

# 316L Paslanmaz Çelik Tozları ve Polipropilen Esaslı Bağlayıcı Karışımlarının Reolojik Özellikleri

**Çetin KARATAŞ**

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Makina Eğitimi Bölümü, Teknikokullar, Ankara-TÜRKİYE*

**Süleyman SARITAŞ**

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Makina Mühendisliği Bölümü, Maltepe, Ankara-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 09.03.1998

## Özet

Bu çalışmada, 316L paslanmaz çelik tozlarıyla (ortalama 5.84, 30.42, 40.35, 67.42 $\mu$ m) termoplastik bağlayıcı (%60 parafine, %35 polipropilen, %5 stearik asit) karıştırılarak hazırlanan toz enjeksiyon kalıplama (TEK) besleme stokunun, akış hızları incelenmiştir. Bu amaçla bir kılcal reometre tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İmal edilen kılcal reometrede sıcaklık toleransı  $\pm 1^\circ\text{C}$  sağlanmıştır. Yük olarak 63-55000 g ağırlıklar uygulanabilmektedir ve 30 dakikada sıcaklık 300  $^\circ\text{C}$ 'ye çıkmaktadır. Besleme stokları için en iyi akış 175  $^\circ\text{C}$ 'de olmuştur. Deneylerde, TEK'de en düşük kalıplama basıncı sayılabilecek olan 0.65 MPa (5160 g) basınç kullanılmıştır. Sonuçta toz boyutu küçüldükçe ve şekil küreselleştikçe akışım daha iyileştiği görülmüştür. Kullanılan toz boyutuna göre akış sağlanabilen % katı miktarı % 42 ile % 74 arasında değişmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK), Besleme Stoku, Bağlayıcı, Reoloji.

## Rheological Properties of Mixtures of 316L Stainless Steel Powders With Polypropylene Based Binders

### Abstract

The flowabilities of feedstocks for powder injection molding (PIM), of 316L stainless steel powders (mean diameters 5.84, 30.42, 40.35, 67.42  $\mu\text{m}$ ) with thermoplastic binders (60% paraffin, 35% polypropylene, 5% stearic acid) were investigated. For this purpose, a capillary rheometer was designed and constructed. The rheometer was heated in 30 minutes to 300  $^\circ\text{C}$  with an accuracy of  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Its load range was 63-55.000 grams. The best flow measurements were made at 175  $^\circ\text{C}$  for all feedstocks. The pressure used was 0.65 MPa which is the lowest acceptable pressure in PIM. The results showed that, rheological properties of the feedstocks improved as the powder size decreased and powder shape became spherical. The percentage of solid loading, allowing flowing of the feedstock through the rheometer, varied between 42 % to 74 % depending on powder size.

**Key Words:** Powder Injection Molding (PIM), Feedstock, Binder, Rheology.

Toz Enjeksiyon kalıplama (TEK); küçük, karmaşık şekilli, kesin boyutlu ve hassas toleranslı, düzgün yüzeyli, işlenmesi güç ve fazla işlem gerektiren parçaların, uygun maliyette üretimi için tozdan parça üretimi teknolojisidir “Karataş (1997).” Son on yıl içinde TEK; karmaşık şekilli ve küçük parçaların seri (100 000’den fazla) imalatında cazip bir yöntem haline gelmiştir. İmalât maliyetinin düşük olması nedeniyle gün geçtikçe daha da yaygınlaşmaktadır “Petzold (1996).”

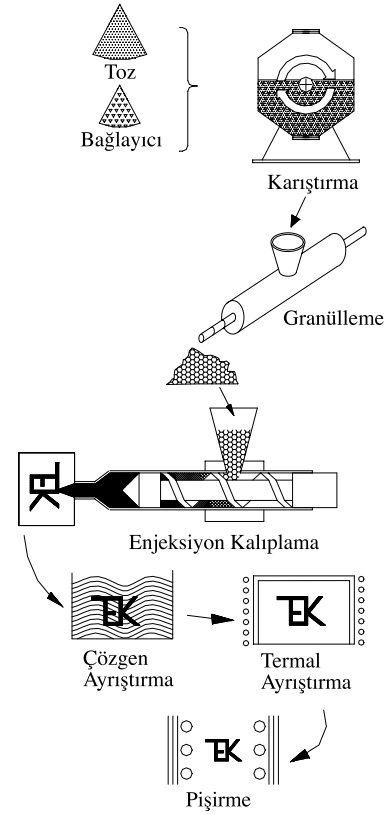
TEK yöntemi 1920’li yıllardan beri geliştirilmektedir “Schwartzwalder (1949).” Endüstriyel olarak işlem ilk defa 1970’lerin başında A.B.D. Kaliforniya’da Parmatech firması tarafından başlatılmıştır “Merhar (1990).” 1979’da TEK’le üretilmiş uçak vidası ve roket parçasının ödül alması gelişmeyi daha da hızlandırmıştır. Böylece TEK’le üretilmiş yüksek performanslı malzemeler imalat teknolojisinin ön safhalarında yer almıştır “German (1990), Whalen ve Johnson (1981), Hunold ve arkadaşları (1989), Johnson ve Mohr (1978).”

