

Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu

Şeyma ÖNAL^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara Bilim Üniversitesi, Ankara, Türkiye

* Sorumlu Yazar: seyma.onal@ankarabilim.edu.tr

Received: 20 May 2021; Accepted: 8 July 2021

Öz

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen düğme iç göbek parçası ele alınmıştır. İncelenen parçada üretim aşamasından belirli bir süre geçtikten sonra çekme (boyutsal küçülmeler) meydana gelmekte ve bu nedenle parça montajında sorunlar çıkmaktadır. Çekme miktarının minimizasyonu için bu soruna neden olabilecek 6 seviyeli 1 faktör ve 3 seviyeli 6 faktör olmak üzere toplamda 7 faktör tespit edilmiş ve bu faktörlerin uygun seviyelerinin belirlenmesi amacıyla Taguchi yönteminden yararlanılmıştır. Taguchi ortogonal dizilerinden L18 kullanılarak deneyler tasarlanmış ve uygulanmış, deney sonuçları analiz edilerek faktörlerin uygun seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen sonucun geçerliliği doğrulama deneyi yapılarak kesinleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: deney tasarımı, taguchi metodu, plastik enjeksiyon.

Optimization of Effective Parameters in Shrinkage Problems of Part Produced with Plastic Injection Molding Technique Using Taguchi Method

Abstract

In this study, the button inner core part produced by plastic injection molding technique is discussed. Shrinkage (dimensional shrinkage) occurs in the examined part after a certain period from the production stage; thus, problems arise in the assembly of the part. In order to minimize the shrinkage amount, a total of 7 factors, including 1 factor with 6 levels and 6 factors with 3 levels, were determined and Taguchi method was used to determine their appropriate factor levels. Experiments were designed and applied using L18, which is one of the Taguchi orthogonal arrays. The results of these experiments were analyzed and the appropriate levels of the factors were determined. The validity of the obtained result was confirmed by performing a verification experiment.

Key Words: Design of experiment, taguchi method, plastic injection.

1. Giriş

Kaliteli ürün üretmek müşteri memnuniyetinin ve güveninin sağlanması için işletmeler açısından en önemli faktörlerden birisidir. İşletmeler için her bir kalitesiz ürün müşteri memnuniyeti ve güveni kaybına neden olmakla birlikte aynı zamanda maddi kayıplara da yol açmaktadır. Bu nedenle, ürün geliştirilmesi aşamasında kaliteli ürün üretmek için yapılan uygulamalar, artan rekabet koşullarında firmaların hayatta kalması için son derece önemlidir. Ayrıca bu durum, yüksek kalite standartlarının yanında müşteri memnuniyetinin sağlanmasını da oldukça önemli bir hale getirmiş ve üreticileri bu noktalarda esneklik kazanmayı sağlayacak yöntemler bulmaya zorlamıştır. Tüketici istek ve memnuniyeti doğrultusunda göre firmanın esnek şekilde kendini revize edebilmesi için üretim ve kalite kontrol sistemlerinin otomatik ve değişikliklere uyumlu olması gerekmektedir [1,2].

Üründe kaliteyi yakalamak isteyen imalatçılar artan üretim maliyetlerinden dolayı maliyeti daha fazla artırmadan kalitenin artmasını sağlayacak farklı yöntemler kullanmaya çalışmaktadırlar. Toplam kalite

yönetiminin de hedefi olan ürün kalitesinin çıkış kalite kontrol aşaması yerine ürün tasarım aşamasında sağlanmış olması, kalite maliyetlerini azaltabilmektedir. Ayrıca kalitenin üretim hattında planlandığı gibi, mamul ve proses tasarımı aşamasında da doğru bir şekilde planlanması işletme verimliliğini de doğrudan artıracaktır [3].

Kalite özelliklerinin optimum performansını sağlaması için çok sayıda işlem parametresinin kontrol edilmesini gerektirmekte ve üretici için düşük işletme maliyeti ile yüksek kaliteli bir ürün üretme imkanını zorlaştırmaktadır. Sistemik olmayan deneme yanılma yöntemleri ve hata metodu gibi tekniklerin kullanılması optimal kombinasyon parametrelerini bulmayı oldukça zorlaştırır [4].

