



# Kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu

Önder AYER\*

Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne

[onderayer@trakya.edu.tr](mailto:onderayer@trakya.edu.tr) ORCID: 0000-0001-8970-145X, Tel: (284) 226 12 17 (2119)

Geliş: 17.07.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

## Öz

Magnezyum hafif olması, dayanıklılığı ve özellikle özgül dayanım oranının yüksekliği bakımından çelik ve alüminyum gibi yapısal metallerin yerini almaya başlamaktadır ve plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilmesi ticari öneme sahiptir. Bu yöntemlerden birisi olan ekstrüzyon; genelde hafif metallere uygulanan, iş parçasını bir kovan içerisinde koyarak, zımba vasıtasıyla metale baskı uygulayarak ürün geometrisine sahip bir kalıp içerisinde malzemenin geçirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ekstrüzyon yönteminde uygulanacak şekillendirme kuvvetinin bilinmesi kalıp malzemesi seçimi ve uygun pres kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir etkidir.

Bu çalışmada, aynı ekstrüzyon oranına sahip kalıplarla gerçekleştirilen ekstrüzyonda, kalıp giriş çapı, kalıp açısı ve kalıp kanal uzunluğu gibi kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkisi Taguchi L9 Ortogonal Deney Tasarımı kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, 3 farklı seviyede kalıp parametreleri değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma, aynı bilgiyle daha az deney yaparak deney zamanını düşürmek amacıyla Taguchi yöntemi kullanılarak 27 adet olması gereken deney sayısı 9 adet deneye indirgenmiştir. Sonuçlar üzerine kararlar alınmasında ise Varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmede, ekstrüzyon kuvveti üzerinde en fazla etki eden kalıp parametresinin %68,48 oranında kalıp giriş çapı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, ekstrüzyon kuvvetinin kalıp giriş çapının düşmesiyle artış gösterdiği, kalıp açısının artışıyla ekstrüzyon kuvvetinin azaldığı ve kalıp kanal uzunluğu arttıkça şekillendirme için gereken kuvvet arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, farklı kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvveti ile olan etkileşimi belirlenmiş ve en düşük ekstrüzyon kuvvetini verebilecek uygun kalıp tasarımı optimize edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AZ31 Magnezyum; Ekstrüzyon; Taguchi Yöntemi; Optimizasyon

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Ekstrüzyon, bir kovan içerisine konulan iş parçasının kalıp çıkışına doğru bir kuvvet uygulanarak istenilen profile sahip bir açıklıktan geçirilmesi ile ürün eldesi sağlanan bir plastik şekil verme yöntemidir. Bu yöntem ile farklı geometrilere üretim yapılmaktadır. Alüminyum, kurşun, bakır ve magnezyum gibi düşük akma dayanımına sahip metallerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan kalıpların uygunluğu, daha düşük şekillendirme kuvveti daha yüksek ürün kalitesi anlamına gelmektedir. Malzemeye istenen şeklin ne kadarlık bir kuvvet ile verilebileceği, kalıp tasarımı ve pres seçim aşamasının başlangıç noktasıdır. Şekillendirme sırasında ortaya çıkacak maksimum kuvvete etki eden; malzeme özellikleri, şekillendirme sıcaklığı, sürtünme koşulları, kalıp parametreleri gibi birçok faktör vardır. Kalıp açısı, kalıp giriş çapı, kalıp kanal uzunluğu gibi kalıp parametreleri ise ürün kalitesini ve maliyetini etkilemesi bakımından ekstrüzyon kuvveti ile arasındaki etkileşimin belirlenmesi açısından önemlidir. Endüstride kalıp tasarımı yapılırken kalıp parametreleriyle şekillendirme kuvveti arasındaki bu ilişki çoğu zaman kalıp imali sırasında deneme yanılma yöntemiyle bulunmaya çalışılsa da sonlu elemanlar, üst sınır analizi yöntemi gibi matematiksel yöntemler kullanılarak bir tahmin yapılması mümkün olmaktadır.

