



MODELLING OF THE EFFECTS OF ANGLE DEEP DRAWING PROCESS PARAMETERS OF SQUARE PROFILE CUP WITH FUZZY LOGIC

Engin Ünal^{*1}, Betül Akın¹, Faruk Karaca¹

¹Firat University Technology Faculty Department of Mechanical Engineering, Elazığ, Türkiye

Abstract

Original scientific paper

In this study, the effects of punch radius, die radius, die angle and blank holder force, which are the parameters affecting the drawing process in angled deep drawing dies, on limit drawing ratio β , punch force F_z and wall thickness t were investigated by experimental and fuzzy logic method. In the experimental design, the punch and die radius is defined as 2 – 10 mm, the die angle is between 2.5° – 15°, and the pressure plate force is between 0 – 9800 N. The fuzzy logic model of the study was prepared in the MATLAB software by determining the appropriate linguistic expressions according to the defined interval values.

As a result, the results obtained with the fuzzy logic model were compared with the experimental data, and the error rates of the fuzzy logic data according to the experimental values were determined as 3.77% for the limit draw ratio, 7.83% for the punch force and 1.64% for the wall thickness. It has been observed that there is not much difference between them and they generally give close results to each other. Depending on these parameters, it will help to determine the limit draw ratio, the wall thickness that causes cup errors, and the most appropriate punch force.

Keywords: Deep drawing, die geometry, fuzzy logic, wall thickness, limit drawing ratio, MATLAB.

KARE PROFİLLİ KAPLARIN AÇILI DERİN ÇEKME İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN BULANIK MANTIK İLE MODELLENMESİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Bu çalışmada, açılı derin çekme kalıplarında çekme işlemini etkileyen parametrelerden olan zımba radyüsü, kalıp radyüsü, kalıp açısı ve baskı plakası kuvvetinin, limit çekme oranı β (LÇO), zımba kuvveti F_z ve cidar kalınlığı t üzerindeki etkileri deneysel ve bulanık mantık yöntemi ile incelenmiştir. Deney tasarımı zımba ve kalıp radyüsü 2 – 10 mm, kalıp açısı 2.5° – 15°, baskı plakası kuvveti ise 0 – 9800 N arasında tanımlanmıştır. Tanımlanan aralık değerlerine göre uygun dilsel ifadeler belirlenerek, çalışmanın bulanık mantık modeli MATLAB paket programında hazırlanmıştır.

Sonuç olarak, bulanık mantık modeli ile elde edilen sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmış, bulanık mantık verilerinin deneysel değerlere göre hata oranları limit çekme oranı için % 3.77, zımba kuvveti için %7.83 ve cidar kalınlığı için %1.64 olarak belirlenmiştir. Aralarında çok fazla fark olmadığı genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak limit çekme oranının, kapta meydana gelecek hatalara sebep olan uygun cidar kalınlığının ve zımba kuvvetinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Derin çekme, kalıp geometrisi, bulanık mantık, cidar kalınlığı, limit çekme oranı, MATLAB.

1 Giriş

Kalıplama yöntemi ile sac şekillendirme, seri üretim için yüksek hızı ve düşük maliyeti nedeniyle önemli bir üretim yöntemidir. Derin çekme, metal şekillendirme yöntemleri arasında önemli proseslerden biridir. Ancak sac malzemenin çekilebilirlik sınırları, ondülasyon ve yırtılma hasarları gibi proses hatalarının oluşması bu işlemi sınırlandırmaktadır [1], [2]. Derin çekmede işlem kalitesi,

kalıp boşluğu içine çekilen sacın ölçülerine bağlıdır. Bu işlemlerde önemli olan, malzemenin kalıp içerisine çökertilmesinin kontrol edilmesidir. Bu kontrol, baskı plakasının sac malzeme yüzeyine belirli bir kuvvet uygulaması ile sağlanmaktadır [3]. Dolayısıyla baskı plakası kuvveti, malzemenin kalıp içerisine üniform olarak akmasını sağlayan önemli bir parametredir. Baskı plakasına uygulanan kuvvete ek olarak zımba ve matris radyüsleri, şekillendirme kuvveti, ilkel parça boyutları ve

* Corresponding author.

