

## EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESLERİNDE FARKLI KALIP GEOMETRİLERİNİN KUVVET ve MALZEME AKIŞINA ETKİSİ

Tahir ALTINBALIK\*, Yılmaz ÇAN

Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü,  
22030 Edirne - TÜRKİYE  
\*e-mail: tahira@trakya.edu.tr

Alınış: 27 Şubat 2009

Kabul Ediliş: 10 Nisan 2009

**Özet:** Ekstrüzyon tipi dövme proseslerinde malzeme akışı kapalı kalıpla dövme proseslerinin başlangıç aşamalarına benzer şekildedir ve özellikle yüksek dayanımlı parçaların imalatında tercih edilir. Kapalı kalıpla dövme yada ekstrüzyon tipi dövme gibi pek çok metal şekillendirme prosesinde şekillendirilen malzeme prosesin değişik aşamalarında akış yönünü değiştirebilmektedir. Özellikle ekstrüzyon tipi dövme proseslerinde malzeme akışı 3 farklı bölge içermektedir. Bu karmaşık akış takım gerilmeleri yada dövme kuvvetlerinin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Bu amaçla kalıp şeklinin malzeme akışına etkilerinin incelenmesi yararlı olacaktır. Bu çalışmanın amacı ekstrüzyon tipi dövme proseslerinde aynı kesit alanına sahip farklı geometrilerde delik içeren kalıpların malzeme akışına ve kuvvet ihtiyacına olan etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla imal edilen 3 farklı kalıpta ekstrüzyon tipi dövme deneyleri yapılarak sonuçlar çeşitli bakımlardan karşılaştırılmıştır. Deneyler 150 metrik ton kapasiteli bir hidrolik preste kurşun malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekstrüzyon Tipi Dövme, Geometrik Etki, Metal Akışı

### **Influence of the Die Geometry on Load and Metal Flow in Extrusion-Forging Processes**

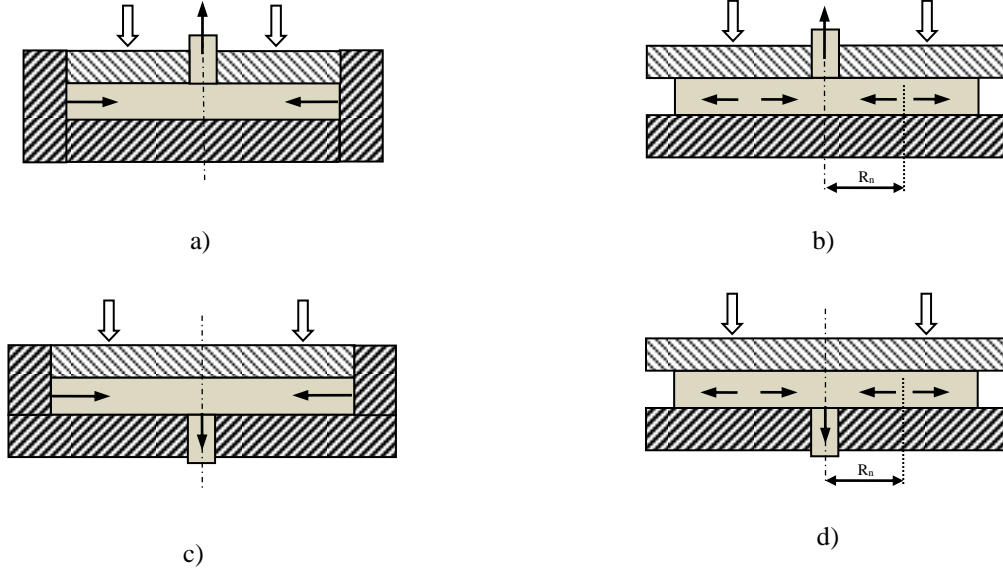
**Abstract:** Metal flow of extrusion-forging process is similar to that of the initial pre-forging of closed-die forging and the process is frequently preferred in the forming process of high strength parts. In many metal forming processes such as closed-die forging or extrusion/forging, the deforming material changes its flow direction at various stages during the forming operation. The extrusion-forging process consisted of three distinct metal flow stages. This complex flow mechanism makes the calculation of tool stresses and forming forces extremely difficult. Therefore investigating the influence of orifices profile in the lower die on metal flow will be beneficial. The aim of this study is to determine the shape of die profiles which have same cross section area but different geometry on metal flow and load requirement. Thus, experiments of extrusion-forging was done by using three different dies of which orifice shape are different and results are compared with each other. Experiments were carried out by using a hydraulic press of which capacity 150 metric tons and lead was chosen as experimental material.

