

## TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA MAKİNASININ ENJEKSİYON HIZININ KONTROLÜ

İlhami YİĞİT  
Yücel ERCAN

### ÖZET

Enjeksiyon hızının toz enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilen metal veya seramik parçaların kalitesinde çok etkisi olduğu bilinmektedir. Doldurma fazında kalıp içerisine giren debinin ( enjeksiyon hızının ) kontrol edilmesi; parçanın homojen bir yapıya sahip olması, yüzey kalitesinin iyi olması, düzenli katılaşmanın sağlanması, vb. özellikler açısından çok önemlidir. Bu çalışma ile enjeksiyon hızının hassas elektro-hidrolik servo kontrolü amaçlanmıştır. Bu alanda şimdiye kadar yapılmış çalışmalarda göz ardı edilmiş veya varsayımlarla yetinilmiş kısımlar üzerinde ağırlıkla durularak toz enjeksiyon kalıplama makinasının fiziksel modeli oluşturulmuş ve davranışını tanımlayan denklemler bulunmuştur. Geliştirilen simülasyon programı değişik durumlar için çalıştırılmıştır. Kurulan modelin doğrulanabilmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır ve kurulmuştur. Deneysel ve teorik sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

### GİRİŞ

Enjeksiyon kalıplama, çeşitli plastik parçaların üretiminde yoğun olarak kullanılan net son şekilli bir üretim işlemidir. Polimer granüller ısıtılarak ergiyik hale getirilip üzerine basınç uygulanarak kalıp içi hacim doldurulur, malzeme soğutulur ve istenilen son şekli alır.

Enjeksiyon kalıplama işlemi bir toz-bağlayıcı karışımına şekil vererek ve son aşamada bağlayıcı uzaklaştırılarak metal veya metal olmayan parça üretimi için kullanılırsa bu üretim tekniğine “ **toz enjeksiyon kalıplama** “ denir. Özellikle konvansiyonel yöntemler kullanılarak üretilemeyen metal veya metal olmayan parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Net son şekilli bir üretim tekniği olarak, döküm, dövme ve talaşlı kaldırma yoluyla parça üretimine maliyet açısından alternatifidir. Konvansiyonel yöntemlerle işlenmesi zor, karmaşık şekilli parçaların seri üretimi için çok uygundur. İkinci bir işlem gerektirmeden girift geometri parçaları homojen ve tam yoğunlukta üretilebilme özellikleri, bu teknolojiyi birçok alanda cazip hale getirmektedir. Askeri ve uzay endüstrisindeki başlangıç başarılarının ardından, bilgisayar donanımı, baskı ve büro makineleri, elektrikli, manyetik ve yarı iletken cihazların üretimi yanında, kimya, tekstil, otomotiv ve biyomedikal endüstri gibi sivil alanlarda da yoğun olarak kullanılmaktadır. Toz enjeksiyon kalıplama tekniğine uygun malzemeler şimdilik metaller, seramikler, intermetaller ve fiber takviyeli kompozitlerdir [16].

Toz enjeksiyon kalıplamada, parça boyutunun sınırlı olması, büyük kesit alanı değişiminin söz konusu olmaması, parça şeklinde çarpılma, düzgün olmayan büzülme, enjeksiyon sırasında katılaşma nedeniyle istenilen yerde istenilen hidrolik basıncın oluşmaması, karmaşık şekilli parça üretiminde iç çatlakların büyüebilmesi gibi problemlerle karşılaşmaktadır [9].

Toz enjeksiyon kalıplamada enjeksiyon işlemi üç kısma ayrılır : doldurma aşaması, geçiş aşaması ve sıkıştırma aşaması.

Doldurma aşamasında enjeksiyon hızı hassas bir şekilde kontrol edilemezse parçada boşluklar veya gözenekler oluşmaktadır. Bu nedenle, jet oluşumunu önleyecek ve doldurma safhasında enjeksiyon basıncını düşük tutacak şekilde bir enjeksiyon hızı profilinin hassas olarak izlenmesi önemlidir.

Geçiş aşamasında uygun kontrolün olmaması parçanın yanma ve çarpılmasına neden olmaktadır. Çatlaklardan ve yüzeylerde çukurlardan kaçınabilmek için sıkıştırma aşamasında sıkıştırma basıncının hassas kontrolü gerekmektedir. Bunun nedeniyle, geçiş ve sıkıştırma safhasında bir kalıp içi basınç profilinin hassas olarak izlenmesi önemlidir [11, 12]

Son özellikleri iyi toz metal veya metal-olmayan parça üretimini gerçekleştirebilmek için kullanılacak enjeksiyon kalıplama makinasının, enjeksiyon aşaması için kapalı çevrim enjeksiyon hızı kontrol sistemine, geçiş ve sıkıştırma aşaması için kapalı çevrim basınç kontrol sistemine sahip olması gerekmektedir. İstenilen hız ve basınç profillerini kolayca verebilmek, kompleks kontrol stratejileri uygulayabilmek ve görüntüleme işlemleri için makinanın bilgisayar kontrollü olması gerekmektedir [10].

## TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA

Toz enjeksiyon kalıplama temel olarak plastik enjeksiyon kalıplama işleminin uzantısı olmasına rağmen, kalıp içerisine enjekte edilen malzemenin karmaşıklık seviyesi ana farklılığı oluşturmaktadır. Toz enjeksiyon kalıplama malzemelerinin davranışı basit polimerden çok daha karmaşıktır. Toz enjeksiyon kalıplamada enjeksiyon hızının gereğinden yüksek olması halinde tozun ergiyik polimerden ayrılma durumu, yüksek basınç ve sıcaklık eğimleri ile karşılaşılması, karışımın viskozitesi ve Bulk modülünün polimerden çok farklı olması, karışımın aşındırıcı etkisinin büyük olması ve toz enjeksiyon kalıplamanın plastik enjeksiyon kalıplamada bulunmayan işlem aşamalarına sahip olması gibi önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar ise enjeksiyon hızı profili ve kalıp içi basınç profilini ve makinada özellikle vida, silindir ve nozulda aşınmaya dayanıklı malzeme kullanılmasını, daha hızlı ve hassas kontrol sistemini gerektirmektedir [14].

### Kalıplama

Kalıplama çevrimi karışımın kalıplama makinasının ısıtılmış silindiri içerisinde ergimesi ile başlar. Git-gel hareketi yapan vida karışımı sıkıştırma, homojen hale getirme ve basınç uygulama işlemlerinde kullanılır. Gerçek kalıplama stroğu, ergiyik karışım miktarını kalıp içerisine enjekte etmek için vidanın silindir içerisinde ileriye itilmesi ile gerçekleştirilir. Nozuldan akan ergiyik ana ve yardımcı yolluklara ve kalıp kapağına, oradan da kalıp içi boşluğa akar. Kalıp ergiyik karışımdan daha soğuk olduğu için kalıplama sırasında karışım büyük bir viskozite artışı ile ısını kaybeder. Akış hatlarındaki direnç artışını telafi etmek için kalıp dolana kadar basınç sürekli artırılır.

### Enjeksiyon Aşaması

Kalıp boşluğunun doldurulduğu kalıplama aşamasıdır. Vidanın önünde tam enjeksiyon ve sıkıştırma için yeterince malzeme bulunmalıdır. Vida kalıba doğru hız kontrolü altında dönmeden hareket eder. Hız profili vida konumunun bir fonksiyonu olarak programlanır. Hız profili doldurma aşamasında jet oluşumunu önlemek ve düşük enjeksiyon basınçlarını sağlamak için çok önemlidir. Enjeksiyon hızı doldurma sırasında karışımın katılaşmasını engelleyecek kadar yüksek ve jet oluşumunu ve bağlayıcı ayrılmasının engelleyecek kadar da düşük olmalıdır [9,10].

### Geçiş Aşaması

Geçiş işlemi, kalıbın tamamen dolduğu anda meydana gelir. Doldurma aşamasından sıkıştırma aşamasına geçiş anlamına gelir. Kalıbın tamamen dolduğu strok, debi kontrolünden basınç kontrolüne geçiş açısından önemli bir referans noktasıdır [15]

## SİSTEMİN MODELLENMESİ

Bilgisayar kontrollü bir enjeksiyon kalıplama makinasının şematik görünüşü Şekil 1 'deki gibidir. Sistem üç alt sisteme ayrılabilir:

i) elektronik sistem ( bilgisayar + DAS kart + servoyükseltici )