E-mail address: enginunal@firat.edu.tr (E. Ünal)

Received 16 September 2022; Received in revised form 13 December 2022; Accepted 13 December 2022

2587-1943 | © 2022 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1176199>

hadde yönü gibi faktörler de derin çekme işlemini etkilemektedir [4], [5]. Bu bakımdan, optimum şekillendirilmiş ürünler için çekme işlemini etkileyen uygun çekme parametrelerinin seçilmesi esastır[3], [4].

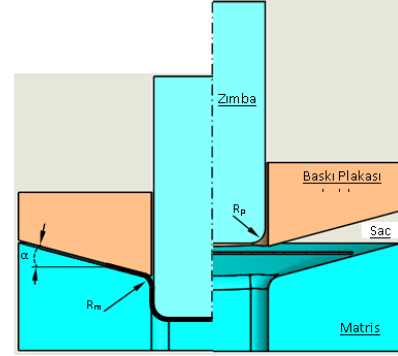
Derin çekilecek kabın birinci operasyonda bir kere eğilip doğrulduğu, ardından ikinci operasyonda ise ikinci sefer eğilerek doğrulduğu dikkate alındığında, derin çekme operasyonlarında işlemleri kolaylaştırmak için zımba ve matris radyüslerinin mümkün olduğu kadar büyük tutulması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, gereğinden fazla olan radyüslerin, baskı plakası tutunma yüzeyi azaldığından dolayı ilkel parçanın zımba ile temas etmeyen yüzey alanı artmakta ve istenmeyen ondülasyonlar oluşmaktadır. Diğer taraftan kalıp radyüsünün küçük seçilmesi halinde ise, kap malzemenin kalıbın içine akışı için gerekli olan temas alanı azalmasından dolayı, zımba kesme kalıbı gibi davranacaktır. Bu şekilde yırtılması kolaylaşmaktadır [6]–[8]. Derin çekme işleminde yırtılma hasarı çoğunlukla zımba kenar radyüsündeki bölgede oluşur. Kalıp radyüslerinin küçük değerlerinde, malzeme özelliklerinin yetersizliği, derin çekme oranının büyük seçilmesi, sıkıştırma basıncının yüksek olması, çekme boşluğunun küçük olması, yağlamanın yetersiz veya uygun yağ türünün seçilmemesi bu hasara neden olmaktadır [9]. kalıp geometrisinin uygun olarak boyutlandırılması ve ideal baskı plakası kuvveti seçimi ile ondülasyonlar engellenebilir [10], [11]. Çekme işlemiyle seri üretim yapılabilmesi işlemleri etkileyen parametrelerin optimum değerleri ile mümkündür. Çekme işlemi esnasında kullanılan parametrelere etki eden faktörler bulanık mantık sistemleri kullanılarak modellenilmektedirler. Seri parça üretiminde bulanık mantık sistemlerinin kullanılması uzman bilirkişiye gerek duymaksızın sistem üzerinde uygun parametrelerin seçilmesini sağlamaktadır [12]. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan bulanık mantık sistemleri tahmini değerlerle işlem yaptığı için endüstrinin her alanında kullanılabilir.

Derin çekme işlemi endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ancak belirli geometrilerin oluşturulması aşamasında zaman ve maliyet kazanımı için deneysel çalışmalara hala ihtiyaç duyulmaktadır. Açık literatürde, genellikle dairesel geometrinin derin çekilmesine odaklanılırken, kare profile sahip kapların derin çekilmesi üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatür değerlendirildiğinde, açılı derin çekme kalıplarında zımba radyüsü, kalıp radyüsü, baskı plakası kuvveti, kalıp açısı ile limit çekme oranı, maksimum zımba kuvveti ve cidar kalınlığı arasındaki ilişkilerin bulanık mantık modeli ile çok fazla incelenmediği görülmüştür. Bu nedenle parametrelerin tahmini değerlerini belirleyebilmek için bulanık mantık modeli oluşturulmuştur.

