

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



**TAGUCHI METODU KULLANILARAK PLASTİK ENJEKSİYON PROSES
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV AYDINLATMA
PARÇALARI İÇİN BİR UYGULAMA**

BURAK BAYDENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZ

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

BALIKESİR, HAZİRAN – 2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Proses Parametrelerinin Optimizasyonu: Otomotiv Aydınlatma Parçaları İçin Bir Uygulama**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burak BAYDENİZ

(imza)

Bu tez çalışması AL-KOR Makine Kalıp Sanayi ve Ticaret A.Ş. Ar-Ge Merkezi tarafından desteklenmiştir.

ÖZET

**TAGUCHI METODU KULLANILARAK PLASTİK ENJEKSİYON PROSES
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU: OTOMOTİV AYDINLATMA
PARÇALARI İÇİN BİR UYGULAMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BURAK BAYDENİZ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. ASLAN DENİZ KARAOĞLAN)**

BALIKESİR, HAZİRAN- 2022

Günlük yaşamımızda kullandığımız pek çok parça plastik enjeksiyon ile üretilmektedir. Otomotiv yan sanayisinde plastik enjeksiyon prosesi ile üretilen ürünlerde yüzey kalitesi müşteri memnuniyetini sağlamak açısından önemlidir. Bu proseste yüksek sıcaklık altında çalışılması nedeniyle, süreç sonunda ürünün yüzeyinde damlacık adı verilen kalite problemleri gözlenebilmektedir. Bunun yanında çapak, eksik enjeksiyon vb. kalite hataları da sıklıkla gözlenebilmektedir. Bu tez çalışmasında otomotiv aydınlatma parçalarının kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla enjeksiyon süreç parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Bu sayede ıskarta oranının düşürülmesi ve müşteri memnuniyetinin artırılması hedeflenmektedir. Ele alınan plastik enjeksiyon sürecinin optimizasyonu amacıyla Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Girdi (Faktör) parametreleri olarak ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s) ütüleme basıncı (Pa) mal alma zamanı (sn) ve ütüleme zamanı (sn) parametreleri seçilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, aydınlatma lens parçaları üzerine bir uygulamaya rastlanılmamıştır. Tüm analizler Minitab istatistiksel analiz yöntemi programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmamız sonucunda ele alınan endüstri probleminin çözümünde Taguchi metodu etkin bir şekilde kullanılmıştır. Ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s), ütüleme basıncı (Pa), mal alma zamanı (sn) ve ütüleme zamanına (sn) ait optimum parametreler bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Plastik enjeksiyon süreci, Taguchi yöntemi, kalite iyileştirme, optimizasyon.

Bilim Kod / Kodları : 90610

Sayfa Sayısı : 34

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PLASTIC INJECTION PROCESS PARAMETERS USING TAGUCHI METHOD: AN APPLICATION FOR AUTOMOTIVE LIGHTING PARTS

MSC THESIS

BURAK BAYDENİZ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

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

BALIKESİR, JUNE - 2022

Many parts that we use in our daily life are produced by plastic injection. The surface quality of the products produced by the plastic injection process in the automotive sub-industry is important in terms of ensuring customer satisfaction. Due to the high temperature in this process, quality problems called droplets can be observed on the surface of the product at the end of the process. In addition, burrs, incomplete injection, etc. quality errors can also be observed frequently. In this thesis, the optimization of injection process parameters has been studied in order to improve the quality of automotive lighting parts. In this way, it is aimed to reduce the scrap rate and increase customer satisfaction. Taguchi method was used for the optimization of the plastic injection process. Furnace temperature ($^{\circ}\text{C}$), injection speed (m/s), ironing pressure (Pa), receiving time (sec) and ironing time (sec) parameters were selected as input parameters. When the studies in the literature are examined, no application on lighting lens parts has been found. All analyzes were performed using the Minitab statistical analysis method program. As a result of our study, the Taguchi method has been used effectively in the solution of the industry problem. Optimum parameters of furnace temperature ($^{\circ}\text{C}$), injection speed (m/s), ironing pressure (Pa), receiving time (sec) and ironing time (sec) were found.

KEYWORDS: Plastic injection process, Taguchi method, quality improvement, optimization.

Science Code / Codes: 90610

Page Number: 34

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU	11
3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Temel İlkeleri	11
3.2 Yaygın Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri ve Birbiriyle Kıyaslanması	12
3.3 Taguchi Yöntemi	14
3.3.1 Taguchi Yönteminin Tarihçesi ve Felsefesi	14
3.3.2 Taguchi Yönteminin Aşamaları.....	15
4. UYGULAMA	17
4.1 Sistemin ve Problemin Tanımı	17
4.2 Enjeksiyon Makinesi Çeşitleri ve Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri	18
4.3 Deney Tasarımı ve Optimizasyonu	22
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	30
6. KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: 1950-1990 yılları arasında deney tasarımının kalite düzeyine katkısı	11
Şekil 3.2: Taguchi kalite kayıp fonksiyonu.....	15
Şekil 4.1: Enjeksiyon makinesi genel görünüm 1.....	17
Şekil 4.2: Enjeksiyon makinesi genel görünüm 2	17
Şekil 4.3: Sağ ve sol lens tırnak hatalı parça görünümü.....	19
Şekil 4.4: Sol lens parçası hatalı enjeksiyon izi görünümü.....	19
Şekil 4.5: Ağırlık ölçüm fikstürü.....	23
Şekil 4.6: Analizi gerçekleştirilen ürünün araç üzerindeki konumu.....	24
Şekil 4.7: Ortalamalar için ana etkiler grafiği.....	27
Şekil 4.8: S/N oranları için ana etkiler grafiği.....	27

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Literatür taraması özet tablo.....	7
Tablo 3.1: Deney tasarımı yöntemleri ve birbirleriyle kıyaslanması.....	13
Tablo 4.1: Enjeksiyon makinesi ayar parametreleri.....	24
Tablo 4.2: Taguchi deney tasarımı.....	25
Tablo 4.3: Minitab faktör önem sıraları raporu.....	26
Tablo 4.4: Taguchi deney tasarımı deneysel sonuçlar	29

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Santigrat
dk	: Dakika
K	: Kalite katsayısı
L(y)	: Kayıp fonksiyonu
m/s	: Metre/Saniye
Pa	: Pascal
sn	: Saniye
S/N	: Sinyal / Gürültü oranı (Signal-to-Noise)
Y	: Yanıt değişkenleri
YYY	: Yanıt yüzey yöntemi

ÖNSÖZ

Bu tez İstanbul ilinde faaliyet gösteren bir otomotiv yan sanayi firmasının plastik enjeksiyon hattında gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon kalıplarından çıkan parçaların yüzey kalitelerinin pürüzsüz olması, enjeksiyon izi olmaması, oluşabilecek mekanik ve kimyasal etkilere dayanabilmesi için üretim süreç parametrelerinin optimize edilmesi ve sürekli iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşen deneylerimiz esnasında tüm saha ve makine ekipmanları işletme tarafından finanse edilmiştir. Tez yazım aşamasında tüm bilgi birikimlerini benimle paylaşan AL-KOR proses geliştirme ekibine ayrıca teşekkürlerimi iletirim.

Lisansüstü çalışmalarım kapsamında ve bu tezi yazma aşamasında, tarafımdan desteklerini esirgemeyen sayın danışman hocam Doç.Dr. Aslan Deniz KARAOĞLAN'a tüm içtenliğimle teşekkürlerimi iletirim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında benden desteklerini esirgemeyen annem Ümmügül BAYDENİZ, babam Sebahattin BAYDENİZ ve kardeşim Enes BAYDENİZ'e teşekkür ederim.

Balıkesir, 2022

Burak BAYDENİZ

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında imalatını kendi bünyesinde gerçekleştiren firmaların, zorlu piyasa şartlarına ayak uydurabilmeleri için düşük maliyet ile yüksek kaliteli ürünler üretebilmesi önemlidir. Bu sebeple kuruluşlar, ürettikleri her parçada maksimum kaliteyi ve minimum maliyeti yakalamak istemektedir. Bilindiği üzere otomotiv imalat sektöründe, otomobilin dış parçaları kadar, iç aksamı oluşturan parçalar da oldukça önemlidir. Bu tez kapsamında, plastik enjeksiyon prosesi ile üretilen otomotiv aydınlatma parçalarında görülen kalite problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla süreç optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Bu sayede, araç üzerindeki fonksiyonu sürüş esnasında yolun aydınlatılmasını sağlamak ve gece görüş kalitesini arttırmak olan bu önemli alt bileşen parçanın kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır.

Aydınlatma parçaları enjeksiyon prosesi ile üretilmektedir. Plastik enjeksiyon, eritilmiş plastik hammaddenin sıcaklık ve basınç yardımı ile kalıp içine enjekte edilmesi ve süreç sonunda istenilen plastik malzemenin üretilmesi sürecidir. Plastik enjeksiyon süreci sonunda, kısa bir soğutma işlemi sonrası ürünün kalıptan çıkarılması ile proses tamamlanmaktadır. Enjeksiyon prosesi boyunca, bazı kalitesizlik maliyetleri meydana gelmektedir. Kalitesizlik maliyetleri, plansız iş gücü kayıplarına ve nihayetinde işletmenin kabul sınırlarında olmayan hurdaya çıkan ürün sayısının artmasına neden olmaktadır. Bahsi geçen kalitesizlik maliyetlerinden bazıları ise, enjeksiyon üretimi sonrası üründe meydana gelen enjeksiyon izi, özellikle uzunlukları fazla olan ürünlerde yüzey pürüzlülüğü, kör noktalarda oluşan çapaklar, enjeksiyon sonucu hassas noktalarda oluşan kırılmalar, yüzeyde çöküntülerin meydana gelmesi vb. kaynaklıdır.

Bu tez çalışmasında, yukarıda bahsi geçen kalite problemlerinin önüne geçmek amacıyla plastik enjeksiyon süreç parametrelerinin optimizasyonunun üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla Taguchi metodu kullanılarak deneyler tasarlanmış ve optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Optimize edilecek faktörler; ocak sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), enjeksiyon hızı (m/s) ütüleme basıncı (Pa) mal alma zamanı (sn) ve ütüleme zamanı (sn) olarak belirlenmiş olup; çıktı değişkeni (yanıt) olarak ürün ağırlığı belirlenmiştir. Enjeksiyon prosesinde belirlenen ocak sıcaklığı parametresi, eriyik hammaddenin kalıp boşluklarına sorunsuz ulaşması açısından önemli bir parametredir. Enjeksiyon hızı parametresi ise hammaddenin kalıba itme hızı görevini üstlenmektedir. Ütüleme basınç ve hızı parametresi, hammaddenin çökmesini ve

apaklanmasını engelleyen en 3nemli parametrelerdir. Enjeksiyon prosesi sonrası 3r3n3n normal gramajından az çıkması, yukarıda bahsi geçen problemlere neden olmaktadır. Prototip tasarımında belirlenen 3r3n kalıbının iinin eksiksiz olarak ve hava kabarcığı içermeyecek şekilde enjeksiyon prosesi ile tam olarak doldurulması beklenmektedir. Bu, s3re sonunda kalitesiz 3r3n çıkmasının 3n3ne geçecektir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Enjeksiyon süreç optimizasyonu ile ilgili literatürde pek çok çalışma yayınlanmıştır, bunlar arasından seçilen bazı çalışmalar izleyen paragraflarda verilmiştir.

