

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**PLASTİK ENJEKSİYON İLE ÜRETİLEN OTOMOBİL
AYDINLATMA PARÇALARININ KALİTESİNİN TAGUCHI
METODU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ**

ECE NUR BAĞÇECİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN (Tez Danışmanı)**
Doç. Dr. Şener AKPINAR
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN

BALIKESİR, HAZİRAN, 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Plastik Enjeksiyon ile Üretilen Otomobil Aydınlatma Parçalarının Kalitesinin Taguchi Metodu ile İyileştirilmesi**” başlıklı tezde;

1. Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 3. Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
 4. Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

ECE NUR BAĞÇECİ

Tez çalışması Bursa Al-Kor Makine Sanayi Kalıp A.Ş. tarafından desteklenmiştir.

ÖZET

**PLASTİK ENJEKSİYON İLE ÜRETİLEN OTOMOBİL AYDINLATMA
PARÇALARININ KALİTESİNİN TAGUCHI METODU İLE İYİLEŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ECE NUR BAĞÇECİ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, HAZİRAN- 2023

Bu tez çalışmasında, bir otomotiv yan sanayi firmasında üretilen aydınlatma parçalarının plastik enjeksiyon proses parametrelerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Parçalarda enjeksiyon sonrası oluşan sararma ve mavileşme kalite problemlerinin önüne geçebilmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan deney tasarımı yöntemlerinden biri olan Taguchi metodundan faydalanılmıştır. Ütuleme zamanı (sn), ütuleme basıncı (Pa), soğuma zamanı (sn), kalıp yüzey sıcaklığı (°C), ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s) ve manifold sıcaklığı (°C) olmak üzere 7 adet faktör ele alınmıştır. Taguchi metodu L27 ortogonal dizisi kullanılarak deneyler oluşturulmuş, renk farkı üzerindeki değişim optik küre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Taguchi metodu ile yapılan eniyileme ve devamında doğrulama deneyleri sonucunda, parçalar üzerinde renk değişimini en aza indiren optimum faktör değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Manifold sıcaklığı ve ocak sıcaklığının yanıtlara etki eden en önemli faktörler olduğu, ütuleme basıncı ve enjeksiyon hızının yanıtlara etki eden en az öneme sahip faktörler olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Plastik enjeksiyon, Taguchi, deney tasarımı, optimizasyon

Bilim Kod / Kodları: 90610

Sayfa Sayısı: 67

ABSTRACT

**IMPROVING THE QUALITY OF AUTOMOBILE LIGHTING PARTS
PRODUCED BY PLASTIC INJECTION BY TAGUCHI METHOD
MSC THESIS
ECE NUR BAĞÇECİ
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)

BALIKESİR, JUNE- 2023

In this thesis, it is aimed to improve the plastic injection process parameters of the lighting parts produced in an automotive supplier industry. In order to prevent getting yellow and bluing quality problems after injection in the parts, the Taguchi method which is one of the commonly used design of experiment method, was used. Seven factors which are packing time (sn), packing pressure (Pa), cooling time (sn), mold surface temperature (°C), furnace temperature (°C), injection speed (m/s), and manifold temperature (°C), are discussed. Experiments were created using the Taguchi method L27 orthogonal array, and the change on the color difference was measured with an optical sphere measuring device. As a result of the optimization and subsequent verification experiments with Taguchi method, it was observed that optimum factor values were reached, which minimized the color change on the parts. It was determined that manifold temperature (°C) and furnace temperature (°C) were the most important factors affecting the responses, while packing pressure (Pa) and injection speed (m/sn) were the least important factors affecting the responses.

KEY WORDS: Plastic injection, Taguchi, design of experiments, optimization

Science Code / Codes: 90610

Page Number: 67

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Kısa Tarihçesi	15
3.2 Deney Tasarımının Temel İlkeleri	17
3.3 Deney Tasarımında Kullanılan Temel Kavramlar	18
3.4 Yaygın Olarak Kullanılan Deney Tasarım Metotları.....	19
3.5 Taguchi Metodu	21
3.5.1 Taguchi Felsefesi	22
3.5.2 Taguchi Yönteminde Deneysel Tasarım	24
3.5.3 Taguchi Kayıp Fonksiyonu	26
3.5.4 Taguchi Metodu Adımları.....	28
4. UYGULAMA	33
4.1 Sistem ve Problem Tanımı	33
4.2 Deneysel Çalışma.....	36
5. SONUÇ	49
6. KAYNAKLAR	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Deney tasarımının kalite sürecine etkileri	15
Şekil 3.2: Taguchi metodundaki kalite çemberi.....	24
Şekil 3.3: Taguchi metodu kalite kontrol sistematığı	25
Şekil 3.4: Geleneksel kayıp fonksiyonu.....	27
Şekil 3.5: Taguchi için kayıp fonksiyonu grafiği.....	28
Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan plastik enjeksiyon makinesi genel görünümü	33
Şekil 4.2: Işık tüpü numunesi.....	37
Şekil 4.3: Işık tüpü görsel muayene aracı	38
Şekil 4.4: CIE renk diyagramı.....	39
Şekil 4.5: Optik küre ölçüm cihazına yerleştirilmiş ışık tüpü.....	43
Şekil 4.6: Işık dalgası verilen ışık tüpü	44
Şekil 4.7: Optik küre ölçüm cihazı ile ölçüm anı.....	44
Şekil 4.8: S/N oranı grafiği	46

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Literatür taraması	10
Tablo 3.1: Deney tasarım metotları kıyaslaması	20
Tablo 3.2: Geleneksel kalite anlayışı ile Taguchi anlayışının kıyaslaması	22
Tablo 3.3: 2^7 tasarımı	30
Tablo 3.4: Taguchi metodu deney tasarımı	31
Tablo 4.1: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri.....	40
Tablo 4.2: L_{27} ortogonal dizisi ile oluşturulmuş deney tablosu.....	42
Tablo 4.3: Deney veri seti ve sonuçları	45
Tablo 4.4: Faktörler için S/N oranları.	48
Tablo 4.5: Doğrulama deney seti ve sonuçları	48

SEMBOL LİSTESİ

sn	: Saniye
°C	: Santigrat derece
m/s	: Metre/saniye
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
gr	: Gram
MPa	: Mega paskal
Pa	: Paskal
lt/dk	: Litre/dakika
L	: Maliyet kaybı
(Y)	: Ölçülebilir değişken değeri
m	: Hedeflenen değer

KISALTMALAR LİSTESİ

PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
ANOVA	: Varyans analizi
YYY	: Yanıt Yüzey Yöntemi
S/N	: Sinyal/Gürültü
CIE	: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu

ÖNSÖZ

Bu çalışma Bursa'da faaliyet gösteren otomotiv aydınlatma parçaları üretimi yapan bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar firmanın plastik enjeksiyon prosesinde yürütülmüştür.

Lisansüstü çalışmalarında bana her zaman sabırla yol gösteren ve desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a, eğitim hayatımda bana her zaman maddi ve manevi motivasyon sağlayan değerli annem Nebahat BAĞÇECİ, babam Nurfettin BAĞÇECİ ve ablam Gonca BAĞÇECİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2023

Ece Nur BAĞÇECİ

1. GİRİŞ

İmalat yapan firmaların rekabet gücünü ve varlığını koruyabilmesi, bunun yanında pazarda rakiplerine karşı söz sahibi olabilmesi için ürettiği ürünlerin standartlara uygun ve beklenen kalitede olması oldukça önemlidir. Otomotiv sektörü de kendi içerisinde rekabetin yoğun olduğu bir sektördür. Özellikle otomotiv yan sanayi firmalarının ana sanayilerle iş ortaklığı olmasından dolayı üründe herhangi bir kalitesizlik ve hata meydana gelmemesi önem arz etmektedir. Günümüz kalite anlayışında, kalitenin sürekli her aşamada çevrim içi kontrol ile sağlanması yaklaşımı yerine; deney tasarımı teknikleri ile çevrim dışı olarak ürün ya da sürecin tasarım aşamasında sağlanması daha yaygın bir yaklaşımdır. Deney Tasarımı yaklaşımının en büyük avantajı sistemi tasarlarken tüm kalite beklentilerini ortaya koyarak, bu hedef çıktılar üzerinde etkili ürün tasarım ve/veya süreç işletim parametrelerinin belirlenmesi ve optimizasyonu temeline dayanmasıdır. Bitmiş üründen beklenen kalite fonksiyonlarının sağlanması için seri imalat öncesi yapılacak olan optimizasyon çalışmaları, seri imalat aşamasında kalite kontrol süreçleri boyunca ortaya çıkan yeniden işleme ve fire maliyetlerini düşürürken, müşteriye sevk edilen ürünler için ortaya çıkan müşteri şikayetleri ve geri iadelerinde gözle görünür bir biçimde azalmasına yardımcı olacaktır. Bu da malzemenin, işçilik maliyetlerinden ve diğer verimsizlik tabanlı maliyetlerden kazanç sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında plastik enjeksiyon prosesinden çıkan otomotiv aydınlatma parçalarında görülen kalite problemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Aydınlatma parçaları fonksiyonel özelliğinin yanında estetik olarak görünür bir parça olduğu için beklenen görsel kalitenin sağlanması, müşteri memnuniyeti açısından ekstra öneme sahiptir. Plastik enjeksiyon prosesinde parça ve kalıp tasarımı sonrası basım işlemi yapılır. Proses, granül haldeki hammaddenin kalıp içine uçlar yardımıyla enjekte edilmesiyle başlar. Sıcak malzemenin kalıp içerisine enjekte edilmesi sonrasında kalıp soğutma işlemi yapılarak, parçanın katılaşması sağlanır. Kalıbın şeklini alan parçanın proses süreci sona erer. Bu süreç içerisinde makine veya insan kaynaklı kalitesizlikler meydana gelmektedir. Parçalardaki yanık izleri, boyutsal ölçülerindeki hatalar, çapak oluşumu, çökme ve çarpılmalar, yüzeyde meydana gelen akış izleri, parçada gözlenen sararma ya da mavileşme gibi standart dışı renk değişimleri ele alınan enjeksiyon süreci için örnek kalite problemlerindedir. Bu problemler tüm proses tamamlandıktan sonra gözlenebildiği için hatanın boyutuna göre tüm serinin yeniden üretilmesi gibi maliyet arttırıcı ve verimliliği

düşürücü uygulamalar sıklıkla gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında, bahsi geçen kalite problemlerinden standart dışı sararma ve mavileşmenin seri imalat öncesi tasarım aşamasında giderilmesine yönelik Taguchi metodu ile deney tasarımı ve optimizasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın yapıldığı firmanın plastik enjeksiyon makinesinde tek çeşit hammadde kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmesi ve ölçümü tamamlanmıştır. Renk değişimi problemlerinin önüne geçebilmek için plastik enjeksiyon süreç parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Optimize edilecek enjeksiyon parametreleri; ütüleme zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa), soğuma zamanı (sn), kalıp yüzey sıcaklığı (°C), ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s) ve manifold sıcaklığı (°C) olarak belirlenmiştir. Deney tasarımı terminolojisinde yanıt değişkeni olarak adlandırılan ölçülen çıktılar ise ışık tüpü parçasındaki sararma ve mavileşme renklerindeki değişim olarak belirlenmiş ve yanıt değişkenlerinin tolerans değerleri içinde kalabilmesi için optimum proses parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen optimum proses parametreleri doğrulama deneyleri ile desteklenmiş parçalardaki renk değişimi problemini en aza indirecek şekilde optimum süreç parametrelerinin doğrulaması yapılmıştır.

Bu tez kapsamında aydınlatma parçalarındaki sararma ve mavileşme kalite probleminin çözümüne yönelik yaygın kullanılan deney tasarımı tekniklerinden olan Taguchi metodu uygulaması yapılacaktır. Tezin amacı optimum süreç parametrelerinin belirlenmesidir.

Taguchi metodu ile optimuma yakın değerler elde edilmektedir ancak tez boyunca ifade kolaylığı sağlanması açısından optimuma yakın ifadesi yerine optimum terimi kullanılacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde enjeksiyon süreç parametrelerinin optimizasyonu üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan öne çıkanlar aşağıda ele alınmış ve özetlenmiştir:

Chen ve ark. (1997), çalışmalarında Taguchi metodu kullanarak enjeksiyonla kalıplanmış otomobil tamponunun yüzeyindeki damarlanmayı elimine etmeye çalışmışlardır. İlk olarak L12 ortogonal dizisi kullanılarak en etkili faktörler ve modelin uygunluğunu kontrol etmek ve aynı zamanda süreç parametrelerini tahminlemek için ön hazırlık deneyleri yapmışlardır. Girdi parametresi 3 seviyeli olarak; dolum zamanı (sn), yolluk sıcaklığı (°C), enjeksiyon sıcaklığı (°C), kalıp sıcaklığı (°C), ütüleme zamanı (sn), enjeksiyon hızı (m/s) ve ütüleme basıncı (Pa) kullanmışlardır. Tahmin edilen koşulları doğrulamak için doğrulama deneyi yapılmıştır, deneyler sonucunda damarlanmanın oluşumundaki temel faktörler kalıp sıcaklığı (°C), dolum süresi (sn) ve enjeksiyon hızı (m/s) olduğu görülmüştür.

Chang ve Faison (2001), plastik enjeksiyon sırasında parçada meydana gelen çarpılma problemini farklı süreç koşulları altında üç ayrı polimer malzemeyi kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarında Taguchi deney tasarımı metodunu kullanmışlardır. Girdi faktörleri olarak ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn), erime sıcaklığı (°C), enjeksiyon basıncı (Pa), kalıp sıcaklığı (°C), geri basınç (Pa) ve soğuma zamanı (sn) seçilmiştir. Çıktı değişkeni olarak büzülmenin miktarı (mm) ölçülmüştür. Bu kapsamda kalıp ve erime sıcaklığı (°C) ile ütüleme basıncı (Pa) ve ütüleme zamanının (sn) her üç polimerin büzülme davranışı göstermesinde en etkili faktörler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kayı (2006), çalışmasında enjeksiyondan çıkan plastik parçaların belirlenmiş proses parametreleri altında meydana gelen çekme miktarı (mm) ve ağırlık (gr) probleminin minimize edilmesini sağlamıştır. Girdi parametreleri çalışma ortam sıcaklığı (°C), enjeksiyon basıncı (Pa), tutma basıncı (Pa), tutma zamanı (sn) ve soğuma zamanının (sn) çekme miktarına (mm) etkisi incelenmiştir. L16 ortogonal dizisine sahip Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda 5 parametre için çekme miktarını (mm) minimize edecek, ağırlık (gr) miktarını maksimize edecek optimum faktör

kombinasyonları belirlenmiştir. Belirlenen değerler ile mümkün olan en az çekme miktarı (mm) ile plastik parça üretimi yapılabileceği açıklanmıştır.

Oktem ve ark. (2006), ince cidarlı plastik parçada meydana gelen çarpılma oranı (%) ve çekme miktarını (mm) azaltmak için Taguchi metodundan faydalanmışlardır. Enjeksiyon zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn), soğuma zamanı (sn) parametreleri için S/N oranı ile optimum değerleri elde etmişlerdir. Doğrulama deneyleri ile Taguchi metodu ile çıkan değerlerin, parçanın çarpılma oranı (%) ve çekme davranışını çözmek için etkili bir yöntem olduğunun çıkarımını yapmışlardır.

Tang ve ark. (2006), çalışmalarında plastik parçaların enjeksiyon sırasında parçada meydana gelen çarpılma miktarının (mm) azaltılması için Taguchi metodu kullanılarak optimize edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Erime sıcaklığı (°C), dolum zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn) olmak üzere 4 faktör seçmişlerdir. Çıktıya etki eden faktörler belirlenirken önem sırasına göre faktörler arasında deney tasarımı ile eleme yapmışlardır. Dolum zamanı (sn) ve kalıp sıcaklığını (°C) girdi faktörleri içerisine dahil etmemişlerdir. L9 ortogonal dizisi kullanılmış ve hata oranlarının ortalamasını almışlardır. Çalışma sonucunda erime sıcaklığının (°C) en önemli; dolum zamanının (sn) ise en az öneme sahip faktör olduğunu tespit etmişlerdir.

Kamber (2008), plastik enjeksiyon makinelerindeki kalite hatalarının sebebinin kalıbın koşulları göz önünde bulundurularak, enjeksiyon makinesi kalıp basma parametrelerinden olan basınç (Pa), sıcaklık (°C) ve enjeksiyon zamanı (sn) değerlerinin optimizasyonunu sağlayarak boyutsal çökme (mm) ve dairesellik (mm) kalite hatalarının önlenebileceği üzerine çalışma yapmıştır.

Altan (2009), Taguchi metodu ile enjeksiyon kalıplama şartlarında en az büzülme miktarını (mm) belirlemek amacıyla çalışmıştır. Yapılan çalışmada Taguchi deney tasarımı metodu kullanmıştır. Erime sıcaklığı (°C), enjeksiyon basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa) olarak 4 farklı faktör altında polipropilen ve polistiren olmak üzere iki ayrı polimer malzeme enjeksiyonu yapmıştır. Belirtilen süreç parametrelerinin çıktısı olarak polimer malzemelerdeki büzülme en aza indirmeye çalışmıştır. Taguchi metodu ve yapay sinir ağları ile yapılan analizler sonucunda değişkenlerin optimum değerine ulaşmıştır. Taguchi metodu ile belirlenen en önemli parametrelerin polipropilen (PP) için ütüleme

basıncı (Pa); polistiren (PS) için erime sıcaklığı (°C) olduğunu saptamıştır. Enjeksiyon basıncı (Pa) faktörünün her iki komponentin büzülme miktarı (mm) üzerinde en az etkisi olduğunu gözlemlemiştir.

