



TAGUCHİ METODU İLE PLASTİK ENJEKSİYON PARÇALARDA ÇARPILMANIN EN AZA İNDİRİLMESİ

(TO MINIMIZE WARPAGE IN PLASTIC INJECTION PARTS
BY TAGUCHI METHOD)

Volkan ERDEM*, Melih BELEVİ*, Cemal KOÇHAN*

ÖZET/ABSTRACT

Bu makalenin amacı Taguchi metodu kullanılarak plastik parçaların üretiminde etkili olan; farklı ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı parametreleri ile üründe oluşan çarpılmanın en aza indirilmesidir. Kontrol parametreleri olarak ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri, yolluk tasarımı kullanılmış ve deney kalıbı tasarlanıp imal edilmiştir. Kalıp imalatı sonrasında çarpılma değerlerinin elde edilmesi için üretilen kalıp kullanılarak plastik enjeksiyon yöntemiyle üretim yapılmıştır. Plastik malzeme olarak polipropilen (PP) Petoplen MH220 kullanılmıştır. Kalıp tasarımı aşamasında ve çarpılma değerlerinin kullanılmasında üç seviyeli deney tasarımına dayanan Taguchi metodu kullanılmıştır. Taguchi'nin ortogonal dizini, Sinyal/Gürültü (S/G) oranı ve varyans analizi çarpılmayı etkileyen kontrol parametrelerinin optimum seviyelerini bulmak için kullanılmıştır. Kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri ile yapılan doğrulama testi sonuçları plastik enjeksiyon kalıplama işleminde çarpılmaların azaltılmasında Taguchi Metodunun uygun bir metot olduğunu göstermiştir.

The objective of this paper consist of minimization of the warpage in terms of process parameters of the plastic parts have different product design, gate numbers, gate dimensions, runner design using Taguchi method. A mold designed and manufactured considering the control parameters such as product design, gate numbers, gate dimensions, runner design. After mold manufacturing, plastic parts manufactured by plastic injection molding process in this tool to exploite the warpage data. The polymeric material is selected polypropylene (PP) Petoplen MH 220. Taguchi method was used to mold design stage and exploiting warpage data based on three level of experimental design. Orthogonal arrays of Taguchi, the signal-to-noise (S/N) ratio, the analysis of variance (ANOVA) are utilized to find the optimal levels and the effect of control parameters on warpage. Confirmation test with the optimal levels of control parameters are shown that the Taguchi method is very suitable method for minimization of warpage at plastic injection molding process.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Plastik enjeksiyon, çarpılma, kalıp tasarımı, Taguchi metodu, varyans analizi.
Plastic injection, warpage, mold design, Taguchi method, variance analysis

* Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

1. GİRİŞ

Plastik Enjeksiyon ile polimer işleme yöntemi, plastik parçaların üretiminde kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. (Kurtaran vd., 2005). Ürün kalitesi; ürün tasarımı, kullanılan malzeme, kalıp tasarımı ve üretim şartlarının fonksiyonudur (Subramanian vd., 2005). Plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş parçalarda en sık karşılaşılan problemlerden biri çarpılmadır. Çarpılma sonucunda eğilen veya burulan parçanın sadece ölçülerinde değil dış hatlarında ve açılarında da bozulma görülür. Plastik enjeksiyonla üretilen parçalardaki çarpılmayı en aza indirmek için, tasarım aşamasından son ürünün elde edilmiş aşamasına kadar her aşamada en uygun kararlar verilmelidir (Kurtaran vd., 2005). Zaman ve maliyet kadar; nem, üretim sürecindeki sıcaklık değişimleri, hava akımı, soğutma suyundaki debi değişimi gibi kontrol edilemeyen veya zor kontrol edilen ayrıca faktör etkileşimleri gibi etkenler için her aşamada doğru karar verilmesi karşılaşılan zor bir problem olarak görünmektedir. Bu nedenle plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalardaki çarpılma kusurunu en aza indirmek için, çarpılmaya etki eden parametreler üzerine çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç, plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünlerde meydana gelen çarpılma miktarına Taguchi metodu ve varyans analizi yöntemini kullanarak ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüsü ve yolluk tasarımının etkilerini araştırmak ve optimum koşulları tespit edip buna göre tasarlanan kalıp ile çarpılmayı en aza indirmektir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Numune üretimi için Petkim Petrokimya A.Ş. firmasının ürettiği MH 220 Polipropilen malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzeme için üretici tarafından verilen teknik özellikler Çizelge 1 ile verilmiştir.

Çizelge 1. Petoplen MH 220 malzemeye ait teknik özellikler (PETKİM).

Özellik	Birim	Değer	Tets Yöntemi
Erime Akış Hızı (MFR) (2160g, 230 °C)	g/100 dk	2,0-3,0	ASTM D-1238
Kirlilik, 100g	Adet	Maksimum 10	TM-113
Balık gözü	Adet/g	Maksimum 11	TM-125
Akma mukavemeti	MPa	33	ASTM D-638
Kopma mukavemeti	MPa	44	ASTM D-638
Renk B10 D 65	-	1,81	Hunter Lab CQ.

Plastik enjeksiyon ile üretimde kullanılacak kalıp ve lokma Ç 1050 standart çeliğinden üretilmiş olup teknik özellikleri Çizelge 2 ile verilmiştir.

