

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDEKİ
PARAMETRELERİN ÇEKME PROBLEMİNE
ETKİLERİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Yasin KAYI

Enstitü Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Enstitü Bilim Dalı : Makina Tasarım ve İmalat

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Akın Oğuz KAPTI

Mayıs 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDEKİ
PARAMETRELERİN ÇEKME PROBLEMİNE
ETKİLERİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Yasin KAYI

Enstitü Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Enstitü Bilim Dalı : Makina Tasarım ve İmalat

Mayıs 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDEKİ
PARAMETRELERİN ÇEKME PROBLEMİNE
ETKİLERİNİN TAGUCHİ METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Yasin KAYI

Enstitü Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Enstitü Bilim Dalı : Makina Tasarım ve İmalat

Bu tez 21/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı
Yrd. Doç. Dr.
Akın Oğuz KAPTI

Üye
Prof. Dr.
Hatem AKBULUT

Üye
Yrd. Doç. Dr.
Yavuz SOYDAN

ÖNSÖZ

Tez konumu belirlememde ve çalışmalarımı yönlendirmede çok büyük yardımları olan değerli danışman hocam Yrd. Doç Dr. Akın Oğuz KAPTI'ya, işletmelerinde deney parçalarını üretmeme müsaade eden Bes Plastik ve Aygaz firmasının yetkililerine, özellikle Aygaz firmasından operatör Mustafa SONGUR'a ve Ergün UNUTMAZ'a, bu firmalarla tanışmama vesile olan çok değerli büyüğüm Lider Kalıp'ın sahibi Ulvi ÇAKIR'a ve Çağla Çikolata'dan dostum Endüstri Mühendisi Umut BEYAZPINAR'a, en kadim dostlarım Makine Mühendisi Necmi UZUNBEY'e ve Ali BAYKAN'a, Elektrik Mühendisi Erdoğan UZUN'a ve Elektrik Mühendisi Gürşat BULUT'a, maddi ve manevi desteklerini benden hiç bir zaman eksik etmeyen, sürekli yanımda hissettiğim değerli babama, anneme, kardeşlerime, enişteme ve biricik yeğenim Azra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi

BÖLÜM 1.

PLASTİK ENJEKSİYON İŞLEMİNDE PROSES PARAMETRELERİ.....	1
1.1. Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş.....	1
1.2. Plastik Enjeksiyon Yönteminin Aşamaları.....	2
1.3. Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri.....	4
1.3.1. Enjeksiyon zamanı.....	4
1.3.2. Enjeksiyon hızı.....	5
1.3.3. Enjeksiyon basıncı.....	6
1.3.4. Ütöleme basıncı ve zamanı.....	7
1.3.5. Eriyik sıcaklığı.....	8
1.3.6. Kalıp sıcaklığı.....	9
1.3.7. Sıcak yolluklar ve sıcaklıkları.....	12
1.3.8. Mengene ünitesi ve basıncı.....	13
1.3.9. İtici ve sıyırıcı sistemler.....	13

BÖLÜM 2.

TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ENJEKSİYONUNDA OLUŞAN ÜRETİM KUSURLARI VE ÇÖZÜMLERİ.....	15
2.1. Arıza Yaklaşımı.....	15

2.1.1. Problemi bulma.....	17
2.2. Üründe Oluşan Hatalar.....	18
2.2.1. Yanık izleri.....	18
2.2.2. Akış izleri.....	20
2.2.3. Jetting.....	20
2.2.4. Birleşme izleri.....	21
2.2.5. Kalıp temas yüzeyindeki izler.....	22
2.2.6. Karışık ve pürüzlü yüzeyler.....	22
2.2.7. Yüzeydeki lekeler.....	23
2.2.8. Serpinti (Gümüşi izler) oluşması.....	23
2.2.9. Çizikler.....	24
2.2.10. Eksik ürün.....	25
2.2.11. Parçanın kalıpta kalması.....	26
2.2.12. Çapaklı ürün.....	27
2.2.13. Parça içinde boşluk ve yüzeyde çöküntü oluşması.....	28
2.2.14. Kalıptan çıkarken çarpılma.....	29
2.2.15. Sonradan oluşan çarpıklık.....	30
2.2.16. Çatlama.....	30
2.2.17. Soyulma.....	31

BÖLÜM 3.

ÇEKME OLAYI VE ETKİLERİ.....	32
3.1. Çekmenin Tanımı.....	32
3.2. Çekmenin Nedenleri.....	34
3.3. İşlem Parametrelerinin Çekmeye Etkileri.....	35

BÖLÜM 4.

TAGUCHİ METODU.....	40
4.1. Giriş.....	40
4.2. Taguchi Metodunun Gelişimi.....	41
4.3. Taguchi Felsefesi.....	42
4.4. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi.....	43
4.4.1. Sistem tasarımı.....	45

4.4.2. Parametre tasarımı.....	45
4.4.3. Tolerans tasarımı.....	46
4.5. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı.....	47
4.5.1. Temel çalışma biçimi.....	48
4.5.2. Deney dizaynı.....	50
4.5.3. Uygulama prosedürleri.....	52
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	62
5.1. Giriş.....	62
5.2. Kullanılan Plastik Malzemeler.....	63
5.2.1. Termoplastiklerin molekül yapıları.....	64
5.3. Analiz Çalışması.....	65
5.3.1. Sekizgen kutu kapağı ile ilgili yapılan ölçüm ve çalışmalar.....	69
5.3.2. Sekizgen kutu kapağı için verilerin Minitab R14 ile Taguchi analizinin yapılması.....	76
5.3.3. Diyafram tablası ile ilgili yapılan ölçüm ve çalışmalar.....	80
5.3.4. Diyafram tablası için verilerin Minitab R14 ile Taguchi analizinin yapılması.....	90
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	92
6.2. Öneriler.....	98
KAYNAKLAR.....	99
EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Bir enjeksiyon prosesi.....	3
Şekil 2.1.	Yanık izleri.....	19
Şekil 2.2.	Akış izleri.....	20
Şekil 2.3.	Normal akış ve jetting.....	21
Şekil 2.4.	Birleşme izleri.....	22
Şekil 2.5.	Serpinti (Gümüş izleri) oluşması.....	24
Şekil 2.6.	Eksik dolum.....	25
Şekil 2.7.	Parça içinde oluşan boşluklar.....	28
Şekil 2.8.	Kalıptan çıkarken çarpılma.....	29
Şekil 2.9.	Parça üzerinde oluşan çatlama.....	31
Şekil 3.1.	Zamana bağlı olarak boyutların değişimi.....	33
Şekil 3.2.	Amorf (solda) ve kristalize (sağda) plastik malzemelerin P-V-T davranışları.....	35
Şekil 3.3.	İşlem parametrelerinin çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 3.4.	Tutma basıncı uygulama zamanının çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 3.5.	Tutma basıncı seviyesinin çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 3.6.	Kavite yüzey sıcaklığının çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 3.7.	Eriyik sıcaklığının çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	38
Şekil 3.8.	Enjeksiyon hızının çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	38
Şekil 3.9.	Kalıp çıkış sıcaklığının çekme davranışı üzerindeki etkisi.....	39
Şekil 4.1.	Taguchi'nin kalite kontrol sistemi.....	43
Şekil 4.2.	Taguchi metodunun sistematigi.....	44
Şekil 5.1.	Amorf ve yarı kristal termoplastiklerin moleküler yapısı.....	64
Şekil 5.2.	Sekizgen kutu kapağının görünüşü.....	65
Şekil 5.3.	Sekizgen kutu kapağının katı modellenmesi.....	65
Şekil 5.4.	Sekizgen kutu kapağının ölçülendirilmesi.....	66

Şekil 5.5.	Diyafram tablasının görünüşü.....	66
Şekil 5.6.	Diyafram tablasının katı modellenmesi.....	66
Şekil 5.7.	Diyafram tablasının ölçülendirilmesi.....	67
Şekil 5.8.	Sekizgen kutu kapağına ait erkek ve dişi kalıp yarımları.....	67
Şekil 5.9.	Diyafram tablasına ait erkek ve dişi kalıp yarımları.....	67
Şekil 5.10.	Sekizgen kutu kapağının üretildiği plastik enjeksiyon makinesi...	68
Şekil 5.11.	Diyafram tablasının üretildiği plastik enjeksiyon makinesi.....	68
Şekil 5.12.	Sekizgen kutu kapağı için ölçüm noktaları.....	72
Şekil 5.13.	Minitab R14 programının genel görünüşü.....	77
Şekil 5.14.	Sekizgen kutu kapağı için L16 (4**5) ortogonal deney düzeninin oluşturulması ve verilerin girilmesi.....	78
Şekil 5.15.	Sekizgen kutu kapağının boyutsal çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	79
Şekil 5.16.	Sekizgen kutu kapağının yüzde çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	79
Şekil 5.17.	Sekizgen kutu kapağının ağırlık değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	79
Şekil 5.18.	Diyafram tablası için ölçüm noktaları.....	82
Şekil 5.19.	Diyafram tablası için L16 (4**5) ortogonal deney düzeninin oluşturulması ve verilerin çalışma sayfasına girilmesi.....	90
Şekil 5.20.	Diyafram tablasının boyutsal çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	91
Şekil 5.21.	Diyafram tablasının yüzde çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	91
Şekil 5.22.	Diyafram tablasının ağırlık değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri.....	91

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları.....	11
Tablo 3.1.	Termoplastiklerin çekme değerleri.....	34
Tablo 4.1.	Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar.....	50
Tablo 4.2.	Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları.....	51
Tablo 4.3.	2^k ve Taguchi dizaynı deney planları.....	57
Tablo 5.1.	Sekizgen kutu kapağı için kullanılan malzemenin özellikleri.....	63
Tablo 5.2.	Diyafraam tablası için kullanılan malzemenin özellikleri.....	63
Tablo 5.3.	L16 ($4^{**}5$) ortogonal dizisi.....	69
Tablo 5.4.	Sekizgen kutu kapağının Taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.....	70
Tablo 5.5.	Sekizgen kutu kapağı için L16 ($4^{**}5$) ortogonal dizisine göre deney şartları.....	71
Tablo 5.6.	Sekizgen kutu kapağı için boyut ölçümleri.....	72
Tablo 5.7.	Sekizgen kutu kapağı için ağırlık ölçümleri ve ortalama değerleri.....	73
Tablo 5.8.	Sekizgen kutu kapağı için boyut ölçümlerinin ortalama değerleri.....	74
Tablo 5.9.	Sekizgen kutu kapağı için ortalama boyut ölçülerinin çekme değerleri.....	75
Tablo 5.10.	Sekizgen kutu kapağı için ortalama boyut ölçülerinin yüzde çekme değerleri.....	76
Tablo 5.11.	Diyafraam tablasının Taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.....	80
Tablo 5.12.	Diyafraam tablası için L16 ($4^{**}5$) ortogonal dizisine göre deney şartları.....	81
Tablo 5.13.	Diyafraam tablası için çap ölçümleri.....	83
Tablo 5.14.	Diyafraam tablası için ağırlık ölçümleri.....	85

Tablo 5.15.	Diyafraam tablası için çap ölçülerinin ortalama değerleri.....	87
Tablo 5.16.	Diyafraam tablası için ağırlık ölçülerinin ortalama değerleri.....	87
Tablo 5.17.	Diyafraam tablası için ortalama çap ölçülerinin çekme değerleri...	88
Tablo 5.18.	Diyafraam tablası için ortalama çap ölçülerinin yüzde çekme değerleri.....	89

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Enjeksiyon kalıplama, çekme, Taguchi metodu, Deney Tasarımı (DOE), Parametre tasarımı

Bu çalışma, enjeksiyonla kalıplanmış plastik parçaların proses parametrelerinin çekmeye olan etkilerinin minimize edilmesini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Enjeksiyonla kalıplanan plastik ürünlerde meydana gelen çekme, dar tolerans aralıklarında imal edilen makine parçalarının yerini almaya başlayan parçalar için ciddi bir problemdir. Bu yüzden, polistiren ve alçak yoğunluklu polietilen malzemedен kalıplanan plastik ürünlerdeki çekme miktarına, enjeksiyon parametrelerinin etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada, yapılan deneylerle eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı, tutma zamanı ve soğuma süresinin plastik ürünlerdeki çekme miktarına olan etkileri incelenmiştir. Son olarak, Minitab Release 14 paket programı ile yapılan analizler sonucunda da her iki parça için optimum proses şartları belirlenmiştir.

EXAMINE THE PARAMETERS THAT EFFECT SHRINKAGE PROBLEM BY USING TAGUCHI METHOD IN PLASTIC INJECTION PROCESS

SUMMARY

Keywords: Injection molding, shrinkage, Taguchi Method, Design of Experiment (DOE), Parameter Design

The objective of this study consist of minimization of the shrinkage in terms of process parameters of the plastic parts that produce by using injection molding. The shrinkage which occurs in the plastic parts molded by injection is a very serious problem due to these parts replaced the mechanical products that are manufactured into very small tolerances. In this study, the shrinkage of polystyrene and low density polyethylene plastic product which is affected from the injection parameters is experimentally investigated. In the experiments it was graphically obtained how the melting temperature, the injection pressure, the packing pressure, packing time and cooling time effect the shrinkage amount of a plastic parts. Finally, using Minitab Release 14 software, optimal process conditions are founded for the experimental parts.

BÖLÜM 1. PLASTİK ENJEKSİYON İŞLEMİNDE PROSES PARAMETRELERİ

1.1. Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş

Bilindiği gibi insanoğlu yaradılışından bu yana sürekli olarak gelişen arayışlarına paralel bir şekilde ihtiyaç duyduğu gereçlerin üretimi için yeni yeni malzemeler geliştirmiştir. Plastik artık bugün, insan düşünün gerçeğe uzanan bir yansıması olarak biçimlenmekte ve her geçen gün yaşamımızda yeni boyutlar kazanmaktadır. Otomotiv, uçak sanayi, uzay araçları, tıp ve giderek insan vücudu gibi duyarlı her alanda plastik kullanılmaktadır. Plastiğin bu hızlı gelişiminin nedeni, PP, PVC, PE gibi ana maddelerin içine katılan özel katkılarla, kullanılacağı yere göre istenilen biçim verilerek üretilebilmesi, kolay şekil alması, her çeşit izolasyon gücünün yüksekliği, temizliğinin kolaylığı, defalarca kullanılabilmesi ve uzun ömürlü olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikleriyle plastik, ekonomiye artı değer kazandırarak, kullanıcıların sorunlarını rahatlıkla çözümlenebilmektedir [1].

Plastik endüstrisindeki bu hızlı gelişmeler plastik işleme teknolojilerini de kapsamaktadır. Özellikle pek de yeni olmayan plastik enjeksiyon teknolojisinde büyük bir ilerleme sağlanmış, bu teknoloji en çok kullanılan işleme teknolojisi haline gelmiştir. Bu ilerleme sadece ürün imali ile sınırlı kalmamış, ürün tasarımından malzeme ve makina seçimine kadar her alanda kendini göstermiştir. Avrupa başta olmak üzere dünyanın birçok yerinde plastik endüstrisindeki ilerlemeye büyük önem verilmektedir. Bunun için plastikler ve plastik işleme teknikleri üzerinde yoğunlaşan okullar bile açılmıştır. Ama ülkemizde, ne yazık ki diğer birçok alanda olduğu gibi plastiklere de gereken önem verilmemiştir [2].

1.2. Plastik Enjeksiyon Yönteminin Aşamaları

Enjeksiyonla kalıplama yönteminin esası, kalıplanacak plastik malzemeyi homojen olarak kalıplama sıcaklığına kadar ısıtmak ve piston yardımı ile meme ve yolluk sisteminden geçirerek ısıtılmış kalıp boşluğuna basınçla enjekte etmektir. Bu yöntem tüm plastik malzemelere uygulanabilmektedir. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi, toz veya granül hâldeki plastik malzemeyi, homojen olarak ısıtan, çeşitli katıkları homojen olarak karıştıran ve istenen biçime getiren en hızlı kalıplama yöntemidir. Bu nedenle parça halindeki mamullerin imalinde en çok plastik enjeksiyonla kalıplama yöntemi kullanılmaktadır [3].

Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki safhayı da giren çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için bu safhalar kısaca anlatılmıştır [3].

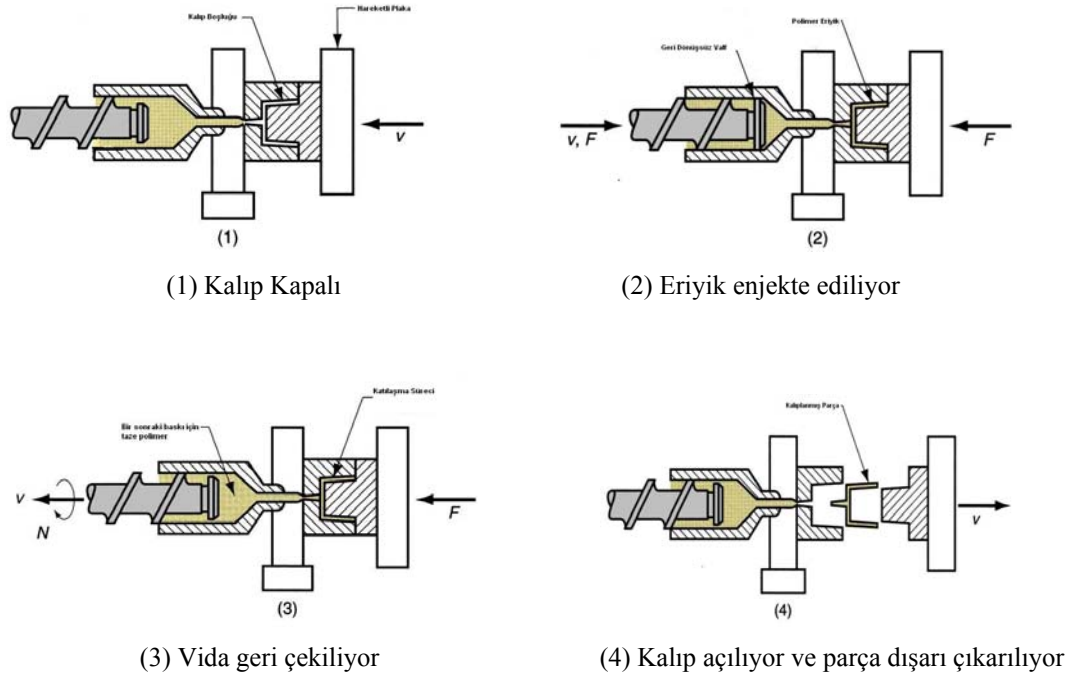
1. Çevrim kalıbın kapanması ile başlar.

2. Makinenin plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makine enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.

3. Makine enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar ve artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler.

4. Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının aksenal hareketi, kavite içinde soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi azaltmak için yeteri kadar malzemeyi

kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve iç yapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.



Şekil 1.1. Bir enjeksiyon prosesi [4]

5. Tutma basıncı safhasından sonra makine lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu durum makine lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinede plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçaların cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinenin plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyeti artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur.

6. Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar.

Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makine ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir [5].

1.3. Ürün Kalitesine Etki Eden Makine Kontrol Parametreleri

Ürün geometrisi ve malzeme özellikleri yanında, enjeksiyon prosesinin kendisinin de ürünün ve son özelliklerinin üzerinde kesin etkileri vardır. Belki kalıp tasarımındaki hatalar kolay kolay düzeltilemez ama bu hataların prosese etkileri belli oranlarda azaltılabilir ve istenen kalitede ürünler imal edilebilir. Kalıp haricinde çevre şartlarının ve makina çalışma parametrelerinin bilinmesi de yüksek kalitede ürün imali için şarttır. Bu bölümde plastik enjeksiyon prosesinde ürün kalitesi üzerine etki eden makine kontrol parametreleri açıklanmıştır [3].

1.3.1. Enjeksiyon zamanı

Enjeksiyon zamanı, kalıba malzemenin dolmaya başladığı anla tutma basınçlarının uygulanmaya başladığı an arasındaki safhadır. Bu safha genelde hız kontrollü olarak gerçekleştirilir. Yani helezon, malzemeyi 5 ile 10 basamak arasında değişen bir hız profili ile kalıba iter. Hız profili de diğer işlem parametreleri gibi malzemeye ve kalıba (yani parçaya) göre ayarlanmalıdır. Genelde malzemenin kalıba enjeksiyonu düşük bir hızda başlar, zamanı kısaltmak için hız artırılır ve kalıp boşluğu tam dolmadan hız tekrar azaltılır. Başlarken ve biterken enjeksiyon yapılan hızların düşük tutulması, kalıba herhangi bir zarar vermemek içindir. Her malzeme, makina ve kalıp (yani ürün) için bir optimal enjeksiyon zamanı aralığı vardır. Bu zaman aralığı özellikle ekonomik sebeplerden dolayı çok önemlidir [3].

Enjeksiyon zamanının çok kısa tutulması birim zamanda daha büyük miktarda hacim akışı gerektirdiği için, yüksek basınç kayıplarına neden olur. Çok uzun

enjeksiyon zamanı ise, kalıp duvarına yakın eriyiğin katılaşmaya başlamasından dolayı serbest kanal kesit alanının azalmasına, dolayısıyla yüksek basınç kayıplarına neden olur. Bu sebeplerden dolayı enjeksiyon zamanının minimum basınç değerlerini sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir [3].

Çıkan ürünün iyi kalitede olmasının şartlarından biri de kalıp içindeki malzemenin ortalama sıcaklığının kalıbın her tarafında sabit tutulmasıdır. Eğer enjeksiyon zamanı kısa tutulursa, malzeme akış yolunun sonundaki (uç noktasındaki) sıcaklık, malzemenin ilerleyişi sırasında meydana gelen iç sürtünmeden dolayı enjeksiyon sıcaklığından daha yüksek olabilir. Yani kalıp boşluğunda akan malzemenin maruz kaldığı sürtünme, sıcaklığını arttırır. Enjeksiyon zamanı uzun tutulursa da tam tersi meydana gelir, yani akış çizgisinin uç noktasının sıcaklığı enjeksiyon sıcaklığından düşük olabilir. Oysa enjeksiyon sıcaklığıyla malzeme akış çizgisinin uç noktasındaki sıcaklığın aynı olması ürünün boyutsal kararlılığı açısından önemli olup bunu sağlayan ortalama bir enjeksiyon zamanının olduğu da unutulmamalıdır [3].

1.3.2. Enjeksiyon hızı

Vida piston gibi hareket ettiğinde, kalıbın dolma hızıdır. İnce kısımları olan parça, imalatında yüksek enjeksiyon hızı kullanımı kalıbı plastik donmadan doldurmak için gereklidir. Fakat kalın kısımları olan parçada daha iyi yüzey yavaş enjeksiyon hızı kullanılarak elde edilir. Kalıp doldurma esnasında enjeksiyon hızı programlanabilir. Bu ayar kapalı veya açık devre sistemiyle yapılabilir [2].

Makine ayarında hangi enjeksiyon hızı kullanılırsa kullanılsın enjeksiyon süresiyle birlikte kayıt edilmelidir. Bu zaman ilk enjeksiyon basınç değerine ulaşmak gereklidir ve vidanın ileri hareket zamanının bir parçasıdır. Modern enjeksiyon makinelerinin çoğu kapalı devre sistemiyle baskı süresini kontrol eder. Vidanın pozisyonu sensör kullanılarak takip ve zamana göre grafik şeklinde kayıt edilebilir. Sensörden gelen bilgi kontrol paneline gönderilir ve bu bilgiyle kontrol ünitesi yüksek enjeksiyon basıncını uygulayarak sabit baskı sağlar.

Dolma esnasında basınç gittikçe artar çünkü kalıbın dolması esnasında akışkanlık direnci artar. Kalıp dolmasının belirli bir noktasında örneğin kalıp hemen hemen dolarken veya yolluk girişi donarken akışkanlığa direnç oldukça yüksektir ve vidanın bu oranda basınç vermesini beklemek gerçekçi değildir. Bu noktada kontrol, hız kontrolden basınç kontrole değiştirilir. Bu noktada hızdan basınca geçiş noktası “(VPT-velocity pressure transfer point)” diye bilinir [2].

1.3.3. Enjeksiyon basıncı

Kalıbı doldurma esnasında yüksek hızla kalıbı doldurmak için yüksek basınca ihtiyaç duyulur. Kalıp dolduktan sonra yüksek basınç gerekli değildir veya arzu edilmeyebilir. Birçok baskıda yüksek ilk basıncı düşük ikinci basınç (ütüleme) takip eder. Asetal, naylon gibi bazı yarı kristal termoplastiklerin baskısı esnasında bu ikinci basınca ihtiyaç olmayabilir. Çünkü ani basınç değişimi kristal yapıda istenmeyen değişikliğe sebep olur. Oryantasyon (moleküllerin yönlenmesi ki bu özellikle plastiğin akış yönünde olur) oranının azaltılması önemlidir. Bunun için kalıp mümkün olduğu kadar çabuk doldurulmalıdır ve erimiş plastik soğutulurken sürtünmemelidir. Çünkü bu durum, plastiğin soğuk ve uzayarak (creep) akışı demektir ki hiç de arzu edilmez [2].

Eğer hızdan basınca geçiş noktası (VPT) yanlış pozisyonda ayarlanırsa yani hızdan basınca geçiş çok erken olursa bu duruma sebep olur. Yolluk girişi donmadan ve enjeksiyon basıncı yeterince yüksek olarak kalıp yavaşça dolar. Bu da baskıda yüksek dahili gerilime sebep olur. Çünkü kalıp yavaşça doldurulurken soğumayla baskıdaki oryantasyon seviyesi maksimumlaşır. Bu durumlar enjeksiyon basıncı kalıp doldurma hızı ile birlikte arttırılarak üstesinden gelinir [2].

Hızdan basınca geçiş noktası (VPT) nın kesin olarak ayarlanması çok önemlidir. Eğer bu şart yerine getirilmezse değişik yapılarda baskıya sebep olur. Enjeksiyon baskısında baskının aynı özelliklerde yapılması büyük önem arz eder. Farklı yapıya sahip baskı hiç arzu edilmez. Hızdan basınca geçiş noktası (VPT) daki değişim aşağıdaki özellikler değerlendirilerek tespit edilir:

- 1- Vida pozisyonu,
- 2- Hidrolik basınç, (hat basıncı olarak da bilinir),
- 3- Nozzle (meme) basıncı, (erimiş plastik basıncı olarak da bilinir),
- 4- Kalıp boşluğu (cavity) basıncı, (CPC olarak da bilinir),
- 5- Kalıp açma gücü,
- 6- Kalıp açma pozisyonu

Hızdan basınca geçiş noktası (VPT), duruma uygun kalıp boşluğu basıncı (CPC) istenilen yerde kontrol için kullanılabilir. Kalıbın içindeki, basınç, çekmeyi ve baskı ağırlığını kontrol eder. Kalıp boşluğu basıncı (CPC) kullanımı çok kalıbı olan fabrikalar tarafından belirtilen sebeplerden dolayı kullanılamazlar. Çünkü kalıpta değişikliğe ihtiyaç duyar [2].