Chen ve ark. (2009), enjeksiyon prosesi sırasında ince cidarlı parçalarda meydana gelen çarpılma oranını (mm) azaltmak için çalışma yapmışlardır. Optimal süreç parametrelerini belirleyebilmek için L18 ortogonal dizisine sahip deney tasarımı yöntemi kullanmışlardır. Erime sıcaklığı (°C), kalıp sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s) ve ütüleme basıncı (Pa) kontrol faktörleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Deney tasarımından çıkan sıralamaya göre erime sıcaklığı (°C) ve ütüleme basıncısının (Pa) etki eden en önemli faktörler olduğunu belirlemişlerdir.

Erdem ve ark. (2010), Taguchi metodu kullanarak plastik parçaların üretiminde etkili olan farklı ürün tasarımı, giriş sayısı (adet), giriş ölçüsü (mm), yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılma miktarını (mm) en aza indirilmesi amaçlamışlardır. Kontrol parametreleri olarak ürün tasarımı, giriş sayısı (adet), giriş ölçüleri (mm), yolluk tasarımı kullanılmış ve deney kalıbı imal edilmiştir. Kalıp tasarımı aşamasında ve çarpılma değerlerinin kullanılmasında üç seviyeli matris şeklinde deney tasarımına dayanan Taguchi metodu kullanılmıştır. Kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama deneyleri ile plastik enjeksiyon kalıplama işleminde çarpılmaların azaltılmasında en önemli faktörün %50,196 ile ürün tasarımı, %19,837 ile giriş ölçüleri (mm), %9,913 ile giriş sayısı (adet), %2,974 ile yolluk tasarımı olduğu sonucuna varmışlardır.

Mehat ve Kamuruddin (2011), yeniden kullanılmış plastik parçaların enjeksiyon sonrası kalite karakteristikleri üzerindeki kalıp parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Deneyleri Taguchi metodu L18 ortogonal dizisini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Faktör olarak erime sıcaklığı (°C), kalıp sıcaklığı (°C), enjeksiyon zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa) tanımlaması yapılmıştır. 9 deney yapılarak parçadaki eğilme modülü (MPa) ve akma dayanımları (MPa) ölçülmüştür. Deney sonucunda; geri dönüştürülmüş plastik parçaların üretim aşamasında Taguchi metodu kullanmanın zaman ve maliyet açısından verimlilik sağladığı görülmüştür.

Mehat ve Kamuriddin (2011), geri dönüştürülmüş plastiğin mekanik özellikleri ile Taguchi metodundan faydalanılarak kullanılacak olan geri dönüştürülmüş plastikten yapılan

ürünlerin optimizasyonunu amaçlamışlardır. Erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ütüleme basıncı (Pa), enjeksiyon zamanı (sn) ve ütüleme zamanı (sn) olmak üzere 4 kontrol faktörünü L9 ortogonal dizisine sahip ve 3 seviyeli yöntem ile kullanmışlardır. Plastiğin özelliği değiştirilmeden proses parametreleri üzerinde iyileştirme yapılarak akma dayanımları (MPa) için daha iyi sonuçlar almışlardır.

Alam ve Kumar (2013), çalışmalarında polimer bazlı olan ön farın optimum enjeksiyon parametreleri ile parçada minimum çekme miktarının (mm) sağlanabilmesi için Taguchi metodu kullanmışlardır. L27 ortogonal dizisine sahip erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn) ve enjeksiyon basıncı (Pa) olmak üzere 4 ayrı değişken 3 seviyeli olarak belirlenmiştir. S/N oranları değerlendirildiğinde faktörler sırasıyla; ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn), enjeksiyon basıncı (Pa) ve erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) olacak şekilde önem değerine sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Azaman ve ark. (2013), lignoselülozik polimerin düz veya dış bükey olarak ince cidarlı kalıplaması üzerinde çalışmışlardır. Kalıp yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), enjeksiyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ütüleme zamanı (sn) ve ütüleme basıncı (Pa), soğuma zamanı (sn), olmak üzere 6 farklı parametre ile kalıplama tekniğinin analizi için MoldFlow programını kullanmışlardır. Çıktı ölçüm indisi olarak parçanın çekme miktarını (mm) referans almışlardır. Çalışma sonucunda dış bükey ince cidarlı parçanın, daha düşük artık gerilim göstererek lignoselülozik polimerler için daha uygun bir enjeksiyon kalıplama tekniği olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Radhwan ve ark. (2015), plastik enjeksiyon ile elde edilen parçalardaki çekme davranışının (mm) optimizasyonu için çalışmışlardır. Proseste seçilen kritik parça üzerinde kalıp sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn) ve soğuma zamanı (sn) parametreleri kullanarak çekme davranışını (mm) minimize etmeye çalışmışlardır. 3 seviyeli Taguchi metodu L27 ortogonal dizisi kullanmışlardır. Deney sonuçları ile en uygun kombinasyon değerlerini bulmuşlardır.

Chandrashekhar ve Shinde (2019), çalışmalarında aydınlatma lambasında bulunan plastik parçanın enjeksiyon kalıplaması sırasında meydana gelen kalite sorunlarını incelemişler ve kalıp tasarımı sürecini optimize etmeye çalışmışlardır. Taguchi metodunun L9 ortogonal dizisi kalıp yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), erime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), enjeksiyon zamanı (sn) ve değişim

oranı (%) faktörlerinden seçmişlerdir. MouldFlow simülasyon programını kalıp tasarımı için kullanılmışlardır. Sonuç olarak yapılan çalışmada, çıktı faktörlerinden olan soğuma zamanı (sn) ve dolum zamanı (sn) için optimum değerlere karar vermişlerdir.

Mercan (2019), çalışmasında fırın düğmesinde plastik enjeksiyon sonrası yaşanan kalite problemlerini incelemiştir. Problem için Taguchi metodunun L18 ortogonal dizisini kullanmıştır. Parametreler arasında enjeksiyon basıncı (Pa) ve hızı (m/s), enjeksiyon pozisyonu (mm), ütüleme basıncı (Pa), hızı (m/s) ve zamanı (sn) ve soğuma zamanı (sn) olmak üzere 7 faktör seçilmiştir. Sonuçlara göre parçadaki boyutsal olarak küçülme miktarını (mm) en az etkileyen faktörün enjeksiyon pozisyonu (mm) olduğu görülmüştür ve diğer parametreler için optimum değerleri belirlemiştir.

Lin ve Chen (2020), optik lens kalıplama işlemindeki proses parametreleri üzerinde çarpılma miktarını (mm) en aza indirgeyecek şekilde optimizasyon çalışması yapmışlardır. Taguchi metodu ile çarpılmayı ve gecikmeyi etkileyen ütüleme zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa), erime sıcaklığı (°C), dolum süresi (sn), soğuma süresi (sn) ve kalıp yüzey sıcaklığı (°C) parametrelerini kullanmışlardır. Sonuç olarak çarpılma miktarı (mm) optimize edilirken, enjeksiyon kalıplama kontrol faktörlerini Taguchi metodundan çıkan faktör önem sırasına göre belirlemiştir.

Lin ve Chen (2021), optik sistemlerde kullanılan plastik ürünlerin yuvarlaklığı ve eş merkezliliğindeki (mm) bozulmaların minimuma indirilmesi için Taguchi metodunu kullanarak enjeksiyon parametreleri üzerinde çalışmışlardır. Girdi parametreleri enjeksiyon basıncı (Pa), erime sıcaklığı (°C), kalıp sıcaklığı (°C), ütüleme basıncı (Pa) ve soğuma zamanıdır (sn). Çalışma sonucunda bu problemlere sebep olan en etkili faktörlerin ütüleme basıncı (Pa), erime sıcaklığı (°C) ve soğuma zamanı (sn) olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Önal (2021), çalışmasında plastik enjeksiyon kalıplama tekniği ile imal edilen fırın düğmesi iç göbek parçasının çekme miktarı (mm) probleminin minimizasyonu için Taguchi metodu ile analiz yapmıştır. Enjeksiyon basıncı (Pa), hızı (m/s), pozisyonu (mm) ve ütüleme basıncı (Pa), hızı (m/s), zamanı (sn) ve soğuma zamanı (sn) olmak üzere 7 faktör ve belirlemiştir. Taguchi metodu L18 ortogonal dizisi kullanmıştır. Çıktı olarak çekme miktarını (mm) referans almıştır. Taguchi metodunda sonuç olarak çekme miktarında (mm) etkisi yüksek olan ilk faktörlerin ütüleme zamanı (sn), enjeksiyon basıncı

(Pa) ve ütüleme basıncı (Pa) olduğunu gözlemlemiş ayrıca enjeksiyon pozisyonunun (mm) çekme miktarı (mm) için en az etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir.

Türkan (2021), plastik enjeksiyon parçasının soğutma işlemi esnasında meydana gelebilecek çatlak ve gerilme riskine karşı soğuma sürecinin optimizasyonunu incelemiştir. Faktör olarak yüzey pürüzlülüğü (mm), akışkan debisi (lt/dk) ve kanal çapı (cm) ele alınmıştır. Çıkan Taguchi metodu deney sonuçlarına göre optimum koşul olan en az soğuma süresinin (sn) maksimum S/N oranı değerlerini alarak belirlemiştir. Soğuma süresine etki eden faktörleri önem sırasına göre sıraladığında akışkan debisi (lt/dk), kanal çapı (cm) ve yüzey pürüzlülüğü (mm) olarak bulmuştur.

Wu ve ark. (2021), otomobil aydınlatma gösterge parçasının enjeksiyon kalıplanmasını simüle etmek için MoldFlow yazılımından ve Taguchi metodu ortogonal dizisinden faydalanmışlardır ve girdi parametreleri olarak kalıp yüzey sıcaklığı (°C), erime sıcaklığı (°C), soğuma zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa) ve ütüleme zamanı (sn) kullanarak analiz edilmiştir. Büzülme (%) ve çarpılma miktarı (mm) kalite değerlendirme yani çıktı parametreleri olarak kabul edilmiştir. Belirlenen optimum proses parametrelerine göre otomobil aydınlatma göstergesinin kalite gereksinimlerine göre uygun şekilde üretilbildiğini sonuçlarla göstermişlerdir.

Karaoğlan ve Baydeniz (2020), otomotiv aydınlatma parçalarındaki hatalı enjeksiyon görüntülerini ve parça kopmalarını minimize edebilmek için Taguchi deney tasarımı metodundan faydalanarak kalıp basma parametrelerinin optimizasyonunu üzerine çalışmıştır. Girdi değişkeni olarak enjeksiyon hızı (m/s), mal alma zamanı (sn), ocak sıcaklığı (°C) ve ütüleme basıncı (Pa) faktörlerini ele almış; çıktı değişkeni olarak ürün ağırlığını (gr) ölçmüşlerdir.

Karaoğlan ve Bağçeci (2023), otomotiv aydınlatma parçalarında meydana gelen kalite problemine çözüm için plastik enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyonu ile sağlamaya çalışmışlardır. Deneyler için faktörler enjeksiyon hızı (m/s), manifold sıcaklığı (°C), ütüleme basıncı (Pa), ütüleme zamanı (sn), kalıp yüzey sıcaklığı (°C), soğuma zamanı (sn), ocak sıcaklığı (°C) olarak belirlenmiş yanıt faktörü ise parça rengindeki değişim yani sararma ve mavileşme olarak belirlenmiştir. Çalışmada Taguchi metodu L27

ortogonal dizisi kullanılarak sararma ve mavileşme değerlerinin optimizasyonunu sağlamışlardır.

Literatür araştırmasında plastik enjeksiyon ve optimizasyon konusu üzerine çalışmalar incelenmiştir. Yukarıda yapılan literatür araştırması Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Literatür taraması.

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Chen ve ark.	1997	Otomobil tampon parçasının enjeksiyon kalıplanma prosesinin optimizasyonu	Taguchi	Dolum zamanı dolum kesici enjeksiyon hızı soğutucu akış oranı postfill zamanı sıcak yolluk sıcaklığı bekletme basıncı enjeksiyon sıcaklığı kalıp sıcaklığı bekletme basınç zamanı	Akış çizgileri
Chang ve Faison	2001	Plastik enjeksiyon kalıplama prosesinin üç ayrı polimer üzerinde optimizasyonu	Taguchi	Ütüleme basıncı, ütüleme zamanı erime sıcaklığı, enjeksiyon basıncı kalıp sıcaklığı, geri basınç, soğuma zamanı	Büzülme miktarı
Kayı	2006	Polietilen ve polistiren karışımli parçaların plastik enjeksiyon sonrası çekme davranışının optimize edilmesi	Taguchi	Tutma zamanı, çalışma sıcaklığı, tutma basıncı, soğuma zamanı, enjeksiyon basıncı	Çekme miktarı ve ağırlık
Oktem ve ark.	2006	İnce cidarlı plastik enjeksiyon kalıplamada süreç parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Enjeksiyon zamanı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı, soğuma zamanı	Çekme miktarı
Tang ve ark.	2006	Plastik enjeksiyon parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Erime sıcaklığı, dolum zamanı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı	Çarpılma miktarı

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Kamber	2008	Plastik enjeksiyon kalıplarında belirli parametrelerin kaliteye etkileri ve Taguchi yöntemi ile en iyilenmesi	Taguchi	Basınç, sıcaklık, zaman	Boyutsal çökme ve dairesellik
Altan	2009	Plastik enjeksiyon kalıplamada çarpılma davranışının Taguchi yöntemi ile azaltılması	Taguchi, Yapay Sinir Ağları	Erime sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ütüleme zamanı, ütüleme basıncı	Büzülme miktarı
Chen ve ark.	2009	İnce cidarlı plastik parçaların enjeksiyon kalıplamasının deney tasarımı analizi	Taguchi	Erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı	Çarpılma oranı
Erdem ve ark.	2010	Plastik enjeksiyon proses parametrelerinin kalıp tasarımı faktörleri kullanılarak çarpılma değerinin azaltılması	Taguchi	Giriş sayısı, yolluk tasarımı, giriş ölçüleri	Çarpılma miktarı
Mehat ve Kamuriddin	2011	Geri dönüştürülmüş plastik parça kalıp parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Ütüleme zamanı, kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, enjeksiyon zamanı, ütüleme basıncı, ve soğuma zamanı	Akma dayanımı ve eğilme modülü

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Mehat ve Kamuriddin	2011	Geri dönüştürülmüş plastik parça kalıp parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Erime sıcaklığı, ütüleme basıncı, enjeksiyon zamanı, ütüleme zamanı	Akma dayanımı
Alam ve Kumar	2013	Far parçasının enjeksiyon proses parametrelerinin çekme davranışına karşı optimizasyonu	Taguchi	Erime sıcaklığı, ütüleme zamanı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı	Çekme miktarı
Azaman ve ark.	2013	Lignoselülozik bazlı parçanın enjeksiyon kalıplama prosesinin incelenmesi	-	Yüzey sıcaklığı, soğuma zamanı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı	Çekme miktarı
Radhwan ve ark.	2015	Plastik enjeksiyon prosesinde çekme davranışının optimizasyonu	Taguchi	Kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı ve soğuma zamanı	Çekme mukavemeti
Chandrashekhar ve Shinde	2019	Aydınlatma lambasının plastik enjeksiyon kalıp sürecindeki hataların optimizasyonu	Taguchi	Kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, enjeksiyon zamanı, değişim oranı	Dolum zamanı ve soğuma zamanı
Mercan	2019	Fırın düğmesindeki boyutsal çekmenin Taguchi metodu ile optimizasyonu	Taguchi Yapay Sinir Ağları	Ütüleme basıncı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon pozisyonu, ütüleme hızı, ütüleme zamanı, enjeksiyon hızı ve soğuma zamanı	Parçadaki boyutsal çekme

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Lin ve Chen	2020	Optik lenslerdeki çarpılma ve retardation problemi için Taguchi metodu ile optimizasyonu	Taguchi Gri İlişkisel Analiz	Ütüleme süresi, ütüleme basıncı, erime sıcaklığı, dolum süresi, soğuma süresi kalıp sıcaklığı	Çarpılma oranı
Lin ve Chen	2021	Optik lenslerdeki çarpılma ve probleminin Taguchi metodu ile optimizasyonu	Taguchi	Enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, soğuma zamanı	Eş merkezlilik
Önal	2021	Plastik enjeksiyon ile üretilen parçadaki çekme probleminde Taguchi metodu etkisi	Taguchi	Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon pozisyonu, ütüleme basıncı, ütüleme hızı, ütüleme zamanı, enjeksiyon hızı soğuma zamanı	Çekme miktarı
Türkan	2021	Enjeksiyon edilmiş plastiğin soğutulma süreci optimizasyonu	Taguchi	Akışkan debisi, kanal çapı, yüzey pürüzlülüğü	Soğuma süresi
Wu ve ark.	2021	Otomotiv gösterge aydınlatma parçasının plastik enjeksiyon kalıplama parametrelerinin optimizasyonu	Taguchi	Kalıp sıcaklığı, erime sıcaklığı, soğuma zamanı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı	Çarpılma miktarı

Tablo 2.1 (devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktörler	Yanıtlar
Karaoğlan ve Baydeniz	2020	Otomotiv aydınlatma parçaları için Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parametrelerinin en iyilenmesi	Taguchi	Ocak sıcaklığı, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, mal alma zamanı, ütüleme basıncı	Ağırlık
*Karaoğlan ve Bağceci	2023	Taguchi metodu ile aydınlatma parçalarının plastik enjeksiyon proses faktörlerinin optimizasyonu (<i>Bu tez çalışmasından üretilen yayın</i>)	Taguchi	Enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı, soğuma zamanı, kalıp yüzey sıcaklığı, ocak sıcaklığı, manifold sıcaklığı	Sararma ve mavileşme

*Bu tez kapsamında üretilen yayını ifade etmektedir ve tezin literatürden farkını ortaya koymaktadır.