Çizelge 2.Ç 1050 Çeliğinin teknik özellikleri (MKE Normu).




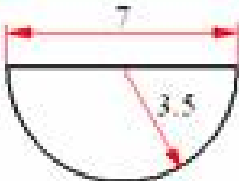
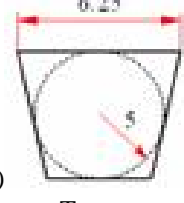
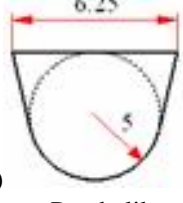
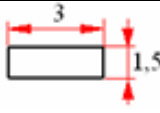
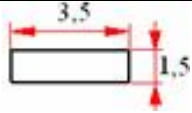
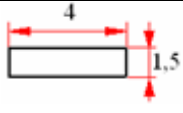
Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopma uzaması %	Sertlik (HB)
333	588-785	(en az) 18	260

2.2 Yöntem

2.2.1 Taguchi L9 Deney Tasarımı

Deney tasarımının amacı hedeflenen veya araştırılan sonuçları ve bu sonuçlardan meydana gelen sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılan deney grubunu etkili bir şekilde planlamaktır. Bu amaçla çeşitli deney tasarım matrisleri oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada çarpılmaya etkileri araştırılan ürün tasarımı, giriş sayısı, giriş ölçüleri ve yolluk tasarımı kontrol faktörlerinin her biri üç seviyelidir. Çizelge 3 te çalışmada kullanılan kontrol faktörleri ve seviyeleri görülmektedir.


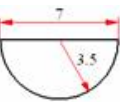
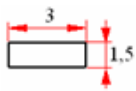

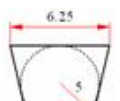
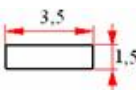

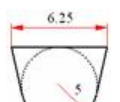
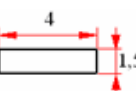

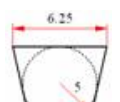
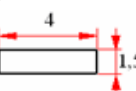

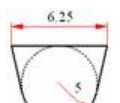
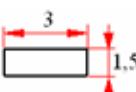

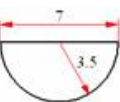
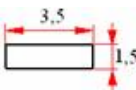

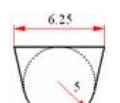
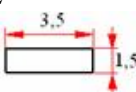

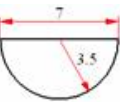
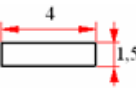

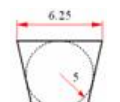
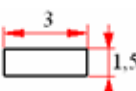
Çizelge 3. Çalışmada kullanılan kontrol faktörleri ve kontrol faktörlerine ait seviyeler.

Seviyeler Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Ürün Tasarımı (A)	(1)  Tip A	(2)  Tip B	(3)  Tip C
Giriş Sayısı (B)	(1) Bir	(2) İki	(3) Dört
Yolluk Tasarımı (C)	(1)  Yarım Daire	(2)  Trapez	(3)  Parabolik
Giriş ölçüleri (D)	(1)  3×1,5 (mm)	(2)  3,5×1,5 (mm)	(3)  4×1,5 (mm)

Normalde bu üç seviyeli dört faktörün etkilerini tam olarak belirleyebilmek için $3^4 = 81$ deney yapmak gerekmektedir. Taguchi'nin deney tasarım matrislerinde ortogonal dizinler kullanması bu üç seviyeli dört faktörün çarpılma üzerindeki etkilerini 9 deney ile belirleyebilmeye olanak sağlamaktadır. Deney tasarım matrislerinde ortogonal dizinlerin kullanılması hem zaman hem de maliyet açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Şirvancı, 1997).

Çizelge 4a'da Taguchi L9 ortogonal deney tasarım matrisi tanımlanmıştır. Birinci sütun deney sırasını göstermektedir. Kontrol faktörü olan ürün tasarımı, giriş sayısı, dağıtıcı kanal (yolluk) tasarımı ve giriş tasarımı (ölçüleri) yerine A, B, C, D harflerini, kontrol faktörlerinin seviyelerini belirtmek için ise 1, 2, 3 sayıları kullanarak Çizelge 4a, Çizelge 4b ile verilen matris formunda ifade edilmiştir.

Çizelge 4a. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı matrisinin tanımlaması.

L9	Ürün Tasarımı (A)	Giriş Sayısı (B)	Yolluk Tasarımı (C)	Giriş Ölçüleri (D)
Deney 1	1 Tip A 	1 Bir	1 	1 
Deney 2	1 Tip A 	2 İki	2 	2 
Deney 3	1 Tip A 	3 Dört	3 	3 
Deney 4	2 Tip B 	1 Bir	2 	3 
Deney 5	2 Tip B 	2 İki	3 	1 
Deney 6	2 Tip B 	3 Dört	1 	2 
Deney 7	3 Tip C 	1 Bir	3 	2 
Deney 8	3 Tip C 	2 İki	1 	3 
Deney 9	3 Tip C 	3 Dört	2 	1 