Kayı (2006), bu çalışmada, plastik enjeksiyon ile kalıplanmış parçaların, proses parametrelerinin çekme değerine olan etkilerinin minimize edilmesi konusunu incelemiştir. Problem olarak, plastik parçalarda meydana gelen çekmeler ve tolerans değerlerinin dar olması, imal edilmesi planlanan yeni ürünler üzerindeki olumsuz etkileri üzerine çalışmıştır. Sistem faktör parametreleri olarak eriyik sıcaklık, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı, tutma zamanı ve soğuma süresi parametreleri belirlenmiştir. Çıktı değişkeni olarak, faktör parametrelerinin çekme miktarına olan etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen analizler ile belirlenen parçalar için optimum proses şartları sağlanmıştır.

Kamber (2008), makine aşınmalarının, kalıp ölçüm cihazlarındaki kalibrasyon eksikliğinin, ürün çeşidinde ve hava şartlarındaki değişimlerin, voltajdaki değişikliklerin elde edilen parça kalitesi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Problem olarak üretim hattında meydana gelen gecikmelerin önüne geçilmesi sorunları üzerine çalışmıştır. Sistem faktör parametreleri olarak basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı parametreleri belirlenmiştir. Üretimde meydana gelen aksaklıkları en aza indirmek üzere boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları belirlenerek kaliteli ürünler ve minimize edilmiş üretim hataları için gerekli basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı değerleri optimizasyon teknikleriyle elde edilmiştir.

Altan (2010), bu çalışmada, minimum büzülme için optimal enjeksiyon kalıplama koşulları, Taguchi, deneysel tasarım ve varyans analizi (ANOVA) yöntemleri ile belirlenmiştir. Sistem faktör parametreleri olarak ocak sıcaklığı, enjeksiyon, paketleme basıncı ve süresi belirlenmiştir. İncelenen süreç parametrelerinin önem derecesi belirlendikten sonra, yapay sinir ağı modeli oluşturulmuş ve büzülme için verimli bir tahmin aracı olduğu gösterilmiştir.

Erdem ve ark. (2010), Taguchi metodu kullanarak ürün üzerinde meydana gelen çarpılmanın minimum seviyeye indirgenmesi üzerine çalışmışlardır. Sistem faktörleri olarak yolluk tasarımı, giriş ölçüleri, giriş sayısı ve ürün tasarımı parametreleri kullanılmıştır. Sistem çıktı parametresi olarak çarpılma ölçütlerinin elde edilmesi için üretilen kalıp kullanılarak plastik enjeksiyon yöntemiyle üretimleri incelenmiştir.

Özçelik ve Özbay (2011), enjeksiyon kalıp malzemelerinin bazı ürünlerinin mekanik özelliklerine etkilerini Taguchi yöntemi kullanarak incelemiş ve sistem faktörleri olarak çeşitli kalıp malzemeleri kullanarak, tutma basıncı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve soğuma zamanı gibi parametreleri belirlemişlerdir. Yanıt değişkeni olarak PP (polipropilen) malzemenin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Katmer ve Karataş (2012), kalıplama işlemlerinde enjeksiyon şartlarının polistiren düz parçalardaki kalıntı gerilmelere etkileri konusunu incelemişlerdir. Faktör olarak enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı, ütüleme süresi ve soğuma süresi belirlenmiştir. Yanıt değişkeni olarak ürün üzerinde kalıntılı gerilme, ölçüsel kararlılık, ürünlerin kullanılabilirliği, kimyasal direnç vb. değerleri incelenmiştir.

Kocabaş (2014), cam elyaf takviyeli enjeksiyon prosesinin simülasyonu yoluyla analizleri çalışmalarını gerçekleştirmiş ve problem olarak yüksek darbe ve kimyasal dirence maruz kalmış maddelerin kullanımı esnasında meydana gelen olumsuzluklar incelenmiştir. Sistem faktörleri olarak sıcaklık artışı, basınç dağılımı, kayma oranları, soğuma süresi, donmuş tabaka oranı, dolun kolaylığı, çökme izleri değerleri ve çevrim süresi belirlenmiştir. Sistem çıktısı parametresi olarak, sistem faktörlerinin birbirlerine olan etkileri incelenmiştir.

Döndüren ve Karacasulu (2015), PVC enjeksiyon kalıplarında polikarbonat malzemeler için uygun kalıp çeliği seçimi konusunu incelemiş ve problem olarak takviyeli plastikler, ısı, sıcaklık, basınç gibi değişkenler üzerinde meydana gelen problemleri incelemişlerdir. Enjeksiyon makinesi parametreleri olarak 3. rezistans sıcaklığı, 4. rezistans sıcaklığı, mem sıcaklığı, soğuma zamanı, ütüleme süresi, enjeksiyon basıncı ve son olarak mal alma cetveli faktörleri seçilmiştir. Sistem yanıt değişkeni olarak AISI, shore A, yoğunluk ve çekme gerilmesi değerleri incelenmiştir. Sistem çıktısı olarak oluşturulan modelin optimum parametrelerin en yüksek çekme dayanımı değeri belirlenmiştir.

Subaşı ve Karataş (2015), Ti-6Al-4V alaşım tozundan hazırlanan besleme stokunun kalıplama ve sinterleme parametrelerinin araştırılması üzerine çalışmışlar ve problem olarak ilgili parametrelerin birbirine olan etkilerini Taguchi kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Sistem parametreleri olarak debi, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, ütüleme basıncı,

kalıp sıcaklığı, sinterleme süresi ve sıcaklığı ve ayrıca son olarak akış hızı faktörleri seçilmiştir. Yanıt değişkeni olarak besleme ve sinterleme parametreleri ölçülmüştür.

Öktem ve ark. (2016), bazı plastik parçaların mekaniksel karakteristiklerini etkileyen uygun enjeksiyon işlem parametrelerinin Taguchi metodu ile belirlenmesi konusu incelenmiş ve bilgisayar DVD aksamalarının ön kapağında enjeksiyon işlemi esnasında ürüne etki eden mekaniksel yeteneklerine uygun enjeksiyon parametresi incelenmiştir. Faktör olarak enjeksiyon basıncı, eriyik sıcaklığı, ütüleme süresi, basıncı ve ayrıca soğuma süresi parametreleri belirlenmiştir. Yanıt değişkeni olarak eğilme mukavemetinin en yüksek olduğu ve en yüksek eğilme değerleri belirlenmiştir.

Nas ve Özarıslan (2018), polietilen ve etilen vinil asetat karışımı ürünün plastik enjeksiyon makinesi ile farklı parametrelerde üretimin deneysel ve istatistiksel olarak incelemesi üzerine çalışmış ve belirlenen parametrelerin ürün ağırlığı ve yüzey üzerine etkileri problemleri ile ilgili çözümler getirilmesi hedeflenmiştir. Sistem faktör parametreleri olarak enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, ütüleme hızı ve vida dönme hızı olarak belirlenmiştir. Sistem yanıt değişkeni olarak ürün ağırlığı seçilmiştir. Optimizasyonu gerçekleştirmek amacıyla Taguchi yönteminden yararlanmışlardır.

Altan ve Eryıldız (2018), fiber takviyeli bazı kimyasal maddelerin farklı şartlarda paralel fiber bağlantıların bu bağlantılara paralel olan fiber yönlendirmeler ile kayma tabakasının kalınlık ölçülerinin artırılması üzerine çalışmışlardır. Sistem faktör parametreleri olarak, ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon hızı olarak belirlenmiştir. Sistem yanıt değişkeni olarak cam malzemenin kayma kalınlık ölçüsü olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde yüksek kalıp ve ergiyik sıcaklığı değerlerinde, kayma tabakasının arttığı sonucuna varılmıştır.

Şahin (2018), kalıp dolum parametrelerinin ve plastik enjeksiyon kalıp tasarımının tersine mühendislik metodu ile yapılabirliğini inceleyerek, mevcutta üretilen ürünlerin yeniden üretilmeleri için tasarım aşamalarından faydalanarak yeni bir model geliştirmeye çalışmıştır. Sistem parameteleri olarak kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı çevrim süresi ve dolum oranı seçilmiştir. Sistem yanıt değişkeni olarak kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon sıcaklığı değerlerinin birbirleri arasındaki etkileri değerlendirilmiştir. İlgili yöntemler neticesinde enjeksiyon

makinesinde üretimi gerçekleştirilen ürünlerin bilgisayar nezdinde yapıldığı bütün üretim zamanları kısaltılmıştır.

Kayabaşı ve Çakmak (2019), farklı çözüm teknikleri kullanılarak enjeksiyon işlemlerinin tasarım metodolojisini incelemişlerdir. Faktör olarak soğutma suyu sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığını seçmişlerdir. Yanıt değişkeni olarak ise parametrelerin sonuçlar üzerine etkisi incelenmiştir.

Mercan (2019), yapay zeka ve deney tasarımı yöntemi kullanılarak ürünlerin kalitelerinin artırılması konusunu çalışmış ve problem olarak ilgili parametrelerin birbiri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sistem faktör parametreleri olarak enjeksiyon hızı, basıncı, pozisyonu, ütüleme zamanı, ütüleme hızı ve basıncını son olarak soğuma zamanı parametreleri seçilmiştir. Sistem yanıt değişkeni olarak elde edilen numunelerin boyutsal küçülme(çekme) oranları belirlenmiştir. Sonuç olarak belirlenen parametrelerin enjeksiyon pozisyonunda parça değişimindeki en az değere ve etkinliğe sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Soncu (2019), boya öncesi bazı plastik parçalarda hazırlık proseslerinin geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Sistem faktör parametreleri olarak ütüleme ve soğuma zamanı, enjeksiyon hızı ve basıncı seçilmiş olup, yanıt değişkeni olarak ölçüm için yüzey enerjisi ölçüm test mürekkepleri değeri kullanılmıştır. Sonuç olarak ölçümlerinde düşük enjeksiyon hızı ve basıncı, boya işlemi öncesi uygulanan yöntemlerde ise kuru buz ile temizleme önerilmiştir.