TEK’in rakibi olan hassas döküm yönteminde model yapma ve kalıp hazırlama işlemlerinin çok uzun sürmesi; bilinen Toz Metalurjisi (T/M) yoluyla çok karmaşık şekilli parçaların üretilmemesi veya üretimden sonra talaşlı imalat gerektirmesi; plastik enjeksiyon kalıplamanın iyi bilinmesi, Toz Enjeksiyon Kalıplamanın doğmasına neden olmuştur. Bugün plastik enjeksiyon makinelerinde bağlayıcı ile karıştırılmış metal ve seramik tozlarından (besleme stoku) iş parçaları üretilmektedir. Kalıplama sonrası plastik bağlayıcının dikkatlice çıkarılması ve daha sonra pişirilerek parçaya son şeklinin verilmesi gerekmektedir “Karataş ve Sarıtaş (1993).” TEK işlem sırası Şekil 1’de görülmektedir “Karataş (1997).” Üretilen parçalar % 100 civarı yoğunluğa ulaşabilmekte ve bu nedenle mekanik özellikleri geleneksel T/M parçalarından daha üstün olmaktadır “Vervoort ve arkadaşları (1995).” Bu gün TEK’in en ekonomik şekilde kullanım alanları şöyledir: Robot kolları, iş makineleri, yazıcılar, el aletleri, uçak sanayii, silah sanayii, askeri malzemeler, tıp malzemeleri, kameralar, kontrol cihazları ve otomobil gibi pek çok makinelerin küçük parçaları imalatı “Karataş (1997), Petzold (1996), Merhar (1990).”

TEK’de başarılı olabilmek için, uygun toz ve bağlayıcı karışımı “Besleme stoku ” (plastik ve katkı maddeleri) seçmek, daha sonra kalıplama sıcaklık ve basıncını belirlemek gereklidir. Toz, bağlayıcı,

kritik % hacim oranı, sıcaklık ve basınç iyi belirlenmeli, toz ve bağlayıcı iyi karıştırılmalıdır. Besleme stokunun hatalı üretilmesi kalıplama ve sinterleme aşamalarında sıkıntılara yol açmakta ve hatalı parça üretimine yol açmaktadır.

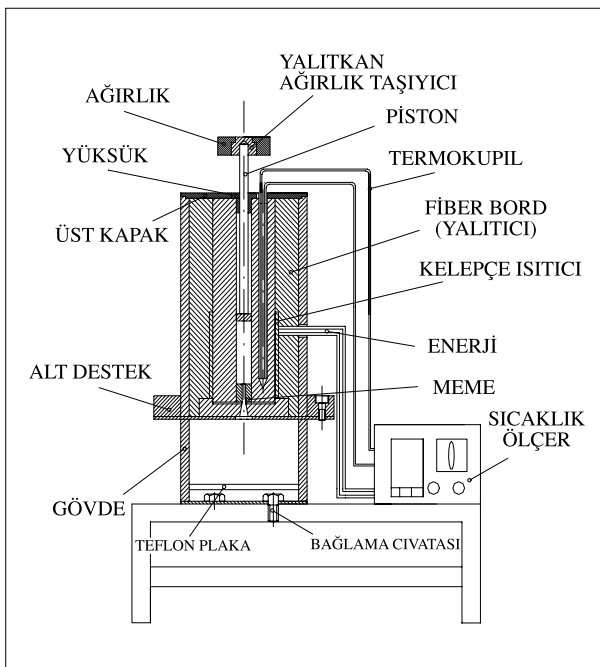
Bu çalışmada, gaz atomizasyonu ve su atomizasyonu yöntemleriyle üretilmiş farklı şekil ve boyutlardaki 316L paslanmaz çelik tozları ve polipropilen esaslı bağlayıcı karışımlarından üretilen besleme stoklarının reolojik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla kılcal reometre, karıştırıcı ve granül makinesi tasarlanıp imal edilmiştir.



Şekil 1. TEK’de işlem sırası “Karataş (1997)”

### Kılcal Reometre

Cihaz bir ekstrüzyon plastrometresidir “TS 1323 (1974), TS 1675 (1974), ASTM, D 1238-90b (1990).” Şekil 2’de cihazın kople resmi görülmektedir. Cihaz aşağıda özellikleri belirtilen parçalardan oluşur.



Şekil 2. Kılcal reometrenin montaj resmi

### Çelik Silindir

Düsey durumda sabitleştirilmiş ve 300 °C'ye kadar çalışmaya elverişli şekilde yalıtılmıştır. Silindirin uzunluğu 115 mm olup iç çapı 10 mm'de  $\pm 0,025$  mm den çok fark göstermeyecek şekilde işlenmiştir. Silindir tabanı, metalik yüzeyin dışarda kalan kısmı 4 cm<sup>2</sup> den daha az olacak şekilde ısıya karşı yalıtılmıştır. Ekstrüze edilen ürünün yapışmasını önlemek amacıyla yalıtım malzemesi olarak 10 mm kalınlığında teflon kullanılmıştır.

### Çelik Piston

Silindir boyunca çalışabilen pistonun boyu 6.35  $\pm 0,10$  mm dir. Piston çapı 10 h6 ( $\pm 0,009$ ) toleransında yapılmış ve köşeleri kırılarak bir mm radyüs verilmiştir. Pistonu iten milin çapı 8 h6 ( $\pm 0,009$ ) toleransındadır. Ağırlığın yerleşmesi için milin tepesine, bir teflon parça yapılarak pistonla ağırlık arası ısıya karşı yalıtılmıştır. Piston 2080 Special K takım çeliğinden ve mil 304 paslanmaz çelikten üretilmişlerdir. Mil 60 kg'a kadar ağırlıkları bükülmeden pistonu aktarabilmektedir.