Literatürde plastik enjeksiyon süreç optimizasyonu ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, bu tez çalışmasında ele alınan faktör ve yanıt değişkeni kombinasyonunun ele alındığı benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu durum bu tezin motivasyonunu oluşturmaktadır. İzleyen bölümde literatürde bu konu ile ilgili yayınlanmış çalışmalar ile ilgili özet bilgi sunulmuş ve bu tez çalışmasının literatürdeki çalışmalardan farkı ve yenilikçi yönü ele alınmıştır.

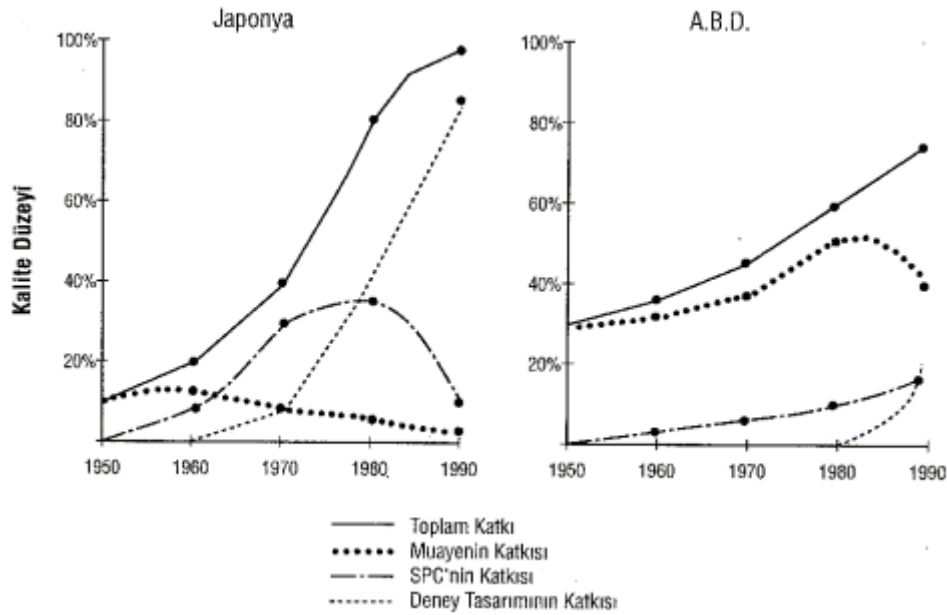
3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Kısa Tarihçesi

İstatistiksel deney tasarımının dört farklı gelişim dönemi olmasına rağmen, ilk defa 1920'li yıllarda İngiliz istatistikçisi A. Ronald Fisher tarafından tarım ürünlerinin verimli üretilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Fisher, ürünlerin verimine katkıda bulunan gübrelerin tespitinde bu yöntemden yararlanmıştır. Fisher, ürün yetiştirilecek toprağı verimliliğı aynı derecede olan birkaç bloğı ayırmış ve her bir ürün çeşidini rastgele bu bloklarda yetiştirmiştir. Fisher'in blok kurması ve bloklara rastgele yerleştirme yapması faktöriyel tasarım konsepti ve analizi kavramının doğmasına sebep olmuş, deneysel araştırmaların temelini atılmasına yön vermiştir (Montgomery, 2008).

Fisher, ANOVA yöntemini deney setlerinin analizi için araştırmalar yapmış ve yöntemi geliştirmiştir. Yöntemin gelişimi ile Amerika'da özellikle tarım sektöründe kullanılmasını sağlamıştır. Ürünler üzerindeki farklı koşulların etkilerinin gözlemlenebilmesi ve doğru verilerle belirlenmesine yardımcı olmuştur (Şanyılmaz, 2006).

Şekil 3.1'de gösterilen geleneksel ve istatistiksel proses kontrol metodunun zaman içerisinde kalite süreçlerine olan etkileri Amerika ve Japonya'da yapılan uygulamalar ile gösterilmiştir (Şirvancı, 1997).



Şekil 3.1: Deney tasarımının kalite sürecine etkileri.

Grafikler klasik muayene, istatistiksel proses kontrolü ve diğer yöntemlerin ülke bazında 1950 ile 1990 aralığındaki kalite düzeyinin karşılaştırmasını göstermektedir. İki grafiği kıyasladığımız zaman 1950 yıllarında Amerika'daki kalite düzeyinin Japonya'ya göre yüksek olduğu görünmektedir. Ancak deney tasarımının Japonya'ya katkısı 1970'ten sonra kalitenin hızlı bir şekilde ilerlemesinde katkı sağlamıştır. Amerika'da ise bu hızlı ivmelenme 1980'den sonra yaşanmıştır (Şirvancı, 1997).

Araştırma ve geliştirme çalışmalarında istenilen sonuca ulaşabilmek için tasarlanmış olan sistemin maksimum performans şartlarında çalışması beklenir. Ürün ve ürünü meydana getiren süreç olan üretimin kalitesinin artırılması hedeflenir. Kalite sürecinin desteklenmesinde kullanılan bir metot olan deney tasarımı istatistiksel olarak güvenilir sonuçlar çıkarmayı kendi metodolojisine dayandırarak yapmaktadır. Deney tasarımı kavramı da süreci etkileyen faktörlerin yeni prosesler geliştirme ve mevcut süreçler hakkındaki bilgiye ulaşılmasında optimizasyonunu sağlayan faaliyetler bütünüdür. Deney tasarımı planlama, tasarlama ve uygulamaya geçiş sürecini ifade eder. Deney tasarımı metodunun kullanılmasındaki temel amaç süreç boyu oluşma ihtimali bulunan hataları en aza indirmektir (Antony, 2006).

Deney tasarımı sürecinde girdi kombinasyonlarının kullanılarak çıktıyı etkilemesi beklenir. Hedeflenen performansı elde edebilmek için süreci etkileyen faktörlerden faydalanılır. Deney tasarlanırken proses girdileri veya makine değişkenleri üzerinde değişiklik yapılarak çıktı üzerinde gözlem yapılır. Bu girdiler makine, ekipman veya insan kaynaklı değişkenler olabilir. Bazı proses değişkenlerinin parametreleri ile kolaylıkla değişiklik yapılabilir fakat bazı faktörler standart koşullar altında kontrol edilemez. Bundan dolayı faktörler kendi içinde kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen olarak iki başlık altında ayrılır. Kontrol edilebilir değişkenler deney tasarlanırken yanıt üzerinde etkisinin devam ettiği, kontrol edilemeyen değişkenler ise sonuca etkisine müdahale edilemeyen ve sistem dışı olarak tanımlanan parametrelerdir. Faktörlerin yanıt üzerindeki etkisinin maksimum seviyede olması sistem tarafından beklenen bir durumdur. Bu faktörler arası ne kadar fazla etkileşim varsa o kadar anlamlı deney sonucu oluşturulmasını sağlar (Özden, 2020; Montgomery, 2008; Antony, 2006).

3.2 Deney Tasarımının Temel İlkeleri

Deney tasarımında rassallık, tekrarlama, bloklama kullanılmak üzere üç temel ilke bulunur. Deney tasarımında bu ilkeler deneysel hataları azaltmak ve tamamen ortadan kaldırmak için uygulanır.

Rassallık, deney tasarımının temelini oluşturan faktörü yansıtır. Oluşturulan deneylerdeki faktör seviyelerinin her bir deney bazında rastgele olarak değerlerin atanmasını sağlar. Herhangi bir düzene bağlı olmaksızın tesadüfi olarak dağıtılması işlemidir. Rassallık deney verilerinin tasarıma atanma olasılıklarının uygun olarak dağılmasını da yardımcı olur. Deneylerin atanmasının yanı sıra deney verilerinin toplanması esnasında da uygulanır. Deney sonuçlarının analiz edilmesinde ve istatistiğinin kullanılmasında gerekli olan temellerden birisidir. Aynı zamanda rassallaştırmanın önemini bu alanın kurucusu olarak kabul edilen Ronald A. Fischer kaynaklarında yer vermiştir (Okudan, 1995).

Bir diğer önemli faktör olan tekrarlama aynı deneyin, birden fazla kez yapılması işlemidir. Tekrarlama ilkesi verilerin dış koşullar kaynaklı oluşmuş veya oluşabilecek hatalarının fark edilmesine ve araştırılmasına olanak sağlar. Deney hatasının ölçümünü sağlar ve deneysel hataların farklı çevre koşulları altında yapılarak giderilmesine fırsat verir. Bu hatalar deney esnasında kontrol edilemeyen faktörlerden dolayı oluşur. Aynı veya benzer durumlar altında aynı denemeye maruz bırakılan deney ölçümlerinin teorik olarak benzerlik göstermesi beklenir. Ancak doğa koşulları gereği sonuçlar aynı çıkmaz ve deney birimleri arasında oluşan kontrol edilmeyen farklılıklar deneysel hata olarak adlandırılır. Tekrar sayısının artması deneysel hataların küçülmesine dolayısıyla deneme etkilerine ait tahminlerin ve testlerin hassasiyetinin artmasına sebep olur. Deneysel hata oranını azaltmak için oldukça fazla deney seti oluşturmak beklenen bir yaklaşım değildir. İstatistiksel anlamlılık derecesini sağlayabilecek kadar da deney yapılması beklenir. En uygun sayıda tekrarlama sayısının bulunması gerekir (Şanyılmaz, 2006).

Bloklama, yanıt faktörü üzerinde etkileri olan benzer değişkenlerin kendi içinde gruplara bölünmesidir. Temel amaç, blok dahilinde hesaplamaya katılmayan faktör etkilerini azaltmak ve faktör kombinasyon etkilerini belirlemektir. Bloklar arası deneysel faktörlerin homojen olarak seçilmesi sonuçları olumlu yönde etkileyecektir. Her bir blok içerisinde faktör ve seviyelerinin etki farklılıkları oluşmaktadır. Bloklama yönteminde kontrol dışı kalan tüm faktörlerin etkisinin minimum olması beklenmektedir. Bloklama metodunda

faktör parametreleri blok içerisinde konumlandırılarak yanıt üzerindeki etkisi olmayan diğer parametreler yok edilmiş olur. Temelde varılmak istenen sonuç ise deneysel hatanın azaltılmasıdır (Şanyılmaz, 2006; Okudan, 1995).

3.3 Deney Tasarımında Kullanılan Temel Kavramlar

Deneylere başlamadan önce prosesin çok iyi tanımlanması gerekmektedir. En temel gereksinim de prosesin çalışma mantığının alınması ve prosese etki eden parametrelerin neler olduğunun tespit edilmesidir. Deney kavramı bu sistemlerin özelliklerinin veya sisteme ait bir parçanın problemlerini incelemek, faktörler arası etkileri belirlemeye çalışmak için yapılan denemelerdir. Tüm bu denemeler ise deney olarak isimlendirilmiştir. Başka bir tanımlamada ise hipotez haline gelmiş bilgilerin kabul edilmesi veya reddedilmesi için bilgilerin doğrulandığı ayarlanmış bir araştırma ve sorgulama metodudur.

Faktörler, deney kavramı içerisindeki sistemin girdileri olarak düşünülmektedir. Sistemin çıktısı üzerinde etkisi bulunan ve bazılarının kontrol altına alınabildiği bazılarının kontrol altına alınamadığı ve herhangi bir müdahaleye açık olmadığı parametrelerdir. Faktörler sistemin temel girdisini oluşturarak yanıt üzerindeki değişiklikleri baskılayabilir. Örneğin plastik enjeksiyon makinesindeki enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklıkları, kalıbın soğutma zamanı parametrelerine dışarıdan müdahale ederek parçanın nihai durumu etkilenebilir. Makinedeki değiştirilebilir olan bu parametreler kontrol edilebilir faktörler olarak adlandırılmaktadır. Ancak dış ortam koşullarından dolayı meydana gelebilecek ve müdahale imkânı vermeyecek faktörler kontrol edilemeyen faktörler olarak ifade edilmektedir. Bazı deney tasarım metodlarında faktör durumları nicel veya nitel olabilir. Nitel değerler için ölçüm metoduna karar verilmelidir. Faktörler için tek bir değer değil, seviyelendirme metodu ile tasarım gerçekleştirilmektedir. Faktör sayısının seviyesine göre toplam deney sayısı ortaya çıkmaktadır. Seviyelerdeki artış deney sayısındaki artışa doğrudan etki etmektedir. Yanıt faktörleri ise sistemin tüm yapılan faaliyetler sonucunda etkilenmesi ve değişime uğramasını beklediği çıktıdır. Girdi faktörlerinin işlenmesi sonucu ortaya çıkan değer, yanıt faktörü olarak adlandırılmaktadır. Deneyler gerçekleştirilmeden önce faktörler arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörler arası ilişki faktörler arasındaki bağların açıkça tanımlanmasını ifade eder. Hesaplamalara dahil edilmemiş hatalı bir etkileşim değeri deney sonuçlarının farklı olmasına sebep olmaktadır (Okudan, 1995; Şanyılmaz, 2006).

3.4 Yaygın Olarak Kullanılan Deney Tasarım Metotları

Kalite problemleri için geleneksel ve modern yaklaşımlar farklı sistemlerde kullanılmış ve kullanılmaya devam edilmektedir. Klasik kontrol aşamalarından uzaklaşılması ile deney tasarımı ve istatistiksel proses kontroller önem kazanmaya başlamıştır. Kalite problemlerine gelişmiş bir çözüm tekniği olan deney tasarımı temel tasarım kombinasyonlarını kullanarak değişik çalışma koşulları altında en uygun süreç parametrelerinin seçilmesinde fayda sağlamaktadır. Temelde sistemin faktörler altındaki performansının artırılabilmesi ve daha çok iyileştirme faaliyetinin yapılmasını destekleyen bir yöntem olarak bilinmektedir. Üretim ve kaliteyi iyileştirip maliyeti minimuma indirerek süreç tasarımlarının en verimli şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. Literatürde en yaygın olarak kullanılan metotlar; yanıt yüzey yöntemi (YYY), faktöriyel tasarım ve Taguchi metodudur.

Faktöriyel deney tasarımları birden fazla seviyede ve sayıda bulunan faktörlerin tasarımının yapıldığı bir deney tasarımı türüdür. Tam faktöriyel tasarımda tüm olası faktör kombinasyonları belirlenir ve tasarım noktalarının sayısı her faktörün toplam seviye sayısının katı kadardır. Sıklıkla 2^k ve 3^k tasarımları kullanılır. Üst olan k değeri faktör sayısını gösterirken seviye sayılarını 2, 3 değerleri gösterir. Örneğin üç faktör ve her birine ait iki düzey bulunuyor olsaydı tasarım için 2^3 tam faktöriyel tasarımı kullanılacaktı. Deney tasarımının üstel olarak artması deney sonucunun alınma süresini de uzatmaktadır. Bu tarz durumlar sanayi uygulamalarında maliyetlerin artmasına sebep olacaktır. Yanıt ile değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için birinci dereceden denklem ile tasarım oluşturulmaktadır. Aynı zamanda faktörler nitel (kesikli değişken), veya nicel (sürekli değişken) olabilir (Montgomery, 2008; Balaban, 2019).

Yanıt yüzey yöntemi, girdi faktörleri ve çıktı faktörleri arasında matematiksel model kurar ve istatistiksel yöntemleri kullanır. Lineer, karesel ve ikili etkileşim içerir ve ikinci derece regresyon denklemlerinden faydalanır. Diğer yöntemlerden farklı olarak en fazla 10 adet faktör deneye katılabilir ve çok fazla deney kombinasyonu oluşturur. Kesikli değişken kullanılamaz yalnızca sürekli değişken kullanılır ve bu değişkenlerin faktör seviyeleri birbirine eşittir. Yanıt yüzey yöntemi deney tasarımını kendi içerisinde üç aşamaya ayırarak gerçekleştirmektedir. Eleme denemeleri, bölge araştırması ve optimizasyon aşaması olarak tanımlanır. Deneyleri yapıp uygun modeli belirlemesi sonrasında prosesin genel optimizasyonu yapılır (Özden, 2020).

