

Polietilen + Etilen Vinil Asetat Karışımı Ürünün Plastik Enjeksiyon Makinesi ile Farklı Parametrelerde Üretiminin Deneysel ve İstatiksel Olarak İncelenmesi

Experimental and Statistical Investigation of Manufacturing of Polyethylene + Ethylene Vinyl Acetate Mixture Product with Plastic Injection Molding Machine by Different Parameters

Engin NAS¹ , Furkan ÖZARSLAN² 

¹ Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr.Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE
² İmalat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

Öz

Bu çalışmada bir otomobil markasının klima sisteminde bulunan havalandırma tapasının farklı parametrelerde plastik enjeksiyon makinesi ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim parametrelerinin ürün ağırlığı ve yüzey kalitesi üzerine (çapak ve gaz boşluğu) etkileri deneysel ve istatistiksel olarak araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan üretim parametreleri Taguchi L_{27} ortogonal dizisiyle tasarlanmıştır. Deney parametreleri, enjeksiyon basıncı (30-60-90 bar), enjeksiyon hızı (30-60-90 cm^3/s), ütüleme basıncı (40-60-80 bar), ütüleme hızı (40-60-80 cm^3/s) ve vida dönme hızı (50-60-70 cm^3/s) olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda Sinyal/Gürültü oranları incelendiğinde ürün ağırlığının en düşük değerinde A1B2C1D1E1 parametrelerinde oluştuğu belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre ürün ağırlığı ve yüzey kalitesi için en etkili parametrenin % 32,18 ile enjeksiyon basıncı, en düşük etkili parametrenin ise % 1,31 ile vida dönme hızı olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Metot, Anova, Enjeksiyon Makinesi, Regresyon

Abstract

In this study, the vent plug of automobile air conditioning system was manufactured with plastic injection machine using different production parameters. The effect of different production parameters on product weight and surface quality (burr formation and gas gap) was investigated experimentally and statistically. The parameters used in the experiments were designed with the Taguchi L_{27} array. The parameters used in the experiments are: Injection pressure (30-60-90 Bar), injection speed (30-60-90 cm^3/s), holding press (40-60-80 Bar), holding speed (40-60-80 cm^3/s) and the screw rotation speed (50-60-70 cm^3/s). As a result of the study, it was determined that when the response tables were examined, A1B2C1D1E1 was the most effective parameter for the weight values of the products and when the According to ANOVA results, the most effective parameter for product weights and surface quality was injection pressure (32.18%) and the lowest effective parameter was the screw stroke rate (1.31%).

Keywords: Taguchi Method, Anova, Injection machine, Regression

I. GİRİŞ

Plastik enjeksiyon, termoplastik malzemenin türüne göre belirli bir ısı değerleri altında ve bulunduğu ortamda sürtünme ile akışkan duruma getirilip, uygulanan basınç ile kalıp içinde şekillenmesi ile olur. Ham haldeki plastik maddenin akışkan hale geçerek tek bir operasyon ile istenen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve üretilen ürün için son işlem operasyonunun gerekmemesi bu yöntemi, diğer plastik malzeme biçimlendirme tekniklerine (basıncılı kalıplama, döner kalıplama, basınçta ısı ile biçimlendirme, şişirme) göre seri üretimini uygun hale getirmiştir [1, 2].

Plastik enjeksiyon işlemi sürecinde makine parametreleri, makine özellikleri, üretim ortamı sıcaklığı ve malzeme özelliklerindeki farklılıklar, çıkan ürünün kalitesini oldukça etkilemektedir [3]. Plastik enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen plastik ürünler farklı enjeksiyon ve kalıplama parametrelerine maruz kalmakta olup bir adet ürünün maliyet hesabı yapılırken kullanılan parametrelerin iyi analiz edilmesidir [4, 5].

