



**INLINE FİLTRE BİRLEŞTİRME ELEMANI
SÜRTÜNME KAYNAK AĞZI TASARIMI,
PROTOTİPİ ve DENEYSEL UYGULAMASI**

Hakan MADEN

**2022
DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**INLINE FİLTRE BİRLEŞTİRME ELEMANI SÜRTÜNME KAYNAK AĞZI
TASARIMI, PROTOTİPİ ve DENEYSEL UYGULAMASI**

Hakan MADEN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**KARABÜK
Ağustos 2022**

Hakan MADEN tarafından hazırlanan “INLINE FİLTRE BİRLEŞTİRME ELEMANI SÜRTÜNME KAYNAK AĞZI TASARIMI, PROTOTİPİ ve DENEYSEL UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 22/08/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Pınar DEMİRCİOĞLU (ADÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (AKEV)

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa BOZDEMİR (KKÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hatice AKGÜL EVLEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hakan MADEN

ÖZET

Doktora Tezi

INLINE FİLTRE BİRLEŞTİRME ELEMANI SÜRTÜNME KAYNAK AĞZI TASARIMI, PROTOTİP ve DENEYSEL UYGULAMASI

Hakan MADEN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Ağustos 2022, 94 sayfa

Evsel tip su arıtma cihazlarında kullanılan inline filtrelerin kapak ve gövde parçaları döndürerek sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmektedir. Döner sürtünme kaynak sırasında kaynak bölgesinin iç ve dış bölgelerinde eriyik yığılmaları oluşmaktadır. İç kısımda oluşan eriyik yığılmalar sediment filtrede tıkanmalara ve su debisinin düşmesine neden olmaktadır. Aktif karbon filtrede iç kısımda oluşan eriyik yığılma üst kapakta bulunan keçenin üzerine akmakta, keçenin kullanım alanını %30 oranında azaltmaktadır. Bu tez çalışmasında iç kısımda oluşan eriyik yığılmanın hapsedilerek, filtrelerin tıkanma probleminin çözülmesi ve filtre ömürlerinin uzatılması hedeflenmiştir.

Bu amaçla ilk önce sürtünme kaynak sonrası oluşan eriyik yığılma durumu ABAQUS (Sonlu Elemanlar Analiz Yazılımı) programıyla analiz edilmiş ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Filtrenin iç kısmında oluşan eriyik yığılmanın hapsedilmesi için kaynak ağız tasarımları ABAQUS programında geliştirilmiştir. Tasarımı geliştirilen parçalar, üç boyutlu yazıcıda baskıları alınarak ölçü kontrolleri yapılmıştır. Mevcut enjeksiyon kalıplarda bulunan lokma parçaları, geliştirilen kaynak ağız tasarımına göre yeniden üretilmiştir. Enjeksiyon makinesinde inline gövde ve kapak parçalarının baskıları alınmış ve ölçü kontrolleri yapılmıştır. Baskıları alınan parçalar, sürtünme kaynak işlemi yapılarak analiz sonucu elde edilen yapı karşılaştırılmıştır. Sürtünme kaynak sonrası birleştirilen parçalar incelendiğinde, eriyik yığılmanın başarılı bir şekilde hapsedildiğı gözlenmiştir.

Sürtünme kaynak makinasına girilen üretim parametreleri kullanılarak Taguchi deneysel metot uygulanmıştır. Sürtünme kaynak sonrası maksimum dayanım sağlayacak parametre (Devir Hızı 2490 dev/dk, Sürtünme Kaynak Basıncı 6 bar, Sürtünme Kaynak Süresi 2 sn, Bekleme süresi 4 sn) belirlenmiştir. Sürtünme kaynak makinesi parametrelerinin kaynak kalitesi üzerine etkilerine bakıldığında, devir hızının %42,74 ve sürtünme kaynak basıncı %31,85 oranında etkili olduğu bulunmuştur.

Tasarımı geliştirilen filtrelerden 1500 adet ürün üretilerek İstanbül ve evre illere gönderilmiş, saha testleri yapılmıştır. Aynı zamanda filtrelerin laboratuvarında ömür testi yapılmıştır. Tasarımı geliştirilen kaynak ağız tasarımının saha testi sonuçlarında, sediment filtrede %8 oranında ve aktifkarbon filtrede %14 oranında üretim hatalarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Döner sürtünme kaynak, Taguchi deneysel yöntem, ABAQUS analiz ve simülasyon, Moldflow dolum analizi, Statik ve dinamik testler

Bilim Kodu : 91439

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INLINE FILTER JOINING ELEMENT FRICTION WELDING NOZZLE DESIGN, PROTOTYPE AND EXPERIMENTAL APPLICATION

Hakan MADEN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

August 2022, 94 pages

Cover and body parts of inline filters used in domestic type water purification devices are combined with friction welding by rotating. During rotary friction welding, semi-melt accumulations occur in the inner and outer parts of the weld zone. The semi-melt accumulations in the interior cause clogging in the sediment filter and decrease water flow. The semi-melt agglomeration formed in the inner part of the activated carbon filter flows onto the felt on the upper cover, reducing the usage area of the felt by 30%. In this thesis, it is aimed to solve the clogging problem of the filters and to extend the filter life by trapping the melt accumulation in the interior.

For this purpose, firstly, analysis and simulations of the semi-melt accumulation state after friction welding were accomplished with the ABAQUS (Finite Element Analysis Software) program. Welding joint profile designs have been developed in the ABAQUS program to trap the semi-melt accumulation in the inner part of filter.

The part model created printed by 3D printer and their measurement controls were conducted. The insert parts for the existing injection molds are reproduced according to the developed weld design. Similarly, inline body and cover parts were printed on the injection machine and measurement controls were made. The printed parts were friction-welded and the structure obtained with the analysis result was compared. When the parts joined after friction welding were examined, it was observed that the semi-melt agglomeration was successfully confined.

Taguchi experimental method was applied to the parameters entered into the friction welding machine. The parameter that will provide maximum strength after friction welding (revolution speed 2490 rpm, friction welding pressure 6 bar, friction welding time 2 sec, waiting time 4 sec) have been determined. It was found that the effective friction welding machine parameters on the welding quality were by 42.74% of rotation speed and 31.85% of t friction welding pressure.

Field tests were carried out by producing 1500 products from the filters whose design was developed and sent to Istanbul and surrounding cities. At the same time, the life test of the filters was carried out in the laboratory. In the field test results of the weld joint profile design, developed, it was determined that the errors were reduced by 8% in the sediment filter and 14% in the activated carbon filter.

Key Word : Rotary friction welding, Taguchi experimental method, ABAQUS analysis and simulation, Moldflow filling analysis and static and dynamic tests

Science Code : 91439

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA 'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
PLASTİKLERİN KAYNAKLA BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	6
2.1. SÜRTÜNME KAYNAK (FW) YÖNTEMİ	6
2.1.1. Dönerek Sürtünme Kaynağı (IFW).....	7
2.1.2. Doğrusal Sürtünme Kaynağı (LFW).....	7
2.1.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW)	8
2.2. PLASTİK BORULARIN KAYNAK BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	8
2.2.1. Alın Kaynak (Butt Welding)	9
2.2.2. Soket Füzyon Kaynak	9
BÖLÜM 3	11
INLINE FİLTREDE ERGİYİK YIGILMANIN NEDEN OLDUĞU PROBLEM ...	11
3.1. SEDİMENT FİLTRELERDE OLUŞAN HATALAR.....	12
3.2. AKTİF KARBON FİLTREDE OLUŞAN HATALAR.....	13
3.3. INLINE FİLTRE KULLANILAN KAYNAK AĞIZ YAPISI VE ERİYİK YİĞİLMA DURUMU	14

BÖLÜM 4	18
ABAQUS PROGRAMI İLE KAYNAK AĞIZ TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ	18
4.1. PİYASADA KULLANILAN FİLTRELERDEKİ KAYNAK AĞIZ TASARIMI VE ERİYİK YIGILMA DURUMU	18
4.2. FEM PROGRAMINDA (ABAQUS) FİLTRE KAYNAK AĞIZLARININ TASARIMI VE ANALİZ HAZIRLIKLARI	19
4.3. ABAQUS PROGRAMINDA LAGRANGIAN ve CEL ANALİZ SONUÇLARI	24
4.4. ABAQUS ANALİZİ NETİCESİNDE ORTAYA ÇIKAN ERİYİK YİĞİLMALARININ DEĞERLENDİRMESİ.....	27
4.5. MEVCUT KULLANILAN KAYNAK AĞIZ YAPILARININ KAYNAK ZAMANINA BAĞLI OLARAK SICAKLIK DAĞILIMI	31
4.6. KAYNAK BÖLGESİNİN MEKANİK ÖZELLİK GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRMESİ	32
4.7. KAYNAK AĞIZ TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE ANALİZ YAPILMASI	38
4.8. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ YAPISIYLA MEVCUT DURUMDA ELDE EDİLEN GRAFİKLERİN KARŞILAŞTIRMASI.....	40
BÖLÜM 5	47
GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE KALIP REVİZYONU ve BASKI ALINMASI	47
5.1. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE YENİ PARÇA TASARIMI VE MOLDFLOW ANALİZİ	47
5.1.1. Eşit Ölçülerde Yolluk Girişli Molflow Analizi	49
5.1.2. Farklı Ölçülerde Yolluk Girişli Molflow Analizi	50
5.2. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE MEVCUT PARÇANIN REVİZE EDİLMESİ, MOLDFLOW ANALİZİ VE KALIPTA REVİZE EDİLECEK PARÇALAR	52
5.2.1. Geliştirilen Kaynak Ağız Tasarımı Yapılan Inline Gövde Parçasının Moldflow Analizi ve Kalıpta Revize Edilen Parçalar.....	52
5.2.2. Geliştirilen Kaynak Ağız Tasarımı Yapılan Inline Kapak Parçasının Moldflow Analizi ve Kalıpta Revize Edilen Parçalar.....	56
5.3. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMININ ÜRETİLMESİ İÇİN KALIP MALİYET HESABI VE DEĞERLENDİRMESİ	59
5.4. İNLİNE GÖVDE VE KAPAK PARÇASININ PROTOTİP ÜRETİMİ	61
5.5. İNLİNE KAPAK PARÇASININ BASKILARININ ALINMASI.....	64

5.6. İNLINE GÖVDE PARÇASININ BASKILARININ ALINMASI	65
 BÖLÜM 6	69
TAGUCHİ DENEYSEL METHOD UYGULANMASI, DENEYSEL ÜRETİM ve BULGULAR.....	69
6.1. TAGUCHI DENEYSEL METHOD UYGULANMASI	70
6.1.1. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi	70
6.1.2. L16 Dizisine Göre Belirlenen Parametrelerde Birleştirilen Parçaların Dayanıklılık Tespiti.....	72
6.1.3. Optimum Enjeksiyon Parametre Değeri ve Anova (Analysis Of Variance).....	74
6.1.4. En İyi Seçimin Tahmin Hesaplaması.....	76
6.1.5. İinline Gövde ve Kapak Parçasının Sürtünme Kaynak Birleşmesi için Doğrulama Testi	77
6.2. INLINE GÖVDE VE KAPAK BİRLEŞTİRİLEN PARÇASININ DİNAMİK TEST YAPILMASI	79
6.3. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMINA GÖRE İMAL EDİLEN FİLTRELERİN PİLOT İMALAT YAPILMASI.....	80
6.4. BULGULAR	88
 BÖLÜM 7	93
SONUÇ ve TARTIŞMA.....	93
KAYNAKLAR.....	95
 ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Dönerek sürtünme kaynak	7
Şekil 2.2. Doğrusal sürtünme kaynak	8
Şekil 2.3. Karıştırma sürtünme kaynak	8
Şekil 2.4. Alın kaynak aşamaları	9
Şekil 2.5. Alın kaynak resimleri	9
Şekil 2.6. Soket füzyon kaynak tekniği	10
Şekil 2.7. Soket füzyon kaynak tekniğinin uygulanması	10
Şekil 3.1. Su arıtma cihazında 5 mikron, aktif karbonun ve 1 mikron filtrenin görünümü.	11
Şekil 3.2. Su filtresi şematik görünüş; a) Sediment filtre su akış durumu, b) Aktif karbon filtre su akış durumu.	12
Şekil 3.3. Sediment filtre arızalı eriyik yığılma durumu.	13
Şekil 3.4. Aktif karbon filtrede eriyik yığılmanın keçenin üzerine akması.	13
Şekil 3.5. Sediment filtrede iplik yapı durumu a) Üst kapak parça üzerindeki iplik yapı b) İplik yapının 3 kat büyütülmüş durumu.	14
Şekil 3.6. V profil kaynak yapısı a) Tahrik ve kavrama için b) Silindir parçaların taban ve kapakları için	15
Şekil 3.7. Eriyik yapıda basınç altında kopması düşünülen parça görünümü.	16
Şekil 3.8. İline filtre kaynak ağız yapısı geliştirilmesi için akış şeması.	17
Şekil 4.1. Piyasadaki inline filtreleri kaynak bölgeleri.	18
Şekil 4.2. Analiz ve simülasyonu yapılacak parçanın kaynak bölgesi ve yapısı. ..	19
Şekil 4.3. Sürtünme kaynak makinası a) Kaynak makinasına parçaların montajı b) Parçaların sürtünme kaynak işlemi.	20
Şekil 4.4. Analiz yapılacak parçanın ölçüleri.	21
Şekil 4.5. Analiz yapılacak parçanın görünümü.	21
Şekil 4.6. – Y yönünde kuvvetin girilmesi.	22
Şekil 4.7. Y eksenin rad cinsinden dönme hareketin verilmesi.	23
Şekil 4.8. Parça çözümü için verilen çözüm yöntem aşamaları.	24
Şekil 4.9. ABAQUS yazılımında hata gösterimi.	25
Şekil 4.10. Lagrangian analizi a) Maksimum asal gerilim grafiği b) Kayma kuvvet dağılım grafiği.	26

Şekil 4.11. CEL analizde yapılan tasarım ve parça durumu.....	27
Şekil 4.12. CEL analiz elde edilen yapı ile mevcut yapı karşılaştırması.	30
Şekil 4.13. Sıcaklığa bağlı yer değiştirme ve gerilme grafiği.	33
Şekil 4.14. Sıcaklığa bağlı plastik gerilme ve akma gerilimi grafiği.	33
Şekil 4.15. Sıcaklığa bağlı poisson oranı ve elastisite modülü grafiği.	34
Şekil 4.16. Zamana göre sıcaklık değişimi.	34
Şekil 4.17. Kapak parçasında Y yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği.	35
Şekil 4.18. Kapak parçasında X yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği.	35
Şekil 4.19. Kapak parçasında X yönünde oluşan reaksiyon moment grafiği.	36
Şekil 4.20. Kapak parçasında Y yönünde oluşan reaksiyon moment grafiği.	36
Şekil 4.21. Parçada oluşan kinetik enerji.	37
Şekil 4.22. Parçada oluşan iç enerji.	37
Şekil 4.23. Kaynak sonrası parça üzerinde oluşan gerilmenin zamana bağlı olarak kapak parçasındaki stress grafiği.	38
Şekil 4.24. Kaynak yapısı tasarımları.	38
Şekil 4.25. 1 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.	39
Şekil 4.26. 2 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.	39
Şekil 4.27. 3 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.	40
Şekil 4.28. Zamana bağlı sıcaklık grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	41
Şekil 4.29. Y yönünde oluşan reaksiyon kuvveti grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	41
Şekil 4.30. X yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	42
Şekil 4.31. X yönünde oluşan reaksiyon moment kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	42
Şekil 4.32. Y yönünde oluşan reaksiyon moment kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	43
Şekil 4.33. Kinetik enerji grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	43
Şekil 4.34. İç enerji grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.	44
Şekil 4.35. Fluke cihazıyla kaynak sırasında ölçülen sıcaklık	46
Şekil 4.36. PP malzemesinin sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği	46
Şekil 5.1. Tasarımı yapılan paçanın a) Gövde b) Kapak	48
Şekil 5.2. Kalıp yerleşimi ve yolluk giriş ölçüleri.	49
Şekil 5.3. Eşit yolluk giriş ölçülerinde dolum analizi	49

Şekil 5.4.	Moldflow analizleri a) Basınç düşüş analizi b) Yüzeylerdeki parça sıcaklığı.	50
Şekil 5.5.	Kalıp yerleşimi ve yolluk giriş ölçüleri	51
Şekil 5.6.	Farklı ölçülerde yolluk girişin dolum analizi	51
Şekil 5.7.	Moldflow analizleri a) Basınç düşüş analizi b) Yüzeylerdeki parça sıcaklığı.	52
Şekil 5.8.	Mevcut tasarıma 3 nolu kaynak ağız tasarımının uygulanması.	52
Şekil 5.9.	İnline gövde yolluk girişi ve özellikleri.	53
Şekil 5.10.	İnline gövde doldurma zamanı ve akış durumu.	53
Şekil 5.11.	İnline gövde parça sıcaklık dağılımı.	54
Şekil 5.12.	İnline gövde basınç dağılımı.	54
Şekil 5.13.	İnline gövde kalıbı.	55
Şekil 5.14.	İnline gövde kalıpta değiştirilecek lokmalar.	55
Şekil 5.15.	İnline gövde kalıbı a) Dışide değişen lokma b) Erkek de değişen lokma.	55
Şekil 5.16.	İnline kapak yolluk dağılımı ve girişi.	56
Şekil 5.17.	İnline kapak doldurma zamanı ve akış durumu.	56
Şekil 5.18.	İnline kapak parça sıcaklık dağılımı.	57
Şekil 5.19.	İnline kapak basınç dağılımı.	57
Şekil 5.20.	İnline kapak kalıbı	58
Şekil 5.21.	İnline kapak kalıbında değişiklik yapılacak lokmalar	58
Şekil 5.22.	İnline kapak kalıbı a) İç lokma parçası b) Destek parçası c) Yolluk itici parçası d) Hareketli maça 1 e) Hareketli maça 2.	59
Şekil 5.23.	Prototip üretimi a) Takım yolu b) Tezgah tablasına yerleşimi.	61
Şekil 5.24.	Geliştirilen tasarımın üretilen prototipi.	62
Şekil 5.25.	İnline kapak ilk baskısı.	64
Şekil 5.26.	İnline gövde ilk baskısı	65
Şekil 5.27.	İnline gövde ve kapak parçasının ilk baskısı.	66
Şekil 5.28.	Sürtünme kaynak makinesi ve ekrana girilen parametre.	67
Şekil 5.29.	Eriyik yığılma durumu karşılaştırması a) Kaynak ağız tasarımı b) ABAQUS analizi c) Sürtünme kaynak sonrası oluşan eriyik yığılma durumu	67
Şekil 6.1.	Statik test aparatı ve deney 14'e ait 1 nolu testin maksimum basınç dayanımı.	74
Şekil 6.2.	Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu oran ve dayanım grafikleri.	75
Şekil 6.3.	Doğrulama parçasının deney 1'e ait ölçüm.	78

Sayfa

Şekil 6.4.	Dinamik test.....	79
Şekil 6.5.	Değiştirilen filtrenin üzerine yapıştırılan servis fişi.....	80
Şekil 6.6.	Sedimet filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu	81
Şekil 6.7.	Aktif karbon filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu	82
Şekil 6.8.	Sediment filtre tıkanma durumu a) Mevcut imalat b) Tasarımı geliştirilen parça	82
Şekil 6.9.	Sahadan gelen aktif karbon filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu.	83
Şekil 6.10.	Üretimim yapılan filtrelerin hata oranları grafiği.....	84
Şekil 6.11.	Filtrelerin laboratuvar testi.	85
Şekil 6.12.	Aktif karbon filtre a) Tıkalı aktif karbon filtre b) 100 kat büyütülmüş keçe gözeneği	87
Şekil 6.13.	Aktif karbon filtre a) Tasarımı geliştirilen aktif karbon filtre b) 100 kat büyütülmüş keçe gözeneği.....	87
Şekil 6.14.	Kesilen keçelerin 100 kat büyütülmüş hali a) Tıkalı keçe gözeneği b) Açık keçe gözeneği.	88
Şekil 6.15.	Eriyik yığılma analizi a) Mevcut durum b) Literatür araştırması c) 3 nolu geliştirilen kaynak ağız tasarımı d) Geliştirilen tasarımın durumu e) Sürtünme kaynak sonrası durum.	89
Şekil 6.16.	Sediment filtre a) Mevcut imalat b) Kaynak ağız geliştirilen.	91
Şekil 6.17.	Aktif karbon filtre a) Mevcut imalat b) Kaynak ağız geliştirilen.	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Sürtünme kaynak makinesi girilen parametreler.....	20
Çizelge 4.2. Polipropilen malzeme özellikleri.....	22
Çizelge 4.3. Kullanılan iş istasyonu donanım bilgileri.	27
Çizelge 4.4. Analiz sonrası eriyik durum, değiştirilen parametreler ve analiz yorumları.....	28
Çizelge 4.5. Zamana bağlı olarak sıcaklık ve eriyik yapı görselleri.	31
Çizelge 4.6. Zamana bağlı olarak sıcaklık ve eriyik yapı görselleri (Devamı).	32
Çizelge 4.7. 3 nolu tasarımın zamana göre sıcaklık ve eriyik yapı görselleri.	44
Çizelge 5.1. Yeni parça tasarımının kalıp fiyat tablosu.	59
Çizelge 5.2. Mevcut kalıp lokma fiyat tablosu.....	60
Çizelge 5.3. Prototip malzeme kullanım miktarı ve maliyeti.	61
Çizelge 5.4. Inline gövde tasarım ölçüleriyle prototip ölçüler karşılaştırılması.	63
Çizelge 5.5. Inline kapak tasarım ölçüleriyle prototip ölçüler karşılaştırılması.	63
Çizelge 5.6. Inline kapak tasarımıyla ilk baskıları arasındaki ölçüler karşılaştırılması.	64
Çizelge 5.7. Inline gövde tasarım ölçüleriyle ilk baskıları arasındaki ölçüler karşılaştırılması.	65
Çizelge 5.8. Sürtünme kaynak makinesi girilen parametreler.....	66
Çizelge 6.1. Sürtünme kaynak makinesi faktörleri ve seviyeleri.	71
Çizelge 6.2. Taguchi L16 ortogonal dizisine göre yapılacak deneyler.	71
Çizelge 6.3. Deneylere ait dayanım ve S/N değerleri.	73
Çizelge 6.4. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu.....	75
Çizelge 6.5. ANOVA analizi.	76
Çizelge 6.6. Doğrulama parçasında ortalama dayanım değer tablosu.	77
Çizelge 6.7. Doğrulama parçası değer ile hesaplanan değer karşılaştırılması.	78
Çizelge 6.8. Üretimim yapılan sediment filtrelerin saha testi sonuçları.	83
Çizelge 6.9. Üretimim yapılan aktif karbon filtrelerin saha testi sonuçları.	83
Çizelge 6.10. Sediment filtrelerin laboratuvar testi sonuçları	85
Çizelge 6.11. Aktif karbon filtre laboratuvar testi sonuçları.	86
Çizelge 6.12. Auto-focus Portable Microscope cihazı özellikleri.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

S/N : sinyal/gürültü oranı

Y : performans karakteristik değeri

n : y değerlerinin sayısı

N_m : hesaplaması yapılan basınç için S/N değerlerinin aritmetik ortalaması,

F_t : seçilen en iyi seviyelerinin S/N değerlerinin N_m den farklarının toplamı,

N_{hd} : deney için hesaplanan S/N oranı,

$R_{day.}$: tahmini maksimum dayanım miktarıdır.

KISALTMALAR

FE	: Finite Element (Sonlu Eleman)
FEM	: Finite Element method (Sonlu Eleman Metodu)
IFW	: Inertia Friction Welding (Döner Sürtünme Kaynak)
RFW	: Rotary Friction Welding (Döner Sürtünme Kaynak)
LFW	: Linear Friction Welding (Doğrusal Sürtünme Kaynak)
GFR	: Glass Fiber Reinforced (Cam Elyaf Takviyeli)
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
LF	: Linear Friction (Doğrusal Kaynak)
FW	: Friction Welding (Sürtünme Kaynak)
NSF	: National Sanitation Foundation (Ulusal Sanitasyon Vakfı)
PE	: Polyethylene (Polietilen)
PP	: Polypropylene (Polipropilen)
PPRC	: Polypropylene Random Copolymer (Polipropilen Rasgele kopolimer)
ABAQUS	: Sonlu Eleman Analiz Yazılımı
CEL	: Coupled Eulerian Lagrangian
FSW	: Friction Stir Welding (Sürtünme Karıştırma Kaynak)
DIN 16901	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
POM-C	: PolyOxyMethylene Copolymer (Polioksimetilen Kopolimer)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
RPM	: Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
ppm	: Parts Per Million (Milyondaki Parça Sayısı)
TDS	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözülmüş Katılar)
pH	: Power Of Hydrogen (Hidrojen Gücü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Globalleşen dünyada rekabet git gide artmaktadır. Birçok malzeme eskisine göre daha çabuk eskimektedir. Dolayısı ile çok hızlı yenilenen bir dünyada onun kadar hızlanılmadıkça yakalanması imkânsız hale gelmektedir. Dünya artık metallerden çok plastiklerin dünyası olmaya başlamış, plastik malzeme kullanımı dünyamızda gün geçtikçe aşırı miktarda artmaktadır. Artık metallerin, plastiklere karşı bir üstünlüğü kalmamış, hatta en güçlü olduğu dayanım konusunda plastikler hızla metallere yetişmeye başlamışlardır. Bu kadar hızlı gelişen bir sektörde elbette teknoloji de gelişmekte, artık üretimler geleneksel yöntem yerine ve otomasyona geçilmektedir [1].

Birleştirme tekniklerinden kaynaklı birleştirmeler tarih boyunca insanların ihtiyacı olan araç ve gereçleri elde etme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır. İhtiyaçların sınırsız olması teknolojiadaki gelişmenin başlıca sebeplerindendir. Kaynaklı birleştirmelerde, başlangıçta iki metal malzemenin birbiriyle birleştirilmesi ihtiyacından doğmuştur. Fakat bu birleştirme sonucu malzeme özelliklerinde değişiklikler olduğu gözlenmiştir [2].

Dede vd. [2] kaynaklı birleştirmeler de malzeme özelliklerini etkilemeden birleştirme yöntemleri araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda kaynak teknikleri ergitmeli ve ergitmesiz metotları olarak iki şekilde gruplandırılmıştır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde birleştirilen metalik malzemelerin birleşme yüzeylerinin ergimesi ve eriyik karışımının katılaşması sonucu metaller birleşmektedir.

Ergitmesiz kaynak yönteminde; metalik malzemeler ergitilmeden malzemelerin erime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta malzeme katı halde iken birleşme sağlanmaktadır [2]. Ergitmesiz kaynak yöntemine en güzel örnek sürtünme kaynak yöntemidir. Sürtünme kaynak yöntemleri genel olarak üçe ayrılmaktadır. Bunlar dönerek sürtünme, doğrusal sürtünme ve karıştırarak sürtünme kaynağı olarak adlandırılır.

Günümüzde uçak, tren, roket, otomobil, gemi ve helikopter gibi araçların imalatında hafif olmaları ve mekanik özelliklerinin çok iyi olması sebebiyle alüminyum alaşımlar büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak alüminyum ve alaşımlarının ergitme kaynak teknikleri ile kaynatılması hem problemli hem de zahmetli bir iştir. Bu problemlerin çözümü için yeni bileştirme tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, alüminyum alaşımlarının problemsiz ve kolay birleştirilmesinde endüstride çok kullanılmaktadır [3].

Sürtünme karıştırma kaynak tekniği, günümüz endüstrisinde yaygın olarak; levha halindeki alüminyum, bakır, kurşun ve plastik gibi malzemelerin birleştirilmesinde, uzay mekiklerinde kullanılan yakıt tankı imalatında, otomobil gövde parçalarının imalatında, feribotların alüminyum güverte imalatında, uçak gövde parçalarının imalatında, alüminyum ekstrüzyon levhaların birleştirilmesinde ve büyük paneller haline getirilmesinde kullanılmaya başlanılmıştır [4].

Vairis vd. [5] döner, lineer ve karıştırma sürtünme kaynak yöntemleriyle parçaların sıcaklık, gerilim ve gerinim karşılaştırmıştır. ABAQUS programında geliştirdikleri Lagrangian ve Eulerian-Lagrangian sayısal modellerle, deneylerle niteliksel uyum içinde olan sonuçlar üretmiş ve bu sürtünme kaynak işlemlerinin ortak yönlerine ışık tutmuştur.

Yan vd. [6] AA6061-T6 alüminyum plakası ve GFR (Glass Fiber Reinforced) naylon dolgu malzemesini FSW (Friction Stir Welding) teknolojisi kullanılarak başarıyla birleştirmişlerdir. Dönme hızının, dalma derinliğinin, kaynak hızının, birleşme morfolojisi, mekanik özellikleri ve parça geometrisi üzerine etkileri yazarlar tarafından incelenmiştir.

Ding vd. [7] 42CrMo alaşımlı çelik ile dökme Nibased süper alaşım K418 parçasını IFW yöntemiyle birleştirmişler, mikroyapı ve mekanik özellikleri yazarlar tarafından incelenmiştir. Birleşme noktalarında sürtünme bağı gözlemlemiş, bölgelerde kinetik enerjinin 50,6 kJ olduğu tespit edilmiş ve çekme dayanımının 772,19 MPa olduğunu görmüşlerdir.

Kumar vd. [8] benzer veya farklı polimerik malzemelerin birleştirilmesi için FSW yöntemini uygulayarak mekanik, teknik ve kimyasal özellikleri yazarlar tarafından incelenmiştir. Diğer bir çalışmada [9], Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak yüksek yoğunluklu polietilen levhaların sürtünme karıştırma kaynağı işlemindeki takım parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi incelemiştir.

Hamade vd. [10] HDPE (High Density Polyethylene) borularını birleştirmek için kullanılan geleneksel yöntem (Fusion Butt Welding-FBW) ve döner sürtünme kaynağı (Rotary Friction Welding-RFW) arasındaki bir fizibilite ve enerji çalışması yapmışlardır. Yazarların yaptıkları maliyet analizinde, RFW'nin FBW'ye göre enerji tüketiminin 1/10 oranında düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Meyghani vd. [11] FSW işleminin termal analizini yapmak için sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değerleri ve sabit sürtünme katsayısı değerlerini karşılaştırmışlardır. FE programlarında sabit sürtünme katsayısı değerlerinin kullanılması, özellikle daldırma adımından sonra sıcaklık sonuçlarının yanlış olmasına yol açtığını görmüşlerdir. Yazarların FE model sonuçlarını incelendiğinde, dönme hızındaki artışla birlikte, sayısal sonuçlar ile deneysel gözlemler arasındaki farkın, sabit sürtünme katsayısı 0,3'ten 0,5'e arttığını görmüşlerdir.

Qin vd. [12] sürtünme stresini hesaplamak için ABAQUS programında Coulomb modelinin kullanmışlardır. Sürtünme ara yüz durumunu tanımlamak için iki ileri bir geri hareket eden sürtünme çifti modeli kurmuşlardır. Sonuçlar, arayüz sıcaklığının periyodik olarak zamanla değiştiğini göstermiştir. LFW (Linear Friction Welding) sırasında oluşan sıcaklığın plastik deformasyon üzerinde önemli etkileri olduğu yazarlar tarafında görülmüştür. Kaynak parametrelerinin etkileri kantitatif olarak incelenmiştir.

D'Alvise vd. [13] birbirine benzeyen 2D çift termomekanik FE (Finite Element) modeli yapmışlardır. Yazarların yaptıkları modelde; kaynak işleminin ilk 4 saniyesinde oluşan sıcaklık verisiyle termokupl ile ölçülen sıcaklık verisinin birbirine yakın olduğunu görmüşlerdir. Zhang vd. [14] ilk kez bir elastoplastik formülasyonu kullanarak bir 2D çift termomekanik model oluşturdular. Analiz sonucu elde ettikleri sıcaklık verisiyle termokupla ölçtükleri sıcaklık verisiyle uyumlu olduğu görmüşlerdir. Ancak yakma oranına göre bir kıyaslama yapılmamış, bu da modelin tahmin edilen malzeme akışının ne kadar doğru olduğunu yargılamamanın zorlaşmasına neden olduğu göstermiştir.

Bennett vd. [15], daha önce gerçekleştirilen kaynaklardan gelen verileri kullanarak, Deform 2D programında başlangıçta ısıtma modelini uygulayarak IFW'yi simülasyon yapmışlardır. Döndürme hareketi, düzlem gerilimini modellemek için 2,5 boyutlu bir eleman kullanmışlardır. Sapma tahmininin sonuçları modelin eğitim aşaması için yaklaşık % 10 'luk bir hata kabul etmişlerdir. Nihai kaynak hattından 1 mm uzağa çıkan termal profiller gerçek değerlerin% 10'u içinde kalmıştır, ancak kaynak hattından uzaklaştıkça farkın arttığını görmüşlerdir.

Wang vd. [16], sınır girdisi olarak enerji ve dövme oranını belirlemek için kaynak deneme verilerini (tork, açıl dönme hızı ve basınç gibi) kullanarak, Deform 2D'de termomekanik model yapmışlardır. Yapılan modelde sıcaklık tahminleri, kaynak bölgesi içindeki mikroyapısal değişiklikler ve hızlı tepkimeye giren tepe sıcaklıklar elde edilmiştir. Modelde, deneysel ve tahmin edilen veriler arasında iyi bir uyuma sağlamışlar, ancak model, eksenel yönde sıcaklık gradyanını yakalayamamışlardır. Ancak, artık gerilmeleri öngörmek için modellerini değişiklik yaparak kabul edilebilir sonuçlar elde etmişlerdir [17].

FW (Friction Welding) yöntemi endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla işleme parametreleri ve kaynak ağız yapılarını geliştirmek için çok sayıda deney yapıldığını görmüşlerdir. FW kaynak yönteminde; kaynak ağız yapısı geliştirmesi, sıcaklık geçmişi, gerilme ve gerilme alanlarını ve hatta mikro yapı ve özellik tahminlerini incelemek analiz programları kullanımı arttığını görmüşlerdir [18].

Bu çalışmada dönerek sürtünme kaynağı kullanarak iki plastik parçanın birleştirilmesiyle oluşan eriyik yığılma problemlerinin çözülmesi amaçlanmıştır. Su arıtma cihazlarında kullanılan inline filtre gövde ve kapak parçaları döndürerek sürtünme kaynağı ile birleştirilmektedir. İinline filtrenin kaynak işlemi sırasında oluşan eriyik yığılmalar sediment filtre giriş kanallarını tıkaması ve aktif karbon filtrede su giriş alanının daralmasına neden olmaktadır. Eriyik yığılmanın hapsedilmesi için kaynak ağız yapısı ABAQUS programı kullanılarak geliştirilmesi yapılmıştır. Kaynak yapısı geliştirildikten sonra plastik hacim kalıbı revize edilmiş ve enjeksiyon makinasında baskılar alınmıştır. Alınan baskı parçaları kaynak işlemleri yapılmış ve kaynak yapının dayanımını ölçmek için NSF (National Sanitation Foundation) standartlarına uygun olarak statik ve dinamik testler yapılmıştır. Daha sonra kaynak makinesinin parametrelerine Taguchi deneysel yöntem uygulanarak optimum parametre değerleri tespit edilmiştir. Belirlenen optimum parametre değerlerine göre pilot imalat yapılarak saha testi yapılmıştır.

BÖLÜM 2

PLASTİKLERİN KAYNAKLA BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Tasarımı yapılan plastik parçaların hacim kalıpcılığı yöntemiyle üretimi imkânsız olduğunda plastik parçalar ayrı olarak üretilmektedir. Daha sonra bu parçalar plastik birleştirme yöntemleriyle kaynak yapılmaktadır.

2.1. SÜRTÜNME KAYNAK (FW) YÖNTEMİ

Sürtünme kaynağı, sürtünmeye dayalı katı hal birleştirme süreçlerinin bir dizisidir. FW kaynak edilecek parçaların birleşme yüzeyleri arasında, mekanik enerjinin sürtünme aracılığı ile ısı enerjisine çevrilmesi ve bu parçalara eksenleri doğrultusunda baskı kuvveti uygulanması sonucunda yapılmaktadır. Bu tanımlamaya göre, sürtünme kaynağında hem basınç uygulanması yapılmakta hem de sıcaklık oluşturulmaktadır. Bunun için bu kaynak yöntemi, sıcak basınç kaynağı yöntemlerinden biri olarak kabul edilir. Sürtünme kaynağı ile alın direnç kaynaklarının yapılışı birbirine benzemektedir [19-22].

