

AA5754 MALZEMENİN KESME İŞLEMLERİNDE KESME BOŞLUĞUNUN ÜRÜN KALİTESİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ VE BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ

Gökhan KÜÇÜKTÜRK

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, ANKARA
gkucukturk@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 21.08.2015; Kabul/Accepted: 10.03.2016)

ÖZET

Bu çalışmada, AA5754 sac malzemenin kesme kalıpları ile kesilmesinde, kesme boşluğu ve sac kalınlığının kesme parametrelerine (zımba batma derinliği, kesme düzlüğü derinliği, çapak yüksekliği, kesme kuvveti) etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için 1, 1,5 ve 2 mm kalınlığındaki AA5754 sac malzemelere, 20 mm çapında zımba ile kesme işlemi uygulanmıştır. Bu kesme işlemlerinde 0,07, 0,08, 0,10, 0,12, 0,14, 0,16 ve 0,18 mm olmak üzere yedi farklı kesme boşluğu değeri kullanılmıştır. Kesme boşluğu ve sac kalınlığının, zımba batma derinliği, kesme düzlüğü boyu, çapak yüksekliği ve kesme kuvveti üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada AA5754 alüminyum malzemenin farklı kalınlık değerleri için en uygun kesme boşluğu değeri belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar için regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, bulanık mantık yöntemi ile farklı parametre değerleri için tahminler oluşturulmuştur. Bu yöntem ile elde edilen değerlerin deneysel sonuçlarla tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesme boşluğu, kesme düzlüğü derinliği, çapak yüksekliği, kesme kuvveti, bulanık mantık, regresyon analizi

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF CLEARANCE ON PRODUCT QUALITY IN AA5754 SHEET MATERIAL BLANKING PROCESS AND ESTIMATION BY FUZZY LOGIC

ABSTRACT

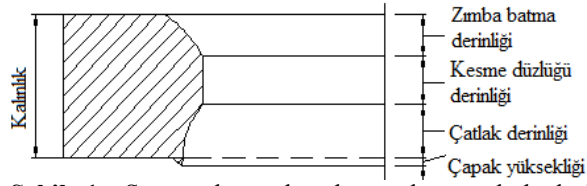
In this study, in the blanking of AA5754 sheet material with dies, the effects of clearance and the thickness of sheet material on blanking parameters (punch penetration depth, burnished depth, burr height, blanking force) were investigated experimentally. For this purpose, cutting process is applied to 1, 1.5 and 2 mm thick AA5754 sheet materials with 20 mm diameter punches. In these cutting operations, seven different clearance values of 0.07, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16 ve 0.18 mm were used. It was observed that clearance and thickness of the sheet are effective on punch penetration depth, burnished depth, burr height and blanking force. In this study, the most appropriate clearance values were determined for AA5754 sheet material in different thickness values. According to the results obtained from experiments, regression analysis was performed. Besides, predictions were formed with fuzzy logic method for different parameter values. The values obtained by this method are consistent with the experimental results.

Keywords: Clearance, burnished depth, burr height, blanking force, fuzzy logic, regression analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaygın olarak otomotiv ve beyaz eşya sektöründe sac metal parçaların üretilmesinde kullanılan kesme kalıpları ile kesme işlemlerinde, kalıbın hassas kesme yapabilmesi, kalıp ömrünün uzun olması ve kesilen yüzeyin düzgün çıkması için, zımba ile kalıp arasında

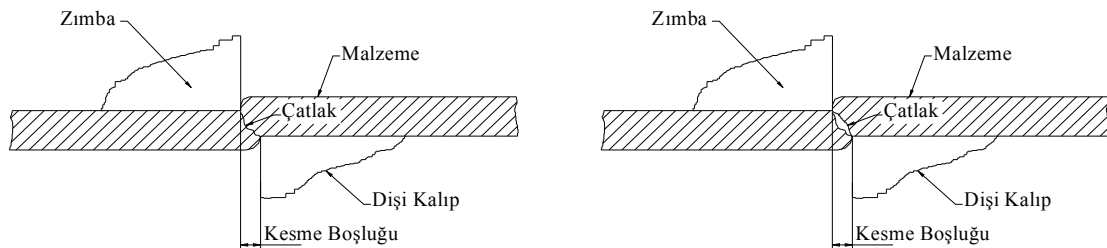
belirli bir boşluk bulunması gerekmektedir. Bu boşluk, kesme sürecinde önemli bir rol oynayarak, zımba batma derinliği, kesme düzlüğü derinliği, çapak yüksekliği ve kesme kuvvetini belirlemektedir. Kesme boşluğunun uygun ve dişi kalıpla zımbanın da aşınmamış olduğu durumlarda kesme yüzeylerinin karakteristik görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sac malzemede oluşan kesme bölgeleri (Blanking zones occurred on sheet material)

Kesme boşluğu, kesilen malzemenin cinsi ve kalınlığına bağlıdır. Genellikle kesme boşluğu azaldıkça, kesilen yüzey daha düzgün olur. Bununla birlikte çok küçük kesme boşluğu, sürtünmeyi ve kesme için gerekli kuvveti artırır. Bunun aksine, çok büyük kesme boşluğu ise malzemede aşırı çapaklanmaya neden olur. Kesme boşluğunun doğru seçimi, zımba ömrü, kesme kuvveti ve ölçü hassasiyetini etkileyecektir. Bu nedenle, kesme işlemlerinde, kullanılacak sac malzeme için en uygun kesme boşluğu değeri belirlenmelidir. Zımba ve kalıp arasındaki boşluk, zımbanın kesme kenarı ile kalıp arasında bulunan sac malzemede ideal kırılma çatlağını başlatır (Şekil 2). Oluşan çatlaklar birbirleriyle buluşuncaya kadar ilerler. Kalıpla kesme işlemlerinde, zımbanın sac malzemeye bir miktar girmesinden sonra malzemenin elastiklik sınırı aşılıp plastik şekil değiştirme başlar. Zımbanın daha fazla ilerlemesi ile malzemede yırtılmalar oluşur. Kesme kuvveti sonucu oluşan gerilmelerin etkisi ile malzemede oluşan bu yırtılma çizgilerinin ve kesilen yüzeyin alacağı şekil, malzemenin mekanik özelliklerine, kalınlığına, kesme boşluğuna ve zımba-kalıp geometrisine bağlıdır. Aynı zamanda, zımba hızı, zımba-kalıp geometrisi ve yağlama da kesme kalitesini etkilemektedir. Literatürde kesme boşluğunun kesme kalitesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Tekiner ve arkadaşları, alüminyum sacların kesme işlemlerinde farklı kesme boşluklarının, kesme-kopma boyu, çapak boyu ve kesme kuvvetine etkilerini incelemişler ve kesme boşluğunun bu parametreler ile doğrudan ilgili olduğunu belirlemişlerdir [1]. Breitling ve arkadaşları bir kesme kalıbında sensörler yardımıyla kesme kuvvetlerini ölçerek kesme sürecini incelemişlerdir [2]. Pyttel ve arkadaşları, alüminyum sacların kesme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve kenar kalitesine etkilerini incelemişlerdir [3]. Stegeman ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada farklı kesme boşluğu ve farklı kesme hızlarında oluşan

