

**DERİN ÇEKME KALIPLARINDAKİ PARAMETRELERİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ ve BULANIK MANTIK İLE
TAHMİNİ**

Hakan GÜRÜN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2008
ANKARA**

Hakan GÜRÜN tarafından hazırlanan DERİN ÇEKME KALIPLARINDAKİ
PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ ve
BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun
olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Zafer TEKİNER

.....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can ÇOĞUN

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Zafer TEKİNER

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Muammer NALBANT

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

.....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Ersan ASLAN

.....

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Y. Y. Ü.

Tarih: 15/08/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini
onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hakan GÜRÜN

**DERİN ÇEKME KALIPLARINDAKİ PARAMETRELERİN DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ ve BULANIK MANTIK İLE TAHMİNİ
(Doktora Tezi)**

Hakan GÜRÜN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2008

ÖZET

Bu çalışmada; derin çekme kalıplarında çekmeyi etkileyen parametreler deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda, değişik çekme parametreleri kullanılarak, silindirik ve kare olmak üzere iki farklı geometride derin çekme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, alüminyum, DKP ve pirinç sac malzemelerde uygulanmıştır. Derin çekme sırasında oluşan çekme kuvvetleri, çekme eksenine üzerine yerleştirilen Baykon yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür. Kalıp kavis, zımba kavis, çekme hızı, çekme boşluğu ve sac malzeme kalınlığı parametrelerinin çekme işlemine etkileri incelenmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak deney numunelerinde oluşan kırışıklık, yırtılma, sac kalınlığı incelişmesi ve çekme kuvvetleri incelenmiştir. Sac malzemesinin ve çekme parametrelerinin, sac malzemelerdeki kırışıklığı, yırtılmayı ve miktarını, sac kalınlığında incelmeyi ve çekilebilirlik oranlarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Deneysel numuneler aynı çekme parametreleri kullanarak, sonlu elemanlar metoduna dayalı çözüm yapan DYNAFORM ve AUTOFORM paket programları kullanılarak da analiz edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları ile analiz sonuçlarının çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerden yararlanılarak, deney yapılmayan parametre değerlerinin çekilebilirlik değerlerine etkilerini tahmin etmek amacıyla bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar pratik kullanımlar için literatüre kazandırılmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Derin çekme, çekme kalıpları, çekme parametreleri, deformasyon analizi, bulanık mantık
Sayfa Adedi : 154
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Zafer TEKİNER

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PARAMETERS IN DEEP
DRAWING DIES and ESTIMATION WITH FUZZY LOGIC**

(Ph. D. Thesis)

Hakan GÜRÜN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

August 2008

ABSTRACT

In this study, drawing parameters in the deep drawing dies were experimentally examined. In the experimental studies, deep drawing process has been carried out on the different drawing parameters and on the different profiles as cylindrical and square. Experiments were carried out using Brass, DKP and Aluminium sheet metal materials. The drawing forces occurred during sheet metal deep drawing were measured by Baykon Load Cell. Effects of drawing parameters as die radius, punch radius, drawing speed, die clearance and sheet metal thickness on the drawing process were experimentally researched. Wrinkling, splitting, thinning of sheet metal thickness and the drawing force occurred during sheet metal deep drawing was investigated on the samples. It was show that the drawing parameters directly affected wrinkling, splitting, lower of sheet metal thickness and drawability rate. The samples with same drawing parameters were analysed on the finite element method by means of DYNAFORM and AUTOFORM software. It was seen that the results of the experimental study and the result of analysis are very close. According to the experimental results a fuzzy logic model was improved to estimate for effect of drawing parameters. Results introduce to literature for practically use.

Science Code : 708.3.028
Key Words : Deep drawing, deformation analysis, drawing dies, drawing parameters, fuzzy logic
Page Number : 154
Adviser : Assoc. Prof. Zafer TEKİNER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Zafer TEKİNER'e yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e, Sayın Prof. Dr. Can ÇOĞUN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a ve çalışmalarımda emeği geçen arkadaşlarım Arş. Gör. Gökhan SUR'a ve hidrolik pres tezgahına hız kontrol ünitesi eklenmesindeki katkılarından dolayı Ulaş AKIN'a (Hidro-Kontrol A.Ş.) ve diğer tüm çalışma arkadaşlarım ile manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı, 07/2004-13 nolu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Deneysel ve Analitik Çalışmalar	4
2.2. Yapay Zeka ile İlgili Çalışmalar	14
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	18
3. KURAMSAL TEMELLER	20
3.1. Çekme İşlemi	20
3.1.1. Baskı plakalı çekme	24
3.1.2. Baskı plakasız çekme	25
3.1.2. Çevirme çekme	26
3.2. İkel Parça Boyutlarının Belirlenmesi	26
3.2.1. Alan metodu	27
3.2.2. Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu	27
3.3. Çekmenin Operasyonlandırılması	28

Sayfa

3.4. Çekme Derinliği	30
3.5. Çekme Kavisleri	31
3.6. Çekme Hızı	33
3.7. Çekme Boşluğu	35
3.8. Çekme Kuvveti	36
4. PLASTİK DEFORMASYON	37
4.1. Plastik Deformasyonun Temel İlkeleri	38
4.2. Plastik Deformasyonu Etkileyen Faktörler	40
5. MATERYAL ve METOT	46
5.1. Deneysel Çalışmalar	46
5.1.1. Pres tezgahı ve kalıp seti	46
5.1.2. Sac malzeme	47
5.1.3. Çekme kuvvetlerinin ölçülmesi (Yük hücresi ve bileşenleri)	49
5.1.4. Hız kontrol ünitesi	54
5.1.5. Çekme parametreleri	55
5.1.6. Deneylerin yapılışı	55
5.2. Analiz Çalışmaları	58
5.2.1. Kalıp elemanlarının modellenmesi	58
5.2.2. Sac malzeme modellerinin oluşturulması	59
5.2.3. Ağ yapılarının oluşturulması	60
5.3. Bulanık Mantık	64
5.3.1. Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık	66
5.3.2. Bulanık mantığın sisteme uygulanması	67

Sayfa

5.3.3. Bulanık mantık sisteminin yapısı	68
5.3.4. Bulanık mantık sisteminde kullanılan değişkenler.....	70
5.3.5. Kural tablosu	79
6. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI	80
6.1. Çekme Kuvveti.....	80
6.1.1. Çekme hızının çekme kuvvetine ve çekme oranlarına etkileri	80
6.1.2. Sac malzeme kalınlığının çekme oranına etkileri	99
6.1.3. Kalıp ve zımba kavislerinin çekme oranına etkileri	104
6.1.4. Çekme boşluğunun çekme işlemine etkileri.....	108
6.2. Baskı Kuvvetinin Derin Çekme İşlemine Etkileri	110
6.3. Derin Çekme İşleminde Malzeme Et Kalınlıklarının Değişimi.....	121
6.4. Bulanık Mantık Sisteminin Uygulanması	127
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	137
KAYNAKLAR	141
EKLER.....	149
Ek-1. Bulanık mantık için oluşturulan kural tablosu	150
ÖZGEÇMİŞ	153

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Yağlayıcıların 40 °C’de viskozite değerleri	8
Çizelge 2.2. Yağlayıcıların pres kuvvetine etkisi	9
Çizelge 3.1. Çekme işlemi sırasında oluşan hatalar ve muhtemel sebepleri	23
Çizelge 3.2. Bazı sac malzemelerin ilk çekmedeki ve müteakip çekmelerdeki % azalma oranları	29
Çizelge 3.3. Çekme işleminin kademelendirilmesinde sac kalınlığına bağlı katsayılar	30
Çizelge 3.4. Kalıp kavis yarıçapı değerleri	32
Çizelge 3.5. Kalıp kavis yarıçapı için önerilen diğer değerler	32
Çizelge 3.6. Çekme hızları	34
Çizelge 3.7. Çekme boşluğu değerleri	36
Çizelge 4.1. Çeşitli metallerin kristal yapısı	40
Çizelge 5.1. Pres tezgahının teknik özellikleri	47
Çizelge 5.2. DKP 1110 malzeme için kimyasal analiz raporu	48
Çizelge 5.3. CuZn30 Pirinç malzeme için kimyasal analiz raporu	48
Çizelge 5.4. AA5754 Alüminyum malzeme için kimyasal analiz raporu	49
Çizelge 5.5. Baykon Model 220 yük hücresinin teknik özellikleri	50
Çizelge 5.6. Baykon Type TX1 verici özellikleri	54
Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan çekme parametreleri	56
Çizelge 5.8. Zimba ve dişi kalıpların yüzey pürüzlülükleri	57
Çizelge 5.9. Analizlerde kullanılan sac malzeme özellikleri	60
Çizelge 5.10. Kare çekme için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri ..	68

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.11. Silindirik çekme için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri.....	68
Çizelge 5.12. Kare çekme için hazırlanan giriş değişkenleri	70
Çizelge 5.13. Kare çekme için hazırlanan çıkış değişkenleri	71
Çizelge 5.14. Silindirik çekme için hazırlanan giriş değişkenleri	71
Çizelge 5.15. Silindirik çekme için hazırlanan çıkış değişkenleri.....	72
Çizelge 5.16. Pres hızı için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	73
Çizelge 5.17. Kalıp kavisi için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	73
Çizelge 5.18. Sac malzeme için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	74
Çizelge 5.19. Sac malzeme kalınlığı için fonksiyonlarının tanımlama noktaları....	75
Çizelge 5.20. Zimba kavisi için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	76
Çizelge 5.21. Çekme boşluğu için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları ...	76
Çizelge 5.22. Çekme oranları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları....	77
Çizelge 5.23. Baskı kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	78
Çizelge 5.24. Çekme kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları	78
Çizelge 5.25. Kural tablosu için örnek gösterim	79
Çizelge 6.1. Kesit daralması başlama mesafesi.....	90
Çizelge 6.2. Çekme boşluğunun ürün boyutlarına etkisi.....	110
Çizelge 6.3. Kullanılan malzemelere göre tespit edilen baskı plakası kuvvetleri .	120
Çizelge 6.4. Bulanık mantık sistemi için oluşturulan giriş ve çıkış değişkenleri..	128
Çizelge 6.5. Çekme deneylerinden elde edilen kuvvet ölçümleri ve bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	130
Çizelge 6.6. Çekme deneylerinden elde edilen baskı kuvveti sonuçları ile bulanık mantık sonuçlarının karşılaştırılması	131

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.7. Çekme deneylerinden elde edilen çekme oranları ile bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması	131
Çizelge 6.8. Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminleri	132
Çizelge 6.9. Farklı sac malzemeler ve sac malzeme kalınlıkları için yapılan bulanık mantık tahminleri	133

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Savaş ve Seçgin'in yeni tip çekme kalıbı modeli.....	6
Şekil 2.2. Pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri	6
Şekil 2.3. Derin çekmede malzeme akışının şematik olarak gösterimi	7
Şekil 2.4. Gerinme – gerilim bölgesinde muhtemel kırıxıklık alanları.....	10
Şekil 2.5. Çekilen kap duvarlarındaki gerilmeler	10
Şekil 2.6. Browne ve Hillery et kalınlığı ölçüm modeli.....	13
Şekil 2.7. Derin çekme işlem basamakları	13
Şekil 2.8. Deneyde kullanılan sistemin genel hatları	16
Şekil 2.9. Hazırlanan programla oluşturulan iki adımlı bir çekme işleminin işlem sırası.....	17
Şekil 3.1. Çekme işleminin oluşumu	20
Şekil 3.2. Çekme esnasında oluşan kuvvetler	21
Şekil 3.3. Çekme esnasında oluşan metal akışı	21
Şekil 3.4. Çekme işleminde oluşan hatalar.....	22
Şekil 3.5. Baskı plakalı çekme işleminin oluşumu.....	24
Şekil 3.6. Baskı plakasız çekme işleminin oluşumu.....	25
Şekil 3.7. Çevirme çekme işleminin oluşumu	26
Şekil 3.8. Alan metodu ile ilkel çapın bulunması.....	27
Şekil 3.9. Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu ile ilkel çapın bulunması.....	28
Şekil 3.10. Zimba ucu kavisi ve dişi kalıp kavisi	31
Şekil 3.11. Mekanik ve hidrolik preslerde kuvvet aktarımı	34
Şekil 4.1. Üç temel şekil değişimi	37

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı pres tezgahı	46
Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp seti	47
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan Baykon Model 220 yük hücresi	50
Şekil 5.4. Yük hücresi bağlama seti	51
Şekil 5.5. Yük hücresi yardımıyla çekme kuvvetinin ölçülmesi	52
Şekil 5.6. Çekme deneyleri için hazırlanan deney düzeneği	52
Şekil 5.7. Yük hücresi kalibrasyon grafiği	53
Şekil 5.8. Deneylerde kullanılan Baykon Type TX1 verici	54
Şekil 5.9. Sac parçanın yüzey modelleme ile oluşturulmuş model yapıları	59
Şekil 5.10. Oluşturulan modellerin DynaForm paket programına aktarılması ...	59
Şekil 5.11. DynaForm da baskı plakasına ait ağ yapılarının oluşturulması	60
Şekil 5.12. DynaForm da kalıp seti ve zımbalara ait ağ yapılarının oluşturulması	60
Şekil 5.13. DynaForm da sac malzemeye ait ağ yapılarının oluşturulması.....	61
Şekil 5.14. DynaForm da analiz öncesi zımba ve kalıp plakalarının oluşturulması	62
Şekil 5.15. Oluşturulan modellerin AutoForm paket programına aktarılması	62
Şekil 5.16. Çekme işlemi tipi ve sac malzeme kalınlığının belirlenmesi	63
Şekil 5.17. AutoForm paket programına sac malzemenin tanıtılması.....	63
Şekil 5.18. AutoForm da analiz öncesi zımba ve kalıp plakalarının oluşturulması	64
Şekil 5.19. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi üyelik işlevleri	67
Şekil 5.20. Hazırlanan bulanık mantık denetleyicisinin temel yapısı	68
Şekil 5.21. Kare çekme için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı	69

Şekil	Sayfa
Şekil 5.22. Silindirik çekme için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı...	69
Şekil 5.23. Çekme hızı için üyelik fonksiyonları	72
Şekil 5.24. Kalıp kavisi için üyelik fonksiyonları	73
Şekil 5.25. Sac malzeme için üyelik fonksiyonları	74
Şekil 5.26. Sac malzeme kalınlığı için üyelik fonksiyonları	75
Şekil 5.27. Zımba kavisi için üyelik fonksiyonları.....	75
Şekil 5.28. Çekme boşluğu için üyelik fonksiyonları.....	76
Şekil 5.29. Çekme oranları için üyelik fonksiyonları.....	77
Şekil 5.30. Baskı kuvveti için üyelik fonksiyonları	77
Şekil 5.31. Çekme kuvveti için üyelik fonksiyonları	78
Şekil 6.1. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen analiz sonuçları	81
Şekil 6.2. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen analiz sonuçları.....	82
Şekil 6.3. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları	86
Şekil 6.4. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları	86
Şekil 6.5. Kare çekme kalıplarında farklı çekme hızlarının çekme kuvvetine etkileri.....	87
Şekil 6.6. Silindirik çekme kalıplarında farklı çekme hızlarının çekme kuvvetine etkileri.....	88
Şekil 6.7. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	89
Şekil 6.8. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	89

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri	91
Şekil 6.10. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri	92
Şekil 6.11. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri	93
Şekil 6.12. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	94
Şekil 6.13. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	95
Şekil 6.14. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	96
Şekil 6.15. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	96
Şekil 6.16. Et kalınlığı ölçüm noktaları	97
Şekil 6.17. CuZn30 malzemenin, çekme hızına göre et kalınlıklarının değişimi	98
Şekil 6.18. DKP1110 malzemenin, çekme göre olarak et kalınlıklarının değişimi	98
Şekil 6.19. AA5754 malzemenin, çekme göre olarak et kalınlıklarının değişimi	99
Şekil 6.20. Kare çekme işlemlerinde, farklı sac malzeme kalınlıklarının çekme kuvvetine etkileri	103
Şekil 6.21. Silindirik çekme işlemlerinde, farklı sac malzeme kalınlıklarının çekme kuvvetine etkileri	103
Şekil 6.22. Farklı zımba kavis değeri değerlerinin çekme kuvvetine etkileri	107
Şekil 6.23. Farklı çekme boşluğu değeri değerlerinin kesit daralma başlangıç kuvvetine etkileri	109

Şekil	Sayfa
Şekil 6.24. CuZn30 malzemenin 7000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	111
Şekil 6.25. CuZn30 malzemenin 8000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	112
Şekil 6.26. CuZn30 malzemenin 9000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	114
Şekil 6.27. CuZn30 malzemenin 10000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	115
Şekil 6.28. CuZn30 malzemenin 12000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği	116
Şekil 6.29. AutoForm paket programından elde edilen baskı kuvveti değeri	117
Şekil 6.30. AA5754 malzeme için farklı baskı kuvvetleri uygulanarak AutoForm programında hazırlanmış analiz sonuçları	119
Şekil 6.31. AA5754 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar	123
Şekil 6.32. DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar	123
Şekil 6.33. AutoForm paket programında AA5754 malzemelerin analizlerinde kullanılan model	124
Şekil 6.34. AutoForm paket programında DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin analizlerinde kullanılan model	124
Şekil 6.35. DynaForm paket programında AA5754 malzemelerin analizlerinde kullanılan model	125
Şekil 6.36. DynaForm paket programında DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin analizlerinde kullanılan model	125
Şekil 6.37. AA5754 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları	126
Şekil 6.38. DKP1110 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları	126

Şekil	Sayfa
Şekil 6.39. CuZn30 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları	127
Şekil 6.40. Sac malzeme cinsi, pres hızı ve çekme kuvveti ilişkisi.....	129
Şekil 6.41. Sac kalınlığı, malzeme cinsi, ve baskı kuvveti ilişkisi	129
Şekil 6.42. Çekme parametrelerinin değiştirilmesi	130
Şekil 6.43. Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminleri	133
Şekil 6.44. DKP malzemenin farklı sac kalınlıkları için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri ..	134
Şekil 6.45. CuZn30 malzemenin farklı sac kalınlıkları için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri ..	135
Şekil 6.46. AA5754 malzemenin farklı sac kalınlıkları için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri ..	135

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	81
Resim 6.2. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	82
Resim 6.3. DKP1110 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	83
Resim 6.4. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	84
Resim 6.5. CuZn30 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	84
Resim 6.6. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları.....	85
Resim 6.7. DKP1110 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	100
Resim 6.8. CuZn30 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	100
Resim 6.9. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	100
Resim 6.10. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	101
Resim 6.11. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	101
Resim 6.12. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	102
Resim 6.13. Malzeme üzerindeki deformasyon bölgelerinin tayini.....	104

Resim	Sayfa
Resim 6.14. AA5754 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	106
Resim 6.15. DKP1110 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	106
Resim 6.16. CuZn30 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar.....	106
Resim 6.17. Kalıp kavisinin büyük olmasından kaynaklanan kırışma.....	108
Resim 6.18. Büyük çekme boşluğu değerlerinde oluşan hatalar.....	109
Resim 6.19. 7000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme	111
Resim 6.20. 8000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme	112
Resim 6.21. 9000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme	113
Resim 6.22. 10000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme	115
Resim 6.23. 12000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme	117
Resim 6.24. DKP1110 malzemeler için farklı baskı kuvvetlerinde çekme sonuçları	118
Resim 6.25. AA5754 malzemeler için farklı baskı kuvvetlerinde çekme sonuçları	119
Resim 6.26. AA5754 malzeme için et kalınlıklarının değişimi	121
Resim 6.27. DKP1110 malzeme için et kalınlıklarının değişimi	122
Resim 6.28. CuZn30 malzeme için et kalınlıklarının değişimi	122

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
s	Sac malzeme kalınlığı
d	Çekilen son çap
D	İlkel çap
h	Çekilecek parça yüksekliği
$V_{\text{parça}}$	Çekilecek parçanın hacmi
V_{pul}	İlkel pul hacmi
l	Çekmeye uğrayan kenarların uzunlukları
R_c	Çaplar arasındaki % azalma oranı
E	Elastikiyet modülü
ν	Poisson oranı
g	yoğunluk
a	Kesme payı
m	Çekme oranı
r_k	Kalıp kavisi
r_z	Zimba kavisi
z	Çekme boşluğu
σ	Çekme gerilmesi
Q	Baskı plakası kuvveti
d_1	Birinci çekme çapı
d_2	İkinci çekme çapı
m_1	Birinci çekme oranı
m_n	Ara çekme oranları
T_{yk}	Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı
σ_g	Gerçek gerilme
ε	Gerçek birim şekil değiştirme

Simgeler**Açıklama**

n	Deformasyon sertleşmesi üssü
m	Deformasyon hızı duyarlılığı üssü
é	Gerçek deformasyon hızı
L₀	Numunenin deformasyon öncesi uzunluğu
L	Numunenin deformasyon sonrası uzunluğu
V	Hız

Kısaltmalar**Açıklama**

AMD	AutoCAD Mechanical Desktop
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	Bilgisayar Destekli Üretim
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
BHF	Baskı Plakası Kuvveti (Blank Holder Force)
CoM	En Büyük Noktanın Merkezi (Center of Maximum)
LV	Dilsel Değişkenler (Linguistic Variable)
MBF	Üyelik Fonksiyonları (Membership Function)
RB	Kural Tablosu (Rule Block)

1. GİRİŞ

Endüstriyel ürün tasarımcıları geliştirdikleri makine ve parçalarının ürün maliyeti ve üretim zamanının azaltılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapmaktadırlar. Güncel hayatta kullandığımız birçok üründe ürün üretim zamanının düşürülmesi büyük önem arz etmektedir. Ürün maliyetinin düşürülmesi, kullanılan ham malzeme miktarının azaltılması ve ekonomik bir üretim yönteminin kullanılması ile mümkündür. Özdeş parça imalatı açısından bu kıstaslar dikkate alındığında, sac metal imalat yöntemi, ham ve atık malzeme miktarı ve ürün imalat zamanı bakımından birçok imalat yöntemine (özellikle talaşlı imalat) kıyasla dikkat çekmektedir. Genellikle ev gereçleri, beyaz eşya, otomotiv ve savunma endüstrileri gibi birçok alanda sac metal kalıpcılığı vazgeçilmez bir imalat yöntemidir. Sac metal kalıpcılığında, kesme-delme, bükme ya da form verme ve derin çekme gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle sac metal kalıpcılığında kullanılan yöntemlerin üretim parametrelerinin ve uygun malzeme çiftlerinin (sac malzemesi ve seçilen şekillendirme yöntemine bağlı erkek ve dişi kalıp form ve malzemeleri) belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Kesme-delme ile bükme ya da form verme yöntemleri parametre açısından daha az karmaşık bir sac metal şekillendirme yöntemidir. Çekme yöntemi ile sac metal şekillendirmede ise sac malzemenin dinamik akış hareketi ile birlikte özellikle zımbaya sarılıyor olması, işlemi karmaşık hale getirmektedir. Bu yöntemde Sac malzeme zımbanın ucunda bükülür ve zımbayı sarar. Sac metal malzeme zımba yardımı ile kalıp boşluğuna doğru akarken aynı zamanda sacın dış kısmı da kalıp boşluğuna doğru hareket eder [1].

Sac malzemenin özellikleri; cinsi, alaşım elementleri, üretim yöntemi, ısıl işlem ve şekillendirme sırasında uygulanan sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişir. Farklı uygulamalarda malzeme seçiminde genellikle üretilecek parça için gerekli olan özellikler ve malzemenin şekillendirilebilirlik özellikleri arasındaki uyum göz önüne alınmalıdır [2].

Araştırmacılar deneysel ve teorik çalışmalarla çekme işleminde karşılaşılan problemlerin belirlenmesine yönelik çalışmalara odaklanmaktadır. Çekme işleminin düzenli olarak yapılabilmesi, çekme işlemini etkileyen parametrelerin doğru ve uygun seçilmesine bağlıdır.

Yapılan bu çalışma kapsamında, kalıp kavisi, zımba kavisi, sac malzeme cinsi, sac malzeme kalınlığı, pres hızı, çekme boşluğu ve çekme profilinin etkisi olmak üzere, çekme kalıplarında çekmeyi etkileyen 7 farklı parametre değeri ele alınmıştır.

Farklı parametre değerlerinin uygulandığı bu çalışmanın temel amaçları;

- Çekme parametrelerinin derin çekme işlemi üzerindeki etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi,
- Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar metoduna dayalı yazılımlarla yapılan analizleri kıyaslamak ve doğruluk yüzdelerini belirlemek,
- Elde edilen deneysel sonuçların, bulanık mantık uygulaması denetimini sağlamak amacıyla kullanılması ve farklı parametre değerleri için uygulanabilir bir modelin çıkarılması

olarak özetlenebilir.

Bu amaçların gerçekleştirilmesi için çalışmada, DKP 1110 çelik, CUZN30 pirinç ve AL 5754 alüminyum sac malzemeler, 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm olmak üzere 3 farklı kalınlıkta kullanılmıştır. Çekme hızının sac-metal şekillendirme işlemindeki etkilerinin tespit edilmesi amacıyla, 0,225 m/dk, 0,750 m/dk, 1,500 m/dk ve 2,250 m/dk olmak üzere, 4 farklı pres hızında şekillendirme şartları incelenmiştir. Ayrıca, zımba ve dişi plakanın çekme işlemi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla 6 mm, 8 mm, ve 10 mm olmak üzere 3 farklı zımba kavisi, 6 mm ve 10 mm olmak üzere 2 farklı kalıp kavisi değeri kullanılmıştır. Dişi kalıp plakası ve çekme zımbası arasında sac malzemenin akmasını sağlamak amacıyla, sac malzeme kalınlığına ilave olarak 0,2 mm 0,5 mm ve 0,8 mm olmak üzere 3 farklı çekme boşluğu değerlerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bütün parametre değerleri,

silindirik ve kare çekme işlemleri için tekrarlanarak çekme profilinin çekilebilirliğe ve malzeme akışına etkisi belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda uygulanan bütün parametre değerlerine göre elde edilen çekme kuvveti değerleri ve et kalınlığı değişim miktarları, farklı çekme parametreleri için tahminler yapmak amacıyla hazırlanan bulanık mantık uygulamasına kaynak teşkil etmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre düzenlenen ve eğitilen bulanık mantık denetleyicisi sayesinde, yüksek doğruluk derecesine sahip tahminler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak, kalıp setinden, kuvvet ölçüm cihazlarından, ortam şartlarından veya deneyi yapan kişiden kaynaklanan hataları mümkün olduğu kadar azaltmak amacıyla bütün parametre değerlerinde 3 defa deney yapılmıştır.

Bu çalışma ile gerçekleştirilen önemli bir husus ise; değerlendirmesi her ne kadar zor olsa da deneysel çalışmanın, gerçek derin çekme ile şekillendirme şartlarında yapılmasıdır. Elde edilen çok sayıdaki deneysel sonuçlar, derin çekme işleminin gerçek doğasının anlaşılmasında ve deneysel çalışma ile birlikte bulanık mantık kullanılarak, kalıp-ürün arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar deneysel ve teorik çalışmalarla çekme işleminde karşılaşılan problemlerin belirlenmesine yönelik çalışmalara odaklanmaktadır. Çekme kalıplarında, çekme parametrelerinin ve ürün şeklinin en iyi olması amacıyla literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde, derin çekme işlemine etki eden parametrelerin incelendiği deneysel çalışmaların yanı sıra, form verme işlemi sırasında oluşan deformasyonların, oluşan kuvvetlerin ve gerilmelerin incelendiği analiz çalışmalarının da ağırlıklı olarak uygulandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çekme parametrelerinin en uygun değerlerini belirlemek, deneysel çalışmalarda kullanılan parametre değerlerinden farklı parametre değerleri için tahminler yapabilmek ve bu parametrelerin optimizasyonunu sağlamak amacıyla, deneysel çalışmalarla birlikte yapay zeka uygulamalarının da yapıldığı görülmüştür [1-3].

2.1. Deneysel ve Analitik Çalışmalar

Derin çekme işleminde işlem performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, baskı plakasının tasarımıdır. Baskının ürün üzerinde doğru noktalara uygulanması ve uygun baskı kuvvetinin seçilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

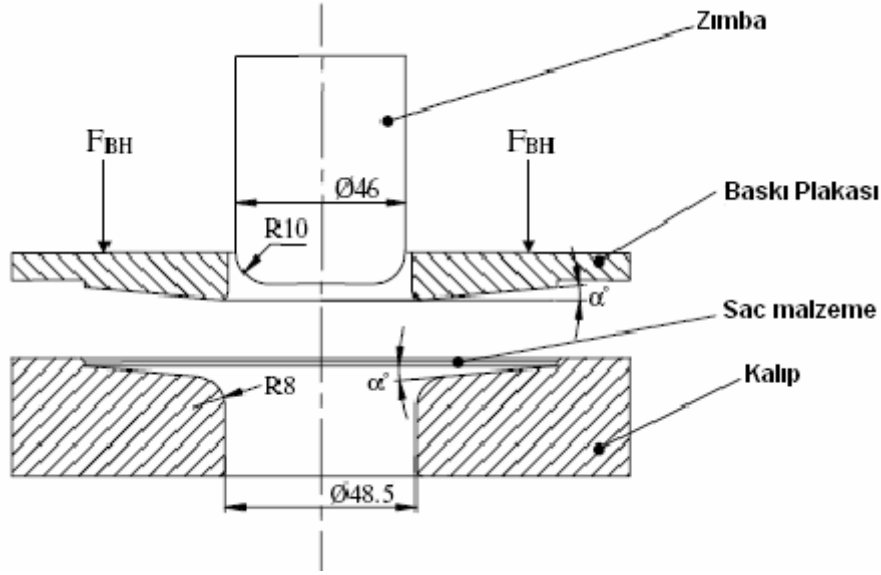
Bazı araştırmacılar, farklı baskı plakası kuvvetlerinin sac metal ürün üzerinde oluşan kırışıklıklara ve yırtılmalara etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Baskı plakası üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, baskı kuvvetinin form verme işlemini doğrudan etkilediği, düşük seviyedeki baskı kuvveti sac malzeme üzerinde kırışıklıklara neden olurken, baskı kuvvetinin olması gerekenden daha büyük alındığı durumlarda ise sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünme kuvvetinin arttığı ve yırtılmalara sebep olduğu tespit edilmiştir [3-10]. Ali ve arkadaşları, baskı plakasının sac malzemeyi tutmasını önlemek, yırtılmaları azaltmak ve çekme boyunu artırabilmek amacıyla, baskı plakası üzerine düşük frekanslı titreşimler vererek çekme işlemini gerçekleştirmiştir. 1 mm kalınlığında alüminyum (5754-H111) sac

malzeme, 225 mm çaptan 110 mm çapa çekilmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar önce sabit basınçlı baskı plakası ile daha sonrada titreşim uygulanmış baskı plakası ile tekrarlanarak aralarındaki farklar tespit edilmiştir [11].

Gavas ve İzçiler, kare profilli derin çekme işleminde, baskı plakası boşluğunun sac metal ürün üzerinde oluşan kırışıklıklara, yırtılmalara ve et kalınlığındaki değişimlere etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler sırasında, 1 mm kalınlığında alüminyum sac malzeme ve 1 mm ile 1,8 mm arasında değişen baskı plakası boşlukları kullanılmış ve kalıplama kuvveti değerleri de ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar, büyük baskı plakası boşluğunun kalıp içerisine malzeme akışını kolaylaştırdığını, ama artan baskı plakası boşluğu değerlerinin kırışıklık ve yırtılmaları da artırdığını belirlemiştir [12].

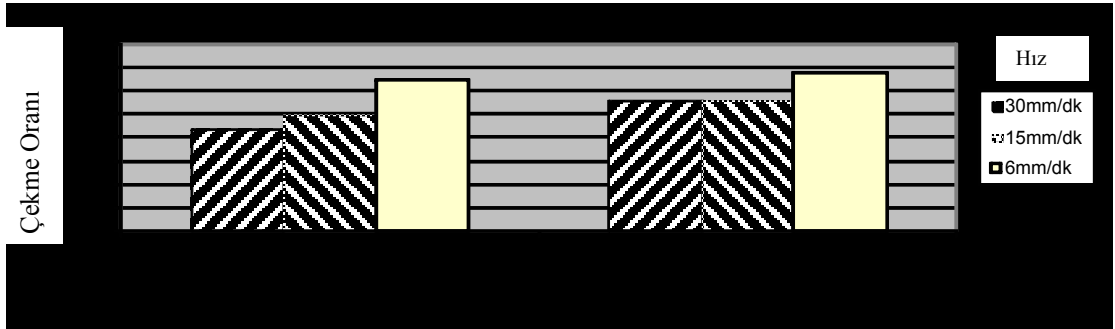
Gavas ve İzçiler diğer bir çalışmalarında ise baskı plakası üzerinde bir ABS sistemi (anti-lock braking system) geliştirmişlerdir. ABS sistemi kullanılarak ve kullanılmadan elde edilen sonuçlar pres kuvveti, çekme yüksekliği, çekilebilirlik ve et kalınlıklarındaki değişim parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Hazırlanan sistemle, malzemelerin çekme yükseklikleri ve çekme oranı limitleri üzerinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir [13].

Baskı plakası üzerine diğer bir çalışma ise, Savaş ve Seçgin tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, baskı plakası ile kalıp arasına açı verilerek, sac malzemelerin çekme oranlarının artırılması, dolayısıyla derin çekmedeki operasyon sayısının azaltılarak kalıp ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Çalışma, 0°, 2,5°, 5°, 10° ve 15° olmak üzere 5 değişik açı değerlerinde ve farklı baskı plakası kuvvetlerinde tekrarlanmış ve bu değerlere göre sac malzemenin çekme oranlarındaki değişim tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sayesinde, 0° açı ile 1,75 olarak tespit edilen çekme oranı limiti, 15° açı ile 2,175'e kadar hatasız olarak yükseltilebilmiştir [14]. Yapılan çalışmada kullanılan kalıp modeli Şekil 2.1'de verilmiştir.



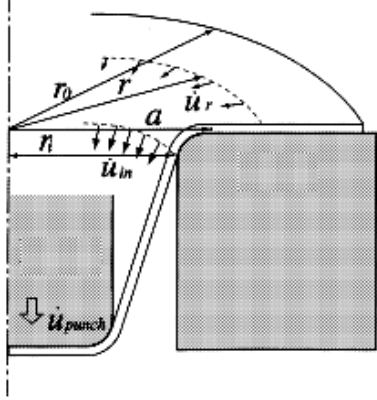
Şekil 2.1. Savaş ve Seçgin'in yeni tip çekme kalıbı modeli [14]

Pres hızı, malzemelerin çekme oranlarını büyük ölçüde etkileyen bir faktördür. Palumbo ve arkadaşları [15] ile Naka ve arkadaşları [16], pres hızı ve sıcaklığın çekme işlemi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Pres hızının, malzemelerin çekilebilirliğine büyük oranda etki ettiği yapılan deneyler sonucunda bildirilmiştir. Mg alaşımı üzerinde yapılan çekme deneylerinde, 180 °C sıcaklıkta, 30 mm/dk'dan 6 mm/dk'ya düşen pres hızlarında malzemenin çekme oranlarının (D/d) 2,2'den 3,25 değerine yükseldiği, 230 °C sıcaklıkta ise 30 mm/dk'dan 6 mm/dk'ya düşen pres hızlarında malzemenin çekme oranlarının 2,8'den 3,375'e yükseldiği tespit edilmiştir [15]. Yapılan çalışma ile belirlenen, pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri Şekil 2.2 'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri [15]

Deneysel sonuçlar, pres hızının artan değerlerinde çekme oranlarının düştüğünü ve çekilebilirliğin pres hızının artan değerlerinden ters orantılı olarak etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, pres hızının artan değerlerinde en yüksek pres yüklenmesi değerlerinin de düştüğü yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır [13-16].



Şekil 2.3. Derin çekmede malzeme akışının şematik olarak gösterimi [16]

Şekil 2.3'deki malzeme geometrisinden;

Pres hızının, çekme sırasında sac malzemenin kalıp boşluğuna giriş hızına eşit olduğu varsayıldığında,

$$v_r = -\frac{a}{r} v_m \approx -\left(\frac{r_1}{r}\right) v_{punch} \quad (2.1)$$

yazılır ve gerçek plastik gerilme,

$$\varepsilon_{f lg} = -\frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_\theta = -\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{v_r}{r} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{r_1}{r^2}\right) v_{punch} \quad (2.2)$$

olarak elde edilir. Bu eşitlik, kenar elamanları için gerçek plastik gerilme eşitliğini ifade etmektedir [16].

Doege ve arkadaşları, derin çekme işlemi sırasında oluşan malzeme akışını tespit edebilmek için bir sistem geliştirmişlerdir. Baskı plakası üzerinde farklı bölgelere yerleştirilen ve sac malzemeye temas etmeyecek şekilde düzenlenen 8 adet optik algılayıcı sayesinde, bu bölgelerdeki malzeme akış hızı ve çekme derinlikleri arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Optik sensörlerden alınan veriler sayesinde, malzeme akışı ve baskı plakası kuvveti arasında bir bağlantı kurulmuştur. Bu algılayıcılar, karşılaştırma yöntemleriyle işlem sırasında sacın özelliklerindeki değişiklikleri kaydetmektedir. Yapılan bu kayıtlar, çekme işleminin kararlılığını belirleyebilmek amacıyla, bir bulanık kontrol işleminin uygulanmasında kullanılmıştır [17-18].

Sac malzeme ile kalıp plakası arasındaki sürtünme, form verme işlemi sırasında malzeme akışını olumsuz yönde etkilemektedir. Derin çekme işlemlerinde iyi bir yağlama, kırıksıklıkları azaltarak, incelmeleri ve erken yırtılmaları önlemektedir. Derin çekme işlemlerinde, sürtünmenin etkisini azaltmak için genellikle yağlayıcı özelliği olan kimyasallar, yağlayıcı film tabakaları ve kalıp-sac malzeme arasındaki teması önlemeye yönelik, sac malzeme üzerine uygulanan kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Literatürde sürtünmenin etkisini azaltmak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır.

Allen ve arkadaşları, farklı yağlayıcıların, ürünün çekilebilirliğine ve yüzey kalitesine etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada farklı viskozite değerlerine (Çizelge 2.1) sahip 4 adet yağlayıcı malzeme kullanılmıştır [19].

Çizelge 2.1. Yağlayıcıların 40 °C’de viskozite değerleri [16]

Yağ Tipi	Tanımlama	Viskozite (40 °C)
Castor Yağ	Castor	225
Mineral Yağ A	Yağ A	460
Mineral Yağ B	Yağ B	1070
Mineral Yağ C	Yağ C	1487.5

Kullanılan yağlayıcıların etkisi ile sürtünme azaldığı için oluşan pres kuvvetinde de azalmalar görülmüştür. Yağlayıcıların pres kuvvetine etkileri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yağlayıcıların pres kuvvetine etkisi [19]

Yağlayıcı	En büyük ortalama pres kuvveti (kN)
Yağsız	83,1
Castor	74,2
Yağ A	75,8
Yağ B	73,3
Yağ C	72,3

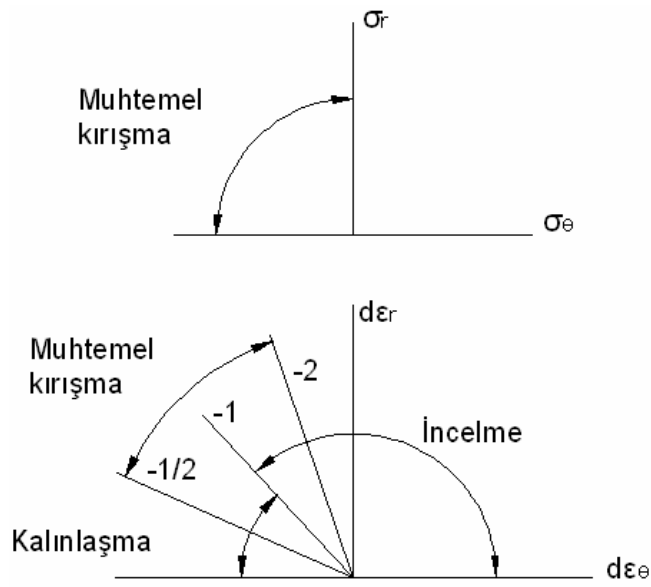
Sürtünme etkisinin azalması ile malzemenin daha rahat form aldığı ve eşit çekme yüksekliklerinde yapılan ölçümlerde, et kalınlıklarında kullanılan yağlayıcının viskozitesi ile orantılı olarak artışlar olduğu görülmüştür.

Kim ve arkadaşları, 5 adet yağlayıcı kullanarak derin çekme işlemlerinde yağlayıcıların etkilerini test etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 4 adet kuru film yağlayıcı ve bir adet mineral yağ kullanmışlardır. Yağlayıcıların pres kuvveti, çekme boyu ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri, farklı pres hızlarında ve değişik baskı kuvvetleri uygulanarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar, kuru film tabakalarının, malzeme ile kalıp arasındaki temas yüzeyini ortadan kaldırdığı için, daha iyi yağlama sağladığını, çekme boyunu artırdığını ve çekme kuvvetini düşürdüğünü göstermiştir. Ayrıca, baskı kuvvetinin yüksek olduğu durumlarda, kuru film tabakalarının mineral yağlara göre yırtılmaları azalttığı da tespit edilmiştir [20].

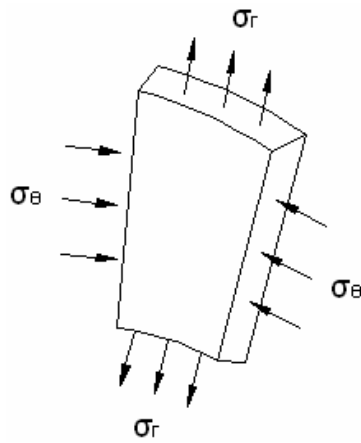
Narayanasamy ve Loganathan derin çekme kalıplarında, kuru film yağlayıcı kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarda, kırışmaların önlenmesine yönelik bir strateji sunmuşlardır [21-23]. Yapılan çalışmalarda, malzeme üzerinde oluşan kırışmalara bağlı olarak bir kırışma sınır diyagramı oluşturulmuştur. Derin çekme

kalıpları üzerinde yapılan araştırmalar, gerilme artış oranının, çekme işlemi sırasında kritik değere ($d\epsilon_r/d\epsilon_Q$) geldiğinde kırışıklığın başladığını göstermiştir.

Gerilme- gerilim bölgesinde muhtemel kırışıklık alanları Şekil 2.4'te, çekilen kap duvarlarındaki gerilmeler ise Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Gerilme – gerilim bölgesinde muhtemel kırışıklık alanları [22]



Şekil 2.5. Çekilen kap duvarlarındaki gerilmeler [22]

Sac metal ürüne form verme işlemi sırasındaki deformasyon sıcaklığının (T) malzemenin ergime sıcaklığına (T_m) oranına bağlı olarak, deformasyon işlemi sıcak işlem, soğuk işlem ve ılık işlem olmak üzere üç gruba ayrılır.

Sıcaklığın çekme işlemine etkilerini incelemek için yapılan çalışmalar, artan sıcaklık değerlerinde plastik şekillendirme için gerekli enerjinin azalacağını, pres kuvvetinin düştüğünü ve şekillendirme işleminin daha kolay gerçekleştiğini göstermektedir.

Bazı araştırmacılar sıcaklığın derin çekme işlemi üzerindeki etkilerine dair çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda, bölgesel olarak kalıp bloğu üzerinde ısıtma ve soğutma kanalları yardımıyla bölgesel soğutma işlemi, komple kalıp seti üzerinde ısıtma işlemi ve yalnızca sac malzeme üzerine uygulanan ısıtma işlemleri kullanılmıştır. Sıcak ve ılık işlem olarak yapılan çalışmalar, sıcaklığın malzemelerin şekil almasını kolaylaştırdığını ve uygulanan ısı arttıkça pres hızı etkisinin de ısıyla doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir [24-26].

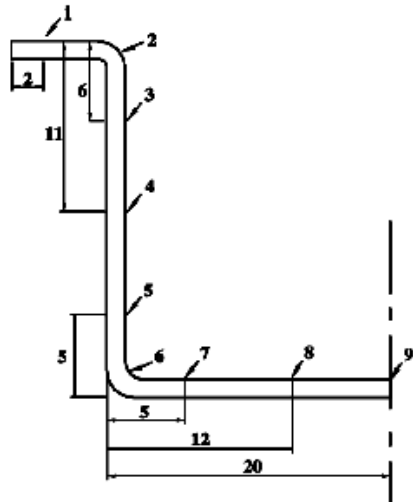
Literatürde, derin çekme işlemi sırasında işlem performansını artırmak için yukarıda bahsedilen yöntemlere ek olarak birçok çalışma yapılmıştır [27-38]. Namoco ve arkadaşları, baskı plakasının sac malzeme üzerindeki direncini düşürmek ve sac malzemenin kalıp kavislerindeki direncini artırmak amacıyla sac malzeme üzerine kabartma ve düzenleme tekniğini uygulamışlardır. Çalışmada farklı kabartma derinlikleri denenmiş ve sac malzemelerin derin çekilebilirliğine olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir [39].

Hassan, Takakura ve Yamaguchi [40, 41], baskı plakasının sac parça üzerindeki sürtünme etkisini azaltmak amacıyla, 4 ve 8 bölmeli baskı plakalarından oluşan iki farklı çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bölümlenen baskı plakası ile kalıp arasında açılı bir yüzey oluşturularak baskı plakasının sac malzeme ile birlikte, içeri-dışarı hareketi sağlanacak ve sac malzeme ile baskı plakası arasındaki sürtünme kuvveti büyük ölçüde azalacaktır.