Karaoğlan ve Baydeniz (2020), Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon prosesi optimizasyon çalışmalarını incelemiş ve problem olarak enjeksiyon prosesinde ürün yüzeyinde oluşan problemler üzerine çalışmışlardır. Sistem faktör parametreleri olarak, ocak sıcaklığı, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, mal alma zamanı ve ütüleme zamanı parametreleri seçilmiştir. Yanıt parametresi olarak enjeksiyon makinesinden çıkan ürünün ağırlığı seçilmiştir. Sonuç olarak, ürün yüzeyinde oluşan problemler (enjeksiyon izi, yüzey pürüzlülüğü, çapaklar vb.) Taguchi metodu ile optimize edilerek, ürün yüzeyindeki olumsuz etkilerin önüne geçilmiştir.

Önal (2021), bu çalışmada, plastik enjeksiyon tekniği ile üretilen iç göbek düğme parçası konusunu çalışmıştır. Problem olarak, üretim aşaması biten düğmelerde, bir süre sonra

boyutsal küçülmeler oluşması ve bu nedenle ürünlerin montajı sırasında meydana gelen sorunları ele almıştır. Sistem faktör parametreleri olarak, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon pozisyonu, ütüleme basıncı, ütüleme hızı, ütüleme zamanı ve soğuma zamanı değerlerini kullanmıştır. Yanıt değişkeni olarak çekme miktarı değerlerini belirlemiştir. Sonuç olarak, Taguchi yönteminden yararlanılarak faktörlerin uygun seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların değerleri doğrulama deneyleri neticesinde kesinleştirilmiştir.

Tablo 2.1 Literatür taraması özet tablo.

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktör	Yanıt
Kayı	2006	Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi	Taguchi metodu	Eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, tutma basıncı, tutma zamanı ve soğuma süresi	Çekme değeri
Kamber	2008	Makine aşınmaları ve kalıp ölçüm cihazlarındaki kalibrasyon ve hassasiyet eksikliği, ürün çeşidinde ve hava şartlarındaki değişimler, voltajdaki değişikliklerin elde edilen parça kalitesi üzerine olan etkilerini incelemiştir.	Taguchi metodu	Basınç, sıcaklık ve enjeksiyon zamanı	Boyutlar, distorsiyon ve dairesellik hataları
Altan	2010	Minimum büzülme için optimal enjeksiyon kalıplama koşulları, Taguchi, deneysel tasarım ve varyans analizi (ANOVA) yöntemleri incelenmiştir.	Taguchi metodu ve Anova analizi	Erime sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, paketleme basıncı ve paketleme süresi	minimum büzülme
Erdem ve ark.	2010	Taguchi metodu kullanarak farklı ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılmanın en aza indirgenmesi konusu çalışılmıştır.	Taguchi metodu	Ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri, yolluk tasarımı	Çarpılma değerleri

Tablo 2.1 (Devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktör	Yanıt
Özçelik ve Özbay	2011	Plastik enjeksiyon kalıp malzemelerinin polipropilen ürünün mekanik özelliklerine etkisinin Taguchi yöntemi üzerine çalışmalarını incelemiştir.	Taguchi metodu	Eriyik sıcaklığı, tutma basıncı, soğutma zamanı ve enjeksiyon basıncı	PP (polipropilen) malzemenin mekanik özelliklerine etkisi
Katmer ve Karataş	2012	Plastik enjeksiyon kalıplama şartlarının polistiren düz parçalardaki kalıntı gerilmelere etkileri konusunu incelemiştir.	Taguchi metodu	Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, ütüleme basıncı, ütüleme süresi ve soğuma süresi	Kalıntı gerilmeler
Kocabaş	2014	Cam elyaf takviyeli PA 6.6'nın enjeksiyon prosesinin simülasyonu yoluyla analizleri çalışmalarını gerçekleştirmiştir.	Taguchi metodu	Basınç dağılımı, sıcaklık artışı, maksimum kayma gerilmesi, kayma oranı, donmuş tabaka oranı, soğuma süresi, çökme izleri, dolum kolaylığı değerleri çevrim süresi	Birbirlerine olan etkileri
Döndüren ve Karacasulu	2015	Enjeksiyon kalıplarında PVC ve PC malzemeleri için uygun çeliklerin belirlenmesi konusunu incelemiştir.	Taguchi metodu	Rezistans sıcaklığı, mem sıcaklığı, soğuma zamanı, ütüleme süresi, enjeksiyon basıncı ve son olarak mal alma cetveli	Yoğunluk ve çekme gerilmesi
Subaşı ve Karataş	2015	Ti-6Al-4V Alaşım tozundan hazırlanan besleme stokunun kalıplama ve sinterleme parametrelerinin araştırmışlardır.	Taguchi metodu	Enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, sinterleme sıcaklığı ve süresi	Parametrelerin birbirlerine olan etkileri

Tablo 2.1 (Devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktör	Yanıt
Öktem ve ark.	2016	Plastik ürünlerin mekanik özelliklerini etkileyen en uygun enjeksiyon işlem parametrelerinin Taguchi yöntemiyle belirlenmesi konusu incelenmişlerdir.	Taguchi metodu	Enjeksiyon basıncı, ütüleme süresi, soğuma süresi ve eriyik sıcaklığı	AISI, Shore A, Yoğunluk ve Çekme gerilmesi değerleri
Altan ve Eryıldız	2018	Cam fiber takviyeli bazı kimyasal maddelerin farklı şartlardaki kalınlık ölçülerinin arttırılmasını hedeflemişlerdir.	Taguchi metodu	Ergiyik sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, enjeksiyon hızı	Cam malzemenin kayma kalınlık ölçüsü
Nas ve Özarlan	2018	Bazı asetat karışımlarının ürünün plastik enjeksiyon makinesi ile farklı parametrelerde üretimin deneysel olarak incelenmiştir.	Taguchi metodu	Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, ütüleme basıncı, ütüleme hızı ve vida dönme hızı	Ürün ağırlığı
Şahin	2018	Tersine mühendislik yöntemi ile plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve kalıp dolum parametrelerinin incelemiştir	Taguchi metodu	Kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, çevrim süresi, dolum oranı	Kalıp sıcaklığı ve enjeksiyon sıcaklığı değerleri etkileri
Kayabaşı ve Çakmak	2019	Yaklaşım çözüm tekniklerini kullanarak plastik enjeksiyon işlemlerinin tasarım metodolojisini incelemişler	Taguchi metodu	Kalıp sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, enjeksiyon basıncı	Parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisi
Mercan	2019	Yapay zekâ ve deney tasarımı yöntemlerinden faydalanılarak ürünlerin kalitelerinin geliştirilmesi konusunu incelemişlerdir.	Taguchi metodu	Enjeksiyon hızı, basıncı, pozisyonu, ütüleme basıncı, süresi ve son olarak soğuma zamanı	Boyutsal küçülme

Tablo 2.1 (Devam)

Yazar	Yıl	Konu	Metot	Faktör	Yanıt
Soncu	2019	Bazı plastik parçaların boya işlemi öncesi yüzey prosesinin geliştirilmesi konusunu incelemiştir.	Taguchi metodu	Enjeksiyon hızı, basıncı, soğuma zamanı ve ütüleme zamanı	ölçüm için yüzey enerjisi ölçüm test mürekkepleri
Karaoğlan ve Burak	2020	Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon proses parametrelerinin incelenmesi (<i>Bu tez çalışmasından üretilen yayın</i>)	Taguchi metodu	Ocak sıcaklığı, enjeksiyon hızı, ütüleme hızı, ütüleme basıncı, mal alma zamanı	Ürün ağırlığı
Önal	2021	Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplama tekniğiyle üretilen parçadaki çekme probleminde etkili parametrelerin incelenmesi	Taguchi metodu	Enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon pozisyonu, ütüleme basıncı, ütüleme hızı, ütüleme zamanı ve soğuma zamanı	Çekme miktarı

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Taguchi metodu kullanarak enjeksiyon süreç optimizasyonu amacıyla ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s) ütüleme basıncı (Pa) mal alma zamanı (sn) ve ütüleme basıncı (Pa) parametre kombinasyonunu birlikte kullanan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu da tez çalışmasının yenilikçi yönünü oluşturmaktadır.

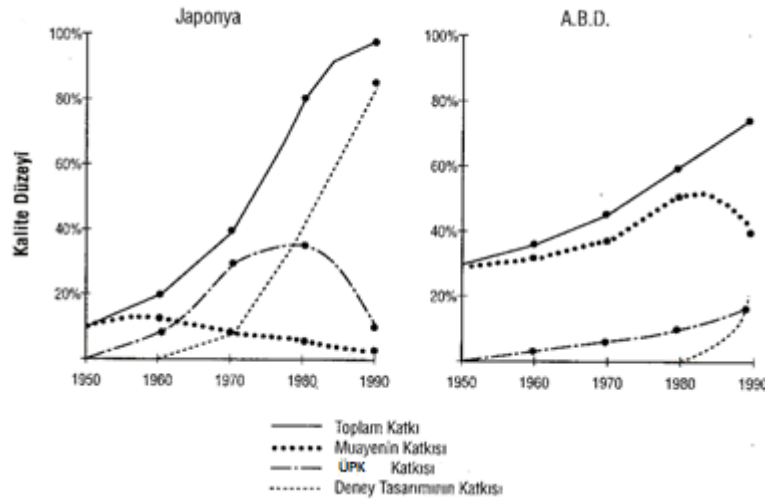
3. DENEY TASARIMI VE TAGUCHI METODU

3.1 Deney Tasarımı Kavramı ve Temel İlkeleri

Deney tasarımı ve optimizasyon yöntemleri, istenilen yanıt değerlerini elde etmeyi sağlayacak faktör seviyelerini belirlemek amacıyla kullanılan istatistiksel ve matematiksel yöntemler bütünüdür. Çalışılması planlanan deney tasarımı yöntemi, ürün-üretim işlemlerinde veya hizmet sektöründe kullanılabilir olup, kontrol edilebilen değişikliklerin üzerinde planlı değişikliklerin yapılması ve hangi değişikliklerinin gerçekleştirildiğinin gözlemlenmesi ve bu değişikliklerin analiz edilmesidir (Aytekin, 2010).

Deney tasarımının en önemli amaçlarından biri, üretim sürecindeki faktörlerin, yanıt(lar) üzerine etkilerinin mümkün en az deneyle belirlenmesidir. Bu amaçla faktörler ile yanıtlar arasındaki matematiksel ilişkiler modellenir. Daha sonra, bu matematiksel modeller kullanılarak hedeflenen çıktılara ulaşmayı sağlayan optimum faktör değerleri belirlenir. Bunun yanında, daha önce denenmemiş farklı faktör kombinasyonları içinde tahminlemelerde bulunulabilir. Bu da zaman ve maliyet tasarrufu sağlar (Antony, 2003).