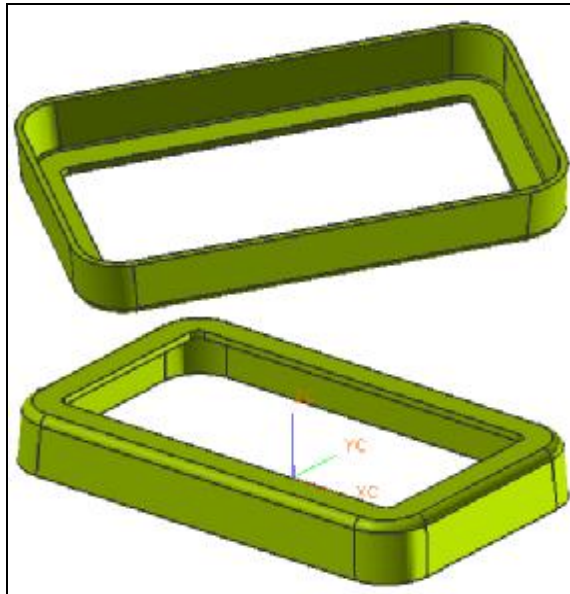
Çizelge 4b. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı matrisi.

L9	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

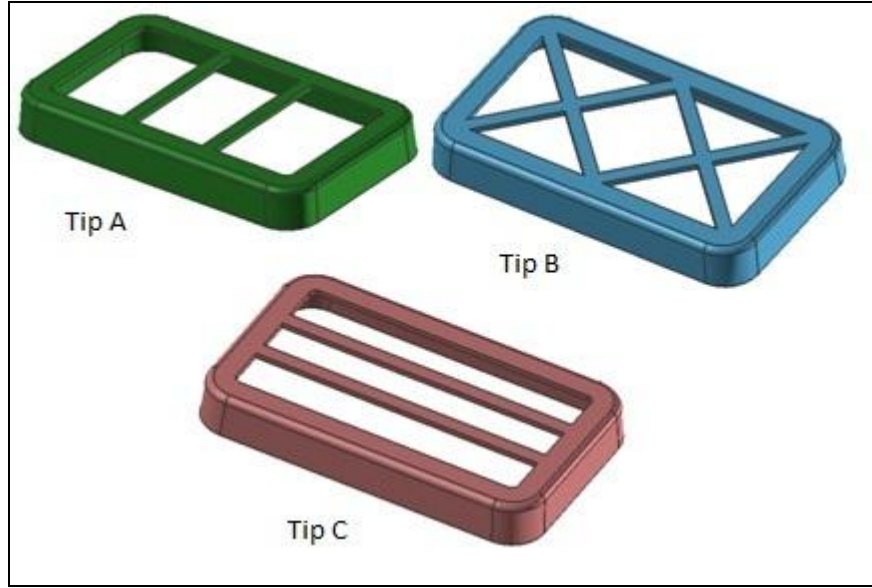
Deneylerden elde edilen sonuçlar ile çarpılma miktarı ve çarpılmanın değişkenliği üzerine faktör ve seviyelerin etkisini görmek için, Qualitek-4 programı ile S/G analizi (sinyal/gürültü analizi) ve varyans analizi uygulanmıştır. Çarpılma miktarı ve S/G oranlarının hesaplanmasında, çarpılma miktarı ve çarpılmanın üründen ürüne değişimi en aza indirilmeye çalışıldığından “en küçük en iyi” karakteristiği kullanılmıştır.

2.2.2. Ürün Tasarımı

Ürün tasarımı Unigraphics NX 3 Moldwizard paket programı ile yapılmıştır. Plastik enjeksiyon ile üretim sonrası meydana gelen çarpımalara Çizelge 4a’da gösterilen ürün tasarımı, giriş sayısı, yolluk tasarımı, giriş ölçülerinin etkisini araştırmak için ön tasarım aşamasında ortası boş bir tasarım gerektiği düşünülmüştür. Şekil 1’de ön tasarım aşamasında tasarlanan ürün görülmektedir. Sonraki adımda ürünün temel geometrisini bozmadan, estetik açıdan parçanın görünümüne katkıda bulunacak ve temel tasarımda ortaya çıkma olasılığı olan çarpımları etkileyecek profiller tasarıma 90°, 45° ve 0° lik açılar ile eklenmiştir, Şekil 2. Yeni tasarımlar Tip A, Tip B ve Tip C olarak adlandırılmıştır.



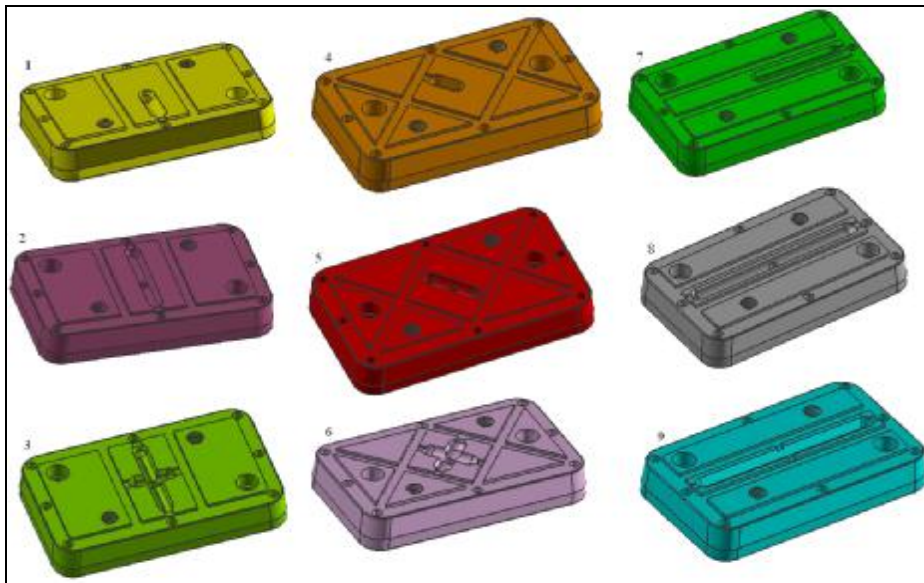
Şekil 1. Ön tasarım aşamasında düşünülen ürün tasarımı.