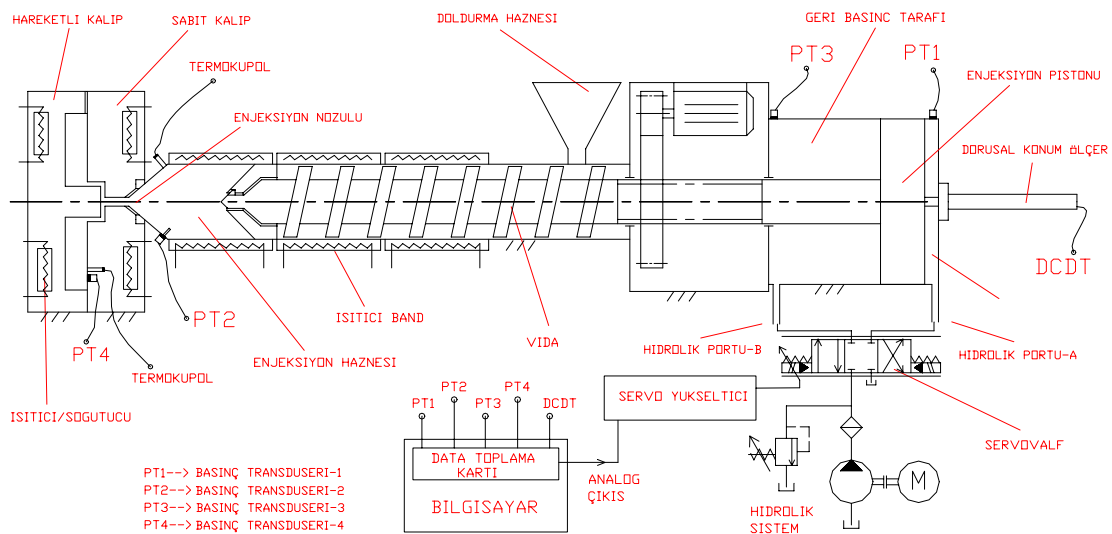
Bu sistem birinci dereceden, yalnızca gecikmesi ve sabit kazancı olan bir sistem olarak düşünülebilir. Bilgisayar kısmındaki gecikme kontrol yazılımının döngü başına çalışma zamanına bağlı olup kontrol stratejisi ile değişkenlik gösterir ve örnekleme zamanını belirler. DAS kartların gecikmesi ise 5-12 mikrosaniye kadar küçüktür. Servo yükseltici ise sıfırıncı dereceden kabul edilebilir.

ii) elektro-hidrolik sistem ( servovalf )

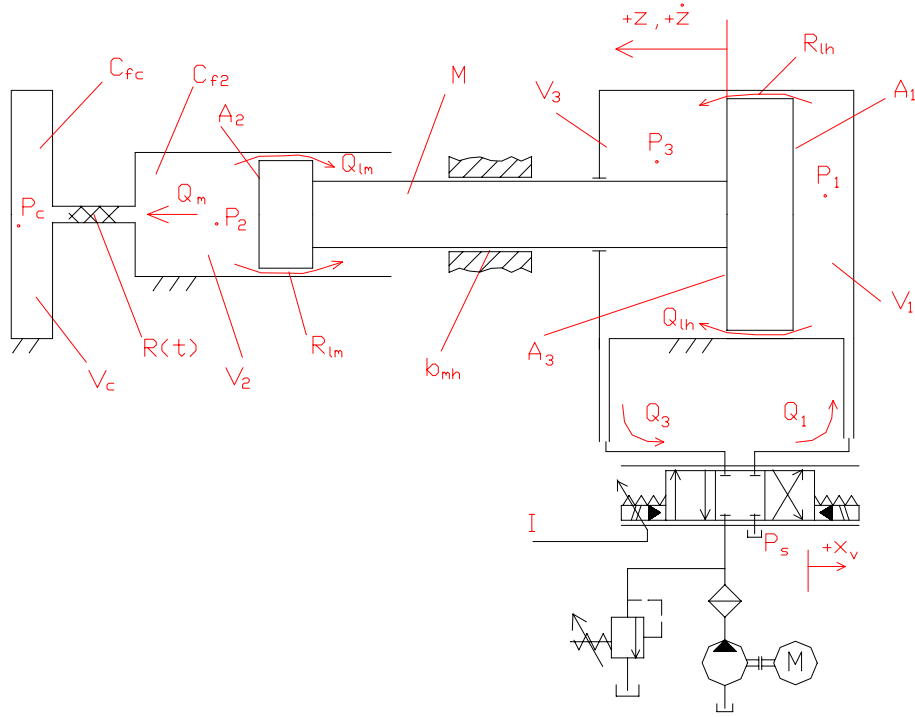
Bu sistem ise elektriksel + mekanik + akışkanlı sistemden oluşmaktadır. Birinci veya ikinci dereceden bir sistem olarak ele alınabileceği gibi bu çalışmada olduğu gibi asimetrik yük durumunda lineer olmayan bir model oluşturmayı gerektirebilir.

iii) hidro-mekanik sistem ( toz enjeksiyon makinası + kalıp )

Sistem bir basınç artırıcı ve kalıptan oluşmakta olup doğrusal mekanik ve akışkanlı sistem görülmektedir. Besleme stokunu karıştırmak için gerçekleşen vida dönüş hareketinin debi ve basınç kontrolü açısından düşünüldüğünde modele katılmasına gerek yoktur Doğrusal mekanik sistemde, piston ve vida tek parçadır. Pasif sistem elemanları: kapasitif eleman olarak kütle, endüktif eleman olarak vidanın yay özelliği (vida çapları yeterince büyük ve rijit olduğu için ihmal edilebilir) ve disipatif eleman olarak hidrolik kısım ile enjeksiyon silindirindeki viskoz sürtünmelerdir. Enjeksiyon kısmındaki sürtünme ise besleme stokuna, kayma hızına ve sıcaklığa bağlıdır. Hidrolik enjeksiyon kısımlarında pasif sistem elemanları: akışkan kapasitans olarak sıkıştırılabilirlik, endüktif eleman olarak akışkan inertansı (çok kısa hat, ihmal), akışkan direnç olarak hidrolik yağ ve karışımın sızıntılarıdır (iyi önlem alındığında -sürtünmeyi artırmakla birlikte- ihmal edilebilir). Enjeksiyon nozulu ve kalıbı ise değişken bir akışkan direnç olarak modellenebilir ve kalıba basılan karışımın cinsine, parçanın geometrisi ve yollukların durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir.