**Keywords:** Extrusion Forging, Geometric Conditions, Metal Flow

### **Giriş**

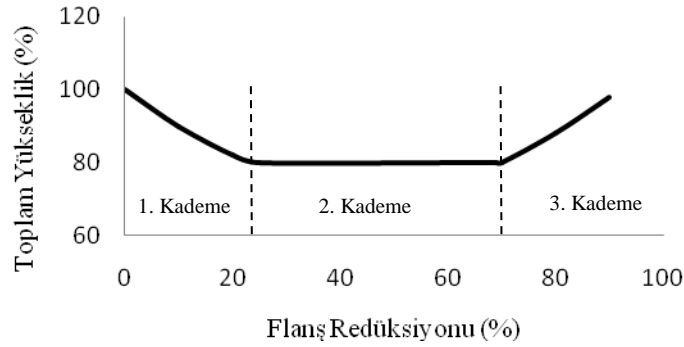
Otomotiv, havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan karmaşık parçaların bir kısmı ekstrüzyon tipi dövme prosesleriyle imal edilmektedir. Bu işlemden dövme kapalı veya açık kalıplarla, ekstrüzyon ise ileri veya geri olarak eş zamanlı bir şekilde gerçekleştirilir. Yöntem; kalıp şekli, hamblok malzemesi ve boyut oranı, sürtünme şartları ve delik geometrisi gibi pek çok değişkeni içeren karmaşık bir prosesdir. Örneğin güç ileten dişlilerin saft ve kafa kısımları bu yöntemde birlikte şekillendirilebilir. Genellikle herhangi birisinde veya ikisinde delik olan iki düzlemsel kalıp arasında, eksen doğrultusunda uygulanan basma kuvvetiyle meydana gelen şekillendirme işleminde hambloğun dış çapına yakın kısımları radyal olarak dışa doğru akarken merkeze yakın kısmı ise kalıp deliğinden ekstrüze olur. Şekil 1'de gösterildiği üzere eğer iş parçasının yığılan kısmı serbest halde ise açık kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işleminden, çevresel olarak kalıp duvarları ile temas halinde ise kapalı kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işleminden bahsedilir. Açık kalıpta kullanılan kalıpların düzlemsel olması durumunda yığılma da fiçi şeklinde olur. Kapalı kalıpta ise yığılan parça kalıp cidarlarıyla temas edip çevresel olarak deforme olmadığından proses tamamen ekstrüzyon işlemi olarak devam eder. Öte yandan yine Şekil 1'de görüldüğü üzere hambloğa baskı yapan plakanın

hareket yönü ile ürünün yönü aynı ise *ileri ekstrüzyon tipi dövme işlemi*, farklı ise *geri ekstrüzyon tipi dövme işlemi* olarak adlandırılır.



Şekil 1. a) Kapalı kalıpla geri ekstrüzyon tipi dövme b) Açık kalıpla geri ekstrüzyon tipi dövme c) Kapalı kalıpla ileri ekstrüzyon tipi dövme d) Açık kalıpla ileri ekstrüzyon tipi dövme

Silindirik bir numunenin ekstrüzyon tipi dövme işleminde şekil değişimi 3 farklı kademede incelenebilir (Şekil 2). Her kademedeki deformasyon miktarı başlangıç hamblok boyut oranına, sürtünme şartlarına ve malzeme akışını bölen nötr eksenin yerine bağlıdır. Nötr eksen Şekil 1 de görülmektedir ve sağında malzeme akışı flanş çapını arttırırken eksenin solundaki akış iç kısma doğrudur ve çıkıntıyı ekstrüze eder.



Şekil 2. Ekstrüzyon tipi dövmede nötr eksenin yerine bağlı toplam yükseklik değişiminin kademeleri

**1. Kademe:** Bu kademede deformasyon sonucu parçanın çapındaki artış, toplam boyun kışalmasına yol açmaktadır. Malzeme simetri ekseninden dışarı doğru radyal olarak akmaktadır. Bu kademede iş parçasının eksen malzeme akışını bölen ve radyal hızın 0 olduğu nötr eksenle çakışmaktadır.

**2. Kademe:** Bu kademede flanş yüksekliğinde azalma, ekstrüze edilen merkez kısımda ise artma vardır. Ancak deforme olmuş iş parçasının toplam yüksekliği, deliğe doğru akan malzemenin düşey hızının 0 olmasından dolayı sabit kalmaktadır. 2. kademede delik yarıçapı tarafsız yarıçap ile çakışmaktadır.

**3. Kademe:** Üçüncü kademede tarafsız yarıçap parçanın flanş bölgesi içinde bir pozisyon alır ve malzemenin tarafsız eksene göre hem içeri hem dışarı doğru radyal akışı eşzamanlıdır. İş parçasının üst ve altındaki sürtünmenin etkisi tarafsız eksenin sağında etkin olduğundan bu aşamada malzeme akışı içe doğru daha kolaydır. Böylece proseste ekstrüzyon daha etkin olur ve iş parçasının toplam yüksekliği devamlı olarak artar.

## ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ekstrüzyon tipi dövmeye proseslerinin sanayide yaygınca kullanılmasından dolayı konu ile ilgili literatür çalışmaları oldukça geniştir. Bu çalışmalarda farklı geometri ve mekanik özelliklerdeki numuneler ve farklı kalıp profilleri kullanılarak, değişik sürtünme koşullarında malzeme akışı, kuvvet ve değişik şekillendirme parametreleri incelenmiş ve sonuçlar bir irdelemeye tabi tutulmuştur. Konu ile ilgili literatürdeki ilk çalışma Kudo tarafından yapılmıştır. Kudo [1] düzlem genleme hali için ekstrüzyon dövmeye prosesini incelemiş ve bir üst sınır çözümü geliştirmiştir. Rowe [2] düzlem genleme ve simetrik koşullar için değişik akış rejimleri önermiştir. Jain ve diğ. [3] sürtünme şartlarının etkilerini araştırmıştır. Hu ve Hashimi [4] dikdörtgen blokların dikdörtgen kanallara ekstrüzyonunu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak araştırmıştır. Hashimi ve Klemz [5] silindirik numunelerin deformasyon profilini tahmin etmek amacıyla teorik analiz geliştirmişlerdir. Giardini ve diğ. [6] yine sonlu elemanlar metodunu kullanarak yağlamanın ve köşe yuvarlatma yarıçapının ekstrüzyon dövmeye prosesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Monaghan ve Brayden [7-8] hem açık hem kapalı kalıpla ekstrüzyon tipi dövmeye proseslerinde malzeme akışını incelemişler ve kuvvet ile gerilme analizi için üst sınır yönteminden faydalanmışlardır. Yazarlar analizlerini bir dizi deneysel çalışma ile de desteklemişlerdir. Vickery ve Monaghan [9-10] ekstrüzyondaki delik çapının deney kuvvetine etkisini incelemek amacıyla elasto-plastik sonlu elemanlar metodu ve üst sınır tekniği kullanarak söz konusu deformasyonu araştırmıştır. Buna göre artan delik çapının 1. kademeden 2. kademeye geçişi daha düşük deformasyon oranlarında gerçekleştiği açıklanmıştır. 2. kademeden 3. kademeye geçiş ise hemen hemen aynı deformasyon oranlarında gerçekleşmiştir. Ayrıca üst sınır analizindeki sürtünme bileşeninin toplam yüke etkisi prosesin 1. kademesinde %12-20 düzeylerinde iken 3. kademede bu oran %67'lere kadar çıkmıştır. Daha yakın zamanlarda yapılan çalışmalarda Hwang ve diğ. [11] poligonal ve troidal başlı çubukların kapalı kalıpla ileri ekstrüzyon tipi dövmeye proseslerinde kuvvet ve malzeme akışını üst sınır tekniğini kullanarak araştırmışlardır. Teorik analiz sonuçları kurşun malzeme kullanılarak yapılmış deneylerle desteklenmiştir. Hwang prosesin kapalı kalıpla dövmeye kısmında; kesit alanları aynı ancak geometrileri kare, beşgen ve altıgen biçimli olan farklı parçaları şekillendirmiştir. Buna göre artan köşe sayısı dövmeye kuvvetini de artırmaktadır. Wu ve Hsu [12] farklı kalıp açıları ve geçiş radyüslerine sahip kalıplar için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Lin ve Lin [13] ekstrüzyon tipi dövmeye proseslerinde flanş kısmındaki çift fiçilaşmanın oluşma şartlarını araştırmış ve sonlu elemanlar analizinden faydalanmıştır. Mısırlı ve diğ. [14] dairesel delikli bir kalıpta kurşun malzeme ile %45 flanş redüksiyonuna kadar deneyler yaparak elde ettikleri kuvvet değerlerini, önerdikleri kabul edilebilir hız alanları denklemlerinden elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Ancak deneyler prosesin yalnızca 1. kademesi ile sınırlı kalmıştır. Narayanasamy [15] farklı yağlayıcılar ile fiçilaşma ilişkisini araştırmıştır.