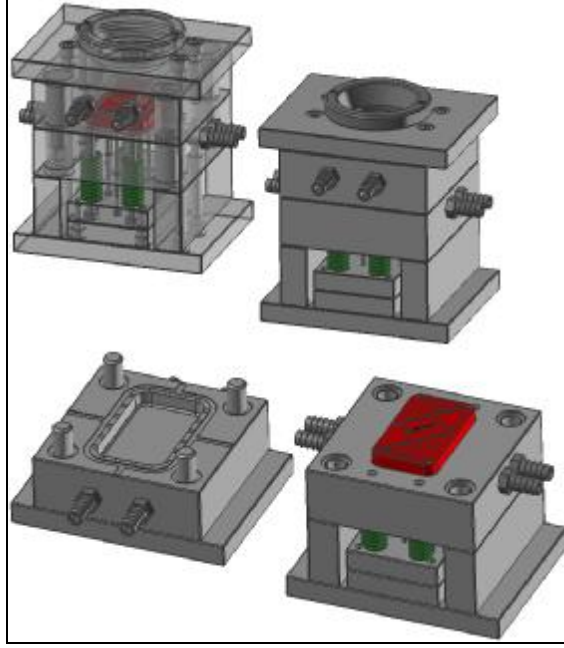
Şekil 2. Ürün tasarımları.

2.2.3. Kalıp Tasarımı ve Üretimi

Kalıp tasarımı Unigraphics NX 3 Moldwizard paket programı ile yapılmıştır. Kalıp tasarımı aşamasında ilk olarak Çizelge 4a'de gösterilen dokuz deney için deney tasarımı matrisi dikkate alınarak hazır kalıp seti üzerine yerleştirilecek olan lokma tasarımları yapılmıştır. Lokmaların tasarımının tamamlanmasından sonraki adımda plastik parçaların kalıp içerisinde soğutulmasında kullanılan soğutma sistemi, üretilen plastik parçaların kalıp dışına itilmesinde kullanılan itici sistemi ve plastik parçaların üretimi sırasında kalıp boşluğundaki havanın tahliyesi için oluşturulan havalandırma sistemi tasarımı yapılarak kalıp tasarımı işlemi tamamlanmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'de deneylerde kullanılacak olan lokma tasarımları ve kalıp tasarımı görülmektedir.



Şekil 3. Lokma tasarımları.



Şekil 4. Kalıp tasarımı.

Tasarımı yapılan kalıp üretiminde 146x146 mm boyutunda hazır set kullanılmıştır. Üretim sırasıyla CNC dik işlem merkezi ve torna tezgahı kullanılması sonrasında vida dişi açılması, raybalama ve cilalama işlemleri ile yapılmıştır. Üretimi yapılan bir kalıbın montajdan önce ve montajdan sonraki durumları Şekil 5 ve Şekil 6 ile gösterilmiştir.



Şekil 5. Üretilen bir kalıbın demonte görünümü.



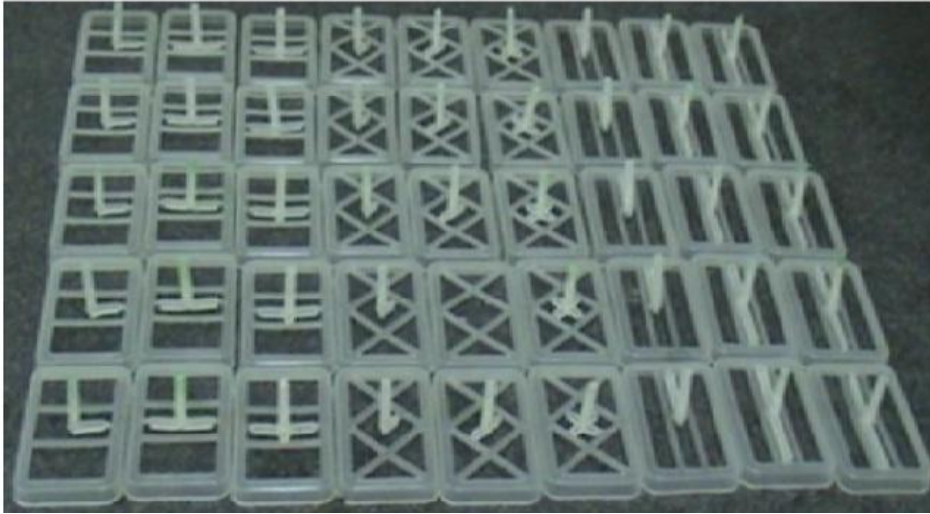
Şekil 6. Üretilen bir kalıbın monte edilmiş durumu.

