

# PLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE ÇAPAKLANMA MİKTARININ GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİYLE TAHMİN EDİLMESİ

<sup>1</sup>Mehmet DEMİR\*, <sup>2</sup>Ferhat CERİTBİNMEZ, <sup>1</sup>Erdoğan KANCA

<sup>1</sup>Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fak. İskenderun - Hatay -TÜRKİYE

\*<sup>2</sup> Fil Filtre Ltd. Şti. – İskenderun – HATAY - TÜRKİYE

## Özet:

Plastik enjeksiyon kalıplılığında başlıca problemlerden birisi çapaklanmadır. Çapak miktarlarının asgari düzeye indirilmesi imalatçılar için maddi külfetler getirmektedir. Bu yüzden, imalat anında maliyeti arttıran çapaklanmayı kabul edilebilir düzeyde tutmak zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon makinasında değişik enjeksiyon parametreleri ile plastik parçalar üretilmiş ve görüntü işleme yöntemiyle çapak miktarları tespit edilmiştir. Ölçülen çapak miktarları genetik algoritma esaslı yöntemlerden birisi olan genetik programlama kullanılarak çapaklanmayı tahmin etmek için bir matematik model geliştirmede kullanılmıştır. Çapaklanma ütüleme basıncı, kalıp sıcaklığı, işleme sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı parametrelerine bağlıdır. Geliştirilen matematik model ile tahmin edilen sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve matematik modelin tahminlerinin ölçümlerle örtüştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Genetik Programlama, Çapaklanma Miktarı, Plastik Enjeksiyon Kalıplılığ

## Abstract:

Burring is one of the major problems in plastic injection molding. Minimization of the burr as much as possible brings extra expenditure for manufacturers. Therefore, the amount of burr produced in the time of manufacturing that increases expenditure, had to be kept in the acceptable level by manufacturers. In this study, plastic parts were produced in plastic injection machine by using different injection parameters and the amount of burr had been identified by image processing techniques. Measured burr amounts were used to develop burr prediction mathematical model by using genetic programming which is one of the genetic algorithm-based method. The amount of burr depends on holding pressure, mold temperature, processing temperature and injection pressure parameters. The predicted results were compared with experimental results by the developed mathematical model and it was seen that prediction of mathematical model coincide with measurement.

**Key Words:** Genetic Programming, Blurring Rate, Plastic Injection Molding

## 1.Giriş

Günümüzde plastik parçalar ağırlıklı olarak otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde kullanılmaktadır. Mevcut kalite standartları ve müşterilerin beklentileri üretilen plastik parçaların görsel, boyutsal ve mekanik özellikleri açısından kusursuz olmasını beklemektedir. Bu sebeple plastik parça üretiminde her zamankinden daha hassas toleranslar içerisinde çalışma ihtiyacı doğmuştur. Parça üretiminde optimum şartların, proseslerin belirlenmesi ve sabitlenmesi ihtiyacı plastik enjeksiyon kalıpcılığında da yeni yöntemler ve bilimsel araştırmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır.[1] İşte bu sebepten birçok araştırmacı tarafından plastik enjeksiyon kalıpcılığının çeşitli parametrelerinin üretilen parçaya etkilerinin bulunulması veya optimize edilmesinde sezgisel yöntemler kullanılmıştır. Sezgisel yöntemler olarak bilinen programlardan ikisi Genetik Programlama (GEP) ve Yapay Sinir Ağlarıdır (YSA). Bu programlar formülasyon özellikleri yardımıyla verilen girdileri çıktı olarak istediğimiz parametrelere ne kadar etki ettiğini belirli bir düzen içerisinde formüle etmektedir.[2]

Geçmiş dönemlerde plastik enjeksiyon ve genetik programlarıyla yapılan çalışmalarda; Özçelik ve Erzurumlu [3] araştırmalarında, karışıklık analizi, yapay sinir ağları ve genetik algoritma kullanılarak plastik enjeksiyon kalıpcılığında çarpılmanın optimize edilmesi araştırılmıştır. Bilindiği üzere plastik enjeksiyon kalıplaması plastik hazırlığı, enjeksiyon, ütüleme, soğutma, parçanın çıkarılması ve işlem sürecinde kontrol uygulamalarını kapsamaktadır.

Chiang [4] makalesinde enjeksiyon da kalıplanmış ince kabuklu parçaların optimum proses şartlarının daha hızlı ve verimli hale getirilmesi için ABS/PC(Blend) karışımı termoplastik malzemeden basılan bir cep telefonu parçası üzerinde gerekli çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında temel enjeksiyon parametreleri olan kalıp açma zamanı, kalıp sıcaklığı, ergime sıcaklığı, doldurma zamanı, doldurma basıncı, ütüleme zamanı, ütüleme basıncı ve soğutma zamanı optimize edilmiş bunlarla birlikte çoklu makine cevapları kaynak çizgisinin dayanımı, çekme ve farklı dağılım sıcaklıkları da hesaba katılmıştır. Bunlara ek olarak değişim analizi (ANOVA) kullanılarak makine parametrelerinin enjeksiyon kalıp proseslerine cevap etkisi bulunmuştur.