Dejmal ve arkadaşları, kalıp kavisinin çekme kuvveti ve malzemelerin çekilebilirliği üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, en uygun kalıp kavis, deneysel sonuçlara ve yapılan analiz sonuçlarına göre belirlenmiştir. Alüminyum ve bakır malzemeler üzerinde farklı kalıp kavisleri ile yapılan deneyler sonucunda, kalıp kavisinin, derin çekme ürünlerin çekme oranlarına ve et kalınlıklarına etkileri araştırılmıştır. Yapılan analizlerde, kalıp içerisinde malzemenin akışı, ürün profili dikkate alınarak yerleştirilen bir koordinat sistemine göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar kalıp kavis ile kuvvet dağılımı arasında yakın bir ilişki kurulmasını ve kuvveti en aza indiren kalıp kavis değerinin elde edilmesini sağlamıştır. Kalıp kavis değerlerinin büyük ölçüde çekme oranına ve sürtünmeye bağlı olduğu, malzeme kalınlığından etkilenmediği belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, çekme işlemi sırasında kuvveti en aza indirebilmek için kavis değerlerinin mümkün olduğu kadar büyük alınması gerektiği tespit edilmiştir [42].

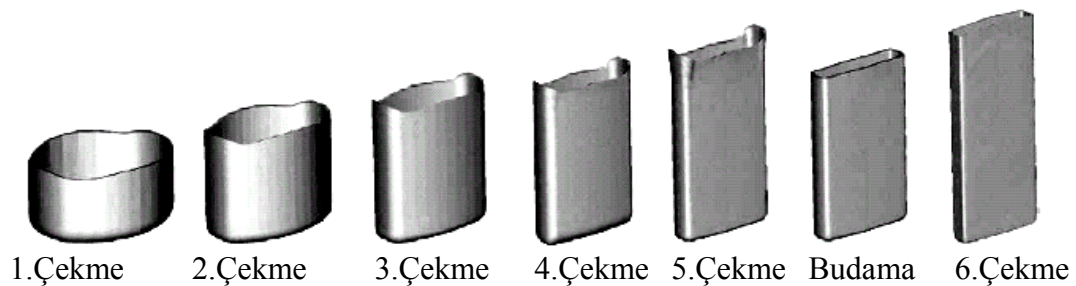
Mori ve Tjusi, kalıp kavisinin, deformasyon sıcaklığının, yağlayıcıların ve baskı plakası kuvvetinin etkilerini ölçmek amacıyla, silindirik ve kare çekme kalıpları kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, 2 farklı kalıp kavis, 4 farklı yağlayıcı ve değişik baskı plakası kuvvetleri kullanılmıştır. Soğuk işlem olarak yapılan deneysel çalışmalar, 400 – 500 °C arasında tekrarlanarak sıcaklığın etkileri de araştırılmıştır [43].

Browne ve Hillery, derin çekme parametrelerinin optimizasyonunu yapmak amacıyla, kalıp ve zımba kavislerini, baskı plakası kuvvetini, yağlamayı, pres hızını ve sac malzemenin kalıp içerisindeki konumunu içerecek şekilde kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Deney sonuçlarından elde edilen sac ürünler üzerinde et kalınlığı ölçümleri yapılarak, uygulanan parametrelerin et kalınlığı üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı parametrelerle derin çekmeye tabi tutulan ürünler kesilerek, belirlenen 9 ayrı noktadan et kalınlığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir [44]. Et kalınlıklarının ölçülmesi için kullanılan model Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Browne ve Hillery et kalınlığı ölçüm modeli [44]

Ku ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada dikdörtgen profilli bir kabin çok adımlı olarak derin çekme işlemini ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yüksek doğrulukla yapmayı başarmışlardır. Yapılan analiz sonuçları çekilen malzeme ile kalıp arasındaki düzensiz temasların ve farklı çekme kesitlerinden kaynaklanan düzensiz metal akışının hatalara sebep olduğunu göstermiştir. Dikdörtgen çekmede, ürün üzerindeki deformasyonlar ve kalınlık dağılımı, yapılan deneysel çalışmalar ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılarak araştırılmıştır [45]. Dikdörtgen profilli derin çekmenin işlem basamakları Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Derin çekme işlem basamakları [45].

Derin çekme işlemi sırasında, sac malzemeler üzerinde meydana gelen deformasyon sertleşmesi, malzemelerin şekil alabilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Literatürde, sac malzemelerin plastik deformasyona tabi tutulduğunda, mekanik

özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır [46, 47].

Derin çekme işlemlerinde, sac parçaların üst kısımlarında meydana gelen kulaklanma en önemli form hatalarından birisidir. Kulaklanma, form verme işlemi sırasında, sac metal malzemenin kalıp içerisinde düzensiz akışından kaynaklanmaktadır. Kulaklanmayı azaltmak için yapılan çalışmalar incelendiğinde [48-58], kulaklanmanın sac malzemelerin yapısı ve hadde yönü ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sac malzemede oluşan kulaklanmayı azaltmak için, dairesel olmayan sac malzeme kullanmak, baskı plakası üzerine akma kabarcığı oluşturmak ve baskı plakasını parçalı olarak imal ederek sac malzeme üzerinde her bölgeye farklı baskı kuvvetleri uygulamak gibi farklı yöntemler kullanılmıştır.

Çekme işleminde, ürün kalitesini etkileyen önemli bir faktör de, sac malzemelerde oluşan kırışıklıklardır. Sac malzemede meydana gelen kırışıklıklar çekme işleminde istenmeyen bir durumdur. Kırışıklıkları önlemek için birçok çalışma yapılmıştır [59-73]. Yapılan çalışmalar sac malzeme üzerinde oluşan kırışıklıkların, malzeme özellikleri, malzeme kalınlığı, baskı plakası kuvveti, kalıp ve zımba kavisleri ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

2.2. Yapay Zeka İle İlgili Çalışmalar

Form verme işlemlerinde en zor aşamalardan birisi, doğru işlem parametrelerini seçebilmektir. Uygulanan parametre değerleri genellikle, deneysel çalışmaların sonuçlarından, formülasyonlardan veya uzman kişilerin bilgi ve tecrübelerinden elde edilir. Sac metal ürünlerin şekillendirilmesinde en uygun parametrelerin seçilmesi için yapay zeka uygulamalarının kullanıldığı bir çok çalışma yapılmıştır. Sac metal şekillendirme işlemlerinde yapay zeka uygulamalarından bulanık mantık, yapay sinir ağları ve uzman sistemler literatürde en sık kullanılanlardır.

Garcia, silindirik ve dikdörtgensel derin çekme kalıplarında, ürün geometrisini görüntülemek, sac malzeme üzerindeki yırtılma, incelme ve kırışmaları tahmin etmek

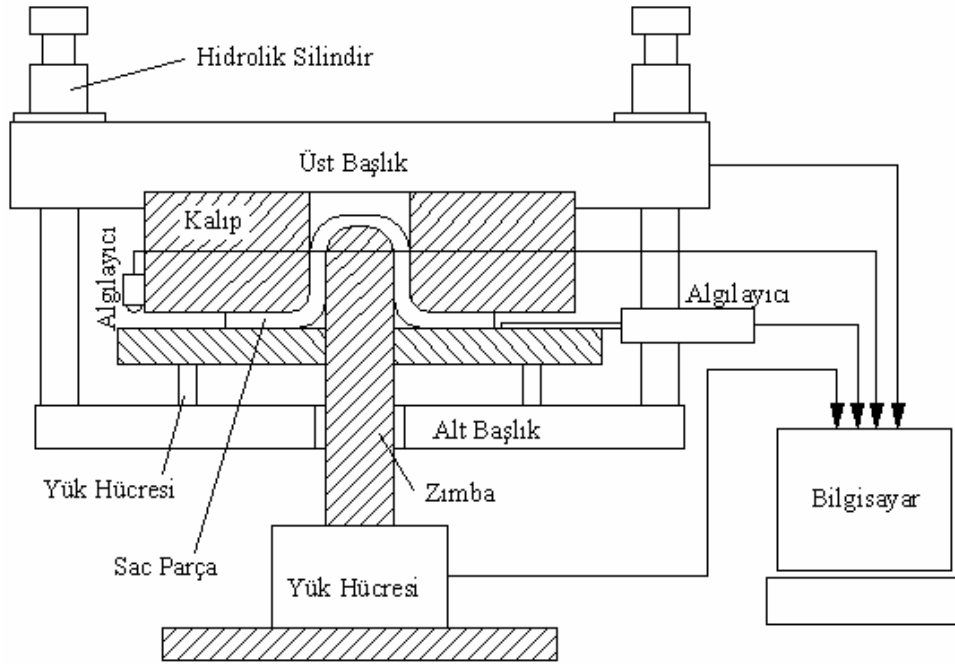
ve önlemek için bulanık mantık ve yapay sinir ağları etkileşimli bir derin çekme kontrol sistemi geliştirmiştir. Baskı plakası ve zımba üzerine yerleştirilen algılayıcılar sayesinde, sac malzemenin kalıp içerisindeki akışı görüntülenmiş, uygulanan bulanık mantık sistemi ile de çekme işlemi esnasında işlem parametrelerine müdahale etme imkanı sağlanmıştır [74].

Lin, yaptığı çalışmada, derin çekme ürünlerin parametrelerinin tahmini ve ürünlerin modellenmesi için bir sinir ağı yaklaşımı geliştirmiştir. Yapılan çalışmada, elasto-plastik sonlu elemanlar yöntemi ve sinir ağları üç boyutlu derin çekme ürünlerin tasarımı için uygulanmıştır. Farklı geometrideki setlerden oluşan takımlarla T şeklindeki 3 boyutlu parçaların derin çekme işlemleri, farklı kalıp kavisleri, farklı malzemeler ve farklı malzeme kalınlıklarında yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak oluşturulan simülasyondan derin çekme işleminin en büyük boyu, derin çekme ürünlerinin bir modelini oluşturabilmek amacıyla yapay sinir ağlarına girilmiştir. Geliştirilen bu ağ'da parçanın kontrol parametreleri (kalınlık, malzeme ve kalıp kavis) verildikten sonra, çekme işleminin performansı (derin çekmenin maksimum boyu) tam olarak tahmin edilebilmiştir [75].

Manabe ve arkadaşları, derin çekme işlemleri için bulanık mantık ve pres hızını birleştiren yeni bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Hazırlanan algoritma, kalıp boşluğunu ve pres hızını temel almaktadır. Bulanık mantıkla birlikte kalıp boşluğu ve pres hızı parametreleri bu işlem sırasında bir derin çekme kalıbında birlikte kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, çelik sac için derin çekme işlemlerinin 150 mm/dak'dan daha fazla pres hızlarında yapılabildiğini göstermiştir. Ayrıca, hazırlanan sistemin üretim performansını artırdığı ve zamandan %25 tasarruf sağladığı tespit edilmiştir [76].

Manabe ve arkadaşları, derin çekme işlemlerinde malzeme özellikleri ve yağlama durumunu belirlemek için bir metot tanımlamışlardır. Bu metot, elasto-plastik teorisi ve yapay sinir ağlarının birleşimini temel almaktadır. Sürtünme katsayısı ve en uygun kalıp boşluğu değerleri teorik yöntemlerle hesaplanmıştır. Sürtünme katsayısı, sürtünmedeki değişimlerin uygun olmasını sağlamak amacıyla bütün işlem boyunca

denetlenmiştir. Deneyde kullanılan sistemin genel hatları Şekil 2.8’de görülmektedir. Deneysel sonuçlar, yapay zekaya dayanan kontrol sisteminin, sürtünme ve çevre sıcaklığı gibi parametreleri büyük oranda karşılayabildiğini göstermiştir [77].

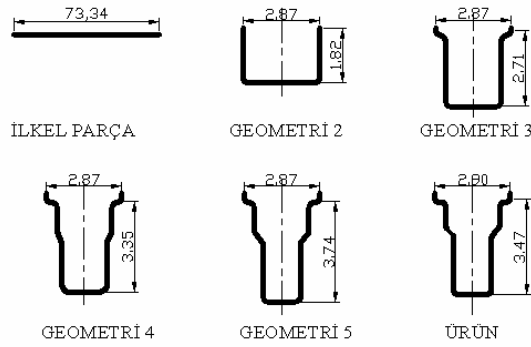


Şekil 2.8. Deneyde kullanılan sistemin genel hatları [77].

Koyama ve arkadaşları, veri tabanı kullanarak, derin çekme operasyonlarının tasarımı sırasında tasarımcılara kolay ve uygun bir metot sunmak amacıyla bir kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Kullanılan veritabanı, pres hızını, kalıp boşluğunu ve ideal kavis yarıçapını hesaba katan işlem bilgilerini kapsamaktadır ve işlemleri bir uzmana gerek kalmaksızın tasarlayabilmektedir [78].

Sing ve Rao, derin çekilmiş ürünler için üretilecek parça şeklini girerek tasarım için en uygun işlem parametrelerini veren bir işlem planlama sistemi geliştirmişlerdir. Oluşturulan sistemin mantığı, üretim kurallarını, bulanık mantığı ve parça geometrisini içermektedir. Sistemin karar tabloları, derin çekme işlemi için bilgisayar destekli işlem planlamayı tamamlamaktadır [79].

Park ve arkadaşları, simetrik derin çekme ürünleri için bilgisayar destekli bir tasarım sistemi geliştirmişlerdir. Sistem için gerekli olan bilgi, kesme teorilerinden, kitaplardan, deneysel sonuçlardan ve uzman kişilerin bilgilerinden formüle edilmiştir. Sistem AutoCAD paket programının altında AutoLISP programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem, girdi, geometrik tasarım, kontrol ve düzeltme ve kullanıcı değişiklikleri olmak üzere dört ana modülden oluşmaktadır. Sistem için girdi, çıkacak olan ürün şeklinin çizilmesidir. Sistem çıktıları ise parça geometrisi ile ilgili işlem sırasının çizimi ve çekme kuvveti, boşluk tutma kuvveti ve çekme katsayısı gibi işlem parametrelerinin elde edilmesidir. Hazırlanan programla oluşturulan iki adımlı bir çekme işleminin işlem sırası Şekil 2.9’da verilmiştir [80].



Şekil 2.9. Hazırlanan programla oluşturulan iki adımlı bir çekme işleminin işlem sırası [80].

Oluşturulan sistem, endüstriyel çekme uygulamalarında test edilmiştir ve adımlı çekme operasyonlarının işlem planlaması için uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, hazırlanan bu sistem parabolik parçaların çekme işlemleri içinde uygulanmıştır [80].

Pepelnjak ve Kuzman, esnek metal şekillendirme takımları için katmanlanmış takım yapısı kavramını geliştirmişlerdir. Takım geometrisinin adaptasyonu, takım setlerinin katmanlanması sayesinde mümkün olmuştur. Varolan takım parçaları, katman kalınlıkları 1-20 mm arasında olan çoklu bir katmanda oluşturulmuştur. Katmanlar geleneksel kesme takımları ile üç boyutlu lazer kesicilerle, elektro tel erozyon tezgahıyla veya su jetiyle kesmeyle üretilmişlerdir. Katmanlanmış takım setlerinin geometrileri, geometrik parametrelere, takım yüklenme parametrelerine, takım

malzemesine, takım setlerinin montajına ve takım malzemesinin kolay bulunabilirliğine göre seçilmektedir. Takım tasarımının optimizasyonu için geliştirilen bu sistem, birkaç farklı çaptaki kapların üretilmesi için kullanılan derin çekme kalıplarının tekrardan tasarlanması yoluyla test edilmiştir. Optimizasyon yöntemi ile tanımlanan takım geometrileri, sonlu elemanlar yöntemi simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir [81].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, her bir çalışmada sadece birkaç parametrenin diğerlerinden bağımsız olarak incelendiği ve çekme işlemine etki eden parametrelerin tamamının bir bütün olarak incelenmediği görülmüştür. Çekme işlemindeki parametrelerin birbirlerini etkiledikleri ortadadır. Bu nedenle, çekme parametrelerinin tamamının bir bütün olarak incelenmesi en doğru sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde, çalışmaların büyük bölümünün derin çekme işlemi sırasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesine ve malzemelerin çekilebilirliğinin iyileştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda, pres kuvveti, baskı plakasının ve baskının etkileri, çekme yüksekliği, yağlama, yüzey kalitesi, kırışmalar, et kalınlıklarındaki değişim, yırtılmalar vb. birçok parametrenin incelendiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, derin çekme işleminin analizi ve simülasyonuna yönelik çalışmalarında yaygın olarak uygulandığı tespit edilmiştir. Çalışmalarda, derin çekmenin analizi için, Deform 2D/3D, Dynaform, Ansys, LS-Dayna ve Autoform gibi ticari yazılımlar kullanılmış ve analiz sonuçlarında malzemedeki gerilmeler, çekme limitleri, çekme değişkenlerinin etkileri, et kalınlıklarındaki değişim vb. parametreler araştırılmıştır. Literatürde, yapılan çalışmalar arasında yapay zeka ile ilgili birçok çalışma da bulunmaktadır. Sac metal form verme işlemlerinde yapay zeka uygulamalarından uzman sistemlerin, yapay sinir ağlarının ve bulanık mantığın en sık uygulanan yöntemler olduğu görülmektedir. Yapay zeka uygulamaları, sac-metal şekillendirme

için gerekli parametrelerin tahmini ve en uygun işleme parametrelerinin seçimi gibi uygulamalarda kullanılmıştır.

Literatürde bu araştırma konusu ile ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların çoğunda, sınırlı sayıda çekme parametreleri üzerinde araştırmalar yapıldığı tespit edilmiştir.

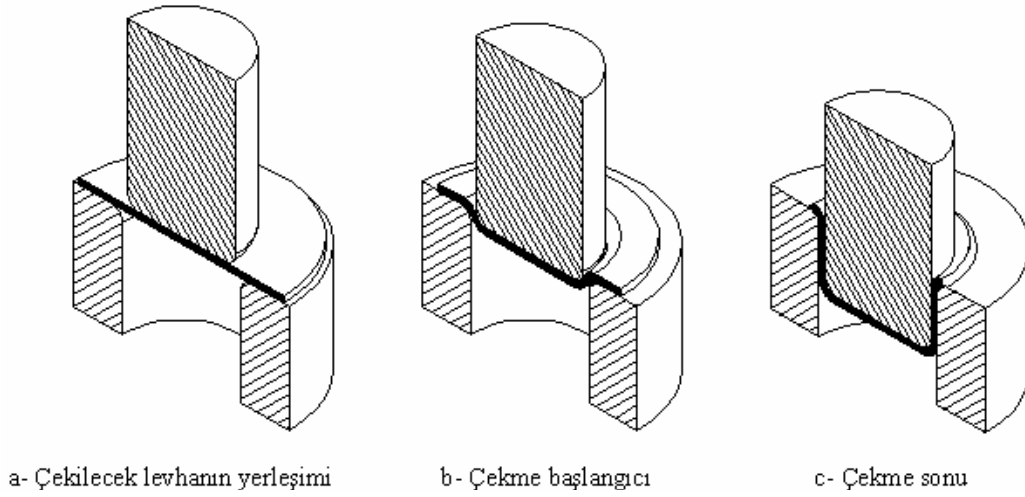
Literatürden farklı olarak bu çalışmada, derin çekme işlemini etkileyen parametrelerin birbirinden bağımsız değerlendirilmelerinin tam olarak doğru sonuçlar vermeyeceğinden hareketle, soğuk şekillendirme olarak yapılan derin çekme işleminde şekillendirmeyi etkileyen bütün parametrelerin bir arada olduğu bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, derin çekme işlemi sırasında çekmeyi etkileyen bütün parametrelerin bir arada uygulandığı, elde edilen deneysel sonuçların sonlu elemanlar analizi yapan ve sac-metal form verme işlemlerinde tüm dünyada kabul görmüş iki farklı programdan elde edilen analiz sonuçları ile kıyaslandığı ve farklı çekme parametreleri için de bir bulanık mantık denetleyicisi sayesinde tahminlerin yapıldığı bu çalışmanın literatürden farklı yönleri olacağı görülmüştür.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Çekme İşlemi

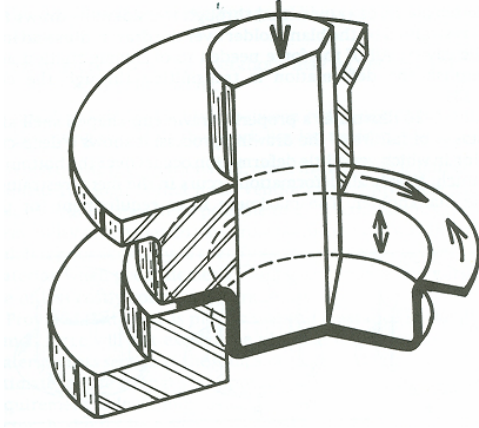
Düz plakaların çekme kalıbı denilen donanımlarla pres altında çöktürülerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine “çekme” ismi verilmektedir. Çekme işleminin oluşumu Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çekme işleminin oluşumu [82]

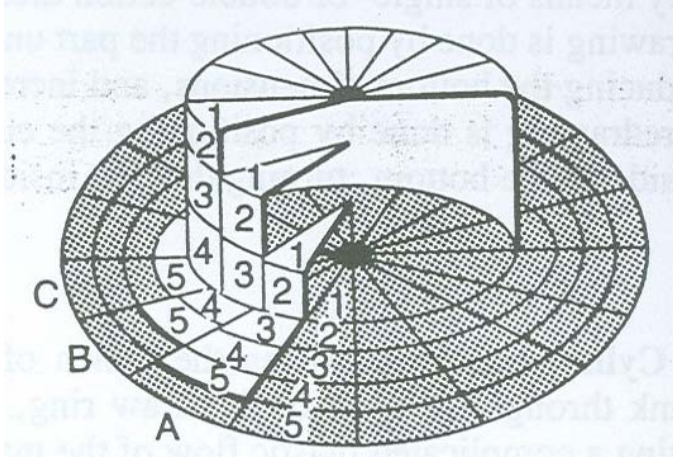
Derinliği fazla olan kaplar birkaç çekme işlemi ile elde edilir. Tekrar çekme işlemi, tek veya çift etkili kalıplarla et kalınlığını inceltmeden yapılan işlemlerdir. Birkaç işlemle yapılan çekme “derin çekme” olarak isimlendirilmektedir. İlk çekme işleminde, çekilecek olan ürünün şekline uygun olarak düz sac levha hazırlanarak çekme kalıbı içerisine yerleştirilmektedir. Çekmede ürüne silindirik, konik, küresel, açılı ve benzeri çeşitli formlar verilebilmektedir.

Çekme zımbası sac malzemeyi kalıp içerisine doğru zorladığında, malzemedeki plastik akış sebebi ile farklı kuvvetler oluşur (Şekil 3.2). Malzemenin hacmi ve kalınlığı sabit kalır ve çekilen ürün zımbanın dış sınırlarını alır [83].



Şekil 3.2. Çekme esnasında oluşan kuvvetler [2, 83].

Çekme esnasında oluşan malzeme akışı Şekil 3.3'te adım adım gösterilmiştir. Zımbanın sac malzeme üzerine küçük bir miktar girişinden sonra, sac malzemenin bir bölümü (2) zımba kavisi üzerinde bükülür ve zımba üzerine sarılır. Hareketin devam etmesi ile sac malzeme üzerindeki diğer kesitler (3, 4 ve 5), B ve C de gösterildiği gibi sacın merkezine doğru hareket ederler [2].

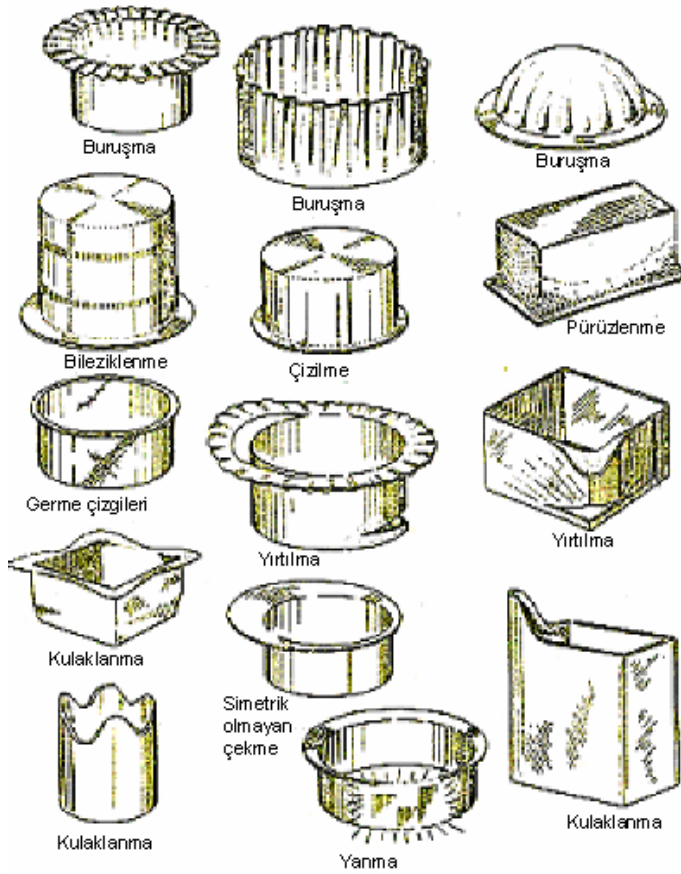


Şekil 3.3. Çekme esnasında oluşan metal akışı [2].

Genel olarak metal akışında görülen temel unsurlar aşağıdaki gibidir [83]:

- 1) Çekilen ürünün alt tarafında çok az deformasyon oluşur. Sac malzeme üzerindeki eksenel çizgilerde çok fazla değişim gözlenmez.
- 2) Form verme işlemi boyunca, sac malzeme zımba üzerinde hareket eder. Sac malzeme üzerindeki eksenel çizgiler, birbirine paralel hale gelmeye başlar.
- 3) Malzeme akışı sebebi ile, sac malzeme üzerinde, kavis bölgelerinde ve yan duvarlarında incelme, ürünün yan duvarlarının uçlarında ise kalınlaşma oluşur. Et kalınlığındaki bu değişim genellikle zımba plakası ve kalıp bloğu arasına verilen çekme boşluğu ile ilgilidir.

Çekilen üründe meydana gelen hatalar, çekme işlemi süresince metal malzemenin kalıp içerisinde düzgün olmayan plastik şekil değişimine uğramasıdır (Şekil3.4).



Şekil 3.4. Çekme işleminde oluşan hatalar [82].

Çekme işlemi sırasında oluşan hatalar ve muhtemel sebepleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çekme işlemi sırasında oluşan hatalar ve muhtemel sebepleri [84].

Hata	Muhtemel Sebepleri
Buruşma	Uygunsuz baskı plakası kuvveti
	Baskı plakası kuvvetinin tüm yüzeylerde eşit olmaması
	Baskı plakası yüzeyinin düzgün olmaması
	Sac malzeme kalitesinin düşük olması
	Kalıp kavisinin çok büyük olması
	Çekme boşluğunun çok büyük olması
	Malzeme yüzeyinin kirli veya çapaklı olması
Parçada yırtılma veya kırılma	Aşırı baskı plakası kuvveti
	Kalıp kavisinin çok küçük olması
	Zimba kavisinin çok küçük olması
	Çekme boşluğunun çok küçük olması
	Presin veya kalıbın eksenden kaçık olması
	Uygunsuz veya eksik yağlama
	Sac malzeme kalitesinin düşük olması
	Pres hızının çok yüksek olması
	Çekme oranının çok yüksek olması
	Kalıp veya baskı plakası üzerinde oluşan çizik veya çentikler
	Malzeme akışını önleyen keskin köşeler
Düzensiz çekme veya kulaklama	Çekme boşluğunun uygun olmaması
	Presin veya kalıbın eksenden kaçık olması
	Sac malzemenin kalıp içerisine uygun yerleştirilmemesi
	Uygunsuz yağlama
Parça kenarlarında yırtılma veya dalgalanma	Çekme boşluğunun uygun olmaması
	Fazla yağlama
	Kalıp kavisinin çok büyük olması
	Eşit olmayan baskı kuvveti
	Kalıp kenarlarının dışa esnemesi
Parçanın dip kısımlarında pürüzlenme	Sac malzeme kalitesi
	Baskı plakasının yetersiz olması
	Baskı plakası üzerinde yağ birikmesi
	Hava çıkışının olmaması
	Parçadaki uygunsuz esneme

Malzemenin plastik şekil almasına dişi kalıp ve zımba kavisleri, dişi kalıp ile çekilen malzeme ve zımba arasındaki sürtünme, baskı plakası kuvvetinin bütün yüzeylerde eşit olmaması, parçanın kalıp içerisine uygun yerleştirilmemesi, kalıplanacak parçanın hadde yönü ve çekme boyunun uygunsuzluğu gibi noktalar etki etmektedir.

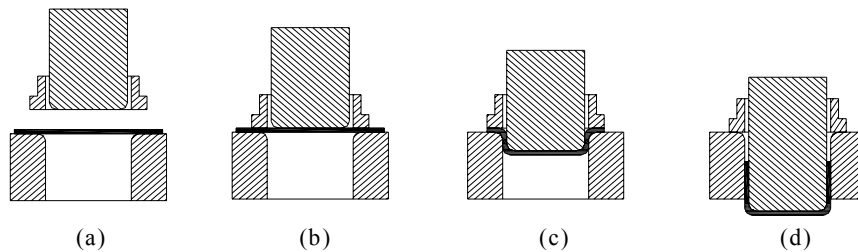
İşlem şekline, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli çekme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler temel olarak [1, 2]:

- 1) Baskı plakalı çekme,
- 2) Baskı plakasız çekme,
- 3) Çevirme çekme olarak üç ana gruba ayrılmaktadır.

3.1.1. Baskı plakalı çekme

Çekme işleminin başlangıcında, ilkel pul üzerine baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak, çekilecek olan sac parça kalıpla baskı plakası arasına sıkıştırılır. Oluşturulan bu baskının amacı, çekme esnasında üründe oluşabilecek kırışıklıkların engellenmesidir. Sac malzeme kalınlığının az olduğu veya çekme yüksekliğinin büyük olduğu durumlarda kırışıklıkları önlemek amacıyla bu tür bir çekme işlemi yapılması gerekmektedir [1, 2].

Baskı plakalı çekmenin oluşumu Şekil 3.5’de gösterilmektedir.

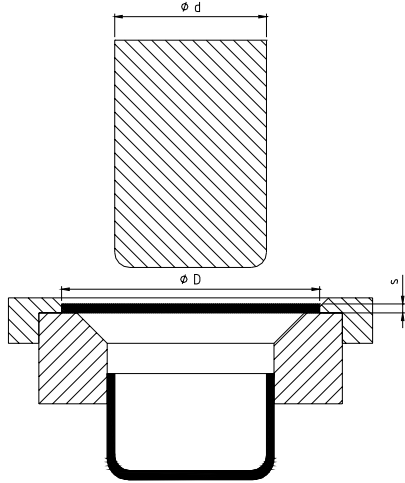


Şekil 3.5. Baskı plakalı çekme işleminin oluşumu [1].

- a) Sac malzemenin yerleştirilmesi
- b) Baskı kuvvetinin uygulanması
- c) Çekme başlangıcı
- d) Çekme sonu

3.1.2. Baskı plakasız çekme

Kalınlığı fazla olan sac malzemelerden, derinliği az olan parçaların çekilmesinde ürün üzerinde kırışıklıkların oluşması olasılığı az olduğu için, basit yapılı parçalardan oluşan baskı plakasız kalıpların kullanılması daha uygun olmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Baskı plakasız çekme işleminin oluşumu [1]

Baskı plakasız çekme işleminin yapılabilmesi için;

$$s \geq 0,017 D \text{ ve } d_1/D \geq 0,55 \text{ olmalıdır.} \quad (3.1)$$

Çekilmiş olan ürünün çapının küçültülmesi amacıyla tekrar çekilmesi istendiğinde baskı plakasız çekme işleminin yapılabilmesi için;

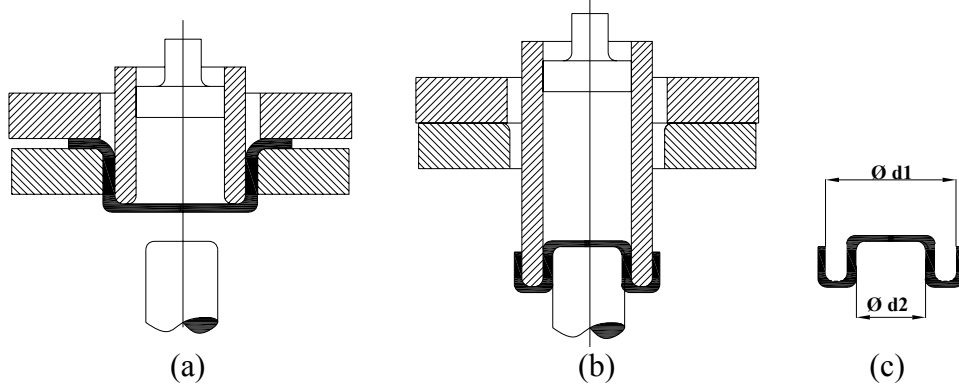
$$s \geq 0,015 D \text{ ve } d_1/d_2 \geq 0,78 \text{ olmalıdır.} \quad (3.2)$$

Verilen eşitliklerde;

- | | | |
|----------------|--|------------------------|
| s | : Çekilecek olan sac malzeme kalınlığı | ,mm |
| D | : İlk pul çapı | ,mm |
| d ₁ | : İlk çekmede zımba çapı | ,mm |
| d ₂ | : İkinci çekmede zımba çapı | ,mm olarak alınmıştır. |

3.1.3. Çevirme çekme

Çevirme çekme yönteminde iki adet çekme zımbası vardır. Parça çapını veren zımba alt tarafta ve sabittir. İlk çekme çapını verecek olan zımba ise pres başlığına bağlanmıştır ve içi parçanın dış çapında delinmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çevirme çekme işleminin oluşumu [1]

- a) Çekme
- b) Çevirme çekme
- c) Ürün

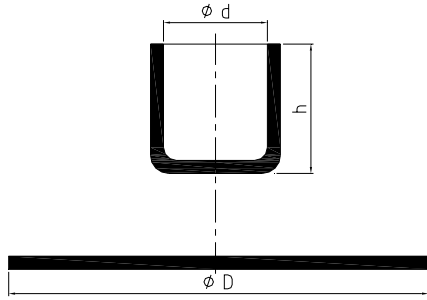
Üst zımba ilk çekme çapını çektikten sonra presin aşağıya inmesiyle alt zımba devreye girerek parçayı ikinci kez çeker. Presin aşağıya inme konumuna bağlı olarak, parça istenilen şekle sokulabildiği gibi, çekme kursu tamamlanmayarak çift cidarlı parçalarda elde edilebilir. Çevirme çekme yöntemi özellikle küresel, konik ve parabolik parçaların imalatı için uygundur [1, 2].

3.2. İlkel Parça Boyutlarının Belirlenmesi

Çekme işleminin tasarımına, çekme öncesi parça boyutlarının ve şeklinin belirlenmesiyle başlanmaktadır. Çekme işlemi süresince, sac malzeme eğilme, basılma ve çekilme gerilimlerine uğrar. Her plastik şekil verme işleminde olduğu gibi çekme işleminde de, çekme öncesi parça hacmiyle çekme sonrası parça hacmi eşittir [82].

3.2.1. Alan metodu

İlkel çapı bulunacak olan ürünün çekilmeden önceki kesit alanı, çekildikten sonraki kesit alanına eşit kabul edilir.



Şekil 3.8. Alan metodu ile ilkel çapın bulunması [82].

$$\text{Çekilecek olan parça alanı} = \frac{\pi D^2}{4} \text{ ,mm}^2 \quad (3.3)$$

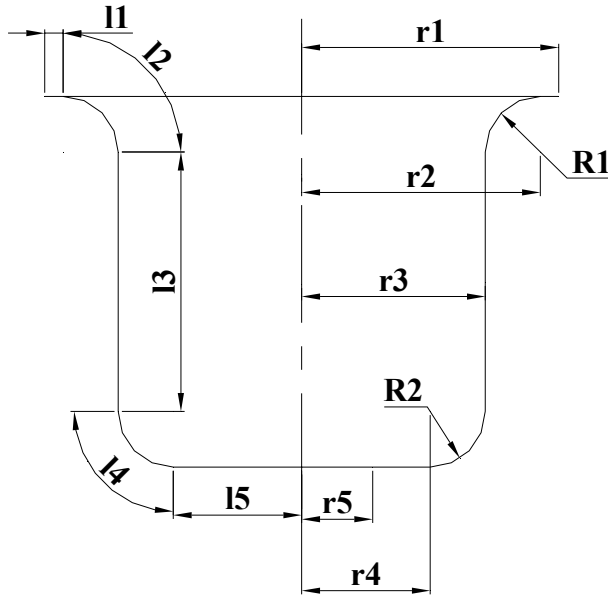
$$\text{Çekilen kap alanı} = \frac{\pi d^2}{4} + \pi d h \text{ ,mm}^2 \quad (3.4)$$

Buradan;

$$D = \sqrt{d^2 + 4d(h - 0,43r)} \text{ ,mm olarak bulunur.} \quad (3.5)$$

3.2.2. Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu

Bu yöntem ile ilkel çapın bulunabilmesi için, çekilen parçanın simetrik kesiti alınır ve çekmeye uğrayan kenarların uzunlukları ayrı ayrı bulunur. Bulunan bu uzunluklar ve ağırlık merkezlerinin parça eksenine olan uzaklıkları çarpımının toplamı, çekilecek olan parça alanına eşitlenir [82].



Şekil 3.9. Uzunluk ve ağırlık merkezi metodu ile ilkel çapın bulunması [82].

$$\text{Çekilecek olan parça alanı} = \pi D^2 / 4 \quad \text{mm}^2 \quad (3.6)$$

$$\text{Çekilen kap alanı} = 2 \pi r_1 l_1 + 2 \pi r_2 l_2 + 2 \pi r_3 l_3 + 2 \pi r_4 l_4 + 2 \pi r_5 l_5 \quad \text{mm}^2 \quad (3.7)$$

Buradan;

$$D = \sqrt{(8(r_1 l_1 + r_2 l_2 + r_3 l_3 + r_4 l_4 + r_5 l_5))} \quad \text{mm, olarak bulunur.} \quad (3.8)$$

3.3. Çekmenin Operasyonlandırılması

Çekilecek olan parça boyutlarına göre ilkel çap hesabı yapıldıktan sonra, ilkel parçanın hangi kademelerden geçerek istenilen ölçülerdeki parçaya dönüştürüleceği belirlenmelidir.

Çekilen malzemenin kalıcı şekil değişimine zorlanması, malzeme üzerinde değişik gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Çekme işleminin gerçekleştirilebilmesi için malzemenin bu gerilmelere dayanması gerekmektedir. Malzeme üzerindeki

gerilmeler şekil değişimi ile orantılı olduğu için, her çekme işleminde malzemenin dayanabileceği ölçüde şekil değişimi uygulanmalıdır.

Çaplar arasındaki yüzde azalma oranı çekme işleminin kaç kademede yapılacağını belirlemektedir. Çaplar arasındaki yüzde azalma oranı aşağıdaki formülle bulunur.

$$R_c = \frac{D-d}{D}100 \quad (3.9)$$

R_c : Çaplar arasındaki % azalma oranı

Çizelge 3.2 ‘de bazı sac malzemeler için ilk çekmede ve müteakip çekmelerde çaplar arasındaki % azalma oranları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bazı sac malzemelerin ilk çekmedeki ve müteakip çekmelerdeki % azalma oranları [82].

	Baskı plakalı çekme		Baskı plakasız çekme
	Birinci çekmede % azalma oranı, (d/D)	Müteakip çekmelerde % azalma oranı, (d/D)	% azalma oranı, (d/D)
Çelik Sac			
Kalınlığı 2 mm den küçük	0,56	0,58	0,9-0,93
Kalınlığı 2 mm den büyük	0,56	0,83	
Pirinç, Bakır, Gümüş			
Kalınlığı 2 mm den küçük	0,50	0,75	0,9-0,93
Kalınlığı 2 mm den büyük	0,52	0,75	0,9-0,93
Çinko	0,75	0,91	0,9-0,93
Alüminyum			
Kalınlığı 2 mm den küçük	0,55	0,80	0,9-0,93
Kalınlığı 2 mm den büyük	0,55	0,83	0,9-0,93
Paslanmaz Çelik	0,60	0,80	0,9-0,93

Silindirik çekmelerin kademelendirilmesinde kullanılan “Sparkuhl” eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{İlk çekme çapı} \quad d_1 = \frac{DX}{100 - 0,025D} \quad ,\text{mm} \quad (3.10 \text{ a})$$

$$\text{İkinci çekme çapı} \quad d_2 = \frac{d_1 Y}{100 - 0,025d_1} \quad ,\text{mm} \quad (3.10 \text{ b})$$

$$\text{Son çekme çapı} \quad d_n = \frac{d_{n-1} Y}{100 - 0,025d_{n-1}} \quad ,\text{mm} \quad (3.10 \text{ c})$$

Burada;

D : İlkel çap ,mm

$d_1, d_2, \dots, d_n$: Çekme çapları ,mm

X ve Y : Sac kalınlığına bağlı katsayılar (Çizelge 3.3) olarak alınmıştır.

Çizelge 3.3. Çekmenin kademelendirilmesinde sac kalınlığına bağlı katsayılar [82].

Sac Kalınlığı, mm	İlk Çekme		İkinci Çekme	
	En az	En fazla	En az	En fazla
0,40-0,45	51	68	74	81
0,50	58	65	73	80
0,55-0,60	56	63	72	80
0,70	54	60	71	79
0,80	50	56	70,5	77
1,5	47	53	70	75
3	46	51	65	70

3.4. Çekme Derinliği

Çekme işleminde elde edilecek ürünlerin yüksekliklerinin doğru olarak hesaplanması gerekmektedir. İlkel parça çapına bağlı olarak, çekme işleminde her kademede ürünün yüksekliğinin bulunabilmesi amacıyla aşağıdaki formüllerden yararlanılır [1].

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} \quad ,\text{mm} \quad (3.11)$$

$$h_n = \frac{d_{(n-1)}^2 - d_n^2}{4d_n}, \text{mm} \quad (3.12)$$

Burada ;

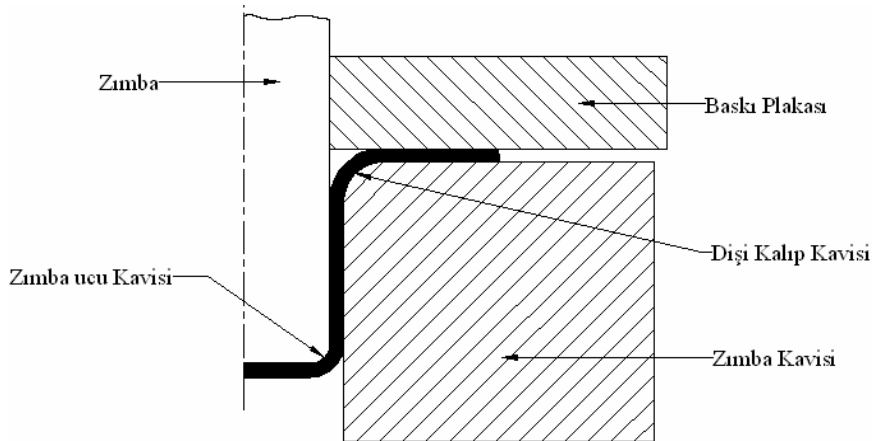
h : çekme yüksekliği ,mm

h_n : n defa çekilen parça yüksekliği ,mm dir.

3.5. Çekme Kavisleri

Çekilen sacın ilk çekmede bir kere bükülüp doğrulduğu, müteakip çekmelerde ise iki kere bükülüp doğrulduğu dikkate alındığında, çekme işleminde sac malzemenin kalıp içerisinde akışını kolaylaştırmak için zımba ve dişi kalıp kavislerinin mümkün olduğu kadar büyük tutulması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, gereğinden büyük tutulmuş zımba ve dişi kalıp kavislerinde, baskı plakası etki yüzeyi küçüleceğinden, sac malzemenin takım ile temas etmeyen yüzeyi büyümekte ve parça üzerinde istenmeyen kırışıklıklar oluşmaktadır. Çekme kavislerinin çok düşük tutulması durumunda ise, sac malzemenin kalıp içerisinde akışı için gerekli olan temas alanı küçüleceğinden dolayı, takım kesme kalıbı gibi çalışmakta ve malzemenin yırtılması kolaylaşmaktadır [1, 2].

Zımba ucu kavis ve dişi kalıp kavis Şekil 3.10'da gösterilmiştir [1].



Şekil 3.10. Zımba ucu kavis ve dişi kalıp kavis [1].

Kalıp kavis yarıçapı değerleri Çizelge 3.4 'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kalıp kavis yarıçapı değerleri [1, 2, 82].

Çekme Tipi	s / d (%)		
	2-1	1-0,3	0,3-0,1
Silindirik Çekme	(5-8) s	(8-10) s	(10-15) s
Flanşlı Çekme	(10-15) s	(15-20) s	(20-30) s
Çekme Eşikli Çekme	(4-6) s	(6-8) s	(8-10) s

Kalıp kavisleri için önerilen diğer değerler Çizelge 3.5 'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kalıp kavis yarıçapı için önerilen diğer değerler [1].

Malzeme Kalınlığı, mm	Kalıp Kavis, mm	
	En az	En fazla
0,4	4	6,5
0,5	4	7
0,6	5	7
0,7	5	7
0,8	5	8
1	5	8
1,3	6	9
1,4	6	9
1,5	6	9
1,6	6,5	10

Kalıp kavis yarıçapının bulunması için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$r_k = 0,035 [50 + (D - d)] \sqrt{s} \quad (3.13)$$

Burada;

- r_k : Kalıp kavis yarıçapı ,mm
 D : İlkel parça çapı ,mm
 s : Sac malzeme kalınlığı ,mm
 d : Çekme çapı , mm olarak verilmiştir.

İlave çekme işlemlerinde (d-d) yerine ($d_{n-1} - d_n$) kullanılmakta, 0,035 katsayı değeri ise 0,08 'e kadar artırılabilir.