İstenen kalite koşullarını ürün tasarım aşamasında ve minimum maliyetle elde etmenin en efektif yöntemlerinden olan Deney Tasarımı yöntemi son yıllarda yaygın bir şekilde çeşitli sektörler tarafından kullanılmaktadır.

Bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktıların gözlemlenmesi ve analiz edilmesini sağlayan Deney Tasarımı metodları, en uygun üretim faktörlerini belirlemek için kullanılan etkin istatistiksel metodlardır [5].

Az deney sayısı ile sonuca ulaşmayı sağlayan Taguchi Metodu, Deney Tasarımı metodlarından biridir. Taguchi Metodu proses parametrelerinin tasarımında deneysel tasarımı kullanarak kalite geliştirme çalışmalarındaki maliyeti azaltan bir yöntemdir. Bu yöntemde kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmaları Taguchi çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır ve istatistiksel deneysel tasarım çevrim dışı kalite kontrol sistemine dahil edilmiştir [3].

Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda çok daha az deney ile ve en az klasik olanı kadar iyi sonuç veren deney dizileri (ortogonal dizi) geliştirmiş ve faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı değiştiren ortogonal dizileri kullanmayı uygun görmüştür. Bu sayede kalite maliyetlerinin ve zaman kaybının önüne geçerek deneysel tasarımın imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [6,7].

Kalitesizliğe sebep olan ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini kontrol edilebilen faktörlerin ayarlanmasıyla azaltmak, mamul ve prosesi değişkenlik kaynaklarına karşı güçlü (robust) yapmak, kaliteyi geliştirmek için yapılan çalışmaların en önemli aşamalarındandır [7].

Kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi kontrol edilebilen bir faktör ayarlanarak azaltılabilir ve bu yolla maliyeti artırmadan kalite geliştirme sağlanmış olur.

Parametre tasarımı aşaması ürün ve süreç tasarımı için, ürünün kalitesini iyileştirmede en etkin çalışmaların yapılabileceği aşamadır. Çoğunlukla klasik deney tasarımlarına dayandırılan çalışmalar parametre sayısının artması ile birlikte uygulama noktasında çeşitli zorluklardan dolayı tercih edilemez duruma gelir. Artan parametre sayısı ile yapılan deneylerin kısa sürede tamamlanması ve sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilmesi için Taguchi deney tasarım metodu tercih edilmektedir [8].

Hizmet sektöründen üretim sektörüne kadar birçok alanda uygulamasının yapıldığı Taguchi metodunun plastik enjeksiyon kalıplama prosesleri içinde literatürde birçok örneği bulunmaktadır. Khavekar ve Modi, plastik enjeksiyon alanında yaptıkları çalışmalarında Taguchi ve Shainin metodlarını çeşitli analizler yaparak karşılaştırmışlardır. Çalışmada deneyleri, parfüm şişesi kapağı üreten bir plastik enjeksiyon firmasında akrilik malzeme kullanılarak yapmışlardır. Üründeki kalitesel hataların temel nedenini bulmak ve ret olan parça sayısını minimum düzeyde tutacak işlem parametrelerini optimize etmek için Taguchi ve Shainin metodlarını kullanarak deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Khavekar ve Modi, oldukça kısa bir süre içinde Deney tasarımı metodları ile ret oranını %40'tan %8,75'e düşürmüşler ve ret parça sayısını minimum düzeyde tutmak için etkili olan parametrelerin her iki metotta da aynı olduğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda etkin faktörlerin aynı olmasına karşın önem sırasına göre bakıldığında 2 metod arasında farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonunda ise Shainin metodunun daha az karmaşık ve uygulanma açısından kolay olduğunu; Taguchi metodunun Shainin metoduna göre daha fazla sayıda deney ve daha uzun zaman gerektirdiğini belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra Taguchi metodunun, proses parametrelerinin optimizasyonu için istatistiksel olarak Shainin metoduna göre daha güvenilir olduğunu belirtmişlerdir [9]. Mehat vd. yaptıkları çalışmada, Taguchi metodu ile plastik dişlilerin büzülme ve gerilme özelliklerini etkileyen önemli proses parametrelerini