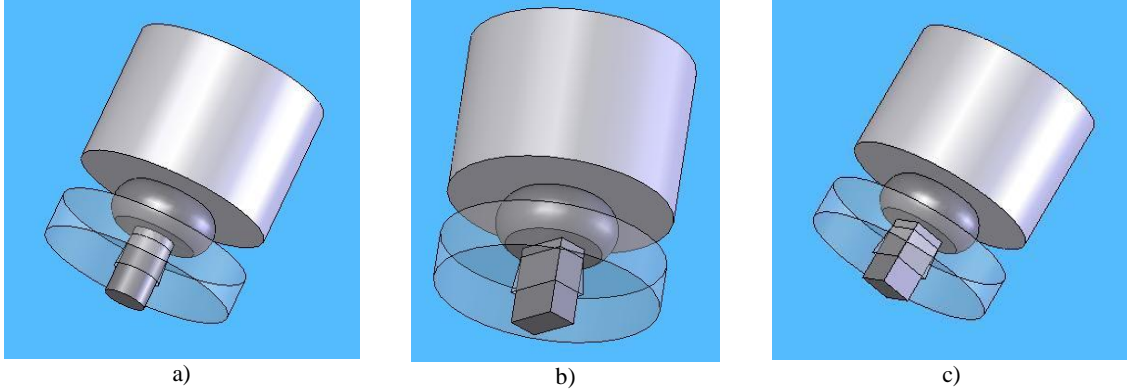
Verilen literatürlerde ekstrüzyon tipi dövmeye proseslerine ait değişik parametreler incelenmiştir. Bunlardan kalıp geometrisi ile ilgili olanlar aynı geometrinin ölçülerinin, konikliğinin ve geçiş radyüslerinin değiştirilmesinden ibarettir. Bu çalışmada kesit alanları aynı ancak geometrileri farklı kalıplarda yapılacak ekstrüzyon tip dövmeye işlemlerinde yukarıda bahsedilen kademelerin geçiş noktalarının ve şekillendirme kuvvetlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kesit alanına sahip 3 farklı geometride delik içeren kalıplar kullanılarak açık kalıpla ileri ekstrüzyon tip dövmeye işlemleri gerçekleştirilmiş ve kademeler arası geçişler elde edilerek birbirleriyle ve literatürle karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmalar Şekil 1.d)'de şematik olarak gösterilen açık kalıpla ileri ekstrüzyon tip dövmeye işlemi olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla kesit alanları eşit ancak geometrileri farklı 3 adet kalıp tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ekstrüzyon çıkış kesiti daire, kare ve dikdörtgen olacak biçimde seçilmiştir. 60 mm. dış çapa sahip 15 mm yüksekliğinde 3 alt kalıbın merkezine bahsedilen geometriler işlenmiştir. Literatürle karşılaştırma kolaylığı bakımından [10] dairesel deliğin çapı 15 mm. olarak belirlenmiştir. Buna göre kare deliğin bir kenarı 13.30 mm olacak şekilde işlenmiştir. Dikdörtgen kalıp için ise uzun kenar ile kısa kenar arasındaki oranın matematikte Fibonacci serisinin altın oranı yada  $\phi$  (phi) sayısı olarak bilinen 1.618 olması düşünülmüş ve buna göre kalıp 10.45x16.90 kesitinde işlenmiştir. Tüm kalıplarda ürünün rahat çıkabilmesi bakımından ilk 3 mm.den sonra kalıp boşlukları 5° açı ile genişletilmiştir. Kalıp malzemesi olarak 1.2344 malzeme numaralı sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Kalıplara 1040°C'de yağda su verilmiş ve ardından 550°C'de iki saat temperlenerek yaklaşık 50 Rc sertlik

elde edilmiştir. Bundan sonra kalıplar taşlanarak son boyutlarına getirilmiştir. Üst kalıp ise 60 mm çapında ve 80 mm yüksekliğinde olup C1040 malzemeden imal edilmiştir. Her 3 kalıbın şematik resimleri Şekil 3'te sunulmaktadır.

Deney malzemesi olarak oda sıcaklığında peklememesi nedeniyle kurşun seçilmiştir. 40 mm. çapında bir ekstrüzyon alıcısından ileri ekstrüzyonla 24.9 mm. çapında elde edilen çubuklar gerekli boylarda kesilerek işlenmiş ve  $h_0/d_0=1$  olacak şekilde son boyutuna getirilmiştir. Deneylerden önce her numune asetonla silinerek eşit sürtünme koşullarının oluşturulması amaçlanmıştır ve yağlayıcı kullanılmamıştır.



Şekil 3. Deney setinin şematik gösterimi  
a) Dairesel kesitli kalıp b) Dikdörtgen kesitli kalıp c) Kare kesitli kalıp