Akyürek [5] çalışmasında, plastik enjeksiyon kalıpcılığında yeni ürün devreye alma sürecinin kısaltılabilmesi için yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak hatalı ürün tespiti ve Uzman Sistem (US) kullanılarak parçadaki hatanın önlenmesi üzerine odaklanmıştır. Oluşturulan programlar farklı makinelerdeki hatalı ürünleri tespit edebilmek ve problemlere çözüm bulabilmek için esnek olarak geliştirilmiştir.

Yapılan araştırmalarda plastik enjeksiyon parametrelerinin çapaklanmaya etkisinin üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Aynı zamanda genetik algoritma yöntemi kullanarak plastik enjeksiyon kalıpcılığındaki parametrelerin formüle edilmesi gibi bir çalışmaya literatürde raslanmamıştır.

Bu çalışmada; termoplastik polimer malzeme kullanılarak plastik enjeksiyon makinasında ütüleme basıncı, işleme sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığı parametreleri değiştirilerek plastik parçalar üretilmiştir. Üretilen bu parçalarda görüntü işleme yöntemiyle çapak miktarları ölçülmüştür. Ölçülen çapak miktarlarına bağlı olarak genetik programlama kullanılarak plastik enjeksiyon kalıpcılığında; çapaklanma miktarı formüle edilmeye çalışılmıştır.

## **2. Materyal ve Yöntem**

### **2.1. Materyal**

#### **2.1.1. Plastik Enjeksiyon**

Plastik malzemeleri biçimlendirmede basınçlı kalıplama, döner kalıplama, basınçta ısı ile biçimlendirme, şişirme ve enjeksiyon kalıplama gibi teknikler kullanılmaktadır. Püskürtmeli kalıplama ya da enjeksiyon kalıplama da denilen plastik enjeksiyon işlemi, plastik eşya üretiminde kullanılan ve kullanımı her geçen gün diğerlerine göre artan önemli bir metottur. Plastik enjeksiyon, termoplastik malzemenin belirli bir ısı altında ve sürtünme vasıtasıyla akışkan hale getirilip, basınç uygulanarak kalıp içinde şekillendirilmesidir. Hammaddenin tek bir işlemle istenen şekilde kalıplanabilmesini sağlaması ve birçok durumda imal edilen ürün için son işlem uygulamaları gerektirmemesi bu metodu seri ürün imali için oldukça uygun bir hale getirmektedir.[6]

Plastik enjeksiyon işleminin önemli avantajlarından biri, bu metotla otomatize edilmiş üretim hatlarının bir tek basamağında bile çok karmaşık yapılara sahip ürün elde edilebilmesidir. Oyuncaklar, otomobil parçaları, ev eşyaları, çeşitli elektronik parçalar gibi günlük hayatta rastlanılan plastik ürünlerin birçoğu plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmektedirler.[7]

#### **2.1.2. Genetik Programlama**

1992 yılında John Koza [8] genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirdi. Bu metoda Genetik Programlama adını verdi. Genetik programlama, genetik algoritmaların bir uzantısı olarak ifade edilmiştir. Aralarındaki temel farklılık, yönettikleri yapının gösterimi ve bu gösterimin taşıdığı anlamda ortaya çıkmaktadır. Genetik algoritmalar genelde sabit uzunluktaki ikili dizilere sahip popülasyonlar üzerinde çalışır. Genetik programlama ise genellikle bilgisayar programlarını barındıran ağaç yapılarına sahip popülasyonlar üzerinde çalışır. Genetik programlama bilgisayar programlarının davranışları ile ilgilendiği için, fenotip tanımı genetik algoritmalara göre daha soyut kalmaktadır [9].

Genetik programlamada mutasyon ve çaprazlama operatörleri ağaç yapısına uygun olarak yapılandırılmışlardır. Genetik programlamada çıktılar matematiksel değerler değil, bilgisayar programlarıdır. Bu yöntemde ağaç yapısındaki bilgisayar programları rastlantısal olarak üretilir. Üretilen programlar hiyerarşik, genel, değişik boyutlarda ve yapıdadır. Yöntemin amacı bütün muhtemel çözümlerin uzayını tarayarak problemin çözümüne en iyi uyan bilgisayar programını bulmaktır [10].