tespit etmişlerdir. Deneysel sayısını azaltmak için L18 ortogonal dizileri kullanarak elde edilen sonuçlarının analizini yapmışlardır. Çalışmalarında plastik kalıplı dişlinin boyutsal sabitliğini ve mekanik özelliklerini etkileyen kontrol parametrelerin erime sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, paketleme basıncı, paketleme süresi, soğuma zamanı ve enjeksiyon basıncı olduğunu kabul etmişlerdir [4]. Chen vd. plastik enjeksiyon prosesini optimize etmek için Taguchi metodu ile entegre şekilde Response Surface metodu ve genetik algoritmaları kullandıkları bir çalışma yaparak sistematik bir optimizasyon modeli önermişlerdir. Ele alınan ürünün uzunluk ve çarpıklık kalitesel özelliklerini incelemek için Taguchi metodu ile deneyler tasarlayarak veri analizi yapmışlardır. Plastik enjeksiyon süreci için kontrol faktörlerini erime sıcaklığı, enjeksiyon hızı, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, ütüleme zamanı ve soğutma zamanı olarak belirlemişler ve bu parametrelerin kombinasyonunu tespit etmek için sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi kullanmışlardır. Response Surface metodu ile deneysel verileri oluşturup S/N oranı ve varyans analizi ile gerekli analizleri yapmışlardır. Nihai optimal kombinasyonunu bulmak için elde ettikleri verileri hibrid GA-PSO kullanarak analiz etmişlerdir. Doğrulama deneyleri sonunda önerdikleri modelin sadece kalite karakteristiği olarak belirlenen uzunluk ve çarpıklığı iyileştirdiği değil aynı zamanda plastik enjeksiyon sürecindeki maliyet ve zaman kaybını azalttığını ifade etmişlerdir [10]. Amran vd. deneysel ve benzetim çalışmaları arasındaki ağırlık yüzde farkını tespit etmek ve aynı zamanda plastik parça ağırlığı üzerinde proses parametrelerinin etkisini de araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon zamanı ve soğutma süresini üçer seviyeli olarak ele almışlar ve L9 ortogonal diziler ile deneyleri tasarlamışlardır. Özel bir simülasyon yazılımı ile plastik parçanın simülasyonu yaparken; Taguchi metodu ile de deneyleri tasarlamışlardır. Yaptıkları simülasyon sonucunu deney sonucu ile doğrularak 2 yöntem arasındaki minimum ve maksimum ağırlık yüzdesinin sırasıyla %0,35 ve %1,43 olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca parça ağırlığını etkileyen en önemli parametrenin kalıp sıcaklığı olduğunu sonrasında sırayla eriyik sıcaklığı, enjeksiyon süresi ve soğuma süresi parametrelerinin geldiğini belirtmişlerdir [11]. Yine plastik parçalarda yaşanan çekme problemini çözmek için Öktem, Taguchi metodunu kullanarak L27 ortogonal dizi tasarımına göre deneylerini tasarlamıştır. Kontrol edilebilir faktör olarak belirttiği kalıp sıcaklığı, eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon zamanı ve soğuma süresi faktörlerini seçmiş ve süreçlerin optimum düzeyde kalması için varyans analizi ve S/N oranlarını kullanan Öktem, %95 güven aralığında Taguchi yönteminin sağlamlığını ve etkinliğini doğrulamak için faktörlerin optimum kombinasyonlarının doğrulama deneyini gerçekleştirmiştir [12]. Kayı da yine plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalardaki çekme miktarını farklı faktörler kullanarak incelemiştir [13]. Benzer bir çalışmayı Erdem vd. plastik parçalardaki çarpılmayı en aza indirmek için Taguchi L9 ortogonal dizini kullanarak yapmıştır [14]. Taguchi metodunun plastik enjeksiyon kalıplama proseslerinde çeşitli Yapay Sinir Ağları (YSA) modelleri ile birlikte kullanıldığı uygulamalarda literatürde yer almaktadır. Plastik enjeksiyon için Taguchi ve YSA metodlarını bir arada kullanan Altan [15] ve Oliaei vd. [16] yaptığı çalışmalarda enjeksiyon parametrelerini farklı faktörler kullanarak benzer şekillerde bulmaya çalışmışlardır. Altan, eriyik halde bulunan Polipropilen (PP) ve polistiren (PS) plastik enjeksiyon kalıplama sürecinde minimum büzülme için optimum enjeksiyon parametrelerini belirlemek için Taguchi L27 ortogonal dizisi kullanarak deneylerini tasarlamıştır. Her biri üç seviye olan eriyik sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, paketleme basıncı ve paketleme süresi parametrelerin optimum seviye kombinasyonunu S/N oranı kullanarak tespit etmiştir. Enjeksiyon basıncının her iki malzemenin büzülmesi üzerinde en az etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. İşlem parametrelerinin önem derecesini belirledikten sonra, bir YSA oluşturularak bu ağın büzülme için etkili bir tahmin aracı olduğunu ifade etmiştir [15]. Oliaei vd. ise çalışmalarında polilaktik asit (PLA), polilaktik asit-termoplastik poliüretan (PLA-TPU) ve polilaktik asit-termoplastik nişastayı (PLA-TPS) içeren biyolojik olarak parçalanabilir polimerik sistemler olan üç polimerin enjeksiyon işlenebilirliği hakkında araştırma yapmışlardır. Oliaei vd. kontrol parametrelerinin tüm etkileşim etkilerini dikkate alarak, deney tasarımı ve enjeksiyon kalıplama simülasyonu ile malzeme analizi gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Oluşturulan deneyler kombinasyonlarını, Autodesk Mold enjeksiyon kalıplama simülasyonunu kullanarak sistem için çarpıklık ve hacimsel büzülme en aza indiren parametre değerlerini belirleyen soğutma suyu sıcaklığı, paketleme süresi, paketleme basıncı, kalıp sıcaklığı ve eriyik sıcaklığını analiz edilecek parametreler olarak seçmişlerdir. Seçilen üç seviyeli beş faktör için Taguchi'nin L27 ortogonal dizisini kullanarak simüle tasarım için parametre etkileşimlerinin etkilerini incelemiş ve aynı zamanda YSA ile de proses koşullarının revizyonu ile optimizasyona gitmiştir. Taguchi, varyans ve YSA ile yaptığı analizler