Bunun yanında bazı istatistiksel yöntemler yardımıyla da yaklaşımlar yapılarak uygun kalıp tasarımını oluşturmayı amaçlayan çeşitli çalışmalar vardır. Taguchi yöntemi, araştırılacak faktörler ve bu faktörler arasında var olan ilişkiyi en az sayıda deney yaparak tahmin edebilmeyi sağlayan bir matematiksel yöntemdir. Sahip olduğu işlevsellik ve uygulama kolaylığı bakımından tekstil, ürün tasarımı, finans, pazarlama gibi çok sayıda sektörde kendisine kullanım alanı bulmuştur. Varyans Analizi taguchi yönteminin temelinde yer almaktadır. Taguchi yöntemi kalite artışı amacıyla endüstri de yer bulmuş bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok farklı alanlarda bu yöntem

kullanılmıştır. Örneğin, Yaka ve arkadaşları AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu kullanarak incelemiştirlerdir. (Yaka vd., 2016) Yine talaşlı şekillendirme üzerine yapılan bir diğer çalışma da, Kosaraju ve Chandraker MDN 350 çeliği üzerine tornalama parametrelerinin performans üzerine etkilerini araştırmışlardır. Mia ve arkadaşları talaşlı işleme de minimum yağlama koşullarında yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve işleme hızının değişimini taguchi yöntemi kullanarak araştırmışlardır. (Mia ve arkadaşları, 2018) Taguchi metodu, özellikle talaşlı şekil verme yönteminde sıklıkla başvurulan bir analiz yöntemidir. (Meral vd., 2011; Niranjana vd., 2017; Ravi Kumar ve Kulkarni, 2017; Vijay Kumar vd., 2018) Bunun yanı sıra, plastik malzeme kalıpcılığında yine kalıp tasarımı bakımından yapılan bir çalışma da, Erdem ve arkadaşları plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmayı azaltmak için Taguchi yöntemine başvurmuşlardır. (Erdem vd., 2010) Apparao ve Birru yaptıkları çalışma da döküm kalıbı parametrelerini Al-Si8Cu3Fe tip alüminyum alaşım malzemenin döküm tekniğine uygulamışlar ve böylelikle kalıp kalitesini ve verimliliğini yükseltmişlerdir. (Apparao ve Birru, 2017)

Yöntem, özellikle uzun zaman alan ve maliyetli tasarım süreçlerine sahip olan metal şekillendirme operasyonları için sıklıkla olmasa da yine de kendisine kullanım alanı bulmuştur. Hsu ve arkadaşları, yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunu araştırmışlar ve uygun kalıp tasarımını elde etmek amacıyla sonlu elemanlar destekli olarak Taguchi analiz yöntemini kullanmışlardır. (Hsu vd., 2014) Bunun yanı sıra iş parçası olarak magnezyum kullanıldığında; magnezyumun şekillendirme esnasında sıcaklığa duyarlı olması ve ekstrüzyon işlem parametrelerindeki değişime karşı yüksek hassasiyeti nedeniyle özel önem göstermek gerekmektedir. Bu nedenle kısa zaman öncesine kadar döküm ile şekillendirilen magnezyum metali son yıllarda ekstrüzyon yöntemi kullanılarak da ürüne dönüşmektedir. Bu nedenle ekstrüzyon parametrelerinin etkileşimlerinin bilinmesi ve kontrol

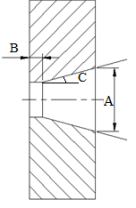
edilebilirliği magnezyumun ekstrüzyon ile üretiminde ürün kalitesini arttırmanın en belirleyici noktasıdır. Yapılan çalışmalarda da bu yönde bir eğilim görülmektedir. Hsiang ve Lin AZ31 ve AZ61 tip malzemelerin tüp ekstrüzyonunda kalıp sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ve sürtünme parametrelerinin ürünün mekanik özelliklerine etkisindeki etkileşimi Taguchi yöntemi ve ANOVA analizi kullanarak araştırmışlardır.(Hsiang ve Lin, 2007) Özellikle Hsiang ve Kuo ise yüksek ekstrüzyon oranlı şekillendirmede sıcaklık, malzeme, işlem hızı ve yağlayıcı şartlarını ekstrüzyon kuvvetini azaltıp ürünün mekanik özelliklerini yükseltmek amacıyla optimizasyon uygulamışlardır. (Hsiang ve Kuo, 2003)

### Materyal ve Yöntem

Yapılan bu çalışmada; kalıp parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine etkisi taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmış olup hızlı ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde optimum bir kalıp tasarımının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, aynı ekstrüzyon oranına sahip olan, Tablo 1. de verilen kalıp parametrelerine göre belirlenen farklı kalıp tipleri kullanılarak en düşük şekillendirme kuvvetini verecek olan kalıp tasarımını belirlemek için Taguchi L9 ortogonal dizin deney tasarımı kullanılmıştır. Bu deney tasarımı Minitab 18 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Böylelikle normal şartlarda Tablo 1 de verilen parametrelerin tümünden 27 adet deney sayısı ile elde edilecek bilgiye, 9 deney sayısında ulaşarak daha kısa sürede sonuca ulaşılabilme sağlanacak bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Faktörler ve Seviyeleri

Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Giriş Çapı (A)	10.6	12.2	15.0
Kalıp Kanal Uzunluğu (B)	6	9	12
Kalıp Açısı (C)	10	15	30



Elde bulunan deneysel faktörler ve seviyelerine göre elde edilen Taguchi L9 Ortogonal Deney Tasarımı Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Taguchi L9 Deney Tasarımı

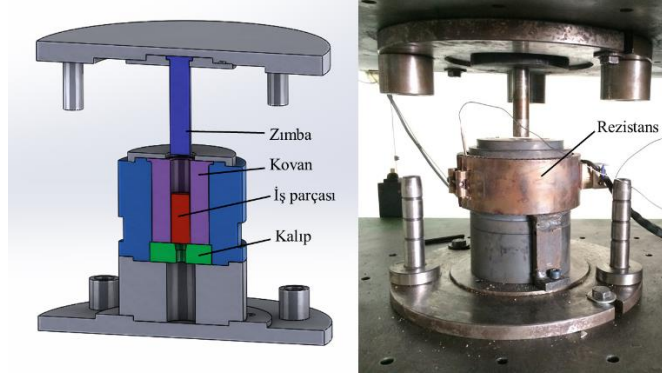
Deney No	Değişkenler	A Giriş Çapı	B Kalıp Kanal Uzunluğu	C Kalıp Açısı
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

Yapılan çalışmada AZ31 tip magnezyum kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.’de verilmektedir.

**Tablo 3.** AZ 31 Magnezyum kimyasal bileşimi

Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe	Ni	Diğer	Mg
3.1	1.2	0.2	0.05	0.05	0.005	0.1	0.4	Bal.

Kalıp malzemesi olarak 2344 tip sıcak iş takım çeliği seçilmiştir. Matris malzemesi 58 HRC sertliğinde olacak şekilde serleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Ekstrüzyon deneyleri 1500 kN kapasiteli PLC kontrollü hidrolik pres yardımıyla ve pres hızı 5 mm/sn. olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney sıcaklığı olarak AZ31 tip magnezyum malzemenin hasara uğramadan şekillendirilmesi için 300 °C seçilmiştir.(Kang vd., 2008) Bunun için kalıpları dış yüzeylerinden saracak şekilde analog kontrollü bir rezistans monte edilmiştir. Deneylerde kullanılan kalıp seti ve şematik gösterimi Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Kalıpların Şematik Gösterimi ve Kalıp Seti

Deneyler sonrasında elde edilen her bir kalıp için ulaşılan en yüksek ekstrüzyon kuvvet değerleri elde edilmiş ve sinyal/gürültü oranları ile birlikte Tablo 4 de verilmektedir.

**Tablo 4.** Deney Sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Kuvvet (kN)	S/N (dB)
1	179	-45.17
2	166	-41.65
3	161	-37.89
4	134	-40.72
5	109	-41.88
6	163	-43.50
7	66	-42.75
8	114	-42.68
9	119	-41.12

Taguchi yöntemi kullanılarak performans belirleme işlemi yapılırken taguchi kayıp fonksiyonu olarak bilinen ve aynı zamanda gürültü oranı (S/N- Signal/Noise ratio) fonksiyonu olarak da belirtilen farklı amaçlara uygun “en büyük en iyi- Larger is better”, “nominal en iyi- Nominal is best”, “en küçük en iyi - smaller is better” olmak üzere üç farklı yöntem vardır. Hangi amaç söz konusuysa ona uygun fonksiyon seçilerek S/N oranları hesaplanır. Yapılan çalışmada en düşük şekillendirme kuvvetini elde etmek amaçlandığından dolayı (1) numaralı denklemde belirtilen “en küçük en iyi” fonksiyonu seçilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Sinyal/Gürültü oranları optimum değerleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. S/N değerinin en büyük olduğu seviye diğer faktörlerin arasında optimum seviyedir. Şekillendirme kuvveti yapılan çalışmada referans çıktıdır ve her bir kontrol faktörünü analiz eden değerlendirme Tablo 5 de verilmiştir.