Genel olarak zımba kavisleri için, $r_z = (3-10) s$ bağıntısı kullanılabilir. Küçük zımba kavisleri cidar zayıflaması etkisi göstermektedir. Cidar zayıflaması sonucu, parça tekrar çekme işlemlerindeki gerilmelere dayanamayarak ve yırtılmaktadır. Baskı plakalı çekme işlemlerinde, kalıp ve zımba kavisleri arasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır [1, 82].

$$\frac{s}{D} 100 > 0,6 \text{ ise} \quad r_z = r_k \quad (3.14 \text{ a})$$

$$\frac{s}{D} 100 = 0,6 - 0,3 \text{ ise} \quad r_z = 1,5 r_k \quad (3.14 \text{ b})$$

$$\frac{s}{D} 100 < 0,3 \text{ ise} \quad r_z = 2 r_k \quad (3.14 \text{ c})$$

Pratik uygulamalarda, zımba ucu kavis yarıçapı saç malzeme kalınlığının 3 ile 10 katı arasında alınır. Dişi kalıp kavis yarıçapı ise, saç malzeme kalınlığının 10 katı veya üzerindeki bir değerde seçilir.

3.6. Çekme Hızı

Çekme hızı, çekilen sac malzemenin fiziksel özelliklerini ve şekil değiştirmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Çekme hızı değerleri, genellikle deneysel çalışmalar neticesinde belirlenmektedir. Çekme işleminde, malzemeye şekil değiştirmesi için yeterli zaman verilmelidir. Aksi takdirde sac malzeme üzerinde yırtılmalar oluşmaktadır [2, 83].

Deneysel çalışmalar neticesinde belirlenmiş olan çekme hızları Çizelge 3.6 'da verilmiştir.

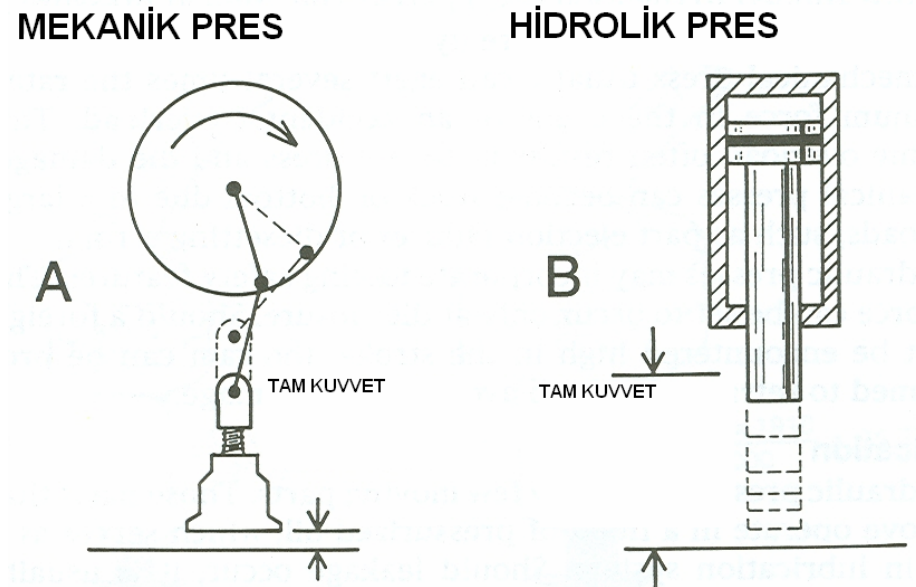
Çizelge 3.6. Çekme hızları [2, 83].

Malzeme	Çekme Hızı	
	Tek Etkili	Çift Etkili
Alüminyum	175	100
Pirinç	200	100
Bakır	150	85
Çelik	55	35-55
Paslanmaz Çelik	..	20-30
Çinko	150	40

Çekme hızı değerinin tespiti, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir [2].

$$V=33,3 \left(1+\frac{d}{D}\sqrt{D-d}\right) \quad \text{mm/sn} \quad (3.15)$$

Mekanik preslerde, piston hızı presin kursu boyunca değişkendir. Presin etkilediği en yüksek kuvvet, piston düz konuma geldiğinde gerçekleşir. Hidrolik preslerde ise, piston hızı kurs boyunca sabit tutulabildiği için, kurs boyunca sabit kuvvet uygulamak da mümkündür [83].



Şekil 3.11. Mekanik ve hidrolik preslerde kuvvet aktarımı [83].

Mekanik preslerde, pistonun herhangi bir konumundaki hızı aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$c = 0,105.w.n.\sqrt{\frac{H}{w}-1} , \quad \text{mm/sn} \quad (3.16)$$

Burada;

w : Pres milinin alt ölü noktaya uzaklığı ,mm
n : Krank mili devir sayısı ,dev/dk
H : Pres kursu ,mm

olarak alınmıştır.

3.7. Çekme Boşluğu

Çekme işlemi esnasında, kalıp ile dişi plaka arasında kalan boşluğa “çekme boşluğu” denilmektedir. Çekme boşluğunun belirlenmesinde, sac kalınlığı ve malzemenin üst kısmındaki kalınlaşmalar dikkate alınmaktadır. Çekme boşluğunun düşük olduğu durumlarda çekme işlemi, cidar inceltme işlemine dönüşmekte ve incelen parça cidarı çekme kuvvetine dayanamayarak yırtılmaktadır. Çekme boşluğunun gereğinden fazla olduğu durumlarda ise ince parçalarda kırışıklıklar oluşmakta ve parça ölçüleri istenilen hassasiyette olmamaktadır [1, 2, 82].

Çeşitli malzemeler için uygulanacak çekme boşlukları için eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Çelik saclar için} \quad z = s + 0,07 \sqrt{10s} , \text{mm} \quad (3.17 \text{ a})$$

$$\text{Alüminyum için} \quad z = s + 0,02 \sqrt{10s} , \text{mm} \quad (3.17 \text{ b})$$

$$\text{Demir olmayan metaller için} \quad z = s + 0,04 \sqrt{10s} , \text{mm} \quad (3.17 \text{ c})$$

Çekme boşluklarının bulunması için kullanılabilecek bir diğer eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Z = s(1 + 0,01\sigma_B(\beta - 1)^3) \quad (3.18)$$

Çekme boşluğu değerlerinin tespit edilmesinde pratik olarak Çizelge 3.7 kullanılmaktadır.

Çizelge 3.7. Çekme boşluğu değerleri [1, 2].

Malzeme Kalınlığı	İlk Çekme	Ara Çekmeler	Son Çekme
<0,4	(1,07-1,09) s	(1,08-1,10) s	(1,04-1,05) s
0,4-1,3	(1,08-1,10) s	(1,09-1,12) s	(1,05-1,06) s
1,3-3,2	(1,10-1,12) s	(1,12-1,14)s	(1,07-1,09) s
>3,2	(1,12-1,14)s	(1,15-1,20)s	(1,08-1,10) s

3.8. Çekme Kuvveti

Çekme kuvveti, çekilen ve ilkel parça çaplarına, sac malzeme kalınlığına ve cinsine bağlıdır. Ayrıca, baskı plakasının uyguladığı basınç, çekme hızı, kalıp ve zımba kavisleri, çekme boşluğu ve yağlama da çekme kuvvetine etki etmektedir. Çekme kuvvetinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten faydalanılmaktadır [1].

$$P_z = 3,14 \cdot d \cdot s \cdot m \cdot \sigma \quad (3.19)$$

Burada;

d : Zımba çapı ,mm

s :Sac malzeme kalınlığı ,mm

m :Katsayı,

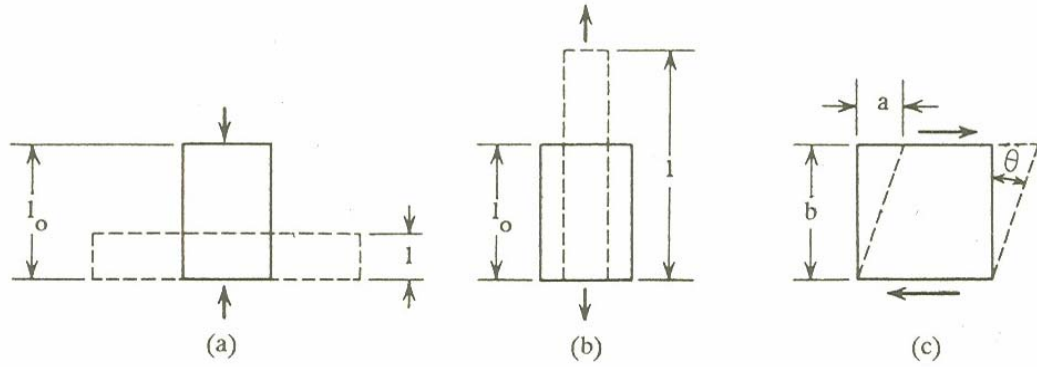
σ :Sac malzemenin kopma gerilmesi ,N/mm²

4. PLASTİK DEFORMASYON

Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla uygulanan ve bu işlem sırasında cismin malzemesindeki kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denir.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları plastik şekil verme yöntemleri ile işlenebilmektedir [85].

Tüm plastik şekil verme işlemlerinde malzeme, çekme, basma ve kayma gibi üç temel şekil değişiminden birinin veya birkaçının etkisinde kalır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Üç temel şekil değişimi [85]; a) Basma, b) Çekme, c) Kayma

Herhangi bir şekil değiştirme işlemi uygulanan bir elemanda meydana gelen birim şekil değiştirme, bu elemanın şekil değiştirme işleminden önceki ve sonraki boyutlarına bağlı olarak tarif edilir. Basma ve çekmede birim şekil değiştirme;

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (4.1)$$

olarak alınır. Bu ifadeden de görüldüğü gibi, birim şekil değiştirme basmada negatif, çekmede ise pozitifdir. Kaymada ise şekil değiştirme;

$$\gamma = \frac{a}{b} = \tan \theta \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir [85].

4.1. Plastik Deformasyonun Temel İlkeleri

Kristalin malzemelerde en önemli deformasyon mekanizması olan kayma, kayma gerilmesi etkisiyle atom düzlemlerinden birinin komşu atom düzlemi üzerinde kayması ile gerçekleşir. Plastik deformasyonu sağlayan maksimum teorik kayma gerilmesi ($\tau_{\max}$);

$$\tau_{\max} = G / 2\pi \quad (4.3)$$

mertebedindedir. Burada, G , kristal in kayma elastisite modülüdür. Teorik olarak çekme mukavemeti ($\sigma_{\max}$) ise;

$$\sigma_{\max} = E / 8 \quad (4.4)$$

alınabilir.

Gerçekte, plastik şekil değişimine yol açan kayma gerilmesi, Eş. 4.1'den hesaplanan teorik kayma gerilmesinden ($\sigma_{\max}$) daha düşük değerdedir. Teorik ve ölçülen değerler arasındaki bu fark, yapıda bulunan kristal hatalarından (özellikle dislokasyon) ileri gelmektedir.

Kristal yapıli malzemelerde kayma, atom yoğunluğunun en fazla olduğu düzlemlerde (kayma düzlemi) ve kayma düzlemi üzerinde atomların en sık bulundukları doğrultularda (kayma yönü) dislokasyonların hareketi ile gerçekleşmektedir [86].

Plastik deformasyon amacıyla bir kristale uygulanan kuvvetin meydana getirdiğı gerilmenin kayma düzlemine dik doğrultudaki bileşeni kaymayı etkilemez. Kayma

ancak, kayma düzlemi üzerindeki gerilmenin kayma yönündeki bileşeni (τ_r) ile gerçekleşir. Kayma yönündeki gerilme bileşeni,

$$\tau_r = \sigma \cdot \cos \lambda \cdot \cos \Phi \quad (4.5)$$

eşitliğiyle bulunabilir. Burada, σ kristale uygulanan normal gerilme olup, $\sigma = F/A_0$ Hook kanunu olarak ifade edilir.

Bir kristalde kayma, Eş. 4.3'ten hesaplanan σ kayma gerilmesinin kristalin τ_{kr} kayma direncine eşit olması halinde mümkündür. Kaymanın gerçekleşebilmesi için aşılması gerekli kayma direncine kritik kayma gerilmesi (τ_{kr}) denir.

Metallerin tek kristallerinde plastik şekil değişiminde, $\tau_r > \tau_{kr}$ olmak şartıyla ve denklem 4.3'e göre, en büyük τ_r kayma gerilmesi, bileşeninin olduğu kayma sisteminde gerçekleşir. Ancak, kristal şekil değiştirdiğinde deformasyon sertleşmesi nedeniyle mukavemeti artar ve daha fazla şekil değişimi için uygulanan gerilmeyi artırmak gerekir [86].

Metaller kristal yapılarına bağlı olarak farklı deformasyon davranışı göstermektedirler. Sıkı paket hekzagonal (SPH) ve yüzey merkezli kübik (YMK) sistemlerdeki metallerde kayma sadece bir kayma sisteminde meydana gelir ve uygulanan gerilmenin arttırılmasıyla deformasyon sertleşmesi etkisiyle kritik kayma gerilmesi değeri artmış olan diğer kayma sistemleri de deformasyona katılır. Hacim merkezli kübik (HMK) kristal daha deformasyonun başlangıcında, en büyük kayma gerilmesi doğrultusunu paylaşan iki veya daha fazla kayma düzlemi üzerinde kayar, yani tek kayma düzleminde kayma yerine çok kayma düzleminde kayma olur. Çeşitli metallerin kristal yapısı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Bir kristalde kritik kayma gerilmesini artırıcı yönde etkide bulunan faktörler, mukavemetin artmasına da sebep olurlar. Metallerde kalıntı miktarı, alaşım elementlerinin miktarı ve kristal yapı hatalarının (özellikle dislokasyonlar)

yoğunluğu arttıkça kritik kayma gerilmesi de artmaktadır. Sıcaklık ve deformasyon hızı gibi deformasyon parametreleri de kritik kayma gerilmesini etkilemektedir. Genelde deformasyon sıcaklığının azalması ve deformasyon hızının artmasıyla kritik kayma gerilmesi artmaktadır.

Çizelge 4.1. Çeşitli metallerin kristal yapısı [86].

Hacim merkezli kübik (HMK)	Yüzey merkezli kübik (YMK)	Sıkı paket Hegzagonal (SPH)
Krom	Alüminyum	Berilyum
Demir (α)	Demir (γ)	Magnezyum
Molibden	Bakır	Çinko
Tungsten	Altın	Kobalt (α)
Vanadyum	Kurşun	Titanyum (α)
Tantal	Nikel	Zirkonyum (α)
Titanyum (β)	Gümüş	
Zirkonyum (β)	Kobalt (β)	

4.2. Plastik Deformasyonu Etkileyen Faktörler

Metalik malzemelerin plastik deformasyon kabiliyeti, kimyasal bileşim ve metalurjik yapı tarafından kontrol edilen mekanik özelliklerin yanısıra deformasyon koşullarına da bağlıdır [86].

Deformasyon sıcaklığı malzemelerin deformasyon davranışlarını önemli derecede etkilemektedir. Genellikle deformasyon sıcaklığı artarken mukavemet azalır, süneklik artar. Bu nedenle, deformasyon sıcaklığına bağlı olarak deformasyon işlemlerinin sınıflandırılmasına gerek duyulmuştur.

Klasik sınıflandırmada, malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı (T_{yk}) ile deformasyon sıcaklığı kıyaslanır. Metalik malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık olarak mutlak ergime sıcaklığının $1/3$ 'ü ile $1/2$ 'si arasındadır.

$$T > T_{yk} \text{ ise sıcak işlem} \quad (4.6 \text{ a})$$

$$T < T_{yk} \text{ ise soğuk işlem} \quad (4.6 \text{ b})$$

Mekanik işlem sırasındaki deformasyon sıcaklığının (T , $^{\circ}\text{K}$). malzemenin ergime sıcaklığına (T_m , $^{\circ}\text{K}$) oranı olan benzeş sıcaklığa (T/T_m) göre deformasyon işlemleri üç gruba ayrılır [86].

$$T/T_m > 0,5 \text{ ise sıcak işlem} \quad (4.7 \text{ a})$$

$$0,5 > T/T_m > 0,3 \text{ ise ılık işlem} \quad (4.7 \text{ b})$$

$$T/T_m < 0,3 \text{ ise soğuk işlem} \quad (4.7 \text{ c})$$

Soğuk işlem koşullarında, malzemeye uygulanan deformasyon miktarına bağlı olarak deformasyon sertleşmesi nedeniyle mukavemet artar. Deformasyon miktarının mukavemet üzerindeki etkisi;

$$\sigma_g = K \cdot \epsilon^n \quad (4.8)$$

şeklindeki Holloman eşitliği [86] ile ifade edilmektedir.

Burada;

σ_g : Gerçek gerilme , N/mm^2

K : Mukavemet katsayısı , N/mm^2

ϵ : Gerçek birim şekil değiştirme,

n : Deformasyon sertleşmesi üssü'dür.

Soğuk işlem etkisiyle malzemenin metalurjik yapısı, özellikle tane şekli değişikliğine uğramaktadır. Plastik deformasyon sırasında tanelerin deformasyon yönünde uzaması sonucu, malzeme özellikleri yöne bağımlı hale gelir (anizotropi). Metalik malzemelerde anizotropinin kristallografik anizotropi ve mekanik fiberleşme olmak üzere iki tipi vardır.

Soğuk şekil verme işlemlerinde, malzeme yapısında iç gerilmeler de oluşmaktadır. Bunların yanı sıra, malzemenin işlem gören yüzeylerinin düzgün olması ve istenen boyut toleranslarında ürün elde edilebilmesi soğuk işlemin avantajlarıdır. Soğuk işlemin malzeme yapısında oluşturduğu etkilerden kaçınmak, deformasyon

sertleşmesi nedeniyle azalan sünekliği artırmak için soğuk işlem sırasında ara tavlama yapılmaması zorunlu olabilir. Tavlama sonunda, elde edilmek istenen özelliklere göre tavlama sıcaklığı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında veya üstünde seçilebilir.

Sıcak işlemde ise, deformasyon sertleşmesi ve bozulan tane yapısı, deformasyon sırasında oluşan yeniden kristalleşme sonucu yeni tanelerin oluşumu ile giderilir. Bu nedenle büyük eksenli taneler haline dönüşür.

Sıcak işlem yüksek sıcaklıklarda yapıldığından tavlama işlemi maliyeti artırır, aynı zamanda malzeme yüzeyinin oksitlenmesine de sebep olur. Bu oksitlenme nedeniyle iyi yüzey elde etmek oldukça güçtür. Boyut toleransları, sıcak işlem görmüş ürünlerde soğuk işlem uygulanmışlara göre daha fazladır. Sıcak işlem koşullarında, malzemede deformasyon sertleşmesi olmadığından, deformasyon sabit gerilme altında gerçekleşir. Yüksek sıcaklıklarda ($T > 0,5 T_m$) deformasyon hızının etkisi çok fazladır. Deformasyon hızının mukavemet üzerindeki etkisi [86];

$$\sigma = C \cdot \dot{\epsilon}^m \quad (4.9)$$

şeklindeki bir eşitlikle ifade edilmektedir [86].

Burada,

σ	: Plastik gerilme	,N/mm ²
C	: Malzeme sabiti	,N/mm ²
m	: Deformasyon hızı duyarlılığı üssü	
$\dot{\epsilon}$	: Gerçek deformasyon hızı	,mm/s

olarak alınır.

Deformasyon hızının, artmasıyla malzemelerin mukavemeti artarken, sünekliği azalır. HMK metaller diğer kristal yapı malzemelere göre deformasyon hızına daha duyarlıdır. Malzemeye birim zamanda uygulanan deformasyon miktarını belirten

deformasyon hızı, mühendislik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) ve gerçek deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) olmak üzere iki ayrı sembolle ifade edilmektedir [86].

$$\dot{\epsilon} = \frac{de}{dt} = \frac{d[(L - L_o) / L_o]}{dt} = \frac{1}{L_o} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L_o} \quad (4.10.a)$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d[\ln(L / L_o)]}{dt} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L} \quad (4.10.b)$$

Burada;

L_o : Numunenin deformasyon öncesi uzunluğu ,mm

L : Numunenin deformasyon sonrası uzunluğu ,mm

v : Pres hızı ($v = dL / dt$) ,m/dk

Mühendislik ve gerçek deformasyon hızları (sırasıyla $\dot{\epsilon}$ ve $\dot{\epsilon}$) arasında,

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\epsilon}}{1 + e} \quad (4.11)$$

şeklinde bir ilişki mevcuttur. Ilık işlem koşullarında ($0,5 T_m > T > 0,3 T_m$) yapılan plastik şekil verme işlemlerinde, plastik gerilmeye deformasyon oranının, deformasyon sertleşmesinin ve deformasyon hızının birbirine yakın derecede ortak yetkileri vardır. Bu durumda;

$$\sigma = D. \epsilon^n. \dot{\epsilon}^m \quad (4.12)$$

şeklindeki genel bir eşitliğin kullanılması uygun olacaktır [86].

Burada;

D : Malzeme sabitidir.

Ilık işlemin sıcak ve soğuk işleme göre bir takım avantajları vardır. Sıcak işleme göre en önemli avantajı enerji tasarrufudur. Soğuk işleme göre en önemli avantajı ise, gerçekleştirilebilen toplam deformasyon oranının soğuk işlemdekinden fazla olması, aynı zamanda soğuk işlenmiş malzeme mukavemetine yakın mukavemetlerde ürün elde edilmesidir. Ilık işlemde, deformasyon sertleşmesinin etkisi soğuk işlemdeki etkisinden daha azdır. Ilık işlemde, malzemede yeniden kristalleşme olmaz, dinamik toparlanma olur.

Metalik malzemelerin plastik deformasyon kabiliyeti, malzeme özellikleri, deformasyon sıcaklığı, deformasyon miktarı ve deformasyon hızının yanı sıra, sürtünme ve yağlama, hidrostatik basınç, kalıntı gerilmeler ve geometrik faktörler gibi diğer faktörlere de bağlıdır [86].

Plastik deformasyonu gerçekleştirecek cihazda, kalıp ile iş parçası arasındaki sürtünme, aşınma ve güç kaybına sebep olur. Ayrıca malzemenin deformasyon kabiliyeti, sürtünmeden olumsuz yönde etkilenir. Sürtünmeyi en aza indirmek için yağlama yapmak gerekir. Yağlayıcı maddeler fiziksel durumlarına göre katı, sıvı, yarı katı ve gaz yağlayıcılar olarak dört gruba ayrılmaktadır. Yağların seçiminde özellikle çalışma şartları ve yağın kalitesi göz önüne alınır.

Plastik deformasyon işlemleri sırasında iş parçasına hidrostatik basınç uygulanması, mikro boşluk oluşumunu engellediğinden özellikle kırılma ile sınırlanmış deformasyon işlemlerinde iş parçasının deformasyon kabiliyeti üzerine olumlu etkiye bulunur. Boyun verme ile sınırlanmış deformasyon işlemlerinde ise, hidrostatik basıncın şekil değiştirmeye süneklik açısından olumlu etkisi hemen hemen yoktur.

Plastik şekil verme işlemlerinde malzemeler düzenli deformasyona uğrayamadıklarında, yapılarında kalıntı gerilmeler oluşur. Kalıntı gerilmeler elastik gerilmeler olup, en fazla malzemenin akma mukavemeti değerine erişebilirler. Kalıntı gerilmeler, ısıl işlemle veya plastik şekil değişimi ile azaltılabilir veya yok edilebilirler. Şekillendirilecek metalin işlem öncesi şekli, kalıbın şekli, metalin

istenilen şekli alması için deformasyon sırasındaki metal akışının durumu, plastik deformasyonu etkileyen geometrik faktörlerdir [86].

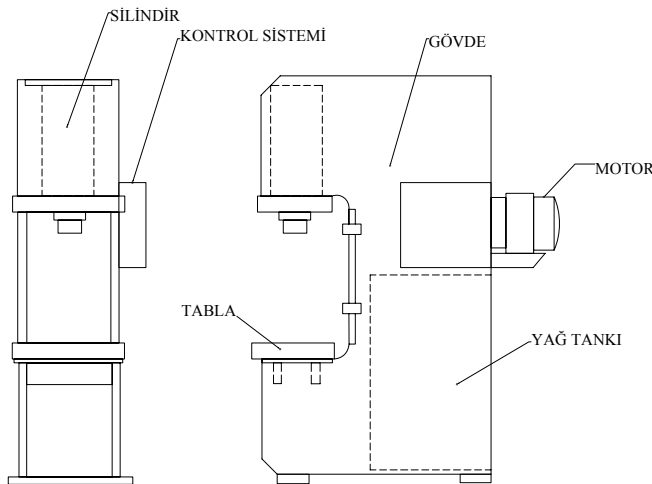
5. MATERİYAL ve METOT

5.1. Deneysel Çalışmalar

Yapılan bu çalışmada, derin çekme işlemi esnasında, şekil vermeye etki eden parametrelerin etki düzeylerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Silindirik ve kare çekme kalıpları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, belirlenen parametre değerleri aralığında çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler, bulanık mantık sistemine aktarılmış ve bu değerlere göre bulanık mantık sisteminin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan bulanık mantık sistemi ile deneysel çalışmalarda uygulanan parametrelerden farklı çekme parametresi değerleri için de tahminler geliştirilmiştir.

5.1.1. Pres tezgahı ve kalıp seti

Deneysel çalışmalar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Kalıpcılık Eğitimi Anabilim Dalı'nda bulunan 600 kN basma kapasiteli C tipi Şahinler marka hidrolik pres tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yapıldığı pres tezgahı Şekil 5.1'de ve bu tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

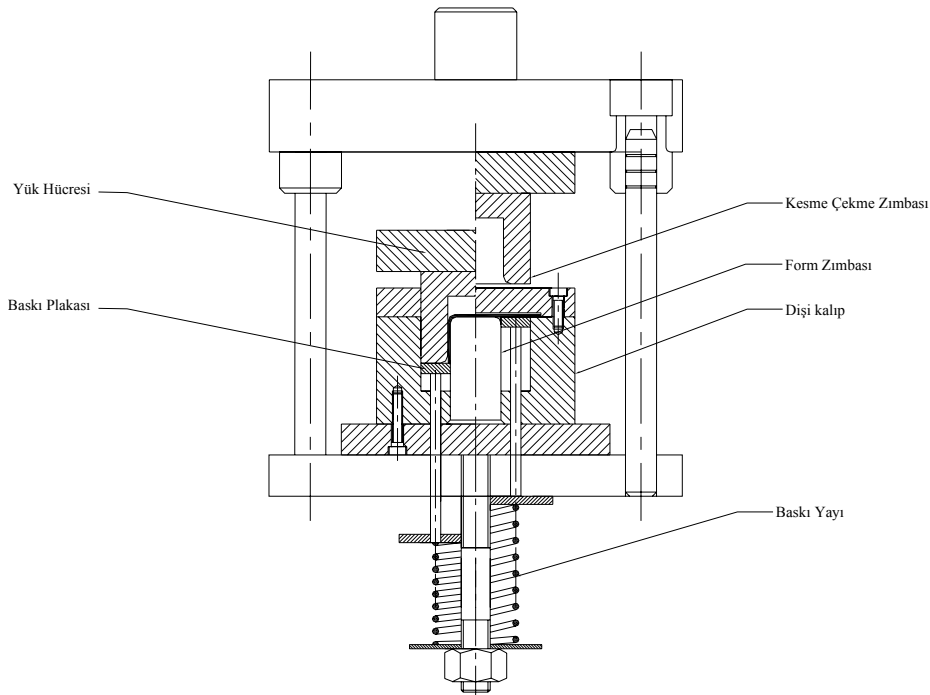


Şekil 5.1. Deneysel çalışmaların yapıldığı pres tezgahı

Çizelge 5.1. Pres tezgahının teknik özellikleri

Presleme Kuvveti	600 kN
Motor Gücü	4 KW
Faydalı Kalıp Alanı	500 x 500 mm
Piston Hareketi	500 mm
Max. Açıklık	650 mm
Presleme Hızı	37,5 mm/s
Geri Dönüş Hızı	50 mm/s

Derin çekme işlemi sırasında, farklı zımba kavisi, kalıp kavisi ve çekme boşluğu değerleri kalıp seti üzerinde, form zımbalarının ve kesme çekme zımbalarının değiştirilmesi ile uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar için tasarlanan ve üretilen modüler kalıp seti Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp seti

5.1.2. Sac malzeme

Çekme işlemlerinde kullanılan malzemelerin cinsine ve özelliğine göre çekme oranları değişmektedir. Farklı malzemelerin çekme işlemi üzerindeki etkilerini

inceleyebilmek amacıyla aynı çekme işlemi üç farklı malzeme üzerinde tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerde üç farklı kalınlıkta (1 mm, 1,5 mm, 2 mm) DKP 1110, CuZn30 pirinç ve AA5754 alüminyum sac malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan sac malzemelerin kimyasal analiz raporları çıkarılmıştır. Deneylerde kullanılan DKP 1110 malzeme için kimyasal analiz raporu Çizelge 5.2’de, CuZn30 pirinç malzeme için kimyasal analiz raporu Çizelge 5.3’te ve AA5754 alüminyum için kimyasal analiz raporu da Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.2 DKP1110 malzeme için kimyasal analiz raporu

Element	%	Element	%
Karbon (C)	0,02740	Krom (Cr)	0,05140
Fosfor (P)	0,00723	Kükürt (S)	0,01230
Molibden (Mo)	0,00942	Nikel (Ni)	0,03630
Kobalt (Co)	0,01850	Bakır (Cu)	0,02350
Mangan (Mn)	0,25800	Kalay (Sn)	0,00467
Alüminyum (Al)	0,03030	Demir (Fe)	Kalan
Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı	MPa	335,17	
Akma Dayanımı	MPa	253,9	
Uzama	%	41,12	
Elastikiyet Modülü	GPa	207	
Poission Oranı	-	0,28	
Özgül Ağırlığı	g/cm ³	7,83	

Çizelge 5.3. CuZn30 Pirinç malzeme için kimyasal analiz raporu

Element	%	Element	%
Kalay (Sn)	0,03020	Çinko (Zn)	30,02000
Fosfor (P)	0,02110	Mangan (Mn)	0,00554
Nikel (Ni)	0,02210	Silisyum (Si)	0,00203
Bismut (Bi)	0,01070	Kükürt (S)	0,00584
Bakır (Cu)	69,81000	Alüminyum (Al)	0,00612
Demir (Fe)	0,05800	Antimon (Sb)	0,00837
Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı	MPa	420	
Akma Dayanımı	MPa	350	
Uzama	%	32	
Elastikiyet Modülü	GPa	110	
Poission Oranı	-	0,375	
Özgül Ağırlığı	g/cm ³	8,53	

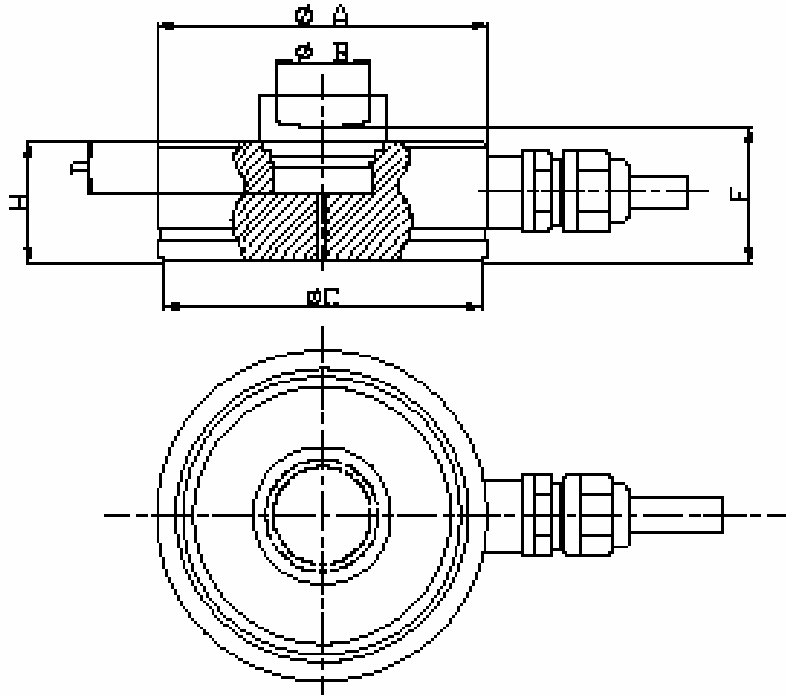
Çizelge 5.4. AA5754 Alüminyum malzeme için kimyasal analiz raporu

Element	%	Element	%
Silisyum (Si)	0,12100	Demir (Fe)	0,19400
Mangan (Mn)	0,01330	Magnezyum (Mg)	0,00849
Nikel (Ni)	0,00887	Bakır (Cu)	0,04140
Kalay (Sn)	0,00848	Titanyum (Ti)	0,03100
Alüminyum (Al)	99,51000	Çinko (Zn)	0,04250
Kurşun (Pb)	0,01480		
Mekanik Özellikler			
Çekme Dayanımı	MPa	225	
Akma Dayanımı	MPa	148	
Uzama	%	18,5	
Elastikiyet Modülü	GPa	68	
Poisson Oranı	-	0,33	
Özgül Ağırlığı	g/cm ³	2,67	

5.1.3. Çekme kuvvetlerinin ölçülmesi (Yük hücresi ve bileşenleri)

Kuvvet ölçmede kullanılan yük hücrelerinin seçimi hem kullanım amaçları açısından hem de kullanıldıkları ortamlar açısından, çok daha özel bir dikkat gerektirir. Yük hücrelerinde aranacak en temel özelliklerden biri dayanıklılıktır. Yük hücresi, bulunduğu ortamdaki çalışma şartlarına (toz, yağ, sıcaklık, nem v.b.) karşı dayanıklı olmalı ve ortam değişkenlerinden çok fazla etkilenmemelidir. Diğer bir önemli nokta ise yük hücresinin kapasitesidir. Yük hücresinin kapasitesi, çalışmalar sırasında uygulanacak kuvveti kapsayan ölçme aralığına sahip olmalıdır. Çok yüksek kapasiteli yük hücresi kullanımı, elde edilen verilerin hassasiyetini olumsuz yönde etkilerken, düşük kapasiteli yük hücresi kullanımı doğru sonuçların elde edilememesine ve yük hücresinin zarar görmesine neden olabilir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, Baykon Model 220 Tipi, 100 kN kapasiteli baskı tipi yük hücresi kullanılmıştır. Çekme kalıpları üzerinde, farklı kalıp ve zımba kavislerinin, farklı sac malzemelerin ve malzeme kalınlıklarının, farklı çekme boşluğu değerlerinin çekme işlemindeki kuvvetler üzerindeki etkileri yük hücresine gelen kuvvetlerin ölçülmesiyle tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan Baykon Model 220 yük hücresi Şekil 5.3'te, yük hücresinin teknik özellikleri ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.



	Ø A	Ø B	Ø C	D	E	H
100 kN	92	28	80	14.6	33.4	33

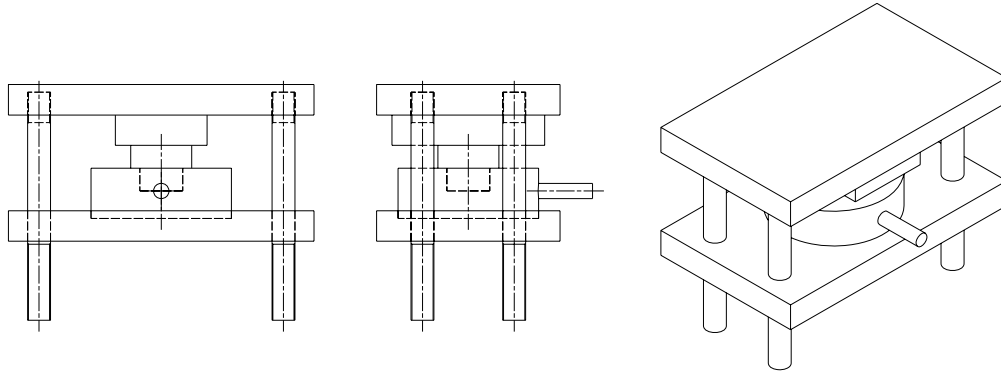
Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan Baykon Model 220 yük hücresi

Çizelge 5.5. Baykon Model 220 yük hücresinin teknik özellikleri

Kuvvet aralığı (kN)	0 - 100
Tepki verme (N)	< 0,01
Toplam hata	0,02
Çalışma sıcaklığı (°C)	-30 ~ +70
Isı etkisi	0,001
Güvenli yükleme (%)	150
Ağırlık (Kg)	1,5
Çevresel koruma sınıfı	IP68

Baykon Model 220 yük hücresi tek yönde etki eden kuvvetlerin ölçülmesi için tasarlanmıştır. Kalıp setinde, çekme eksenine dik olarak etki eden baskı kuvvetinin doğru olarak ölçülebilmesi için yük hücresinin de çekme eksenine üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Kalıp seti üzerinde yük hücresini doğru olarak konumlandırmak amacıyla, iki adet plaka ve dört adet saplamadan oluşan bir set tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 5.4). İmal edilen bu donanım, baskı kuvvetinin

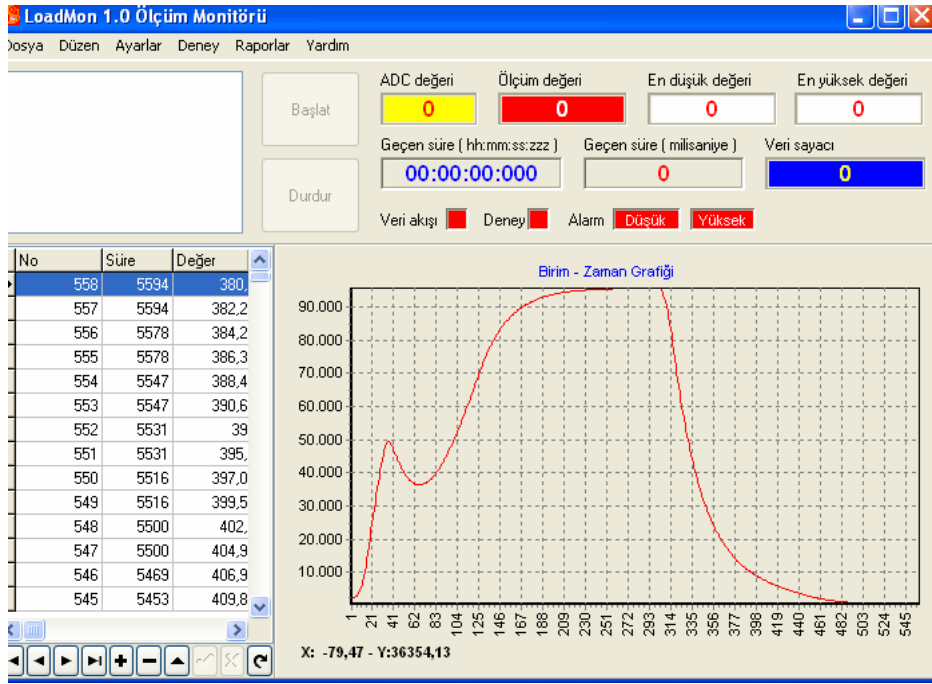
daima yük hücresine dik olarak etki etmesini sağlayacak şekilde kalıp setine yerleştirilmiştir.



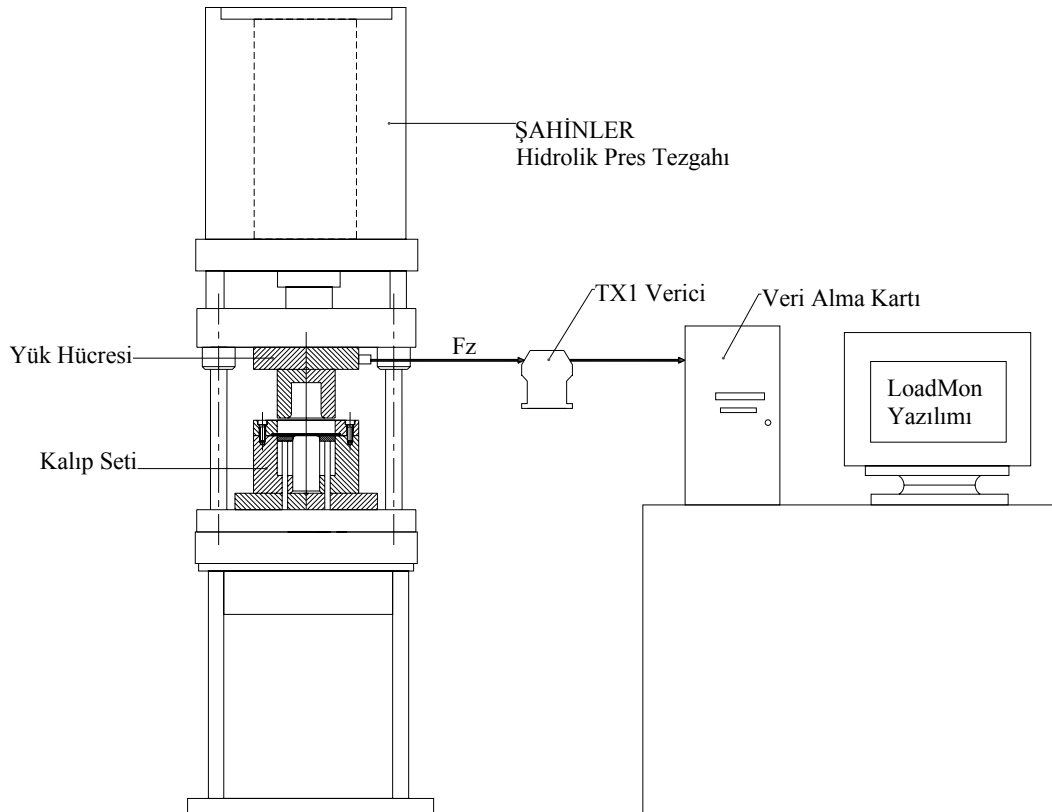
Şekil 5.4. Yük hücresi bağlama seti

Yük hücrelerinden elde edilen deneysel sonuçların bilgisayar ortamına aktarılması ve kaydedilmesi amacıyla Baykon Type TX1 3 kanal çıkışlı verici, bu vericiyle uyumlu veri toplama kartı ile LoadMon isimli bilgisayar programı kullanılmıştır.

LoadMon yazılımı, yük hücresine gelen kuvvetlerin bilgisayar ortamına aktarılmasını sağlayan esnek kullanıma sahip olan bir programdır. Program içerisinde veri alma kartı ile ilgili ayarlamalar (saniyede aldığı veri miktarı, histerisiz bölgesi, otomatik başlatma ve bitirme değerleri v.b.) yapılabilmektedir. Ayrıca, ölçme sonrasında ölçüm değerlerinin grafik olarak gösterilmesi (Şekil 5.5), başka paket programlarda kullanılmak üzere ölçme sonuçlarının bir dosyaya yazdırılması (örneğin “txt” veya “xls” uzantılı olarak), deney sonuçlarının grafik veya veri dosyası olarak yazdırılması ve programda yapılan ayarlamaların daha sonraki kullanımlar için kaydedilmesi gibi işlevlerde yapılabilmektedir.

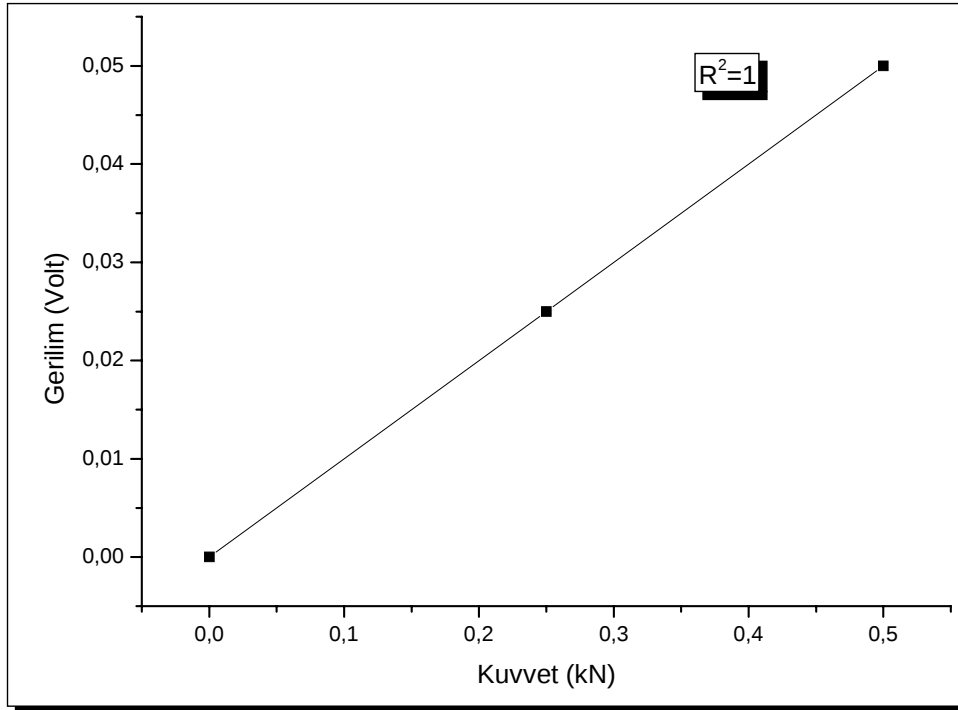


Şekil 5.5. Yük hücresi yardımıyla çekme kuvvetinin ölçülmesi

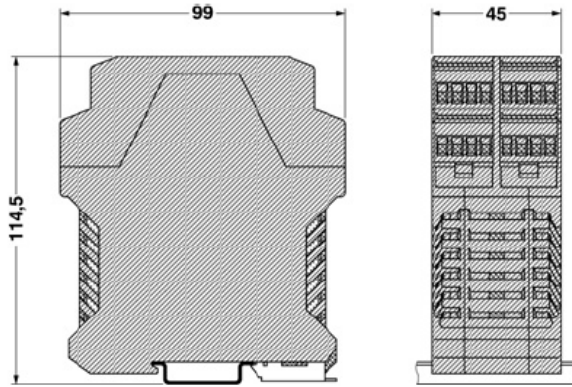


Şekil 5.6. Çekme deneyleri için hazırlanan deney düzeneği

Deneyleerde kullanılan yük hücresine uygulanan kuvvetle orantılı olarak gerilim üretmektedir. Yük hücrelerinden alınan gerilim değerlerinin yük hücresinin çalışma aralığı olan 0-10 Volt değerlerine ayarlanması gerekmektedir. Yük hücresinden gelen değerlerin ayarlanması ve düzenlenmesi amacıyla Baykon Type TX1 3 kanal çıkışlı verici kullanılmıştır. Yük hücresi boş konumda iken gelen gerilim değeri 0 Volt, 100 kN kuvvet uygulandığı zamanki gerilim değeri de 10 Volt olacak şekilde kalibre edilmelidir. Yük hücresinin kalibrasyonunu sağlamak amacıyla, hassas ağırlıklar hazırlanmış ve yük hücresi üzerine 0,25 kN ve 0,5 kN olmak üzere iki farklı kuvvet uygulanmıştır. Yük hücresine kuvvet uygulanmadığında alınan gerilim değeri 0 Volt, 0,25 kN kuvvet uygulandığında alınan gerilim değeri 0,025 Volt ve 0,5 kN kuvvet uygulandığında alınan gerilim değeri 0,05 Volt olacak şekilde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.7). Vericiden çıkan akım değerleri veri toplama kartına aktararak gelen sinyaller ağırlık birimine çevrilmiştir. Deneyleerde kullanılan Baykon Type TX1 verici Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Yük hücresi kalibrasyon grafiği



Şekil 5.8. Deneylerde kullanılan Baykon Type TX1 verici

TX 1 her türlü endüstriyel tartım uygulamaları için mikrokontrolör teknolojisi ile donatılmış analog çıkışlı bir vericidir. Baykon Type TX1 vericiye ait teknik özellikler Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Baykon Type TX1 verici özellikleri

Giriş hassasiyeti (μV)	En az 0,50
Doğruluk (%)	0,03
D/A çevirici (bit)	16
Yük hücresi besleme voltajı (volt DC)	10
Bağlanabilen yük hücresi sayısı (adet)	4
Çalışma sıcaklığı ($^{\circ}C$)	-10 ~ +40
Güç sarfıyatı (VA)	6
Besleme gerilimi (V)	230

5.1.4. Hız kontrol ünitesi

Zımbanın çekilecek olan sac malzemeye değdiği andaki hızına çekme hızı denir. Her soğuk şekil değiştirme işleminde meydana gelen pekleşme olayı büyük oranda şekil değiştirme hızına bağlıdır. Çekme esnasında malzeme uygun bir şekilde akmalıdır. Bunun için de malzeme yeterli zaman içerisinde çekilmelidir.