### Isıtıcı ve Sıcaklık Kontrolü

Silindiri 30 dakikada 300 °C sıcaklığa çıkaran,

silindirin üzerine yerleşen  $\varnothing 44 \times 65$  mm boyunda 375 Watlık bir kelepçe ısıtıcı kullanılmıştır. Kelepçe ısıtıcı Honeywell sıcaklık kumanda cihazına bağlanarak otomatik sıcaklık kontrolü sağlanmıştır. Termokupl silindir boşluğuna yakın silindir tabanından 15 mm yukarıya yerleştirilmiştir. Silindirin çevresine yerleştirilen fiber bord yalıtım sayesinde sıcaklık  $\pm 1$  °C duyarlılıkta kontrol edilmiştir.

### Kalıp (Meme)

Kalıp, 2080 Special K takım çeliğinden üretilmiş olup 8 mm uzunluğundadır. Dış çapı 10 h6 ( $\pm 0,009$ ), iç çapı 2 mm dir. Kalıp, silindirin tabanına tam olarak oturmaktadır.

### Materyal ve Metot

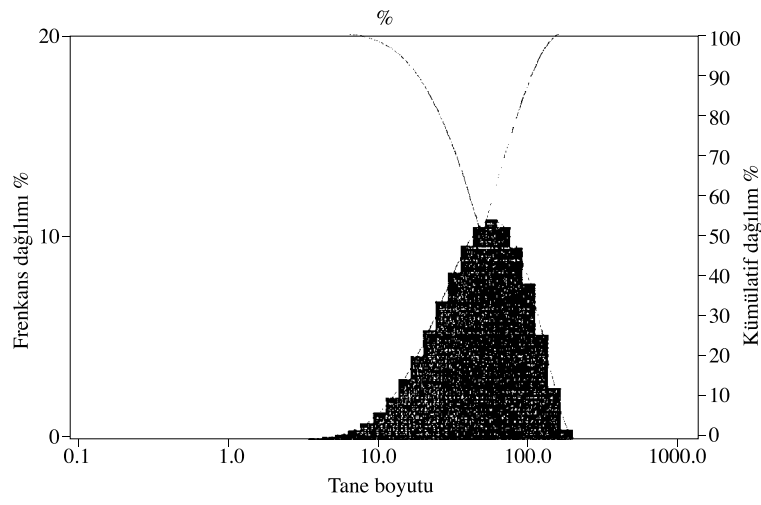
#### Besleme Stoku

#### Toz

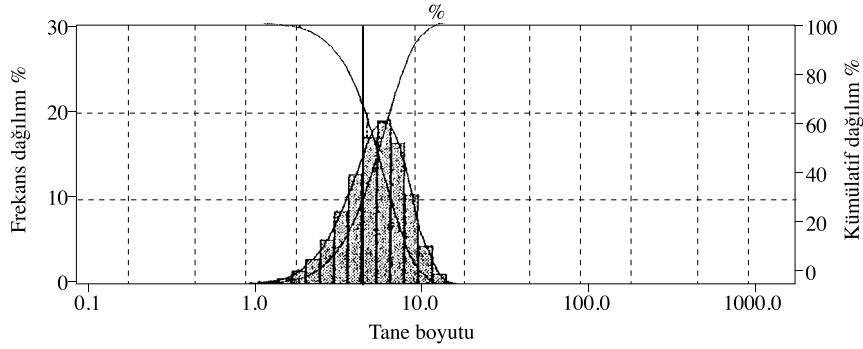
Sinter Metal A.Ş'den temin edilen 316L suda atomize paslanmaz çelik tozun boyutu elek analizi ile ölçülmüş ve neticesi Tablo 1'de verilmiştir. Aynı tozun boyutu Malvern Mastersizer E laser ile boyut ölçme cihazında tekrar ölçülmüş ve dağılım Şekil 3'de verilmiştir. Eleme sonucu elde edilen ortalama 19  $\mu\text{m}$  (-38 $\mu\text{m}$ ) toz ile ortalama 69 $\mu\text{m}$  (-74 + 63  $\mu\text{m}$ ) toz çalışma için seçilmiştir. Bu tozlar için Malvern Mastersizer E cihazında tekrar boyut analizi yapılmış ve ortalamalarının 30,41 $\mu\text{m}$ , 67,42  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. Ayrıca boyut dağılımının akışa olan etkisini görmek bakımından % 50 si, 67,42  $\mu\text{m}$  toz ile % 50 si, 30,41  $\mu\text{m}$  toz karıştırılarak da bir toz numunesi daha elde edilmiş ve ortalama boyutu 40,35  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

Su atomize paslanmaz çelik tozundan başka, İngiltere'deki Osprey Ltd'in TEK için ürettiği gaz atomize paslanmaz çelik tozu temin edilmiştir. Bu tozun boyutu, Malvern Mastersizer E cihazında ölçülmüş ve ortalama boyutun 5.84  $\mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. Şekil 4'de Gaz atomize paslanmaz çelik tozunun dağılımı verilmiştir.