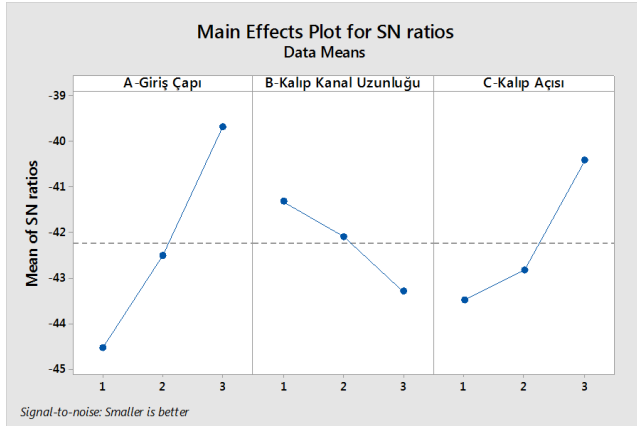
**Tablo 5.** Parametre Seviyelerinin S/N yanıt Tablosu

Seviye	A	B	C
	Giriş Çapı	Kalıp Kanal Uzunluğu	Kalıp Açısı
1	-44.53	-41.33	-43.48
2	-42.51	-42.10	-42.82
3	-39.68	-43.30	-40.43
Delta	4.85	1.97	3.05
Sıralama	1	3	2

### Şekillendirme Kuvveti Optimizasyonu ve Değerlendirilmesi

Taguchi yöntemi kullanıldığında Sinyal/Gürültü oranlarının tayin edilmesinden sonra bu çıktıların uygun kontrol faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 2 de belirtilen kontrol parametrelerinin sonuçları grafik halinde Şekil 2 de verilmiştir. Buna göre ekstrüzyon kuvveti, giriş çapının üçüncü seviyesinde (A3), kalıp kanal uzunluğunun birinci seviyesinde (B1) ve kalıp çıkış açısının üçüncü seviyesinde (C3) olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi yöntemi kullanılarak, A3B1C3 faktör seviyeleriyle elde edilen kalıpların, tasarım bakımından en düşük

şekillendirme kuvvetini verecek olan en uygun kalıp tipi olacağı tahmini yapılmıştır.



Şekil 2. Ekstrüzyon Kuvveti için kontrol faktörlerinin S/N oran grafiği

## ANOVA Analizi

Deneysel çalışmalarda elde edilen verilerin analiz edilerek yorumlanması ve sonuçlar üzerine kararlar alınmasında Varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. ANOVA analizi bağımsız değişkenlerin birbirleriyle etkileşimlerini incelem fırsatı sunan ve aralarındaki farklılığı tanımlayan istatistiksel bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, üç parametrenin bir değişken üzerindeki etkileri incelendiğinden Tek Yönlü Anova Yöntemi tercih edilmiştir. Ekstrüzyon kuvveti için oluşturulan Varyans tabloları Tablo 6. da verilmektedir. Şekillendirme kuvvetine etki eden kalıp parametrelerinin yüzde olarak oransal değerleri etkisi aynı tablo da yer almaktadır.

ANOVA sonuçları üzerinden kalıp parametrelerinin etkisi incelendiğinde, ekstrüzyon kuvveti üzerinde en fazla etki eden kalıp parametresinin %68,48 oranında kalıp giriş çapı olduğu göze çarpmaktadır. Giriş çapının büyük olması malzeme akışının daha kolay olmasına yol açması nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Kalıp açısının etkisinin ise %24 civarında olduğu göze çarpmaktadır. Yine kalıp açısının, malzeme akışıyla birebir doğru orantılı olması bakımından etkin bir parametredir. En az etki oranına sahip olan ise kalıp kanal uzunluğu olarak görülmektedir. Kalıp kanal uzunluğunun değişimi, şekillendirme kuvveti üzerinde, sürtünme kuvveti bakımından etkindir ve bu oran

yapılan analizde % 7,53 olarak değerlendirilmektedir. Tabloda verilen ANOVA sonuçlarına göre p değerinin  $p < 0,01$  veya  $p < 0,05$  aralığında olması beklenir. Buna göre yapılan anlamlılık değer sırası; giriş çapı, kalıp çıkış açısı ve kalıp kanal uzunluğudur. Bütün parametrelerin % 95 güven düzeyinde etkinliğe sahip olduğu görülmüş olup bu sonuç, Tablo 5'te belirtilen önem sırasını da doğrulamaktadır.

