kadar soğuk kalmalıdır. Silikon ekstrüzyonda ekstrüderler, vulkanizasyonun gerçekleşmeyeceği 15°C ile 20°C gibi sıcaklık aralıklarına kadar soğutulmalıdır. Malzemenin şeklini alacağı kesit geometrisi ekstrüzyon kalıbında talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmiştir. Malzeme burada kesit geometrisinin şeklini aldıktan sonra çiğ mukavemetini koruyacağı bir şoklama fırınına girer, şoklama fırını genelde infrared ısıtıcı tüplerin bulunduğu ve 800°C sıcaklıklara kadar çıkabilen ekipmanlardır. Malzeme şoklama fırını sonrasında kalıcı vulkanizasyonun gerçekleşeceği sıcak hava tüneline doğru bir konveyör bant üzerinde profil formunda ilerlemeye devam eder. Sıcak hava tüneli sıcaklıkları, kesit geometrisi, malzeme formülasyonu, proses şartları, ekstrüzyon hattı uzunluğu gibi parametrelere bağlı olarak 200°C ile 500°C aralıklarında olabilmektedir. Kompound içeriğinde bulunan katalizörlerin sıcak hava tünelinde çapraz bağlanmayı başlatması ile silikon kauçuk kalıcı formunu almak üzere kimyasal reaksiyon gerçekleştirir. Sıcak hava tüneli sonrasında ortam sıcaklığına kadar soğuyan silikon elastomer malzeme çapraz bağlanmayı tamamlamış olarak silikon profil ürünlere dönüşmüş olur. Ekstrüzyon yöntemi ile malzeme beslemesi ve ekstrüzyon hattının stabil çalışmasına bağlı olarak sürekli üretim aynı geometriyi sağlayacak şekilde kesintisiz olarak yapılabilmektedir. Elastik profillerin kullanıldığı alanlar için bu yöntemle çeşitli içi dolu veya boşluklu yapıda kesitlerin silikon kompoundlar ile üretimi mümkündür. Ancak metal veya plastik gibi daha rijit davranış gösteren malzemelere göre silikon kauçukları ekstrüde etmek daha zordur ve ekstrüzyon gibi dinamik bir üretim yönteminde elastomerleri işlemek daha maliyetli ekipmanlar gerektirmektedir.

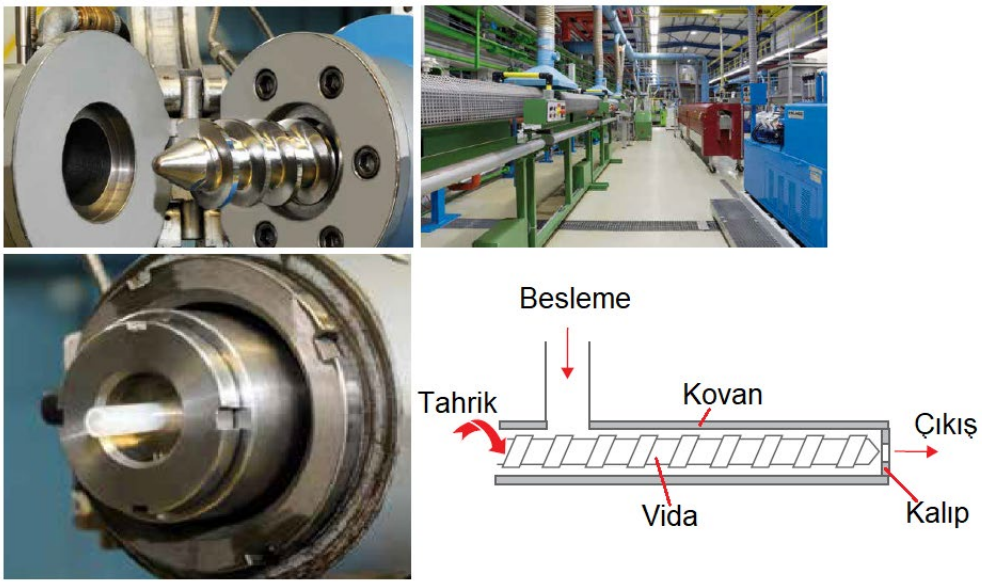
Genel olarak katı silikon kauçuğun ana işleme teknikleri oranları %60 ekstrüzyon ve %40 kalıplamadır. Kalenderleme ve tekstil kaplama yöntemleri daha az kullanılır. Ekstrüzyon ile üretilen tipik ürünler; hortumlar, profiller, kablolar, düz yassı bantlar, koekstrüzyon profiller olarak söylenebilir. Uygulama yapılacak yere göre ekstrüzyon yöntemiyle üretilen bazı profiller aynı geometride kalıplama yöntemiyle de üretilebilir ancak ekstrüzyon yönteminin maliyetleri kalıplamaya göre oldukça düşüktür. Ekstrüzyon süreklilik sağlar ve birim zamanda daha az işçilik, daha az malzeme fireleri üretim imkânı sağlar.

Şekil 2.15 şematik olarak bir silikon ekstrüzyon hattını göstermektedir.



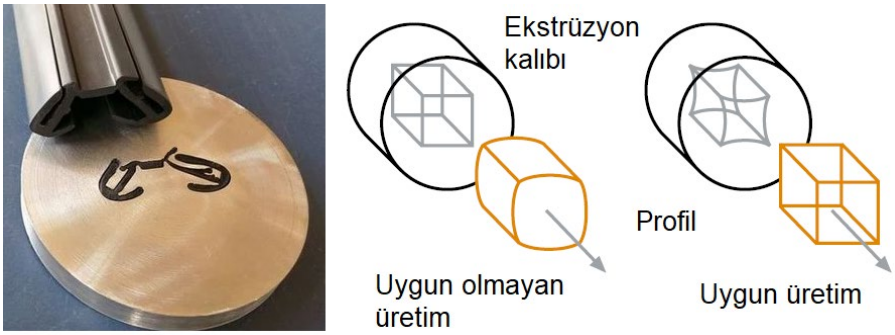
Şekil 2.15. Şematik ekstrüzyon hattı (Jerschow, 2001)

Şekil 2.16 bir ekstrüderin vida-kovan grubunu ve bir ekstrüzyon üretim hattını göstermektedir.



Şekil 2.16. Ekstrüder vida-kovan grubu (Wacker Chemie AG, 2019)

Şekil 2.17'de ise örnek bir ekstrüzyon kalıbı ve ekstrüzyon esnasında malzemenin şişme davranışına önlem olarak tavsiye edilen bir tasarım kriteri gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Ekstrüzyon kalıbı (Wacker Chemie AG, 2019)

2.5.3. Kalıplama yöntemi

Üretim sektörlerinde termoplastik, metal-sac metal, termoset gibi malzemeler için bazı farklılıklar ile oldukça geniş bir alanda kullanılan kalıplama yöntemi, silikon elastomer malzemelerde de oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Silikon elastomer malzemelerde kullanılan kalıplama yöntemi hacim kalıplamadır. Temelde malzemeyi kalıp gözlerine besleme yöntemi ve kullanılan presin kabiliyetlerine göre kompresyon kalıplama, transfer kalıplama, enjeksiyon kalıplama şeklinde sınıflandırılabilir. Silikon elastomerlerde kalıpların kullanıldığı presler sıcak preslerdir. Üretilecek parçanın geometrisi, üretim adetleri, parçadan beklenen yüzey kalitesi ve görsel kriterler, proses şartları, teknik spesifikasyonlar, üretim – yatırım maliyetleri ve benzeri parametrelere göre kullanılacak kalıplama yöntemine karar verilebilmektedir. Üç tip kalıplama yönteminin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. HTV – HCR katı silikonlar üç tip yönteme de uygun iken, LSR sıvı silikonlar sadece enjeksiyon yöntemi ile üretim şartlarında kalıplanabilmektedir. Üç tip kalıplama yöntemi içinde verimli bir üretim gerçekleştirmek için temelde makine, malzeme, kalıp gibi üç parametrenin iyi tanınması gerekmektedir. Kullanılan presin kabiliyetleri ve sunduğu alternatif kalıp açma-kapama, parça çıkarma fonksiyonları, kullanılacak malzemenin proses şartları ve uygunluğu, kullanılacak kalıbın talaşlı imalat kalitesi, üretime yönelik sağladığı kolaylıklar ve kararlılığı optimum dengede olmalıdır. Silikon kauçuklarda özellikle enjeksiyon kalıplama için enjeksiyon pres yatırımları termoplastik enjeksiyon preslerine göre daha maliyetleridir.

2.5.3.1 Kompresyon kalıplama yöntemi

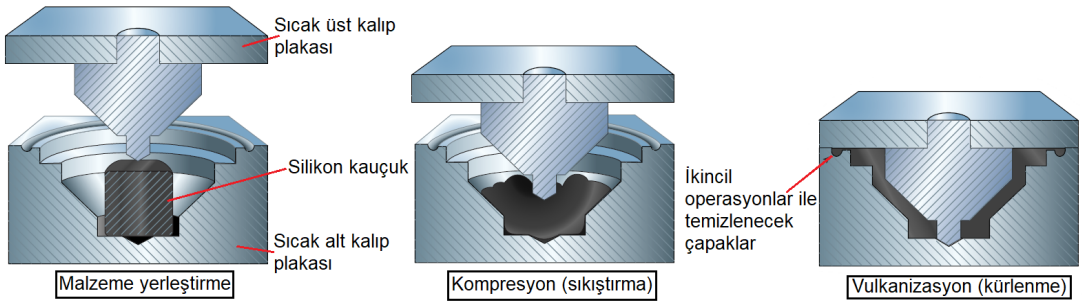
Kompresyon kalıplama, malzemenin kalıp gözünün geometrisini hacimsel olarak dolduracak şekilde sıkıştırma yöntemiyle kalıp göz formunu almaya zorlayarak uygulanan bir üretim yöntemidir. Preslerin sıcak plakaları veya ısıtıcı rezistans ekipmanları ile kalıp ısıtılarak vulkanizasyon şartlarını yerine getirmek üzere sıcak hale getirilir. Kompresyon kalıplamada kullanılacak katı silikon kompound kalıp göz hacmi ve geometrisine göre ön şekillendirme yapılır. Pres plakaları arasında hidrolik olarak basınç ile kapatılan kalıp plakaları içindeki malzemeyi form almaya zorlar. Kalıp gözüne yerleştirilen malzemenin basınç ile akışı sağlanarak kalıp gözünü hacimsel olarak doldurması sağlanır. Sıcaklık ve basınç altında kalan silikon kauçuk proses şartlarına göre belirli bir süre içerisinde vulkanizasyon reaksiyonu gerçekleşir. Vulkanizasyon ile çapraz bağ oluşturmaya başlayan malzeme kalıp gözünün formunu alır. Kürlenme tamamlandıktan sonra kalıp açılarak parça kalıptan aparat veya manuel bir şekilde çıkarılır. Bu yöntemde parçada çapak kaçınılmazdır, üretilen parçanın çapağı daha sonra ikincil işlemler ile temizlenir ve kullanıma hazır hale getirilir.

Kompresyon kalıplamada genellikle 150°C ile 200 ° C aralığında bir kalıp sıcaklığı seçilir. Sıcaklık önemli bir rol oynar. Vulkanizasyon süresini ve dolaylı olarak üretim çevrim sürelerini kısaltmak için mümkün olduğu kadar yüksek olması gerekir. Ancak, sıcaklıklarında aşırı yüksek olması vulkanizasyon sırasında parçada istenmeyen kavrulma ve kırılma hatalarına sebep olabilir. Vulkanizasyon süresi, malzemenin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve parça kalınlığı ile belirlenir (Wacker Chemie AG, 2019).

Katı silikon kauçuklarda kompresyon kalıplama sonrası parçanın kalıptan çıkarılması için kompound içeriğinde kullanılan kalıp ayırıcı bileşenler veya kalıp yüzeylerine uygulanan kalıp ayırıcı malzemeler bulunmaktadır. Kalıp ayırıcı malzemeler uygun oranda kullanılmalıdır, fazla kullanıldıklarında sıcak kalıp yüzeylerinde istenmeyen lekelenme ve tortulara neden olabilir. Ayrıca parça üzerinde de istenmeyen hatalar oluşturabilir (Wacker Chemie AG, 2019).

Kompresyon kalıplama yöntemi en basit ve ilkel yöntem olmasına rağmen bazı parçaların geometrisine en uygun kalıplama yöntemidir. Enjeksiyon kalıplama ile de üretilebilecek basit geometrili bir parçanın eğer üretim adetleri ve kalitesi kompresyon yöntemi ile karşılanabiliyorsa, ekstra pres, ekipman ve kalıp maliyetlerine gerek olmadan kompresyon yöntemi ile uygun bir şekilde üretilebilir.

Şekil 2.18'de kompresyon kalıplama üretim yöntemine ait aşamalar gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Kompresyon kalıplama (Minnesota Rubber and Plastics, 2013)

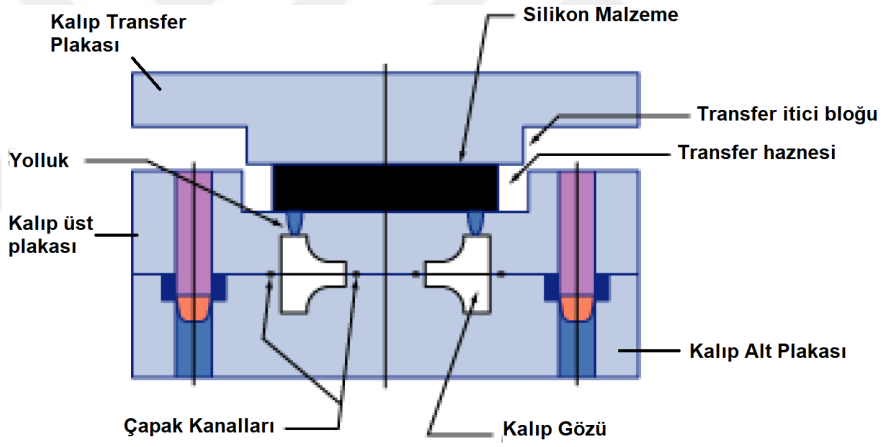
Kompresyon kalıplama ile üretimin bazı avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Diğer kalıplama yöntemlerine göre kalıp ve makine yatırım maliyetleri daha azdır.
- Yıllık üretim miktarı enjeksiyon ile üretimde maliyetli olabilecek parçaların üretiminde daha verimli olabilmektedir.
- Transfer veya enjeksiyon kalıplama ile üretilemeyecek bazı büyük geometrili parçaların üretimini mümkün kılar.
- Pres üzerinde kalıp değişimi daha hızlı yapılabilmektedir.
- Üretim öncesi mutlaka kalıp göz hacmi, parça ağırlığı ve kalıp göz geometrisine göre kullanılacak malzemeye ön şekillendirme yapılması gerekmektedir.
- Otomasyona çok uygun olmadığı operatör işçiliği fazla olmaktadır.
- Malzeme ön hazırlığı, operatör işçiliği, bazı durumlarda manuel kalıp açma kapama gibi çevrim sürelerini uzatan durumlar söz konusudur.
- Kompresyon kalıplamada kalıp gözünün tamamını uygun bir şekilde doldurabilmek için parça ağırlığından biraz daha fazla malzeme kullanılır. Bu durumda çapak oluşur ve malzeme fireleri ortaya çıkar. Aynı zamanda nihai parçayı elde edebilmek için gereken ikincil temizlik işlemlerini gerektirir.
- Enjeksiyon yöntemine ile kıyaslandığında operatör açısından makine ve kalıp uzmanlığı gerektirmeden üretim yapılabilir. Oldukça basit proses şartları belirlenerek ardışık çevrimler sorunsuz bir şekilde sağlanabilir.

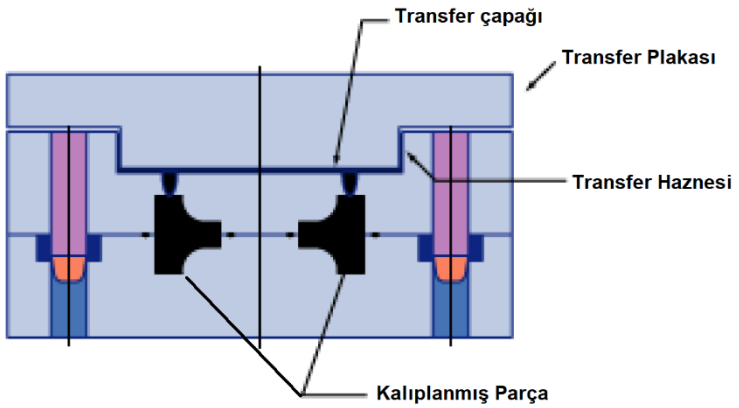
2.5.3.2. Transfer kalıplama yöntemi

Transfer kalıplama yöntemi, kompresyon kalıplama yönteminin biraz daha geliştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Temelde manuel enjeksiyon prensibine yakındır. Kompresyon kalıplama ve enjeksiyon kalıplamanın kombinasyonu ile kullanılan bir üretim yöntemidir. Transfer kalıplamada kullanılan presler kompresyon kalıplamada kullanılanlar ile aynıdır. Transfer kalıplamada malzeme direkt olarak kalıp gözüne yerleştirilmek yerine kalıpta bulunan bir transfer haznesine yerleştirilir. Transfer haznesinde bulunan malzeme kalıp üst plakasında bulunan bir iticinin sıkıştırması ile malzemenin ilerlediği yolluklardan geçerek kalıp gözlerini doldurmak üzere bir akışa zorlanır ve kompresyon kalıplamada olduğu gibi vulkanizasyon süreci başlatılır.

Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de transfer kalıplama aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Transfer kalıplama - açık kalıp (Zorge, 2010)



Şekil 2.20. Transfer kalıplama - kapalı kalıp (Zorge, 2010)

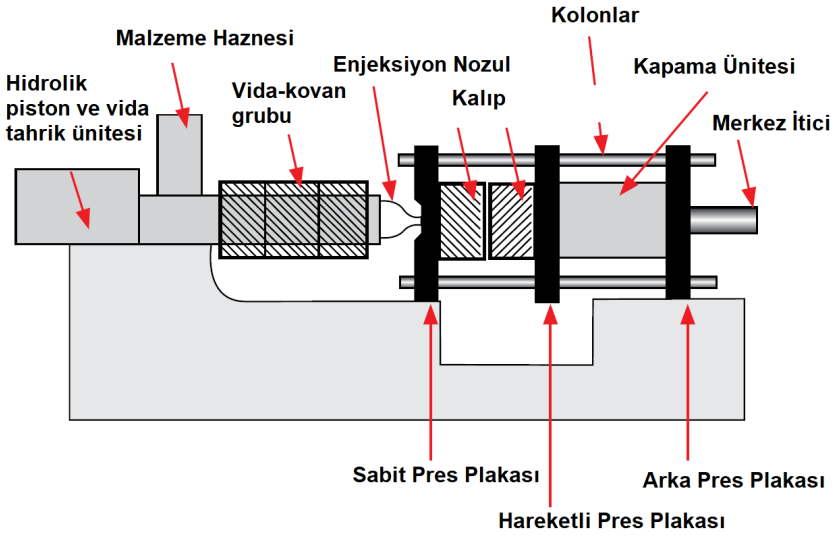
Transfer kalıplama ile üretimin bazı avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Malzemenin kalıpta bulunan yolluklar üzerinden gözlere transferi sayesinde tek hazneden birden fazla göz malzeme ile doldurabilir.
- Kompresyon kalıplamaya göre her kalıp gözüne ayrı malzeme yerleşimi olmayacağı için üretim adetleri fazla olan parçalarda çevrim süreleri açısından daha avantajlı olabilmektedir.
- Malzeme beslemesi daha yapılacağı için hassasiyet istenen parçaların üretiminde kompresyon kalıplamaya göre daha uygun bir yöntem olarak tercih edilir.
- Kompresyon kalıplamada manuel besleme ile doldurulamayan ve ulaşılamayan bölgeler transfer kalıplama ile daha rahat bir şekilde beslenebilir.
- Kompresyon kalıplamada parçanın gramajı ve geometrisine göre üretim öncesi yapılan ön şekillendirme işçiliği transfer kalıplamada daha azdır. Transfer haznesi ve toplam göz adeti oranında gramaj ayarlaması ile işçilik kayıpları daha azdır.
- Başka bir malzeme üzerine silikon malzeme kalıpta kaplama şeklinde basılacak işe transfer kalıplama yöntemi yarı enjeksiyon prensibi ile bu tarz üretimlere uygundur.
- Kalıp maliyetleri kompresyon ve enjeksiyon kalıpları arasındadır. Kompresyon kalıpların kullanıldığı preslerde transfer kalıplar kullanılabilir.
- Proseste çevrim sonrası transfer haznesinde vulkanize olmuş silikondan kalan transfer çapakları kalmaktadır. Bu durum malzeme firelerini artırmaktadır. Çevrim sonrası transfer haznesinin bir sonraki baskıya hazırlık olarak temizlenmesi gerekir ve bu durum çevrim sürelerinin artmasına sebep olmaktadır.
- Kompresyon kalıplamada olduğu parça üzerinden çapak oluşumları meydana gelir. Ancak proses şartları, kalıp ve malzeme dengelenir ise kompresyon kalıplamaya göre daha az çapak oluşum sağlanabilir. Bu durum dolaylı olarak ikincil temizlik operasyonlarına harcanan süreleri de etkilemektedir.
- Malzeme sertliği fazla ve viskozitesi yüksek silikon formülasyonlarının, transfer kalıplarda kullanılması üretilebilirlik açısından uygun olmamaktadır. Malzemenin kalıp gözlerine akış noktasına sorunlar çıkabilmektedir.