gerilme bölgelerini ve kesme kuvvetlerini incelemişlerdir [4]. Metal sac malzemelerin kesilmesinde deneysel çalışmalar yanında kesme boşluğunun kesme kuvveti ve ürün üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi de (Finite Element Method) kullanılmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, kullanılan malzemenin sac kalınlığına göre optimum kesme boşluğu değerleri analitik yöntemlerle belirlenmeye çalışılmıştır [5-11]. Endüstride kullanılan sac malzeme çeşitlerinin çokluğu, her bir malzeme için deneysel veya analitik çalışmaların yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu zorluğu aşmak için, deneysel sonuçlardan yola çıkarak, farklı parametre değerleri için tahminlerin geliştirilmesi faydalı olmaktadır. Hambli, çalışmasında kesme boşluğu ve zımba kaplamasının çapak boyuna etkilerini incelemiş ve Yapay Sinir Ağları (Neural Network) yöntemiyle tahminler geliştirmiştir [12-13]. Faura ve arkadaşları üretim parametrelerine göre değişen bir karar verme sistemi geliştirerek kesme parametrelerinin maliyete etkisini araştırmışlardır [14]. Bu çalışmada, kesme boşluğu ve sac malzeme kalınlığına göre, kesme düzlüğü derinliği, kopma boyu, çapak yüksekliği ve kesme kuvvetlerinin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, 20 mm çapındaki zımba ile 0,07, 0,08, 0,10, 0,12, 0,14, 0,16 ve 0,18 mm kesme boşluğu değerlerine sahip yedi farklı lokma kullanılmıştır. Bu lokmalar, kalıp üzerine geçmeli olarak hassas bir şekilde monte edilebilmektedir. Sac malzeme kalınlığının, oluşan çapak yüksekliğine etkisini görebilmek amacıyla 1, 1,5, 2 mm sac kalınlığında malzemeler kullanılmıştır. Kalıp plakasının üst kısmına yerleştirilen yük hücresi yardımı ile kesme işlemi sırasında oluşan kuvvet ölçülmüştür. Elde edilen ürünler optik mikroskopta incelenerek, kesme düzlüğü boyu, kopma boyu ve çapak yüksekliklerindeki değişim belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarının anlamlılık derecelerini belirlemek amacıyla regresyon analizleri de gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlardan alınan veriler, bulanık mantık yönteminin girdilerini oluşturmuştur. Bu sayede, farklı kalınlıklara sahip malzemelerde kesme boşluğu değerlerine bağlı olarak oluşan çapak yüksekliği ve kesme kuvveti tahmin edilmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında, kesme boşluğuna bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti, çapak boyu ve kesme düzlüğü miktarlarındaki değişimlerin daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

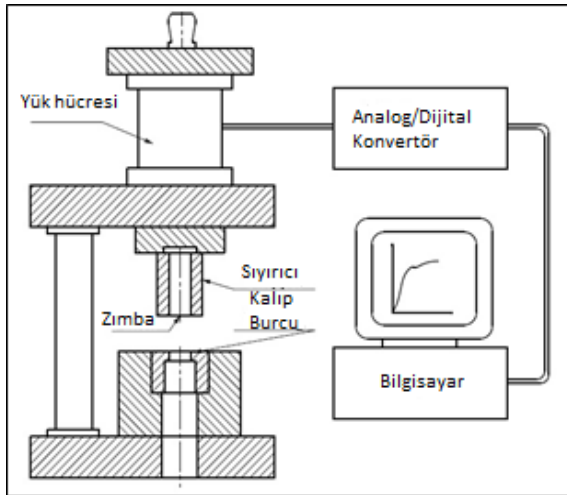


Şekil 2. Kesme çatlaklarının oluşması ve kırılma (Formation of blanking cracks and breaking)

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1 Materyal (Material)

Deneylerin yapılabilmesi için modüler bir kalıp tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Dişi kalıp üzerine hassas olarak monte edilebilen yedi farklı kesme boşluğu değerine sahip lokmalar kullanılmıştır. Yük hücresi kalıp ekseninde bağlayabilmek için 4 adet plaka imal edilmiştir (Şekil 3 – Şekil 4). Yük hücresi, veri okuma kartı, amplifikatör ve veri görüntüleme yazılımı yardımı ile deneysel sonuçlar bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yapılan çalışmada, Kistler marka 120000 kN kapasiteli yük hücresi ve Kistler marka amplifikatör kullanılmıştır. Yük hücresinden ölçülen değerlerin bilgisayar ortamına aktarılması ise, National Instruments (NI) marka veri okuma kartı ve yazılımı sayesinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, 1, 1,5, 2 mm kalınlığındaki AA5754 sac malzeme kullanılmıştır. AA5754 sac malzemenin kimyasal analiz raporu ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (Schematic drawing of experimental apparatus)



Şekil 4. Deney düzeneğinin fotoğrafı (Photograph of experimental apparatus)

2.2 Metot (Method)

Kesme işlemleri için seçilen veri okuma hızı, 2000 veri/sn'dir. Ayrıca, üç farklı sac kalınlığı ve yedi farklı kesme boşluğuna sahip lokmalar yardımı ile modüler bir kalıpta kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında oluşabilecek hataları azaltmak için her deney beş defa tekrarlanarak toplamda 105 adet kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıp çapları Tablo 2'de verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

AA5754 sac malzemeye yedi farklı kesme boşluğu için 105 adet kesme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sırasında kesme kuvvetleri, yük hücresi yardımıyla ölçülmüş, kesilen numuneler optik mikroskop yardımıyla incelenerek, ortalama çapak yükseklikleri ve kesme düzlüğü boyu / kopma boyu oranları belirlenmiştir.