## Doğrulama Deneyleri

Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmasında deneysel çalışma da ekstrüzyon kuvvetinin üzerinde etkili olan parametrelere bağlı olarak optimum bir tasarım elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen optimum tasarım bazen Taguchi L9 ortogonal dizin deney tasarımında yapılan deneyler arasından birisi olabilirken bazen yapılan deneylerden farklı bir deney numarası olabilmektedir. Yapılan çalışmada optimum kalıp tasarımı A3B1C3 faktör seviyelerinin kalıp formasyonu tasarım bakımından en düşük şekillendirme kuvvetini verecek olan optimum kalıp tipi olacağı tahmini yapılmıştır. Buna göre, elde edilen optimum kalıp formasyonu için doğrulama deneyi gerçekleştirilmesi sonuçların tutarlılığı açısından önemlidir ve yapılan optimizasyonun başarısını gösterir. Taguchi analizinin son kısmında optimum kalıp için yapılan tahmin değerlerinin oluşturulması ve deneysel veriler ile karşılaştırılması Tablo 7' de yapılmıştır. Buna göre % bağıl hata değerinden anlaşılacağı gibi % 3 civarında ortaya çıkan hatanın % 5 kabul edilebilir güven aralığında olduğu görülmüş olup, yapılan Taguchi optimizasyonunun başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

**Tablo 7.** Optimum Sonuçlar ve Doğrulama Deney Sonuçları

A	B	C	Deney Sonucu	Tahmin değeri	Mutlak Hata	% Bağıl Hata
3	1	3	66	64	2	3,03

**Tablo 6.** ANOVA Tablosu

Parametreler	S.D.	Ka.T.	Ka.O.	p değeri	Etki Yüzdesi
A / Giriş Çapı	2	7144,2	3572,11	0,005	68,48
B / Kalıp Kanal Uzunluğu	2	790,2	395,11	0,046	7,53
C / Kalıp Çıkış Açısı	2	2517,6	1258,78	0,015	23,99
Hata	2	38,2	19,11	---	---
Toplam	8	10490,2	---	---	---

S.D.: Serbestlik Derecesi, Ka.T.: Kareler Toplamı, Ka.O.: Kareler Ortalaması,

## Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, ekstrüzyon işleminin AZ31 tip magnezyum kullanılarak aynı ekstrüzyon oranına sahip kalıpların kalıp açısı, kalıp kanal uzunluğu ve kalıp giriş çapı parametrelerinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkileri araştırılmıştır. Normal şartlarda sahip olunan parametrelerin değerlendirilmesi 27 adet deney ile yapılacakken Taguchi yöntemi sayesinde bu sayı 9 adet deneye indirgenmiştir. Böylelikle, Taguchi yöntemi kullanılarak oluşturulan deneysel veriler kısa zamanda düşük maliyetle analiz edilerek, optimum kalıp formasyonu elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Taguchi yöntemi ile ekstrüzyon üzerinde en fazla etkisi olan kalıp parametresinin kalıp giriş çapı olduğu görülmüştür.
- Ekstrüzyon kuvvetinin kalıp giriş çapının düşmesiyle artış göstermektedir.
- Kalıp açısının artışıyla ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır.
- Kalıp kanal uzunluğu arttıkça şekillendirme için gereken kuvvet arttığı tespit edilmiştir.
- Doğrulama deneyleri sonucunda %3 hata oranına ulaşılmış ve taguchi yöntemi ile başarılı bir optimizasyon sağlanmıştır.