2.5.3.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

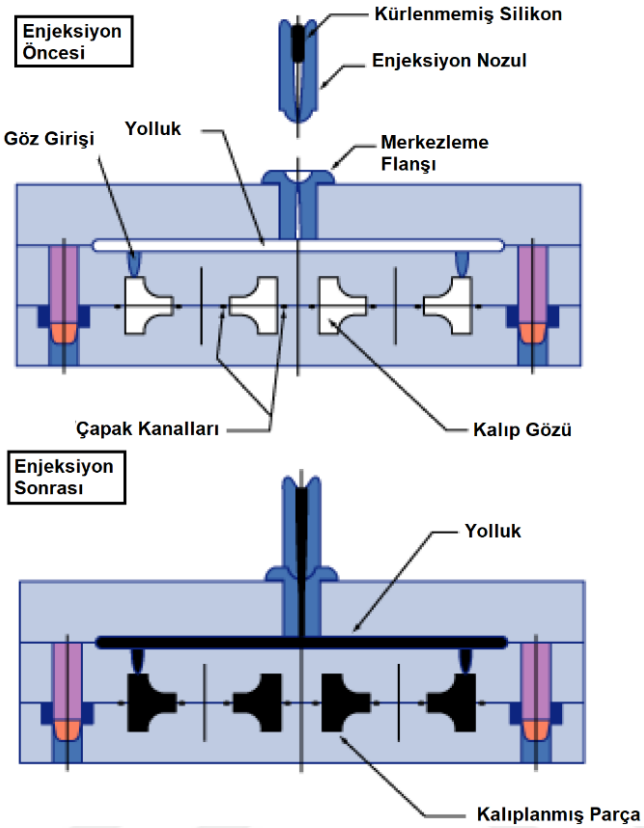
Enjeksiyon kalıplama yöntemi, malzemenin presin malzeme haznesinden hidrolik piston ve vida-kovan grubu yardımıyla prosese göre belirlenmiş miktar, süre, hız, basınç gibi parametreler içerisinde kalıba beslendiği bir üretim şeklidir. Enjeksiyon presten kalıba beslenen malzeme kalıp yolluklarından geçerek şeklini alacağı kalıp gözlerini doldurur ve vulkanizasyon gerçekleşir. Teknolojik gelişmelerle birlikte otomasyona da uygun ideal bir üretim yöntemidir. Temelde prensip olarak enjeksiyonla üretim yönteminin sık olarak kullanıldığı termoplastik, metal enjeksiyonlara benzer ancak diğer kalıplama yöntemlerinde olduğu gibi bazı detaylar ile farklı yanları bulunmaktadır. Malzemede istenmeyen ön kürlenmelerin olmaması için piston, vida-kovan grubu daima soğutulur. Silikon malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan diğer kompresyon ve transfer kalıplamaya göre de daha üstün bir yöntemdir. Otomasyona verimli bir şekilde uygulanırsa operatöre ihtiyaç duyulmaz. Diğer yöntemlere göre stabilitesi ve sürekliliği daha iyidir. Kalıp açma kapama hareketleri pres tarafından otomatik bir şekilde yapılabilir. Kendini tekrar eden verimli çevrimler ile üretim yapabilme imkânı sağlar. Enjeksiyon kalıplama ile proses ve üretim daha detaylı olarak kontrol altında tutulabilir. Silikon enjeksiyon presleri yatay veya dikey yapıda olmaktadır. Üretici tercihine göre her iki tipte de silikon kauçuğun enjeksiyon ile kalıplarda şekillendirilmesi mümkündür.

Şekil 2.21'de bir yatay silikon enjeksiyon presinin temel birimleri gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Yatay enjeksiyon presi temel birimleri

Şekil 2.22'de bir silikon enjeksiyon kalıbının unsurları ve enjeksiyon kalıplama aşamaları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Enjeksiyon kalıplama aşamaları (Zorge, 2010)

Enjeksiyon kalıplama üretimin bazı avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Tamamen otomasyona dayalı bir üretim imkânı sağlar. İşçilik ve çevrim süreleri az olan üretimler gerçekleştirilebilir.
- Her çevrimde daha stabil ve sürekli sonuçlar alınabilmektedir. Yüksek adetlerin ve hassas kalite kriterlerinin bulunduğu üretimler için idealdir.
- İkincil temizlik operasyonlarına daha az ihtiyaç duyulan, parça çapaklarının kompresyon ve transfer yöntemine göre daha az olduğu üretimler gerçekleştir.
- Kompresyon ve transfer kalıplamada olduğu gibi parça geometrisi ve ağırlığına göre ön malzeme hazırlığı yoktur. Dolayısıyla işçilik gerektiren unsurlar elimine edilir.
- Enjeksiyon kalıplama yöntemi çoğu açıdan verimli olsa da kalıp, makina, ekipman, soğuk yolluk bloğu gibi ilk yatırımlar açısından maliyetlidir.

2.6. Soğuk Yolluk Bloğu Sistemleri (CRB)

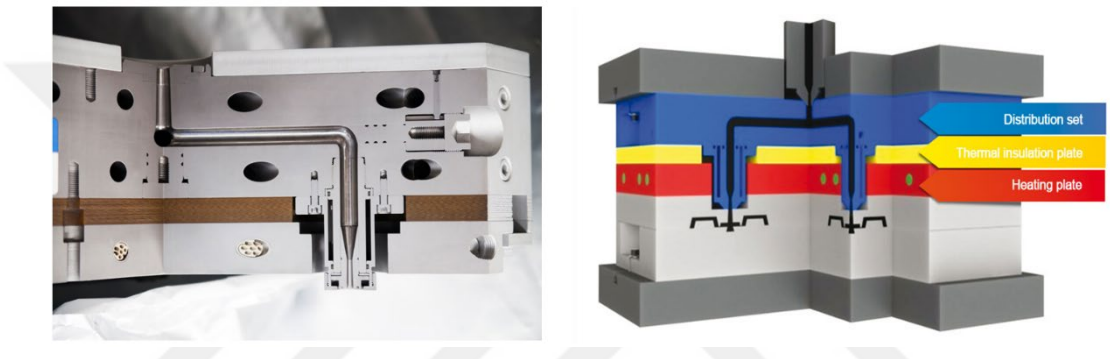
Soğuk yolluk bloğu ve soğuk yolluk sistemi, silikon veya kauçuk enjeksiyonlarda kullanılan bir teknolojidir. Soğuk yolluk sistemi silikon veya kauçuk kalıplama için enjeksiyon ünitesi ile kalıp plakaları ve gözleri arasına monte edilen sıcaklık kontrolü barındıran bir manifolddur. Hassas talaşlı imalat ile işlenen manifold, vulkanize edilmemiş malzemeyi kanal ve nozuller yardımıyla kalıbın belirli bölgelerine dağıtan bir ekipmandır. Pres enjeksiyon ünitesi malzemeyi çevrim esnasında öncelikle CRB (Cold Runner Block)'nin kanallarına enjekte eder. CRB'nin malzemeyi taşıyan bu kanalları vulkanizasyonun gerçekleşeceği sıcaklıkların altında tutulur. Manifold olarak da adlandırılan bu kanallarda sıvı sirkülasyonu ile soğutma kontrollü bir şekilde gerçekleştirilir. Enjeksiyon ünitesinden basınçla gelen malzeme önce CRB'ye daha sonra da kalıba iletilir. CRB kanallarında kalan malzeme her çevrime hazır ve vulkanize olmamış bir şekilde kalır. Bir sonraki çevrimde direkt olarak kullanıma hazırdır. CRB'nin temel olarak sağladığı bu özellik diğer sıcak yolluk sistemlerine kıyasla hammadde tasarrufunu ortaya koymaktadır (Krell, 2011).

Termoplastik enjeksiyon kalıplarında yolluksuz üretime benzer bir şekilde, termoset ve elastomer malzemeler soğuk yolluk sistemlerinin olduğu kalıplarda yolluk firesi olmadan işlenebilir. Silikon veya kauçuk malzemelerin enjeksiyonunda oluşan kürlenmiş yolluklar, termoplastiklerde olduğu gibi tekrar granül haline getirilemezler. Soğuk yolluk bloğu sistemindeki besleme kanalları elastomer malzemenin vulkanizasyonunu engellemek üzere düşük sıcaklıklarda kontrol altına alınır. Bir soğuk yolluk sisteminde bulunması gereken özellikler oldukça önemlidir. Çapraz bağlanmayı güvenilir bir şekilde önlemek için sıcaklık gradyanı mutlak bir minimumda tutulmalı ve kalıp ile soğuk yolluk arasındaki termal izolasyon tamamlanmış olmalıdır. Bununla birlikte, operasyon sırasında zorluklar ortaya çıkarsa fazla zaman kaybetmeden kalıba veya soğuk yolluk bloğuna müdahale için kolayca erişilebilir olacak şekilde tasarlanmalıdır (Gastrow, 2006).

Son dönemlerde enjeksiyon kalıpları soğuk yolluk blokları ile entegre şekilde üretilmektedir. Soğuk yolluk blokları dolaylı yoldan otomasyona imkan sağladığı için özellikle LSR silikonun kullanılacağı parçaların enjeksiyon kalıpları, soğuk yolluk bloğu ve otomasyon dahil olacak şekilde paket sistemler ile tasarlanmaktadır. Bu tip sistemler yüksek adetli üretimlerde katma değerli avantajlar sağlamaktadır.

Yüksek adetli silikon parça üretimlerinin yapılacağı durumlarda; otomasyon kolaylığı, daha az malzeme firesi ve çevrim sürelerini azaltmak için soğuk yolluk sisteminin kullanılması tavsiye edilir. Kompresyon, transfer veya sıcak yolluğa sahip enjeksiyon kalıplarında oluşan çapak ve yolluk fireleri, artan malzeme fiyatları göz önüne alındığında daha önemli hale gelmiştir. Soğuk yolluk sistemleri enjeksiyon kalıplarda kullanıldığında, bu malzeme firelerinin en aza indirmenin bir yoludur. Soğuk yolluk sistemleri, yollukları ve malzeme israfını ortadan kaldırarak projelerin daha uygun maliyetli olmasını sağlamak için kullanılır (Finnie, 2012)

Şekil 2.23'te soğuk yolluk bloğu sistemleri için kesit görselleri bulunmaktadır.



Şekil 2.23. Soğuk yolluk bloğu kesitleri (Desma, 2014)

Elastomer malzeme işleyen üretim sektörlerinde ortaya çıkan bazı temel nedenler soğuk yolluk bloğu sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaşmasında önemli rol oynamıştır. Bunlardan biri elastomerlerin, termoplastikler gibi tamamen geri dönüştürülebilir olmamasıdır. Elastomerlerin kimyasal geri dönüşümü teknik olarak mümkün olsa da yüksek teknoloji ve maliyetler getirdiği için elastomer malzeme fireleri atık olarak bertaraf edilir. Termoplastiklerde kalıp yollukları veya çapaklar fiziksel olarak daha küçük parçacıklar haline getirilerek tekrar kullanımı mümkündür ve maddi değerini korumaktadır. Ancak silikon veya kauçuklarda proses sırasında asıl parçayı elde etmek için kalıpta oluşan ürün harici; yolluk firesi, çapak, fazla malzeme gibi unsurların maddi değeri yoktur. Nihai parça haricinde oluşan bu unsurlar ancak daha küçük parçalara fiziksel olarak parçalanır ve dolgu malzemesi, kaplama gibi uygulamalarda ilk alış maliyetine göre önemsiz yerlerde kullanılırlar. Bu durumda pahalı bir elastomer malzemenin daha katma değerli işlere yani nihai parçaya çevrilememesidir. Ekolojik denge ve kaynakların verimli kullanımı açısından bile bakıldığında soğuk yolluk blokları işletmeler için gereklilik haline gelmiştir.

Şekil 2.24'te bir silikon enjeksiyon kalıbında asıl istenilen parçayı üretmek için harcanan malzeme ve yolluk fireleri görünmektedir. Nihai parçadan fazla malzeme fire olarak hiçbir maddi getirisi olmayacak şekilde atılmaktadır.

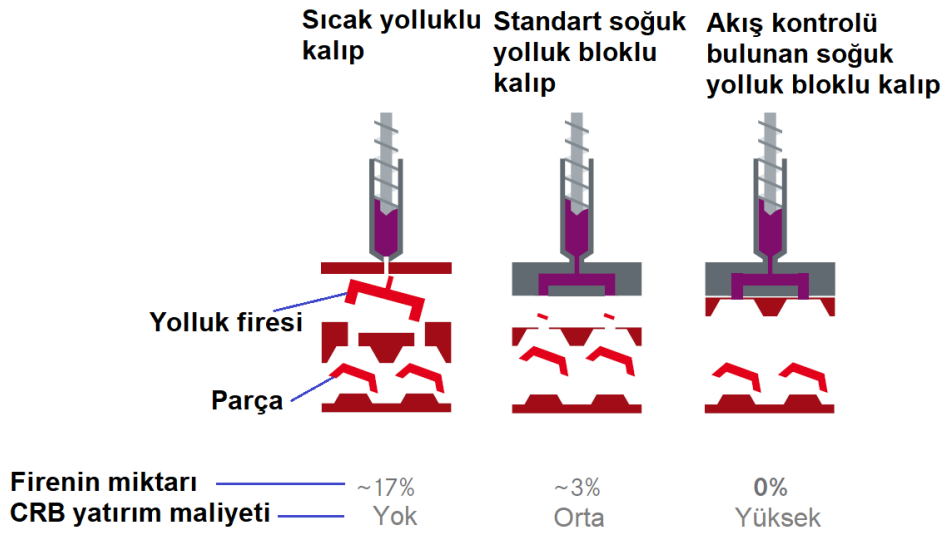


Şekil 2.24. Yolluk ve çapak fireleri (Desma, 2014)

Soğuk yolluk bloklarının kullanımını gerektiren durumlar biri de üretim maliyetleridir. Elastomer malzemeler fireler halinde atık malzemeye dönüştüğü sürece birim maliyetleri azalmayacaktır. Silikon veya kauçuk bir parçanın maliyetinin ortalama %60'ı malzemedir. Geriye kalan %40 diliminde ise işçilik, enerji, makine giderleri, kalıp maliyetleri, ikincil operasyonlar ve prosesler bulunmaktadır. Bu nedenle üretim maliyetleri düşürebilmek için malzeme fireleri göz önüne alınması gereken bir konudur. Silikon veya kauçuk malzemeler işlenirken verimli bir şekilde kullanılmalıdır. Parçanın geometrisi, kullanılacak kompoundun özellikleri ve maliyeti, üretim metodu, yatırım ihtiyacının amortismanı, kalıp yatırım maliyetleri, kalıp yolluk sistemi, kalıp göz sayıları gibi üretim parametreleri üretilecek parçanın satış fiyatlarını doğrudan etkilemektedir.

Elastomer malzemelerde özellikle kalıp dizaynı ve kalıplama yöntemi üretim maliyetlerinde etkin rol oynamaktadır. Özellikle enjeksiyon kalıplarına entegre edilecek bir soğuk yolluk sistemi ile parçanın geometrisi ve proses şartlarına da bağlı olarak ciddi maliyet iyileştirmeleri sağlanabilir. Çünkü üretimi yapılan bir parçanın satış fiyatı içine dahil olmayan her türlü malzeme kaybı, iyileştirilmesi gereken ve katma değer yaratacak şekilde ürüne dönüşmesi gereken potansiyeldir. Kalıplama prosesi sürecinde her çevrimde atılan fire malzeme parça birim maliyetlerine yansımakta ve maliyetleri artırmaktadır. İşletmelerin parça birim maliyetlerine dahil ettiği bu fireler en aza indirgendiğinde veya tamamen ortadan kaldırıldığında buradan gelen iyileştirme çok daha farklı kaynaklar için kullanılabilmektedir.

Şekil 2.25'te kalıpta oluşan yolluk firelerinin yaklaşık oranları ve soğuk yolluk bile elimine edilmesi şematik olarak gösterilmiştir.



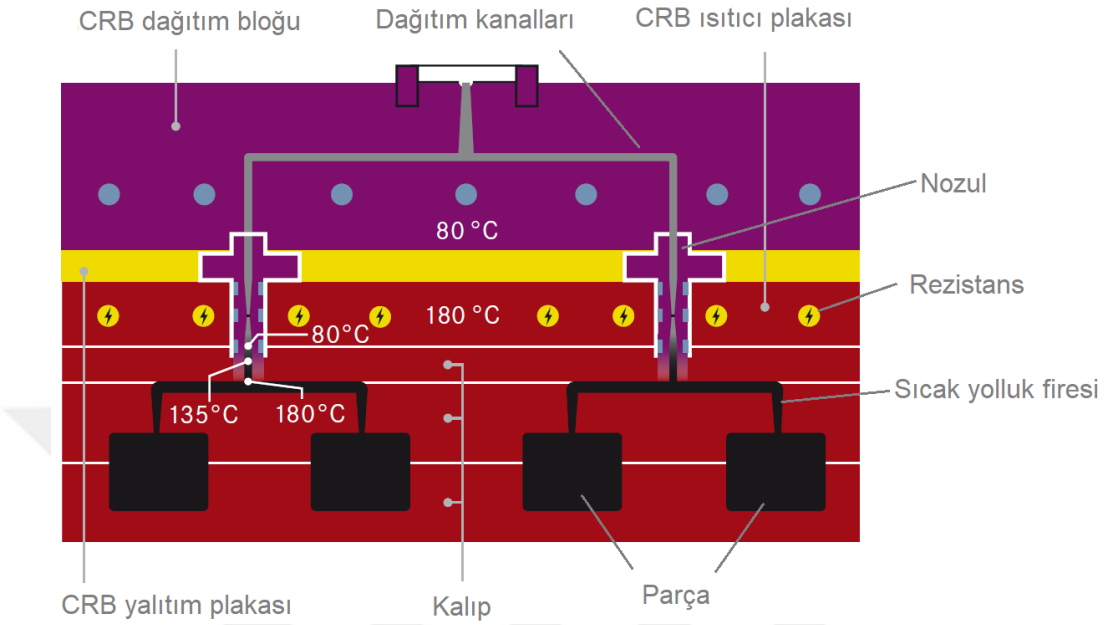
Şekil 2.25. Yolluk fireleri ve CRB avantajı (Desma, 2014)

Elastomer parça üretim sektöründe, yolluk firelerinin azaltılması ve malzeme tasarrufu için CRB kullanımı ile çok verimli sonuçlar alınabilir. Bu durum, belirli bir parçanın geometrisine bakılmaksızın uygulanabilir. Bu nedenle, üretim yöntemi seçerken önemli proses hesaplamalarının yapılması tavsiye edilmektedir (Desma, 2014).

Soğuk yolluk bloğunun çalışma prensibinin temelinde, içerisindeki malzemenin ön kürlenmesini önlemek için malzeme kanallarının ve nozullerin soğutulması bulunmaktadır. Kalıpta kürlenme prosesi tamamlanarak parça üretimi tamamlandıktan sonra enjekte edilen malzemeyi üretilen malzemelerle birlikte kalıptan alınmasına gerek kalmaz. Çevrim sonrası soğuk yolluk bloğu içerisinde kalan malzeme bir sonraki enjeksiyona hazır olarak kullanılabilir (Desma, 2014).

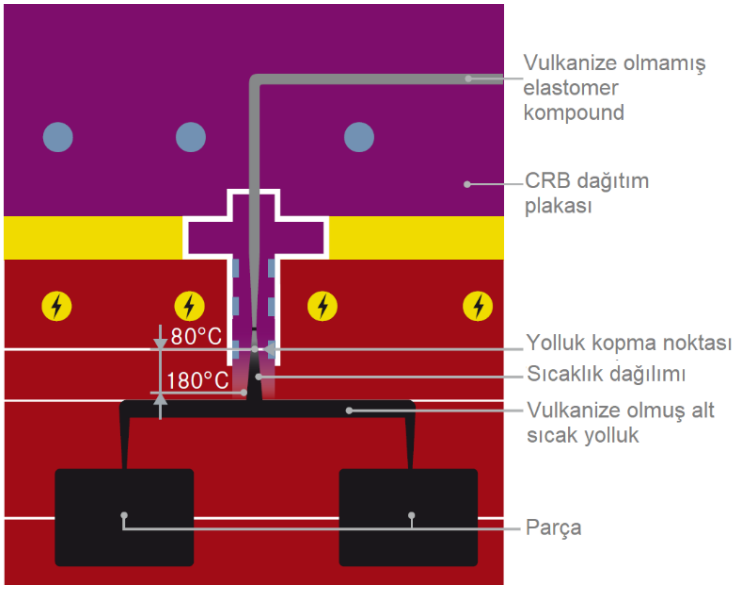
Standart soğuk yolluk bloğunun soğutması bazı durumlarda nozul ve dağıtı kanallara yeterli gelmeyebilir. Standart bloklarda direkt kalıp gözüne enjeksiyonda nozulun kalıp gözüne teması sonucu kalıp gözünde istenmeyen soğumalar meydana gelebilir. Bu durum önemli ölçüde daha uzun bir kürlenme süresine veya ürün üzerinde zayıf vulkanizasyona neden olacaktır. Bu nedenle standart soğuk yolluk bloğu kullanıldığında nozul uçları kalıp gözlerine belirli bir mesafede olacak şekilde konumlandırılır. Böylelikle istenmeyen hatalar önlenir ancak belirli bir miktar sıcak yolluk firesi oluşur. (Desma, 2014).

Şekil 2.26'da standart soğuk yolluk bloğunun kalıp gözünü soğutmaması amacıyla kalıp gözleri ortasına yerleşimi gösterilmektedir. Tek nozul birden fazla kalıp gözünü sıcak yolluk üzerinden dağıtım yaparak besleyebilmektedir.



Şekil 2.26. Standart bir CRB ve sıcaklık dağılımı (Desma, 2014)

Şekil 2.27'de CRB dağıtım plakasından gelen malzemenin soğutmalı nozullerden geçerek alt sıcak yolluk üzerinden kalıp gözlerine ulaşması daha detaylı olarak gösterilmektedir. Burada soğuk yolluk ile alt sıcak yolluk arasında sıcaklık dağılımı ve yolluk kopma noktası önemlidir.