Basınç ölçme aletini itici blok içine yerleştirmek zordur. İtici pimlerin boyutlarındaki farklılıktan dolayı ayarlama, kalibre etme problemleri vardır. Basınç ölçme aletinin kolayca zarara uğraması ve tamirinin zor olması da bir handikaptır. Hızlı enjeksiyon makinelerinde hidrolik sistemin hızlı bir şekilde karşılık vermemesi nedeniyle hızdan basınca geçiş noktası (VPT) ayarı, kalıp boşluğu basıncı (CPC) kullanıldığında etkili değildir [2].

1.3.4. Ütüleme basıncı ve zamanı

Ütüleme basıncı; enjeksiyon basıncından hemen sonra, enjeksiyon memesi kalıpla temas halindeyken uygulanır. Enjeksiyon işleminin bu aşamasında, düşük eksenel hızda hareket eden, ilerleyen vida; soğuk kalıp duvarlarına temas eden erimiş plastik malzemenin hemen büzölmeye başlamasını telafi edebilmek için yeterli miktarda erimiş plastik malzemeyi, genelde farklı basınç değerlerinde enjekte etmeye devam eder. Ütüleme basıncı; parçanın ağırlık, boyutsal hassasiyeti ve iç yapısına önemli etkileri vardır [6].

Ütüleme basıncının uygulandığı bu zaman dilimine; ütüleme zamanı denir. Ütüleme zamanı gereğinden az olursa; ütüleme basıncıyla birlikte kalıp içerisine giren erimiş malzeme de az olur. Bu da; enjeksiyon esnasında kalıp içerisine giren ve soğuyarak büzülen malzemenin daha iyi kalitede üretilmesini etkiler. Ütüleme zamanı daha uzun olduğunda; kalıp içerisine giren eriyik malzeme daha çok olacaktır. Dolayısıyla ürünün kalitesi de artacaktır [6].

Ütüleme basınçları safhasının en önemli yönü; uygulanan basınçlar sayesinde, soğumaya başlayan malzemede termal büzülme (çekme)den dolayı meydana gelmesi muhtemel hava boşluğu ve kanal izlerine, kasılma ve yamulmalara (çarpıklıklara) engel olabilmek için, kalıba malzeme doldurulmaya devam edilmesidir. Tutma basınçları safhası, helezonun belirlenen bir konumundan itibaren başlar ve belirlenen bir süre için devam eder. Tutma basınçları enjeksiyon işlemi biter bitmez, malzeme daha tam soğumadan uygulanmaya başlamalıdır çünkü malzeme kalıp duvarlarına değdiği andan itibaren soğumaya ve hızlı bir şekilde donmaya geçer [3].

Tutma basınçları safhası, basınç kontrollü olarak gerçekleştirilir. Bu da çoğu zaman helezonun 5 ile 10 arası basamakta, farklı değerlere sahip basınçlarla yüklenmesi anlamına gelir. Basınç değerleri ile basınç profili, kullanılan malzemeye, kalıba ve diğer işlem parametrelerine göre ayarlanmalıdır. Basınç profili, üretilcek parçanın büzülme ve yamulma davranışlarını optimize edebilmek için kullanılmalıdır. Enjeksiyondan tutma basınçları safhasına geçiş, ani basınç değişimleri olmaması ve dolayısıyla kalıbın aniden aşırı yüklenmemesi açısından büyük önem taşır [3].

1.3.5. Eriyik sıcaklığı

Enjeksiyon makinasında sert plastik granüller enjeksiyon ünitesindeki vida yardımıyla içeri alınır. Bu plastik granüllere, ocak duvarlarından ısı verilir. Ayrıca; vidanın dönmesi de ilave bir ısı sağlar ve plastik bu sayede ısıtılır. Enjeksiyon ünitesindeki bu vidanın geometrisinde; vida ön tarafına doğru dişler azalmaktadır. Sonuçta; bu azalma yumuşayan plastiğin, erimiş plastiğe geçmesini

sağlar. Bu erimiş plastik; enjeksiyon ünitesinin memesine iletilir. Burada; ocak duvarlarından ve vida dönmesiyle elde edilen ısı, eriyik ısıdır. Bu sıcaklığın düşük tutulması; kalıp içerisine gönderilen erimiş plastiğin daha erken soğuyup, kalıplanan parçanın kalitesinin istenilen düzeyde olmasını engeller. Eriyik ısının daha yüksek tutulması da; erimiş plastiğin kalıp içerisinde daha geç soğumasına ve parçanın kalitesinin artırılmasına sebep olur [6].

Ayrıca eriyik sıcaklıkları, parçaların yüzey görünümü üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Çoğu üretici, materyallerin her biri için uygun bir sıcaklık aralığını belirtir. Genellikle eriyik sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, kalıp sıcaklığı o kadar yüksek ve yüzey parlaklığı o derece iyi olur. Bununla birlikte eriyik sıcaklığını çok fazla artırmak, bazen parçalarda çukurluklar oluşma ihtimalini artırır. Özel bir materyalin, tavsiye edilen sıcaklık aralığında yapılan bir dizi parça üretiminde, her bir parçanın ağırlığı belli bir sıcaklıkta maksimum olduğu görülür. Düşük sıcaklıklarda büyük basınç düşüşü nedeniyle parça ağırlığı düşük olacaktır. Eriyik sıcaklığını artırmak basınç düşmesini azaltacak ve böylece parça ağırlığı, maksimum düzeye yükselecektir. Maksimum düzey geçilirse, bundan sonraki sıcaklık artışları vizkoziteyi etkilemekten çok, çekmeyi etkileyecektir ve parça ağırlığı düşecektir [1].

1.3.6. Kalıp sıcaklığı

Kalıp cidarı sıcaklığı, parça kalitesi işlemin ekonomikliği ve boyut hassasiyeti için çok daha önemlidir. Bu sıcaklık malzemenin ısıl karakteristiğinden başka soğuma zamanını da belirlemektedir. Burada kalıp cidarı yüzeyinin sıcaklığı, kalıp sıcaklığı olarak kabul edilmekte ve mevzii sıcaklık değişimleri dikkate alınmamaktadır. Cidar kalınlığı 2.5 mm den daha ince olan ince kesitli parçalarda enjeksiyon safhasında hidrolik basınçtaki belirli bir artışın erken meydana geldiğine dikkat edilmelidir. Bu durum, eriyik merkezindeki sıcak eriyiğin kalınlığının büyümesi ve kalıp cidarının soğuma etkisinden olabilir [3].

Kalıp ısı transfer sistemi termoplastik işleyen makinalarda “kalıp soğutma sistemi”, termoset işleyen makinalarda “kalıp ısıtma sistemi” ismini alır. Bu

bölümde, kullanımı termosetlere oranla daha yaygın olan termoplastikler yani kalıp soğutma sistemleri üzerinde durulacaktır [3].

Soğutma tasarımı kalıbın çevrim zamanını direk etkileyen parametrelerden biridir. Bilindiği gibi çevrim zamanı uzadıkça parça birim maliyeti de o oranda artacak demektir. Parçadan, kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelene kadar ısı çekilmelidir. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir. Çekilmesi gereken ısı miktarı ergimiş malzemenin sıcaklığına, parçanın kalıptan çıkarılabileceği sıcaklığa ve plastik malzemenin özgül ısısına bağlıdır. Örneğin bir kalıp 6 saniyelik bir çevrim zamanı ile çalışıyorsa kalıba uygulanacak daha iyi bir soğutma ile bu 5 saniyeye çekilebilir. Daha iyi bir soğutma kalıbın ilk yatırım maliyetini arttırsa bile %17'lik çevrim zamanındaki bu artış kalıbın uzun süreli çalışmasında inanılması zor miktarlarda tasarruf sağlar [5].

Optimum bir soğutma çözümü için oldukça teorik olan bir çok yaklaşımlar mevcuttur. Bu tür sayısal analiz yöntemleri bilgisayarlar yardımıyla üniversitelerde veya bu konuda uzman firmalarda yapılmaktadır. Bu tür çalışmaların sonucunda kalıp tasarımcıları için pratik bilgiler elde edilebilmektedir. Fakat bu teorik çalışmaları her zaman uygulamaya almak üretim şartları gereği veya ekonomik sebeplerden dolayı mümkün olmamaktadır. Eriyik haldeki plastik malzeme basınçla kalıp boşluğunun içine enjekte edilerek istenen ürün elde edilmiş olur. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için itici sisteminin uyguladığı itme kuvvetine karşı yeterli dayanımı göstermesi ve deformasyona uğramadan kalıbı terk etmesi gerekir. Bu sebeple itme çevrimi esnasında plastiğin sıcaklığı enjeksiyon esnasındaki sıcaklığa göre daha düşük olması gerekmektedir. Kalıp bir çeşit ısı değiştiricisi görevi görürken kalıba ilave edilen soğutma sistemi de bu etkiyi artırır [5].

Bu yüzden yüksek üretim kapasiteli kalıplar için bu kayıp zamanın en aza indirilmesi bir zorunluluk olmaktadır. Bununla beraber soğutma tasarımı yaparken tasarımcının göz önünde bulundurması gereken bir çok genel tasarım esasları da vardır [5].

Tablo 1.1. Çeşitli malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları [5]

Malzeme	Enjeksiyon Sıcaklığı (°C)	Kalıp Sıcaklığı (°C)
Polietilen (PE)	170-320	0-70
Polistyren (PS)	200-250	0-60
Polyamide (Naylon)	240-320	40-120
Acrylonitrile- styren	230-260	50-80
Polikarbonat (PC)	280-310	85-140
Poliasetal	180-230	70-130
Polipropilen (PP)	180-280	0-80
ABS	180-240	50-120

Tablo 1.1.'de görüldüğü gibi plastik malzemelerin enjeksiyon ve kalıp sıcaklıkları oldukça geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu sebeple tasarımcının ve malzeme tedarikçisinin tecrübeleriyle tavsiye ettiği en uygun sıcaklıklar seçilmelidir. Tecrübeli bir kalıp tasarımcısı kalıplanan ürüne ait plastik malzemenin fiziksel özelliklerinin ve görünüşünün soğutma sistemine bağlı olarak nasıl değişeceğini bilmelidir. Örneğin kalıplanan ürün kırılğan veya yetersiz parlaklıkta olmasının sebebi çok hızlı soğuma veya çok düşük kalıp sıcaklığı olabilir. Çok yavaş soğumada veya kalıp yeterli soğuklukta olmaması halinde ise üründe istenmeyen kristalleşme gözlenebilir [5].

Soğutma sıvısı olarak genellikle su kullanılır. Kullanılan suyun kireçli olması kalıbın uzun süreli çalışmasında soğutma kanallarının tıkanmasına yol açabilir. Ayrıca kanal çeperini kaplayan kireç tortusu ısı transferini olumsuz etkileyecektir. Kalıp çıkışında ısınan su kapalı bir çevrim ile soğutma kulesine veya kulelerine gönderilerek kuleler vasıtasıyla sıcaklığı düşürülür ve soğumuş olarak tekrar kalıbın soğutma kanalları girişine gönderilir. Bazı plastik malzemelerde ise ABS veya PC gibi kullanılacak soğutma suyu kalıba girmeden bir ısıtıcıdan geçirilerek sıcaklık belli bir seviyeye getirilir. Çünkü kalıbın sağlıklı çalışabilmesi için

kalıbın belli bir sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. ABS ve PC kalıp içerisinde çok çabuk akıcılığını kaybettiği için kalıbın sıcak tutulması plastiğin akışını kolaylaştıracaktır [5].

Su ile soğutmanın uygun olmadığı veya su ile soğutmanın kalıba, ve kalıplanan parçaya zarar verdiği hallerde, basınçlı havayla soğutulur. Basınçlı havayla yapılacak kalıp soğutma sisteminde basınçlı hava, kalıp içerisine açılan kanalları dolaşarak kalıptan ayrılır. Soğutma etkisi, su soğutmalı sisteme oranla daha yavaştır. Bu nedenle genellikle et kalınlığı az ve kalıp sıcaklığının çok fazla değişmesi gerekmeyen kalıplama işlemlerinde, basınçlı havalı soğutma sistemi kullanılır [5].

1.3.7. Sıcak yolluklar ve sıcaklıkları

Plastiklerin enjeksiyon kalıplarında şekillendirilmesinde son yıllarda daha çok sıcak yolluk sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Önemli ölçüde enerji, malzeme ve işçilik kazançları gibi bir çok avantajlar sağlayan bu sistemin giderek gereği ve önemi artmaktadır. Bununla beraber kullanımdan ve bilhassa tasarımdan kaynaklanan hatalar da sıkça karşımıza gelmektedir [7].

Sıcak yolluk sisteminde eriyik haldeki malzeme, enjeksiyon silindirinden kalıp gözüne kadar olan mesafede sıcaklık ve basınç kaybı olmadan ve hasara uğramadan iletilmektedir. Bu süre boyunca plastik malzemenin; içinde eriyik olarak kaldığı ve böylece giriş memesine kadar uzandığı plakaya manifold (dağıtıcı plaka) denir. Plastiğin manifold içinde eriyik halde kalmasının sağlanması için, manifoldun ısıtıcılar vasıtasıyla eriyik sıcaklığına kadar ısıtılması ve sürekli bu sıcaklıkta kalmasının temin edilmesi gerekmektedir. Bu ısı kontrolü de termokupoller kullanılarak sağlanır [8].

Bir termoplastik kalıbın sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak düşünülür. 180 °C den fazla olan sıcaklığı ile termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ile 120 °C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makine plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar. Basit

olarak sıcak yolluklar makine plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilirler. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk içinde sıvı olarak kalır. Bu yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanıma hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır. Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerinden, hazır olarak monte edilmiş sistemlere geçişteki en önemli ve geniş aşamayı temsil etmektedir [5].

1.3.8. Mengene ünitesi ve basıncı

Enjeksiyon olayının sürekli bir işlem olmaması, kalıbın ürünün çıkması için açılmasını ve sonraki baskı için tekrar kapanmasını gerektirmektedir. İşte mengene ünitesi bu işi yapar. Plastiğin çok yüksek basınçlarda kalıba enjekte edilmesi sebebiyle mengene ünitesi kalıbı enjeksiyon ve tutma basınçları safhasında sıkıca kapalı tutmalı, kalıbın açılıp çapak yapmasını önlemelidir [3].

1.3.9. İtici ve sıyrıcı sistemler

Plastik ürün kalıp boşluğunda soğuduktan ve kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılması gerekir. Bunun için hemen hemen her plastik enjeksiyon kalıplarında bir itici sistemi kullanılır. Sadece birkaç örnek almak için yapılmış prototip kalıplarda pahalı bir itici sistemi uygulamak yerine ürün elle kalıptan alınabilir. Aynı zamanda oldukça büyük ve hacimli , şekil olarak kompleks ürünler de elle veya robot yardımıyla kalıptan çıkarılır [9].

İtici mekanizmasının çalışması iki türlü olabilir. Bunlar otomatik itme ve yarı otomatik itme sistemleri olarak adlandırılabilir. Otomatik itme sisteminde itme olayının başlaması ve bitmesi tamamen otomatik olarak operatöre ihtiyaç duyulmaksızın olur. Genellikle kalıpların otomatik itme sistemiyle çalışılması tercih edilir. Yarı otomatik itme sisteminde ise operatörün her itme çevrimi bittikten sonra, emniyet kapısını açmak ve kalıp kapanmadan da kapamak zorundadır [9].

İtme çevriminde temel kural kalıp açıldığında ürünün itme olayının gerçekleşeceği tarafta kalmış olmasıdır. Eğer ürüne yeterli ve doğru bir şekilde çıkış açısı verilmişse ürün istenilen tarafta kalacaktır. Hatta ürünün kalacağı tarafı garanti etmek için kalıbın uygun yerlerine ters açı (undercut) verilebilir[5].

Enjeksiyon makinelerinde kilitleme mekanizmasının bulunduğu tarafta itici mekanizması da yer alır. Bu sebeple çoğu kalıpta itici sistemi enjeksiyon makinesinin kilitleme tarafına gelecek şekilde yerleştirilir. Üç plakalı kalıplarda da yolluk itici sistemi enjeksiyon tarafında yer alırken, normal iticiler ise kilitleme mekanizması tarafında yer alır [9].

Erkek kalıp plakası ile dişi kalıp plakası arasında ürünün erkek forma takılmadan serbestçe düşebilmesi için yeteri kadar açıklığın bulunması şarttır. Benzer şekilde eğer ürün elle veya robotla alınacak ise erkek ve dişi plakaların bu işlemi güçleştirmeyecek kadar birbirlerinden uzaklaşmış olmaları gerekir. Genel bir kural olarak derin ürünler için strok mesafesi $S=2.5H$, daha derin ve az açılı ürünlerde ise bu değer daha da büyük olabilir. (H:ürün yüksekliği veya derinliği) [9].

BÖLÜM 2. TERMOPLASTİK MALZEMELERİN ENJEKSİYONUNDA OLUŞAN ÜRETİM KUSURLARI VE ÇÖZÜMLERİ

2.1. Arıza Yaklaşımı

Bir problemi çözerken probleme doğru yaklaşılmalıdır. Üretilen parça istenildiği gibi değilse problem;

- 1- Malzeme,
- 2- Kalıp,
- 3- Proses çalışma şartları,
- 4- Makine,

Dörtlüsünden birine ya da birkaçına birden müdahale edilerek çözülür [3].

Temel olarak, bir parçada problem;

- Ya proses öncesinde (malzeme tedariki ve depolama),
- Ya proses sırasında(çevrim sırasındaki çalışma şartları),
- Ya da proses sonrasında (parçalara son işlem uygulanması, paketlenme, taşınma) meydana gelir. Proses öncesinde ya da sonrasında meydana gelen problemler genelde “malzeme kirlenmesi, renklendirme, tozlanma, nem alma” gibi sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu tür problemlerin çözümleri genelde açık ve kolaydır. Ama proses sırasında meydana gelen problemler daha karışık ve dikkat isterler. Bu problemler de;

- 1-Makineden
- 2-Kalıptan
- 3-Çalışma şartlarından (zaman -sıcaklık-basınç)

4-Malzemededen

5-Ürün tasarımından kaynaklanırlar.

Proses sırasında oluşan problemlerde, plastik malzemeye çalışma parametrelerinin ne tür etkilerde bulunduğu araştırılmalıdır. Bu parametreler;

- 1- Enjeksiyon zamanı
- 2- Tutma basınçları değerleri ve zamanı
- 3- Soğutma zamanı
- 4- İtme (parçayı kalıptan çıkarma) zamanı
- 5- Mengene bekleme zamanı
- 6- Kalıp sıcaklığı
- 7- Yolluk tasarımı
- 8- Yolluk geçidi ve büyüklüğü
- 9- Parça et kalınlığı
- 10- Akış yolu uzunluğudur.

Çevrim sırasında oluşan problemler ana olarak üç faktöre bağlıdır. Bunlar:

- 1- Enjeksiyon makinesi: Kapama kuvveti yeterli mi? Baskı kapasitesi yeterli mi?,vs.
- 2- Kalıp: Kalıp doğru tasarlanmış mı? Kendinden istenen fonksiyonları yerine getirebiliyor mu?, vs.
- 3- Malzeme: Üretilen parça için doğru malzeme mi seçildi? Gerekli çalışma şartlarında istenildiği verimi verebiliyor mu?, vs [3].

Enjeksiyon makinesinin, kalıbın ve malzemenin performansları, yani verimli bir şekilde çalışabilmesi de üç ana değişkene bağlıdır. Bu değişkenler " zaman,basınç ve sıcaklık" tır. Enjeksiyon prosesi sırasında meydana gelebilecek problemlerin bir çoğu bu üç değişkenin doğru şekilde ayarlanması ile giderilebilmektedir. Bu arada bu üç değişkenin birbiriyle bağlantılı olduğu unutulmamalı ve ayarlar buna göre yapılmalıdır [3,5].

2.1.1. Problemi bulma

Bir problemi çözebilmek için o problemin ne olduğunu bulmanız gerekmektedir. Bir problemi en rahat bulabilmenin şartı da sürekli yapılan kalite kontroldür. Fakat kalite kontrol işlemi müşteriden ret geldiği zaman başlamamalıdır. Kalite kontrol işlemi bir süreç olup üretime başlamanın ilk adımından yani ürün tasarımından başlamalı, malzeme seçimi ve tedariki, kalıp tasarımı, makine seçimi ile devam edip malzeme ürün haline gelip paketlenene ve müşteriye ulaşana kadar her basamakta istisnasız uygulanmalıdır [3].

Kalıp en uygun şartlarda kullanılmalı , işlem sırasında gerekebilecek her türlü ekipman, ulaşılabilecek bir yerde hazır olarak bulunmalıdır. Her parçanın en iyi şekilde üretilebileceği bir zaman , basınç ve sıcaklık bölgesi vardır. En iyi kaliteyi yakalayabilmek için gerekli değerlerin bulunduğu bu bölge, genelde deneme yanılma yöntemi ile bulunur [3].

Her parça için farklı değerler kapsayan bu bölge parçanın en kaliteli şekilde üretildiği bölgedir. Bununla beraber bu bölgenin sınırlarının ifade ettiği değerler bazen istenen kaliteyi sağlamayabilir. Bu nedenle sınır değerlerini kullanmamak faydalı olur [3].

Çevrim süresinin kısa olması isteniyorsa makine, parçanın en iyi şekilde üretilebileceği basınç, zaman ve sıcaklık değerlerinin bulunduğu bölgenin en düşük sıcaklık ve en yüksek basınç değerine ayarlanmalıdır. Eğer bu ayarlarla istenen kalite elde edilemiyorsa, sıcaklık değerleri yükseltilmeli ve basınç değerleri azaltılmalıdır, (termoset malzemeler için tam tersi söz konusudur) [3].

Eğer parçada bir problem varsa ve makine değerlerinde yapılan değişiklikler bu problemi gideremediyse, kalıp incelenmeye alınmalıdır. Kalıpta yapılan küçük değişiklikler bile makine değerlerinin yeniden ayarlanmasını gerektirir ki bu ayarlar da çok kolay tutturulamazlar [3].

Birçok enjeksiyon problemi makine değerlerinde yapılan değişikliklerde, bir kısmı da kalıpta yapılan değişikliklerle çözüme kavuşur. Ama bu iki yaklaşım da problemi giderememişse problemin malzemenin aşağıdaki özelliklerinden kaynaklanma ihtimali yüksektir;

1. Akış Özellikleri: Eriyik malzemenin viskozitesi ve farklı akış oranlarında viskozitesinde meydana gelen değişimler, vs.

2. Isıl Özellikleri: Malzemenin erime sıcaklığı, özgül ısısı, ısı iletkenliği, kristalizasyon zamanı, vs.

3. Granül Özellikleri: Malzeme granüllerinin büyüklüğü, şekli, diğer özellikleri, vs.

2.2. Üründe Oluşan Hatalar

2.2.1. Yanık izleri

Eğer parçanın bir bölgesinde siyahlaşma ve sararma varsa, ilk yapılacak iş, kalıbın hava atma durumunun incelenmesi olacaktır. Kalıba giren malzeme tarafından sıkıştırılan ve kaçamayan hava, çok yüksek bir sıcaklığa çıkar ki, plastikte oksidasyon reaksiyonuna girer ve yüzeyde siyah bir iz bırakır. Bu yanık izine katlanılarak üretime devam edildiği takdirde, zamanla metal yüzeyinde, oksitlenme nedeniyle karıncalanma meydana gelebilecektir [5].



Şekil 2.1. Yanık izleri [5]

Kalıpta hava sıkışması kötü bir kalıp tasarımı sonucu olabilir. Bazen de bu durum, kalıpcının aşırı titiz çalışması sonucu ortaya çıkabilir. Normal olarak hava, kalıbın temas yüzeylerinden, itici pimlerinden veya sıyırıcı plakalarının arasından kaçar. Eğer temas yüzeyleri iyi parlatılır ve tampon pimleri çok düzgün yapılırsa, havanın tahliyesi önlenmiş olur. Olabilecek 0.04 mm'lik bir aralıktan plastiklerin sızma kabiliyeti çok azdır. Bu nedenle temas yüzeyleri çok iyi parlatılmayıp ve tezgah kalem izleriyle bırakılmadıkları. Özellikle yazılara, kaburgalara, tümseklere ve gerilimin olduğu kısımlara yakın yerlerde, erimiş plastik malzeme hava kabarcığının üzerinden geçer ve havayı tutar yani hapseder. Sonuçta hava yakalanmış olur, yani hava izi (yanık) oluşur. Önlemek için enjeksiyon hızı azaltılır, kalıbın içindeki keskin geçişler yuvarlatılır, rib, feder vb derinliği azaltılır. Geri emişin yanlış uygulanmasından dolayı, silindir memesinde havanın sıkışmasında parçanın yüzeyinde yanık izlerinin oluşmasına neden olabilir. Memeden mal akışının olmaması için yapılan ve mal alımından sonra vidanın biraz geriye alınması işlemi olan geri emiş yeterinden fazlaysa memedeki malzeme oksitlenebilir ve parça yüzeyinde yanık izlerine neden olabilir [5].

Malzemenin silindirde iken oksitlenmesinden kaynaklanan bir yanık türüne de özellikle PVC, asetal ve naylonlarda karşılaşılır. PVC de bu olay, baskıdan baskıya yeri değişen koyu ve uzun bir iz şeklindedir. Çaresi rezistanslardan gelen ısının azaltılıp, gerekli ısının sürtünme yoluyla teminidir. Silindir sıcaklık

bölgelerinin arka sıcak, orta soğuk ve ön sıcak şeklinde ayarlanması bir önlem olarak kullanılabilir [5].