sonucunda çarpıklık ve hacimsel büzülme üzerinde eriyik sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı ve paketleme süresinin etkili olduğunu belirten Oliaei vd. seçilen amaç fonksiyonu için YSA optimal seviye seçimi ile Taguchi optimal seviyelerinin örtüşmekte olduğunu ve PLA-TPU bileşiğinin analiz edilen diğer bileşenlere oranla incelenen kalite kusurlarına karşı daha dirençli olduğunu tespit etmiştir [16].

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, plastik enjeksiyon kalıplama prosesi ile elde edilen ürünlerin kalitesel iyileştirme çalışmalarında Taguchi metodunun sıklıkla tercih edildiği ve etkin sonuçlara ulaşıldığı görülmüş ve çalışmada incelenen problemin çözümünde de Taguchi Metodundan yararlanılmıştır.

2. Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu

İstatistiksel deney tasarımı yöntemi kontrol edilen ve kontrol edilemeyen bu faktörlerin ürün ve ürün performansına olan etkilerinin tespit edilmesi için en etkili metottur. Ürün geliştirme ve hedef kalite değerlerine ulaşma çalışmalarında faktörlerin optimum değerlerine ulaşmak için kullanılan Deney Tasarımı, kalitesel değişimleri ve değişime neden olan faktörleri araştırıp bu değişkenliği azaltmayı bu sayede sistem güvenilirliğini ve müşteri memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir [17-19].