Maliyeti etkileyen parametreler, kalıbın maliyeti, kullanılan ham malzeme miktarı, katkı maddesi miktarı, enjeksiyon süresi ve işçilik olarak sınıflandırılmaktadır. Parametrelerin bir kısmı maliyeti doğrudan etkilerken kalıp maliyetini ise dolaylı şekilde etki etmektedir. Plastik enjeksiyon kalıp maliyetlerinin hesaplanabilmesi için bilgisayar ortamında hazırlanmış tahmini maliyet analizi yapan programlar geliştirilmiştir. Tahmini maliyeti seri bir şekilde hesapladıkları için kalıplılık açısından önemli yer oluşturmaktadırlar [6-10]. Tahmini kalıp maliyetini hesaplamak bu yöntemler ile kolay hesaplanırken, bir ürünün üretimi için kullanılan enjeksiyon parametreleri ideal parametrelerde seçilmezse zaman kaybı, enerji tüketimi artışı ve ürünün üretimi için kullanılan ham malzeme miktarında artış gerçekleşecektir. Enjeksiyon makinesi ile üretim gerçekleştirilen işletmelerde genelde enjeksiyon parametreleri tecrübeli çalışanların deneme yanılma yolu ile seçilmesi olup bir ürün için en ideal parametreler belirlenmemektedir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte bir ürün üretimi için kullanılan üretim parametrelerinin ideal değerlerde seçilmesi istatistiksel yöntemler ile belirlenebilmektedir. Bu istatistiksel yöntemler ile zaman, enerji ve hammadde kaybı en aza indirilmektedir. Kurumsal şirketler bu istatistiksel yöntemleri kullanarak üretim maliyetlerini en aza indirebilmektedirler. Küçük ölçekli şirketlerde enjeksiyon makinelerinde bir ürünün üretim aşamasında ideal parametrelerin belirlenmesi için istatistiksel olarak çok fazla çalışma yapılmadığı, daha çok araştırılmalar kalıp maliyeti ile ilgili gerçekleştirilmektedir.

Son yıllarda istatistiksel yöntemlerden Taguchi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi metodu, deney sayısını en aza indirerek ve en az maliyet ile işleme performansını arttırarak optimizasyon sorunlarının çözümü için başarılı bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır [11].

Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen parametrelerin meydana getirdiği değişkenlerin denetlenmesine izin vermektedir [12]. Taguchi, bu parametrelere karşı kontrol parametrelerinin seviyelerinin performans karakteristiğini bulmak için amaç fonksiyonu değerlerini sinyal/gürültü (S/N) oranına dönüştürür. S/N oranı, istenilmeyen rastgele gürültü değeri için istenilen sinyal oranı olarak tanımlanmakta olup, deneysel verilerin kalite karakteristiklerini göstermektedir [13].

Deney tasarım ve analizi olarak Taguchi metodunun ana basamakları;

- Faktör (Parametre) ve etkileşimlerin belirlenmesi,
- Her faktörün seviyelerinin belirlenmesi,
- Uygun dikey matrisin seçilmesi,
- Faktör ve etkileşimlerin dikey matrislerin sütunlarına aktarılması,
- Deneylerin gerçekleştirilmesi,
- Verilerin analizi ve optimum seviyelerin belirlenmesi
- Doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesidir [14].

Taguchi metoduyla gereksiz yapılacak deneylerden kaçınılarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır [15]. Ayrıca, malzeme üretim parametrelerinin istatistiksel önemini (etki derecelerini) belirlemek için ANOVA uygulanmaktadır. ANOVA ve S/N oranı yardımıyla üretim parametrelerinin optimum kombinasyonu belirlenmektedir [16]. Ağırlık değerlerinin ve yüzey kalitesinin ideal oluşması için kontrol faktörlerinin her kombinasyonu deney tasarımında ölçülür, kontrol faktörlerinin optimize edilmesinde S/N oranları kullanılır. Ürün ağırlığının ve ürün yüzeyinde oluşan çapak miktarının düşük olması, ürün kalitesi ve maliyeti açısından büyük bir öneme sahiptir.

S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik özellikleri göz önünde bulundurularak nominal en iyidir, en büyük en iyidir, en küçük en iyidir metotları kullanılır. Eşitlik (1)'de "nominal en iyidir", Eşitlik (2)'te "en büyük en iyidir", Eşitlik (3)'te ise "en küçük en iyidir" amaç fonksiyonu verilmiştir [12]

$$\text{Nominal en iyidir} : \frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{y}{s_y^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{En büyük en iyi} : \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

$$\text{En küçük en iyi} : \frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3)$$

Regresyon analizleri, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiye sahip çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizi için gerçekleştirilir [12, 17]. Regresyon analizi ile elde edilen model (formül) ile aynı tür malzemenin farklı üretim parametreleri ile üretilmesi istendiğinde modelde parametreler yerine konularak ürün için zaman, enerji ve işgücü kaybı ortadan kalkacaktır.