Taguchi metodu, matematiksel model veya denklemler içermemesi, diğer yöntemlere göre daha fazla faktör ve seviye kullanılmasına izin vermesi ve hem sürekli hem kesikli değişken kullanılmasına izin vermesi ile tüm faktörler arasında en esnek yöntemler arasındadır. Faktörler ile seviye sayıları eşit olmak zorunda değildir. Matematiksel model bulunmamasına karşın S/N (Signal/Noise: Sinyal/Gürültü) değeri ile yani kontrol edilebilen faktörlerin kontrol edilemeyen faktörlere oranını kullanarak en uygun parametre değerlerinin bulunmasını sağlar. Çıkan bu değerler optimum proses parametrelerini ifade eder. S/N oranında her zaman maksimum değer seçilir, sebebi ise kontrol edilebilen değişkenlerin yanıt üzerindeki kontrolünün kontrol edilemeyen değişkenlere oranla daha yüksek olması istenmesidir. Taguchi metodu, bunun haricinde faktörleri önem sırasına göre raporlayabilir. Kullanılan faktörlerin yanıt üzerinde en çok etkisi olandan en az etkisi olana doğru sıralamayı yapar. Tablo 3.1’de deney tasarım yöntemlerinin özet şeklinde kıyaslaması belirtilmiştir (Antony, 2006).

Tablo 3.1: Deney tasarım metotları kıyaslaması.

Yanıt Yüzey Metodu	Taguchi Metodu	Faktöriyel Tasarım Metodu
Matematiksel model kullanır	Matematiksel model kullanmaz	Matematiksel model kullanır
Lineer, karesel ve ikili etkileşimleri kullanan 2. derece regresyon denklemleri kullanır	İkili etkileşim değerleri sınırlı değildir, denklem kullanmaz	Lineer ve etkileşim içeren 1. dereceye kadar regresyon denklemleri kullanır
Optimum değerler için ara değer bulabilir	Ara değer bulamaz, S/N oranını kullanır, optimuma en yakın faktörleri bulur	Ara değerleri nicel değerler için bulur
Deney faktörleri sadece niceldir	Deney faktörleri nicel veya nitel olabilir	Deney faktörleri nicel veya nitel olabilir
Faktörler eşit seviyede olmalıdır	Faktörler farklı seviyelerde olabilir	Faktörler 2 seviyeli olmalıdır

Bu tez çalışmasında yanıt faktörü üzerindeki kontrol edilebilir faktörlerin değerini arttırıp kontrol edilemeyenleri azaltmak deney tasarım yöntemlerinden olan Taguchi metodu tercih edilmiştir. Taguchi metodu diğer yöntemlere göre daha az sayıda deney kombinasyonu verdiği için deneylerin yapılma süresi ve maliyetini düşürmektedir.

3.5 Taguchi Metodu

Sürekli kalite iyileştirme mantığı ile Japon mühendis Genichi Taguchi tarafından desteklenip geliştirilen bir araç olan Taguchi metodu, hedeflenen kaliteyi yakalayabilmek için ürünün ve prosesin tüm çevre koşulları altında tasarlanmasını ve böylelikle olumsuz faktörlerden arındırılmasını sağlar. Taguchi tarafından geliştirildiği bilinen bu yöntem 1940'lı yılların sonlarına doğru doğmuştur. Düşük maliyet, yüksek kalite ve güvenilirlik mevcut üretim ve hizmet sektöründe beklenen en temel üç çıktı arasındadır. Uzman kişiler hem ürünlerdeki maliyetleri düşürmek için çalışmalar gerçekleştirirken hem de arz edilen kalite seviyesinde kalabilmek için ürünü sürekli olarak geliştirmek durumundadır. Talep bu şekilde ilerlediği için matematiksel ve istatistiksel metotlardan tasarım aşamasında faydalanılması gereksinimi etkili olmaktadır. Kaliteyi iyileştirmek için ürün ve proses tasarımlarında da en iyi sonuçları verecek ve bu bakış açısıyla hareket edebilecek pek çok metot bu süreçte aranmıştır (Montgomery, 2008).

Taguchi proseslerde meydana gelen belirli katma değersiz işlemleri ve kayıpları yok etmek için deney tasarımı yöntemini geliştirmiş ve bu yöntemi uygularken ortogonal dizilerden faydalanmıştır. Taguchi metodunun temelini oluşturan aynı zamanda da oldukça etkili bir yöntem olan, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin etki seviyeleri kullanılarak kontrol altında tutulabilen faktörlerin etkisinin daha fazla arttırılması ve diğer kalan faktörlerin etki seviyesinin azaltılması işlemi uygulanmıştır. Tüm bu işlemleri yapmak için en az sayıda olacak şekilde deneyler tasarlanmış ve prosesler optimize edilmeye çalışılmıştır. Prosese konu olan girdi faktörlerinin ve yanıt değişkenlerinin tasarımdan çıkan farklı kombinasyonları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları ile optimum parametre seçimleri yapılması hedeflenmiştir (Montgomery, 2008; Balaban, 2019; Okudan, 1995).

Geleneksel kalite anlayışı ile temelde farklılıkları bulunan Taguchi metodunun anlaşılabilir kılınması için Tablo 3.2'de geleneksel kalite anlayışı ile Taguchi kalite anlayışı karşılaştırılmış ve özetlenmiştir (Hamzaçebi, 2001).

Tablo 3.2: Geleneksel kalite anlayışı ile Taguchi anlayışının kıyaslaması.

Geleneksel Kalite Anlayışı	Taguchi Anlayışı
Parçaların hedef toleranslar arasında kalması yeterlidir.	Hedef değerden tüm sapmalar kayıp olarak adlandırılır.
Kalite kontrolü nihai ürün çıktıktan sonra yapılır.	Kalite kontrolü ürün tasarım aşamasındayken yapılır.
Kontrol faaliyeti bir üst hiyerarşiden alınır ve sadece kontrol uzmanı takip eder.	Belirlenen hedefler doğrultusunda geniş tabanlı bir kontrol esastır, kalite bir kişiye bağlı değildir.
Problem çıktıktan sonra müdahale planı yapılır.	Problem çıkmadan önce öngörüler ve planlar yapılır.
Muayeneye dayalıdır.	Önlemeye dayalıdır.
Kalitenin artırılmasının yüksek maliyetler getireceği düşünülür.	Yüksek kalite ile maliyetlerin düşürülmesinin mümkün olduğu düşünülür.
Gelirlerin artırılmasını hedefler.	Ürün performans ve fonksiyonlarının artırılmasını hedefler.
En az sayıda fire ve yeniden işlemleri hedefler.	Sıfır fire ve yeniden işlemleri hedefler.

3.5.1 Taguchi Felsefesi

Japonya'daki toplam kalite anlayışı hareketinde, geçmişten bugüne gelişim gösterme adımları geleneksel muayene, istatistiksel kalite denetimi, ürün ve süreç tasarımı olarak düşünülmektedir. Gelişen ekonomik ve sanayi koşulların etkisi ile yeni yaklaşımlara gereksinim duyulması sonrasında süreç tasarımları önem kazanmıştır.

Genichi Taguchi de ürün ve süreç tasarımı gelişiminin önemini vurgulayan ve gelişimine destek veren bir lider olmuştur. Taguchi metodu diğer istatistiksel proses kontrol yöntemlerine benzerlik gösterirken en temel farkları istatistiksel metotlar üretimdeki sonuçları ve prosesin son durumunu verirken Taguchi metodu sürecin nasıl ilerlemesi gerektiğini söylemektedir. Geleneksel yöntemlerde üretim sonrası final kontroller ön plana çıkarken Taguchi metodunun ana felsefesinde ürün henüz tasarım aşamasındayken problemlerin önlenmesi üzerine durulmaktadır. Tüm sürecin tamamlanması sonrası yapılan

kontrollerde çıkan hatalar üreticilere zaman ve maliyet kaybı olarak geri döner. Öncelikli olarak hatanın tanımlanması için, problem tanımı sonrası alınacak ve sürdürülebilirliğini sağlayacak aksiyonların takibi için ek süreler ihtiyacı duyulacaktır. Taguchi metodunun geleneksel kalite anlayışından ayrılan en önemli noktaları ise geleneksel anlayışı kalitenin maliyeti arttırdığını ve son kontroller ile sağlandığını benimserken, Taguchi metodu tasarım aşamasında yapılan önleyici faaliyetlerin kalite maliyetini düşürdüğüne inanır. Üretim süreci öncesinde yapılan tüm iyileştirme faaliyetleri üretim sonrası gereğinden fazla yapılacak olan kalite kontrol işlem adımlarının ve proses sonrası çıkabilecek hata oranlarının azaltılmasını sağlar (Saat, 2000; Şanyılmaz, 2006).

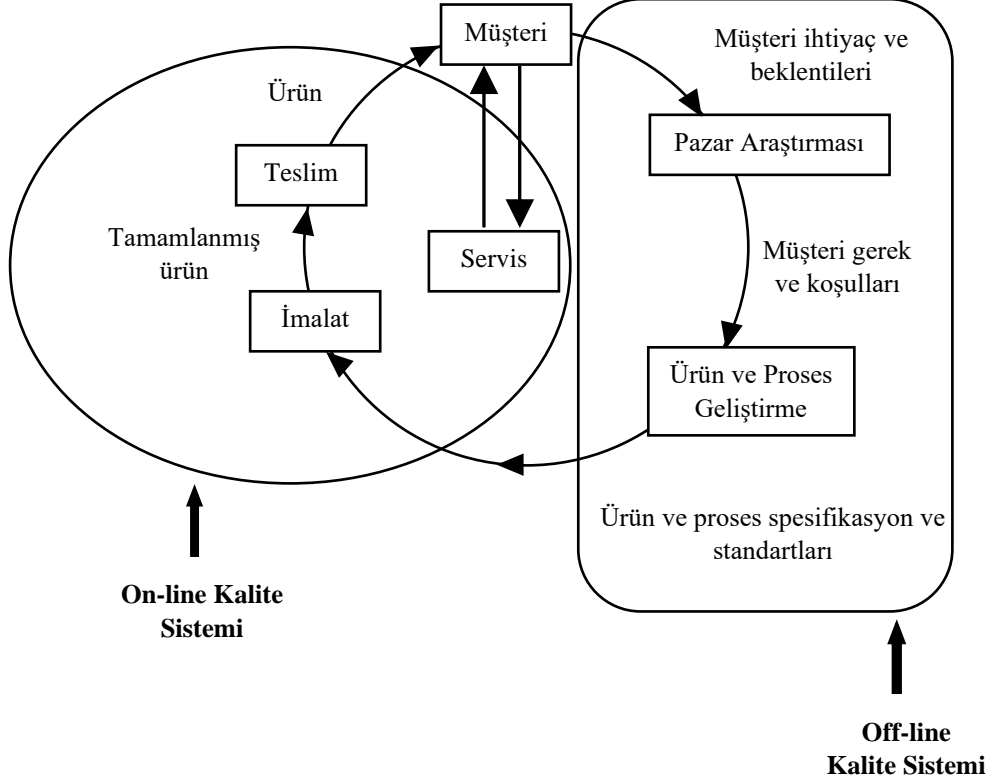
Taguchi getirdiği bu felsefe ile dünyadaki kalite anlayışı ile finansal kontrol anlayışlarında da etkili olmuştur. Ürün veya prosesin geliştirilmesi yapılırken kalite düzeyinin artırılması yıllık firma gelirlerinde de oransal olarak artışa sebep olmaktadır. Sürekli bir kalite değişim anlayışının yanında maliyetlerin de azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Kumsal, 1994).

Taguchi üretilen bir ürünün kalitesinin o ürünün kullanımı sırasında topluma meydana getirdiği kayıp ile ölçüleceğini düşünür. Taguchi'nin felsefesi aşağıdaki 7 adımda felsefesi özetlenmiştir (Aydın, 1994).

1. Üretilen ürünün kalitesinin artırılmasının amacı ürünün kullanımından dolayı oluşacak toplumdaki kayıpları en aza indirmektir.
2. Kalitenin sürekli olarak geliştirilmesi ve maliyet iyileştirmeleri rekabet olan sektörlerde yapılmalıdır.
3. Ürün performansını etkileyen değişkenlerin kaliteyi sürekli iyileştirmek için sapmaları hedef değerden minimum düzeye indirilmelidir.
4. Ürün karakteristik değişiminden dolayı meydana gelen sapmalar sonucu müşterinin maruz kaldığı kayıplar, hedef değerden sapmaların karesi ile orantılıdır.
5. Ürünün son kalite kriterleri ürünün tasarım sürecindeki işlemleri ile belirlenir.
6. Üründeki hedeflenen spesifikasyonları yakalayabilmek için ürüne etki eden değişkenleri de kontrol etmek gerekir.
7. Planlanan deney faktörleri süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

3.5.2 Taguchi Yönteminde Deneysel Tasarım

Ürünün kalitesi, maliyeti ve mühendislik tasarımları prosesin doğal bir sonucudur. Bu süreçlerde bir adımın girdisi başka bir adımın çıktısını oluşturduğu için nihai üründeki durumlar etkilenebilir. Taguchi metodu süreci kendi içinde iki denetime ayırır, on-line (çevrim içi) ve off-line (çevrimdışı) denetim faaliyetleridir. İstenilen kalite düzeyini sağlamak için kullanılan çember Şekil 3.2’de verilen ürün kalite çemberinde görüldüğü gibi iki ayrı grupta değerlendirilir (Şirvancı, 1997).

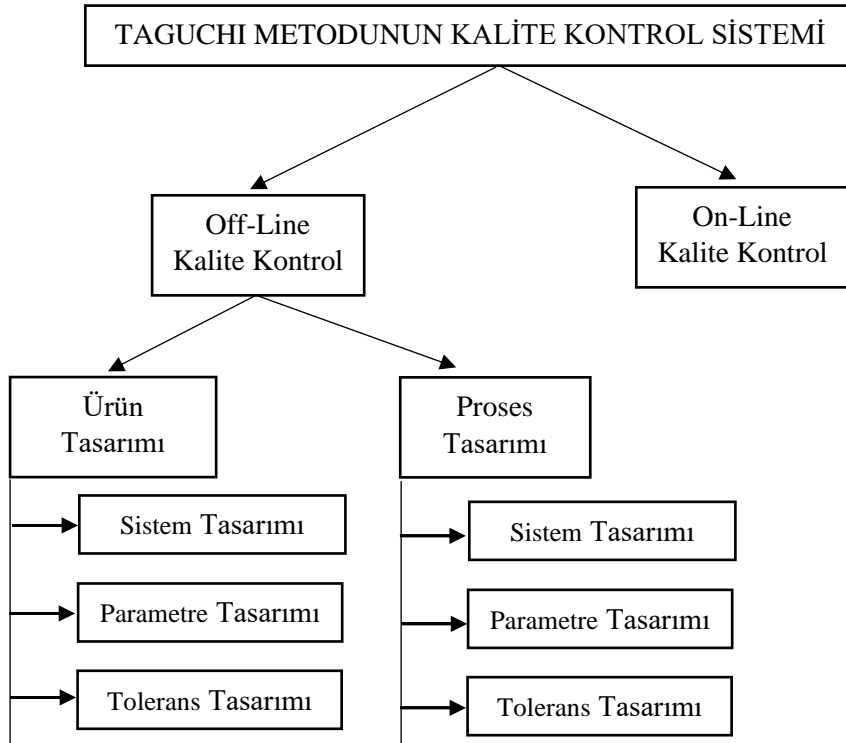


Şekil 3.2: Taguchi metodundaki kalite çemberi.

On-line (çevrim içi kalite) denetimi ürün üretim sürecinde ve üretim sonrasında gerçekleşen tüm operasyonları kapsar. On-line kontrolün birinci aşaması üretim, ikinci aşaması da müşteri yönetimi aşamasıdır. Ürünün tasarım gereksinimlerine göre doğru şekilde üretilmesini sağlamak ve müşteriye satış sonrası hizmet sağlarken problemlerin giderilmesi için üretime geri bildirim vermek olarak değerlendirilmektedir. Üretimde gerçekleşen ön ve final kontroller üretim sonrası gerçekleşen yarı mamul ve mamul kontrolleri bu süreç içerisine dahildir.

Off-line kontrollerin içeriği ise proses ve ürün tasarlanmadan önce yapılır. Off-line kontrolün birinci aşaması ürün tasarımı ikinci aşaması ise proses tasarımıdır. Üretim

öncesi yapılan çalışmalar off-line denetim kapsamı içinde değerlendirilir. Müşteriden gelen bilgilerin değerlendirilmesi, ihtiyaç ve proses gereksinimlerinin tanımlanması, standartların incelenip standartlara göre tasarımların ve hatların yapılması gibi faaliyetleri kapsamaktadır. Tamamlanmış ürüne müdahale etmek yerine tasarımı ve üretimi yeni başlayacak ürüne kalite parametreleri açısından bakmaya odaklanır. Şekil 3.3'te verilen Taguchi metodu kalite sistematigi sistem tasarımı, proses tasarımı ve tolerans tasarımı olarak üç ana başlıkta incelenmektedir (Şirvancı, 1997; Kayı, 2006).



Şekil 3.3: Taguchi metodu kalite kontrol sistematigi.

Ürün veya süreç tasarımını iyileştirmek için kullanılan deney kombinasyonları tasarım kriterleri sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı başlıkları altında belirtilmiştir.

Sistem Tasarımı

Müşteriden gelen talep üzerine tüm faktörleri düşünerek sistemin kurgulandığı bölümdür. Müşterinin ihtiyacına ve bütçesine en uygun ürünün çıkarılabilmesi için sistem detaylı bir şekilde kurgulanmalıdır. İlgili şartname ve spesifikasyonlara yönelik ürünün konsepti tasarlanır ve bu tasarımın getireceği malzeme, işçilik maliyetleri hesaplanır. İlgili

tasarımda ürün gerekli kalite standartlarına uygun olması ve sistemde maliyet iyileştirmeleri yapılabilmesi için pazar araştırmasından faydalanılabilir, ürün benchmark (rakipler ile kıyaslama) çalışmaları yapılabilir. Bu aşamada gerçekleştirilen faaliyet, sistem girdisi olarak belirlenen ekipman, malzeme maliyeti ve iş gücü gibi parametrelerin, temel mühendislik yöntemleri kullanılarak işlenmesidir (Kayı, 2006).