Tablo 1. AA5754 Alüminyum malzemenin kompozisyonu ve mekanik özellikleri (Composition and mechanical properties of AA5754 sheet material)

AA5754 Alüminyum malzemenin kimyasal bileşimi				AA5754 Alüminyum malzemenin mekanik özellikleri.	
Element	%	Element	%	Çekme Gerilmesi	225 Mpa
Si	0,121	Fe	0,194	Akma Gerilmesi	148 Mpa
Mn	0,0133	Mg	0,00849	Uzama	18,50%
Ni	0,00887	Cu	0,0414	Young Modülü	68 Gpa
Sn	0,00848	Ti	0,031	Poisson Oranı	0,33
Al	99,51	Zn	0,0425	Yoğunluk	2,67 gr/cm ³
Pb	0,0148				

Tablo 2. Dişi Kalıp Çap Ölçüleri (mm) (Die and punch diameters)

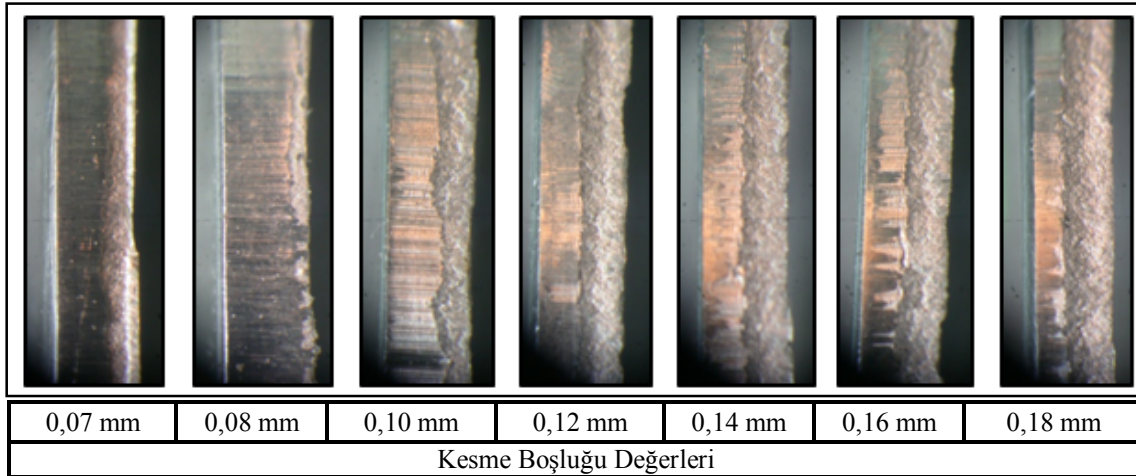
Dişi kalıp çapları	1	2	3	4	5	6	7
20	20,07	20,08	20,10	20,12	20,14	20,16	20,18

Deneysel çalışmalar kapsamında Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bünyesinde bulunan 500X kapasiteli Mitutoyooptik mikroskop kullanılmıştır. Her bir kesme boşluğu değeri için 1 mm kalınlığındaki sac malzemelerden örnekler Şekil 5'te gösterilmektedir.

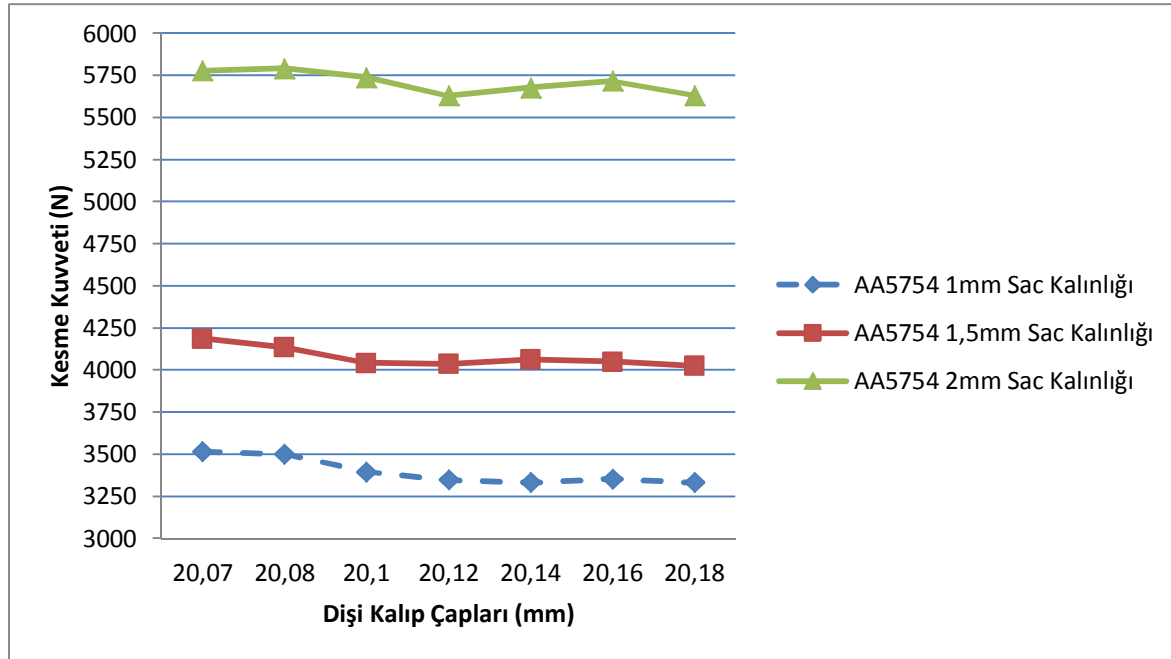
3.1 Kesme Kuvveti (Blanking Force)

Sac-metal kalıp tasarımında kesme kuvveti çok önemlidir. Kalıplamada oluşan kuvvete göre pres tezgahı seçimi yapılmaktadır. Kesme işlemi sırasında