Aşağıda şekil 3.1’de 1950-1990 yılları arasında deney tasarımı kavramının kalite düzeyine olan etkisi gösterilmektedir (Şirvancı, 1997):



Şekil 3.1: 1950-1990 yılları arasında deney tasarımı kavramının kalite düzeyine katkısı.

Grafiklerde görüldüğü üzere Amerika’daki kalite düzeyi, Japonya’daki kalite düzeyine göre daha yüksek bir seyir izlemektedir. 1960 yılı ile birlikte deney kavramı tekniklerinin

yaygınlaşması, 90'ların başına gelindiğinde Japonya'daki kalite oranın büyüdüğü, Amerika'daki oranın ise düştüğü gözlemlenmektedir. Bunun önemli sebeplerinden diğeri ise Amerika Birleşik Devleti'nin deney tasarımı kavramını 80'lerin başında kullanmaya başladığını farketmekteyiz. Deney tasarımı uygulama esaslarında mutlak bir plan doğrultusunda olması gerekmektedir. Bununla birlikte deney tasarımında yaygın olarak belirlenen bazı prensipler de İngiliz bilim insanı Ronal A. Fisher öncülüğünde ortaya atılmış olup ilgili niteliklerin tekrarlama, rassallık ve bloklama olarak belirlenmiştir (Antony, 2003; Şirvancı, 1997).

Gerçekleştirilen bir deney tasarımında rassallık durumunda iki önemli detaya dikkat etmemiz gerekmektedir. Bu kavramlardan ilki, deneyin gerçekleştirilme esnasında deney koşullarını belirleyen bir metodolojinin olmasıdır. Deneyin gerçekten tesadüfi olarak uygulanması ve deneylerin standart bir esnada yapılması sistemde meydana gelen hataların ortaya çıkarılmasının engellenmesi ve bu kavramların nedenselliğini oluşturmalarıdır. İkinci olarak "Tekrarlanabilirlik" kavramını inceleyecek olursak, belirlenen ve planlanan deneylerin tekrar edilmesi anlamına gelmektedir. Planlanan deneylerin tekrarlanması esnasında ilgili deneyde oluşabilecek hataların kolay farkedilebilir olmasını sağlamaktadır (Antony, 2003; Şirvancı, 1997).

3.2 Yaygın Kullanılan Deney Tasarımı Yöntemleri ve Birbiriyle Kıyaslanması

Deney tasarımı metodolojisi faktör olarak tanımlanan değişkenleri ile çıktı (yanıt) değişkenleri arasındaki ilişkiyi, mümkün olan en az kombinasyon yöntemi ile modellemeyi sağlayan istatistiksel ve matematiksel uygulamalar bütünüdür. Genel olarak uygulanan deney tasarımı yöntemleri aşağıda belirtilmiştir:

- Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY) (Response Surface Methodology-RSM)
- Taguchi Metodu
- Faktöriyel Tasarım (Factorial Design)

Yanıt yüzey yöntemi ve faktöriyel tasarım regresyon tabanlı uygulamalardır. Bu yöntemlerde matris çarpımları ile matematiksel denklem modelleri oluşturularak optimizasyon ve/veya tahminleme yapılabilmektedir. Taguchi ise logaritmadan yararlanarak çözümler sunmaktadır. Bu yöntemlerin her biri farklı tip problemlerin çözümü için uygundur. Dolayısıyla hangi yöntemin hangi tip problem çözümünde daha kullanışlı olduğuna doğru kararlar verilmesi gerekmektedir.

YYY'de, faktör ve yanıt arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı durumlarda daha yaygın olarak kullanılır. Faktöriyel Tasarım ise aradaki ilişkinin doğrusal olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Yanıt Yüzey Yöntemi ve Faktöriyel Tasarımda matematiksel model kurulduğundan dolayı küsüratlı değerlerle birlikte optimum sonuç verebilir. Ancak Taguchi yöntemi matematiksel denklem bulmayıp, S/N oranı adı verilen sinyal/gürültü (Signal-to-Noise) oranına göre en iyi kombinasyonu verir. Ayrı olarak ara değerli optimum çözüm vermez. Bu yöntemlerin detayları, ortak yönleri ve farklılıkları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Deney tasarımı yöntemleri ve birbirleriyle kıyaslanması.

RSM	Taguchi	Faktöriyel Tasarım
Doğrusal olmayan (nonlinear) sistemleri modellemek için kullanılır. Matematiksel denklemi 2. derecedendir.	Mevcut değil.	Doğrusal (linear) sistemleri modellemek için kullanılır
Matematiksel denklemi lineer, karesel, ikili etkileşim terimlerinden oluşur.	Matematiksel denklemi yoktur	Matematiksel modeli 1. derecedendir.
Gradient Descent metodu ile gradyan türevlerden yararlanarak optimum noktayı arar	Mevcut değil.	Matematiksel denklemi lineer, ikili etkileşim, üçlü etkileşim v.b etkileşim terimlerinden oluşur. Karesel terim içermez.
Küsüratlı ara değerleriyle birlikte optimum çözüm verir.	Logaritmadan yararlanarak maximum S/N oranını dikkate alarak en uygun çözümü arar.	Doğrudan matematiksel modeli kullanarak en uygun çözümü arar.
Faktörler eşit seviyelidir (her bir faktör 3 veya her bir faktör 5 seviyeli olabilir)	Optimuma yakın çözüm verir. (verilen faktör seviyeleri arasından en iyi faktör kombinasyonunu verir)	Küsüratlı ara değerleriyle birlikte optimum çözüm verir.
Faktörlerin her biri sayısal olmak zorundadır.	Faktörlerin her biri farklı seviyede olabilir.	Faktörler eşit seviyelidir (her bir faktör 2 seviyeli olabilir)
	Faktörler sayısal, sözel veya karışık olabilir.	Faktörler sayısal, sözel veya karışık olabilir.

3.3 Taguchi Yöntemi

3.3.1 Taguchi Yönteminin Tarihçesi ve Felsefesi

Taguchi metodu 1940'lı yılların sonlarına doğru efektif bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Dr. Genichi Taguchi' nin geliştirdiği yöntem Japonya'da Nippon firmasında çalıştığı esnada mühendislik çalışmalarında kullanılmıştır. Becerilerinden dolayı şirket laboratuvar açmış ve Taguchi'nin süreçlerini geliştirmede açılan laboratuvar etkili olmuştur. Taguchi, bu çalışmalar neticesinde üretim mühendislerine, amirlerine ve özellikle endüstri mühendislerine maliyeti düşük, kalitesi yüksek proses ve ürünlerin deney tasarımı metotları ile nasıl geliştirebileceklerini göstermiştir (Aytekin, 2011).

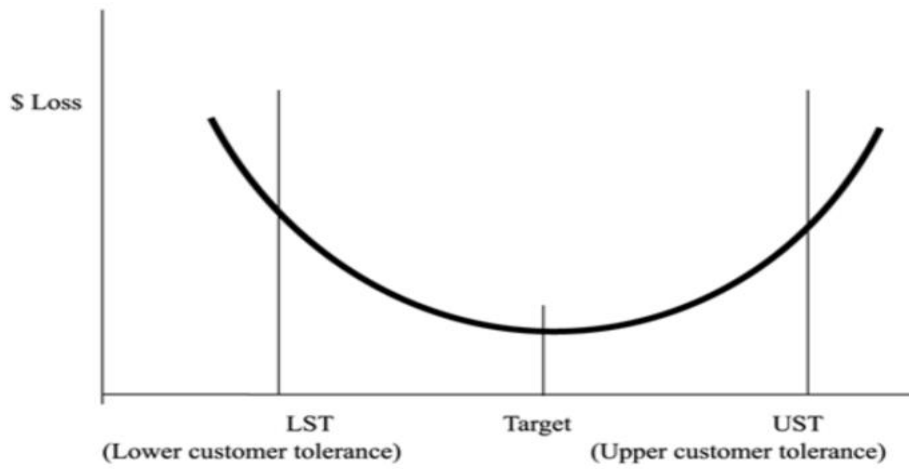
Taguchi felsefesinde önemli olarak tanımlanan 7 temel unsur belirlenmiştir. İlgili kavramlar (Pignetiello, 2007):

- Üretimi gerçekleştirilen bir ürünün kalitesi toplumda etki ettiği kayıpla ölçülmesi,
- Bir şirketin çalışma sürecini devam ettirmesi için sürekli iyileştirme çalışmalarını yapması gerektiği,
- Ürünlerin, üretilen limit sınırları dahilinde kalması ve değerden sapmamayı gerektirecek şekilde sınırların çizilmesi,
- Üretilen bir ürünün kalitesizliğinden, belirlenen olumsuz sapmaların müşteri üzerindeki durumu ve planlanan değerden sapma miktarlarının karesi ile orantılı olması,
- Kaliteli ürün, üretimi esnasında ve tasarımların oluşturulduğu esnada belirlenmesi,
- İlgili ürünlerin, belirlenen üretim sınırlarında tutabilmek için, ilgili hedefe etki edebilecek olan parametrelerin belirli kurallar dahilinde kontrolümüzde olması,
- Üretimi gerçekleştirilen ürünlerin parametreler arası etkilerinin deney tasarımı metotlarında bulunabilir olması,

Taguchi metotlarında diğer önemli hususlardan biri de kalite kayıp fonksiyonlarının incelenmesidir. Kalite kayıp fonksiyonu, mühendislik mesleğini icra edenlerin yaptıkları tasarımların teknolojik düzeyde tasarım yapmalarına yardımcı olan, işletmelerin üretmekte olduğu ürünlerin değerlerini etkileyen bir grafik türüdür.

Genel olarak kalite maliyetleri hesaplama uygulamalarını göz önünde bulundurulursa, üretilecek ürünün, müşteriye ulaşımı sonrası hiçbir itibar kaybına sebep olmadığı görülmektedir. Taguchi ise gerçekleştirilen performansın, hedef değerden uzaklaştıkça bozulduğuna inanır.

Şekil 3.2’de belirtilen kalite kayıp fonksiyonuna göre planlanan sapmanın ölçüsü, sürekli bir fonksiyondur. Kayıplar, yani sapmalar ürünlerin göstermiş olduğu performans karakteristikleri ile ilgilidir. Oluşabilecek tüm kalite kaybı müşteri memnuniyetsizliğine sebebiyet vererek finansal kayıp ve zorluklara yol açmaktadır (Aytekin, 2011).



Şekil 3.2: Taguchi kalite kayıp fonksiyonu.