2 Materyal Metot

Deneylerde ticari olarak temin edilen soğuk şekillendirmeye uygun 0.9 mm kalınlığında DIN 1.0338 kodlu soğuk haddelenmiş düşük karbonlu çelik saclar kullanılmıştır. Test edilen malzemenin farklı haddeleme yönleri için mekanik özellikleri SHIMATZU çekme test makinesi kullanılarak 5 mm/dak sabit hızda akma dayanımı 194.44 N/mm², çekme dayanımı 318.05 N/mm², Uzama %35, elastikiyet modülü 195.00 kN/mm², ve Poission oranı 0.30 olarak belirlendi. Kalıp elemanları 3

eksenli dik işleme merkezi CNC tezgâhında işlenerek imal edilmiştir (Şekil 1). Kalıp elemanlarının boyutları Tablo 1'de özetlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 2 de gösterilmektedir. Derin çekme işlemi için 5 (mm/dak) sabit hızda 600 kN hidrolik pres tezgâhı kullanıldı. İkel parçalar dairesel olarak 95- 135 mm aralığında 5 er mm artımlı olarak hazırlandı. Pres ile zımba arasına bağlanan 2 kg hassasiyetindeki 200 kN ölçüm kapasiteli mayın tipi yük hücresi ile zımba kuvveti ölçümleri yapıldı.



Şekil 1. Kalıp elemanları.

Tablo 1. Kalıp elemanlarının boyutları ve parametre seviyeleri.

	Malzemesi	DIN 1.0338 DC04
Sac	İkel parça çapı (mm)	95-100-105-110-115 -120-125-130-135
	Kalınlık (mm)	0.9
	Malzemesi	DIN 1.2080/X210Cr12
Matris	Delik ölçüsü (mm)	50x50
	Köşe radyüsü (mm)	2 – 4 – 6 – 8 – 10
	Profil radrüsü (mm)	7
	Kalıp açısı (°)	0 – 5 – 10 – 15
Baskı plakası	Malzemesi	DIN 1.0540
	Delik ölçüsü (mm)	50x50
	Profil radyüsü (mm)	7
	Kalıp açısı (°)	0 – 5 – 10 – 15
Zımba	Baskı kuvveti (kN)	2.45 – 4.90 – 7.35 – 9.80
	Malzemesi	DIN 1.2842/90MnCrV8
	Zımba ölçüsü (mm)	48x48
	Köşe radyüsü (mm)	6
	Profil radyüsü (mm)	2 – 4 – 6 – 8 – 10

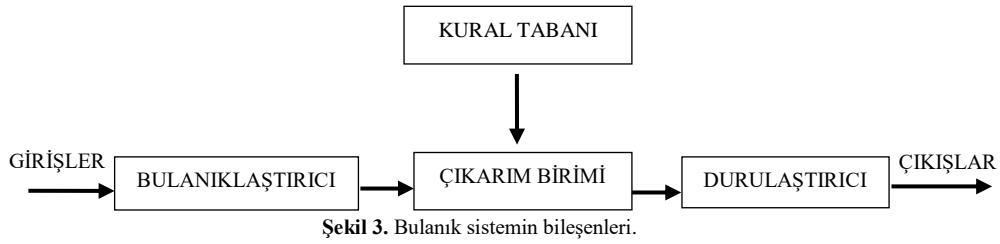


Şekil 2. Deneysel kurulum.

Bulanık kümelere dayalı olan bulanık mantık genelde, insan düşüncesine benzer işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlamakta, gerçek dünyada sık sık meydana gelen belirsiz ve kesin olmayan verileri modellemede yardımcı olmaktadır. Klasik mantıkta bir önerme doğru ya da yanlıştır. Fakat gerçek dünyadaki olayların ne derecede doğru ya da yanlı olduğunu belirlenmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse 100 °C deki su “sıcak” olarak kabul edilirse 95 ve 80 °C deki için “Sıcak değildir” demek

doğru olmadığı gibi yanlışta değildir. Bu yüzden önermelerin “doğru“ ve yanlış değerleri arasındaki ara değerler “az sıcak”, “ılık”, “az soğuk” gibi sınıflandırmalar kullanılarak bulanık küme kavramı ortaya atılmıştır [13].

Bulanık sistemler genellikle matematiksel olarak modellenemeyen problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır. Bir bulanık sistem bulanıklaştırıcı, çıkarım birimi ve durulaştırıcıdan oluşur [14]. Şekil 3’de temel bir bulanık sistemin bileşenleri görülmektedir.



Şekil 3. Bulanık sistemin bileşenleri.