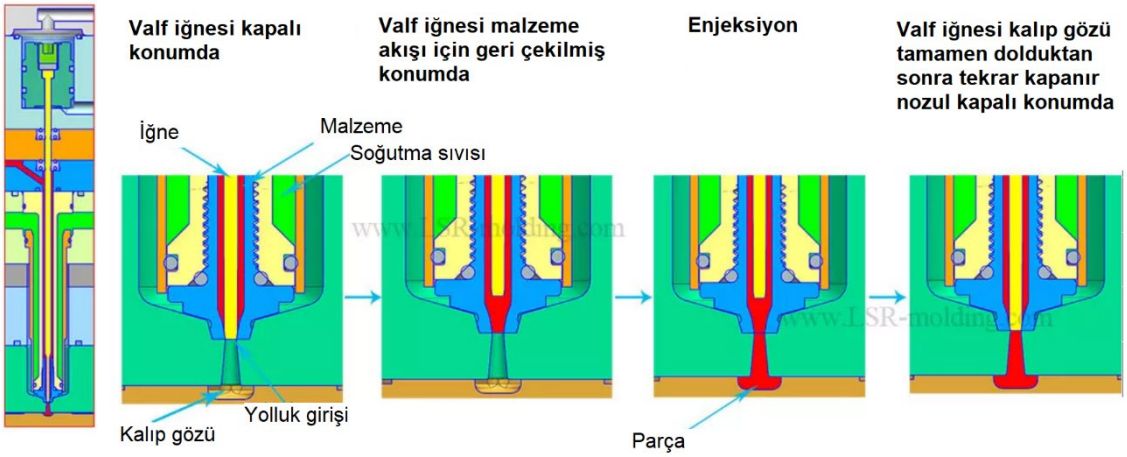
Şekil 2.27. CRB içerisinde malzeme akışı (Desma, 2014)

Temelde nozul yapısı ve besleme şekline göre iki tip soğuk yolluk bloğu vardır. Açık nozul sistemi (open gate nozzle) ve valfli nozul (valve gate nozzle) sistemleri ana prensip olarak soğuk yolluk bloklarında kullanılmaktadır. Açık nozul sistemi daha konvansiyonel olarak bilinen ilk CRB tipleridir. Açık nozullere sahip bloklarda malzeme akışına manuel müdahele edilebilir ancak çok hassas kontrol çok mümkün değildir. Valfli nozullere sahip bloklarda ise pnömatik veya hidrolik kontrollü iğnelerin nozul uçlarını enjeksiyon davranışına göre açıp kapatmasıyla çok daha hassas malzeme kontrolü yapılabilmektedir. CRB üzerinde profesyonelleşmiş firmaların geliştirdiği bazı sistemler ile açık nozul veya valfli nozul sistemleri daha verimli şekilde kullanılabilmektedir.

Açık nozul sistemli CRB maliyet olarak daha ucuzdur, daha az bakım gerektirir, daha dar nozul aralığına sahip olabilir ve enjeksiyon makinesinde daha az plaka stroğu ile çalışabilir. Açık nozul sistemli CRB'lerin bazı eksi yönleri vardır. Açık nozul olduğu için çevrimler arası malzeme kalıntısının bir sonraki çevrime enjekte edilmemesi için kontrol gerektirir. Nozulün malzeme akışı dengeli bir enjeksiyon çevrimi için hassas ayarlanmalıdır. Açık nozuldan sertleşmiş bir tıpa, sonraki atışta enjekte edilecektir. Tek tek nozullar üzerinde tam kontrol yoktur. Enjeksiyon çevriminin ilk aşamasında çevrimin optimum olarak ayarlanması gerekir. Bu tip CRB'nin kullanılacağı sistemlerde enjeksiyon presin, enjeksiyon nozulu hareket opsiyonuna sahip olmalıdır (Finnie, 2012).

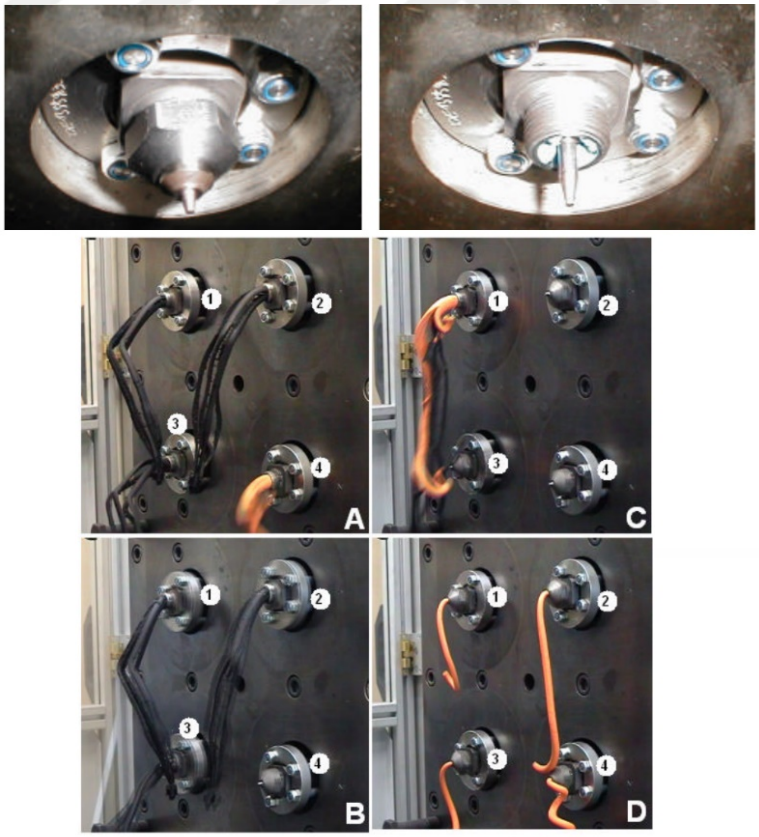
Valfli nozule sahip soğuk yolluk sistemleri kullanıldığında, tekrarlanabilir çevrimler daha güvenilir bir şekilde yönetilebilir ve malzeme kalıntılarının bir sonraki çevrime enjekte edilme riski ortadan kaldırılmış olur. Valf nozul sistemi her nozulün kendi içinde ayrı ayrı kontrol edilebilmesine olanak sağlar. Ayrıca daha az proses bilgisi ile kolay bir şekilde kullanılırlar. Enjeksiyon prosesi daha düşük enjeksiyon basınçlarında gerçekleştirilebilir. Böylece daha küçük veya daha büyük parçaların proses edilebilmesi kolaylaşır. Bu avantajlarla birlikte bu sistemlerinde bazı dezavantajları bulunmaktadır. Valf nozul yapısı nedeniyle daha kompleks bir mekaniğe sahiptir ve yatırım maliyeti daha fazladır. Valfli nozulleri kontrol etmek için ilave pnömatik bir mekanizma gereklidir. Valfli nozullerin barındırdığı bu mekanizmalar boyutlarını artırır ve CRB içerisinde daha geniş merkez mesafeleri gerektirir. Ayrıca valfli nozullerde bulunan pnömatik sistem nedeniyle bu CRB'lerin kullanılacağı preslerde daha fazla plaka stroğuna ihtiyaç vardır (Finnie, 2012).

Şekil 2.28'de valfli nozule sahip bir CRB'nin çalışma prensibi gösterilmektedir.



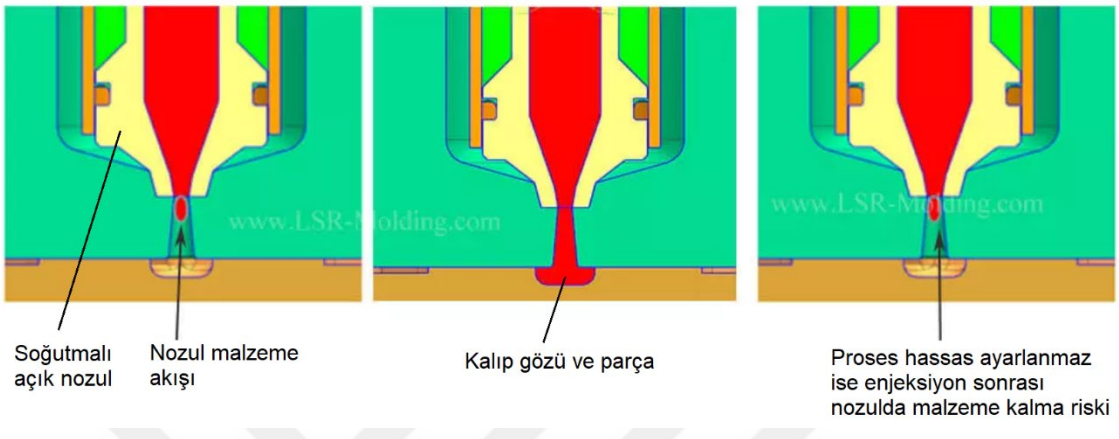
Şekil 2.28. Valf nozul CRB çalışma şekli (Xiamen, 2015)

Şekil 2.29 da valf nozul CRB'nin nozullerinin iğne-pim yapısı ve tam kontrol edilebilir nozuller üzerinden farklı malzeme akışı gösterilmektedir.

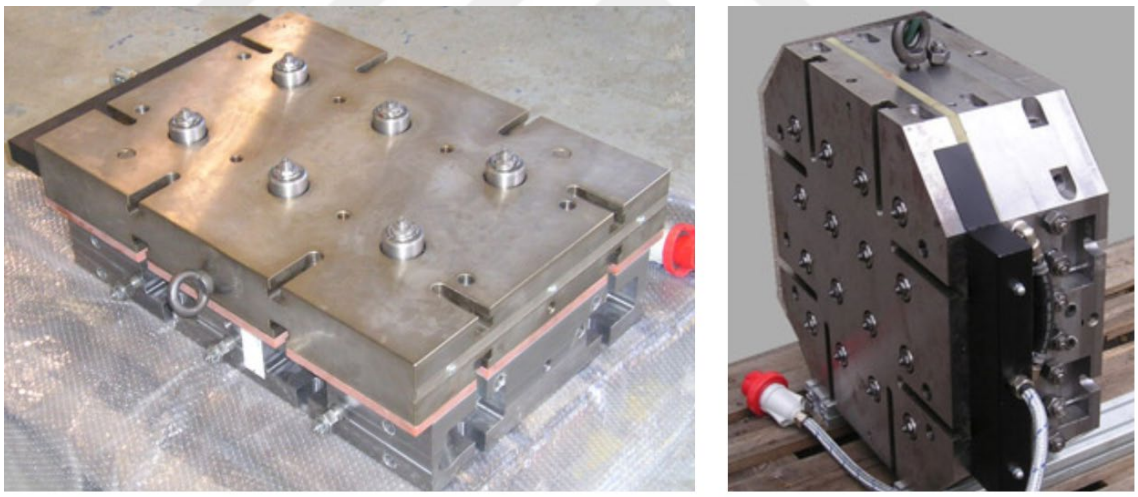


Şekil 2.29. Valf nozul CRB (Early, 2008)

Şekil 2.30'da açık nozul sistemli CRB'nin çalışma prensibi ve şekil 2.31'de açık nozul CRB gösterilmektedir. Valfli nozul sistemlerine göre bir sonraki çevrimde malzemenin kürlenmiş olarak istenmeyen bir şekilde kalıp gözüne ilerleme riski bu sistemlerde bulunmaktadır.



Şekil 2.30. Açık nozul CRB çalışma şekli (Xiamen, 2015)



Şekil 2.31. Açık nozul standart CRB (OCS Stampi s.r.l., 2010)

Çapraz bağ yapısı oluşturarak form verilen elastomer malzemelerin geri dönüştürülebilir olmaması, alım maliyetlerinin yüksek olması, bazı durumlarda özel prosesler ile şekillendiriliyor olmaları; bu malzemelerin her gramının katma değeri olan prosesler ile nihai üretim parçalarına dönüşmelerini ve tasarruflu kullanılmalarını gerektirmektedir. Bu noktada oldukça verimli bir ekipman olan soğuk yolluk bloğu sistemleri sağladıkları avantajlar ile elastomer sektöründe enjeksiyon kalıplama ile üretimin önemli bir ekipmanı olmaktadır.

BÖLÜM 3 .DENEYSEL ÇALIŞMALAR

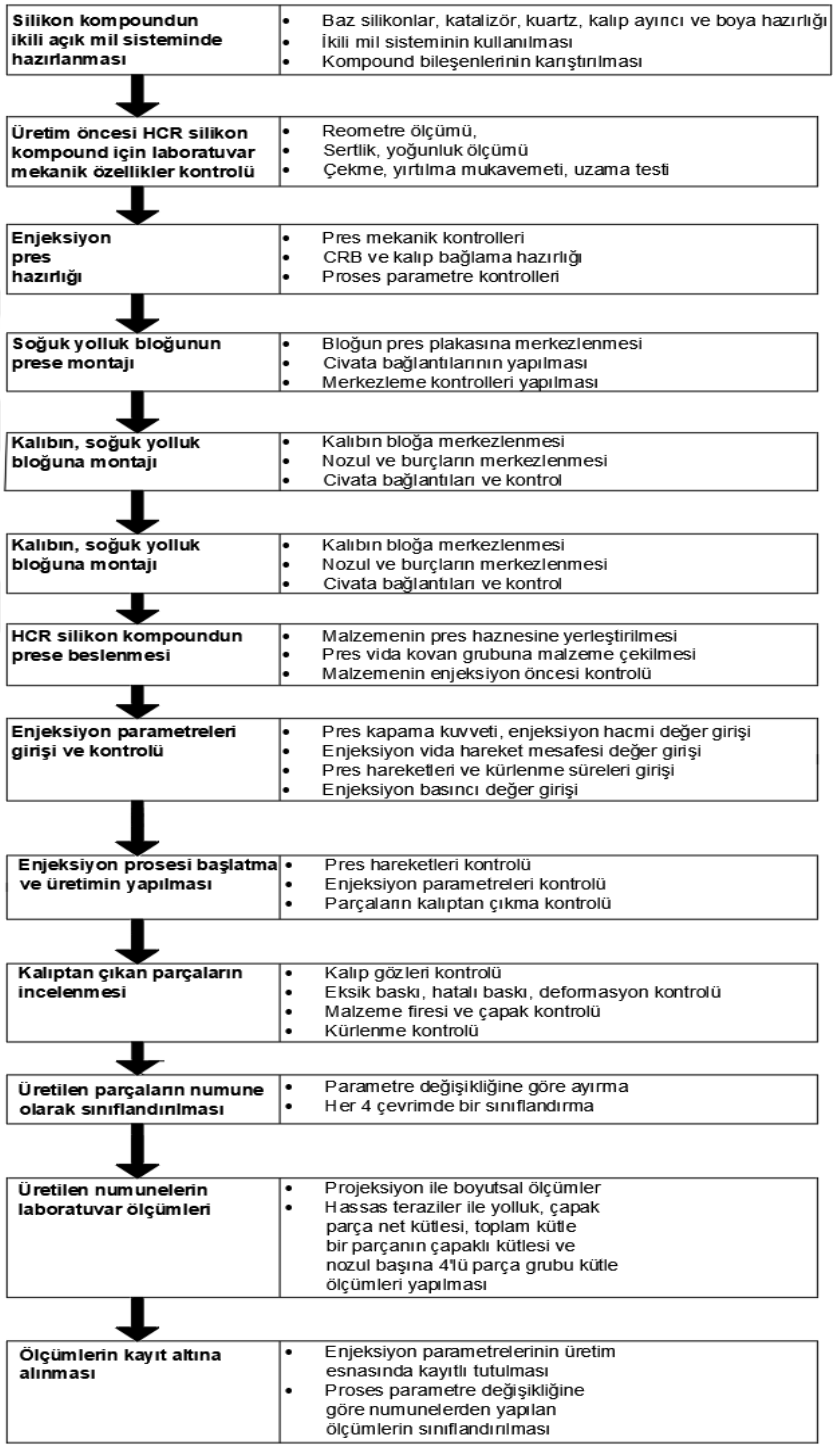
3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, silikon enjeksiyon kalıplarında soğuk yolluk bloğunun etkileri ve enjeksiyon kalıplama yönteminde normal yolluk sistemlerine göre oluşturduğu farklılıkların incelenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle HCR özellikte katı silikon kompound ikili açık mil sisteminde üretilerek çalışma başlatılmıştır. Bu kompound ile CRB' nin de görev aldığı bir enjeksiyon kalıpta parça üretimleri yapılmıştır. Üretim aşamalarında proses parametreleri ve değişenler kayıt altına alınarak CRB' nin prosese olan etkileri incelenmiştir. Üretimlerden alınan numuneler üzerinden ölçümler yapılarak CRB' nin imalat süreçlerine getirdiği avantajlar ele alınmıştır. Daha sonra ortaya çıkan sonuçlar CRB' nin bu sistemde olmadığı durum için teorik yaklaşımlarla kıyaslanmıştır.

Silikon elastomerler farklı yöntemlerle kürlenerek çapraz bağ yapısı oluşturur. Enjeksiyon kalıplama yöntemine uygun iki tip silikon elastomer vardır. Bunlardan biri proses süreleri açısından plastik enjeksiyona benzer şekilde işlenebilen LSR silikonlardır. Diğeri ise viskozitesi daha yüksek olan HCR silikonlardır. LSR silikonlar daha çok otomasyona yatkın ve malzeme firesi olmadan proses edilmeye uygundur. HCR silikonlarda da aynı durum geçerlidir ancak LSR silikonlar son dönemde HCR silikonların yerini almaya başlamıştır. Çalışmada HCR malzeme seçilmesinin nedenlerinin başında, CRB' nin enjeksiyon yöntemine etkisi inceleneceği için enjeksiyon prosesine uygun malzeme olarak HCR özellikte katı silikon kompound kullanılmıştır. Prosese etkileri incelenen CRB' nin katı silikon kompound ile çalışmaya uygun olması ve çalışmanın yapıldığı yatay enjeksiyon presin vida-kovan grubunun HCR kompounda uygun olması nedeniyle bu malzeme ile çalışma yapılmıştır. Ayrıca CRB' nin 6 adet açık nozul ile beslediği 24 gözlü kalıp dizayn ve çalışma sistemi açısından HCR kompounda uygundur. Çalışmada kullanılan malzeme, makine, kalıp, CRB ve diğer ekipmanlar için detaylar alt başlıklarda sunulmuştur.

3.2. Çalışma Planı ve Akış Diyagramı

Çalışmada, Başoğlu Kablo ve Profil A.Ş. Fabrika-1'de (Bolu) Hamurhane, Baskı Conta ve Enjeksiyon, Laboratuvar bölümlerinin sağladığı imkanlardan yararlanılmıştır. Çalışmanın işlem adımları ve içerikleri sırası ile Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



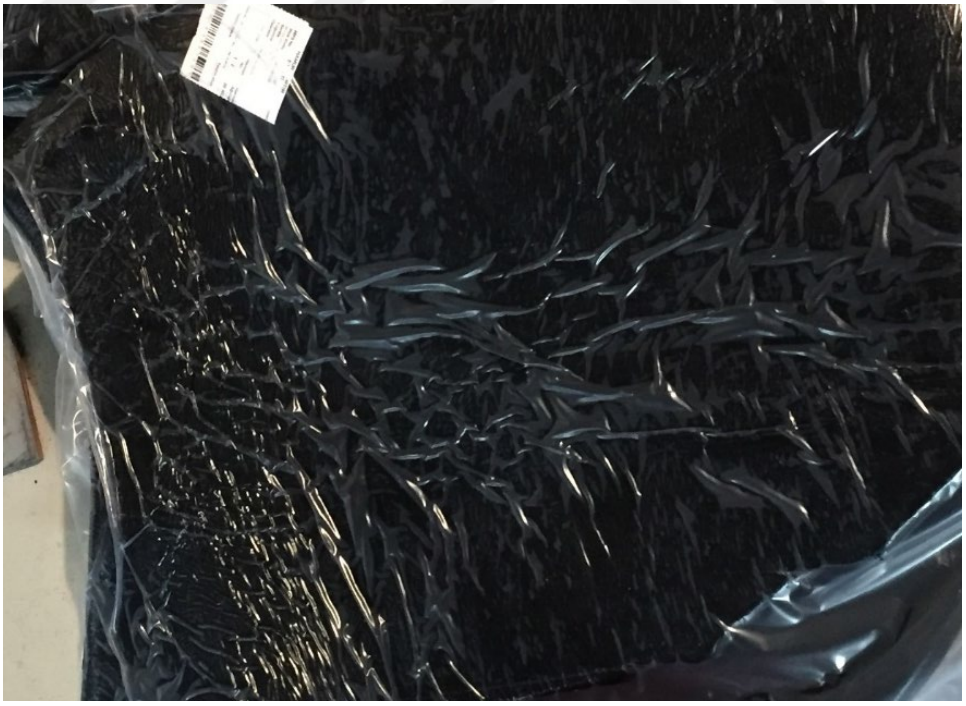
Şekil 3.1. Çalışmanın iş adımları

3.3. Malzeme ve Ekipmanlar

3.3.1. HCR katı silikon kompound

Tez çalışmasında kullanılan HCR katı silikon kompound, Başoğlu Kablo ve Profil A.Ş. Fabrikası'nda (Bolu) Hamurhane bölümünde ikili mil sisteminde 1336 kodlu kompound formülasyonuna göre üretilmiştir. Kompound içeriğinde Elkem Silicones MF 970 ve MF 940 ticari kodlu HCR baz silikonlar, Peroxan DC 99 dikümil peroksit katalizör, M450 kuartz, DA 22 kalıp ayırıcı ve siyah toz pigment boya bulunmaktadır.