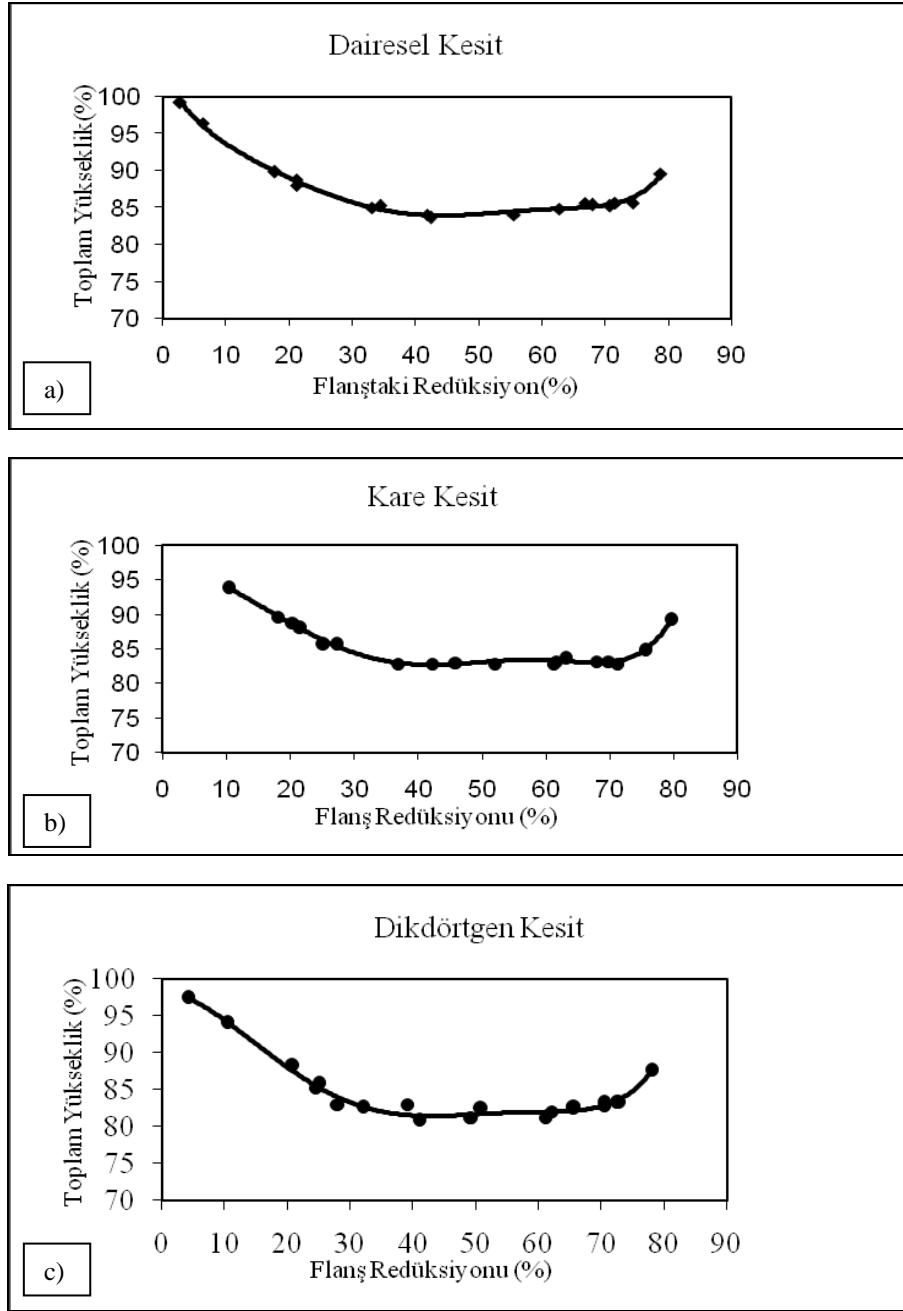
Deneyler 5 mm/sn koç hızlı 150 metrik tonluk bir preste gerçekleştirilmiştir. Hidrolik pompa çıkışına monte edilen bir basınç-akım dönüştürücüsü sayesinde okunan basınç değerleri elektriki sinyale çevrilmiş ve oradan PCI slotuna takılan bir I/O kart ile bilgisayara aktarılmıştır. Geliştirilen bir yazılım sayesinde bu sinyallerin 50 kgf. hassasiyetle kuvvete dönüştürülmesi ve bilgisayara kaydedilmesi sağlanmıştır. Deneyler; önceden belirlenen % redüksiyon değerlerine karşılık gelen stok değerlerinde, ucunda indüktif sviç bulunan bir cetvel sayesinde durdurulmuştur. Her 1mm. koç hareketi için enkoderden gelen 2 puls bilgisi yine I/O kartından okutulmuş ve pres kuvveti her 0.5 mm için kaydedilmiştir.

Her deney sonunda numuneler kalıptan çıkartılarak toplam yükseklik, flanş yüksekliği, üst çap ve alt çap ölçülmüştür. Bu amaçla 0.01 mm hassasiyetinde 0-50 mm. aralığında ölçüm yapabilen bir mikrometreden yararlanılmıştır.