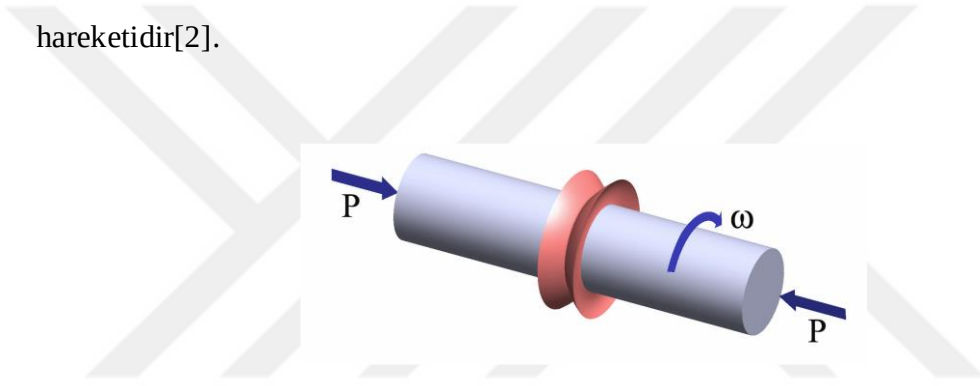
FW yöntemin geleneksel füzyon kaynak yöntemine göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar; katılaşma sonrası kusurlarının yokluğu, benzer ve benzer olmayan malzemelerin birleştirilmesi, sarf malzemesinin bulunmaması, otomasyon kolaylığı, sınırlı enerji gereksinimleri ve yüksek çevre uyumluluk gibi devam etmektedir. Bu avantajlardan dolayı sürtünme kaynak yöntemi; havacılık, otomobil, demiryolu ve nükleer sanayi gibi birçok uygulamada kullanılmaya başlanmıştır [18].

FW yöntemi üç çeşide ayrılır. Bunlar;

1. Dönerek Sürtünme Kaynağı (IFW-Inertia Friction Welding)
2. Doğrusal Sürtünme Kaynağı (LFW-Linear Friction Welding)
3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW- Friction Stir Welding)

2.1.1. Dönerek Sürtünme Kaynağı (IFW)

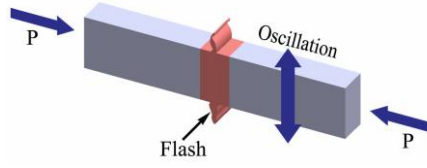
Dönerek sürtünme kaynak yönteminde, genelde parçalardan biri dönerken diğeri sabittir. Kaynak yapılış yöntemi Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Dönme hızı belirlenen değere ulaştığında iki parça birbirine yaklaştırılarak ön temas meydana gelir. Bu temastan sonra parçaların ucundaki yabancı maddeler uzaklaşır. Ön temasın arkasından eksensel basınç uygulanarak parçaların ısınması sağlanır. Dönme hareketi durulduğunda eksensel basınç bir miktar arttırılarak dövme etkisi yapılır. Bu etki sonucunda kaynak yüzeyindeki çok az miktar erimiş metal dışarı doğru yığılarak çıkar. Dönerek sürtünme kaynağı genellikle dairesel kesit parçalara uygulanmakta olup dönme hareketi birinci harekettir. İkinci hareket ise eksensel yer değiştirme hareketidir[2].



Şekil 2.1. Dönerek sürtünme kaynak [18].

2.1.2. Doğrusal Sürtünme Kaynağı (LFW)

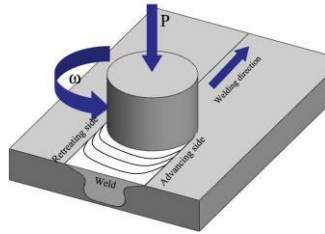
Lineer sürtünme kaynağında birleştirilecek yapı parçalarından biri sıkıca bağlanır, diğeri doğrusal bir hareketle ivmelendirilir. Ardından her iki parça yüksek bir basınçla birbirinin üzerine preslenir. Bu sayede sürtünme ısı oluşmaktadır. Böylece her iki hammadde birbiriyle Şekil 2.2’de görüldüğü gibi birleştirilebilir. Kaynak sonrası parça kenarlarında oluşan eriyik yığılmalar frezelenir. Doğrusal sürtünme kaynağı özellikle havacılık sektöründe kullanılmaktadır [23].



Şekil 2.2. Doğrusal sürtünme kaynak [18].

2.1.3. Sürtünme Karıştırma Kaynağı (FSW)

Sürtünme karıştırma kaynağı, iki parçanın arasından ergimeyen bir karıştırıcı parçanın (karıştırıcı uç) geçirilmesiyle birleştirilmesidir. Bu işlem farklı hızlara sahip dönen karıştırıcı uç takımı iki levha parça arasına daldırılması ve birleştirme hattı boyunca hareket ettirilmesi ile gerçekleşir. Şekil 2.3’de sürtünme karıştırma kaynak birleştirme yöntemi gösterilmektedir. Diğer sürtünme kaynaklarında kaynaklanacak parçalar birbirini üstünde hareket ettirilirken, karıştırma sürtünme kaynağında tablaya alın altına parçalar sabitlenir ve parçaların arasından karıştırıcı uç takımı geçirilerek ısı oluşturulmaktadır. Bu yöntemde ulaşılan en yüksek sıcaklık ergime sıcaklığının 0,8 katıdır [24].



Şekil 2.3. Karıştırma sürtünme kaynak [11].

2.2. PLASTİK BORULARIN KAYNAK BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

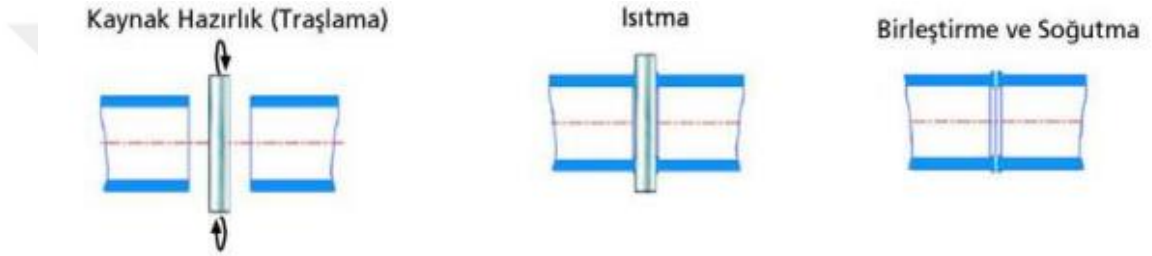
Plastik boru parçalarının birleştirilmesinde sürtünme kaynak yöntemlerinin dışında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Borunun çapına bağlı olarak kullanılan bu yöntemler değişiklik göstermektedir.

Bunlar;

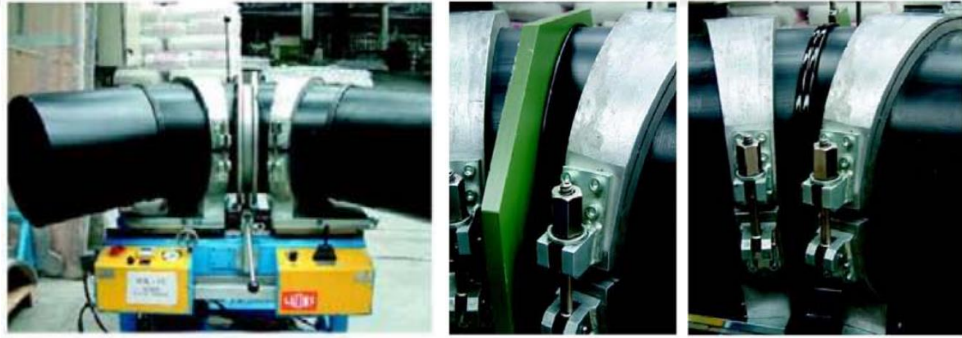
1. Alın kaynak (Butt Welding)
2. Soket Füzyon Kaynaktır.

2.2.1. Alın Kaynak (Butt Welding)

Polietilen (PE) boruların birleştirilmesinde alın kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Alın kaynak yöntemiyle birleştirmede borunun çap ve et kalınlığı için teknik kısıtlamalar bulunmaktadır. Alın kaynak yöntemi, 50 mm çaptan 1600 mm çapa ve çapa bağlı olarak minimum 5 mm den 100 mm et kalınlığı aralığında kullanılabilir. Alın kaynak yöntemi DVS 2207 standardına göre yapılmaktadır [25]. Şekil 2.4’de alın kaynağının şematik gösterimi ve Şekil 2.5’de alın kaynak ile birleştirilen parça resimleri görülmektedir.



Şekil 2.4. Alın kaynak aşamaları [25].

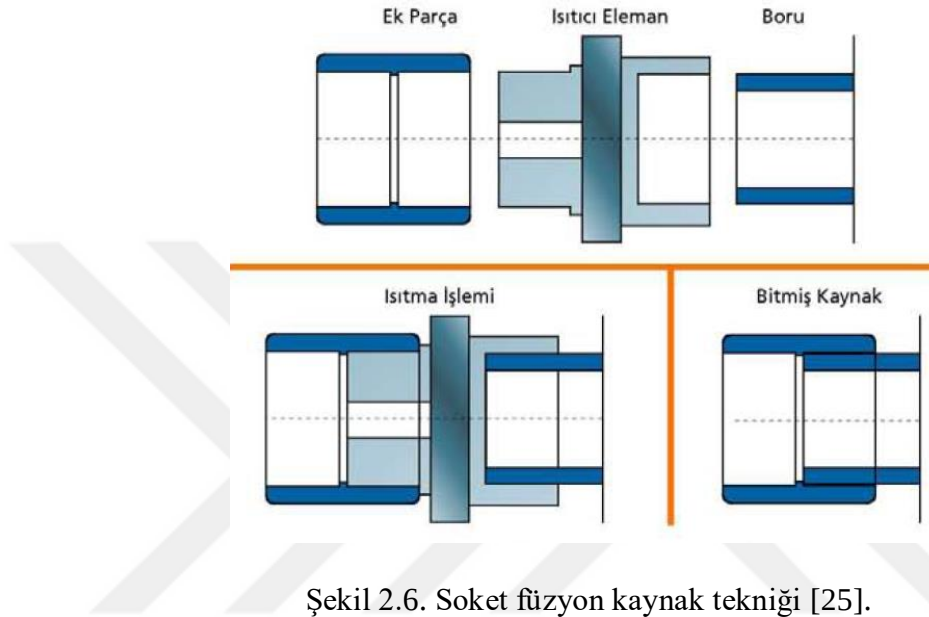


Şekil 2.5. Alın kaynak resimleri [25].

2.2.2. Soket Füzyon Kaynak

Bu metotta yapışkan olmayan alüminyum kalıplarla borunun dış yüzeyi ve aynı PE malzemeden yapılmış ek parçanın iç yüzeyi aynı anda ısıtılır. Yüzeyler yeterince eridikten sonra ısıtıcı kalıplar çıkarılarak boru ve ek parça birbirine geçirilir. Erimiş yüzeylerin birbirine geçmesi sağlanır ve homojen birleşme için soğutulur [25].

Prensipde sadece aynı tip malzemeler birleştirilebilir (PE, PE ile). Bu yöntemle küçük çaplı boru ve ek parçalar birleştirilmekte birlikte genel olarak PPRC (Polipropilen Random Copolimer) tesisat boru ve ek parçalarının birleşiminde kullanılır [25]. Şekil 2.6'da soket füzyon kaynağının şematik gösterimi ve Şekil 2.7'de alın kaynak ile birleştirilen parça resimleri görülmektedir.



Şekil 2.6. Soket füzyon kaynak tekniği [25].



Şekil 2.7. Soket füzyon kaynak tekniğinin uygulanması [25].

BÖLÜM 3

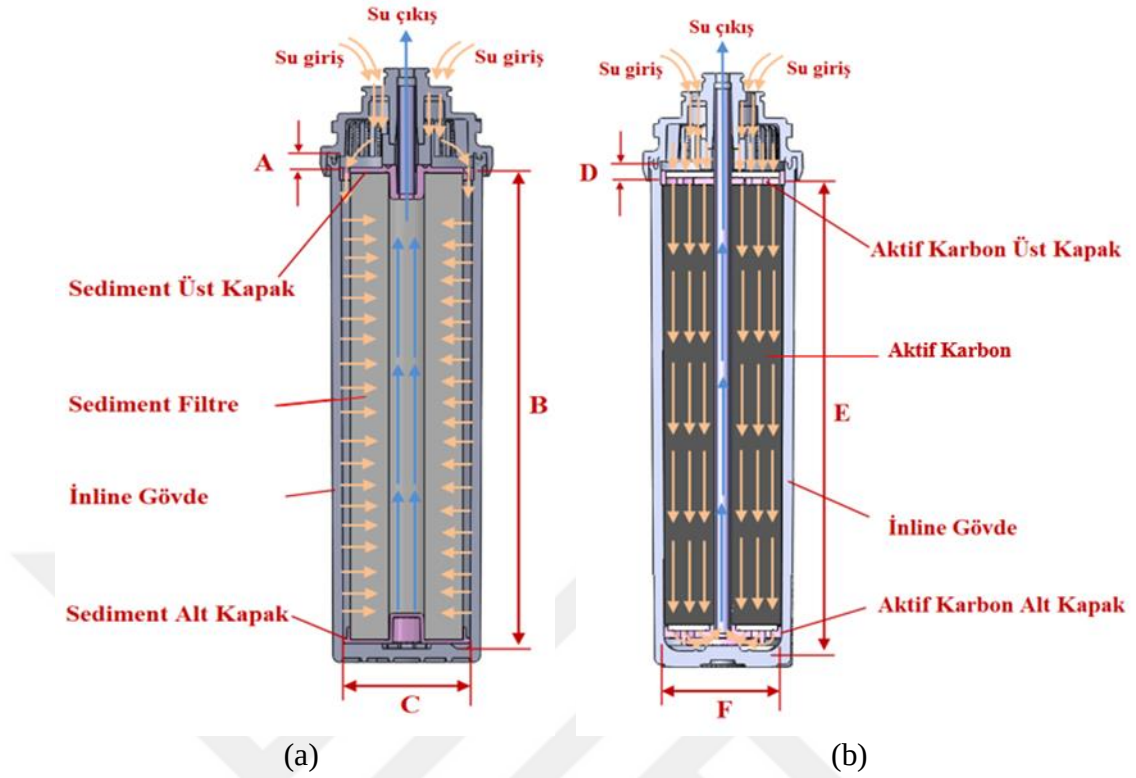
INLINE FİLTREDE ERGİYİK YIGILMANIN NEDEN OLDUĞU PROBLEM

Su arıtma cihazları, şebeken gelen suyun içerisinde bulunan partiküller, bakteri ve zararlı maddeleri ayrıştırarak temiz içilebilir su verilmesini sağlamaktadır. Bu ayrıştırma işleri 5 farklı filtreden geçerek yapılmaktadır. Bu filtrelerden 5 mikron sediment, aktif karbon ve 1 mikron sediment filtreler döner sürtünme kaynak yöntemiyle birleştirilmektedir. Şekil 3.1’de su arıtma cihazında kullanılan ön filtreler görülmektedir. 5 mikron ve 1 mikron sediment filtrelerde kullanılan parçalar birbirine benzemekte fakat aralarındaki tek fark sediment filtrenin gözenekleridir.



Şekil 3.1. Su arıtma cihazında 5 mikron, aktif karbonun ve 1 mikron filtrenin görünümü.

Sediment ve aktif karbon filtrelerin su giriş ve çıkış kısımları aynıdır. Fakat bu filtrelerin içerisinde su geçişleri yönlerinde farklılık görülmektedir. Şekil 3.2 (a)’da gösterilen sediment filtrede su yandan filtrenin yüzeyine ulaşmakta daha sonra filtreden süzülerek içeri geçmektedir. İçeride bulunan boşluktan geçerek filtreden çıkış yapmaktadır. Şekil 3.2 (b)’de gösterilen aktif karbon filtrede su üst kısımda buluna keçe filtreden geçmekte daha sonra karbon gözeneklerinden geçerek taban ulaşmaktadır. Tabanda bulunan boşluktan geçerek orta kısımdaki boruya yönlenecek, buradan da filtreden çıkış yapmaktadır.



Şekil 3.2. Su filtresi şematik görünüşü; a) Sediment filtre su akış durumu, b) Aktif karbon filtre su akış durumu.

3.1. SEDİMENT FİLTRELERDE OLUŞAN HATALAR

Şekil 3.2’de sediment filtrelerin gövde parçasının enjeksiyon baskı sonrası “C” ölçüsünün küçük çıkması, sediment filtre parçasının “B” ölçüsünün büyük çıkması ve sediment alt kapak parçasının “C” ölçüsünün büyük çıkmasından dolayı “A” ölçüsü azalmaktadır. “A” ölçüsü az olduğu durumlarda, sürtünme kaynak bölgesinin iç kısımlarında oluşan eriyik yığılmalar probleme neden olmaktadır. Bu eriyik yığılmalar sediment filtrenin su girişini kapatmakta ya da su debisini azaltmaktadır. Şekil 3.3’de okla gösterilen eriyik yığılmalar sediment filtrenin giriş alanını azalttığı veya kapattığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Sediment filtre arızalı eriyik yığılma durumu.

3.2. AKTİF KARBON FİLTREDE OLUŞAN HATALAR

Şekil 3.2 (b)’de aktif karbon filtrelerin gövde parçasının enjeksiyon baskı sonrası “F” ölçüsünün küçük çıkması, aktif karbon miktarının fazla konulmasıyla “E” ölçüsünün büyük çıkması ve aktif karbon alt kapak parçasının “F” ölçüsünün büyük çıkması durumlarında “D” ölçüsü azalmaktadır. “D” ölçüsün az olduğu durumlarda, sürtünme kaynak bölgesinin iç kısımlarında oluşan eriyik yığılmalar probleme neden olmaktadır. Bu eriyik yığılmalar aktif karbon üst kapak parçasındaki keçenin üstüne akmaktadır. Keçenin üzerine akan eriyik yığılmalar, aktif karbon filtrenin erken tıkanarak işlevini yerine getirmemesine ve temiz su debisinin azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.4’de okla gösterilen eriyik yığılmalar aktif karbon üst kapak parçasındaki keçenin üstüne aktığı görülmektedir.

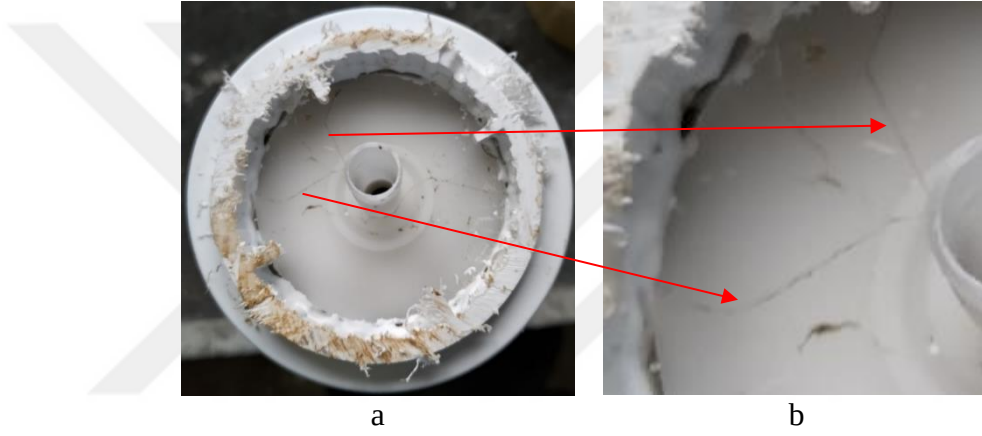


Şekil 3.4. Aktif karbon filtrede eriyik yığılmanın keçenin üzerine akması.

Sürtünme kaynak işleminde oluşan eriyik yığılmalar keçenin üzerine akarak yüzey alanı daraltmaktadır. Çapı 60 mm olan keçenin kullanım alan ölçüsü yaklaşık 50

mm'ye kadar düşmektedir. Bu da yüzey alanının da %30 oranında kayba neden olmaktadır.

Ayrıca sediment ve aktif karbon filtrelerde kaynak sırasında iç kısımda oluşan eriyik yığılmalarda sümüklenme/ipliklenme denilen yapı oluşmaktadır. Su geçiş sırasında bu iplik yapı koparak sediment filtre veya aktif karbon keçenin yüzeylerine yapışarak düşük oranda tıkanmalara sebepler olmaktadır. Şekil 3.5'de kaynak sonrası sediment üst kapak parçası üzerindeki iplik yapı oklarla gösterilmiştir. Şekil 3.5 (b)'de 3 kat büyütülmüş resimde oluşan ipliklenmeler görülmektedir.

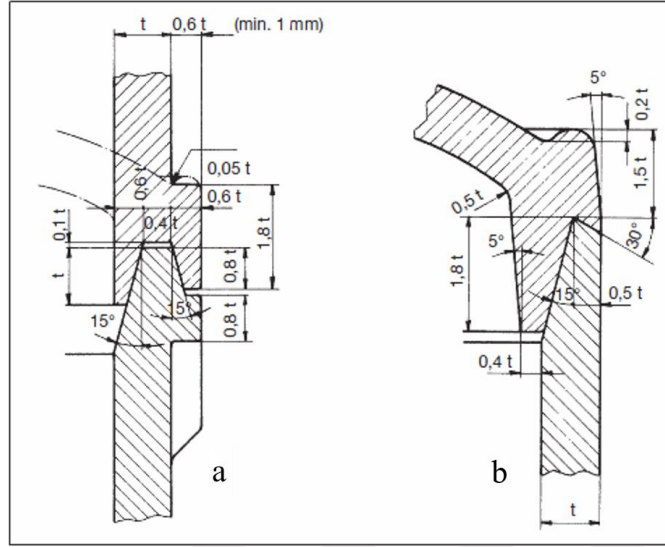


Şekil 3.5. Sediment filtrede iplik yapı durumu a) Üst kapak parça üzerindeki iplik yapı b) İplik yapının 3 kat büyütülmüş durumu.

Sürtünme kaynak sonrası oluşan yukarıdaki problemlerin çözümü için eriyik yığılmanın iç kısma akması için kaynak yapısının geliştirilmesi gerekmektedir.

3.3. INLINE FİLTRE KULLANILAN KAYNAK AĞIZ YAPISI VE ERİYİK YIĞILMA DURUMU

Sürtünme kaynak yapısı ile ilgili yapılan literatür taramalarında endüstride en çok kullanılan kaynak ağız tasarımları bulunmuştur. Kaynak sonrası yapının sıkı ve güçlü olması isteniyorsa kaynak ağız tasarımına dikkat edilmesi gerekmektedir. Sürtünme kaynağında baskı kuvveti, iki bileşenli parçaların birleştirilmesinde yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca kaynak yüzeyinin alanı, et kalınlığından yaklaşık 2 katından fazla olması gerekmektedir. Şekil 3.6'da uzun yıllardır endüstride kullanılan V kaynak ağız yapısının iki tipik örneği verilmiştir [26].



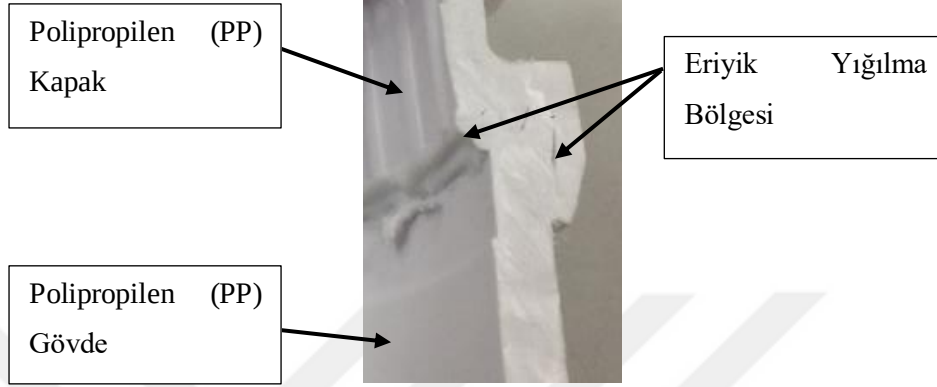
Şekil 3.6. V profil kaynak yapısı a) Tahrik ve kavram için b) Silindir parçaların taban ve kapakları için [26].

Şekil 3.6 (a)'daki kaynak ağız yapısı tahrik veya kavrama amacıyla kullanılan eşit iç çaplara sahip parçalar için uygundur (Örneğin, uzunlukları dikkate alınarak iki parça halinde yapılması gereken silindirik kaplar veya basınçlı kaplar). Şekil 3.6 (b)'deki kaynak ağız yapısı özellikle silindir parçaların taban veya kapak kısımlarının kaynaklanması (bütan gazı çakmak kartuşları, yangın söndürücüler veya aerosol şişeleri) için uygundur [26].

Şekil 3.6'da verilen duvar kalınlığı boyutları sadece önerilerdir, parçaların yapısı da elbette dikkate alınmalıdır. Ancak, kaynak ağız yapısının yüzey alanı asla azaltılmamalıdır. Yüksek bir sürtünme katsayısına sahip olan plastikler, eğim açısı çok küçük olduğunda, dış çapının dönmesiyle ve malzemenin eriyik yığılması önlediğinde kendiliğinden kilitlenmeye eğilimlidir. Bu nedenle 15 dereceden daha küçük açılar kullanıldığı durumlarda dikkat edilmesi gerekmektedir [26].

Şekil 3,6 (a)'daki gibi kaynak ağız yapısı için, kaynak öncesinde parçaların eksenine dik açılarda olan yüzeyler arasında belirli bir miktar hareket sağlanmalıdır. Bu durumda tüm basıncın tamamen kaynak ağız yapısı yüzeylerine etki etmesi sağlanır. Parçanın dönmesiyle kaynak ağız bölgesinde oluşan eriyiğin dışarıya akmasıyla çapak oluşmasını engellemek imkânsızdır, daha sonra giderilmesi gerekmektedir [26].

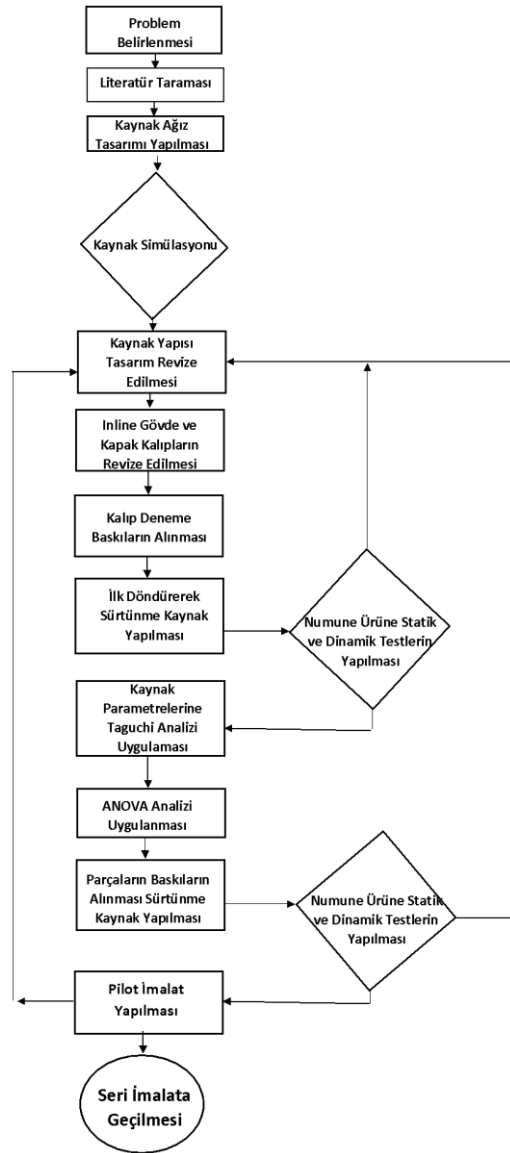
Şekil 3.6 (a)'da gösterilen kaynak ağız tasarımı mevcut inline filtrede kullanılmış ve sürtünme kaynak işlemi ile birleştirilmiştir. Şekil 3.7'de sürtünme kaynak sonrası iç kısımda oluşan eriyik yığılmalar görülmektedir. Kaynak bölgesi incelendiğinde iç ve dış kısımda eriyik yığılma olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Eriyik yapıda basınç altında kopması düşünülen parça görünümü.

Sediment ve aktif karbon filtrede oluşan problemlerin çözülmesi için iç kısımda herhangi bir eriyik yığılma olmaması gerekmektedir. Filtrelerin iç kısımda eriyik yığılmanın engellenmesi için kaynak ağız yapısı ve parça tasarımı geliştirmesi gerekmektedir. Inline filtrenin kaynak ağız yapısının geliştirilmesi için eriyik yığılmaların sonlu elemanlar yöntemiyle analiz/simülasyon yapılarak incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla analiz programlarından ABAQUS programı kullanılarak kaynak ağız yapısı geliştirilmesi karar verilmiştir.

Inline filtre kaynak ağız yapısının geliştirilmesi için uygulanacak yol haritası Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Inline filtre kaynak ağız yapısı geliştirilmesi için akış şeması.

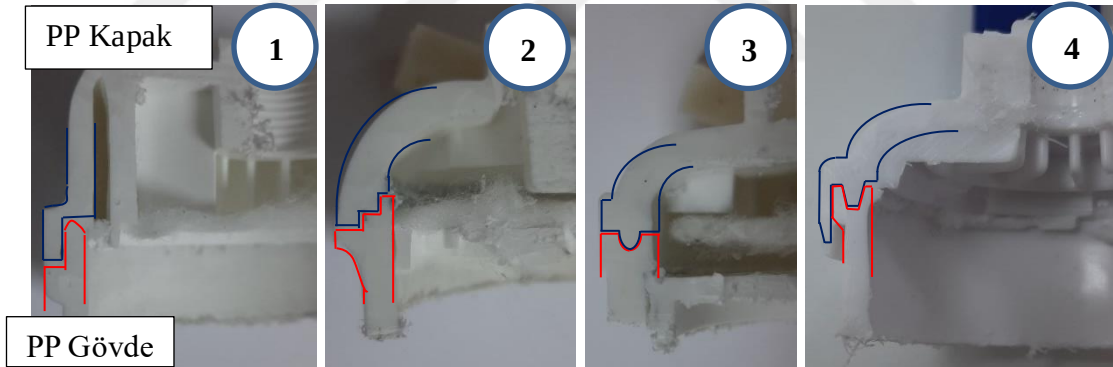
BÖLÜM 4

ABAQUS PROGRAMI İLE KAYNAK AĞIZ TASARIMI GELİŞTİRİLMESİ

Piyasada diğer firmaların filtrelerin birleşiminde kullandıkları kaynak ağız tasarımları ve eriyik yığılma durumları gözden geçirilmiştir.

4.1. PİYASADA KULLANILAN FİLTRELERDEKİ KAYNAK AĞIZ TASARIMI VE ERİYİK YIGILMA DURUMU

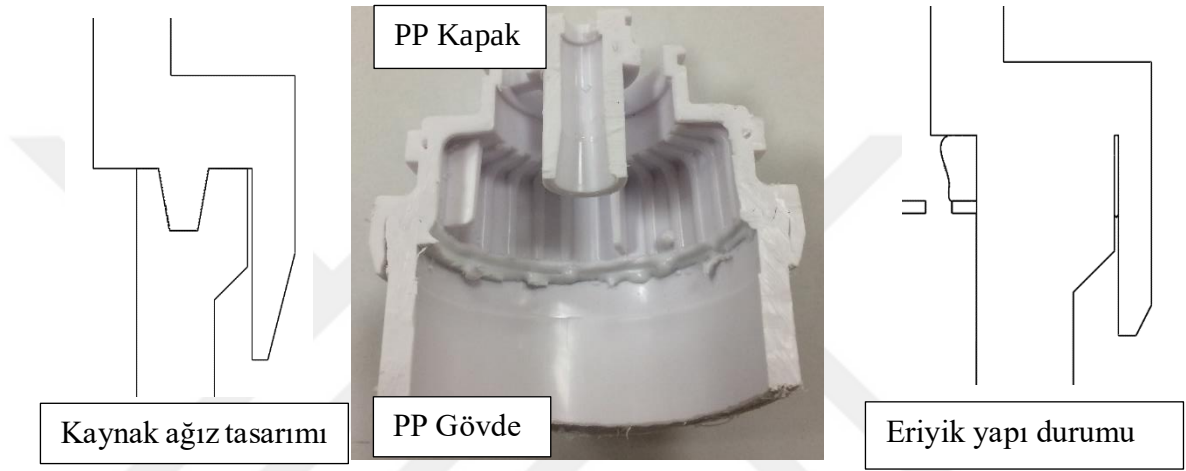
Piyasadaki diğer inline filtrelerin kaynak sonrası yapının gözlenmesi için dört farklı filtre kesilerek incelenmiştir. Şekil 4.1’de dört adet parçanın kaynak sonrası yapıları görülmektedir [27].



Şekil 4.1. Piyasadaki inline filtreleri kaynak bölgeleri.

Şekil 4.1’de piyasa filtreleri incelendiğinde, 1,2 ve 3 nolu parçanın kaynak ağız tasarımı yaklaşık olarak resim üzerinde gösterilmiştir. Bu yapıda hem iç kısımda hem de dış kısımda eriyik yığılmalar oluşmaktadır. Kaynak ağız tasarımı farklılığından dolayı iç kısımda oluşan eriyik yığılmaların farklı olduğu görülmektedir. Dış kısımda oluşan yığılmalar kaynak işlemi sonrası torna makinası gibi cihazlarla temizlenmesi gerekmektedir.

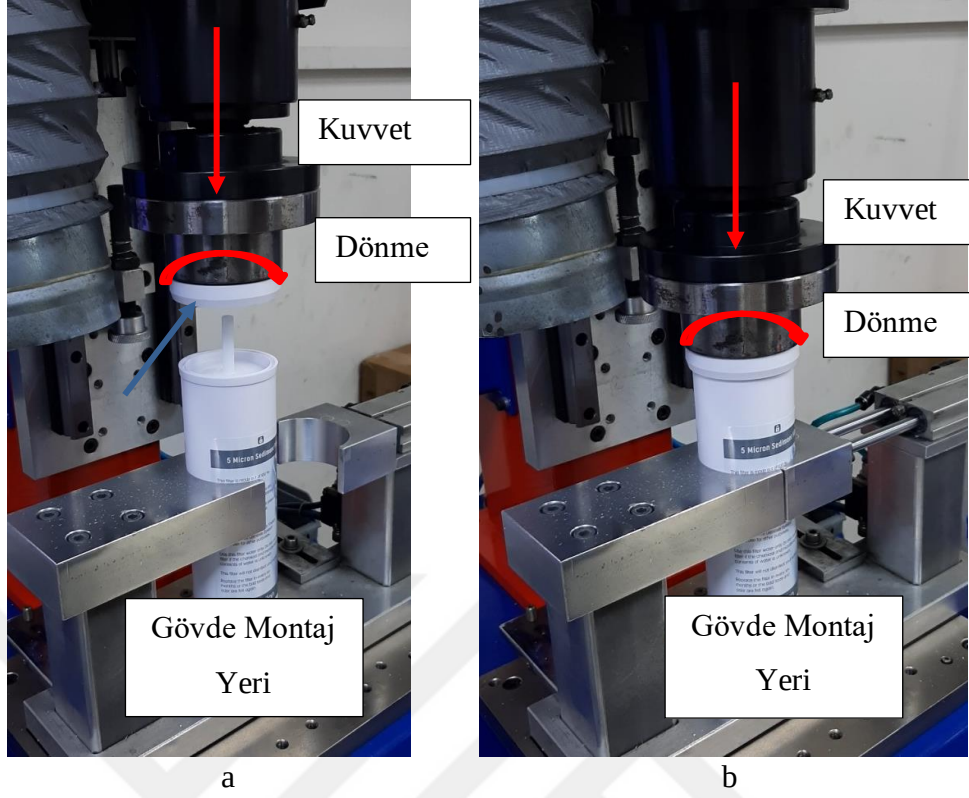
Şekil 4.1’de piyasa filtreleri incelendiğinde, 4 nolu parçanın kaynak ağız yapısının mevcut kullanılan inline filtredeki yapıya benzer olduğu görülmektedir. 4 nolu parçadaki eriyik yığılma mevcut kullanılan inline filtre parçasının (Şekil 3.7) kaynak sonrası yapıya benzediği görülmektedir. Bu parçanın dış kısım tasarımındaki formdan dolayı kaynak sonrası tornalama işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Şekil 4.2’de mevcut kullanılan inline filtre parçasının kaynak ağız yapısı ve eriyik yığılma durumu görülmektedir [27].



Şekil 4.2. Analiz ve simülasyonu yapılacak parçanın kaynak bölgesi ve yapısı.

4.2. FEM PROGRAMINDA (ABAQUS) FİLTRE KAYNAK AĞIZLARININ TASARIMI VE ANALİZ HAZIRLIKLARI

Analiz programına veri alt yapısı oluşturulması için sürtünme kaynak işlem sırasında gerçekleşen işlemler incelenmiştir. Sürtünme kaynak makinesi boşa dönme işlemine başlamakta, istenilen dönme hızına ulaştıktan sonra gövde üzerinde aksel hareket ederek sürtünme kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Kaynak işleminde inline gövde parçası sabitlenmekte, inline kapak parçası dönmekte ve dönerek aşağıya doğru hareket etmektedir. Şekil 4.3.(a)’da sürtünme kaynak makinesinde inline gövde ve kapak parçasının montaj edildiği görülmektedir. Şekil 4.3.(b)’de sürtünme kaynak makinesinde parçalarının birleşme durumu görülmektedir [27].