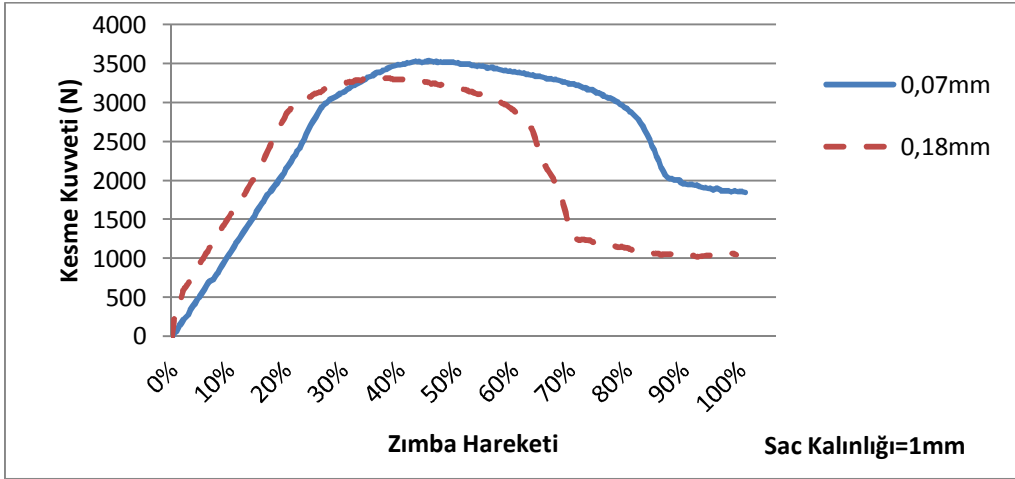
malzemenin şekil almasına bağlı olarak kesme kuvveti değişir. Kesme boşluğunun azalan değerlerine bağlı olarak kesme kuvveti artmaktadır. Yapılan çalışmalarda, kesme boşluğuna bağlı olarak ölçülen kesme kuvveti değerlerinin doğrusal olarak değiştiği belirlenmiştir. Kesme boşluğunun artmasına bağlı olarak yuvarlanma yarıçapı da artmakta ve malzeme akışı kolaylaşmaktadır. Bu durum kesme kuvvetinin de düşmesini sağlamaktadır. Deneysel olarak, her bir sac malzeme kalınlığı için kesme boşluğuna bağlı olarak kesme kuvvetinin %5 ile % 10 arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Şekil 6 - 9).



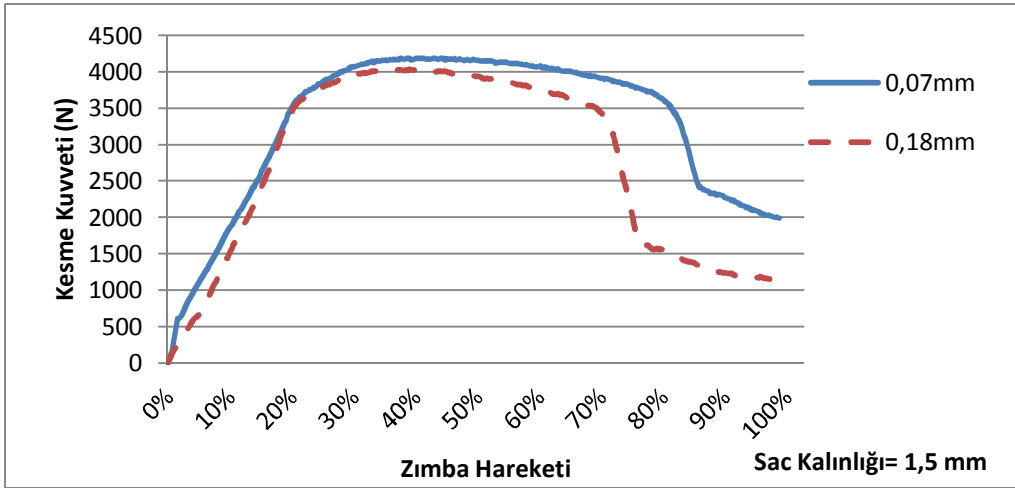
Şekil 5. (0,07 – 0,08 – 0,10 – 0,12 – 0,14 – 0,16 – 0,18mm) kesme boşluğu için 20 mm çapta, 1 mm Sac Kalınlığındaki AA5754 Sac Malzeme Örnekleri (X40). (20 mm diameter, 1 mm thick AA5754 sheet material workpieces with different clearance values (X40))



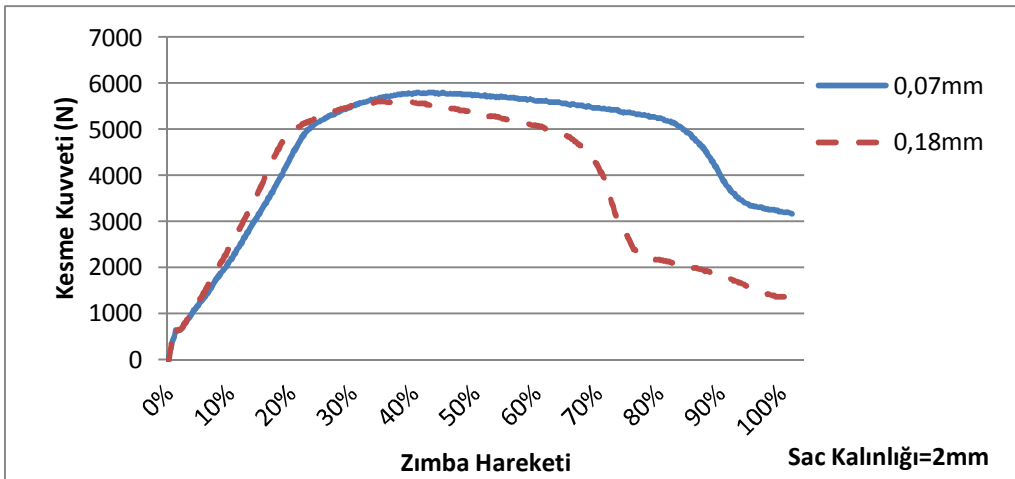
Şekil 6. AA5754 Sac malzeme için kesme kuvveti grafiği (Blanking force graph for AA5754 sheet material)



Şekil 7. AA5754 Sac malzeme (1 mm), Min ve Max Kesme Boşlukları için Kesme Kuvveti- Zımba Hareketi Grafiği (Blanking force-punch movement graph for min. and max. clearance values (AA5754 sheet material, 1 mm))