2.2.4. Numune Üretimi

Üretim SM 90 marka plastik enjeksiyon tezgahında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretim parametreleri Çizelge 5 ile verilmiştir. Üretim işleminde her bir deney için toplam 20 baskı yapılmıştır. İlk 15 baskıda üretilen numuneler, tezgah henüz düzenli rejime geçmediğinden hurda malzeme olarak ayrılmış ve ölçme işleminde kullanılmamıştır. Böylece dokuz deney için toplam 45 adet numune üretimi yapılmıştır, Şekil 7. Deneylerde kullanılan lokmalar rastlantısal olarak tezgaha bağlanmıştır. Plastik enjeksiyon ile üretime 2 numaralı lokmadan başlanmış sonra sırası ile 8, 6, 1, 5, 9, 4, 7 ve 3 nolu lokmalar kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Her bir deney sonrasında kalıp sıcaklıklarının deney sonuçlarını olumsuz etkilememesi için 20 dakika beklenmiştir.

Çizelge 5 Enjeksiyon işleminde kullanılan imalat parametreleri

Enjeksiyo süresi (s)	1
Enjeksiyon basıncı (%)	10
Tutma süresi (s)	3
Tutma basıncı (%)	20
Soğutma süresi (s)	5
Soğutma suyu sıcaklığı (C°)	20
Soğutma suyu debisi (l/dak)	15



Şekil 7. Üretilen deney numuneleri.

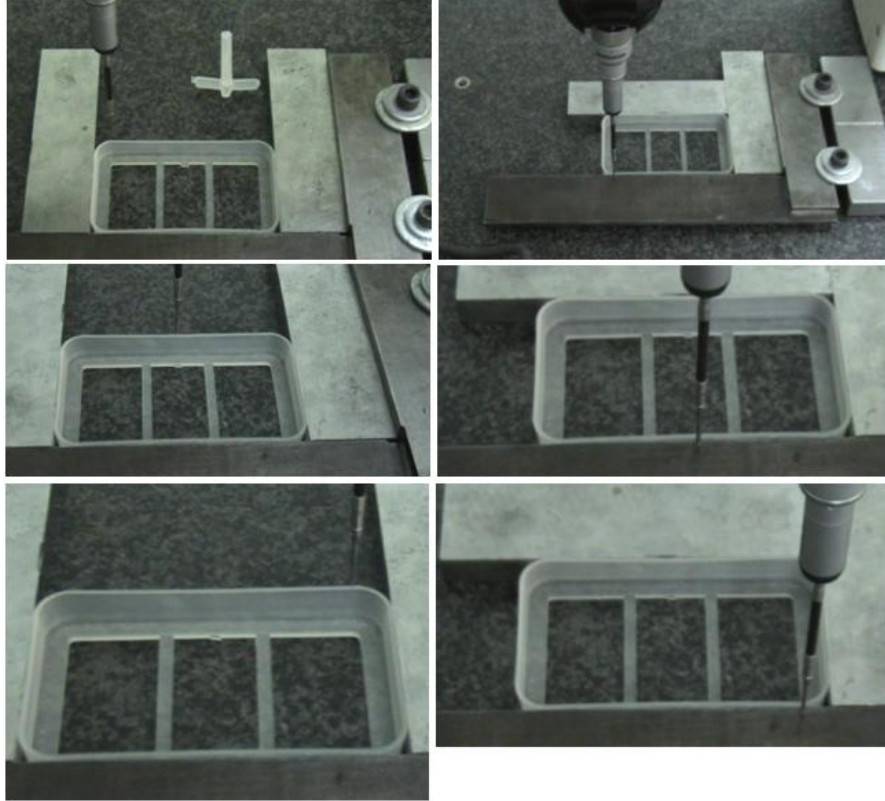
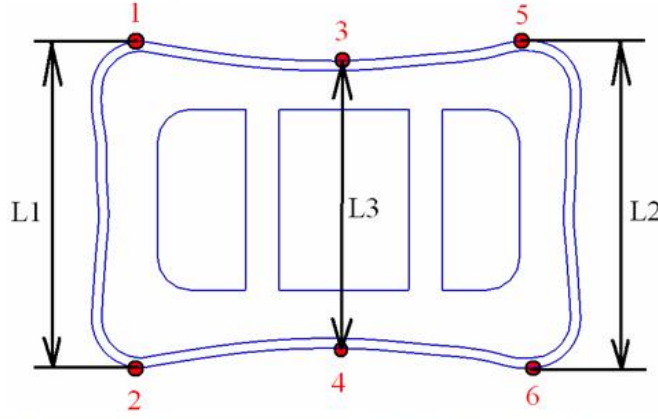
3. TARTIŞMA

3.1. Çarpılmanın Ölçülmesi

Plastik enjeksiyon işlemi sonrasında üretilen deney numuneleri 48 saat dinlenmeye bırakılarak ölçüm işlemine hazır hale getirilmişlerdir. Çarpılmalar, numune üzerinden 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm işlemi başlangıcında ilk olarak numunelerin gözle muayenesi yapılmış, maksimum çarpılmanın nerede meydana geldiği gözlenmiş ve maksimum çarpılmanın hesaplanabilmesi için hangi noktalardan ölçüm alınması gerektiğine karar verilmiştir. Şekil 8'de çarpılmanın hesaplanabilmesi için ölçüm alınacak