## SONUÇLAR

Kesit alanları aynı ancak geometrileri farklı 3 adet ileri ekstrüzyon tipi dövme kalıbıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ve kademeler arası geçişlerin açıkça görüldüğü diyagramlar Şekil 4'te verilmektedir. Diyagramlardan da görüldüğü gibi tüm kalıp geometrilerinde 1. kademe farklı flanş redüksiyonlarında başlamıştır. 1. kademelerin en erken sonlandığı geometri dikdörtgen kesittir ve %28lik flanş redüksiyonunda 2. kademeye geçiş başlamıştır. Dairesel kesitte bu değer %33 ve kare kesitte ise %37 olarak gerçekleşmiştir. Her 3 geometride de bu redüksiyon değerleri yaklaşık 6 mm stok değerine karşılık gelmektedir. Ancak dairese kesitli kalıpta 2.kademe başlangıcı dikdörtgen kesitli kalıba göre %18 daha fazla flanş redüksiyonuna ihtiyaç duymaktadır. Kare kesitli kalıpta ise 2. kademe yine dikdörtgen kesitli kalıba göre %32 daha fazla flanş redüksiyonunda gerçekleşmektedir. Doğal olarak eşit stok değeri eşit flanş redüksiyonu oluşturmamaktadır. Göze çarpan bir diğer husus 2. kademelerin başladığı % toplam yükseklik değeridir. Tüm geometriler için sözkonusu değerler yaklaşık olarak birbirine eşit ve %84 mertebelerindedir. Yine tüm geometrilerde 2. kademelerin biterek 3. kademeye geçiş, flanştaki redüksiyonun %72 değerlerinde olmuştur. Bu redüksiyonu sağlayan stok değeri ise yaklaşık 14 mm.dir.

Elde edilen ürün her ne kadar tek parça olsa da; flanş ve çıkıntı kısımlarının aynı anda 2 farklı plastik şekil verme yöntemiyle elde edilmiş olması sebebiyle, ürünün bu kısımlarının Şekil 4'teki diyagramlar da göz önünde bulundurularak mercek altına alınması gerekmektedir. Şekil 5 ve 6'da sırasıyla deneyler sırasındaki stok değerlerine karşılık elde edilen max. flanş çapı ve ekstrüze kısmın uzunluğu her 3 kalıp geometrisi için verilmektedir. Diyagramlara göre prosesin özellikle 1. ve 2. kademelerinde bir takım farklılıklar mevcuttur. Prosesin 1. kadememesin bitiminde toplam yükseklikteki değişim tüm kalıplarda aynı olmasına rağmen en fazla % flanş redüksiyonu kare

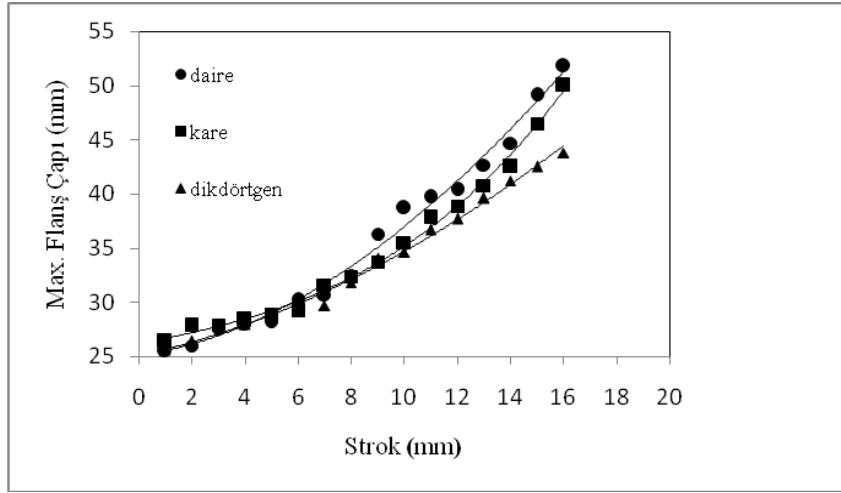


Şekil 4. a) Dairesel delikli b) Kare delikli c) Dikdörtgen delikli kalıpların toplam yükseklik değişim kademeleri