Şekil 8. AA5754 Sac malzeme (1,5 mm), Min ve Max Kesme Boşlukları için Kesme Kuvveti- Zımba Hareketi Grafiği (Blanking force-punch movement graph for min. and max. clearance values (AA5754 sheet material, 1,5 mm))



Şekil 9. AA5754 Sac malzeme (2 mm), Min ve Max Kesme Boşlukları için Kesme Kuvveti- Zımba Hareketi Grafiği (Blanking force-punch movement graph for min. and max. clearance values AA5754 sheet material, (2 mm))

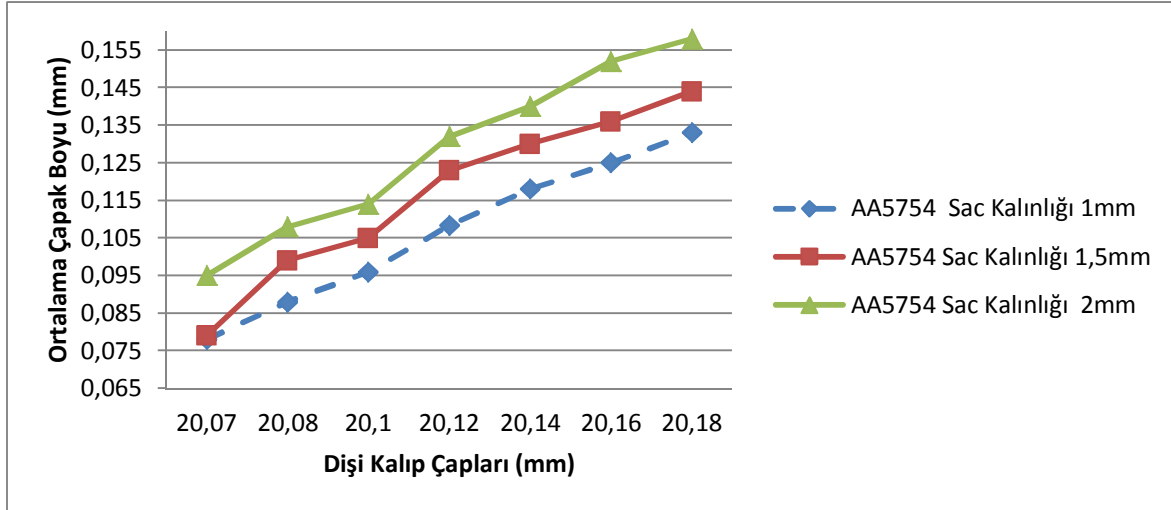
3.2 Çapak Boyu (Burr Height)

Her kesme boşluğu değerinde, kullanılan malzemeye bağlı olarak bir miktar çapak oluşmaktadır. Yumuşak malzemelerde malzeme akışı daha kolay olduğu için çapak yüksekliği sert malzemelere göre daha fazla olmaktadır. Kalıbın çalışması esnasında dişi kalıp ve zımba üzerinde de aşınmalar meydana gelecektir. Dişi kalıp ve zımba üzerinde oluşan aşınmalar da çapak yüksekliğinin artmasına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmada, kalıp ve zımba üzerindeki bu aşınmalar, deney sayısına bağlı olarak ihmal edilecek seviyededir. Farklı kesme boşluğu değerlerinde elde edilen malzemeler üzerindeki çapak yükseklikleri optik mikroskop yardımı ile ölçülmüştür. Her bir parametre değeri için, elde edilen numunelerin çapak boyları ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, kesme boşluğunun artan değerleri için çapak yüksekliğinin de doğrusal olarak arttığını göstermektedir (Şekil 10). Yapılan ölçümlerde, her bir sac kalınlığı için kesme boşluğunun minimum ve maksimum değerlerine bağlı olarak çapak

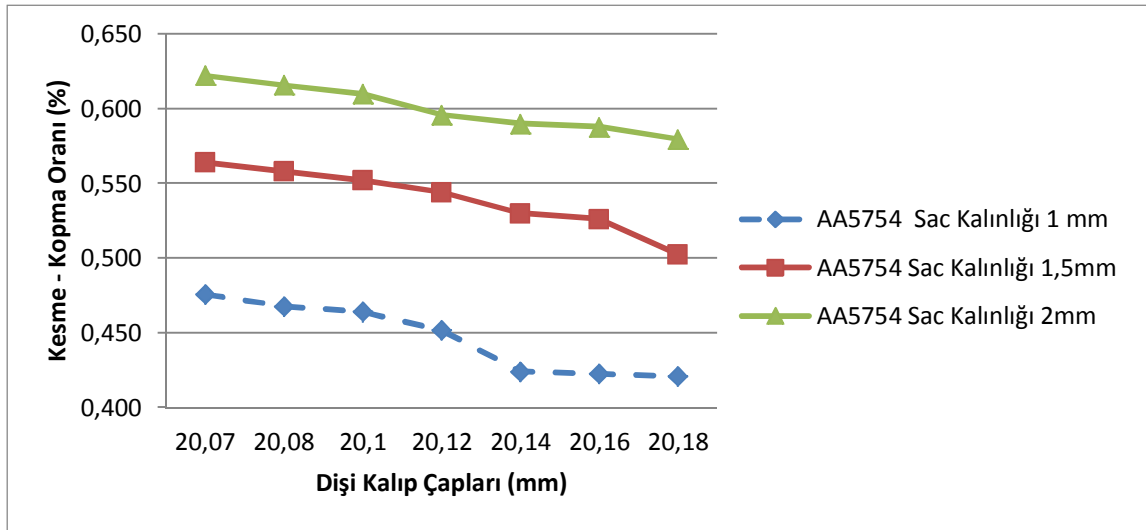
miktarlarının %60 ile %80 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

3.3 Kesme Düzlüğü – Kopma Boyu Oranı (Smooth-Sheared Depth – Fractured Depth)

Malzeme yüzeyinde oluşan kesme düzlüğü ürün kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Kesme düzlüğü, malzemenin sertliğine ve kesme boşluğuna bağlı olarak değişir. Kesme düzlüğü derinliğinin büyük olması, ürün kalitesini arttıracaktır. Yapılan deneysel çalışmalarda, en büyük kesme düzlüğü değeri, 0,07 mm kesme boşluğu değerinde elde edilmiştir. Sac malzeme kalınlığına bağlı olarak kesme düzlüğü / kopma oranları değişmektedir. Kesme boşluğunun artan değerlerinde ise kesme düzlüğü / kopma oranının değerinin doğrusal olarak azaldığı gözlenmiştir (Şekil 11). Deneysel sonuçlar, her bir sac kalınlığı için kesme boşluğunun minimum ve maksimum değerlerine bağlı olarak kesme düzlüğü oranının %8 ile %15 arasında değiştiğini göstermektedir.