3.3.2 Taguchi Yönteminin Aşamaları

Genichi Taguchi, istatiksel kavram ve araçlar ağırlıklı olmak üzere istatiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme için felsefeler geliştirmiştir. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetlerin düşürülmesi gereklidir. Sürekli kalite geliştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermelidir (Antony, 2003).

Genel olarak deneysel çalışmalarda oldukça fazla deneyle uğraşılması ve gerçekleştirme, uygulama parametreleri sayısı tahmin edilenden fazla olduğunda kullanılması oldukça zordur. Dolayısı ile Taguchi metodu aynı anda birden fazla parametrenin analiz edilebilmesi

ve daha da önemlisi bu parametrelerin daha az deney sayıları ile kontrol edebilmesini sağlamaktadır. Belirlenen yöntemlere göre aslında tüm süreçlerin 3 kritik kalite aşaması vardır. Bunlar tolerans, parametre ve sistem tasarımıdır. Taguchi yönteminin bazı aşamalarını açıklayacak olursak (Antony, 2003):

- Optimizasyon işlemi gerçekleştirilecek kalite karakteristiğini belirlenmesi,
- Gürültü faktörleri ve test koşullarının belirlenmesi,
- Kontrol faktörleri ve alternatif seviyelerin belirlenmesi,
- Matris deneyi tasarlanması ve analiz prosedürünün tanımlanması,
- Matris deneyinin yapılması,
- Verilerin analiz edilmesi ve kontrol faktörleri için optimum seviyelerin belirlenmesi,
- Son olarak ilgili seviyelerin performans tahminlerinin belirlenmesi.

Planlama

İlgili aşama, problemlerin ve çıktı faktörlerinin belirlenmesine yönelik faktör, deney ve parametrelerinin belirlenmesi, deney seviye ve faktörlerinin belirlenmesi sınırlarından oluşmaktadır. Problemlerin çözümünde net ifadeler kullanılması, mevcut durumda yaşanan problemler konusunda neler yapabileceğiniz konusunda doğru bir şekilde ilerlemenize yardımcı olacaktır. Hedeflerin ölçülebilirliği belirlenmeli ve net ifadeler yer verilmelidir. Yaşanan problemlere örnek durumlar aşağıda belirtilmektedir (Antony, 2003):

- Proseslerin ve ürünlerin sürekliliğinin sağlanması veya yeni bir ürünün meydana getirilmesi,
- Müşteri şikâyet ve isteklerine uygun proseslerin ve ürünlerin performans olarak geliştirilmesi,
- Ürün maliyetlerindeki tasarrufların sağlanması,

Yukarıda örnek problemlere ilişkin olan yaklaşımlarınız konusunda o prosesi ve/veya ürünün özelliklerini bilgi birikimi daha fazla olan kalite mühendisi, üretim mühendisi ve üretim yöneticileri gibi yetkinlikleri olan personeller ile ortak çalışılmalıdır (Özden, 2020).

Çıktı parametre ve değişkenlerinin belirlenmesinde değerlerin ölçülebilir olduğuna dikkat edilmelidir. Bazı sözel çıktıların ise sözel olarak ifade edildikten sonra deney esnasında sayısal bir ölçülebilir değer ile belirtilmesi oldukça önem arz etmektedir (Kağnıcıoğlu, 2015).

4. UYGULAMA

4.1 Sistemin ve Problemin Tanımı

Tez çalışmamızda gerçekleştirilen uygulamalar, sektörde söz sahibi olan ve otomotiv yan sanayi aydınlatma ekipmanlarının yapıldığı bir işletmede gerçekleşmiştir. Fabrika, enjeksiyon, metalizasyon, kalıphane, lojistik ve kalite olmak üzere 5 ana bölümden oluşmaktadır. Makine çeşidi olarak toplamda 13 enjeksiyon makinesi bulunmaktadır. Deney tasarımı çalışması enjeksiyon bölümünde yer alan proses-geliştirme bölümüne bağlı “ENGEL VC 1050 / 400 TECH ve kalıp kapama kuvveti 4000 kN” enjeksiyon makinesinde gerçekleşmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2’de deney tasarımlarının gerçekleştirildiği enjeksiyon makinesi görsellerine yer verilmiştir.



Şekil 4.1: Enjeksiyon makinesi genel görünüm 1.



Şekil 4.2: Enjeksiyon makinesi genel görünüm 2.

Enjeksiyon prosesinde işlemlere başlamadan önce tasarım süreçleri ve prototip aşamaları tamamlanmaktadır. Prototip üretimi tasarım çalışmaları bittiğinde mevcut data tamamlandıktan sonra enjeksiyon işlemi öncesi üretime iletilir. Üretim haftalık programına alır ve ilgili makine kapasite oranlarına göre iş atama işlemlerini gerçekleştirir.

Deney tasarımı çalışmaları öncesinde üretim tarafından gerçekleştirilen iş atamalarına göre başlatılan enjeksiyon işleminde, doğru parametrelerin belirlenmesi oldukça zaman almaktadır. Bu zaman kaybına paralel olarak hem iş gücü kaybı hem de kalitesizlik maliyetleri, müşteriye sevk öncesi ciddi problemler ve prestij kaybına neden olabilecek sorunlar meydana getirmektedir. Kalitesizlik maliyetleri haricinde müşterilerle yapılan sözleşmeler neticesinde süre kısıtla cezai işlemler de şirketin finans yapısını olumsuz yönde etkilemektedir.

Deney tasarımı uygulama öncesi yapılan hazırlıklar, üretim formenleri eşliğinde tamamlanmıştır. Bu çalışmanın hedefleri arasında yer alan diğer konu ise, deney tasarımı uygulamalarının tüm şirket üretim lokasyonlarında yaygınlaştırılmasıdır. Bu tez çalışması İstanbul lokasyonunda uygulanmış olup, farklı yapıdaki ürünler dahilinde Bursa lokasyonunda da deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tez uygulamaları sonrası, üretim mühendisleri yetkinleştirilerek, deney tasarımı uygulayabilir duruma getirilmiştir.

4.2 Enjeksiyon Makinesi Çeşitleri ve Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri

Plastik enjeksiyon makineleri plastik parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyon makineleri, kalıp ünitesi ve enjeksiyon ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

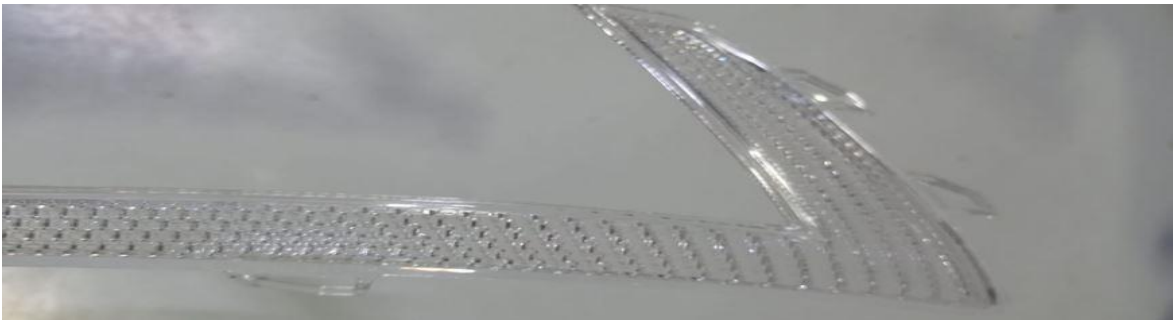
Bu makineler kalıpları dikey ya da yatay konumlarda sıkıştırarak, ürünlerin üretiminde yüksek basınçta kullanılmaktadır. Makinelerin çoğu yatay olmakla birlikte bazı makineler ise ürünlere göre çeşitlendirilerek dikey konumlarda da kullanılmaktadır. Ürünün bulunduğu kalıpta ürün gözü olması, ürünün çıkışını sıcak veya soğuk yolluklara göre seçebilme olanağı sağlamaktadır. Soğuk yolluk, kalıp içerisine oyulmuş olan bir kanaldır.

Bu kalıplarda yolluk ürün ile birlikte soğutulmakta ve çıkışı sağlanmaktadır. Sıcak yolluk adı verilen üretim yöntemi ise daha komplike bir yapıya sahiptir. Bu yöntemde herhangi bir yolluk bulunmamakta ve ürün çıkartıldıktan sonra sıcak yolluk olarak kalan plastik, bir

sonraki işleme enjekte edilmektedir. Enjeksiyon makineleri genelde enerji türlerine göre sınıflandırılmaktadır: Elektrikli, hibrit ve hidrolik. Hidrolik enjeksiyon makineleri 1983 yılına kadar piyasada bulunan tek seçenek olarak yer almakta ve ilgili makineler Japonya harici dünyada kullanılan en baskın makine çeşidi olarak yer almaktadır. Elektrikli teknolojilerin en önemli özelliği, enerji tüketimini düşürülmesi ve işletme maliyetlerinin azaltmasıdır. Elektrikli makineler oldukça yüksek kaliteli, doğru sonuçlar sunmasına karşın diğer enjeksiyon makinelerine göre daha pahalı olmaktadır. Son olarak hibrit enjeksiyon makineleri, elektrikli ve hidrolik sistemlerin en iyi özelliklerinden yararlanılarak, maliyeti düşük ürünlerin üretilmesi hedefiyle imal edilmiştir. Enjeksiyon makineleri seri üretime uygunluğu, birçok işletmenin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3: Sağ ve sol lens tırnak hatalı parça görünümü.



Şekil 4.4: Sol lens parçası hatalı enjeksiyon izi görünümü.

Şekil 4.3 ve 4.4’de belirtilen resimler, üretimde enjeksiyon sonrası meydana gelen tırnak uçlarındaki kopukluklar, yüzey bulanıklığı ve gözenek sorunları gibi örnek problemler gösterilmiştir.