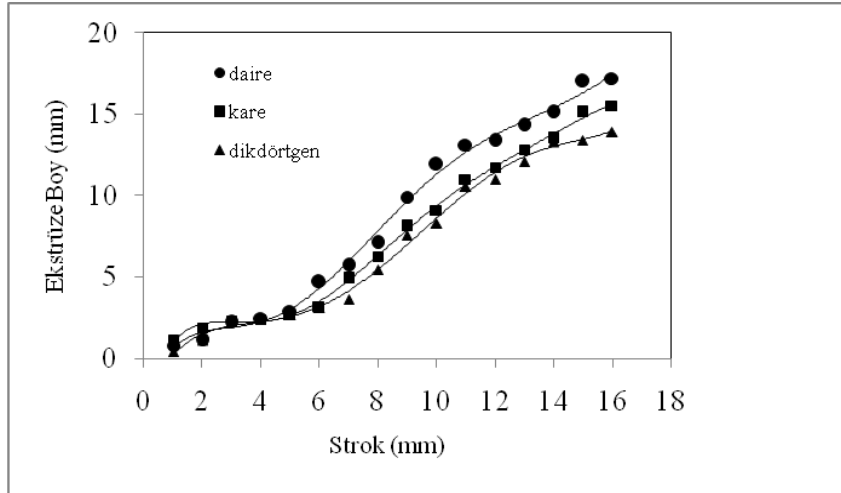
delikli kalıpta gerçekleşmiştir. Tüm numuneler eşit strok değerinde 2.kademeye geçtikleri halde flanştaki redüksiyon değerlerinin farklı olması ürün ölçülerinde de farklılıklara sebep olacaktır. Böylece 1. kademede aynı strokta daha fazla şekil değiştirmiş olan karesel çıkıntılı numunelerde hem ekstrüze boy hem de max. flanş çapı değerleri nispeten daha yüksektir. Ancak gerek dikdörtgen gerekse dairesel çıkıntılı parçalar, kare kesitli parça ile aynı redüksiyon değerine ulaştığında (daha yüksek stroklarda) hem flanş çapı hem de ekstrüze boy değerleri kare kesitli parçaya göre

daha yüksektir. Örneğin kare kesitli parçanın 2. kademeye geçiş değeri olan %37 flanş redüksiyonu değerinde ekstrüze edilmiş boy 3.2 mm iken aynı %flanş redüksiyonunda dikdörtgen ve dairesel kesit 2.kademe bölgesinde yer almaktadır ve ekstrüze boy değeri dairesel kesit için 5.7mm., dikdörtgen kesit için 5.4 mm.dir. Benzer şekilde yine %37 flanş redüksiyonu ancak farklı strok değerleri için max. çap ölçüleri daire, dikdörtgen ve kare için sırasıyla 31mm., 29.7 mm. ve 29 mm.dir. Böylece 1.kademede kare kesit aynı strok değerinde daha fazla ekstrüze boy ve daha büyük flanş çapı verdiği için bir adım öne çıkmaktadır.

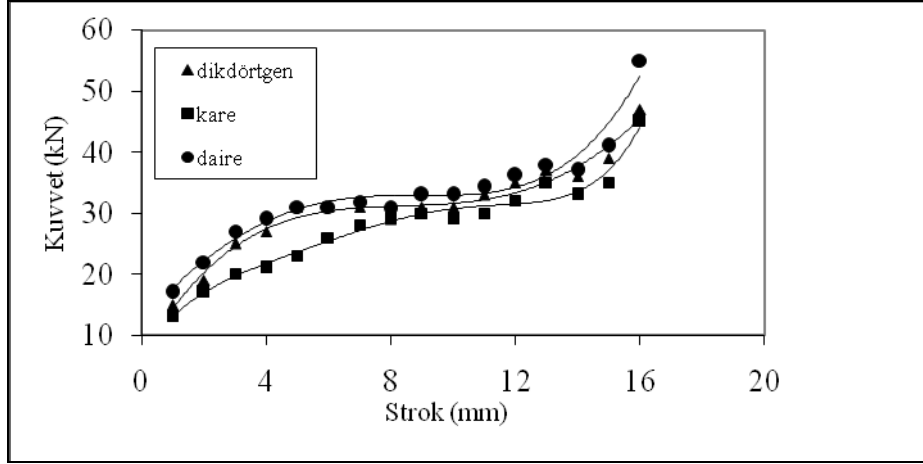
Yine Şekil 5 ve 6'daki diyagramlarda, 2. kademeyi inceleyecek olursak dairesel kesitin öne çıktığı görülmektedir. Dairesel kesitte daha kolay gerçekleşen malzeme akışı aynı strok değerleri için daha iyi sonuçların elde edilmesine yol açmaktadır. Aynı flanş çapı ve ekstrüze boy elde etmek için dairesel kalıpta yaklaşık olarak %20 oranında daha az stroğa ihtiyaç vardır. Dairesel kesit hem flanş çapı hem de çıkıntı uzunluğu bakımından olan üstünlüğünü 2. ve 3. kademelerde korumaktadır. Özellikle flanş çapının daha fazla olması sonucunda dairesel kesitli kalıp düzeneğinde kuvvet değerlerinin de daha fazla çıkması gerekecektir. Şekil 7'de ise her 3 kalıp uygulaması için kuvvet-strok diyagramı verilmektedir. Buna göre her kademede en yüksek şekillendirme kuvveti dairesel kesitli delikte, en düşük kuvvet ise kare kesitli delikte gerçekleşmektedir.