1336 formulasyonuna göre üretilen kompoundun mekanik değerleri ve üretimde kullanılabilmesi için onay kontrolleri laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2'de ikili açık mil sisteminde karışım halinde hazırlanan ve üretim öncesi paketleme işlemi tamamlanmış malzeme görülmektedir. Karışıma ortamdan kaynaklı toz veya başka maddelerin gelmesini önlemek amacıyla muhafaza edilmiştir. İkili açık milde mekanik karışım prensibi ile hazırlanan malzemenin üretim süreci yöntem kısmında verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan 1336 kodlu HCR silikon kompound

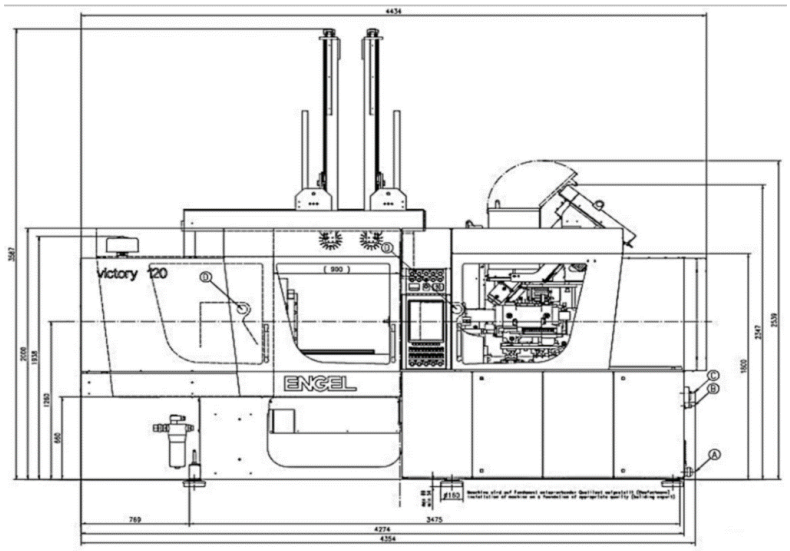
Çalışmada kullanılan 1336 kodlu kompound için formülasyon aşamasında belirlenen mekanik özellikler Tablo 3.1'de bulunmaktadır. Kompound için üretim öncesi onay kontrollerini içeren mekanik özelliklerin testlerin raporları yöntem kısmında verilmiştir.

Tablo 3.1. 1336 kodlu kompound mekanik özellikleri

Özellik	Test Standardı	Değer	Tolerans
Yoğunluk (g/cm³)	ISO 2781	1,28	±0,02
Sertlik (Shore A)	ISO 868	65	±5
Kopma mukavameti (MPa)	DIN 53504 S2	7	±2
Uzama (%)	DIN 53504 S2	360	±100
Yırtılma mukavameti (N/mm)	ASTM D 624 B	17	±2
Sürekli çalışma sıcaklık aralığı (°C)		180-200	

3.3.2. HCR katı silikon yatay enjeksiyon pres

Çalışmada üretim için kullanılan pres Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 Engel marka VC330/120 kodlu yatay enjeksiyondur. Engel VC330/120 yatay enjeksiyon presin 740 x 680mm plaka ölçüleri, 120 ton kapama kuvveti, 800mm plakalar arası strok, Ø15x23mm nozul, 154 cm³ maksimum enjeksiyon hacmi, 2177 bar maksimum enjeksiyon basıncı, 97 cm³/s maksimum enjeksiyon debisi, merkez itici ve yan itici özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Engel VC330/120 yatay enjeksiyon pres

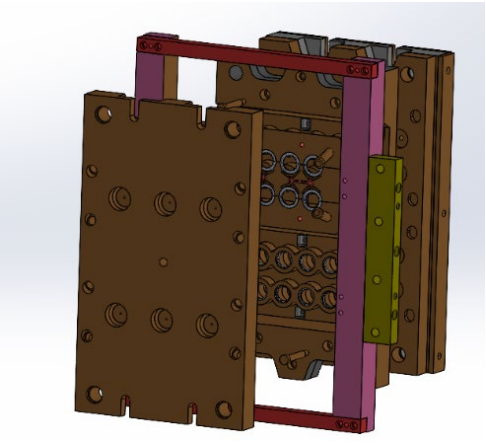
Şekil 3.4'te üretimin yapıldığı Engel VC330/120 yatay enjeksiyon pres görülmektedir.



Şekil 3.4. Üretimin yapıldığı Engel VC330/120 yatay enjeksiyon pres

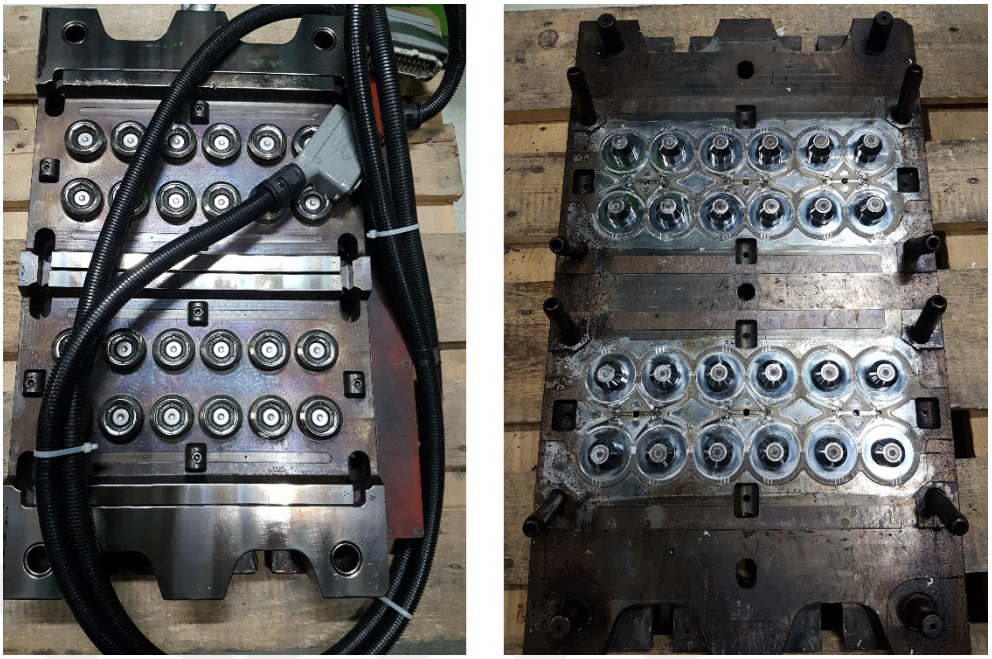
3.3.3. Yatay enjeksiyon kalıbı

Soğuk yolluk bloğunun 6 noktadan nozuller ile beslediği 24 gözlü yatay enjeksiyon kalıbı çalışmanın üretim aşamalarında kullanılmıştır. Kalıp çeliği DIN 1.2312 ve kalıp gözlerinde SPI A3 yüzey polisaj işlemi ve yüzey sertliği için krom kaplama bulunmaktadır. Soğuk yolluk bloğu ölçülerine uygun olan kalıp 385x600mm genişlik ve yükseklik ölçülerine sahiptir. Kalıp kalınlığı 200mm, kalıp nozul yuvaları 6 adet olup Ø45x20mm ölçülerindedir. Şekil 3.5'te kalıbın CAD datası görülmektedir.



Şekil 3.5. Üretimin yapıldığı kalıbın CAD görüntüsü

Şekil 3.6’ da üretimin yapıldığı yatay enjeksiyon kalıbı görülmektedir.

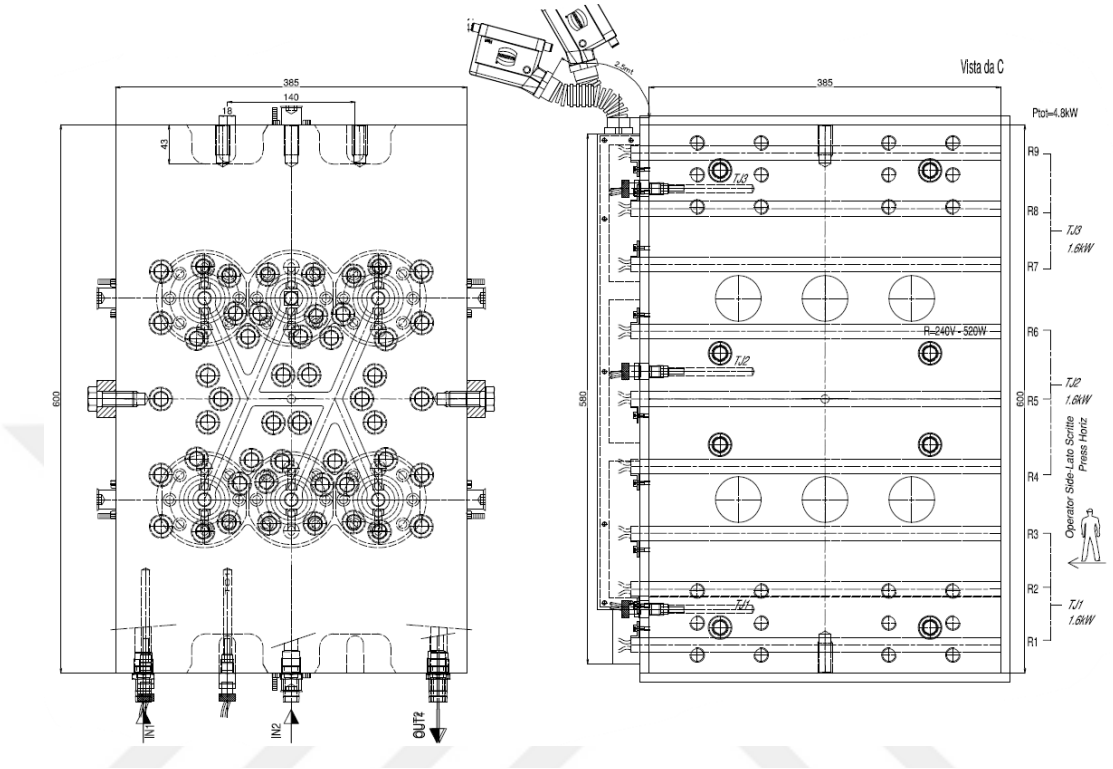


Şekil 3.6. Üretimin yapıldığı yatay enjeksiyon kalıbı

3.3.4. Soğuk yolluk bloğu (CRB)

Çalışmanın asıl amacı olarak enjeksiyon kalıplamayla yapılan üretim proseslerine etkisi incelenen soğuk yolluk bloğu 385x600mm ölçülerinde olup 230mm kalınlığı bulunmaktadır. Bloğun açık sistem ve manuel akış ayarlı 6 adet nozulu bulunmaktadır. Nozuller arası yatayda 95mm, dikeyde 220mm merkez mesafeleri bulunmaktadır. 6 adet nozul, blok üzerinde 3 sıra yatayda ve 2 sıra dikeyde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Yatay eksende bulunan 3 nozul arasında merkez mesafesi 95mm iken dikey eksende bulunan nozuller arası merkez uzaklığı 110mm’dir. Soğuk yolluk bloğunun kendine ait ısıtıcı plakası bulunmaktadır. Isıtıcı plaka üzerinde kalıbın homojen bir şekilde ısıtılması için eşit merkez mesafeleri bulunan 9 adet 1.6 kW güçte ısıtıcı rezistans vardır. Presin enjeksiyon ünitesinden gelen malzemenin soğuk yolluk bloğuna ilk giriş yaptığı yerde Ø12mm giriş vardır. Bloğun nozul çıkışları ise Ø3.5mm ölçüsündedir. Bloğun nozul çapları 42mm’dir. Blok dağıtım kanalları ve nozullar su soğutmalıdır. Termal sensörler ile blok sıcaklığı kontrol edilebilmektedir. Sensörlerin çıkışları enjeksiyon presine bağlanarak pres üzerinden rezistansların bulunduğu bölgelerde sıcaklık değerleri takip edilebilmektedir. Ayrıca bloğun kendi ısıtıcı plakası ile soğutulan plaka arasında yalıtım plakası bulunmaktadır.

Şekil 3.7'de üretimde kullanılan soğuk yolluk bloğunun teknik resim üzerinde ana yapısı ve nozul yerleşimleri görülmektedir. Şekil 3.8'de montajı bitmiş CRB görülmektedir.



Şekil 3.7. Üretimde kullanılan soğuk yolluk bloğu temel yapısı



Şekil 3.8. Üretimde kullanılan CRB

3.3.5. Laboratuvar test ve kontrol ekipmanları

Belirli uygulamalara yönelik formülasyonu oluşturulan HCR silikon kompoundların formül tasarımında belirlenen mekanik değerlerini doğrulamak için uluslararası test standartlarına göre kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında malzemenin proseste vulkanizasyon davranışını yorumlamak için reometre ölçümleri gerekli ve önemlidir. Özellikle HCR silikonlar ile kendi karışımlarını üreten firmalarda malzemeden başlayarak proses doğrulmasının yapılmasında bu test ve ölçümleri sağlayacak cihazlar olmalıdır. Bu çalışmada malzemenin kontrol edildiği testler ve standartları Tablo 3.2' de verilmiştir. Yapılan ölçümlerin sonuçları yöntem kısmında verilmiştir.

Tablo 3.2. Laboratuvar ölçüm standartları

Test Tanımı	Birim	Standart	Parametre
Sertlik	Shore A	ISO 2781	±5 tolerans
Yoğunluk	g/cm³	ISO 868	±0,02 tolerans
Çekme mukavemeti	MPa	DIN 53504 S2	S2 tip test numunesi
Uzama	%	DIN 53504 S2	S2 tip test numunesi
Yırtılma mukavemeti	N/mm	ASTM D 624 B	B tip test numunesi
Reometre ölçümü		ISO 6502	180°C 6 dakika

Malzemenin reolojik ve mekanik özellikleri Tablo 3.2' de verilen standartlara göre çalışan ve ölçüm yapabilen kalibrasyonlu cihazlarda kontrol edilmiştir. Reolojik davranış için hareketli plakalara sahip ve alt plakasında tork uygulama diski bulunan reometre kullanılmıştır. Mekanik ölçümler için başlıca çekme kopma, sertlik, yoğunluk cihazları kullanılmıştır. Bu cihazların marka model bilgileri ilerleyen sayfalarda belirtilmiştir. Malzemenin mekanik ölçümleri haricinde, proses optimizasyonu sırasında üretimden alınan numunelerin geometrik ölçüleri optik projeksiyonda 2 mikron (0,002mm) hassasiyette ölçülmüştür. Ayrıca üretilen parçalarda oluşan fire ve çapak kütleleri ondalık kısımda 4 dijite kadar ölçüm yapabilen hassas terazilerde kontrol edilmiştir. Laboratuvarda kullanılan ekipman ve cihazların kalibrasyonları, akredite kuruluş tarafından periyodik olarak yapılmaktadır.

Silikon kompoundun üretim öncesi son onay kontrolleri sırasıyla aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

- Kompoundun vulkanizasyon davranışı ve karakteristiğini kontrol etmek için Şekil 3.9'da görülen Gibitre Instruments marka ve Rheocheck Profile – MD model reometre cihazı kullanılmıştır.



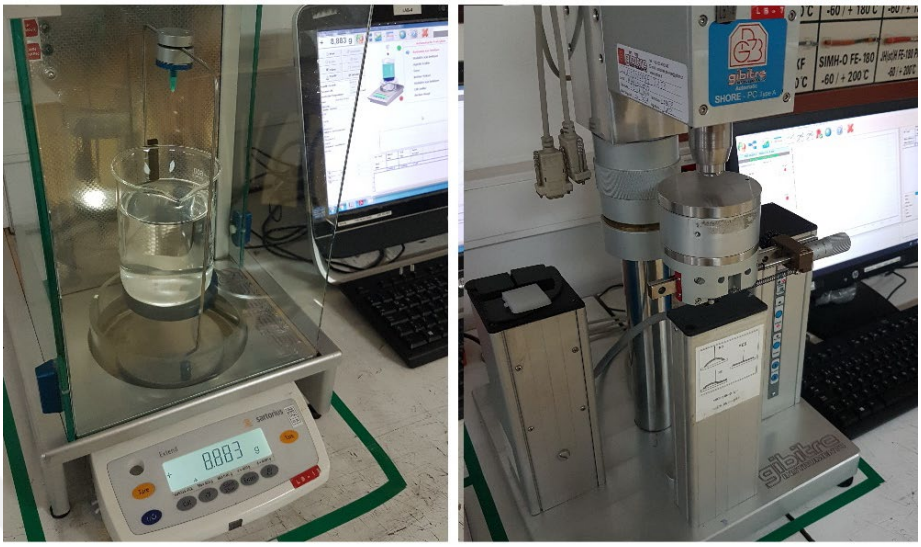
Şekil 3.9. Gibitre Instruments Rheocheck Profile - MD reometre cihazı

- Kopma mukavemeti, yırtılma mukavemeti, uzama mekanik özelliklerinin kontrolü için Şekil 3.10'da görülen Gibitre Instruments marka TensorCheck model mekanik test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Gibitre Instruments TensorCheck mekanik test cihazı

- Şekil 3.11'de görülen cihazlardan sertlik ölçümü için Gibitre Instruments sertlik ölçüm cihazı, yoğunluk ölçümü için Gibitre Instruments DensityCheck yoğunluk ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Gibitre Instruments yoğunluk ve sertlik ölçüm cihazları

- Şekil 3.12'de görülen cihazlardan sırasıyla; üretim sonrası parça ölçü kontrolleri için MicroVu marka Vertex 251HC kodlu projeksiyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ayrıca her çevrimin parça ve yolluk gramajları ölçümü için Precisa XB220A hassas terazi, Snowrex EQ-1200 hassas terazi ve Delta FR terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Laboratuvar ölçümleri için projeksiyon ve hassas terazi cihazları

3.4. Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde kullanılan yöntemler ve detayları verilmiştir. Enjeksiyon prosesine etkileri incelenecek soğuk yolluk bloğu; dağıtım kanalları, nozul yapısı, soğutma yapısı nedeniyle HCR silikon ile çalışmaya uygundur. Öncelikle Şekil 3.1'de verilen çalışma planına göre kullanılacak HCR malzemenin üretim süreciyle çalışma başlatılmıştır. İkili mil sisteminde mekanik sürtünme ve karışım prensibine dayalı olarak kompound üretilmiştir. HCR silikon kompoundlar mekanik olarak kapalı mikserlerde veya ikili millerde karışım halinde hazırlanırlar. Kapalı mikserler karışım hacmine bağlı olarak yaklaşık 200-300 kg arasında miktarlarda büyük hacimli üretimler için kullanılırlar. Enjeksiyon preste kullanılacak malzeme miktarı için 25 kg yeterli olduğu için ikili mil yöntemiyle karışımı hazırlamak fizibilite olarak daha uygundur ve gereksiz fazla malzeme üretimi yapılmamış olur. Reçete oranlarına göre hazırlanan karışımın mekanik değerlerini doğrulamak için uluslararası silikon ve kauçuk malzemelere belirlenen standartlar çerçevesinde laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin yapılmasının sebebi proseste uygun kompoundu kullanmak ve olası uygunsuzlukları üretim denemeleri öncesinde tespit edebilmektir. Bu sayede üretimde problem ile karşılaşmadan önce malzeme hazırlık aşamasında sorunlara çözüm bulunabilir.

Soğuk yolluk blokları malzemenin prosesi sırasında dağıtım ve homojen akış, ön kürlenmeyi önleme, otomasyona uygunluk, ardışık çevrimlerde stabilite gibi kriterler için enjeksiyon yöntemine uygun tasarlanmışlardır. Bu açıdan CRB' nin en etkin incelenebileceği üretim yöntemi enjeksiyon kalıplama seçilmiştir. Silikon elastomerlerde CRB' nin enjeksiyon kalıplama haricinde diğer kalıplama yöntemlerinde efektif kullanımı yoktur. Açık nozul sisteminde akış kontrolü manuel olarak ayarlanabildiği için yapılacak enjeksiyon parametrelerindeki değişiklik ve CRB' nin nozullerinde yapılacak akış optimizasyonlarının etkisi çıkan ürünlerde daha net görülmektedir. Ayrıca incelemenin yapıldığı 24 gözlü kalıbın her 4 gözü CRB tarafından beslenmektedir. Kalıptaki her 4 gözün ortasına gelen malzeme, kalıpta bulunan sıcak yolluklar ile gözlere giriş yapmaktadır. Burada sıcak yolluklarda oluşan malzeme firelerinin de incelemesi yapılmıştır. Kalıpta bulunan sıcak yolluklarda oluşan malzeme firelerinin optimizasyon sağlanana kadar değişimi yapılan ölçümler ile belirlenmiştir.

3.4.1. HCR katı silikon kompound üretimi ve laboratuvar kontrolleri

Çalışmada üretimde kullanılacak 1336 kodlu HCR katı silikon kompound formülasyona göre Elkem Silicones MF 970 ve MF 940 HCR baz silikonlar, Peroxan DC 99 dikümil peroksit katalizör, M450 kuartz, DA 22 kalıp ayırıcı ve siyah toz pigment boya bileşenleri ile ikili açık mil sisteminde hamur karışımı şeklinde hazırlanmıştır. İkili mil sisteminin milleri içten soğuk su sirkülasyonu ile soğutmaya sahiptir. Soğutma suyu sıcaklığı 10°C olup millerin sıcaklığı stabil olarak 20°C'de tutulmaktadır. Karışımın hazırlanma sırasında millerin arasında kalan malzeme dönen millerde bir sürtünme oluşturur. Bu sürtünmeden kaynaklı oluşan ısı sebebiyle istenmeyen ön kürlenmeler oluşabilir ve karışım kullanılamaz hale gelebilir. Bu nedenle mil ile karışım hazırlama sistemlerinde millerin soğuk olması ve yüzeylerinin temiz, pürüzsüz olması önemlidir. HCR katı silikon karışımlarının homojen bir şekilde karışması belirli süreler almaktadır. Bu süreler hamur içeriği ve kullanılan malzemelere bağlı değişebilir. Milde karıştırma işlemleri; malzemelerin karışması, harmanlama ve homojenliği sağlamak için son karıştırma şeklinde sıralanabilir. 1336 karışımı, ilk 8 dakika malzemelerin karıştırılması, ikinci 10 dakika harmanlama ve son 5 dakika homojen karıştırma şeklinde 20 devir/dakika dönüş hızında 25 kg harman olacak şekilde hazırlanmıştır. Karışımı tamamlanan hamur enjeksiyon preste kullanılmak üzere ve dış kontaminasyonlara uğramaması için paketlendi. Şekil 3.13'te malzemenin karışım süreci ve bitmiş hali görülmektedir.