2.2.2. Akış izleri

Plastik malzeme bir kalıba enjekte edildiğinde, her akışkanda olduğu gibi kalın ve geniş bölgelere daha hızlı yayılır. Buralar dolduktan sonra daha dar ve ince kesitlere nüfus eder. Malzemenin yol alışı esnasında delik oluşturan bir birim, oyuk çıkaran bir erkek parçaya rastlandığında türbülans olayı yaşanır ve akış bölünür. Bazen oluşan türbülansın izi akış yolunun sonuna kadar taşınabilir ve donduğu yüzeyde dalgalı bir görüntü verir. Aynı olay yolluk girişinde de yaşanabilir. Konik ürün besleme ağzından giren akışkan düz kalıp duvarına dikey çarptığında da ürünün besleme ağzı çevresinde dalgalı bir görüntü verebilir. [10]



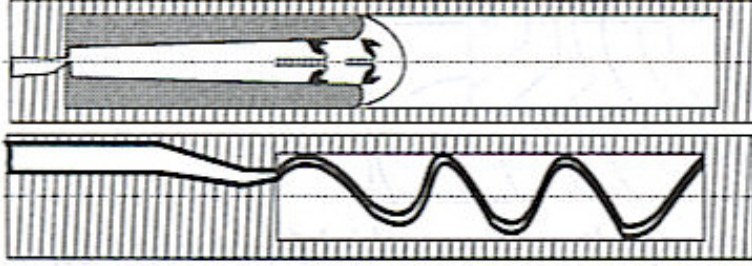
Şekil 2.2. Akış izleri [5]

Akış izi dediğimiz bu kalıplama hatasının, proses ayarlamalarıyla giderilmesi bir hayli zordur. Ürün ve kalıp tasarımı esnasında önlem alınmalıdır.

2.2.3. Jetting (Plastiğin yılan gibi fışkırarak kalıba dolması)

Baskının yüzeyinde yılan gibi kaba veya mat izler görülür. Fışkırma sıkça renkte ve parlaklıkta farklılığa sebep olur. Bazı durumlarda yarık şeklinde görülebilir. Fiziksel nedeni şudur: Fışkırma erimiş plastiğin ön kısmının normal plastik akışından farklı olmasından dolayıdır. Sicim şeklinde oluşmuş plastik yolluk

geçidinden başlamak üzere kontrolsüz bir hareketle kalıp boşluğuna girer. Bu durumdaki erimiş plastik sicimi öyle bir şekilde soğur ki arkadan gelen plastik bileşimi ile homojen olarak karışmaz. Bu durum sıkça uzun parçaların yüksek enjeksiyon hızıyla dolması durumunda oluşur, ayrıca kavite giriş pozisyonu da önemlidir [2].



Şekil 2.3. Normal akış ve jetting [2]

2.2.4. Birleşme izleri

İki veya daha fazla akış hattının birleştiği ve kaynaştığı yerlerde oluşan çizgilere birleşme izleri denir. Kalıpta birden fazla ürün besleme ağzı, delik çıkarıcı pimler ya da maçalar, lokmalar vb. erkek parçalar var ise birleşme izi olacaktır. Önem verilmez ve etkilerinin azaltılmasına çalışılmazsa büyük sorunlar çıkabilir. Birleşme izi, görüntünün önemli olduğu bir üründe göze en çarpan yerde derin ve uzun bir çizgi halinde belirebilir ya da daha kötüsü en ufak bir yükte çatlayabilen çok zayıf bir kesit oluşturabilir. Bir önceki enjeksiyon hatası "akış izlerinin" nedenleri birleşme izlerine de kaynaklık eder. Ancak birleşme izleri mukavemet sorunlarını da meydana getiren ve diğeri gibi yalnızca yüzeyde olmayıp, kesitte de etkili olan bir hatadır. Üründe mukavemet özellikleri göz ardı edilirse kavitenin birleşme izlerini gizlemek için kumlama yapılabilir [5].



Şekil 2.4. Birleşme izleri [5]

Birden fazla ürün besleme ağzının olması birleşme izlerinin sayısını çoğaltır. Zaten, eğer başka amaç yoksa birden fazla besleme ağzı verilmesi sorunlar yaratır. Bu durumda en iyi çözüm sıcak yolluk kullanmaktır. Kalıp parlatma izlerinin malzemenin akış yönünde verilmesinin, birleşme izlerinin azaltılmasına yardımcı bir unsur olduğu unutulmamalıdır. Birleşme izlerinin azaltılması için silindir ve kalıp sıcaklığının yükseltilmesi kadar, hızlı enjeksiyon suretiyle malzemenin soğumadan birleşmenin sağlanması da önemli bir önlemdir. Buna karşın kalıptaki havalandırmanın yerleri ve etkinliği hızlı enjeksiyona el vermelidir. Sıkışmış hava enjeksiyon izlerinin artmasına ve yarıklara neden olacaktır [5].

2.2.5. Kalıp temas yüzeyindeki izler

Kalıp temas yüzeylerinin parçaya denk gelen yerlerinde çapaklanma şeklinde iz bırakması, kalıp yapımında gerekli ihtimamın gösterilmemesine ya da kapama gücünün yetersizliğinden olabilir. İyi parlatılmış yüzeyler temas izini mat olanlara göre daha fazla gösterdiklerinden buraların desenlendirilmesi bu izi maskeleyecektir. En iyisi kalıp tasarımında temas mümkünse en az mahsurlu yerlerde gerçekleştirilmesi düşünülmelidir [5].

2.2.6. Karışık ve pürüzlü yüzeyler

Genellikle ürün besleme ağzının çevresinde olmak üzere düzensiz yarım daireler şeklinde beliren izlere sıkça rastlanmaktadır. Bunun bir nedeni kalıba son giren malzemenin yeterince basınç sağlayamaması sonucu o bölgede kalıp yüzeyinin şeklinin alınamamasıdır [2].

Enjeksiyon esnasında kalıba giren malzemenin, küçülen ürün besleme ağız nedeniyle basıncının düşmesine, kalıp içinde oluşmuş karşı basınçtan etkilenince malzemenin vizkozitesi iyice yükselir ve genellikle ürün besleme ağız çevresinde donmakta olan plastiğe kalıbın şeklini alması için yeterli kuvvet uygulanmaz. Yeterli enjeksiyon hızı ve kuvveti sağlayamıyor ise daha güçlü bir makinede üretim gerçekleştirilmelidir. Kalıp yolluk kanallarının kısaltılması, genişletilmesi, parlatılması gibi akışı kolaylaştıracak ve basınç düşmesini azaltacak önlemler alınabilir. Bu izin bir diğer oluş biçimi ise, baskıdan baskıya memenin ucunda kalan ve havayla nispeten soğumuş bulunan plastik muhtevanın kalıba girer girmez değdiği yüzeyin şeklini alamadan donmasıdır [2].

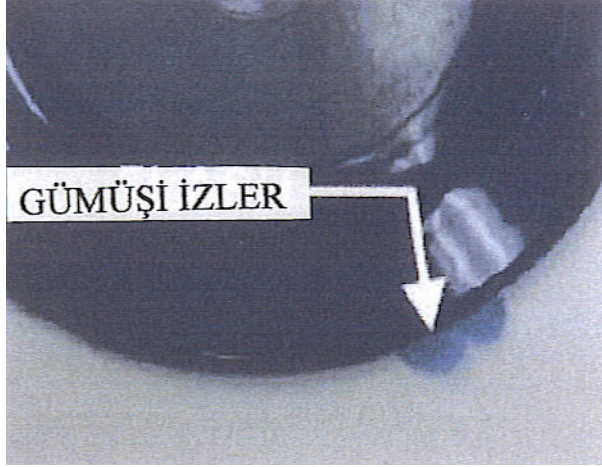
2.2.7. Yüzeydeki lekeler

Plastik malzeme içerisindeki bir katkı maddesinde kullanılan pigmentin yüzeye göç etmesi veya yanığa neden olmasa da kalıp yüzeyiyle reaksiyona giren gazlanmış polimer, parça yüzeyinde lekeler oluşturabilir. Bu olgular malzeme, boya ve katkı maddelerinin kendileriyle ilgilidir ve araştırmalıdır. Ancak yine de proses şartları ile önlenbilirler [5].

2.2.8. Serpinti (Gümüşi izler) oluşması

Ürün besleme ağızından yayılan bazen de tüm parçayı kaplayabilen gümüşi izleri andıran ve serpinti denilen görüntü bozukluğu sıkça rastlanabilen bir enjeksiyon hatasıdır. Kökeninde plastik eriğinin ihtiva ettiği uçucu maddelerin kalıplama esnasında parça yüzeyinde yoğunlaşarak bu görüntüyü vermesi yatmaktadır. Bu uçucu madde, malzeme tarafından absorblanıp kurutma yoluyla uzaklaştırılmamış nem, yine malzemenin ihtiva ettiği solventi fazla miktarda kullanılmış kalıp ayırıcı madde ve polimerin ısıl degravasyonu sonucu çıkan gazdır. Polimerin ısıl degravasyonu sonucu ortaya çıkan gazın varlığı malzemenin memeden kusturularak incelenmesiyle tespit edilebilir. Hem bir gaz çıkışı, hem de köpüklenme bu olayı kanıtlar. Bu takdirde sıcaklık kontrolörleri, rezistanslar ve termokulplar kontrol edilmelidir. Malzeme akışı esnasında sürtünme kaynaklı ısı oluşması da gaz ayrışmasına kaynaklık edebilir. Ayrıca ürün besleme

ağzındaki aşırı sürtünmeden oluşan kinetik enerjinin ısıya dönüşmesi gazlaşmaya neden olabilir. Bazen de kalıp suluklarından sızabilecek ve kalıba damlayabilecek su, serpintiye kaynaklık edebilecektir [2].



Şekil 2.5. Serpinti (Gümüşi izler) oluşması [5]

2.2.9. Çizikler

Kalıp açıldığında, ürünün yüzeyinde kalıbın açılış yönünde çizikler oluşuyor ise bunun nedeni iki kategoride toplanabilir. Birinci neden, temas yüzeylerinde eğer bir tahribat varsa ve metal çapaklanması sıyrılan parçayı çiziyorsa, bu kalıp yüzeylerinin iyi alıştırtılmasından yada hızlı kalıp kapama nedeniyle kalıbın hasar görmesinden kaynaklanmaktadır [10].

İkinci neden, kalıbın aşırı doldurulmasıdır. Eğer kalıp aşırı doldurulmuş ve kalıbın yüzey parlatılması iyi yapılmamış ise dişi kısım parçayı çizebilir. İkinci basıncın yüksekliği ve sürenin uzunluğu, ürün besleme ağzının büyük, parçanın et kalınlığının fazla olduğu durumlarda bu çizilmelere yol açabilir. Özellikle ABS ve akrilik malzeme için yapılan kalıplarda yeterince koniklik verilmemişse ve pah kırma tasarlanmamışsa ürün yüzeyinde çizilmelere rastlanabilir [10].

2.2.10. Eksik ürün

Eksik ürün almanın bir çok nedeni olabilir. İlk bakılacak şey makinenin enjeksiyon grubunun yeterince güçlü olup olmadığı, malzemenin akışkanlığının yeterince sağlanıp sağlanmadığı ve kalıbın tamamen dolmasını engelleyen bir karşı basınç veya engelin varlığıdır.



Şekil 2.6. Eksik dolum [5]

Kalıp içinde oluşan ve parçanın tamamen şekillenmesine karşı koyan bir iç basınç genellikle hava veya başka bir gazın sıkışıp kalmasındandır. Hava tamamen sıkışıp kalıyor ve hiçbir şekilde kaçamıyorsa, eksik ürün verme olayının yanında yanık izinin de oluşması kaçınılmazdır. Ancak, bazen havanın yavaş bir sızma şeklinde kaçması durumunda oksidasyon reaksiyonu (yani yanma) oluşmaz, fakat malzeme bu sırada donduğu için dolma gerçekleşmez. Havanın sıkışması kalıp yapım hatasından meydana gelebildiği gibi, havalandırma kanallarının yağ, gres, herhangi bir pislik veya plastikle tıkanması yada küçülmesinden de olabilir. Kalıbın yüksek basınçta sıkışması durumunda da metalin elastik halde aşırı bastırılmasından dolayı havalandırmalar etkisiz halde kalabilir [3].

Kalıp içinde bir iç basınç oluşması, özellikle boyu uzun ama ince bir et payı bulunan parçalarda donma sonucu ortaya çıkar (parçanın her iki yüzeyindeki donmuş tabaka toplam kesitin yüzde ellisine ulaştığında kalıp doldurulmuş

olmalıdır.) Enjeksiyon basıncının arttırılmasıyla tam doldurma gerçekleşebilir, ancak bu ürün besleme ağızı çerçevesinde kalıcı gerilmelere neden olacağından iyi bir yöntem değildir. Bunun yerine, kalıbın tam doldurulabilmesi için enjeksiyon hızının daha fazla arttırılabileceği, yağ debisi yüksek bir makinede üretimin gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır. Diğer bir çare ise kalıp sıcaklığının yükseltilmesidir. Gerilim giderilmesi veya parlaklık sağlanması nedeni dışında kalıp sıcaklığının arttırılması, çevrim süresini uzatacağından verimi düşürecektir.

Prosesle ilgili tüm faktörler üzerinde çaba gösterildiğinde, yeterli güç, sıcaklık ve malzeme beslemesi yapıldığı ve hatta basınç ve hız valfleri, rezistanslar, termokulplar, sıcaklık kontrolörleri denetlediği halde eksik üründen kurtulamıyor ise suç enjeksiyon grubunda aranmalıdır. Şüphe edilebilecek bir yer çek-valf görevi yapan enjeksiyon vidası bileziğidir. Çatlamış veya aşınmış bir bilezik enjeksiyon esnasında geriye malzeme kaçıırır. Benzeri bir şekilde eğer enjeksiyon hidrolik silindir pistonundaki sızdırmazlık elemanlarından da geriye yağ kaçıрма olursa eksik parça söz konusu olabilir. Kalıbın tam dolmasındaki engellerden biri de enjeksiyon memesinin küçük bir metal parçası ya da malzeme karışmış olan ve daha yüksek sıcaklıkta eriyebilen bir plastik granülü tarafından tıkanmış olmasıdır. Memenin enjeksiyon ağızına tam oturmaması da enjeksiyonu engeller, hatta malzemenin kalıp dışına akmasına yol açar [5].

Eksik ürünü önlemek için yollukların ve besleme ağızlarının üretim denemesi yapılan bir kalıpta büyütülmeleri düşünülebilir. Ancak yeni olmayan kalıbın sırf malzeme değişikliğinden dolayı eksik ürün verdiği durumlarda bu genişletme işlemi yapılmamalıdır [5].

2.2.11. Parçanın kalıpta kalması

Parçanın kalıpta kalmasının birçok nedeni olabilir. Malzemenin akışkanlığı buna kaynaklık edebilir. Çok akışkan bir malzeme , kalıp içerisinde gereğinden fazla bir basınçta enjekte edilebilir. Kalıp yüzeyini sıkıca kavrayan parçanın soğuma esnasında oluşan hacim küçülmesi neticesindeki vakum kuvvetinden kurtulması zorlaşır. Eğer malzeme vizkozitesi yüksekse, o zaman basıncı arttırmak gerekir ki

bunun sonucu yolluk besleme kanalında veya parçaya ait feder, bölme gibi yerleri çıkaran kalıp oyuklarında oluşacak aşırı basınç parçanın kalıba yapışmasına neden olabilir. Enjeksiyon hızının yavaş tutulması da çekmeyi arttıracaktır ve parçanın kalıbın erkeğine yapışmasına yol açabilecektir. Fazla malzeme beslemesinde ise parça kalıbın dışısında kalabilir ki bu da ciddi bir yapışma sorunudur. Bazen kalıbın dışısı erkeğine göre daha sıcak tutularak, dışide kalma sorunu çözümlenebilir. Kalıpta kalmada makinenin de suçu olabilir. Eğer hidrolik sistem yeterli yağ debisini sağlayamıyor ise yukarıda da bahsedilen aşırı çekme olayı ile karşılaşılabilir [5].

Tabiidir ki kalıpta kalmanın en büyük kaynağı kalıp hatasındandır. İyi parlatılmamış yüzeyler parçanın sıkışmasına ve yapışmasına neden olabilir. Yalnız burada unutulmaması gereken bir durum sıyırmanın yapılacağı erkek yüzeyin iyi parlatılmasının ters etki yapacağı ve parçanın dışide kalabileceğidir. Ürün tasarımında yeterli açı, koniklik, pah kırma gibi sıyırmayı kolaylaştıracak koşullar öngörülmalıdır [5].

2.2.12. Çapaklı ürün

Genellikle kalıp temas yüzeylerinde, itici pimlerinin çevrelerinde veya parçanın herhangi bir yerinde çapak tabiri kullanılan malzeme taşmasının bir çok nedeni vardır. Çapak oluşması kalıp veya makineden kaynaklanabildiği gibi plastik parçanın ve kalıbın iyi tasarlanmamasından da meydana gelebilir. Kullanılan makinenin kapama gücünün kalıbın ebatlarının büyük olmasından dolayı yetersiz kalması çapak vermeye neden olabilir. Basınç kontrol ve debi kontrol valflerindeki arıza, hidrolik kapama sistemine sahip makinelerde yağ ısınması, hidrolik devreden gelen arızaları oluşturur. Mengene grubunda kolon plakalarının merkezinde olmaması da belli bölgelerde çapak oluşmasına yol açar. Isıtıcı rezistanslara kumanda eden termokulpların arızalanması, yerlerinden oynamaları veya malzeme beslenmesinde vidanın hızlı yada gereğinden uzun süre dönmesi sonucu oluşan mekanik sürtünme kökenli ısınma sonucu plastik sıcaklığının istenilenden fazla yükselmesinin doğurduğu düşük vizkosite kalıp temas yüzeylerinden malzeme sızmasını getirir [11].

2.2.13. Parça içinde boşluk ve yüzeyde çöküntü oluşması

Malzeme yeterli bir şekilde kurutulmamışsa özellikle et kalınlığı oldukça fazla parçaların içerisinde boşlukların oluşmasına neden olabilir. Eğer malzeme uçucu madde taşıyorsa veya silindir içerisinde degravasyon sonucu gaz oluşumu varsa, yine parça içerisinde boşluklar oluşabilir. Bu mahsurların tespiti halinde giderilmesi kolaydır. Yine gazın neden olduğu boşluk durumu hava sıkışmasıdır. Özellikle akışkanlığı fazla olan malzemenin kullanıldığı kalın parçalarda, kalıplama boşluğu içerisinde hapis olan hava, boşluk oluşturur. Enjeksiyon hızının düşürülmesi, ürün besleme ağzının değiştirilmesi gibi önlemlerle netice alınabilir [2].



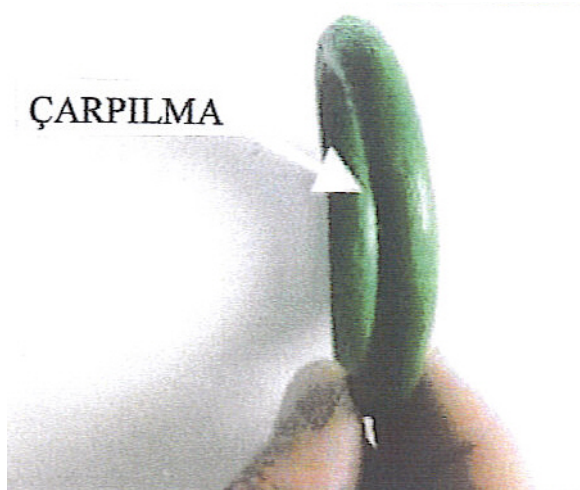
Şekil 2.7. Parça içinde oluşan boşluklar [5]

Plastik malzeme eriyik halinde iken katı haline oranla daha fazla hacim kaplar. Faz değiştirme ve soğuma esnasında hacimsel küçülmeye uğrar ve tabiidir ki uzun ve kalın yerlerde bu küçülme kısa ve ince kesitlere göre fazla olur. Kalıplanmış bir plastik parça üzerinde ani kesit kalınlığı değişiklikleri varsa ve feder oluşturmak yerine kalın et kalınlıkları varsa farklı hacimsel küçülme yüzeyde çöküntü şeklinde kendini belli eder. Eğer malzemenin kalıba değen yüzeyi çabuk donarsa, bu hacimsel küçülme içeride bir boşluk yaratarak gerçekleşecektir. Malzemenin özelliğinden ve parça tasarımının sonuçlarından kaynaklanan bu önemli mahsurun giderilmesi pek kolay değildir. Kalıbın

soğutulmasında et kalınlıklarının da göz önüne alınarak yapılması çöküntüleri azaltacak bir faktördür. Bir çok durumda mümkün olan en düşük eriyik sıcaklığında, yeterli malzeme ile kalıbın hızla doldurulması çöküntü ve boşlukların azaltılmasında en etkin yöntem olacaktır. Parçanın kullanımında eğer yüzey görüntüsü çok önem taşıyorsa, çöküntü boşluklara tercih edilmelidir. Çünkü parça içerisinde bir çentik etkisi yapan iç boşluklar düşük malzeme sorunları meydana getirir. Görüntünün berbat olduğu durumlarda, örneğin kalıp sıcaklığı düşürülerek çöküntüler lehine iç boşlukların oluşumuyla hacim küçülmesinin etkisi yüzeyde azaltılır [5].

2.2.14. Kalıptan çıkarken çarpılma

Bu çarpıklığın kökeni, parça kalıptan çıktıktan sonra oluşan ve iç gerilmelerin neden olduğu çarpılmadan farklıdır. Bir parça kalıptan çarpılmış olarak çıkıyor ise bunun nedeni yetersiz soğuma veya soğutma zamanıdır. Parçalar mutlaka kullanılan plastik malzemenin ısıl distorsiyon sıcaklığının altında soğutulmalıdır. Aksi takdirde yeterince soğumamış yüzeye vuran itici pimleri parçanın çarpılmasına neden olur [11].



Şekil 2.8. Kalıptan çıkarken çarpılma [5]

2.2.15. Sonradan oluşan çarpıklık

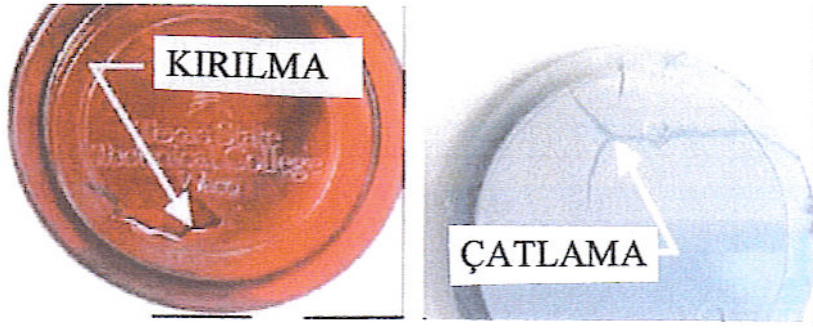
Parçanın kalıptan çıktıktan kısa bir süre sonra yada uzun bir süre sonra çarpılması iç gerilmeler veya daha farklı malzeme çekmelerinden dolayıdır. Katkı malzeme enjeksiyonunda katkı maddesinin yönlenmesine bağlı olarak çarpılmalar meydana gelebilir [2].

Ürün tasarımında farklı et kalınlıklarının verilmesi kaçınılmaz ise, erken soğuyan ve daha çok çeken ince kesitler, geç soğuyan kalın kesitlere doğru parçayı çarpıtacaktır. Bilinçsiz yerleştirilmiş federler de çarpılmaya yol açabilirler [5].

Çarpılmanın bir nedeni parçadaki farklı malzeme çekmesindedir. Malzeme kalıba girdikten sonra karşılaştığı soğuk kalıp duvarı üzerinde bir film tabakası yaparak donar. Kesit daraldıkça sonradan gelen malzeme akış yönünde fazladan bir kayma gerilmesine neden olacaktır ve molekül zinciri akış yönüne doğru fazladan gerilecektir. Sonuçta akış yönünde (radyal) soğuma tamamlandığında buradaki malzeme çekmesi, akışa dik olan yöndeki çekmeye oranla daha fazla olacaktır. İki farklı çekme, parçanın üzerinde çekmenin fazla olduğu yöne doğru çarpılmalar oluşacaktır. Farklı soğuma uygulaması, özellikle büyük parçaların kalıplanmalarında bu çarpılma etkisini azaltacak neticeler verebilir [10].

2.2.16. Çatlama

Eğer plastikte proses esnasında giderilmemiş iç gerilmeler kaldı ise bu durum daha sonra elverişsiz çevre ve iklim koşullarında çatlamların ortaya çıkmasına yol açabilir. İç gerilmelerin azaltılması lazımdır. Bunun için ürün tasarımında keskin köşelerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır ve soğutmanın homojenliği sağlanmalıdır [10].



Şekil 2.9. Parça üzerinde oluşan çatlama [5]

2.2.17. Soyulma

Yüzey soyulmalarının bir nedeni yine iç gerilmelerin fazla oluşundandır. Parça içerisinde giderilmemiş gerilmeler taşıyan bir parça, normalde etkilenmeyeceği bir solventle sıcak bir ortamla karşılaştığında yüzeyinde soyulmalar görülebilir. Örneğin polipropilenden yapılmış ve dibinde iç gerilmeler kalmış bir kovaya sıvı deterjan dökülmüş. Üstüne su ilave edildiğinde çıkan çözünme ısısının da etkisiyle yüzeyde pullanmalar şeklinde soyulmalar gözlemlenir.

Bir plastik malzemeye başka bir plastik malzeme karıştığında da üründe, özellikle ürün besleme ağzında soyulmalar olur. Fazla miktarda kullanılan kalıp ayırıcı yağları daha sonradan yüzey soyulmalarına neden olabilirler [10].

BÖLÜM 3. ÇEKME OLAYI VE ETKİLERİ

3.1. Çekmenin Tanımı

Eğer plastikler enjeksiyon yöntemiyle işleniyorsa, üretilen parçanın boyutlarının kavite boyutlarından sapması kaçınılmazdır. Nominal boyutlardan bu sapmalar çekme olarak özetlenir.

Enjeksiyon kalıplama tekniğinde çekme kavite boyutları referans alındığında, kavite boyutlarıyla parça boyutları arasındaki farktır. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [3].

$$\% S_{\text{Ç}} = (I_{\text{C}} - I_{\text{M}} / I_{\text{C}}) \cdot 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Burada

$\% S_{\text{Ç}}$: Çekme miktarının yüzde olarak ifadesi

I_{C} : Kavite boyutu

I_{M} : Parça boyutu

dur.