Şekil 1. Bilgisayar kontrollü bir toz enjeksiyon makinasının şematik görünüşü



Şekil 2. Toz enjeksiyon makinasının fiziksel modeli

Servovalfin dinamik davranışı belirlenirken hidrolik pistonun sağındaki alan ile solundaki alanların farklı olmasından dolayı asimetrik bir durum söz konusudur ve servovalfin basma tarafındaki kapısındaki basınç düşüşü ile dönüş tarafındaki basınç düşüşleri dolayısıyla valf üzerinden geçen yük debileri farklılık gösterecektir. Bu asimetrik durum özellikle pistonun konumunun değişim frekansı yükseldikçe kontrol açısından kararsızlığa neden olacaktır. Bu alanda şimdiye kadar yapılan valf ya birinci dereceden ya da ikinci dereceden modellenmiş, asimetrik durum dikkate alınmamıştır [1,13,14]. Halbuki debi kontrolünde ve özellikle kalıp içi basınç kontrolünde ani basınç değişimleri durumunda simetrik model ile iyi sonuç almak zordur. Dolayısıyla valfin modeline bu lineer olmayan etkiyi katmak gerekir. Bu durumda valf makarasının elektro-hidrolik davranışı,

$$\frac{x_v(s)}{I_v(s)} = \frac{K_v}{\left(\frac{s}{\omega_v}\right)^2 + \left(\frac{2\xi_v}{\omega_v}\right)s + 1} \quad (1)$$

ve valfin zaman bölgesinde davranış denklemi;

$$\ddot{x}_v + (2\xi_v\omega_v)\dot{x}_v + (\omega_v^2)x_v = (\omega_v^2K_v)I(t) \quad (2)$$

olup, burada,

$x_v$  = valf makarasının konumu, m

$I_v$  = servovalfe giriş akımı, mA

$K_v$  = servovalfin kazancı, m/mA

$\omega_v$  = servovalfin doğal frekansı, rad s<sup>-1</sup>

$\xi_v$  = servovalfin sönüm oranıdır.

Valf kapılarından geçen debiler :

Eğer  $x_v \geq 0$  ise;

$$Q_1 = K_Q x_v \sqrt{(P_s - P_1) / \rho_h} \quad (3)$$

$$Q_3 = K_Q x_v \sqrt{P_3 / \rho_h} \quad (4)$$

Eğer  $x_v < 0$  ise;

$$Q_1 = K_Q x_v \sqrt{P_1 / \rho_h} \quad (5)$$

$$Q_1 = K_Q x_v \sqrt{(P_s - P_3) / \rho_h} \quad (6)$$

Burada,

$K_Q$  = orifis geometrisi ve debi katsayısını içeren katsayı ( $K_Q = C_d w$ ), m

$C_d$  = servovalf orifislerinin debi katsayıları

$w$  = servovalf makarasının alan gradyanı, m

$\rho_h$  = hidrolik yağın yoğunluğu,  $\text{kg m s}^{-1}$

$P_s$  = hidrolik besleme basıncı, Pa

Kalıp içerisine giren karışım debisi;

$$Q_m = \frac{1}{R(t)} P_2 \quad (7)$$

Kalıp içerisine giren karışım hacmi ise;

$$\frac{dV_m}{dt} = Q_m \quad (8)$$

olup, bu denklemlerde,

$R(t)$  = karışımın nozul ve kalıp içerisinde akışında karşılaştığı eşdeğer direnç,  $\text{Pa s m}^{-3}$

$R(t)$ , karışımın malzemesine, enjeksiyon hızına, kalıp içi geometriye, kalıp içi boşluğa dolan karışım miktarına bağlı olarak değişir.

Hidrolik ve karışımın viskoz akışından dolayı oluşan ortak sönüm sabiti değişken olup piston hızının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir .

$$b_{mh} = f(\dot{z}) \quad (9)$$

$b_{mh}$  = hidrolik ve enjeksiyon kısımlarındaki sönüm sabiti ,  $\text{N s m}^{-1}$

$V_1$  ,  $V_2$  ,  $V_3$  hacimleri pistonun konumu ile değişmekte olup, hidrolik ve karışımın sıkıştırılabilirliğinin değişken olmasına neden olmaktadır; hacimlerin ilk değerleri  $V_{10}$  ,  $V_{20}$  ,  $V_{30}$  olmak üzere,

$$V_1 = V_{10} + A_1 z \quad (10)$$

$$V_2 = V_{20} + A_2 z \quad (11)$$

$$V_3 = V_{30} + A_3 z \quad (12)$$

olarak yazılabilir.