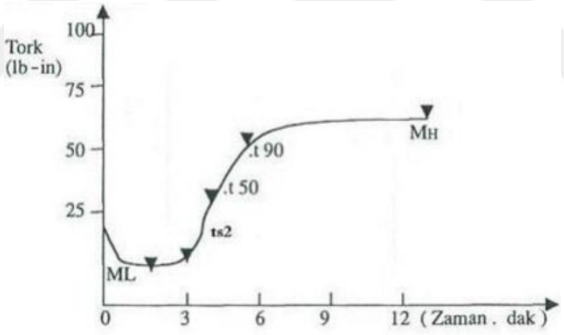


Şekil 3.13. 1336 kodlu kompound üretimi

Üretimi tamamlanan karışımın formülasyonda belirlenen mekanik değerleri sağladığını kontrol etmek için laboratuvar cihazlarında mekanik özellikleri ölçülmüştür.

Malzemenin öncelikle vulkanizasyon davranışı ve karakteristiğini analiz etmek için Gibitre Instruments Rheocheck Profile – MD reometrede reolojik ölçümleri yapıldı. Şekil 3.14'te tipik bir reometre eğrisi görülmektedir.

Reometrede bir malzeme devamlı bir şekilde artıp azalan gerinim belirli bir frekansta uygulanır ve en yüksek gerilim değeri ile gerinim ve gerilim arasındaki faz farklılığı ölçülür. Reometre ile test edilecek parça, pozitif bir basın., sürekli yüksek sıcaklık altında çift konik diski içeren test boşluğuna yerleştirilir. Boşluk kapanır ve disk salınım yapmaya başlar. Elastomer ve kauçuğun doygunluğuna bağlı olarak salınım için bir güce ihtiyaç duyar. Bu güç (tork) zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Kaydedilen tork bir denge ya da maksimum değere ulaştığında tamamlanmış bir eğri gözlenir. Vulkanizasyon eğrisi için gerekli olan zaman test sıcaklığı ve polimer özelliklerinin bir fonksiyonudur (Erefe, 2018).



Şekil 3.14. Tipik bir reometre eğrisi

M_L : Minimum tork değeri, karıştırma koşulları hakkında yorum yapılabilir.

M_H : Maksimum tork değeri, gerilme, kopma ve yırtılma gibi özellikler hakkında yorum yapılabilir.

t_{50} : Maksimum tork değerinin % 50' sine ulaşmak için geçen süre

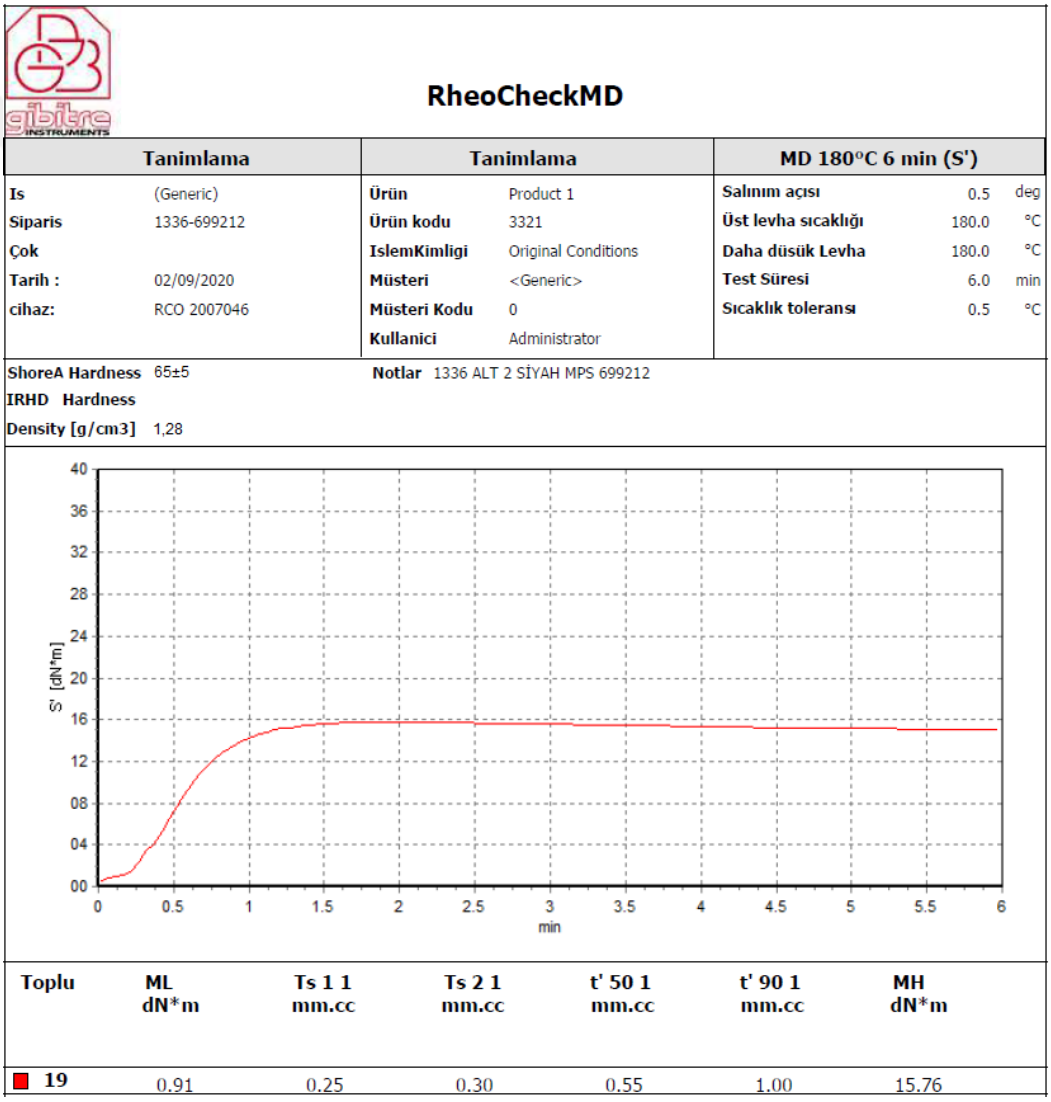
t_{90} : Maksimum tork değerinin % 90' ına ulaşmak için geçen süre

Δtork : Vulkanizasyon derecesini ifade etmektedir.

CRI : Kür hızı indeksi (Cure Rate Index)= 100 / (t90-t50) formülünden hesaplanmaktadır ve bu değer sayısal olarak büyüklüğü hızlı vulkanizasyon olarak yorumlanır (Erefe, 2018).

Şekil 3.15'te malzemenin reometre ölçümüne ait eğri görülmektedir.

Reometre eğrisine göre, minimum tork değeri 0,91 dN.m ve maksimum tork değeri 15,76 dN.m çıkmıştır. Maksimum tork değerine ulaşmak için geçen t_{90} süresi yaklaşık 1 dakika olduğu görülmüştür. Bu süre bize enjeksiyon proses şartlarının, parça hacim ve et kalınlıklarına göre optimize edilmesinde bilgi vermektedir. Sıcaklık olarak 180°C ile 190°C aralığında ve çevrim süresi olarak 60 saniye ile 90 saniye aralığında denemeler yapılmasına karar verilmiştir. 1,5 dakika sonra torkun sabitlenmesinden anlaşılacağı üzere vulkanizasyonun tamamlandığı görülmektedir. Bu neden 60 saniye ile 90 saniye arasında proses denemeleri yapılmıştır.



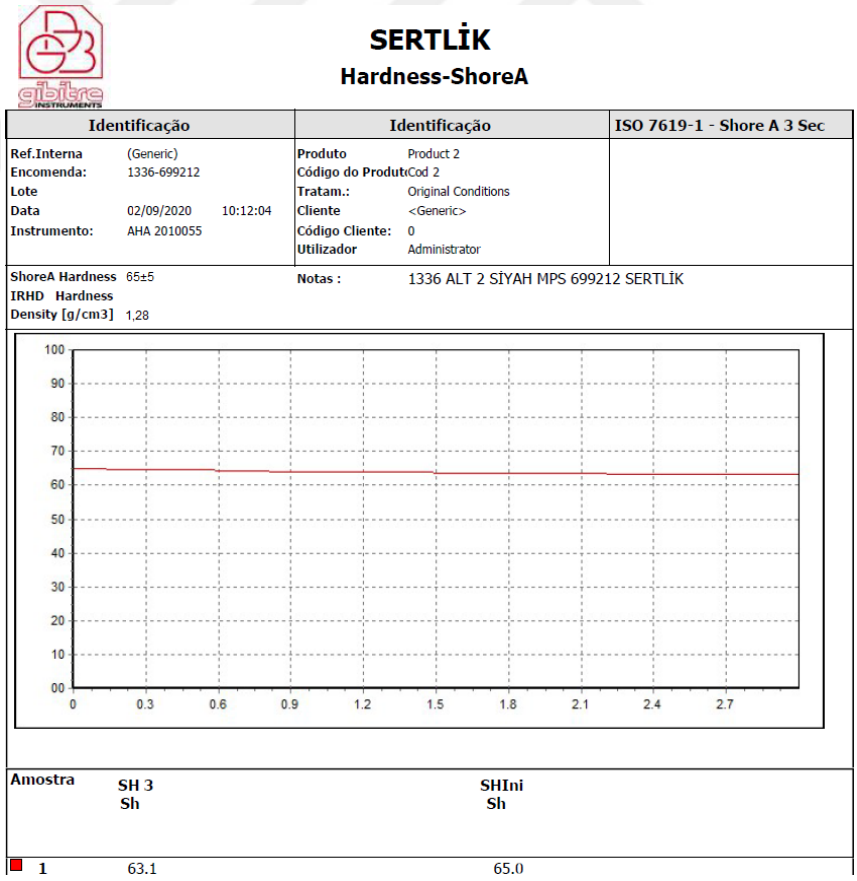
Şekil 3.15. Malzemenin reometre eğrisi

Malzemenin reçete aşamasında belirlenen Tablo 3.3'te bulunan mekanik özelliklerini doğrulamak için mekanik testler yapılmıştır.

Tablo 3.3. 1336 kompound mekanik özellikler

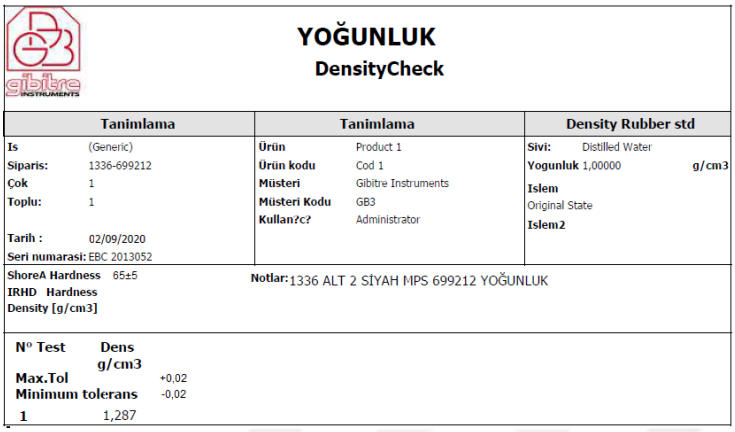
Özellik	Test Standardı	Değer	Tolerans
Yoğunluk (g/cm³)	ISO 2781	1,28	±0,02
Sertlik (Shore A)	ISO 868	65	±5
Kopma mukavameti (MPa)	DIN 53504 S2	7	±2
Uzama (%)	DIN 53504 S2	360	±100
Yırtılma mukavameti (N/mm)	ASTM D 624 B	17	±2
Sürekli çalışma sıcaklık aralığı (°C)		180-200	

Şekil 3.16'da malzemenin sertlik ölçümü bulunmaktadır, ISO 868 (7619) standardına göre cihazın ölçüm iğnesinin 6mm test plakası üzerine batırılarak yapılan ölçüm tablodaki mekanik özelliklere göre uygundur.



Şekil 3.16. Sertlik ölçümü

Şekil 3.17'de ISO 2781'e göre saf su dolu bir kaba test numunesinin daldırılarak, kap içerisindeki sıvıyı kendi hacmi kadar artırdığı oranda malzemenin yoğunluğunun ölçüldüğü test sonuçlarına göre belirlenen değerlere uygundur.



YOĞUNLUK
DensityCheck

Tanimlama		Tanimlama		Density Rubber std	
Is	(Generic)	Ürün	Product 1	Sivi:	Distilled Water
Siparis:	1336-699212	Ürün kodu	Cod 1	Yogunluk	1,00000 g/cm3
Çok	1	Müsteri	Gibitre Instruments	Islem	Original State
Toplu:	1	Müsteri Kodu	GB3	Islem2	
Tarih :	02/09/2020	Kullan?c?	Administrator		
Seri numarasi:	EBC 2013052				

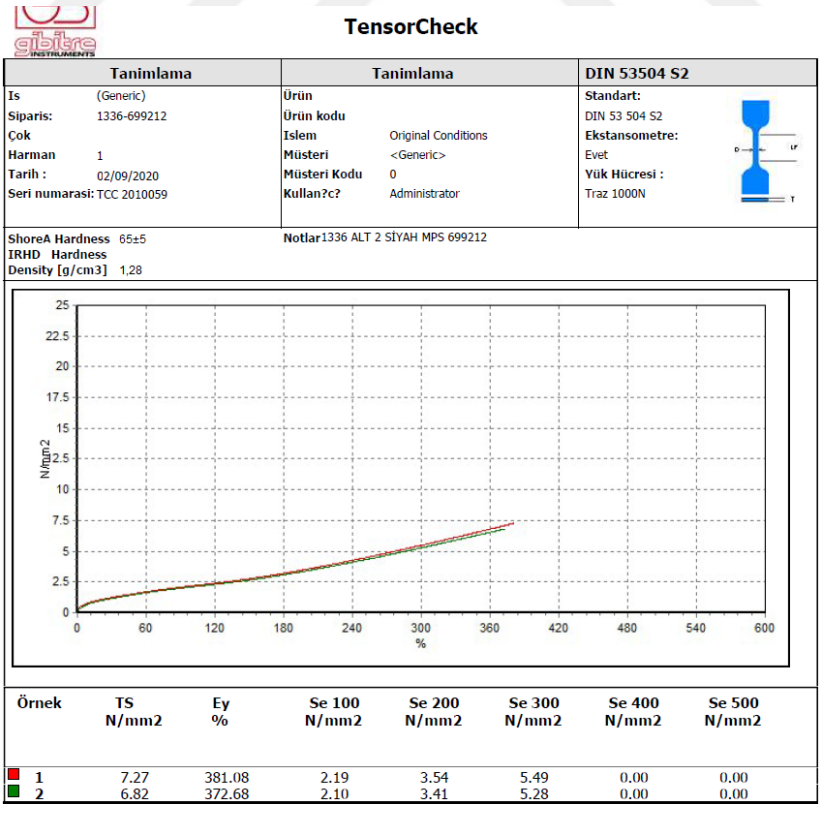
ShoreA Hardness 65±5
IRHD Hardness
Density [g/cm3]

Notlar: 1336 ALT 2 SİYAH MPS 699212 YOĞUNLUK

N° Test	Dens g/cm3
Max.Tol	+0,02
Minimum tolerans	-0,02
1	1,287

Şekil 3.17. Yoğunluk ölçümü

Şekil 3.18'de Gibitre Instruments TensorCheck mekanik test cihazı ile malzemenin kopma mukavemeti, kopmada uzama değerleri ölçülmüştür. Şeklin sağ üstünde görülen S2 tipinde bir numune standardın verdiği ölçülere göre 2mm test plakasından kesilir ve cihazının çenelerine bağlanır. Test numunesinin çekme kuvvetine bağlı boyun vermesi ile %uzama ve çekme mukavemeti grafiği elde edilir.



TensorCheck

Tanimlama		Tanimlama		DIN 53504 S2
Is	(Generic)	Ürün		Standart:
Siparis:	1336-699212	Ürün kodu		DIN 53 504 S2
Çok		Islem	Original Conditions	Ekstansometre:
Harman	1	Müsteri	<Generic>	Evet
Tarih :	02/09/2020	Müsteri Kodu	0	Yük Hücresi :
Seri numarasi:	TCC 2010059	Kullan?c?	Administrator	Traz 1000N

ShoreA Hardness 65±5
IRHD Hardness
Density [g/cm3] 1,28

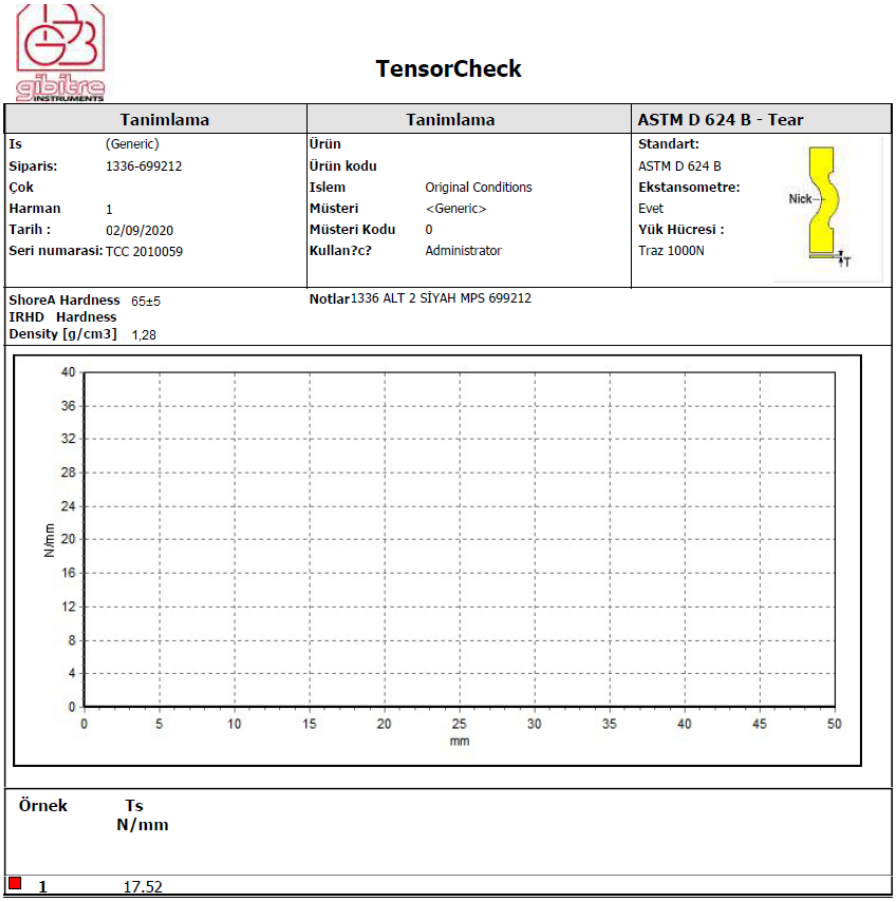
Notlar 1336 ALT 2 SİYAH MPS 699212

Örnek	TS N/mm2	Ey %	Se 100 N/mm2	Se 200 N/mm2	Se 300 N/mm2	Se 400 N/mm2	Se 500 N/mm2
1	7.27	381.08	2.19	3.54	5.49	0.00	0.00
2	6.82	372.68	2.10	3.41	5.28	0.00	0.00

Şekil 3.18. Çekme testi

DIN 53504 standardına göre S2 tip test numunesi ile yapılan çekme testinde çıkan kopma mukavemeti ve kopmada uzama değerleri mekanik özelliklere göre uygun bulunmuştur.

Şekil 3.19'de ASTM D624 standardı B tip test numunesi ile yapılan yırtılma mukavemeti testi sonuçları görülmektedir. Şeklin sağ üstünde görülen tipte bir numune standardın verdiği ölçülere göre 2mm test plakasından kesilir ve çekme cihazının çenelerine bağlanır. Test numunesinde bulunan çentik formunun yırtılma davranışı gösterdiği kısma kadar numune çekilerek kuvvete bağlı uzama grafiği elde edilir.



Şekil 3.19. Yırtılma testi

Aynı mekanik test cihazında yapılan yırtılma testi sonuçları malzeme mekanik değerlerine uygundur.

Reometre ile vulkanizasyon davranışı ve diğer cihazlar ile mekanik özellikleri kontrol edilen 1336 silikon kompound üretimde kullanılmaya hazırdır. 25 kg üretim harmanından numuneler alınarak yapılan kontrollerin sonuçları istenilen aralıklarda ve uygun bulunmuştur.

3.4.2. Enjeksiyon kalıplama ile üretim ve proses optimizasyonu

Üretimi tamamlanan silikon kompound ile Şekil 3.20'de görülen Engel VC330/120 marka yatay silikon enjeksiyon preste üretim çalışmaları yapılmıştır. Enjeksiyon prese bağlı, 24 gözlü 3 plakalı bir enjeksiyon kalıbında üretim ve proses optimizasyonu yapılmıştır. Silikon kompound, Şekil 3.21'de görülen akış kontrol ayarlı 6 adet nozule sahip, su soğutmalı, açık nozul sistemli ve kendi ısıtıcı plakası olan bir soğuk yolluk bloğu üzerinden kalıba beslenmiştir.