Tozların morfolojik analizi Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Araştırma Laboratuvarın da bulunan JEOL 840A marka Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da su atomize 316L tozlarının fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3. Su atomize 316L paslanmaz çelik tozunun Malvern Mastersizer E Cihazında boyut analizi ( $d_{50} = 64.30 \mu\text{m}$ )



Şekil 4. Gaz atomize 316L paslanmaz çelik tozunun Malvern Mastersizer E Cihazında boyut analizi ( $d_{50} = 5.84 \mu\text{m}$ )

Tablo 1. 316L suda atomize paslanmaz çelik tozu kuru elek analizi

Boyut Aralığı ( $\mu\text{m}$ )	Ortalama Boyut* ( $\mu\text{m}$ )	miktarı(g.)	% miktarı
-297 +177	237	20	0.14
-177 +149	163	939	6.80
-149 +125	137	327	2.36
-125 +105	115	586	4.24
-105 +88	97	619	4.48
-88 +74	81	240	8.98
-74 +63	69	4200	30.43
-63 +53	58	551	3.99
-53 +44	49	1575	11.41
-44 +38	41	280	2.02
-38	19	3477	25.19

\* Ortalama Boyut: (Geçilen elek boyutu + Geçilmeyen elek boyutu)/2

**Tablo 2.** Bağlayıcıyı oluşturan malzemelerin bazı özellikleri “German (1990)”

ÖZELLİKLER	PARAFIN	STEARİK ASİT	POLİPROPİLEN
Yoğunluk (g/cm <sup>2</sup> )	0.91	0.845	0.90
Isı iletkenliği (W/M/K)	-	-	0.2
Isı genişmesi (PPM/K)	400	-	100
Çekme gerilmesi (MPa)	4	-	35
Kopma uzaması (%)	-	-	200
Elastikiyet modülü(GPa)	-	-	1.3
Molekül Kütle (g/mole)	350-420	288	43.000
Kalıplama sıcaklığı (° C)	54-56	74	147

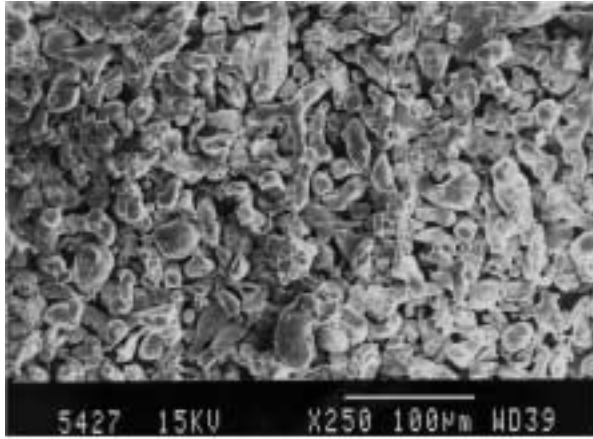
### Bağlayıcı

Bağlayıcı, ağırlık olarak % 60 parafin, % 35 polipropilen ve % 5 stearik asitten oluşmaktadır. Homojen bir şekilde belirtilen oranlarda karıştırılıp bağlayıcıyı elde etmenin iki yolu vardır. Birincisi malzemeleri toz haline getirip kuru olarak karıştırmak ikinci ise malzemeleri ergitip karıştırmaktır. Ergitip karıştırılması halinde metal veya seramik tozuyla karıştırmak için yine toz haline getirmek gerekmektedir. Bu çalışmada birinci yol, kuru karışım tercih edilmiştir. Tozlar belirtilen oranlarda ağırlık olarak tartılmış, el ile harmanlanmış ve daha sonra üç boyutlu karıştırma cihazında 30 dakika karıştırılmıştır. Bağlayıcıyı oluşturan malzemelerin bazı özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

### Yardımcı Cihazlar

#### Karıştırıcı

TEK’de kullanılacak tozun ve bağlayıcının iyi-

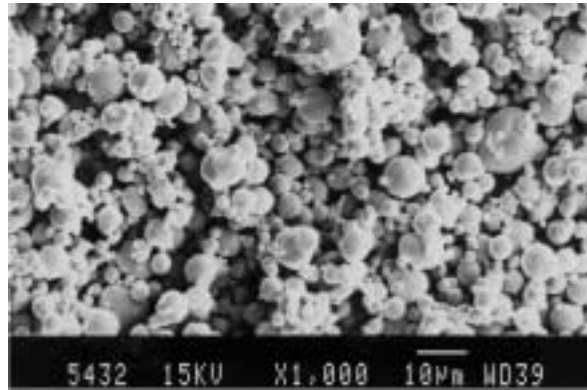


**Şekil 5.** Su atomize paslanmaz çelik tozunun SEM’de çekilmiş fotoğrafı (Ortalama boyut = 30.41 µm)

ce karıştırılması gereklidir. Bu amaçla Turbula marka üç boyutlu karıştırıcı kullanılmıştır. Cihaz 100 ml’den 2 litreye kadar kaplara sahiptir. Metal tozu ve bağlayıcı tozları kaba konduktan sonra cihaz 30 dakika çalıştırılarak homojen karışım sağlanmaktadır.

#### Granül Makinası

Kuru olarak karıştırılan metal ve bağlayıcı tozları bir granül makinasından geçirilerek 2-3 mm boyutlarında granüllere dönüştürülür. Granülleme sayesinde karışımın (Besleme Stoku) homojenliğinin bozulması ve zamanla özelliklerini kaybetmesi önlenmiş olur. Çalışmada kullanmak amacıyla bir granülleme tezgahı “Kupp (1995)” tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi tezgahın birinci kısmı helozon götürücü ve ikinci kısmı kamlı karıştırıcıdır. Her iki bölge de dıştan kelepçe ısıtıcı ile ısıtılarak sıcaklık 100 °C’ye çıkarılmaktadır. Cihazın ucundan 2mm çapında makarna gibi çıkan malzeme, kesilerek granül elde edilmektedir.