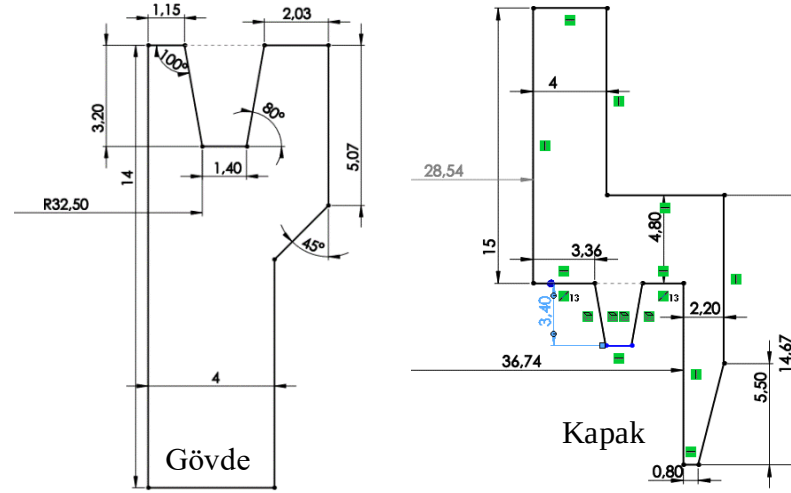
Şekil 4.3. Sürtünme kaynak makinası a) Kaynak makinasına parçaların montajı b) Parçaların sürtünme kaynak işlemi.

Çizelge 4.1’de mevcut filtrenin (sediment ve aktif karbon filtre) kaynak edilmesi için sürtünme kaynak makinesine girilen parametreler; dönme hızı, sürtünme kaynak basıncı, sürtünme kaynak süresi ve kaynak sonrası bekleme zamanları verilmiştir. Sürtünme kaynak makinasında döndürme işlemi servo motor ile yapılmaktadır. Parça üzerinde baskı işlemi hava ile yapılmaktadır.

Çizelge 4.1. Sürtünme kaynak makinesi girilen parametreler.

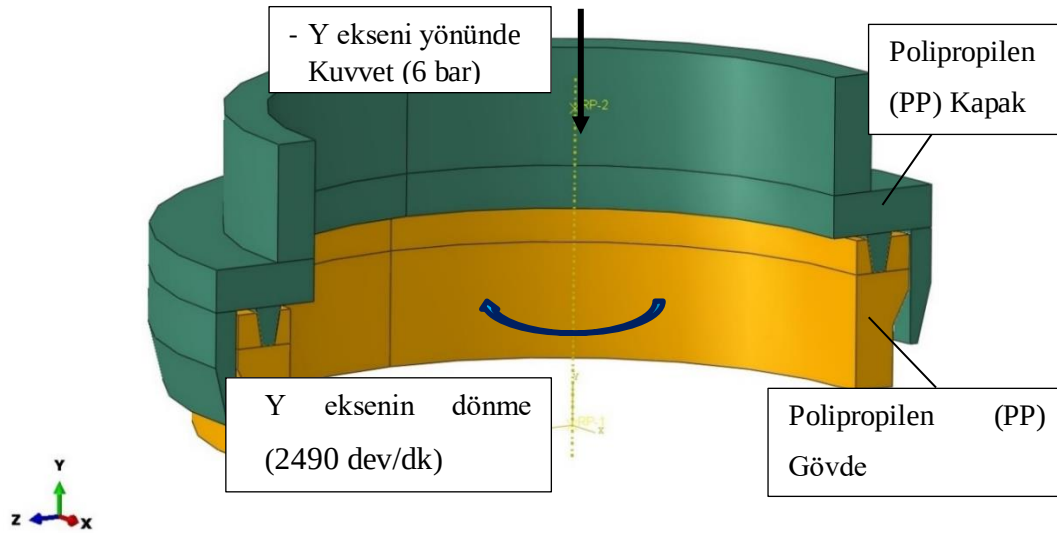
Giriş Parametre Adı	Giriş Parametre Değeri
Dönüş devir hızı (dev/dk)	2490
Sürtünme kaynak basıncı (bar)	6
Sürtünme kaynak süresi (sn)	2
Sürtünme kaynak sonrası bekleme süresi (sn)	3,5

ABAQUS programında analiz yapılması için mevcut filtrelerde kullanılan kaynak ağız yapısının tasarımı gerekmektedir. Şekil 4.4’de mevcut kullanılan inline gövde ve kapak parçasının kaynak ağız yapısının ölçüleri görülmektedir [27].



Şekil 4.4. Analiz yapılacak parçanın ölçüleri.

Şekil 4.4'te verilen bu ölçülere göre ABAQUS programında kaynak ağız bölgesinin tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarım ve parça üzerinde girilen parametreler Şekil 4.5'de gösterilmiştir [27].



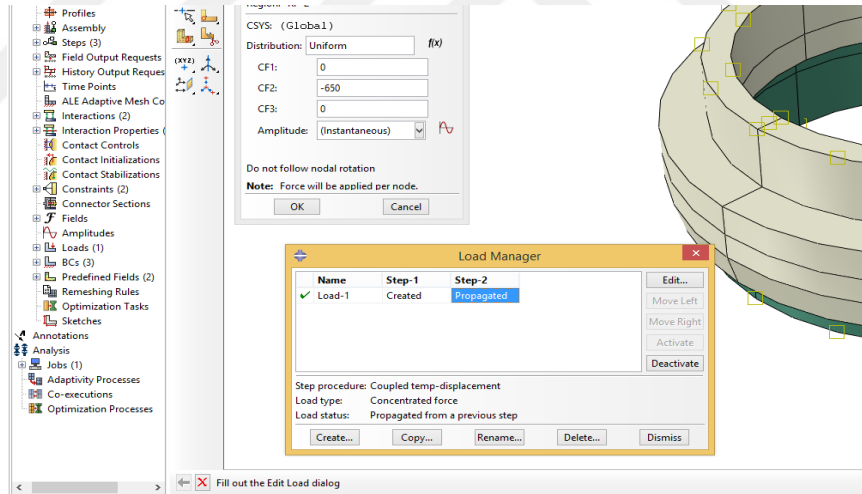
Şekil 4.5. Analiz yapılacak parçanın görünümü.

ABAQUS programında veri alt yapısı oluşturulması için malzeme verileri girilmiştir. Çizelge 4.2'de polipropilen malzemesi için girilen veriler görülmektedir.

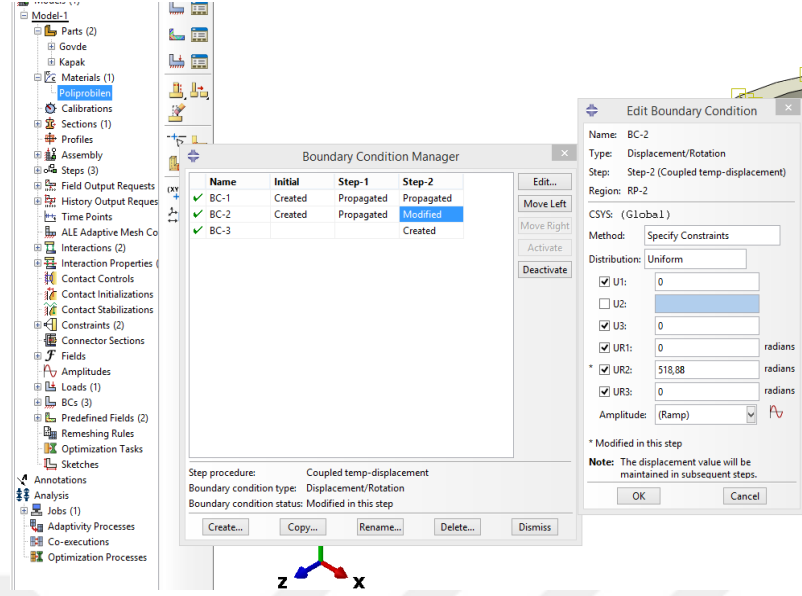
Çizelge 4.2. Polipropilen malzeme özellikleri [28].

	Test Method (ISO)	Value
Yoğunluk (gr/cm ³)	1183	0,92
Gerilme Kuvveti (MPa)	51,68	300
Elastiklik Modülü (MPa)	527	1250
Kopma Uzaması (%)	527	>50
Maks. Sürekli Çalışma (°C)	-	100
Min. Sürekli Çalışma (°C)	-	5
Termal Genleşme Katsayısı (°C ⁻¹)	11359	1,6x10 ⁻⁴

ABAQUS yazılımına malzeme verileri girildikten sonra Çizelge 4.1'deki parametrelerin parça üzerine uygulaması yapılmıştır. Gövde parçası taban kısmından sabitleme yapılmıştır. Kapak parçasına –Y yönünde kuvvet uygulanmış aynı zamanda kapak parçasına y eksenin dönme hızı tanımlanmıştır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de ABAQUS yazılımına bu verilerin girilmesi gösterilmiştir.



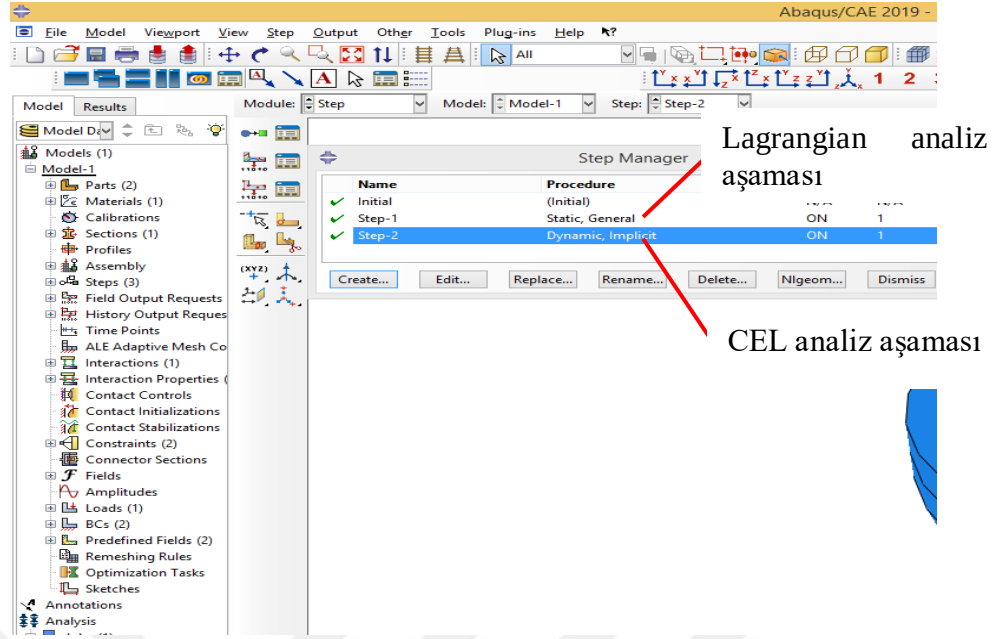
Şekil 4.6. – Y yönünde kuvvetin girilmesi.



Şekil 4.7. Y eksenin rad cinsinden dönme hareketin verilmesi.

Mevcut filtrelerdeki eriyik yığılmayı analiz/simülasyon edebilmek için ABAQUS programında iki aşamalı şekilde çözüm yapılmıştır. Gövde ve kapak parçasının sürtünme kaynak işlemi sırasında kaynak bölgesinde katı halden sıvı hale geçiş kısmı için Lagrangian yöntem kullanılmıştır. Lagrangian yöntemle malzemenin katı durumdaki sıcaklık, gerilme ve radyal kuvvet gibi değerler elde edilmiştir. Kaynak işleminde malzeme eriyik sıcaklığa geçiş yaptığında Lagrangian yöntemle çözüm alınamamaktadır. Eriyik durumda yapıyı analiz edilmesi için CEL (Coupled Eulerian Lagrangian) eleman yöntemi kullanılmıştır. CEL eleman yönteminde çözüm alabilmek için ABAQUS yazılımında eriyik bölgeye yeni bir eleman tanımlanmaktadır. Bu elemana Eulerian yapı denilmekte, bu yapı istenilen boyutta karelere bölünebilmektedir. Eulerian yapı eriyik bölgedeki sıvı akışkanın hareketi ile her bir karedeki doluluk oranları vermektedir. Bu sayede eriyik malzemenin akış durumu analizi ve simülasyonlarının yapılmasına imkân sağlamaktadır. Eulerian yapıdaki mesh sıklığı fazla olduğunda eriyik davranışlar daha hassas sonuç vermekte fakat analiz çözüm zamanı uzamaktadır.

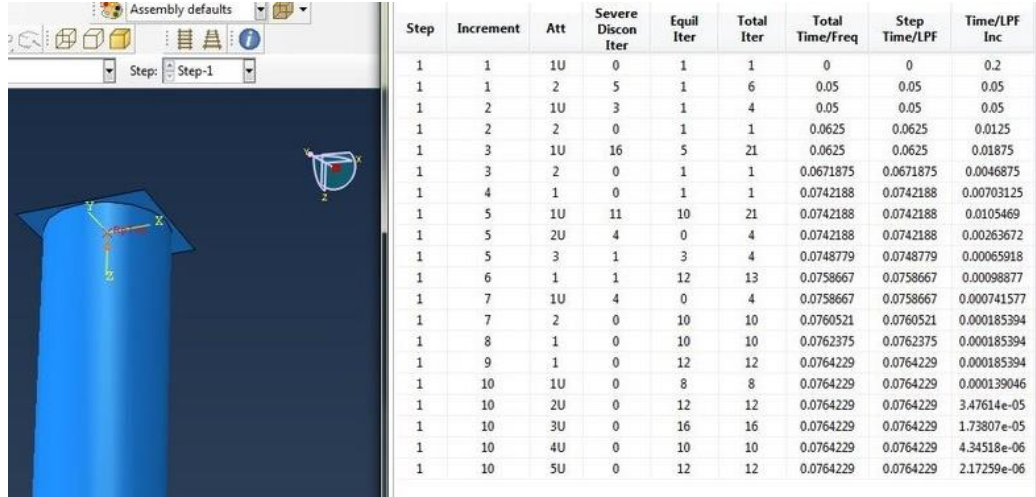
Şekil 4.8’de ABAQUS programında yapılan aşamalar görülmektedir. Lagrangian yöntemle parçaların dinamik yük altında, sıcaklık, yer değiştirme ve gerilme gibi değerlerin zamana göre analizlerin verileri alınmıştır. Lagrangian analizden çıkan veriler CEL yönteminde giriş verileri olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Parça çözümü için verilen çözüm yöntem aşamaları.

4.3. ABAQUS PROGRAMINDA LAGRANGIAN ve CEL ANALİZ SONUÇLARI

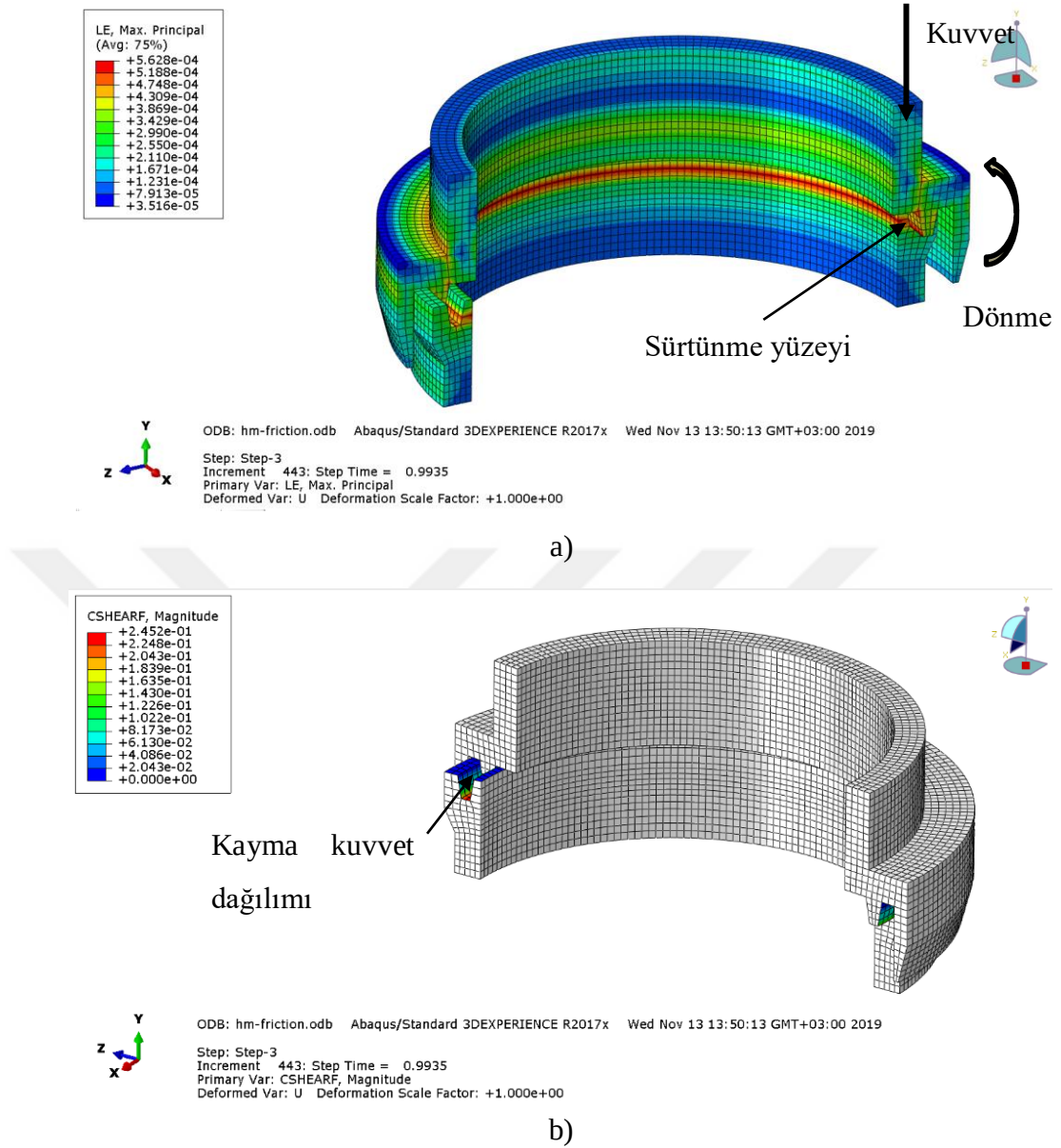
Parçanın sürtünme kaynak analizi yapılırken, Lagrangian yöntemle analiz çözümleri hızlı ve hatasız olurken CEL analizde ise uzun ve birçok hata alınmıştır. ABAQUS programı çalışma mantığı nedeniyle çözüm sırasında çözüm alamadığı aşamada, hemen hata vermemek için çözüm zamanını ikiye bölerek çözüm almaya çalışmaktadır. Bu durumda işlem monitöründen ilgili aşamanın yanına U harfi vermektedir. Bu bölme işleminde eğer sonuç alınamazsa bölünen parça tekrar ikiye bölünerek U harfi verilerek tekrar çözümler yapılmaya çalışılır. Beş defa bölme işleminden sonra hala çözüm alınamazsa analiz hata verip sonlandırılmaktadır. Şekil 4.9'da bu hata durumları görülmektedir.



Şekil 4.9. ABAQUS yazılımında hata gösterimi.

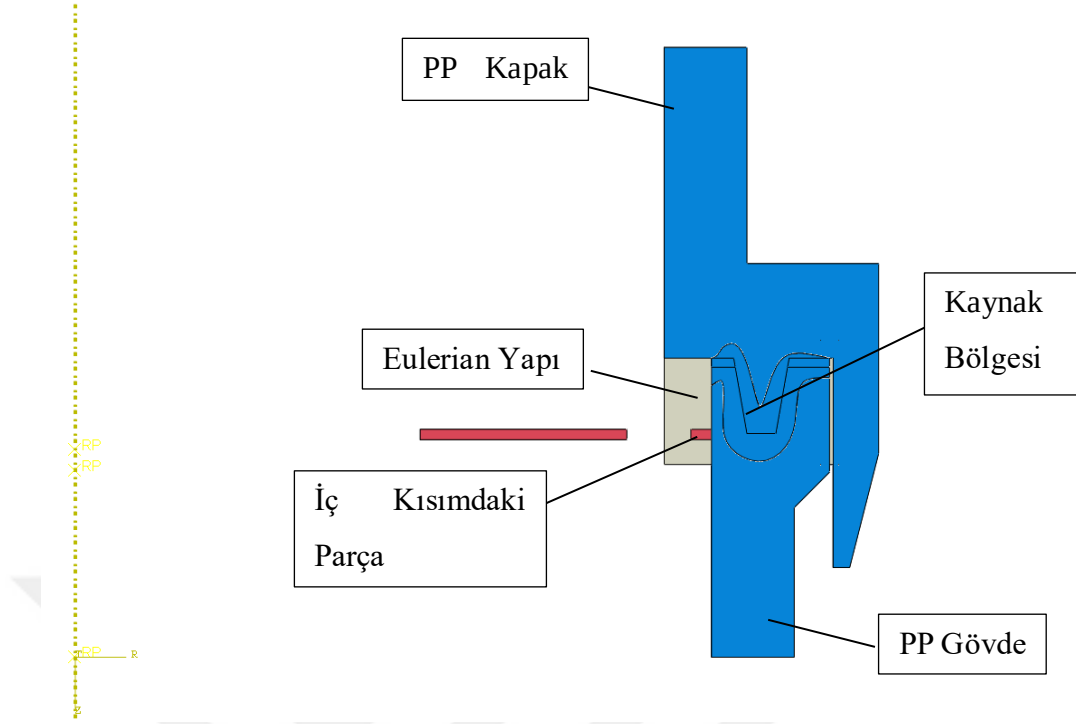
Sürtünme kaynak analizi sırasında hata verdiği veya istenilen eriyik yığılma durumu elde edilmediği durumda CEL analiz verileri değiştirilerek yeniden analiz yapılmaktadır. Bu durumda Lagrangian analizi yeniden yapılması gerekmekte bu da analiz çözüm zamanı uzun olmaktadır. Lagrangian analiz çözüm süresi olarak 1 gün süre almaktadır. Sürtünme kaynak analizinde hatalar ve veri değişikliği CEL analizde aşamasında olmaktadır. Lagrangian yöntemde veri değişikliği olmadığından dolayı her analizde aynı verileri vermektedir. Analiz çözüm süresinde zaman kazanmak için Lagrangian analizden çıkan veriler CEL analizinde sabit veri olarak girilmektedir.

Şekil 4.10 (a)'da Lagrangian analiz sonuçlarında sürtünme yüzeyi ve maksimum asal gerilim (Von Mises Stress) dağılımı görülmektedir. Lagrangian analiz sonucu incelendiğinde parçanın aksenal kuvvet uygulandığında iç kısma doğru az miktarda dönme meydana gelmektedir [27]. Dönme hareketinden dolayı iç kısımda temas daha fazla olmaktadır. İç kısımda temasın fazla olmasıyla sıcaklığın erken başlamasına ve eriyik yığılmanın iç kısımda daha fazla olmasına etki ettiği görülmüştür [27].



Şekil 4.10. Lagrangian analizi a) Maksimum asal gerilim grafiği b) Kayma kuvvet dağılım grafiği

Şekil 4.10 (b)'de sürtünme kaynak işlemi sırasında kaynak ağız yapısına etki eden kayma kuvvet dağılımı görülmektedir. Kayma kuvveti kaynak ağız bölgesinde tabanda daha fazla olduğu görülmüştür. Lagrangian analiz bittiğinde parça katı halden sıvı hale geçtiğinden dolayı CEL yöntemde çözül almak için parça çizimine Eulerian yapı tasarımı eklenmiştir. Lagrangian analiz sonucu elde edilen veriler (merkez kaç kuvveti, baskı kuvveti ve iç kısımda oluşan reaksiyon kuvvetler gibi) CEL analiz yönteminde veri girişi yapılmıştır. Şekil 4.11'de CEL analiz yöntemi ve Eulerian yapı tasarımı görülmektedir [27].



Şekil 4.11. CEL analizde yapılan tasarım ve parça durumu.

Programa veri girişleri ve ayarlamalar yapıldıktan sonra CEL analiz aşamasına geçilmiştir. Analizler Çizelge 4.3'te özellikleri verilen iş istasyonunda çözülmüştür.

Çizelge 4.3. Kullanılan iş istasyonu donanım bilgileri.

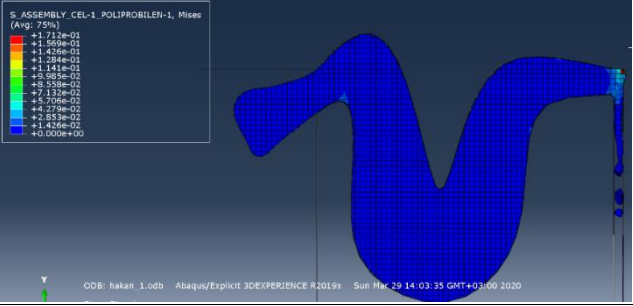
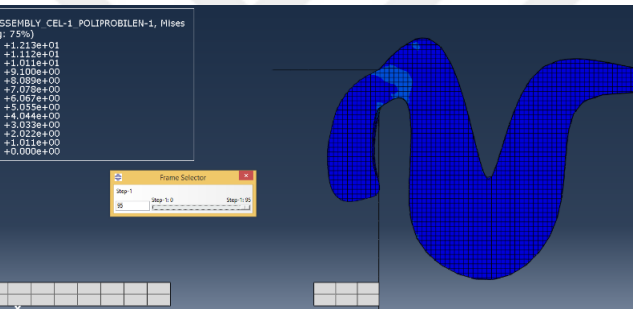
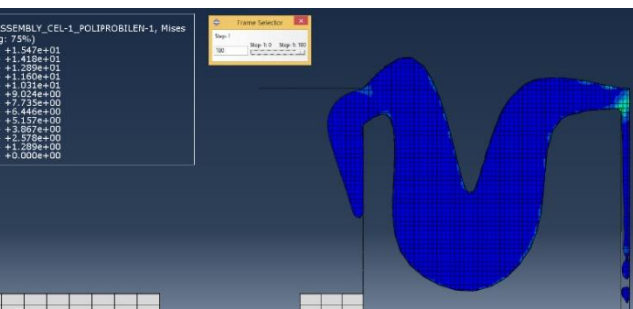
Model Numarası	Dell Precision T3630
İşlemci Hızı	Intel Xeon E Serisi 4,70 GHz
Ram	256 GB DDR4-2666
Ekran Kartı	NVIDIA Quadro P2000 DDR4 5GB

4.4. ABAQUS ANALİZİ NETİCESİNDE ORTAYA ÇIKAN ERİYİK YIĞILMALARININ DEĞERLENDİRMESİ

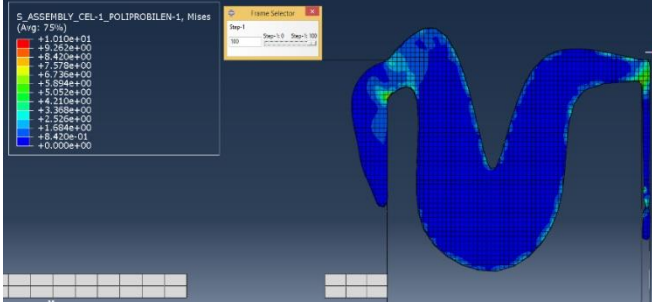
Eriyik yığılma analizini çözümlmek için yaklaşık olarak 200 üzerinde çözümler alınmıştır. Bu analizlerde Şekil 4.2'deki eriyik yığılma karşılaştırmaları yapılmış, eriyik yığılma durumu elde edilinceye kadar girilen parametre verileri değiştirilmiştir. Sürtünme kaynak analizi için girilen parametrelerin bazıları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4’de yapılan bu analizlerde elde edilen eriyik yığılma durumu ve yorumları yapılmıştır. [27].

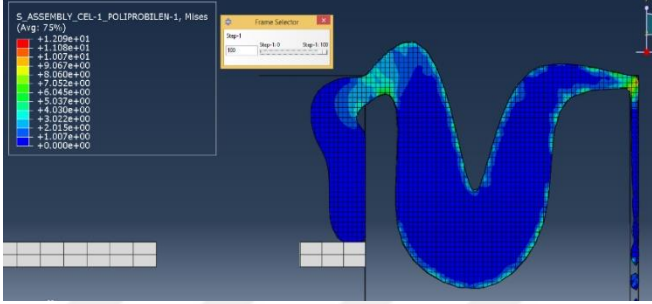
Çizelge 4.4. Analiz sonrası eriyik durum, değiştirilen parametreler ve analiz yorumlar.

	Düşey Kuvvet	-9807
	Radyal Kuvvet	43864.9
	Velocity	209.44
	Dinamik Vizkosite	200
Bu analizde, çözüm %87 sinde hata vermiştir. Analizde görüldüğü üzerinde sağ taraftaki akma su gibi olmakta, aynı zaman iç kısımda akma içeriye doğru aktığı görülmektedir. Radyal kuvvet ve düşey kuvvet değerleri üzerinde değişiklikler yapılmaya karara verilmiştir.		
	Düşey Kuvvet	-98070
	Radyal Kuvvet	43864.9
	Velocity	209.44
	Dinamik Vizkosite	200
Bu analizde sağ tarafta akma az olmakta fakat dinamik viskozite değerinin fazla olduğu görülmektedir. Radyal kuvvetin az olduğu düşünülmüştür. Radyal kuvvet ve düşey kuvvet değerleri artırılması düşünülmüştür.		
	Düşey Kuvvet	-9807000
	Radyal Kuvvet	43864900
	Velocity	209.44
	Dinamik Vizkosite	200
Bu analizde sağ tarafta akma çok olmakta dinamik viskozite değerinin az olduğu görülmektedir. Radyal kuvvetin istenilene yakın olduğu düşünülmüştür. Radyal kuvvet ve düşey kuvvet değerleri artırılması düşünülmüştür.		

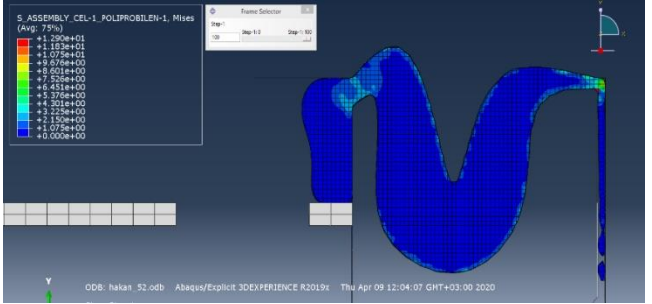
Çizelge 4.4. Analiz sonrası eriyik durum, değiştirilen parametreler ve analiz yorumlar.
(devamı)

	Düşey Kuvvet	-9807000
	Radyal Kuvvet	43864900
	Velocity	20.944
	Dinamik Vizkosite	200

Bu analizde sağ tarafta akma olmakta fakat dinamik viskozite değerinin istenilen değere yakın olduğu düşünülmekte ve radyal kuvvetin istenilene yakın olduğu düşünülmüştür. Fakat eriyik yığılmanın istenilen yapıda olmadığı görülmüştür. Eulerian formda değişiklik yapılmaya karara verilmiştir. Velocity değeri düşürülmüştür.

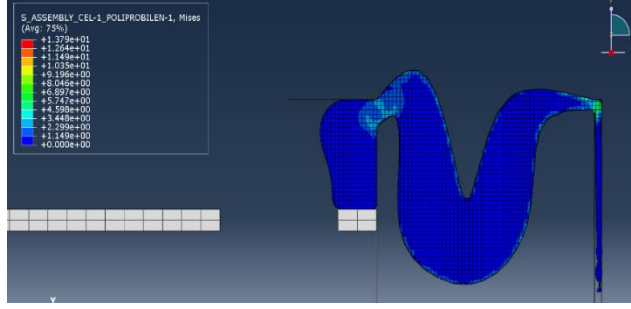
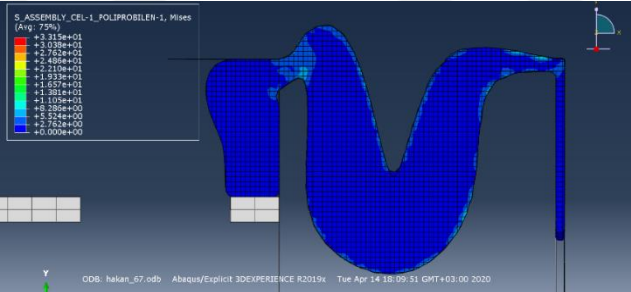
	Düşey Kuvvet	-2982700
	Radyal Kuvvet	53962900
	Velocity	20.944
	Dinamik Vizkosite	200

Bu analizde sağ tarafta akma çok olmakta bu yüzden düşey kuvvet değerinin azaltılması düşünülmüş ve sol tarafta boşluk olduğundan dolayı radyal kuvvetin artırılması gerektiği düşünülmüştür. Eriyik yığılmanın istenilen yapıda olmadığı görülmüştür.

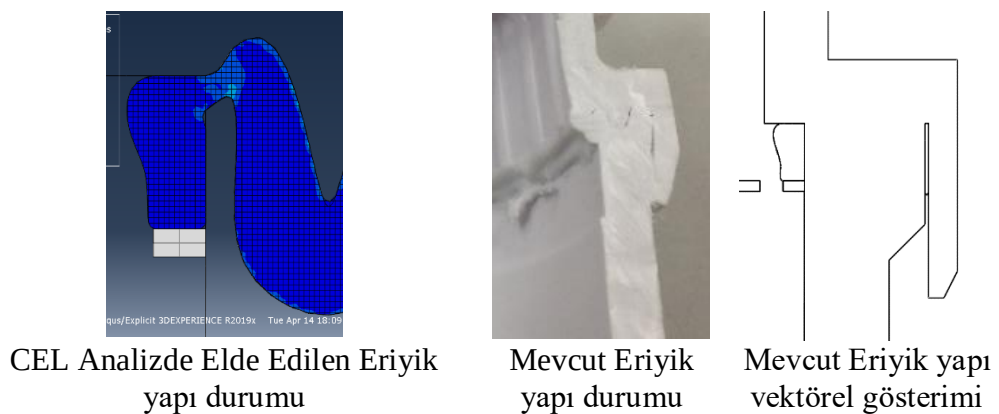
	Düşey Kuvvet	-9827000
	Radyal Kuvvet	38962900
	Velocity	20.944
	Dinamik Vizkosite	200

Bu analizde sağ tarafta akma çok olmakta bu yüzden düşey kuvvet değerinin artırılması düşünülmekte ve radyal kuvvetin düşürülmesi düşünülmüştür. Eriyik yığılmanın istenilen yapıda olmadığı görülmüştür. Eulerian formda değişiklik yapılmaya karara verilmiştir

Çizelge 4.4. Analiz sonrası eriyik durum, değiştirilen parametreler ve analiz yorumlar.
(devamı)

	Düşey Kuvvet	-9827
	Radyal Kuvvet	24962900
	Velocity	20.944
	Dinamik Vizkosite	150
Bu analizde sağ tarafta akma çok olmakta bu yüzden düşey kuvvet değerinin azaltılması düşünülmekte ve radyal kuvvetin azaltılması düşünülmüştür. Eriyik yığılmanın istenilen yapıda olmadığı görülmüştür.		
	Düşey Kuvvet	-98,27
	Radyal Kuvvet	8962900
	Velocity	20.944
	Dinamik Vizkosite	150
Bu analizde sağ tarafta akma istenilen düzeyde bu yüzden düşey kuvvet değeri bu şekilde alınmış ve radyal kuvvetin istenilene yakın olduğu düşünülmüştür. Eriyik yığılmanın istenilen yapıda olduğundan dolayı diğer aşamalara geçilmesi hedeflenmiştir.		

Şekil 4.12’de CEL analizde elde edilen eriyik yapı ile mevcut filtredeki eriyik yığılma karşılaştırılmıştır. Analizde elde edilen eriyik yapı ile mevcut yapı birbirine yakın oldukları görülmektedir [27].