Kalite çalışmalarında klasik metotların yetersiz kaldığı durumlarda istatistiksel deney tasarımı metotları kurtarıcı olmuştur. Deneysel hataları minimize etmeyi amaçlayan istatistiksel deney tasarımı metotları tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve taguchi metodu olarak üç grupta incelenebilir [20].

Esas olarak deney tasarımı, hedef değeri en çok etkileyen değişkeni belirlemek, belirlenen değişkenlerin etkisini saptamak, hedef değer üzerinde ufak değişikliklere sebep olan değişkenleri belirlemek ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerini minimize etmek için kontrol edilebilen değişkenlerin etkilerini belirlemek; dolayısıyla sürecin optimum şekilde uygulanması için sistemdeki değişkenlikleri azaltmak amacıyla uygulanır [21].

Birden fazla faktör ve faktör seviyesinden oluşan sistemler için optimum faktör kombinasyonunu veren Taguchi metodu, yararlandığı ortogonal diziler sayesinde yapılması gereken deney sayısını minimum seviyede tutabilmektedir. Maliyet ve zaman açısından sağladığı bu avantaj sayesinde sıklıkla tercih edilen bu metot ürün/hizmet ve proses için, değişkenliğe neden olan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktör düzeylerini optimize eder. Dolayısıyla ürün/hizmet ve prodesteki değişkenliği en aza indirmeye yardımcı olur [12].

Hedef kalite değerinden sapmanın yani varyansın minimize edilmesi için süreçteki kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin optimum seviyelerinin seçilmesi ile yapılan ürün ve proses tasarımını içeren tasarıma Taguchi robust tasarım adını vermiştir. Robust tasarım ısı, nem, toz gibi çevre koşulları, malzeme farklılıkları ve müşteri uygulamalarındaki farklılıklar gibi kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmeyen yani bu faktörlere karşı duyarsız bir tasarım anlamına gelmektedir [19].

Kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu statik sonuçlu deneylerde varyansı minimize etmek için Taguchi tarafından Signal/Noise Ratio (S/N) geliştirilmiştir. Bir değişim ölçüsü olan S/N oranı deneyin amacı doğrultusunda 3 ayrı seçenek sunar. Bunlar; en büyük en iyi, en küçük en iyi ve hedef değer en iyi fonksiyonlarıdır. Burada seçilen amaç hangisi olursa olsun S/N oranı maksimizasyonu sinyal faktörlerinin etkisini artırırken aynı zamanda varyasyonun azalması anlamına gelmektedir [19].

Seçim	Amaç	Sonuç
En büyük en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(\sum \left(\frac{1}{Y^2} \right) / n \right) \right)$	Sonucun maksimize edilmesi	Pozitif
Her değer en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(s^2 \right) \right)$	Sadece standart sapmanın azaltılması	Pozitif, sıfır ya da negatif
Hedef değer en iyi: $S/N = 10 \left(\log \left(\bar{Y}^2 / s^2 \right) \right)$	Standart sapmanın ve ortalamanın belli bir hedef değerinde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır
En küçük en iyi: $S/N = -10 \left(\log \left(\sum Y^2 / n \right) \right)$	Sonucun minimize edilmesi	Pozitif

Şekil 1: Proses optimizasyon hedefine göre S/N hesaplamaları.

3. Materyal ve Metot

Çalışmada plastik enjeksiyon kalıpla ile üretilen Şekil 2' de gösterilen düğme iç göbek parçasında üretim aşamasından belirli bir süre geçtikten sonra meydana gelen çekme/büzülme (boyutsal küçülme) sorunu incelenmiştir. Parçada meydana gelen bu değişim nedeniyle ürün montajında sıkıntılar yaşanmakta ve hatalı ürün oranı artmaktadır. Ele alınan parçadaki hatalı üretim oranının minimize edilmesi için Taguchi yöntemi aşamaları adım adım uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.



Şekil 2: Fırın düğmesi iç göbek parçası.