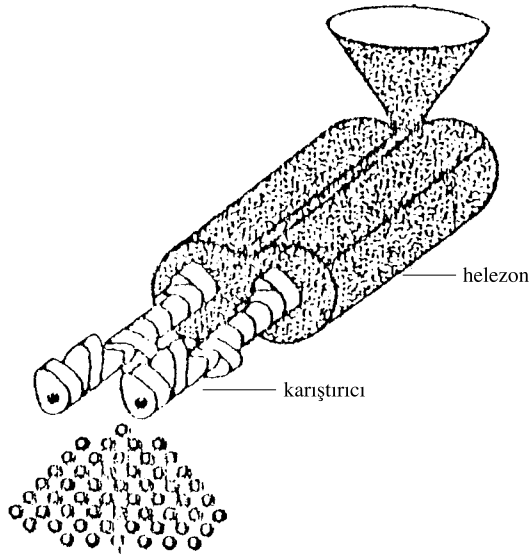
**Şekil 6.** Gaz atomize paslanmaz çelik tozunun SEM’de çekilmiş fotoğrafı (ortalama boyut = 5.84 µm)

**Tablo 3.** Su ve gaz atomize 316L paslanmaz çelik tozlarından besleme stoku hazırlamak için kullanılan toz-bağlayıcı karışım miktarları

Karışım	Ortalama Toz Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Toz % katı hacim oranı	Toz ağırlığı (g)	Bağlayıcı ağırlığı (g)	
1	5.84	74.00	577.2	23.4	
2		73.00	569.4	24.3	
3		72.00	561.6	25.2	
4		71.00	553.8	26.1	
5		70.00	546.0	27.0	
6		69.00	538.2	27.9	
7		68.00	530.4	28.8	
8		67.00	522.6	29.7	
9		66.8	521.04	29.88	
10		65.00	507.0	31.5	
11		64.00	499.2	32.4	
12		63.00	491.4	33.3	
13		62.00	483.6	34.2	
14		61.00	475.8	35.1	
15		60.00	468.0	36.0	
16		55.00	429.0	40.5	
17		50.00	390.0	45.0	
1	30.41	71.7	559.26	25.47	
2		66.8	521.04	29.88	
3		62.00	483.6	32.4	
4		57.00	444.6	38.7	
5		56.00	436.8	39.6	
6		55.00	429.0	40.5	
7		54.00	421.2	41.4	
8		53.00	413.4	42.3	
9		52.00	405.6	43.2	
10		51.00	397.8	44.1	
11		49.00	382.2	45.9	
12		48.00	374.4	46.8	
13		47.00	366.6	47.7	
14		46.00	358.8	48.6	
15		45.00	351.0	49.5	
1	40.35	52.00	405.6	43.2	
2		51.00	397.8	44.1	
3		50.00	390.0	45.0	
4		49.00	382.2	45.9	
5		48.00	374.4	46.8	
6		47.00	366.6	47.7	
7		46.00	358.8	48.6	
8		45.00	351.0	49.5	
9		44.00	343.2	50.4	
10		30.45	43.00	335.4	51.3
11			42.00	327.6	52.2
12			41.00	319.8	53.1
13			40.00	312.0	54.0

Tablo 3. devam

Karışım	Ortalama Toz Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Toz % katı hacim oranı	Toz ağırlığı (g)	Bağlayıcı ağırlığı (g)
1		71.7	559.26	25.47
2		68.00	530.4	28.8
3		62.00	483.6	34.2
4		57.00	444.6	38.7
5		52.00	405.6	43.2
6		51.00	397.8	44.1
7		50.00	390.0	45.0
8		49.00	382.2	45.9
9		48.00	374.4	46.8
10	67.42	47.00	366.6	47.7
11		46.00	358.8	48.6
12		45.00	351.0	49.5
13		44.00	343.2	50.4
14		43.00	335.4	51.3
15		42.00	327.6	52.2
16		41.00	319.8	53.1
17		40.00	312.0	54.0



Şekil 7. Model granül makinası şekli

## Deneyin Yapılışı

### Besleme stokunun hazırlanması

Kullanılan metal tozu, bağlayıcıyı oluşturan polipropilen, parafin ve stearik asit 0.001 g hassasiyetinde dijital terazide tartılmıştır. Önce % 60 parafin, % 35 polipropilen, % 5 stearik asit ağırlık olarak tartılmıştır. Tartılan malzemeler uygun yerde önce elle, daha sonra karıştırıcı cihazında yarım saat

karıştırılmıştır. Besleme stoku karışımı için hacim oranları dikkate alınmış, karışımların hesaplanması aşağıda örneklerde olduğu gibi yapılmış, Tablo 3'de de yapılan karışımlar toplu halde verilmiştir.

### Örnek: % 65 metal tozu içeren Besleme Stoku

Toz : 316L paslanmaz çelik, yoğunluğu =  $7.8 \text{ g/cm}^3$ ; Bağlayıcı : Ağırlık olarak % 60 parafin + % 35 polipropilen + % 5 stearik asit, yoğunluk =  $0.9 \text{ g/cm}^3$ ; Karışım : Hacim olarak % 65 toz + % 35 bağlayıcı; Bağlayıcı Bileşimi (100 gram için) parafin %60 = 60 g polipropilen % 35 = 35 g stearik asit % 5 = 5 g