Bu çalışmada otomobil klima sisteminde Polietilen (PE) + Etilen Vinil Asetat (EVA) karışımı malzeme olan havalandırma tapasının plastik enjeksiyon makinesi ile üretimi farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan parametreler ürün maliyetini en aza indirmek için Taguchi L_{27} dizisiyle tasarlanmış olup elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak incelenerek parametrelerin ürün

ağırlığına ve yüzey kalitesine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler enjeksiyon basıncı (bar), enjeksiyon hızı (cm^3/s), ütüleme basıncı (bar), ütüleme hızı (cm^3/s) ve vida dönme hızı (cm^3/s) olarak seçilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Plastik Malzeme

DeneySEL çalışmada granül haldeki PE+EVA karışımı malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme üzerine ısı uygulandığında molekül yapısı olarak aralarında çapraz bağlanmış oldukları için herhangi bir akma göstermeden hacimsel daralma göstermekte ve ısı kaldırıldığında yani malzemenin sıcaklığı oda sıcaklığına indiğinde büzölmüş yapısını muhafaza etmektedir [18]. Kullanıldığı kısımda büzölmüş yapıyı muhafaza etmekte ve kayma gibi olumsuz bir durum oluşturmamaktadır. Isı ile büzölebilen tüpler günümüzde genellikle EVA kopolimerinden veya maleik anhidrit ile uyumlu hale getirilmiş PE ile EVA'nın karışımlarından hazırlanmaktadır [19-21]. DeneySEL çalışmada kullanılan granül haldeki PE (% 14) + EVA (%86) karışımı malzeme Şekil 1' de gösterilmektedir.



Şekil 1. DeneySEL çalışmada kullanılan granül haldeki PE + EVA karışımı malzeme.

2.2. Enjeksiyon Makinesi

PE + EVA karışımı ürünün üretilmesinde ÖZBEN-MAK marka enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri Tablo 1' de gösterilmektedir.



Şekil 2. DeneySEL çalışmada kullanılan enjeksiyon makinesi

Tablo 1. PE + EVA karışımı ürünün üretilmesinde kullanılan enjeksiyon makinesinin teknik özellikleri.

Tezgah Özellikleri	Açıklama
Marka	ÖZBEN
Model	150 X 85
Üretim Yılı	2005
Tonaj	100
Malzeme Gramaj	150
Makine Çalışması (Öngörülen Malzemeler)	PA, PP, EVA
Motor Gücü (KW)	14
Isıtma Gücü (KW)	8
Plaka Ölçüsü (mm x mm)	520 X 520
Kolonlar arası mesafe (mm)	340 X 280
Maksimum Açıklık (mm)	400
Minimum Açıklık (mm)	110
İtici Strok (mm)	100
Kalıp Açma Strok (mm)	300
Vida Boyu (mm)	25,71
Vida Çapı (mm)	35
Merkezleme Flanş Çapı (mm)	120

2.3. Ağırlık Ölçümleri

Üretimi gerçekleştirilen malzemelerin ağırlık ölçümleri, Radweg hassas terazi (0.001 g) ile yapılmıştır. Farklı parametreler ile üretilen malzemelerin görüntüleri Şekil 3' de gösterilmektedir.



Şekil 3. Üretimi gerçekleştirilen malzemelerin tartılma sırasında çekilen fotoğraf görüntüleri.

2.4. PE+EVA Karışımı İle Üretilen Havalandırma Tapası Üretim Parametreleri

Deneyler, otomobil klima sisteminde bulunan havalandırma tapasının üretiminde en ideal parametrelerin belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Parametreleri belirlemek için ön deneyler gerçekleştirilmiş olup, bu parametreler arasından ürünün yüzey kalitesine, çapak yapma durumu ve ürünün kalıba tam dolum durumuna göre parametreler (Tablo 2) belirlenmiştir.

Tablo 2. Taguchi istatistiksel metodu kullanılarak deney tasarımı gerçekleştirilen çalışmanın faktör ve seviyeleri.

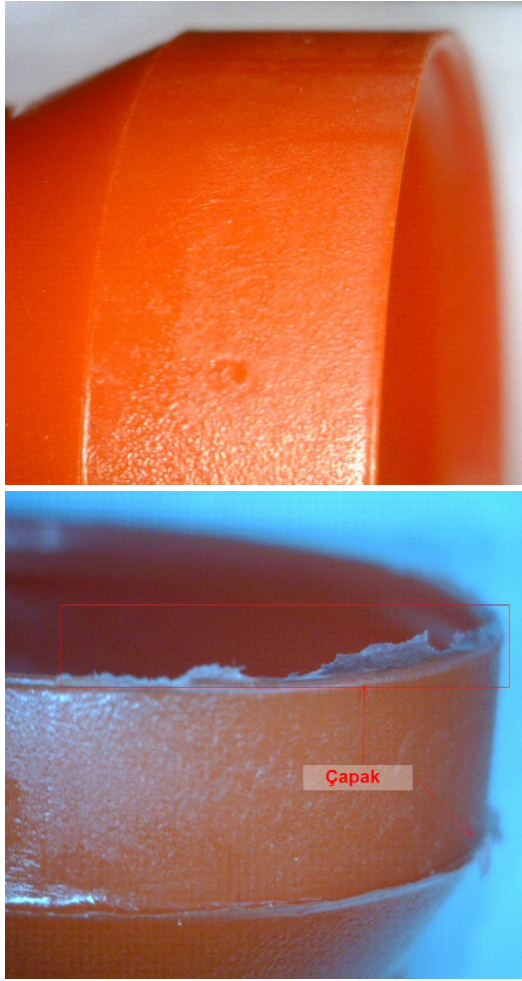
Faktör Ad Seviye	Seviye Değeri			
	1	2	3	
A Enjeksiyon Basıncı (Bar)	3	30	60	90
B Enjeksiyon Hızı (cm ³ /s)	3	30	60	90
C Ütuleme Basıncı (Bar)	3	40	60	80
D Ütuleme Hızı (cm ³ /s)	3	40	60	80
E Vida Dönme Hızı (cm ³ /s)	3	50	60	70