Şekil 5. Her 3 kalıp için stroğa bağlı olarak max. flanş çapının değişimi



Şekil 6. Her 3 kalıp için stroğa bağlı olarak ekstrüze boyun değişimi



Şekil 7. Her 3 kalıp uygulaması için deneylerde elde edilen kuvvet değerleri

### TARTIŞMA

Kesit alanları aynı ancak geometrileri farklı kalıplar kullanılarak yapılan ileri ekstrüzyon tipi dövme deneylerinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tüm proses kademelerinde kare kesit dikdörtgen kesite göre aynı strokta daha büyük flanş çapı ve daha uzun ekstrüze ürünü daha düşük kuvvetle verdiği için avantajlıdır.
- Tüm kademelerde kare kesitli kalıp geometrisi ile yapılan deneyler en düşük şekillendirme kuvvetini vermiştir.
- 2. kademelerin ortalarında aynı strok değeri için dairesel kalıp, kare kesitli kalıba göre %30 daha fazla ekstrüze boy ve %9 daha fazla flanş çapı vermiştir. Buna karşılık %14 daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmuştur.
- Proses tamamlandığında ise dairesel kalıptan elde edilen ekstrüze boy yine kare kalıba göre %11, flanş çapı ise %4 daha fazladır. Ancak bunun için %22 daha fazla kuvvete harcanmıştır.
- Ürünün ekstrüze bölgesi dairesel değil de poligonol tarzda olursa aynı alanı veren kare geometrinin dikdörtgen kesite tercih edilmesi önerilebilir.
- Deneylerin daire ve kare geometriler üzerinde yoğunlaştırılması ve farklı  $H_0/D_0$  oranlarının kullanılması, deney malzemesinin değiştirilmesi ve flanş kısmının kapalı kalıpta poligonol kesitli olarak yapılması gelecek çalışmalara bırakılmıştır.

### KAYNAKLAR

- [1] Kudo, H., Some Analytical Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion, Int. J. Mech. Sci., 1960; 2:71-117.
- [2] Rowe, G.W., Principles of Industrial Metalworking Processes, Arnold, London, 1997.
- [3] Jain, S.C., Bramley, A.N., Lee, C.H. and Kobayashi, S., Theory and Experiments in Extrusion Forging, Proc. 11<sup>th</sup> MTDR Conf. Birmingham, Sept.1970, 1097-1115.
- [4] Hu, W., Hashimi, M.S.J., Study of Metal Flow in Ekstrüzyon Forging of Rectangular Billets, J. Mat. Pro. Tech., 1994, 43:51-59.
- [5] Hashimi, M.S.J., Klemz, F.B., Axisymmetric Extrusion Forging: Effects of Material Property and Product Geometry, Int. J. Mach. Tool Des. Res. 1986, 26(2):157-170.
- [6] Giardini, C., Ceretti, E. and Maccarini, G., Formability in Extrusion Forging: The Influence of Die Geometry and Friction Conditions, J. Mat. Pro. Tech., 1995, 55:305-308.

- [7] Monaghan, J., Brayden, L., An Analysis of an Open and Closed-Die Extrusion Forging Process, Proc. IMC-5, Queens Univ. Belfast, 1988, 273-287.
- [8] Monaghan, J., Brayden, L., An Analysis of a Closed-Die Extrusion Forging Process, Proc. IMC-6, Dublin City Univ., 1989, 310-332.
- [9] Vickery, J., Monaghan, J., An Investigation of the Early Stages of a Forging Extrusion Process, Proc. IMC-8, Univ. Ulster, 1991, 327-342.
- [10] Vickery, J., Monaghan, J., An Upper Bound Analysis of a Forging-Extrusion J. Mat. Pro. Tech., 1995, 55:103-110.
- [11] Hwang, B.C., Hong, S.J. and Bae, W.B., An UBET Analysis of Non-Axisymmetric Extrusion/Forging Process, J. Mat. Pro. Tech., 2001, 111:135-141.
- [12] Wu, C.Y., Hsu, Y.C., The Influence of Die Shape on the Flow Deformation of Extrusion Forging, J. Mat. Pro. Tech., 2002, 124:67-76.
- [13] Lin, S.Y., Lin, F.C., Influences of the Geometrical Conditions of die and Workpiece on the Barreling Formation During Forging-Extrusion Process, J. Mat. Pro. Tech., 2003, 140:54-58.
- [14] Mısırlı, C., Çan, Y. ve Altınbalık, M.T., Ekstrüzyon Tipi Dövme Prosesi Üzerine Teorik Bir Çalışma, II. MBGAK, İstanbul, 17-19 Kasım 2005, 286-294.
- [15] Narayanasamy, R., Baskaran, K., Arunachalam, S., and Krishna, D.M., An Experimental Investigation on Barreling of Aluminium Alloy Billets during Extrusion Forging Using Different Lubrications, Mat&Des., 2008, 29:2076-2088.