Çekme hızının yüksek olması, sac parça üzerine etkiyen zımba kuvvetinin dağılmasına izin vermemesine ve dolayısıyla sac metal parçaların yırtılmasına neden olur. Ayrıca yüksek çekme hızı ısınmaya yol açacağından yağlamanın etkilerini de azaltır.

Yapılan deneylerde, çekme hızının derin çekme işlemleri üzerindeki etkisinin görülebilmesi amacıyla 60 tonluk Şahinler marka C tipi hidrolik pres tezgahına bir hız kontrol ünitesi eklenmiştir. Hazırlanan sistemde 1 adet 10 kademeli hız ayar düğmesi, 24 V ve 14,6 A çıkışlı güç kontrol ünitesi, hız kontrol valfi ve bu valfe kumanda etmek amacıyla bir elektronik kart kullanılmıştır. Hız kontrol sistemi Hidrolik pres tezgahının en büyük çalışma hızını 10 kademeli olarak değiştirebilecek şekilde ayarlanmıştır. Bu sayede pres tezgahının hızı, 0,1 m/dk ile 2,250 m/dk aralıklarında istenilen değere ayarlanabilmektedir. Hazırlanan hız kontrol sistemi sayesinde farklı malzeme ve parametreler için çekme işlemleri 0,225 m/dk, 0,750 m/dk, 1,500 m/dk ve 2,250 m/dk olmak üzere 4 farklı hız üzerinde uygulanmıştır.

5.1.5. Çekme parametreleri

Değişik çekme parametrelerinin derin çekme işlemi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla toplam 1512 adet çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Alüminyum, Pirinç ve DKP malzemelerin derin çekilmesinde dört farklı çekme hızı (V, m/dk) kullanılmıştır. Her sac malzeme için, üç kalınlık değeri (t, mm) alınmıştır. Kesme-çekme zımbaları değiştirilerek iki farklı kalıp kavis (r, mm), çekme zımbaları değiştirilerek de üç farklı zımba kavis (r, mm) ve üç farklı çekme boşluğu (s, mm) elde edilmiştir. Bu değişiklikler, kare ve silindirik profilli çekme kalıpları üzerinde ayrı ayrı uygulanmıştır.

5.1.6. Deneylerin yapılışı

Deneyisel çalışmalar, çekme yüksekliği sabit tutulmak suretiyle her deney sonunda pres hızı değiştirilerek 4 farklı pres hızında uygulanmıştır. Her bir malzeme için, belirlenen bu 4 farklı pres hızı tekrar edilerek uygulanmış ve kalıp plakası değiştirilerek 2 farklı kalıp kavis üzerinde tekrar edilmiştir. Kalıp kavis değerlerinin her değişiminden sonra ise, çekme zımbaları değiştirilmek suretiyle 3 farklı zımba kavis değeri uygulanarak tekrar edilmiştir. Kalıp plakası ve çekme zımbası üzerindeki kavislerin çekme işlemine etkileri bu sayede tespit edilmeye çalışılmıştır. Sac malzeme ile kalıp arasındaki mesafeyi belirleyen çekme boşluğu değerleri farklı

ölçülerde imal edilen çekme zımbaları ile sağlanmıştır. Çekme zımbalarının değiştirilerek deneylerin tekrarlanması sonucunda çekme boşluğunun etkileri belirlenmiştir. Bir sac malzeme kalınlığı için yapılan bu deneysel çalışmalar, farklı kalınlıktaki sac malzemeler için de ayrı ayrı uygulanmıştır.

Deneysel çalışmalar sırasında, iş parçası malzemeleri, sac malzemeler ve deneyler için geçen zaman açısından, deneysel çalışma maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle; deney sayısının azaltılması düşünülmüş, çekme boşluğu değerleri sadece silindirik çekmede ve yalnızca zımba ve kalıp kavisi değerlerinin birer tanesi için uygulanmıştır.

Silindirik çekme işlemleri için 288 ve kare çekme işlemleri için 216 olmak üzere toplam 504 adet farklı parametre değeri kullanılmıştır. Deney sonuçlarının güvenilirliğini artırmak amacıyla her bir deney 3'er defa tekrar edilmiştir. Çalışma kapsamında, toplam 1512 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan çekme parametreleri ve bu parametrelere ait değerler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan çekme parametreleri

	Silindirik	Kare
Malzeme	Alüminyum (AA5754) Pirinç (CuZn30) DKP 1110	Alüminyum (AA5754) Pirinç (CuZn30) DKP 1110
Kalıp Kavisi (mm)	6 10	6 10
Zımba Kavisi (mm)	6 8 10	6 8 10
Malzeme Kalınlığı (mm)	1 1,5 2	1 1,5 2
Çekme Boşluğu (mm)	0,2 0,5 0,8	0,2
Pres Hızı (m/sn)	0,225 0,75 1,5 2,25	0,225 0,75 1,5 2,25

Çekme deneylerinde en yüksek çekme mesafesi, malzemelerin deformasyona uğramadan çekilebildiği en yüksek değere kadar uygulanmıştır. Çekme mesafesi,

farklı derinliklerde çekilen sac malzemeler üzerindeki yırtılmaların ve et kalınlıklarının incelenmesi sonucunda, DKP ve pirinç malzemeler için silindirik çekmelerde 38 mm, kare çekmelerde 20 mm, alüminyum için silindirik çekmelerde 14 mm ve kare çekmelerde 12 mm olarak dikkate alınmıştır.

Derin çekme işlemlerinde yağlama, sac malzeme, form zımbası ve dişi kalıp arasında sürtünme etkisini azaltmakta, sac malzemenin takım yüzeyinde kaymasını sağlamakta ve dişi kalıp ve zımba üzerindeki aşınmaları düşürmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, MILFORM 6265 derin çekme yağı kullanılmıştır. MILFORM 6265, tüm metaller ve bakır alaşımları için uygun olan ve derin çekme uygulamaları için yaygın olarak kullanılan sentetik bir yağdır.

Zımba ve dişi kalıpların yüzey pürüzlülükleri, form verme sırasında meydana gelen sürtünmeyi önemli derecede etkilemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar öncesinde zımba ve dişi kalıba ait Ra (pürüzlülük profilinde, eksene olan tüm mesafelerin aritmetik ortalaması), Rz (Hatlara ayrılmış pürüzlülük profilinde, bulunan en büyük derinliklerin aritmetik ortalaması) ve Rt (Pürüzlülük profilinde, en yüksek tepe ile en derin çukur arasındaki mesafe) değerleri de ölçülmüştür (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8. Zımba ve dişi kalıpların yüzey pürüzlülükleri

		Ra, μm	Rz, μm	Rt, μm
Silindirik Çekme Zımbası	Üst Yüzey	0,849	4,983	7,179
	Yan Yüzey	0,727	4,044	5,94
	Zımba Kavisi	0,511	2,536	5,079
Kare Çekme Zımbası	Üst Yüzey	1,262	7,395	11,89
	Yan Yüzey	1,071	6,171	6,9
	Zımba Kavisi	1,052	6,907	9,88
Silindirik Dişi Kalıp	Üst Yüzey	0,863	5,868	7,94
	İç Yüzey	1,238	7,904	11,27
	Kalıp Kavisi	1,992	10,69	14,34
Kare Dişi Kalıp	Üst Yüzey	0,909	6,019	8,279
	İç Yüzey	0,868	5,804	8,279
	Kalıp Kavisi	1,669	8,407	12,49

5.2. Analiz Çalışmaları

Sac malzeme üzerinde meydana gelen deformasyonların sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak analizleri DynaForm 5.2 ve AutoForm 4.07 paket programlarında gerçekleştirilmiştir. DynaForm ve AutoForm deformasyon işlemlerinin analizinde dünya çapında kabul görmüş, yüksek güvenilirliğe sahip paket programlar olarak bilinmektedir.

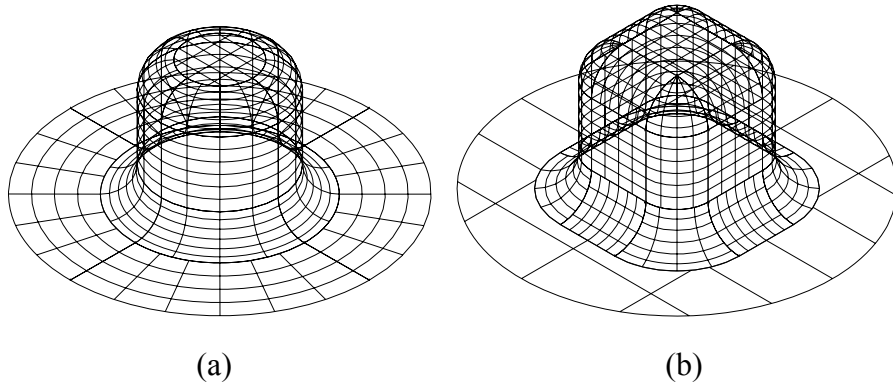
Derin çekme işleminin analiz edilebilmesi için öncelikle kalıp elemanlarının ve sac malzemenin bilgisayar ortamında modellenmesi, modelin analiz işlemine kullanılacak olan paket programa aktarılması, ağ yapılarının oluşturulması ve sac malzeme özelliklerinin atanması gerekmektedir.

5.2.1. Kalıp elemanlarının modellenmesi

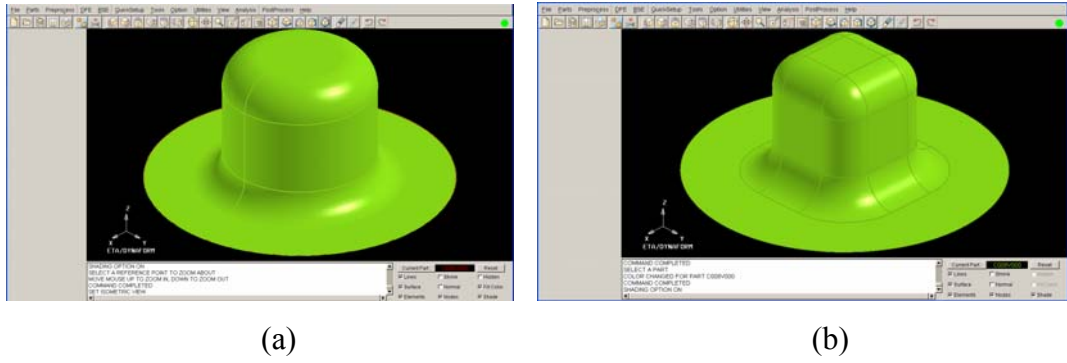
Kalıp elemanlarının modellenmesi, AutoCAD Mechanical Desktop (AMD) 2007 Paket Programı kullanılarak elde edilen katı model parça resimlerinin yüzey modellemeye çevrilmesi, “.iges” uzantılı olarak kaydedilmesi ve analiz programlarında açılmasıyla sağlanmaktadır.

Sac parçanın modellenmesi esnasında, kalıba ait bütün özellikler (kalıp boyutları, kalıp kavisi, zımba kavisi, çekme derinliği vb.) dikkate alınmıştır. Sac parçaya ait modeller bu şekilde hazırlanıp yüzey modelleme komutlarıyla yüzeye çevrildikten sonra “.iges” uzantısıyla kaydedilmiştir. DynaForm ve AutoForm paket programında oluşturulan modeller çağırılmıştır. Kalıp seti için Mechanical Desktop ‘ta kullanılan koordinat sistemi esas alınmıştır.

Silindirik ve kare çekme işlemleri için sac parçanın yüzey modelleme ile oluşturulmuş model Şekil 5.9’da, model DynaForm paket programına aktarılması Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9. Sac parçanın yüzey modelleme ile oluşturulmuş model yapıları
 a) Silindirik parçalar için modelleme
 b) Kare parçalar için modelleme



Şekil 5.10. Oluşturulan modellerin DynaForm paket programına aktarılması
 a) Silindirik parçalar için aktarılan model
 b) Kare parçalar için aktarılan model

5.2.2. Sac malzeme modellerinin oluşturulması

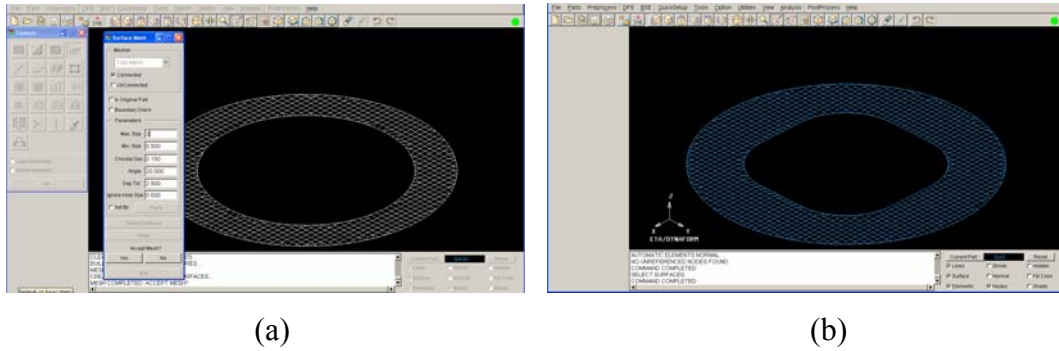
Analizler öncesinde, kalıp elemanlarının modellenmesinin ardından, çözümlemede kullanılacak olan sac malzemelerin modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde bütün malzemeler için lineer elastik malzeme modelleri kullanılmıştır. Malzeme modelleri için gerekli olan elastisite modülleri (E), Poisson oranları (ν) ve yoğunlukları (ρ) belirlenmiştir. Çizelge 5.9’da analizlerde kullanılan sac malzemeler için alınan E, ν ve ρ değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.9. Analizlerde kullanılan sac malzeme özellikleri

Malzeme	E (GPa)	ν	ρ (g/cm ³)
AA5754	68	0,33	2,67
CuZn30	110	0,375	8,53
DKP1110	207	0,28	7,83

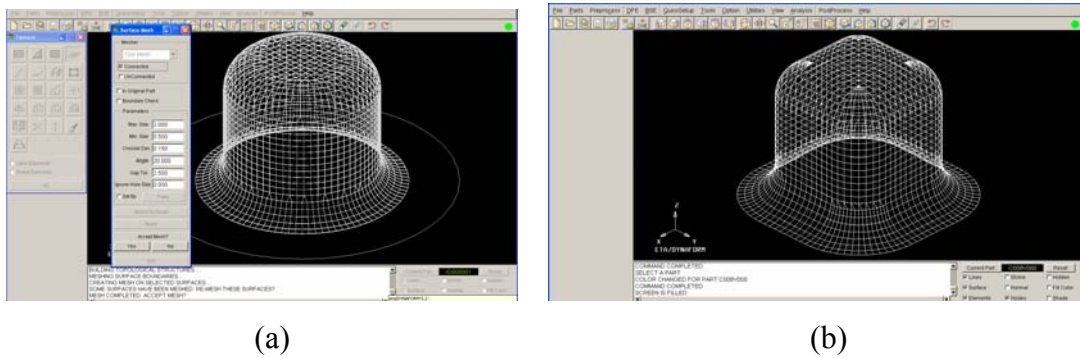
5.2.3. Ağ yapılarının oluşturulması

DYNAFORM programında açılan kalıp seti, baskı plakası ve sac malzemenin ağ yapıları kare ve silindirik kalıplar için ayrı ayrı oluşturularak analiz işlemi öncesi hazırlıklar tamamlanmıştır. Baskı plakasına ait ağ yapıları Şekil 5.11’de, kalıp seti ve zımbalara ait ağ yapıları Şekil 5.12’de ve sac malzemeye ait ağ yapıları da Şekil 5.13’te verilmiştir.



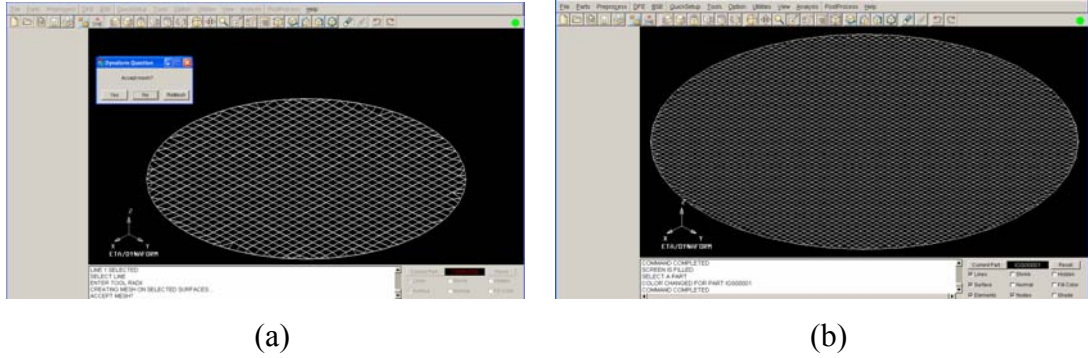
Şekil 5.11. DynaForm da baskı plakasına ait ağ yapılarının oluşturulması

- a) Silindirik parçalar için baskı plakasına ait ağ yapısı
- b) Kare parçalar için baskı plakasına ait ağ yapısı



Şekil 5.12. DynaForm da kalıp seti ve zımbalara ait ağ yapılarının oluşturulması

- a) Silindirik parçalar için kalıp seti ve zımbaya ait ağ yapısı
- b) Kare parçalar için kalıp seti ve zımbaya ait ağ yapısı



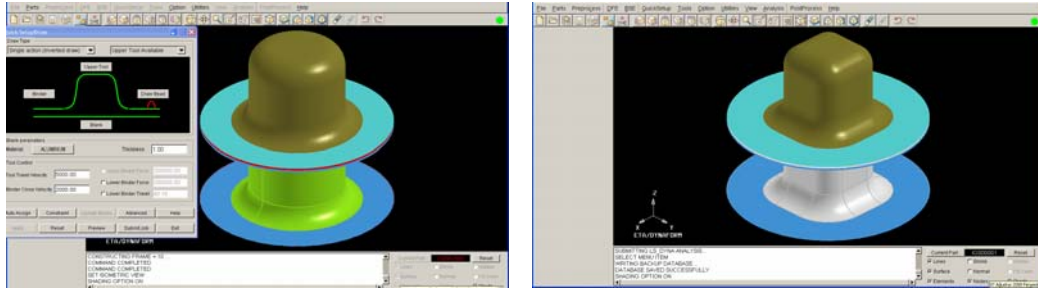
Şekil 5.13. DynaForm da sac malzemeye ait ağ yapılarının oluşturulması

- a) Silindirik parçalar için sac malzeme ağ yapısı
- b) Kare parçalar için sac malzeme ağ yapısı

Ağ yapılarının oluşturulması esnasında, baskı plakası ve kalıp setinde ağ aralıkları 2 mm, sac malzemede ise ağ aralığı 0,2 mm olarak alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, sac malzemedeki deformasyon işleminin incelenmesi esas hedef olduğundan dolayı baskı plakası ve kalıp setinin ağ yapıları zaman kaybını önlemek amacıyla daha büyük tutulmuştur. Baskı plakası ve kalıp setinin ağ yapılarının analiz sonucunda etkili olmadığı, buna karşılık çözümleme süresini önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir. P4 işlemcili ve 1024 MB RAM kapasiteli bir bilgisayarda baskı plakası ve kalıp setinde ağ yapılarının aralığı 1 mm verildiğinde analiz işlemi 45 dakika sürmekte iken, setinde ağ yapılarının aralığı 2 mm verildiğinde bu süre 25 dakikaya inmektedir. Bundan dolayı, kalıp seti ve baskı plakası üzerindeki ağ yapıları kaba tutulmuş, sadece sac malzemenin ağ yapısı hassas olarak ayarlanmıştır.

Ağ yapıları oluşturulduktan sonra form verilecek sac malzemenin cinsi ve özellikleri belirlenir. Deneylerde kullanılan sac malzemeler, DynaForm programı veritabanı içerisine malzemelere ait değerlerin girilmesiyle programa tanıtılmıştır. Program içerisinde malzeme atamak için sadece ilgili malzeme kodunu seçmek yeterli olacaktır.

Kalıp setinin boyut ve toleranslarını belirleyecek olan çekme boşluğu ve sac malzeme kalınlığı da belirlendikten sonra, zimbalar program tarafından otomatik oluşturulur ve program içerisine yerleştirilir.

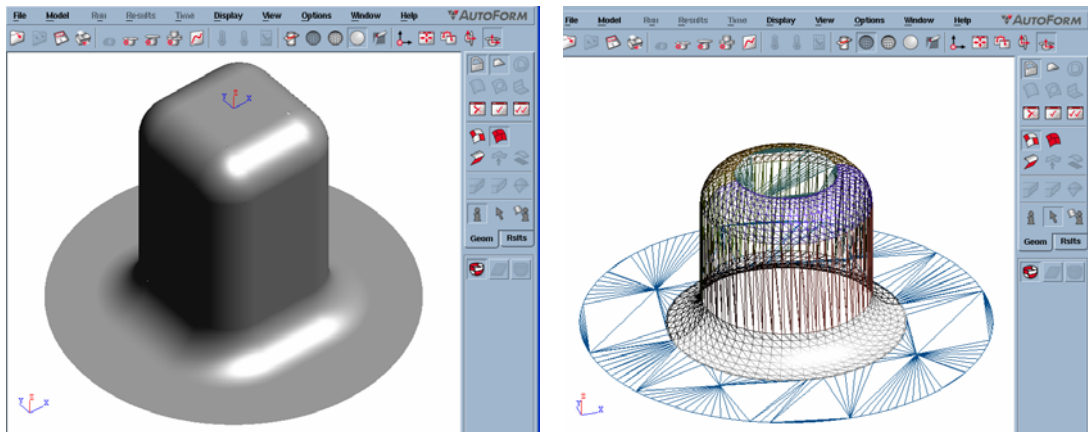


(a)

(b)

Şekil 5.14. DynaForm da analiz öncesi zımba ve kalıp plakalarının oluşturulması
 a) Silindirik parça çekme analiz ekranı
 b) Kare parça çekme analiz ekranı

DynaForm paket programı, sonlu elemanlar analizini LS-DYNA çözücüsünü kullanarak gerçekleştirmektedir. DynaForm içerisinde çalışan LS-DYNA çözücüsü, kapalı (implicit) çözümleme yöntemini uygulayarak form verme işlemlerini hızlı ve güvenilir bir şekilde oluşturmaktadır. AutoCAD Mechanical Desktop (AMD) paket programında yüzey modelleme komutlarıyla hazırlanan modeller, AutoForm paket programında da analiz edilerek, deneysel çalışma sonuçları ve Dynaform analiz sonuçları ile kıyaslanması yapılmıştır. AMD’de oluşturulan yüzey modellerinin AutoForm paket programına aktarılmış hali Şekil 5.15’de sunulmuştur.

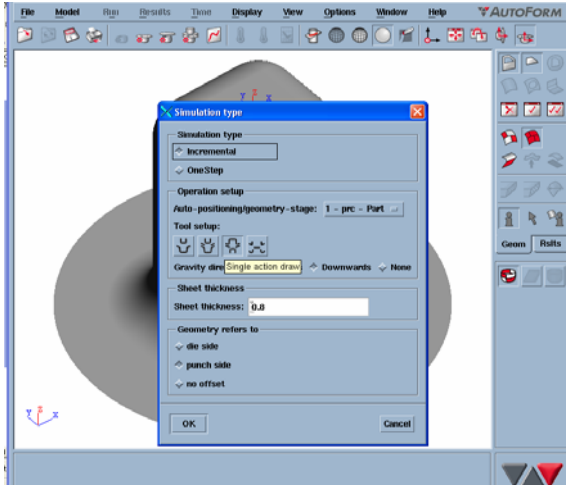


(a)

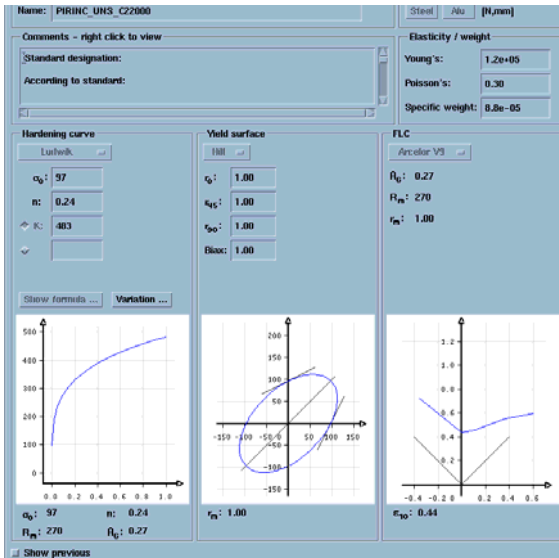
(b)

Şekil 5.15. Oluşturulan modellerin AutoForm paket programına aktarılması
 a) Kare parçalar için aktarılan model
 b) Silindirik parçalar için aktarılan model

Yapılan analiz çalışmalarında, kalıplama şekli deneysel çalışmalarla uyumlu olarak, tek etkili preste çekme işlemine göre ayarlanmıştır (Şekil 5.16). Farklı kalıp ve zımba kavisleri için ayrı ayrı modeller oluşturulmuş ve her biri üzerinde analiz çalışmaları tekrarlanmıştır. Form verilecek malzemeler, AutoForm paket programı için hazırlanmış olan bir veri tabanından alınarak kullanılmıştır. Programda ilgili sac malzeme seçildiğinde, malzemeye ait parametre değerleri ve form verme limit diyagramları verilmekte, kullanıcı isterse bu değerler üzerinde değişiklik yapabilmektedir (Şekil 5.17).

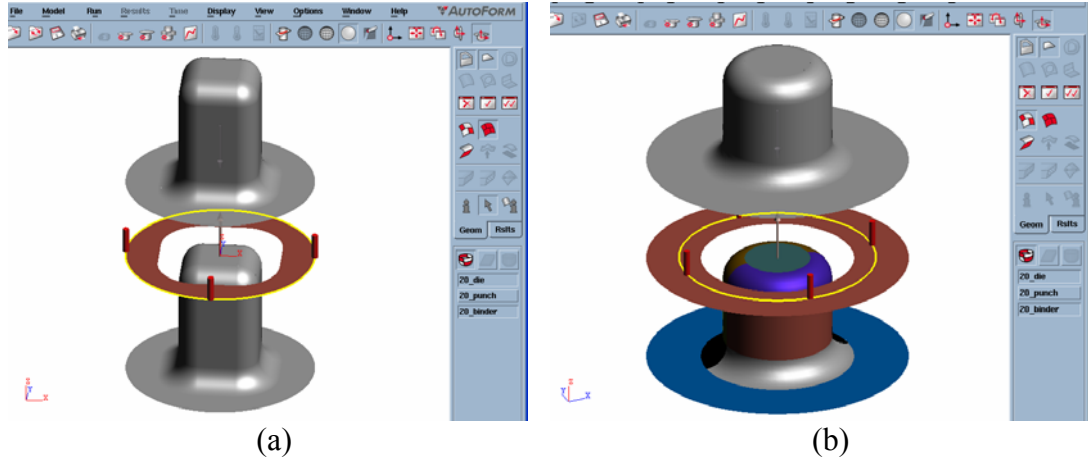


Şekil 5.16. Çekme işlemi tipi ve sac malzeme kalınlığının belirlenmesi



Şekil 5.17. AutoForm paket programına sac malzemenin tanıtılması

Kalıp seti, malzeme özellikleri, çekme boşluğu, baskı pimlerinin yerleri, kalıp plakaları arasındaki mesafe gibi parametreler program içerisinde tanımlandıktan sonra, zımba, baskı plakası, dişi plaka, baskı pimleri ve sac oluşturulur ve program içerisine yerleştirilir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. AutoForm da analiz öncesi zımba ve kalıp plakalarının oluşturulması

- a) Kare parçalar için sac malzeme ağ yapısı
- b) Silindirik parçalar için sac malzeme ağ yapısı

5.3. Bulanık Mantık

Endüstriyel bir süreç denetiminden; sistemin güvenliğini ve kararlılığını sağlaması, kolay, anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması, sistemin performansını istenen seviyeye çıkarması, yatırım ve işletme açısından ucuz olması istenir. Bu koşulların gerçekleştirilmesi için denetlenecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin çok iyi bilinip matematiksel modellenmesi gerekir. Bazı sistemlerin matematiksel modellenmesi mümkün olmayabilir. Sistemin değişkenleri matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir veya bu değişkenler zaman içinde değişiklik gösterebilir [87]. Bu nedenle, bazı denetim algoritmalarının belirsiz, doğru olmayan, iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve karmaşık sistemlere uygulanması mümkün olmayabilir. Bu durumda ya hiç çözüm üretilmemekte ya da elde edilen denetleyicinin performansı yeterince iyi olmamaktadır.

Bu gibi durumlarda genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok, biraz az, biraz çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bu dilsel ifadeler doğru bir şekilde bilgisayara aktarılırsa hem uzman kişiye ihtiyaç kalmamakta hem de uzman kişiler arasındaki denetim farkı ortadan kalkmaktadır. Böylece denetim mekanizması esnek bir yapıya kavuşmaktadır.

Denetim mekanizmasının temeli, insanın herhangi bir sistemi denetlemedeki düşünce ve sezgilerine bağlı davranışının, benzetimine dayanmaktadır. Dolayısıyla bir insan bir sistemin bulunduğu gerçek durumdan, istenilen duruma götürmek için sezgilerine ve deneyimlerine bağlı olarak bir denetim stratejisi uygulayarak amaca ulaşmaktadır. İşte bulanık denetim bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uygulanması denilebilir [87].

Bulanık mantığı, diğer mantık sistemlerinden ayıran önemli özelliklerden birisi, üçüncünün olmazlığı ilkesi ve çelişmezlik ilkesi olarak adlandırılan ve diğer mantık sistemleri için oldukça önemli olan, hatta temel kural denebilecek iki özelliğin, bulanık mantık için geçerli olmamasıdır. Bulanık mantıkta bir önerme aynı zamanda hem doğru hem yanlış olamaz denilemez. Bu durum, doğruluğun çok değerli oluşundan ve bu çerçevede “ve” bağlaçlarına yüklenen anlamdan kaynaklanmaktadır. Bulanıklık, bir önermeyle, değili arasındaki belirsizlikten kaynaklanır [88].

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir. İnsan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, yararlı bir bilgi kaynağıdır. İşte bu tür bilgi kaynaklarının, olayların incelenmesinde özgün bir biçimde kullanılmasına bulanık mantık ilkeleri yardımcı olacaktır.

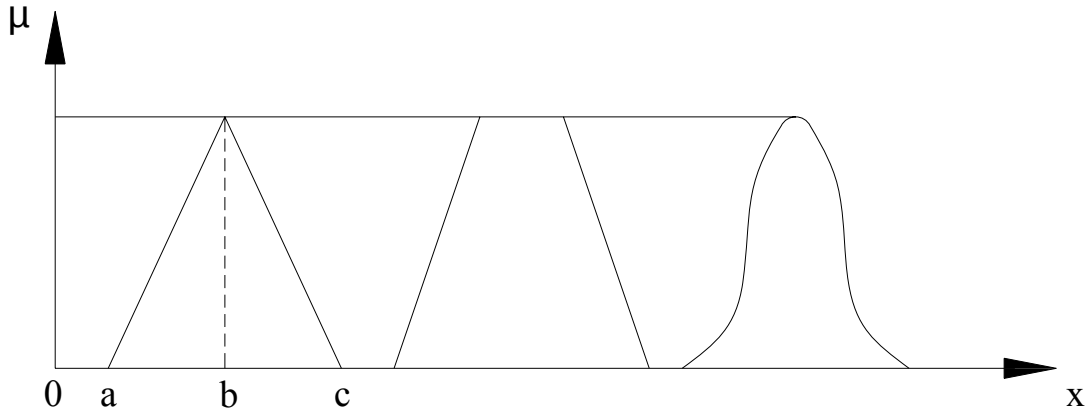
Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından şu şekilde ifade edilmiştir [87];

- 1) Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- 2) Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- 3) Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- 4) Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- 5) Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- 6) Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.
- 7) Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir.

5.3.1. Bulanık küme kuramı ve bulanık mantık

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiç bir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri $\{0,1\}$ değerlerini alır. Bulanık mantık, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerlerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır [87].

Bulanık mantık sisteminin temeli, üyelik işlevlerinden ortaya çıkarılan dilsel değişkenlerin oluşturduğu girişleri karar verme sürecinde kullanmaktır. Bu değişkenler, dilsel EGER-O HALDE kuralların ön şartları tarafından birbirleriyle eşleşirler. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik derecelerinden, durulaştırma metoduyla sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir. Bulanık mantık sistemin kural listesi ve üyelik işlevi dizaynı için genellikle uzman işletmenden sağlanan bilgiler kullanılmaktadır. Üyelik işlevleri Şekil 5.19'da görüldüğü gibi üçgen, yamuk, çan eğrisi olarak kullanılmaktadır. Denetimi yapılan sistemin özelliğine göre bunların dışında uygun bir işlevde kullanılabilir.



Şekil 5.19. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi üyelik işlevleri [87]

Bu üyelik fonksiyonlarından üçgen biçimi için genel ifadelendirme aşağıda verilmiştir [89].

$$\mu_p(x) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ (a-x)/(a-b), a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), b \leq x \leq c \\ 0, x \geq c \end{cases} \quad (5.1)$$

5.3.2. Bulanık mantığın sisteme uygulanması

Hazırlanan sisteme bulanık mantığı uygulayabilmek amacıyla fuzzyTECH 5.54d paket programı kullanılmıştır. FuzzyTECH 5.54d genel bulanık mantık uygulamaları için hazırlanmış, pratik kullanıma sahip bir paket programdır [90].

Yapılan çalışmada, bulanık mantık sistemi kare ve silindirik çekme işlemi için ayrı ayrı uygulanmıştır. Kare çekme deneyleri için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri Çizelge 5.10'da, silindirik çekme deneyleri için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri ise Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. Kare çekme için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri

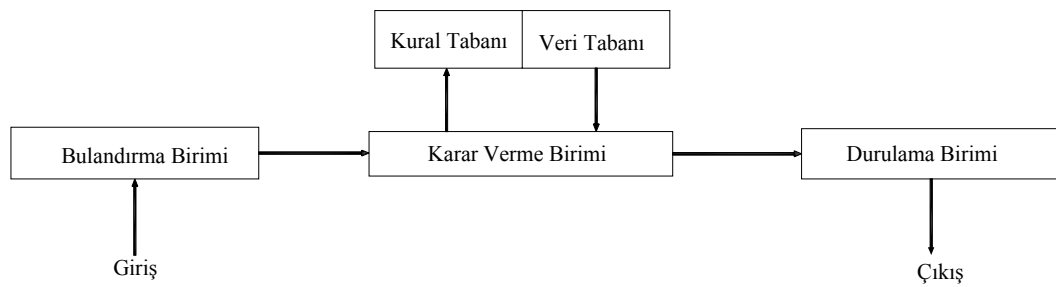
Giriş Değişkenleri Sayısı	5
Çıkış Değişkenleri Sayısı	3
Ara Değişken Sayısı	0
Kural Tablosu Sayısı	3
Kural Sayısı	882
Üyelik Fonksiyonları Sayısı	30

Çizelge 5.11. Silindirik çekme için oluşturulan bulanık mantık sisteminin özellikleri

Giriş Değişkenleri Sayısı	6
Çıkış Değişkenleri Sayısı	3
Ara Değişken Sayısı	0
Kural Tablosu Sayısı	3
Kural Sayısı	1170
Üyelik Fonksiyonları Sayısı	33

5.3.3. Bulanık mantık sisteminin yapısı

Bulanık mantık sistemleri genellikle bulandırma, karar verme ve durulama birimlerinden oluşmaktadır. Hazırlanan bulanık mantık denetleyicisinin temel yapısı Şekil 5.20’de verilmiştir.

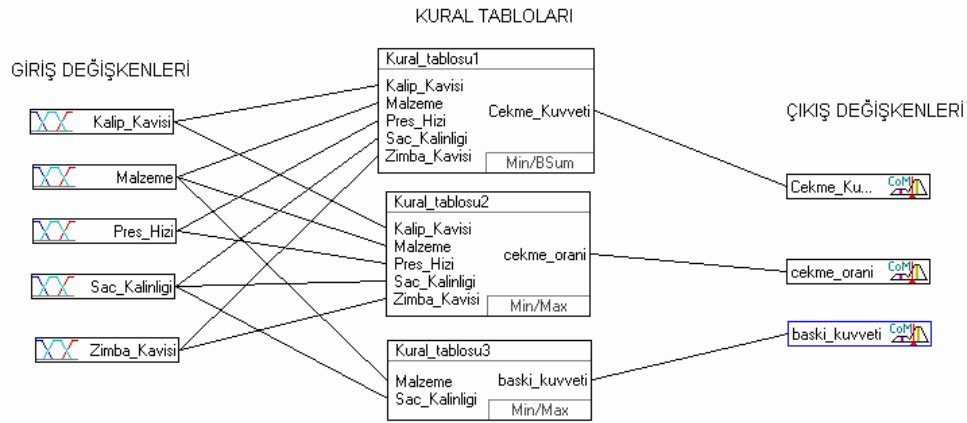


Şekil 5.20. Hazırlanan bulanık mantık denetleyicisinin temel yapısı

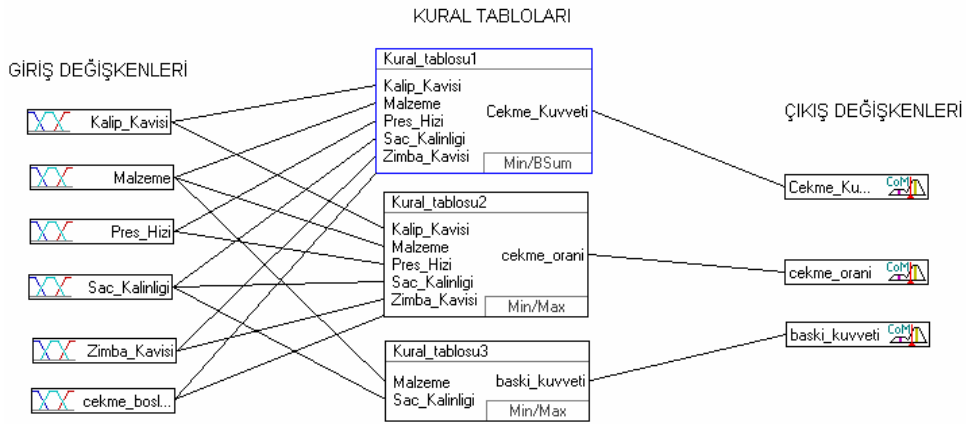
Sistem, giriş değişkenleri ile çıkış değişkeni arasında işlem yapan bulanık mantık kuralları ile oluşturulmuştur. Bulandırma birimi, giriş birimindeki sayısal değerleri bulanık değişkenlere çevirir. Bulanık sonuç çıkarma işlemi ise, dilsel kontrol kurallarının yer aldığı kural tablosu içerisinde oluşturulur. Bu kural tablosunun çıkışı

dilsel değişkenlerdir. Çıkış birimindeki durulama birimi ise, elde edilen bu dilsel değişkenleri tekrardan sayısal değişkenlere çevirmektedir.

Kare çekme işlemleri için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı Şekil 5.21’de, silindirik çekme işlemleri için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı da Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.21. Kare çekme için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı



Şekil 5.22. Silindirik çekme için hazırlanan bulanık mantık sisteminin yapısı

Hazırlanan sistemlerdeki giriş değişkenleri, deneysel çalışmalarda kullanılan parametre değerlerinin, çıkış değişkenleri ise, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların dilsel değişkenlere çevrilerek programa aktarılmış halini temsil etmektedir. Kural tablosunda, giriş değişkenleri ile çıkış değişkenleri arasındaki bağıntılar tanımlanmıştır.

5.3.4. Bulanık mantık sisteminde kullanılan değişkenler

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 metotları kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, bulandırma metodu olarak, sistem yapısına uygunluğundan dolayı üyelik fonksiyonları metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada farklı durulama metotları üzerinde çalışılmış ve hazırlanan sisteme en uygun durulama metodunun CoM (Centre of Maximum) olduğu belirlenmiştir.

Dilsel değişkenler, gerçek değerleri bulanık değerlere çevirmek için kullanılır. Hazırlanan bulanık mantık denetleyici sistemde, giriş değişkenleri, değişken tipi ve değer aralıkları her bir parametre için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Sistemde kullanılan dilsel değişkenler ise, deneysel çalışmalarda kullanılan parametrelerle orantılı olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan sistemde kare çekme kalıpları için ayarlanan giriş değişkenleri Çizelge 5.12’de, çıkış değişkenleri ise Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Kare çekme için hazırlanan giriş değişkenleri

Değişken Numarası	Değişken İsmi	Tipi	En Küçük	En Büyük	Başlangıç Değeri	Dilsel Değişkenler
1	Kalip_Kavisi		4	12	8	kucuk buyuk
2	Malzeme		0	4	2	AA5754 DKP1110 CuZn30
3	Pres_Hizi		0	2,5	1,5	kucuk orta buyuk enbuyuk
4	Sac_Kalinligi		0	3	1,5	kucuk orta buyuk
5	Zimba_Kavisi		4	12	8	kucuk orta buyuk

Çizelge 5.13. Kare çekme için hazırlanan çıkış değişkenleri

Değişken Numarası	Değişken İsmi	Tipi	En Küçük	En Büyük	Başlangıç Değeri	Dilsel Değişkenler
1	Cekme_Kuvveti		-16762,5	115277,5	49257,5	endusuk dusuk orta buyuk enbuyuk
2	Baski_kuvveti		0	14000	10000	dusuk orta buyuk
3	Cekme_orani		1	3	1,5	endusuk dusuk orta buyuk enbuyuk

Aynı işlemler silindirik çekme kalıpları için de hazırlanmış ve giriş değişkenleri Çizelge 5.14'te, çıkış değişkenleri ise Çizelge 5.15'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Silindirik çekme için hazırlanan giriş değişkenleri

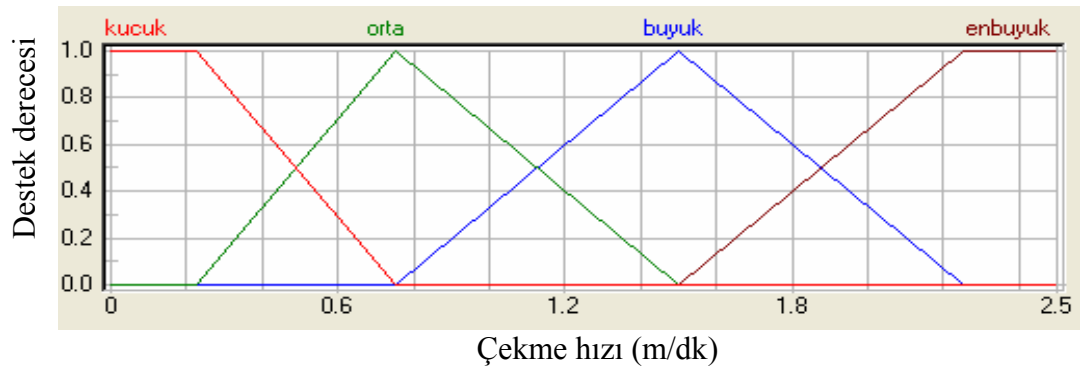
Değişken Numarası	Değişken İsmi	Tipi	En Küçük	En Büyük	Başlangıç Değeri	Dilsel Değişkenler
1	cekmebos		0	1	0,5	dusuk orta buyuk
2	hiz		0	2.5	1,5	endusuk dusuk buyuk enbuyuk
3	kalrad		4	12	8	dusuk buyuk
4	malzeme		0	3	2	AA5754 DKP1110 CuZn30
5	sackal		0	3	1,5	dusuk orta buyuk
6	zimrad		4	12	8	dusuk orta buyuk

Çizelge 5.15. Silindirik çekme için hazırlanan çıkış değişkenleri

Değişken Numarası	Değişken İsmi	Tipi	En Küçük	En Büyük	Başlangıç Değeri	Dilsel Değişkenler
1	Kuvvet		-3000	100000	50000	endusuk dusuk orta buyuk enbuyuk
2	Baski_kuvveti		0	14000	10000	dusuk orta buyuk
3	Cekme_orani		1	3	1.5	endusuk dusuk orta buyuk enbuyuk

Hazırlanan bulanık mantık sisteminde, bütün giriş ve çıkış değişkenleri için ayrı ayrı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonları ve tanımlama noktaları, dilsel değişkenler arasındaki ilişkileri düzenler. Bulanık mantık sisteminde dilsel değişkenler arasındaki geçişler, üyelik fonksiyonlarında hazırlanan eğrilere ve tanımlama noktalarına göre yapılır.