Şekil 10. AA5754 sac malzeme için çapak yüksekliği grafiği (Burr height graph for AA5754 sheet material)



Şekil 11. AA5754 sac malzeme için kesme düzlüğü / kopma oranı grafiği (Smooth-sheared depth/fractured depth rate graph for AA5754 sheet material)

4. BULANIK MANTIK SİSTEMİ (FUZZY LOGIC SYSTEM)

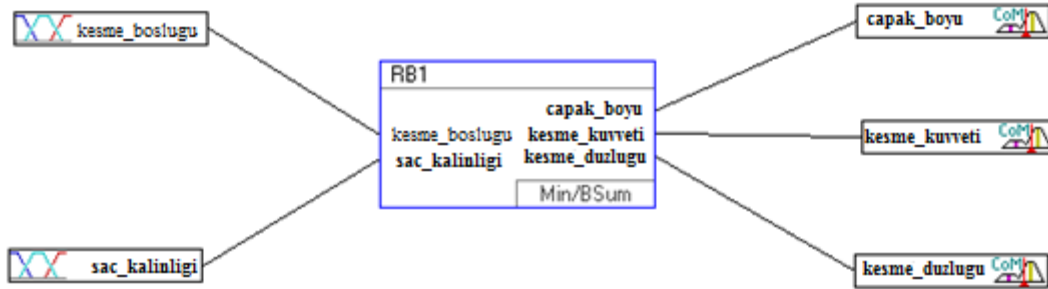
Bulanık mantık sistemi, giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasında işlem yapan bulanık mantık kuralları ile oluşturulmuştur. Bulandırma birimi, giriş birimindeki sayısal değerleri bulanık değişkenlere çevirir. Bulanık sonuç çıkarma işlemi ise, dilsel kontrol kurallarının yer aldığı kural tablosu içerisinde oluşturulur. Bu kural tablosunun çıktısı dilsel değişkenlerdir. Çıkış birimindeki durulama birimi ise, elde edilen bu dilsel değişkenleri tekrardan sayısal değişkenlere çevirmektedir. Yapılan çalışmada, elde edilen deneysel sonuçların bulanık mantık sistemine aktarılması sırasında üçgen üyelik işlevleri kullanılmıştır. Bulanık sistemlerde, üyelik fonksiyonları, ayrılmış değişkenler ve bulanık giriş gibi bulandırma metodları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bulandırma metodu olarak, sistem yapısına uygunluğundan dolayı üyelik fonksiyonları metodu kullanılmıştır.

Farklı durulama metodları üzerinde çalışılmış ve hazırlanan sisteme en uygun durulama metodunun CoM (Centre of Maximum) olduğu belirlenmiştir. Hazırlanan bulanık mantık sisteminin genel özellikleri Tablo 3' te verilmiştir [15]. Kural sayısı, proje girdilerine (kesme boşluğu ve sac malzeme kalınlığı)

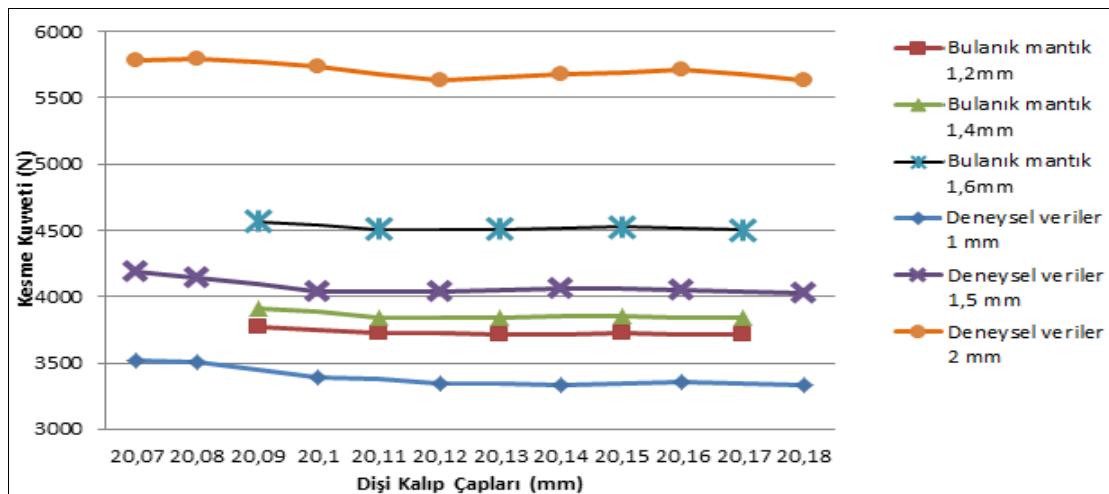
bağlı olarak belirlenmiştir. Her bir parametre değeri için üç üyelik derecesi belirlenmiştir. Her üyelik derecesi için de iki kural oluşturulmuştur. Hazırlanan sistemde giriş değişkeni olarak kesme boşluğu ve sac malzeme kalınlığı, çıkış değişkeni olarak ise, çapak boyu, kesme kuvveti ve kesme düzlüğünün kopma boyuna oranı belirlenmiştir. Geliştirilen bulanık mantık sisteminin yapısı Şekil 12'de verilmiştir. Deneysel sonuçlardan 90 adedi bulanık mantık sisteminin eğitiminde, kalan 15 adedi ise hazırlanan bulanık mantık sisteminin test edilmesinde kullanılmıştır. Test sonuçları, deneysel sonuçlar ile bulanık mantık tahminlerinin tutarlı olduğunu göstermiştir. Hazırlanan bulanık mantık sisteminde, aynı sac malzemenin kullanıldığı kabul edilerek, farklı kesme boşluğu ve sac malzeme kalınlıkları için kesme kuvveti, çapak yüksekliği ve kesme düzlüğü değerleri tahmin edilmiştir. Bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlarla büyük benzerlik göstermektedir.