Veya;

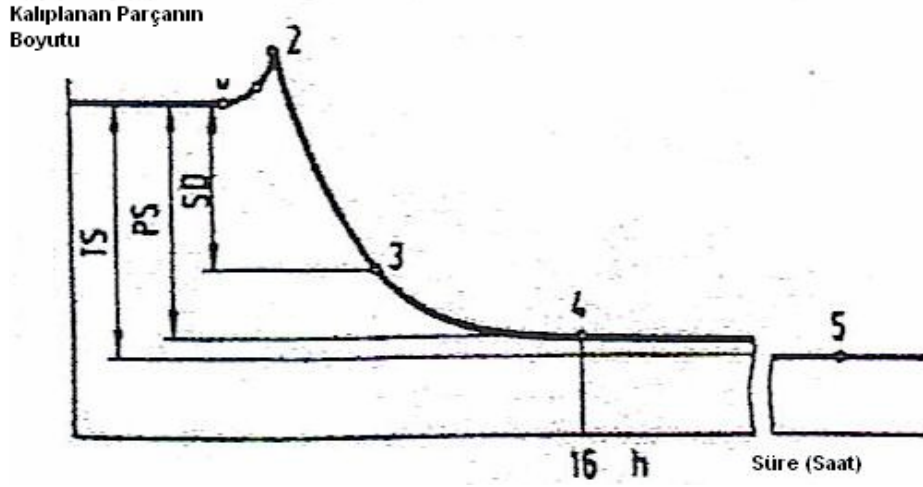
$$S_{\text{Ç}} = (I_{\text{C}} - I_{\text{M}}) \dots\dots\dots (3.2)$$

$S_{\text{Ç}}$: Çekme miktarı (mm)

I_{C} : Kavite boyutu (mm)

dur.

Çekmeyi tam olarak tanımlamak için bu ifade tek başına yeterli değildir.



Şekil 3.1. Zamana bağlı olarak boyutların değişimi [3]

TS: Toplam çekme

PS: Proses çekmesi

SD: Anlık çekme

Bir yandan kavitenin boyutları ısıl genişmeden (0-1) ve mekanik yüklemekten (1-2) dolayı değişirken, öte yandan zamanın parça boyutları üzerindeki etkisi göz önünde tutulmalıdır. (2-5) Parçanın kalıptan çıktığı andaki çekmesi (3) ile belirli bir süre geçtikten sonraki çekmesi (proses çekmesi) (4) arasında bir fark vardır. Proses çekmesi normal ortam şartlarında 16 saat sonra ölçülür. Bu durumda kavite boyutları 23 ± 2 °C sıcaklık için belirlenir. Eğer parça uzun süre stokta bekletilirse sıcaklık ve ortam değişikliklerinden dolayı parça boyutları değişebilir (5). Bu değişiklik kalıntı gerilmelerin boşalmasından, malzemenin reoryantasyonundan ve kristalin malzemelerin yeniden kristalizasyonundan dolayı meydana gelir. Kristalin malzemeler hariç bu ikincil çekme ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Proses çekmesi ve ikincil çekmenin toplamına toplam çekme adı verilir.

Ayrıca parçadaki malzeme akış yönüne de bağlıdır. Radyal çekme akış doğrultusundaki çekme, teğetsel çekme de akışa dik doğrultudaki çekmedir.

Proses çekmesindeki fark radyal ve teğetsel çekmeler arasındaki farktır ve çekme anizotropisinin ölçüsüdür.

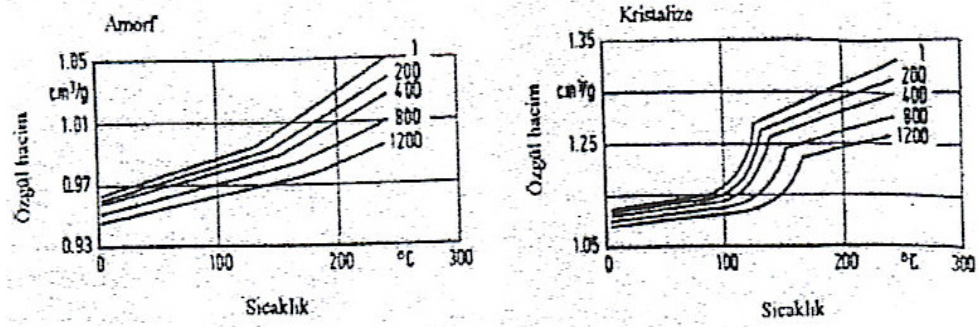
Tablo 3.1.'de bazı termoplastiklerin çekme değerleri verilmiştir [9].

Tablo 3 .1. Termoplastiklerin çekme değerleri [9]

Malzeme	% Çekme	Malzeme	% Çekme
Naylon 6	1-1.5	Polikarbonat	0.8
Naylon 6 –GR	0.5	Polioksimetilen	2
Naylon 6/6	1-2	Polivinil klorür (katı)	0.5-0.7
Naylon 6/6-GR	0.5	Polivinil klorür (yumuşak)	1-3
Polietilen LD	1.5-3	ABS	0.4-0.6
Polietilen HD	2-3	Polipropilen	1.2-2
Polisitren	0.5-0.7	Sellüloz asetat	0.5
Sitren Akrlonitril	0.4-0.6	Sellüloz asetat bütrat	0.5
Polimetil metaakrilat	0.3-0.6	Sellüloz propiyonat	0.5

3.2. Çekmenin Nedenleri

Enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalarda çekmenin doğal sebebi malzemenin termodinamik davranışdır. Bu davranış P-V-T (Basınç-Hacim-Sıcaklık) davranışı olarak da adlandırılır ve plastik malzemelerin sıkıştırılabilirlik ve termal genleşme davranışlarıdır.



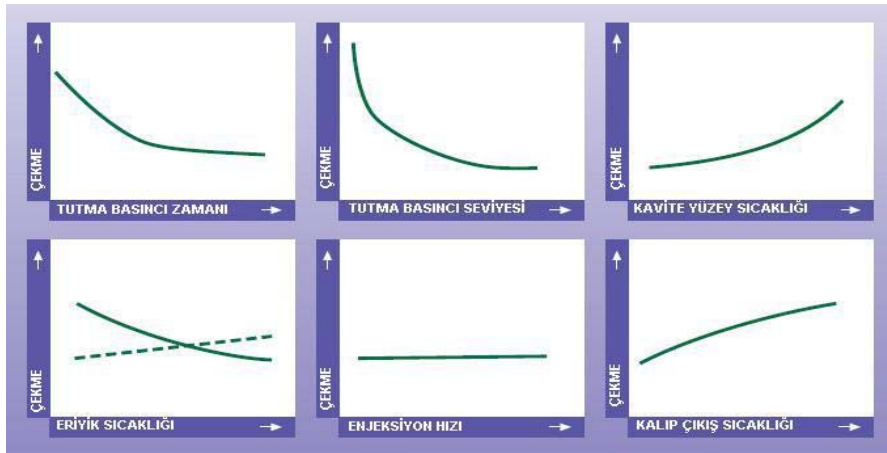
Şekil 3.2. Amorf (solda) ve kristalize (sağda) plastik malzemelerin P-V-T davranışları [3]

Amorf ve kristalin plastik malzemelerin P-V-T davranışları arasında temel bir farklılık vardır. Ergimiş halde her iki malzeme sınıfında da özgül hacim ile sıcaklık arasında lineer bir ilişki vardır. Ancak katı halde aralarında önemli bir farklılık vardır. Kristalin malzemelerde özgül hacim sıcaklıkla üstel bir değişim gösterirken amorf malzemelerde özgül hacim sıcaklığa lineer bir ilişki ile bağlıdır. Bu fark kristalin malzemelerde neden daha fazla çekme meydana geldiğini açıklamaktadır. [3]

3.3. İşlem Parametrelerinin Çekmeye Etkileri

3.3.1. Enjeksiyon işlemi

İşlem parametreleri ile çekme arasındaki ilişki Şekil 3.3. de gösterilmiştir ve bunlar arasındaki ilişki aşağıda daha detaylı olarak açıklanacaktır.



Şekil 3.3. İşlem parametrelerinin çekme davranışı üzerindeki etkisi [9]

3.3.1.1. Tutma basıncı uygulama zamanı

Tutma basıncını uygulamanın amacı, çekmeyi karşılamak için kalıp boşluğuna daha çok eriyiğin girmesi sağlamaktır. Tutma basıncını uygulamakla kalıp içindeki eriyik sıkışır ve soğuma işlemi sırasında oluşan hacimsel çekmenin karşılanması sağlanmış olur. Bu sonuçla tutma basıncı zamanı çekmelerin karşılanmasında ve ekstra eriyiğin kalıba girmesinde en önemli etkidir. Uzun tutma zamanı daha düşük kalıp çekmesi anlamındadır.

Amorf malzemelerde tutma basıncının uygulama zamanı yarı-kristal malzemelere göre daha az bir sahiptir.

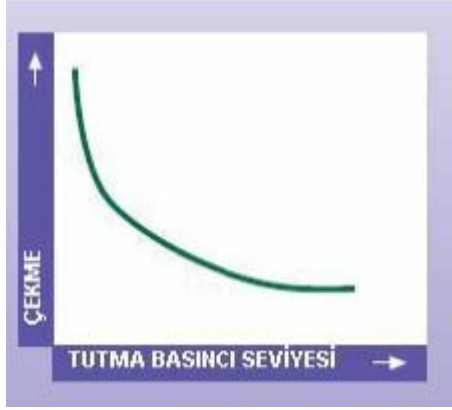
Geniş yolluk girişleri kullanmak çarpıcı şekilde tutma basıncının uygulanma zamanını arttırır. Daima yolluk girişinin yeri et kalınlığının en kalın olduğu noktada olmalıdır [9].



Şekil 3.4. Tutma basıncı uygulama zamanının çekme davranışı üzerindeki etkisi [9]

3.3.1.2. Tutma basıncının seviyesi

Amorf ve yarı-kristal termoplastiklerin her ikisinde de tutma basıncının kalıp çekmesinde derecesinde kesin bir etkisi vardır. Daha yüksek tutma basıncı daha az kalıp çekmesi demektir. Yinede tutma basıncının çekmeye etkisi zamanla gerileme gösterir. İyi bir yolluk girişi ve parça tasarımı ile tutma basıncını artırarak çekme düşürülebilir. Bu oran yarı-kristal malzemelerde %0,5, amorf malzemelerde %0,2 civarındadır [9].



Şekil 3.5. Tutma basıncı seviyesinin, çekme davranışı üzerine etkisi [9]

3.3.1.3. Kavite yüzey sıcaklığı

Kalıp çekmesi kavite yüzey sıcaklığının artmasıyla birlikte artar. Kavite yüzey sıcaklığının etkisinden dolayı iç gerilme profilini, kristalleşmeyi ve akış prosesini etkileyen farklı faktörler oluşur. Bu özellikle yarı-kristal malzemeler için doğru kabul edilir [9].



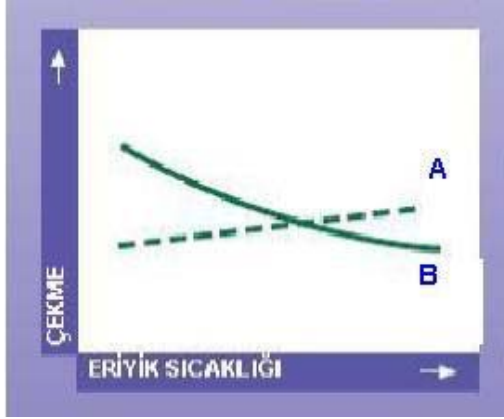
Şekil 3.6. Kavite yüzey sıcaklığının, çekme davranışı üzerine etkisi [9]

3.3.1.4. Eriyik sıcaklığı

Çekme davranışı üzerinde eriyik sıcaklığının da etkisi vardır. Şekilde iki farklı etki gösterilmektedir.

İlk olarak eriyik sıcaklığının yükselmesiyle artan potansiyel termal büzülme (yükselen çekme .A) ve ikinci olarak eriyik viskozitesinin atmasıyla daha iyi

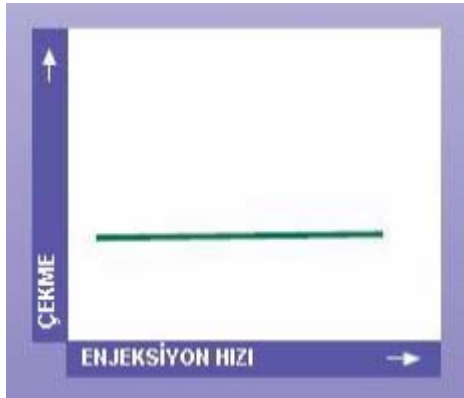
paketlemenin olduğu hal (B) gösterilmiştir. Genellikle B eğrisi görülür. İyileştirilmiş paketleme (sıkıştırma), büzülme potansiyeli üzerinde etkilidir. Eğer uygun olmayan et kalınlığı ve zayıf paketleme hali söz konusu ise artan eriyik sıcaklığıyla çekme artar. Diğer işlem parametreleri optimize edildiği eriyik sıcaklığını sabit tutmak yararlıdır [9].



Şekil 3.7. Eriyik sıcaklığının, çekme davranışı üzerine etkisi [9]

3.3.1.5. Enjeksiyon hızı

Enjeksiyon hızının toplam çekme üzerinde etkisi yoktur [9].

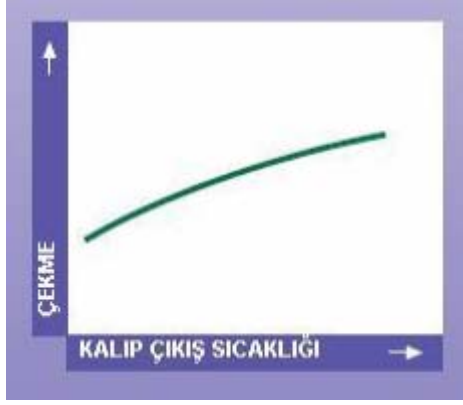


Şekil 3.8. Enjeksiyon hızının, çekme davranışı üzerine etkisi [9]

3.3.1.6. Kalıp çıkış sıcaklığı

Parçanın kalıp içinde kalma zamanı artarsa daha uzun bir soğutma ve daha düşük bir çıkış sıcaklığı oluşur. Aynı zamanda parça kalıp baskısına maruz kalır.

Özellikle yarı-kristal termoplastik malzemelerde düşük kalıp çıkış sıcaklığı genellikle düşük kalıp çekmesi sağlar. Yüksek çıkış sıcaklığı (kısa soğutma zamanı) ile kalıplanan parçanın dış katmanlarında göze çarpan bir sıcaklık artışı olur. Buralar bir çeşit sanal ısı deposu gibidir. Bu yüzey stresini bastırır ve çekme artar [9].



Şekil 3.9. Kalıp çıkış sıcaklığının, çekme davranışı üzerine etkisi [9]

BÖLÜM 4. TAGUCHİ METODU

4.1. Giriş

Üretim yapan işletmeler, mamullerini müşterilerinin beklentilerinin ötesinde sunabilmek için sürekli rekabet içerisinde dirler. İşletmelerin, müşterilerine fonksiyonunu yerine getirebilen, daha kaliteli, daha ucuz ve daha hızlı ürünler ulaştırabilmek için gösterdikleri çaba, kalite geliştirme bilincinin hızla yayılmasına sebep olmuştur. İşletme yöneticileri işletmelerinin verimliliklerini artırmak ve rekabet avantajlarını yükseltmek için, kalitenin sadece üretim hattında değil mamul ve proses tasarımı aşamalarında da doğru bir şekilde planlanmasının gerektiği bilincindedirler [12].

Rekabete dayanan pazarda, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalite geliştirme çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir.

Kalite iyileştirme ve geliştirme, pek çok organizasyonun rekabet edebilmesi ve ayakta kalabilmesi için en temel faaliyetler haline gelmiştir [13].

Bu doğrultuda üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler olmuş ve günümüz gereksinimleri için teknikler ortaya konmuş, yada yıllardır teoride kalmış yöntemler uygulama alanına geçirilmiştir. Bunlardan biri de, özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı da uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir.

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımı Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür.

Taguchi, deneysel tasarıma yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur [13].

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır.

Taguchi Deney Tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanını vermektedir.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle, taguchi metodunun tarihi gelişimi, felsefesi ve kalite kontrol sistemi incelenmiş, sonrasında kalite sağlamada en belirgin çalışmaların yapılabileceği parametre tasarımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Parametre tasarımının uygulama aşamaları ayrıntılı olarak incelenmiştir [12].

4.2. Taguchi Metodunun Gelişimi

Taguchi metodunun temelini oluşturan deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır [13].

İkinci dünya savaşının sonlarına doğru, Japonya'nın günümüze kadar ki, hızlı gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu dönemdeki en önemli projelerden biri Japon telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Projenin amacı A.B.D'de Bell Laboratuvarlarında kullanılan telefon sisteminin aynısının Japonya'ya kurulmasıydı. Ancak Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuvarlarının ancak %2'si kadardı. Bu nedenle projenin bitirilmesinin 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metodların standardize edilmesini ve faktöryel tasarımların kullanılmasını önerdi. Kabul edilen önerisi sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi çok ünlü olmuştur [12].

4.3. Taguchi Felsefesi

Taguchi'nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

I. Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.

II. Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur.

III. Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.

IV. Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır.

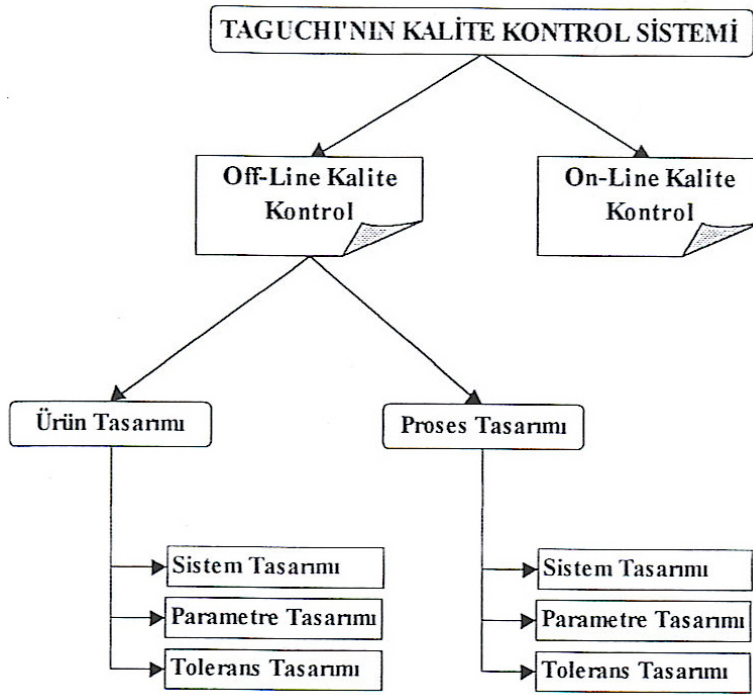
V. Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir.

VI. Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir.

VII. İstatistiki olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır [12].

4.4. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi [12]

On-line kalite kontrol; ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindedir.

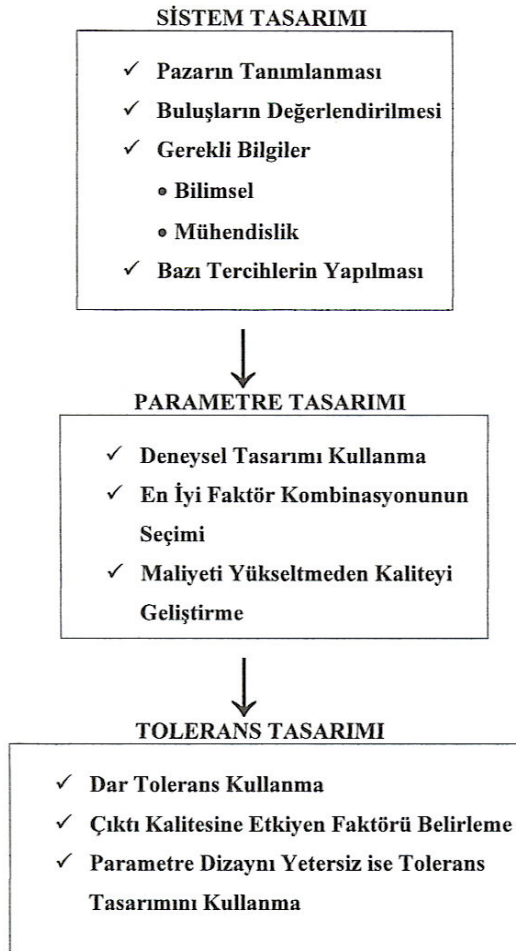
Off-line kalite kontrol; pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu

faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarınıdır [13].

Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır.

Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır.

Taguchi metodunun sistematığını oluşturan, kalite aşamaları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Taguchi metodunun sistematığı [12]

4.4.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir, bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir.

Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir.

Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [12].

4.4.2. Parametre tasarımı

Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasıdır.

Ürün Parametre Tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir [11].

Ürün Parametre Tasarımı ve Proses Parametre Tasarımında temel amaç, üründe ve prosesde varyasyon (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesdeki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına sağlam tasarım demektedir.

Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Sağlam Tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti artırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır [13].

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin bir çoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, bir çok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasına almak mümkün olmaktadır [13].

4.4.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır.

Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi ve
- Hedef değer en iyi'dir.

4.4.3.1. En büyük en iyi

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

4.4.3.2. En küçük en iyi

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak bir üretim sürecindeki hurda miktarı verilebilir.

4.4.3.3. Hedef değer en iyi

Bu durumda sapsmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

4.5. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı

Genichi Taguchi sağlam parametre dizaynının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir, parametre dizaynı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi dizaynları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur.

Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişiklikler karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır.

4.5.1. Temel çalışma biçimi

Taguchi Metodu, çok sayıda faktörün bağlı olduğu ürün ve prosesin kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Her bir faktörün izin verilen aralıklar içerisinde tüm olabilecek kombinasyonları etkili bir biçimde bu test ve geliştirme stratejisi içerisinde kurulabilmektedir. Mühendislik projeleri çok sayıda faktör içerdiği için, bir grup olabilecek kombinasyon denenemeyecek kadar geniştir. Üstelik özel projeler için etkili faktörler arasında etkileşimlerin olması deneme sayısını artırmaktadır. Test kombinasyonlarını azaltmada geleneksel olarak kısmi faktöryel tasarım kullanılmaktadır. Taguchi faktöryel deneyler için özel bir dizayn geliştirmiştir. Bu dizayn ortogonal dizilerden oluşmaktadır. Bu dizaynların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deneyle incelenmesine olanak tanımaktadır [12].

Tüm faktörlerin sabit seviyeli olduğu ve etkileşimlerin önemsiz olduğu durumlarda standart Ortogonal Diziler (OD) kullanılmaktadır. Faktörlerin karışık seviyeli olduğu ve etkileşimlerin incelendiği durumlarda OD'lerin modifiye edilmesi gerekmektedir.

İçerisinde çok sayıda faktörün olduğu ilk deney tasarımı planının geliştirilmesi İngiliz Sir R. A. Fisher tarafından 1920 yılında yapılmıştır. Bu metot genelde faktöryel tasarım olarak bilinir. Tam faktöryel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Çoğu endüstriyel deney genellikle çok sayıda faktör içerir. Tam faktöryel tasarımda çok geniş bir deney seti incelenir. Örneğin tam faktöryel tasarımda 7 faktörlü ve her bir faktörün 2 seviyeli olduğu bir deney için tam 128 (2^7) deneye ihtiyaç vardır [12].

Kısmi faktöryel tasarımda deney sayısını azaltmak için tüm kombinasyonlar arasından belirli grup seçilerek o grup üzerinde inceleme yapılır. Kısmi faktöryel tasarım iyi bir kestirme yol olarak bilinse de uygulamalar ve analiz için belirli kuralı yoktur.

Taguchi metodu bu konuda iki önemli boşluğu tamamlamaktadır.

Bunlar;

I. Deney koşullarına uygun olarak seçilebilecek OD'ler net bir şekilde tanımlanmıştır.

II. Sonuçların analizinde standart metotlar belirlenmiştir [12].

Taguchi yaklaşımı standart deney tasarımı tekniklerinin ve analiz metotlarının bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon diğer istatistiksel metotlarda nadiren bulunan tutarlılık ve yeniden üretilebilirlik özelliklerini taşımaktadır.

Şimdi deney kombinasyonlarının nasıl oluştuğunu anlamada fayda vardır. Örneğin tek bir A(sıcaklık) faktörü ile ilgilendiğimizi düşünelim. A faktörünün eğer 2 seviyesi varsa (200°C ve 400°C) her iki seviye içinde ayrı ayrı deneme yapmak gerekir.

Faktör A: Seviye 1 = A_1 (200°C) Seviye 2 = A_2 (400°C)

Faktör sayısını 2'ye çıkardığımızda ve her bir faktörde 2 seviye olduğu durumda, kombinasyon sayısı aşağıda gösterildiği şekilde 4^1 e çıkar.

$A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1, ve A_2B_2$

Faktör sayısı 3 ve her biri 2 seviyeli olduğu durumda $2^3=8$ deneme ile karşı karşıya kalırız. Bunlar;

$A_1B_1C_1, A_1 B_1C_2, A_1B_2C_1, A_1B_2C_2, A_2B_1C_1, A_1B_1C_2, A_2B_2C_1, A_2B_2C_2$

Görüldüğü gibi bütün kombinasyonların denendiği tam faktöryel tasarımda, faktör seviyesi arttıkça, deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır. Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöryel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları Tablo 4.1. de verilmiştir. Burada deney sayılarındaki farklılık bariz bir şekilde görülmektedir [12].

Tablo 4.1. Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar [12]

Faktör	Seviye	Deney Sayıları	
		Tam Faktöryel Tasarım	Taguchi Metodu
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
15	2	$32768(2^{15})$	16
4	3	$81(3^4)$	9

4.5.2. Deney dizaynı

Deney dizaynı içerisinde geçen dizayn kelimesi zihinsel olarak yapılan proje veya planları ifade etmektedir. Dizayn farklı koşullarda gerçekleştirilebilir. Mühendislikte dizayn denildiği zaman genelde ürün dizaynı ve proses dizaynı akla gelir [13].

Deney dizaynı yapılmadan önce ürün ve proses hakkında mutlaka yeterli bilgiye sahip olunmalıdır. Deneyde kullanılacak faktörlerin ve onların çıktı üzerine etkileri tanımlanmalıdır. Faktörler hakkında ayrıntılı bir bilgiye sahip olmak için genelde o konu ile ilgili tüm insanlardan bilgi alınır. Taguchi tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin tespit edilmesi için beyin fırtınası tekniğini önemli bir adım olarak görmüştür.