Bu çalışmada, derin çekmede kalıplama işlemi gerçekleşmeden limit çekme oranı (LÇO), et kalınlığı ve zımba kuvvetinin tahmin edilebilmesi ve istenen değerlerin kontrol altında tutulması için bulanık mantık modeli geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bulanık mantık modeli MATLAB ortamında Fuzzy Logic Toolbox kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan model için uygun giriş ve

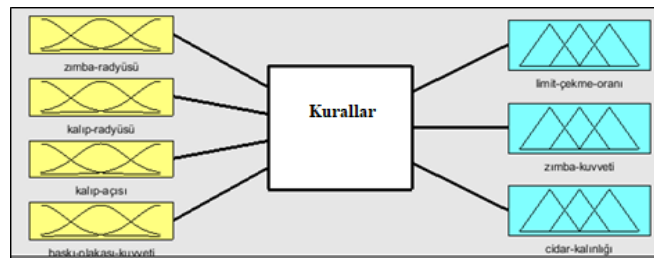
çıkış değişkenleri belirlenmiştir. Limit çekme oranı, et kalınlığı, zımba kuvveti ise çıkış değişkenleridir. Giriş ve çıkış değişkenlerinin dilsel üyelik dereceleri kullanılarak 2240 tane kural ile uygun kural tablosu oluşturulmuştur. Modele uygulanacak giriş değişkenleri ve değerleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Bulanık mantık modeline uygulanacak giriş değişkenleri

Zımba Radyüsü r_z (mm)	Kalıp Radyüsü r_k (mm)	Baskı Plakası Açısı ($^{\circ}$)	Matris Açısı ($^{\circ}$)	Baskı Plakası Kuvveti F_b (N)
2	2	0-5	0-5	0-2400
2-4	2-4	5-10	5-10	2400-4800
4-6	4-6	10-15	10-15	4800-7200
6-8	6-8			7200-9600
8-10	8-10			

Giriş ve çıkış değişkenlerinin dilsel ifadelerle dönüştürülme işlemine bulanıklaştırma işlemi denilmektedir. Yapılacak olan ilk işlem ise giriş ve çıkış değişkenlerinin belirlenmesidir. Giriş değişkenleri kalıp radyüsü, zımba radyüsü, matris açısı ve baskı plakası kuvveti, çıkış değişkenleri ise limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve çekme kuvveti olarak belirlenmiştir. Belirlenen

giriş ve çıkış değişkenlerine dilsel ifadeler vermek amacıyla üyelik dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantık modelinin giriş ve çıkış parametreleri Şekil 4’de, giriş parametrelerinin üyelik fonksiyonları ve sınır şartları Şekil 5’de, çıkış parametrelerinin üyelik fonksiyonları ve sınır şartları ise Şekil 6’da gösterilmiştir.



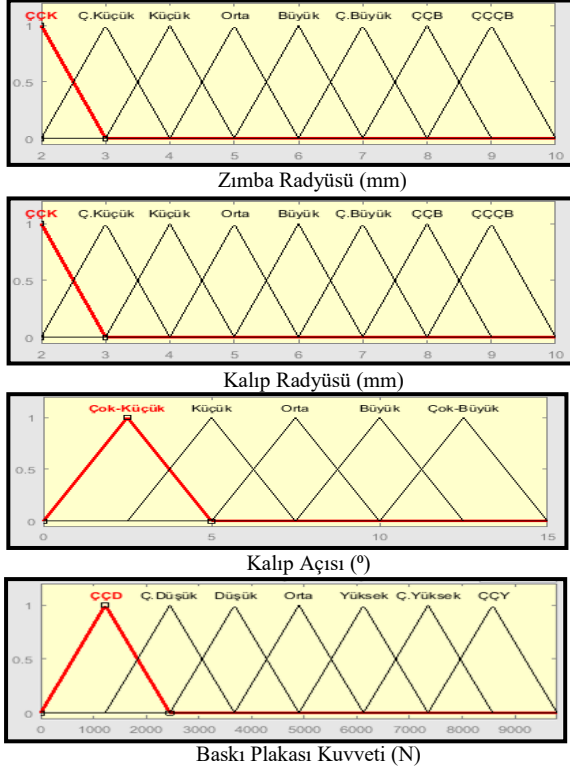
Şekil 4. Fuzzy Logic Toolbox ile bulanık modelinin Giriş ve Çıkış parametreleri.