Enjeksiyon teknolojilerinde üretim esnasında kalıplar, makineler veya ürünün üretimi esnasında meydana gelen hatalardan kaynaklanan tahmin edilemeyen sorunlar çıkmaktadır. En önemli sorunların başında da çapak problemi gelmektedir. Çapak sorunu, ürün üzerinde fazladan olan, taşan kısımlara denilmektedir. Ürünlerin görseli ve çoğu zaman elde edilmesi hedeflenen özelliğin kaybolmasına sebep olmaktadır. İlgili sorunlar ürünün imalatı esnasında ve son kullanıcı müşteriler tarafında memnuniyetsizliklere sebep olabilecek sorunlar getirmektedir. Çapak nedenleri arasında mengenede bulunan kapatma basıncının, tutma ve enjeksiyon basınç değerinden daha küçük, hatalı bağlantılarının, enjeksiyona giren hammaddenin oldukça sıcak olması, kalıpta aşınmaların meydana gelmesi, belirlenen parametre ayarlarının hatalı yapılması, kalıp içi basıncının yüksek olması ve makinenin iç aksamında esnemelerin meydana gelmesi çapak oluşumunun başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Çözümler arasında, enjeksiyon makinesinin basıncının azaltılması, kovan sıcaklıklarının azaltılması, tutma basıncı ve zamanının azaltılması, mengene kapama basıncının artırılması, enjeksiyon hızının azaltılması, kalıp sıcaklığının azaltılması, kalıbın tekrar elden geçirilmesi ve kontrolü, kalıp kalınlık ayarlarının yapılması ve son olarak toplam çevrim zamanlarının azaltılması sayesinde çapak problemlerinin azaltılmasında etkili yöntemler olarak kullanılmaktadır (Dirim, 2021).

Önemli problemlerden bir diğeri ise yüzeyde meydana gelen problemlerdir. Ürünün dış kısmında yaşanan yüzey problemleri, üründe kabul edilmesi mümkün olmayan hata türlerinden bazılarıdır. Ürünün görsel bütünlüğünü bozduğu için son kullanıcı, müşteri vb. üzerinde kalitesizliğe ve memnuniyetsizliğe neden olmaktadır. Yüzey problemleri esnasında nedenleri arasında en çok, enjeksiyon basıncının düşük olması, enjeksiyon basınç süresinin beklenen değerden çok düşük olması, mal alma zamanının düşük olması, kalıp sıcaklığının çok yüksek olması nedeni ile kalıpta meydana gelen çekmenin yüksek olması, yolluk çaplarının küçük olması, akış yollarının çok uzun olması, yanlış belirlenen federlerin bulunması ve son olarak malzemenin eriyik sıcaklığının çok yüksek olması yüzey problemlerini meydana getiren en önemli problemler arasında yer almaktadır (Dirim, 2021).

Yüzey kalite problemlerine çözüm olarak, yolluk tipi ve çaplarının değiştirilmesi gerekmektedir. Buna ek olarak PC, ABS vb. malzeme cinslerinde enjeksiyon hızı arttırılırken; PBT, PA, PP, POM vb. malzemelerin işlenmesi esnasında ise enjeksiyon hızları düşürülmelidir. Son olarak ütüleme süreleri arttırılmalı, enjeksiyon basınçları arttırılmalı, kalıp ve eriyik sıcaklığı düşürülmeli, yolluk çapı arttırılmalı ve yolluk girişi en kalın bölgelerden yapılmalıdır (Dirim, 2021).

Ürün üzerinde meydana gelen problemlerin devamında hava ve gaz kabarcıkları gelmektedir. Gaz kabarcıklarının en büyük nedenlerinden bazıları ise, enjeksiyon basıncının oldukça düşük olması, geri akış valfinin arızalı olması, geri çekme süresinin fazla olması, erime işleminin hızlı olması, huni girişinde hava girişinde sıkışmış olması, beslemelerin kötü olması, kalıp gaz çıkışlarının kapalı olması, kalıp sıcaklığının istenilen seviyeden düşük olması, parçanın giriş yolluğunda bulunan et kalınlığının inceden kalına doğru olması ve malzeme çok yüksek sıcaklığa dayanamıyor olmasıdır. Hava ve gaz kabarcıkları problemlerine çözüm olarak enjeksiyon basıncının ve ütüleme basıncının arttırılması, geri basıncının arttırılması, kalıp sıcaklıklarının arttırılması, geri akış valflerinin kontrol edilmesi, kalıp hava kanallarının kontrol edilmesi ve yolluk çaplarının arttırılması başlıca çözümlerimiz arasında yer almaktadır (Dirim, 2021).

Parça üzerindeki yanıkların oluşması, parçaya bakıldığında rahatlıklar görülebilen koyu renkli lekelerdir. Bu lekelerin baş oluşumundaki sebepler arasında: geri akış valfi arızalı olması, enjeksiyon hızının yüksek olması, hava akış kanalının kapalı olması, kalıptaki keskin köşelere bağlı yanmaların olması, yolluk girişlerinin dar olması ve malzemede düşük sıcaklık nedeniyle sürtünme veya yüksek sıcaklığa bağlı olarak yanma gelmektedir. Yanma problemlerine çözüm olarak hava emiş kanallarının tıkanıp tıkanmadığının kontrol edilmesi, enjeksiyon hızının düşürülmesi, enjeksiyon basıncının düşürülmesi, kademeli olarak enjeksiyon düşürülmesi, ısıtıcıların doğru çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi, vida hızının düşürülmesi ve son olarak meme sıcaklığının düşürülmesi etkili çözümler sunmaktadır (Dirim, 2021).

Enjeksiyon prosesinde en çok karşılaşılan problemlerden diğer biri ise eksik baskı problemleridir. Üretim esnasında, kalıp içerisindeki enjeksiyon parametrelerinin yeterli olmaması ve parçanın eksik baskı nedeni ile bütünlüğünün bozulmasıdır. Problemin başlıca nedenleri arasında mal alma zamanının düşük olması, enjeksiyon hızı ve basıncının düşük

olması, enjeksiyon süresinin kısa olması, geri akış valfinin arızalı olması, kalıp hava kanalının kapalı olması, kalıp içerisindeki soğuk olması, eriyik sıcaklığının düşük olması ve son olarak malzeme akışkanlığının düşük olması problemin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Eksik baskı problemlerine çözüm olarak mal alımı sürelerinin arttırılması, enjeksiyon basıncı arttırılmalı, silindir sıcaklıklarının arttırılması, cam elyafı malda kalıp sıcaklıklarının arttırılması, parçanın et kalınlıklarının arttırılması, meme çaplarının arttırılması ve yolluk çapı giriş ve tiplerinin değiştirilmesi ilgili problemin çözümlerine alternatif olarak uygulanabilen çözümler arasında yer almaktadır (Dirim, 2021).

Üründe meydana gelen diğer bir problem ise deformasyondur. Deformasyon yani diğer adı ile çarpılma veya ölçüsel niteliklerinin dışında olma, yamulma durumuna denmektedir. Bu problemin meydana gelmesinde en önemli nedenleri arasında yetersiz soğutma işlemleri, uygun görülmeyen iticiler, farklı veya yanlış yolluk girişleri, dişi kalıp tarafının aşırı sıcak olması, dolgu malzemesi homojen karışmamış olması ve yanlış malzeme seçimi ilgili problemin baş nedenleri arasındadır (Dirim, 2021).

Deformasyon problemine çözüm olarak kalıp sıcaklığının tüm proses bölümlerinde de aynı olması, kalıp iticilerinin tam zamanlı olarak itilmesi, parçanın doğru dizildiği ve stoklandığı kontrol edilmeli, parça ağırlığının kontrol edilmesi, enjeksiyon ütüleme zamanının kontrol edilmesi, soğuma sürelerinin arttırılması ve son olarak yolluk çaplarının arttırılarak yerleri değiştirilmeli veya sayısının arttırılması önemli çözüm noktaları arasında yer almaktadır (Dirim, 2021).

4.3 Deney Tasarımı ve Optimizasyonu

Gerçekleşen tez çalışmasında Almanya menşeli ENGEL markasının pnömatik ekipmanları kullanılmıştır. Kullanılan bu ekipmanlarda proste kullanılan değerler, ürünün değer verdiği ölçüde hazırlanmıştır. Örneğin, ocak sıcaklığı (°C), enjeksiyon hızı (m/s), ütüleme basıncı (Pa), mal alma süresi (sn) ve ütüleme süresi (sn) parametreleri deney aşamasında kullanılan parametrelerdir (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

İlgili parametreler ürüne göre değişmekte olup genel olarak ocak sıcaklığı (282, 292, 302) (°C), enjeksiyon hızı (4.4, 5.4, 6.4) (m/s), ütüleme basıncı (650, 750, 850) (Pa), mal alma zamanı (20, 22, 24) (sn), ütüleme zamanı (5, 6, 7) (sn) olarak belirlenmiştir (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

Parametrelere ek olarak ilk deneme aşamalarında kullanılan fakat sonrasında ihtiyaç duyulmayan parametreler de bulunmaktadır. Bu parametreler kalıp yüzey sıcaklığı, geri basınç ve soğuma zamanı parametreleridir.

Deney tasarımında ele alınan parametreler kullanılarak önüne geçilmesi hedeflenen problemler; enjeksiyon izi, ayar fireleri, ürün üzerinde oluşan noktalar, buğulanmalar, çizikler, beyaz noktalar, hammadde uygunsuzluğu ve hava kabarcığı olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.5'te deney tasarımları sonrasında çıktı(yanıt) parametresi olan ürün ağırlıklarının ölçüldüğü fikstür belirtilmiştir.



Şekil 4.5: Ağırlık ölçüm fikstürü.

Ürün özelinde belirlenen ve olması gereken ağırlık ölçümleri Şekil 4.5'te belirtilen fikstüre göre belirlenmektedir. Tüm ürünler fikstür üzerinden geçerli/geçersiz olarak ayrımı yapılmaktadır. Bu fikstürler her ürün özelinde farklı ölçüm noktaları bulunmaktadır. Ürün tasarımlar farklı olmakla birlikte, fikstürlerin esnek yapıda olması, ağırlık ölçümlerinde çalışanlara oldukça kullanım kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 4.6: Analizi gerçekleştirilen ürünün araç üzerindeki konumu (Soysal, 2020).

Şekil 4.6’te belirtilmiş olan görsel, Taguchi deneyi kapsamında analizi gerçekleştirilen ürünün konumunu göstermektedir. Ürün, Hyundai i20 model araçlarda kullanılmak üzere tasarımları tamamlanmıştır.

Tablo 4.1: Enjeksiyon makinesi ayar parametreleri.

İş Tanımı	Minimum	Orta	Maksimum
Ocak Sıcaklığı (°C)	282	292	302
Enjeksiyon Hızı (m/s)	4,4	5,4	6,4
Ütüleme Basıncı (Pa)	650	750	850
Mal Alma Zamanı (sn)	20	22	24
Ütüleme Zamanı (sn)	5	6	7

Tablo 4.1’de belirtildiği üzere enjeksiyon makinesinde üretim öncesinde ürün bazında bazı parametre ve seviyelerin ayarlanması gerekmektedir. Bu kapsamda deney öncesi Inner Lens parçası üretimi kullanılmış ve üründeki kalitesizliklerin önüne geçilmesi amacıyla Taguchi metotlarından faydalanılmıştır (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

Enjeksiyon makinesinde üretimi gerçekleştirildikten sonra çıkan Inner Lens araç aydınlatma parçası ile ilgili meydana gelen en yaygın problemlerden biri hedeflenen yüzey kalite seviyesinin gerçekleşmemesi ve aydınlatma parçasının taşıyıcı olarak tanımlanan yuvaya uygun olarak yerleştirilememesidir. Bununla birlikte paralel olarak, yuvasına montajı esnasında tırnak parçalarının kolay kırılıyor olması ürünlerin tamamında olmasa da diğer bir kalitesizlik çıktısı olarak kayıtlarda yer almaktadır (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

İlgili parametreler, Minitab istatistiksel analiz programı yardımıyla deney tasarımı oluşturulmuştur. 5 faktör (tüm faktörler 3 seviyeli) için L27 ortogonal dizisine dayalı deney tasarımı Minitab programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar Tablo 4.2’de belirtilmiştir.