Tablo 3. Bulanık mantık sisteminin genel özellikleri (General properties of fuzzy logic system)

Girdi değişkenleri	2
Çıktı değişkenleri	3
Kural bloğu sayısı	1
Kural sayısı	126



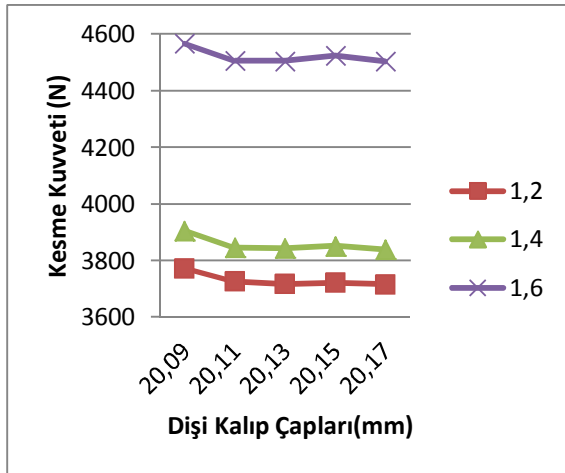
Şekil 12. Bulanık mantık sisteminin yapısı (Structure of fuzzy logic system)



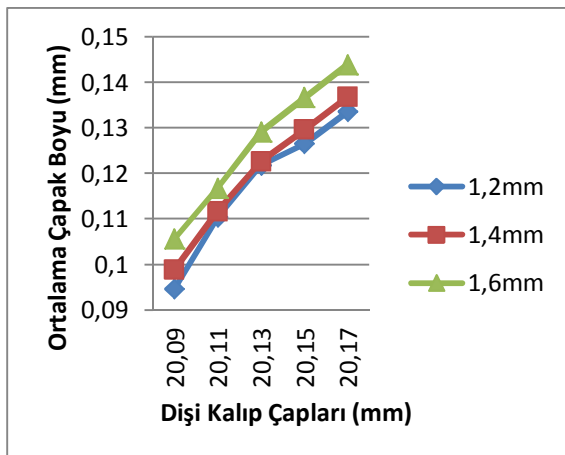
Şekil 13. Kesme kuvveti için deneysel sonuçlarla bulanık mantık sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the results of experiments and fuzzy logic for blanking force)

Kesme kuvveti için deneysel sonuçlarla bulanık mantık sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 13'te verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan sac malzeme kalınlıklarından farklı olarak, 1,2, 1,4, ve 1,6 mm sac malzeme kalınlıkları için tahminler yapılmıştır. Elde edilen tahmin değerlerinde, deneysel sonuçlarda olduğu gibi, sac malzeme kalınlıklarına ve kesme boşluğu değerlerine bağlı olarak kesme kuvvetinin değiştiği görülmektedir. Bulanık mantık sistemi ile elde edilen kesme kuvveti, çapak yüksekliği ve kesme düzlüğü derinlikleri için grafikler Şekil 14-16'da verilmiştir.

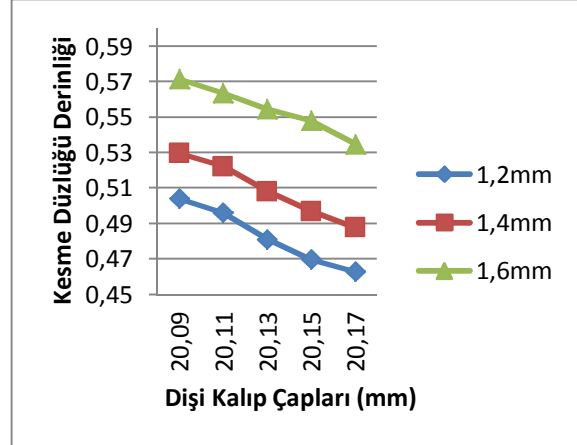
Bulanık mantık sistemi ile elde edilen tahmin değerleri, deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, kesme boşluğuna bağlı olarak kesme kuvveti, çapak boyu ve kesme düzlüğü değerleri için çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar, hazırlanan bulanık mantık sisteminin AA5754 sac malzeme için en uygun kesme boşluğu değerini belirlemek amacıyla kullanılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 14. Bulanık mantık ile elde edilen kesme kuvveti tahminleri (Blanking force estimations obtained by fuzzy logic)



Şekil 15. Bulanık mantık ile elde edilen çapak yüksekliği tahminleri (Burr height estimations obtained by fuzzy logic)



Şekil 16. Bulanık mantık ile elde edilen kesme düzlüğü derinliği tahminleri (Smooth-sheared depth estimations obtained by fuzzy logic)

5. REGRESYON ANALİZİ (REGRESSION ANALYSIS)

Deneylemlerle edilen sonuçlar için regresyon analizleri Minitab paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizi neticesinde elde edilen bulgular Tablo 4'te gösterilmiştir. Farklı yöntemler kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde en doğru yaklaşımın lineer regresyon yaklaşımı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla çalışmada bu yöntem sonuçlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Burada kullanılan notasyon aşağıda belirtilmiştir.

- C Kesme boşluğu
- T Sac malzeme kalınlığı
- F Kesme kuvveti
- B Çapak miktarı
- S Kesme düzlüğü oranı

Tablo 4. Regresyon analizi bulguları (Results of regression analysis)

Deney tipi	Regresyon eşitliği	P	R ² (%)	R ² _{adj} (%)
F	$F = 30166 + 2311 T - 1445 C$	0,001	99,9	99,9
B	$B = - 10,8 + 0,541 C + 0,0225 T$	0,000	97,9	97,5
S	$S = 9,75 + 0,154 T - 0,470 C$	0,000	99,5	99,4

Tablo 5'deki regresyon analizi neticesinde elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, bütün deneyler için P değerinin 0,05'in altında çıktığı görülmüştür. Dolayısıyla, bu durum deney sonuçlarının deney parametrelerine bağlı olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Minitab'da yapılan regresyon analizi ve bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlar mevcut deney verileriyle kıyaslanmış ve sonuçlar Tablo 5'de gösterilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde bulanık mantık ile elde edilen sonuçların regresyon analizi neticesinde elde edilen eşitlikten daha