Parametre Tasarımı

Ürüne etki eden parametreler arasından en fazla etki eden ve en az etkisi olan faktörlerin belirlendiği deney tasarımının önemli adımı olarak kabul edilmektedir. Bu aşamada kontrol edilebilen faktörlerin ürüne etkisinin artırılabilmesi ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin azaltılması için çalışılmaktadır. Bu yaklaşımda kontrol edilemeyen bir faktörün etkisinin kırılabilmesi için kontrol edilebilen başka bir faktörün etkisi artırılarak kalite faktörü dengelenebilir. Parametre tasarımı adımının hedefi üretim tamamlandığında oluşabilecek tüm sapmaların en aza indirilebilmesidir. Böylelikle ürünün imalat ve imalat sonrası meydana gelebilecek ek maliyetleri azaltılabilir (Saat, 2000; Işık, 2000).

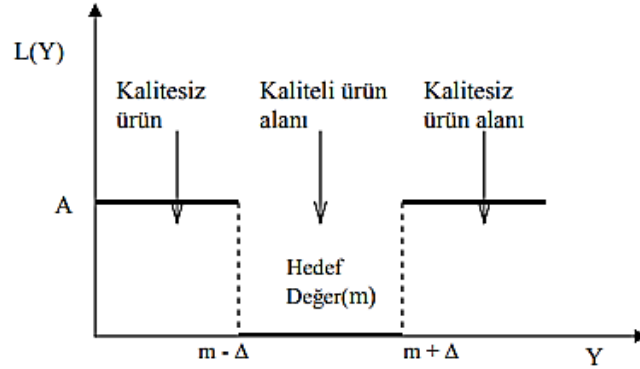
Tolerans Tasarımı

Parametre belirlenirken ilgili faktörlerin toleranslarına karar verilen adımdır. Ürün için tolerans aralığının gereğinden fazla dar veya geniş tutulması, kullanılması planlanan maliyetten daha fazlasının harcanmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı değişkenlerin yanıtta en çok etkisi bulunan parametreler ile toleranslarının daraltılmasına çalışılır (Şanyılmaz, 2006).

3.5.3 Taguchi Kayıp Fonksiyonu

Taguchi felsefesinde kayıp kavramına birçok farklı yönden bakılmaktadır. Ürünün yeterli kalite düzeyine ulaşamamış olması, müşteride ortaya çıkan memnuniyetsizlikler, parçadaki revizyon (yenileme) maliyetleri ve rakipler arasındaki konum değişikliği herkes için kayıp olarak ifade edilmektedir. Sadece limitler arasından çıkmış olması değil aynı zamanda ilgili bir hedef değerlerden sapması durumu da kayıptır. Geleneksel kalite anlayışında ürün çıktıları limitler arasında bulunduğu sürece uygun olarak kabul edilmektedir. Ancak Taguchi metodu limitler arasında olsa dahi hedef değerden sapma oranı ile ürünün fonksiyonel özelliğinde de aynı derecede sapma gerçekleşeceğini belirtmektedir (Hamzaçebi, 2001).

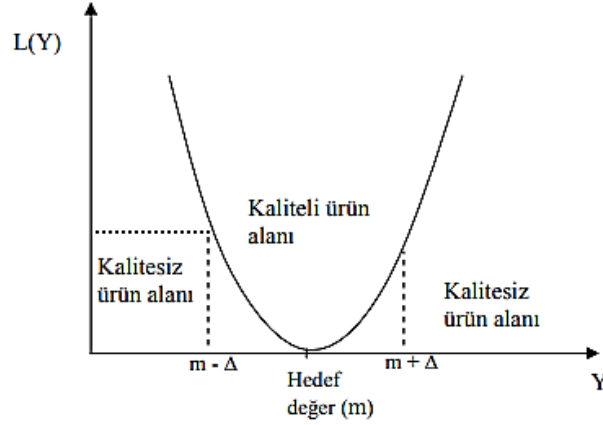
Şekil 3.4'te geleneksel kayıp fonksiyonu gösterilmiştir. $L(Y)$ olarak belirtilen eksen parasal kaybı göstermektedir. Hedef değer m ile, hedef değerden uzaklaşmalar $-\Delta$ ve $+\Delta$ ile belirtilmiştir. Sınırların dışında olan tüm parçalar için bu sistemde parça hurda veya düzeltmeye verilir. Kaliteli ürün alanında kalan parçalar ise gerekli toleransları sağladığı için uygun olarak kabul edilir (Hamzaçebi, 2001).



Şekil 3.4: Geleneksel kayıp fonksiyonu.

Şekil 3.5'te gösterilen Taguchi kayıp fonksiyonu grafiğine göre ise istenen kalite düzeyinden uzaklaştıkça kalite problemlerinin getireceği maliyet artacaktır. Hedef değerden her sapma oranı limit aralıkları içinde kalıyor olsa da ürün tasarımına göre farklılıklar bulunacağı için performansından o derece uzaklaşacaktır. Yaklaşım sadece tek bir hedef değere odaklanır ve sadece bu noktada kayıp sıfır olmaktadır. Problemi giderebilmek için yapılan ek çalışmalar üreticiye işçilik, malzeme ve işletme gideri olarak yansıyacaktır. Final kalite kontrolde hatalı olmayarak prosesini tamamlayan bir ürün hedef değerden uzak ise beklenenden kısa süre içerisinde arıza vermesi muhtemeldir (Aydın, 1994).

Kalite problemi ile oluşan müşterinin farklı tedarikçi arayışına yönelmesi diğer firmaların pazar payında değişikliğe yol açacaktır. Geleneksel yaklaşımda kesikli bir doğru ile gösterilen bölge, Taguchi kayıp fonksiyonu grafiğinde sürekli fonksiyon ile ifade edilmektedir. Sebebi ise gerçek hayata durum uyarlandığında hiçbir zaman bu şekilde net ve keskin çizgiler olmadığına inanılmaktadır. Hedef değerden sapmalarla birlikte anlık değil dereceli olarak artışlara sebep olduğu gözlemlenmiştir (Aydın, 1994).



Şekil 3.5: Taguchi için kayıp fonksiyonu grafiği.

Taguchi metodunun kalite anlayışındaki kayıp fonksiyonu yaklaşımından yapılabilecek çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir (Hamzaçebi, 2001).

- Kayıp fonksiyonu kesikli bir değişken değildir, sürekli bir fonksiyondur.
- Kalite eksiklerinden dolayı meydana gelen hatalar ürünün fonksiyon özellikleri ile ilişkilidir, bundan dolayı ürüne tasarım aşamasında müdahale edilerek hataların minimize edilmesi sağlanmalıdır.
- Hatalardan dolayı oluşan israflar sadece ana üretici için değil toplumsal olarak kayıp olarak adlandırılır.
- Hatalar son kullanıcılarda memnuniyetsizliğe neden olur.
- Kalite kayıpları en küçüklendikçe o firmanın sektörde diğer rakipler ile rekabet etme olasılığı artar.

Taguchi metodu yaklaşımına göre hedef değerden her bir adımdaki uzaklaşmada büyüklüğü fark etmeksizin kayıp oluşacaktır (Özden, 2020).

3.5.4 Taguchi Metodu Adımları

Taguchi metodu ürünün proses tasarımı esnasında parametrelere müdahale ederek yanıt faktörleri üzerinde oluşabilecek olumsuz koşulları ortadan kaldırmaya odaklanmaktadır. Taguchi metodunun uygulanma sırası aşağıdaki adımlarda açıklanacaktır (Patyal, 2013).

1. Problemin tanımlanması ve belirlenmesi
2. Faktörlerin seçilmesi ve faktörler arası etkileşimlerin tanımlanması
3. Uygun ortogonal diziye karar verilmesi

4. Planlı deneylerin yapılması ve verilerin kaydedilmesi
5. Sonuçların analizi
6. Doğrulama deneylerinin yapılması

Problemin Tanımlanması

Problemin ve sistemin açık bir şekilde tanımlanması doğru çalışmanın yapılabilmesi için gereklidir. Tüm aşamalar içerisinde en önemli adımdır. Doğru tanımlanamayan bir problemin bir sonraki aşamalarda yapılan çalışmaları geçersiz olacaktır. Problemin amacı ve ulaşılmak istenen hedefi belirlenmelidir. Tanımlama için beyin fırtınası gibi çeşitli metotlardan faydalanılabilir.

Faktörlerin Tanımlanması ve Seviyelendirmeler

Problemin istenen sonucu verebilmesi için tüm faktörlerin düşünülmesi ve tanımlanması gerekmektedir. Deneye etki eden ve kalite karakterizasyonunu temsil eden değişkenlerin verilerin analizi için tanımlanması yapılmalıdır. Bu değerler analizler için ölçülebilir değişkenlerden seçilmelidir. Taguchi metodu yaklaşımına göre sisteme etkisi olan değişkenler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılır. Kontrol edilebilen faktörler kontrol faktörleri, edilemeyenler ise gürültü faktörü olarak adlandırılır. Kontrol edilebilen faktörler dışarıdan insan veya makine müdahalesi ile değiştirilebilir değerlerdir. Rahatlıkla kontrol altında tutulabilir, değişiklik yapılabilir. En etkili olan faktörler belirlenerek üretim parametrelerinde yenileme yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktör dediğimiz gürültü faktörleri ise kontrol altında tutulamaz. Bundan dolayı ürün performansına olumsuz etkilerini elimine etmek için etkisinin minimumda tutulması için çalışılır. Kontrol edilememe sebepleri fiziki yani doğal olarak kontrol altında tutulmayacak bir faktör olabilir. Aynı zamanda maliyetli olmasından kaynaklı olarak da kontrol dışı bir faktör olarak kalır (Patyal, 2013).

Kontrol edilebilen faktörlerin yanında etkileşimler ve seviyeleri de proseste kullanılan değerler üzerinden belirlenir. Seviye tespiti yapılırken bir faktörün yanıt üzerindeki etkilerine bakılmaktadır. Faktörlerin deneye tabi olabilmesi için en az iki seviyeli bir kademeye sahip olması gerekmektedir. Örneğin daha önce makinelerde tecrübe edinilmiş yakın ancak farklı değerler bu seviyelendirmenin belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Seviyelerin belirlenmesi sonrasında ortogonal dizi seçimine geçilir (Işık, 2000).

Uygun Ortogonal Dizi Seçimi

Deney tasarım yöntemlerinden Taguchi metoduna karar verildikten sonra bu aşamaya geçilir. Deneysel çalışmalarda kullanılan faktör sayısı genellikle fazla olduğu ve tüm faktör kombinasyonlarının denenmesinin oldukça fazla maliyet kaybına sebep olacağı için ortogonal diziler kullanılır. Ortogonal dizilerin amacı tüm kombinasyonları denemek yerine ortogonal dizileri kullanarak sadece belli bir kısım deney yapılarak en uygun değeri veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini ifade eder. Temelde gürültü faktörleri yerine önemli diğer faktörlerin ele alınması sağlanmaktadır. Ortogonal diziler ile çok fazla sayıda faktör olsa dahi etkiler aynı anda incelenebilir (Aydın, 1994).

Ortogonal diziler deney tasarımında sistem yapısı gereği 2^k kadar denemenin gerçekleştirilmesi gerektiğini söyler. Bu şekilde düşünüldüğü zaman örneğin 7 faktörlü bir deney için $2^7=128$ adet deney yapılması gerekir. Ancak mevcut üretim koşulları için 128 adet deneyin ayrı ayrı planlanması ve yapılması maliyet ve zaman açısından oldukça zordur. Taguchi metodu ise faktörlerin belli bir kısmını sabit tutup farklı faktörlerin kademelerini değiştirerek deney faktörlerinin eş zamanlı olarak değişimini sağlamıştır. Bu yaklaşımı kullanarak deney sayılarında ciddi oranda azalma elde etmiştir. Aşağıdaki Tablo 3.3'te 2^k denemesine göre hücrelerde bulunan 1 ilk seviye, 2 ise ikinci seviyeyi ifade eder. Örneğin 2 numaralı denemede ilk 6 faktör sabit tutulup sadece 7. faktör değişikliğe uğratılmıştır. Bu sıralama ile 128 deneyin farklı kombinasyonlar ile denemesi gerçekleştirilecektir (Aydın, 1994; Okudan, 1995).

Tablo 3.3: 2^7 tasarımı.

Deney Numarası	Faktör Numarası						
	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

Tablo 3.4'te Taguchi tasarımına göre 2 numaralı deneyde ilk 3 faktör sabit tutulurken kalan tüm faktörlerde değişiklik yapılmıştır. Daha sonraki denemelerde de her seferinde birden

fazla faktörde değişiklik yapılmıştır. Her adımda yapılan değişiklik ile 8 adet deneyde istenilen yanıt değerlerine ulaşılmaktadır.

Tablo 3.4: Taguchi metodu deney tasarımı.

Deney Numarası	Faktör Numarası						
	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

Bu şekilde yapılan tasarım ile Taguchi metodu deneyi gerçekleştirecek ilgili ekipler için ciddi bir zaman tasarrufu sağlamıştır. Belirlenen bu ortogonal diziler standartta olup deneysel tasarımın temelini oluşturmuştur (Aydın, 1994).

Planlı Deneylerin Yapılması ve Verilerin Alınması

Planlanmış olan deneylerin yapıldığı ve sonuçlarının alındığı bölümdür. Taguchi metodu deney tasarım setinin oluşturulabilmesi için belirlenen proses faktörleri ve bu faktörlerin seviyeleri kullanılarak deney tasarımı oluşturulur. Deney için gerekli tüm ekipman, insan ve ölçüm aletleri temin edilmelidir. Ardından sırası ile deneyler gerçekleştirilir ve sonuçlar analiz edilmek üzere kayıt altına alınır.

Sonuçların Analizi ve Doğrulama Deneyleri

Tüm deneylerin yapılması sonrasında deneyin optimum proses parametrelerine ulaşabilmek için sonuçların analizi gerçekleştirilir. Elde edilen verilerin en iyi hedefe ulaşabilmek için yeterliliğinin tespiti analiz yöntemleri ile yapılmaktadır. Analiz sonucu ortaya çıkan optimum değerlerin uygunluğunun denetlenmesi için doğrulama deneyleri yapılır. Yapılan bu deneyler sonucunda belirlenen en iyi proses girdi faktörlerinin yanıt üzerindeki etkisi gözlemlenir.

Bu deneyden elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapması sinyal/gürültü oranları bulunur. Eğer çıkan sonuçlar bir önceki değerlere yakınsa deney gerçek durumlara oldukça yakın demektir. Eğer çıkan sonuçlar bir önceki değerlerden uzaksa modelde bir yanlışlık

olma ihtimali vardır. Doğrulama deneyleri bu noktada fayda sağlamaktadır (Balaban, 2019).

4. UYGULAMA

4.1 Sistem ve Problem Tanımı

Uygulama ana sanayilere aydınlatma parçaları imalatı yapan Bursa’da bir otomotiv yan sanayi firmasında yapılmıştır. Firma bünyesinde; kalıphane, preshane, kaynak atölyesi, montaj ve plastik enjeksiyon bölümlerini barındırmaktadır. Plastik enjeksiyon ve buna bağlı bütünleşmiş montaj prosesleri teknolojik altyapısı ile sektöründeki öncü firmalar arasında bulunmaktadır. Klima kanalları, aktif radyatör far, stop, sinyal ve sis lambaları ürün gamını oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasına konu olan deney tasarımı çalışması Şekil 4.1’de gösterilen” ENGEL marka 3000kN” sahip enjeksiyon makinesinde yapılmıştır.



Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan plastik enjeksiyon makinesi genel görünümü.

Enjeksiyon prosesi başlangıcında, müşterinin talep ettiği parça tasarım prensiplerine göre tasarlanır veya müşteriden alınan tasarım kullanılır. Parçanın tasarımdaki uygunlukları analizler ile kontrol edilir. Parça tasarımı dondurulduktan sonra, uygun kalıp tasarımı ardından imalatı yapılır. Kalıp imalatı bittikten sonra T_0 parça baskıları alınır. T_0 parça baskıları genellikle en az 3 örneklem alınarak yapılır. Numuneler teknik resim ve küre

ölçüm cihazı ile ölçülür. Kalıp üzerinde herhangi bir değişiklik söz konusu ise modifikasyon yapılır. Modifikasyon sonrası ikinci baskı alınır ve bu baskının tüm şartları sağlanması beklenir. Kalıp, kullanılacak olan son lokasyona taşınır ve tedarikçide girilen parametrelere ile deneme baskısı alınır. Deneme baskısı ile ölçümler tekrarlanır, doğru parametrenin bulunması her zaman mümkün olmayabilir. Parametre belirlemek için geçen zaman firma ve projeler açısından ciddi zaman ve maliyet kayıplarına sebep olmaktadır. Süreçte uygunsuz kalitede basılan parçalardan kaynaklı gecikmeler, proje takvimine olumsuz etki etmektedir. Bu tezin de konusu olan enjeksiyon prosesinin temeli malzemeye uygun olarak seçilen hammaddenin ısıtılarak bir uç yardımıyla kapalı kalıp boşluğuna doğru itilmesi ile gerçekleştirilir. Plastik enjeksiyon metodu kısa sürelerde çoklu parça basımlarının yapılabilmesi ve hassas toleranslar ile çalışılabilir olmasından dolayı otomotivde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Makineler kendi içinde mengene ünitesi, kalıplama ünitesi, enjeksiyon ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır.