## Kaynaklar

- Apparao, K. Ch, ve Anil Kumar Birru. 2017. "Optimization of Die Casting Process Based on Taguchi Approach." *Materials Today: Proceedings* 4 (2). Elsevier Ltd: 1852–59. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.029>.
- Erdem, Volkan, Melih Belevi, ve Cemal Koçhan. 2010. "Taguchi Metodu İle Plastik Enjeksiyon Parçalarda Çarpılmanın En Aza İndirilmesi." *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 12 (2): 17–29.
- Hsiang, S. H., ve Y. W. Lin. 2007. "Investigation of the Influence of Process Parameters on Hot Extrusion of Magnesium Alloy Tubes." *Journal of Materials Processing Technology* 192–193: 292–99. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.063>.
- Hsiang, Su Hai, ve Jer Liang Kuo. 2003. "An Investigation on the Hot Extrusion Process of Magnesium Alloy Sheet." *Journal of Materials Processing Technology* 140 (1–3 SPEC.): 6–12. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00693-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00693-9).
- Hsu, Quang Cherng, Yu Liang Chen, ve Tsung Hsien Lee. 2014. "Non-Symmetric Hollow Extrusion of High Strength 7075 Aluminum Alloy." *Procedia Engineering* 81 (October). Elsevier B.V.: 622–27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.050>.
- Kang, S. H., Y. S. Lee, ve J. H. Lee. 2008. "Effect of Grain Refinement of Magnesium Alloy AZ31 by Severe Plastic Deformation on Material Characteristics." *Journal of Materials Processing Technology* 201 (1–3): 436–40. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.305>.
- Meral, Güven, Murat Sarıkaya, ve Hakan Dilipak. 2011. "Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27 (4): 332–38.
- Mia, Mozammel, Dey, Prithbey R., Hossain, Mohammad S., Arafat, Md T., Asaduzzaman Md, Ullah Shoriat, Zobaer Tareq, S.M. 2018. "Taguchi S/N based optimization of machining parameters for surface roughness, tool wear and material removal rate in hard turning under MQL cutting condition" *Measurements* 122:380-391
- Niranjana, D. B., G. S. Shivashankar, K. V. Sreenivas Rao, ve R. Praveen. 2017. "Optimization of Cutting Process Parameters on AL6061 Using ANOVA and TAGUCHI Method." *Materials Today: Proceedings* 4 (10). Elsevier Ltd: 10845–49. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.037>.
- Ravi Kumar, S. M., ve Suneel Kumar Kulkarni. 2017. "Analysis of Hard Machining of Titanium Alloy by Taguchi Method." *Materials Today: Proceedings* 4 (10): 10729–38. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.020>.
- Vijay Kumar, M., B.J. Kiran Kumar, ve N. Rudresha. 2018. "Optimization of Machining Parameters in CNC Turning of Stainless Steel (EN19) By TAGUCHI'S Orthogonal Array Experiments." *Materials Today: Proceedings* 5 (5). Elsevier Ltd: 11395–407. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.107>.
- Yaka, Harun, Harun Akkuş, ve Levent Uğur. 2016. "AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu Optimization the Effect of Surface Roughness of Cutting Parameters with Taguchi Method in Turning of AISI 1040 Steel" *Measurements* 12 (2): 283–88.



## The optimization of effects of die parameters on extrusion load by Taguchi method

### Extended abstract

Magnesium is a new rival with its lightness, durability and especially high specific strength ratio against the most used structural metals: steel and aluminum. Extrusion is one of the most used metal forming method where the cross-sectional area of a block of metal utilizing load on it to flow through a die related with a certain shape on light metals. Estimating the extrusion load is a crucial decision criterion for selection of die material and press capacity.

While the relationship between die parameters and forming load is often obtained by trial and error method traditionally but, it is possible to make a prediction by using mathematical methods. In addition to this, there are various studies aiming to build appropriate die design by making approaches with the help of numerical methods.

Die inlet diameter, die land length and die angle were determined with their 3 levels and it was aimed to constitute a model which will obtain a prediction for the forming load with 9 pieces of test numbers instead of 27 pieces of test number in a shorter time calculation time. For this purpose, die parameters were evaluated in 3 different levels. In this study, the influence of the die parameters such as die inlet diameter, die angle and die land length on the extrusion load for the same extrusion ratio were examined using the Taguchi L9 Orthogonal Test Design.

The highest extrusion load for each die type was measured and the results were presented with signal / noise ratios together. It is necessary to determine the appropriate control factors after the Signal / Noise ratios are determined when the Taguchi method is used. Accordingly, the extrusion load was obtained at the third level (A3) of the die inlet diameter, at the first level (B1) of the die land length and at the third level (C3) of the die angle. By using the Taguchi method, it was estimated that the dies obtained with the A3B1C3 factor levels would be the most suitable die type that would give the lowest forming load in terms of die design.

Variance analysis (ANOVA) statistical method was used to make decisions on obtained the results. ANOVA analysis is a statistical method that provides the opportunity to examine the relations of independent variables with each other and to identify the differences between them. In this study, the one-way ANOVA method was preferred, since the effects of three parameters on one variable were examined.

It can be concluded from the ANOVA approach that the die entrance diameter is the most effective die parameter on the extrusion with the percentage of 68.48%. In addition to this, it has been found that the extrusion load increases with decreasing die entrance diameter, the extrusion load decreases with increasing die angle, and the required for forming load increases as the die land length increases.

Consequently, the interaction of the different die parameters with the extrusion load is determined and the appropriate die design is optimized for obtaining the lowest extrusion load.

**Keywords:** AZ31 Magnesium; Extrusion; Taguchi Method; Optimization