## **2.2. Yöntem**

### **2.2.1. Çapak Miktarının Belirlenmesi**

Plastik enjeksiyon makinasında ütüleme basıncı, işleme sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığı değerleri değiştirilerek 72 farklı filtre kapağı üretildi. Üretilen filtre kapaklarının ideal ölçüleri belirlendikten sonra her bir deney numunesinin resmi çekilerek MATLAB programı vasıtasıyla görüntü işleme yöntemiyle alan hesabı yapıldı. Çıkan alandan ideal alan çıkartılarak çapak miktarını belirlendi.

### 2.2.2. Modelleme Prosedürü ve Dataların Seçilmesi

Modelleme için kullanılan GenXpro adında ticari bir programdır. Modellemede çapak miktarının tahmininde sırasıyla ütüleme basıncı, işleme sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığı değerlerinin girilmesiyle yapılmıştır. Tablo 1 de değişkenler, kodları ve kısaltmaları verilmiştir. 72 deney sonucununun 18 tanesinde çapaklanma olmamakla beraber kalıp dolumu tam gerçekleşmediğinden modelleme için kullanılmamıştır.

Tablo 1. Model oluşturmak için kullanılan değişkenler.

	Kodlama	Değişken	Kısaltması	Aralığı	Birimi
Girdi	d0	Ütüleme Basıncı	Pü	50-110	Mpa
Girdi	d1	İşleme Sıcaklığı	Ti	260-290	°C
Girdi	d2	Enjeksiyon Basıncı	Pe	105-155	Mpa
Girdi	d3	Kalıp Sıcaklığı	Tk	61,5-93,9	°C
Çıktı	Çm	Çapak Miktarı	Çm	57,15-1772	mm <sup>2</sup>

Tablo 2. GEP modelinin parametre listesi

P1	Fonksiyon seti	+, -, x, /, $\sqrt{\quad}$ , $e^x$ , $\ln$ , $x^2$ , $x^3$ , $\sqrt[3]{\quad}$ , $\tan$ , $1/x$ , $\sin$ , $\cos$ ,
P2	Gen sayısı	3, 4, 5
P3	Başlık sayısı	8, 10, 15
P4	Link fonksiyonu	Toplama(+), Çarpma(x)
P5	Jenerasyon sayısı	0-50000
P6	Fitness Fonksiyonu	RRSE-rRAE-MSE
P7	Kromozomlar	30-50
P8	Ters çevirme oranı	0,1
P9	Tek nokta yeni kombinasyon oranı	0,3
P10	İki nokta yeni kombinasyon oranı	0,3
P11	Gen yeniden kombinasyon oranı	0,1
P12	Gen yer değiştirme oranı	0,1
P13	Mutasyon oranı	0,044

Kalan 54 taneden 8 tanesi test verisi olarak kağıt çekme yöntemiyle seçilerek test amaçlı kullanılmıştır. Bu yöntemle 54 değer bir kağıda yazılmış ve rastgele 8 tanesi seçilmiştir. Eğitim ve test veri dosyaları yüklenmiş ve programın çalışması ile ilgili çeşitli veriler seçilmiştir. Bunlar; gen sayısı, kromozom sayısı, uygun istatistiksel yöntem (MSE, RRSE vb.) matematiksel fonksiyonlar, işlem sırasındaki çalışmayla ilgili çeşitli kurallardır. Eğitim ve test dataları oluşturulduktan sonra Tablo 2’de görülen GEP parametreleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu parametrelerle birlikte daha fazla deneme yapabilmek için Tablo 3’de görülen fonksiyon seti oluşturulmuştur. Bu fonksiyon seti kullanılarak her bir uygunluk denklemi ve kromozom sayısı için 60 defa program çalıştırılmıştır. Toplam deneme sayısı 360 adettir.

Tablo 3. Fonksiyon seti listesi

Kod	Fonksiyon Seti
S1	+, -, x, /,
S2	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , √, <sup>3</sup> √,
S3	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , √, <sup>3</sup> √, e <sup>x</sup> , ln,
S4	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , √, <sup>3</sup> √, tan
S5	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , √, <sup>3</sup> √, sin, cos,
S6	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , 1/x, tan,
S7	+, -, x, /, tan, ln,
S8	+, -, x, /, tan, ln, e <sup>x</sup> ,
S9	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , 1/x, tan, e <sup>x</sup> , ln,
S10	+, -, x, /, x <sup>2</sup> , x <sup>3</sup> , √, <sup>3</sup> √, 1/x, tan, sin, cos, e <sup>x</sup> , ln, tan,