Karışımın akış öny basıncı enjeksiyon basıncında, akış sonu basıncı ise atmosfer basıncında kabul edildiğinden kalıbın doldurulması sırasında kalıp içi basınç; ortalama alınarak,

$$P_c = P_2 / 2 \quad (13)$$

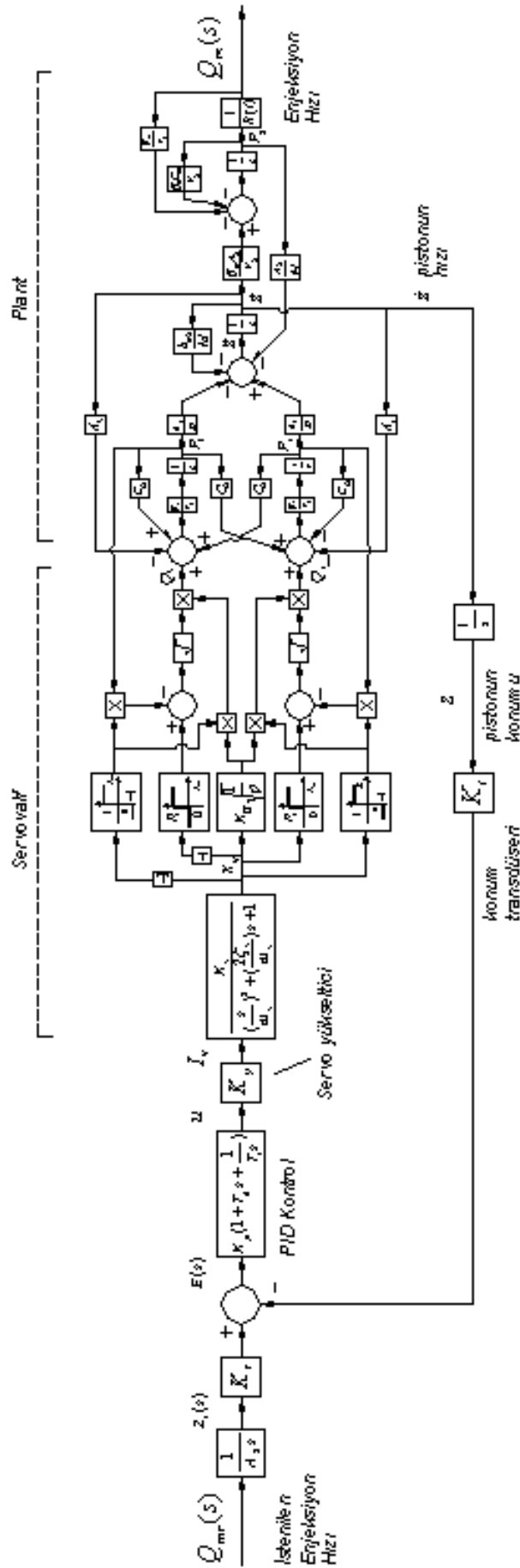
yazılabilir [1].

## KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Kontrol edilecek olan sistemin durum denklemleri birinci dereceden dokuz diferansiyel denklemden oluşmaktadır.. Denklemler birbirine bağlı ve lineer olmayan ifadeler içermektedir. Sistemin enjeksiyon hızı kontrolü için enjeksiyon hızının proses sırasında sürekli ve hassas bir şekilde ölçülebilmesi mümkün değildir. Halbuki, enjeksiyon aşamasında enjeksiyon basıncı basınç kontrol aşamasındakine göre yaklaşık on kat daha küçük olduğundan karışımın sızıntısı ve sıkıştırılabilirliğinden dolayı meydana gelebilecek debi kaybı kalıba giren debi yanında ihmal edilerek, pistonun hızı cinsinden kalıba giren debi;

$$Q_m = A_2 \dot{z} \quad (14)$$

yazılabilir. Böylece debi ölçmek yerine pistonun hızını ölçüp geri beslemek daha pratik gözükmemektedir. Uygulamada düşük hızların yüksek çözünürlükte ölçülebilmesi pek mümkün değildir. Pistonun hızı da ölçüm açısından bakıldığında düşüktür. Bu durumda pistonun konumu hassas bir şekilde ölçüp geribesleyerek sistemin hassas konum kontrolünü yapabilmek mümkündür. Böylece, sistemin hız kontrolü dolayısıyla enjeksiyon hızının kontrolü hassas bir şekilde gerçekleştirilmiş olur. PID kontrol kullanılarak tasarlanan kapalı çevrim kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 3. 'deki gibidir.