Plastik enjeksiyon prosesinin genel aşamalarından aşağıda bahsedilmiştir (Kamber, 2008).

1. Hammaddenin kurutulma aşaması: Toz veya granül halde izolasyonlu paketlerde bulunan belirli hammaddelerin nem tutmaması için yapılan aşamadır. Termoplastikler neme oldukça duyarlı malzemeler olduğu için nem tutma kapasiteleri yüksektir. Organik kimyasal malzemenin oluşabilecek iç stresini azaltıp, üretimin gözle görülemeyecek ama zamanla ölçülebilecek şekilde hızını ve daha önemlisi nihai ürün kalitesini, arttıracaktır. Makineler ile kurutucudan çıkan malzemeler arası transfer firma boyunca yerleştirilen uzun borular vasıtasıyla yapılmaktadır.
2. Plastikleştirme aşaması: Sonsuz vida yardımıyla kalıp boşluğunun etrafını çevreleyen rezistanslara itilen hammadde kovanın içinde ısıtılmaya başlanır. Rezistanslar silindirin dışına montajlanmış şekildedir. Isınan ve hamur kıvamına gelen hammadde vidanın ucundaki enjektöre doğru ilerler. Vida, plastiğin iletilmesi, homojen bir şekilde taşınması ve malzemenin eritilmesi görevlerini yapar. Vida üç bölümden oluşur, malzemenin beslendiği huninin altındaki kısım, malzemenin sıkıştırılmaya başlandığı rezistansların ergime sıcaklığına ulaşılmasını sağladığı kovan bölgesi ve son bölüm ise eriyik haldeki malzemenin kalıbın içerisine gönderilmeden önceki son halidir. Uç kısımda yavaş yavaş biriken hammadde sıkışmaya başlar ve maksimum sıkışma miktarı sonrası vidayı geri itmeye başlar.

3. Enjeksiyon: Eriyik haldeki plastiğin kalıba basıldığı evredir. Bu süreçte malzeme belirli bir basınç altında ve kısa zamanda kapalı olan kalıbın içerisine gönderilir. Kalıbın kapatılması ve enjeksiyon sırasında karşılaştığı basıncı yenebilmesi için yeterli miktarda kapama kuvveti uygulanmalıdır. Kalıbın içerisine eriyik halde giren malzeme kalıbın soğuk olması sebebiyle hızlıca katılaşmaya ve kalıbın şeklini almaya başlar.
4. Ütüleme: Kalıp içine enjekte edilen malzemenin basınç uygulanarak en uç noktalara dahi ulaşmasını sağlayarak kalıbın doldurulmasıdır. Plastik malzemeler soğuma sırasında çekme deformasyonuna uğradığı için malzemenin soğuması bitene kadar eriyik plastiğin içeriye aktarılması sağlanır. Ütüleme eksik yapıldığı durumlarda en sık karşılaşılan kusurlardan biri de parçada oluşan çökmelerdir.
5. Kalıbın soğutulması: Kalıbın içinde bulunan eriyik haldeki malzeme kalıbın şeklini almaya çalışırken belirli oranda soğutma işlemine tabi tutulması gerekir. Bu işlemde sıcaklık dağılımının parçanın her noktasında aynı derecede olmasına dikkat edilir. Buradaki bir diğer önemli nokta malzemenin katılaşma hızına göre kalıp sıcaklığının ve soğutma hızının ayarlanabilmesidir. Malzeme katılaşmaya başladıktan sonra akışkanlık özelliğini yitirmeye başlayacaktır.
6. Kalıbın açılması ve ürünün itilmesi: Katılaşmış parçanın kalıptan çıkarılması genellikle itici pimler ve hava pimleri yardımıyla yapılır. Parça yeteri kadar soğutulup kalıbın şekline büründükten sonra kapama ünitesi açılır ve bitmiş ürünün dışarı atılması sağlanır.

Yapılan bu proses sonrasında plastik parçalarda basım sonrası çeşitli proses hataları meydana gelmektedir. Bu hatalar genellikle makine ve insan kaynaklı oluşmaktadır. Erime sıcaklığındaki akışkan plastiğin içindeki nem ve gazlar iyi kurutma işlemine tabi tutulmadığı sürece, plastik işleme makinelerinin mekanik kısımlarında paslanma ve aşınmaya yol açar. Bu durum mekanik parçalarda revizyon yapılmasına dolayısıyla üretim aksaklıklarına ve zaman kayıplarına sebep olur. Plastik enjeksiyon parçalarında çekme davranışı parçanın fiziki olarak doğal bir sonucudur. Ancak parçada çökme meydana gelmesinin bir veya birden fazla sebebi olabilir. Ütüleme basıncının düşük kalması, enjeksiyon hızı ve kalıp sıcaklığının yüksek olması, yüksek ergime sıcaklığına maruz

bırakılması bu hataya yol açar. Enjeksiyon hızının veya basıncının yüksek olması malzemede yanık izlerine sebep olabilir. Basınç çok yüksek ise malzeme kalıp içinde zorlanır ve havayı sıkıştırır. Sıkışan hava yanmış plastik malzemeyi ısıtmaya devam eder ve malzeme üzerinde gözle görünür bir leke bırakır. Sadece makine parametresinden değil, yanlış ve düşük kaliteli malzeme kullanılmasından da kaynaklanabilir. Düşük kaliteli malzemenin tanımı, aşırı kırma (yeniden kullanılan) malzeme kullanılmasıdır. Çapak oluşumu ise enjeksiyon basıncının çok fazla olması ile makinenin kelepçe basıncını yenerek enjeksiyon yapılırken kalıptan kaçaklar olması ve dışarıya hafif bir eriyik malzemenin sızmasından kaynaklanır. Parçanın olması gereken ölçüsünü değiştiren parça etrafındaki bu çıkıntılar çapak olarak adlandırılmaktadır. Yetersiz enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığından kaynaklı olarak parça üzerinde akış çizgileri oluşabilir. Birden fazla faktör bu duruma sebep olabilir. Genellikle basıncın düşük kalması ve eriyik malzemelerin birbirinden bağımsız hareketleri sonucu meydana gelir. Mevcut proseste de gözlemlenen ve problemi çözmek için geliştirme yapılan bir diğer hata ise parçalardaki solma durumlarıdır. Uygun olmayan kalıp yüzey sıcaklıkları veya parçaların gereğinden fazla kalıp içerisinde kalması bu probleme sebep olabilecek durumlardandır (Dallı, 2020).

4.2 Deneysel Çalışma

Çalışma otomotiv aydınlatma sistemine ait olan Şekil 4.2’de örneği belirtilmiş ışık tüpü parçasının plastik enjeksiyon kalıbından çıkarıldıktan sonra üründe meydana gelen kalite problemine çözüm getirmek için incelenmiştir. Işık tüpü parçası ışık kaynağından aldığı enerjiyi en optimum şekilde yansıtması beklenir. Bundan dolayı bu parçalarda görsel konforun bozulmadan kontrollü şekilde ışığı iletebilmesi için sararmaya karşı dayanımının kuvvetli olması beklenir. Günümüzde neredeyse her otomobil tipinde kullanılan parçalar sürüş esnasında ışık dengesi performansının bozulmaması için standartlara uygun tasarlanır. Farlar ve farların tüm alt bileşenleri hem güvenlik hem de fonksiyonel olarak kullanıcılar için önem arz etmektedir. Işık tüpü de farların bir alt bileşeni olduğu için hat sonrasında oluşabilecek kalite problemleri ana sanayiler tarafından uygun görülmemektedir (Karaoğlan ve Bağgeci, 2023).

Parçalara uygun kalıp imalatlarının onaylanıp makineye entegre edilmesi sonrası üretim süreci başlamış olur. Karıştırılıp kurutulan belirli seri numaradaki granül hammaddeler enjeksiyon kalıbı içine alınabilmesi için rezistanslar ile ısıtma ve eritme işlemine tabi tutulur. Eriyik malzemenin kalıba taşınabilmesi için sonsuz vida yardımıyla döndürülerek

kalıba doğru taşınır. Vidanın önünde biriken malzeme vidanın piston görevi görmesi ile kalıba doğru itilir. Sıcak bir şekilde kalıbın içine itilen malzeme soğutulmuş kalıbın içinde katılaşmaya başlar. Kalıptan alınan parça sırası ile önce görsel muayene ardından optik küre ölçüm cihazı ile ölçülür. Kalıptan çıkarılan parçanın örneği Şekil 4.2’de belirtilmiştir.

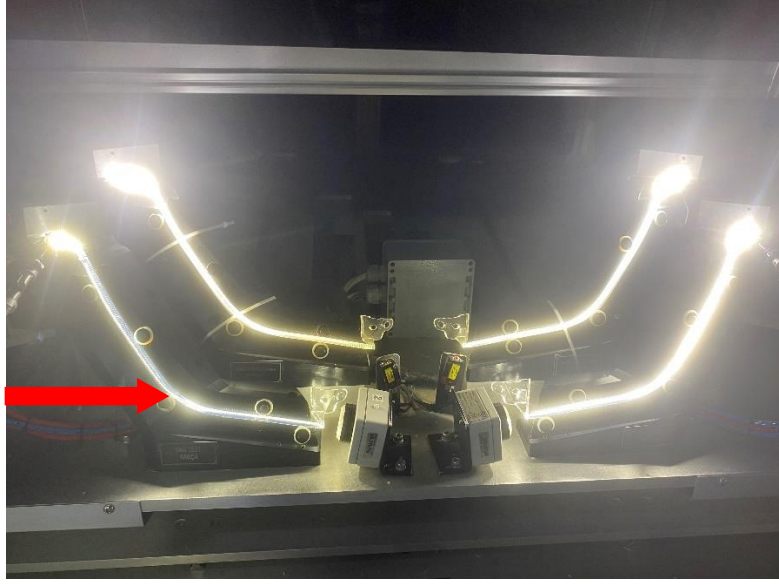


Şekil 4.2: Işık tüpü numunesi.

Çıkan parçalarda müşteri kalite gereksinimlerine göre ölçü, renk ve ağırlık kontrolü yapılabilir. Ancak ilgili tez çalışmasına konu olan öncelikli kalite problemi sararma ve mavileşme için teknik müşteri gereksinimleri incelenmiş ve bu doğrultuda toleranslar belirlenmiştir. Optimum parametreleri belirleyebilmek için Taguchi metodu deney tasarımı yöntemi ile deneyler oluşturulmuştur. Yanıt üzerindeki değişiklikler çıkan deney sonuçları ile gözlemlenmiştir.

Parçanın ölçümleri iki aşamalı yapılmıştır. Öncelikle kalıptan alınan parça Şekil 4.3’te belirtilen görsel muayene fikstürüne takılmıştır. Parçanın geometrisi gereği tüp şeklinde bulunduğu için dolay gerçek durumunu simüle etmek için tüp giriş noktalarından ışık verilerek göz ile ayırt edilebilecek renk farklılığı olup olmadığının kontrolü yapılır. Birinci kontrolde ayırt edilebilecek derecede renk farklılığı varsa parça ayrılır. Örneğin Şekil 4.3’te kırmızı ok işareti ile gösterilen parça için sol kanattaki 1. parça yeterli ışığı geçiremediği için uygun değildir. İkinci aşama optik küre ölçüm cihazlarıdır. Parçalar

optik küre ölçüm cihazı ile ölçüldüğünde talep edilen toleranslar arasında kalamıyorsa parça yine ayrılır.

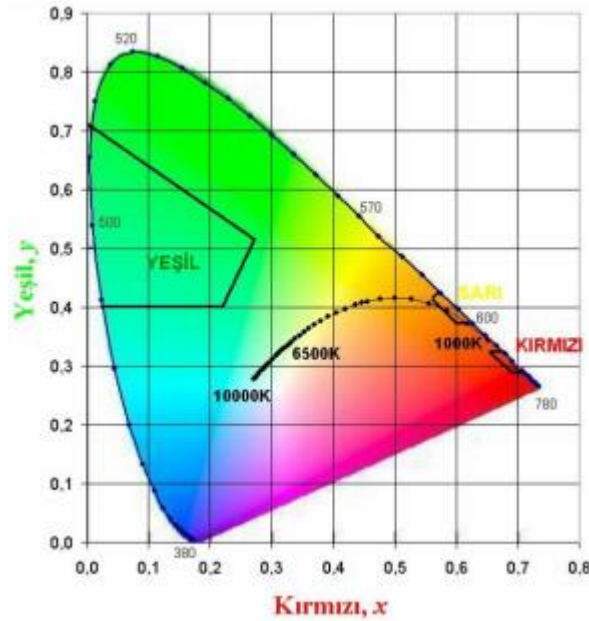


Şekil 4.3: Işık tüpü görsel muayene aracı.

Plastik enjeksiyon makinesinden çıkan ışık tüpü aydınlatma parçasının standartlara göre istenen kalite düzeyini yakalayamamaktadır. Probleme sebep olan alt detaylar ise parçada enjeksiyon sonrası renk uyumsuzlukları meydana gelmesidir. Müşteri tarafından iletilen renk toleranslarında belirtilen değerlere parça uyum sağlamalıdır. Ölçümler optik küre cihazı ile yapılabılır bunun çıktısı olarak Δx ve Δy değerleri alınır. Bu değerler parça renginin hangi seviyede ve koordinatta olduğunu gösterir. Her bir parça için belirlenmiş olan değer aralıklarına göre ölçüm sonuçlarının kıyaslaması yapılır. Ortalamanın altında kalan parçalar uygun olmayan parça olarak adlandırılır (Karaoğlan ve Bağçeci, 2023).

Renk kavramı ise renkleri oluşturan ışıkların bir özelliği olarak adlandırılmaktadır. Bu noktada renkler yansıma yolu ile veya nesne içerisinden geçirilerek görsel olarak algılanabilmektedir. Renkler eski çalışmalarda ölçülebilen ancak tanımlamayan ve nitel olarak kalan bir kavram halinde olmasına rağmen gelişen ve iyileştirilen çalışmalar ile tanımlama için ölçüm skalaları oluşturulmaya başlanmıştır. Renklerin kişisel algılamadan çıkarılabilmesi için renkmetri bilim dalı oluşturulmuştur. Bu bilim dalı içerisinde farklı uzmanlar tarafından oluşturulan skalalar bulunmaktadır. İlgili tez çalışmasında ölçümler için referans alınan renk diyagramı ise CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu)

tarafından belirlenen bir standarttır. CIE diyagramı ile, insan gözünün algılayabildiği tüm renkleri haritalayarak standart bir model oluşturulmuştur. Bu diyagramın temel amacı renkleri ve renkler arası uzayları belirlemektir. Renk uzayları ise matematiksel modeller kullanarak renklerin tanımlanmasını sağlamaktadır. Şekil 4.4'te belirtilen renk diyagramına göre x ve y eksenleri mevcuttaki bir maddenin renginin CIE renk tablosundan bulunmasını sağlamaktadır. Bu değerleri koordinat sisteminde her bir rengin tek bir nokta ile temsil edildiği bir sistemdir. Işığın bir numune üzerine gönderilerek daha sonrasında ışığın nesne üzerinden sensörler yardımıyla ne kadar yansıdığına algılanmasıyla renk koordinat noktaları belirlenir. Yapılan bu denemeler parça üzerinde herhangi bir tahribata yol açmaz. Rengi algılamak için kullanılan bir yöntemdir (Üren, 1999).



Şekil 4.4: CIE renk diyagramı.

Prosesten çıkan parçalarda renk aralıklarının standartlara göre Δx değerinin 0,0250'in altında Δy değerinin de 0,0380'in altında kalması beklenirken aynı hat içerisinde çıkan parçalarda bu değerlerin arttığı gözlemlenmiştir. Probleminin çözümüne yönelik olarak, öncelikle ütüleme zamanı (sn), ütüleme basıncı (Pa), soğuma zamanı (sn), kalıp yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ocak sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), manifold sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve enjeksiyon hızı (m/s) olmak üzere toplam 7 adet kontrol edilebilir faktörler belirlenmiştir. Faktörler belirlenirken makinenin yetkinliği ve fonksiyonları incelenerek karar verilmiştir. Her bir faktör için 3 seviyeli olacak şekilde kademelerine karar verilmiştir. Deney faktörlerinin seviyelerine karar verme aşamasında geçmiş veri kayıtları ve müşteri şartname spesifikasyonlarından

faýdalanılmıştır. Faktör seviyelerine karar verilirken makine sınır koşullarını aşacak değerler uygulamaya dahil edilmemiştir. İlgili faktörler enjeksiyon makinesi üzerinden ayarlanabilir değerlerdir. Deney seti oluşturulan proses faktörleri ve seviyeleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. İlgili faktör parametreleri makine kontrol panelinden ütüleme zamanı için (3 5 7) sn, ütüleme basıncı için (380 530 680) Pa, soğuma zamanı için (20 25 30) sn, kalıp yüzey sıcaklığı için (105 115 125) °C, ocak sıcaklığı için (242 250 255) °C, enjeksiyon hızı için (2.8, 3.8, 4.8) m/s, manifold sıcaklığı için (240, 250 260) °C olarak ayarlanmıştır (Karaođlan ve Bađçeci, 2023). Makinede bulunan ve ayarlanabilir olan tüm faktörler deney tasarımı içerisine dahil edilmemiştir. Faktörlerin ve seviyelerin seçimi literatürdeki çalışmalar ve konuyla ilgili geçmiş tecrübelerle sahip uzman kişilerin parça üzerinde bilinen etkileri doğrultusunda belirlenmiştir.