### 3.Sonuçlar ve Değerlendirme

Deneyler sonucunda genetik algoritma programından alınan sonuçlar sırasıyla şu şekilde değerlendirilmiştir. Öncelikle R<sup>2</sup> hata fonksiyonları her bir deney için eğitim ve test dataları için tek tek çıkarılmıştır. Bu değerlerden bir kısmı Tablo 4’de görülmektedir. Çıkarılan bu değerlerden en yüksek olanı yani Tablo 4’te koyu olarak yazılmış uygunluk fonksiyonu MSE olan, 50 kromozumlu, 5 genli, 15 başlıklı ve 10. fonksiyon setini kullandığımız genetik çözümdür. Deneyde alınan sonuçla programda çıkan sonuç arasında eğitim datalarında %99.435, test datalarında ise %99.445 oranında uyuma sağlanmıştır. Bu değerlerin daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 5 ve Tablo 6’da her bir deney parametresi için oluşan çapak miktarı, genetik formülasyon sonucu oluşan çapak miktarı ve ikisi arasındaki farklar eğitim ve test dataları için sırasıyla ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 4. GEP programının çeşitli seçeneklerle çalıştırılmasıyla elde edilen bazı sonuçlar

		R <sup>2</sup>		HATA		R <sup>2</sup>		HATA							
P1	P2	P3	P4	P5	P6	EĞİTİM	TEST	P1	P2	P3	P4	P5	P6	EĞİTİM	TEST
S1	8	3	30	+	RRSE	0,86874	0,87206	S6	8	3	50	+	RRSE	0,95126	0,97805
S1	8	3	30	*	RRSE	0,88462	0,85718	S6	8	3	50	*	RRSE	0,94354	0,93504
S1	10	4	30	+	RRSE	0,78735	0,78147	S6	10	4	50	+	RRSE	0,91615	0,94647
S1	10	4	30	*	RRSE	0,78277	0,7879	S6	10	4	50	*	RRSE	0,95699	0,93218
S1	15	5	30	+	RRSE	0,85816	0,86578	S6	15	5	50	+	RRSE	0,97064	0,96454
S1	15	5	30	*	RRSE	0,89981	0,90646	S6	15	5	50	*	RRSE	0,95973	0,97446
S2	8	3	30	+	RRSE	0,82391	0,85684	S7	8	3	50	+	RRSE	0,95062	0,95293
S2	8	3	30	*	RRSE	0,76937	0,79349	S7	8	3	50	*	RRSE	0,90201	0,90075
S2	10	4	30	+	RRSE	0,87	0,87963	S7	10	4	50	+	RRSE	0,80746	0,81515
S2	10	4	30	*	RRSE	0,86846	0,86401	S7	10	4	50	*	RRSE	0,9444	0,92316
S2	15	5	30	+	RRSE	0,85037	0,84257	S7	15	5	50	+	RRSE	0,86714	0,89786
S2	15	5	30	*	RRSE	0,86456	0,85951	S7	15	5	50	*	RRSE	0,84867	0,68339
S3	8	3	30	+	rRAE	0,70619	0,77613	S8	8	3	50	+	MSE	0,88986	0,92247
S3	8	3	30	*	rRAE	0,64781	0,71727	S8	8	3	50	*	MSE	0,80601	0,93352
S3	10	4	30	+	rRAE	0,67417	0,78491	S8	10	4	50	+	MSE	0,953	0,95341
S3	10	4	30	*	rRAE	0,76947	0,74165	S8	10	4	50	*	MSE	0,91755	0,92585
S3	15	5	30	+	rRAE	0,50855	0,55379	S8	15	5	50	+	MSE	0,88902	0,8928
S3	15	5	30	*	rRAE	0,66308	0,81667	S8	15	5	50	*	MSE	0,92853	0,89274

S4	8	3	30	+	rRAE	0,95044	0,85082	S9	8	3	50	+	MSE	0,91747	0,9193
S4	8	3	30	*	rRAE	0,82287	0,67112	S9	8	3	50	*	MSE	0,91434	0,87456
S4	10	4	30	+	rRAE	0,95482	0,89979	S9	10	4	50	+	MSE	0,93077	0,95792
S4	10	4	30	*	rRAE	0,86029	0,7494	S9	10	4	50	*	MSE	0,95862	0,91546
S4	15	5	30	+	rRAE	0,95901	0,55054	S9	15	5	50	+	MSE	0,88291	0,78204
S4	15	5	30	*	rRAE	0,91851	0,75369	S9	15	5	50	*	MSE	0,87899	0,87636
S5	8	3	30	+	rRAE	0,58958	0,78447	S10	8	3	50	+	MSE	0,90235	0,90779
S5	8	3	30	*	rRAE	0,72737	0,68804	S10	8	3	50	*	MSE	0,91251	0,93611
S5	10	4	30	+	rRAE	0,65442	0,75625	S10	10	4	50	+	MSE	0,95013	0,95093
S5	10	4	30	*	rRAE	0,73984	0,78307	S10	10	4	50	*	MSE	0,86545	0,7961
S5	15	5	30	+	rRAE	0,80906	0,56823	<b>S10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	+	<b>MSE</b>	<b>0,99435</b>	<b>0,99445</b>
S5	15	5	30	*	rRAE	0,57782	0,62781	S10	15	5	50	*	MSE	0,94997	0,92903