Taguchi dizaynı seçilirken;

- Kontrol faktörü sayısı
- Her bir faktörün seviye sayısı
- Deney çalıştırma sayısı ve
- Diğer şartların sisteme etkileri (maliyet, zaman, üretebilme durumu) göz önüne alınır.

Deneyleer statik ve dinamik sonuçlu olmak 2 türlü yapılabilmektedir. Statik sonuçlu deneyleerde kalite değişkenleri sabit seviyeliidir. Dinamik sonuçlu deneyleerde ise kalite değişkenleri verilen değer aralıklarındadır [13].

4.5.2.1. Statik sonuçlu dizayn

Taguchi metodunun başlıca 2 amacı vardır. Bunlar;

- Kalite değişkenini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak,
- Varyansı, yani hedef değerden sapmayı minimize etmektedir.

Statik sonuçlu dizaynlar kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu dizaynlardır. Bu tür dizaynlarda hedef değerden sapmayı minimize etmek için bir değişim ölçüsü gerekmektedir. İşte bu noktada Taguchi deney sonuçları arasındaki farklılığı minimize etmek için S/N (Signal/Noise) oranlarını geliştirmiştir.

Statik bir dizaynda Taguchi tarafından belirlenmiş S/N oranları, sistemden istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu aşamada iyi bir mühendislik bilgisi ve sistemin iyi analiz edilmesi çok önemlidir. Seçilebilecek S/N oranları Tablo 4.2.'de verilmiştir [13].

Tablo 4.2. Taguchi'nin sinyal/gürültü oranları [12]

Seçim	Amaç	Sonuç
En Büyük En İyi $S/N = -10 \left(\log \left(\sum \left(\frac{1}{Y^2} \right) / n \right) \right)$	Sonucun maximize edilmesi	Pozitif
Hedef Değer En İyi $S/N = -10 \left(\log(s^2) \right)$	Sadece standart sapmanın azaltılması	Pozitif, sıfır yada negatif
Hedef Değer En İyi $S/N = 10 \left(\log(\bar{Y}^2) / s^2 \right)$	Standart sapmanın ve ortalamasının belli bir hedef değerde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır
En Küçük En İyi $S/N = -10 \left(\log(\sum Y^2 / n) \right)$	Sonucun minimize edilmesi	Pozitif

4.5.2.2. Dinamik sonuçlu dizayn

Kalite değişkeninin sabit bir sayı değil de, belirli bir değer aralığında olduğu dizaynlardır. Dinamik sonuçlu bir deney, işleme başlama anı ile sonuç arasındaki fonksiyonel ilişkiyi analiz etmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anına bağlı olarak belirli değerler aldığı durumlarda kullanılır. Buna Örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama anı, otomobilin gaz pedalına basılmasıdır ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik dizaynlarda mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır [13].

4.5.3. Uygulama prosedürleri

Taguchi metodunun uygulama prosedürleri sırasıyla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- I. Problemin belirlenmesi.
- II. Hedeflerin belirlenmesi.
- III. Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi.
- IV. Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi.
- V. Faktörlerin kontrol ve hata faktörleri olarak ayrılması.
- VI. Etkileşimlerin belirlenmesi.
- VII. Uygun ortogonal dizinin seçimi.

VIII. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması.

IX. Deneylein yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.

X. Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi.

XI. Doğrulama deneyinin yapılması [12].

4.5.3.1. Problemin belirlenmesi

Bilimsel bir problem çözmeye çalışmasında belki de en önemli aşama problemin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Çünkü işin başında yapılan bir yanlışlık sonrasında tüm çalışmanın boşa gitmesine neden olabilir. Problemlerin tespit edilmesinde özellikle müşteri şikayetleri ve ilgili mühendislik birimlerinin görüşleri alınmalıdır.

Problemin tespiti çalışmalarında öncelikle daha önceden belirlenmiş kalite değişkenleri kullanılır. Eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha da hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itibar kaybı, maliyetlerin artması, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasında maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek zordur. Tesirleri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi'nin üzerinde özellikle durduğu kayıplar da esasen uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen bu tür kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıptan haline dönüşür. Dolayısı ile hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir.

Problemler daha önceden tespit edilen büyük problemler olabileceği gibi, Japonların kaizen (sürekli iyileştirme) felsefesince tespit edilen küçük

problemlerde olabilir. Unutulmamalıdır ki başlangıçta küçük gibi gözükken bir problem, ilerde büyük sorunlara yol açabilir [12].

4.5.3.2. Hedeflerin belirlenmesi

Her işletmenin kendine göre belli hedefleri vardır. Bunlar belli bir üretim sayısına ulaşmak, müşteri beklentilerini karşılamak, maliyeti düşürmek vb. olabilir. Bu noktada Taguchi metodunun uygulandığı bir yerde de başlıca iki hedef vardır. Bunlar kalite değişkeninin istenilen değere getirilmesi ve varyasyonun düşürülmesidir [12].

4.5.3.2.1. Varyasyon

Kalite konularına ilişkin olarak varyasyon, hedef değerden sapma olarak tanımlanabilir. Üretim faktörleri deneyde belirtilen seviyelerde yapıldığı takdirde, bu değişkenlerin ortalama değeri optimize olacaktır. Fakat ürünün kalitesi, grup ortalamasından daha çok, grup dağılımıyla temsil edilir. Örneğin, kaynak mukavemetinin ortalama değeri, minimum spesifikasyon sınırının üstünde olduğu halde, grubun önemli bir yüzdesi (%30-%40 gibi) muayeneyi geçemeyip reddedilebilir [13].

4.5.3.3. Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi

Ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli ve kalitesini belirleyen özelliklerine kalite değişkeni denir.

Bu aşamada hedeflenen kalite değişkenleri belirlenir. Ayrıca kalite değişkenlerinin ölçümü için gerekli aletlerin seçimi ve ölçme metotları ilgili mühendislik birimlerine başvurularak belirlenir [13].

4.5.3.4. Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi

Faktörlerin seçimi ve faktör seviyelerinin tespiti işlemi, o işle uğraşan kişiler ve o alanda uzmanlaşmış teknik personel tarafından yapılır. Bu aşamada en iyi yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Ayrıca akış şeması ve sebep-sonuç diyagramlarının da incelemesi faktör ve faktör seviyelerinin belirlenmesinde büyük fayda sağlar.

Beyin fırtınası, işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip, her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin toplantıya her seviyeden iş gören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metot kullanılarak kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metotlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmaktadır [12].

4.5.3.5. Etkileşimlerin belirlenmesi

Taguchi Dizaynları esas olarak faktörlerin ana etkileri üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır. Fakat istenirse 2 yönlü etkileşimler üzerinde de çalışılabilir.

İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğereine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu durum $A*B$ şeklinde gösterilir. Örneğin sıcaklıkla nem arasında insan rahatlığı açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki bir artış küçük bir rahatsızlık verebilir fakat nem artıkça rahatsızlık daha fazla artar.

Deneyler yapılmadan önce faktörler arasında etkileşim olup olmadığı sadece o zamana kadar elde edilmiş bilgi ve tecrübelerle tahmin edilebilir. Bu noktada çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tüm sonucu etkileyecek yanlış kararlar alınabilir [12].

4.5.3.6. Uygun ortogonal dizinin seçimi

4.5.3.6.1. Ortogonal diziler

Ortogonal düzen ilk kez 1897’de Fransız matematikçi, Jacques Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur. Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağını belirler.

Ortogonal düzenin en önemli özelliği, bir çok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir. Normal 2^k faktörlü bir deneysel tasarım kurulacaksa Tam Faktöryel tasarım gereği 2^k adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Kademelerden biri değiştirilip diğeri sabit tutularak deney yürütülür. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirdi ve bu planların vereceği sonuçla 2^k denemenin sonuçları arasında bir fark olmayacağını iddia etti. Bu iddiasında haklı olduğunu da çalışmalarıyla pratik olarak gösterdi. Söz konusu standart deneme planlarının esası eşzamanlı olarak bir kaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında çok aşın bir azalma yapmasına dayanmaktadır. Örneğin yedi faktörün tespit edildiği bir deney için $2^7=128$ adet denemeyi gerçekleştirme gerekir. Halbuki Taguchi bunun için 8 denemeyi yeterli görmektedir. Bunu şöyle açıklayabiliriz. Tablo 4.3’de 2 deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir. Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır. Halbuki Taguchi dizaynına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4’ü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4’ü 2.seviyede, 3’ü 1. seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme gerekli bilgiyi verebilmektedir. Sonuçta Taguchi’nin teklifi çok önemli bir maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir.

Tablo 4.3. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları [12]

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
:	:	:	:	:	:	:	:
128	2	2	2	2	2	2	2

2^k Dizaynı

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi Dizaynı

Bu dizilere her faktörde eşit miktarda farklı seviye bulundurduğu için ortogonal dizi denilmektedir. Ortogonal diziler 2 seviyeli, 3 seviyeli ve 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birine uydurmak gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2_seviyeliler için L4, L8, L12 ve L32 iken 3 seviyeliler için L9, L18, L27 dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık kullanıldığı dizilerden bazıları L18, L36, L54 dizileridir [12].

4.5.3.6.2. Ortogonal dizi seçimi

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karşılık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

V_{A*B} : A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

k_A : A faktörü seviye sayısı

$$V_A = k_A - 1 \qquad V_{A*B} = (V_A)(V_B)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

V_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N : Dizideki toplam deney sayısı

$$V_T = N - 1$$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir.

4.5.3.7. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması

Kontrol ve etkileşimlerin sütunlara atanmasında öncelikle etkileşimlerin atanması yapılır. Çünkü bazı sütunlar etkileşim olan diğer sütunlarla karıştırılabilir. Yani bağımsız olarak değerlendirilemeyebilir. Ayrıca iki yönlü etkileşimlerin incelenebilmesi için bazı sütunlara faktör atanmaz ve boş bırakılır.

Etkileşimlerin sütunlara atanmasında etkileşim tabloları kullanılır. Etkileşim tabloları etkileşimlerin olduğu sütunları gösterir. Her bir Taguchi dizaynı için ayrı bir etkileşim tablosu vardır [12].

4.5.3.8. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi

Ortogonal dizinin sütunlarına faktörler yerleştirildikten sonra deney planı kurulmuş olur ve deneyleri gerçekleştirmek için gerekli fiziksel şartlar sağlanır. Bu aşamadan sonra deneylerin hangi sırayla yapılacağına karar vermek gerekir [12].

4.5.3.8.1. Deneylerin yapılış sırası

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılır. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir. Rassallaştırma denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de belli bir rastgelelikte yapılmasıdır.

Denemelerden oluşan testlerin uygulanış sırası rassallık içermelidir. Böylece deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek, fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek mümkündür.

Rassallaştırma çeşitli yöntemlerle yapılabilir. En çok kullanılan yöntemler;

- Tamamen rassallaştırma,
- Basit tekrar
- Bloklar içinde tamamen rassallaştırmadır .

Tamamen rassallaştırma yönteminde, ilk olarak istenilen deney yapılır. Sonrasındaki deneyler rasgele sayılar tablosu kullanılarak belirlenen deney sırasıyla yapılır. Tekrarlar söz konusu olduğunda bir test tamamlanana kadar tüm

deneyler rassal olarak seçilir ve ikinci tekrar yapılırken deney sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Deneyler tamamlanıncaya kadar bu yöntem uygulanır.

Basit tekrarda da tüm deneyler ilk test olarak seçilebilmek için eşit şansa sahiptir. Fakat diğerinden farkı, tekrarlar söz konusu olduğunda, seçilen deney için gerekli tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deneylerin hazırlanışının zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir [12].

4.5.3.8.2. Deneylerin tekrarlanma sayısı

Deneylerin yapılabilmesi için her deneme için en azından bir deney yapılmalıdır. Fakat tek gözlem, sonuçlardaki olabilecek değişkenliği temsil etmez. Her bir deneme için birden fazla deney yapılması ile yığının ortalamasında meydana gelebilecek küçük değişkenlerin saptanabilmesi sağlanacaktır. Bazı deneylerde deneme çalışmaları kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde tekrarlanmaktadır. Bazıları ise yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, eğer testler çok pahalı ise bir deneme için bir test yapılır, testler pahalı değilse bir deneme için birden fazla deney yapılır.

Deney sonuçlarının kaydedilmesinde en iyi yöntem, bilgisayar ortamında hazırlanan formların kullanılmasıdır. Örneğin Minitab Release 14 paket programı, deneyde kullanılması düşünülen dizayn, ilgili menüden girildiği takdirde, deney sonuçlarının kaydedilmesi için hazır bir form vermektedir [12].

4.5.3.9. Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi

Faktörlerin incelenip, en uygun faktör seviyelerinin tespit edilmesi için beş yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- I. Gözlem metodu
- II. Sıralama metodu

- III. Sütun farkları metodu
- IV. Varyans analizi metodu ve
- V. Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi (FEGG) metodudur.

Bu metotlardan ilk ikisi önemli ve de verimli sonuç veremedikleri için pek kullanılmamaktadır [12].

4.5.3.10. Doğrulama deneyinin yapılması

Bu son aşamada deney, seçilen en iyi şartlar altında bir kaç defa tekrarlanır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapması bulunur. Sonuçta;

- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlere yakınsa, daha doğrusu deney istenilen sonuçları vermeye başlamışsa çalışmayı sona erdiririz. Bulduğumuz sonuçları en uygun değerler olarak kabul ederiz.
- Eğer doğrulama deneyi sonucunda elde ettiğimiz değerler, tahmini değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık var demektir. Bu durumda proses yeni baştan tekrar incelenip hatalar tespit edilmeye çalışılır. Modelde geri besleme ile elde edilen bilgiler doğrultusunda uygun değişiklikler yapılarak model tekrar çalıştırılır [12].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Giriş

Kalite mühendisliğinin temel amacı karı arttırmaktır. Kalitesi artan bir ürünün, rekabet edebileceği bir fiyatla pazara sürülmesi, pazarda büyük bir pay alınmasında anahtardır. Öncelikle ürün tasarımının ve proses hattının hedeflenen kalite için, yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Ürün ve proses performansını, kontrol edilmesi güç hata faktörlerine karşı duyarsızlaştırarak, ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle geliştiren Taguchi Metodu; klasik deney tasarımının Prof. Dr.G.Taguchi tarafından yeniden düzenlenmiş halidir. Uygulamalarda Taguchi Metodunun yoğun olarak kullanılma nedeni; sunduğu alternatif yöntemler, problemlere adapte edilebilirliği, kısa zamanda pratik ve somut çözümlere ulaşılabilme vb. özelliklerdir.

Yıllardır istenen ürün performansına ulaşmada, yüksek maliyetin gerektiğine inanan mühendisler, teknik elemanlar, sistem tasarımı aşamasından, tolerans tasarımı aşamasına geçmişlerdir. Bu iki aşama arasındaki, kalite ve maliyetler açısından yüksek kazanç sağlayacakları, parametre tasarımı safhasını kullanmamışlardır [14].

Uygulama safhası, Taguchi Metodunun parametre tasarımı safhasında gerçekleştirilmiştir. Parametre tasarımı için gerekli aşamaların incelenebileceği örnek uygulama parçaları olarak, sekizgen kutu kapağı ve diyafram tablası seçilmiştir.

Uygulama parçalarımızdan sekizgen kutu kapağı Bes Plastik San. Tic. Ltd. Şti. de ve diyafram tablası da Aygaz tesislerinde üretilmiştir.

5.2. Kullanılan Plastik Malzemeler

Deneysel parçaların kalıplanmasında sekizgen kutu kapağı için kristal polistiren ve diyafram tablası için de alçak yoğunluklu polietilen kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin genel özellikleri aşağıdaki tablolarda detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Sekizgen kutu kapağı için kullanılan malzemenin özellikleri

Ticari İsmi	NOVA 3504 Kristal PS
Yoğunluk	1,04 gr/cm ²
Elektrik İletkenliği (σ)	10 ⁻¹⁶ S/m
Termal İletkenlik	0,08 W / m.K
Özgül Isı	1,3 kJ / kg.K
Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g)	95°C
Erime Akış İndisi	16,5 g / 10 dk
Çekme Mukavemeti	36 MPa
Elastik Modülü (E)	3,1 GPa
Eriyik Sıcaklığı	190-274°C
Kalıp Sıcaklığı	38-82 °C

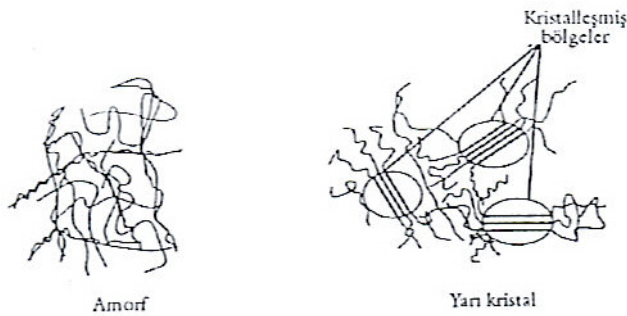
Tablo 5.2. Diyafram tablası için kullanılan malzemenin özellikleri

Ticari İsmi	BASEL LUPOLEN 3010 K LDPE (Amorf)
Yoğunluk	0,921gr/cm ²
Elektrik İletkenliği (σ)	Min. 1e + 0,15 ohm - cm
Termal İletkenlik	0,3 W / m.K
Özgül Isı	2,2 J / g.°C
Camsı Geçiş Sıcaklığı (T_g)	86°C
Erime Akış İndisi	16,5 g / 10 dk
Çekme Mukavemeti	13 MPa
Elastik Modülü (E)	0,35 GPa
Eriyik Sıcaklığı	114°C
Kalıp Sıcaklığı	33 °C

5.2.1. Termoplastiklerin molekül yapıları

Bir termoplastik, ısı ile şekillendirilebilen yapay bir malzemedir ve lineer zincir biçimindeki makro moleküllerden oluşur. Bunlar kuvvetli atom bağlarına sahiptirler. Fakat moleküllerin birbirleri ile bağlantıları zayıftır. Artan sıcaklık ile moleküller arasındaki bağlantı gittikçe azalarak, zincir moleküllerin birbirleri boyunca kayabilmeleri kolaylaşır. Bu nedenle, termoplastikler artan sıcaklık ile elastik durumdan, plastik hamur haline hatta sıvı hale geçerler ve soğutulduklarında yeniden katılışır [24].

Termoplastikler makromoleküllerin rasgele veya belli bölgelerde düzenli bir şekilde bulunmalarına göre de farklılaşırlar. Eğer makro moleküllerin dizilişi rasgele ise bu tür malzemeler amorf olarak adlandırılır. Bazı bölgelerde makro moleküllerin düzenli bir şekilde bulunduğu termoplastikler ise yarı kristalize olarak adlandırılırlar. Makromoleküller birbiri üzerinde dolandıkları veya karışık halde buldukları için tam olarak kristalizasyon mümkün değildir. Bunun anlamı kristalize olmuş bölgeler arasında halen amorf bölgelerinde bulunuyor olmasıdır. Kristalize olmuş bölgelerin tüm yapıya oranı kristalize olma derecesi olarak tanımlanır ve bu oran işlem esnasında işlem şartlarından etkilenebilir. Kristalize olma derecesi büyük oranda malzemenin kendisine bağlıdır. Daha basit zincir yapısında olan malzemeler daha yüksek oranda kristalize olabilirler. Ayrıca plastikler, üretim işlemi parametrelerine bağlı olarak amorf veya yarı kristalize olarak üretilebilirler. Üretim işlemine göre amorf ve yarı kristalize plastikler farklı özelliklere sahiptirler ve aynı zamanda farklı performans özellikleri gösterirler [5].



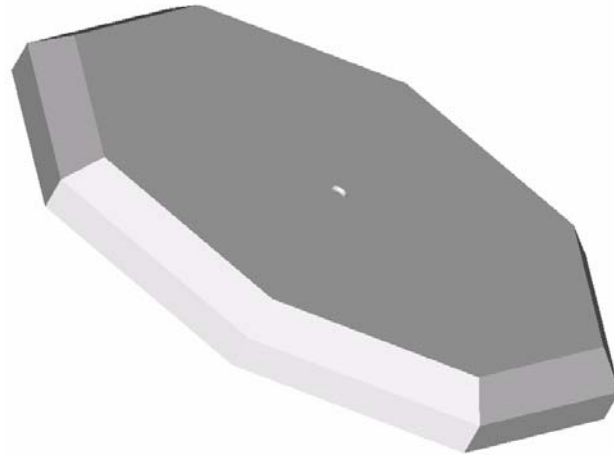
Şekil 5.1. Amorf ve yarı kristal termoplastiklerin molekül yapıları [5]

5.3. Analiz Çalışması

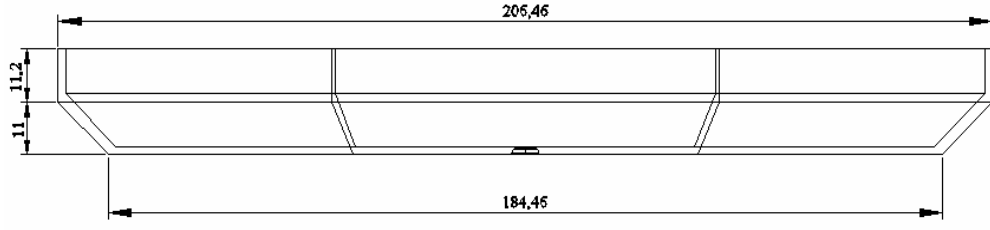
Plastik enjeksiyon teknolojisiyle imal edilmiş ürünlerde çekme miktarının ve parça ağırlıklarının çekmeye olan etkisinin araştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada sekizgen kutu kapağı ve diyafram tablası incelenecek parçalar olarak seçilmiştir. Şekil 5.2. ve şekil 5.5. de parçalara ait resimler, şekil 5.3. ve şekil 5.6. de parçaların katı modelleri, şekil 5.4. ve şekil 5.7.'de ise parçalara ait teknik resimler gösterilmektedir. Şekil 5.8. ve şekil 5.9.'de ise parçalara ait kalıp resimleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Sekizgen kutu kapağının görünüşü



Şekil 5.3. Sekizgen kutu kapağının katı modellenmesi



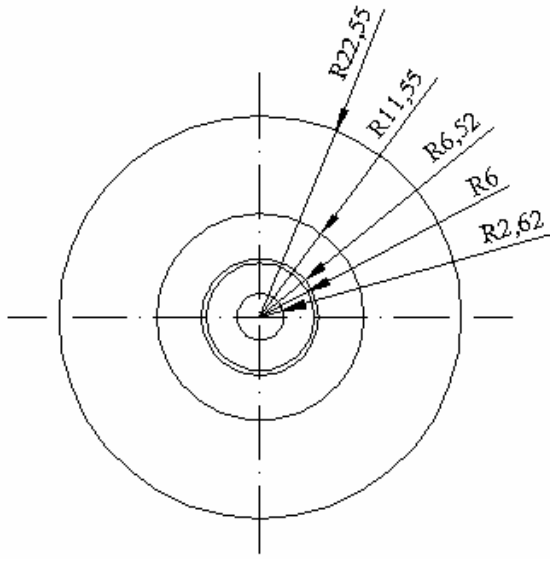
Şekil 5.4. Sekizgen kutu kapağının ölçülendirilmesi



Şekil 5.5. Diyafram tablasının görünüşü



Şekil 5.6. Diyafram tablasının katı modellenmesi



Şekil 5.7. Diyafram tablasının ölçülendirilmesi

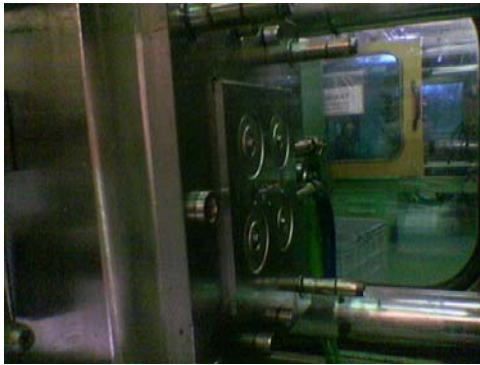


(a)



(b)

Şekil 5.8. Sekizgen kutu kapağına ait erkek ve dişi kalıp yarımları



(a)



(b)

Şekil 5.9. Diyafram tablasına ait erkek ve dişi kalıp yarımları

Sekizgen kutu kapağı Haitian firmasının HTF-X160 modeli 160 ton kapama kuvvetinde ve 291 gr parça ağırlığı kapasiteli plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiştir.

Diyafram tablası ise Nur-Mak firmasının 40 ton kapama kuvvetinde ve 125 gr parça ağırlığında baskı kapasiteli plastik enjeksiyon makinesinde üretilmiştir.



şekil 5.10. Sekizgen kutu kapağının üretildiği plastik enjeksiyon makinası



şekil 5.11. Diyafram tablasının üretildiği plastik enjeksiyon makinası

Taguchi analizi çekmeye ve parça ağırlıklarına etki eden parametrelerin etki yüzdeleri ve değerlerini belirlemek için yapılmıştır. Sonuç olarak da her iki parça için en uygun parametre-seviye kombinasyonları belirlenmiştir.

Parametreler için;

A: Çalışma Sıcaklığı

- B: Enjeksiyon Basıncı
 C: Tutma Basıncı
 D: Tutma Süresi
 E: Soğuma Süresi kullanılmıştır.

Parametre değerleri 4 seviyeli seçilmiştir. Bu yüzden Taguchi Metodunun L16 (4**5) ortogonal dizisi kullanılarak her iki parçanın üretim şartları oluşturulmuştur.

Tablo 5.3. L16 (4**5) ortogonal dizisi [15]

DENEY SIRASI	FAKTÖR SAYISI				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

5.3.1. Sekizgen kutu kapağı ile ilgili yapılan ölçüm ve çalışmalar

Sekizgen kutu kapağı için belirlenen parametre ve seviyeler tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Sekizgen kutu kapağının Taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

PARAMETRELER	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A: Çalışma Sıcaklığı (°C)	230	245	260	275
B: Enjeksiyon Basıncı (bar)	80	85	90	95
C: Tutma Basıncı (bar)	50	60	70	80
D: Tutma Süresi (s)	1	3	5	7
E: Soğuma Süresi (s)	5	10	15	20

Tablo 5.4.'de belirlenen parametre ve seviyelere uygun Taguchi Metodu'nun L16 (4**5) deney serisi seçilerek tablo 5.5. oluşturulur.