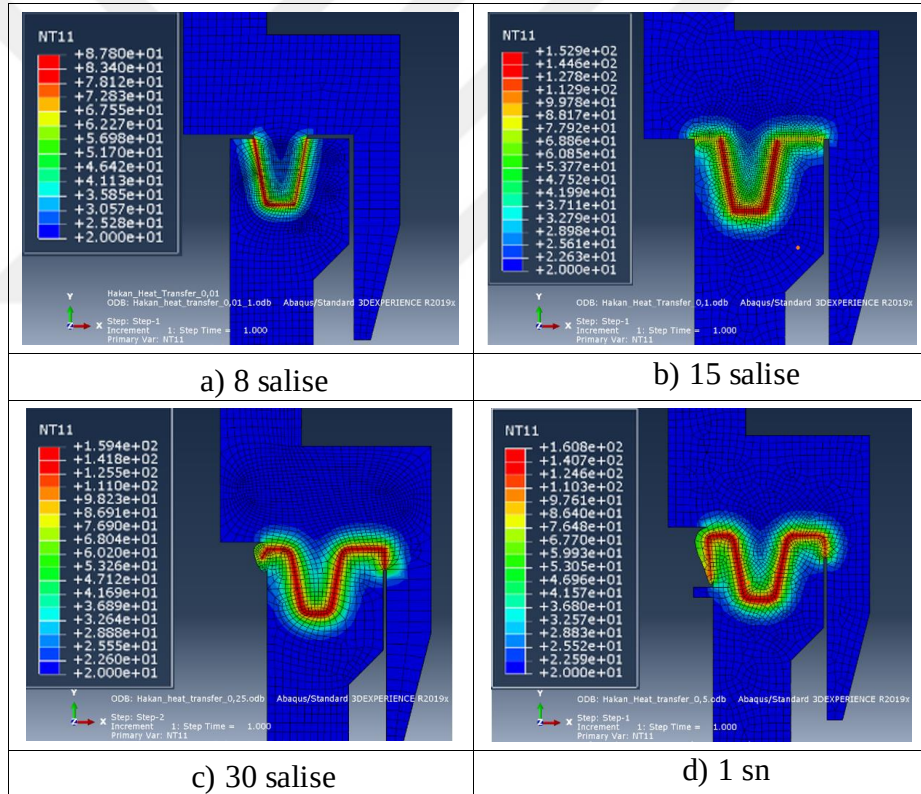
Şekil 4.12. CEL analiz elde edilen yapı ile mevcut yapı karşılaştırması.

İstenilen eriyik yapıyı ABAQUS programında elde edildikten sonra kaynak bölgesinin sıcaklık görselleri çıkartılmasına ve grafiklerin alınması için uzun süreli analiz çözümleri alınmıştır.

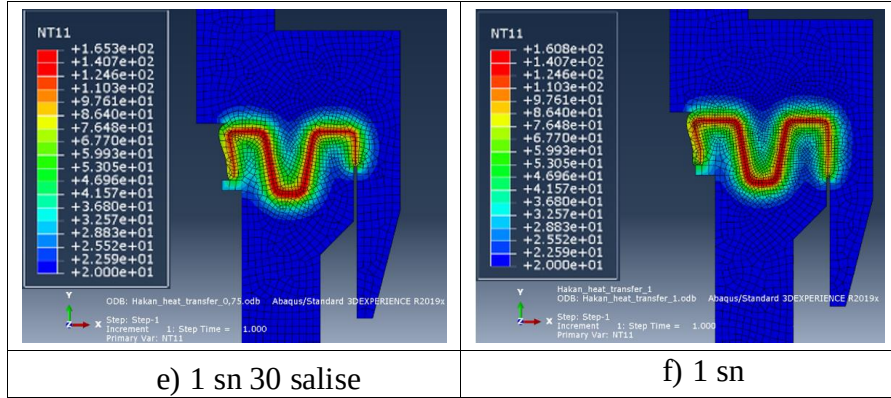
4.5. MEVCUT KULLANILAN KAYNAK AĞIZ YAPILARININ KAYNAK ZAMANINA BAĞLI OLARAK SICAKLIK DAĞILIMI

Analiz verileri belirlendikten sonra uzun süreli analiz çözümü için server bilgisayar üzerinde sonuçlar alınmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre parçanın zamanlara göre sıcaklık görselleri ve yapısı Çizelge 4.5’de gösterilmiştir [27].

Çizelge 4.5. Zamana bağlı olarak sıcaklık ve eriyik yapı görselleri.



Çizelge 4.6. Zamana bağlı olarak sıcaklık ve eriyik yapı görselleri (Devamı).

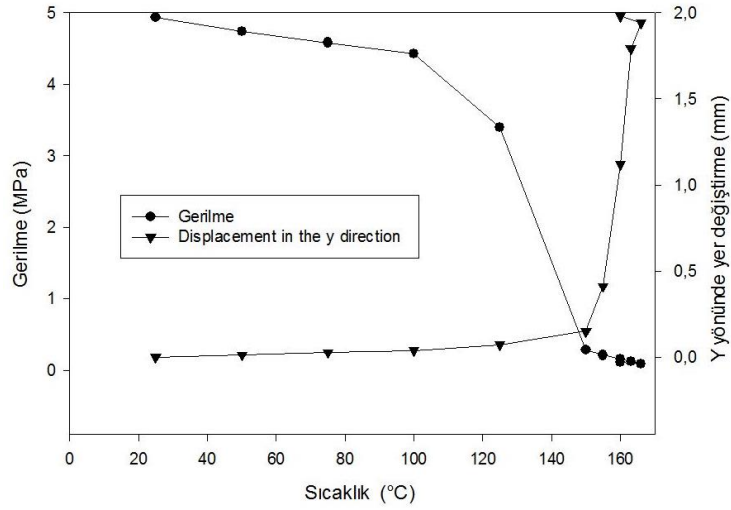


Çizelge 4.6’da sıcaklık grafikleri incelendiğinde 8 salise de iç kısımda sürtünme baskısı ve yüzey teması daha yoğun olduğundan, sıcaklık dağılımının daha fazla olduğu görülmektedir. 15 salise de kaynak yapısı üzerinde bütün yüzeylerde sürtünme artmaktadır. Buna bağlı kaynak ağız kısmında plastik eriyik hale geçmeye başlamıştır. 30 salise de bütün yüzeylerde plastik eriyik hale geçmiş ve iç ve dış kısma doğru eriyik yığılmalar oluşmaya başlamıştır. 1 sn ’de parçanın iç kısma doğru eriyik malzeme akışı artarken dış kısma fazla eriyik olmadığı görülmüştür.

1,5 ve 2 sn ’de parçada eriyik yığılmalar iç kısımda yoğunlaşmaya başlamış ve iç kısımda bulunan plastik parçanın üstüne akmaktadır. İç kısımda oluşan eriyik yığılma varken kaynak işlemi devam ettiği sürece yeni oluşan eriyik malzeme iç kısımdaki malzemenin üzerinden akarak devam ettiği görülmüştür.

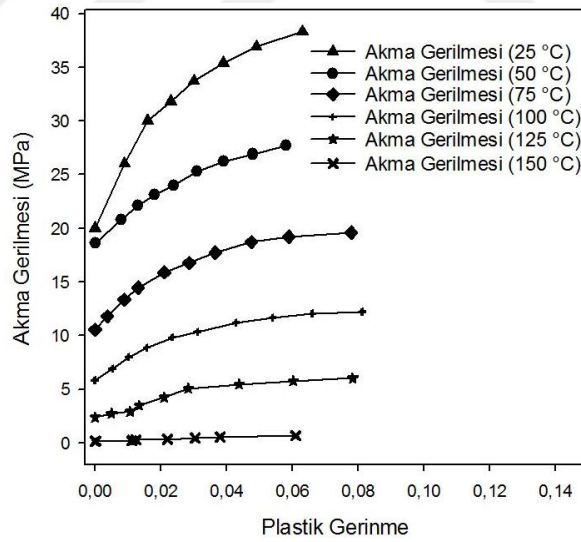
4.6. KAYNAK BÖLGESİNİN MEKANİK ÖZELLİK GRAFİKLERİN DEĞERLENDİRMESİ

Kaynak bölgesinin sıcaklık analiz verileri elde edildikten sonra yer değiştirme, gerilme, iç enerji gibi verileri çıkartılmıştır. ABAQUS programından elde edilen sonuçların, Sigmaplot yazılımı kullanılarak grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4.13’de sıcaklığa bağlı olarak kaynak bölgesinde oluşan stres olarak 4,9253 MPa olarak görülmüştür. Malzeme sıcaklığı arttıkça gerilme değerinin düştüğü görülmüştür. Aynı zamanda sıcaklığa bağlı olarak yer değişimi değeri tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre -Y yönünde 1,98 mm parça boyunda azalma olduğu görülmüştür [27].



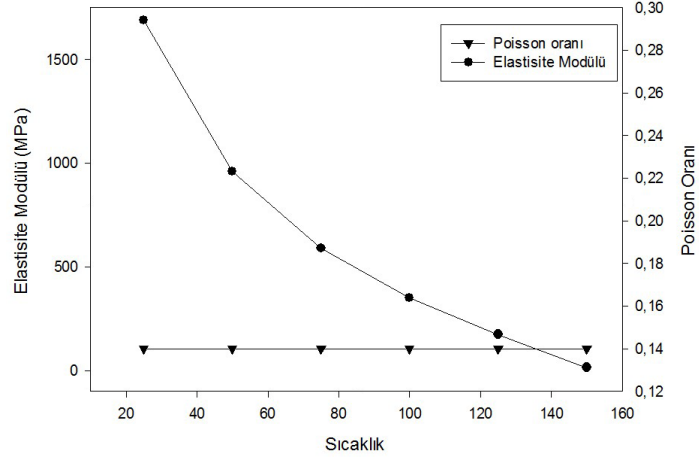
Şekil 4.13. Sıcaklığa bağlı yer değiştirme ve gerilme grafiği.

Şekil 4.14’de ise belirlenen sıcaklıklara göre polipropilen malzemenin plastik gerilme ve akma gerilmesi grafiği görülmektedir. Plastik gerilme artığında parçanın akma gerilmesinin arttığı görülmüştür. Bu artma düşük sıcaklıkta fazla iken sıcaklık artıktıkça azaldığı görülmüştür [27].



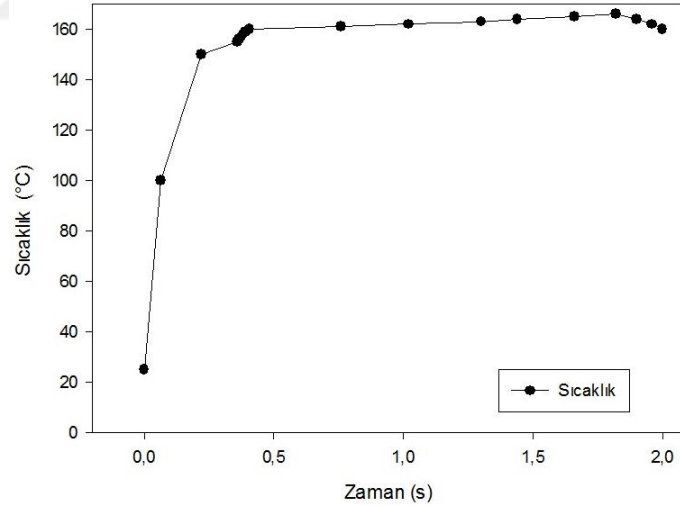
Şekil 4.14. Sıcaklığa bağlı plastik gerilme ve akma gerilimi grafiği.

Şekil 4.15’de belirlenen sıcaklıklara göre polipropilen malzemenin elastisite modülü ve Poisson oranı grafiği görülmektedir. Sıcaklık artıktıkça elastisite modülü azalırken Poisson oranı sabit olduğu görülmüştür [27].



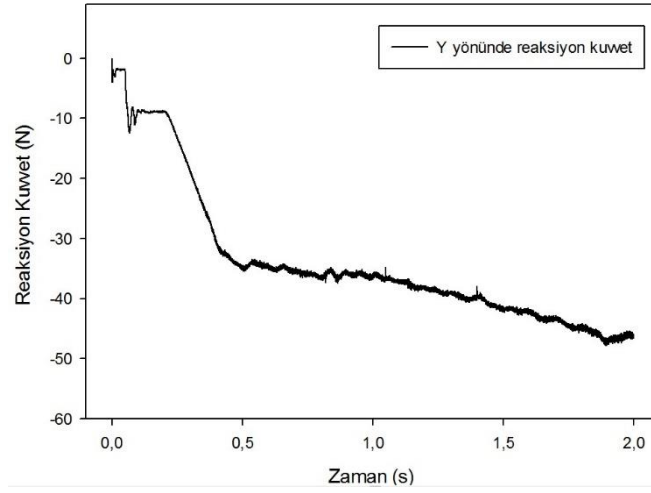
Şekil 4.15. Sıcaklığa bağlı Poisson oranı ve elastisite modülü grafiği.

Şekil 4.16’da ise zamana bağlı olarak malzeme sıcaklık grafiği görülmektedir. Analizde parçada maksimum olarak 166,2 °C olduğu tespit edilmiştir. Analizlerde kaynak bölgesinde 150°C sıcaklığa 13,1 salisede ulaştığı görülmüştür. Parça kaynak zamanı çok kısa olmasından ve devir sayısı fazla olduğundan dolayı parça yüzeyinden ısınma saliselerde meydana gelmektedir [27].



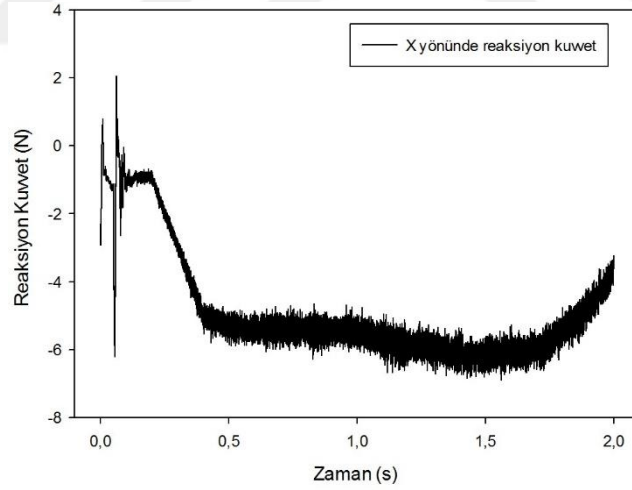
Şekil 4.16. Zamana göre sıcaklık değişimi.

Şekil 4.17’de PP kapak parçasına Y yönünde etki eden reaksiyon kuvvet dağılımı görülmektedir. Kapak parçasına zaman bağlı olarak etki eden reaksiyon kuvvetlerin artışı görülmüştür. [27].



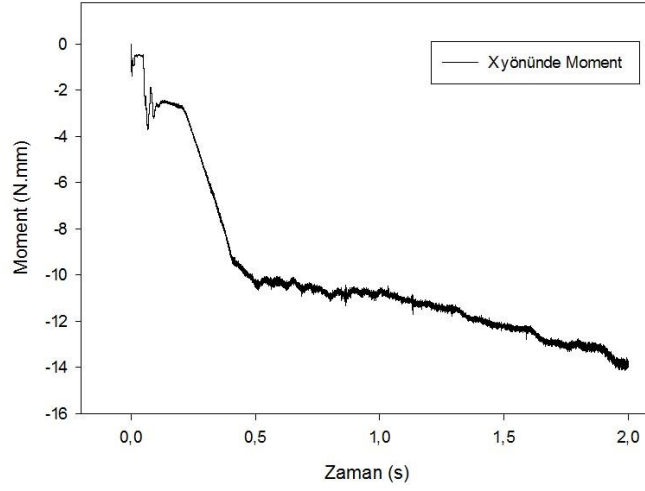
Şekil 4.17. Kapak parçasında Y yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği.

Şekil 4.18’de PP kapak parçasına X yönünde etki eden reaksiyon kuvvet dağılımı görülmektedir. Kapak parçasına zaman bağlı olarak etki eden reaksiyon kuvvetlerin artışı görülmüştür. Kaynak süresinin sonuna doğru kuvvetin azaldığı görülmektedir [27].



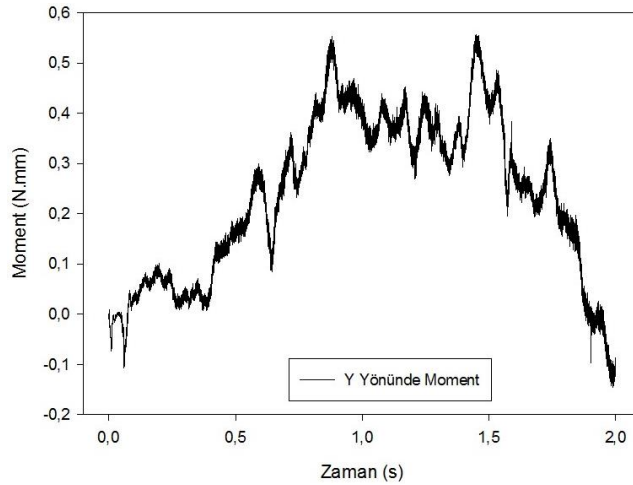
Şekil 4.18. Kapak parçasında X yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği.

Şekil 4.19’da PP kapak parçasına X yönünde etki eden reaksiyon moment dağılımı görülmektedir. Kapak parçasına zaman bağlı olarak etki eden moment artışı görülmüştür. Kaynak bölgesinde malzemenin eriyik duruma geçmesiyle, iç kısımda oluşan basınçtan dolayı X yönünde reaksiyon kuvvetin artmasına neden olduğu görülmüştür [27].



Şekil 4.19. Kapak parçasında X yönünde oluşan reaksiyon moment grafiği.

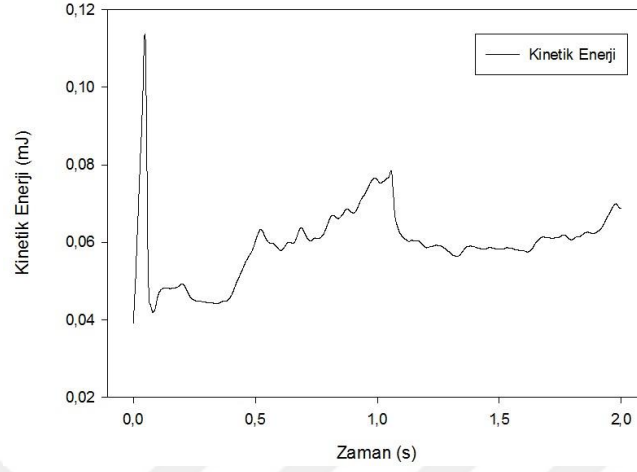
Şekil 4.20'de PP kapak parçasına Y yönünde etki eden reaksiyon moment dağılımı görülmektedir. Kapak parçasına zaman bağlı olarak etki eden reaksiyon momentin arttığı görülmektedir. Sürtünme kaynak işleminin sonuna doğru kuvvetin azaldığı görülmektedir. Y yönündeki reaksiyon momentin grafiğinde, eriyik akıştan dolayı çok fazla dalgalanma olduğu düşünülmüştür. Fakat sistemde Y yönünde çok fazla reaksiyon moment olmadığı görülmüştür [27].



Şekil 4.20. Kapak parçasında Y yönünde oluşan reaksiyon moment grafiği.

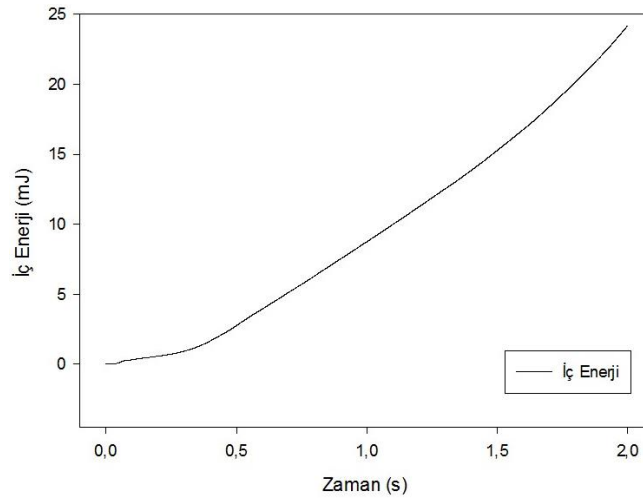
Şekil 4.21'de kapak parçasında oluşan kinetik enerji grafiği görülmektedir. Sürtünme kaynak işleminde, kapak parçası dönerken parçaya değdiğinde kinetik enerji bir pik yaptığı görülmüştür. Daha sonra zaman bağlı olarak kinetik enerjinin dalgalandığı

görülmektedir [27]. Bu dalgalanmanın kaynak bölgesinin eriyik hale geçerek akmların başlamasından dolayı olduğu düşünülmüştür.



Şekil 4.21. Parçada oluşan kinetik enerji.

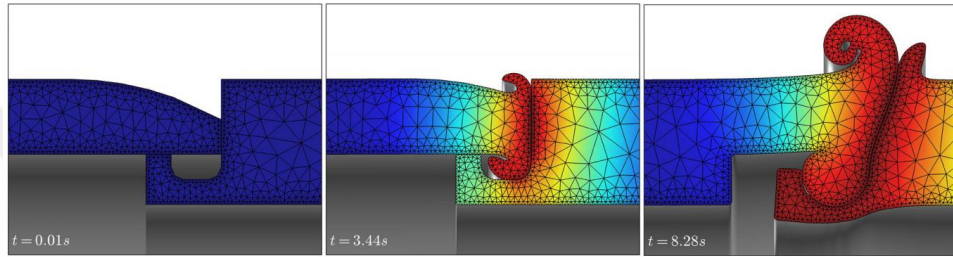
Şekil 4.22’de kapak parçasında oluşan iç enerji grafiği görülmektedir. Sürtünme kaynak işleminin başlarında iç enerji az miktarda iken sıcaklığın artmasıyla ve kapak parçasının –Y yönünde hareket etmesiyle iç enerji miktarının arttığı görülmüştür [27].



Şekil 4.22. Parçada oluşan iç enerji.

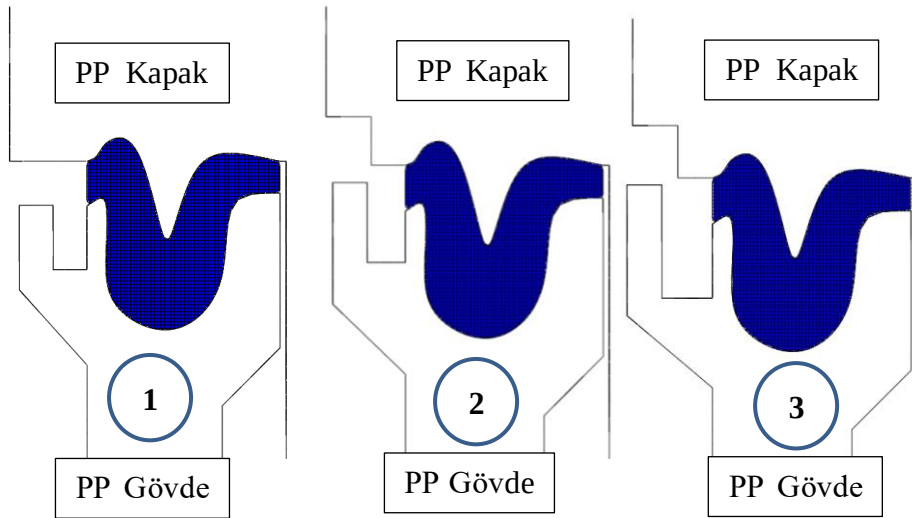
4.7. KAYNAK AĞIZ TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE ANALİZ YAPILMASI

ABAQUS programında analiz veri giriş parametrelerin belirlenmesinden sonra kaynak yapısı geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Schmicker vd. [29] kendi geliştirdikleri yazılım programında, metal parçaların dönerek sürtünme kaynak simülasyonları yapmışlardır. Kaynak sonrası iç kısımda oluşan yarı eriyik malzemeyi hapsetmek için kaynak ağız tasarımı geliştirmiş ve simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Şekil 4.23'de geliştirdikleri kaynak ağız yapısı ve kaynak sonrası görünümü görülmektedir.



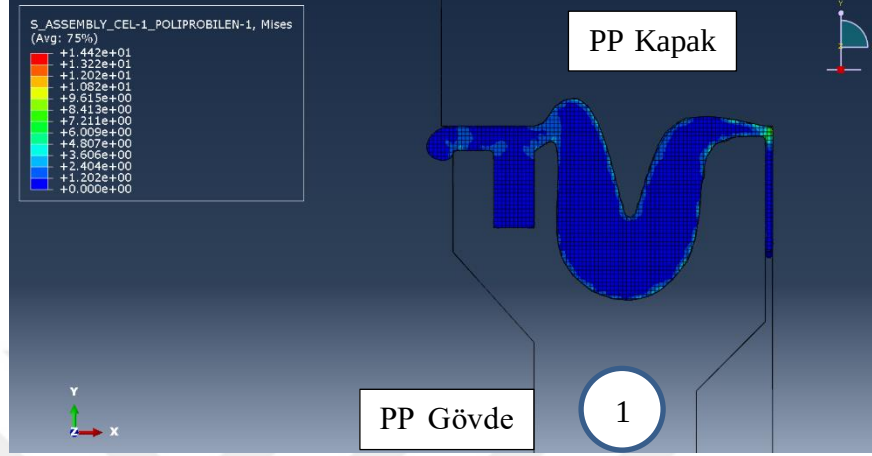
Şekil 4.23. Kaynak sonrası parça üzerinde oluşan gerilmenin zamana bağlı olarak kapak parçasındaki gerilme grafiği [29].

Şekil 4.23'deki kaynak ağız tasarımdan yola çıkarak üç farklı kaynak ağız profili tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan kaynak ağız profillerinde iç kısımda eriyik yığılmayı hapsetmek için havuz yapılmıştır. Şekil 4.24'de yapılan kaynak ağız yapısı tasarımları gösterilmiştir.



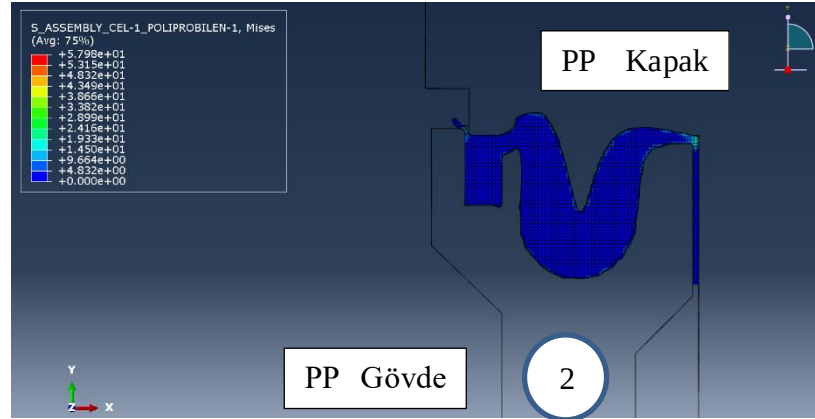
Şekil 4.24. Kaynak yapısı tasarımları.

Tasarlanan kaynak ağız yapılarıyla ABAQUS programında eriyik yığılma analizleri yapılmıştır. Analiz sonrası elde edilen eriyik yığılma durumları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. 1 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.

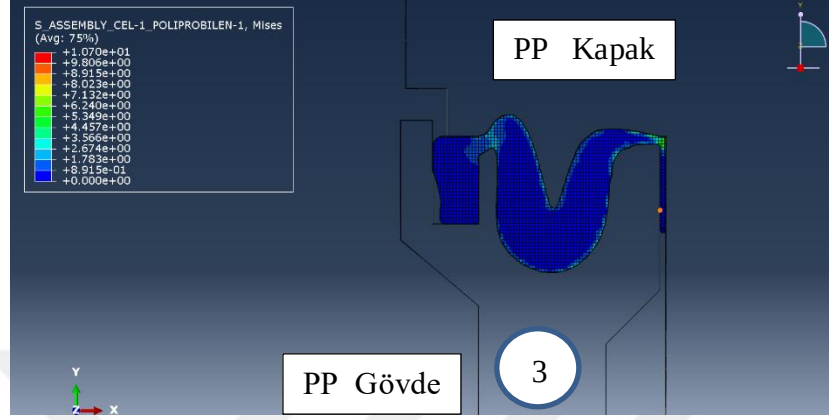
Şekil 4.25’de 1 nolu kaynak ağız yapısının yapılan analizi incelendiğinde, eriyik yığılmanın hapsedilmesi için yapılan yuvanın yetersiz olduğu görülmüştür. Eriyik yığılma yuva doldurup dışarıya taşmıştır. Bu nedenle yuvanın üst kısmına kademe yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.26. 2 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.

Şekil 4.26’da 2 nolu kaynak ağız yapısı incelendiğinde eriyik yığılmanın hapsedilmesi için yapılan yuvanın yetersiz olduğu görülmüştür. Eriyik yığılma yuva doldurup içeride sıkışmış ve köşeden dışarıya çıktığı görülmüştür. Bu tasarımda iç kısımda

eriyik yığılma yuvaya dolup sıkıştığında, kaynak bölgesinde basıncı artırmaktadır. Artan basınçtan dolayı eriyik yığılma dış kısma doğru akmaktadır. Üst kısma yapılan kademenin ve yuvanın küçük olduğu düşünülmüş ve büyütülmesine karar verilmiştir.



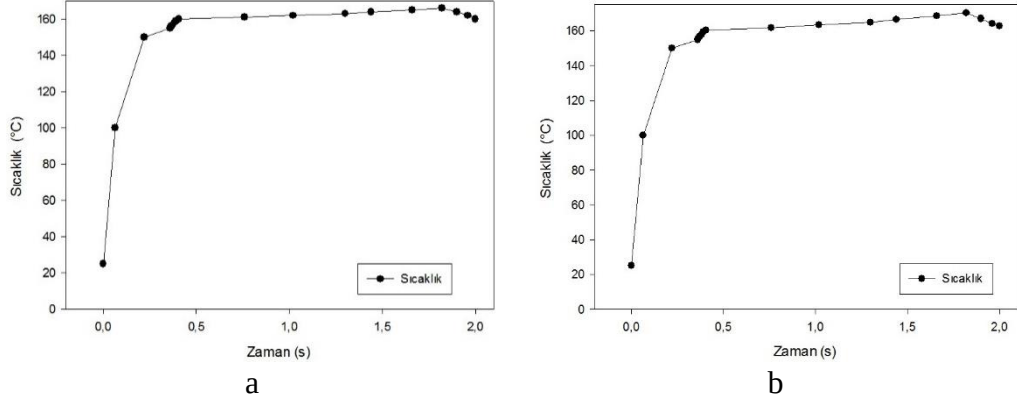
Şekil 4.27. 3 nolu kaynak yapısının analiz sonuçları.

Şekil 4.27’de 3 nolu kaynak ağız yapısı incelendiğinde eriyik yığılmanın hapsedilmesi için yapılan yuvanın yeterli olduğu görülmüştür. Eriyik yığılma yuva doldurup dışarıya taşmamıştır. Bu tasarımda iç kısımda eriyik yığılma olmadığından dolayı diğer analizler (sıcaklık dağılımı, gerilme, yer değiştirme) yapılmıştır. Analiz/sonuçlarından elde edilen verilerle, gerçek parçada yapılan uygulamada belli oranda hata olabilmektedir. Bu hata oranı düşünülerek kaynak ağız tasarımıdaki havuz derinliğinin artırılmasına karar verilmiştir.

4.8. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ YAPISIYLA MEVCUT DURUMDA ELDE EDİLEN GRAFİKLERİN KARŞILAŞTIRMASI

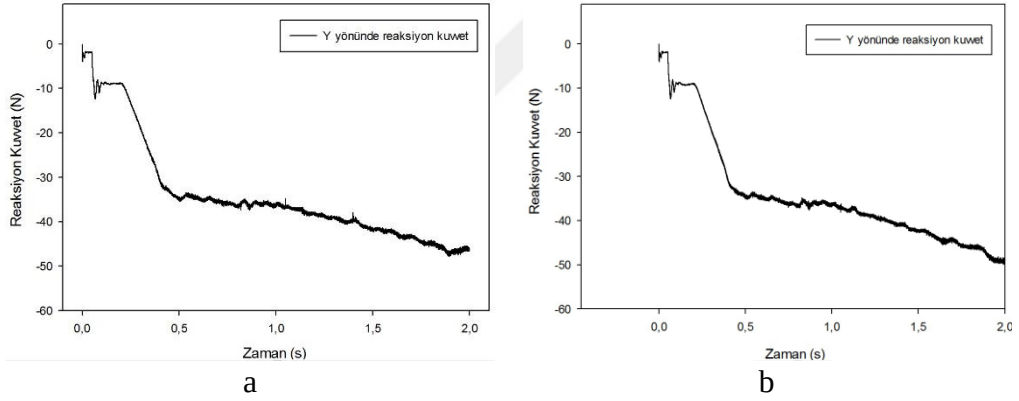
3 nolu tasarıma yapılan analizlerle, kaynak bölgesindeki sıcaklık, yer değiştirme, gerilme, iç enerji gibi veriler çıkartılmıştır. Bu veriler ABAQUS programından veri çıktısı olarak alınmış, daha sonra Sigmaplot yazılımına girilerek grafikler çizilmiştir. Elde edilen grafiklerle mevcut yapıda elde edilen grafikler ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Şekil 4.28’de zaman göre sıcaklık grafiğinde karşılaştırması verilmiştir. Mevcut durumda en yüksek sıcaklık 166,2 °C iken geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımında 170,3 °C olduğu görülmüştür.



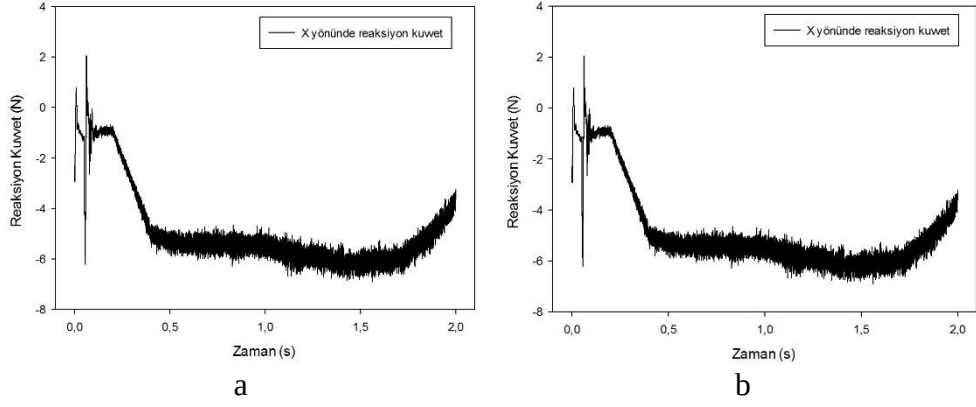
Şekil 4.28. Zamana bağlı sıcaklık grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Şekil 4.29’da mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden Y yönündeki reaksiyon kuvvet dağılımları görülmektedir. Eriyik yığılmanın yuvada tamamen dolmaya başlığında 3 nolu tasarımda kuvvetin artığı görülmüştür.



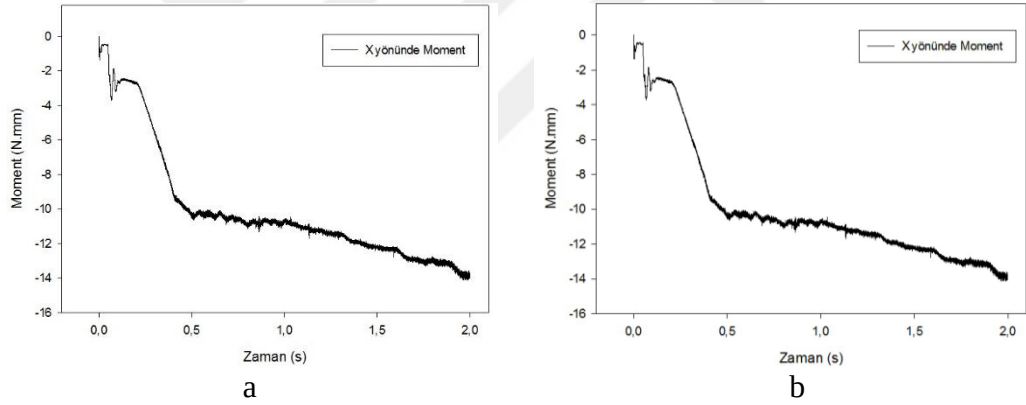
Şekil 4.29. Y yönünde oluşan reaksiyon kuvveti grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Şekil 4.30’da mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden X yönündeki reaksiyon kuvvet dağılımları görülmektedir. Eriyik yığılmanın yuvada tamamen dolmaya başlığında 3 nolu tasarımda kuvvetin azaldığı görülmüştür.



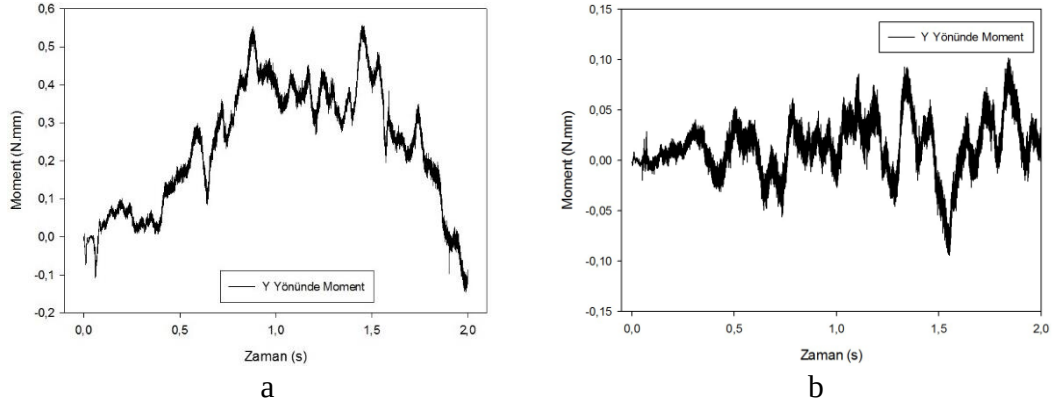
Şekil 4.30. X yönünde oluşan reaksiyon kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Şekil 4.31’de mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden X yönündeki reaksiyon moment dağılımları görülmektedir. Eriyik yığılmanın yuvada tamamen dolmaya başlığında 3 nolu tasarımda momentin arttığı görülmüştür.