Taguchi metodunda değişken parametre olarak enjeksiyon ayarları dikkate alınmış ve Tablo 1'de gösterilen birisi 6 seviyeli diğerleri 3 seviyeli olmak üzere toplam 7 tane faktörün incelenmesine karar verilmiştir.

Tablo 1: Taguchi metodunda incelenen faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Seviyeler					
Enjeksiyon Basıncı (bar):	45	55	65	75	80	85
Enjeksiyon Hızı (mm/sn):	10		20		60	
Enjeksiyon Pozisyonu (mm):	13		18		25	
Ütüleme Basıncı (bar):	30		40		50	
Ütüleme Hızı (mm/sn):	10		15		20	
Ütüleme Zamanı (sn):	0,5		1		2	
Soğuma Zamanı (sn):	25		30		35	

Çalışmada deney tasarımı faktör sayısı ve seviyelerine uygun olan Taguchi L18 ortogonal deney dizilimine göre Minitab programı ile Tablo 2’de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 2: L18 (6¹ 3⁶) Taguchi ortogonal dizi kombinasyonu.

Deney No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3	3
5	2	2	2	3	3	1	2
6	2	3	3	1	1	2	1
7	3	1	2	1	3	2	3
8	3	2	3	2	1	3	2
9	3	3	1	3	2	1	1
10	4	1	3	3	2	2	1
11	4	2	1	1	3	3	2
12	4	3	2	2	1	1	3
13	5	1	2	3	1	3	2
14	5	2	3	1	2	1	3
15	5	3	1	2	3	2	1
16	6	1	3	2	3	1	2
17	6	2	1	3	1	2	3
18	6	3	2	1	2	3	1

Çalışmada performans ölçütü olarak standart sapma yerine ölçülebilir bir değer olarak kullanılabilen Taguchi’nin geliştirdiği S/N oranı dikkate alınmış ve ele alınan problemde çekme miktarının minimizasyonunu veren değeri hesaplamak için Formül 1’deki gibi hesaplanan ‘en küçük en iyi’ karakteristiği kullanılmıştır. Eşitlikte n deney sayısını gösterirken; yi ifadesi kalitesel karakteristiğin deneysel sonucunu ifade etmektedir.

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

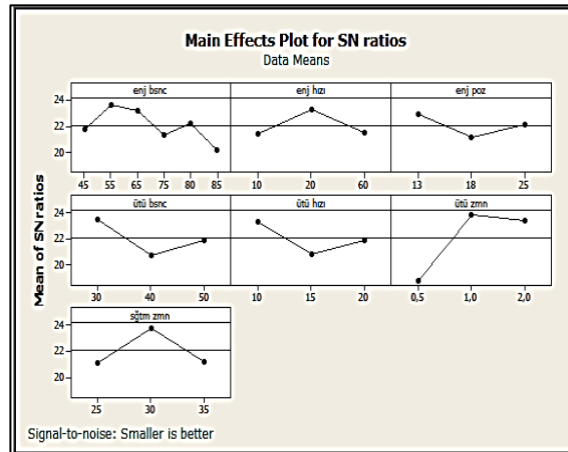
4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 2’de gösterilen deney şartları oluşturulduktan sonra üretim gerçekleştirilmiş ve her deney için alınan numuneler ayrı ayrı tasniflenerek soğumaya bırakılmıştır. Soğuma süresi bittikten sonra ölçümler 1/100 mm hassasiyetinde dijital kumpas ile yapılmıştır. Çekme miktarını belirleyebilmek için ilk ölçümler yapıldıktan 1 hafta sonra 2.ölçümler yapılmış ve her deney için elde edilen parça boyutundaki değişimler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3: L18 Deneysel düzeneği deneylerinin sonuçları.