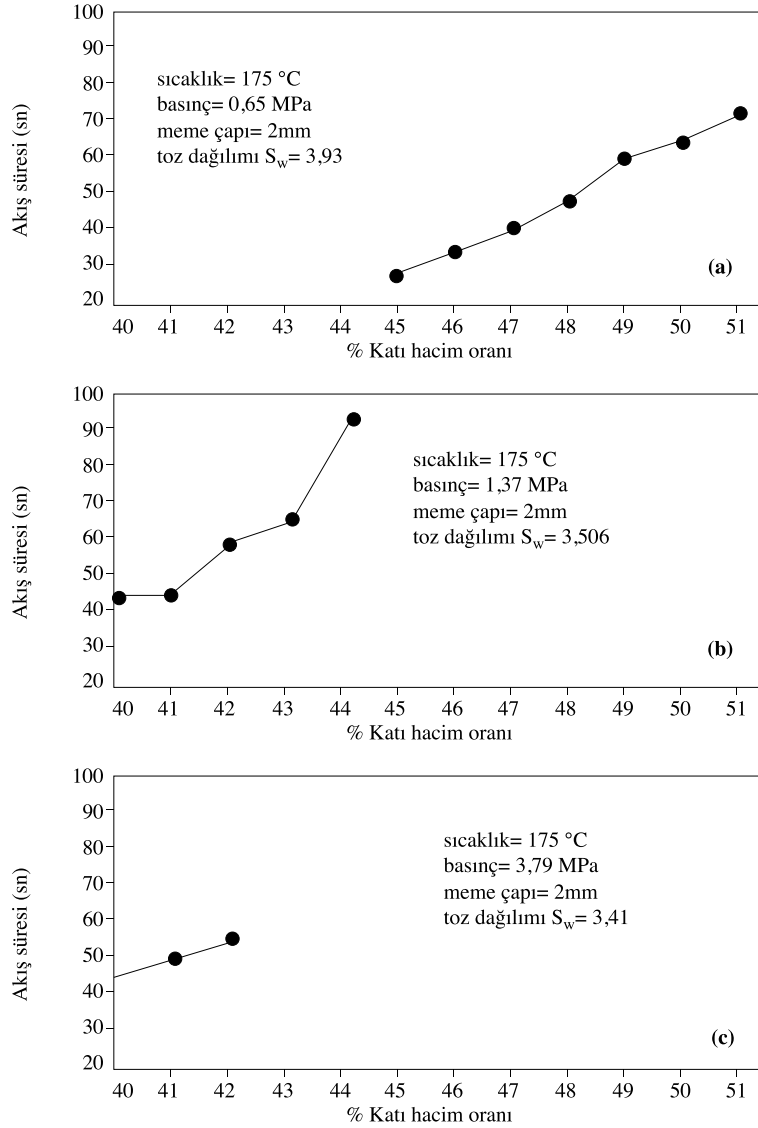
Besleme Stoku ( $100 \text{ cm}^3$  için) % 65 toz =  $65 \text{ cm}^3 \times 7.8 \text{ g/cm}^3 = 507 \text{ g}$ , % 35 bağlayıcı =  $35 \text{ cm}^3 \times 0.9 \text{ g/cm}^3 = 31.5 \text{ g}$

### Akış Hızının Ölçülmesi

Granül makinasından iyice karıştırılmış olarak alınan besleme stoklarından 5-15 g arasında miktarlarda numuneler tartılmıştır. Kılcal reometrenin ısıtıcısı deneye başlamadan 45 dakika önceden çalıştırılmış,  $175 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye gelmesi ve bir süre bu şekilde çalışmasından sonra deneye başlanmıştır. Tartılan besleme stoku numunesi, reometrenin silindrine bir huni ile akıtılmıştır. Daha sonra piston yerine sokularak doldurulan malzemenin silindirin tabanına doğru gitmesi ve içindeki havanın atılması sağlanmıştır. Doldurmadan sonra 20 dakika, malzeme kıvamını bulması için beklenmiştir (Bu

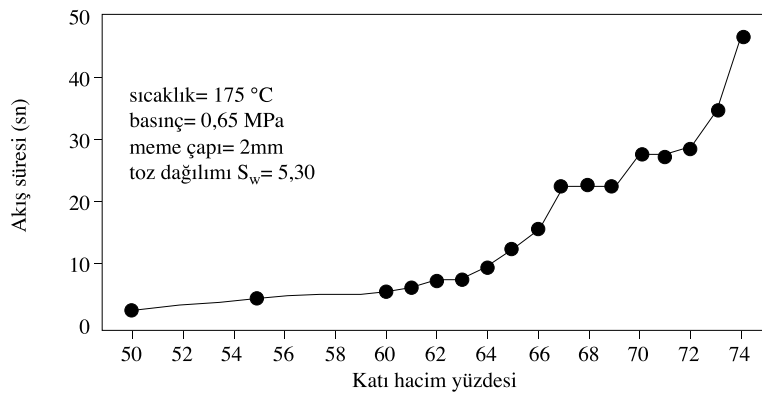
süre tespit edilmeden, değişik sürelerde de uygulama yapılmıştır). Enjeksiyon makinasında silindirdeki malzemenin kalıba enjekte edilene kadar bekleyeceği düşünülerek uyumlu olması, diğer süreler göre akışın 20 dakika beklemenin daha iyi olması, gibi sebeplerden dolayı deneylerde bu sürenin kullanılmasına karar verilmiştir. Belirtilen süre bekletildikten sonra ağırlık uygulanmış ve zaman ölçümü başlatılmıştır. Memenin ucundan malzeme akmaya başlamasından akış bitene kadar geçen

süre tespit edilmiş ve akan miktar 0.001 g hassasiyetle tartılmıştır. Piston üzerine konulan ağırlık, malzemenin akıp akmamasına göre, 5160 g'dan 55000 g (0.65- 6.99 MPa)'a kadar değiştirilmiştir. Çoğunlukla 5160 g (0.65 MPa) kullanılmıştır. Çünkü en küçük enjeksiyon basıncı bu civarlarda olmaktadır. Her deneyden sonra silindir, piston ve memede malzeme kalmayacak şekilde temizlenip diğer deneye geçilmiştir.