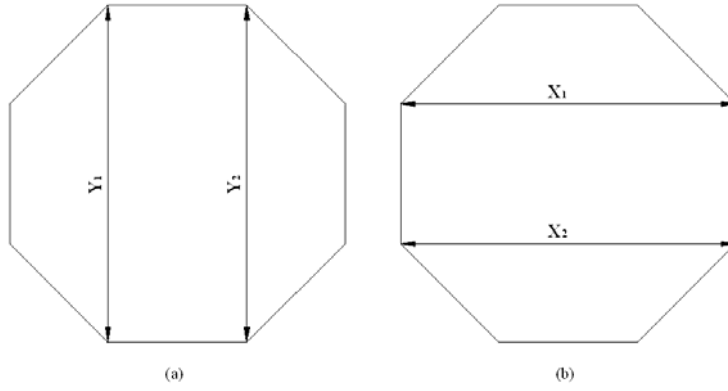
Tablo 5.5.'de gösterilen deney şartları oluşturulduktan sonra üretim gerçekleştirildi.

Üretim esnasında her bir deney şartı için 2 şer adet numune alındı ve her biri ayrı ayrı etiketlenerek tamamen soğuması için tezgah üzerinde beklemeye alındı.

Üretimi yapılan toplam 32 adet parça 7 gün bekletildikten sonra, ağırlık ve boyut ölçümleri yapılmıştır. Ağırlık ölçümleri 1/10000 gr'lık hassas teraziyle, boyut ölçümleri ise 1/100 mm hassasiyetinde dijital kumpas ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.5. Sekizgen kutu kapağı için L16 (4**5) ortogonal dizisine göre deney şartları

DENEY SIRASI	A ÇALIŞMA SICAKLIĞI (°C)	B ENJEKSİYON BASINCI (bar)	C TUTMA BASINCI (bar)	D TUTMA SÜRESİ (s)	E SOĞUMA SÜRESİ (s)
1	230	80	50	1	5
2	230	85	60	3	10
3	230	90	70	5	15
4	230	95	80	7	20
5	245	80	60	5	20
6	245	85	50	7	15
7	245	90	80	1	10
8	245	95	70	3	5
9	260	80	70	7	10
10	260	85	80	5	5
11	260	90	50	3	20
12	260	95	60	1	15
13	275	80	80	3	15
14	275	85	70	1	20
15	275	90	60	7	5
16	275	95	50	5	10



Şekil 5.12. Sekizgen kutu kapağı için ölçüm noktaları

Şekil 5.12.'de gösterilen X ve Y düzlemlerinde iki farklı noktadan alınan ölçümler tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Sekizgen kutu kapağı için boyut ölçümleri

DENEY SIRASI	Y ₁ (mm)	Y ₂ (mm)	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	DENEY SIRASI	Y ₁ (mm)	Y ₂ (mm)	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)
1-1	206,68	206,62	206,72	206,71	1-2	206,75	206,69	206,6	206,6
2-1	206,7	206,69	206,73	206,72	2-2	206,69	206,73	206,71	206,68
3-1	206,68	206,66	206,69	206,73	3-2	206,66	206,65	206,75	206,78
4-1	206,55	206,56	206,66	206,68	4-2	206,72	206,7	206,69	206,71
5-1	206,62	206,63	206,76	206,72	5-2	206,69	206,7	206,73	206,7
6-1	206,63	206,64	206,58	206,58	6-2	206,59	206,6	206,61	206,63
7-1	206,34	206,36	206,51	206,55	7-2	206,51	206,53	206,53	206,51
8-1	206,55	206,53	206,73	206,75	8-2	206,39	206,41	206,47	206,52
9-1	206,66	206,63	206,73	206,72	9-2	206,63	206,6	206,63	206,66
10-1	206,62	206,59	206,65	206,62	10-2	206,66	206,65	206,55	206,53
11-1	206,58	206,6	206,6	206,61	11-2	206,58	206,62	206,58	206,59
12-1	206,58	206,54	206,49	206,46	12-2	206,42	206,41	206,64	206,67
13-1	206,53	206,49	206,54	206,5	13-2	206,44	206,44	206,61	206,64
14-1	206,44	206,45	206,58	206,54	14-2	206,52	206,53	206,54	206,58
15-1	206,49	206,45	206,49	206,48	15-2	206,59	206,58	206,62	206,64
16-1	206,57	206,59	206,53	206,56	16-2	206,54	206,56	206,6	206,59

Boyut ölçümleri yapılan 32 parça, hassas terazide tartılarak ölçüm değerleri ve ölçüm değerlerinin ortalamaları tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Sekizgen kutu kapağı için ağırlık ölçümleri ve ortalama değerleri

DENEY SIRASI	AĞIRLIK (gr)	DENEY SIRASI	AĞIRLIK (gr)	ORT. AĞIRLIK (gr)
1-1	72,2716	1-2	72,024	72,1478
2-1	71,5702	2-2	71,3693	71,46975
3-1	71,1555	3-2	71,7327	71,4441
4-1	69,9302	4-2	72,203	71,0666
5-1	71,5419	5-2	71,1579	71,3499
6-1	70,1017	6-2	70,3002	70,20095
7-1	68,248	7-2	69,4765	68,86225
8-1	70,6791	8-2	68,128	69,40355
9-1	71,9518	9-2	71,1752	71,5635
10-1	70,8831	10-2	71,1595	71,0213
11-1	69,8293	11-2	69,8907	69,86
12-1	68,482	12-2	69,2715	68,87675
13-1	68,4764	13-2	68,9855	68,73095
14-1	67,6757	14-2	67,7448	67,71025
15-1	67,4097	15-2	70,0887	68,7492
16-1	69,5094	16-2	69,5952	69,5523

Yukarıdaki tablolarda belirtilen;

1-1 : 1.Üretim şartında üretilen 1. deney numunesini,

1-2 : 1.Üretim şartında üretilen 2. deney numunesini göstermektedir.

Diğer etiket ifadeleri de aynı mantığa göre verilmiştir.

Sekizgen kutu kapağı'nın x ve y yönündeki ölçüleri aynı olup üretici firma tarafından kalıp ölçüleri;

X = Y = 207,21 mm olarak verilmiştir.

Yukarıda ki ölçümler yapıldıktan sonra x ve y yönünde ayrı ayrı boyut ölçümlerinin ortalama değerleri hesaplanarak tablo 5.8. oluşturulur.

Tablo 5.8. Sekizgen kutu kapağı için boyut ölçümlerinin ortalama değerleri

DENEY SİRASI	Y_{1ort.} (mm)	Y_{2ort.} (mm)	Y_{ort.} (mm)	X_{1ort.} (mm)	X_{2ort.} (mm)	X_{ort.} (mm)
1	206,715	206,655	206,685	206,66	206,655	206,6575
2	206,695	206,71	206,7025	206,72	206,7	206,71
3	206,67	206,655	206,6625	206,72	206,755	206,7375
4	206,635	206,63	206,6325	206,675	206,695	206,685
5	206,655	206,665	206,66	206,745	206,71	206,7275
6	206,61	206,62	206,615	206,595	206,605	206,6
7	206,425	206,445	206,435	206,52	206,53	206,525
8	206,47	206,47	206,47	206,6	206,635	206,6175
9	206,645	206,615	206,63	206,68	206,69	206,685
10	206,64	206,62	206,63	206,6	206,575	206,5875
11	206,58	206,61	206,595	206,59	206,6	206,595
12	206,5	206,475	206,4875	206,565	206,565	206,565
13	206,485	206,465	206,475	206,575	206,57	206,5725
14	206,48	206,49	206,485	206,56	206,56	206,56
15	206,54	206,515	206,5275	206,555	206,56	206,5575
16	206,555	206,575	206,565	206,565	206,575	206,57

Daha sonra, ortalama çekme (mm) ve ortalama çekme (%) değerleri formül (3.1) ve formül (3.2) kullanılarak hesaplanır.

Tablo 5.9. Sekizgen kutu kapağı için ortalama boyut ölçülerinin çekme değerleri

DENEY SIRASI	ΔY_1 (mm)	ΔY_2 (mm)	$Y_{ort.}$ (mm)	ΔX_1 (mm)	ΔX_2 (mm)	$X_{ort.}$ (mm)
1	0,495	0,555	0,525	0,55	0,555	0,5525
2	0,515	0,5	0,5075	0,49	0,51	0,5
3	0,54	0,555	0,5475	0,49	0,455	0,4725
4	0,575	0,58	0,5775	0,535	0,515	0,525
5	0,555	0,545	0,55	0,465	0,5	0,4825
6	0,6	0,59	0,595	0,615	0,605	0,61
7	0,785	0,765	0,775	0,69	0,68	0,685
8	0,74	0,74	0,74	0,61	0,575	0,5925
9	0,565	0,595	0,58	0,53	0,52	0,525
10	0,57	0,59	0,58	0,61	0,635	0,6225
11	0,63	0,6	0,615	0,62	0,61	0,615
12	0,71	0,735	0,7225	0,645	0,645	0,645
13	0,725	0,745	0,735	0,635	0,64	0,6375
14	0,73	0,72	0,725	0,65	0,65	0,65
15	0,67	0,695	0,6825	0,655	0,65	0,6525
16	0,655	0,635	0,645	0,645	0,635	0,64

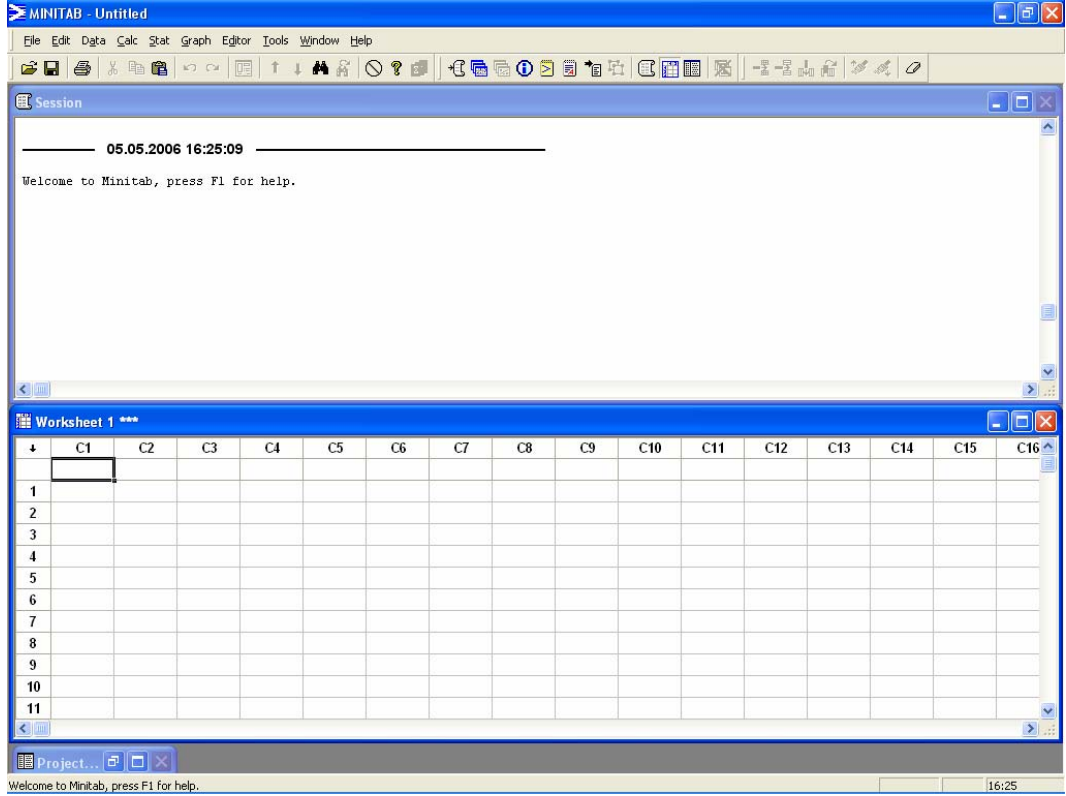
Tablo 5.10. Sekizgen kutu kapağı için ortalama boyut ölçülerinin yüzde çekme değerleri

DENEY SIRASI	ΔY_1 (%)	ΔY_2 (%)	$Y_{ort.}$ (%)	ΔX_1 (%)	ΔX_2 (%)	$X_{ort.}$ (%)
1	0,238888	0,267844	0,253366	0,265431	0,267844	0,266638
2	0,24854	0,241301	0,244921	0,236475	0,246127	0,241301
3	0,260605	0,267844	0,264225	0,236475	0,219584	0,22803
4	0,277496	0,279909	0,278703	0,258192	0,24854	0,253366
5	0,267844	0,263018	0,265431	0,22441	0,241301	0,232856
6	0,289561	0,284735	0,287148	0,2968	0,291974	0,294387
7	0,378843	0,369191	0,374017	0,332996	0,328169	0,330583
8	0,357126	0,357126	0,357126	0,294387	0,277496	0,285942
9	0,27267	0,287148	0,279909	0,255779	0,250953	0,253366
10	0,275083	0,284735	0,279909	0,294387	0,306452	0,30042
11	0,304039	0,289561	0,2968	0,299213	0,294387	0,2968
12	0,342648	0,354713	0,34868	0,311278	0,311278	0,311278
13	0,349887	0,359539	0,354713	0,306452	0,308865	0,307659
14	0,3523	0,347474	0,349887	0,313691	0,313691	0,313691
15	0,323343	0,335409	0,329376	0,316104	0,313691	0,314898
16	0,316104	0,306452	0,311278	0,311278	0,306452	0,308865

5.3.2. Sekizgen kutu kapağı için verilerin Minitab R14 ile taguchi analizinin yapılması

Minitab R14, veri analizi ve sunumu için kapsamlı ve kullanımı kolay bir istatistiksel yazılım paketidir. Birden fazla çalışma sayfasını ve grafiği saklayabilmek, grafikleri bir den fazla formatta kaydedebilmek, ve grafikleri diğer uygulamalara ihraç edebilmek yazılımın özelliklerinden birkaçı. Yeni

başlayanlardan profesyonel şirketlere kadar, dünyanın her yerindeki kalite-uzmanları, temel ve ileri düzeyde istatistik, regresyon ve ANOVA, SPC, DOE, güvenilirlik, ve ihtiyaç duydukları daha pek çok metot için MINITAB'i tercih ediyorlar.

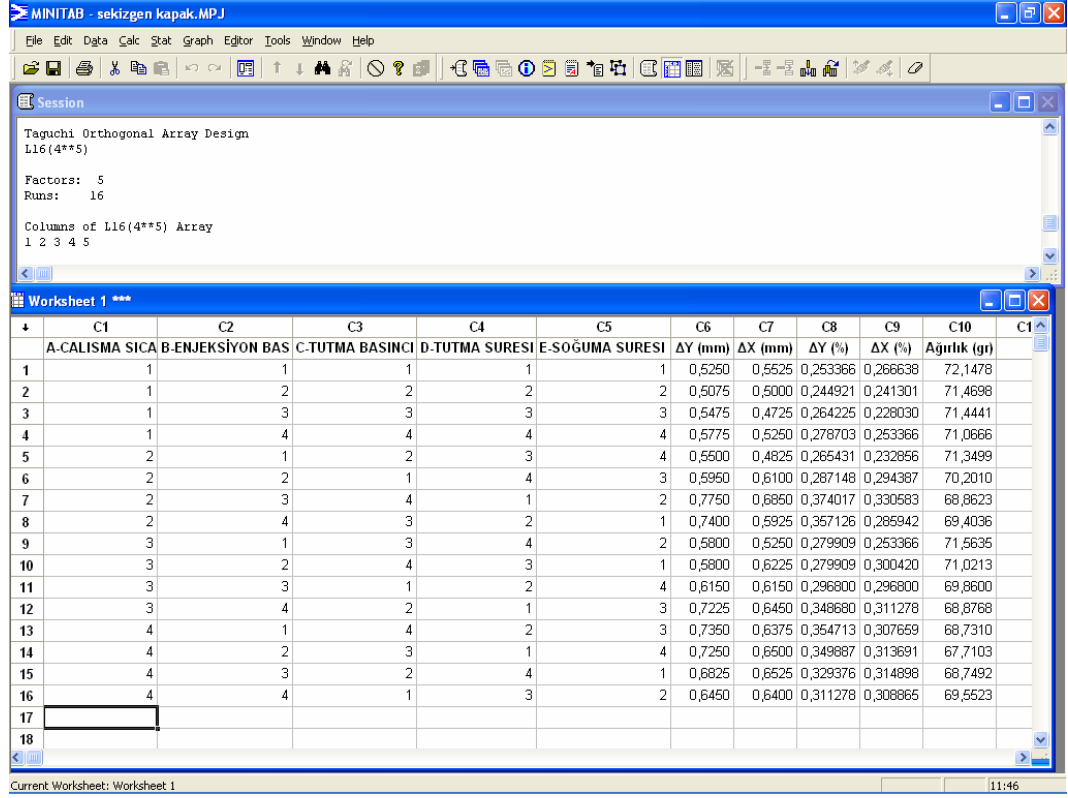


Şekil 5.13. Minitab R14 programının genel görünüşü [15]

Yapılan bu çalışmada da öncelikli olarak belirlenen faktör ve seviyelere uygun olan L16(4**5) deney düzeni aşağıdaki adımlar takip edilerek seçilir.

Stat>DOE>Taguchi>Create Taguchi Design [15,16].

L16(4**5) ortogonal deney düzeni seçildikten sonra ölçüm yapılan veriler çalışma sayfasına girilir.

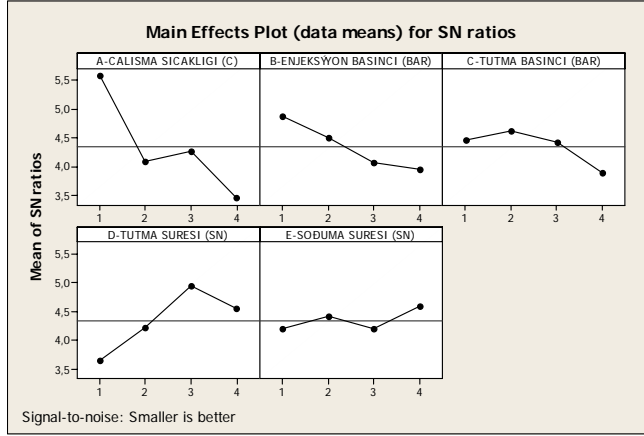


	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	A-CALISMA SICAKLIĞI	B-ENJEKSİYON BASINCI	C-TUTMA BASINCI	D-TUTMA SURESI	E-SOGUMA SURESI	ΔY (mm)	ΔX (mm)	ΔY (%)	ΔX (%)	Ağırlık (gr)	
1	1	1	1	1	1	0,5250	0,5525	0,253366	0,266638	72,1478	
2	1	2	2	2	2	0,5075	0,5000	0,244921	0,241301	71,4698	
3	1	3	3	3	3	0,5475	0,4725	0,264225	0,228030	71,4441	
4	1	4	4	4	4	0,5775	0,5250	0,278703	0,253366	71,0666	
5	2	1	2	2	3	0,5500	0,4825	0,265431	0,232856	71,3499	
6	2	2	1	4	4	0,5950	0,6100	0,287148	0,294387	70,2010	
7	2	3	4	1	2	0,7750	0,6850	0,374017	0,330583	68,8623	
8	2	4	3	2	1	0,7400	0,5925	0,357126	0,285942	69,4036	
9	3	1	3	4	4	0,5800	0,5250	0,279909	0,253366	71,5635	
10	3	2	4	3	1	0,5800	0,6225	0,279909	0,300420	71,0213	
11	3	3	1	2	4	0,6150	0,6150	0,296800	0,296800	69,8600	
12	3	4	2	1	3	0,7225	0,6450	0,348680	0,311278	68,8768	
13	4	1	4	2	3	0,7350	0,6375	0,354713	0,307659	68,7310	
14	4	2	3	1	4	0,7250	0,6500	0,349887	0,313691	67,7103	
15	4	3	2	4	1	0,6825	0,6525	0,329376	0,314898	68,7492	
16	4	4	1	3	2	0,6450	0,6400	0,311278	0,308865	69,5523	
17											
18											

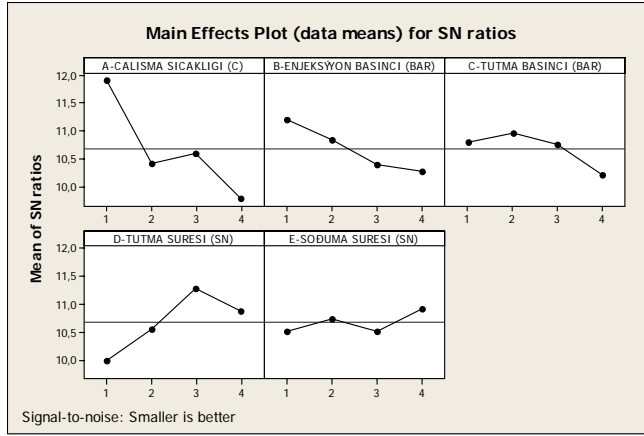
Şekil 5.14. Sekizgen kutu kapağı için L16 (4**5) ortogonal deney düzeninin oluşturulması ve verilerin girilmesi

Bu işlemlerin ardından program analiz yapılmaya uygun hale gelmiştir. Analizler parçanın ağırlığı, % ve milimetre olarak çekme değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Her üç analiz için sonuçlar aşağıda belirtilmiştir. Ancak genel olarak Taguchi analizinin Minitab R14 de nasıl yapıldığını anlamak için çekme (mm) değerleri için şu adımlar takip edilir:

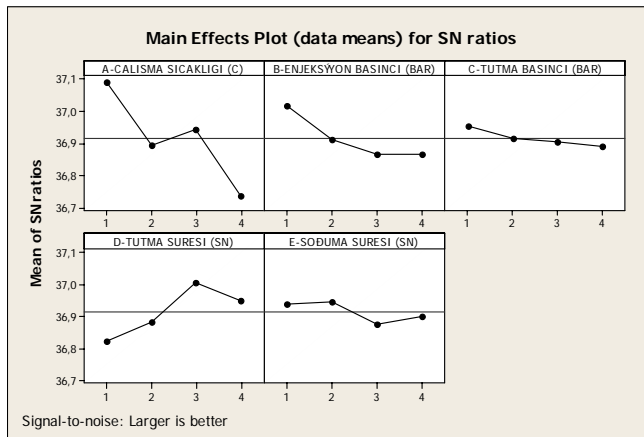
- **Stat>DOE>Taguchi>Analyze Taguchi Design**
- **Response Data> ΔX (mm) ve ΔY (mm) seçilir,**
- **Analysis>Display Response Table for>Signal to Noise Ratio ve Means işaretlenir>OK**
- **Terms>Faktörler, Selected Terms kısmına çift tıklanarak alınır >OK**
- **Options>Smaller is the better>OK>OK [15,16].**



Şekil 5.15. Sekizgen kutu kapağının boyutsal çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Smaller is better : En küçük en iyi)



Şekil 5.16. Sekizgen kutu kapağının yüzde çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Smaller is better : En küçük en iyi)



Şekil 5.17. Sekizgen kutu kapağının ağırlık değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Larger is better : En büyük en iyi)

5.3.3. Diyafram tablası ile ilgili yapılan ölçüm ve çalışmalar

Sekizgen kutu kapağında yapılan ölçüm ve analizler, diyafram tablası için de gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.11. Diyafram tablasının Taguchi analizinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

PARAMETRELER	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A: Çalışma Sıcaklığı (°C)	150	165	180	195
B:Enjeksiyon Basıncı (bar)	60	70	80	90
C: Tutma Basıncı (bar)	40	50	60	70
D: Tutma Süresi (s)	1	3	5	7
E: Soğuma Süresi (s)	5	10	15	20

Tablo 5.11. de belirlenen parametre ve seviyelere uygun Taguchi Metodu'nun L16 (4**5) deney dizisi seçilerek tablo 5.12. oluşturulur.

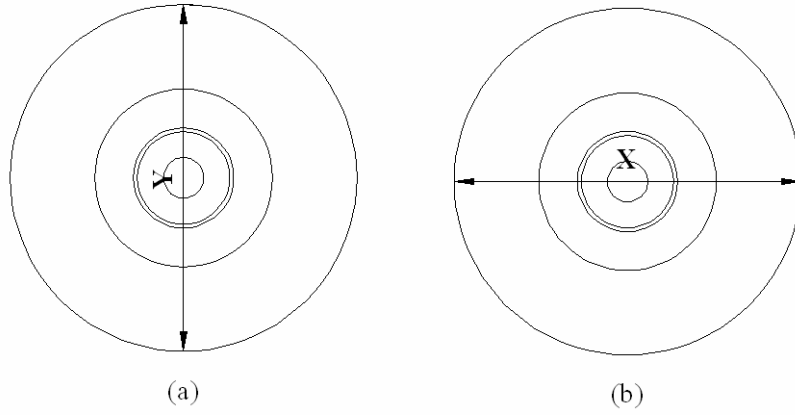
Tablo 5.12. Diyafram tablası için L16 (4**5) ortogonal dizisine göre deney şartları

DENEY SIRASI	A ÇALIŞMA SICAKLIĞI (°C)	B ENJEKSİYON BASINCI (bar)	C TUTMA BASINCI (bar)	D TUTMA SÜRESİ (s)	E SOĞUMA SÜRESİ (s)
1	150	60	40	1	5
2	150	70	50	3	10
3	150	80	60	5	15
4	150	90	70	7	20
5	165	60	50	5	20
6	165	70	40	7	15
7	165	80	70	1	10
8	165	90	60	3	5
9	180	60	60	7	10
10	180	70	70	5	5
11	180	80	40	3	20
12	180	90	50	1	15
13	195	60	70	3	15
14	195	70	60	1	20
15	195	80	50	7	5
16	195	90	40	5	10

Tablo 5.12.'de gösterilen deney şartları oluşturulduktan sonra üretim gerçekleştirildi.

Üretim esnasında her bir deney şartı için 4 kaviteli kalıpta 3 çevrim sonunda 12 şer adet numune alındı ve her biri ayrı ayrı etiketlenerek tamamen soğuması için tezgah üzerinde beklemeye alındı.