Tablo 2 'de gösterilen deney parametrelerine göre 3⁵ (243) deney yaparak bu ürün için en ideal üretim parametresini belirleyebiliriz. Gerçekleştirilen 3⁵ deney hem zaman kaybı hem de enerji tüketimini olumsuz yönde etkileyecektir. Taguchi deneysel tasarımının kullanılması ile işletmelerdeki bu olumsuz durumların olumlu bir hale getirilmesi sağlanmaktadır. Çalışmada ürünün üretilmesi için beş faktör ve her birinin ise üç seviyesi vardır. Faktörler ve seviyeleri Tablo 3' de gösterilmektedir. Deneysel tasarım Taguchi L₂₇' ye göre tasarlanmış olup deney parametreleri ve üretilen malzemelerin ağırlıkları Tablo 3' de gösterilmektedir.

Tablo 3. Deney parametreleri ve üretilen malzemelerin ağırlıkları

Deney Sayısı	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	Enjeksiyon Hızı (cm ³ /s)	Ütuleme Basıncı (Bar)	Ütuleme Hızı (cm ³ /s)	Vida Dönme Hızı (cm ³ /s)	Ağırlık (g)
1	30	30	40	40	50	11,517
2	30	30	40	40	60	11,513
3	30	30	40	40	70	11,517
4	30	60	60	60	50	11,514
5	30	60	60	60	60	11,525
6	30	60	60	60	70	11,603
7	30	90	80	80	50	11,595
8	30	90	80	80	60	11,589
9	30	90	80	80	70	11,605
10	60	30	60	80	50	11,602
11	60	30	60	80	60	11,621
12	60	30	60	80	70	11,604
13	60	60	80	40	50	11,561
14	60	60	80	40	60	11,555
15	60	60	80	40	70	11,556
16	60	90	40	60	50	11,564
17	60	90	40	60	60	11,563
18	60	90	40	60	70	11,568
19	90	30	80	60	50	11,642
20	90	30	80	60	60	11,627
21	90	30	80	60	70	11,597
22	90	60	40	80	50	11,572
23	90	60	40	80	60	11,580
24	90	60	40	80	70	11,582
25	90	90	60	80	50	11,605
26	90	90	60	40	60	11,630
27	90	90	60	40	70	11,600

Farklı işleme parametrelerinde üretimi gerçekleştirilen malzemelerin ağırlıkları (Tablo 3) incelendiğinde en düşük ağırlıkta üretilen ürünün 11,513 gram, en büyük ürünün ağırlığı ise 11,642 gram ölçülmüştür. Yapılan çalışmada farklı parametrelerde üretilen ürünlerin üzerinde üretim parametrelerine göre yüzey kalitesinde çapak ve gaz boşluğu oluşabilmektedir. Şekil 4' de en küçük ağırlık ve en büyük ağırlık ile üretilen malzemelerin optik görüntüsü verilmektedir. Optik görüntüler incelendiğinde en küçük ağırlık olan üründe çapak oluşumunun görülmediği (Şekil 4.a), en büyük ağırlıkta üretilen ürünün ise oldukça çapaklı (Şekil 4. b) olduğu görülmektedir. Ürünün çapaklı olması yüzey kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Yapılan çalışmada bütün parametrelerde üretilen ürünlerin yüzeylerinde gaz boşluğu görülmemiştir.