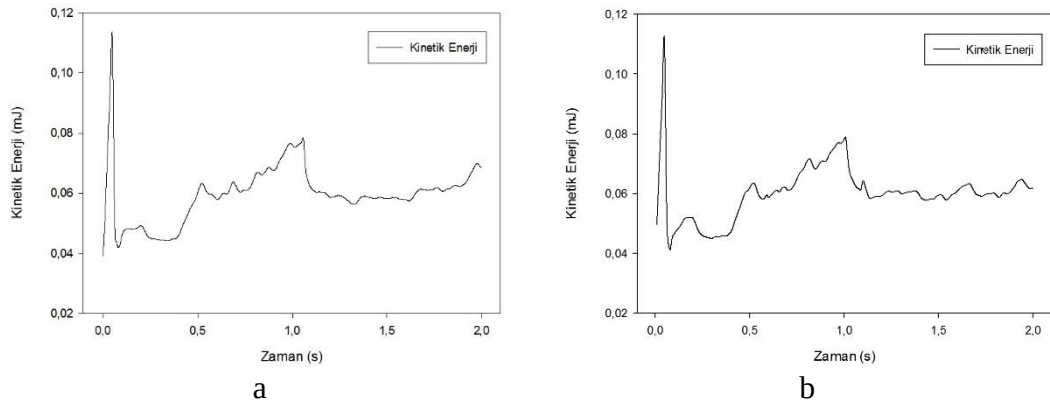
Şekil 4.31. X yönünde oluşan reaksiyon moment kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Şekil 4.32’de mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden Y yönündeki reaksiyon moment dağılımları görülmektedir. Reaksiyon moment dağılım grafikleri incelendiğinde birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Mevcut tasarımda Y yönündeki reaksiyon moment dalgalı şekilde artıp inerken, 3 nolu tasarımda dalgalanma analizin başlarında merkeze yakın iken sona doğru dalgalanmanın arttığı görülmüştür. Kaynak bölgesinde sıcaklık ve eriyik yığılmanın artmasıyla dalgalanmanın arttığı görülmüştür.



Şekil 4.32. Y yönünde oluşan reaksiyon moment kuvvet grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

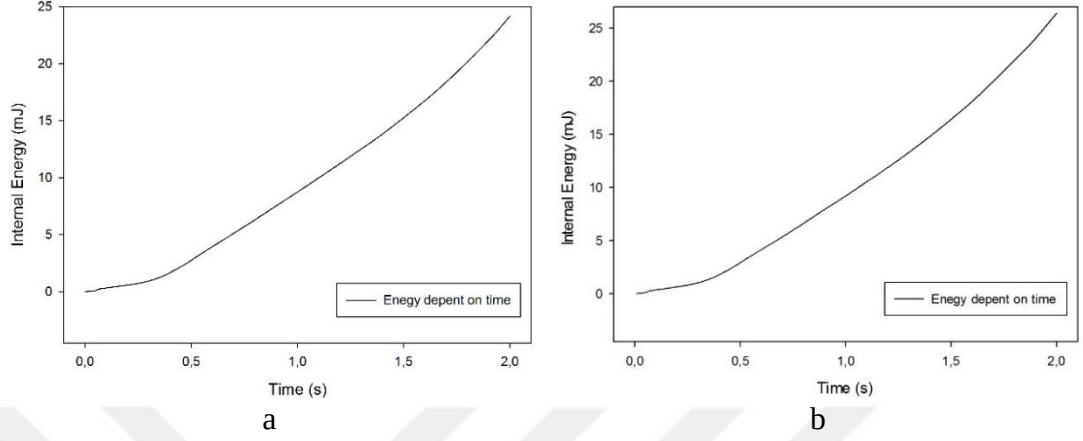
Şekil 4.33’de mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden kinetik enerji grafiği görülmektedir. Sürtünme kaynak işleminde, kapak parçası dönerken parçaya temas ettiğinde kinetik enerjinin maksimum seviyeye çıktığı görülmüştür. Zaman bağılı olarak kinetik enerjinin dalgalandığı görülmektedir. Bu dalgalanmanın kaynak bölgesinin eriyik hale geçerek akmağın başlamasından sonra olduğu görülmüştür. 3 nolu tasarımında oluşan kinetik enerji, analizin ortasından sonra dalgalanmanın değiştiği görülmüştür.



Şekil 4.33. Kinetik enerji grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Şekil 4.34’de mevcut ve 3 nolu kaynak ağız bölgesinde kapak parçasına etki eden iç enerji grafiği görülmektedir. Sürtünme kaynak işleminde, kapak parçasında iç enerji az miktarda iken sıcaklığın artmasıyla ve kapak parçasının –Y yönünde hareket

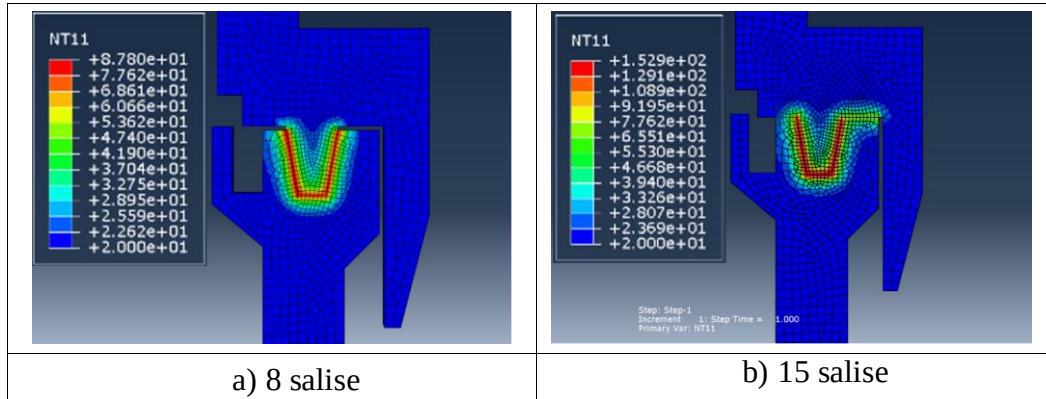
etmesiyle iç enerji miktarının arttığı görülmektedir. Eriyik yığılmanın yuvada tamamen dolmaya başlığında 3 nolu tasarımda iç enerjinin arttığı görülmüştür.



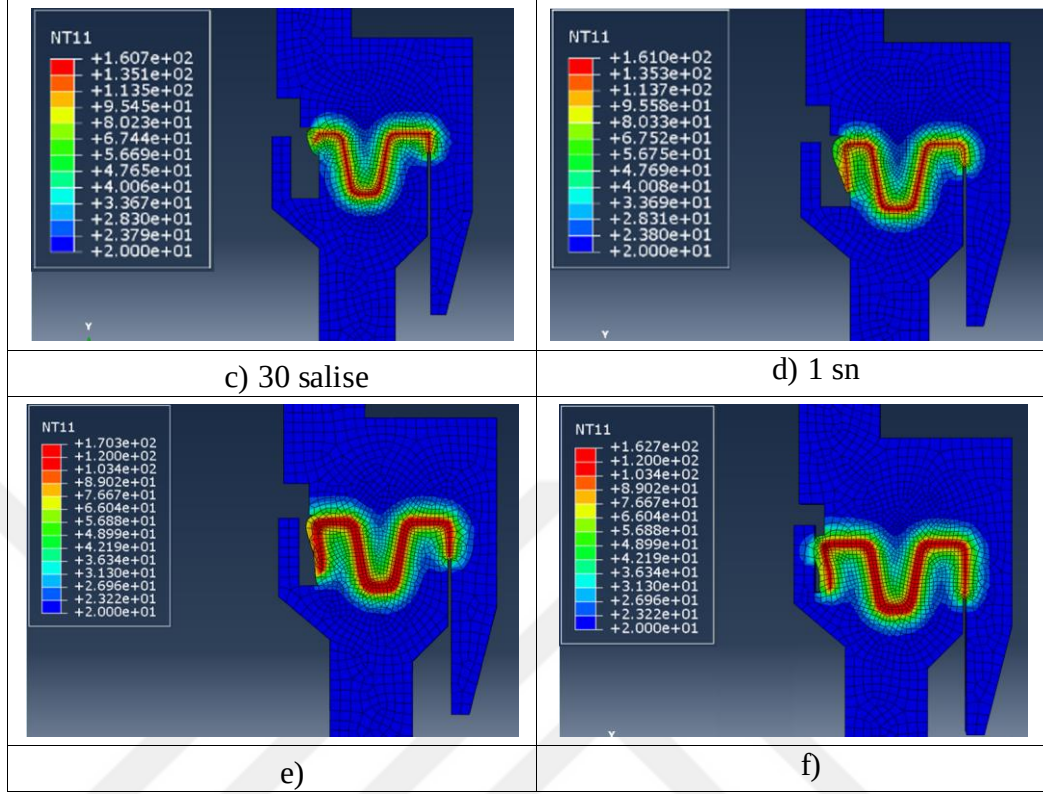
Şekil 4.34. İç enerji grafiği a) Mevcut tasarım b) 3 nolu kaynak ağız tasarımı.

Kaynak bölgesindeki mekanik özellikleri grafikleri çıkartıldıktan sonra belirlenen 3 nolu parçaya sıcaklık analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.7’de 3 nolu tasarımın sıcaklık dağılım görselleri görülmektedir.

Çizelge 4.7. 3 nolu tasarımın zamana göre sıcaklık ve eriyik yapı görselleri.

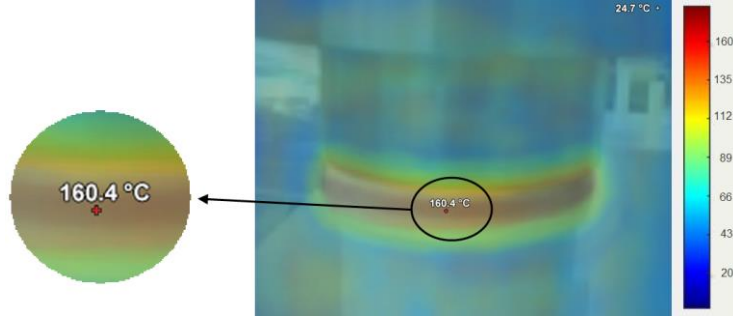


Çizelge 4.8. 3 nolu tasarımın zamana göre sıcaklık ve eriyik yapı görselleri (devamı).



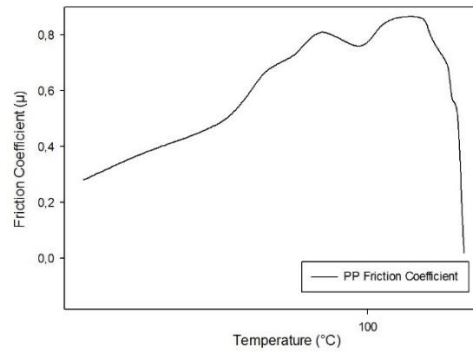
Sıcaklık analizlerine bakıldığında maksimum sıcaklığın 170,3 °C olduğu görülmüştür. Mevcut durumda 166,2 °C iken geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımında 170,3 °C olduğu görülmüştür. İç kısımda yapılan havuz tasarımından dolayı eriyik yapı sıkışmakta bundan dolayı sıcaklığın arttığı görülmüştür.

Analiz sonucunda kaynak bölgesi için sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Mevcut tasarımın sürtünme kaynak sırasında parça üzerinde oluşan sıcaklı ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü İNTERTEK firmasından temin edilen Fluke temassız termal kamera ile gerçekleştirilmiştir. Termal kamera ölçümlerinde kaynak bölgesinde sıcaklığın 160,4 °C olduğu görülmüştür. Şekil 4.35’de Fluke temassız termak kamera sıcaklık ölçümü verilmiştir.



Şekil 4.35. Fluke cihazıyla kaynak sırasında ölçülen sıcaklık.

Şekil 4.36’da sürtünme kaynak parametrelerinden biri olan sürtünme katsayısının sıcaklığa göre değişimi görülmektedir. Polipropilen malzemenin kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşınca kadar sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. Polipropilen malzemenin kaynak bölgesinde erime sıcaklığına ulaştıktan (malzemenin sıvı akışkan hale geçmesi) sonra sürtünme katsayısının sıfıra kadar indiği görülmüştür. Şekil 4.36’da maksimum sürtünme katsayısına ulaştığında optimum bir birleşme olmaktadır. Maksimum sürtünme katsayısı geçtiği zaman kaynak bölgesi akışkan hale geçmekte, bundan dolayı malzeme sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Kaynak bölgesinin erime sıcaklığına ulaşmasıyla ve sürtünmenin olmadığı durumda birleşme olmayacaktır. Sürtünme kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinin soğumasıyla parçaların birleştiği görülmüştür.



Şekil 4.36. PP malzemesinin sıcaklığa bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği.

BÖLÜM 5

GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE KALIP REVİZYONU ve BASKI ALINMASI

FEM analiz programından elde edilen sonuçlar doğrultusunda nihai kaynak ağız tasarımına sahip parçanın üretilmesi aşamasına geçilmiştir. Yapılan analizlerde eriyik yığılma hapsedilse de, parçaların imal edilmesinden sonra iç kısımda eriyik yığılmaların oluşma ihtimali bulunmaktadır. Tasarımı yapılan inline filtrenin gerçek parça üzerinde test edilmesi gerekmektedir. Kaynak bölgesinin test edilmesi için kalıpların yapılması gerekmektedir. Inline gövde ve kapak parçalarının yeni kalıp maliyeti yüksek olduğundan dolayı;

- Küçük boyutlarda yeni parça tasarımı yapılması
- Mevcut kullanılan (inline gövde ve kapak) kalıplarındaki lokmaların değiştirmesi yöntemleri uygulanmıştır.

Bu parçalara hem Moldflow analizleri ve kalıp yatırım maliyet analizleri yapılarak karar verilmesi hedeflenmiştir.

5.1. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE YENİ PARÇA TASARIMI VE MOLDFLOW ANALİZİ

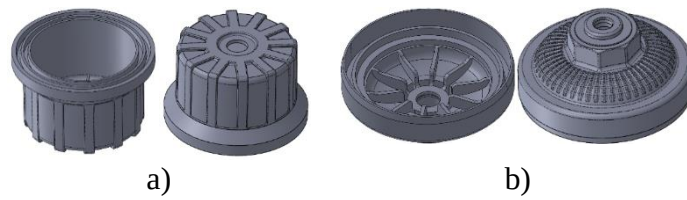
Polimerik malzemelerden parça imal etmek için en yaygın teknik enjeksiyon kalıplamadır [30]. Şu anda termoplastiklerin yaklaşık üçte biri bu şekilde üretilmektedir. Performans verimliliği ve üretilebilirlik nedeniyle, enjeksiyon kalıplama büyük hacimli üretim için tercih edilen bir uygulamadır. Enjeksiyon kalıplama, farklı şekillerde parçaların yüksek hassasiyet ve temiz yüzeyle alınmasını sağlamaktadır [31].

Kalıplanmış parçaların kalitesi, malzeme türü, enjeksiyon kalıplama işleminin teknolojik parametreleri, parçaların yüzeyinin geometrisi ve kalıp tasarımının bir fonksiyonudur. Polimerik malzemelerin işlenmesi için; donanım, teknolojilerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi önem arz etmektedir[32].

Imihezri vd. [33], otomotiv debriyaj pedal kompozitlerinin tasarımını Autodesk Moldflow yazılımı kullanarak %30 cam elyaf takviyeli poliamid 66 malzemesinin analiz etmişlerdir. Kalıp maliyeti, kalıp ağırlığı ve enjeksiyon basıncı düşük olacak şekilde iki tip nervür karşılaştırmışlardır.

Sadabadi ve Ghasemi [34], tarafından yürütülen bir çalışmada, enjeksiyonla kalıplanmış parçaların elyaf oryantasyonunu ve gerilme modülünü etkileyen kısa elyaf takviyeli polistiren kompozitler kullanılarak paketleme basıncı, enjeksiyon akış hızı ve kalıp duvar sıcaklığı gibi enjeksiyon kalıplama işlemi parametrelerinin etkileri araştırmışlardır.

Geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımına göre boyutsal açıdan küçük bir tasarım yapılmıştır. Parça tasarımı sade, üretim adeti az ve büyük olmayan parçalar aynı kalıpta üretilabilmektedir. Tasarımı yapılan parçaların tek kalıp içerisinde üretilmesi hedeflenmiştir. Şekil 5.1’de tasarımı yapılan parçalar görülmektedir [35].



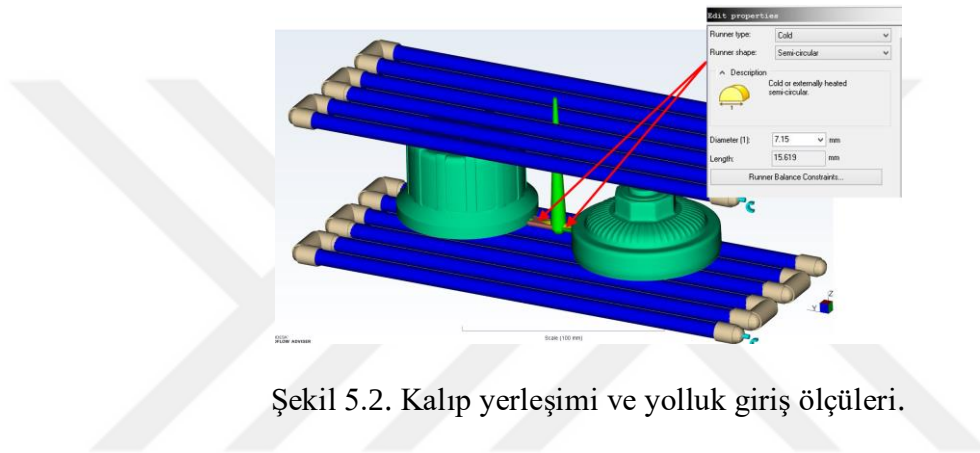
Şekil 5.1. Tasarımı yapılan paçanın a) Gövde b) Kapak

Tasarımı yapılan parçaların enjeksiyon kalıpları yapılmadan önce Moldflow analizleri yapılmıştır. Bu analiz ile enjeksiyon sırasında veya sonrasında plastik parçaların davranışları gözlenmektedir. Bu amaçla Şekil 5.1’de gösterilen parçaların tek kalıpta olacak şekilde analizler yapılmıştır. Bu parçalara eşit ölçülerde yolluk girişli ve farklı ölçülerde yolluk girişli olmak üzere iki farklı analiz yapılmıştır. Eşit ölçülü yolluk

kalıplarda her bir kalıp gözüne dağılan yolluk ölçülerin eşit yapılmasıdır. Farklı ölçülü yolluk kalıplarda her bir kalıp gözüne dağılan yolluk ölçülerin farklı olmasıdır.

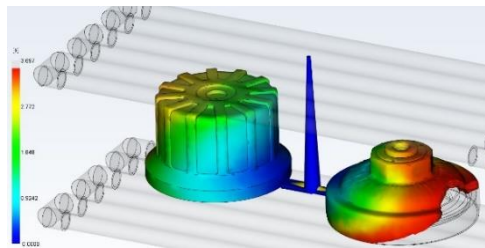
5.1.1. Eşit Ölçülerde Yolluk Girişli Moldflow Analizi

Tasarımı yapılan parçalar Moldflow analiz programına yerleştirilmiştir. Soğuk yolluk olacak şekilde eşit ölçülerde yolluk tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.2’de yolluk tipi, ölçüleri ve kalıp yerleşimi görülmektedir [35].



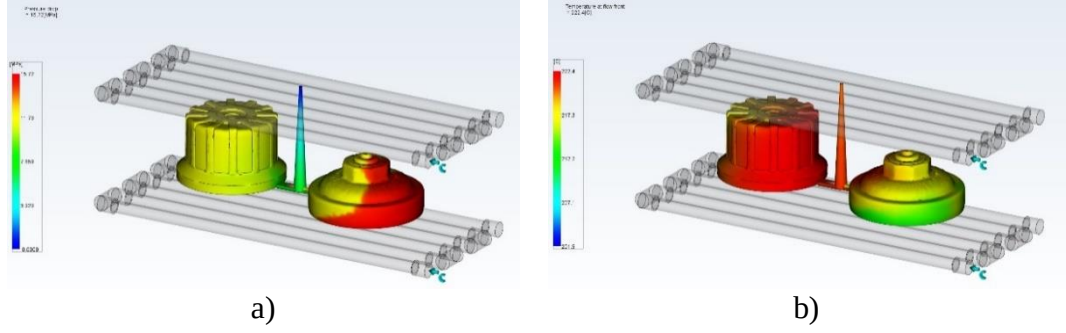
Şekil 5.2. Kalıp yerleşimi ve yolluk giriş ölçüleri.

Parçaların ağırlıkları ve geometrisi farklı olduğundan dolayı yapılan dolum analizlerinde aynı zamanda dolmadığı görülmüştür. Şekil 5.3’de dolum analizinde parçanın aynı zamanda dolmadığı görülmektedir. Parçanın dolum analizde 3,697 sn tamamen dolduğu görülmüştür [35].



Şekil 5.3. Eşit yolluk giriş ölçülerinde dolum analizi.

Şekil 5.3’e bakıldığından soldaki parça dolduğunda sağdaki parçanın dolmadığı görülmektedir.



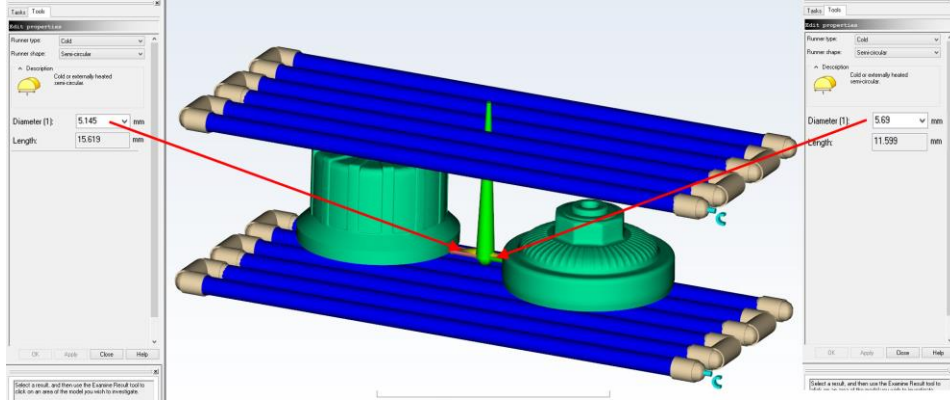
Şekil 5.4. Moldflow analizleri a) Basınç düşüş analizi b) Yüzeylerdeki parça sıcaklığı.

Parçaların düzgün bir baskı alınması için kalıp içerisindeki basınç düşüşün eşit olması gerekmektedir. Yapılan basınç düşüş analizinde eşit olmadığı Şekil 5.4 (a)'da görülmektedir. Bu da parçanın düzgün bir baskı alınamayacağı tahmin edilmektedir [35].

Enjeksiyon kalıp tasarımı yapılırken parça malzemesinin türüne göre çekme payları belirlenerek büyük olarak yapılmaktadır. Parçanın istenilen oranda çekme olması için parçanın sıcaklık dağılımı da eşit olması gerekmektedir. Şekil 5.4 (b)'de kalıp içerisinde parçadaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Soldaki parçada sıcaklık daha fazla iken sağdaki parçada sıcaklık daha az olduğu görülmektedir. Bu da parçanın istenilen şekilde çekme olmayacağı tahmin edilmektedir [35].

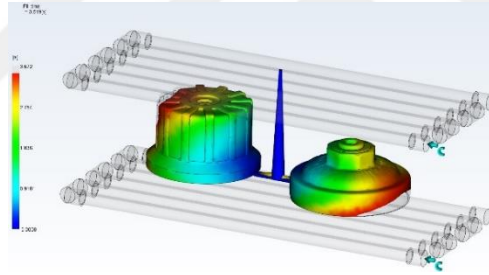
5.1.2. Farklı Ölçülerde Yolluk Girişli Molflow Analizi

Eşit ölçülerde yolluklar yapıldığında Moldflow analiz sonuçlarına göre birçok problem olduğu görülmüştür. Bu sorunları çözmek için farklı ölçülerde yolluk girişleri yapılması gerekmektedir. Bu ölçüleri belirlemek için Moldflow analizinde runner balance analizi yapılmıştır. Şekil 5.5'de analiz sonucu elde edilen yolluk ölçüleri görülmektedir [35].



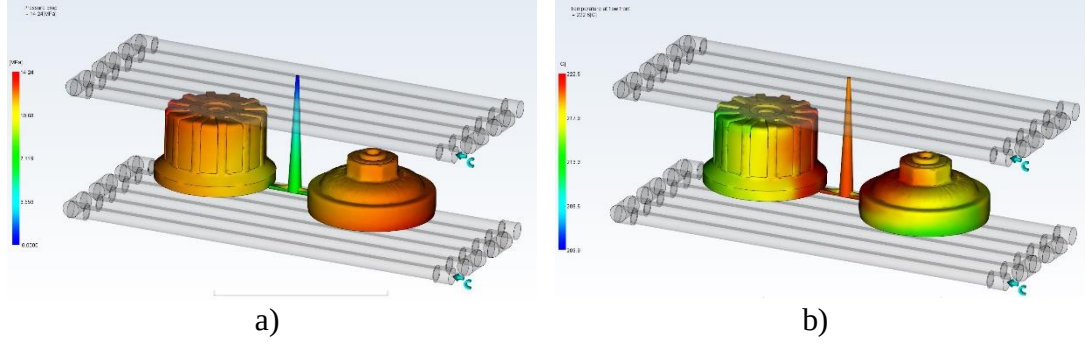
Şekil 5.5. Kalıp yerleşimi ve yolluk giriş ölçüleri.

Yolluk girişleri soldaki parçanın giriş ölçüsü 5,145 mm, sağdaki parçanın 5,69 mm olarak belirlenmiştir. Bu yolluk girişler için yapılan dolum analizinde parçanın eşit zamanda dolduğu Şekil 5.6’da görülmüştür. Parçanın dolum analizde 3,672 sn tamamen dolduğu görülmüştür [35].



Şekil 5.6. Farklı ölçülerde yolluk girişin dolum analizi.

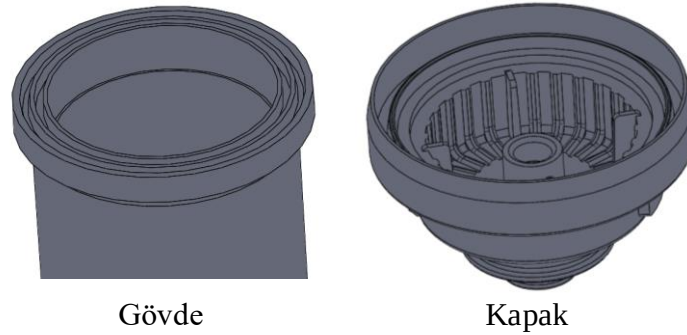
Parça üzerinde yapılan basınç düşüş analizinde basınç düşüşün eşit miktarda olduğu Şekil 5.7 (a)’da görülmektedir. Şekil 5.7 (b)’de kalıp içerisinde parçadaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Soldaki parça ve sağdaki parçanın sıcaklık dağılımının eşit olduğu görülmüştür. Bu da parçanın istenilen şekilde çekme olacağı ve düzgün baskı alınacağı tahmin edilmektedir [35].



Şekil 5.7. Moldflow analizleri a) Basınç düşüş analizi b) Yüzeylerdeki parça sıcaklığı.

5.2. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMA GÖRE MEVCUT PARÇANIN REVİZE EDİLMESİ, MOLDFLOW ANALİZİ VE KALIPTA REVİZE EDİLECEK PARÇALAR

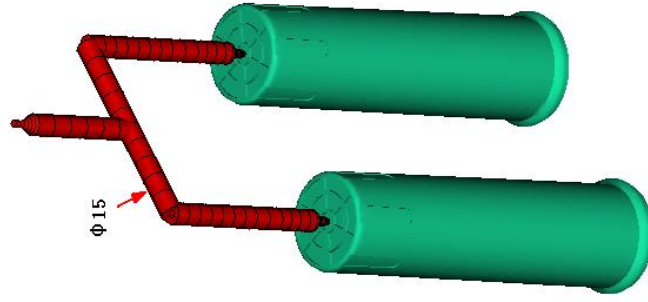
Inline gövde ve kapak parçasının kalıp tasarımları yapılırken kaynak ağız tasarımları değişikliği ön görülerek lokmalı şekilde üretilmiştir. Parça tasarımı, geliştirilen 3 nolu tasarıma göre revize edilmiştir. Daha sonra kalıptaki lokma parça tasarımları parça tasarımına göre yeniden tasarlanmıştır. Şekil 5.8’de mevcut tasarımın 3 nolu kaynak ağız tasarımına göre revize edilmiş hali görülmektedir.



Şekil 5.8. Mevcut tasarıma 3 nolu kaynak ağız tasarımının uygulanması.

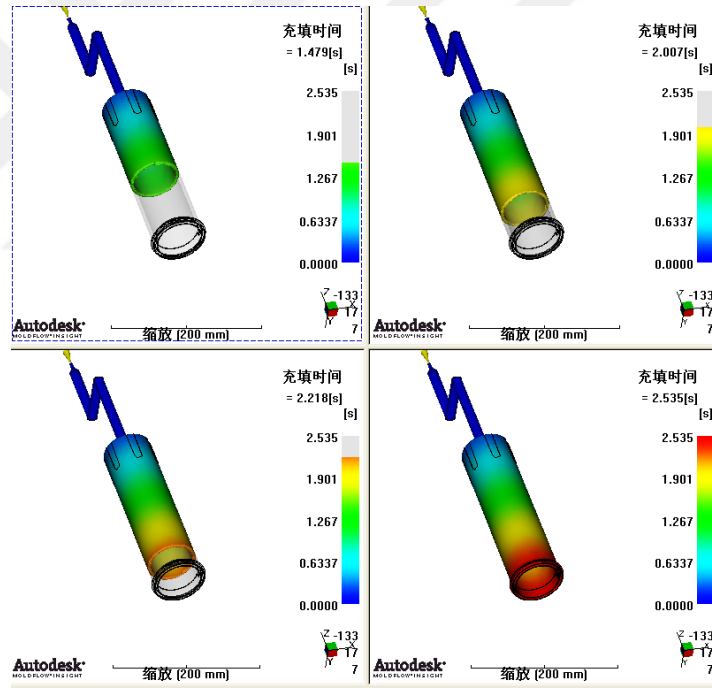
5.2.1. Geliştirilen Kaynak Ağız Tasarımı Yapılan Inline Gövde Parçasının Moldflow Analizi ve Kalıpta Revize Edilen Parçalar

Inline gövde parçası 2 gözlü ve sıcak yolluk olarak yapılmıştır. Sıcak yolluktan kalıp gözlerine Ø15 çapında soğuk yollukla dağıtılmaktadır. Daha sonra parçaya Ø4 çapında yollukla patlatılarak yapılmıştır. Şekil 5.9’da Inline gövde parçasının yolluk dağılımı ve girişleri görülmektedir.



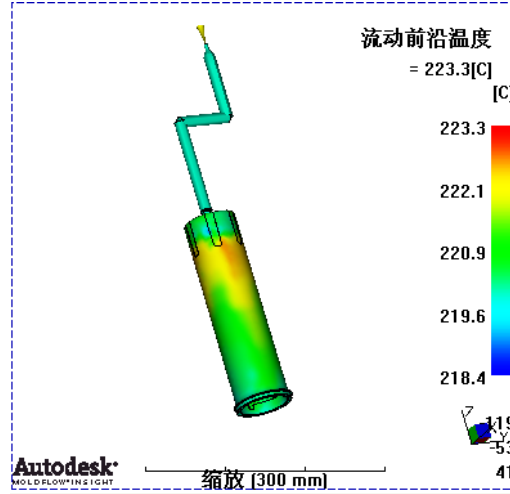
Şekil 5.9. Inline gövde yolluk girişi ve özellikleri.

Şekil 5.10'da kalıp içerisinde parçanın akışı ve dolum süresi görülmektedir. Enjeksiyon hızı 200 cm³/s olduğundan 2,535 saniyede ve eşit zamanda parçanın dolduğu görülmektedir.



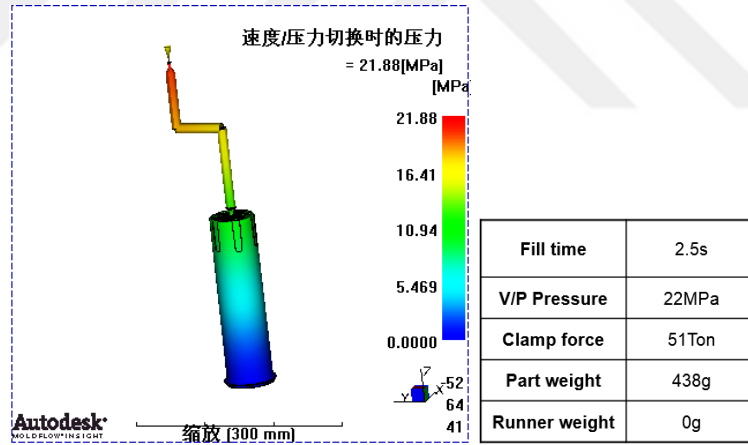
Şekil 5.10. Inline gövde doldurma zamanı ve akış durumu.

Şekil 5.11'de kalıp içerisinde parçanın sıcaklık dağılımı görülmektedir. Sıcaklık dağılımı eşit olduğu görülmekte, buda soğumanın düzenli olacağı ve çekme miktarının istenilen sınırlarda olmasını sağlayacağı düşünülmektedir.



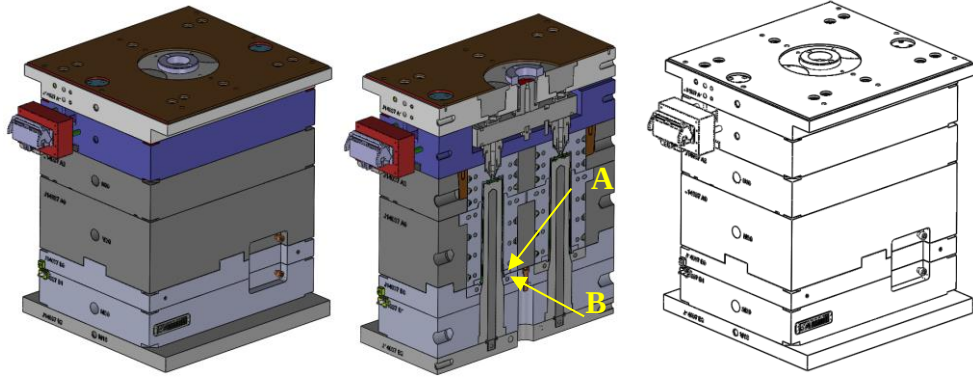
Şekil 5.11. İline gövde parça sıcaklık dağılımı.

Şekil 5.12’de parçanın kalıp içerisindeki basınç dağılımı görülmektedir. Kalıp içerisinde maksimum 21,88 MPa basınç olacağı görülmüştür. Bu da kalıbın kapama basıncı olarak 51 ton gerekmektedir.



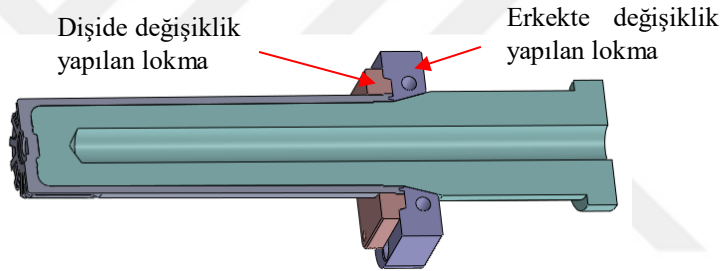
Şekil 5.12. İline gövde basınç dağılımı.

Şekil 5.13’de mevcut imalatta kullanılan inline gövde kalıbı görülmektedir. Inline gövde kalıp tasarımı geliştirilen parça tasarımına göre revize edildiğinde Şekil 5.13’de gösterilen A ve B lokmalarının değiştirilmesi gerekmektedir.