Tablo 4.2: Taguchi deney tasarımı.

No	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Mal Alma Zamanı (sn)	Ütüleme Zamanı (sn)	Ağırlık (gr)
1	282	4,4	650	20	5	77,29
2	282	4,4	650	20	6	77,43
3	282	4,4	650	20	7	77,50
4	282	5,4	750	22	5	77,87
5	282	5,4	750	22	6	77,90
6	282	5,4	750	22	7	77,97
7	282	6,4	850	24	5	78,29
8	282	6,4	850	24	6	78,30
9	282	6,4	850	24	7	78,37
10	292	4,4	750	24	5	77,85
11	292	4,4	750	24	6	77,93
12	292	4,4	750	24	7	78,06
13	292	5,4	850	20	5	78,33
14	292	5,4	850	20	6	78,39
15	292	5,4	850	20	7	78,42
16	292	6,4	650	22	5	77,15
17	292	6,4	650	22	6	77,28
18	292	6,4	650	22	7	77,32
19	302	4,4	850	22	5	78,49
20	302	4,4	850	22	6	78,59
21	302	4,4	850	22	7	78,71
22	302	5,4	650	24	5	77,23
23	302	5,4	650	24	6	77,48
24	302	5,4	650	24	7	77,44
25	302	6,4	750	20	5	77,79
26	302	6,4	750	20	6	78,01
27	302	6,4	750	20	7	78,06

Yukarıda belirtilmiş olan tabloda Taguchi metodunun parametre ve bu parametrelerin seviyelerine göre belirlemiş olduğu kombinasyon aralıklarını göstermektedir. Bu kombinasyonlar ilgili enjeksiyon makinesinde denemeleri tamamlanarak deneme sonuçları tabloya girilmiştir. Deneme sonucu ölçütü olarak ağırlık fikstürleri (Şekil 4.5 Ağırlık ölçüm fikstürü) kullanılmıştır. Bu fikstürler dâhilinde Geçerli/Geçersiz şeklinde ürünler

değerlendirilmiştir. İlk kombinasyonlar neticesinde 10 adet değer geçerli kalite düzeyini sağlamıştır. Sonrasında ise Taguchi Metoduna göre belirlenmiş olan S/N tablosu verileri kullanılarak doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Taguchi analizi sonunda elde edilen en önemli çıktılardan birisi de “Rank” değeridir. Rank değeri parametre değişkenlerinin önem sıralamalarını vermekte olup, S/N tablolarına göre yorumlandığında proses sürecine etki eden değişkenleri belirlemede rol oynamaktadır. Tablo 4.3’te prosesimizde analiz sonuçlarımıza istinaden Minitab çıktısında belirtilen önem sırası değerleri belirtilmiştir.

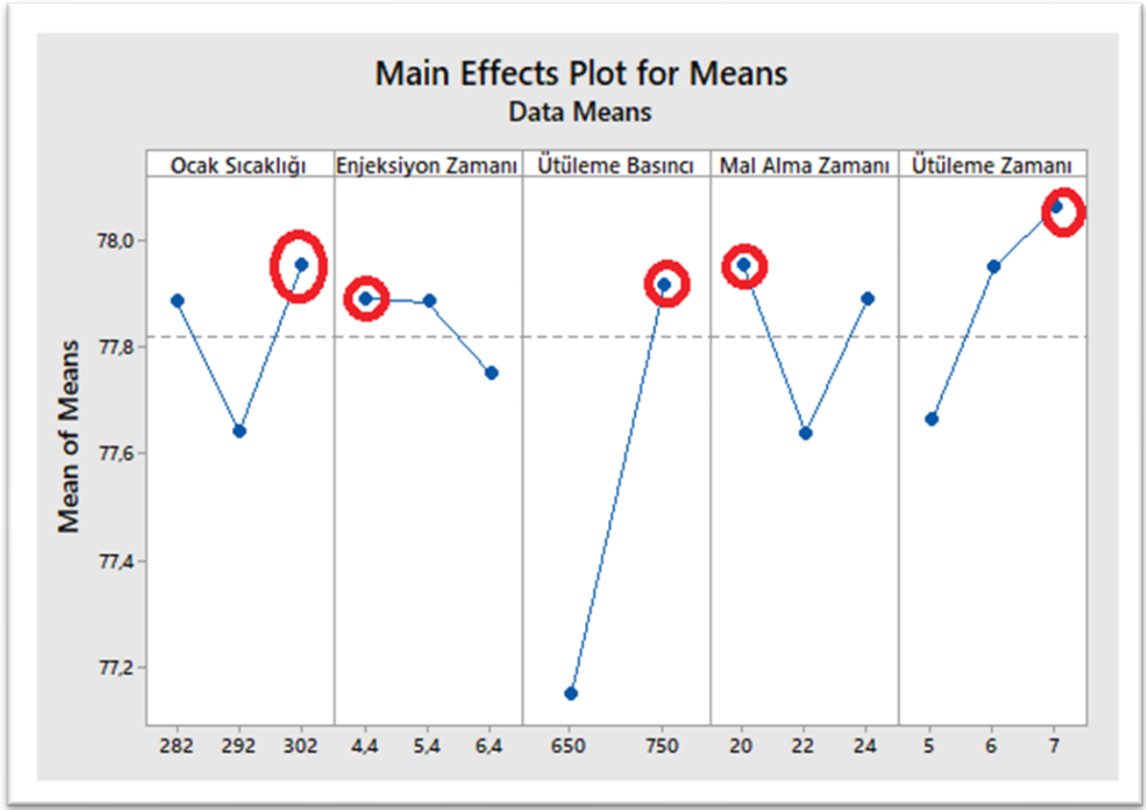
Tablo 4.3: Minitab faktör önem sıraları raporu.

Level	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Mal Alma Zamanı (sn)	Ütüleme Zamanı (sn)
1	77,88	77,89	77,15	77,95	77,66
2	77,64	77,88	77,91	77,64	77,95
3	77,95	77,75		77,89	78,06
Delta	0,31	0,14	0,77	0,31	0,40
Rank	4	5	1	3	2

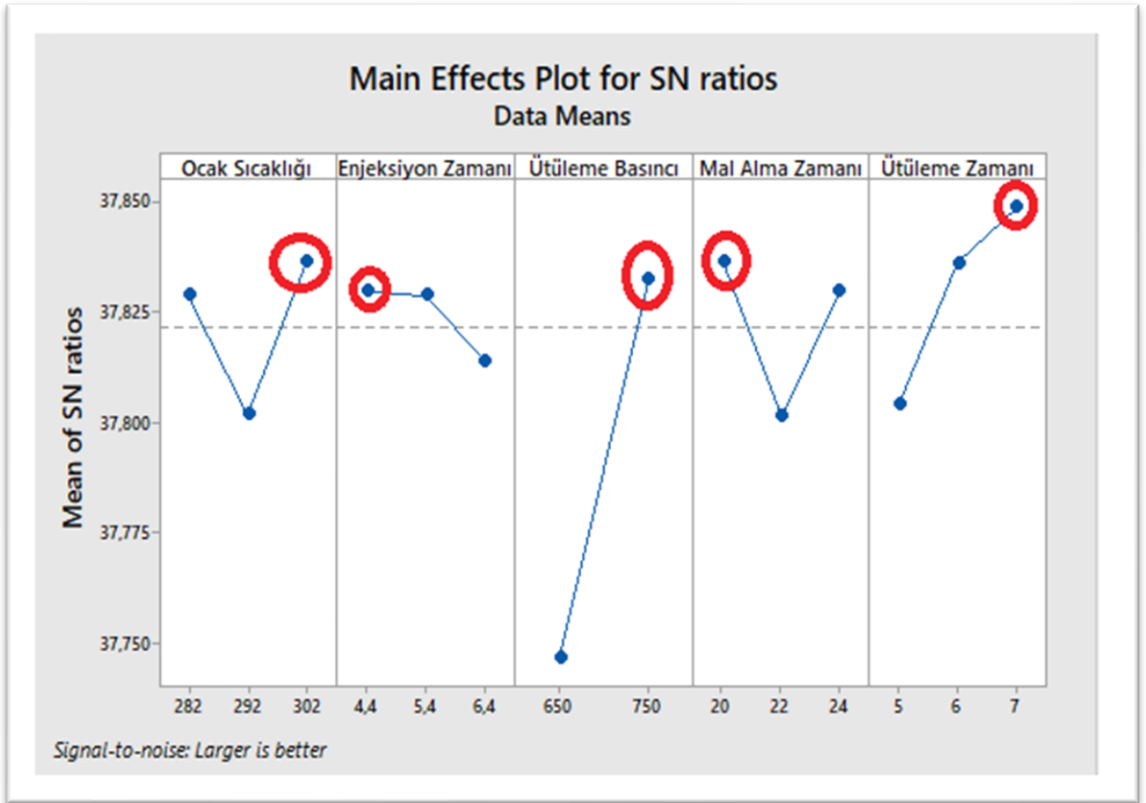
Tablo 4.3’te belirtildiği gibi parametrelerimiz arasında en etkili değişkenimiz ütüleme basıncı olarak görülmektedir. Sonrasında sırası ile ütüleme zamanı, mal alma zamanı, ocak sıcaklığı (°C) ve enjeksiyon hızı (m/s) değişkenleri önem sırasına göre çıktı üzerinde etkileri bulunmaktadır.

Aşağıda Şekil 4.7’de deneyin, maksimum ölçüm aralıklarına ulaşmak hedeflerine ulaşmak istenildiği için ortalamalar ana etkiler grafiği yani, Effects Plot for Means grafiği verilmiştir.

Şekil 4.8’de ise kontrol edilebilen değişkenlerin çıktı üzerine etkisi / kontrol edilemeyen değişkenlerin çıktı üzerine etkileri yani, S/N oranları için ana etkiler grafiği verilmiştir. Çözmeye çalışılan problem, maksimizasyon ya da minimizasyon problemi de olsa her zaman S/N oranlarını veren kombinasyonun en iyi çözümü veren kombinasyon olarak çözüm sağlamaktadır.