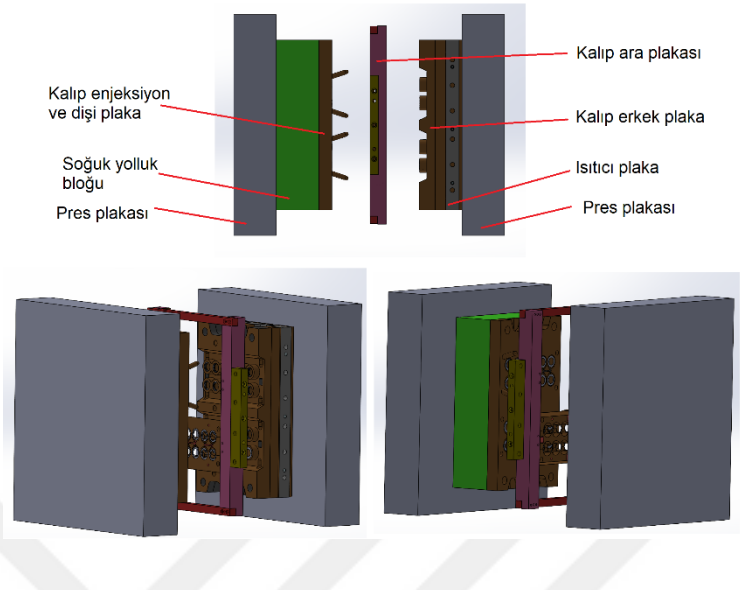


Şekil 3.20. Engel VC330/120 yatay silikon enjeksiyon pres



Şekil 3.21. Soğuk yolluk bloğu ve nozul

Üretim çalışmalarının yapıldığı pres, soğuk yolluk bloğu ve kalıptan oluşan sistemin şematik olarak düzeni Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



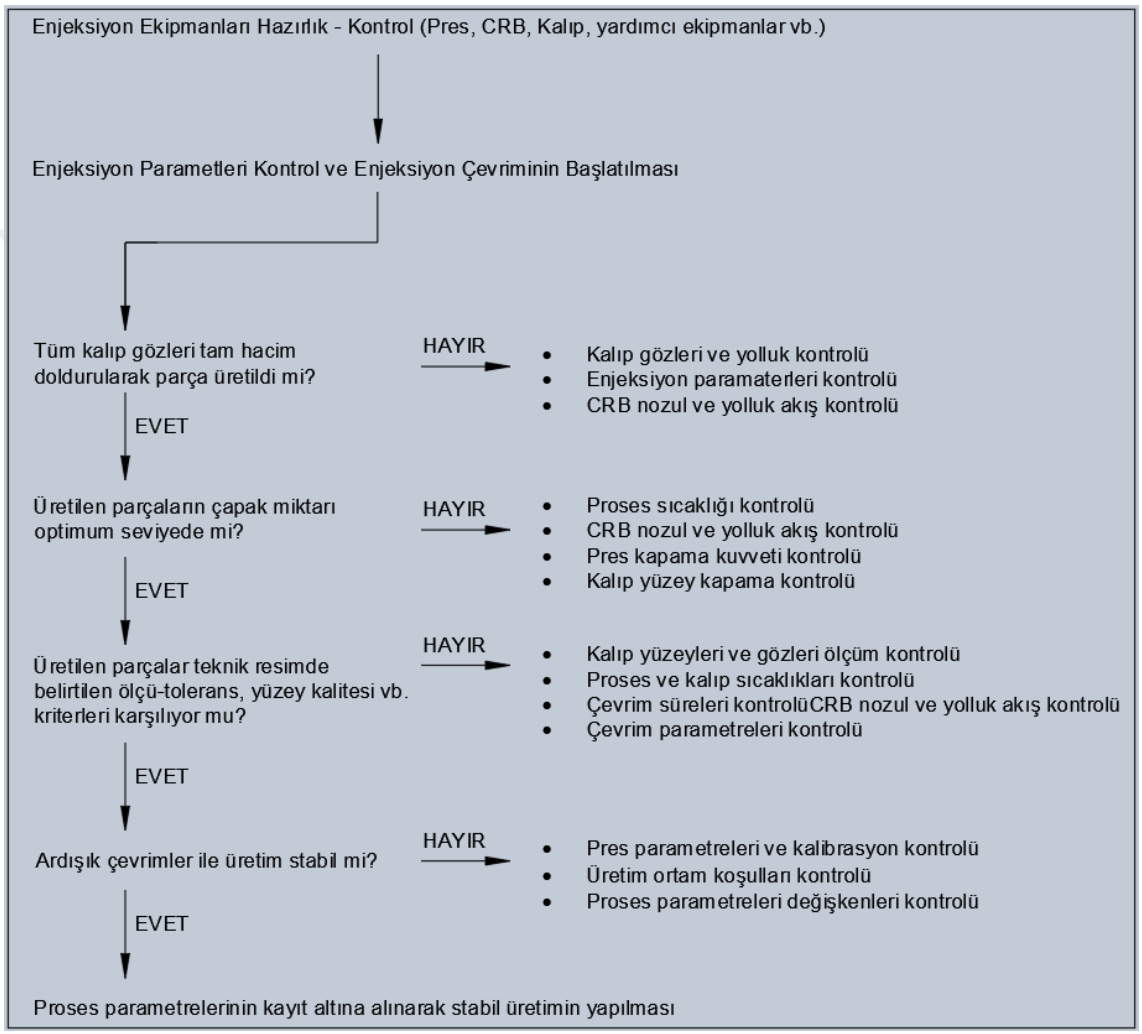
Şekil 3.22. Çalışmanın yapıldığı sistemin temel düzeni

Enjeksiyon prese öncelikle CRB, daha sonra CRB üzerine kalıp montajı yapılmıştır. Şekil 3.23'te prese bağlama işlemleri tamamlanan ekipmanlar görülmektedir.



Şekil 3.23. Montaj işlemleri tamamlanan CRB ve kalıp

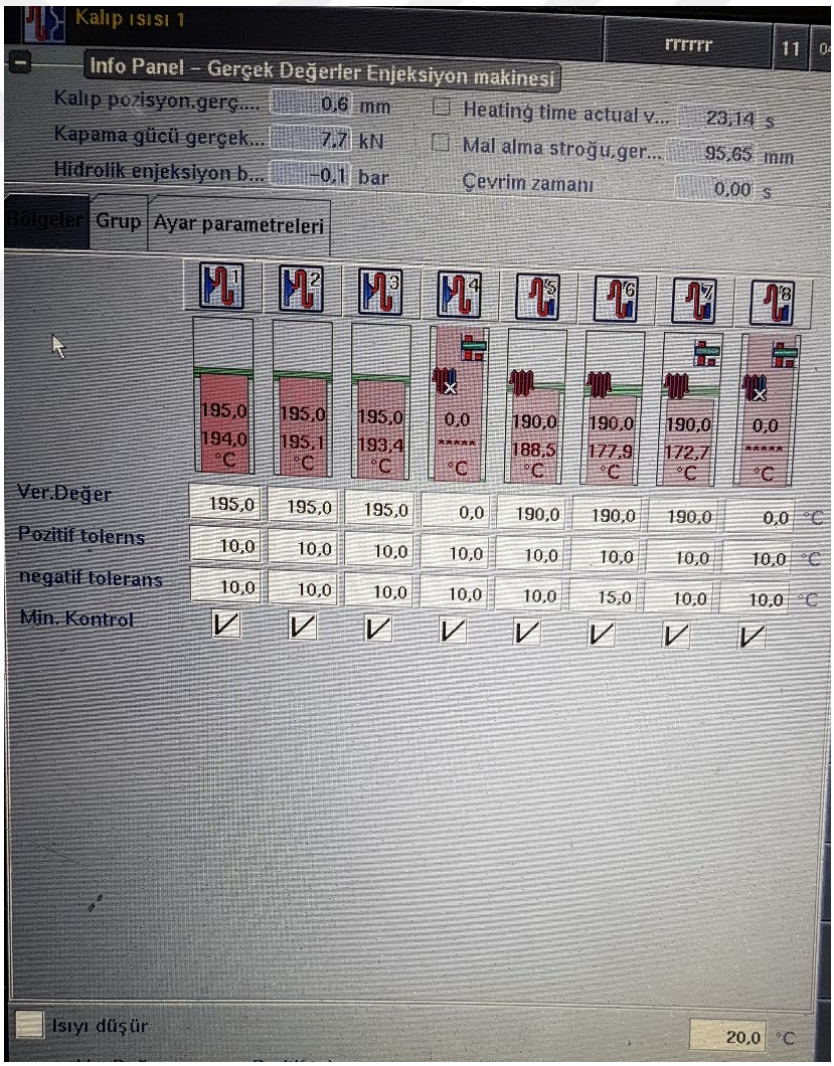
Malzeme ve ekipman kontrol kısımları tamamlanan çalışmanın üretim aşamaları, Şekil 3.24'te gösterilen iş akış şemasına göre ilerlemiştir. İş akış şemasında da görüleceği üzere üretim aşamaları kontrol adımlarından oluşmaktadır. Her adımda yapılan kontrollerin çıktısı bir sonraki adımın girdisi olarak üretim aşamalarına devam edilmiştir. Proses optimizasyonunun sağlanmasında bu iş akışına göre adımların uygulanması üretim denemeleri açısından önemlidir.



Şekil 3.24. Enjeksiyon üretim denemeleri için iş akış şeması

İş akış şemasına göre üretim esnasında çevrim süreleri ve çevrimlerin stabilitesi üretilen parçalar üzerinden kontrol edilmiştir. Üretilen parçalardan numuneler alınarak laboratuvarda parça teknik ölçümleri ve kütle ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlere karşılaştırmalı olarak "Bölüm 4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma" kısmında yer verilmiştir.

Üretim için kalıbın istenilen proses sıcaklığına gelmesini sağlamak üzere ısıtıcı plaka sıcaklıkları ayarlanmıştır. Malzemenin reometre ölçümleri ile de vulkanizasyon davranışı incelenmişti, bu doğrultuda enjeksiyon ünitesi tarafına bağlı kalıp sıcaklığı 195°C ve hareketli plaka tarafına bağlı kalıp sıcaklığı 190°C olarak ayarlanarak kalıp ısıtılmaya başlanmıştır. Enjeksiyon tarafındaki kalıp plakası CRB üzerine bağlı olduğundan sıcaklığın kalıp plakasına homojen dağıtılması için bu taraftaki sıcaklık daha yüksek ayarlanmıştır. Şekil 3.25'te pres sıcaklık ayarları görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.25'te ayarlanan sıcaklık değerleri ile yapılacak olan üretim denemelerinde reometre eğrisinde yorumlanan kürlenme davranışının doğrulaması da yapılmıştır. Reometre ölçümlerine göre uygun proses sıcaklık şartlarının sağlanıp sağlanmadığı yapılandırılmıştır.

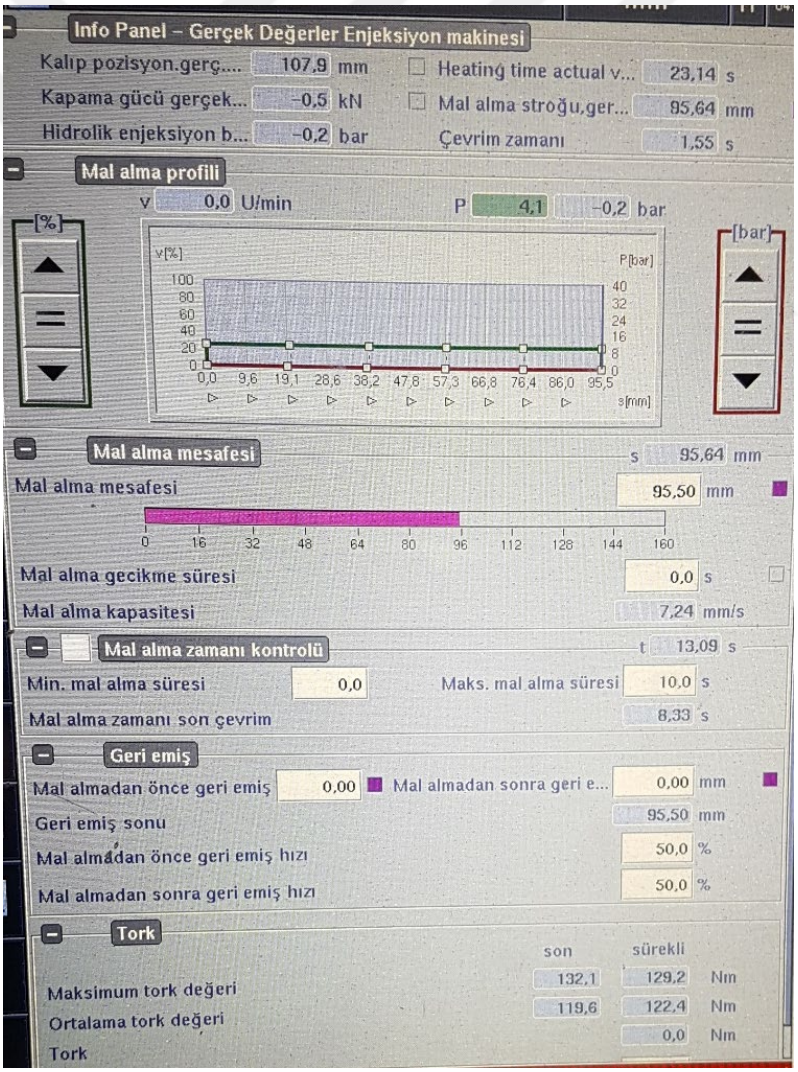


Şekil 3.25. Pres sıcaklık ayarları

Parçanın kalıptaki göz hacmi, kalıp yolluk hacimlerine göre enjeksiyon parametreleri ayarlanmıştır. Enjeksiyon parametreleri Tablo 3.4'te ve Şekil 3.26'da bulunmaktadır.

Tablo 3.4. Enjeksiyon parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Kapama Kuvveti	kN	1212
Enjeksiyon Hacmi	cm^3	75,5
Enjeksiyon Vida Hareket Mesafesi	mm	95,5
Enjeksiyon Basıncı	bar	60
Vidaya Malzeme Alma Süresi	sn	10
Enjeksiyon Süresi	sn	12
Vulkanizasyon Süresi	sn	70



Şekil 3.26. Enjeksiyon parametreleri

Enjeksiyon süreleri, vulkanizasyon süreleri ve pres hareketleri ile geçen süreler göz önüne alındığında toplam çevrim süresi 97 saniye olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu çevrim süresi içerisinde presin enjeksiyon hareketleri, kalıp açma kapatma süreleri ve parçayı çıkarmak için hareket eden orta maça sisteminin hareket süreleri de dahildir. Tablo 3.4'te verilen parametreler ve bu süreler ile 4 çevrim tamamlanmış olup çıkan ürünlerin durumu kontrol edilmiştir. Şekil 3.27'de verilen CRB nozul sıralamalarına göre kalıp gözlerinden çıkan parçaların durumları görülmektedir. 2 – 3 – 6 nolu nozullerin beslediği gözlerin bazılarında eksik malzeme ve kalıp göz hacminin tam olarak dolmadığı görülmüştür. 4 nolu nozulun beslediği kalıp gözlerinde ise parça çapak miktarının istenen seviyenin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Burada nozuller arasında malzeme akışında homojen rejimin yakalanmadığı görülmüştür. Enjeksiyon parametrelerinde ve nozullerin malzeme akışında bir parametre değişikliği yapılmıştır. Yapılan parametre değişiklikleri ile üretim denemelerine devam edilmiştir. Yapılan değişikliklerin etkisi aynı şekilde çıkan numuneler üzerinden nozul referanslarına göre kontrol edilmiştir.



Şekil 3.27. İlk çevrimlerde üretilen parçalar

İlk 4 çevrimde benzer şekilde eksik malzeme, kalıp göz hacminin tam dolmaması ve aşırı çapak gibi sorunlarla karşılaşıldığı için CRB'nin 1 ve 4 nolu nozullerinin malzeme akışı azaltılarak 3 ve 6 nolu nozullerin malzeme akışı artırılmıştır. Ayrıca Tablo 3.4'te verilen enjeksiyon parametrelerinden, vidanın mal alma mesafesi 93,2mm'ye dolayısıyla enjeksiyon hacmi 73,7 cm^3 olarak kalıba verilen malzeme miktarı düşürülmüştür diğer parametreler aynı bırakılmıştır. Bu parametreler ile çapak miktarının azaltıldığı ve eksik malzemeli gözlerin olmadığı durumu elde etmek için Şekil 3.28'de görülen 4 çevrim daha üretim yapılmıştır. Ardışık çevrimler sonrası 2 – 3 nolu nozullerin beslediği gözlerin tam olarak doldurulduğu, 4 nolu nozulun çapak miktarının azaldığı ve 6 nolu nozul etrafındaki gözlerde aynı şekilde eksik malzemeli gözlerin olduğu tespit edilmiştir.



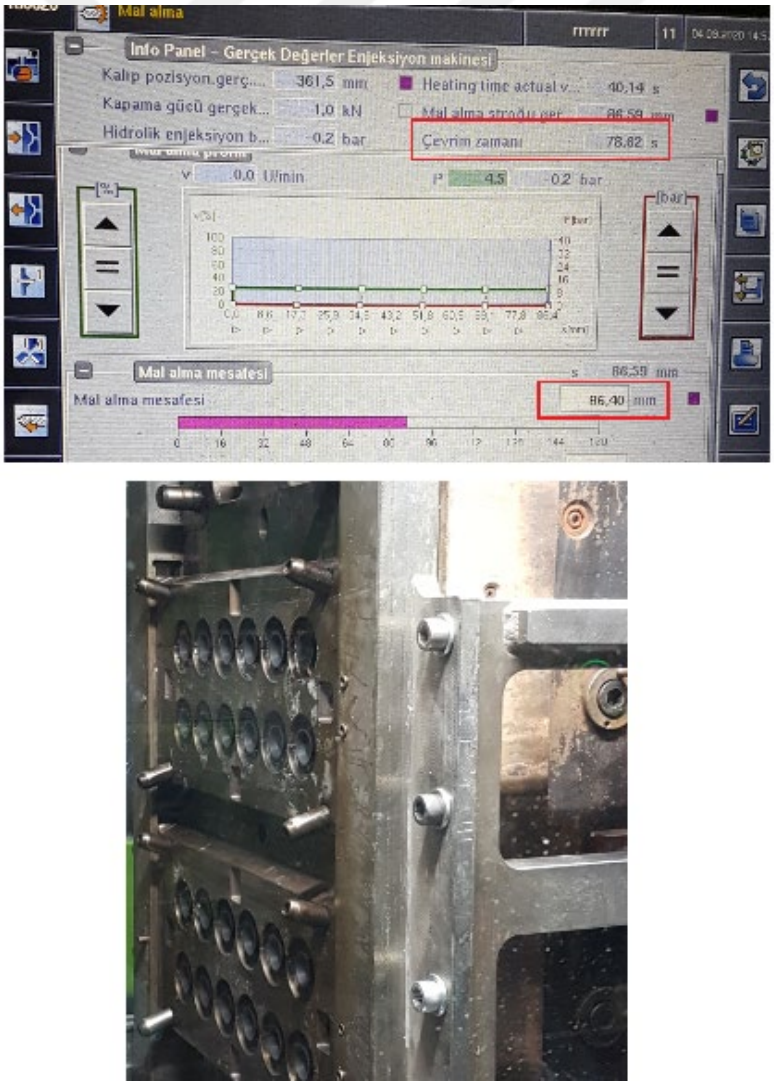
Şekil 3.28. Parametre değişikliği sonrası üretilen parçalar

İlk 8 çevrim sonunda 4 nolu nozul etrafında çapak miktarının hala istenen düzeyin üzerinde olduğu ve 6 nolu nozul etrafında eksik malzemeli gözlerin bulunduğu görülmüştür. 4 nolu nozule giden fazla malzemeyi 6 nolu nozul etrafındaki gözlere yönlendirmek için 4. nozulun malzeme akışı azaltılmıştır. Yönlendirilen malzemenin diğer nozullerin akışını bozmaması için enjeksiyon vidasının mesafesi 87,2mm ve enjeksiyon hacmi 68,95 cm³ olarak azaltılmıştır. Diğer parametreler aynı kalacak şekilde yapılan 4 çevrim sonrasında Şekil 3.29'da görüldüğü üzere kalıp gözlerinin tam olarak doldurulduğu ve eksik malzemeli parçaların olmadığı görülmüştür. Parça çapak miktarları da azaltılarak homojen bir dağılım elde edilmiştir.



Şekil 3.29. İkinci parametre değişikliği sonrası üretilen parçalar

CRB ve enjeksiyon ünitesinin parametre ayarları ile proses mümkün olabildiğince kararlı hale getirilmiştir. Ancak prosesin son sınırlarını ve daha az malzeme firesinin elde edilebileceği üretim çevrimlerini sağlamak için enjeksiyon parametrelerinde son parametre değişiklikleri denenmiştir. Şekil 3.29'da görüldüğü üzere CRB'nin nozul malzeme akış ayarları denge konumundadır. Tüm kalıp gözlerinde parça geometrileri ve çapak miktarları olabildiğince yakın düzeydedir. Bu aşamadan sonra enjeksiyon miktarı kademeli olarak azaltılarak kalıp gözlerinde çapak miktarının azaldığı ve hatasız ürünlerin çıktığı çevrim elde edilmeye çalışılmıştır. Denemeler sonrası Şekil 3.30'da görüldüğü üzere enjeksiyon vidasının hareket mesafesinin 86,4mm, enjeksiyon hacminin 68,3 cm³olduğu parametreler ve bu parametrelerin etkilediği enjeksiyon süresi ve mal alma süresinin düşürüldüğü durum ile prosesin sınır değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.30. Son parametreler ile üretim

Tablo 3.5'te sınır değerleri elde edilen prosesin son parametreleri görülmektedir.

Tablo 3.5. Sınır enjeksiyon parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Kapama Kuvveti	kN	1212
Enjeksiyon Hacmi	cm^3	68,3
Enjeksiyon Vida Hareket Mesafesi	mm	86,4
Enjeksiyon Basıncı	bar	60
Vidaya Malzeme Alma Süresi	sn	6,2
Enjeksiyon Süresi	sn	8,4
Vulkanizasyon Süresi	sn	61
Toplam Çevrim Süresi	sn	78,6

Şekil 3.31'de son parametreler ile üretilen parçalar görülmektedir. 6 nozulun beslediği 4'lü kalıp gözlerinden çıkan parçaların yolluk ve kalıp ayrım çapakları olabildiğince benzer yapıda elde edilmiştir. Bu parametrelerin de altına inildiğinde kalıp gözlerinde eksik parçalar ve CRB'nin malzeme akışında dengenin bozulduğu görüldüğü için bu parametreler stabil üretimin devam ettiği sınır parametreler olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.31. Son parametreler ile üretilen parçalar

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33' te parçaların yollukları ve çapakları temizlenmiş haline üretim aşamasında yaklaşıldığı görülmektedir. Burada CRB'nin homojen malzeme akışı prosesi kararlı hale getirerek mümkün olan en az çapak ve fireli üretime imkân sağlamaktadır. Kalıp parça geometrisi ve tasarımı gereği her 4 göz arasında yolluk bulundursa dahi üretim aşamalarında yolluk ve kalıp ayrım çapakları en az miktara indirgenmiştir.