Çekme hızı için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.23’de, pres hızı için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.16’da verilmiştir.



Şekil 5.23. Çekme hızı için üyelik fonksiyonları

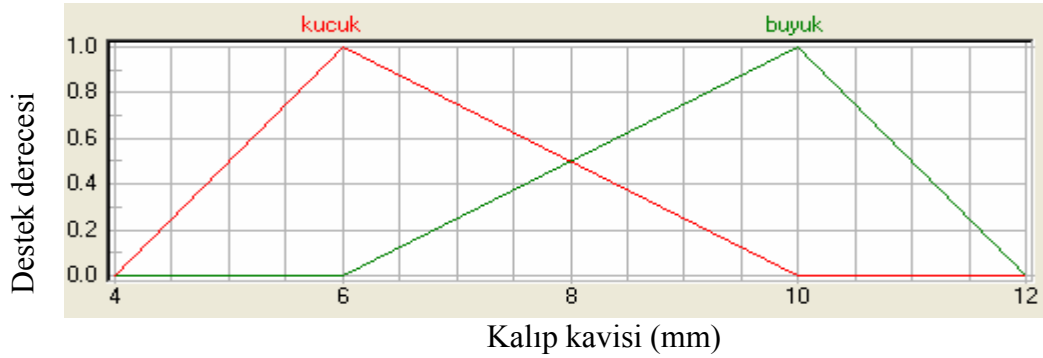
Pres hızı için oluşturulan üyelik fonksiyonları, deneysel çalışmalarda kullanılan çekme hızlarının dilsel değişkenlere aktarılmış halidir. Deneysel çalışmalarda kullanılan çekme hızları, her bir hız değişkenine (0,225-0,75-1,5-2,25) bir sözel

değişken (kucuk, orta, büyük, enbuyuk) karşılık gelecek şekilde program içerisinde tanımlanmıştır.

Çizelge 5.16. Pres hızı için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
kucuk	linear	(0, 1) (0,225, 1) (0,75, 0) (2,5, 0)
orta	linear	(0, 0) (0,225, 0) (0,75, 1) (1,5, 0) (2,5, 0)
buyuk	linear	(0, 0) (0,75, 0) (1,5, 1) (2,25, 0) (2,5, 0)
enbuyuk	linear	(0, 0) (1,5, 0) (2,25, 1) (2,5, 1)

Kalıp kavisi için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.24'te, kalıp kavisi için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.17'de verilmiştir.



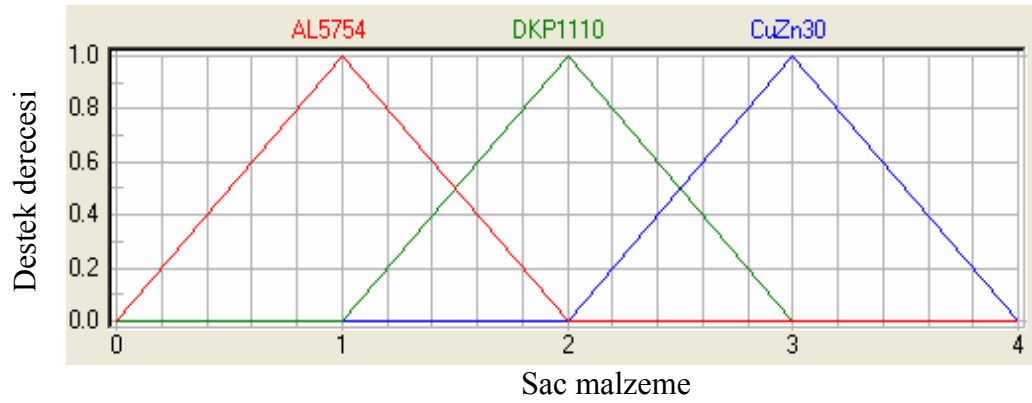
Şekil 5.24. Kalıp kavisi için üyelik fonksiyonları

Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp kavisi değerlerinin (6 mm , 8 mm), bulanık mantık sisteminde oluşturulan üyelik fonksiyonları, deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp kavisi değerlerinin dilsel değişkenlere aktarılmış halidir.

Çizelge 5.17. Kalıp kavisi için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
kucuk	linear	(4, 0) (6, 1) (10, 0) (12, 0)
buyuk	linear	(4, 0) (6, 0) (10, 1) (12, 0)

Deneysel çalışmalarda kullanılan sac malzemeler için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.25’de, sac malzemeler için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.18’de verilmiştir.



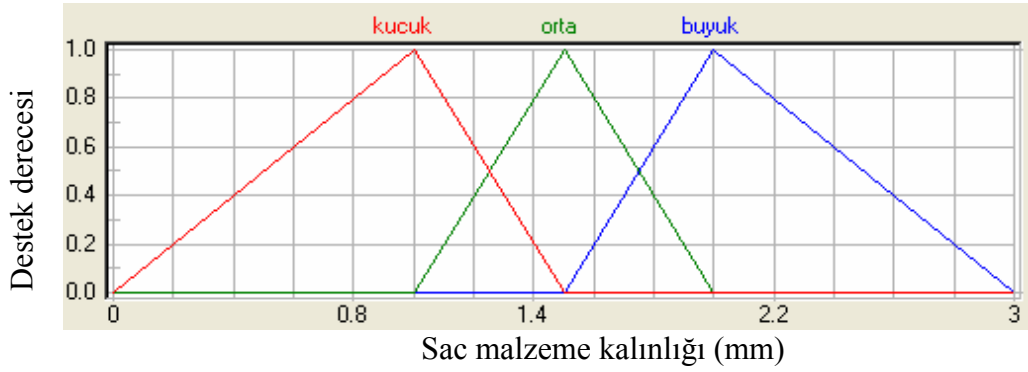
Şekil 5.25. Sac malzeme için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.18. Sac malzeme için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
AA5754	linear	(0, 0) (1, 1) (2, 0) (4, 0)
DKP1110	linear	(0, 0) (1, 0) (2, 1) (3, 0) (4, 0)
CuZn30	linear	(0, 0) (2, 0) (3, 1) (4, 0)

Deneysel çalışmalarda kullanılan sac malzemelerin tanımlanması sırasında, malzeme isimlerinin zaten dilsel ifadeler olması sebebiyle, dilsel değişken ismi olarak doğrudan sac malzeme isimleri kullanılmıştır. Bu işlem, kural tablosunun oluşturulması sırasında malzeme isimlerinin daha kolay seçilmesini sağlamıştır.

Hazırlanan bulanık mantık sisteminde, malzeme kalınlıkları için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.26’da, malzeme kalınlıkları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

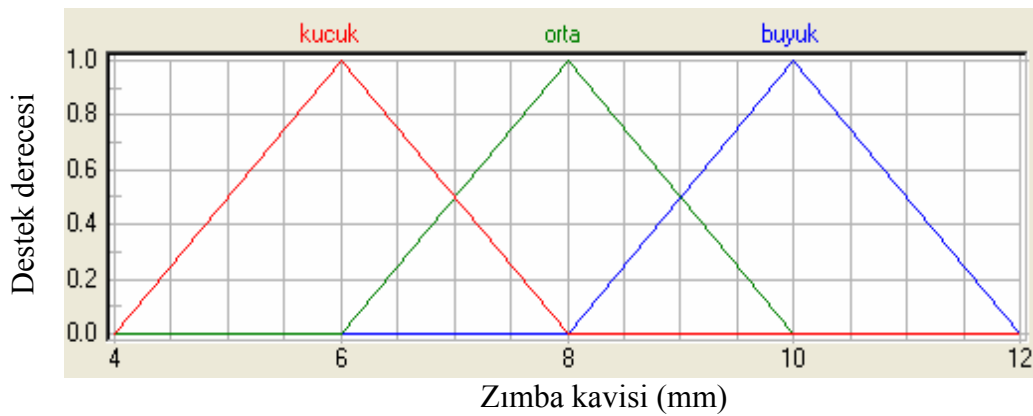


Şekil 5.26. Sac malzeme kalınlığı için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.19. Sac malzeme kalınlığı için fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
kucuk	linear	(0, 0) (1, 1) (1,5, 0) (3, 0)
orta	linear	(0, 0) (1, 0) (1,5, 1) (2, 0) (3, 0)
buyuk	linear	(0, 0) (1,5, 0) (2, 1) (3, 0)

Zımba kavisi için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.27’de, malzeme kalınlıkları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

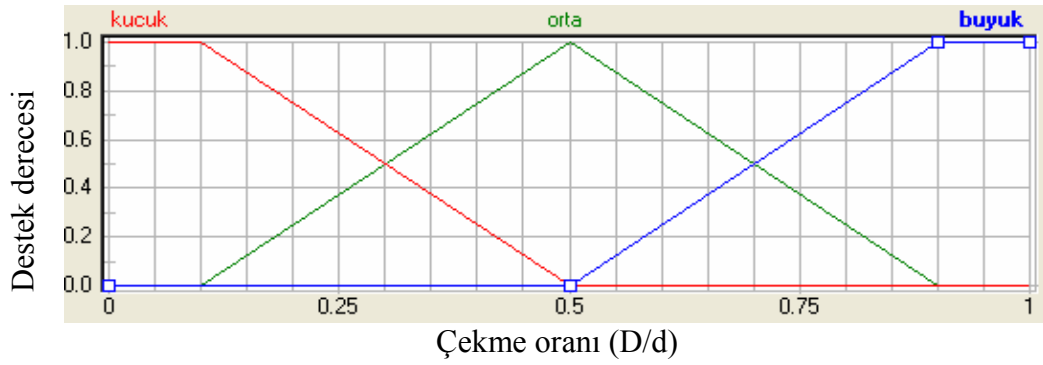


Şekil 5.27. Zımba kavisi için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.20. Zımba kavisi için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
kucuk	linear	(4, 0) (6, 1) (8, 0) (12, 0)
orta	linear	(4, 0) (6, 0) (8, 1) (10, 0) (12, 0)
buyuk	linear	(4, 0) (8, 0) (10, 1) (12, 0)

Zımba kavisi için oluşturulan üyelik fonksiyonları Şekil 5.28’de, malzeme kalınlıkları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.21’de verilmiştir.



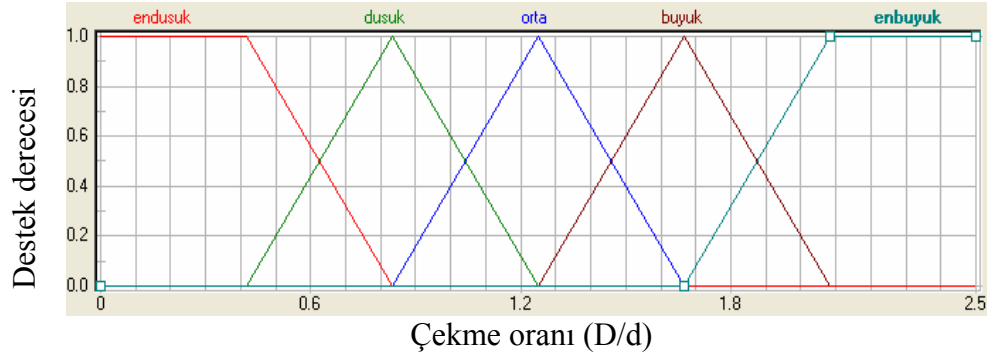
Şekil 5.28. Çekme boşluğu için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.21. Çekme boşluğu için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
kucuk	linear	(0, 1) (0,1, 1) (0,5, 0) (1, 0)
orta	linear	(0, 0) (0,1, 0) (0,5, 1) (0,9, 0) (1, 0)
buyuk	linear	(0, 0) (0,5, 0) (0,9, 1) (1, 1)

Çekme kuvveti için oluşturulan üyelik fonksiyonları, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, çekme kuvvetlerinin dilsel değişkenlere aktarılmış halidir. Bulanık mantık sistemi, giriş değişkenlerine ve kural tablolarına göre çıkış değişkenlerini yine dilsel değişkenler olarak belirlemektedir. Çekme oranları için

oluşturulan çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 5.29'da ve çekme oranları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.22'de verilmiştir.

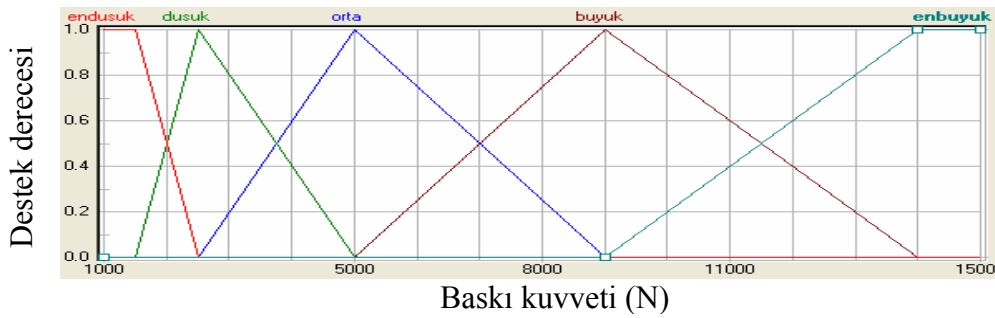


Şekil 5.29. Çekme oranları için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.22. Çekme oranları için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
endusuk	linear	(0, 1) (2,5, 0)
dusuk	linear	(0, 0) (1,25, 0)
orta	linear	(0, 0) (1,66665, 0)
buyuk	linear	(0, 0) (2,0833, 0)
enbuyuk	linear	(0, 0) (2,5, 1)

Baskı kuvveti için oluşturulan çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 5.30'da ve baskı kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

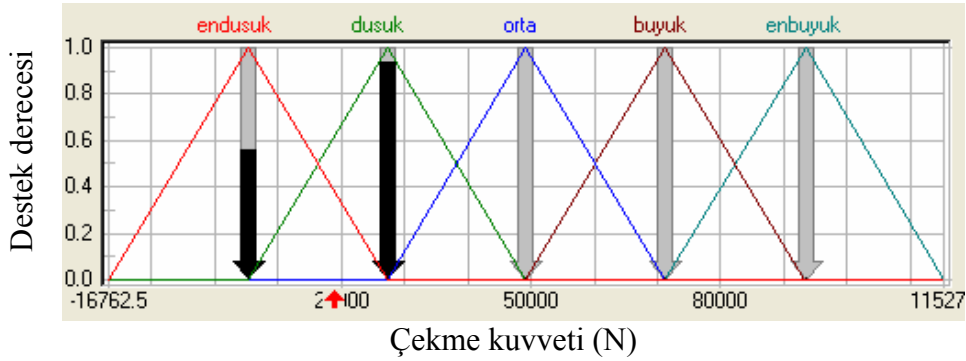


Şekil 5.30. Baskı kuvveti için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.23. Baskı kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
endusuk	linear	(1000, 1) (1500, 1) (2500, 0) (15000, 0)
dusuk	linear	(1000, 0) (1500, 0) (2500, 1) (5000, 0) (15000, 0)
orta	linear	(1000, 0) (2500, 0) (5000, 1) (9000, 0) (15000, 0)
buyuk	linear	(1000, 0) (5000, 0) (9000, 1) (14000, 0) (15000, 0)
enbuyuk	linear	(1000, 0) (9000, 0) (14000, 1) (15000, 1)

Çekme kuvveti için oluşturulan çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 5.31’de ve çekme kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları Çizelge 5.24’te verilmiştir.



Şekil 5.31. Çekme kuvveti için üyelik fonksiyonları

Çizelge 5.24. Çekme kuvveti için üyelik fonksiyonlarının tanımlama noktaları

Değişken İsmi	Şekli	Tanımlama Noktaları (x, y)
endusuk	linear	(-16762,5, 0) (5200, 1) (27250, 0) (115277,5, 0)
dusuk	linear	(-16762,5, 0) (5200, 0) (27250, 1) (49257,5, 0) (115277,5, 0)
orta	linear	(-16762,5, 0) (27250, 0) (49257,5, 1) (71265, 0) (115277,5, 0)
buyuk	linear	(-16762,5, 0) (49257,5, 0) (71082,5, 1) (93270, 0) (115277,5, 0)
enbuyuk	linear	(-16762,5, 0) (71265, 0) (93452,5, 1) (115277,5, 0)

5.3.5. Kural tablosu

Kural tablosu bulanık mantık için kontrol parametrelerini içerir. Dilsel değişkenlerin birbirleri arasındaki ilişkileri ve destek dereceleri (Degree of Support - DoS) kural tablosunda oluşturulur. Hazırlanan bulanık mantık sistemi, parametre değerleri arasındaki ilişkiyi belirlenen bu destek derecelerine göre tahmin etmektedir. Kare çekme için hazırlanan bulanık sistemde 882, silindirik çekme için hazırlanan bulanık sistemde de 1170 adet kural tanımlanmıştır. Kural tablosu içerisinde, EĞER bölümünde dilsel değişkenler, O ZAMAN bölümünde ise giriş dilsel değişkenlerinin çıkış dilsel değişkenleri ile ilişkisi ve destek dereceleri (DoS) verilmektedir. Hazırlanan bulanık sistemler için oluşturulan kural tabloları EK-1’de verilmiştir. Kural tablosu için örnek gösterim ise Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Kural tablosu için örnek gösterim

EĞER					O ZAMAN	
KalipK avisi	Malzeme	Pres_Hizi	Sac Kalinligi	Zimba Kavisi	DoS	Cekme Kuvveti
kucuk	AA5754	kucuk	kucuk	kucuk	0,79	endusuk
kucuk	AA5754	kucuk	kucuk	kucuk	0,21	dusuk
kucuk	AA5754	orta	kucuk	kucuk	0,82	endusuk
kucuk	AA5754	orta	kucuk	kucuk	0,18	dusuk

6. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

6.1. Çekme Kuvveti

Silindirik ve kare çekme kalıplarında, DKP1110 Çelik, CUZN30 Pirinç ve AA5754 Alüminyum sac malzemeler üzerinde, farklı sac malzeme kalınlıkları, dişi kalıp ve zımba kavisleri, çekme boşlukları, pres hızları kullanılarak yapılan toplam 1512 deneyden elde edilen sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında, yük hücresinden alınan kuvvet değerleri, veri toplama kartı aracılığı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında çalışan LoadMon ticari yazılımı sayesinde elde edilen bu verilerin grafik olarak görüntülenmesi ve farklı veri formatlarında (“txt”, “xls”) kaydedilmesi sağlanmıştır. Çekme parametrelerinin çekme kuvveti üzerindeki etkileri grafikler halinde verilmiştir.

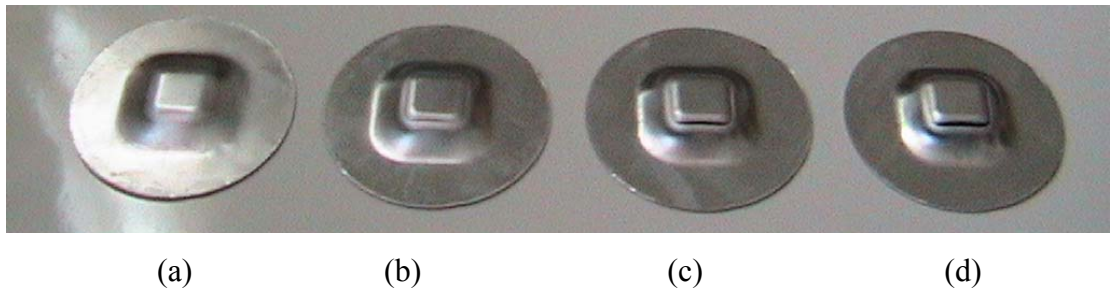
Genel olarak bakıldığında; tüm deneyler için sac malzeme kalınlığındaki artışla doğru orantılı olarak çekme kuvveti değerinin arttığı, buna karşın çekme hızının, kalıp ve zımba kavis değerlerinin artması ile birlikte çekme kuvveti değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle sac malzeme kalınlığı 2 mm için çekme kuvveti değerleri diğer bileşenlere göre daha yüksek olarak ölçülmüştür.

6.1.1. Çekme hızının çekme kuvvetine ve çekme oranlarına etkileri

Deneysel çalışmalar için belirlenen çekme hızlarında (0,225 m/dk, 0,750 m/dk, 1,500 m/dk, 2,250 m/dk) yapılan çekme deneyleri sonucunda, çekme hızının çekilebilirlik oranına etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler ve analiz işlemlerinde, bütün çekme parametreleri için çekme hızları tekrar edilmiştir. Çekme hızının etkilerinin tam olarak tespit edilebilmesi amacıyla, her bir malzeme için farklı çekme derinlikleri alınmıştır. AA5754 Alüminyum malzemesinin kare çekme işlemi için bu derinlik 12 mm, silindirik olarak çekilmesinde ise, 14 mm olarak alınmıştır. Çekme derinliği değerleri, CuZn30 Pirinç ve DKP1110 malzemelerin kare olarak çekilmesi

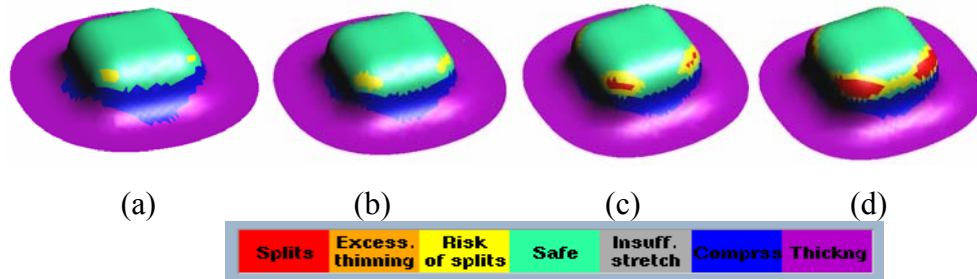
sırasında 20 mm, silindirik olarak çekilmesi sırasında ise 38 mm olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu çekme derinlikleri için, her bir sac malzeme kalınlığına göre sadece çekme hızları değiştirilerek yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çekme hızlarındaki değişimin malzemelerin çekilebilirlik sınırına etkileri belirlenmiştir.

1 mm kalınlığındaki Alüminyum (AA5754) malzemelerin, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve farklı çekme hızlarında çekilmesinden elde edilen kare çekme ürünler Resim 6.1'de ve aynı çekme parametreleri ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.1'de verilmiştir.



Resim 6.1. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

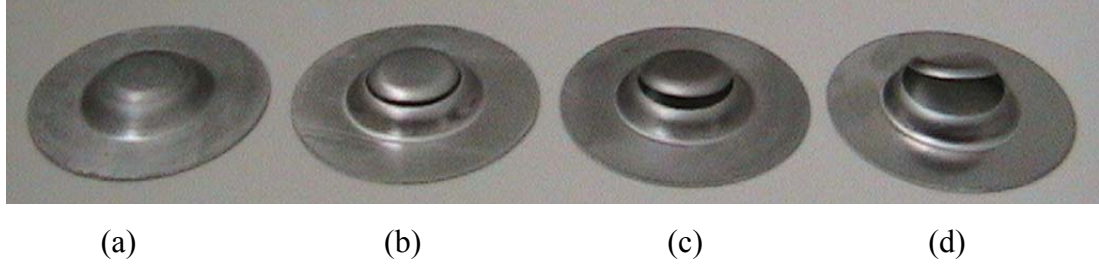
- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk



Şekil 6.1. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen analiz sonuçları

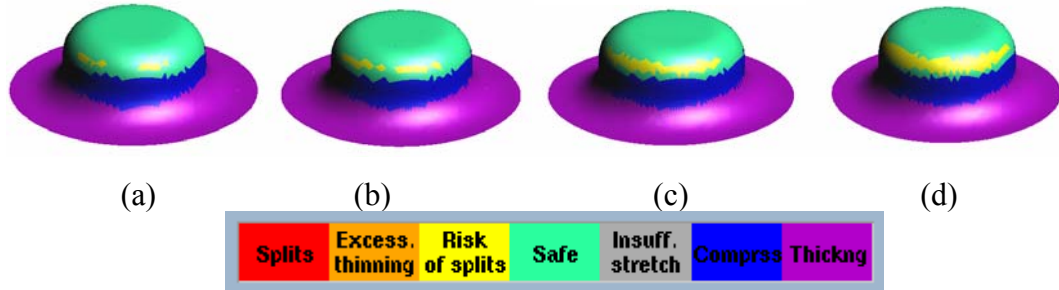
- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk

1 mm kalınlığındaki Alüminyum (AA5754) malzemeler için, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve farklı çekme hızlarında yapılan deneysel çalışmalardan alınan silindirik çekme ürünler Resim 6.2’de ve yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.2’de verilmiştir.



Resim 6.2. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk



Şekil 6.2. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen analiz sonuçları

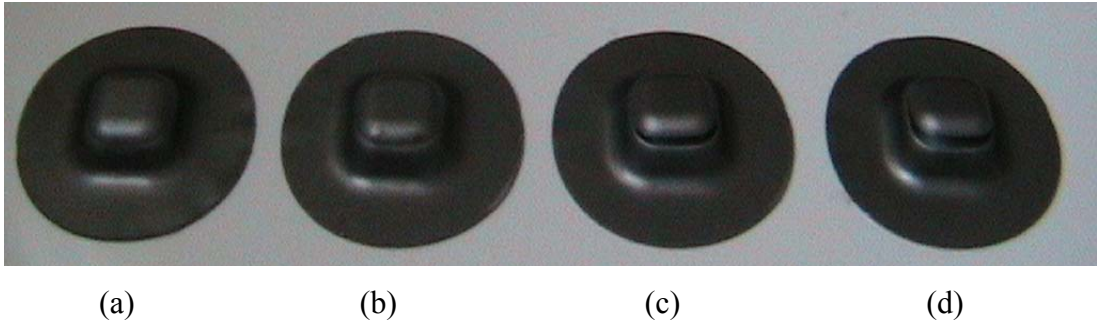
- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk

Farklı çekme hızlarına yapılan deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanılarak, her deney şartı için ayrı ayrı çekme yükseklikleri belirlenmiştir. AA5754 malzeme için silindirik çekme işlemlerinde, 0,225 m/dk çekme hızında, 14 mm olan çekme yüksekliğinin, kare çekme işlemlerinde 12 mm’ye düştüğü belirlenmiştir. Artan çekme hızlarında ise çekme yüksekliklerinin düştüğü,

malzemelerin olması gereken çekme değerlerine ulaşmadan hızlı deformasyon meydana gelerek yırtıldığı tespit edilmiştir.

Analiz programlarından elde edilen sonuçlar, deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında, çekme derinliklerinin, yırtılma noktalarının ve et kalınlıklarının büyük benzerlik gösterdiği ve analiz programından elde edilen sonuçların AA5754 malzemenin silindirik ve kare çekme işlemlerinde pratik olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

DKP1110 malzemeler için, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve farklı çekme hızlarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen kare çekme ürünler Resim 6.3'te, silindirik çekme ürünler Resim 6.4'te verilmiştir.



Resim 6.3. DKP1110 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk



(a)

(b)

(c)

(d)

Resim 6.4. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

a) $V=0,225$ m/dk

b) $V=0,75$ m/dk

c) $V=1,5$ m/dk

d) $V=2,25$ m/dk

Pirinç (CuZn30) malzemeler için, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve farklı çekme hızlarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen kare çekme ürünler Resim 6.5’de ve silindirik çekme ürünlerde Resim 6.6’da verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

(d)

Resim 6.5. CuZn30 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

a) $V=0,225$ m/dk

b) $V=0,75$ m/dk

c) $V=1,5$ m/dk

d) $V=2,25$ m/dk



(a)

(b)

(c)

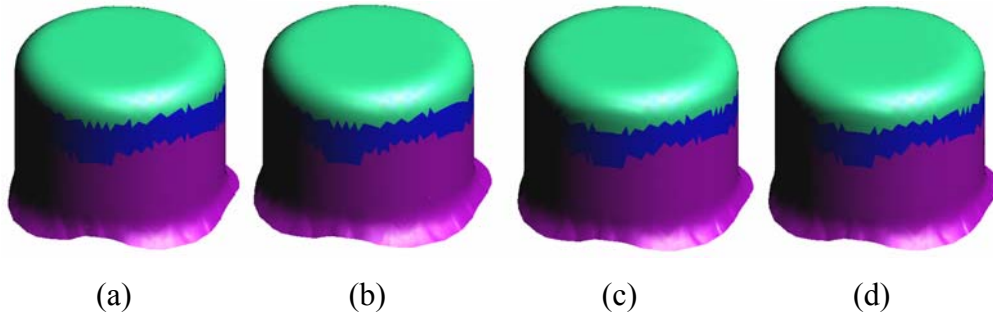
(d)

Resim 6.6. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk

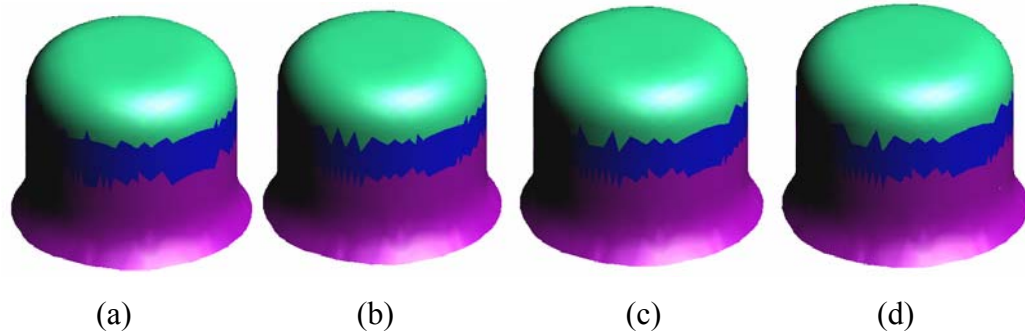
DKP1110 ve CuZn30 malzemeler için silindirik çekme işlemlerinde 0,225 m/dk çekme hızında, 38 mm olarak tespit edilen çekme yüksekliklerinin, kare çekme işlemlerinde 14 mm'ye düştüğü belirlenmiştir. Çekme hızlarının daha yüksek değerlerinde kare çekme işlemlerinde malzemedeki yırtılmaların arttığı belirlenmiştir. Çekme hızının malzeme üzerinde oluşan kırışmalara etkisi ise, çekme yükseklikleri daha fazla olduğu için silindirik çekme işlemlerinde daha net olarak gözlemlenmiştir. Çekme hızının artmasının, sac malzeme üzerinde oluşan kırışmaları artırdığı yapılan deneysel çalışma sonuçlarından anlaşılmaktadır.

DKP1110 malzemeler için, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve farklı çekme hızlarında yapılan analiz çalışmalarının sonuçları Şekil 6.3'de ve CuZn30 malzemeler için, aynı çekme parametrelerinde yapılan analiz çalışmalarının sonuçları Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.3. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk



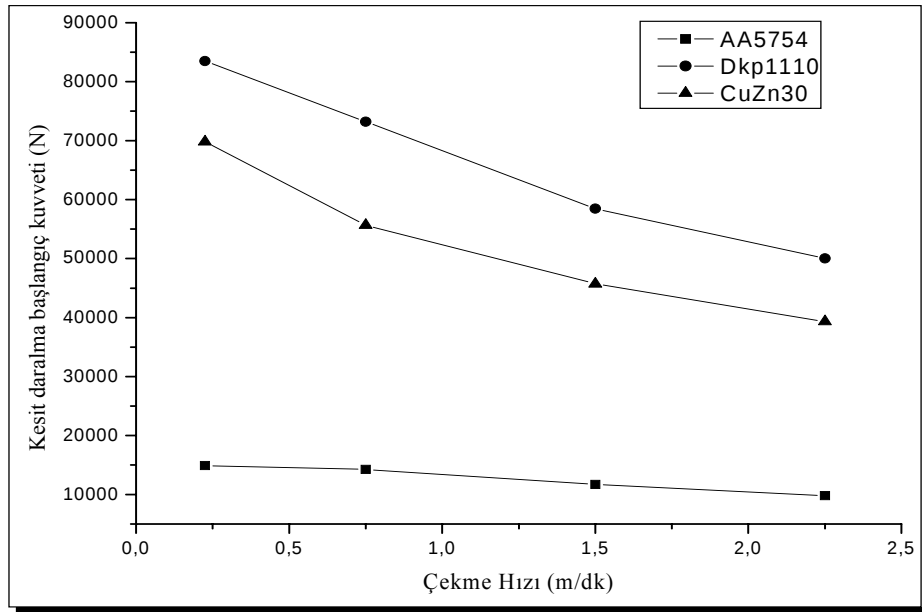
Şekil 6.4. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı çekme hızlarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları

- a) $V=0,225$ m/dk
- b) $V=0,75$ m/dk
- c) $V=1,5$ m/dk
- d) $V=2,25$ m/dk

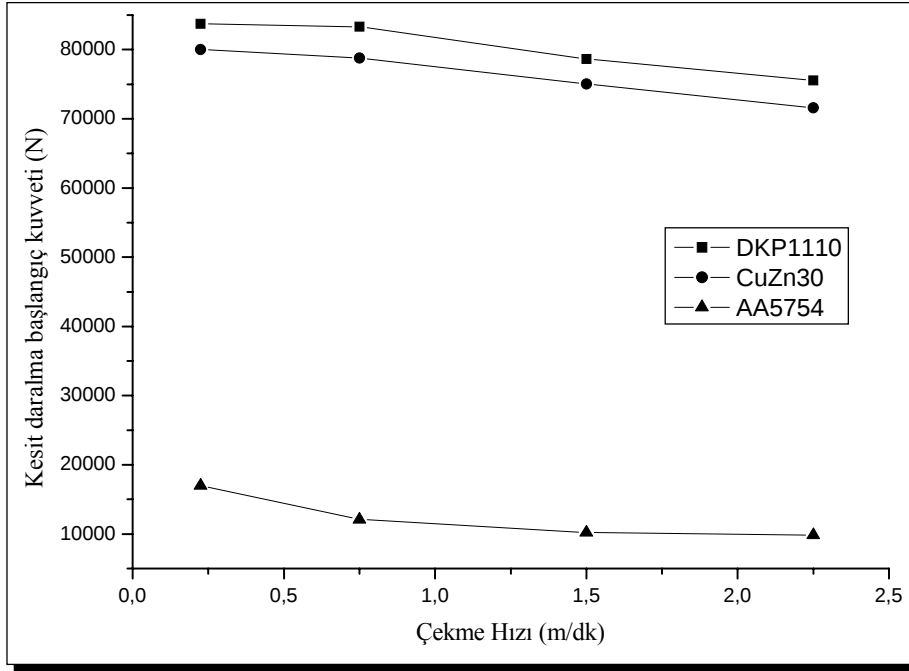
Analiz programlarından elde edilen sonuçlar, deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında, deneysel sonuçlardaki sac malzeme yer değiştirmeleri ile analizlerden elde edilen sonuçlardaki sac malzeme yer değiştirme şekillerinin ve miktarlarının aynı olduğu ve CuZn30 ve DKP1110 malzemeler için de analiz programlarının güvenilir sonuçlar sunduğu tespit edilmiştir.

Farklı çekme hızlarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde; çekme hızındaki artışla doğru orantılı olarak, çekme kuvvetlerinin düştüğü görülmüştür. Çekme hızının artan değerlerinde ise, çekilebilirlik oranlarının düştüğü, yırtılma, ve kırışmaların daha çok meydana geldiği anlaşılmıştır. 0,225 m/dk çekme hızında, çekme kuvvetleri en yüksek değerlerini (Şekil 6.5, Şekil 6.6) almasına rağmen, diğer çekme hızlarına oranla en düzenli çekme işlemlerinin bu hızda elde edildiği sac kalınlığı incilmesi ve kırışmalar incelenerek tespit edilmiştir.

Kare çekme kalıplarında, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde ve 1 mm sac malzeme kalınlığında, farklı çekme hızlarının kesit daralma başlangıç kuvvetine etkileri Şekil 6.5'te, silindirik çekme kalıplarında aynı parametre değerlerinin ve farklı çekme hızlarının kesit daralma başlangıç kuvvetine etkileri ise Şekil 6.6'da verilmiştir.



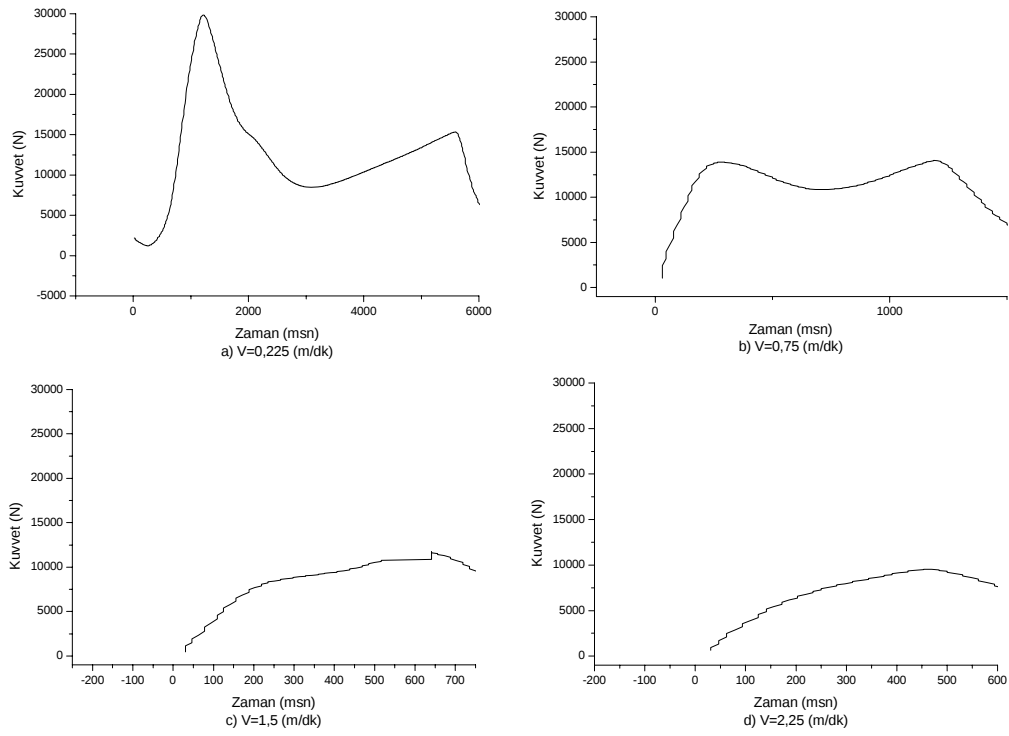
Şekil 6.5. Kare çekme kalıplarında farklı çekme hızlarının çekme kuvvetine etkileri



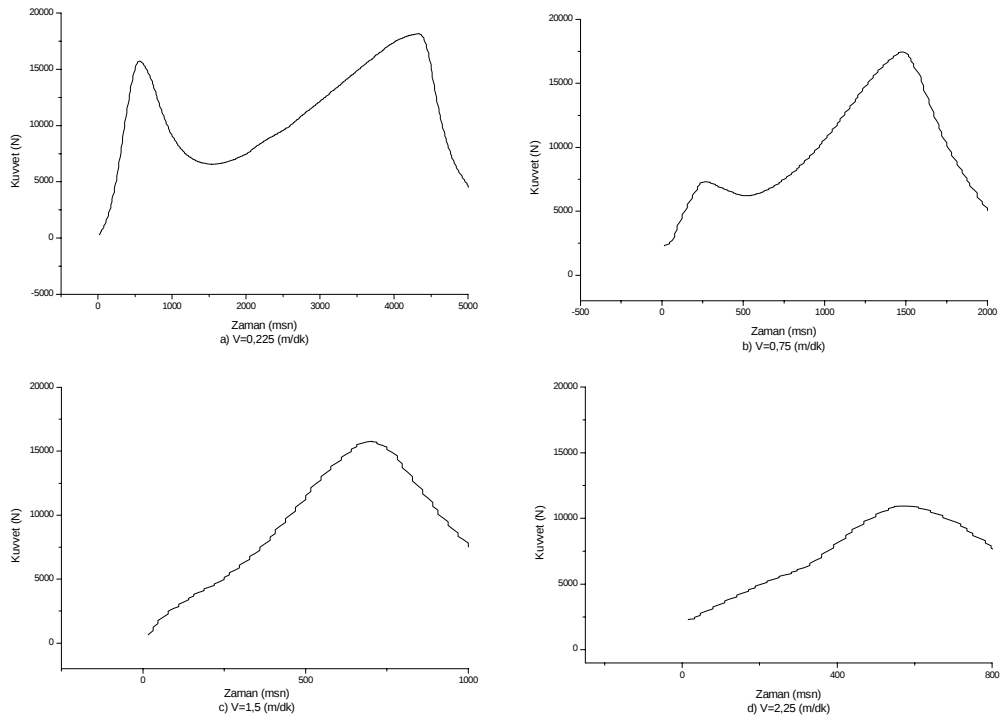
Şekil 6.6. Silindirik çekme kalıplarında farklı çekme hızlarının çekme kuvvetine etkileri

Yukarıdaki çekme hızına göre elde edilen çekme kuvvetleri incelendiğinde silindirik ve kare çekmelerde DKP malzemesi çekilirken en fazla kuvvetin olduğu görülmektedir. Pirinç malzemesinin çekilmesi esnasında oluşan kuvvetlerde DKP malzemesine göre az olmasına rağmen yakın değerler görülmüştür. En az kuvvet, Alüminyum sac malzemesinin çekilmesi esnasında oluşmuştur.