Deneysel Sayısı	Enjeksiyon Basıncı (bar)	Enjeksiyon Hızı (mm/sn)	Enjeksiyon Pozisyonu (mm)	Ütuleme Basıncı (bar)	Ütuleme Hızı (mm/sn)	Ütuleme Zamanı (sn)	Soğuma Zamanı (sn)	Çekme Miktarı (mm)
1	45	10	13	30	10	0,5	25	0,0933
2	45	20	18	40	15	1	30	0,0833
3	45	60	25	50	20	2	35	0,0800
4	55	10	13	40	15	2	35	0,0333
5	55	20	18	50	20	0,5	25	0,0567
6	55	60	25	30	10	1	30	0,0933
7	65	10	18	30	20	1	35	0,0967
8	65	20	25	40	10	2	25	0,1633
9	65	60	13	50	15	0,5	30	0,0567
10	75	10	25	50	15	1	25	0,0400
11	75	20	13	30	20	2	30	0,0800
12	75	60	18	40	10	0,5	35	0,1467
13	80	10	18	50	10	2	30	0,0600
14	80	20	25	30	15	0,5	35	0,1067
15	80	60	13	40	20	1	25	0,0700
16	85	10	25	40	20	0,5	30	0,1067
17	85	20	13	50	10	1	35	0,0633
18	85	60	18	30	15	2	25	0,1033

Elde edilen küçülme miktarları Minitab programına manuel olarak girilmiştir. Küçülme miktarları girildikten sonra Taguchi Metodu analizleri yapılmış, S/N oranları incelenerek hangi parametrenin hangi seviyesinin optimum kombinasyon oluşturduğu belirlenmiştir.



Şekil 3: S/N sonuç grafiği.

Şekil 3’de elde edilen grafik incelendiğinde ele alınan faktörler için minimum küçülme sağlayan deney kombinasyonu Tablo 4’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4: Taguchi metodunun optimum deney parametreleri.

Parametre Adı	Birimi
Enjeksiyon Basıncı	55 (bar)
Enjeksiyon Hızı	20(mm/sn)
Enjeksiyon Pozisyonu	13 (mm)
Ütüleme Basıncı	30 (bar)
Ütüleme Hızı	10 (mm/sn)
Ütüleme Zamanı	1 (sn)
Soğuma Zamanı	30 (sn)

Ayrıca Taguchi Metodu analizinde parça boyutu değişiminde en etkili olan ilk 3 parametrenin sırasıyla ütüleme zamanı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncı olduğu tespit edilmiş ve seçilen parametreler arasında enjeksiyon pozisyonunun parça boyutu değişiminde en az etkiye sahip olduğu görülmüştür.

5. Sonuç

Çalışmada hedef kalite seviyesi üzerinde en etkili olan parametrenin bulunması, istenen kalite düzeyi için parametrelerin hangi seviyelerinin kullanılacağı ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisini kontrol edilebilen değişkenler yardımıyla minimize edilmesini sağlayacak olan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi metodu L18 ortogonal dizisi kullanılarak 4374 (tam faktöriyel deney kombinasyonu sayısı) deney yerine 18 deney ile hem deney maliyeti hem süre açısından kazanç sağlanmıştır.

Taguchi metodunda sonuç olarak çekme miktarında en etkili olan ilk üç parametrenin ütüleme zamanı, enjeksiyon basıncı ve ütüleme basıncı olduğu bulunmuş ayrıca enjeksiyon pozisyonunun çekme miktarı için en az etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Taguchi metodunun verdiği optimum kombinasyon için doğrulama deneyi yapılmış sonucun güvenilirliği kontrol edilmiş ve çekme miktarının 0,01 mm olduğu görülmüştür. Devam eden üretimde çekme miktarının ortalamasının 0,03’den 0,01’e düştüğü görülerek sonuçların efektif olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen farklı parçalarda meydana gelen kalite problemlerinin incelenmesinde veya aynı parçada etkili olabilecek diğer enjeksiyon parametrelerinin araştırılmasında da uygulanabilir. Ayrıca Taguchi metodu evet/hayır, var/yok vb. string yapıda değişken tanımlanmasına izin verdiği için sözel yapıda olan parametrelerin incelenmesine de olanak sağlayarak birçok kalitesel probleme uyarlanabilir.