Tablo 5. GEP eğitim modeli sonuçlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

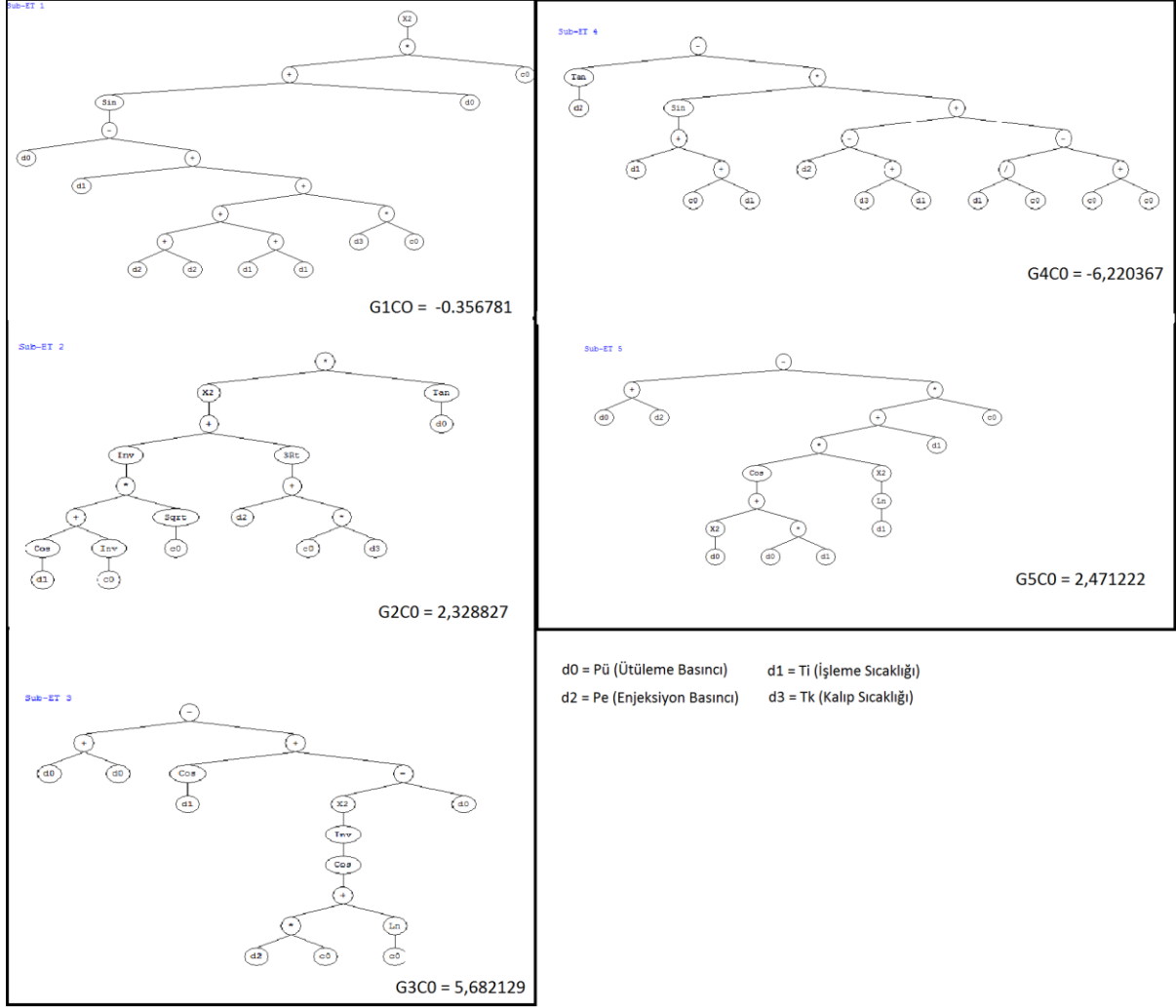
Deney No	Enjeksiyon Basıncı	İşleme Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Ütüleme Basıncı	Hedef	Model	Fark
1	105	280	79,2	50	57,15	3,72131921	53,4286808
3	125	280	85,7	50	62,00	81,41596786	19,4159679
4	135	280	86,3	50	66,1	89,57137866	23,4713787
5	145	280	88,8	50	66,9	93,59795031	26,6979503
6	155	280	91	50	69	95,68629925	26,6862993
7	105	290	84,2	50	69,28	133,3696648	64,0896648
8	115	290	84,9	50	106,47	165,5983233	59,1283233
9	125	290	86,4	50	206,56	207,3910278	0,83102782
11	145	290	89,3	50	276,18	231,7167151	44,4632849
12	155	290	91,1	50	295,74	239,9000325	55,8399675
13	105	260	83	80	321,51	350,2620862	28,7520862
14	115	260	84,1	80	357,78	403,1947584	45,4147584
15	125	260	84,7	80	427,89	472,1586616	44,2686616
16	135	260	85,9	80	536,72	515,9941931	20,7258069
18	155	260	89,9	80	713,5	587,8373453	125,662655
19	105	270	81	80	891,9	911,9122078	20,0122078
20	115	270	81,4	80	939,6	951,4371338	11,8371338
21	125	270	82,1	80	992,36	1009,614868	17,2548676
22	135	270	82,5	80	1019,59	1051,652622	32,0626218
24	155	270	83	80	1069,05	1122,767121	53,7171214
25	105	280	80,4	80	1077,41	1004,747582	72,6624178
26	115	280	82,2	80	1075,19	1045,407009	29,7829912
28	135	280	85,8	80	1097,51	1093,183792	4,32620792
29	145	280	83,6	80	1098,87	1090,923813	7,94618713
30	155	280	83,9	80	1132,16	1121,788169	10,3718315
31	105	290	80,5	80	1170,07	1129,183585	40,8864149
32	115	290	81,1	80	1194	1185,050939	8,94906136
33	125	290	81,6	80	1217,11	1226,007226	8,89722585
34	135	290	81,7	80	1222,94	1219,550419	3,38958065