AA5754 malzemenin, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde, 1 mm sac malzeme kalınlığında ve farklı çekme hızlarında kare çekme işlemi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği Şekil 6.7’de, silindirik çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman kuvvet grafiği de Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.7. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği



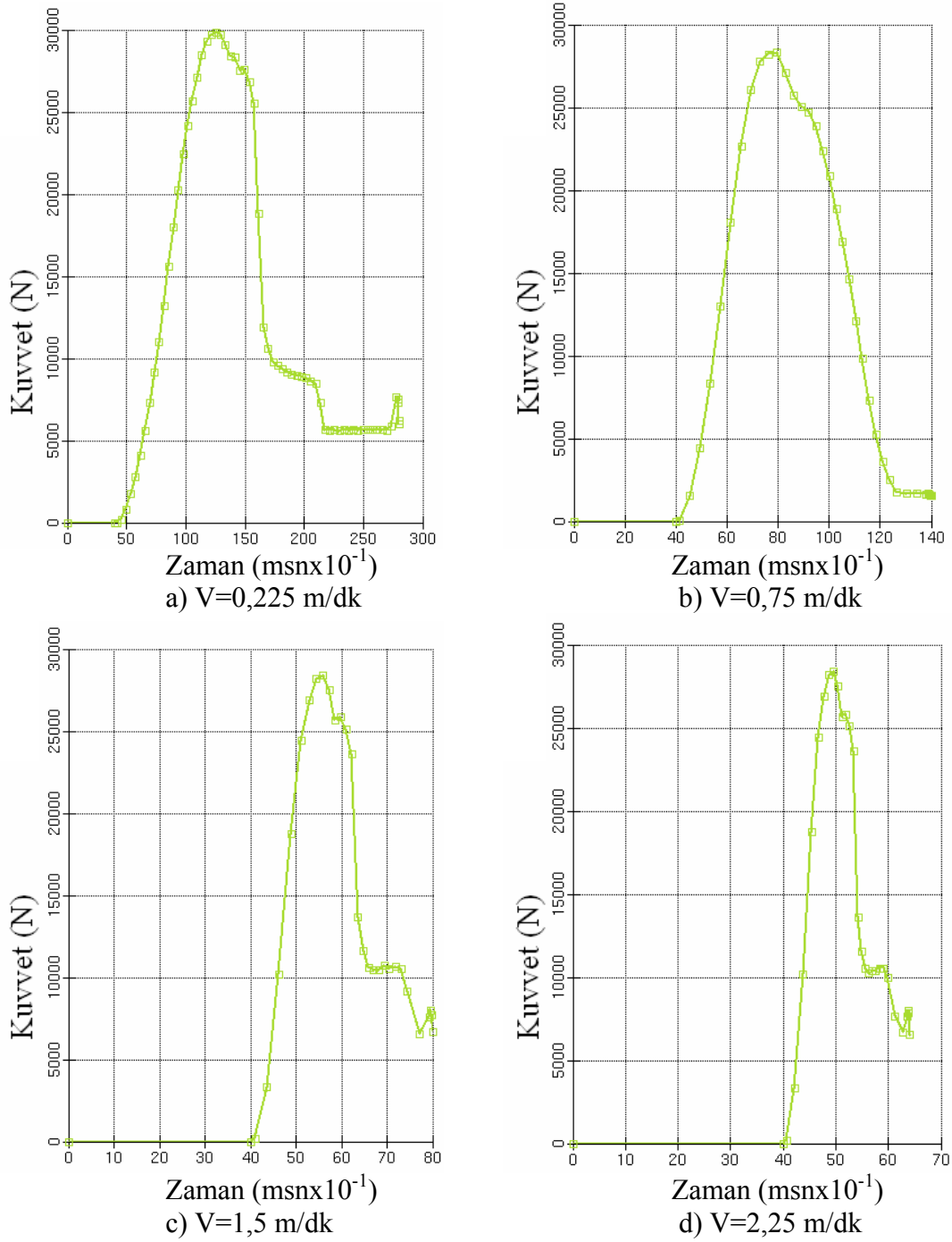
Şekil 6.8. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde eğilim çizgisinde iki adet tepe noktası olduğu görülmektedir. Birinci nokta sac malzemesinin kesilme kuvvetini, ikinci nokta ise çekme kuvvetini göstermektedir. İkinci noktanın zaman değeri çekme hızıyla çarpıldığında sac malzemesinin kesit daralmasına başladığı çekme mesafesi bulunabilir. Bu değer ideal çekme hızının belirlenmesinde kullanılmıştır. Çizelge 6.1’de çekme hızlarına göre kesit daralmasının başlama mesafesi verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kesit daralması başlama mesafesi

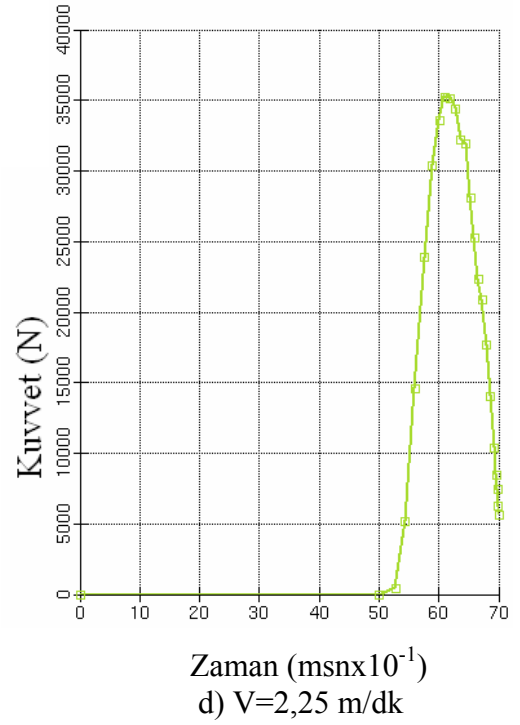
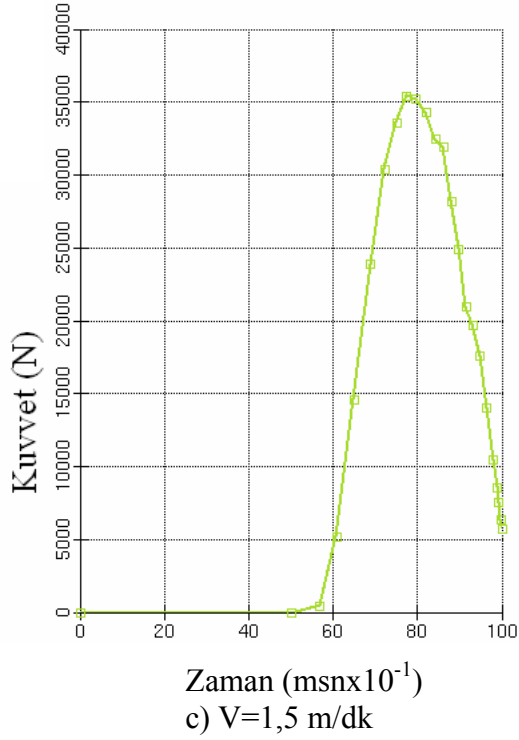
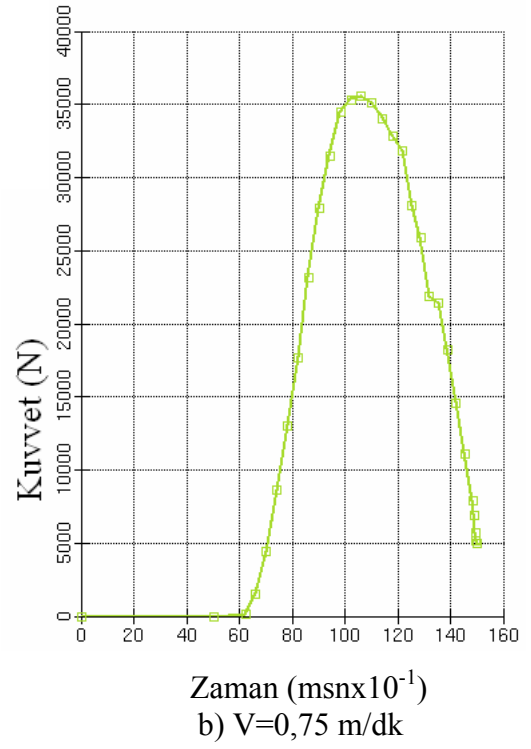
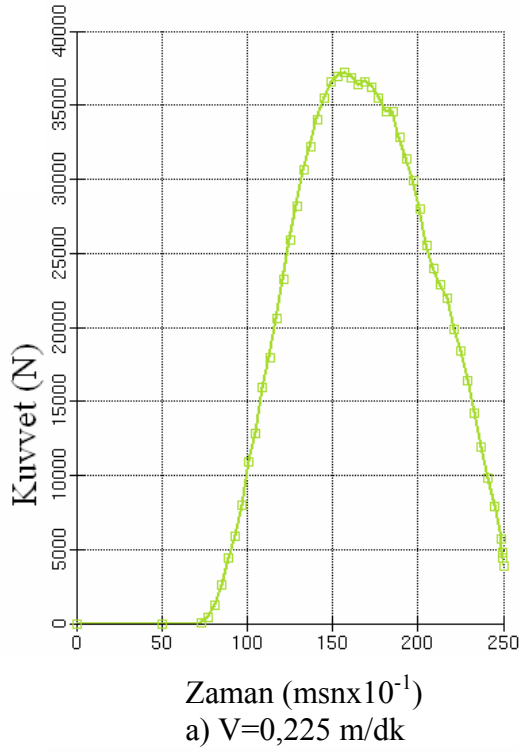
Kalıp Kavisi (mm)	Zımba Kavisi (mm)	Çekme Boşluğu (mm)	Sac Kalınlığı (mm)	Pres Hızı (m/dk)	Malzeme	Çekme Kuvveti (N)	Kesit daralması başlama mesafesi (mm)
10	8	0,2	1	0,225	AA5754	8925,67	12,555
10	8	0,2	1	0,750	AA5754	7774,83	11,61
10	8	0,2	1	1,500	AA5754	6326,1	10,98
10	8	0,2	1	2,250	AA5754	6208,01	9,855
10	8	0,2	1	0,225	DKP1110	64706,36	21,276
10	8	0,2	1	0,750	DKP1110	58933,41	21,105
10	8	0,2	1	1,500	DKP1110	53914,06	20,7
10	8	0,2	1	2,250	DKP1110	43093,15	20,4525
10	8	0,2	1	0,225	CuZn30	56637,63	20,3715
10	8	0,2	1	0,750	CuZn30	51528,68	20,1825
10	8	0,2	1	1,500	CuZn30	37570,99	20,115
10	8	0,2	1	2,250	CuZn30	34221,99	19,7775

Yukarıda grafikler halinde verilen deneysel sonuçlar ile Autoform programında yapılan analizlerin kıyaslamaları aşağıda her bir malzeme için ayrı ayrı verilmiştir. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 6.9’da verilmiştir.



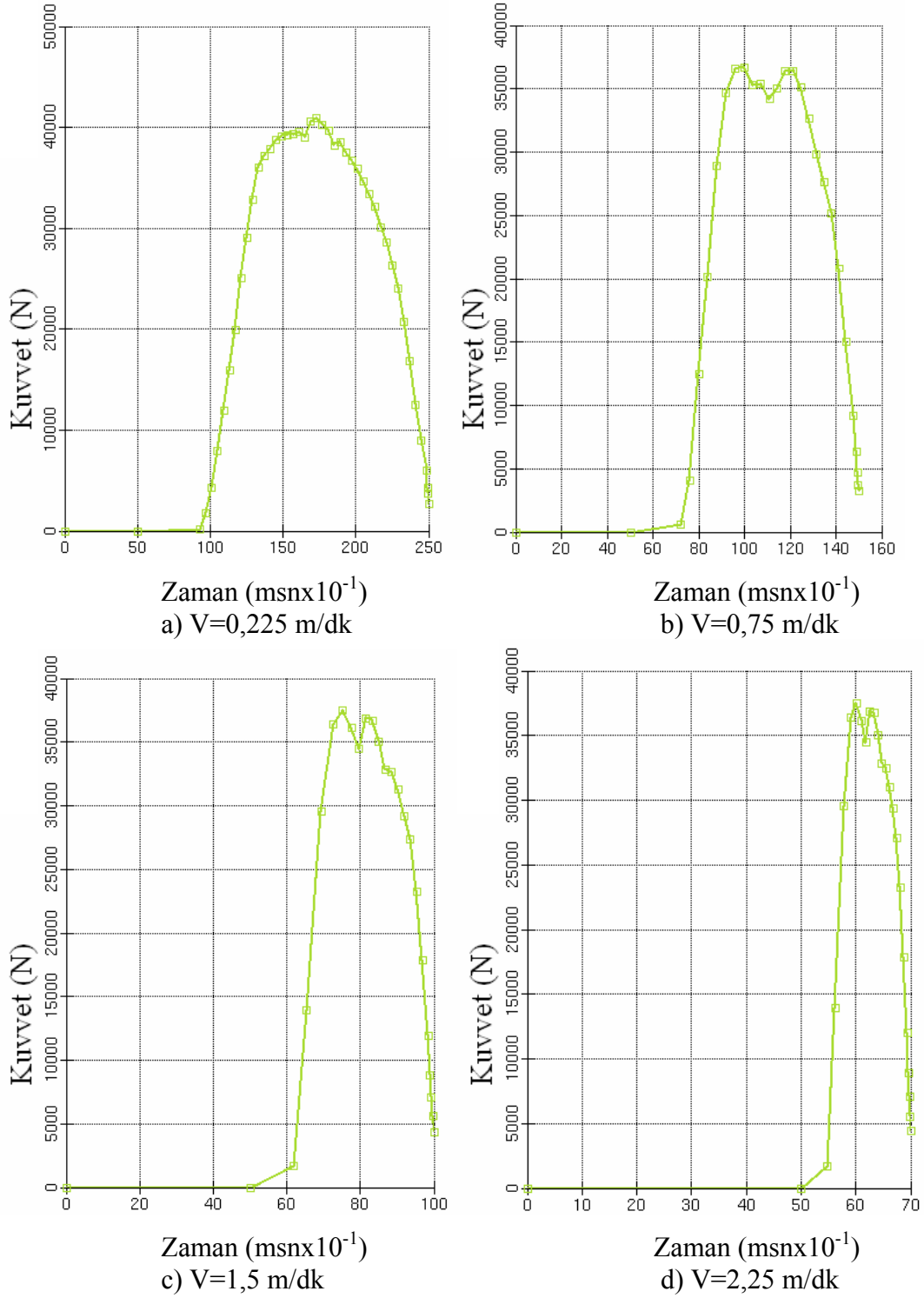
Şekil 6.9. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 6.10'de verilmiştir.



Şekil 6.10. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri Şekil 6.11’de verilmiştir.

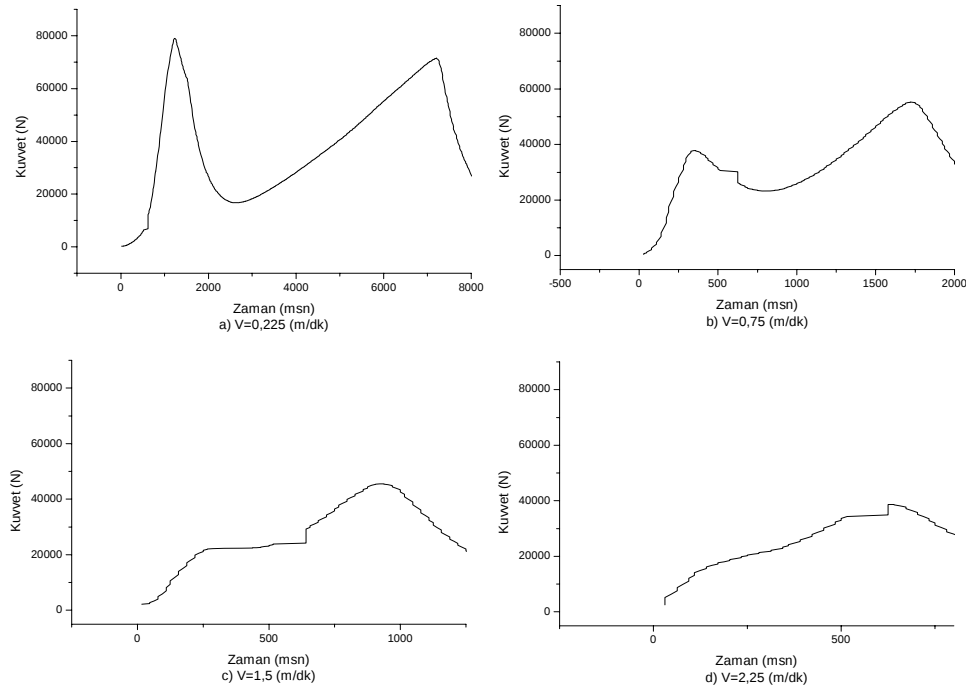


Şekil 6.11. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında yapılan analizlerinden elde edilen kuvvet-zaman grafikleri

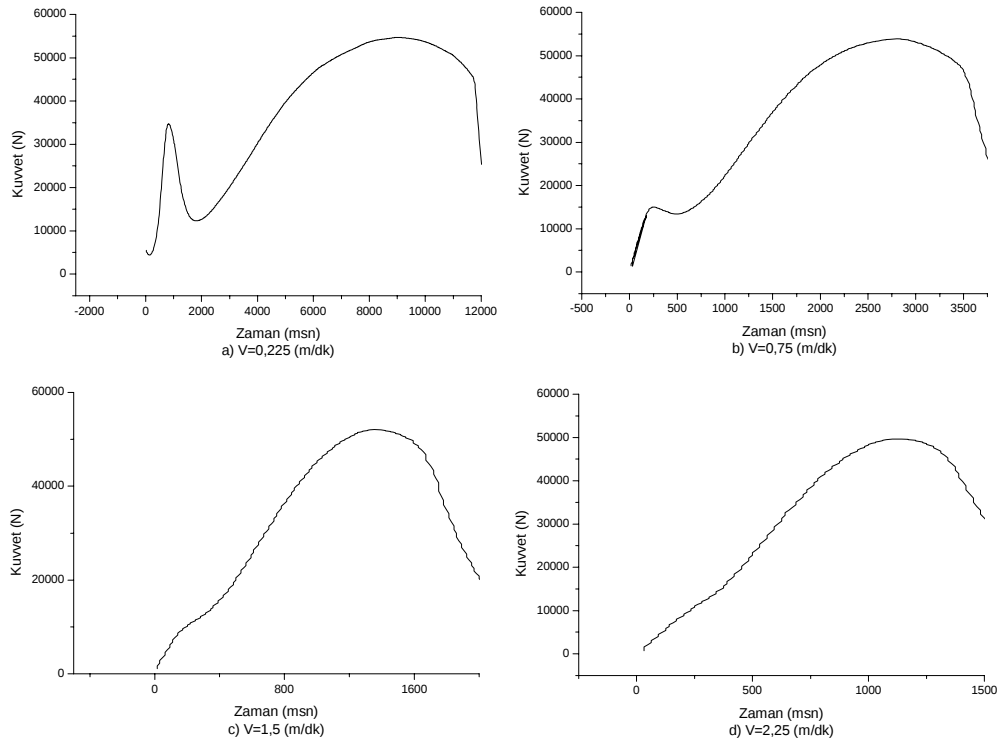
Analiz programlarından elde edilen kuvvet zaman grafikleri incelendiğinde, yapılan analiz işlemi bir kesme süreci içermediğinden dolayı, çekme deneylerinde çıkan

birinci tepe noktasının analizlerden elde edilen kuvvetlerde çıkmadığı görülmüştür. CuZn30 ve DKP 1110 malzemelerin kuvvet grafikleri incelendiğinde, bu kuvvet grafiklerinin üst noktasında küçük bir tepe olduğu fark edilmektedir. Bu küçük tepe noktasının, çekme derinliğinin fazla olmasından dolayı, çekme işleminin sonuna doğru zımba kavisinin ölçüsüne bağlı olarak sac malzemenin baskı plakasından kurtulması sonucu, baskı kuvvetinin ortadan kalkmasıyla oluşan kuvvet düşmesi olduğu tespit edilmiştir. Analiz çalışmaları sonucunda elde edilen zaman-kuvvet grafiklerinin şekil olarak deneysel çalışmalarda elde edilen grafiklerle benzer görünmesine rağmen, verdiği kuvvet değerleri incelendiğinde, bu programların çekme kuvvetlerinin ölçümünde deneysel çalışmalardan elde edilen grafiklerle uyumadığı görülmüştür.

CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği Şekil 6.12’de, silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği de Şekil 6.13’te verilmiştir.

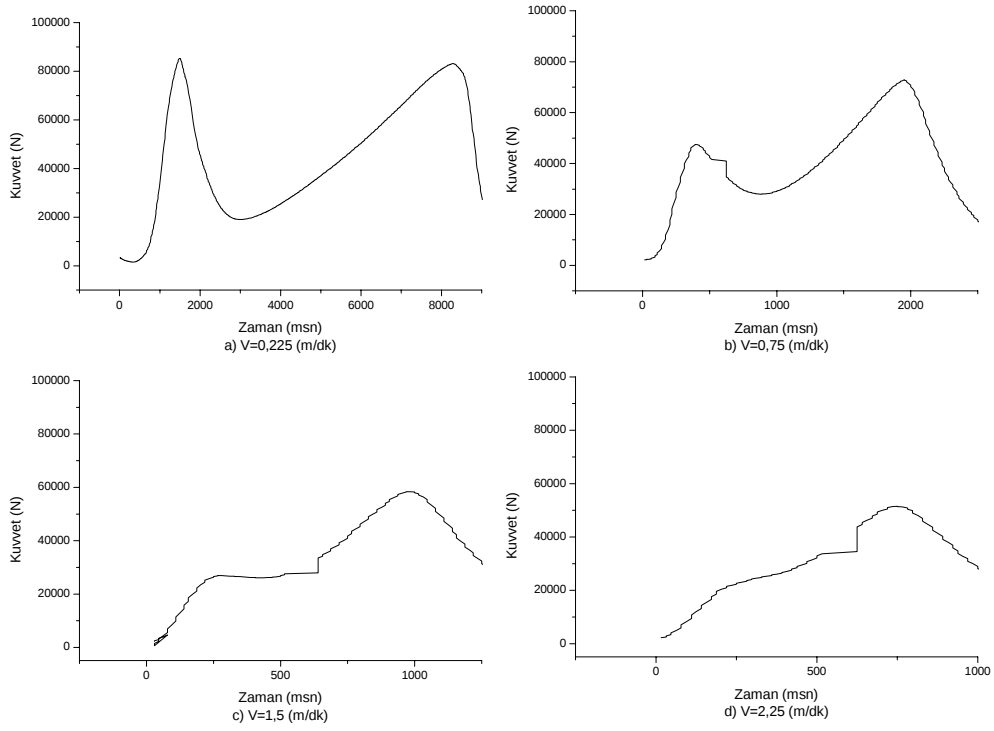


Şekil 6.12. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

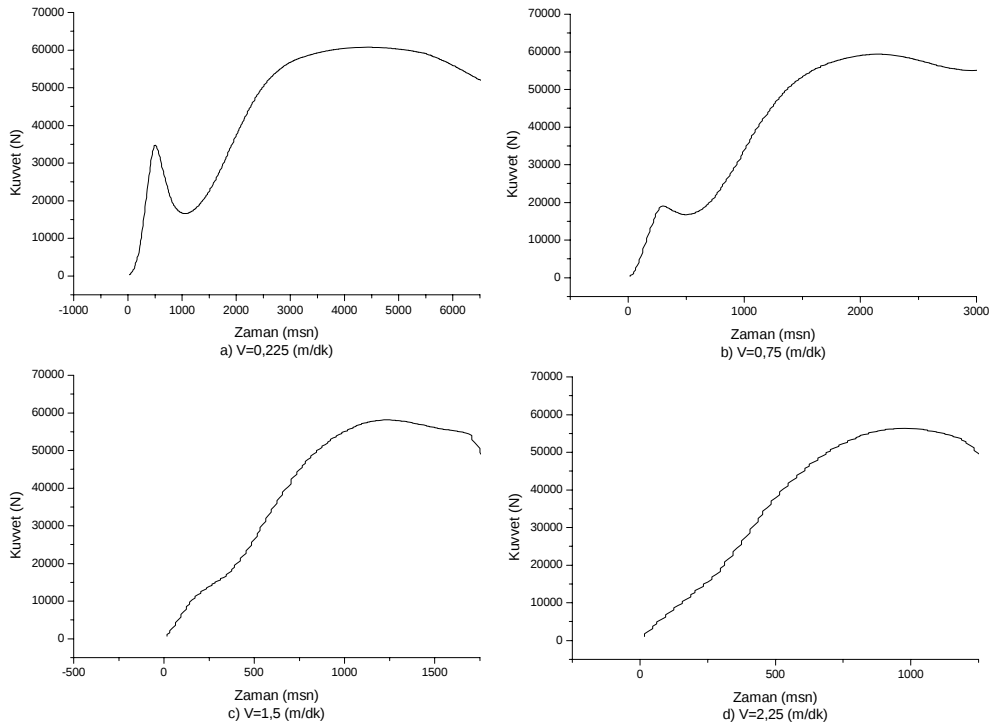


Şekil 6.13. CuZn30 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği Şekil 6.14'te, silindirik çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman kuvvet grafiği de Şekil 6.15'de verilmiştir.



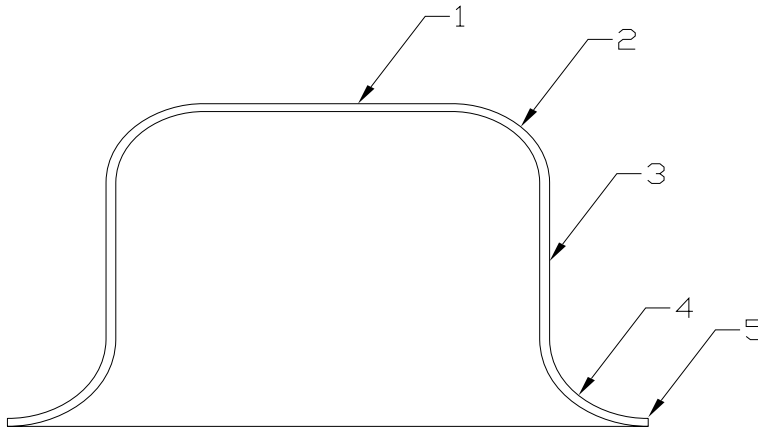
Şekil 6.14. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında kare olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği



Şekil 6.15. DKP1110 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

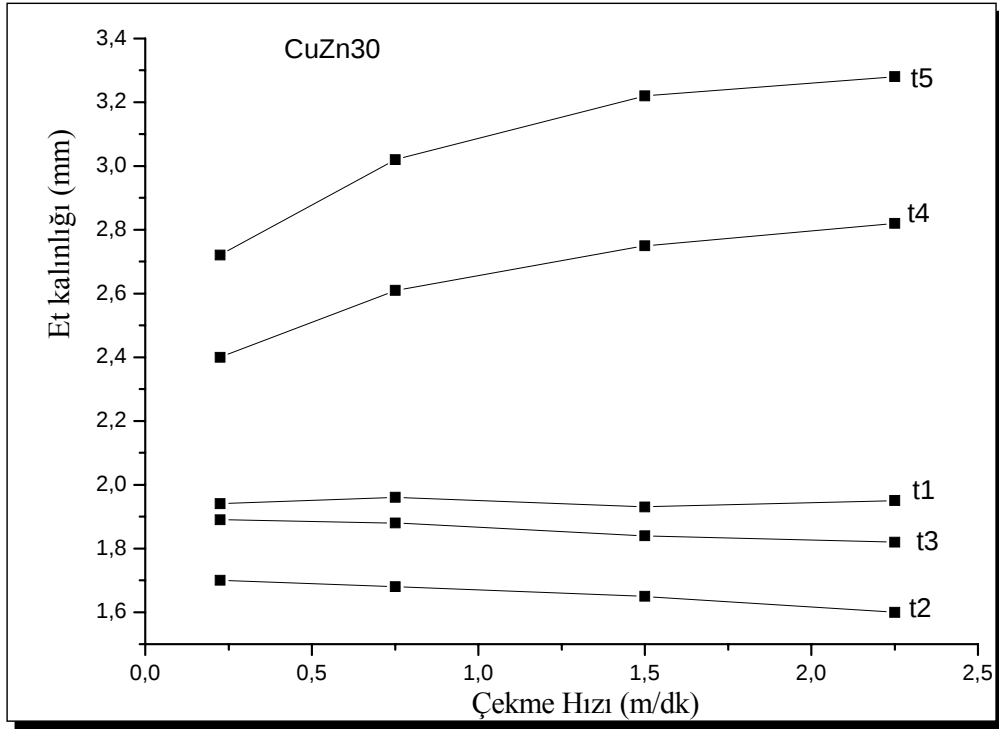
Deneysel çalışmalar sırasında yük hücresi yardımıyla ölçülen çekme kuvvetleri incelendiğinde DKP1110 ve CuZn30 malzemeler için 0,750–2,225 m/dk çekme hızı aralığında en büyük çekme kuvveti değerlerinin sürekli düşüş gösterdiği, 0,225-0,750 m/dk çekme hızı aralığında ise değişkenlik gösterdiği görülmüştür. AA5754 malzeme için ise, çekme hızının artan değerlerine karşılık en büyük çekme kuvvetlerinin sürekli olarak düştüğü belirlenmiştir.

Farklı pres hızlarında çekilen ürünler, eksene dik olarak kesilmiş ve 5 farklı noktadan (Şekil 6.16) et kalınlığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

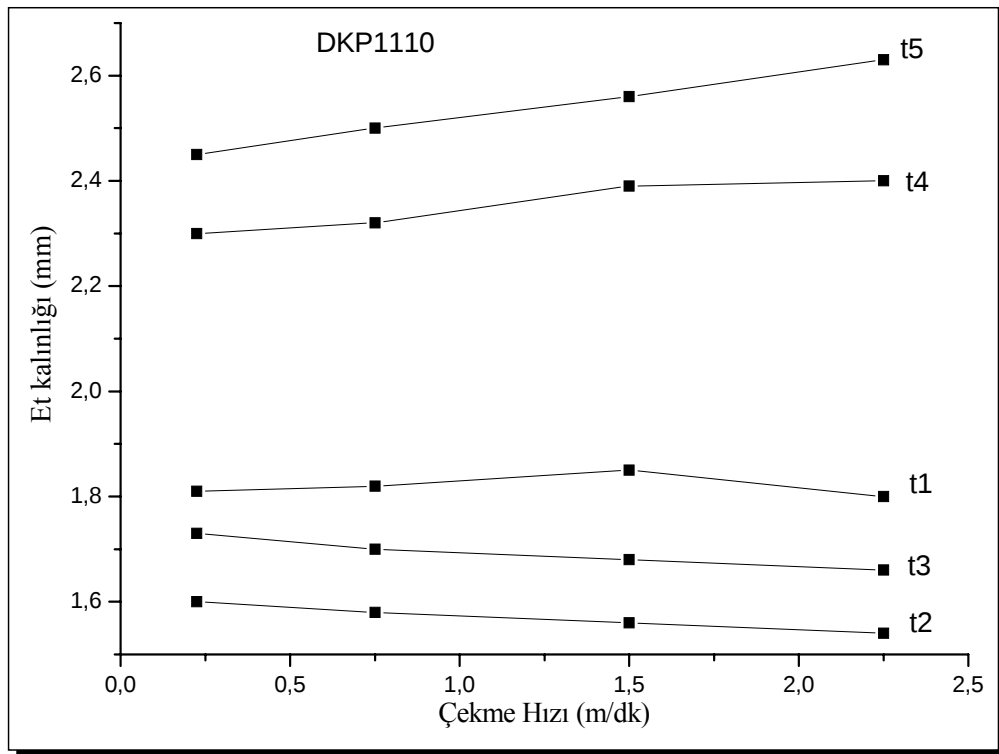


Şekil 6.16. Et kalınlığı ölçüm noktaları

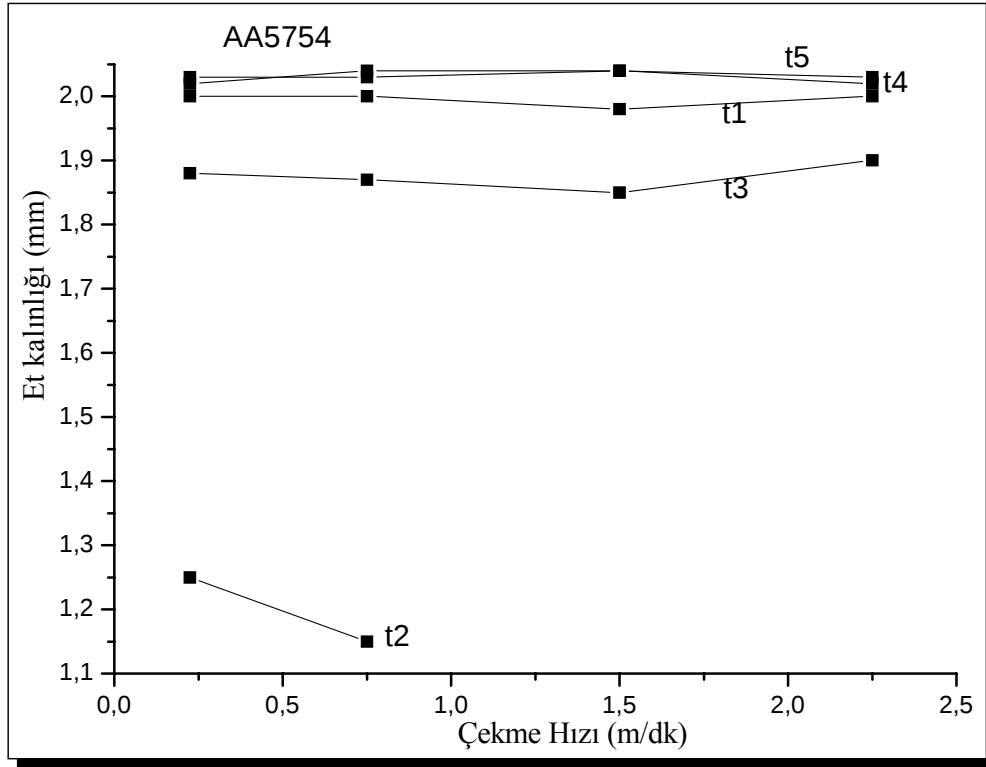
CuZn30 malzeme için çekme hızına bağlı olarak et kalınlıklarının değişimi Şekil 6.17’de, DKP1110 malzeme için çekme hızına bağlı olarak et kalınlıklarının değişimi Şekil 6.18’de ve AA5754 malzeme için çekme hızına bağlı olarak et kalınlıklarının değişimi de Şekil 6.19’da verilmiştir.



Şekil 6.17. CuZn30 malzemenin, çekme hızına göre et kalınlıklarının değişimi



Şekil 6.18. DKP1110 malzemenin, çekme göre olarak et kalınlıklarının değişimi



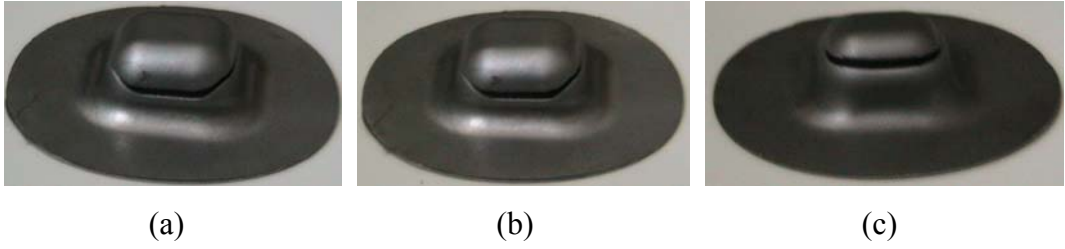
Şekil 6.19. AA5754 malzemenin, çekme hızına göre et kalınlıklarının değişimi

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde (Şekil 6.17 - Şekil 6.19), çekme hızının artması ile, sac malzemenin dip kısmında, zımba kavis bölgesinde ve çekilen kabın yan yüzeylerinde et kalınlıklarının düştüğü görülmektedir. Kalıp kavis ve ürünün etek kısımlarında ise et kalınlıklarında bir artış tespit edilmiştir. Çekme hızının artan değerlerinde kabın üst, yan ve zımba kavis bölgelerinde yırtılma riskinin arttığı belirlenmiştir. Kalıp kavis ve etek kısımlarında ise et kalınlığının artmasından dolayı kulaklanma ve kırışıklık riskinin arttığı anlaşılmıştır.

6.1.2. Sac malzeme kalınlığının çekme oranına etkileri

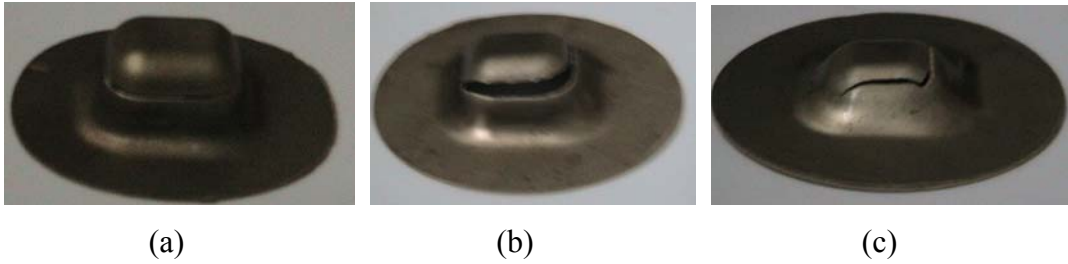
Sac malzeme kalınlıklarının çekme işlemi üzerindeki etkileri, yapılan çalışmada üç farklı malzeme kalınlığı kullanılarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan bütün parametre değerleri 1-1,5 ve 2 mm kalınlığında sac malzemeler için tekrarlanmıştır. Kare çekme işleminde DKP1110 malzeme için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.7’de, CuZn30 malzeme

için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.8’de ve AA5754 malzeme için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.9’da verilmiştir.



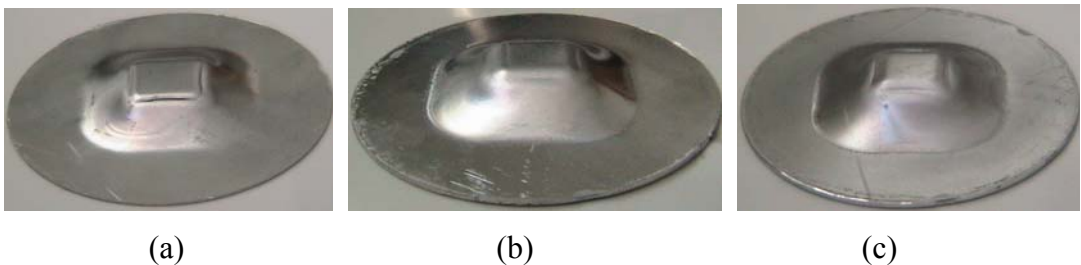
Resim 6.7. DKP1110 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm



Resim 6.8. CuZn30 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm



Resim 6.9. AA5754 malzeme için kare çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm

Silindirik çekme işleminde DKP1110 malzeme için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.10'da, CuZn30 malzeme için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.11'de ve AA5754 malzeme için, farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Resim 6.12'de verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Resim 6.10. DKP1110 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm



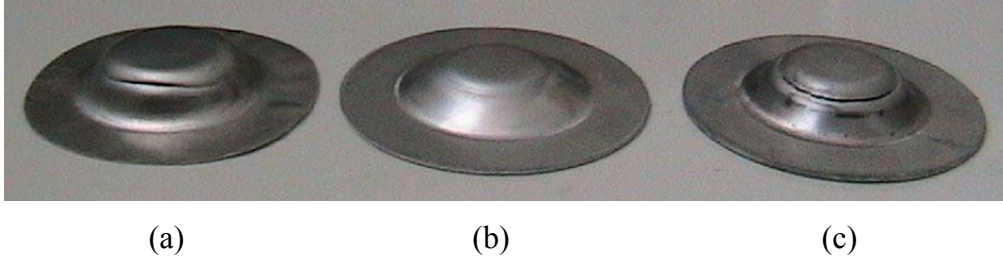
(a)

(b)

(c)

Resim 6.11. CuZn30 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

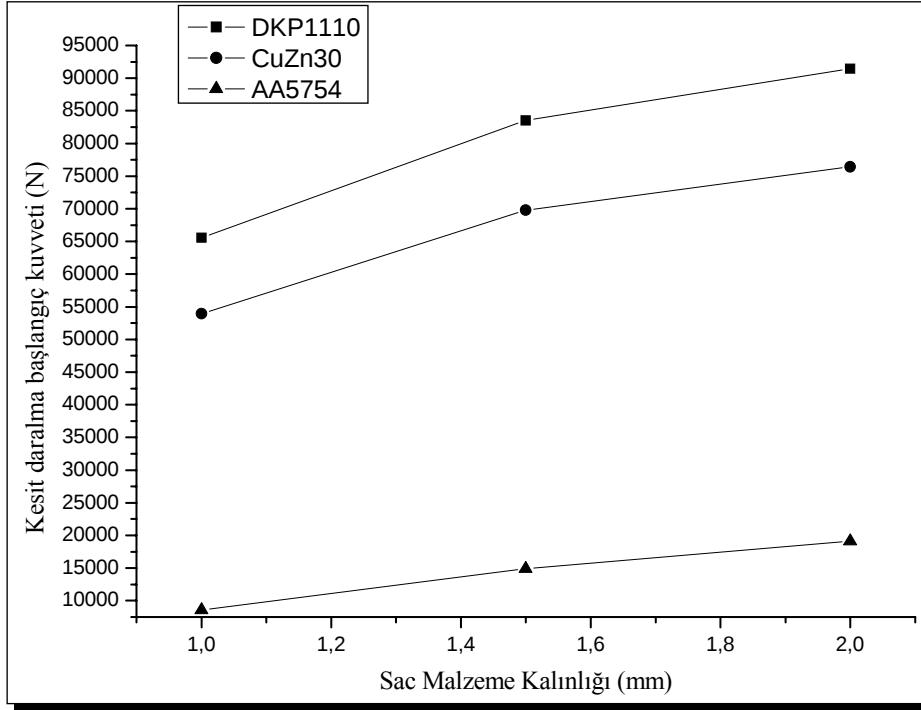
- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm



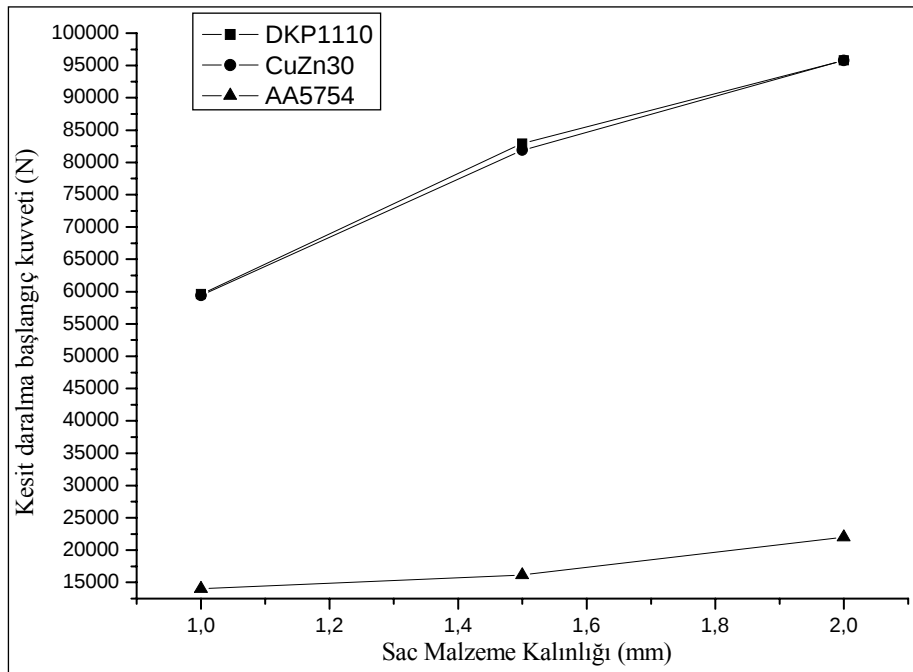
Resim 6.12. AA5754 malzeme için silindirik çekme işleminde ve farklı sac malzeme kalınlıklarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $t=1$ mm
- b) $t=1,5$ mm
- c) $t=2$ mm

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, aynı parametre değerleri ile çekilmiş farklı kalınlıktaki sac malzemeler ve bu sac malzemelere bağlı olarak çekme derinlikleri incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının çekme işlemlerinde malzemelerin çekilebilirliğini etkileyen önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. CuZn30 malzemenin kare çekme kalıplarında çekilmesi sırasında, 1 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 20,25 mm, 1,5 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 22,25 mm ve 2 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 22,78 mm olarak ölçülmüştür. Silindirik çekme işlemlerinde ise, 1 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 34,425 mm, 1,5 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 35,1 mm ve 2 mm sac malzeme kalınlığı için çekme yüksekliği 35,856 mm olarak ölçülmüştür. Çekme profillerine göre bakıldığında, sac malzeme kalınlığının çekilebilirliğe etkisi kare çekme işlemlerinde daha büyük oranda gerçekleşmektedir. Kare çekmede, 0,225 m/dk çekme hızında, 10 mm zımba ve kalıp kavislerinde, sac malzeme kalınlıkları değiştirilerek yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen kesit daralması başlangıç noktaları aşağıda verilmiştir (Şekil 6.20, Şekil 6.21).



Şekil 6.20. Kare çekme işlemlerinde, farklı sac malzeme kalınlıklarının çekme kuvvetine etkileri



Şekil 6.21. Silindirik çekme işlemlerinde, farklı sac malzeme kalınlıklarının çekme kuvvetine etkileri

Sac malzeme kalınlığına bağılı olarak kesit daralma başlangıç kuvveti grafiklerinde, sac malzeme kalınlığı arttıkça kesit daralma başlangıç kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Bu grafikler bize sac malzeme kalınlıklarının çekme işlemlerinde kuvveti önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

6.1.3. Kalıp ve zımba kavislerinin çekme oranına etkileri

Çekme işlemlerinde, sac malzeme akışını kolaylaştırmak amacıyla, çekme zımbasının üst kısmına ve dişi kalıp plakasının alt tarafına oluşturulan kavislerin etkileri, farklı kavislere sahip zımba ve kalıpların oluşturulması ve deneysel çalışmalarda kullanılmasıyla elde edilmeye çalışılmıştır.

Çekme işleminde, malzeme üzerindeki deformasyonların hangi bölgelerde ve hangi oranlarda oluştuğunu belirlemek amacıyla, sac malzemeler üzerine 5 mm aralıkla ızgaralar çizilmiş ve çekme deneyleri bu malzemeler üzerinde de uygulanmıştır (Resim 6.13). DKP110, CuZn30 ve AA5754 malzemeler için ayrı ayrı yapılan bu işlem sonucunda elde edilen ürünler üzerindeki ızgara aralıkları tekrar ölçülerek, malzeme üzerindeki deformasyon bölgeleri tespit edilmiştir.



(a)

(b)

Resim 6.13. Malzeme üzerindeki deformasyon bölgelerinin tayini

a) Deformasyon bölgelerinin yandan görünüşü

b) Deformasyon bölgelerinin üstten görünüşü

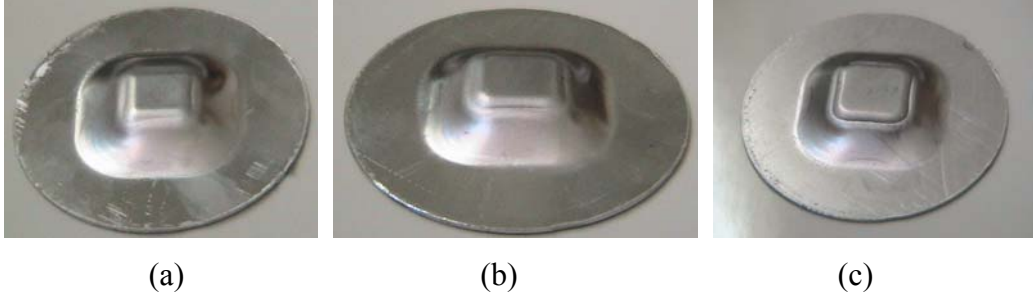
Yapılan bu çalışma sonucunda, ızgaralardan ölçülen değerlere göre sac malzemenin üst kısmında hemen hemen hiç deformasyon olmadığı tespit edilmiştir. Zımba kavisinin olduğu bölgede, 0,1 mm'lik bir daralma ve 1,66 mm'lik bir uzama ölçülmüştür. Çekilen kabın yan yüzeylerinin orta bölgesinden alınan ölçülerde, bu bölgede 1,75 mm'lik bir daralma ve 3,11 mm'lik bir uzama olduğu tespit edilmiştir. Sac malzemenin uç kısımlarında bulunan kavislerde ise, 2,25 mm'lik bir daralma ve 3,1 mm'lik bir uzama meydana gelmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda, ızgara alanlarının zımba kavis bölgesinde en büyük artışı gösterdiği ve bu bölgenin yırtılma riski en yüksek bölge olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bir riskli bölgenin çekilen kabın yan yüzeyleri olduğu, çekilen kabın alt kısımlarında ve kabın uç kavis bölgesinde, çekme parametreleri doğru seçildiği sürece, yırtılma riskinin çok az olduğu sonucuna varılmıştır.