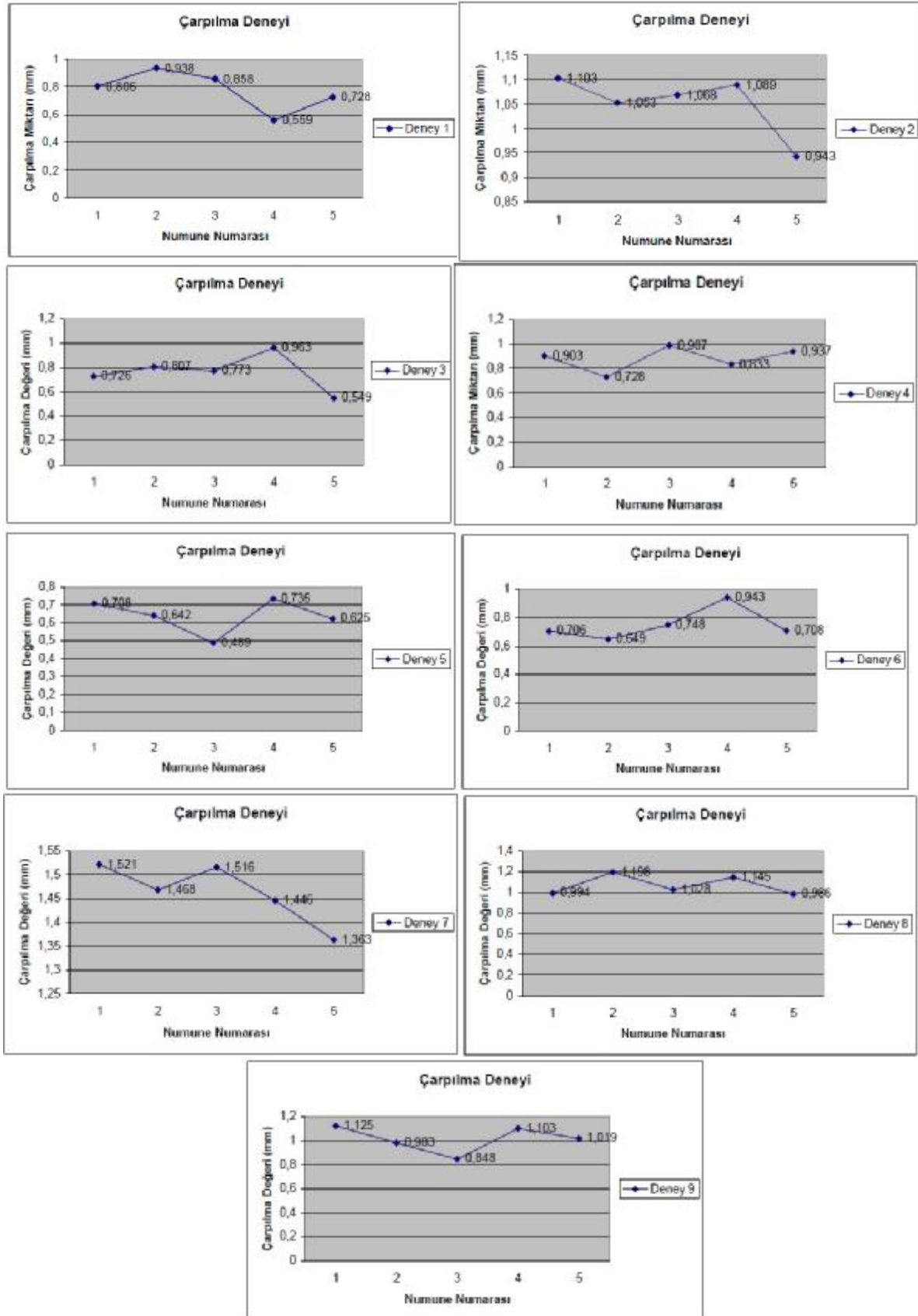
noktalar ve ölçüm yapıları görülmektedir. Buna göre tek taraflı çarpılma miktarı W aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$W = [(L1 + L3)/2 - L2]/2 \quad (1)$$