35	145	290	81,9	80	1225,63	1220,079616	5,5503837
36	155	290	82	80	1227,68	1242,097872	14,4178722
38	115	260	73,1	110	1249,61	1211,934989	37,6750114
39	125	260	73,6	110	1290,44	1254,08005	36,3599505
40	135	260	74,1	110	1309,82	1288,687701	21,1322987
41	145	260	74,7	110	1317,82	1334,450581	16,6305811
42	155	260	76,3	110	1354,68	1367,833706	13,1537064
43	105	270	71,3	110	1342,89	1329,177435	13,7125648
44	115	270	72,4	110	1359,08	1363,34159	4,26158965
45	125	270	74,1	110	1372,29	1397,339097	25,0490969
46	135	270	74,2	110	1389,28	1388,207344	1,07265601
47	145	270	74,8	110	1422,79	1401,159732	21,6302675
49	105	280	77,8	110	1486,02	1511,970383	25,9503826
50	115	280	78,3	110	1546,96	1550,320435	3,3604347
51	125	280	78,9	110	1584,59	1610,862064	26,2720637
52	135	280	79,6	110	1644,38	1640,407189	3,97281106
54	155	280	83	110	1772,33	1656,274646	116,055354

Tablo 6. GEP test modeli sonuçlarının deneysel verilerle karşılaştırılması

Deney No	Enjeksiyon Basıncı	İşleme Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Ütüleme Basıncı	Hedef	Model	Fark
2	115	280	84	50	61,15	36,92329268	24,2267073
10	135	290	88,6	50	264,96	217,8973316	47,0626684
17	145	260	87,4	80	561,7	555,6786162	6,02138377
23	145	270	82,7	80	1023,43	1095,394278	71,9642782
27	125	280	84,1	80	1074,05	1086,549184	12,4991841
37	105	260	72,2	110	1241,3	1182,163564	59,1364358
48	155	270	75,2	110	1464,31	1436,958664	27,3513363
53	145	280	81,1	110	1705,32	1652,452517	52,8674833

Genetik programlamada formülün oluşturulması seçilen gen sayısına bağlıdır. Bu yüzden Tablo 4’de ideal sonucu veren formülasyona bakıldığında 5 adet ağaç yapısı oluşturması gerekmektedir. Şekil 1 de bu ağaç yapıları görülmektedir.



Şekil 1. Çapaklanma miktarı formülünün ağaç yapısı

Yukarıdaki ağaç yapıları düzenlenerek çapaklanma miktarı için aşağıdaki formüller elde edilmiştir.

$$\mathcal{C}m1 = [(\sin(P\ddot{u}) - (3 * Ti + 2 * Pe + (Tk * (-0,356781)) + P\ddot{u})) * (-0356781)]^2$$

$$\mathcal{C}m2 = \tan(P\ddot{u}) * \left[ \frac{1}{1,5260 * Ti + 0,6552} + \sqrt[3]{Pe + 2,328827 * Tk} \right]^2$$

$$\mathcal{C}m3 = 3 * P\ddot{u} - \cos(Ti) - \left[ \frac{1}{\cos[(5,682129 * Pe) + 1,7373]} \right]^2$$