Sac malzeme üzerinde yırtılma riskinin en yüksek olduğu bölge zımba kavisinin bulunduğu bölge olarak tespit edildiğinden dolayı, yapılan deneysel çalışmalarda, zımba kavis için üç farklı değer, dişi kalıp kavis içinse iki farklı değer alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, 6, 8 ve 10 mm kavisli zımbalar ile 6 ve 10 mm kavis verilmiş dişi kalıplar kullanılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, dişi kalıp ve zımba kavislerinin artan değerlerinin, malzemenin kalıp içerisinde daha kolay akışına izin verdiği için çekme işlemini olumlu yönde etkilediği ve malzemelerin çekme oranlarını artırdığı tespit edilmiştir. 1 mm kalınlığındaki DKP1110 malzemenin 0,225 m/dk pres hızında, 10 mm zımba ve kalıp kavisleri ile çekilmesi sonucunda çekme derinliği 37,005 mm bulunmuştur. Kalıp kavis değeri 10 mm'den 6 mm'ye düşürüldüğünde, çekme yüksekliği 35,625 mm, zımba kavis değeri 10 mm'den 6 mm'ye düşürüldüğünde, çekme yüksekliği 33,28 mm olarak ölçülmüştür. Bu durum, zımba ve kalıp kavislerinin çekme işleminde sac malzemenin akışını önemli derecede etkilediğini göstermektedir.

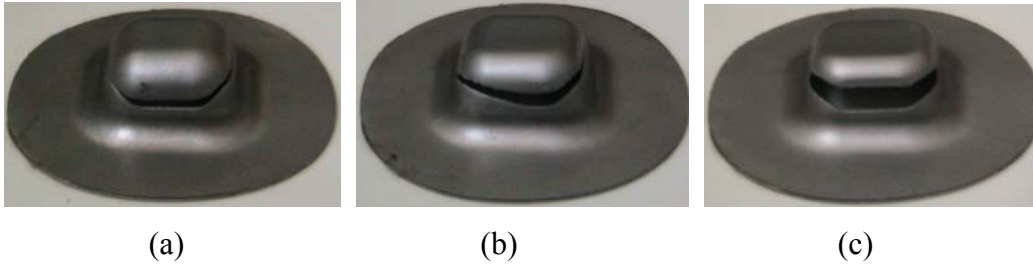
Resim 6.14'te AA5754 malzeme için farklı zımba kavis değerlerinden elde ürünler, Resim 6.15'de DKP1110 malzeme için farklı zımba kavis değerlerinden elde ürünler

ve Resim 6.16'da CuZn30 malzeme için farklı zımba kavis değerlerinden elde ürünler görülmektedir.



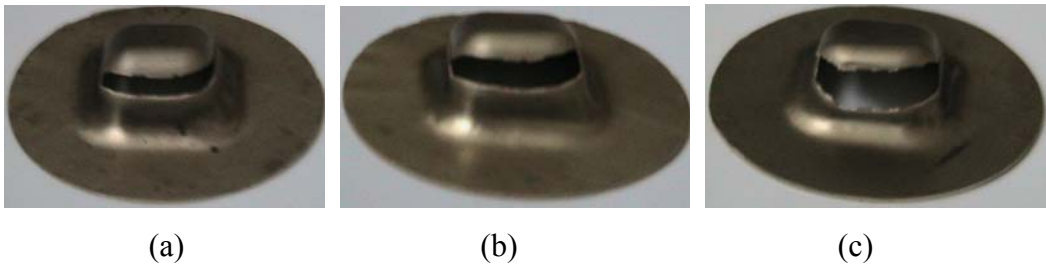
Resim 6.14. AA5754 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $r=10$ mm
- b) $r=8$ mm
- c) $r=6$ mm



Resim 6.15. DKP1110 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

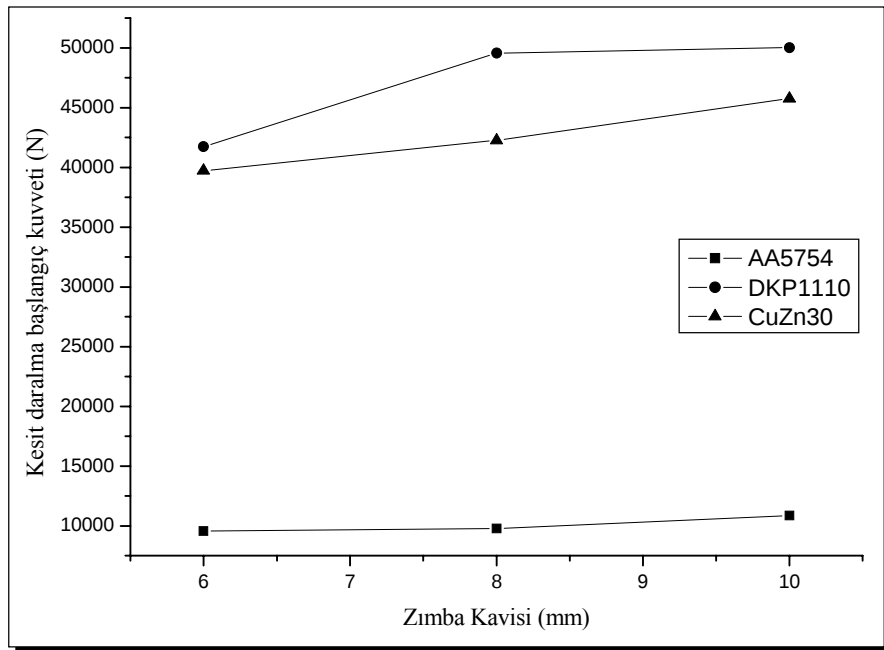
- a) $r=10$ mm
- b) $r=8$ mm
- c) $r=6$ mm



Resim 6.16. CuZn30 malzeme için farklı zımba kavislerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar

- a) $r=10$ mm
- b) $r=8$ mm
- c) $r=6$ mm

Zımba kavisinin düşen değerlerinde, kalıp içerisinde malzeme akışının zorlaşmasından dolayı ve malzemelerin alması gereken çekme değerine ulaşmadan aşırı deformasyon meydana gelerek yırtıldıkları, bundan dolayı çekme mesafesinin azaldığı ve kesit daralma başlangıç kuvvetinin düştüğü tespit edilmiştir. Çekme mesafesinin azalması sürtünme yüzeyinin ve dolayısıyla sürtünme kuvvetinin de azalmasını sağlamaktadır. Çekme kuvvetlerinin azalması sürtünme kuvvetinin azalması ile açıklanabilir. Farklı zımba kavisleri ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22. Farklı zımba kavis değ erlerinin çekme kuvvetine etkileri

Kalıp kavisinin büyük alınması, özellikle çekme derinliğinin arttığı durumlarda, baskı plakasının etki alanının azalmasına yol açarak, sac malzeme üzerinde kırışmaların oluşmasına sebep olmaktadır (Resim 6.17). Sac malzeme üzerinde oluşan bu kırışmalar, hem çekme kuvvetini artırmakta, hem de malzemenin daha çabuk deforme olmasına sebep olmaktadır.

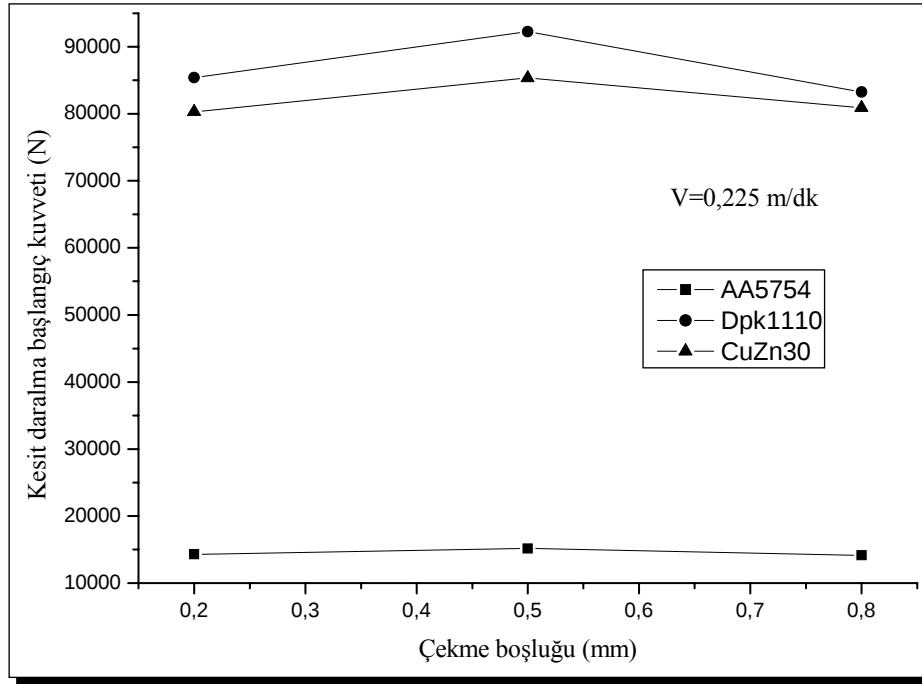


Resim 6.17. Kalıp kavisinin büyük olmasından kaynaklanan kırışma

6.1.4. Çekme boşluğunun çekme işlemine etkileri

Yapılan deneysel çalışmalarda, çekme boşluğunun malzemelerin çekilebilirliğine etkileri, farklı ölçülerde zimbaların imal edilmesi ve bu sayede farklı çekme boşluklarının oluşturulması ile ölçülmüştür.

0,2, 0,5 ve 0,8 mm çekme boşlukları ile yapılan deneysel çalışmalarda, çekme boşluğunun düşük değerlerinde sac malzemelerin kalıp ve zimba arasında sıkıştığından dolayı daha çabuk yırtıldığı ve bundan dolayı kesit daralma başlangıç kuvvetlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Çekme boşluğunun olması gerekenden daha büyük verildiği durumlarda ise, sac malzeme, kalıp arasındaki sürtünme yüzeylerinin azaldığından dolayı kesit daralma başlangıç kuvvetlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Çekme boşluğunun olması gerekenden daha büyük değerlerinde, sac malzeme üzerinde kırışıklıkların ve çiziklerin oluştuğu görülmüştür (Resim 6.18). Farklı çekme boşluğu değerlerinin kesit daralma başlangıç kuvveti üzerindeki etkileri Şekil 6.23'de verilmiştir.



Şekil 6.23. Farklı çekme boşluğu değerlerinin kesit daralma başlangıç kuvvetine etkileri



Resim 6.18. Büyük çekme boşluğu değerlerinde oluşan hatalar

Yapılan deneysel çalışmalar, çekme boşluğu değerinin ürün boyutlarını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Farklı çekme boşluğu değerlerinde çekilen ürünler, zımba kavisli bitim noktasından (a1) ve kalıp kavisli bitim noktasından (a2) ölçülerek, çekme boşluğunun ürün boyutlarına etkisi incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, çekme

boşluğunun artan değerlerinin, ürün boyutlarını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Çekme boşluğunun ürün boyutlarına etkisi Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Çekme boşluğunun ürün boyutlarına etkisi

Çekme Profili	Kalıp Kavisi, mm	Zimba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Çekme Boşluğu, mm	Malzeme	Parça Boyutları, mm	
						a1	a2
Silindirik	6	6	1	1,2	DKP	44,82	44,99
Silindirik	6	6	1	1,5	DKP	44,52	44,92
Silindirik	6	6	1	1,8	DKP	44,23	44,87
Silindirik	6	6	1	1,2	Pirinç	44,80	44,98
Silindirik	6	6	1	1,5	Pirinç	44,5	44,95
Silindirik	6	6	1	1,8	Pirinç	44,20	44,86

6.2. Baskı Kuvvetinin Derin Çekme İşlemine Etkileri

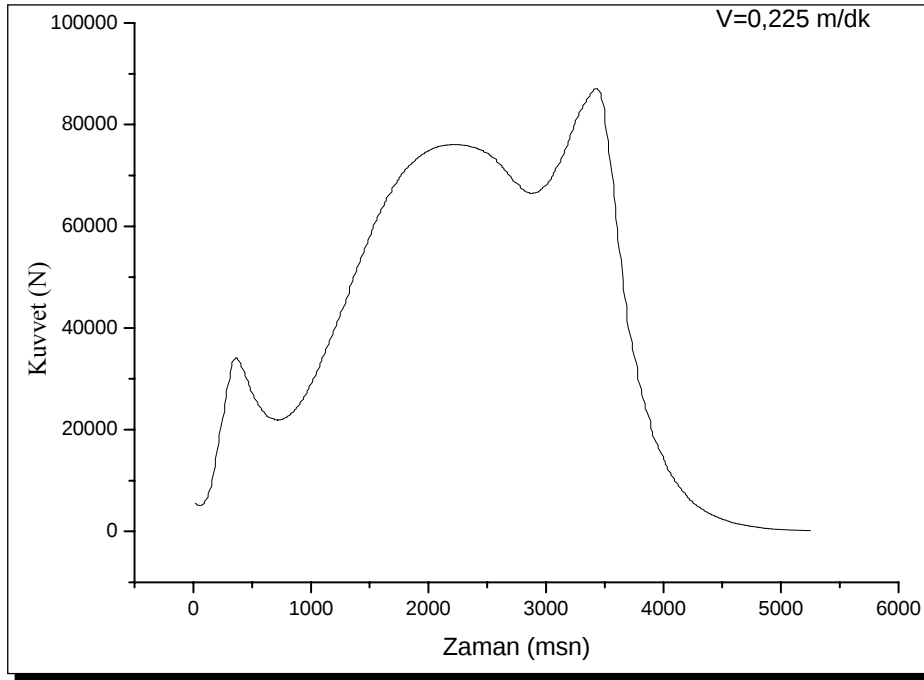
Çekme işlemi sırasında, sac parça üzerine baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak, çekme esnasında üründe oluşabilecek kırışıklıklar engellenir ve çekme işleminin düzenli bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır. Sac malzeme kalınlığının az olduğu veya çekme yüksekliğinin büyük olduğu durumlarda kırışıklıkları önlemek amacıyla bu tür bir çekme işlemi yapılması gerekmektedir. Çekme işlemlerinde baskı plakası kuvveti, çekilen kabın derinliğine göre ayarlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, baskı kuvveti kalıp içerisine yerleştirilen bir baskı plakası ve bir yay desteği ile oluşturulmuştur. Uygulanan baskı kuvvetinin büyüklüğü, teorik hesaplamalar, literatürde yapılan çalışmalar, analiz programlarından alınan değerler ve yapılan deneysel çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

En uygun baskı kuvvetini belirlemek amacıyla, çekme işlemi farklı baskı kuvvetlerinde tekrarlanmış, her bir malzeme ve sac kalınlığı için en uygun baskının hangi aralıkta olduğu tespit edilmiştir.

Resim 6.19 ‘da 7000 N baskı kuvveti uygulanılarak CuZn30 malzemeden elde edilmiş ürün, Şekil 6.24’te ise malzemenin çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği görülmektedir.



Resim 6.19. 7000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme

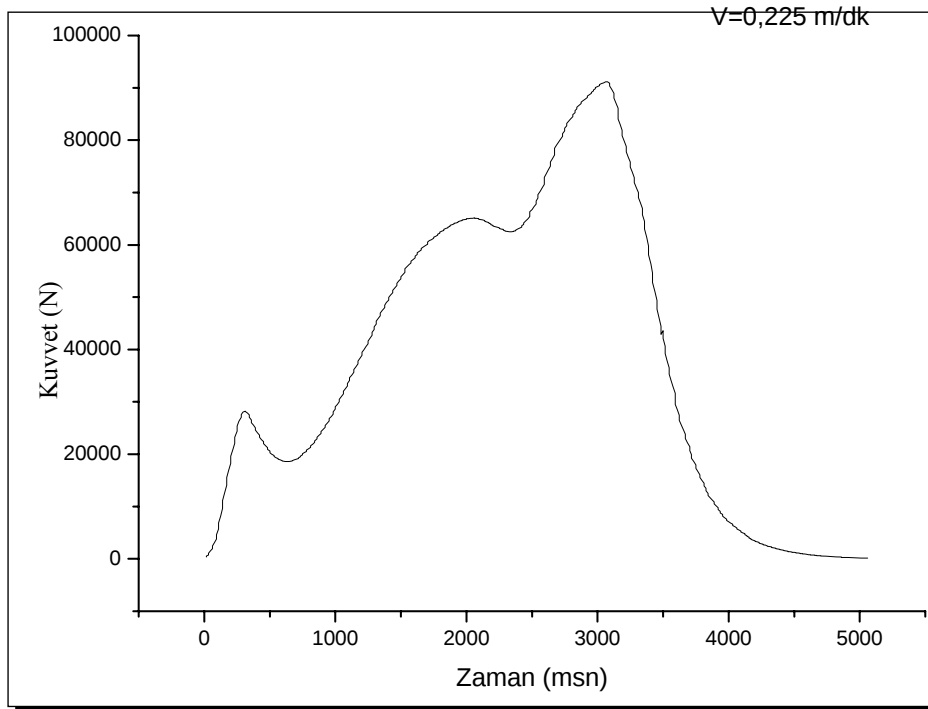


Şekil 6.24. CuZn30 malzemenin 7000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

Resim 6.20'de 8000 N baskı kuvveti uygulanılarak CuZn30 malzemedan elde edilmiş ürün, Şekil 6.25'de ise malzemenin çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği görülmektedir.



Resim 6.20. 8000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme



Şekil 6.25. CuZn30 malzemenin 8000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

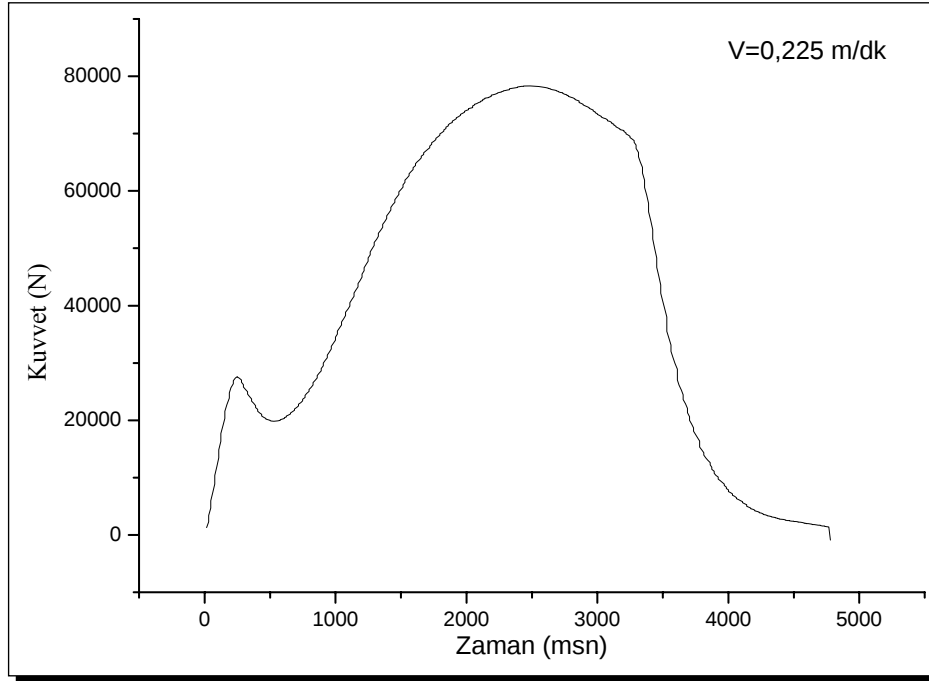
Yukarıdaki grafikler incelendiğinde (Şekil 6.24, Şekil 6.25), eğilim çizgisinde üç adet tepe noktası olduğu görülmektedir. Birinci nokta sac malzemenin kesilme kuvvetini, ikinci nokta kesit daralmanın başlangıç noktasını, üçüncü nokta ise düşük

baskı kuvvetinden dolayı çekilen sac malzemenin kenarında oluşan kırışıklıkların zımba ve dişi kalıp arasına sıkışmasından kaynaklanan kuvvet artışını göstermektedir.

Resim 6.21'de 9000 N baskı kuvveti uygulanılarak CuZn30 malzemedan elde edilmiş ürün, Şekil 6.26'da ise malzemenin çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği görölmektedir.



Resim 6.21. 9000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme



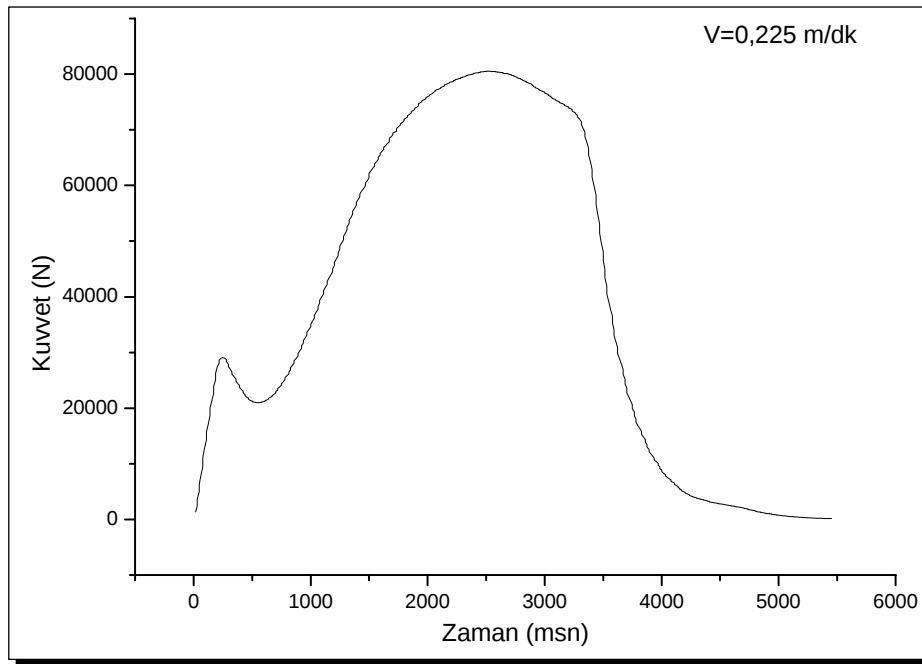
Şekil 6.26. CuZn30 malzemenin 9000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

Yukarıdaki resim ve grafik incelendiğinde, 9000 N baskı kuvvetinde kuvvet-zaman grafiğinde üçüncü tepe noktasının oluşmamasına rağmen, parça üzerinde kırışıklıkların oluştuğu ve CuZn30 malzeme için 9000 N baskı kuvvetinin yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır.

Resim 6.22’de 10000 N baskı kuvveti uygulanılarak CuZn30 malzemeden elde edilmiş ürün, Şekil 6.27’de ise malzemenin çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği görülmektedir.



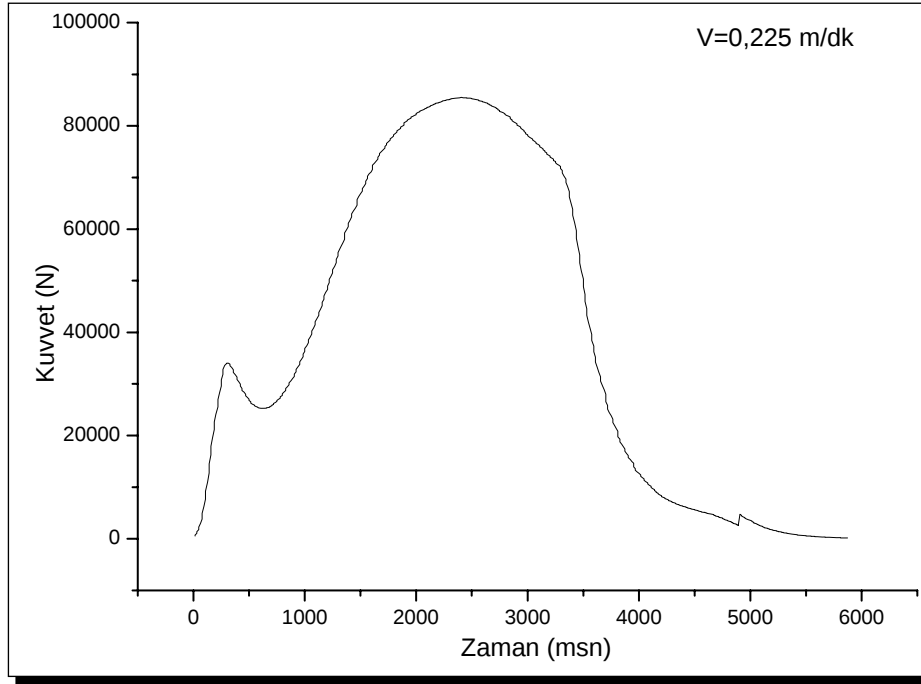
Resim 6.22. 10000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme



Şekil 6.27. CuZn30 malzemenin 10000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

CuZn30 malzeme için 10000 N baskı kuvvetinde yapılan çekme işlemlerinde, malzemenin şekil almasının düzenli olduğu, kuvvet-zaman grafiğinin de uygun bir akış sergilediği tespit edilmiştir.

12000 N baskı kuvveti ile çekilen malzemede de malzemenin şekil almasının düzenli olduğu, ancak 1000 N baskı kuvvetinden elde edilen sonuçlara oranla çekme kuvvetinin arttığı görülmektedir (Şekil 6.28).



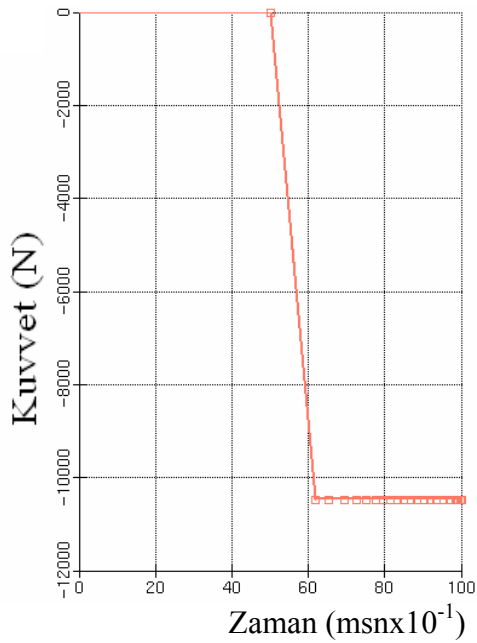
Şekil 6.28. CuZn30 malzemenin 12000 N baskı kuvveti ile çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği

Çekme kuvvetindeki bu artış değerinin, aşırı baskı kuvvetinden dolayı sac malzemenin baskı plakası ve dişi kalıp arasında daha fazla sürtünmeye maruz kalmasından kaynaklandığı ve bu sürtünmeden dolayı sac malzeme üzerinde çiziklerin oluştuğu görülmüştür (Resim 6.23).



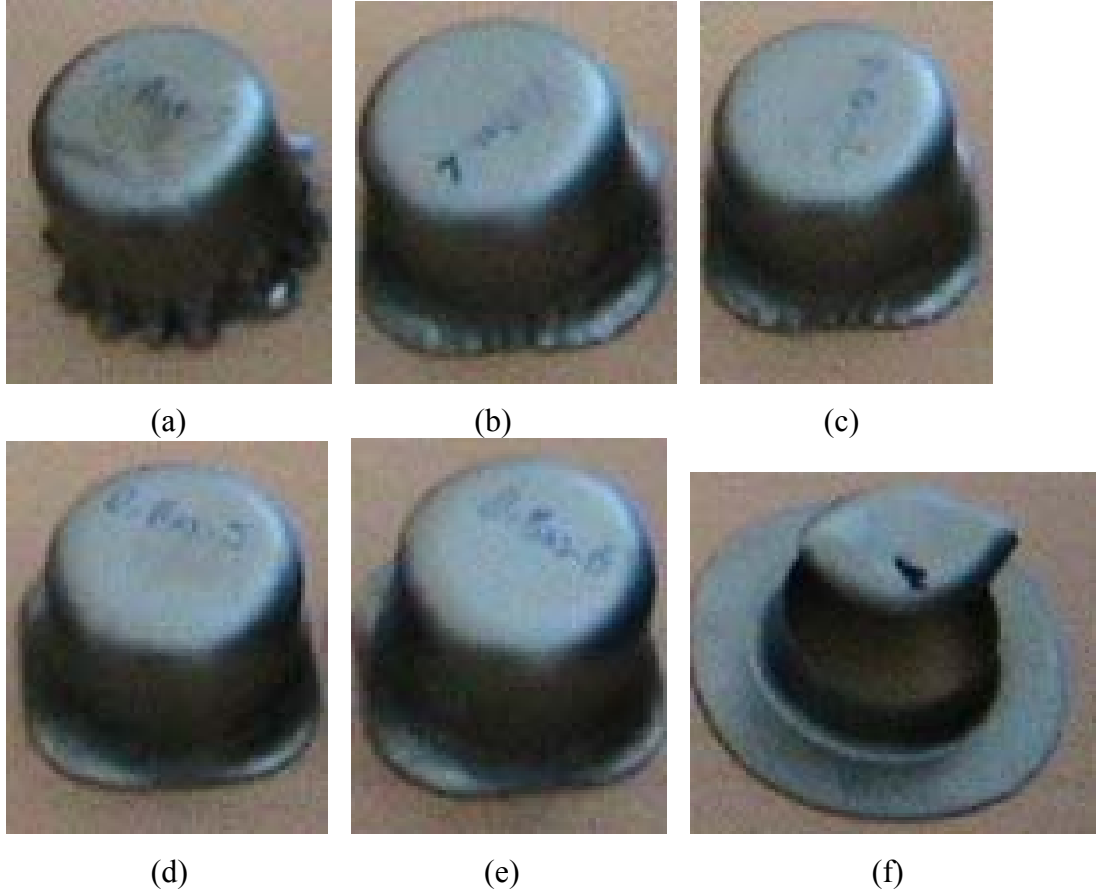
Resim 6.23. 12000 N baskı kuvveti ile çekilen pirinç malzeme

CuZn30 malzeme için, yapılan deneysel çalışmalarla aynı çekme parametreleri kullanılarak, AutoForm paket programında yapılan analizler sonucu elde edilen baskı kuvveti Şekil 6.29'da verilmiştir. AutoForm paket programından elde edilen baskı kuvveti değerinin, deneysel çalışma sonuçları ile yakın değerler sergilediği görülmüştür.



Şekil 6.29. AutoForm paket programından elde edilen baskı kuvveti değeri

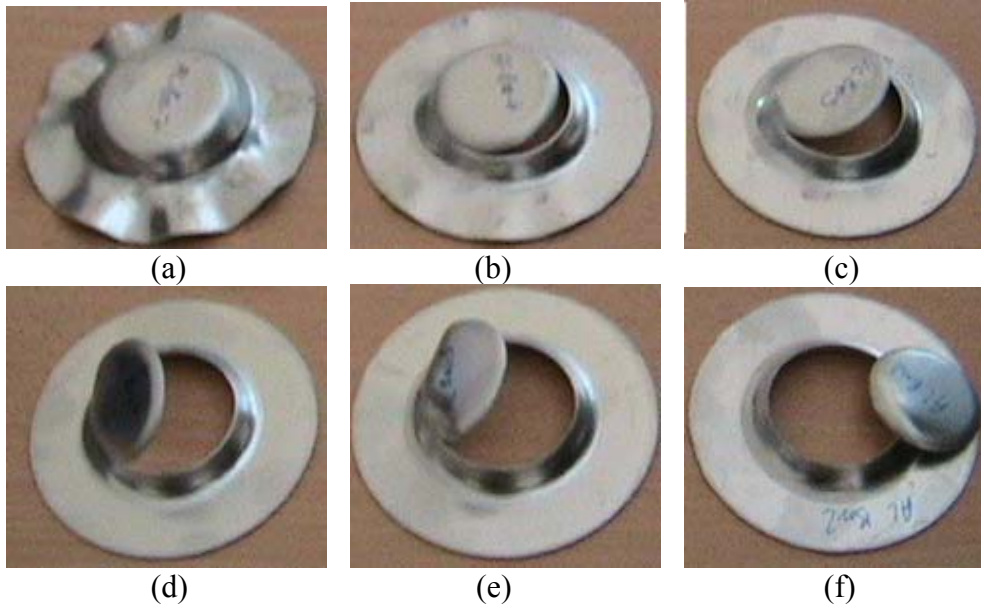
DKP1110 malzeme için farklı baskı kuvvetlerinde yapılan çekme deneylerinden elde edilen çekme sonuçları Resim 6.24'de verilmiştir.



Resim6.24. DKP1110 malzemeler için farklı baskı kuvvetlerinde çekme sonuçları

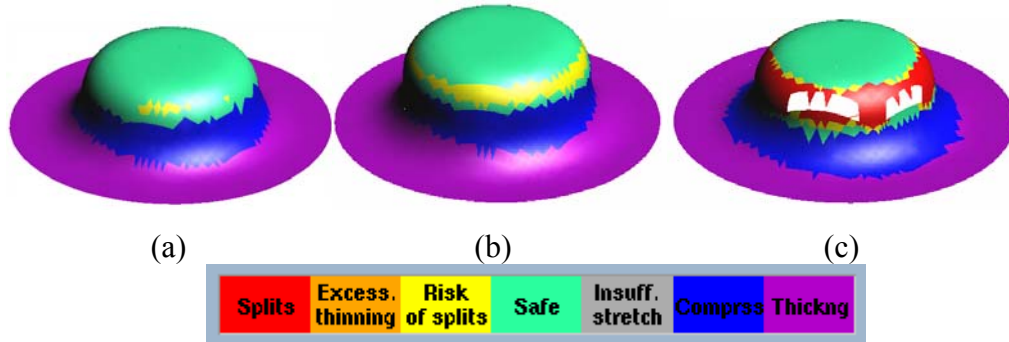
- a) $F_{BAS} = 7000 \text{ N}$
- b) $F_{BAS} = 8000 \text{ N}$
- c) $F_{BAS} = 9000 \text{ N}$
- d) $F_{BAS} = 10000 \text{ N}$
- e) $F_{BAS} = 12000 \text{ N}$
- f) $F_{BAS} = 14000 \text{ N}$

AA5754 malzeme için farklı baskı kuvvetlerinde çekme sonuçları Resim 6.25'de, AA5754 malzeme için farklı baskı kuvvetleri uygulanarak AutoForm programında hazırlanmış analiz sonuçları ise Şekil 6.30'da verilmiştir.



Resim 6.25. AA5754 malzemeler için farklı baskı kuvvetlerinde çekme sonuçları

- a) $F_{BAS} = 1000 \text{ N}$
- b) $F_{BAS} = 2000 \text{ N}$
- c) $F_{BAS} = 2500 \text{ N}$
- d) $F_{BAS} = 3000 \text{ N}$
- e) $F_{BAS} = 4000 \text{ N}$
- f) $F_{BAS} = 5000 \text{ N}$



Şekil 6.30. AA5754 malzeme için farklı baskı kuvvetleri uygulanarak AutoForm programında hazırlanmış analiz sonuçları

- a) $F_{BAS} = 2000 \text{ N}$
- b) $F_{BAS} = 3000 \text{ N}$
- c) $F_{BAS} = 5000 \text{ N}$

Baskı kuvvetinin üzerinde yapılan bu çalışmalar sonucunda, baskı kuvvetinin çekme işleminin düzenli olarak yapılabilmesi için uygun değerlerde olması gerektiği açıkça görülmektedir. Baskı kuvvetinin olması gereken değerden daha düşük olması

durumunda, parça üzerinde aşırı yapraklanmaların olduğu, yüzey kalitesinin bozulduğu ve çekme derinliği arttıkça yırtılmaların gerçekleştiği görülmüştür. Baskı kuvvetinin olması gereken değerden daha yüksek seçilmesi durumunda ise presleme kuvvetini artırdığı ve yırtılmalara sebep olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada baskı kuvvetleri, hazırlanan çekme kalıbının alt tarafına yerleştirilen bir kauçuk yay ile ayarlanmıştır. Deneylerde kullanılan bütün sac malzemeler ve sac malzeme kalınlıkları için baskı kuvvetleri, farklı kuvvet değerlerinde yapılan denemeler sonucunda belirlenmiştir. Baskı kuvvetinin tespit edilmesi sırasında, hem düzenli bir deformasyonu sağlamak, hem de pres kuvvetini gereksiz yere artırmamak hedef alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar için tespit edilen ve kullanılan baskı kuvvetleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Kullanılan malzemelere göre tespit edilen baskı plakası kuvvetleri

	Malzeme	Sac Kalınlığı	Baskı Plakası
Silindirik Çekme	DKP	1	8000
	DKP	1,5	10000
	DKP	2	12000
	Pirinç	1	8000
	Pirinç	1,5	10000
	Pirinç	2	12000
	Alüminyum	1	2500
	Alüminyum	1,5	3250
	Alüminyum	2	4000
Kare Çekme	DKP	1	6000
	DKP	1,5	7000
	DKP	2	8500
	Pirinç	1	6000
	Pirinç	1,5	7000
	Pirinç	2	8500
	Alüminyum	1	2500
	Alüminyum	1,5	3250
	Alüminyum	2	3500

6.3. Derin Çekme İşleminde Malzeme Et Kalınlıklarının Değişimi

Sac parçaların şekillendirilmesi esnasında en çok dikkat edilmesi gereken konu et kalınlıklarının değişimidir. şekillendirme işleminin başarısı, et kalınlıklarının kontrolünün sağlanmasına bağlıdır. Et kalınlığının kontrolü, ürün kalitesini doğrudan etkilediği gibi, üretilen parçaların ölçü tamlığı açısından da son derece önemlidir.

Derin çekme işlemlerinde, malzemelerin çekme oranlarının, deformasyon sırasında et kalınlığında oluşan değişimlere göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Kullanılan analiz programlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, malzemeye bağlı olarak bir miktar değişmekle birlikte, genel olarak, programların çözümlemelerini et kalınlığına göre yaptıkları, et kalınlığındaki %20 azalmanın, yırtılma riski oluşturduğu, et kalınlığındaki %30 azalmanın ise yırtılma bölgesi olarak gösterildiği anlaşılmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen derin çekme ürünlerden bir kısmı, et kalınlıklarının incelenebilmesi amacıyla CNC Tel Erozyon (EDM) tezgahında kesilmiştir. Kesilen parçalar üzerinden ölçülen et kalınlığı değişim değerleri, analiz programlarından elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. A5754 malzeme için et kalınlığı ölçümünde kullanılmak üzere kesilmiş ürün Resim 6.26'da, DKP1110 malzeme için et kalınlığı ölçümünde kullanılmak üzere kesilmiş ürün Resim 6.27'de ve CuZn30 malzeme için et kalınlığı ölçümünde kullanılmak üzere kesilmiş ürün Resim 6.28'de verilmiştir.



Resim 6.26. AA5754 malzeme için et kalınlıklarının değişimi

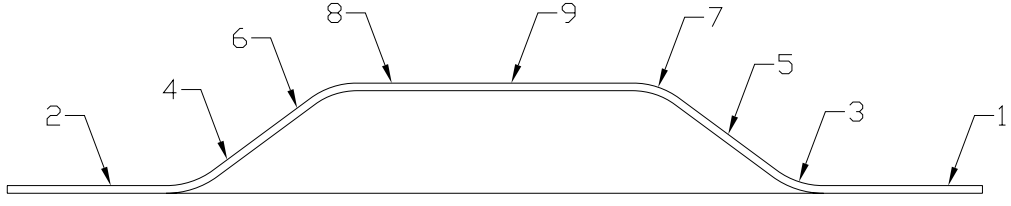


Resim 6.27. DKP1110 malzeme için et kalınlıklarının değışimi

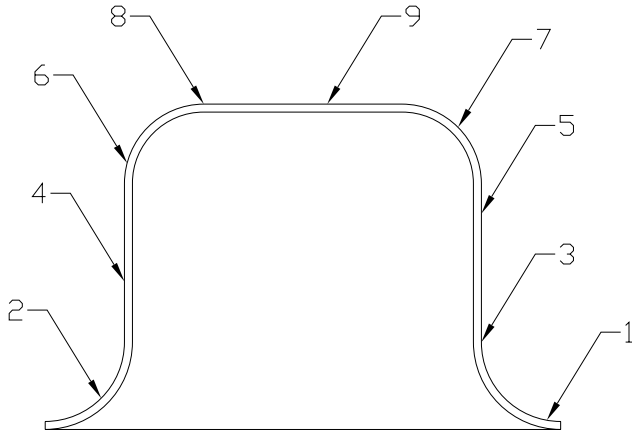


Resim 6.28. CuZn30 malzeme için et kalınlıklarının değışimi

Sac malzemeler üzerinde et kalınlıklarının ölçülmesinde kullanılmak üzere 9 farklı nokta belirlenmiştir. Kesilen çekilmiş ürünler, bu noktalar üzerinden ölçülmüştür. Yapılan analizlerde de aynı noktalardan alınan et kalınlıkları değerleri kullanılmıştır. AA5754 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar Şekil 6.31’de, DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar ise Şekil 6.32’de verilmiştir.

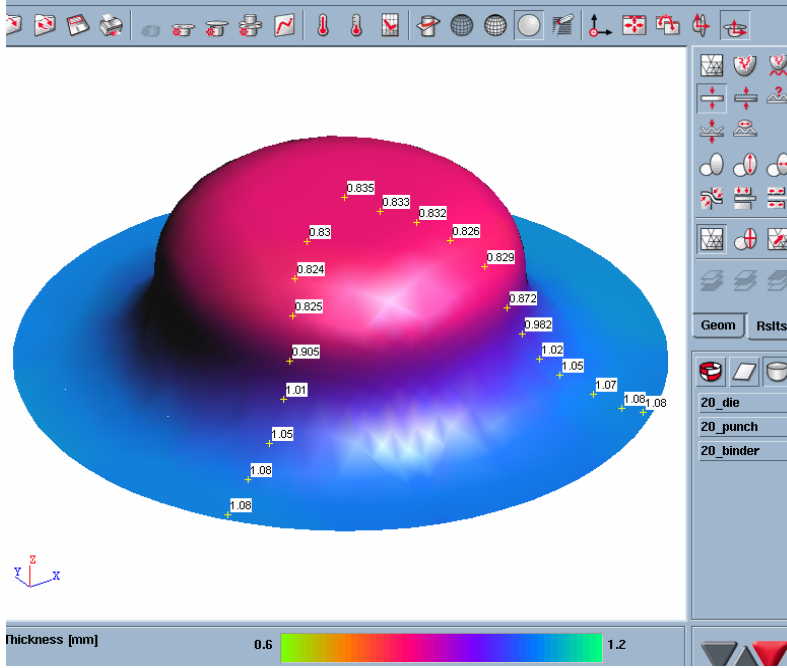


Şekil 6.31. AA5754 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar

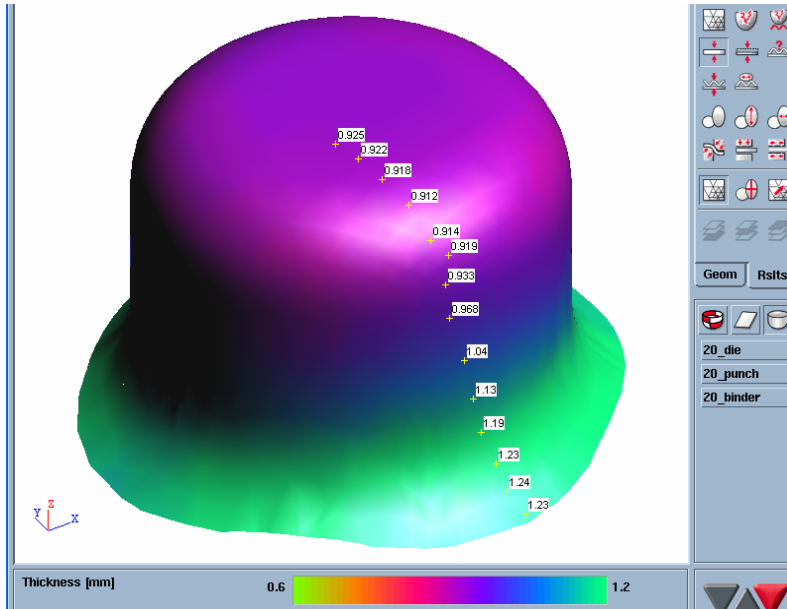


Şekil 6.32. DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için belirlenen noktalar

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ürünlerden alınan et kalınlığı değerleri, analizlerden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. AutoForm paket programında AA5754 malzemenin analizlerinin yapılması için kullanılan model Şekil 6.33’de, DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için kullanılan model ise Şekil 6.34’te verilmiştir.