Şekil 3. Kapatı çevrim enjeksiyon hızı kontrol sisteminin blok diyagramı

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

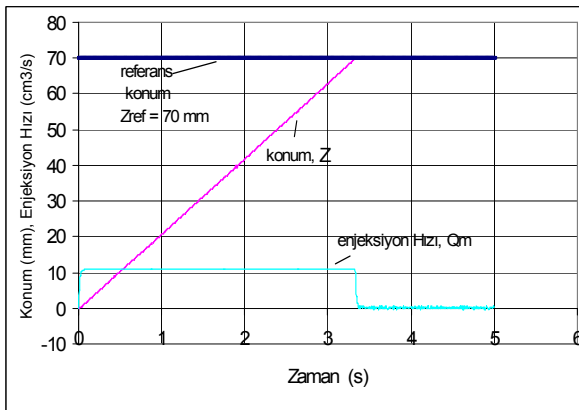
DeneySEL çalışmalarında kullanılmak üzere Şekil 1 'de gösterilen makinanın bir simülatörü tasarlanmış ve imal edilmiştir . Malzeme olarak su + bentonit ile çalışılmıştır. Su esaslı toz malzemeler ile çalışma hedeflendiğinden sıcaklık kontrol ünitesinin bulunması gerekmemektedir. Enjeksiyon silindirisinin içerisi sertleştirilmiş, honlanmış ve krom kaplanmış. Gerekli sızdırmazlık önlemleri alınmıştır. 1000 bara kadar enjeksiyon basınçları oluşabileceği dikkate alınarak gerekli mukavemet hesapları ve malzeme seçimi yapılmıştır. Tek parça ve iki parça olmak üzere İki tip kalıp ile çalışılmıştır. Birinci kalıp sadece direnç - R(t) - oluşturmak amacıyla, ikincisi ise ne derece düzgün parça basılabildiğini görebilmek içindir.

Deney düzeneğinde kullanılan donanım:

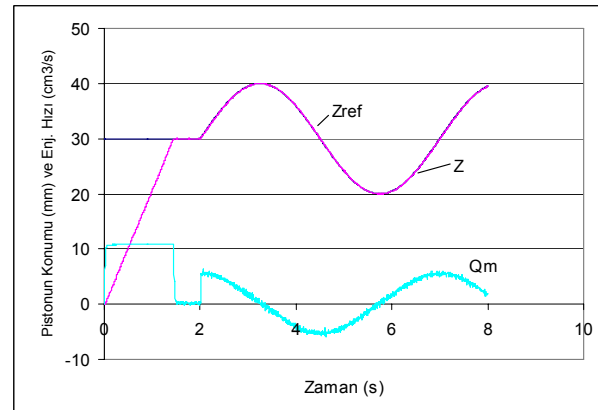
- Bilgisayar : 486 DX2-66, IBM PC Uyumlu, 8 Mb RAM
- DAS Kart : Kidley MetraByte marka DAS20 Model Data Toplama Kartı, 100000 ölçüm/saniye, 12 bitlik,  $\pm 1$  bit hassasiyette ( $\pm 1 / 4096$  volt ), 8 kanal analog girişli, 2 kanal analog çıkışlı.
- Servo yükseltici : Moog marka, 5 – 190 mA/V değişken kazançlı.
- Elektrohidrolik servovalf : Moog 931B, iki kademeli kanat-nozul valf, 3 yollu 4 konumlu, 3000 psi besleme basıncı, 3000 psi 'da 2.5 in<sup>3</sup>/s debi,  $\tau = 0.0013$  s,  $f \cong 240$  Hz, max. açıklıkta 175 barda akan debi 10.4 cm<sup>3</sup>/s, 13.25 mA doyma akımı.
- Konum Ölçer : Sensotec MDL-3000,  $\pm 3$  inç stroklu,  $\pm \%0.25$  F.S. hassasiyette,  $K_f=0.06768$  V/mm

DeneySEL çalışmalarda, makina yüksüz halde iken basamak, rampa ve sinüzoidal sinyallere sistem cevapları belirlenmiş, sistemin frekans cevabı bulunmuş olup sonuçlar Şekil 4-6 'daki gibidir. Makina yüksüz ve yüklü halde iken dosyadan okunan enjeksiyon hızı referanslarına göre elde edilen sistem cevapları ise Şekil 7-9 'daki gibidir. Deneylerde,  $K_y=40$ ,  $K_p=15000$ ,  $K_i=0$  ve  $T_d=0$  alınmıştır.

Şekil 4. 'de yalnızca konum kontrol işlemi yapıldığında  $Z_{ref}=70$  mm için sistemin ( karışım yüklü değil iken ) basamak girişe cevabı görülmektedir. Şekil 5 'de 30. mm ye gidip, 10 mm genlik ve 0.2 Hz frekanslı konum referansına sistemin sinüzoidal cevabı, Şekil 6' da ise bu şekilde elde edilen sinüzoidal cevaplara bakarak elde edilmiş sistemin frekans cevabı görülmektedir. Şekil 7. 'de sistemin bir veri dosyasından okunan konum referanslarını ve dolayısıyla enjeksiyon hızı profilini ( yüksüz durumda ) izleyişi görülmektedir. Enjeksiyon hızı eğrileri üzerinde elektronik gürültü daha belirgin görülmektedir. Şekil 8 ve 9 'da ise enjeksiyon haznesinde besleme stoku bulunurken sistemin verilen enjeksiyon hızı profillerini izleyişi görülmektedir. Şekil 9 ise kalıbın erken doluşuna örnektir.