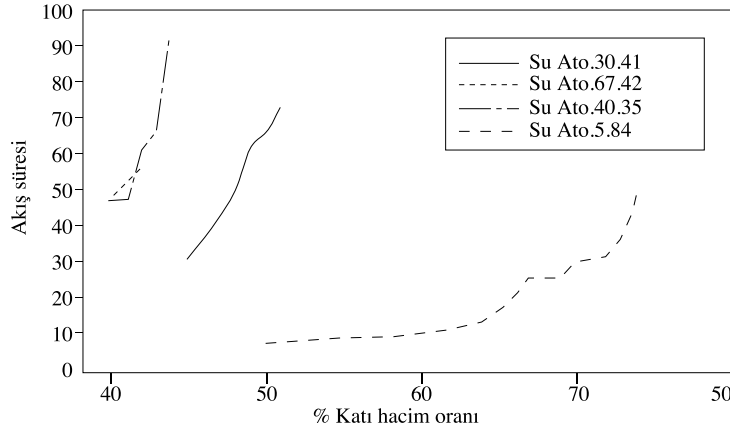


**Şekil 8.** Su atomize paslanmaz çelik tozlarının % katı hacim yüklemelerine göre akış süreleri [Ortalama boyut, (a) =30,41  $\mu\text{m}$ , (b) = 40,35  $\mu\text{m}$ , (c) = 67,42  $\mu\text{m}$





Şekil 9. Gaz atomize paslanmaz çelik tozların katı hacim yüzdesine göre akış süresi (Ortalama boyut, = 5.84 µm)



Şekil 10. Paslanmaz çelik besleme stokunun kılcal reometrede akış deneyi sonuçları

## Sonuçlar ve Tartışma

Kullanılan 316L tozları su atomize ve gaz atomize tozlardır. Su atomize tozlar ortalama 64.30 µm olarak satın alınıp elekte elenmiş ortalama, 30.41, 40.35 ve 67.42 µm olmak üzere üç boyuta ayrılmış, bağlayıcıyla karıştırılarak kılcal reometrede akışı ölçülmüştür. Şekil 8'de görüldüğü gibi boyut küçüldükçe, akış kolaylaşmaktadır. Böylece daha fazla miktarda katıyı (% katı hacim oranı) bağlayıcıya taşımak mümkündür. Ayrıca boyut küçüldükçe aynı % katı hacim oranındaki karışımın akış süresi azalırken, boyut büyüdüğü de artmıştır. German (1990)'a göre TEK'de ideal tanecik büyüklüğü ortalama 2 ile 8 µm arasında olmalıdır. Suda atomize 316L tozlarında toz boyutu ideal olmamasına rağmen görülüyor ki boyut küçüldükçe % katı hacim oranı büyüyor, akış hızı artıyor ve akış zamanı kısalıyor.

Gaz atomize 316L paslanmaz çelik tozlarında % katı hacim yükleme % 74 oranına kadar çıkmıştır. Ortalama boyutu 5.84 µm olan gaz atomize tozun

kılcal reometrede % katı hacim oranına göre akış hızı Şekil 9'da görülmektedir. 316L paslanmaz çelik tozlarının akış süreleri toplu olarak Şekil 10'da gösterilmiştir.

Su atomize tozların şekli karmaşık gaz atomize tozların şekli küreseldir. Gaz atomize tozda % 74 katı hacim oranına çıkılabilmemesinin sebebi boyutun küçük olması ve toz şeklinin küresel olmasıdır. Sohn ve Morelan (1968); German (1989,1990,1992), parçacık şekli küresellikten uzaklaştıkça paketleme yoğunluğunun düşeceğini belirtmektedirler. Ayrıca, Parrish (1961) ve White ve Walton (1937)'a göre taneler arası sürtünme yüzey pürüzlülüğünden yada parçanın şekil bozukluğundan meydana gelir. Bu durum düşük paketleme yoğunluğuna neden olur. Şekil 10'da katı hacim yüzdesi arttıkça akış süresinin arttığı ve bu artışın lineer olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi katı hacim yüzdesinin artmasıyla viskozitenin artması, kritik yüklemeye yaklaştıkça ise bu artışın birden büyümesidir. Farris (1968) ve German

(1990)'a göre polimere daha çok katı karıştırıldıkça viskozite artar. Katı yükleme ile değişen viskozite yüksek miktarlarda lineer değildir. Bu durumu Chung ve arkadaşları (1989), Metzner (1985) ve Lee (1969) şöyle açıklamaktadırlar: Katı yükleme sınıra yaklaştıkça tüm sıvı hareket edemez hale gelir ve viskozite hızla artar.