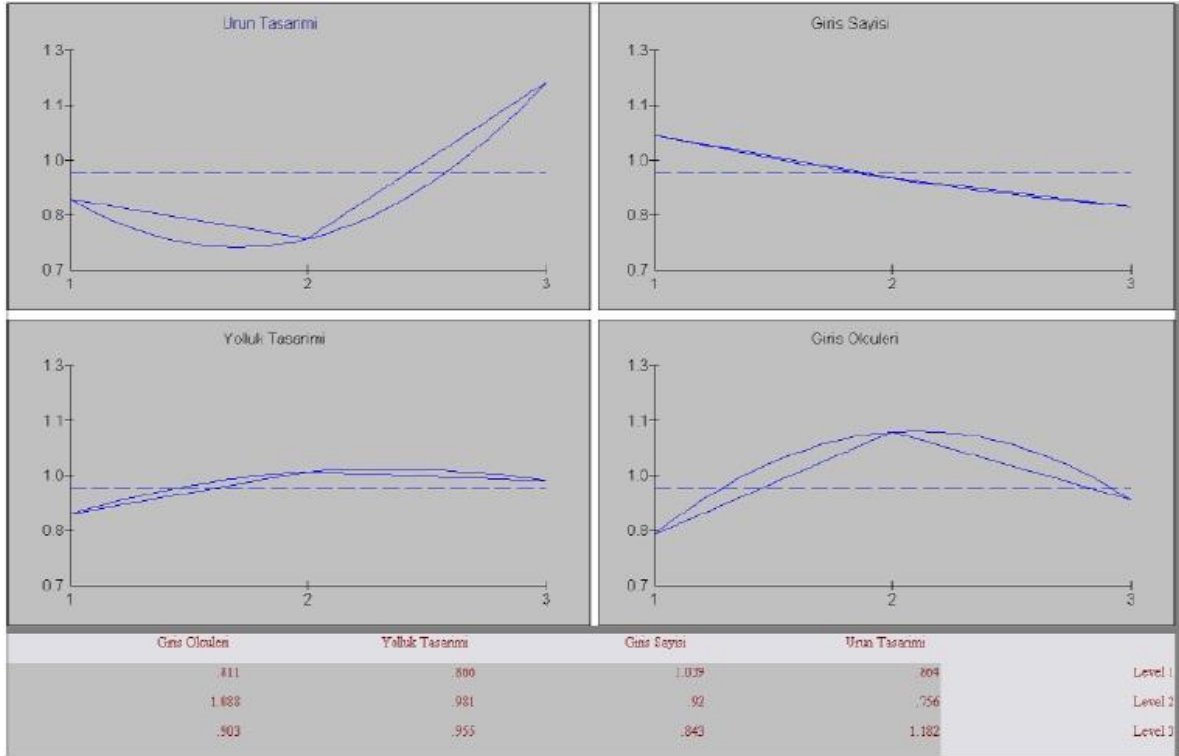
Şekil 8. Çarpılmanın ölçülmesi

Uygulanan deneylerin sonuçları Şekil 9 da verilmiştir.

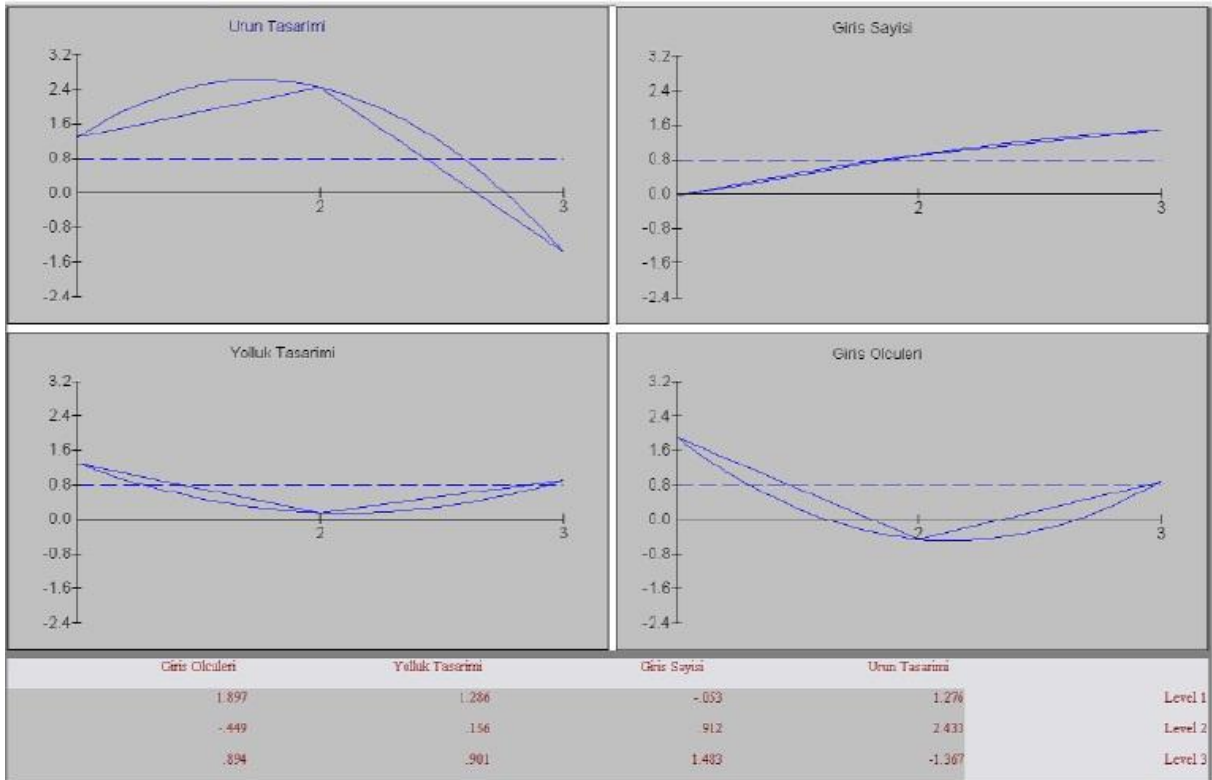


Şekil 9. Deney sonuçları.

Tüm faktör ve seviyelerin çarpılma miktarı üzerine etkileri Şekil 10 ile, S/G üzerindeki etkileri ise Şekil 11 ile verilmiştir.



Şekil 10. Tüm faktör ve seviyelerin çarpılma miktarı üzerine etkileri.



Şekil 11. Tüm faktör ve seviyelerin S/G üzerine etkileri.

Çizelge 6 ile deneylerden elde edilen çarpılma sonuçlarının ortalamaları verilmiştir. Bu ortalamalar varyans analizinde kullanılmıştır.