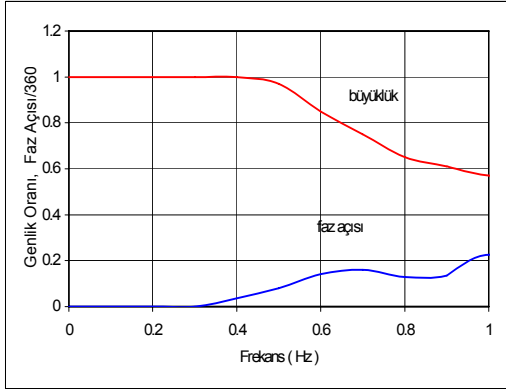


Şekil 4. Sistemin konum basamak cevabı

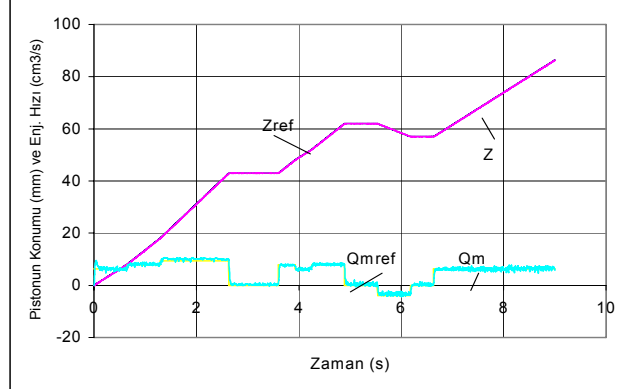


Şekil 5. Sistemin sinüzoidal konum girişe cevabı

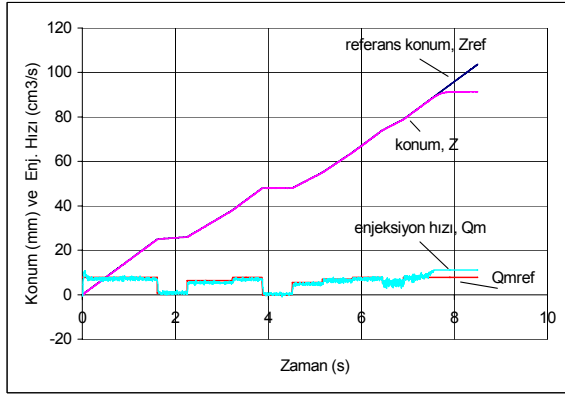




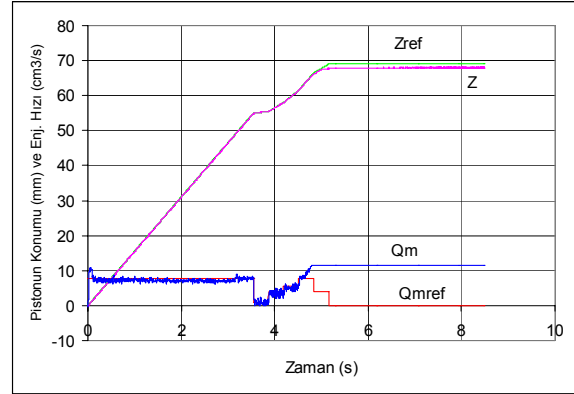
Şekil 6. Sistemin frekans cevabı



Şekil 7. Sistemin ref. enjek. hızı girişine cevabı (Yüksüz, 1. Kalıp ile)



Şekil 8. Sistemin enjeksiyon hızı girişine cevabı (Yüklü, 1. Kalıp ile)



Şekil 9. Sistemin enjek. hızı girişine cevabı (Yüklü, 2. Kalıp ile)