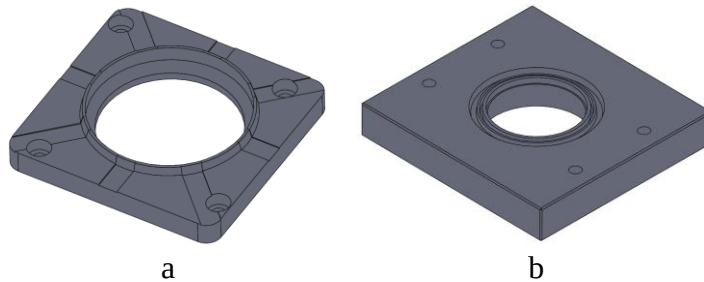
Şekil 5.13. İinline gövde kalıbı.

Inline gövde kalıbında 2 adet lokma parçası geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımı uygulanarak tasarımları değiştirilmiştir. Şekil 5.14’de yeni yapılacak lokma parça tasarımları görülmektedir.



Şekil 5.14. İinline gövde kalıpta değiştirilecek lokmalar.

Şekil 5.15’de inline gövde kalıbında değişiklik yapılan lokmaların resmi görülmektedir.



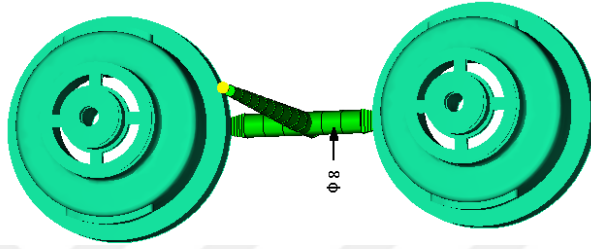
a

b

Şekil 5.15. Inline gövde kalıbı a) Dişide değişen lokma b) Erkekçe değişen lokma.

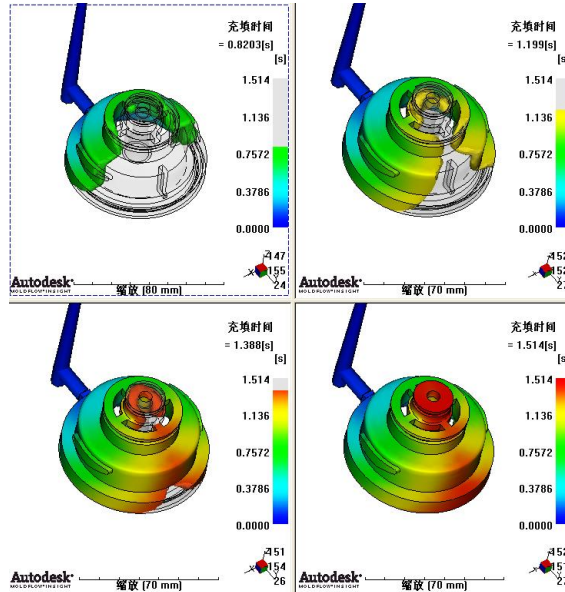
5.2.2. Geliştirilen Kaynak Ağız Tasarımı Yapılan İinline Kapak Parçasının Moldflow Analizi ve Kalıpta Revize Edilen Parçalar

İinline kapak parçası 2 gözlü ve soğuk yolluklu olarak yapılmıştır. Kalıpta malzeme Ø8 çapında yolluk ile gözlere dağıtılmaktadır. Yolluktan kalıp gözlerine 6x1 mm ölçülerinde kenar yolluk ile parça dolumu yapılacaktır. Şekil 5.16'da inline kapak parçasının yolluk dağılımı ve girişleri görülmektedir.



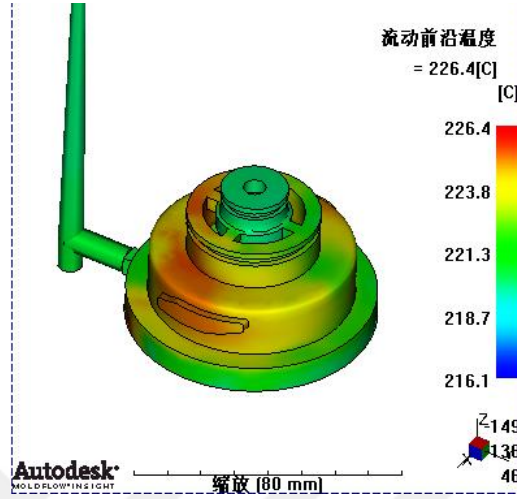
Şekil 5.16. İinline kapak yolluk dağılımı ve girişi.

Şekil 5.17'de inline kapak parçasının kalıp içerisinde parçanın akışı ve dolum süresi görülmektedir. Enjeksiyon hızı 200 cm³/s olduğundan 1,514 saniyede ve eşit zamanda parçanın dolduğu görülmektedir.



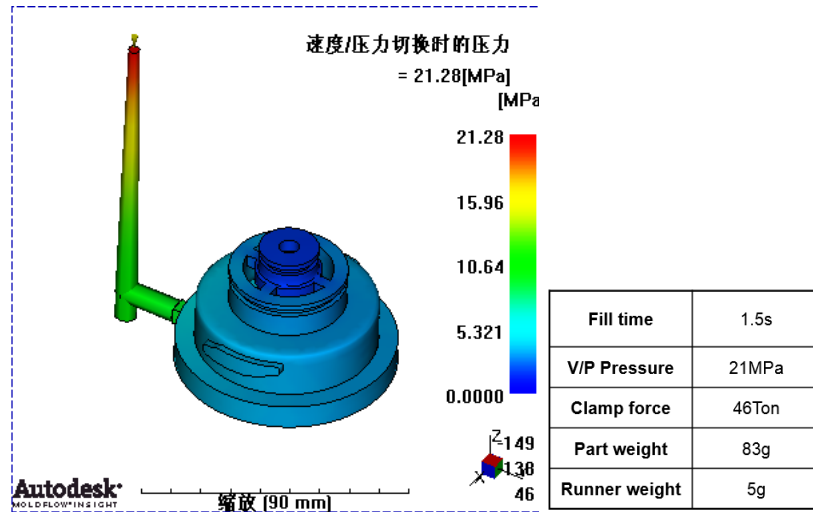
Şekil 5.17. İinline kapak doldurma zamanı ve akış durumu.

Şekil 5.18’de inline kapak parçasının kalıp içerisinde parçanın sıcaklık dağılımı görülmektedir. Sıcaklık dağılımı eşit olduğunda; soğumanın düzenli olacağı ve çekme miktarının istenilen sınırlarda olmasını sağlayacağı düşünülmektedir.



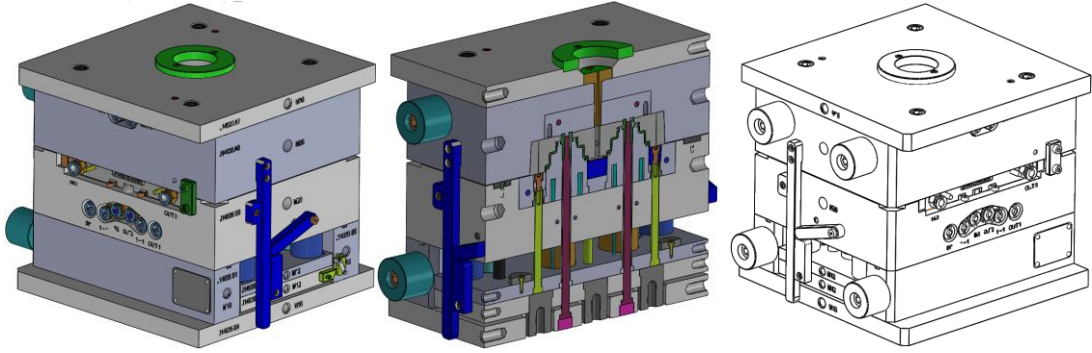
Şekil 5.18. İline kapak parça sıcaklık dağılımı.

Şekil 5.19’da inline kapak parçasının kalıp içerisindeki basınç dağılımı görülmektedir. Kalıp içerisinde maksimum 21,28 MPa basınç olacağı görülmüştür. Bu da kalıbın kapama basıncı olarak 46 ton gerekmektedir.



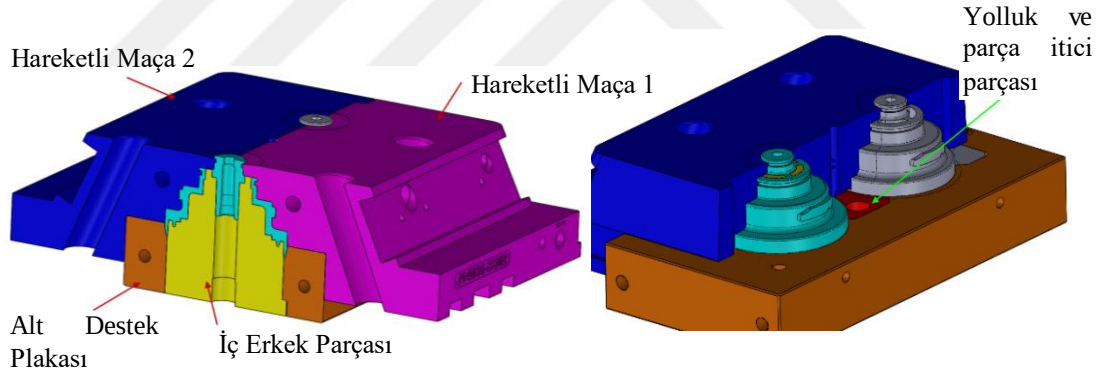
Şekil 5.19. İline kapak basınç dağılımı.

Şekil 5.20’de mevcut imalatatta kullanılan inline gövde kalıbı görülmektedir.



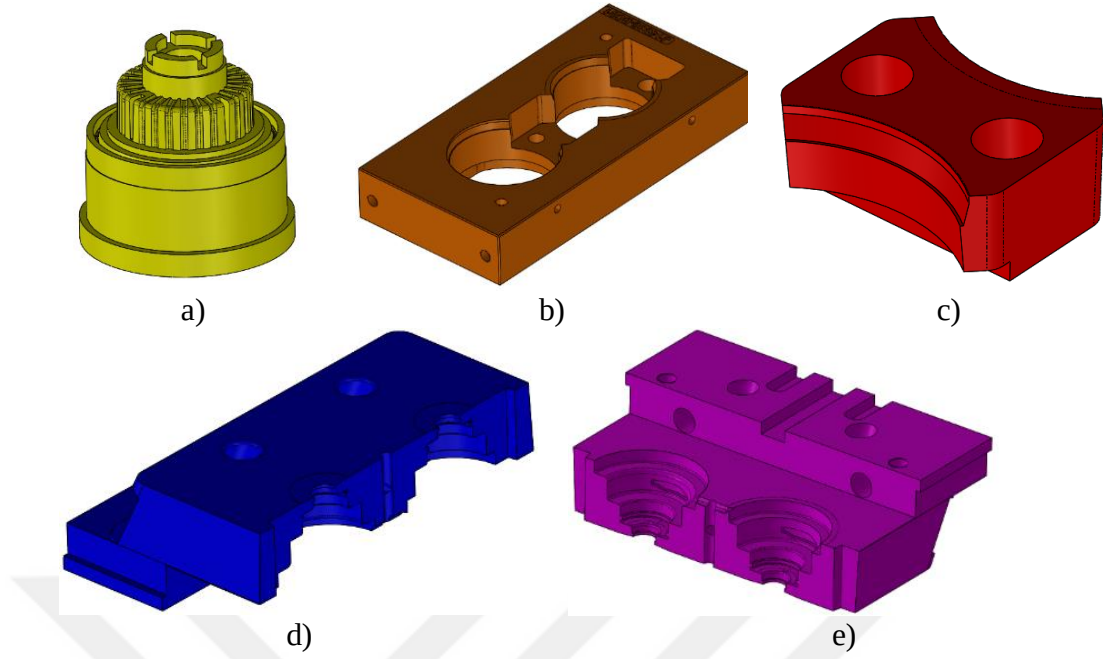
Şekil 5.20. İline kapak kalıbı.

Mevcut inline kapak kalıbındaki lokmalardan 5 tanesi geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımı uygulanarak tasarımları revize değiştirilmiştir. Şekil 5.21’de yeni yapılacak lokma parça tasarımları görülmektedir. İline gövdeye göre kapak parça ve kalıbının tasarımından dolayı daha fazla lokma değişmesi gerekmektedir.



Şekil 5.21. İline kapak kalıbında değişiklik yapılacak lokmalar.

Şekil 5.22’de inline kapak kalıbında değişiklik yapılan lokmaların ayrı olarak resimleri görülmektedir.



Şekil 5.22. Inline kapak kalıbı a) İç lokma parçası b) Destek parçası c) Yolluk itici parçası d) Hareketli maça 1 e) Hareketli maça 2.

5.3. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMININ ÜRETİLMESİ İÇİN KALIP MALİYET HESABI VE DEĞERLENDİRMESİ

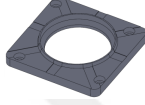
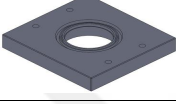
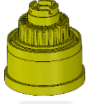
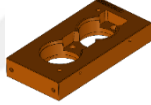
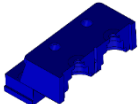
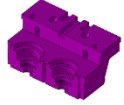
Yeni yapılan ürün tasarımının üretilmesi için yeni bir kalıp imal edilmesi gerekmektedir. Yeni bir kalıp üretilmesi genelde maliyeti yüksek olmaktadır. Çizelge 5.1’de yeni parça tasarımına göre kalıp maliyeti görülmektedir.

Çizelge 5.1. Yeni parça tasarımının kalıp fiyat tablosu.

Yeni Parça Tasarım Kalıp Fiyatı							
NO	Resim	Parça Adı	Malzeme	Göz Numarası	Yüzey Durumu	Enjeksiyon Tipi	Kalıp Fiyatı (₺)
1		Gövde	PP	1+1	Parlak Yüzey	YUDO Sıcak Yolluk	410.000
2		Kapak					
Toplam							410.000

Geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımı mevcut inline gövde ve kapak kalıbına uygulandıktan sonra toplam 7 adet lokmanın yeniden üretilmesi gerekmektedir. Bu lokmaların maliyeti Çizelge 5. 2’de gösterilmiştir.

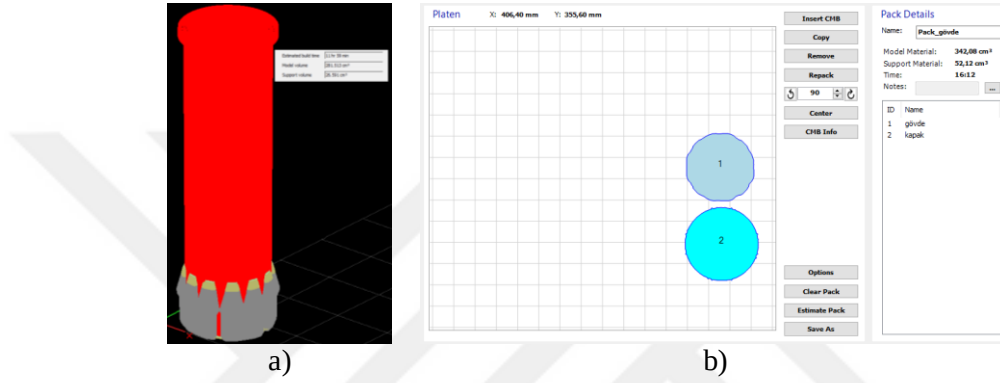
Çizelge 5. 2 Mevcut kalıp lokma fiyat tablosu

Yeni Parça Tasarım Kalıp Fiyatı (Hesaplama Tarihi 22.08.2022)						
NO	Resim	Parça Adı	Malzeme	Kaç Adet Üretilcek	Yüzey Durumu	Kalıp Fiyatı (₺)
1		İnline gövde alt kalıpta değişen lokma	PP	1	Parlak Yüzey	9.000
2		İnline gövde üst kalıpta değişen lokma	PP	1	Parlak Yüzey	10.000
3		İnline kapak alt kalıp iç parçası	PP	1	Parlak Yüzey	15.000
4		İnline kapak alt kalıp destek parçası	PP	1	Parlak Yüzey	12.000
5		İnline kapak alt kalıp yolluk ve itici parçası	PP	1	Parlak Yüzey	3.000
6		İnline kapak alt kalıp hareketli maça 1	PP	1	Parlak Yüzey	20.000
7		İnline kapak alt kalıp hareketli maça 2	PP	1	Parlak Yüzey	20.000
Toplam						89.000

İki kalıp yatırımı karşılaştırıldığından mevcut kalıpta yapılan lokmaların daha az maliyeti olduğu görülmektedir. Bu nedenle mevcut kalıpların lokmalarının yapılmasına karar verilmiştir.

5.4. İNLINE GÖVDE VE KAPAK PARÇASININ PROTOTİP ÜRETİMİ

Mevcut inline gövde ve kapak parçası, 3 nolu kaynak ağız tasarımına göre tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarımların prototip üretimine karar verilmiştir. İinline gövde ve kapak parçanın Şekil 5.23 (a)'da gösterildiği gibi model ve destek malzemenin takım yolları oluşturulmuştur. Şekil 5.23 (b)'de gösterildiği prototip makinasının tablasına parçaların yerleştirilmesi yapılarak prototipleri üretilmiştir.



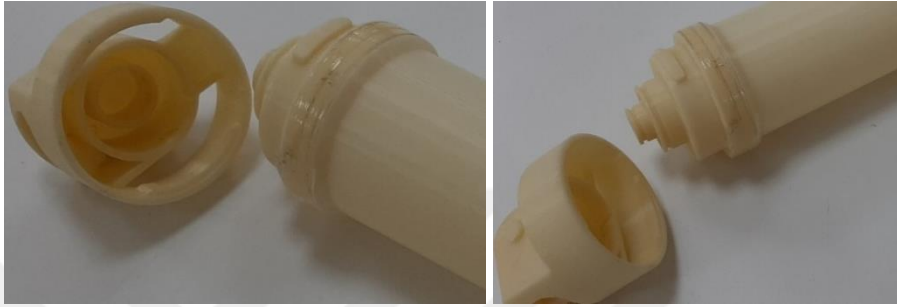
Şekil 5.23. Prototip üretimi a) Takım yolu b) Tezgah tablasına yerleşimi.

Parçaların katmanlar haline getirilmiş hali, model/destek malzeme miktarları ve zamanları Şekil 5.23 (a)'da gösterilmektedir. Çizelge 5.3'de inline gövde ve kapak parçanın üretimi için kullanılacak malzemelerin toplam değerleri gösterilmiştir. Bir kartuş model ve destek malzeme toplam 1510 cm³ hacminde dir. Bir kartuş model malzeme 504,4 USD, destek malzeme 540,8 USD değerindedir.

Çizelge 5.3. Prototip malzeme kullanım miktarı ve maliyeti.

	Parça Resmi/Adı		Birim Fiyatı (USD)	Kullanılan Malzeme Miktarı (cm³)	Zaman	Maliyet (₺)
1	 Üst Gövde	Model Malzeme	504,4	281,513	11 saat 59 dakika	1702,1
		Destek Malzeme	540,8	26,591		172,4
2	 Ön Panel	Model Malzeme	504,4	60,568	4 saat 12 dakika	366,2
		Destek Malzeme	540,8	25,524		165,5
Toplam		Model Malzeme	504,4	342,081	16 saat 11 dakika	2068,3
		Destek Malzeme	540,8	52,115		337,8
PROTOTİP TOPLAM MALİYET VE ZAMAN					16 saat 11 dakika	4812,2

Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi inline filtre plastik parçaların prototip üretilmesi için gerekli model malzemeden 342,081 cm³, destek malzemeden 52,115 cm³ gerekmektedir. Inline gövde ve kapak plastik parçaların üretimi yaklaşık 16 saat 11 dakika sürede tamamlanmış ve malzeme maliyeti 4812,2₺ (Hesaplama tarihi 22.08.2022) olarak belirlenmiştir. Şekil 5.24’de prototipi üretilen inline gövde ve kapak parçası görülmektedir.

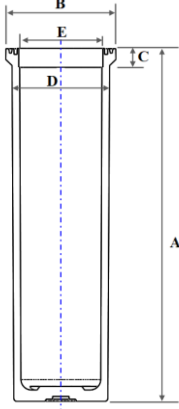


Şekil 5.24. Geliştirilen tasarımın üretilen prototipi.

Prototipi üretilen inline gövde ve kapak parçasının ölçü kontrolleri yapılmıştır. Yapılan tasarımla prototip parçasının ölçüleri karşılaştırılmıştır. Tasarım ve prototip ürün arasında boyutsal anlamda bir fark olmadığı belirlenmiştir. Çizelge 5.4’de inline gövde parçasının tasarımıyla üretilen prototip parçada ölçülen değerler görülmektedir.

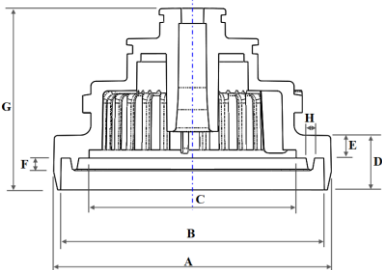
Bu ölçülerin parça tasarımıdaki ölçülere yakın olduğu için kabul edilmiştir. Bunun dışında DIN 16901 standardının vermiş olduğu kabul edilebilir tolerans değerleri içinde olduğundan kabul edilmiştir. DIN 16901 standardında PP malzemesi için belirtilen seri 1 (toleranslara özel bir ölçü olmaksızın uyulabilir) değerleri alınmıştır [36]. Plastik parçaların kalıp baskıları sonrası tolerans değer tablosu DIN 16901 standardında olduğu gibi ISO 20457 standardında da tolerans değerleri verilmiştir. Biz bu çalışmada DIN 16901 standardına göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 5.4. İline gövde tasarım ölçüleriyle prototip ölçüler karşılaştırılması.

		Tasarım (mm)	Prototip (mm)	Aradaki Fark (mm)	DIN 16901 Tolerans Değerleri (mm) [36]
	A	253,4	254,1	0,7	±1,15
	B	Ø78,4	Ø78,9	0,5	±0,5
	C	12,1	12,2	0,1	±0,17
	D	Ø69,7	Ø70,1	0,1	±0,4
	E	Ø60,2	Ø60,6	0,1	±0,4

Çizelge 5.5’de inline kapak parçasının tasarımıyla prototip parçasının ölçülen değerler görülmektedir. “A” ölçüsü belirlenen tolerans değerinden büyük çıkmıştır. Fakat “A” ölçüsü dış kısımda ve fonksiyonellik açısından önemli olmadığından dolayı bu şekilde kabul edilmiştir.

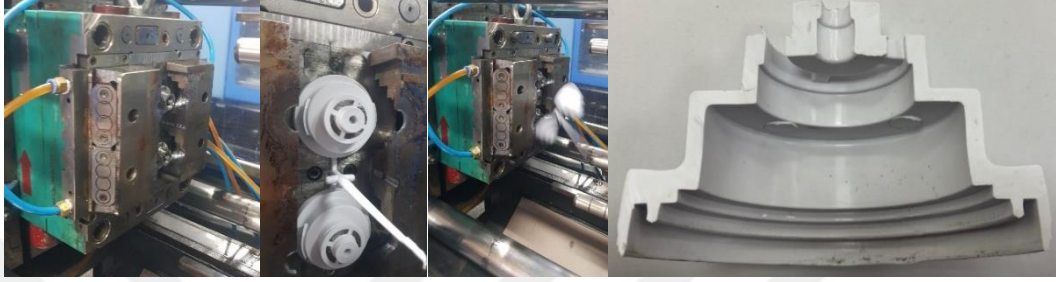
Çizelge 5.5. İline kapak tasarım ölçüleriyle prototip ölçüler karşılaştırılması.

		Tasarım (mm)	Prototip (mm)	Aradaki Fark (mm)	DIN 16901 Tolerans Değerleri (mm) [36]
	A	Ø84,7	Ø85,1	0,6	±0,5
	B	Ø80,5	Ø80,8	0,3	±0,5
	C	Ø63,2	Ø63,5	0,3	±0,4
	D	16,6	16,7	0,1	±0,2
	E	6,9	7,0	0,1	±0,14
	F	3,8	3,8	0	±0,12
	G	55,4	55,7	0,3	±0,4
	H	2,6	2,6	0	±0,11

Üretilen prototip parçaları katmanlı şekilde üretildiğinden, sürtünme kaynak sırasında katmanlarında kopmalar olmaktadır. Bu yüzden prototip parçalarına sürtünme kaynak işlemi yapılamamıştır.

5.5. İNLINE KAPAK PARÇASININ BASKILARININ ALINMASI

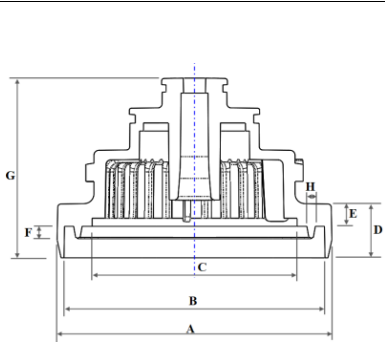
Mevcut inline kapak kalıbında geliştirilen tasarıma göre yapılan lokmalar değiştirilerek ilk baskılar alınmıştır. Şekil 5.25’de inline kapak parçasının kalıp baskısı ve basılan parça görülmektedir.



Şekil 5.25. İncine kapak ilk baskısı.

İncine kapak parçasının ilk baskısı alındıktan sonra tasarımdaki ölçüler ile kontrolleri yapılmıştır. Çizelge 5.6’da incine kapak parçasının ilk baskısı ile tasarım arasındaki ölçü farklılıkları görülmektedir.

Çizelge 5.6. İncine kapak tasarımla ilk baskıları arasındaki ölçüler karşılaştırılması.

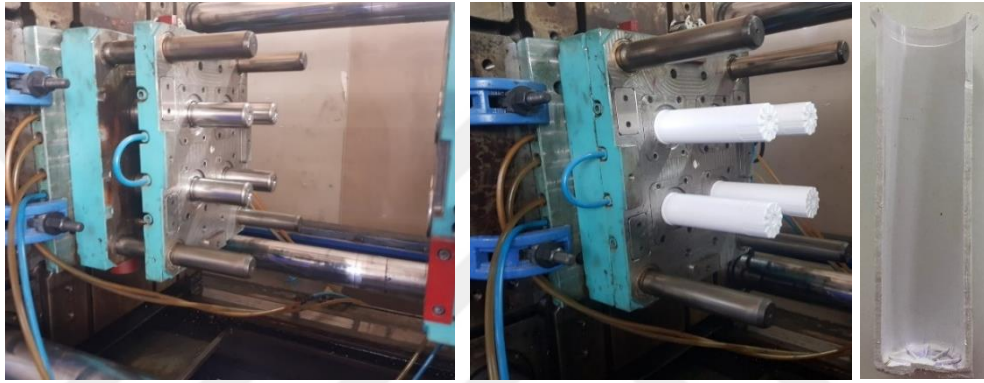
	Tasarım (mm)	İlk Baskı (mm)	Aradaki Fark (mm)	DIN 16901 Tolerans Değerleri (mm) [36]
	A	Ø84,7	Ø84,2	-0,5
B	Ø80,5	Ø80,1	-0,4	±0,5
C	Ø63,2	Ø62,9	-0,3	±0,4
D	16,6	16,4	-0,2	±0,2
E	6,9	6,8	-0,1	±0,14
F	3,8	3,7	-0,1	±0,12
G	55,4	55,1	-0,3	±0,4
H	2,6	2,5	-0,1	±0,11

Kalıptan alınan baskının parça tasarımına göre düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak enjeksiyon makinasının yaşına, enjeksiyon ayarlarına ve ortam şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Aralarındaki ölçü farklılığı en fazla 0,5 mm olduğu görülmektedir. Bu kadar ölçü farklılığı bizim ürün kullanıma ve sürtünme kaynak değerlerine etki etmeyeceği düşünülerek bu şekilde kabul edilmiştir. Ayrıca DIN 16901

standardının vermiş olduğu kabul edilebilir tolerans değerleri içinden olduğundan kabul edilmiştir [36].

5.6. İNLINE GÖVDE PARÇASININ BASKILARININ ALINMASI

Mevcut inline gövde kalıbında geliştirilen tasarıma göre yapılan lokmalar değiştirilerek ilk baskılar alınmıştır. Şekil 5.26’da inline gövde parçasının kalıp baskısı ve basılan parça görülmektedir.



Şekil 5.26. İncıne gövde ilk baskısı.

İncıne gövde parçasının ilk baskısı alındıktan sonra tasarımdaki ölçüler ile kontrolleri yapılmıştır. Çizelge 5.7’de incıne gövde parçasının ilk baskısı ile tasarım arasındaki ölçü farklılıkları görülmektedir.

Çizelge 5.7. İncıne gövde tasarım ölçüleriyle ilk baskıları arasındaki ölçüler karşılaştırılması.

		Tasarım (mm)	İlk Baskı (mm)	Arasındaki Fark (mm)	DIN 16901 Tolerans Değerleri (mm) [36]
	A	253,4	252,3	-1,1	±1,15
	B	Ø78,4	Ø78,0	-0,4	±0,5
	C	12,1	11,94	-0,16	±0,17
	D	Ø69,7	Ø69,4	-0,3	±0,4
	E	Ø60,2	Ø59,9	-0,3	±0,4

Kalıptan alınan baskının parça tasarımına göre düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak enjeksiyon makinasının yaşına, enjeksiyon ayarlarına ve ortam şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Aralarındaki ölçü farklılığı en fazla 1,1 mm olduğu görülmektedir. Bu kadar ölçü farklılığı ürün kullanıma ve sürtünme kaynak değerlerine etki etmeyeceği düşünülerek bu şekilde kabul edilmiştir. Ayrıca DIN 16901 standardının vermiş olduğu kabul edilebilir tolerans değerleri içinden olduğundan kabul edilmiştir [36].

Daha sonra alınan baskıların birbiri ile uyumlarına bakılmıştır. Şekil 5.27’de ilk baskıları alınan inline gövde ve kapak parçasının kesilmiş halde görülmektedir.



Şekil 5.27. İline gövde ve kapak parçasının ilk baskısı.

İline gövde kapak parçası ilk baskıları alındıktan sonra sürtünme kaynak makinasında birleştirilmiştir. Kaynak makinası girilen parametre değerleri mevcut imalatta kullanılan değerler alınmıştır. Çizelge 5.8’de sürtünme kaynak makinasına girilen parametre değerler gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Sürtünme kaynak makinesi girilen parametreler.

Giriş Parametre Adı	Giriş Parametre Değeri
Dönüş devir hızı [dev/dk]	2490
Sürtünme kaynak basıncı [bar]	6
Sürtünme kaynak süresi [sn]	2
Sürtünme kaynak sonrası bekleme süresi [sn]	3,5

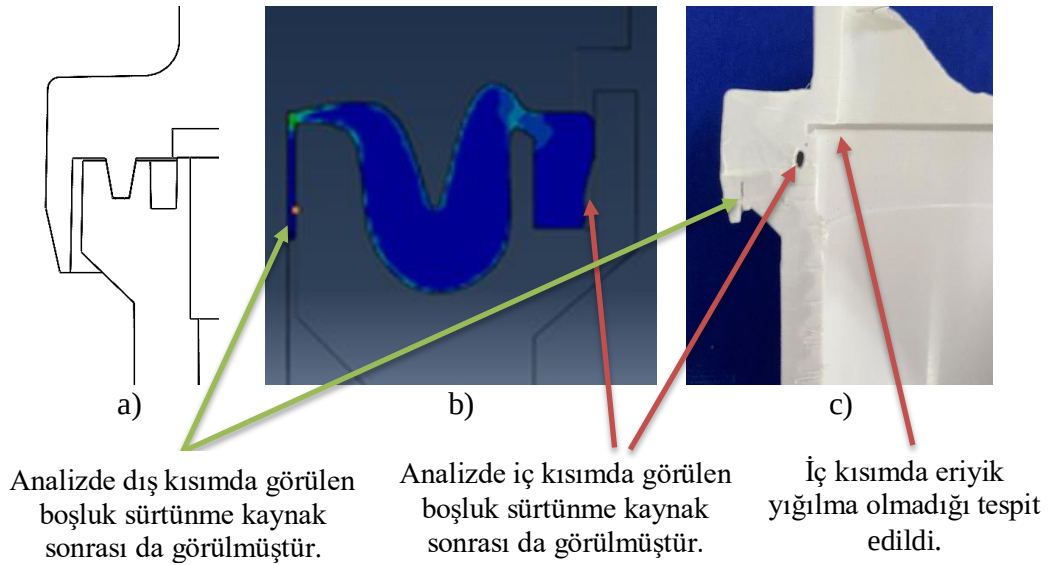
Şekil 5.28’de sürtünme kaynak makinesi ve ekrana girilen parametreler görülmektedir.



Şekil 5.28. Sürtünme kaynak makinesi ve ekrana girilen parametre.

İnline gövde ve kapak parçasın sürtünme kaynak makinasında Çizelge 5.8’deki parametreler göre birleştirilmiştir. Daha sonra birleştirilen parça kesit alınmış ve eriyik yığılma durumu incelenmiştir.

Şekil 5.29’da geliştirilen kaynak ağız tasarımı ve analizin sürtünme kaynakla birleştirilen yapı karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 5.29. Eriyik yığılma durumu karşılaştırması a) Kaynak ağız tasarımı b) ABAQUS analizi c) Sürtünme kaynak sonrası oluşan eriyik yığılma durumu.

İnline gövde ve kapak parçası sürtünme kaynak işlemiyle birleştirilmiştir. Yapılan kaynak işlemi sonrası parça kesiti alınmış iç kısımda eriyik yığılma olup olmadığı kontrol edilmiştir. Yapılan kontrollerde iç kısımda eriyik yığılma olmadığı görülmüştür. ABAQUS programı ile elde edilen eriyik yığılma durumu ile kaynak sonrası eriyik yığılma durumu karşılaştırılmıştır. Eriyik yığılma durumuyla analiz sonucu elde edilen yapıya yakın olduğu görülmüştür.



BÖLÜM 6

TAGUCHİ DENEYSEL METHOD UYGULANMASI, DENEYSEL ÜRETİM ve BULGULAR

Taguchi yöntemi, üretim alanı ve mühendislik analizinde yaygın olarak kullanılan işlem parametrelerinin en uygun aralıklarını belirlemek için Dr. Genichi Taguchi [37] tarafından geliştirilmiş deneysel bir tekniktir. Taguchi yöntemi, zaman ve ekonominin çok önemli olduğu günümüz endüstrisinde geniş bir yer tutmaktadır. Bu yöntem, yüksek kaliteye sahip sistemlerin tasarlanması ve geliştirilmesi için kullanılan çok güçlü bir araçtır. Bu sebeplerden dolayı, Taguchi yöntemi kullanılarak endüstriler maliyetten hiç ödün vermeksizin ürün geliştirme zamanını önemli ölçüde azaltabilirler.

Kumar vd. [38] plastik parçaların sürtünme kaynak birleşmenin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Singh vd. [39] plastik parçalarına alüminyum ve demir tozu takviyesi yaparak giriş parametrelerine Taguchi uyguladığı görülmüştür. Alüminyum toz takviyeli plastikler için elde edilen parametre 775 rpm, 0,045 devir/mm ve 6 sn kaynak süresinin parametre kombinasyonu bulmuşlardır. Metal toz takviyeli plastikler için elde edilen parametre 1200 rpm, 0.045 dev / mm ve 8 s kaynak süresinin parametre kombinasyonu bulmuşlardır.

Kumar vd. [40] Karbür (K10) kesme takımı kullanılarak tek yönlü cam elyaf takviyeli plastik kompozit tornalama cihazındaki proses parametrelerine; takım ucu yarıçapı, takım eğim açısı, ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği ve kesme ortamına Taguchi yöntemi (Ortogonal L18 dizisi) uygulamışlardır. Yüzey pürüzlülüğünü en aza indirme için yapılan Taguchi yöntemi sonucu kesme derinliği en önemli parametre olarak bulunmuştur.

Zheng vd. [41] Otomotiv sektöründe kullanılan üçgen plastik parçanın çarpılma sorununu azaltmak için enjeksiyon baskı şartlarına (kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon süresi, V/P geçişi, paketleme basıncı ve paketleme süresi) Taguchi deneysel yöntemi uygulanmıştır. Doldurma koşulları optimize edilerek çarpıklık minimum seviyeye indirmişlerdir.

Altınsoy vd. [42] Mühendislik polimeri olan polioksimetilen kopolimer (POM-C) parçası basınç, ilerleme hızı ve aşındırıcı garnet miktarına değerlerine göre su jeti tezgâhında kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü en düşük olan parametreyi bulmak için Taguchi deneysel yöntem uygulamışlardır. Yapılan çalışma sonuçlarında su jeti tezgâhında 260 MPa basınçta 350 g/dk. garnet miktarı 170 mm/dk. ilerleme hızında yüzey pürüzlülüğünün diğer parametrelere göre daha düşük çıktığını bulmuşlardır.

Abbasi vd. [43] AA6061-T6'nın sürtünme karıştırma kaynağı (FSW) ile birleştirmişlerdir. Parçaları modellemek ve kaynak sürecini simülasyon etmek için ABAQUS yazılımı uygularken, gerinim hızının ve üretilen ısının etkisini değerlendirmek için Johnson-Cook kanunu uygulamıştır. Küresel pimlerin, silindirik ve konik pimplere göre iş parçalarında en yüksek sıcaklıklara neden olduğu bulmuşlardır. Ayrıca pim açısı arttıkça iş parçalarında daha fazla ısı oluştuğu sonucuna varmışlardır.