Tablo 4.1: Deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Minimum	Orta	Maksimum
Ütüleme zamanı (sn)	3	5	7
Ütüleme basıncı (Pa)	380	530	680
Soğuma zamanı (sn)	20	25	30
Kalıp yüzey sıcaklığı (°C)	105	115	125
Ocak sıcaklığı (°C)	242	250	255
Enjeksiyon hızı (m/s)	2,8	3,8	4,8
Manifold sıcaklığı (°C)	240	250	260

Ütüleme basıncı, kalıp içerisine enjekte edilen eriyik malzemenin vidaya geri dönmemeye çalışmasını sağlamak için kullanılan bir parametredir. Kalıp doldurulup enjeksiyon zamanı tamamlandıktan sonra eriyen malzemeler basınçtan dolayı geri tepme yapabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için kullanılan bir parametredir. Eriyik malzemenin hareketine zıt yönlü kuvvet uygulanarak kalıp yönüne doğru hareket etmesi sağlanır. Ütüleme basıncının eksik kalması sonucunda malzeme kaçması yaşanabileceği için parça üzerinde çarpılma veya eksik dolgu sorunları ile karşılaşılabilir. Ütüleme zamanı da enjeksiyon sürecinin ve basıncının maksimum noktaya ulaşmasından sonra gerçekleştirilen operasyonun süresidir. Ütüleme basıncının ve zamanının doğru belirlenmesi ile parçalardaki çarpılma, hava boşlukları, çekme gibi davranışların en optimum seviyede kalması sağlanmaktadır.

Belirlenen proses parametrelerinin makinelerde hangi amaçlarla kullanıldığından aşağıda bahsedilmiştir (Kamber, 2008). Enjeksiyon hızı vidada oluşan maksimum hareketi ifade etmektedir. Eriyik malzemenin kalıba ulaşması sürecinde malzemenin hareketini sağlayabilmek için belli oranda bir hıza ihtiyaç duyulmaktadır. Hız parametresinin iyi ayarlanması gerekliliğinin sebebi ise malzemenin kalıba ulaştığı zaman sertleşmeye başlaması ve kalıp boşluğunu tamamen doldurması gereksiniminden dolayıdır. Hız parametresi enjeksiyon zamanına doğrudan etki etmektedir. Soğuma zamanı eritilmiş ve kalıba alınmış malzemenin katılaşmasının beklendiği ve doğru kıvamına gelene kadar beklendiği süreyi ifade eder. Bu adım prosesin hem son aşaması olmasından kaynaklı hem de bitmiş ürünün alınacağı kısım olduğu için makinede bekletilen en önemli zamandır. Katılaşmanın kalıp içerisinde belli bir bölümü tamamlanırken parça kalıptan çıkarıldıktan sonra katılaşmaya ve soğumaya bir müddet daha devam ettiği bilinmektedir. Kalıptaki parçanın doğru zamanlarda soğutulması ve beklenmesi parçanın rijit ve temiz bir şekilde kalıptan alınması için gerekmektedir. Kalıp yüzey sıcaklığı kalıbın soğutucuları haricindeki eritilmiş malzemenin yüzeye giriş sıcaklığını ifade eder. Eriyen malzeme kalıp ile ısı transferine gireceği için malzeme hızlı bir şekilde soğuma ve katılaşma eğilimi göstermektedir. Kalıp sıcaklığı ile soğuma zamanı dolaylı olarak birbirini etkileyen iki parametredir. Eriyen malzemenin kalıpta meydana getirdiği sıcaklığı kalıptaki soğutucu kanalların ne kadar bir sürede soğuracağı bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda kalıbın yüzeyindeki her noktanın eşit sıcaklık dağılımına sahip olması beklenmektedir. Bu durumu da soğutucu hatların kalıba uygun tasarımı ile gerçekleştirilmektedir. Ocak sıcaklığı hammaddenin kovan bölgesindeki ısıtılmaya başlandığı işlemdir. Plastik enjeksiyonun hammaddeleri polimer yapılı olduğu için ocak sıcaklıklarının doğru derecelerde ayarlanmaması durumunda parçanın boyutsal olarak kalıba tutunamamasını, parça üzerinde yanık izleri ve lekelenmeler oluşmasına sebep olmaktadır. Hammaddelerin ısıtılması aralıkları granüllerin temin edildiği tedarikçiler tarafından bildirilmektedir. Ancak verilen aralıktaki en uygun değeri bulabilmek seri üretime geçiş yapılmadan denemelerin yapılması ve optimum değerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

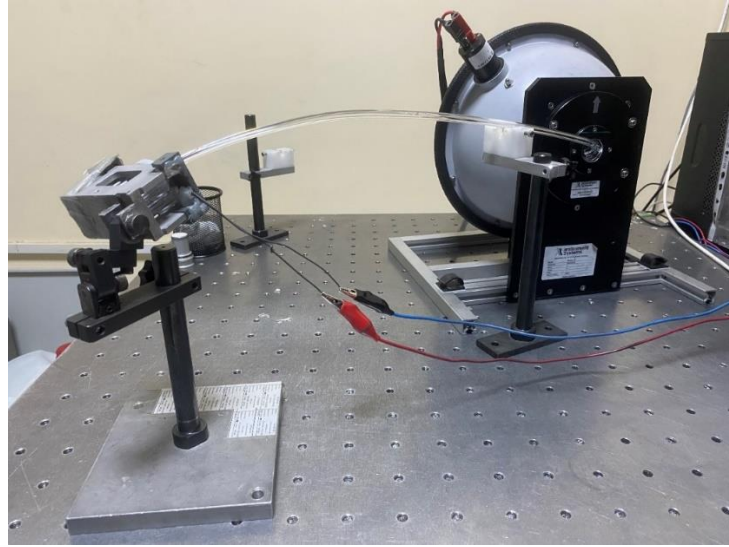
Seçilen proses değişkenleri için Minitab istatistiksel analiz programı kullanılmış ve deneyler oluşturulmuştur. Yapılacak bu çalışmayla belirlenen 7 adet ve 3 seviyeli enjeksiyon parametresinin etkileri Taguchi metodunun L_{27} ortogonal dizisi kullanılarak oluşturulmuştur. L_{27} Taguchi metodu modeline göre Tablo 4.2'deki veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan deney setine göre her bir deney kombinasyonunda belirtilen 7

parametre değeri için enjeksiyon makinesinin faktör parametreleri ayarlanmıştır. Makinede ayarlanan parametreler ile ışık tüpü parçaları basılmıştır. Deneyler için ayrıca bir düzenek veya ekipman kullanılmamış, tüm deneyler plastik enjeksiyon makinesinde aynı kalıp ve aynı hammadde cinsi kullanılarak basılmıştır. Tablo 4.2’de bulunan değerler, parametrelerin Taguchi metodu deney tasarımı ile ortaya konan kombinasyon değerlerini ve bu deneylerin uygulanması sonrası elde edilen sonuç tablosunu göstermektedir. 27 adet deney, tasarım parametrelerine göre kontrol panelinde set edilmiş ve enjeksiyon makinesinde baskıları alınmıştır (Karaoğlan ve Bağçeci, 2023).

Tablo 4.2: L_{27} ortogonal dizisi ile oluşturulmuş deney tablosu.

Deney No	Ütüleme Zamanı (sn)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Soğuma Zamanı (sn)	Kalıp Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Manifold Sıcaklığı (°C)
1	3	380	20	105	242	2,8	240
2	3	380	20	105	250	3,8	250
3	3	380	20	105	255	4,8	260
4	3	530	25	115	242	2,8	240
5	3	530	25	115	250	3,8	250
6	3	530	25	115	255	4,8	260
7	3	680	30	125	242	2,8	240
8	3	680	30	125	250	3,8	250
9	3	680	30	125	255	4,8	260
10	5	380	25	125	242	3,8	260
11	5	380	25	125	250	4,8	240
12	5	380	25	125	255	2,8	250
13	5	530	30	105	242	3,8	260
14	5	530	30	105	250	4,8	240
15	5	530	30	105	255	2,8	250
16	5	680	20	115	242	3,8	260
17	5	680	20	115	250	4,8	240
18	5	680	20	115	255	2,8	250
19	7	380	30	115	242	4,8	250
20	7	380	30	115	250	2,8	260
21	7	380	30	115	255	3,8	240
22	7	530	20	125	242	4,8	250
23	7	530	20	125	250	2,8	260
24	7	530	20	125	255	3,8	240
25	7	680	25	105	242	4,8	250
26	7	680	25	105	250	2,8	260
27	7	680	25	105	255	3,8	240

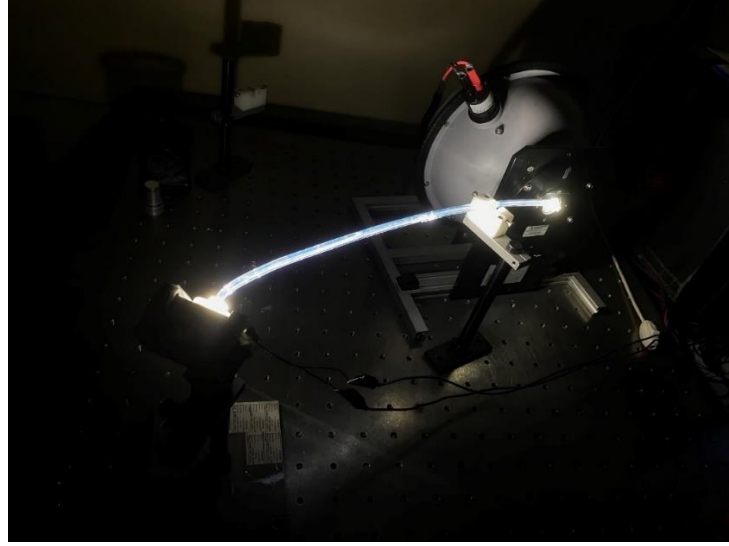
Ölçümlerde kullanılan optik küre ölçüm cihazına parçalar, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi tutucu braket yardımıyla yerleştirilir. Küre kendi içerisinde yansıtıcı malzeme ile kaplı şekildedir. Küre içerisine bir ışık kaynağı yerleştirilir. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi tüp girişine ışık dalgaları verilerek parça içerisinden ışık geçirilir ve geçen ışığın akısı ölçülerek anlık olarak bilgisayardaki program yardımıyla sonuç raporu alınır. Alınan veriler programda toplanır. Bu programda toplanan veriler fark hesaplama metodu ile deltaları bulunur.



Şekil 4.5: Optik küre ölçüm cihazına yerleştirilmiş ışık tüpü.

Şekil 4.6'daki görsel, cihazın çalıştırıldığı ve fotoğraflandığı anı göstermektedir. Karanlık laboratuvar ortamına kurulan bu cihaz üretilen ürün özelliklerinin belirlenmesi için fotometrik ölçümlerin yapılmasını sağlamıştır. Bu optik düzenek her bir parça için yapılmış ve hassas ölçümler alınması sağlanmıştır.

Ölçüm alınan cihaz belirli bir ışık şiddetindeki ışığın küreden parçaya doğru iletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturulabilmesi için kürenin parça içine verdiği ışığın şiddeti ile aydınlatılan alanın parametrelerinin çarpımı kullanılmıştır. Şekil 4.7'de ışık kaynağından gelen ışığın parça içerisinden geçirildiği an gösterilmiştir. Işık geçtiği anda alınan anlık ölçüm sonuçları bilgisayara yansıtılmıştır.



Şekil 4.6: Işık dalgası verilen ışık tüpü.



Şekil 4.7: Optik küre ölçüm cihazı ile ölçüm anı.

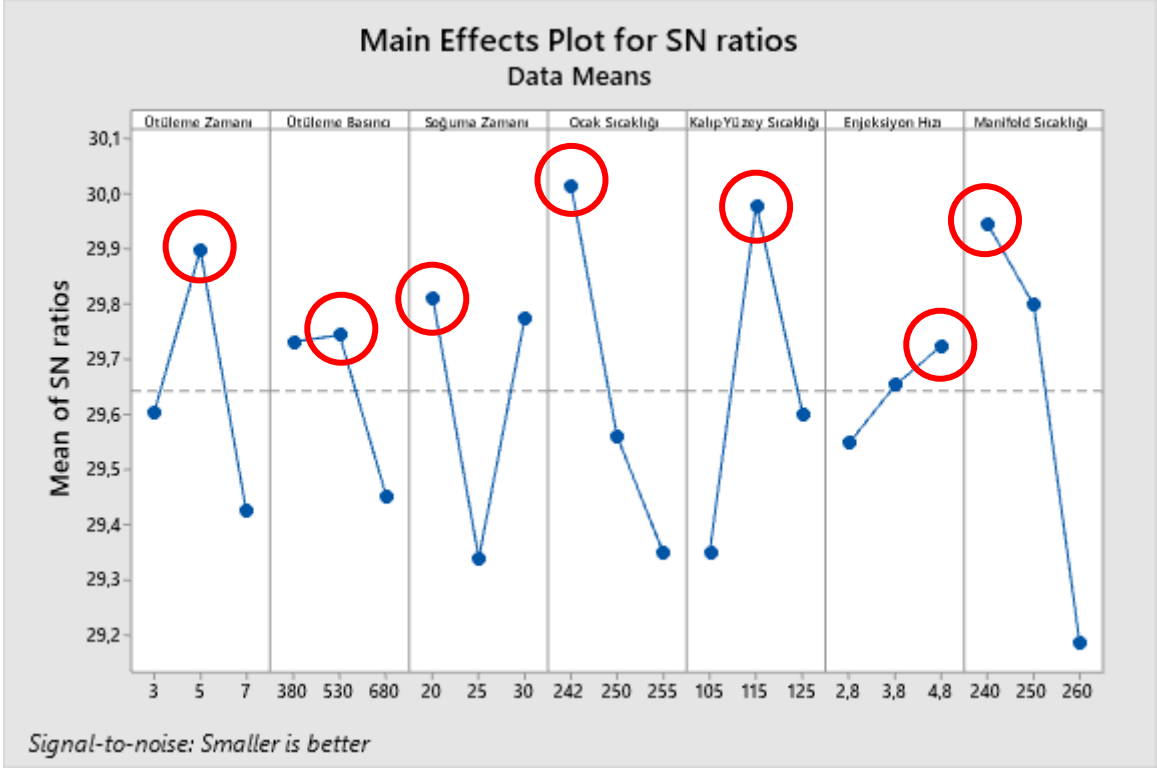
Taguchi metodu deney tasarımından çıkan verilere göre enjeksiyon parametreleri 27 deneyin girdilerine göre ayarlanmış ve parçalar basılmıştır. Basım sonrası parçalar optik küre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her bir parça için belirlenmiş olan değer aralıklarına göre ölçüm sonuçlarının kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 4.3'te belirtilen değerler gözlemlendiğinde ölçüm sonuçlarında iki değer için de tolerans dışı olan farklı deney sonuçlarına rastlanmıştır. Sararma için belirlenmiş olan ortalama değer 0,0250; mavileşme için belirlenmiş olan ortalama değer 0,0380'dir. Belirlenmiş ortalamanın altında kalan

parçalar kalite standartları referans alınarak uygun olmayan parça olarak adlandırılmıştır (Karaoğlan ve Bağçeci, 2023).

Taguchi metodu ile belirlenen deneyler için enjeksiyon makinesine deney parametreleri girilmiş ve basılan parçaların renk değişimleri ölçülmüştür. Ölçümler optik küre ölçüm cihazı ile yapılıp bunun çıktıısı olarak Δx ve Δy değerleri alınmıştır. Yanıt olan bu değerler parça renginin hangi seviyede olduğunu göstermektedir. 27 adet deneye ilişkin ölçüm sonuçları Tablo 4.3'te verildiği gibidir (Karaoğlan ve Bağçeci, 2023).

Tablo 4.3: Deney veri seti ve sonuçları.

Deney No	Ütüleme Zamanı (sn)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Soğuma Zamanı (sn)	Kalıp Yüzeý Sıcaklıđı (°C)	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Manifold Sıcaklığı (°C)	Sararma (Δx)	Mavileşme (Δy)
1	3	380	20	105	242	2,8	240	0,0234	0,0362
2	3	380	20	105	250	3,8	250	0,0256	0,0404
3	3	380	20	105	255	4,8	260	0,0268	0,0426
4	3	530	25	115	242	2,8	240	0,0227	0,036
5	3	530	25	115	250	3,8	250	0,0247	0,0391
6	3	530	25	115	255	4,8	260	0,0264	0,0421
7	3	680	30	125	242	2,8	240	0,0244	0,0386
8	3	680	30	125	250	3,8	250	0,0241	0,038
9	3	680	30	125	255	4,8	260	0,0274	0,0438
10	5	380	25	125	242	3,8	260	0,0255	0,0402
11	5	380	25	125	250	4,8	240	0,0226	0,0356
12	5	380	25	125	255	2,8	250	0,0270	0,0426
13	5	530	30	105	242	3,8	260	0,0235	0,0366
14	5	530	30	105	250	4,8	240	0,0241	0,0382
15	5	530	30	105	255	2,8	250	0,0257	0,0407
16	5	680	20	115	242	3,8	260	0,0245	0,0388
17	5	680	20	115	250	4,8	240	0,0234	0,037
18	5	680	20	115	255	2,8	250	0,0221	0,0349
19	7	380	30	115	242	4,8	250	0,0221	0,0349
20	7	380	30	115	250	2,8	260	0,0256	0,0401
21	7	380	30	115	255	3,8	240	0,0244	0,0387
22	7	530	20	125	242	4,8	250	0,0240	0,0376
23	7	530	20	125	250	2,8	260	0,0259	0,0406
24	7	530	20	125	255	3,8	240	0,0252	0,0396
25	7	680	25	105	242	4,8	250	0,0256	0,0405
26	7	680	25	105	250	2,8	260	0,0316	0,0502
27	7	680	25	105	255	3,8	240	0,0270	0,0426



Şekil 4.8: S/N oranı grafiği.