## SONUÇ

Sistem, davranış denklemlerinden de görüldüğü gibi son derece lineer olmayan ve birbirine bağlı bir yapıya sahiptir. Deneylerde, oransal kontrolün yeterli ve iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sistemin hidrolik olması ve özellikle karışımın viskozitesinin yüksek olmasından dolayı sistemin sönümleme özelliği fazladır. Topraklamanın zayıf olması ve gürültü nedeniyle  $\pm 5$  v ölçüm aralığında ancak  $\pm 0.02$  mm konum hassasiyeti elde edilebilmiştir. Bilgisayarın hızı maksimum düzeyde kullanılmış olup, örnekleme zamanı 1 ms 'dir. Teorik simülasyonlar nozuldan kalıba akışkan direncinin geniş bir aralığı için oransal kontrolün yeterli olduğunu göstermiştir. Deneysel çalışmalarda iki farklı (dirence sahip) kalıp kullanılmış benzer sonuç alınmıştır. Referans enjeksiyon hızı profillerinin CMOLD gibi akış simülasyon programları ve üretim deneyimleri ile kalıba göre oluşturulması gerekir. Kullanılan servovalfin debisi bu iş için düşük gibi olmakla beraber bentonit+su gibi toz metal+bağlayıcıya göre viskozitesi çok yüksek bir karışım ancak düşük hızlarda basılabilir. Kılcal reometre ile yapılan deneylerde de görülmüştür ki daha yüksek hızlar bu karışım için kalıba girişte jet etkisine yol açacaktır. Bu ise kaliteli parça açısından istenmeyen bir durumdur.

## KAYNAKLAR

- [1] A. SHANKAR VE F. W. PAUL., "A Mathematical Model for the Evaluation of Injection Molding Machine Control", Polymer Engineering and Science, 104, s 86, 1982.
- [2] B. SANSCHAGRIN, " Process Control of Injection Molding ",Polymer Engineering and Science, 23(8), s 431, 1983.
- [3] M. R. KAMAL VE W. I. PATTERSON, D. A. FARA, A. HABER, " Astudy in Injection Molding Dynamics ",Polymer Engineering and Science, 24(9), s 686, 1984.
- [4] D.A. FARA , M. R. KAMAL VE W.I. PATTERSON, " Evaluation of Simple Dynamic Models and Controllers for Hydraulic and Nozzle Pressure in Injection Molding", 1985.
- [5] CHUNG TAİ-SHUNG, " Pressure Built-Up During the Packing Stage of Injection Molding ", Polymer Engineering and Science, 25(11), s 772, 1985.
- [6] M. R. KAMAL VE A. HABER, " The Dynamics of Cavity Pressure in Injection Molding", Polymer Engineering and Science, 27(18), s 1411, 1987.
- [7] K. F. HENS, D. LEE, S. T. LİN VE R. M. GERMAN, " Modeling and Testing of Powder Injection Molding Process", Modern Developments in Powder Metalurgy, APMI, 18, s 417 – 426, 1988.
- [8] S. M. SMUD VE D. O. HARPER, " Advanced Process Control for Injection Molding ", Polymer Engineering and Science, 31(15),s 1081, 1991.
- [9] K. F. HENS, D. LEE, S. T. LİN VE R. M. GERMAN, " Integrity of Complex Shape Products by Powder Injection Molding ", PMI, 23(1), s 15, 1991.
- [10]K. F. HENS, D. LEE VE M. GERMAN, " Processing Coditions and Tooling for Powder Injection Molding", APMI, 27(2), s 141, 1991.
- [11]J. R. GASPERVİCH, " Practical Application of Flow Analysis in Metal Injection Molding ", APMI, 27(2), s 133, 1991.
- [12]L. A. NAJMİ VE D. LEE, " Modeling of the Mold Filling Process for Powder Injection Molding ", Polymer Engineering and Science, 31(15), 1137, 1991.
- [13]C. P. CHİU, M. C. SHİH, VE J. H. WEİ, " Dynamic Modeling of the Mold Filling Process in an Injection Molding Machine ", Polymer Engineering and Science, 31(19), s 1417, 1991.
- [14]M. F. AKSİT VE D. LEE, " A Lumped Parameter Analysis of Powder Injection Molding ", The Int. J. Of Powder Metallurgy, 31(4), s 351, 1995.
- [15]M. F. AKSİT, A Lumped Parameter Analysis of Powder Injection Molding, Master Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 1993.

## ÖZGEÇMİŞ

### Yücel ERCAN

1943 yılında Konya'da doğdu. MIT Makina Mühendisliği Bölümün'den 1966 yılında lisans, 1968 yılında Yüksek Lisans ve 1971 yılında Doktora derecelerini aldı. 1976 yılında Doçent, 1982 yılında Profesör oldu.1979-1981 yılları arasında Alexander von Humboldt Vakfı bursuyla Almanya'da araştırmalar yaptı. 1982-1992 arasında Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi dekanlığı yaptı. Halen Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, akışkan gücü kontrolü, modelleme, simülasyon alanlarında yoğunlaşmıştır. Çalışmaları arasında Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi isimli bir kitabı da bulunmaktadır.

### İlhami YİĞİT

1963 yılı Sarıkaya doğumludur. Evli ve iki çocuk babasıdır. 1986 yılında G.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Makina Bölümünden mezun olmuştur. Aynı üniversiteden 1994 yılında master derecesini almıştır. Beş yılı aşkın TÜBİTAK 'ta güdüm kontrol konusunda araştırmacı olarak çalışmıştır. Halen E.Ü.Yozgat Mühendislik Mim. Fakültesi Makina Bölümü'nde öğretim görevlisidir.