Üretimi yapılan toplam 192 adet parça 7 gün bekletildikten sonra, şekil 5.18.'de gösterilen ölçüm noktalarından tablo 5.13. ve tablo 5.14.'de verilen ağırlık ve çap ölçümleri yapılmıştır. Ağırlık ölçümleri 1/10000 gr lık hassas teraziyle, çap ölçümleri ise 1/100 mm hassasiyetinde (0-150 mm) dijital kumpas ile gerçekleştirilmiştir. Çap değerleri, parçanın kalıptaki pozisyonuna göre x ve y yönünde olmak üzere iki farklı düzlemde ölçülmüştür. Şekil 5.18.'de diyafraim tablasının ölçüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Diyafraim tablası için ölçüm noktaları

Tablo 5.13. Diyafram tablası için çap ölçümleri

DENEY SIRASI	1.GÖZ		2.GÖZ		3.GÖZ		4.GÖZ	
	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)
1	44,59	44,55	44,38	44,35	44,46	44,43	44,49	44,47
	44,41	44,45	44,41	44,38	44,44	44,4	44,49	44,44
	44,51	44,47	44,54	44,49	44,54	44,47	44,43	44,41
2	44,61	44,58	44,49	44,41	44,34	44,37	44,53	44,36
	44,54	44,53	44,55	44,5	44,5	44,43	44,5	44,43
	44,51	44,5	44,51	44,43	44,53	44,46	44,62	44,58
3	44,52	44,53	44,51	44,44	44,47	44,44	44,54	44,49
	44,52	44,52	44,58	44,52	44,58	44,56	44,62	44,58
	44,63	44,63	44,42	44,36	44,55	44,5	44,45	44,39
4	44,79	44,76	44,69	44,63	44,81	44,83	44,94	44,97
	44,99	45	44,86	44,87	44,68	44,66	44,97	44,99
	44,36	44,43	44,9	44,92	44,86	44,93	44,74	44,76
5	44,33	44,37	44,68	44,63	44,42	44,34	44,42	44,34
	44,5	44,52	44,37	44,3	44,52	44,46	44,53	44,48
	44,3	44,37	44,51	44,4	44,41	44,36	44,73	44,75
6	44,37	44,35	44,5	44,38	44,04	44,15	44,44	44,33
	44,54	44,54	44,03	44,04	44,54	44,46	44,49	44,41
	44,52	44,53	44,38	44,27	44,43	44,33	44,54	44,47
7	44,45	44,48	44,51	44,38	44,47	44,42	44,49	44,44
	44,46	44,49	44,49	44,38	44,49	44,42	44,48	44,41
	44,56	44,55	44,55	44,44	44,52	44,47	44,48	44,42
8	44,42	44,41	44,43	44,34	44,46	44,4	44,46	44,38
	44,59	44,55	44,22	44,16	44,46	44,38	44,46	44,36
	44,43	44,45	44,46	44,34	44,27	44,24	44,3	44,22
9	44,27	44,35	44,27	44,21	44,39	44,32	44,8	44,78
	44,16	44,3	44,33	44,27	44,32	44,26	44,39	44,32
	44,4	44,47	44,47	44,36	44,67	44,65	44,48	44,42
10	44,39	44,43	44,57	44,46	44,46	44,38	44,38	44,3
	44,37	44,44	44,46	44,33	44,38	44,31	44,47	44,4
	44,25	44,35	44,44	44,31	44,43	44,35	44,43	44,36

Tablo 5.13 (Devam) Diyafram tablası için çap ölçümleri

11	44,47	44,44	43,95	43,93	44,43	44,34	44,45	44,34
	44,55	44,57	44,48	44,37	44,55	44,49	44,49	44,43
	44,41	44,37	44,41	44,29	43,96	44,1	43,98	44,08
12	44,48	44,47	44,49	44,36	44,54	44,5	44,57	44,52
	44,57	44,56	44,47	44,35	44,5	44,41	44,51	44,42
	44,47	44,47	44,55	44,43	44,48	44,42	44,49	44,42
13	44,42	44,49	44,14	44,01	44,42	44,35	44,26	44,15
	44,08	44,2	44,19	44,08	44,52	44,47	44,22	44,09
	44,37	44,41	44,53	44,39	44,22	44,1	44,52	44,46
14	44,16	44,28	44,24	44,1	44,28	44,17	44,47	44,38
	44,14	44,24	44,25	44,12	44,41	44,31	44,4	44,31
	44,31	44,41	44,39	44,26	44,47	44,42	44,29	44,17
15	44,46	44,47	44,52	44,41	44,39	44,27	44,51	44,45
	44,3	44,37	44,3	44,22	44,49	44,4	44,39	44,3
	44,33	44,31	44,48	44,34	44,52	44,47	44,38	44,28
16	44,49	44,46	44,46	44,34	44,38	44,3	44,49	44,41
	44,46	44,45	44,43	44,31	44,46	44,38	44,45	44,34
	44,42	44,41	44,49	44,38	44,5	44,44	44,48	44,4

Tablo 5.14. Diyafram tablası için ağırlık ölçümleri

DENEY SIRASI	AĞIRLIK (gr)			
	1.GÖZ	2.GÖZ	3.GÖZ	4.GÖZ
1	4,5397	4,6449	4,6556	4,6166
	4,5721	4,7047	4,6751	4,6013
	4,5031	4,6549	4,6394	4,5733
2	4,481	4,6328	4,598	4,5533
	4,5446	4,6667	4,5897	4,6167
	4,4916	4,6261	4,5451	4,5478
3	4,5426	4,598	4,6339	4,5626
	4,492	4,631	4,573	4,6148
	4,4915	4,6067	4,6646	4,5944
4	4,8002	4,8694	4,8219	4,6937
	4,622	4,8222	4,6819	4,821
	4,4265	4,7165	4,7772	4,8682
5	4,4105	4,7357	4,5273	4,7134
	4,4126	4,5616	4,5846	4,4802
	4,4802	4,6186	4,5295	4,5416
6	4,4812	4,6134	4,5269	4,4809
	4,4126	4,4575	4,5942	4,5343
	4,4802	4,5611	4,4276	4,5488
7	4,4948	4,606	4,5963	4,5223
	4,4419	4,6261	4,5744	4,5099
	4,4539	4,603	4,5781	4,5102
8	4,4303	4,5858	4,4685	4,4225
	4,5056	4,5853	4,5522	4,5002
	4,4311	4,5026	4,5516	4,499
9	4,3626	4,5926	4,6647	4,6906
	4,4531	4,5003	4,4654	4,4793
	4,4058	4,5418	4,5086	4,5283
10	4,3885	4,6317	4,5235	4,4618
	4,4196	4,5569	4,4909	4,4931
	4,4313	4,5707	4,5378	4,5055

Tablo 5.14 (Devam) Diyafram tablası için ağırlık ölçümleri

11	4,4726	4,5759	4,5418	4,5447
	4,5257	4,4394	4,4111	4,5096
	4,4397	4,6165	4,6161	4,3809
12	4,4698	4,6115	4,5844	4,5779
	4,5099	4,6145	4,5791	4,5303
	4,4732	4,6285	4,5998	4,5434
13	4,4188	4,4585	4,5322	4,4855
	4,4274	4,6267	4,594	4,3878
	4,318	4,4337	4,3997	4,3681
14	4,336	4,4887	4,5201	4,474
	4,3507	4,4742	4,44	4,4059
	4,4065	4,5543	4,5776	4,4665
15	4,4608	4,6415	4,6809	4,5522
	4,4036	4,5408	4,5066	4,4859
	4,416	4,611	4,5774	4,4721
16	4,4469	4,6023	4,5679	4,5404
	4,4738	4,631	4,5141	4,533
	4,4785	4,6165	4,599	4,5498

Diyafram Tablası için kalıp üretici firma tarafından verilen kalıp ölçüleri;

Dış Çap = Φ 45,85 mm dir.

Ölçümler yapıldıktan sonra çap ve ağırlık ölçülerinin ortalama değerleri hesaplanarak tablo 5.15. ve tablo 5.16. oluşturulur.

Tablo 5.15. Diyafram tablası için çap ölçülerinin ortalama değerleri

DENEY SIRASI	1.GÖZ		2.GÖZ		3.GÖZ		4.GÖZ	
	Y _{1ort.}	X _{1ort.}	Y _{2ort.}	X _{2ort.}	Y _{3ort.}	X _{3ort.}	Y _{4ort.}	X _{4ort.}
1	44,5	44,49	44,44	44,41	44,48	44,43	44,47	44,44
2	44,55	44,54	44,52	44,45	44,46	44,42	44,55	44,46
3	44,56	44,56	44,5	44,44	44,53	44,5	44,54	44,49
4	44,71	44,73	44,82	44,81	44,78	44,81	44,88	44,91
5	44,38	44,42	44,52	44,44	44,45	44,39	44,56	44,52
6	44,48	44,47	44,3	44,23	44,34	44,31	44,49	44,4
7	44,49	44,51	44,52	44,4	44,49	44,44	44,48	44,42
8	44,48	44,47	44,37	44,28	44,4	44,34	44,41	44,32
9	44,28	44,37	44,36	44,28	44,46	44,41	44,56	44,51
10	44,34	44,41	44,49	44,37	44,42	44,35	44,43	44,35
11	44,48	44,46	44,28	44,2	44,31	44,31	44,31	44,28
12	44,51	44,5	44,5	44,38	44,51	44,44	44,52	44,45
13	44,29	44,37	44,29	44,16	44,39	44,31	44,33	44,23
14	44,2	44,31	44,29	44,16	44,39	44,3	44,39	44,29
15	44,36	44,38	44,43	44,32	44,47	44,38	44,43	44,34
16	44,46	44,44	44,46	44,34	44,45	44,37	44,47	44,38

Tablo 5.16. Diyafram tablası için ağırlık ölçülerinin ortalama değerleri

DENEY SIRASI	1.GÖZ	2.GÖZ	3.GÖZ	4.GÖZ
	ORT.1 (gr)	ORT.2 (gr)	ORT.3 (gr)	ORT.4 (gr)
1	4,5383	4,668167	4,6567	4,597067
2	4,505733	4,641867	4,5776	4,5726
3	4,5087	4,6119	4,623833	4,5906
4	4,616233	4,8027	4,760333	4,7943
5	4,434433	4,638633	4,547133	4,5784
6	4,458	4,544	4,516233	4,521333
7	4,463533	4,6117	4,582933	4,514133
8	4,455667	4,5579	4,5241	4,4739
9	4,407167	4,5449	4,546233	4,566067
10	4,413133	4,586433	4,5174	4,4868

Tablo 5.16. (Devam) Diyafram tablası için ağırlık ölçülerinin ortalama değerleri

11	4,479333	4,543933	4,523	4,4784
12	4,4843	4,618167	4,587767	4,550533
13	4,388067	4,5063	4,508633	4,4138
14	4,3644	4,505733	4,512567	4,4488
15	4,4268	4,597767	4,5883	4,5034
16	4,4664	4,6166	4,560333	4,541067

Daha sonra, boyutsal çekme (mm) ve % çekme değerleri formül (3.1) ve formül (3.2) kullanılarak hesaplanır.

Tablo 5.17. Diyafram tablası için ortalama çap ölçülerinin çekme değerleri

DENEY SIRASI	1.GÖZ		2.GÖZ		3.GÖZ		4.GÖZ	
	ΔY_1 (mm)	ΔX_1 (mm)	ΔY_2 (mm)	ΔX_2 (mm)	ΔY_3 (mm)	ΔX_3 (mm)	ΔY_4 (mm)	ΔX_4 (mm)
1	1,347	1,36	1,407	1,443	1,37	1,417	1,38	1,41
2	1,297	1,313	1,333	1,403	1,393	1,43	1,3	1,393
3	1,293	1,29	1,347	1,41	1,317	1,35	1,313	1,363
4	1,137	1,12	1,033	1,043	1,067	1,043	0,967	0,943
5	1,473	1,43	1,33	1,407	1,4	1,463	1,29	1,327
6	1,373	1,377	1,547	1,62	1,513	1,537	1,36	1,447
7	1,36	1,343	1,333	1,45	1,357	1,413	1,367	1,427
8	1,37	1,38	1,48	1,57	1,453	1,51	1,443	1,53
9	1,573	1,477	1,493	1,57	1,39	1,44	1,293	1,343
10	1,513	1,443	1,36	1,483	1,427	1,503	1,423	1,497
11	1,373	1,39	1,57	1,653	1,537	1,54	1,543	1,567
12	1,343	1,35	1,347	1,47	1,343	1,407	1,327	1,397
13	1,56	1,483	1,563	1,69	1,463	1,543	1,517	1,617
14	1,647	1,54	1,557	1,69	1,463	1,55	1,463	1,563
15	1,487	1,467	1,417	1,527	1,383	1,47	1,423	1,507
16	1,393	1,41	1,39	1,507	1,403	1,477	1,377	1,467

Tablo 5.18. Diyafram tablası için ortalama çap ölçülerinin yüzde çekme değerleri

DENEY SIRASI	1.GÖZ		2.GÖZ		3.GÖZ		4.GÖZ	
	ΔY_1 (%)	ΔX_1 (%)	ΔY_2 (%)	ΔX_2 (%)	ΔY_3 (%)	ΔX_3 (%)	ΔY_4 (%)	ΔX_4 (%)
1	2,937	2,966	3,068	3,148	2,988	3,09	3,01	3,075
2	2,828	2,864	2,908	3,061	3,039	3,119	2,835	3,039
3	2,821	2,814	2,937	3,075	2,872	2,944	2,864	2,973
4	2,479	2,443	2,254	2,276	2,326	2,276	2,108	2,057
5	3,213	3,119	2,901	3,068	3,053	3,192	2,814	2,893
6	2,995	3,003	3,373	3,533	3,301	3,352	2,966	3,155
7	2,966	2,93	2,908	3,162	2,959	3,083	2,981	3,112
8	2,988	3,01	3,228	3,424	3,17	3,293	3,148	3,337
9	3,431	3,221	3,257	3,424	3,032	3,141	2,821	2,93
10	3,301	3,148	2,966	3,235	3,112	3,279	3,104	3,264
11	2,995	3,032	3,424	3,606	3,352	3,359	3,366	3,417
12	2,93	2,944	2,937	3,206	2,93	3,068	2,893	3,046
13	3,402	3,235	3,41	3,686	3,192	3,366	3,308	3,526
14	3,591	3,359	3,395	3,686	3,192	3,381	3,192	3,41
15	3,242	3,199	3,09	3,33	3,017	3,206	3,104	3,286
16	3,039	3,075	3,032	3,286	3,061	3,221	3,003	3,199

5.3.4. Diyafram tablası için verilerin Minitab R14 ile Taguchi analizinin yapılması

Sekizgen kutu kapağının analiz çalışmasında olduğu gibi öncelikli olarak belirlenen faktör ve seviyelere uygun olan L16(4**5) ortogonal deney düzeni seçilir ve ölçüm yapılan veriler çalışma sayfasına girilir.

MINITAB - diyafram tablası.MPJ

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Session

Taguchi Orthogonal Array Design

L16(4**5)

Factors: 5
Runs: 16

Columns of L16(4**5) Array

Worksheet 1 ***

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	A-Çalış	B-Enj	C-Tutma	D-Tutma	S-E-Soğu	ΔY1 (m)	ΔX1 (m)	ΔY2 (mm)	ΔX2 (mm)	ΔY3 (mm)	ΔX3 (mm)	ΔY4 (mm)	ΔX4 (mm)	ΔY1 (%)	ΔX1 (%)	ΔY2 (%)
2	1	2	2	2	2	1,29667	1,31333	1,33333	1,40333	1,39333	1,43000	1,30000	1,39333	2,82806	2,86441	2,90803
3	1	3	3	3	3	1,29333	1,29000	1,34667	1,41000	1,31667	1,35000	1,31333	1,36333	2,82079	2,81352	2,93711
4	1	4	4	4	4	1,13667	1,12000	1,03333	1,04333	1,06667	1,04333	0,96667	0,94333	2,47910	2,44275	2,25373
5	2	1	2	3	4	1,47333	1,43000	1,33000	1,40667	1,40000	1,46333	1,29000	1,32667	3,21338	3,11887	2,90076
6	2	2	1	4	3	1,37333	1,37667	1,54667	1,62000	1,51333	1,53667	1,36000	1,44667	2,99527	3,00254	3,37332
7	2	3	4	1	2	1,36000	1,34333	1,33333	1,45000	1,35667	1,41333	1,36667	1,42667	2,96619	2,92984	2,90803
8	2	4	3	2	1	1,37000	1,38000	1,48000	1,57000	1,45333	1,51000	1,44333	1,53000	2,98800	3,00981	3,22792
9	3	1	3	4	2	1,57333	1,47667	1,49333	1,57000	1,39000	1,44000	1,29333	1,34333	3,43146	3,22065	3,25700
10	3	2	4	3	1	1,51333	1,44333	1,36000	1,48333	1,42667	1,50333	1,42333	1,49667	3,30062	3,14795	2,96619
11	3	3	1	2	4	1,37333	1,39000	1,57000	1,65333	1,53667	1,54000	1,54333	1,56667	2,99527	3,03162	3,42421
12	3	4	2	1	3	1,34333	1,35000	1,34667	1,47000	1,34333	1,40667	1,32667	1,39667	2,92984	2,94438	2,93711
13	4	1	4	2	3	1,56000	1,48333	1,56333	1,69000	1,46333	1,54333	1,51667	1,61667	3,40240	3,23519	3,40967
14	4	2	3	1	4	1,64667	1,54000	1,56667	1,69000	1,46333	1,55000	1,46333	1,56333	3,59142	3,35878	3,39513
15	4	3	2	4	1	1,48667	1,46667	1,41667	1,52667	1,38333	1,47000	1,42333	1,50667	3,24246	3,19884	3,08979
16	4	4	1	3	2	1,39333	1,41000	1,39000	1,50667	1,40333	1,47667	1,37667	1,46667	3,03889	3,07525	3,03162
17																
18																

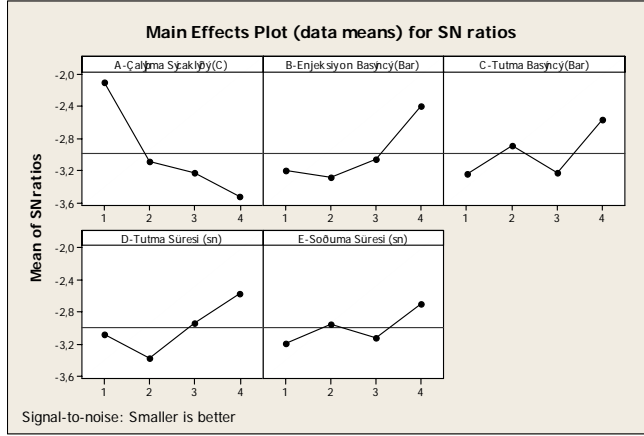
Project...

Current Worksheet: Worksheet 1

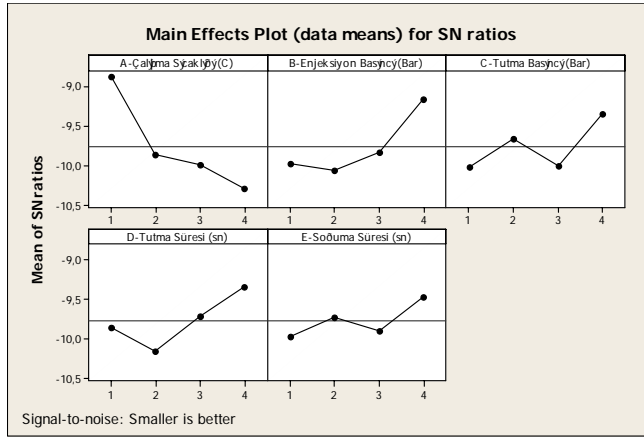
14:02

Şekil 5.19. Diyafram tablası için L16 (4**5) ortogonal deney düzeninin oluşturulması ve verilerin çalışma sayfasına girilmesi

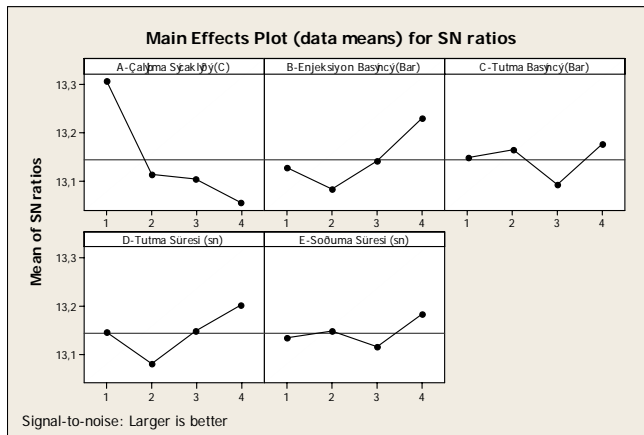
Bu işlemlerin ardından program analiz yapılmaya uygun hale gelmiştir. Analizler parçanın ağırlığı, % ve boyutsal (mm) olarak çekme değerleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Her üç analiz için sonuçlar şekil 5.20., şekil 5.21. ve şekil 5.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Diyafram tablasının boyutsal çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Smaller is better : En küçük en iyi)



Şekil 5.21. Diyafram tablasının yüzde çekme değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Smaller is better : En küçük en iyi)



Şekil 5.22. Diyafram tablasının ağırlık değerleri için S/N oranı sonuç grafikleri
(Mean of SN ratios : S/N oranlarının değerleri, Signal to noise : Sinyal-gürültü oranı
Larger is better : En büyük en iyi)

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Enjeksiyonla kalıplanan plastik ürünlerde meydana gelen çekme, üzerinde durulması gereken en önemli enjeksiyon problemlerinden biridir. Çekme oranı büyük ölçüde kalıplanan malzemeye bağlı olmakla birlikte, parçanın şekli, yolluk sistemi, enjeksiyon sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı, soğutma süresi de çekmede etken parametrelerdir. Bu çalışmada seçilen 5 farklı proses parametrelerinin çekme miktarına etkileri Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak incelenmiş ve sonuçta her iki deney parçası için optimum faktör-seviye kombinasyonları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan deney parçaları Bes Plastik Ltd. Şti. ve Aygaz firmalarının tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak polistiren malzemedен kalıplanan, çikolata sektöründe kullanılan sekizgen kutu kapağının üretimi sonunda ortaya çıkan çekme problemi konu olarak seçilmiştir. Çekme probleminin oluşmasına etki edebilecek faktörler tespit edildikten sonra Taguchi deneysel tasarım tekniği, Minitab R14 veri analiz programı kullanılarak uygulandı.

Yapılan deney 5 faktörlü ve 4 seviyeli bir deneydi. Bu deneyde L16(4**5) dizisi kullanıldığı için 16 farklı üretim şartında deneme yapılmış oldu. Her denemede 2'şer tekrar yapıldığı için toplam üretim $16 \times 2 = 32$ adet oldu.

Elde edilen deney numuneleri üzerinden ağırlık ve boyut ölçümleri yapıldı. Boyut ölçüm değerleri boyutsal çekme ve % çekme olarak ayrı ayrı hesaplandı. Deney verilerinin Minitab R14 programında analizi yapıldı ve optimum faktör-seviye kombinasyonları belirlendi. Boyutsal çekme ve yüzde çekme değerleri için S/N oranları en küçük en iyi, ağırlık değerleri için ise en büyük en iyi kriterine göre

analizleri yapılmıştır. Şekil 5.15., şekil 5.16. ve şekil 5.17.'de verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere S/N oranının maksimum olduğu değerler optimum faktör seviyelerini göstermektedir. Aynı zamanda Minitab R14 programıyla yapılan ve ek A.1., ek A.2. ve ek A.3.'de verilen tahmini değer analiziyle de bulunan optimum faktör-seviye kombinasyonları şu şekilde gerçekleşmiştir:

- Çalışma Sıcaklığı 230 °C
- Enjeksiyon Basıncı 80 Bar
- Tutma Basıncı 60 Bar
- Tutma Süresi 5 sn
- Soğuma Süresi 20 sn

Bu optimal şartlar % çekme ve boyutsal çekme verileri için aynı çıkmıştır. Ağırlık için sadece tutma basıncı 50 Bar ve soğuma süresi 15 sn olarak optimum faktör-seviye kombinasyonları çıkmıştır. Ancak Minitab R14 analiz programında yukarıdaki optimum şartlarla, ağırlık verileri için çıkan optimum şartların S/N oranı ve hedef ağırlık değerleri arasında önemli farklar olmadığı görülmüştür. Bu yüzden belirlenen optimum üretim şartları her üç veri grubu için de geçerli olmuştur.

Yukarıdaki optimum şartlara göre tahmini değerler;

Boyutsal çekme için $S/N = 7,22362$ ve çekme miktarı = 0,413438 mm,

% çekme için $S/N = 13,5518$ ve çekme = % 0,199526,

Ağırlık için $S/N = 37,3493$ ve 73,6219 gr olarak bulunur.

Bunun anlamı; bulunan optimum faktör-seviye kombinasyonlarında üretim yapıldığında 0.413438 mm lik veya % 0.199526 luk çekme oranı ile 73,6219 gr parça üretimi mümkün olacaktır. Bulunan S/N oranları ise optimum şartların seçildiği maksimum değerlerdir.

Diğer deney parçası ve konusu olarak ise; düşük yoğunluklu polietilen malzemeden kalıplanan, tüp regülatörlerinde lastik diyaframa monte edilen diyafram tablası ve üretimi sonrası ortaya çıkan çekme problemi incelenmiştir.

Yapılan deney 5 faktörlü 4 seviyeli olduğu için L16(4**5) dizisi kullanılmıştır. Bu yüzden 16 farklı üretim şartında deney gerçekleştirilmiştir. Her denemede 3 er tekrar yapıldığı için ve 4 gözlü kalıpta olduğu için toplam üretim $3 \times 4 \times 16 = 192$ adet olmuştur.

Elde edilen deney numuneleri üzerinden ağırlık ve boyut ölçümleri yapıldı. Boyut ölçüm değerleri ilk parça da olduğu gibi boyutsal çekme ve % çekme olarak ayrı ayrı hesaplandı. Deney verilerinin Minitab R14 programında analizi yapıldı ve optimum faktör-seviye kombinasyonları belirlendi. Boyutsal çekme ve yüzde çekme değerleri için S/N oranları en küçük en iyi, ağırlık değerleri için ise en büyük en iyi kriterine göre analizleri yapılmıştır. Şekil 5.20., şekil 5.21. ve şekil 5.22.'de verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere S/N oranının maksimum olduğu değerler optimum faktör seviyelerini göstermektedir. Aynı zamanda Minitab R14 programıyla yapılan ve ek B.1., ek B.2. ve ek B.3. de verilen tahmini değer analiziyle de bulunan optimum faktör-seviye kombinasyonları şu şekilde gerçekleşmiştir:

- Çalışma Sıcaklığı 150 °C
- Enjeksiyon Basıncı 90 Bar
- Tutma Basıncı 70 Bar
- Tutma Süresi 7 sn
- Soğuma Süresi 20 sn

Bu deney parçasında bütün veri grupları (% çekme, boyutsal çekme ve ağırlık) için yapılan analizlerde optimum faktör-seviye kombinasyonları aynı çıkmıştır.