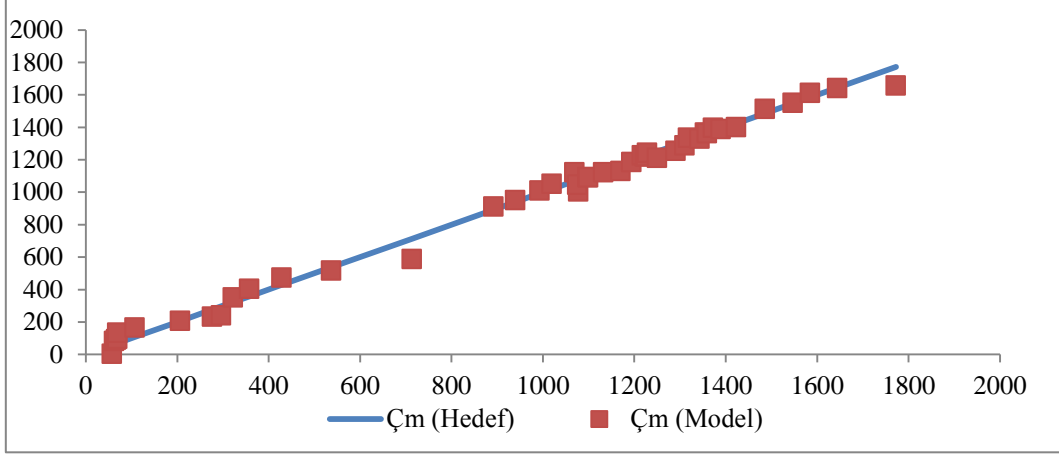
$$\mathcal{C}m4 = \left[ \tan(Pe) - \left[ \left( \sin(Ti + ((-6,220367) + Ti)) \right) * \left( (Pe - (Tk + Ti)) + \left( \left( \frac{Ti}{-6,220367} \right) + (12,44) \right) \right) \right] \right]$$

$$\mathcal{C}m5 = \left[ (P\ddot{u} + Pe) - \left( \left( \cos(P\ddot{u}^2 + (P\ddot{u} * Ti)) * (\ln(Ti))^2 \right) + Ti \right) * 2,471222 \right]$$