Şekil 4. Farklı üretim parametreleri sonrası en küçük ve en büyük ağırlıklarda üretimi gerçekleştirilen ürünlerin fotoğraf görüntüsü. a) En küçük ağırlıkta üretilen ürün, b) En büyük ağırlıkta üretilen ürün.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

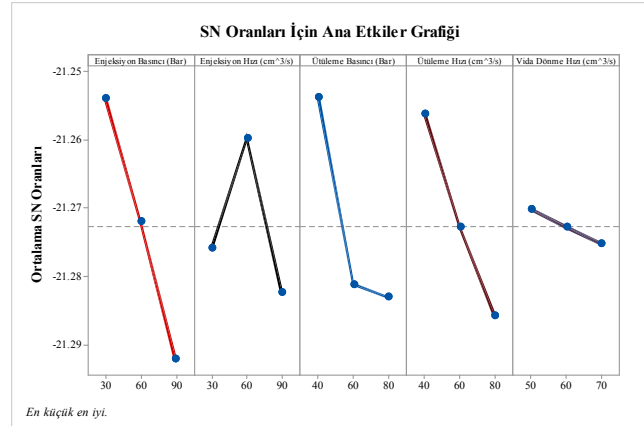
3.1. Sinyal/Gürültü Oranlarının Analizi

Kontrol faktörlerinin optimizasyonunda Sinyal/Gürültü oranları kullanılmaktadır. Sinyal/Gürültü oranlarının analizi Minitap 2018 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taguchi L_{27} deney tasarımına göre en düşük ağırlık için en ideal parametrelerin hesaplanmasında en küçük en iyidir durumuna göre elde edilen sinyal/gürültü oranı Tablo 4' de ana etkiler grafiği ise Şekil 5' de gösterilmektedir. Ana etkiler grafiği incelendiğinde dikeyde en yüksek nokta olan en etkili parametredir. Grafik de ürünün ideal bir şekilde üretilmesi için gerekli olan parametreler belirlenmektedir [22].

Tablo 4. Farklı parametrelerde üretilen PE+EVA ürünün sinyal gürültü oranları.

Seviye	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	Enjeksiyon Hızı (cm^3/s)	Ütülleme Basıncı (Bar)	Ütülleme Hızı (cm^3/s)	Vida Dönme Hızı (cm^3/s)
1	-21,254	-21,276	-21,254	-21,256	-21,270
2	-21,272	-21,260	-21,281	-21,273	-21,273
3	-21,292	-21,282	-21,283	-21,286	-21,275
Delta	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01
Sıra	1	4	3	2	5

Tablo 4 incelendiğinde seçilen parametrelerin analizinin gerçekleştirilmesi ile sinyal gürültü oranlarına göre en ideal parametreler enjeksiyon basıncı, ütülleme basıncı, ütülleme hızı ve vida dönme hızı için Seviye 1, enjeksiyon hızı için ise Seviye 2 olarak belirlenmiştir. Tablo 4' deki değerlerin altında "Sıra" kısmında da görüldüğü gibi etki değerlerine göre sıralama yapılmıştır.



Şekil 5. S/N oranları için ana etkiler grafiği

3.2. ANOVA Metodu

Anova, deneysel çalışmada kullanılan kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek için kullanılan istatistiksel bir metottur. Deney parametrelerinin üretilen malzemelerin ağırlığı üzerine birbirleri ile etkileşimlerini incelemek için Anova (Minitap 2018) kullanılmıştır [23]. Ağırlık değerleri için Anova sonuçları Tablo 5' de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen analiz % 95 güven ve %5 anlamlılık seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucuna göre elde edilen sonuçlar % 79,42 güven düzeyindedir. Bu oran literatürde belirtilen kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmaktadır [24]. Anova da kontrol faktörlerinin önemi her kontrol faktörünün F değeri ile belirlenir. Anova sonuçlarına göre en etkili parametre % 32,18 ile enjeksiyon basıncı, en düşük etkili parametrenin ise % 1,31 ile vida dönme hızı olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Anova varyans sonuçları

Kaynak	DF	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Değer	P-Değer
Enjeksiyon Basıncı (Bar)	2	0,011614	32,18%	0,009955	0,004977	10,72	0,001
Enjeksiyon Hızı (cm ³ /s)	2	0,004317	11,96%	0,003559	0,001779	3,83	0,044
Ütüleme Basıncı (Bar)	2	0,008567	23,74%	0,007920	0,003960	8,53	0,003
Ütüleme Hızı (cm ³ /s)	2	0,003694	10,24%	0,003966	0,001983	4,27	0,033
Vida Dönme Hızı (cm ³ /s)	2	0,000472	1,31%	0,000472	0,000236	0,51	0,611
Hata	16	0,007427	20,58%	0,007427	0,000464		
Total	26	0,036091	100,00%				