Giriş ve çıkış parametreleri için üyelik fonksiyonları ve sınır şartları belirlendikten sonra giriş parametrelerinin üyelik derecelerine bağlı olarak $8 \times 8 \times 5 \times 7 = 2240$ tane bulanık mantık kuralı oluşturulmuştur. Bunlardan bazıları;

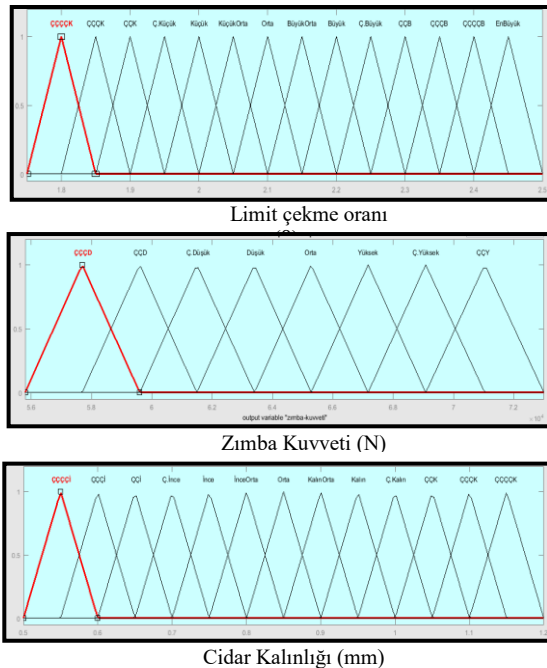
1. Eğer zımba radyüsü küçük kalıp radyüsü küçük baskı plakası açısı çok küçük baskı plakası kuvveti çok düşük ise limit çekme oranı çok çok çok küçük zımba kuvveti çok çok yüksek cidar kalınlığı çok çok incedir;
2. Eğer zımba radyüsü büyük kalıp radyüsü büyük baskı plakası açısı orta baskı plakası kuvveti orta ise limit çekme oranı çok büyük, zımba kuvveti yüksek, cidar kalınlığı çok incedir;
3. Eğer zımba radyüsü çok büyük, kalıp radyüsü orta, baskı plakası açısı büyük, baskı plakası kuvveti düşük ise limit çekme oranı çok büyük, zımba kuvveti orta, cidar kalınlığı orta incedir;
4. Eğer zımba radyüsü orta kalıp radyüsü küçük, baskı plakası açısı çok büyük, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı büyük, zımba kuvveti orta, cidar kalınlığı çok çok incedir;

5. Eğer zımba radyüsü çok çok küçük, kalıp radyüsü çok küçük, baskı plakası açısı orta, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı küçük, zımba kuvveti çok yüksek, cidar kalınlığı çok çok çok incedir;
6. Eğer zımba radyüsü çok çok büyük, kalıp radyüsü çok çok büyük, baskı plakası açısı büyük, baskı plakası kuvveti çok çok yüksek ise limit çekme oranı çok çok büyük, zımba kuvveti çok düşük, cidar kalınlığı orta incedir;

şeklinde sırasıyla 2240 adet kural yazılmıştır.



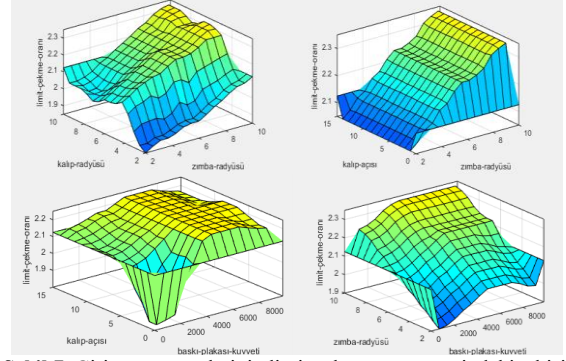
Şekil 5. Giriş parametreleri üyelik fonksiyonu ve sınır şartları.