Yukarıdaki optimum şartlara göre tahmini değerler;

Boyutsal çekme için S/N = -0,390857 ve çekme miktarı = 1,04417 mm,

% çekme için S/N = -7,16407 ve çekme = % 2,27735

Ağırlık için S/N = 13,5184 ve 4,74339 gr olarak bulunur.

Bunun anlamı; bulunan optimum faktör-seviye kombinasyonlarında üretim yapıldığında 1,04417 mm lik veya % 2,27735 lik çekme oranı ile 4,74339 gr parça üretimi mümkün olacaktır. Bulunan S/N oranları ise optimum şartların seçildiği maksimum değerlerdir.

Her iki deney parçaları için sonuçlar kullanılan malzemeler açısından yorumlanırsa; polistirenden kalıplanan sekizgen kutu kapağının çekme miktarı %0,20 ile literatür değerinin (%0,5-0,7) altında çıkarken, düşük yoğunluklu polietilenden kalıplanan diyafram tablasının çekme miktarı %2,7 ile literatürde verilen (%1,5-3) sınırlar içinde olduğu görülmüştür.

Burçoğlu ve Ünsalan [17], parçanın çekmesi üzerine en büyük etkinin basınç ve basıncın uygulama zamanı olduğunu belirtmektedir. Bu durum diğer çalışmalarda [4,18] da ifade edilmektedir. Burçoğlu ve Ünsalan [17], oryantasyonla çekme arasında direkt bir bağlantı olduğunu; kalıp dolarken molekül zincirlerinin sürtünme ve uzama ile akış istikametine göre oryante olduklarını, bu durumunda çabuk donan yüzey tabakasında daha belirgin olduğunu belirtmektedirler. Burçoğlu ve Ünsalan [17], kalıp sıcaklığı ile eriyik sıcaklığı arasındaki farkın artmasıyla malzemede iç gerilmelerin arttığını, bu nedenle plastik malzemenin düşük ve orta sıcaklıklarda basılmasının iç gerilmelerin azaltılması açısından uygun olduğunu, ayrıca iç gerilmelerin kalıp çok yüksek basınçlara maruz kaldığında da oluştuğunu bunun da parçanın kalıptan ayrılmasını zorlaştırdığını belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada ise, her iki parça için seçilen faktörlerden biri olan çalışma sıcaklığının seçilen seviyeler içerisinde en düşük çıktığı görülmüştür. Böylece kalıp sıcaklıkları ile eriyik sıcaklıkları arasındaki farkların az olmasıyla, baskı

sonrası azalan iç gerilmelerden dolayı her iki parçanın da çekme miktarının azaldığı görülmüştür.

Aynı şekilde sekizgen kutu kapağının üretimi sırasında iç gerilmelere sebep olan yüksek enjeksiyon ve tutma basıncında parçanın kalıptan ayrılmasının zorlaştığı görülmüştür. Bu yüzden sekizgen kutu kapağının optimum enjeksiyon basıncı (80 bar) ve tutma basıncı (60 bar) seviyesi düşük değerlerde çıkmıştır. Bu durum mümkün olan en az çekmenin aynı makinayla daha az enerjiye ihtiyaç duyularak veya daha düşük basınca sahip enjeksiyon makinası kullanılarak elde edilebileceğini gösterir. Bu sonuçlar Burçoğlu ve Ünsalan [17],’ın yaptığı çalışma sonuçlarıyla uygunluk göstermektedir.

S. J. Liao ve arkadaşları [19], enjeksiyonla kalıplanan cep telefonu kapağında ki çekme ve çarpılmaya etki eden proses parametrelerinden kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, tutma basıncı ve enjeksiyon hızını Taguchi metodu kullanarak incelemiştir. S. J. Liao ve arkadaşları [19], x ve y yönünde çekmeye etki eden en etkin faktörün tutma basıncı olduğu ve seviyesinin ise seçilen en üst değerde çıktığını belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada ise; diyafram tablasının optimum seviyesinin seçilen en üst basınç değeri (70 bar) olduğu görülmüştür. Ayrıca ek C.3. ve ek C.4’de verilen varyans analizi (ANOVA) testine göre, diyafram tablası için tutma basıncının y yönünde %62,8 ve x yönünde %69,3 etki yüzdesine sahip olduğu ve en etkin faktörlerden biri olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar S. J. Liao ve arkadaşları [19], nın yaptığı çalışma sonuçlarıyla uygunluk göstermektedir.

Bushko ve Stokes [20], çalışma sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve duvar kalınlığı gibi üretim koşullarının çekme ve artık gerilmeler üzerindeki etkilerini incelediler. Enjeksiyon basıncının kalıplanan parçanın çekmesi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu gösterilmiştir. Enjeksiyon basıncı arttıkça hem düzlem içinde hem de kalınlık yönü boyunca çekme oranının azaldığı görülmüştür. Çalışma sıcaklığının ise daha küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada ise; diyafram tablası için optimum enjeksiyon basıncı seviyesinin en yüksek değer de (90 bar) çıktığı ve çekme oranının azaldığı görülmüştür. Ayrıca ek C.3. ve ek C.4.'de verilen varyans analizi (ANOVA) testine göre, diyafram tablası için y yönünde %35,6 ve x yönünde %48,7 etki yüzdeleriyle enjeksiyon basıncının çekme oranına belirgin bir etkisinin olduğu görülmüştür. Çalışma sıcaklığının ise y yönünde %4,6 ve x yönünde %3,3 etki yüzdeleriyle çok küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar Bushko ve Stokes [20], in yaptığı çalışma sonuçlarıyla uygunluk göstermektedir.

Jansen ne Titomanlio [21], çekmenin kalıp açılmadan önce gerçekleştiği ince bir levha modelini göz önüne aldılar. Kalıp içi çekmenin nihai ürünün boyutları ve artık gerilim dağılımı üzerindeki etkisini incelemek üzere basit bir elastik model kullanıldı. Soğuma süresi uzadıkça nihai uzunluk çekmesinin azaldığı açıkça ortaya konuldu.

Yapılan bu çalışmada ise; sekizgen kutu kapağı ve diyafram tablasının her ikisinde de çekme oranının en az olduğu soğuma sürelerinin seviyesi 20 sn ile optimum seviyelerin en üst değerleri olduğu görülmüştür. Ayrıca ek C.'de verilen varyans analizi (ANOVA) testine göre, sekizgen kutu kapağı için y yönünde %96,8 ve x yönünde %91,7, diyafram tablası için y yönünde %92,4 ve x yönünde %85,2 etki yüzdeleriyle soğutma süresinin parçaların çekme oranı üzerine en etkin faktör olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak değerlendirilecek olursa; plastik enjeksiyon işleminde sıcak malzemenin soğuması ve üzerinden basıncın kalkmasıyla ister istemez çekme meydana gelmektedir. Bu çalışmada, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, tutma zamanı, tutma basıncı ve soğuma süresi gibi enjeksiyon parametreleri ve parça ağırlıklarının çekme miktarına etkileri araştırılarak mümkün olan en az çekme miktarı ile fonksiyonel yapısı ve ömrü bozulmayan deney parçalarının üretiminin yapılabileceği anlaşılmıştır.

6.2. Öneriler

Yapılan bu çalışmayla belirlenen 5 adet enjeksiyon parametrelerinin çekmeye olan etkileri Taguchi metodunun L16(4**5) ortogonal dizisi kullanılarak incelenmiştir. Bu deneyin daha hassas sonuçlar vermesi için Taguchi ortogonal dizinlerinden daha fazla deney şartının oluşmasına imkan veren ortogonal dizinler kullanılabilir. Örnek olarak L25 (5**5) ortogonal dizisi verilebilir.

Ayrıca bu tez çalışmasının analiz kısmında kullanılmayan enjeksiyon parametrelerinden; parça et kalınlığı, itici basıncı, sıcak yolluk sıcaklığı, kilitleme basıncı ve eğer kullanılıyorsa katkı maddesi miktarının çekmeye olan etkileri, oluşturulacak daha geniş Taguchi ortogonal dizileriyle incelenebilir.

Plastik enjeksiyonla kalıplanan örnek 2 parça üzerindeki en az çekme miktarının Taguchi metodu kullanılarak bulunması, metodun etkinliğini ve endüstriyel kuruluşlardaki kalite geliştirme çalışmaları için kesinlikle tavsiye edilebilir bir metot olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada incelenen çekme probleminden kaynaklanan kalite ve maliyet kaybının işletmelere getirdiği olumsuz etkileri en aza indirmek mümkün olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] KILIÇ, N., “Plastik Enjeksiyon Makinalarının Endüstriyel Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir 1993
- [2] TURAÇLI, H., “Enjeksiyoncunun El Kitabı”, Pagev Yayınları, İstanbul 2003
- [3] AKYÜZ, Ö. F., “Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş”, Pagev Yayınları, İstanbul 2001
- [4] GROOVER M. P., “Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e”, John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [5] ESENLİK, M., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2001
- [6] UYAROĞLU, R., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Parça Üstünde Oluşan Kaynak Yeri Probleminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze 2003
- [7] DEMİRER, A., “Sıcak Yolluk Dağıtıcılarının Tasarımı - 2”, Pagev Plastik (68), 2003, (114-116)
- [8] KARATAŞ, Ç., KARASUNGUR, H., “Sıcak Yolluk Sistemlerinde Manifold Kullanımı”, Pagev Plastik (67), 2003, (124-128)
- [9] BUCAKLIGİL, C., “Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Kalıp Tasarım Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1999
- [10] ŞEKER, C., “Termoplastiklerin Şekillendirilmesinde Kullanılan Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1999
- [11] BİRİNCİ, A., “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1997

- [12] CANIYILMAZ, E., “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Örnek Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 2001
- [13] ŐIRVANCI, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı”, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1997
- [14] ALTINBİLEK ÜNAL, Y., “Şanzıman Giriş Mili İmalatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2001
- [15] Minitab User’s Guide 2
- [16] www.minitab.com/products/minitab/14/documentation.aspx# Minitab%20 Handbook
- [17] BURÇOĞLU, M., ÜNSALAN, B., “Plastik İşleme Teknikleri Ve Kalite Kontrol”, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, Ankara 1989
- [18] MICHAELI, W., WISINGE, G., “Tormteilfehler vermeiden-bindenaechte, Schvvindungund Verzug”
- [19] LIAYO, S. J., CHANG, D. Y., CHEN, H. J., TSOU, L. S., HO, J. R., YAU, H. T., HSIEH, W. H., “Optimal Process Condition of Shrinkage and Warpage of Thin-Wall Parts”, Polymer Engineering and Science, 44 (2004) 917
- [20] BUSHKO, W. C., STOKES V. K., “Solidification Of Thermoviscoelastic Melts”, “Effect Of Processing Conditions On Shrinkage And Residual Stres”, Polymer Engineering and Science, 35 (1995) 365
- [21] JANSEN, K. M. B., TITOMANLIO, G., “Effect Of Pressure On Shrinkage And Residual Stress Injection Molding With Constrained Shrinkage”, Polymer Engineering and Science, 36 (1996) 2041

- [22] TURAÇLI, H., “Enjeksiyon Kalıpları İmalatı”, Pagev Yayınları, İstanbul 2000
- [23] TURAÇLI, H., “Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri”, Pagev Yayınları, İstanbul 2003
- [24] ÖZAYDIN, H., “Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Çarpılmaya Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze 2003
- [25] KARATAŞ, Ç., EREL, C.G., “Termoplastik Malzemelerin Kalıplanması Esnasında Üründe Oluşan Hatalar ve Giderilme Yöntemleri”, Pagev Plastik (66), 2003, (84-89)
- [26] ÇAKIR, Y., ÖZDEMİR, A., GÜLDAŞ, A., “Plastik Ürünlerde Çekme Miktarına Etki Eden Enjeksiyon Parametrelerinin İncelenmesi”, Teknoloji (1-2), 2001
- [27] KAYA, E., “Taguchi Yöntemi ile Ektrüzyon Parametrelerinin Belirlenmesi”, Pagev Plastik (69), 2003, (102-108)
- [28] AYDIN, M. E., “Taguchi Metodu ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1994
- [29] ÇELİKÇAPA, F. O., “Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Bir Dokuma İşletmesinde Uygulama Denemesi”, Uludağ Üniversitesi
- [30] AKALIN, T., “Ürün Tasarımında Taguchi Yöntemi ve Bir Örnek Uygulama”
- [31] SAAT, M., “Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı”, Gazi Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:2, Sayı:3

EKLER

Taguchi Analysis: Y (mm); X (mm) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSİYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	5,578	4,871	4,459	3,654	4,192
2	4,079	4,503	4,619	4,225	4,414
3	4,267	4,068	4,421	4,951	4,190
4	3,460	3,942	3,886	4,554	4,588
Delta	2,118	0,929	0,734	1,297	0,397
Rank	1	3	4	2	5

Response Table for Means

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	0,5259	0,5734	0,5997	0,6600	0,6184
2	0,6288	0,5988	0,5928	0,6178	0,6072
3	0,6131	0,6306	0,6041	0,5675	0,6206
4	0,6709	0,6359	0,6422	0,5934	0,5925
Delta	0,1450	0,0625	0,0494	0,0925	0,0281
Rank	1	3	4	2	5

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev
7,22362	0,413438	0,0198874

Factor levels for predictions

A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
1 230°C	1 80 BAR	2 60 BAR	3 5 SN	4 20 SN

EK A.1. Sekizgen kutu kapağının boyutsal çekme miktarı için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

Taguchi Analysis: Y (%); X (%) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSİYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	11,907	11,199	10,787	9,982	10,520
Level 2	10,407	10,831	10,947	10,553	10,743
Level 3	10,595	10,397	10,749	11,280	10,519
Level 4	9,789	10,270	10,214	10,882	10,916
Delta	2,118	0,929	0,734	1,297	0,397
Rank	1	3	4	2	5

Response Table for Means

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	0,2538	0,2767	0,2894	0,3185	0,2985
Level 2	0,3034	0,2890	0,2861	0,2982	0,2930
Level 3	0,2959	0,3043	0,2915	0,2739	0,2995
Level 4	0,3238	0,3069	0,3099	0,2864	0,2859
Delta	0,0700	0,0302	0,0238	0,0446	0,0136
Rank	1	3	4	2	5

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev
13,5518	0,199526	0,0095977

Factor levels for predictions

A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
1 230°C	1 80 BAR	2 60 BAR	3 5 SN	4 20 SN

EK A.2. Sekizgen kutu kapağının yüzde çekme miktarı için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

Taguchi Analysis: Ağırlık (gr) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSİYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	37,09	37,02	36,96	36,82	36,94
Level 2	36,90	36,91	36,91	36,88	36,95
Level 3	36,94	36,87	36,90	37,01	36,88
Level 4	36,74	36,87	36,89	36,95	36,90
Delta	0,35	0,15	0,06	0,18	0,07
Rank	1	3	5	2	4

Response Table for Means

	A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
Level 1	71,53	70,95	70,44	69,40	70,33
Level 2	69,95	70,10	70,11	69,87	70,36
Level 3	70,33	69,73	70,03	70,84	69,81
Level 4	68,69	69,72	69,92	70,40	70,00
Delta	2,85	1,22	0,52	1,44	0,55
Rank	1	3	5	2	4

Predicted values

S/N Ratio	Mean
37,3493	73,6219

Factor levels for predictions

A-CALISMA SICAKLIGI (C)	B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)	C-TUTMA BASINCI (BAR)	D-TUTMA SURESI (SN)	E-SOĞUMA SURESI (SN)
1 230°C	1 80 BAR	1 50 BAR	3 5 SN	2 10 SN

EK A.3. Sekizgen kutu kapağının ağırlık verileri için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

Taguchi Analysis: Y (mm); X (mm) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSİYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level 1	-2,111	-3,203	-3,251	-3,077	-3,193
Level 2	-3,097	-3,293	-2,895	-3,376	-2,950
Level 3	-3,230	-3,069	-3,238	-2,938	-3,122
Level 4	-3,524	-2,396	-2,578	-2,571	-2,697
Delta	1,414	0,897	0,674	0,804	0,496
Rank	1	2	4	3	5

Response Table for Means

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level 1	1,282	1,446	1,453	1,426	1,444
Level 2	1,428	1,461	1,395	1,475	1,404
Level 3	1,450	1,425	1,452	1,402	1,434
Level 4	1,500	1,328	1,359	1,356	1,379
Delta	0,218	0,133	0,094	0,119	0,065
Rank	1	2	4	3	5

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev
-0,390857	1,04417	0,0666607

Factor levels for predictions

A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
1	4	4	4	4
150°C	90 BAR	70 BAR	7 SN	20 SN

EK B.1. Diyafram tablasının boyutsal çekme miktarı için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

Taguchi Analysis: Y (%); X (%) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSIYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level 1	-8,884	-9,977	-10,024	-9,850	-9,966
Level 2	-9,870	-10,066	-9,669	-10,149	-9,724
Level 3	-10,003	-9,842	-10,011	-9,711	-9,895
Level 4	-10,298	-9,169	-9,351	-9,345	-9,470
Delta	1,414	0,897	0,674	0,804	0,496
Rank	1	2	4	3	5

Response Table for Means

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level 1	2,797	3,154	3,170	3,111	3,149
Level 2	3,113	3,187	3,043	3,218	3,061
Level 3	3,162	3,107	3,167	3,059	3,127
Level 4	3,272	2,896	2,964	2,957	3,007
Delta	0,476	0,291	0,205	0,261	0,142
Rank	1	2	4	3	5

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev
-7,16407	2,27735	0,145389

Factor levels for predictions

A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
1	4	4	4	4
150°C	90 BAR	70 BAR	7 SN	20 SN

EK B.2. Diyafram tablasının yüzde çekme miktarı için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

Taguchi Analysis: Ağırlık (gr) versus A-CALISMA S.; B-ENJEKSİYON B.; C-TUTMA B.; D-TUTMA S.; E-SOĞUMA S.

Response Table for Signal to Noise Ratios
Larger is better

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level					
1	13,31	13,13	13,15	13,15	13,13
2	13,11	13,08	13,16	13,08	13,15
3	13,10	13,14	13,09	13,15	13,11
4	13,06	13,23	13,18	13,20	13,18
Delta	0,25	0,15	0,08	0,12	0,07
Rank	1	2	4	3	5

Response Table for Means

	A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
Level					
1	4,629	4,534	4,544	4,544	4,537
2	4,526	4,511	4,553	4,509	4,545
3	4,521	4,541	4,515	4,545	4,527
4	4,497	4,588	4,560	4,575	4,564
Delta	0,132	0,077	0,045	0,065	0,037
Rank	1	2	4	3	5

Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev
13,5184	4,74339	0,0867283

Factor levels for predictions

A-Çalışma Sıcaklığı (C)	B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)	C-Tutma Basıncı (Bar)	D-Tutma Süresi (sn)	E-Soğuma Süresi (sn)
1	4	4	4	4
150°C	90 BAR	70 BAR	7 SN	20 SN

EK B.3. Diyafram tablasının ağırlık verileri için sonuç değerler ve optimum faktör-seviye tahmini

One-way ANOVA: Y (%) versus A-CALISMA SICAKLIGI (C)

Source	DF	SS	MS	F	P
A-CALISMA SIC.	3	0,01298	0,00433	3,88	0,038
Error	12	0,01337	0,00111		
Total	15	0,02635			

S = 0,03337 R-Sq = 49,27% R-Sq(adj) = 36,59%

One-way ANOVA: Y (%) versus B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)

Source	DF	SS	MS	F	P
B-ENJEKSİYON BAS.	3	0,00388	0,00129	0,69	0,575
Error	12	0,02247	0,00187		
Total	15	0,02635			

S = 0,04327 R-Sq = 14,73% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: Y (%) versus C-TUTMA BASINCI (BAR)

Source	DF	SS	MS	F	P
C-TUTMA BASINCI	3	0,00290	0,00097	0,49	0,693
Error	12	0,02345	0,00195		
Total	15	0,02635			

S = 0,04420 R-Sq = 11,00% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: Y (%) versus D-TUTMA SURESI (SN)

Source	DF	SS	MS	F	P
D-TUTMA SURESI	3	0,00605	0,00202	1,19	0,354
Error	12	0,02030	0,00169		
Total	15	0,02635			

S = 0,04113 R-Sq = 22,95% R-Sq(adj) = 3,69%

One-way ANOVA: Y (%) versus E-SOĞUMA SURESI (SN)

Source	DF	SS	MS	F	P
E-SOĞUMA SURESI	3	0,00054	0,00018	0,08	0,968
Error	12	0,02581	0,00215		
Total	15	0,02635			

S = 0,04638 R-Sq = 2,04% R-Sq(adj) = 0,00%

EK C.1. Sekizgen kutu kapağı için y yönünde ANOVA testi

One-way ANOVA: X (%) versus A-CALISMA SICAKLIGI (C)

Source	DF	SS	MS	F	P
A-CALISMA SIC.	3	0,008536	0,002845	4,44	0,026
Error	12	0,007687	0,000641		
Total	15	0,016222			

S = 0,02531 R-Sq = 52,62% R-Sq(adj) = 40,77%

One-way ANOVA: X (%) versus B-ENJEKSİYON BASINCI (BAR)

Source	DF	SS	MS	F	P
B-ENJEKSİYON BAS.	3	0,00190	0,00063	0,53	0,669
Error	12	0,01432	0,00119		
Total	15	0,01622			

S = 0,03454 R-Sq = 11,73% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X (%) versus C-TUTMA BASINCI (BAR)

Source	DF	SS	MS	F	P
C-TUTMA BASINCI	3	0,00209	0,00070	0,59	0,632
Error	12	0,01413	0,00118		
Total	15	0,01622			

S = 0,03431 R-Sq = 12,90% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X (%) versus D-TUTMA SURESI (SN)

Source	DF	SS	MS	F	P
D-TUTMA SURESI	3	0,00304	0,00101	0,92	0,459
Error	12	0,01318	0,00110		
Total	15	0,01622			

S = 0,03314 R-Sq = 18,76% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X (%) versus E-SOĞUMA SURESI (SN)

Source	DF	SS	MS	F	P
E-SOĞUMA SURESI	3	0,00065	0,00022	0,17	0,917
Error	12	0,01558	0,00130		
Total	15	0,01622			

S = 0,03603 R-Sq = 3,99% R-Sq(adj) = 0,00%

EK C.2. Sekizgen kutu kapağı için x yönünde ANOVA testi

One-way ANOVA: Y (%) versus A-Calısma Sıcaklığı (C)

Source	DF	SS	MS	F	P
A-Calısma Sıc.	3	0,4301	0,1434	3,59	0,046
Error	12	0,4787	0,0399		
Total	15	0,9088			

S = 0,1997 R-Sq = 47,33% R-Sq(adj) = 34,16%

One-way ANOVA: Y (%) versus B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)

Source	DF	SS	MS	F	P
B-Enjeksiyon Bas.	3	0,2081	0,0694	1,19	0,356
Error	12	0,7007	0,0584		
Total	15	0,9088			

S = 0,2416 R-Sq = 22,89% R-Sq(adj) = 3,62%

One-way ANOVA: Y (%) versus C-Tutma Basıncı (Bar)

Source	DF	SS	MS	F	P
C-Tutma Bas.	3	0,1184	0,0395	0,60	0,628
Error	12	0,7904	0,0659		
Total	15	0,9088			

S = 0,2566 R-Sq = 13,03% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: Y (%) versus D-Tutma Süresi (sn)

Source	DF	SS	MS	F	P
D-Tutma Süresi	3	0,1180	0,0393	0,60	0,629
Error	12	0,7908	0,0659		
Total	15	0,9088			

S = 0,2567 R-Sq = 12,99% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: Y (%) versus E-Soguma Süresi (sn)

Source	DF	SS	MS	F	P
E-Soguma Süresi	3	0,0342	0,0114	0,16	0,924
Error	12	0,8746	0,0729		
Total	15	0,9088			

S = 0,2700 R-Sq = 3,76% R-Sq(adj) = 0,00%

EK C.3. Diyafram tablası için y yönünde ANOVA testi

One-way ANOVA: X(%) versus A-Calısma Sıcaklığı (C)

Source	DF	SS	MS	F	P
A-Calısma Sıc.	3	0,5754	0,1918	4,07	0,033
Error	12	0,5655	0,0471		
Total	15	1,1409			

S = 0,2171 R-Sq = 50,43% R-Sq(adj) = 38,04%

One-way ANOVA: X(%) versus B-Enjeksiyon Basıncı (Bar)

Source	DF	SS	MS	F	P
B-Enjeksiyon Bas.	3	0,2024	0,0675	0,86	0,487
Error	12	0,9385	0,0782		
Total	15	1,1409			

S = 0,2797 R-Sq = 17,74% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X(%) versus C-Tutma Basıncı (Bar)

Source	DF	SS	MS	F	P
C-Tutma Bas.	3	0,1256	0,0419	0,49	0,693
Error	12	1,0154	0,0846		
Total	15	1,1409			

S = 0,2909 R-Sq = 11,01% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X(%) versus D-Tutma Süresi (sn)

Source	DF	SS	MS	F	P
D-Tutma Süresi	3	0,1676	0,0559	0,69	0,576
Error	12	0,9734	0,0811		
Total	15	1,1409			

S = 0,2848 R-Sq = 14,69% R-Sq(adj) = 0,00%

One-way ANOVA: X(%) versus E-Soguma Süresi (sn)

Source	DF	SS	MS	F	P
E-Soguma Süresi	3	0,0699	0,0233	0,26	0,852
Error	12	1,0710	0,0893		
Total	15	1,1409			

S = 0,2987 R-Sq = 6,13% R-Sq(adj) = 0,00%

EK C.4. Diyafram tablası için x yönünde ANOVA testi

ÖZGEÇMİŞ

5 Kasım 1977'de Eskişehir'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 1995 yılında Osmangazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi. 2000 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2001-2005 yılları arasında Kocaeli Derince Belediyesi Çenesuyu Tesislerinde İşletme Müdürü olarak görev yaptı. Halen Kocaeli'nde şirket ortağı olduğu Uzunbey Mühendislik'de görev yapmaktadır. İngilizce ve Arapça dilini bilmektedir.