Uygulanacak deney sayısını azaltmak için kullanılan Taguchi Metodu yerine zaman ve maliyet açısından kısıt olmadığı durumlarda Response Surface gibi farklı deney tasarımı yöntemleri kullanılarak optimuma daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Keza kullanılan Taguchi metodu ile karar ağaçları, genetik algoritmalar vb. yapay zekâ teknikleri entegre edilerek de uygulamalar yapılarak daha iyi sonuçlara ulaşılabilir.

Kaynaklar

- [1] Yıldırım, S. (2011). Ürün Tasarımı Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- [2] Kaya, i., Oktay, S., Engin, O. (2005). Kalite Kontrol Problemlerinin Çözümünde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2),92-107.
- [3] Mercan, Ş. (2019). Deneysel Tasarım ve Yapay Zekâ Tekniklerinden Yararlanarak Ürün Kalitesinin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- [4] Mehat, N. M., Kassim, S. M., Kamaruddin, S. (2017, October). Investigation On The Effects Of Processing Parameters On Shrinkage Behaviour And Tensile Properties Of Injection Moulded Plastic Gear Via The Taguchi Method. In *Journal of Physics: Conference Series* 908 (1),12-49.
- [5] Aytekin, F. G., (2014). Fotolitografi İşleminde UV Sertleştirme Parametrelerinin Deneysel Tasarım İle Eniyilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [6] Taylan, D. (2009). Taguchi Deneysel Tasarım Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [7] Gencel, İ. (2007). Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması Ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- [8] Aytaç, A., İlivan, M., Öztürk, U. (2016). Taguchi Ve Klasik Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: İnce Film Kaplamaların Aşınma Davranışı. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 6(4), 87-96.
- [9] Khavekar, R., Modi, B. (2017). A Comparative Analysis of Taguchi Methodology and Shainin System DOE in the Optimization of Injection Molding Process Parameters. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 225(1), 012183.
- [10] Tortum, A., Yayla, N., Çelik, C., & Gökdağ, M. (2007). The Investigation Of Model Selection Criteria İn Artificial Neural Networks By The Taguchi Method. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 386(1), 446-468.
- [11] Amran, M. M., Idayu, N., Faizal, K. M., Sanusi, M., Izamshah, R., Shahir, M. (2016, November). Part Weight Verification Between Simulation And Experiment Of Plastic Part İn Injection Moulding Process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 160, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
- [12] Öktem, H. (2012). Optimum Process Conditions On Shrinkage Of An Injected-Molded Part Of DVD-ROM Cover Using Taguchi Robust Method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5-8), 519-528.
- [13] Kayı, Y. (2006). Plastik Enjeksiyon Prosesindeki Parametrelerin Çekme Problemine Etkilerinin Taguchi Metodu İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- [14] Erdem, V., Belevi, M., Koçhan, C. (2010). Taguchi Metodu İle Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 17-29.
- [15] Altan, M. (2010). Reducing Shrinkage İn Injection Moldings Via The Taguchi, ANOVA And Neural Network Methods. *Materials and Design*, 31 (1), 599-604
- [16] Oliaei, E., Heidari, B. S., Davachi, S. M., Bahrami, M., Davoodi, S., Hejazi, I., & Seyfi, J. (2016). Warpage And Shrinkage Optimization Of Injection-Molded Plastic Spoon Parts For Biodegradable Polymers Using Taguchi, ANOVA And Artificial Neural Network Methods. *Journal of Materials Science & Technology*, 32(8), 710-720.
- [17] Karakuş, D. (2001). Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme, Olası Hata Türü Etkileri ve Analizi ve Deneyle Tasarım Tekniklerinin Entegre Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [18] Taptık, Y., Keleş, Ö. (1998). *Kalite Savaşı*. İstanbul: Kalder Yayınları.
- [19] Şirvancı, M. (1997). *Kalite İçin Deneysel Tasarım "Taguchi Yaklaşımı"*. İstanbul: Literatür Yayıncılık.)
- [20] Gökçe, B., Taşgetiren, S. (2009). Kalite için Deneysel Tasarım. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 71-83.
- [21] Montgomery, C.D. (1985). *Statistical Quality Control*. ABD: John Wiley&Sons Inc.