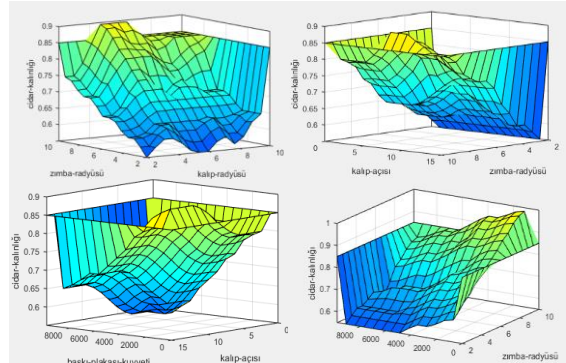
Şekil 6. Çıkış parametreleri üyelik fonksiyonu ve sınır şartları.

3 Sonuçlar ve Tartışma

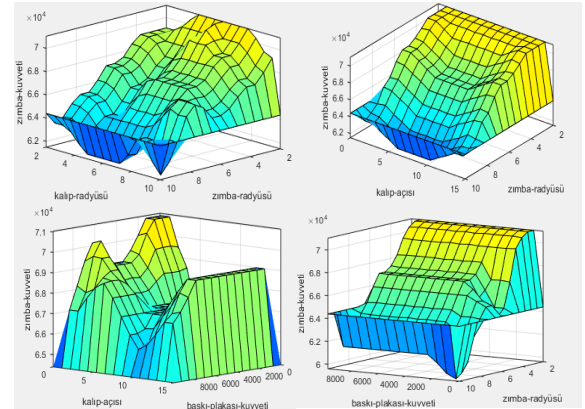
MATLAB Fuzzy Logic Toolbox'da oluşturulan bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak belirlenen giriş parametrelerinin, limit çekme oranı, cidar kalınlığı ve zımba kuvveti üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 7-9'da verilmiştir.



Şekil 7. Giriş parametrelerinin limit çekme oranı üzerindeki etkisi.



Şekil 8. Giriş parametrelerinin cidar kalınlığı üzerindeki etkisi.



Şekil 9. Giriş parametrelerinin zımba kuvveti üzerindeki etkisi.

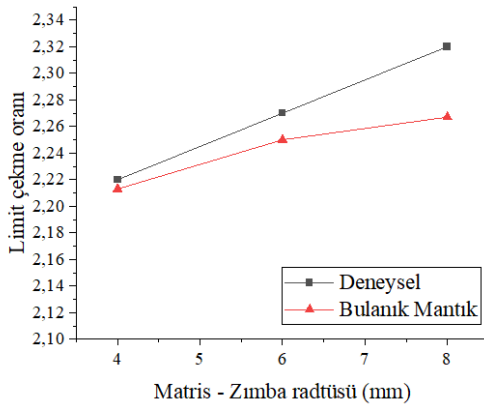
Şekil 7'de, limit çekme oranının en fazla zımba radyüsü ile değiştiği, artan zımba radyüsüne ve kalıp radyüsüne bağlı olarak limit çekme oranı artmıştır. 0° - 5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde limit çekme oranının artıp, 5° - 15° arasında belirlenen değerlerde limit çekme oranının değişiminin olmadığı görülmüştür. Belirlenen düşük baskı plakası kuvvetlerinde limit çekme oranının azaldığı daha sonra artan baskı plakası kuvveti ile limit çekme oranında artış görülmektedir [11].

Şekil 8'de, zımba radyüsünün artması ile cidar kalınlığının arttığı, 0° - 5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde cidar kalınlığının azaldığı 5° - 15° arasında

arttığı ve artan baskı plakası kuvvetine bağlı olarak cidar kalınlığında azalmaların olduğu görülmektedir [4].

Şekil 9'da, zımba radyüsünün artması ile zımba kuvvetinin azaldığı, 0° - 2.5° arasındaki kalıp açısı değerlerinde zımba kuvvetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. 2.5° - 5° arasında zımba kuvvetinin azalarak 5° - 10° arasında orta değerde olduğu, 10° - 15° arasında tekrar yüksek değerlere ulaştığı ve 0-2450 N baskı plakası kuvvetinde zımba kuvvetinin arttığı ancak 2450 N'dan sonra çok fazla bir değişimin olmadığı görülmektedir.

Bulanık mantık modelinden limit çekme oranı için elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler karşılaştırıldığında büyük oranda yakın değerler olduğu görülmektedir. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ortalama ± 0.03771 oranında hata olduğu belirlenmiştir.