## Sonuçlar

Toz enjeksiyon kalıplama yöntemiyle, metal ve seramik tozların kalıplanabilmesi için, kılcal reometrede alınan sonuçlar yol göstericidir. Kalıplama sırasında olacak olayları ve yüklenebilecek katı hacim yüzdesi görmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada değişik boyutlarda su atomize ve gaz atomize, paslanmaz çelik tozları kullanılmıştır. Bu tozlar %60 parafin + %35 polipropilen + %5 stearik asitten oluşan bağlayıcı ile karıştırılmıştır. Bu karışım granül makinasından geçirildikten sonra, kılcal reometrede akış hızları ölçülerek her tozun kalıplamada kritik katı yüzdesi, uygulanacak sıcaklık ve basınçları ölçülmüştür. Her besleme stoku için kalıplamada kullanılacak basınç, sıcaklık ve enjeksiyon hızı gibi parametrelere ışık tutacak bilgiler elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki

sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Tozların şekli TEK işleminde çok büyük önem arz etmektedir. Şekil küresellikten uzaklaştıkça akış sağlanabilen % katı hacim oranı düşmektedir. Küresel şekilli tozda %74'lere varan katı hacim oranına ulaşılırken, karmaşık şekilli tozda %51 katı hacim oranında kalınmıştır.
2. TEK'de boyut büyüdükçe akış sağlanabilen katı hacim oranını düşerken, boyut küçüldükçe katı hacim oranı büyümektedir. Su atomize 67.42  $\mu\text{m}$  ortalama boyutlu paslanmaz çelikte %42 katı hacim oranında kalınırken, 30.41  $\mu\text{m}$  ortalama boyutlu malzemede %51 katı hacim oranına ulaşılmıştır.
3. %60 parafin + %35 polietilen + %5 stearik asitten oluşan bağlayıcı için kılcal reometrede akitma sıcaklığı olarak 160 °C bulunmuş üst sıcaklıklarda bağlayıcı püskürürken, alt sıcaklıklarda viskozite yükselmesinden dolayı akış sağlanamamıştır. Besleme stoku karışımı için bu sıcaklık 175 °C olarak bulunmuş, alt sıcaklıklarda malzeme akışı olmazken üst sıcaklıklarda bağlayıcı ve toz ayrışması olmuştur.
4. Akış sağlanabilen kritik katı hacim oranı olarak su atomize 30.41, 40.35, 67.42  $\mu\text{m}$  ortalama boyutlu paslanmaz çeliklerde %51, 44, 42; gaz atomize 5.84  $\mu\text{m}$  ortalama boyutlu paslanmaz çelikte %74 bulunmuştur.

## Kaynaklar

ASTM, D 1238-90b, Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer, 1990.

Chung, C. I., Rhee, B. O. and Cao, M. Y., "Requirements of Binder for PIM", Advances in Powder Metallurgy, 3, 67-78, 1989.

Farris R. J., "Prediction of the Viscosity of Multimodal Suspensions From Unimodal Viscosity Data", Transactions of Society of Rheology, 12, 281-301, 1968.

German, R. M. Particle Packing Characteristics", MPIF, Princeton, New Jersey, USA, 1989.

German, R. M., "Powder Injection Molding", MPIF, Princeton. New Jersey, USA, 1990.

German, R. M., "The Role of Particle Packing Density in PIM", Reviews on Powder Metallurgy and Physical Ceramics, 5, 81-110, 1992.

Hunold, K., Greim, J., and Lipp, A., "Injection Moulded Ceramic Rotors - Comparison of SiC and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>", Powder Metallurgy International, 21, 4, 17-23 1989.

Johnson, C. F. and Mohr, T. G., "Silicion Nitride Turbine Rotor Blade Rings Utilizing Automatic Control", Ceramics for High Performance Applications- II, J. J. Burke, E. N., Leno and R. N. Katz (eds.), Brook Hill Publishing, Chestnut Hill, MA, USA, 193- 205, 1978.

Karataş, Ç. ve Sarıtaş, S., "Toz Enjeksiyon Kalıplama", 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 2, 89-98, Denizli, 1993.

Karataş, Ç., "Toz Enjeksiyon Kalıplamada Karışımın Reolojisi", Doktora Tezi, Gazi University, F.B.E. Ankara, 1997.

Kupp, D., "Design and Preparation of PIM Feedstock Systems", International Powder Injection Molding Symposium, Penn State University, Pennsylvania, USA, 1995.

Lee, D. I., "The Viscosity of Concentrated Suspensions", Transactions of the Society of Rheology, 13, 273-288, 1969.

Merhar, J. R., "Overview of Metal Injection Molding", Metal Powder Report, 45, 339, 1990.

Metzner, A. B., "Rheology of Suspensions in Polymeric Liquids", *Journal of Rheology*, 29, 739-775, 1985.

Petzold, F., "Advances in Metal Injection Molding Technology", 1. Ulusal Toz Metalurji Konferansı, 51-56, Ankara, 1996.

Parrish, J. R., "Packing of Spheres", *Nature*, C. 190, 800, 1961.

Schwartzwalder, K., "Injection Molding of Ceramic Materials", *Ceramic Bulletin*, 28, 459-461, 1949.

Sohn, H. Y. and Moreland, C., "The Effect of Particle Size Distribution on Packing Density", *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 46, 162-167, 1968.

TS 1323, Termoplastiklerin Erime Akış Hızının Tayini, Ekim 1974.

TS 1675, Polietilen ve Polietilen Bileşiklerinin Erime Akış İndisinin Tayini, Nisan 1974.

Vervoort, P. J., Vetter, R. and Duszczyk, J., "Overview of Powder Injection Moulding", *International Powder Injection Molding Symposium*, Penn State University, Pennsylvania, USA, 1995.

Whalen, T. J. ve Johnson, C. F., "Injection Molding of Ceramics", *Ceramic Bulletin*, 60, 216- 220, 1981.

White, H. E. and Walton, S. F., "Particle Packing and Particle Shape", *Journal of The American Ceramic Society* , 20, 155-166, (1937)