Şekil 3.32. Son parametreler ile üretilen parçaların yolluk ve çapak fireleri



Şekil 3.33. Kalıptan çıkan parça ve temizlenmiş final parça

BÖLÜM 4 . DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Üretilen Parçaların Kütle ve Çevrim Süresi Ölçümleri

Enjeksiyon yöntemi ile üretimde CRB'nin etkinliğini tespit edebilmek için üretilen parçaların kütle ölçümleri yapılmıştır ve çevrim süreleri belirlenmiştir. Belirli parametrelerin değişikliği ile optimum sınır değerler elde edilene kadar yapılan üretim optimizasyonunda, iyileştirilen malzeme fireleri ve çapak oranları parça üzerinden kütle ölçümleri yapılarak tespit edilmiştir.

Parçaların kütle ölçümlerinin değerlendirme yöntemi Şekil 4.1'de açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Parça kütle ölçümleri yöntemi

Şekil 4.1'de belirtilen yönteme göre;

- m_4, CRB'nin 1 nozul ile beslediği 4 kalıp gözünden alınan numunelerin yolluk ve çapak dahil kütlesi hassas terazi ile ölçülmüştür.
- m_p, çevrimlerden alınan numunelerin temizleme prosesi sonrası final parça olarak kütlesi hassas terazi ile ölçülmüştür. Tam olarak üretilmiş parçaların kütlesi kalıp gözleri aynı olduğu için m_p 3,26 gram olarak sabit alınmıştır.
- m_1, çevrimlerden alınan numunelerin yolluklarının olmadığı sadece parça ve çapağın bulunduğu durum için kütle hassas terazi ile ölçülmüştür.
- m_t, tüm kalıp gözlerinin yolluk ve çapak dahil kütlesi denklem 4.1,
- m_y, kalıbın 4'lü grup gözlerine malzeme ileten yollukların kütlesi denklem 4.2,
- $m_ç$, bir parçanın üretim sonrası üzerinde kalan çapak miktarının kütlesi denklem 4.3'e göre hesaplanmıştır.

$$m_t = m_4 . 6 \tag{4.1}$$

$$m_y = m_4 - (m_1 . 4) \tag{4.2}$$

$$m_ç = m_1 - m_p \tag{4.3}$$

Henüz kararlı durumun elde edilmediği ilk 4 çevrim için hassas terazi ile yapılan ortalama kütle ölçümleri Şekil 4.2'de görülmektedir. 4'lü grup kalıp gözünden çıkan parçaların m_4 kütlesi 16,1 gr, tek parçanın çapaklı hali için kütle m_1 3,56 gr olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2. İlk çevrimler için ortalama kütle ölçümleri

İlk 4 çevrimin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri Tablo 4.1'de verilmiştir. İlk parametreler ile yapılan üretimlerden alınan numunelerin laboratuvarda kütle ölçümleri yapıldığında proses optimizasyonuna kadar elde edilen değişim için referans noktası belirlenmiştir.

Tablo 4.1. İlk çevrimlerin kütle ve çevrim süresi ölçümleri

Parametre	m_4	m_1	m_t	m_y	$m_ç$	m_p
Kütle (gr)	16,1	3,56	96,6	1,86	0,3	3,26
Toplam çevrim süresi (sn)				97		

Enjeksiyon ve CRB parametrelerinin optimizasyon sağlamak için değiştirilerek üretime devam edildiği ikinci 4 çevrimin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri Şekil 4.3 ve Tablo 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.3. İkinci çevrimler için ortalama kütle ölçümleri

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere çevrim süresinde düşüş elde edilmiştir. Ayrıca bir parçanın üzerinde bulunan çapak kütlesinde azalma görülmüştür. Dolaylı olarak parça haricinde fireye giden toplam çapak kütlesinde azalma görülmektedir.

Tablo 4.2. İkinci çevrimlerin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri

Parametre	m_4	m_1	m_t	m_y	$m_ç$	m_p
Kütle (gr)	15,94	3,49	95,64	1,98	0,23	3,26
Toplam çevrim süresi (sn)				92		

Enjeksiyon ve CRB parametrelerinin sınır proses değerlerine ulaşmak ve iyileştirme sağlanması için değiştirildiği üçüncü çevrimlere ait numunelerin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri Şekil 4.4 ve Tablo 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Üçüncü çevrimler için ortalama kütle ölçümleri

Tablo 4.3'te görüldüğü üzere üçüncü çevrimlerde çevrim süresinde başlangıca göre 13 saniye iyileştirme elde edilmiştir. Ayrıca başlangıç parametreleriyle alınan numuneler bir parçada bulunan çapak firesi 0,3 gram iken optimizasyona doğru ilerlemede üçüncü çevrimlerde bu kütle 0,13 gram olarak ölçülmüştür. Burada dikkat çeken diğer bir kütle ise kalıbın 4 adet gözünü besleyen m_y (yolluk kütlesi) 'dir. Malzeme akışı daha net bir rejime yaklaştığı için yolluklarda olması gerektiği gibi kütle artışı görülmüştür. Bu durum optimum parametrelere doğru ilerlendiğini göstermiştir. Kalıpta bulunan sıcak yolluklarda kalan malzemenin kütlesi tekrar çevrimlerde kararlı olarak devam etmesi istenen rejime yaklaşıldığını göstermektedir.

Tablo 4.3. Üçüncü çevrimlerin ortalama kütle ve çevrim süresi ölçümleri

Parametre	m_4	m_1	m_t	m_y	$m_ç$	m_p
Kütle (gr)	15,8	3,39	94,8	2,24	0,13	3,26
Toplam çevrim süresi (sn)				84		

Optimum proses değerlerinin elde edildiği son denemeler sonrasında çıkan parçalardan alınan numunelerin ortalama kütle ölçümleri Şekil 4.5'te görülmektedir. Ayrıca ideal çevrim zamanı ve diğer kütle ölçümleri de Tablo 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Son ideal çevrimler için ortalama kütle ölçümleri

Tablo 4.4'te görüldüğü üzere proses optimizasyonunun sağlandığı son çevrimlerde çevrim süresinde başlangıca göre 18,4 saniye iyileştirme elde edilmiştir. Ayrıca başlangıç parametreleriyle alınan numunelerde bir parçada bulunan çapak firesi 0,3 gram iken optimum parametrelerde bu kütle 0,09 grama kadar düşürülmüştür. Kalıp sıcak yolluklarında kalan malzeme firesinin 2,24 gram olarak bir önceki çevrim ile aynı tekrar etmesi optimum çevrim parametrelerinin elde edildiğini göstermiştir.

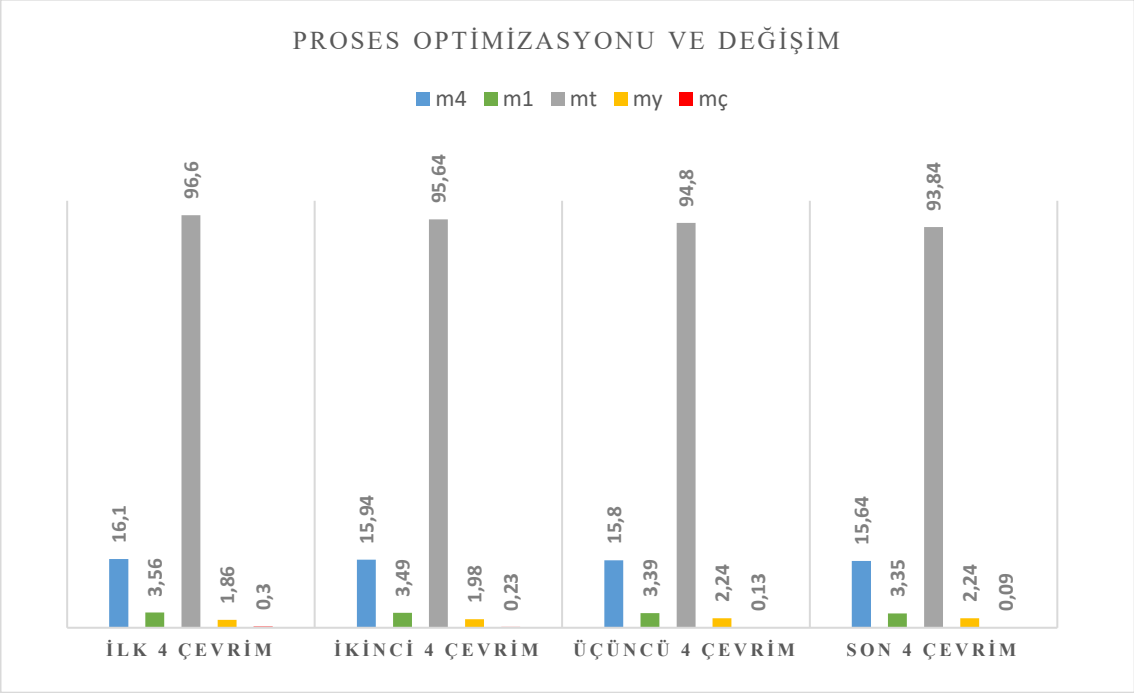
Tablo 4.4. Son üretilen parçaların ortalama kütle ölçümleri ve çevrim süresi

Parametre	m_4	m_1	m_t	m_y	$m_ç$	m_p
Kütle (gr)	15,64	3,35	93,84	2,24	0,09	3,26
Toplam çevrim süresi (sn)			78,6			

4.2. Çalışma Çıktılarının Değerlendirilmesi

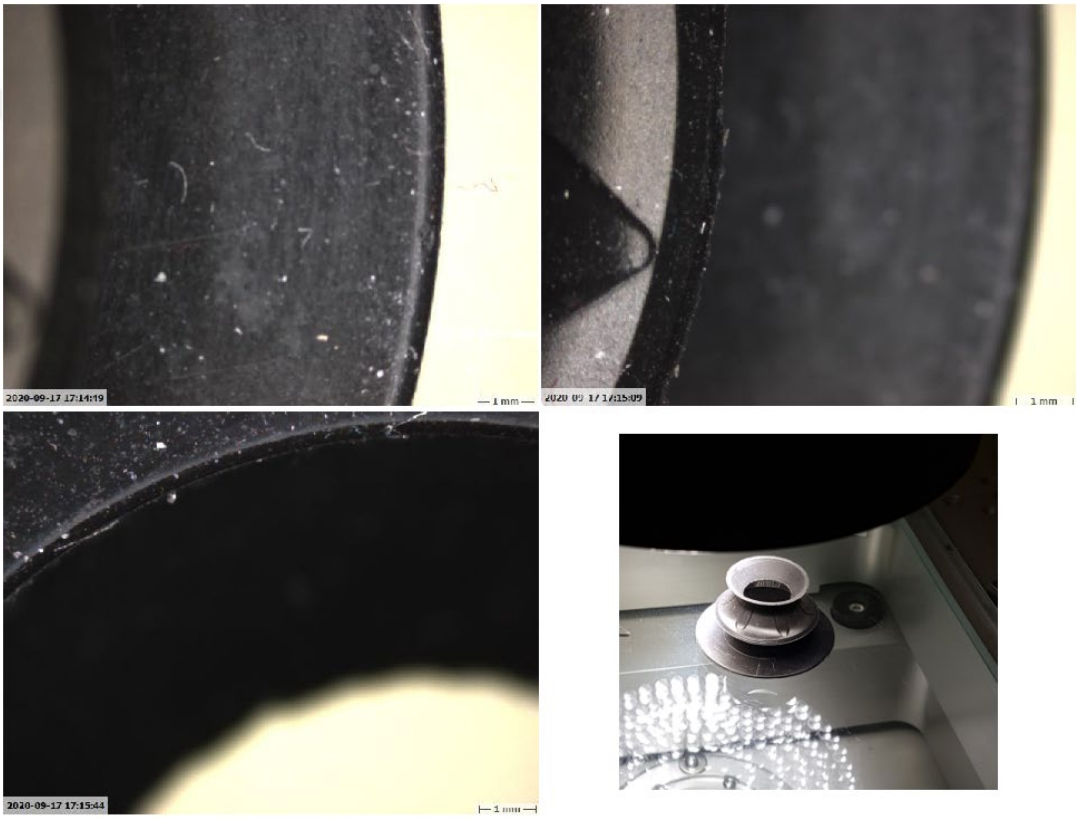
Ortalama 16 çevrim sonrasında Şekil 4.6'da verilen kütle ölçümleri ve çevrim süreleri değerlendirildiğinde;

- m_4, 4'lü grup kalıp gözünden çıkan parçaların yolluk ve çapaklarının dahil olduğu kütle ölçümlerinde azalma eğilimi görülmüştür.
- m_1, parçanın çapaklı halinin kütlesinde azalma görülmüştür, bunun en önemli nedeni parça üzerinde bulunan çapak miktarındaki ciddi azalmadır.
- m_t, tüm kalıp gözlerinden alınan parçaların toplam kütlesi ölçüldüğünde çapağa giden firenin azalması nedeniyle düşüş gözlemlenmiştir.
- m_y, 4'lü kalıp gözlerini besleyen yollukların kütlesi başlangıca göre artış gösterip daha sonra proses ideal rejimine ulaştığında sabitlenmiştir. CRB nozulunden malzemenin kalıba ilk giriş yaptığı nokta yollukların orta noktasıdır. Yolluk kütlelerinin sabitlenmesi CRB'den gelen homojen malzeme akışını göstermektedir. Bu durum çapağa giden malzemenin, asıl olması gerektiği yer olan yolluklar üzerine yönlenerek kalıp gözlerine ilerlediğini göstermektedir.
- $m_ç$, çapak kütlesinin düşmesi en önemli iyileştirmenin sağlandığı kısımdır. Malzemenin katma değer olarak ürüne dönüştüğü görülmüştür.



Şekil 4.6. Proses optimizasyonu ve kütle değişimleri

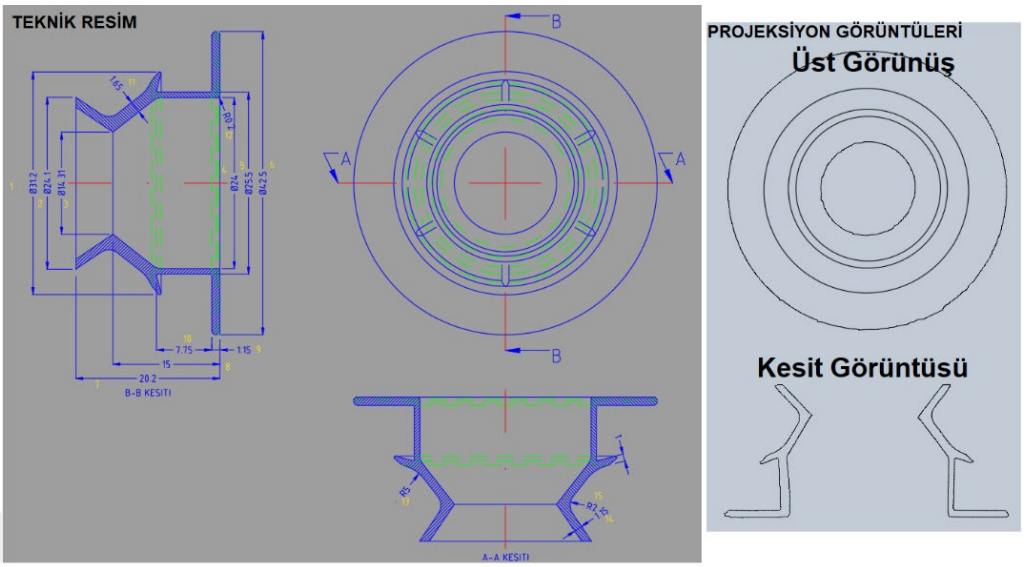
Son proses şartlarında üretilen parçalarında teknik resim ölçülerine uygunluğuna bakılmıştır. Optik projeksiyon ölçüm cihazında 2 mikron (0,002mm) hassasiyet ile teknik ölçüleri kontrol edilmiştir. Üretilen parçaların geometri koşullarına bağlı olarak 15 farklı noktadan ölçüsü bulunmaktadır. 24 gözlü kalıbın tüm gözlerinden çıkan parçaların ölçümlerinin istenilen toleranslar içerisinde olduğu belirlenmiştir ve uygunluğuna karar verilmiştir. Şekil 4.7'de son numunelerin ölçümlerine ait projeksiyon görüntüleri görülmektedir. Elastomer parçalarda kuvvet veya temas malzemenin elastikiyetinden dolayı form değişikliği oluşturacağı için bu tip parçalar temas olmadan optik cihazlar ile daha doğru bir şekilde ölçülmektedir.



Şekil 4.7. Ölçümleri yapılan numunelerin projeksiyon görüntüleri

Şekil 4.8'de görüleceği üzere soğuk yolluk bloğunun sağladığı avantajlardan birisi de kararlı ardışık çevrimlere bağlı olarak parça kalitesinin stabil olmasıdır. Malzemenin her baskıda aynı sürede ve aynı oranda kalıp gözlerine dolması ve çekme oranlarının eşitlenmesi ile gözler arası farklılıklar elimine edilebilmektedir. Bu sayede kalıbın her gözünden aynı geometride parça alınması mümkündür. Soğuk yolluk bloğu bu sayede ölçü hataları kaynaklı parça firelerinin önüne geçilmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.8'de tüm kalıp gözlerinden, 24 gözden çıkan parçaların ölçümleri görülmektedir.

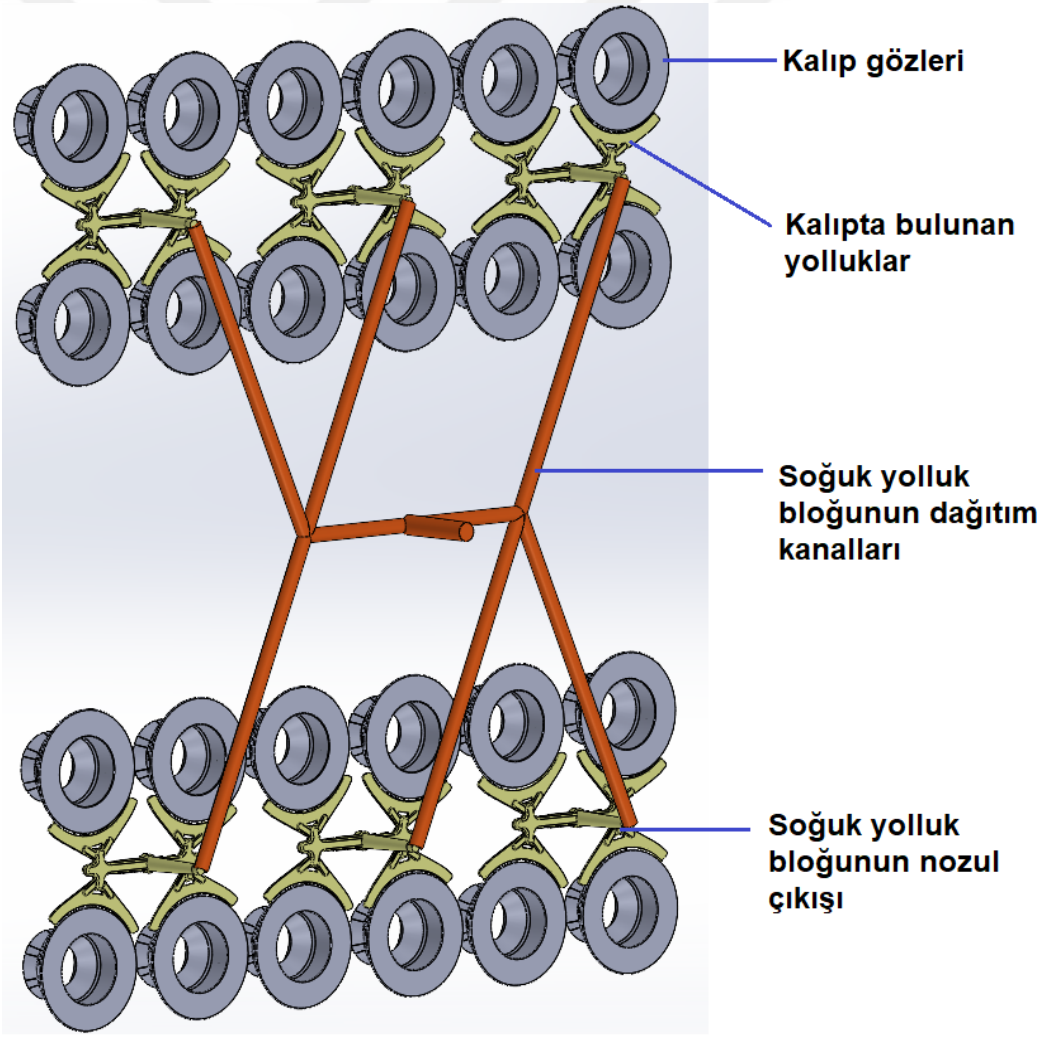


	ÖLÇÜMLER														
ÖLÇÜM NOKTASI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T.RESİM ÖLCÜSÜ	Ø31,2	Ø24,1	Ø14,3	Ø24	Ø25.5	Ø42.5	20,2	15,0	1,15	7,75	1,65	R0,2	R5	1,15	R2
TOLERANS	±0,2	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,2	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,2	±1	±0,1	±1
NO															
1	31,18	24,13	14,25	23,95	25,48	42,48	20,15	14,98	1,14	7,78	1,62	R0,2	R5	1,08	R2
2	31,20	24,15	14,28	23,98	25,46	42,46	20,18	15,01	1,16	7,80	1,66	R0,2	R5	1,09	R2
3	31,25	24,08	14,31	23,96	25,49	42,56	20,22	15,08	1,13	7,72	1,68	R0,2	R5	1,11	R2
4	31,22	24,07	14,35	24,02	25,52	42,54	20,23	15,03	1,12	7,68	1,66	R0,2	R5	1,13	R2
5	31,23	24,10	14,32	24,05	25,51	42,53	20,24	15,06	1,07	7,82	1,64	R0,2	R5	1,15	R2
6	31,24	24,12	14,36	24,08	25,52	42,44	20,19	15,04	1,09	7,80	1,65	R0,2	R5	1,14	R2
7	31,19	24,15	14,29	24,06	25,53	42,53	20,20	15,04	1,15	7,74	1,65	R0,2	R5	1,16	R2
8	31,16	24,17	14,22	23,99	25,56	42,52	20,21	15,00	1,14	7,71	1,63	R0,2	R5	1,13	R2
9	31,18	24,16	14,23	23,98	25,54	42,51	20,16	15,07	1,16	7,70	1,60	R0,2	R5	1,12	R2
10	31,21	24,13	14,28	23,96	25,51	42,50	20,14	14,99	1,12	7,78	1,62	R0,2	R5	1,07	R2
11	31,23	24,13	14,30	24,02	25,50	42,55	20,17	14,98	1,07	7,80	1,58	R0,2	R5	1,09	R2
12	31,19	24,15	14,32	24,05	25,54	42,56	20,23	14,96	1,09	7,72	1,65	R0,2	R5	1,15	R2
13	31,23	24,08	14,36	24,08	25,48	42,54	20,24	14,98	1,09	7,68	1,65	R0,2	R5	1,14	R2
14	31,24	24,07	14,29	24,06	25,46	42,53	20,19	15,01	1,11	7,82	1,63	R0,2	R5	1,16	R2
15	31,19	24,10	14,22	23,99	25,49	42,44	20,20	15,08	1,13	7,80	1,60	R0,2	R5	1,13	R2
16	31,16	24,12	14,23	23,98	25,52	42,53	20,21	15,03	1,15	7,74	1,62	R0,2	R5	1,12	R2
17	31,18	24,15	14,28	23,98	25,51	42,52	20,16	15,06	1,14	7,82	1,66	R0,2	R5	1,07	R2
18	31,25	24,17	14,30	23,96	25,56	42,51	20,14	14,98	1,16	7,80	1,68	R0,2	R5	1,16	R2
19	31,22	24,16	14,36	24,02	25,54	42,44	20,21	15,01	1,16	7,74	1,66	R0,2	R5	1,13	R2
20	31,23	24,13	14,29	23,98	25,51	42,53	20,16	15,08	1,13	7,71	1,64	R0,2	R5	1,12	R2
21	31,24	24,13	14,22	23,96	25,50	42,52	20,14	15,04	1,12	7,70	1,65	R0,2	R5	1,07	R2
22	31,19	24,15	14,23	24,02	25,54	42,51	20,17	15,00	1,07	7,80	1,65	R0,2	R5	1,09	R2
23	31,16	24,08	14,28	24,05	25,49	42,50	20,23	15,07	1,07	7,74	1,65	R0,2	R5	1,12	R2
24	31,22	24,07	14,30	24,08	25,52	42,55	20,24	14,99	1,09	7,82	1,63	R0,2	R5	1,07	R2