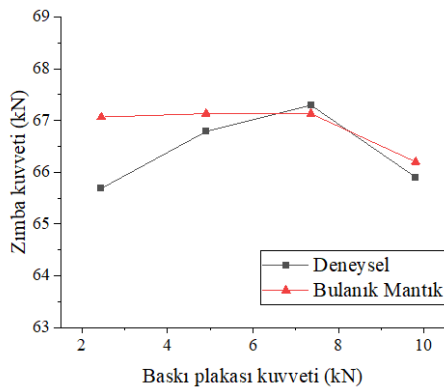
Şekil 10. $\alpha=10^\circ$ ve $F_b=4900$ N için r_z 'ye göre β değerlerinin karşılaştırılması.

Derin çekme sırasında en ideal sonuçları veren giriş değişkenlerinin değerlerine göre limit çekme oranlarının karşılaştırılmasına ait grafikler Şekil 10'da verilmiştir.

Bulanık mantık modelinden zımba için elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler karşılaştırıldığında büyük oranda yakın değerler olduğu görülmektedir. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ortalama ± 0.078389 oranında hata olduğu belirlenmiştir.

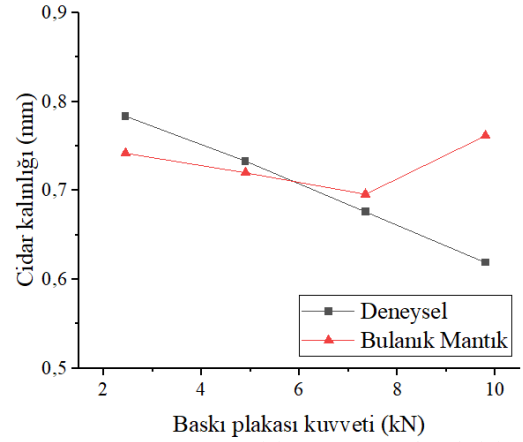
Derin çekme sırasında en ideal sonuçları veren giriş değişkenlerinin değerlerine göre zımba kuvvetlerinin karşılaştırılmasına ait grafik Şekil 11'de verilmiştir.

Zımba kuvvetinin karşılaştırılması için oluşturulan grafikler incelendiğinde ise gerçek değerler ile bulanık mantık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 11. $r_z=6$ mm ve $\alpha=10^\circ$ için F_b 'ye göre F_z değerlerinin karşılaştırılması.

Bulanık mantık modelinden elde edilen cidar kalınlığı sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırıldığında çıkış değişkenlerine göre yakınlık oranının biraz daha azaldığı görülmüştür. Geliştirilen modelin hata oranına bakıldığında ise ortalama ± 0.0164 oranında olduğu belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. $r_z=6$ mm ve $\alpha=10^\circ$ için F_b 'ye göre t değerlerinin karşılaştırılması.

Cidar kalınlığının karşılaştırılması için oluşturulan grafikler incelendiğinde ise bulanık mantık değerleri ile gerçek değerler arasında çok fazla bir fark olmadığı görülmektedir [15].

4 Sonuçlar

Yapılan çalışmalar, açılı derin çekme kalıplarına en ideal şekilde yırtılma, kulaklanma ve buruşma gibi hatalar meydana gelmeden çekme işleminin uygulanabilmesi için zımba radyüsünün büyük, kalıp radyüsünün büyük, kalıp açısının 5° - 10° arasında ve baskı plakası kuvvetinin mümkün olduğu derecede orta değerde belirlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Bulanık mantık modelinde tanımlanan değerler dışındaki tahmini değerlerin belirlenmesi elde edilen grafiklerden ara değerlerin okunabilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Açılı derin çekme kalıplarına en ideal şekilde yırtılma, kulaklanma ve buruşma gibi hatalar meydana gelmeden çekme işlemi uygulanabilmesi için zımba radyüsünün 6 mm, kalıp radyüsünün 6 mm, kalıp açısının 5° - 10° arasında ve baskı plakası kuvvetinin mümkün olduğu derecede 4900-7350 N arasında belirlenmesinin önemli olduğunu göstermektedir.