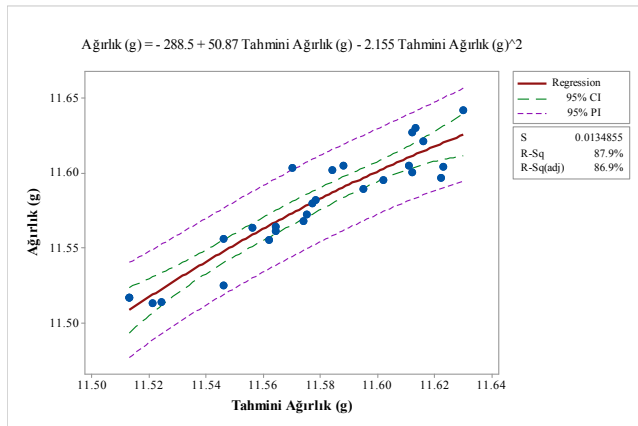
3.3. Malzeme Ağırlığının Belirlenmesi İçin Regresyon Analizi

Regresyon analizleri, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiye sahip çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizi için gerçekleştirilir [12, 17]. Çalışmada malzeme ağırlığını belirlemek için tahmini eşitlikler regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Tablo 6' da regresyon eşitliği görülmektedir.

Tablo 6. Malzeme ağırlığının hesaplanması için elde edilen tahmini eşitlikler

Ortalama ağırlık formülü	
Ağırlık (g)	= 11,3830
	+ 0,000782 Enjeksiyon basıncı (Bar)
	+ 0,000082 Enjeksiyon hızı (cm ³ /s)
	+ 0,000975 Ütüleme basıncı (Bar)
	+ 0,000864 Ütüleme hızı (cm ³ /s)
	+ 0,000525 Vida dönme hızı (cm ³ /s)

Deneysel çalışmadan elde edilen ürünlerin ağırlık değerleri Minitap 2018 programında analiz yapılarak ürünlerin tahmini ağırlıkları hesaplanıp deneysel ve istatistiksel ağırlık grafiği oluşturulmuştur. Ağırlık ve tahmini ağırlık grafiği Şekil 6' da gösterilmektedir.

**Şekil 6.** Ağırlık ve Tahmini ağırlık grafiği

Grafikdeki değerler içten dışa doğru sıralandığında regresyon grafiğine yakın olan noktalar analizin doğruluğunu göstermektedir. Noktalar ne kadar regresyon çizgisine yakınsa güvenilirliği o derece iyidir. CI (Confidence Interval) ile gösterilen değerler güven aralığını (% 95), PI (Predict Interval) ile gösterilen değerler ise tahmini değerlerin aralığını göstermektedir.

3.4 Ortalama Ağırlık Tahminleri

Ortalama ağırlık tahminlerini hesaplamak için öncelikle üretilen ürünlerin ağırlıkları ortalaması gerekmektedir. Ürünlerin ortalama ağırlıkları 11,578 (T_G) olarak hesaplanmıştır. Taguchi analizi ile elde edilen ortalama yanıt tablosu Tablo 7' de verilmektedir. Anlamlılık yanıt tablosundan her faktörün ekti parametresindeki değerleri belirlenir. Anlamlılık yanıtlarına göre ideal parametreler sırası ile $A_1B_2C_1D_1E_1$ faktörleri olarak görülmektedir. Bu değerler Eşitlik 4' de yerine konulduğunda tahmini ortalama ağırlık değeri hesaplanmıştır.

Tablo 7. Ortalamalar için yanıt tablosu.

Seviye	Enjeksiyon Basıncı (Bar)	Enjeksiyon Hızı (cm ³ /s)	Ütüleme Basıncı (Bar)	Ütüleme Hızı (cm ³ /s)	Vida Dönme Hızı (cm ³ /s)
	A	B	C	D	E
1	11,553	11,582	11,553	11,556	11,575
2	11,577	11,561	11,589	11,578	11,578
3	11,604	11,591	11,592	11,596	11,581
Delta	0,051	0,030	0,039	0,039	0,007
Rank	1	4	3	2	5