Şekil 4.8. Tüm gözlerden çıkan parçaların ölçümleri

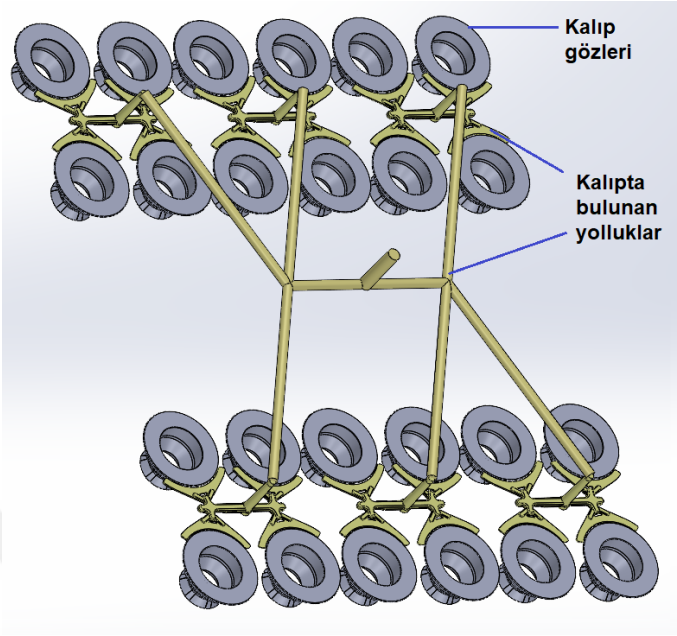
4.3. Soğuk Yolluk Bloğu Etkilerinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması

Yapılan üretim çalışmaları neticesinde optimum proses şartları CRB'nin kullanıldığı bir üretim ile elde edilmiştir. Gerçekleştirilen üretim denemeleri için soğuk yolluk bloğunun kullanıldığı durum Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir. Kırmızı ile görülen yolluklar soğuk yolluk bloğu üzerinden kalıba beslenen malzemenin ilerlediği yolluklardır. Sarı renkte bulunan yolluklar kalıpta bulunan sıcak yolluk kanallarıdır. Soğuk yolluk bloğu sayesinde Şekil 4.9'da gösterilen nozul çıkışlarında, malzeme bir sonraki çevrime enjeksiyon için hazır olarak bulunmaktadır ve daha kısa bir yolluk mesafesi ile istenen kalıp geometrisinin doldurulması daha kolay olmaktadır. Bu birim zamanda vulkanizasyon olacak malzeme miktarını da düşürdüğü için çevrim sürelerinin düşmesini direkt olarak etkilemektedir.



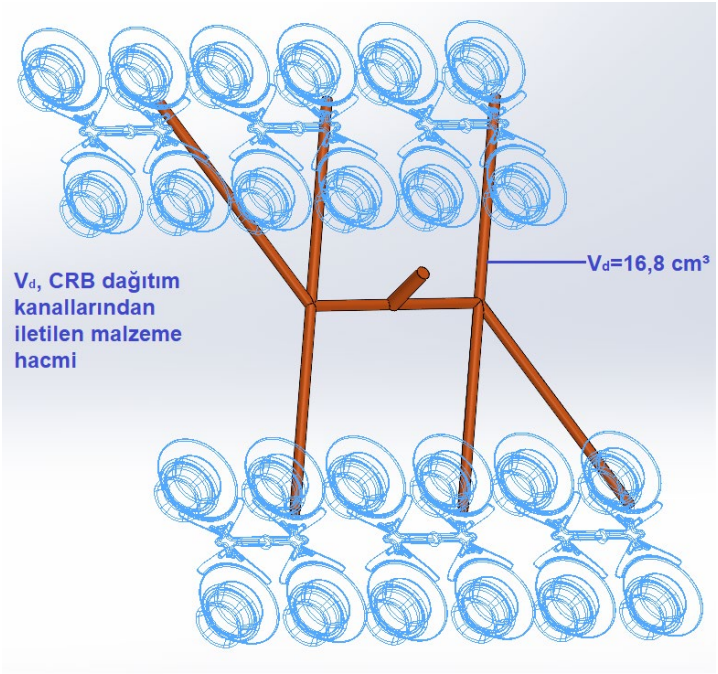
Şekil 4.9. CRB ile üretim için mevcut durum

Aynı enjeksiyon pres ve enjeksiyon kalıbının soğuk yolluk bloğu olmadığı durum ile üretim yapıldığında teorik olarak Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi bir durum ortaya çıkacaktır.



Şekil 4.10.CRB olmadığı durum için enjeksiyon

Şekil 4.11'de CRB'nin dağıtım kanallarından kalıba aktarılan malzeme hacmi 16,8 cm^3 ve malzeme yoğunluğu 1,28±0,02 g/cm^3 olduğu için 21,5 gr malzemenin her çevrimde fire olmadan sonraki çevrime hazır bir şekilde beslendiği görülmektedir.



Şekil 4.11. CRB dağıtım kanalındaki malzeme

Üretim denemelerinde kullanılan parçanın yıllık üretim adetlerinin 1.200.000 adet/yıl ve 50.000 çevrim olduğu göz önüne alındığında CRB'nin üretim verimliliğine etkisi daha fazla olmaktadır. Tablo 4.5'te bazı parametrelere göre CRB'nin enjeksiyon kalıplama ile üretimde kullanımında verimlilik etkileri verilmiştir. Özellikle proses süresi ve fire miktarlarında oluşan farklar incelendiğinde soğuk yolluk bloğu sistemlerinin getirdiği iyileştirmeler net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.5. Üretim karşılaştırması

	CRB ile yapılan üretim (50.000 çevrim)	CRB'nin olmadığı durum için üretim (50.000 çevrim)	Fark
Kalıp yolluklarında malzeme firesi	672 kg	1.747 kg	61,5%
Parça çapağında malzeme firesi	108 kg	360 kg	70,0%
Proses süreleri	78,6 sn / çevrim	133 sn / çevrim	40,9%
Makinada açılan yıllık kapasite	31,5 gün boşluk	31,5 gün daha dolu	31,5 gün
Üretim ön hazırlık süreleri	Ortak kalıplar ile daha az	Farklı yolluk sistemleri olacağı için daha uzun	
Parça kalitesi	Homojen akış ve sıcaklık dağılımı olduğu için daha iyi	Daha fazla kontrol isteyen ve daha az stabilite	
Üretim stabilitesi	Daha iyi	Değişkenlik gösterebilir, hassas proses ayarları	
Üretim esnekliği	Ortak kalıplar ile daha fazla	Farklı kalıplar bağlanırsa geçişler uzun sürebilir	
Malzeme maliyetleri	Daha az	Daha çok	
Enerji ve işçilik maliyetleri	Daha az	Daha çok	

BÖLÜM 5 . GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada silikon kauçuk malzemenin temel özellikleri, silikon tipleri, üretim sektöründe kullanım şekli ve işleme yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmanın odak konusu olan soğuk yolluk bloğu sistemlerinin, enjeksiyon kalıplama üretim yöntemine entegre edilmesi ve üretim verimliliğine olan etkisi gerçek üretim verileri üzerinden sunulmuştur. Kimyasal çapraz bağlanma davranışı ile form alan silikon elastomerinin, form aldıktan sonra geri dönüştürülebilir bir malzeme olmaması ve diğer elastomer malzemelere göre birim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bu malzemeler mümkün olduğunca firesiz kullanım gerektirmektedir. Bu nedenle hammaddesi silikon kauçuk olan işletmeler üretimlerinde optimum katma değerli ve yalın proseslere yönelmek durumundadır. Soğuk yolluk bloğu sistemleri enjeksiyonla üretim proseslerinde verimi artıran önemli ekipmanlardır. Çalışmada sunulduğu üzere soğuk yolluk bloğu sistemlerinin enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılmasıyla sağlanabilecek avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Malzemenin yolluklarda veya kalıp gözleri dışındaki bölgelerde istenmeyen kürlenmelerinin önüne geçilmesiyle; hurda, fire malzeme miktarının en aza indirilebilir veya tamamen ortadan kaldırılması mümkündür. Üretilecek parçanın kalıp tasarımına uygun ve her göze direkt enjeksiyon sağlayan bir CRB üretime entegre edilirse firesiz üretim yapılabilmektedir. Çalışmada kullanılan kalıbın sıcak yolluklarına rağmen soğuk yolluk bloğunun sağladığı optimum proses parametreleri sayesinde parça çapak miktarı 70%, çevrim süresi 40,9% oranında azaltılmıştır. Yüksek adetli üretimlerde bu oranlar önemli hale gelmektedir. Tablo 4.5'te verilen fire malzemelerin miktarları incelendiğinde burada kazanılan malzeme yeni üretimler için çok daha iyi şekilde değerlendirilebilir. Birden fazla benzer kalıpta üretim yapıldığı düşünülürse CRB bu tip üretimler için gereklilik haline gelmektedir.

- Malzeme firelerinin azaltılmasına bağlı olarak malzeme maliyetlerinin azaltılması; işletmelerin karlılığının artmasına ve yeni proje veya yatırımlara daha iyi bütçeler ayırabilmesine olanak sağlar. Çalışmada bir parçanın kalıbı üzerinden incelenen proseste yıllık 61,5% oranında sadece yolluklarda oluşan malzeme firesinin sıcak yolluk sistemine göre azaltılabildiği görülmüştür. Benzer durumun çok daha fazla enjeksiyon kalıbında sağlanabildiği öngörülürse ciddi bir kazanım söz konusudur.
- Proses sürelerinin azaltılması ve dolayısıyla makine kapasitesinin 31 gün artırıldığı görülmüştür. Bir yılda aynı makinaya bağlanan birden fazla kalıp düşünüldüğünde soğuk yolluk bloğunun kullanımı makinede ciddi bir boş kapasite sağlamaktadır. Makinanın boş kapasitesi yeni işler ve projelere ayrılmasına imkân sağlamaktadır.
- Soğuk yolluk bloğunun üretime adapte edilmesinin; malzeme fireleri, proses süreleri ve maliyetler açısından kazanç sağlamasının yanında diğer bazı avantajları da vardır. Daha stabil ve sürekliliği olan bir üretim ve buna bağlı olarak parça kalitesinde artış sağlanır. İdeal parametrelerde üretilen numunelerin tüm ölçülerinin toleranslar dahilinde olduğu görülmüştür.
- Kürlenmiş yollukların kalıptan alınmasına gerek olmaması, aynı CRB'de kullanılan ortak kalıpların montaj süreleri ve enjeksiyon çevrim sürelerindeki azalma nedeniyle işçilik maliyetlerinin azaltılması mümkündür. Ayrıca direkt kalıp gözüne enjeksiyon yapabilen soğuk yolluk bloğu sistemlerine uygun tasarlanan kalıplar kullanıldığında ikincil çapak temizleme operasyonu gibi işlemler ortadan kaldırılabilir. Böylece ekstra operasyonların maliyeti azaltılır.

5.2. Öneriler

Çalışmanın çıktıları ve soğuk yolluk bloğu sistemlerindeki teknoloji – literatür araştırmaları değerlendirildiğinde iyileştirme önerileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Mevcut açık nozul sistemli CRB en yaygın kullanılan sistemdir. Ancak güncel sistemlerde valf nozule sahip CRB'lerin arttığı görülmektedir. Pnömatik bir iğne valf sistemi kullanan bu bloklar çok daha hassas akış kontrolü sunmakta olup, sıfır fire ile direkt kalıp gözüne enjeksiyon yeteneğine sahiptir. İlk yatırım maliyeti biraz daha fazla olan bu sistemin fizibilite analizi yapılarak uygun kalıp tasarımıyla direkt göze enjeksiyon alternatif olarak değerlendirebilir.

- Mevcut kalıp tasarımında bulunan ve 4 gözü besleyen sıcak kalıp yolluklarının, hacim olarak parça hacmine yakın olması dikkat çekmektedir. CRB'nin nozul çıkışının daha efektif kullanılabildiği kalıp yolluk tasarımına geçiş yapılabilir. Daha az hacme sahip ancak kalıp gözüne daha fazla akış sağlayacak yüzeylere sahip yolluk tasarımı mevcut kalıp için değerlendirilebilir.
- HCR silikon ile 24 gözlü kalıpta üretimi yapılan parçanın, LSR silikon ve valf nozul sistemli bir CRB ve daha az göz sayısına sahip bir kalıp ile üretimine geçiş yapılabilir. LSR malzemenin birim fiyatı HCR silikona göre biraz daha fazla olsa da valf nozul sistemli bir CRB ile sıfır çapak ve 50% oranda daha az çevrim süresine sahip bir üretim mümkündür.

Sonuç olarak çoğu alanda kullanımı giderek artan silikon kauçukların şekillendirildiği bir üretim yöntemi olan enjeksiyon kalıplama yönteminde soğuk yolluk bloğunun üretime entegre edilmesiyle ortaya çıkan durum net bir şekilde sunulmuştur. Bir silikon enjeksiyon kalıplama yöntemi, soğuk yolluk bloğunun da dahil olduğu durum için; malzemenin hazırlanışı, kontrolleri ve üretim aşamaları ile son kontrolleri içerecek şekilde detaylı açıklanmıştır. Soğuk yolluk bloğu sistemlerinin yatırım ve bakım maliyetleri haricinde daha çok avantaj sağladığı görülmektedir. Bloğun sistemde olmadığı durum için konvansiyonel sıcak yolluk sistemi üzerinden teorik modelleme ve hesaplamalar yapılmıştır. Üretilen numuneler üzerinden laboratuvarda ölçüm ve kontroller yapılmıştır. Soğuk yolluk bloğunun silikon enjeksiyon kalıplarında etkisini daha da detaylı incelemek için mevcut klasik yöntemlerle üretilen parçaların enjeksiyon yöntemine blok sistemleriyle adapte edilmesi ve uzun vadede üretim proses değerlerinin kayıt altına alındığı çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Bosshammer, S. (2019, November 26). Overview Silicone Elastomers. Leverkusen, Germany: Momentive Performance Materials GmbH.

Butts, M., & Cella, J. (2007). Silicones. Encyclopedia of Polymer Science and Technology (Cilt 11, s. 765-820). içinde New York: John Wiley & Sons, Inc.

Chen, T. C. (2013). Material Saving and Product Quality Improvement with the Visualization of Hot Runner Design in Injection Molding. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 14(6), 1109-1112.

Colas, A. (2005, September 23). Silicones: Preparation, Properties and Performance. Dow Corning, Life Sciences. USA: Dow Corning Corporation.

Demirer, A. (2002, Haziran). Enjeksiyon Kalıplarında Sıcak Yolluk Sistemlerinin Kalıplama Prosesine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi.

Desma. (2014, October 20). Basics of Cold Runner Technology. Fridingen, Germany: Desma.

Dow Corning. (2008, April 25). Liquid Injection Molding: Processing guide for SILASTIC® Liquid Silicone Rubber (LSR) and SILASTIC® Fluoro Liquid Silicone Rubber (F-LSR). USA: Dow Corning Corporation.

Early, S. (2008). Desma FlowControl Technology - Valve Gate Nozzle Systems for Elastomers. Desma - USA, Desma - KDE Sales and Service, Inc. Hebron: Desma - USA.

Erefe, E. (2018). (Yüksek Lisans Tezi). Silikon Sünger Kauçuğun Hazırlanması için Optimum Proses Koşullarının Belirlenmesi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Finnie, R. (2012). Exploring the Niche Market of Silicone Molds. The American Mold Builder, 18-20.

Gastrow, H. (2006). Gastrow Injection Molds. (P. Unger, Dü.) München, Germany: Hanser Gardner Publications.

Isayev, A. I. (1989). Injection Molding of Rubbers. S. L. Aggarwal içinde, Comprehensive Polymer Science (7. b., s. 355-387). Oxford: Marcel Dekker Inc.

Janostik, V. (2016). The Influence of Runner System on Production of Injection Molds. MATEC Web of Conferences. Zlin: CSCC.

Jerschow, P. (2001). Silicone Elastomers (Cilt 12). Shawbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.

Krell, V. (2011). Energy Efficient Elastomer Injection Molding Machinery. Rubber World, 18-21.

LeFan, J. (2011). Liquid Silicone Rubber Injection Molding. 2316 W. Wisconsin Street, Portage, WI 53575, USA: Saint-Gobain Performance Plastics.

Minnesota Rubber and Plastics. (2013, October 14). Elastomers and Thermoplastics Engineering Design Guide. Minneapolis, USA: Minnesota Rubber and Plastics.

Moayyedian, M. (2015). New Design Feature of Mold in Injection Molding For Scrap. Procedia Manufacturing, 241-245.

OCS Stampi s.r.l. (2010). OCS Stampi s.r.l. OCS Stampi s.r.l. Web Site: https://www.ocs-stampi.it/ adresinden alındı

O'Lenick, J. J. (1999, August). Basic Silicone Chemistry – A Review. Silicone Spectator, 1-23.

Öztürk, T. (2015, Eylül). Plastik Enjeksiyon Kalıpçılığı İşleminde Sıcak Yolluk Sistemleriyle Soğuk Yolluk Sistemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Düzce: Düzce Üniversitesi.

Patterson, R. F. (1998). Silicones. S. H. Goodman içinde, Handbook Of Thermoset Plastics (2 b., s. 468-497). New Jersey, USA: Noyes Publications.

Polmanteer, K. E., & Klosowski, J. M. (2001). Advances in Silicone Rubber Technology Part 1-2. A. K. Bhowmick, & H. L. Stephens içinde, Handbook of Elastomers (2 b., s. 605-649). New York, United States of America: Marcel Dekker Inc.

Proske, M. (2014). From X-shaped to Cold Runner Layout with Virtual Molding. Sigmatimes(3).

Rodkwan, S. (2008). An Application of Computer Aided Engineering in Rubber Injection Mold with Cold Runner System Design and Manufacturing. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (s. 99-103). Seattle, WA: ASME.

Shah, P., & Shit, S. C. (2013). A Review on Silicone Rubber. National Academy Science Letters, 1. doi:10.1007/s40009-013-0150-2

Wacker Chemie AG. (2012, April 3). Silicones Compounds and Properties. München, Germany: Wacker Chemie AG.

Wacker Chemie AG. (2019, September 05). Solid and Liquid Silicone Rubber - Material and Processing Guidelines. München, Germany: Wacker Chemie AG.

Walker, J. (2012). Elastomer Engineering Guide. Woking, England: James Walker Sealing Products and Services Ltd.

Xiamen. (2015). Xiamen Better Silicone Rubber Co., Ltd. Xiamen Better Silicone Rubber Co., Ltd Web Site: https://www.lsr-molding.com/lsr-molding-design-guide.html adresinden alındı

Yıldırım, V. (2009). Plastik Enjeksiyon Kalıplarında Soğuk Yolluk Parametrelerinin Ürün Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi.

Zorge. (2010, December 3). Rubber Technology. Katwijk, Netherlands: Zorge.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : **Muzaffer ÇAMLIBEL**
Doğum Tarihi ve Yeri : [redacted]
E-posta : [redacted]

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2015, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yükseklisans :** 2020, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İmalat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2016 yılında Ar-Ge Mühendisi olarak Başoğlu Kablo ve Profil A.Ş.'de çalışmaya başladı.
- 2018 yılında Ar-Ge Takım Lideri olarak görev değişikliği yapıldı ve halen Başoğlu Kablo ve Profil A.Ş.' de Ar-Ge Takım Lideri olarak çalışmaktadır.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN SUNUMLAR:

- **Soy U., Çamlıbel M.** 2020, 4th Engineers of the Future International Student Symposium – EFIS In Turkey. *International Student Symposium – Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering*, May 7-8, 2020, Turkey.