En etkili parametreler için elde edilen sonuçlar incelendiğinde limit çekme oranı ve cidar kalınlığı için baskı plakası kuvveti ve kalıp açısının, zımba kuvveti için ise zımba radyüsü ve baskı plakası kuvvetinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Geliştirilen bulanık mantık modelinde aralık değerleri hakkında uzman bir kişiden yardım alınmadığı için grafikler oluşturulurken tahmini değerler deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Açılı derin çekme kalıpları için geliştirilen modelin güvenilirliğini test etmek için deney yoluyla elde edilen gerçek değerler ile bulanık mantık modelinden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Hata sınırının limit çekme oranı için %3.77, zımba kuvveti için %7.83, cidar kalınlığının ise %1.64 olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde bulanık mantık değerleri ile deneysel değerler arasında çok fazla fark olmadığı genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Geliştirilen bu modelde belirlenen aralıklar dışında tahmini değerlerin belirlenmesi için MATLAB programından elde edilen grafiklerle yorumlanabilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum ise geliştirilen modelin esnek bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Bilgilendirme

Bu makale Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Teknolojileri Programı'nda "Açılı Derin Çekme Kalıplarının Bulanık Mantık ile Modellenmesi" adı ile kayıtlı yüksek lisans tezindeki verilerden hazırlanmıştır. Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Özek, C., & Akkelek, H. (2021). Investigation of Deep Drawability of Rectangular Shaped Cups in Deep Drawing Dies. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 5(2), 187-194.
- [2] Şen, N., Kurgan, N., Karaağaç, İ., & Uluer, O. (2016). İlk Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 19(2), 185-193.
- [3] Özek, C., & Ünal, E. (2011). Optimization and modeling of angular deep drawing process for square cups. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(9), 1117-1125.
- [4] Şen, N., Çolakoğlu, İ., & Taşdemir, V. (2012). Investigation of deep drawing of square cups using high-strength DP600 and DP800 sheets. *International Journal of Automotive Science And Technology*, 5(4), 378-385.
- [5] Şen, N., & Kurgan, N. (2015). Sac Metal Malzemelerin İlk Derin Çekme Yöntemiyle Şekillendirme Prosesinde Malzeme Karakterizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(2), 663-674.
- [6] Mahabunphachai, S., & Koç, M. (2008). Investigation of size effects on material behavior of thin sheet metals using hydraulic bulge testing at micro/meso-scales. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(9), 1014-1029.
- [7] Liu, Y., Li, H., Zhao, H., & Liu, X. (2019). Effects of the die parameters on the self-piercing riveting process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7), 3353-3368.
- [8] Sato, H., Manabe, K., Ito, K., Wei, D., & Jiang, Z. (2015). Development of servo-type micro-hydraulic deep-drawing apparatus and micro deep-drawing experiments of circular cups. *Journal of Materials Processing Technology*, 224, 233-239.
- [9] Kotkunde, N., Deole, A. D., Gupta, A. K., Singh, S. K., & Aditya, B. (2014). Failure and formability studies in warm deep drawing of Ti-6Al-4V alloy. *Materials & Design*, 60, 540-547.
- [10] Özek, C., & Taşdemir, V. (2018). Derin çekme işlemi sonrası malzemede oluşan sertlik dağılımı üzerine kalıp yüzey açısı, sıcaklık ve baskı plakası kuvveti etkilerinin incelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 35-41.
- [11] Ünal, E., & Özek, C. (2017). A study on the wall thickness in the angular deep drawing process. *Materials Testing*, 59(2), 178-182.
- [12] Kuram, E., & Özcelik, B. (2016). Micro-milling performance of AISI 304 stainless steel using Taguchi method and fuzzy logic modelling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(4), 817-830.
- [13] Sivasankaran, S., Narayanasamy, R., Jeyapaul, R., & Loganathan, C. (2009). Modelling of wrinkling in deep drawing of different grades of annealed commercially pure aluminium sheets when drawn through a conical die using artificial neural network. *Materials & Design*, 30(8), 3193-3205.
- [14] Manabe, K. S., Yang, M., & Yoshihara, S. (1998). Artificial intelligence identification of process parameters and adaptive control system for deep-drawing process. *Journal of Materials Processing Technology*, 80, 421-426.
- [15] Özek, C., Çelik, Y. H., & Özek, M. B. (2013). A fuzzy logic model to determine the effects of die/blank holder angle and punch radius on drawing ratio in angular deep drawing dies. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 25(2), 379-388.