Tablo 5. Deneysel sonuçları ile regresyon analizi ve bulanık mantık sonuçlarının mukayesesi (The comparison of experimental results with the results of regression analysis and fuzzy logic)

C	F				
	Deneysel	Regresyon	Fark, %	Bulanık Mantık	Fark, %
20,07	3515	3475,85	1,11	3515,6	0,02
20,08	3502	3461,4	1,16	3506,2	0,12
20,1	3396	3432,5	1,07	3393,7	0,07
20,12	3349	3403,6	1,63	3346,8	0,07
20,14	3333	3374,7	1,25	3337,1	0,12
20,16	3354	3345,8	0,24	3356,1	0,06
20,18	3334	3316,9	0,51	3337,4	0,10
C	B				
	Deneysel	Regresyon	Fark, %	Bulanık Mantık	Fark, %
20,07	0,078	0,08037	3,04	0,078045	0,06
20,08	0,088	0,08578	2,52	0,08789	0,13
20,1	0,096	0,0966	0,63	0,096095	0,10
20,12	0,108	0,10742	0,84	0,10843	0,09
20,14	0,118	0,11824	0,20	0,117805	0,17
20,16	0,125	0,12906	3,25	0,12484	0,13
20,18	0,133	0,13988	5,17	0,13281	0,14
C	S				
	Deneysel	Regresyon	Fark, %	Bulanık Mantık	Fark, %
20,07	0,476	0,4711	0,97	0,47617	0,09
20,08	0,468	0,4664	0,28	0,46738	0,07
20,1	0,464	0,457	1,51	0,46445	0,10
20,12	0,452	0,4476	0,91	0,45176	0,01
20,14	0,424	0,4382	3,35	0,4244	0,09
20,16	0,422	0,4288	1,52	0,42245	0,01
20,18	0,421	0,4194	0,38	0,42147	0,11

güvenilir olduğu belirlenmiştir. Tablo 5 üzerinde, kesme boşluğuna bağlı olarak deneylerden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Deneysel sonuçların hemen yanında regresyon ile elde edilen ve Tablo 4'te verilen eşitlikler ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Regresyon eşitliği ve deneysel sonuçlar arasındaki fark yüzdelik hata olarak verilmiştir. Bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar Bulanık Mantık sütununda ve bulanık mantık ile deneysel sonuçlar arasındaki fark ise "Fark" sütununda gösterilmektedir. Fark sütunları incelendiğinde, bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar, regresyon analizi sonuçlarına göre, deneysel sonuçlara daha yakın değerler verdiği görülmektedir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada, AA5754 Alüminyum sac malzeme farklı kalınlık ve kesme boşluğu değerlerinde kesme işlemine tabi tutulmuştur. Kesme boşluğu ile kesme kuvveti ve çapak yüksekliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Kesme boşluğu değerinin azalması kesme kuvvetini arttırmaktadır. Kesme boşluğu değerinin artması ile zımba batma yüksekliği

artmakta ve kesme düzlüğü boyu azalmaktadır. Bu durum kesme kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kesme boşluğu değerinin artması çapak yüksekliğini arttırmaktadır. Deneysel çalışma sonuçlarına bağlı olarak gerçekleştirilen regresyon analizleri, deneysel sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Kesme kuvveti ve çapak yüksekliğinin tahmini amacıyla hazırlanan bulanık mantık sistemi ile deneysel sonuçlar uyum göstermektedir. Bulanık mantık sisteminden elde edilen tahmin değerleri ile deneysel çalışma sonuçları maksimum 0,005 sapma göstermiştir. Hazırlanan bulanık mantık sistemi, AA5754 malzemelerin farklı kalınlık ve kesme boşluğu değerleri için kesme kuvveti ve çapak yüksekliğini belirlemek amacıyla kullanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tekiner, Z., Nalbant, M., Gürün, H., "An Experimental Study for The Effect of Different Clearances on Burr, Smooth-Sheared and Blanking Force on Aluminium Sheet Metal", **Materials & Design**, Cilt 27, No 10, 1134-11382006.

2. Breitling, J., Pfeiffer, B., Altan, T., Siegert, K., "Process Control in Blanking", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 71, 187-192, 1997.
3. Pyttel, T., John R., Hoogen, M., "A Finite Element Based Model for The Description of Aluminium Sheet Blanking", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Cilt 40, 1993-2002, 1997.
4. Stegeman, Y.W., Goijaerts, A.M., Brokken, D., Brekelmans, W.A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "An Experimental and Numerical Study of a Planar Blanking Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 87, 266-276, 1999.
5. Fang, G., Zeng, P., Lou, L., "Finite Element Simulation of The Effect of Clearance on The Forming Quality in The Blanking Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 122, 249-254, 1999.
6. Faura, F., Garcí'a, A., Estrems, M., "Finite Element Analysis of Optimum Clearance in The Blanking Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 80-81, 121-125, 1998.
7. Brokken, D., Brekelmans, W.A.M., Baaijens, F.P.T., "Numerical Modelling of The Metal Blanking Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 83, 192-199, 1998.
8. Vaz J.M., Bressan, J.D., "A Computational Approach to Blanking Processes", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 125-126, 206-212, 2002.
9. Samuel, M., "FEM Simulations And Experimental Analysis of Parameters of Influence in The Blanking Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 84, 97-106, 1998.
10. Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N., "Finite Element Simulation of The Shearing Mechanism in The Blanking of Sheet Metal", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 139, 64-70, 2003.
11. Husson, C., Correia, J.P.M., Daridon, L., Ahzi, S., "Study of Blanking Parameters on Sheared Edge Quality", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 199, 74-83, 2008.
12. Hambli, R., "Prediction of Burr Height Formation in blanking Processes Using Neural Network", *International Journal of Mechanical Sciences*, Cilt 44, 2089-2102, 2002.
13. Hambli, R., "BLANKSOFT: A Code for Sheet Metal Blanking Processes Optimization", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 141, 234-242, 2003.
14. Faura, F. Sebastian, M.A., Zamora, R., "A Decision Support System for Sheet Metal Blanking Process Parameters Selection", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt 118, 371-376, 2001.
15. Nazife, B., Timur, B., *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçakçılar Kitabevi, Türkiye, 243-254, 2004.