Şekil 4.7: Ortalamalar için ana etkiler grafiği.



Şekil 4.8: S/N oranları için ana etkiler grafiği.

Gerçekleştirilen deney tasarımı analizleri kapsamında, BC3 HL DRLPSTN Inner Lens parçası hakkında çalışmalarımız neticesinde 5 parametre ve 3 seviye olarak incelenmiştir. Taguchi Ortogonal Dizi Seçim tablosuna göre toplamda 27 deney kombinasyonu belirlenmiştir ve deneyler yapılmıştır (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

Bu çalışmada amaç, ürün ağırlığını maksimize etmek olduğundan ortalamalar için ana etkiler diyagramında (Main Effects Plot For Means) maksimum noktalar seçilmiştir. Bununla birlikte parametrelerin önem düzeylerinin sıralanması için “Rank” değerleri Tablo 4.3’te belirtilmiştir. Parametreler önem sırasına göre, 1. ocak sıcaklığı (°C), 2. enjeksiyon hızı (m/s), 3. ütüleme basıncı (Pa), 4. mal alma zamanı (sn), 5. ütüleme zamanı (sn) olarak belirlenmiştir (Karaoğlan ve Baydeniz, 2020).

S/N grafiği kontrol edilebilen değişkenlerin çıktı üzerine etkisi / kontrol edilemeyen değişkenlerin çıktı üzerine etkisine göre belirlenen S/N oranlarına göre çizilmektedir. Problem maksimizasyon veya minimizasyon problemi de olsa her zaman maksimum S/N oranını veren kombinasyon en iyi çözüm olarak seçilir. Buna göre Şekil 4.8’deki S/N oranları için ana etkiler diyagramındaki (Main Effects Plot S/N Ratios) her bir faktör için maksimum S/N oranları seçilerek optimum faktör seviyeleri bulunur. Sonuç olarak optimum plastik enjeksiyon süreç parametreleri aşığıdaki gibi bulunmuştur:

- Ocak Sıcaklığı 282°C
- Enjeksiyon hızı 4,4 m/s
- Ütüleme Basıncı 750 bar
- Mal Alma Zamanı 20 sn
- Ütülme Zamanı 7 sn

Son olarak gerçekleştirilmiş olan doğrulama çalışmaları kapsamında optimum değerler için 20 adet doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Doğrulama çalışmalarına ait veriler Tablo 4.4’te belirtilmiştir.

Tablo 4.4: Taguchi deney tasarımı deneysel sonuçlar.

No	Ocak Sıcaklığı (°C)	Enjeksiyon Hızı (m/s)	Ütüleme Basıncı (Pa)	Mal Alma Zamanı (sn)	Ütüleme Zamanı (sn)	Ağırlık (gr)
1	302	4,4	750	20	7	78,89
2	302	4,4	750	20	7	78,96
3	302	4,4	750	20	7	78,95
4	302	4,4	750	20	7	78,93
5	302	4,4	750	20	7	78,91
6	302	4,4	750	20	7	78,96
7	302	4,4	750	20	7	78,91
8	302	4,4	750	20	7	78,92
9	302	4,4	750	20	7	78,96
10	302	4,4	750	20	7	78,96
11	302	4,4	750	20	7	78,94
12	302	4,4	750	20	7	78,91
13	302	4,4	750	20	7	78,90
14	302	4,4	750	20	7	78,89
15	302	4,4	750	20	7	78,91
16	302	4,4	750	20	7	78,92
17	302	4,4	750	20	7	78,89
18	302	4,4	750	20	7	78,91
19	302	4,4	750	20	7	78,93
20	302	4,4	750	20	7	78,91

20 adet doğrulama deneyi sonunda ortalama ağırlık 78,92 gr olarak hesaplanmıştır ve doğrulama başarıyla tamamlanmıştır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma neticesinde, bir otomotiv yan sanayi firmasının aydınlatma ürünlerinin imalatında kullanılan plastik enjeksiyonla kalıplama prosesin parametre değerlerine göre optimizasyonu özelinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Proses esnasında üretimde sıklıkla meydana gelen sorunlardan bazıları enjeksiyon üretimi öncesinde faktör parametrelerinin tahmini olarak belirlenmesi ve istenilen parametrenin üretim denemelerinde hurda, gereksiz stok ve oluşan iş gücü maliyetlerinin fazla olmasıdır.

Belirlenen tahmini faktör değerlerinde ürün bazında yüzey kalitesi bozukluklarının standart oluşturamaması, malzeme üzerinde oluşan enjeksiyon izlerinin yok edilememesi en çok karşılaşılan problemlerin başında gelmekteydi. Bu çalışma sonunda gözlenen kalite problemi ortadan kaldırılmış, kalitesizlik maliyetleri %60 oranında azalmıştır.

Bu tez çalışmasının diğer önemli sonuçları arasında Deneysel Tasarım Taguchi Metodu, üretilmesi planlanan tüm ürünler için uygulama kararı alınmıştır. Ürünler, seri üretim öncesi analizlerinin yapılması, raporların müşteriler ile paylaşılması ve analiz onaylarının alınması sonrası seri üretim aşaması tamamlanmaktadır.

Bu çalışmanın hedefleri arasında yer alan diğer konu ise, deney tasarımı uygulamalarının tüm şirket üretim lokasyonlarında yaygınlaştırılmasıdır. Bu tez çalışması İstanbul lokasyonunda uygulanmış olup, farklı yapıdaki ürünler dahilinde Bursa lokasyonunda da deney tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tez uygulamaları sonrası, üretim mühendisleri yetkinleştirilerek, deney tasarımı uygulayabilir duruma getirilmiştir.

Tez çalışmalarımızın müşteri tarafından değerlendirmeleri sonucunda, belirli markalara üretilmekte olan aydınlatma parçaları için, ürün seri üretime girmeden önce deney tasarımı yapılmadan hiçbir ürünün taraflarına iletilmemesini bildirmişlerdir. Şirket iş birlikleri ve sözleşmeleri neticesinde deney tasarımı analizi isteklerini sözleşmelere yansıtılmışlardır.

6. KAYNAKLAR

- Altan, M. ve Eryıldız, M. (2018). Cam Fiber Takviyeli Polimerlerin Plastik Enjeksiyonunda Fiber Yönlenmesinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 692-700.
- Altan, M. (2010). Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods. Materials & Design, 31 (1), 599-604.
- Antony, J. (2003). Design of Experiments for Engineers and Scientists, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0750647094.
- Aytekin, A.G. (2011). Robotik gazaltı köşe kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile iyilenmesi. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 9, 7-28.
- Dirim, A. (2021). Tasarımdan İmalata[online]. www.tasarimdanimalata.com. Erişim Tarihi: 01.04.2022
- Döndüren, H. ve Karacauslu, S. (2015). Plastik enjeksiyon kalıplarında pvc (polivinil klorür) ve pc (polikarbonat) için en uygun kalıp çeliği seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (2), 46-53.
- 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.
- Kayı, Y. (2006). Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine etkilerinin Taguchi metodu ile incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 181891)
- 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)
- Kağnıcıoğlu, C. H. (2015). Üretim öncesi kalite kontrolunda Taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi. (Tez No. 73415)
- Karaoglan, A.D. ve Baydeniz, B. (2020). Taguchi metodu kullanılarak plastik enjeksiyon proses parametrelerinin optimizasyonu: otomotiv aydınlatma parçaları için bir uygulama. In INSAC-International Conference on Research in Natural and

- Engineering Sciences -ICRNES 2020*, pp. 24-32, 14-15 Kasım, 2020, Konya, Türkiye. [Tezden türetilmiştir]
- Katmer, Ş. ve Karataş, Ç. (2012). Plastik enjeksiyon kalıplama şartlarının polistiren düz parçalardaki kalıntı gerilmelere etkileri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (3), 501-507
- Kayabaşı, O. ve Çakmak, H. (2019). Yaklaşık çözüm tekniklerini kullanarak plastik enjeksiyon prosesin tasarım metodolojisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (3), 627-638
- Kocabaş, G.B. (2014). *Cam elyaf takviyeli pa 66'nın enjeksiyon prosesinin simülasyon yoluyla analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 387599)
- 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)
- Nas, E. ve Özarıslan, F. (2018). Polietilen+ etilen vinil asetat karışımı ürünün plastik enjeksiyon makinesi ile farklı parametrelerde üretiminin deneysel ve istatistiksel olarak incelenmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (4), 365-372.
- Öktem, H., Durmuş, K. I. R., Sarı, E. S. ve Mustafa, Ç. Ö. L. (2016). Plastik ürünlerin mekanik özelliklerini etkileyen en uygun enjeksiyon işlem parametrelerinin Taguchi yöntemiyle belirlenmesi. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 14 (1), 8-16.
- Önal, Ş. (2021). Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu. *Researcher*, 1(01), 48-56.
- Özçelik, B. ve Özbay, A. (2011). Determination of effect on the mechanical properties of polypropylene product of molding materials using Taguchi method. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 262, 289-300.
- Özden, E. (2020). *Elektrostatik toz boya proses parametrelerinin deney tasarım yöntemi ile optimizasyonu ve endüstriyel uygulaması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.636096).
- Soncu, S. (2019) *Plastik Boya Parçalarında Boya Öncesi Yüzey Hazırlık Prosesinin Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 595166)
- Soysal, Ş. (2020). Hyundai i20 N Line[online]. <https://tr.motor1.com>. Erişim Tarihi: 05.02.2022

- Subaşı, M. ve Karataş, Ç. (2016). Ti-6Al-4V Alaşım tozundan hazırlanan besleme stokunun kalıplama ve sinterleme parametrelerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (2), 473-483
- Şahin, O. (2018). *Tersine mühendislik yöntemi ile plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve kalıp dolum parametrelerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 488441)
- Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı "Taguçi Yaklaşımı"*, Literatür Yayınları, Savaş Ciltevi.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Burak BAYDENİZ
Doğum tarihi ve yeri : **05.02.1993 Balıkesir**
e-posta : baydenizburak@outlook.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi/Endüstri Mühendisliği	2020
Lisans	Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi /Endüstri Mühendisliği	2014
Ön Lisans	Balıkesir Üniversitesi MYO/Elektronik Haberleşme	2012
Lise	100.Yıl Anadolu Teknik Lisesi	2010

Yayın Listesi

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

Karaoglan, A. D., Baydeniz, B. (2021). Optimizing Plastic Injection Process Using Whale Optimization Algorithm in Automotive Lighting Parts Manufacturing. Journal of Scientific & Industrial Research, 80 (4), 360-368. **[Tezden türetilmiştir]**