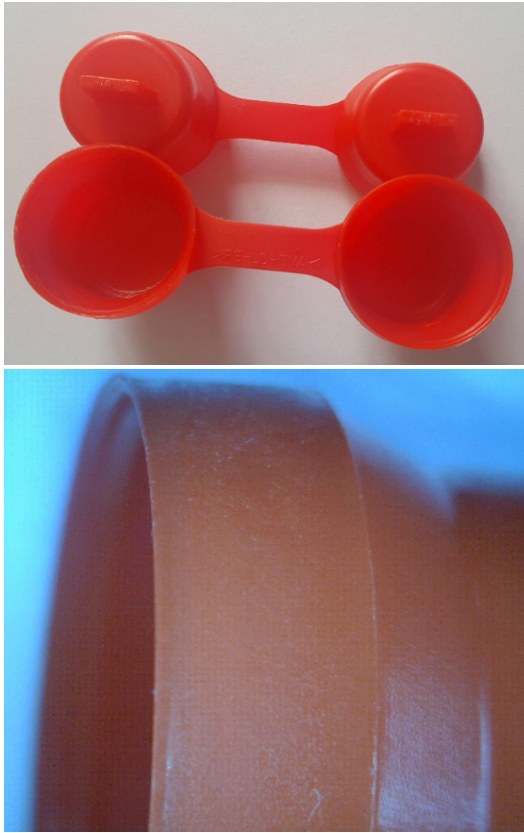
$$G_p = T_G + (A1 - T_G) + (B2 - T_G) + (C1 - T_G) + (D1 - T_G) + (E1 - T_G) \quad (4)$$

$$= 11,578 + (11,553 - 11,578) + (11,561 - 11,578) + (11,553 - 11,578) + (11,556 - 11,578) + (11,575 - 11,578)$$

$$= 11,578 - 0,025 - 0,017 - 0,025 - 0,022 - 0,003$$

$$= 11,486 \text{ g}$$

İstatiksel olarak ortalama ağırlık tahminleri 11,486 gram olarak hesaplanmıştır. Uygulamalı olarak ise ideal parametreler ile ürünün üretimi üç defa gerçekleştirilerek ağırlıkları ölçülmüş (11,518 g, 11,509 g, 11,511 g) ve ortalamaları alınarak ideal parametrenin doğruluk kontrolü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama ağırlık değeri 11,513 gram hesaplanmıştır. Ürünlerin deneysel ve istatiksel ağırlık farkı alınacak olursa 0,027 gram bir fark oluşmaktadır. Yapılan çalışma ile ortalama bir ürün ağırlığı için istatiksel olarak hesaplanan optimum parametrelerin ürünün ağırlığı için ideal bir parametre olduğu tespit edilmiştir. İdeal parametreler ile üretimi gerçekleştirilen ürün Şekil 7 'de gösterilmektedir.



Şekil 7. İdeal parametreler ile üretimi gerçekleştirilen malzemenin fotoğraf görüntüsü

İdeal parametre ile üretilen malzemelerin ağırlık bakımından hafif olduğu bu durumun ise hammadde kullanımının daha az kullanılarak baskı sayısının artacağı, üretim parametrelerinin ideal değerler kullanılarak üretilmesi ile ürünün özelliklerinde (çapak, gözenek, çarpılma vb) hiç bir değişiklik olmaması ve enjeksiyon makinesinin daha düşük basınçlarda çalışarak enerji tüketimini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışmanın sonucunda;

- Üretimi gerçekleşen ürünlerden en küçük ağırlıkta üretilen ürünün ağırlığı 11,513 gram, en büyük ağırlığın ise 11,642 gram olarak ölçüldüğü,
- Optik görüntüler incelendiğinde en küçük ağırlıkta üretilen üründe çapak oluşumunun görülmediği, en büyük ağırlıkta ise çapaklı olduğu,
- Sinyal gürültü oranlarına göre en ideal ürünün üretilmesi için belirlenen parametreler; enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı, ütüleme hızı ve vida dönme hızı için Seviye 1, enjeksiyon hızı için ise Seviye 2 olarak oluştuğu,
- Anova sonuçlarına göre bir ürünün ideal olarak üretilmesinde en etkili parametre % 32,18 ile enjeksiyon basıncı, en düşük etkili parametrenin ise % 1,31 ile vida dönme hızı olarak belirlendiği,
- Yapılan çalışma ile istatiksel olarak hesaplanan optimum parametrelerin ideal bir parametre olduğu,
- İdeal parametre ile üretilen ürünlerin ağırlık bakımından hafif yüzey kalitesi açısından düzgün olduğu,
- Ürünün üretiminde ideal parametrelerin kullanılması hammadde sarfiyatını azaltarak baskı sayısını artırdığı,
- PE + EVA karışımı ürünün ideal parametreler kullanılarak üretilmesi ile fiziksel özelliklerinde hiç bir değişiklik (çapak, gözenek, çarpılma vb) oluşmadığı,
- İdeal parametre değerlerinin düşük basınç değerlerinde olmasının enjeksiyon makinesinin harcadığı enerjiyi minimuma indirerek enerji tüketimini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyürek, A., Keçe A., Aksoy A. ve Öztürk N. (2009). Termoplastik ürünlerin yeni ürün devreye alma sürecinde bir yapay zeka yaklaşımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(1), 67-76.
- [2] Akyüz, Ö. F. (2001). Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş. Pagev Yayınları, İstanbul.
- [3] Keçe, A. (2006). *Yapay sinir ağları ile plastik enjeksiyon süreci başlangıç parametrelerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- [4] Çelik, H. Y., Özek, C. ve Gürgüze G. (2010). Delphi programlama dili kullanılarak plastik enjeksiyon kalıplarında ürün maliyet hesabı ve yeni bir paket programın geliştirilmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5(3).