Çizelge 6. Deney grupları ve tüm deney için ortalama çarpılma.

L9	Faktörler ve Seviyeleri				Ortalama Deney Sonuçları (mm) (R _i)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	0.777
2	1	2	2	2	1.051
3	1	3	3	3	0.763
4	2	1	2	3	0.877
5	2	2	3	1	0.639
6	2	3	1	2	0.750
7	3	1	3	2	1.462
8	3	2	1	3	1.070
9	3	3	2	1	1.015
Tüm deney sonuçlarının ortalaması (mm) \bar{R}					0.934

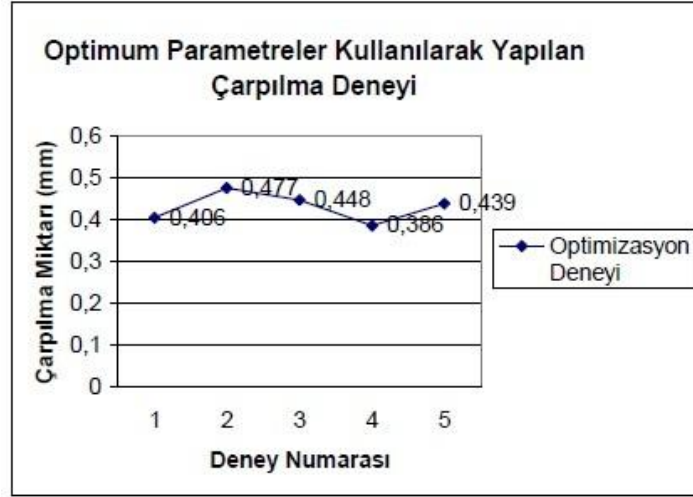
Çizelge 7 de verilen varyans analizi sonucu incelendiğinde çarpılma miktarını etkileyen en önemli faktörün %50,196'lık bir payla ürün tasarımı olduğu bunu %19,837 ile giriş ölçülerinin, %9,313 ile giriş sayısının ve %2,974 ile yolluk tasarımının takip ettiği görülmektedir.

Çizelge 7. Varyans analiz sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (DOF)	Kareler Toplamı (S)	Varyans (V)	F-Oranı (F)	Toplam (S')	Yüzde % (P)
Ürün tasarımı	2	1,476	0,738	63,467	1,453	50,196
Giriş sayısı	2	0,292	0,146	12,59	0,269	9,313
Yolluk tasarımı	2	0,109	0,054	4,701	0,086	2,974
Giriş ölçüleri	2	0,597	0,298	25,687	0,574	19,837

4. SONUÇ

Deney sonuçlarının varyans analizi göstermektedir ki çarpılma miktarını etkileyen en önemli faktör %50,196 lık bir payla ürün tasarımıdır. Bunu %19,837 ile giriş ölçüleri, %9,913 ile giriş sayısının, %2,974 ile yolluk tasarımı izlemektedir. Çalışma sonucu göstermektedir ki Tip B ürün tasarımı, 4 giriş sayısı, yarım daire kanal tasarımı ve 3,5x1,5 mm² lik giriş ölçüsü ile ürünlerde oluşacak çarpılma miktarının ve çarpılmanın değişiminin en az olacaktır. Bunu doğrulamak için sayılan parametreler dikkate alınıp doğrulama lokması üretilmiştir. Aynı şartlarda numune üretimi yapıp ölçüm alınmıştır. Optimum değerler ile üretilen deney numunelerinden elde edilen sonuçlar Şekil 12 ile verilmiştir.



Şekil 12. Optimum parametrelili doğrulama deneyi sonuçları.

Doğrulama deneyinin sonuçları değerlendirildiğinde elde edilen parametrelerin optimum olduğu, bu parametreler kullanılarak çarpılma miktarı ile çarpılma varyansının en aza indiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

“Basics of mold construction” (Son ulaşım: May 3 2006): [http://www.plasticmoldmakingdata.com/PDFfiles/Mold Construction Basics Part 1.pdf](http://www.plasticmoldmakingdata.com/PDFfiles/Mold%20Construction%20Basics%20Part%201.pdf).

“MKE Normu Özel Nitelikte Çelik Türleri Kataloğu” (1978):, Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu, MKE Basımevi, Ankara

Fontecchio, M.(2002): “Quench Probe and Quench Factor Analysis of Aluminum Alloys in Distilled Water”, Yüksek Lisans Tezi,.Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, ABD.

Kurtaran, H., Özçelik, B., Erzurumlu, T. (2005): “Warpage optimization of a bus ceilinglamp base using neural network model and genetic algorithm”, Materials ProcessingTechnology, 169, 314-319.

“MH 220 polipropilen ürün özelliği”, Petkim Petrokimya Holding A.Ş. Genel Müdürlüğü, UR.17-SD-U1764.0, 2007.

Subramanian, N. R., Leon, L. T., Seng, Y. A. (2005): “Optimizing warpage analysis for an optical housing”, Mechatronics, 15, 111-127.

Şirvancı, M. (1997): “Kalite için deney tasarımı ‘Taguchi yaklaşımı’ ”. İstanbul, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti.,

Tang, S. H., Tan, Y. J., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., Ismail, N., Samin, R. (2007): “The use of Taguchi method in the design of plastic injection mould for reducing warpage”, Journal of Materials Processing Technology, 182, 418-426.