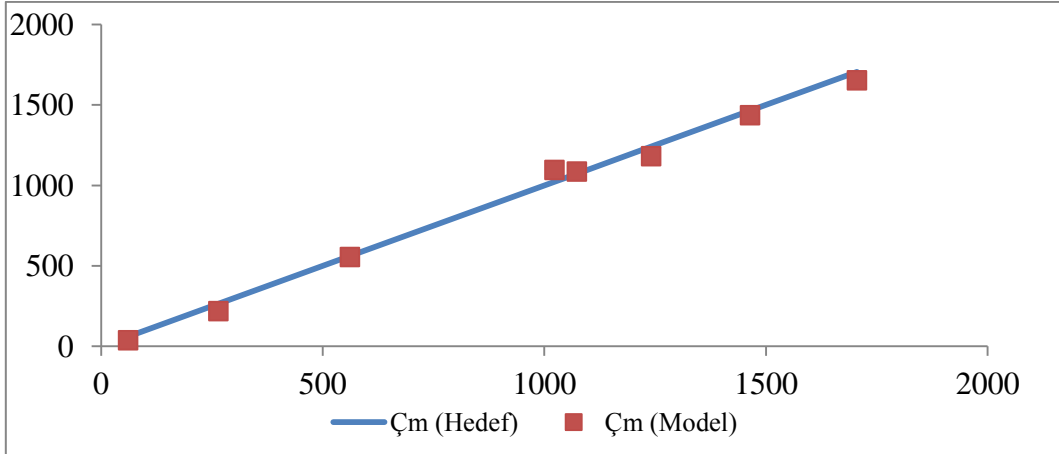


$$\zeta_m = \zeta_{m1} + \zeta_{m2} + \zeta_{m3} + \zeta_{m4} + \zeta_{m5}$$

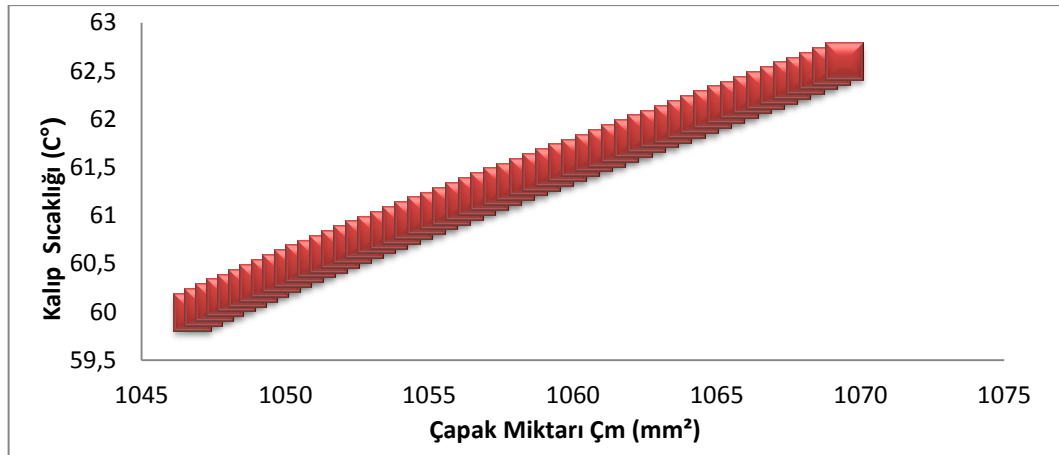
Modellerden elde edilen değerlerin dağılımının hedef değerlerle karşılaştırılması Şekil 2’de eğitim için Şekil 3’te ise test dataları için görülebilmektedir. Grafikler incelendiğinde model değerlerinin çoğunlukla hedef değerler etrafında kümelendiği görülmektedir.



Şekil 2. GEP modellerinden elde edilen  $\zeta_m$  değerlerinin dağılımı (Eğitim)



Şekil 3. GEP modellerinden elde edilen  $\zeta_m$  değerlerinin dağılımı (Test)



Şekil 4. Kalıp sıcaklığının çapak miktarına etkisi

Deney sonuçları irdelendiğinde İşleme Sıcaklığı ve Enjeksiyon Basıncının artışının Kalıp Sıcaklığını arttırdığı gözlenmiştir. Diğer parametrelerin etkisiyle de kalıp sıcaklığında artışlar olmuştur. Kalıp Sıcaklığındaki bu artış çapaklanmayı da arttırmıştır. Ergiyik halde kalıbın içine giren plastik viskozitesini arttıramadığından çapak oluşumu gözlenmiştir. Bu durum çıkan formülasyona uygulandığında da Şekil 4'teki grafik elde edilmiştir. Grafikte Ütüleme Basıncı 80 Mpa'da, İşleme Sıcaklığı 270 °C'de, Enjeksiyon Basıncı 155 Mpa'da sabit tutularak yalnızca kalıp sıcaklığını artırılmasıyla çapak miktarındaki artış gösterilmiştir.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıpcılığında çapaklanmaya etki eden parametrelerden ütüleme basıncı, işleme sıcaklığı, enjeksiyon basıncı ve kalıp sıcaklığı değerleri kullanılarak tahmini çapaklanma miktarını ölçebilmek için genetik programlama kullanılarak bir matematik model oluşturulmuştur.

Çıkarılan matematik modelden elde edilen sonuçlar plastik enjeksiyon kalıpcılığında çapaklanma miktarının tahmininde GEP' in etkili bir metot olduğunu göstermiştir. Bu sayede ölçüm yapmaya gerek kalmadan bu çalışmada kullanılan parametrelerin sınırları içerisinde olması şartı ile çapaklanma miktarı yeterli doğrulukta tahmin edilebilecektir.

## Referanslar

- [1] DURSUN V E, Plastik Enjeksiyon Kalıpcılığında Kalıp İçi ve Eriyik Sıcaklıklarının Mekanik ve Boyutsal Özelliklere Etkisi, Gebze, 2010.
- [2] OZDEMİR R, Elektrodepolama Yöntemi İle Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Öz direnç Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi, Kilis, 2010.
- [3] OZCELIK B, ERZURUMLU T, Minimization of Warpage and Sink Index in Injection-Molded Thermoplastic Parts Using Taguchi Optimization Method ,Materials and Design, 2005 p:853-861.
- [4] CHIANG KT, The Optimal Process Conditions of an Injection –Molded Thermoplastic Part with a Thin Shell Feature Using Grey-Fuzzy Logic, A Case Study on Machining the PC/ABS Cell Phone Shell, Materials and Desingn, 2006, p:1851-1860.
- [5] AKYUREK A, Plastik Enjeksiyon Süreci Süreci Optimizasyonunda Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı, Bursa, 2009.
- [6] KECE A, Yapay Sinir Ağları İle Plastik Enjeksiyon Süreci Başlangıç Parametrelerinin Belirlenmesi, Bursa, 2006.
- [7] AKYÜZ Ö F, Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, İstanbul, 2001.
- [8] WONG ML, LEUNG KS, Data Mining Using Grammar Based Genetic Programming and Applications, London, 1999.
- [9] KOZA JR, Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, MIT Press, Cambridge, 1992.
- [10] ASBOUR A F, ALVAREZ LF, TOROPOV VV, Comput Struct, 2003, p:331–338.