- [5] Malloy, A.R., (1994). *Plastic part design for injection molding*, HANSER
- [6] Menges, M. M. (2001). *How to make injection molds*, 3. Edition, HANSER.
- [7] Koyun, Ç. (2005). *Bilgisayar destekli plastik enjeksiyon kalıp tasarımı ve analizi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [8] Karaağaç, İ. ve Özdemir, A. (2005). Plastik enjeksiyon kalıplarında klasik maliyet hesabına algoritmik bir yaklaşım, *G.Ü Fen Bilimleri Dergisi* 18(4), 657-669.
- [9] Çelik, Y. H. ve Özek, C. (2009). Plastik enjeksiyon kalıplarında maliyet hesabı için yeni bir programın geliştirilmesi, *5. Uluslararası ileri teknoloji sempozyumu*, 13-15 Mayıs Karabük/Türkiye.
- [10] Özek, C. ve Çelik, Y.H., (2009). Developing a new package program for manufacturing plastic injection moldings and cost calculation, *Journal of applied sciences research*, 5(12): 2375 – 2382.
- [11] Asiltürk, İ. ve Neşeli, S. (2012). Multi response optimisation of CNC turning parameters via Taguchi method-based response surface analysis. *Measurement*, 45, 785-794.
- [12] Nas E. ve Gökaya, H. (2017). Experimental and statistical study on machinability of the composite materials with metal matrix Al/B4C/Graphite. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48, 5059-5067.
- [13] Kıvak, T. (2014). Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. *Measurement*, 50, 19-28.
- [14] Chen, H. Y., Tam, C. S., Chen, L. W. ve Zheng, Y. H. (1996). Application of the Taguchi method in the optimization of laser micro-engraving of photomasks. *International Journal of Materials & Product Technology*, 11, 333-344.
- [15] Ay, M. ve Turhan, A. (2010). Tornalama işleminde kesme parametrelerinin ve iş parçası uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 7, 55-67.
- [16] Yang, K. Y., Shie, R. J. ve Huang, H. C. (2006). Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end-milling process. *Materials and Manufacturing Processes*, 21(8), 832-837.
- [17] Cetin M. H., Ozcelik B., Kuram E. ve Demirbas E. (2011). Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method. *Journal of Cleaner Production*, 19(17), 2049-2056.
- [18] Şen, M., Genç, F., Uzun, C. ve Güven O. (2010). Düşük yoğunluklu polietilen ve etilen vinil asetat kopolimeri kullanılarak ısı ile büzülebilir tüplerin hazırlanması. *3. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi*, Kocaeli.
- [19] Takidis, G., Bikiaris, D. N., Papageorgiou, G. Z., Achilias, D. S. ve Sideridou, I. (2003). Compatibility of low-density polyethylene/poly(ethylene-co-vinyl acetate) binary blends prepared by melt mixing. *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 841.
- [20] Moly, K. A., Bhagawan, S. S. ve Thomas, S. (2002). Melt elasticity behaviour and extrudate characteristics of LLDPE/EVA blends: effect of blend ratio, compatibilisation and dynamic cross-linking. *Materials Letters*, 53, 346.
- [21] Chattopadhyay, S., Chaki, T. K. ve Bhowmick, A. K. (2000). Heat shrinkability of electron-beam-modified thermoplastic elastomeric films from blends of ethylene-vinylacetate copolymer and polyethylene. *Radiation Physics and Chemistry*, 59, 501.
- [22] Kara, F. (2018). Optimization of surface roughness in finish milling of AISI P20+S Plastic-Mold Steel. *Materials and technology*, 52(2), 195-200.
- [23] Şirin, E., Şirin, Ş., Turgut Y. ve Korkut, İ. (2015). Optimization of surface roughness using the taguchi method in milling of AISI D2 cold work tool steel. *Duzce University Science and Technology Review*, 3, 132-144.
- [24] Ross J. P., *Taguchi techniques for quality engineering*, McGrawHill International Book Company, Ohio, 1996.