Ulaşılan sonuçlarla Minitab programı üzerinden Taguchi metodunun en küçük en iyi analiz metodu kullanılarak analizi yapılmış ve yukarıda belirtilen optimum proses parametrelerine ulaşılmıştır. Optimum proses parametreleri analiz sonucu ortaya çıkan S/N grafiği Şekil 4.8'deki gibi belirlenmiştir.

Taguchi metodu deney tasarımında S/N (gürültü/şiddet) grafiklerinde en küçük en iyi veya en büyük en iyi problemi seçilmiş olsa dahi en iyi faktörü belirlerken her zaman maksimum nokta seçilmektedir. Yapılan analiz sonucunda mavileşme ve sararma için optimum noktaların aynı olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.8'deki grafikte işaretlenen kırmızı bölümler kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin artırılması için maksimum değerlerden seçilmiştir. İstenilen değerleri elde etmek için optimum proses parametreleri Şekil 4.8'de verilmiş S/N grafiğine göre belirlenmiştir. Bu eşitliğe bakılarak faktörlerin çıktı üzerindeki etki grafiğine bakıldığında maksimum noktaların sonuçlara göre sararma ve mavileşme kalitesini arttırmadaki süreç parametreleri için optimum değerler aşağıda belirtilmiştir.

- Ütüleme basıncı (Pa)= 530
- Ütüleme zamanı (sn)= 7
- Soğuma zamanı (sn)= 20
- Kalıp yüzey sıcaklığı (°C)= 115
- Enjeksiyon hızı (m/s)= 4,8
- Manifold sıcaklığı (°C)= 240
- Ocak sıcaklığı (°C)= 242

Bir diğer faktör belirleme metodu olan ortalama etki grafiği incelendiğinde ise problem tipi “smaller is better” (en küçük en iyi) metoduna göre yapıldığı için grafikteki en küçük değerlerden seçimler yapılmaktadır. S/N oranları grafiğine göre optimum proses parametrelerine ulaşmak için faktörlerin aynı seviyede olduğuna ulaşılmıştır.

Deneye ait faktörlerin yanıt üzerindeki önem sırası Tablo 4.4’te verilmiştir. Minitab analiz raporundan çıkan sonuca göre etki derecesi en yüksek olandan en az olana doğru sıralama belirtilmiştir. Etki önem sırasına göre Manifold sıcaklığı, Kalıp yüzey sıcaklığı, Ocak sıcaklığı, Ütüleme zamanı, Soğuma zamanı, Ütüleme basıncı ve Enjeksiyon hızı olarak sıralanmaktadır. Önem sırasına göre en etkili faktörün manifold sıcaklığı, etkisi en düşük olan faktörün ise enjeksiyon hızı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.4: Faktörler için S/N oranları.

Seviye	Ütüleme Zamanı (sn)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Soğuma Zamanı (sn)	Ocak Sıcaklığı (°C)	Kalıp yüzey sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/sn)	Manifold Sıcaklığı (°C)
1	29,61	29,73	29,81	30,02	29,35	29,55	29,95
2	29,9	29,74	29,34	29,56	29,98	29,65	29,8
3	29,42	29,45	29,78	29,35	29,6	29,73	29,18
Delta	0,47	0,29	0,47	0,67	0,63	0,18	0,76
Önem Sırası	4	6	5	2	3	7	1

Yapılan deney tasarımı kapsamında elde edilen analizlerde plastik ışık tüpü parçalarının uygun renk değerlerinde üretilebilmesi için 7 faktörlü ve 3 seviyeli Taguchi metodu deney tasarımı olacak şekilde tasarlanmış, 27 adet deney ile tamamlanmıştır. Her parça basımı

sonrası alınan ölçümler Minitab programı aracılığıyla Taguchi metoduna göre optimum parametre değerlerine ulaşılmıştır.

Yanıt üzerindeki optimum değerler S/N grafiklerindeki kontrol edilebilir faktörlerin maksimum değerlerinden seçilmiştir. Taguchi metodu S/N grafiği yorumlamasında problemin tipi fark etmeksizin maksimum değerlerin seçimi yapılır.

Taguchi metodundan elde edilen ve S/N oranı ile belirlenen optimum değerlerin uygunluğu test etmek için 5 adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Tablo 4.5'te doğrulama deneylerinin veri setleri ve çıkan ölçüm sonuçları verilmiştir. Yenilenen deneylerde gözlemler yapılarak önceki deneylerde bulunan sonuçlar ile yeni elde edilen veriler arasında değerlendirme yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen çıktıların Δx için ortalamanın 0,02080; Δy için ortalamanın 0,02853 olduğu belirlenmiştir. Çıkan bu sonuca göre de istenilen renk dalga boyları kıyaslandığında en düşük sapma ile enjeksiyon prosesinden veriler elde edilmiştir.

Tablo 4.5: Doğrulama deney seti ve sonuçları.

Deney No	Ütüleme Zamanı (sn)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Soğuma Zamanı (sn)	Kalıp Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Manifold Sıcaklığı (°C)	Sararma (Δx)	Mavileşme (Δy)
1	5	530	20	115	242	4,8	240	0,02052	0,03139
2	5	530	20	115	242	4,8	240	0,02059	0,02753
3	5	530	20	115	242	4,8	240	0,02035	0,02786
4	5	530	20	115	242	4,8	240	0,02059	0,02703
5	5	530	20	115	242	4,8	240	0,02193	0,02886

Deneylerin gerçekleştirildiği firmada müşteri tarafından iletilen şartnamelere göre sararma için sınır değer 0,0250; mavileşme için 0,0380 olarak belirlenmiştir. Tablo 4.5'te verilen 5 adet doğrulama deneyinden tüm deneylerin istenilen hedef değerden küçük olduğu gözlemlenmiştir. Doğrulama deneyleri çıktıları hedeflenen değer aralığında kalarak, yanıt faktörlerinin en küçüklendiği gözlemlenmiştir. Çıkan sonuç doğrultusunda ilgili parametreler yalnızca tek bir hammadde cinsi için proseste kullanılmaya devam edilecektir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması plastik enjeksiyon süreci ile üretilen ışık tüpü parçalarındaki sararma ve mavileşme kalite probleminden yola çıkılmış ve probleme yönelik çözüm için deney tasarımı yöntemlerinden biri olan Taguchi metodu üzerine çalışmalar otomotiv sektöründe faaliyet gösteren ve aydınlatma parçaları üreten bir yan sanayide tamamlanmıştır. Bu kalite problemi ışık tüpü parçasının aydınlatma sistemlerinde görünür bir parça olarak kullanılması fonksiyon olarak doğru renklendirmede ışığı geçirmesi gereksinimlerinden dolayı önemli bir proses problemi olmuştur.

Etkilemesi mümkün ihtimaller üzerinde geçmiş tecrübeler ve ölçümlere dayanarak parametre belirleme çalışmaları yürütülmüştür. Araştırmalar neticesinde plastik enjeksiyon prosesinin bir çıktısı olan ışık tüpü parçasının renk geçirgenliğine etki edebilecek parametreler belirlenmiştir. Bu yaklaşım ile plastik enjeksiyon makinesinin parametresi olan 7 adet kontrol edilebilir faktör saptanmıştır. Bu faktörler ütüleme zamanı, ütüleme basıncı, soğuma zamanı, kalıp yüzey sıcaklığı, ocak sıcaklığı, enjeksiyon hızı ve manifold sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Belirlenen tüm parametreler nicel değerlerden oluşturulmuştur. Hedeflenen çıktı parametreleri ise sararma ve mavileşmedir. Sararma ve mavileşme parçanın iki ayrı yanıt faktörü olarak değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında kullanılan 7 faktörün aynı anda bulunduğu ve renk yanıtının kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada hedeflenen sonuç optimum faktör ve seviye kombinasyonlarında üretim yapıldığında parçadaki sararma ve mavileşme renklerinin Δx ve Δy tolerans değerini aşmamasını sağlayabilmektir. Bu amaçla deney tasarımı yöntemi olan Taguchi metodundan yararlanılmıştır. Minitab istatistiksel analiz programı yardımıyla 27 adet deney L_{27} ortogonal dizisine göre oluşturulmuştur. Deney verilerine göre yapılan baskı denemelerinin sonucunda Taguchi metodu S/N oranı grafiği incelenmiş ve optimum proses parametreleri belirlenmiştir. Analiz sonucu çıkan değerler: ütüleme zamanı: 5 saniye, ütüleme basıncı: 530 Pa, soğuma zamanı: 20 saniye, kalıp yüzey sıcaklığı: 115°C, ocak sıcaklığı: 242°C, enjeksiyon hızı: 4,8 m/s, manifold sıcaklığı: 240°C bulunmuştur. 5 kez yapılan doğrulama deneyleri ile yanıt faktörlerinden Δx için 0,02080 ve Δy için 0,02853 olarak bulunmuş, talep edilen toleransların altında kaldığı için faktörlerde iyileşme gözlemlenmiştir.

Deneyde ortaya çıkan bu faktörlerin minimize edilmesiyle ölçüm sonuçlarındaki sapmaların düştüğü görülmüştür. Ele alınan problemin Taguchi metodu ile çözümlenebildiği alınan verilere dayanarak kanıtlanmıştır. Taguchi metodunun plastik enjeksiyon prosesinde optimum faktörleri belirlemek için doğru bir yöntem olduğu ve Taguchi metodu ile zamandan ve maliyetten belirli kazanımlar elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalar için kullanım alanı farklı plastik enjeksiyon parçalarında yaşanan sararma, solma kalite hatalarında da Taguchi metodunun kullanılması proseslerin iyileştirilmesi ve hurda parça oluşumunun önlenmesinde faydalı olacağı çıkarımı yapılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Antony, F., Perry, D., Wang, C., Kumar, M. (2006). An application of Taguchi method of experimental design for new product design and development process. *Journal of Assembly Automation*, 26(1), 18-24.
- Altan, M. (2009). Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods. *Materials and Design* 31(1), 599–604.
- Alam, M., Kumar, D. (2013). Reducing shrinkage in plastic injection moulding using Taguchi method in tata magic head light. *International Journal of Science and Research India*, 2(2), 107-110.
- Aydın, E. (1994). *Taguchi Metodu ve Bir Uygulama (Yüksek Lisans Tezi)*. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 32045).
- Azaman, M. D., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Zainudin, E. S., Khalina, A. (2013). Shrinkages and warpage in the processability of wood-filled polypropylene composite thin-walled parts formed by injection molding. *Materials and Design*, 52, 1018-1026.
- Balaban, M. (2019). Regresyon kriging meta-modelleri için kullanılan deney tasarımı yöntemleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7, 1444-1455.
- CIE Yayın No.53 (1982). Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers.
- Chandrashekhar, N. S., Shinde, S. S. (2019). Simulation and analysis of step light mid part using mold flow analysis. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(5), 6333-6340.
- Chen, R. S., Lee, H. H., Yu, C. Y. (1997). Application of Taguchi's method on the optimal process design of an injection molded PC/PBT automobile bumper. *Journal of Composite Structures*, 39(4), 209-214.
- Chen, Z., Turng, L. (2005). A review of current developments in process and quality control for injection molding. *Journal of Advances in Polymer Technology*, 24(3), 165-182.
- Chen, C., Chuang, M., Hsiao, Y., Yang, Y., Tsai, C. (2009). Simulation and experimental

study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis. *Journal of Expert System with Applications*, 36(1), 10752-10759.

Chang, T. C., Faison E. (2001). Shrinkage behavior and optimization of injection molded parts studied by the taguchi method. *Polymer Engineering and Science*, 41(5), 703-710.

Dallı, B. (2020). *Plastik enjeksiyon kalıp komponentleri için otomatik görüntü işleme sistemi tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 667472).

Erdem, V., Belevi, M. ve Koçhan C. (2010). Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 17-29.

Hamzaçebi, C., Kutay, F. (2001). Kalite Maliyetlerine Genel Bir Bakış: Taguchi Kayıp Fonksiyonu. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 287-293.

Işık, F. (2000). Taguchi Metodu ve Bir Uygulama (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 176127).

Kamber, Ö. Ş. (2008). *Plastik enjeksiyon kalıplarında basınç ve sıcaklık parametrelerinin ürün kalitesine etkileri ve taguchi yöntemi ile optimizasyonu* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 178882).

Karaoğlan A. D., Baydeniz, B. (2020). *Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyonu: otomotiv aydınlatma parçaları için bir uygulama*. INSAC-International Conference on Research in Natural and Engineering Sciences- ICRNES 2020, pp. 24-32, 14-15 Kasım, 2020, Konya, Türkiye.

Karaoglan, A.D., Bağçeci, E. N. (2023). *Plastik enjeksiyon süreç parametrelerinin Taguchi metodu ile iyileştirilmesi: otomotiv yan sanayi uygulaması*. INSAC-International Conference on Research in Natural and Engineering Sciences- ICRNES 2023, pp. 72-79, 17-18 Mart, 2023, Konya, Türkiye. **[Tezden türetilmiştir]**

- Kayı, Y. (2006). *Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu ile İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 181891).
- Kumsal, K. H. (1994). Taguchi metodu (Yüksel Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 31031).
- Lin C., Chen, W. (2020). Optimization of injection-molding processing conditions for plastic double-convex Fresnel lens using grey-based Taguchi method. *Journal of Microsystem Technologies*, 26(1), 2575-2588.
- Lin C., Chen, J. (2021). Taguchi optimization of roundness and concentricity of a plastic injection molded Parel of a telecentric lens. *Journal of Polymers*, 13(19), 3419-3440.
- Montgomery, D. C. (2008). *Design and Analysis of Experiments*, 8th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Mercan, Ş. (2019). *Deney tasarımı ve yapay zeka tekniklerinden yararlanarak ürün kalitesinin geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.559184).
- Mehat, N. M., Kamuriddin, S. (2011). Investigating the effects of injection molding parameters on the mechanical properties of recycled plastic parts using the taguchi method. *Material and Manufacturing Processes*, 26(2), 202-209.
- Mehat, N. M., Kamuriddin, S. (2011). Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameters using the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(1), 1989-1994.
- Okudan, G. E. (1995). *Deneysel tasarımın taguchi yöntemleri ile karşılaştırılması ve uygulamalar* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 41799).
- Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, İ. (2006). Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Material and Design*, 28(4), 1271-1278.
- Önal, Ş. (2021). Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle

Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu.
Ankara Bilim Üniversitesi Researcher, 1(1), 48-56.

Özden, E. (2020). *Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarımı yöntemleri ile optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 636096).

Üren, A. (1999). Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 24(3), 193-200.

Patyal, V. S., Modgil S., Maddulety K. (2013). Application of taguchi method of experimental design for chemical process optimisation: a case study. *Journal of Asia Pasific*, 9(3), 231-238.

Radwhan, H., Mustaffa, M. T., Annuar, A. F., Azmi, H., Zakaria, M. Z., Khalil, N. M. (2015). An optimization of shrinkage in injection molding parts by using Taguchi method. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 10(1), 1-8.

Saat, M. (2000). Kalite denetiminde taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 97-108.

Şanyılmaz, M. (2006). *Deney tasarım ve kalite geliştirme faaliyetlerinde taguchi yöntemi ile bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 182197).

Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı, Taguchi Yaklaşımı*. Literatür Yayıncılık.

Tang, S. H., Tan, Y. J., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Ismail, N., Samin, R. (2006). The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage. *Journal of Materials Processing Technology*, 182(1), 418-426.

Türkan, B. (2021). Enjeksiyon edilmiş plastiğin soğutulması işleminin optimizasyon çalışması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31(1), 801-808.

Wu, H., Wang, Y., Fang, M. (2021). Study on injection molding process simulation and process parameter optimization of automobile instrument light guiding support. *Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, 1-13.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ece Nur Bağceci
Doğum tarihi ve yeri : 30.03.1998 / BURSA
e-posta : ecebagceci@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2023
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği	2020
Lise	Özel Plato Anadolu Lisesi	2016

Yayın Listesi

Karaoglan, A.D., Bağceci, E. N. (2023). Plastik Enjeksiyon Süreç Parametrelerinin Taguchi Metodu ile İyileştirilmesi: Otomotiv Yan Sanayi Uygulaması. INSAC-International Congress on Natural and Engineering Sciences- ICNES 2023, pp. 72-79, 17-18 Mart, 2023, Konya, Türkiye. **[Tezden türetilmiştir]**