6.1. TAGUCHI DENEYSEL METHOD UYGULANMASI

6.1.1. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

İnline gövde ve kapak parçasının birleştirme kalitesine kaynak ağız yapısının tasarımı kadar sürtünme kaynak makinasının değerleri etki etmektedir. Sürtünme kaynak makinasına girilen parametre değerleri olarak; dönüş devir hızı, sürtünme kaynak basıncı, sürtünme kaynak süresi ve sürtünme kaynak bekleme süresidir. Taguchi deneysel metodu analiz işlemleri ile kaynak parametrelerinin etkisini açıklamak için Minitab 15 [44], istatistik program kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, sayısal sonuçları

analiz etmek ve değerlendirmek için ortogonal deneysel tasarım, S/N oranı ve ANOVA gibi önemli üç aracını birleştirerek çözüme ulaştırmaktadır [46, 46].

Çizelge 6.1’de sürtünme kaynak makinası parametreleri ve seviyeleri verilmiştir. Bu faktörlerden devir hızının seviye değerleri birbirine yakın olacak şekilde alınmıştır. Devir sayısı daha yüksek seçilmesi durumlarda kaynak bölgelerinde aşırı sürtünmeden dolayı malzemenin yanmasına ya da malzeme yapısının amorf yapıya dönüşerek kırılganlığın artmasına sebep olacaktır. Devir sayısı daha düşük seçilmesi durumlarda kaynak bölgelerinde ısınma fazla olmayacağından dolayı tam bir birleşme olmayacaktır. Diğer parametrelerin seviye değerleri daha önceki endüstri deneyimlerden elde edilen tecrübelerle göre belirlenmiştir.

Çizelge 6.1. Sürtünme kaynak makinesi faktörleri ve seviyeleri.

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Devir Hızı [dev/dk] - A	2310	2400	2490	2580
Sürtünme Kaynak Basıncı [bar] - B	4	5	6	7
Sürtünme Kaynak Süresi [sn] - C	1,5	1,75	2	2,25
Bekleme Süresi [sn] - D	2,5	3	3,5	4

Kararlaştırılan dört farklı faktörden A, B, C ve D için dört seviye aralığı tayin edilmiştir. Çizelge 6.1’de gösterilen her seviye için deneyler yapılmak istenmesi durumunda 4⁴’den 256 tane deney yapılması gerekmektedir. Taguchi deneysel yöntem sayesinde 16 adet deney ile optimum değer bulması sağlanabilmektedir. Bu faktörler için Taguchi deney tasarımında kullanılmak üzere L’16 (4**4) ortogonal dizini tasarımı uygulanmıştır. Çizelge 6.2’de sürtünme kaynak makinası değerleri için belirlenen seviye parametrelerine L16 ortogonal dizisi uygulanmıştır.

Çizelge 6.2. Taguchi L16 ortogonal dizisine göre yapılacak deneyler.

Deney no	Deney Parametreleri				Devir Hızı (A)	Sürtünme Kaynak Basıncı (B)	Sürtünme Kaynak Süresi (C)	Bekleme Süresi (D)
1	1	1	1	1	2310	4	1,5	2,5
2	1	2	2	2	2310	5	1,75	3
3	1	3	3	3	2310	6	2	3,5
4	1	4	4	4	2310	7	2,25	4
5	2	1	2	3	2400	4	1,75	3,5

Çizelge 6.3. Taguchi L16 ortogonal dizisine göre yapılacak deneyler. (Devamı)

Deney no	Deney Parametreleri				Devir Hızı (A)	Sürtünme Kaynak Basıncı (B)	Sürtünme Kaynak Süresi (C)	Bekleme Süresi (D)
6	2	2	1	4	2400	5	1,5	4
7	2	3	4	1	2400	6	2,25	2,5
8	2	4	3	2	2400	7	2	3
9	3	1	3	4	2490	4	2	4
10	3	2	4	3	2490	5	2,25	3,5
11	3	3	1	2	2490	6	1,5	3
12	3	4	2	1	2490	7	1,75	2,5
13	4	1	4	2	2580	4	2,25	3
14	4	2	3	1	2580	5	2	2,5
15	4	3	2	4	2580	6	1,75	4
16	4	4	1	3	2580	7	1,5	3,5

L'16 dizisine göre tasarlanmış deneyler için, sürtünme kaynak makinası parametreleri Çizelge 6.2'deki gibi ayarlanmıştır. Makine kaynak işlemi öncesi girilen parametre değerleri tam oturması için 3 defa boşa çalıştırılmıştır. Daha sonra inline gövde ve kapak parçası tek tek belirlenen parametrelere göre üç adet parça kaynak işlemiyle birleştirilmiştir.

6.1.2. L16 Dizisine Göre Belirlenen Parametrelerde Birleştirilen Parçaların Dayanıklılık Tespiti

Deneylerde faktörlerin farklı seviyeleri dikkate alınarak sürtünme kaynak yapılan 16 farklı ürün, cenderede statik basınç aletinde testler yapılmıştır. Her bir ürün patlayıncaya kadar statik basınç artırılmıştır. NSF/ANSI 58 5.1.3.2 hidrolik basınç testine göre statik basınç testinde 20,4 bar, dinamik basınç deneyinde 5 sn 10,4 bar basınçlı 5 sn basınçsız şekilde 100 000 çevrim dayanıklı olması beklenmektedir [47]. Buradaki basınç değerleri minimum değer olarak kabul edilmektedir. Taguchi deneysel yöntemine göre belirlenen her bir deney no için üç adet parça sürtünme kaynak işlemi ve cendere de statik basınç testleri yapılmıştır. Yapılan basınç test sonuçlarının ortalamaları alınmış ve ortalama değere göre S/N değeri hesaplanması yapılmıştır. Çizelge 6.4'de statik basınç test sonuçları ve hesaplaması yapılan S/N değerleri görülmektedir.

S/N oranı, Taguchi yönteminin performans karakteristiklerini istatistiksel ölçen bir araç olup, amaç fonksiyonu olarak tanımlanan istenen cevabın logaritmik bir fonksiyonudur [46-48]. Bu çalışmada basınç değerlerinin en yüksek olması arzalandığı için uygun olan En büyük En İyi için kullanılan Sinyal/Gürültü (S/N) oranı [49] Eşitlik (1) hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

Burada, Y performans karakteristik değeri (basınç değeridir), n ise Y değerlerinin sayısıdır.

Çizelge 6.4. Deneylere ait dayanım ve S/N değerleri.

Deney no	Devir Hızı [dev/sn] (A)	Sürtünme Kaynak Basıncı [bar] (B)	Sürtünme Kaynak Süresi [sn] (C)	Bekleme Süresi [sn] (D)	Dayanım [bar] (E)				S/N [dB]
					Test 1	Test 2	Test 3	Ort.	
1	2310	4	1,5	2,5	20,42	20,55	20,48	20,48	26,23
2	2310	5	1,75	3	23,73	23,45	23,53	23,57	27,45
3	2310	6	2	3,5	26,41	26,54	26,49	26,48	28,46
4	2310	7	2,25	4	25,86	26,08	26,12	26,02	28,31
5	2400	4	1,75	3,5	23,48	23,87	24,15	23,83	27,54
6	2400	5	1,5	4	24,35	24,67	24,52	24,51	27,79
7	2400	6	2,25	2,5	27,68	27,34	27,63	27,55	28,80
8	2400	7	2	3	27,14	27,32	27,36	27,27	28,71
9	2490	4	2	4	27,22	27,16	27,38	27,25	28,71
10	2490	5	2,25	3,5	28,05	28,41	28,33	28,26	29,02
11	2490	6	1,5	3	27,10	27,36	27,28	27,25	28,71
12	2490	7	1,75	2,5	27,89	27,64	27,75	27,76	28,87
13	2580	4	2,25	3	25,87	25,96	26,14	26,00	28,30
14	2580	5	2	2,5	27,58	27,44	27,62	27,55	28,80
15	2580	6	1,75	4	28,21	28,43	28,71	28,45	29,08
16	2580	7	1,5	3,5	26,32	26,54	26,78	26,54	28,48

Şekil 6.1’de statik basınç testi yapılan cendere aparatı ve deney 14’ e ait 1 nolu test kombinasyonun maksimum dayanmış olduğu değer görülmektedir. Ayrıca parçanın basınç test sonrası kırılma bölgesi gösterilmiştir. Sürtünme kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinde iyi bir birleşmesi olduğu görülmektedir. Inline gövde veya kapak parçasında zayıf olduğu bölgelerden yarılarak patlama yapmaktadır. 16 farklı deneylerin hepsinin basınç testi sonucu NSF/ANSI 58 standardın [47] minimum istemiş olduğu 20,4 bar statik basınç değerinden büyük olduğundan kaynak yapısı ve parça dayanımı kabul edilmiştir.



Şekil 6.1. Statik test aparatı ve deney 14'e ait 1 nolu testin maksimum basınç dayanımı.

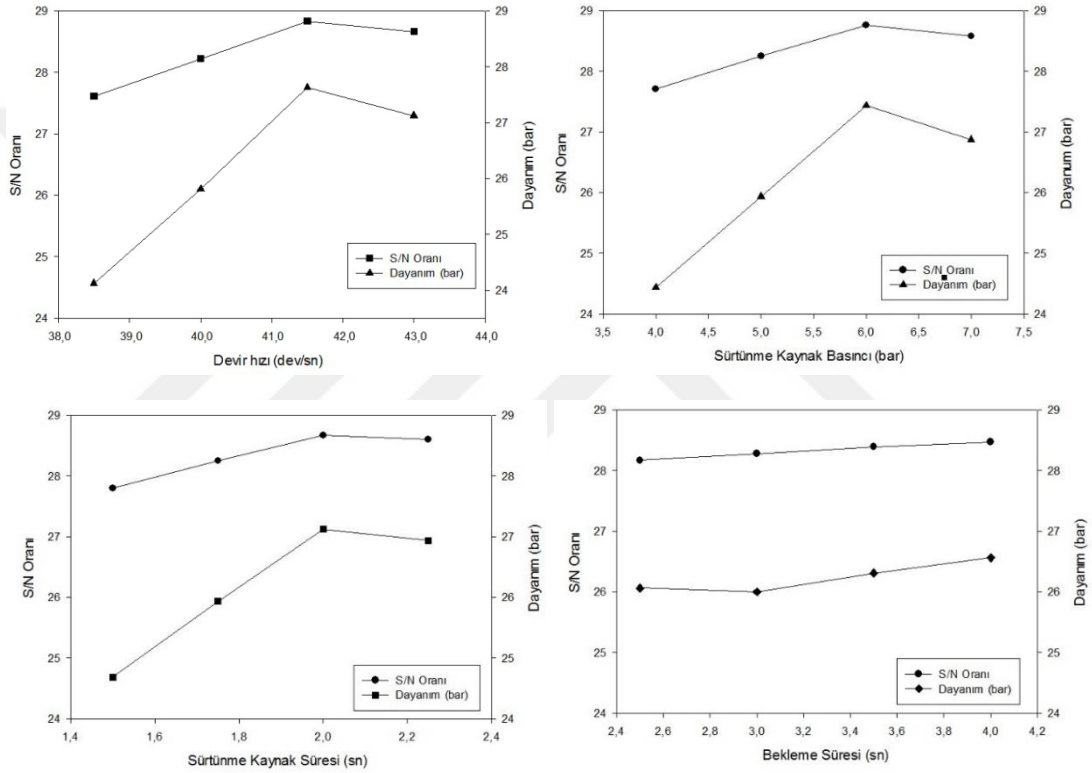
6.1.3. Optimum Enjeksiyon Parametre Değeri ve Anova (Analysis Of Variance)

İstatistiksel bir yöntem olan varyans analizi (ANOVA) iki veya daha fazla kaynak parametresi arasındaki etkileri belirlemek için kullanılmaktadır [50]. ANOVA analizi performans karakteristikleri üzerinde etkili olan işlem parametrelerinin önemlilik derecesini istatistiksel olarak saptamaktadır. Ayrıca Taguchi yöntemi, elde edilen en iyi sonuçların güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla son bir doğrulama testi verisi vermektedir [45, 46]. ANOVA analizi Taguchi deneysel yöntemle elde edilen S/N uygulanarak veri vermektedir. Bu sayede sürtünme kaynak makinasına girilen parametrelerin yüzdelik olarak kaynak kalitesi üzerinde etkileri bulunmuştur.

Çizelge 6.5'de parametre seviyelerinin S/N oranları incelendiğinde parçanın dayanım üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla dönüş devri, sürtünme kaynak basıncı, sürtünme zamanı ve bekleme süresi olduğu görülmüştür. Çizelge 6.2'de S/N yanıt tablosunda büyük olduğu seviye, faktörlerin seviyeleri arasında optimum seviye olarak belirlenmektedir. Elde edilen optimum seviye değerleri olarak devir hızı için seviye 3 (A3), sürtünme kaynak basıncı için seviye 3 (B3), sürtünme kaynak süresi için seviye 3 (C3) ve bekleme süresi için seviye 4 (D4) belirlenmiştir. Taguchi analizinin vermiş olduğu optimum kontrol edilmesi için doğrulama testi yapılması gerekmektedir. Sürtünme kaynak doğrulama deneyi için dönüş devri 2490 dev/dk, sürtünme kaynak basıncı 6 bar, sürtünme zamanı 2 sn ve bekleme süresi 4 sn olarak belirlenmiştir. Şekil 6.2'de her bir seviye için S/N yanıt tablosu ve dayanım grafikleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu.

	Devir Hızı	Sürtünme Kaynak Basıncı	Sürtünme Kaynak Süresi	Bekleme Süresi
	S/N	S/N	S/N	S/N
Seviye 1	27,61	27,69	27,80	28,18
Seviye 2	28,21	28,27	28,24	28,29
Seviye 3	28,83	28,76	28,67	28,38
Seviye 4	28,66	28,59	28,61	28,47
Delta	1,22	1,07	0,87	0,30



Şekil 6.2. Parametre seviyelerinin S/N yanıt tablosu oran ve dayanım grafikleri.

Deneyler sonucunda elde edilen S/N değerlerini yorumlayabilmek ve hangi parametrenin kaynak kalitesi üzerine etkisini görmek için Varyans Analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA analizi kullanılan faktörler ve ilgili seviyelerine göre elde edilen sonuçların ürünün dayanımına ait etkilerinin daha açık görülmesine imkân vermektedir [50]. Çizelge 6.6'de yapılan analizi sonuçları görülmektedir.

Çizelge 6.6. ANOVA analizi.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Katkı Oranı (%)
Devir Hızı [dev/sn] - A	3	3,57	3,57	1,19	147,03	0,001	42,74
Sürtünme Kaynak Basıncı [bar] - B	3	2,66	2,66	0,86	109,56	0,001	31,85
Sürtünme Kaynak Süresi [sn] - C	3	1,93	1,93	0,64	79,54	0,002	23,12
Bekleme Süresi [sn] - D	3	0,19	0,19	0,06	7,85	0,062	2,28
Error	3	0,02	0,02	0,01			
Total	15	8,37					100,00

ANOVA analizinde bir parametrenin tepki üzerinde etkili olup olmadığı P (önem/olasılık) değerine bakılarak kararlaştırılmaktadır. %95 güven aralığı göz önüne alınarak $P < 0.05$ (%5 önem değeri) olduğunda parametrenin tepki üzerinde etkili olduğu sonucuna varılır [50]. Çizelge 6.6’de toplam varyasyon üzerine her bir faktörün % katkısı çizelgelerin en sağında gösterilmiştir. Sürtünme kaynak bölgesinin dayanımı için en etkili parametrenin %42,74 oranında devir hızı, %31,85 ile sürtünme kaynak basıncı ve sürtünme kaynak süresi %23,12 etkili olduğu görülmüştür. Buna yanında, etkisi en az olan parametre olarak bekleme süresi %2,28 olarak tespit edilmiştir.

6.1.4. En İyi Seçimin Tahmin Hesaplaması

Belirlenen optimum değerlere (A3 B3 C3 D4) göre üretilen parçaların basınç deneyi sonucu elde edilecek dayanım miktarı, S/N oranlarına göre matematiksel olarak hesaplanabilmektedir. Kahraman ve diğerler [51] Taguchi deneysel yöntem alüminyum parçada delik büyütme işleminde en düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için optimum parametreyi tespit etmişlerdir. Optimum parametre ile meydana gelebilecek yüzey pürüzlülüğü değerini S/N oranından hesaplayarak bulmuşlardır. Daha sonra optimum değere göre işlem yaparak, hesaplanan değerle yüzeyde oluşan yüzey pürüzlülük değerinin birbirine yakın olduğunun görmüşlerdir.

Tahmini dayanım miktarı formülü aşağıdaki gibidir.

$$F_t = (\text{Maks } S/N_1 - N_m) + (\text{Maks } S/N_2 - N_m) + (\text{Maks } S/N_3 - N_m) + (\text{Maks } S/N_4 - N_m) \quad (2)$$

Burada;

F_t = Seçilen en iyi seviyelerinin S/N değerlerinin N_m (ortalama) den farklarının toplamı,

N_m = Hesaplaması yapılan dayanım için S/N değerlerinin aritmetik ortalaması,

$$N_{hd} = F_t + N_m \quad N_{hd} = \text{Deney için hesaplanan S/N oranı}, \quad (3)$$

$$R_{day.} = 10^{\frac{N_{hd}}{20}} \text{ mm} \quad R_{day.} = \text{Tahmini maksimum dayanım miktarıdır.} \quad (4)$$

S/N değerlerine göre hesaplaması yapılan dayanım miktarı 30,014 bar olacağı ön görülmüştür.

6.1.5. İline Gövde ve Kapak Parçasının Sürtünme Kaynak Birleşmesi için Doğrulama Testi

Taguchi deneysel metodu yöntemiyle elde edilen optimum parametre değerleri belirlenmiştir. Fakat bu değerlerle direkt seri imalata geçilmemelidir. Bulunan optimum değerlere göre doğrulama parçası üretimi yapılarak karşılaştırılmalıdır. DVD-ROM ön kapak plastiği eğilme mukavemeti artırılması için Taguchi deneysel yöntemi uygulamışlar ve optimum değerleri bulmuşlardır. Başlangıçta eğilme mukavemeti 30,5, S/N değerine göre hesaplanan 31,3 iken doğrulama deneyi sonucu elde edilen 36,8 bulmuşlardır. Doğrulama deneyinde parçanın hesaplanan değerden daha fazla eğilme mukavemeti bulmuşlardır. Bu nedenle doğrulama testlerin yapılarak karşılaştırılması gerekmektedir [52].

Doğrulama deneyi için belirlenen optimum parametrelere (A3,B3,C3,D4) göre beş adet gövde ve kapak parçası sürtünme kaynak yapılmıştır. Sürtünme kaynak yapılan parçaların statik basınç deneyi yapılarak dayanım değerleri ölçülmüştür. Ölçümü yapılan dayanımları ve ortalama dayanım değeri Çizelge 6.7’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Doğrulama parçasında ortalama dayanım değer tablosu.

Deney 1 Dayanım (bar)	Deney 2 Dayanım (bar)	Deney 3 Dayanım (bar)	Deney 4 Dayanım (bar)	Deney 5 Dayanım (bar)	Ortalama Dayanım (bar)
28,53	29,51r	29,89	28,17	29,74	29,168

Belirlenen optimum kaynak parametreleriyle üretilen parçalara yapılan statik basınç deneylerinin ortalama dayanımı 29,168 bar olarak çıkmıştır. Hesaplama yapılan parçanın dayanım değeri 30,014 bar olarak bulunmuştur. Şekil 6.3’de doğrulama parametreleriyle üretimi yapılan parçalardan deney 1’e ait basınç deney gösterilmiştir. Şekil 6.3’de deney 1 nolu parçanın yan duvardan çatlayarak patladığı görülmektedir. Sürtünme kaynakla birleşen bölgenin basınca dayandığı görülmüştür.



Şekil 6.3. Doğrulama parçasının deney 1’e ait ölçüm.

Çizelge 6.8’de hesaplanan dayanım değeri ve ölçüm yapılan dayanım değeri görülmektedir.

Çizelge 6.8. Doğrulama parçası değeri ile hesaplanan değerin karşılaştırılması.

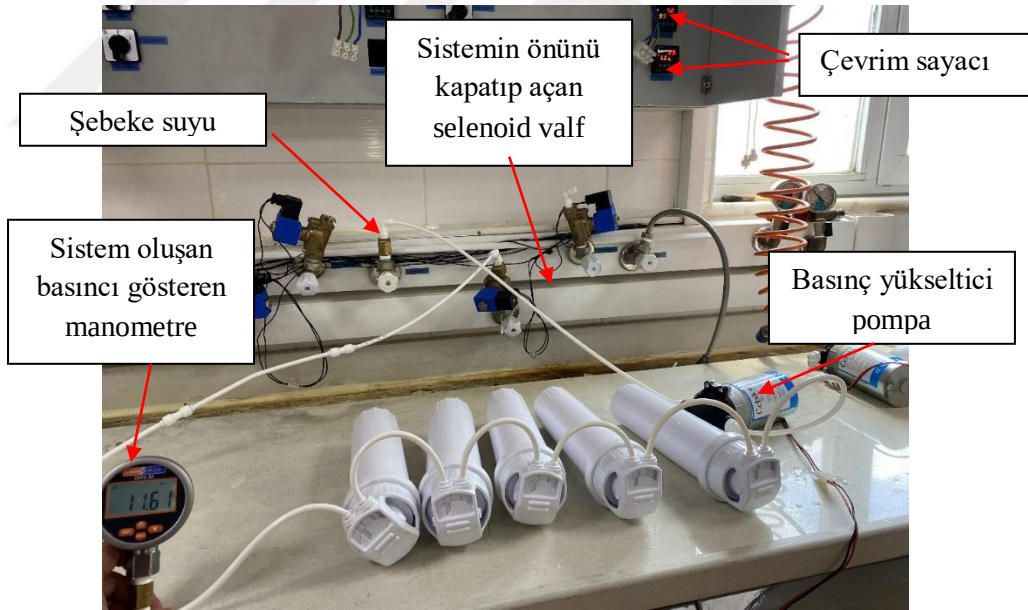
Seçilen Parametre	Hesaplanan Tahmini Dayanım R_{day} . [bar]	Doğrulama Parçasındaki Ortalama Değer R_{day} . [bar]
A3 B3 C3 D4	30,014	29,168

Sürtünme kaynak makinesi parametre değerlerine yapılan Taguchi deneysel tasarımda optimizasyon parametre değerleri uygulanmıştır. Elde edilen optimum seviye değerleri; dönüş devri 2490 dev/dk, sürtünme kaynak basıncı 6 bar, sürtünme zamanı 2 sn ve bekleme süresi 4 sn olarak belirlenmiştir. Sürtünme kaynak işlemiyle optimum kaynak parametreleri ile yapılan doğrulama parçanın ortalama dayanım 29,168 bar olarak bulunmuştur. Doğrulama parçalarındaki dayanım miktarı S/N oranlarına göre matematiksel olarak önceden hesaplanabilmektedir. Hesaplama yapılan parçanın dayanım değeri 30,014 bar olarak ortaya çıkmıştır. Hesaplama ile maksimum dayanım ile optimum değerlere göre yapılan dayanım değerleri arasındaki farkın çok düşük

olduğu görülmüştür. Bu değerin düşük çıkmasıyla Taguchi deneysel yöntemle elde edilen optimum parametre değerleri doğrulanmıştır.

6.2. INLINE GÖVDE VE KAPAK BİRLEŞTİRİLEN PARÇASININ DİNAMİK TEST YAPILMASI

Geliştirilmesi yapılan parçalara uygulanan statik basınç deneylerinde dayanımı istenilen seviyenin üstünde olmaktadır. Fakat birleşim yerinin statik basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen dinamik dayanımı düşük olabilmektedir. NSF/ANSI 58 standardına göre dinamik basınç testleri yapılmıştır. Bu testte 5 sn $<10,4$ bar basınç altında 5 sn basınçsız şekilde 100 bin çevrim sonucunda parça işlevini yapmaya devam etmesi gerekmekte ve deformasyon olmaması istenmektedir [47]. Şekil 6.4’de optimum parametrelere göre üretilen parçalara dinamik test uygulanması görülmektedir.



Şekil 6.4. Dinamik test.

Şekil 6.4’de 5 adet sürtünme kaynak yapılmış ürünlere dinamik test yapılırken durumları gösterilmiştir. Şebeke yüksek basınç olmadığından dolayı bir pompa vasıtasıyla 11,61 bar basınç uygulanmıştır. Dinamik test günde 8 saat çalıştırılmış, yaklaşık 35 günde (7 hafta sürece) tamamlanmıştır. Test bittiğinde yaklaşık 105 bin

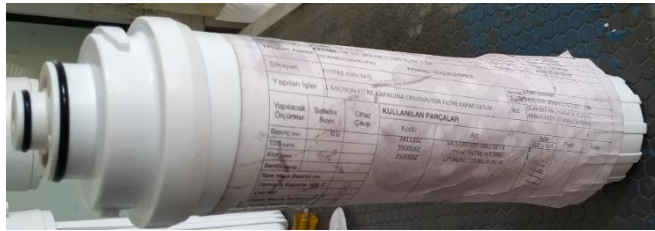
çevrim geçirmiş herhangi su kaçağı ve parça formunda gözle görülür bir farklılık gözlenmemiştir.

6.3. GELİŞTİRİLEN KAYNAK AĞIZ TASARIMINA GÖRE İMAL EDİLEN FİLTRELERİN PİLOT İMALAT YAPILMASI

Sürtünme kaynak işlemiyle birleştirilen filtre parçalarına yapılan dinamik testlerden başarıyla geçmiştir. Belirlenen optimum parametrelere göre 1500 adet ürün pilot imalat yapılmıştır. Farklı hava koşullarda ve şebeke basınçlarında; su kaçağı, kaynak bölgesinde çatlama, filtrelerde form bozukluğu ve yapılan iyileştirmenin faydalı olup olmadığı gibi test edilmesi için saha testi yapılmıştır.

Parçaların baskıları alındıktan sonra belirlenen optimum parametrelerine göre (2490 dev/dk., 6 bar, 2sn, 4 sn) sürtünme kaynak işlemi ile birleştirilmiştir. Daha sonra 1500 adet su arıtma cihazı üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan 1500 adet üründe herhangi bir arıza durumunda anında müdahale edilmesi için İstanbul ve çevre illere satışı yapılmıştır.

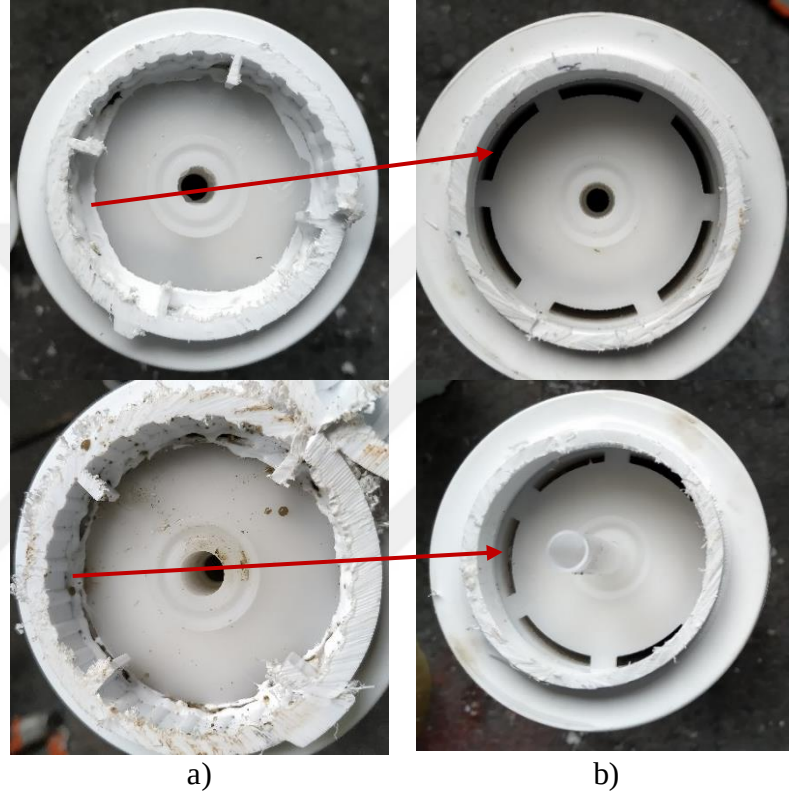
Geliştirilen tasarıma göre yapılan 1500 adet üretim ve satış tarihine yakın mevcut üretimin 1500 adet ürün seri numarasına göre takip edilmiştir. Takip edilen cihazların filtreleri değiştirildiğinde Şekil 6.5'deki gibi filtre üzerinde servis fişli filtre üzerinde yapıştırılmış şekilde gelmektedir. Bu fişlere değişim tarihi, ürün seri numarası ve değiştirme sebebi yazılarak gönderilmektedir.



Şekil 6.5. Değiştirilen filtrenin üzerine yapıştırılan servis fişi.

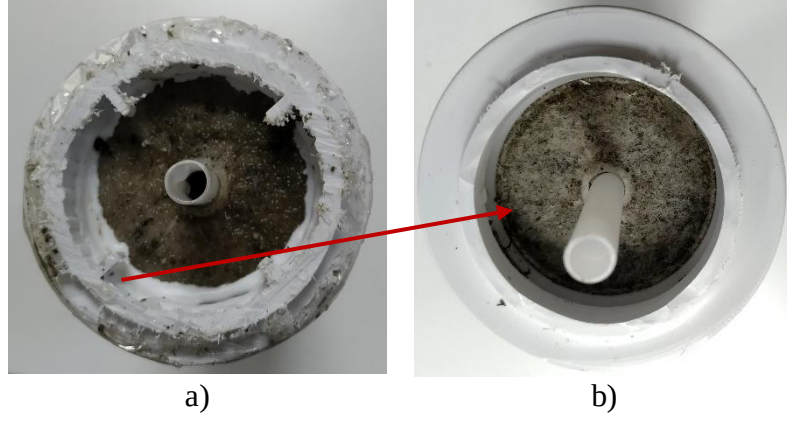
İstanbul ve çevre illerinde yakın tarihli satılan mevcut imalat 1500 adet ürün ile kaynak ağız tasarımı geliştirilen ürünlerin filtreleri 6 ay sonra değiştirilmiş ve fabrikada toplanmıştır. Toplanan bu filtrelerden erken değişim ve arızalı olduğu belirtilen filtreler kesilmiştir.

Şekil 6.6’da sahadan gelen sediment filtreler kesilmiş, mevcut imalat ve kaynak ağız geliştirilen filtrelerin eriyik yığılma durumları görülmektedir. Geliştirilen kaynak ağız tasarımında iç kısımda herhangi bir eriyik yığılma durumu olmadığı görülmüş ve tıkanma ve düşük debi hataları tespit edilmemiştir.



Şekil 6.6. Sedimet filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu.

Şekil 6.7’de sahadan gelen aktif karbon filtrelerin kesilmesiyle mevcut imalatla oluşan eriyik yığılma hataları ve kaynak ağız geliştirilen parçadaki eriyik yığılma durumları görülmektedir. Geliştirilen kaynak ağız yapısında iç kısımda herhangi bir eriyik yığılma durumu olmadığından dolayı üst kapak parçasındaki keçenin eriyik yığılma görülmemiştir. Bu sayede aktif karbon filtrenin keçenin kullanım alanı arttığından dolayı keçenin kullanım ömrü artmıştır.



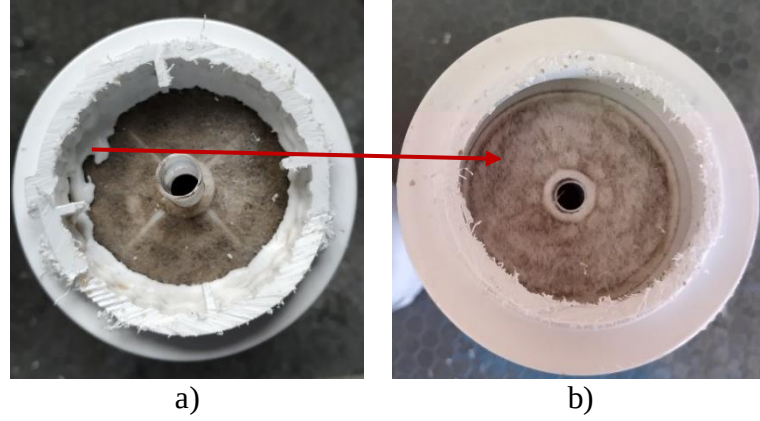
Şekil 6.7. Aktif karbon filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu.

Şekil 6.8’de sahadan gelen sediment filtrelerin kesilmesiyle şebekeden gelen suyun kalitesine bağlı olarak filtrelerde erken tıkandığı görülmüştür. Bu tıkanma oranlarının geliştirilen kaynak ağız yapısında belli miktar iyileşme olduğu görülmüştür.



Şekil 6.8. Sediment filtre tıkanma durumu a) Mevcut imalat b) Tasarımı geliştirilen parça.

Takip edilen ürünler incelendiğinde, aynı binada takılan ürünlerden bir tanesi mevcut imalat diğeri kaynak ağız geliştirilen filtrelerin olduğu tespit edilmiştir. Bu ürünlerdeki aktif karbon filtrenin durumu incelendiğinde, mevcut imalat filtrenin keçe alanının azalmasından dolayı 4 ay 3 hafta sonra tıkanma sonucu değiştirildiği fakat kaynak ağız geliştirilen filtrelerin belirlenen zamanda değiştirildiği görülmüştür. Aktif karbon filtrenin keçelerin tıkanmadığı hala işlevini yerine getirdiği görülmüştür. Şekil 6.9’da aktif karbon filtrenin giriş kısımdaki keçenin resimleri görülmektedir.



Şekil 6.9. Sahadan gelen aktif karbon filtre a) Hatalı eriyik yığılma durumu b) Tasarımı geliştirilen parçanın eriyik yığılma durumu.

Sahadan gelen ürünler incelendiğinde sediment filtre arıza oranları Çizelge 6.9’de görülmektedir. Her bir üründe 2 adet sediment filtre kullanıldığından dolayı 1500 adet üründe 3000 adet sediment takip edilmiştir.

Çizelge 6.9. Üretimim yapılan sediment filtrelerin saha testi sonuçları.

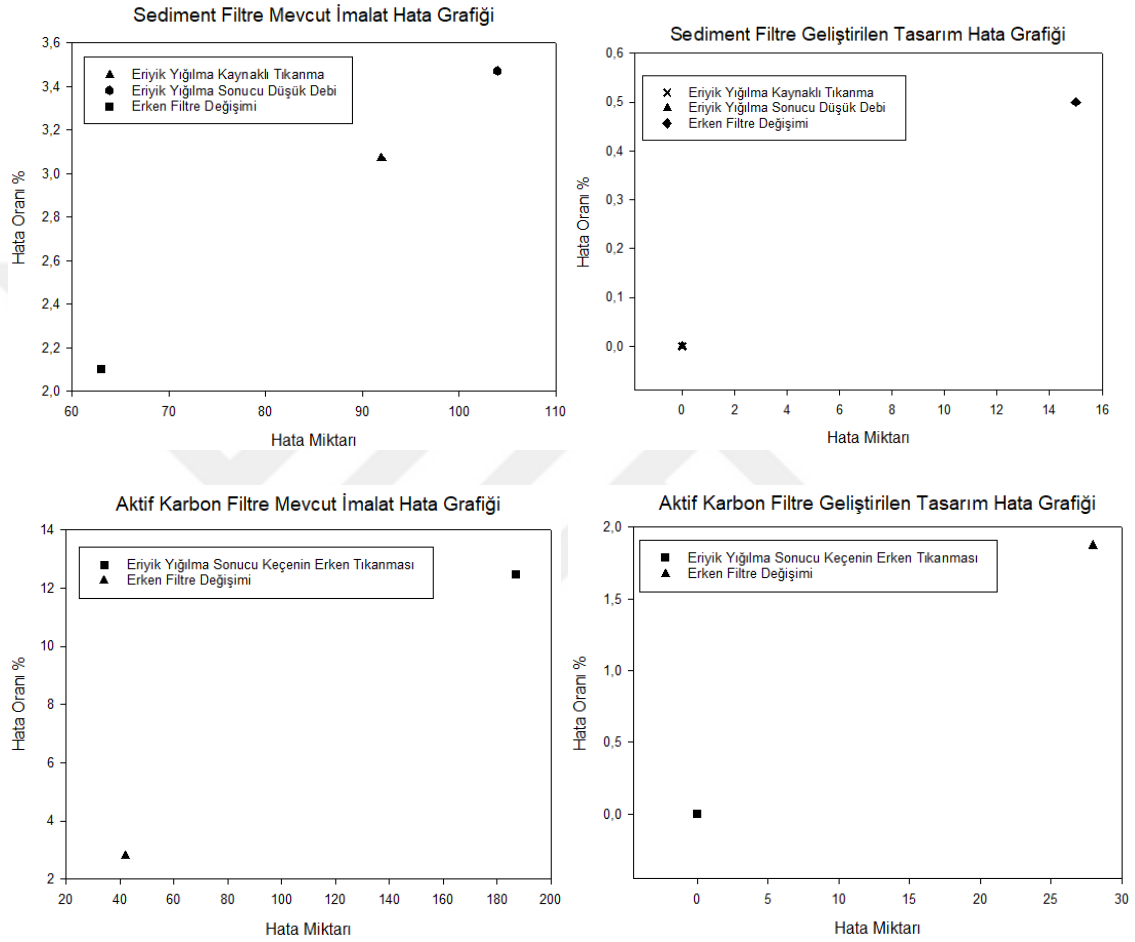
	Sediment Filtre - 3000 Adet					
	Eriyik Yığılma Kaynaklı Tıkanma		Eriyik Yığılma Sonucu Düşük debi		Erken Filtre Değişimi	
	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)
Geliştirilen Tasarım İmalat	0	0,00	0	0,00	15	0,50
Mevcut İmalat	92	3,07	104	3,47	63	2,10

Sahadan gelen ürünler incelendiğinde aktif karbon filtre arıza oranları Çizelge 6.10’da görülmektedir. Her bir üründe 1 adet aktif karbon filtre kullanıldığından dolayı 1500 adet üründe 1500 adet aktif karbon filtre takip edilmiştir.

Çizelge 6.10. Üretimim yapılan aktif karbon filtrelerin saha testi sonuçları.

	Aktif Karbon Filtre (GAC) - 1500 adet			
	Eriyik Yığılma Sonucu Keçenin Erken Tıkanması		Erken Filtre Değişimi	
	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)
Geliştirilen Tasarım İmalat	0	0,00	28	1,87
Mevcut İmalat	187	12,47	42	2,80

Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10’da görüldüğü gibi sürtünme kaynak ağız yapısındaki geliştirmenin eriyik yığılmanın neden olmuş olduğu hata oranlarının sıfıra kadar indirdiği görülmüştür. Şebekeden suyun kalitesine bağlı olarak filtre değişimlerinin çok fazla azaltmadığı tespit edilmiştir. Şekil 6.10’da bu hata oranlarının tasarım öncesi ve sonrası grafikleri görülmektedir.



Şekil 6.10. Üretimim yapılan filtrelerin hata oranları grafiği.

Cihazların saha testi çalışma şartlarındaki gibi laboratuvar da filtrelerin ömür testleri yapılmıştır. Günlük 36 litre arıtılmış su tüketimi yapıldığı düşünülen filtre üzerinden (atık su miktarı dâhil edilmiş) geçen toplam su miktarı 97 litredir. 6 aylık süre için 17 588 litre su geçirilmesi gerekmektedir. Laboratuvar da filtrelerin test edilmiş için toplam 60 adet filtre hazırlanmıştır. Şekil 6.11’de hazırlanan filtrelerin test için 12’li gruplar halinde testleri yapılmıştır.



Şekil 6.11. Filtrelerin laboratuvar testi.

Hazırlanan bu filtrelerden 0,3 ppm (parts per million) klor, 230 TDS (Total Dissolved Solids) ve 6,5 pH (Power of Hydrogen) değerlerinde su geçirilmiştir.

Bu filtrelerden saha testlerindeki cihazlardan dakikada geçen miktar kadar su geçirilmiştir. Her filtreden 1 dakikada 570 ml/dk. su geçirilmiş, her gün çalıştırıldığında 21 gün 10 saat gibi zamanda test tamamlanmıştır. Yapılan laboratuvar testlerinde Çizelge 6.11’da mevcut imalatla kullanılan sediment filtrede hatalar görülmüştür.

Çizelge 6.11. Sediment filtrelerin laboratuvar testi sonuçları

	Sediment Filtre - 40 Adet					
	Eriyik Yığılma Kaynaklı Tıkanma		Eriyik Yığılma Sonucu Düşük debi		Erken Filtre Değişimi	
	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)
Geliştirilen Tasarım İmalat	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Mevcut İmalat	2	5,00	1	2,50	0	0,00

Yapılan laboratuvar testlerinde Çizelge 6.12’de mevcut imalatla kullanılan aktif karbon filtreler hatalar görülmüştür.

Çizelge 6.12. Aktif karbon filtre laboratuvar testi sonuçları.

	Aktif Karbon Filtre (GAC) - 20 adet			
	Eriyik Yığılma Sonucu Keçenin Erken Tıkanması		Erken Filtre Değişimi	
	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)	Hata Miktarı	Hata Oranı (%)
Geliştirilen Tasarım İmalat	0	0,00	0,00	0,00
Mevcut İmalat	3	15,00	0,00	0,00

Laboratuvar testi sonucunda 3 adet aktif karbon filtrenin tam tıkanma değil de çıkış debisinde düşük olduğundan dolayı tıkanma olarak yazılmıştır.

Mevcut imalat ve yeni tasarımıyla üretilen filtrelerin laboratuvar yapılan testlerde su kaçağı, form bozukluğu gibi problemlerle karşılaşılmamıştır. Saha ve laboratuvar testlerinde mevcut imalatın filtre tıkanma ve debi düşüklüğü gibi problemlerin olduğu görülmüştür. Saha ve laboratuvar testlerinde geliştirilen tasarıma göre üretilen filtrelerde tıkanma ve debi düşüklüğü gibi problemlerin mevcut imalata göre problemleri en aza indirdiği görülmüştür.

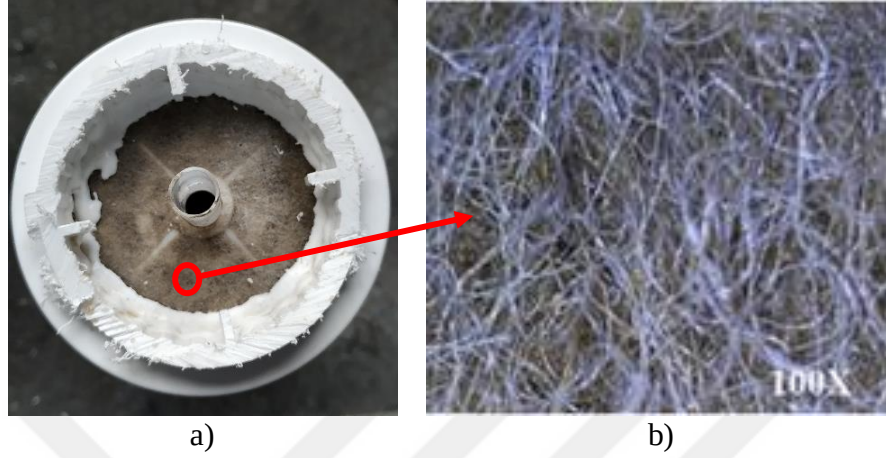
6.3.1. Aktif Karbon Filtrenin Üst Keçenin İncelenmesi

Saha testinde mevcut imalattaki aktif karbon filtresinde oluşan eriyik yığılma sonucu 187 adet filtre erken tıkanma nedeniyle değişimi olmuştur. Bu filtrelerin su girişinde bulunan üst keçenin tıkanarak su geçişinin kapatmaktadır. Aktif karbon keçelerinin gözeneklerin büyütülerek resim çekilmesi için kullanılan cihazın özellikleri Çizelge 6.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. Auto-focus Portable Microscope cihazı özellikleri [53].

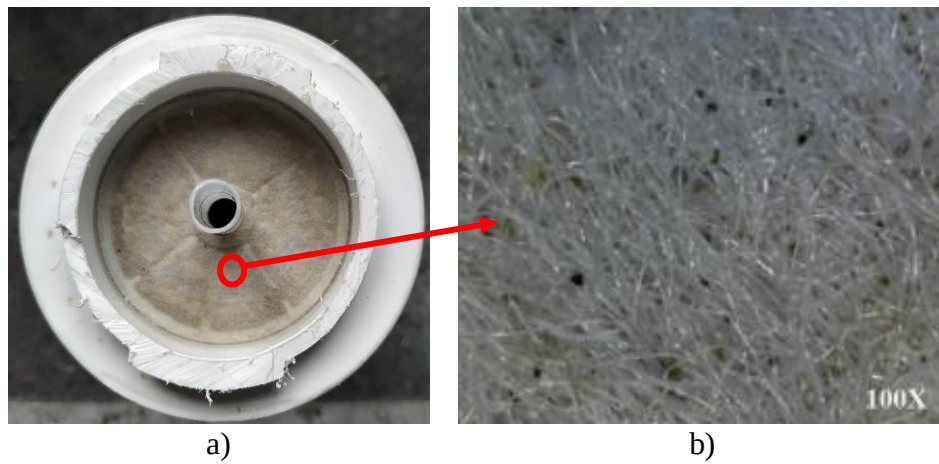
	
Büyütme Faktörü	1X – 500X
Odaklanma	Otomatik Odaklanma + Elle Odaklanma
Işık	Led ışık, Işık Parlaklık Ayarı
Yazılım Fonksiyonları	Fotoğraf, Video, Ölçüm

Şekil 6.12’de tıkanan filtrelerinin keçe gözeneklerinin 100 kat büyütülmüş resimleri gözükmemektedir.



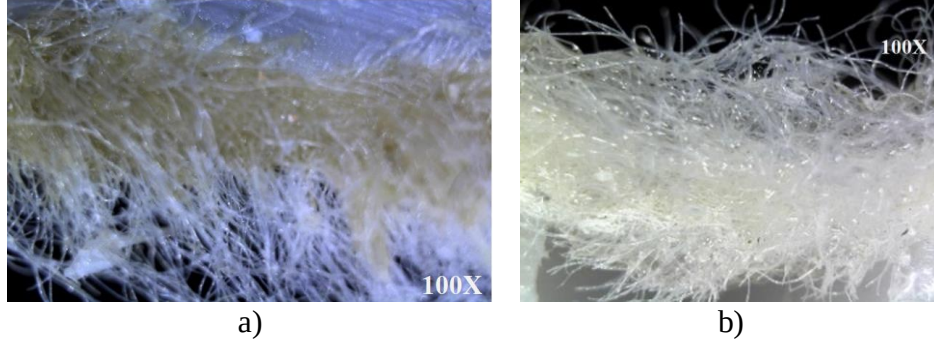
Şekil 6.12. Aktif karbon filtre a) Tıkalı aktif karbon filtre b) 100 kat büyütülmüş keçe gözeneği

Şekil 6.12’de keçenin yakından görüntüsüne bakıldığından keçenin üst gözeneklerin açık fakat keçenin iç kısımlarına doğru gözeneklerin tıklandığı görülmektedir. Tasarımı geliştirilen filtrelerin saha testinden aktif karbon filtrenin keçenin gözenek yapısı Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Aktif karbon filtre a) Tasarımı geliştirilen aktif karbon filtre b) 100 kat büyütülmüş keçe gözeneği.

Aktif karbon filtre keçelerinin üstten görünüşü gibi keçelerin kesilerek yandan görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.14’de keçelerin yandan 100 kat büyütülmüş resimleri gözükmemektedir.



Şekil 6.14. Kesilen keçelerin 100 kat büyütülmüş hali a) Tıkalı keçe gözeneği b) Açık keçe gözeneği.

Şekil 6.14’de keçe gözeneklerin yandan kesit görünüşleri bakıldığında tıkalı keçenin katmanlarının tıkalı olduğu görülmekte, açık keçeeye bakıldığında keçenin katmanlarının açık olduğu görülmektedir. Kaynak ağız tasarımının geliştirilmesinin aktif karbon keçelerin tıkanmalarını en aza indirmiş ve sediment filtrenin eriyik yığılma kaynaklı tıkanmalarının önüne geçmiştir.

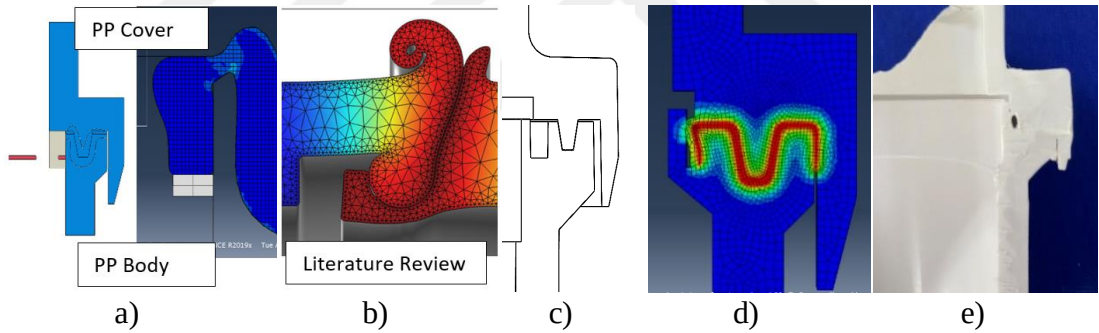
6.4. BULGULAR

Su arıtma cihazlarından kullanılan inline filtrelerin sürtünme kaynak sonrası iç ve dış kısımlarda eriyik yığılmalar oluşmaktadır. İç kısımda oluşan eriyik yığılmalar filtrelerin tıkanması, debi düşmesine ve aktif karbon keçelerinde yüzey alanın daralması sonrası tıkanmalara neden olmaktadır. Bu problemin çözülmesi iç kısımda eriyik yığılmanın hapsedilmesi gerekmektedir.

İlk olarak mevcut inline filtrenin sürtünme kaynağı sonrası oluşan eriyik yapının FEM programında (ABAQUS) yapılacak analizler elde edilmesi amaçlanmıştır. ABAQUS programında mevcut inline gövde ve kapak parçanın ölçülerine modeller yapılmış daha sonra malzeme bilgileri girilmiştir. İline gövde ve kapak parçanın sürtünme kaynak işlemi ABAQUS programında Lagrangian ve CEL analiz işlemleri yapılarak parçanın analiz ve simülasyonları yapılmıştır. Yapılan bu simülasyonlarda, mevcut inline filtredeki eriyik yapıya yakın oluncaya kadar veri giriş değerleri değiştirilerek analiz ve simülasyonlar yapılmıştır. Yaklaşık 200 üzerinde analiz ve simülasyon sonucunda mevcutta yakın eriyik yığılmayı elde edecek ABAQUS programı veri giriş değerleri elde edilmiştir.

Schmicker vd. [28] iç kısımda metal eriyik yığılmayı engellemek için birleşim ağız tasarımı geliştirmiş ve simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarımdan yola çıkarak eriyik yapıya engellemek için üç farklı kaynak ağız yapısı tasarımı geliştirilmiş ve bu tasarımlara analiz ve simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan bu analizlerden 3 numaralı kaynak ağız tasarımı eriyik yığılmayı hapsettiği görülmüştür. Şekil 6.15’de geliştirilen 3 nolu kaynak ağız tasarımların analiz sonucu ve literatürle karşılaştırması görülmektedir.

Metal parçaların sürtünme kaynak işleminde yarı eriyik malzeme çapaklanma şeklinde olmaktadır. Çapaklanmanın hapis edilmesi için az bir boşluk olması yeterli olmaktadır. Fakat plastik parçalarda yarı eriyik malzeme sıvı akışkan gibi hareket etmektedir. Bundan dolayı eriyik yapıyı hapis edilip kapatılması için yuvanın daha büyük yapılması gerekmektedir. 3 nolu tasarımda eriyik yığılmanın tamamen hapis edildiği görülmüştür.



Şekil 6.15. Eriyik yığılma analizi a) Mevcut durum [26] b) Literatür araştırması [12] c) 3 nolu geliştirilen kaynak ağız tasarımı d) Geliştirilen tasarımın durumu e) Sürtünme kaynak sonrası durum.

3 nolu tasarıma yapılan simülasyon sonrası, termal analiz dağılımı, stres, enerji gibi grafik değerleri çıkartılması için analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut durumda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalar yapılmıştır. Geliştirilen tasarımda stress kuvveti ve enerji durumu mevcut tasarıma göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Geliştirilen kaynak ağız tasarıma göre iki farklı filtre tasarım çalışması yapılmıştır. Yapılan tasarımlara Moldflow analizleri yapılmıştır. Kaynak bölgesinin testi için küçük boyutlarda filtre tasarımı ve kalıbın yapılması hedeflenmiştir. Moldflow

analizlerinde, parça yerleşimi ve yolluk giriş çapları belirlenmiştir. Kalıp üretici firmadan kalıp fiyat teklifi olarak 410 bin Türk lirası alınmıştır.

İkinci filtre tasarımında mevcut kullanılan gövde ve kapak parça kalıpları modifiye edilerek kullanılması düşünülmüştür. Mevcut kalıplarda kaynak ağız bölgesindeki yapı lokmalık şeklinde yapılmıştır. Kalıptaki lokmaların geliştirilen kaynak ağız yapısına göre imal edilerek, üretim yapılması hedeflenmiştir. Lokmalarının üretim maliyeti olarak 89.000 bin Türk lirası fiyat alınmış, bu fiyat uygun olduğu için lokmaların yapılması karar verilmiştir. Üretilen lokmalar kalıplara montaj edilerek ilk baskılar alınmış, inline gövde ve kapak parçaları sürtünme kaynakları yapılmıştır. Kaynak bölgesindeki yarı eriyik yığılma durumu, analiz sonucu elde edilen yapıya benzer olduğu görülmüştür.

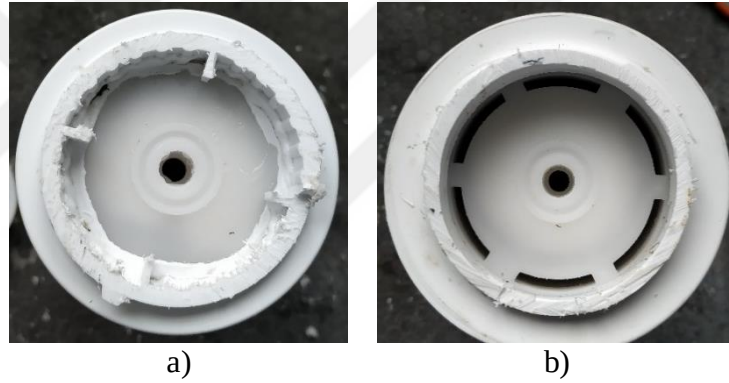
Sürtünme kaynak makinasının kriterlerine (dönüş deviri, sürtünme kaynak basıncı, sürtünme kaynak süresi, bekleme süresi) Taguchi deneysel methodu uygulanmıştır. Belirlenen kaynak makinası kriterlerine dört farklı seviye belirlenmiştir. Bu değerlere göre yapılan Taguchi deneysel methodu sonucunda, kaynak bölgesinin maksimum basınç dayanımı için dönüş devir sayısı 2490 dev/dk, sürtünme kaynak basıncı 6 bar, sürtünme kaynak süresi 2 sn ve bekleme süresi 4 sn olduğu tespit edilmiştir.

Taguchi analiz sonucu bulunan S/N değerlerine göre ANOVA (Analysis of Variance) analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kaynak bölgesinin dayanımına, dönüş devrinin %42,74, sürtünme kaynak basıncının %31,82, sürtünme kaynak süresinin %23,12 ve bekleme süresinin %2,28 etkili olduğu görülmüştür.

Sürtünme kaynak yapılan parçalara statik ve dinamik testler yapılarak inline filtrelerin dayanımı kontrol edilmiştir. Doğrulama parçasına yapılan statik basınç testinde, 29 bar basınçta kadar dayanım göstermiştir. Doğrulama parçalarına, Uluslararası NSF/ANSI 58 5.1.3.2 standartlarına [46] göre dinamik test yapılmıştır. Bu testte parçanın işlevini sürdürebilmesi için 5 saniye <10,4 bar basınç altında ve 5 saniye basınç olmadan 100 bin döngü sonunda herhangi bir dezenformasyon olmaması istenir. Test sonucu kaynak bölgesinde herhangi bir kaçak görülmemiş ve parça formunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

Statik ve dinamik test sonrası pilot üretim yapılarak saha testi yapılmıştır. Saha testi için 1500 adet cihaz üretilerek ve İstanbul ve çevre illerde satışı yapılmıştır. İstanbul ve çevre illerinde kaynak ağız tasarımı geliştirilen ürün ile yakın tarihli satılan mevcut imalat 1500 adet ürün filtreleri 6 ay sonra değiştirilmiş ve fabrikada toplanmıştır. Toplanan bu filtrelerden erken değişim ve arızalı olduğu belirtilen filtreler kesilmiştir. Sahadan toplanan verilere göre sediment filtrede eriyik yığılma kaynaklı tıkanma ve eriyik yığılma sonucu düşük debi arıza oranların sıfıra kadar indiği görülmüştür.

Sediment filtrenin tıkanması arıza oranlarında çok fazla düşmediği görülmekte, bunun nedeni de su kalitesine bölgesel farklılık olduğundan dolayı olmaktadır. Şekil 6.16'da sediment filtrenin iç kısımlarında eriyik yığılma olmadığı görülmektedir. Geliştirilen tasarımın sediment filtre için faydalı olduğu ve arıza oranların azalttığı görülmektedir.



Şekil 6.16. Sediment filtre a) Mevcut imalat b) Kaynak ağız geliştirilen.

Sahadan toplanan verilere göre aktif karbon filtrede eriyik yığılma kaynaklı giriş keçenin kullanım alanının daralması ve erken tıkanma problemlerin arıza oranların sıfıra kadar indiği görülmektedir. Aktif karbon filtrenin tıkanması arıza oranlarında çok fazla düşmediği görülmekte, bunun nedeni de su kalitesine bölgesel farklılık olduğundan dolayı olmaktadır. Şekil 6.17'de aktif karbon filtrenin keçenin yüzeyinde eriyik yığılma olmadığı görülmektedir. Geliştirilen tasarımın aktif karbon filtre için faydalı olduğu ve arıza oranların azalttığı görülmektedir.



a)



b)

Şekil 6.17. Aktif karbon filtre a) Mevcut imalat b) Kaynak ağzı geliştirilen.

BÖLÜM 7

SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, döner sürtünme kaynaklı bir polipropilen filtre üzerinde istenen eriyik yığılma formunu elde etmek için FEM (Abaqus) programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde sıcaklık, gerilme dağılımı ve enerji tüketim gibi grafiklerden elde edilen sonuç değerleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

- Yarı erimiş malzemede ulaşılan maksimum sıcaklığın 166,2 °C olduğu görülmektedir.
- Termal analize göre kaynak bölgesinde 13,1 salisede 150 °C sıcaklığa ulaşılmaktadır.
- Kaynak sonrası parça boyunda 1.98 mm kısalma olmaktadır
- Parça üzerindeki maksimum gerilme değeri 4,9253 MPa olarak ölçülmüştür.
- Kaynak makinesinden çıkarılan filtrenin kaynak bölgesindeki maksimum sıcaklık değerinin yaklaşık 98,4 °C olduğu görülmüştür.
- Eriyik yığılmayı hapsedmesi için 3 farklı kaynak ağız tasarımının yapılmıştır.
- 3 numaralı tasarım, bu çalışmada önerilen diğer tasarımlarla karşılaştırıldığında, eriyik yığılmayı hapsedme kabiliyetine sahip en uygun tasarımdır.

Geliştirilen kaynak ağız tasarımına göre yapılan parça tasarımlarının kalıplar imal edilmiş ve ürün baskıları alınmıştır. Sürtünme kaynak makinasının parametrelerine optimizasyonu için Taguchi deneysel yöntemi ve ANOVA analizi uygulanarak aşağıdaki değerler bulunmuştur.

- Sürtünme kaynak bölgesinin maksimum dayanımı için A3B3C3D4 (Devir Hızı 2490 dev/dk, Sürtünme Kaynak Basıncı 6 bar, Sürtünme Kaynak Süresi 2 sn, Bekleme süresi 4 sn) kaynak parametreleri belirlenmiştir.
- Sürtünme kaynak makinesi parametrelerinden devir hızının kaynak kalitesi üzerine %42,74 oranında etkili olduğu bulunmuştur.

- Sürtünme kaynak makinesi parametrelerinden sürtünme kaynak basıncı kaynak kalitesi üzerine %31,85 etkili olduğu bulunmuştur.
- Sürtünme kaynak makinesi parametrelerinden bekleme süresinin kaynak kalitesine hiç etki etmediği bulunmuştur.
- Bulunan optimum parametreler ile üretilen parçaların NSF standartlarına [46] göre statik ve dinamik testleri yapılmış hiçbir olumsuzluk görülmemiştir.
- Yapılan statik basınç testinde ortalama 29,168 bar dayanım sağlandığı ve dinamik basınç testinde 11,6 barda 5sn basınçsız ve 5sn basınçlı şekilde 105 bin açma kapama (minimum 100 bin açma kapama) yapılmıştır. Herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.

Geliştirilen kaynak ağız tasarımının gerçekten iyileştirme yapıp yapmadığı görülmesi amacıyla saha testi yapılmıştır. Saha testi sonuçları olarak;

- Sediment filtrelerde iç kısımdaki eriyik yığılmanın sebep olduğu filtre tıkanma oranların sıfıra kadar indiği tespit edilmiş
- Aktif karbon filtrelerde iç kısımda eriyik yığılmanın sebep olduğu filtre tıkanma oranların sıfıra kadar indiği tespit edilmiş
- İç kısımda herhangi bir eriyik yığılma olmamasıyla artık inline membran filtre üretimi imkânı oluşmuştur.

KAYNAKLAR

1. Taş, Y., "Termoplastiklerin birleştirilmesinde kullanılan, ultrasonik kaynak yönteminde kaynak kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 1-3 (2008).
2. Dede A., Soy A. ve Aslanlar S., "Sürtünme kaynak yöntemi." *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Sakarya 6(1):7-12 (2002).
3. Kahraman B., "Otomotiv endüstrisinde kullanılan 5754 alüminyum alaşımı sacların direnç nokta kaynağı (RSW) ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (FSSW) yöntemleri ile birleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2009).
4. Bozu B., "Sürtünme karıştırma kaynağında farklı kaynak parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 5-85 (2007).
5. Vairis A., Papazafeiropoulos G. and Tsainis A.-M., "A comparison between friction stir welding, linear friction welding and rotary friction welding" *Advances in Manufacturing*. 4: 296-304 (2016).
6. Yan, Y., Shen, Y., Lei, H., Zhuang, J. and Li, J. "Friction lap welding AA6061 alloy and GFR nylon: Influence of welding parameters and groove features on joint morphology and mechanical property." *Journal of Materials Processing Tech.* 278: 116458 (2020).
7. Ding, Y., You, G., Wen, H., Li, P., Tong, X. and Zhou, Y. "Microstructure and mechanical properties of inertia friction welded joints between alloy steel 42CrMo and cast Ni-based superalloy K418" *Journal of Alloys and Compounds*, 803: 176-184 (2019).
8. Kumar, R., Singh, R., Ahuja, I.P.S., Penna, R. and Feo, L. "Weldability of thermoplastic materials for friction stir welding- A state of art review and future applications" *Composites Part B*, 137: 1–15 (2018).
9. Ülker A., "Yüksek yoğunluklu polietilen polimer malzemenin sürtünme karıştırma kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak mukavemeti üzerindeki etkilerinin araştırılması ve kaynak parametrelerinin taguchi deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu", Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).

10. Hamade, R.F., Andari, T.R., Ammouri, A. H. and Jawahir, I.S. "Rotary Friction Welding versus Fusion Butt Welding of Plastic Pipes – Feasibility and Energy Perspective" **Procedia Manufacturing**, 33: 693–700 (2019).
11. Meyghani, B., Awang, M. B., Poshteh, R. G. M., Momeni, M., Kakooei, S. and Hamdi, Z. "The Effect of Friction Coefficient in Thermal Analysis of Friction Stir Welding (FSW)" **Materials Science and Engineering**, 495:012102 (2019).
12. Qin, G., Geng, P. Zhou, J. and Zou, Z. "Modeling of thermo-mechanical coupling in linear frictionwelding of Nibased superalloy" **Materials and Design** 179: 107766, (2019).
13. D'Alvise, L., Massoni E. and Walle S., "Finite element modeling of the inertia friction welding process between dissimilar materials", **J. Mater. Process. Tech.**, 125-126:387-391 (2002).
14. Zhang L.W., Liu C.D., Qi S.A., Yu Y.S., Zhu W.H., Qu S. and Wang J.H., "Numerical simulation of inertia friction welding process of GH4169 alloy", **J. Phys. IV**, 120: 681-687 (2004).
15. Bennett C.J., Hyde T.H. and Williams E.J., "Modeling and simulation of the inertia friction welding of shafts", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications**, 221(4):275–284 (2007).
16. Wang L., Preuss M., Weither P. J., Baxter G. and Wilson P., " Energy-input-based finite-element process modeling of inertia welding", **Metallurgical and Materials Transactions B**, 36: 513-523 (2005).
17. Grant B., Preuss M., Withers P.J., Baxter G. and Rowlson M., "Finite element process modelling of inertia friction welding advance nickel-based superalloy", **Mater. Sci. Eng. A**, 513-514: 366-375 (2009).
18. Li W., Shi S., Wang F., Zhang Z., Ma T., and Li J., "Numerical Simulation of Friction Welding Processes Based on ABAQUS Environment", **Journal of Engineering Science and Technology Review**, 5 (3):10-19 (2012).
19. Ertuğ, A., "Sürtünme Kaynağı" **Mühendis ve Makine Dergisi**, C.:21, S.:241 (1997).
20. Tensi, H.M., Welz, w. Und Schwlam, M., "Temperaturen beim Reibschweißen von Aluminiumwerkstoffen", **Pascal anda Francis**, München pp:515-517 (1982).
21. G·runauer, H, Gürleyik, M.Y., "Döküm Parçaların Sürtünme Kaynağı", **Mühendislik ve Makine Dergisi**, C.:30, S.:357 (1989).
22. Reiners, Geprge ve Kreye, Heinrich, "Mikrostruktur und Mechanische Eigenshaften von Reibschwebverbindungen aus Aluminuro und Stahl" **Schwei Ben und Schneiden**, Hamburg, 40 H elf 3 (1988).

23. İnternet: Lineer sürtünme kaynağı, <https://www.kuka.com/tr-tr/teknolojiler/s%C3%BCre%C3%A7-teknolojileri/2016/07/lineer-s%C3%BCrt%C3%BCnme-kayna%C4%9F%C4%B1> (2019).
24. Kasman Ş., Kahraman F. ve Aydın A. “Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirilmiş aa7075-t651 alüminyum alaşımlarının farklı karıştırıcı pim geometrilerinin kaynak performansına etkisinin incelenmesi”, **4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)**, Antalya, 1393-1402 (2016).
25. İnternet: Birleştirme yöntemleri, <https://www.firat.com/cmsfiles/certificates/9897/pe-100-birlestirme-yontemleri.pdf> (2019).
26. ESA-PSS-03-210. Adhesive bonding handbook for advanced structural materials, **Noordwijk: Eur. Space Agency**, Hollanda, 91-144. (1995).
27. Maden, H. and Çetinkaya, K. “Joining Analysis of Polypropylene Parts in Rotary Friction Welding Process and Developing of Joints Profile”, **Journal of Polytechnic**, 24 (3): 1263-1273 (2021).
28. İnternet: Polipropilen özellikleri, <http://www.ozgunplastik.gen.tr/Polipropilen.htm> (2020).
29. Schmicker D., Persson P. O. And Strackeljan J. “Implicit Geometry Meshing for the simulation of Rotary Friction Welding”. **Journal of Computational Physics** 270: 478-489 (2014).
30. Babu K. K. S., Koteswararao B. And Kumar P.S. P., “Forming and shaping of plastic materials by using CNC machines”, **International journal of advancement in engineering technology, management and applied science**, 3 (9): 74–89 (2016).
31. Kulik, T., Synyuk O. and Zlotenko B., “Modeling a Process of Filling the Mold During Injection Molding of Polymeric Parts”, **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, 5 (1): 70-77 (2017).
32. Ozcelik, B. “Optimization of injection parameters for mechanical properties of specimens with weld line of polypropylene using Taguchi method”, **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 38 (8): 1067-1072 (2011).
33. Imihezri S., Sapuan S.M., Sulaiman S. et al., “Mould flow and component design analysis of polymeric based composite automotive clutch pedals”, **J. of Mater Process Technol**, 171: 358-365 (2006).
34. Sadabadi H., Ghasemi M., “Effects of some injection molding process parameters on fiber orientation tensor of short glass fiber polystyrene composites (SGF/PS)”, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 26 (17): 1729-1741 (2007).

35. Maden, H. and Çetinkaya, K., “Joining Analysis of Polypropylene Parts in Rotary Friction Welding Process and Developing of Joints Profile”, *Journal of Polytechnic*, 24 (3): 1263-1273 (2021).
36. İnternet: “DIN 16901 Plastics Moluldings, Tolerances and avveptance conditions for linear dimensions”. <https://www.appt-mold.com/wp-content/uploads/2018/02/DIN-16901.pdf> (2021).
37. Taguchi, G., Introduction to Quality Engineering, **Asian Productivity Organization**, Tokyo, (1990).
38. Kumar, R., Singh, R., Ahuja, I.P.S., Penna, R. and Feo, L. “Weldability of thermoplastic materials for friction stir welding- A state of art review and future applications” *Composites Part B* 137:1–15 (2018).
39. Singh R., Kumar R., Feo L. and Fraternali. F. “Friction welding of dissimilar plastic/polymer materials with metal powder reinforcement for engineering applications” *Composite Part B*. 101: 77-89 (2016).
40. Kumar S., Meenu G. and Satsangi P.S. “Multiple-response optimization of turning machining by the taguchi method and the utility concept using uni-directional glass fiber-reinforced plastic composite and carbide (k10) cutting tool” *Journal of Mechanical Science and Technology* 27 (9): 2829~2837 (2013).
41. Zheng G., Guo W., Wang Q. And Guo X. “Influence of processing parameters on warpage according to the Taguchi experiment” *Journal of Mechanical Science and Technology* 29 (10): 4153~4158 (2015).
42. Altınsoy, A, Arslan, Y., “Polioksümetilen Kopolimerinin Su Jeti Tezgâhlarında İşlenebilirliğinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu”, *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3 (1) , 333-349 (2021).
43. Abbasi M., Bagher, B. And Keivani R. “Thermal analysis of friction stir welding process and investigation into affective parameters using simulation” *Journal of Mechanical Science and Technology* 29 (2): 861-866 (2015).
44. İnternet: “Minitab 15. User Manual Making Data Analysis” **Easier. Minitab Inc. State College**, USA (2014).
45. Phadke, M.S., “Quality Engineering Using Robust Design”, *Printice Hall, Englewood Cliffs*, New Jersey (1989).
46. Yuin, W., Alan, W., “Taguchi Methods for Robust Design”, *First ed. ASME Press*, New York (2000).
47. NSF/ANSI 58 5.1.3.2 Structural performance, page 14; *NSF* USA (2012).
48. Ross, P.J., “Taguchi Techniques for Quality Engineering”, *Mc Graw-Hill*, New York, USA (1996).

49. M. K. Bilici, B. Bakır, Y. Bozkurt, İ. Çalış, “ Sürtünme karıştırma nokta kaynak tekniği ile birleştirilen farklı alüminyum levhaların taguchi analizi“, **Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi**, 22(1):17-23 (2016).
50. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M., “Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu” **İTÜ dergisi**, 3 (6): 117-128 (2004).
51. Kahraman F. And Basar G., “ The Application of Taguchi Method in Drilling Process for Optimization of Multi Response Problem” **International Journal of Scientific and Technological Research**, 4 (10):1-9 (2018).
52. Öktem H., Kır D., Sarı E. S. Ve Çöl M. “Plastik Ürünlerin Mekanik Özelliklerini Etkileyen En Uygun Enjeksiyon İşlem Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi” **Makine Tasarım ve İmalat Dergisi**, 14 (1): 8-16 (2016).
53. İnternet: “Auto-focus Portable Microscope”. <https://www.supereyes-store.com/products/supereyes-a005-5-0mp-1-500x-fine-auto-focus-handheld-usb-digital-microscope-loupe-magnifier-with-led-metal-stand> (2022).

ÖZGEÇMİŞ

Hakan MADEN ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü'nden mezun oldu. 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Meslek Yüksek Okulu Makine Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2005 yılında okul birincisi olarak mezun oldu. 2005 yılında DGS sınavı ile Z.K.Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği 'ne başladı. 2008 yılında bölüm birinci olarak mezun oldu. 2008 yılında İhlas Ev Aletleri Arge departmanında Tasarım uzmanı olarak başladı. 2010 yılında askeri görevini kısa dönem olarak yaptı. 2010'da asker dönüş aynı firmada tasarım bölüm sorumlusu olarak başladı. 2011 yılında Canan Maden ile evlendi. 2013 yılının Ocak ayında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2015 yılının temmuz ayında yüksek lisans mezun oldu. 2018 yılında Ocak ayında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. Şu an İhlas Ev Aletlerinde Arge Departmanında tasarım sorumlusu olarak devam etmektedir.