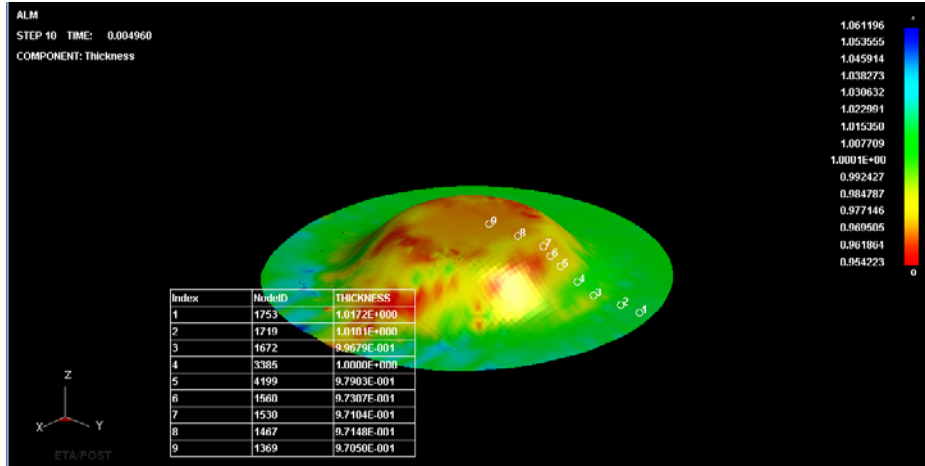


Şekil 6.33. AutoForm paket programında AA5754 malzemelerin analizlerinde kullanılan model

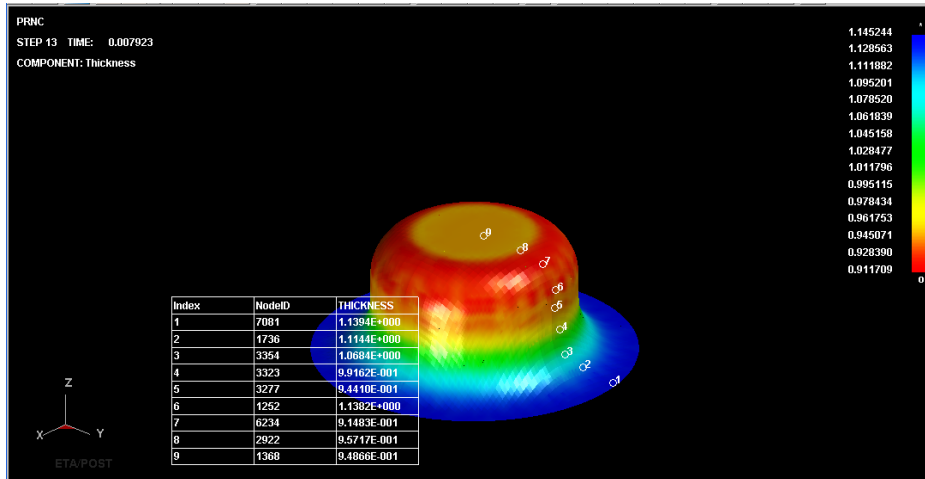


Şekil 6.34. AutoForm paket programında DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin analizlerinde kullanılan model

DynaForm paket programında AA5754 malzemenin analizlerinin yapılması için kullanılan model Şekil 6.35’de ve DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin et kalınlıklarının ölçülmesi için kullanılan model Şekil 6.36’da verilmiştir.



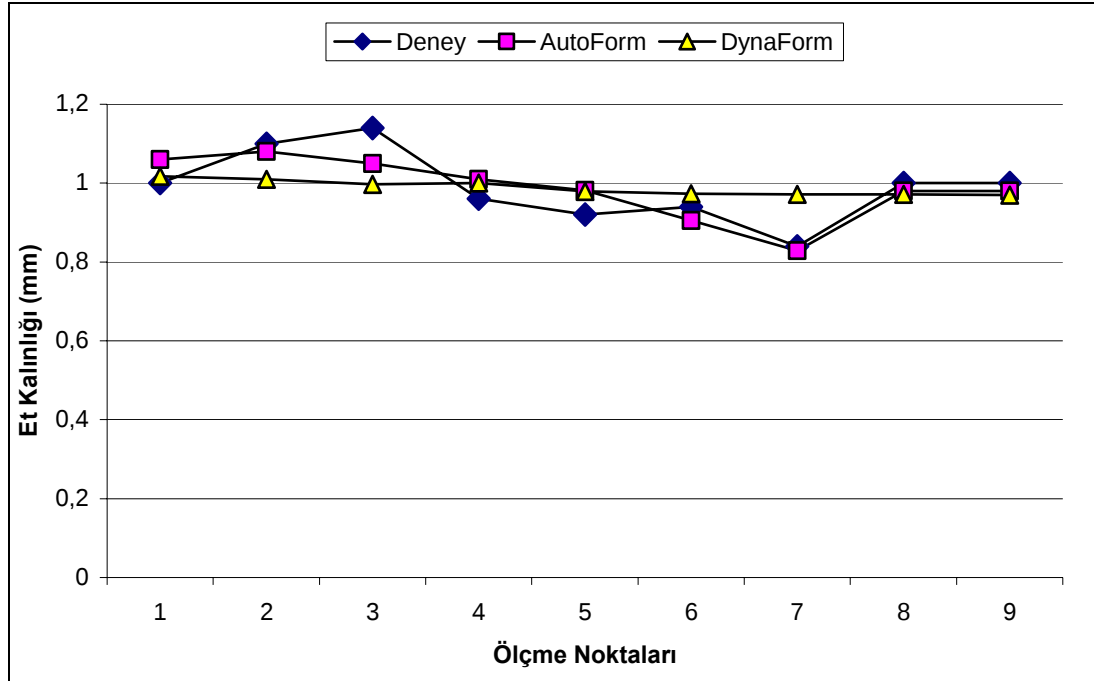
Şekil 6.35. DynaForm paket programında AA5754 malzemelerin analizlerinde kullanılan model



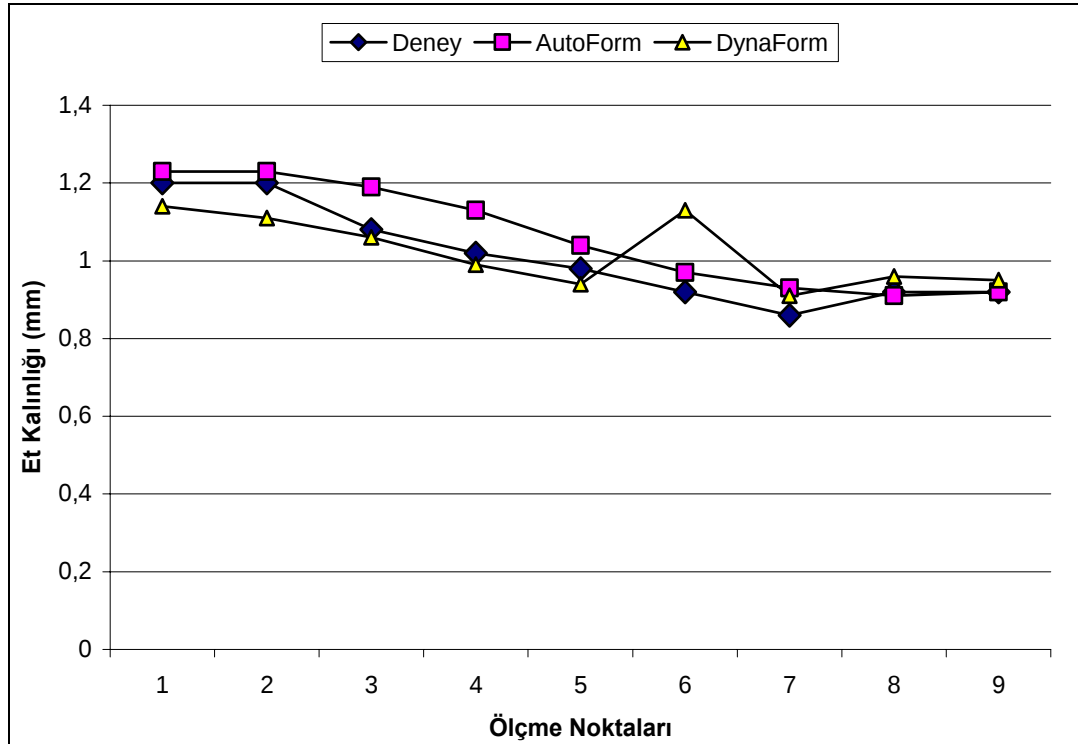
Şekil 6.36. DynaForm paket programında DKP1110 ve CuZn30 malzemelerin analizlerinde kullanılan model

Yapılan analiz çalışmaları sonucunda elde edilen et kalınlığı değerleri ve deneysel olarak ölçülmüş olan et kalınlıkları arasında büyük oranda yakınlık görülmüş farklı parametre değerleri için et kalınlıklarının ölçülmesinde analiz programlarının kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

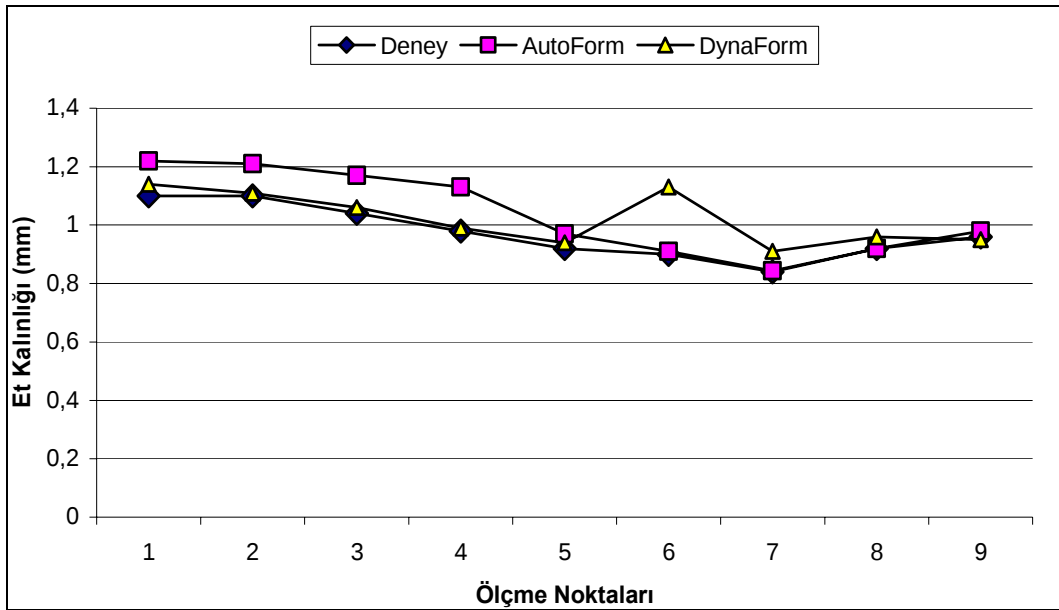
Yapılan analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları AA5754 malzeme için Şekil 6.37’de, DKP1110 için Şekil 6.38’de ve CuZn30 için Şekil 6.39’da verilmiştir.



Şekil 6.37. AA5754 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları



Şekil 6.38. DKP1110 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları



Şekil 6.39. CuZn30 malzeme için analiz çalışmaları ve deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen et kalınlıkları

Deneysel çalışmalardan elde edilen derin çekme ürünlerin kesilerek et kalınlıklarının incelenmesi sonucunda, et kalınlığındaki incelmelerin en fazla zımba kavisinin olduğu bölgede ve çekilen ürünün yan duvarlarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çekilen ürünün dip kısımlarındaki et kalınlığı değerlerinde çok küçük azalmaların olduğu, kalıp kavisinin bulunduğu bölgelerde ise et kalınlığı değerlerinin genellikle arttığı tespit edilmiştir.

6.4. Bulanık Mantık Sisteminin Uygulanması

Silindirik ve kare çekme derin çekme işlemlerinden elde edilen kuvvet değerleri, her iki profil için ayrı ayrı oluşturulan bulanık mantık sistemi içerisine aktarılmıştır. Bulanık mantık sisteminin yapılan deneysel çalışmalar üzerinde uygulanması, FuzzyTECH 5.54d yazılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bulanık mantık için oluşturulan sistemlerde, deneylerde kullanılan bütün parametre değerleri, sistemin giriş değişkenlerini oluşturmuştur. Giriş değişkenlerinin tanıtılması sırasında, kullanılan bütün parametre değerleri sözel değerler üzerine (en küçük, küçük, orta, büyük, en büyük v.b.) aktarılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen değerler üzerinden kural tabloları oluşturulmuş ve programın eğitimi sağlanmıştır. Uygulanan

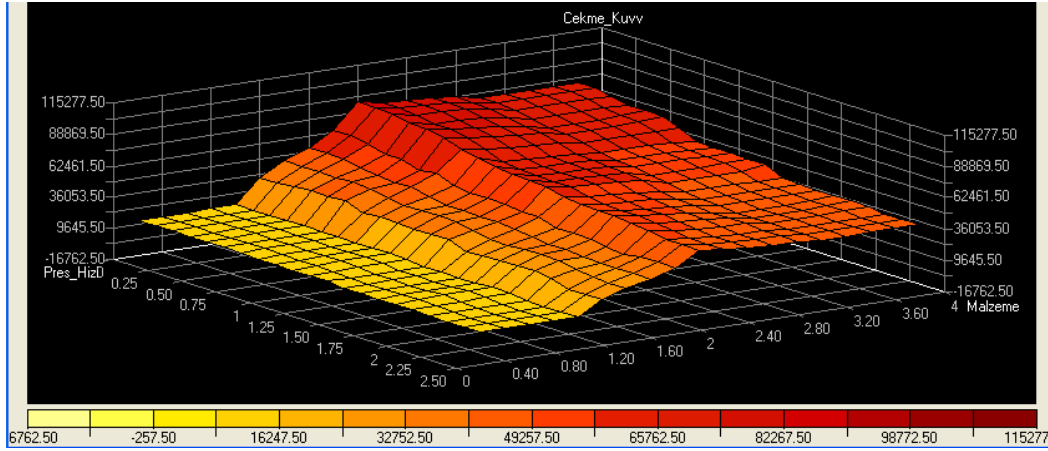
bulanık mantık sisteminde kare çekme deneylerinin sonuçlarına göre 882, silindirik çekme deneylerinin sonuçlarına göre 1170 adet kural tanımlanmıştır. Hazırlanan bulanık mantık sistemi için oluşturulan giriş ve çıkış değişkenleri Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Kural tablosunda verilen bağıntılar doğrultusunda, bütün dilsel değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren üç boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Bulanık mantık sisteminde yapılan tahmin değerleri, girilen parametre değerlerine göre bu grafiklerden okunan değerlerdir.

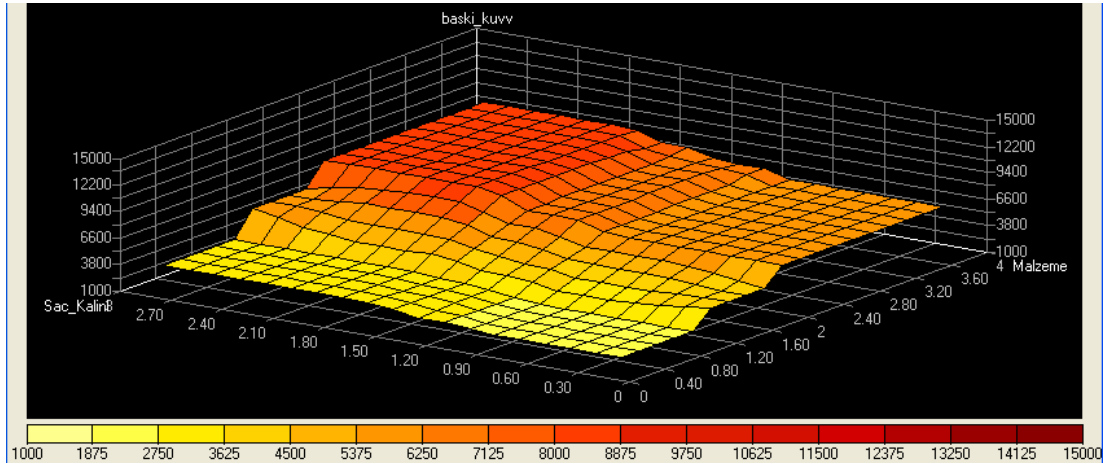
Çizelge 6.4. Bulanık mantık sistemi için oluşturulan giriş ve çıkış değişkenleri

Giriş Değişkenleri	Kalıp kavisi
	Malzeme
	Pres hızı
	Sac malzeme kalınlığı
	Zımba kavisi
	Çekme boşluğu
Çıkış değişkenleri	Çekme kuvveti
	Çekme oranı
	Baskı kuvveti

Hazırlanan bulanık mantık sistemi, içerisine aktarılan deneysel çalışma sonuçlarını 3B grafikler haline dönüştürmektedir. Oluşturulan bu grafikler deneysel verilerden elde edilen sonuçları yansıtmaktadır. Bulanık mantık sistemine girilen parametre değerlerinden daha farklı parametre değerlerinin tahminleri, oluşturulan bu 3B grafiklerdeki ara değerlerin okunması ile mümkün olmaktadır. Hazırlanan bulanık mantık sisteminde oluşturulan ve sac malzeme cinsi, pres hızı ve çekme kuvveti ilişkisini gösteren 3B grafik Şekil 6.40'ta, sac malzeme kalınlığı, malzeme cinsi, ve baskı kuvveti ilişkisini gösteren 3B grafik de Şekil 6.41'de verilmiştir.



Şekil 6.40. Sac malzeme cinsi, pres hızı ve çekme kuvveti ilişkisi



Şekil 6.41. Sac kalınlığı, malzeme cinsi, ve baskı kuvveti ilişkisi

Hazırlanan bulanık mantık sistemi üzerinden istenilen çekme parametreleri kolaylıkla değiştirilerek çekme kuvvetleri üzerindeki etkisi görülebilmektedir (Şekil 6.42). Ayrıca, hazırlanan bulanık mantık sisteminde oluşturulan program ile Microsoft EXCEL arasında bir DDE (Dynamic Data Exchange) bağlantısı oluşturularak, Microsoft EXCEL programını bilen herkesin kullanabileceği basit ve kullanışlı bir sistem oluşturulmuştur.

Şekil 6.42. Çekme parametrelerinin değiştirilmesi

Hazırlanan sistemin güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla, deneysel olarak elde edilen ama bulanık mantık içerisine aktarılmayan değerler ile bulanık mantık sonuçları karşılaştırılmıştır. Çekme deneylerinden elde edilen çekme kuvveti ölçümlerinin bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 6.5’de, baskı kuvveti sonuçlarının bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 6.6’da ve çekme oranı sonuçlarının bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Çekme deneylerinden elde edilen kuvvet ölçümleri ve bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Kalıp Kavisi, mm	Zimba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Pres Hızı, m/dk	Malzeme	Çekme Kuvveti, N			Çekme Kuvveti, N (Bulanık Mantık)	Hata
					Deney 1	Deney 2	Deney 3		
10	10	1	0,225	DKP	65933,12	65252,2	65592,66	65627,5	0,000531
10	10	1	0,750	DKP	58484,94	56690,88	57587,91	57612,5	0,000427
10	10	1	1,500	DKP	53097,76	52760,42	52929,09	53005	0,001432
10	10	1	2,250	DKP	48539,17	52093,76	50316,465	50277,5	0,000775
10	10	1	0,225	Pirinç	56580,15	51292,03	53936,09	54030	0,001738
10	10	1	0,750	Pirinç	50001,67	47501,58	48751,625	48745	0,000136
10	10	1	1,500	Pirinç	44855,98	46201,6	45528,82	45477,5	0,001128
10	10	1	2,250	Pirinç	37441,68	38564,93	38003,305	38082,5	0,00208
10	10	1	0,225	Alüminyum	9268,2	7646,51	8457,355	8470	0,001493
10	10	1	0,750	Alüminyum	7605,85	7407,63	7506,742	7437,5	0,00931
10	10	1	1,500	Alüminyum	6402,207	6412,82	6407,516	6402,5	0,000783
10	10	1	2,250	Alüminyum	5241,403	5246,67	5244,0365	5200	0,008469

Çizelge 6.6. Çekme deneylerinden elde edilen baskı kuvveti sonuçları ile bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Kalp Kavisi, mm	Zimba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Pres Hızı, m/dk	Malzeme	Baskı Kuvveti, N	Baskı Kuvveti, N (Bulanık Mantık)	Hata
10	10	1	0,225	DKP	6000	5984	0,002674
10	10	1,5	0,225	DKP	7000	6968,5	0,00452
10	10	2	0,225	DKP	8500	8515,75	0,00185
10	10	1	0,225	Alüminyum	2500	2469	0,012556
10	10	1,5	0,225	Alüminyum	3250	3249,75	0,0000769
10	10	2	0,225	Alüminyum	3500	3499,75	0,0000714
10	10	1	0,225	Pirinç	6000	5984	0,002674
10	10	1,5	0,225	Pirinç	7000	6968,5	0,00452
10	10	2	0,225	Pirinç	8500	8515,75	0,00185

Çizelge 6.7. Çekme deneylerinden elde edilen çekme oranları ile bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

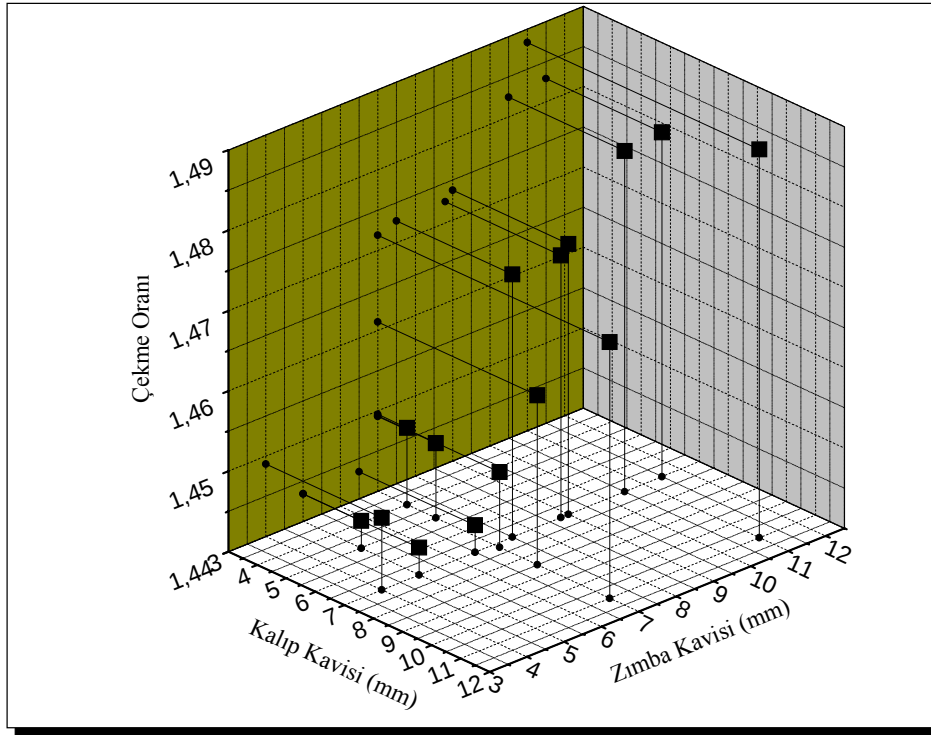
Kalp Kavisi, mm	Zimba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Pres Hızı, m/dk	Malzeme	Çekme Oranı, D/d	Çekme Oranı, D/d (Bulanık Mantık)	Hata
10	8	1	0,225	Alüminyum	1,285	1,3203	0,026736
10	8	1	0,750	Alüminyum	1,264	1,2773	0,010413
10	8	1	1,500	Alüminyum	1,250	1,24805	0,001562
10	8	1	2,250	Alüminyum	1,224	1,22665	0,00216
10	10	1,5	0,225	Alüminyum	1,294	1,293	0,000727
10	10	1,5	0,750	Alüminyum	1,272	1,2715	0,000393
10	10	1,5	1,500	Alüminyum	1,257	1,2578	0,0063
10	10	1,5	2,250	Alüminyum	1,231	1,2305	0,0004
10	8	1	0,225	DKP	1,484	1,4844	0,00026
10	8	1	0,750	DKP	1,480	1,4805	0,00033
10	8	1	1,500	DKP	1,470	1,4707	0,00047
10	8	1	2,250	DKP	1,465	1,4649	0,000068
10	10	1,5	0,225	DKP	1,498	1,4818	0,0108
10	10	1,5	0,750	DKP	1,494	1,4942	0,00013
10	10	1,5	1,500	DKP	1,485	1,4844	0,0004
10	10	1,5	2,250	DKP	1,479	1,4785	0,00033

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile bulanık mantık sisteminden elde edilen sonuçların büyük yakınlık gösterdiği ve hazırlanan bulanık mantık sisteminin pratik uygulamalarda çekme kuvvetlerini, baskı kuvvetlerini ve malzemelerin çekme oranlarını tahmin etmek için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan bulanık mantık sistemi ile uygulanmamış deneysel parametreler için tahminler yapılmıştır. Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminleri Çizelge 6.8’de, farklı sac malzemeler ve malzeme kalınlıkları için yapılan bulanık mantık tahminleri Çizelge 6.9’de, verilmiştir.

Çizelge 6.8. Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminleri

Kalıp Kavisi, mm	Zımba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Pres Hızı, m/dk	Malzeme	Çekme Kuvveti, N	Çekme Oranı, D/d
7	11,5	1	0,75	DKP	58207,5	1,4829
7	10,5	1	0,75	DKP	58507,5	1,48245
7	9	1	0,75	DKP	58580	1,4737
7	8,8	1	0,75	DKP	58600	1,47265
7	7,5	1	0,75	DKP	57470	1,4727
7	6,5	1	0,75	DKP	56282,5	1,44335
7	5	1	0,75	DKP	54882,5	1,4434
7	4	1	0,75	DKP	54710	1,449
11	7	1	0,75	DKP	56077,5	1,47185
8,5	7	1	0,75	DKP	57312,5	1,4611
7,2	7	1	0,75	DKP	57007,5	1,44935
5	7	1	0,75	DKP	57185	1,4493
4	7	1	0,75	DKP	57180	1,44955
5	5	1	0,75	DKP	55222,5	1,4434
11	11	1	0,75	DKP	57612,5	1,48835

Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminlerinin grafik olarak gösterimi Şekil 6.43’de verilmiştir.

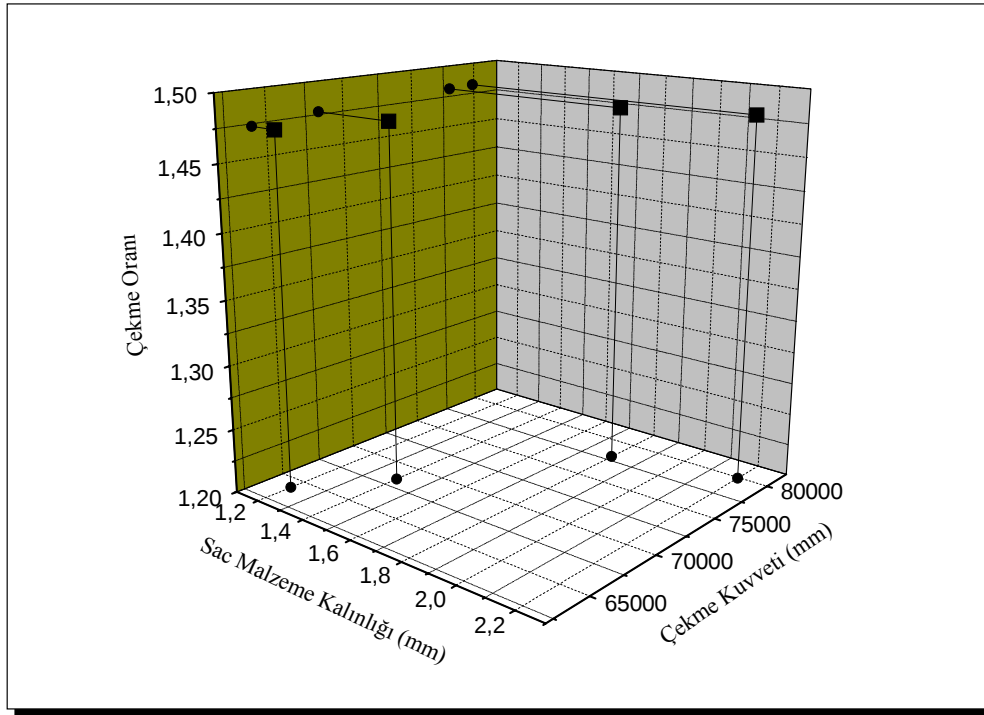


Şekil 6.43. Farklı zımba ve kalıp kavisi değerleri için yapılan bulanık mantık tahminleri

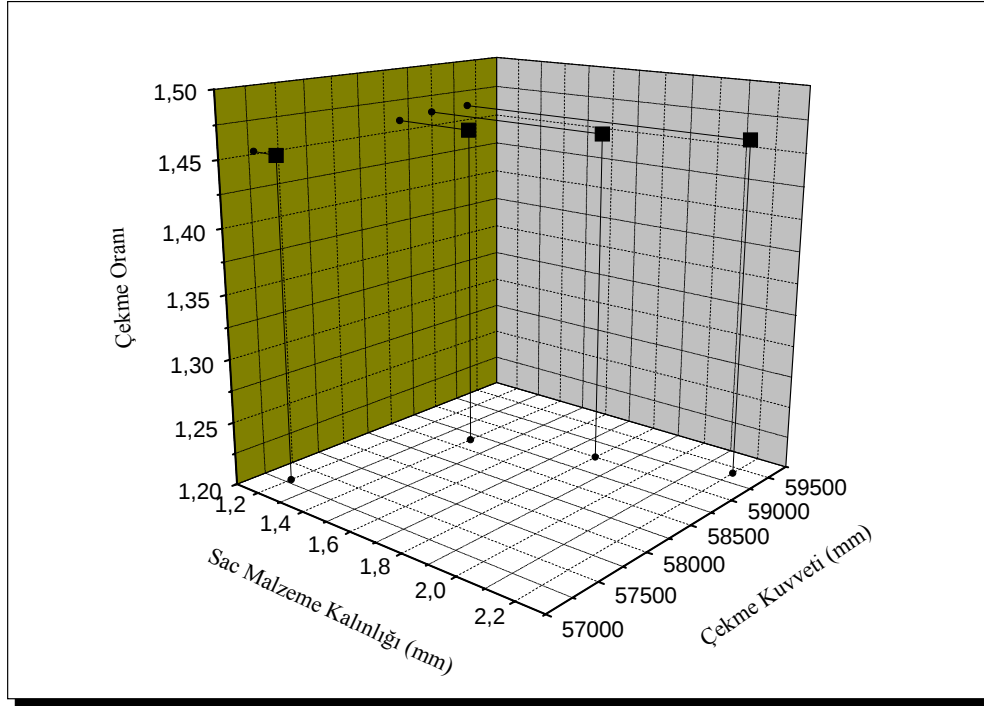
Çizelge 6.9. Farklı sac malzemeler ve sac malzeme kalınlıkları için yapılan bulanık mantık tahminleri

Kalıp Kavisi, mm	Zımba Kavisi, mm	Sac Kalınlığı, mm	Pres Hızı, m/dk	Malzeme	Baskı Kuvveti, N	Çekme Kuvveti, N	Çekme Oranı, D/d
8	8	1,2	0,75	DKP	6222,75	64112,5	1,473
8	8	1,4	0,75	DKP	6968,25	68360	1,477
8	8	1,8	0,75	DKP	8040,25	78000	1,481
8	8	2,2	0,75	DKP	8515,5	79907,5	1,482
8	8	1,2	0,75	Pirinç	6222,75	57292,5	1,452
8	8	1,4	0,75	Pirinç	6968,25	58657,5	1,458
8	8	1,8	0,75	Pirinç	8040,25	59000	1,461
8	8	2,2	0,75	Pirinç	8515,5	59402,5	1,462
8	8	1,2	0,75	Alüminyum	2636	11507,5	1,263
8	8	1,4	0,75	Alüminyum	3101,75	11572,5	1,267
8	8	1,8	0,75	Alüminyum	3250	16090	1,267
8	8	2,2	0,75	Alüminyum	3499,75	18465	1,269

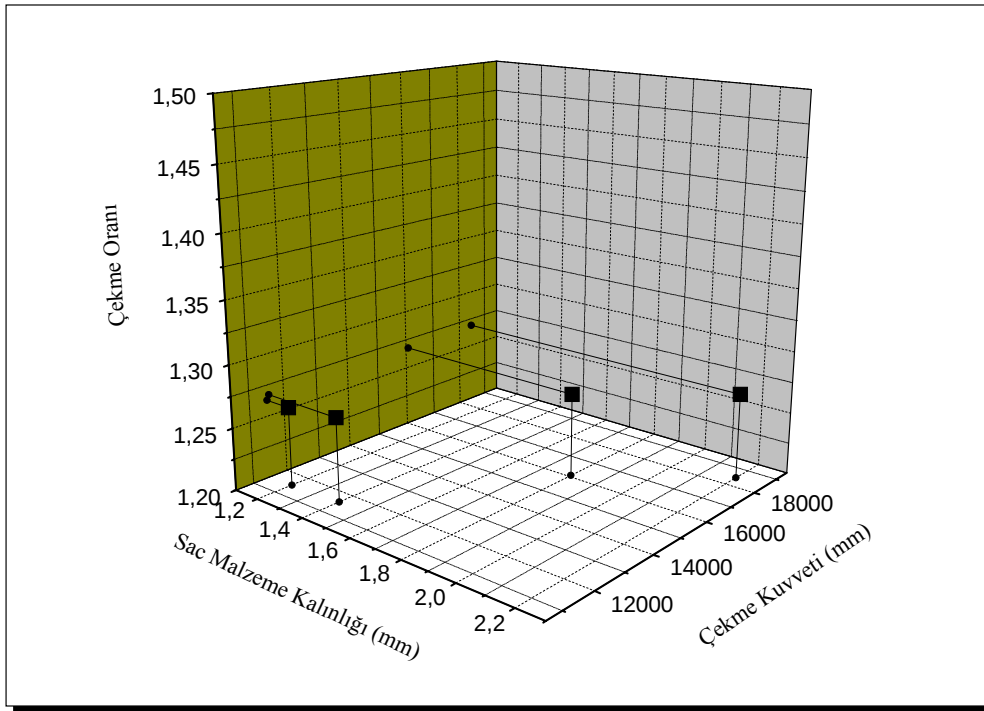
DKP malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı değerleri ekil 6.44'te, CuZn30 malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için çekme kuvveti ve çekme oranı değerleri ekil 6.45'de ve AA5754 malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için çekme kuvveti ve çekme oranı değerleri ekil 6.46'da verilmiştir.



Şekil 6.44. DKP malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri



Şekil 6.45. CuZn30 malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri



Şekil 6.46. AA5754 malzemenin farklı sac malzeme kalınlık değerleri için bulanık mantık sisteminden elde edilen çekme kuvveti ve çekme oranı tahminleri

Bulanık mantık sisteminden elde edilen tahmin değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlardaki çekme kuvveti, baskı kuvveti ve çekme oranı artışlarının deneysel çalışmalarla büyük benzerlik gösterdiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, farklı parametre değerlerinin tahmini için, hazırlanan bulanık mantık sisteminin kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Hatalı olarak üretilen kalıpların çoğu zaman geri dönüşümü yoktur ve bu durumun maddi zararlara ve maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Hazırlanacak olan kalıpla ilgili parametrelerin ve çekme oranlarının önceden görülebilmesi, hata oranlarını önemli ölçüde düşürerek ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada; farklı parametre değerlerinin malzemelerin çekme oranları üzerindeki etkileri, deneysel çalışmalar yardımıyla araştırılmıştır. Belirlenen çekme parametrelerinin, malzemelerin çekilebilirliğine etkileri, sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak DYNAFORM ve AUTOFORM ticari yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bulanık mantık için hazırlanan sisteme aktarılmış, sistemin eğitimi gerçekleştirilmiş ve farklı parametre değerleri içinde tahminlerin yapılması sağlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Kullanılan tüm malzemeler için, çekme hızındaki artışa paralel olarak malzemelerin daha hızlı deforme olduğu, malzemeler üzerinde yırtılma ve kırışıklıkların arttığı, çekme kuvvetlerinin ve çekme oranlarının ise düştüğü tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında aynı malzeme ve çekme şartlarında uygulanan farklı çekme hızlarının (0,225 m/dk, 0,75 m/dk, 1,5 m/dk, 2,25 m/dk) etkisiyle, en yüksek çekme kuvveti değeri 0,225 m/dk çekme hızında ölçülmüştür. Bu hız değerinde malzemelerin çekme oranlarının en yüksek değerlerine ulaştığı, malzemelerin et kalınlığındaki değişimlerin ise diğer çekme hızlarına oranla daha düşük düzeylerde olduğu tespit edilmiştir.

Kalıp kavis ve zımba kavisinin artan değerleri, malzemenin kalıp içerisinde daha kolay akışına izin verdiği için çekme işlemini olumlu yönde etkilemiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, kullanılan zımba kavis değerlerindeki artışla orantılı olarak, malzemenin daha kolay çekilebildiği, zımba ve kalıp kavislerinin düşen değerlerinde ise sac malzemelerin daha çabuk yırtıldığı ve bundan dolayı çekme oranlarının da düştüğü belirlenmiştir. Dişi kalıp kavislerinin büyük alınması, çekme derinliğinin düşük olduğu durumlarda çekme kuvvetini düşürmüş ve çekme oranlarını artırmıştır. Ancak, özellikle çekme derinliğinin arttığı durumlarda, büyük kalıp kavis değeri, baskı plakasının etki alanının azalmasına ve sac malzeme üzerinde kırışmaların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumda da hem

çekme kuvveti artmakta, hem de oluşan kırışmalardan dolayı sac malzeme kalıp ile zımba arasında sıkışmakta ve daha çabuk yırtılmaktadır.

Aynı parametre değerleri ile çekilmiş farklı kalınlıktaki sac malzemeler ve bu sac malzemelere bağlı olarak çekme derinlikleri incelendiğinde, sac malzeme kalınlığının çekme işlemlerinde malzemelerin çekilebilirliğini etkileyen önemli bir parametre olduğu, sac malzeme kalınlığının artan değerlerine bağlı olarak çekilebilirliğin de arttığı tespit edilmiştir.

Çekme boşluğunun olması gereken değerden daha düşük değerlerinde, sac malzemelerin kalıp ve zımba arasında sıkıştığı, artan sürtünme kuvvetlerinin de etkisi ile daha çabuk yırtıldığı ve bundan dolayı çekme oranlarının da düştüğü tespit edilmiştir. Çekme boşluğunun olması gereken değerden daha büyük verildiği durumlarda ise, sac malzeme üzerinde istenmeyen çizgiler ve kırışıklıkların oluştuğu gözlemlenmiştir. Sac malzeme üzerinde oluşan bu çizgi ve kırışıklıkların, malzemelerin çekilebilirliklerini olumsuz yönde etkilediği anlaşılmıştır.

Farklı malzemeler için, baskı plakası kuvvetlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, baskı kuvvetinin, sac malzeme cinsi ve kalınlığı ile doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Baskı kuvvetinin düşük değerlerde olması, sac malzeme üzerinde kırışmalara sebep olmakta, oluşan bu kırışmalar da malzemelerin daha çabuk yırtılmasına, çekme oranlarının düşmesine ve çekme kuvvetlerinin de artmasına yol açmaktadır. Baskı kuvvetinin, olması gereken değerlerin üzerinde seçilmesi durumunda ise, çekme kuvvetlerini gereksiz yere artırdığı ve sac malzeme üzerinde çiziklere yol açtığı gözlenmiştir. Baskı kuvvetinin çok yüksek değerlerinde ise, sac malzemenin kalıp içerisine akışının engellendiği ve form alamadan yırtıldığı gözlemlenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan bütün çekme parametrelerinin, sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak yapılan analizleri sonucunda, çekme deneyleriyle ölçülen çekme kuvvetleri, çekme oranları ve et kalınlıklarındaki değişimlerin, geliştirilen modelle hesaplanan değerler ile çok yakın olduğu belirlenmiştir. Sonlu elemanlar

analizi için geliştirilen bu modellerin, pratik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür. Kullanılan analiz programlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, özellikle sac malzeme özelliklerinin ve malzeme üzerinde oluşan deformasyonlara bağlı olarak et kalınlıklarındaki değişimlerin, analiz programlarının çözümleme hassasiyetini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Analiz işlemlerinde kullanılan paket programlar karşılaştırıldığında, AutoForm yazılımının, DynaForm yazılımına oranla malzeme özelliklerine ve et kalınlığındaki değişim oranlarına bağlı olarak oluşan deformasyonlara kullanıcı müdahalelerine daha fazla müsaade ettiği, çekme parametrelerinin seçiminde ise daha pratik ve kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Sac-metal kalıpcılığında, kalıp ve sac malzeme maliyetleri, toplam maliyeti etkileyen en önemli faktörlerdir. Çekme parametrelerinin deneme yanılma yoluyla belirlenmesi, zaman kaybına, hata yapma olasılığının artmasına ve maliyetlerin önemli ölçüde yükselmesine sebep olmaktadır. Uygulanacak olan çekme işlemine en uygun parametrelerin önceden belirlenebilmesi ve belirlenen parametre değerlerinden elde edilecek sonuçlara ilişkin tahminlerin görülebilmesi ve çekilebilirlik oranlarının en yüksek olduğu parametrelerin tayini, hata yapma olasılığını en aza indirerek maliyetlerin önemli ölçüde düşürülmesini sağlayacaktır. Çekme parametrelerini önceden belirleyerek, kalıp üzerinde oluşabilecek hataları en aza indirmek ve çekme oranlarının en yüksek olduğu parametre değerlerini kullanarak sac malzemenin en ekonomik şekilde kullanımını sağlamak, kalıp, sac malzeme ve işçilik maliyetlerini önemli ölçüde düşürerek ekonomiye büyük katkı sağlayacaktır.

Kare ve silindirik çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak, her iki profil için ayrı ayrı oluşturulan bulanık mantık sistemlerinin güvenilirlikleri, deneysel olarak ölçülen ama bulanık mantık sistemine dahil edilmeyen değerlerle karşılaştırılarak yapılmıştır. Bulanık mantık ile elde edilen sonuçların, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara çok yakın değerlerde olduğu, tüm çekme parametreleri için gerçekleşen hataların, $\pm 0,001$ 'lik hata sınırı içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Hazırlanan bulanık mantık sistemi sayesinde, deney yapılmayan bir parametre aralığı için tahminler geliştirilmiştir. Sistemde bu parametre aralığı,

deneysel çalışmalarda kullanılan parametre değerlerine yakın tutulmuştur. Ancak, hazırlanan sistem belirlenen bu parametre aralığının, parametre değerlerinin daha farklı değerlerini kapsayacak şekilde genişletilmesine imkan veren esnekliğe de sahiptir. Bu yaklaşımdan hareketle, hazırlanan bulanık mantık sistemi, alanında uzman bir kişiye gereksinim duymaksızın gerekli baskı kuvvetinin, çekme parametrelerinin ve belirlenen bu parametrelere bağlı olarak malzemelerin çekme oranlarının belirlenmesi ve farklı çekme parametreleri için tahminlerin yapılması amacıyla kullanılabilir.

Derin çekme kalıplarındaki parametrelerin incelendiği bu çalışma konusuyla ilgili olarak, bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması bakımından aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

- 1) Dişi kalıp ve çekme zımbaları üzerindeki gerilmelerin ve takım aşınmalarının analizleri yapılabilir ve bu aşınma değerleri deneysel olarak araştırılabilir.
- 2) Daha farklı çekme profilleri kullanılarak, profilin ve hadde yönünün çekme işlemi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- 3) Soğuk şekillendirme olarak yapılan bu çalışma, ılık ve sıcak şekillendirme ile tekrarlanarak çalışma daha geniş ve kapsamlı bir hale getirilebilir.
- 4) Çekme işleminde sürtünmeden etkilenen bölgelerin tespiti, baskı plakası ve sac malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin çekme işlemine etkileri ve farklı yağlayıcılar kullanılarak sürtünme etkisinin azaltılması için çalışmalar yapılabilir.
- 5) Bulanık mantık sistemi ile on-line çalışan bir tasarım yapılarak, çalışmalar sırasında parametrelerin doğrudan seçimi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Güneş, A.T., “Pres İşleri Tekniği Cilt 2”, *Makine Mühendisleri Odası*, Ankara, 1-159 (2002).
2. Simith, A.D., “Die Design Handbook”, *Society of Manufacturing Engineers*, Michigan, 10,1-12,43 (1990).
3. Di Lorenzo, R., Fratini, L., Micari, F., “Optimal blankholder force path in sheet metal forming processes: An AI based procedure”, *Annals of the CIRP*, 48 (1): 231-234 (1999).
4. Wang, L., Chan, C.L., Lee, T.C., “Process modeling of controlled forming with time variant blank holder force using RSM method”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47: 1929-1940 (2007).
5. Agrawal, A., Reddy, N.V., Dixit, P.M., “Determination of optimum process parameters for wrinkle free products in deep drawing process”, *Journal of Material Processing Technology*, 191: 51-54 (2007).
6. Yagami, T., Manabe, K., Yamauchi, Y., “Effect of alternating blankholder motion of drawing and wrinkle elimination on deep drawability”, *Journal of Material Processing Technology*, 187-188: 187-191 (2007).
7. Yagami, T., Manabe, K., Yang, M., Koyama, H., “Intelligent sheet stamping process using segment blankholder modules”, *Journal of Material Processing Technology*, 155-156: 2099-2105 (2004).
8. Demirci, H.İ., Esner, C., Yasar, M., “Effect of blank holder force on drawing of aluminium alloy square cup: Theoretical and experimental investigation” *Journal of Material Processing Technology*, 206: 152-160 (2008).
9. Gavas, M., “AL-1050 alaşımlı alüminyum sacın kare derin çekilmesinde çekme oranı limitinin belirlenmesi”, *Teknoloji*, 8: 215-221 (2005).
10. Chen, F.-K., Huang, T.B., Chang, C.K., “Deep drawing of square cups with magnesium alloy AZ31 sheets”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 1553–1559 (2003).
11. Ali, S., Hinduja, S., Atkinson, J., Bolt, P., Werkhoven, R., “The effect of ultra-low frequency pulsations on tearing during deep drawing of cylindrical cups”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48: 558-564 (2008).
12. Gavas, M., Izciler, M., “Effect of blank holder gap on deep drawing of square cups”, *Materials and Design*, 28: 1641-1646 (2007).

13. Gavas, M., Izciler, M., "Deep drawing with anti-lock braking system (ABS)", *Mechanism and Machine Theory*, 41: 1467-1476 (2006).
14. Savas, V., Secgin, G., "A new type of deep drawing die design and experimental results", *Materials and Design*, 28: 1330-1333 (2007).
15. Palumbo, G., Sorgente, D., Tricarico, L., Zhang, Z.H., Zheng, W.T., "Numerical and experimental investigations on the effect of the heating strategy and the punch speed on the warm deep drawing of magnesium alloy AZ31", *Journal of Material Processing Technology*, 191: 342-346 (2007).
16. Naka, T., Yoshida, F., "Deep drawability of type 5083 aluminium-magnesium alloy sheet under various conditions of temperature and forming speed", *Journal of Material Processing Technology*, 89-90: 19-23 (1999).
17. Doege, E., Jürgensen, R.S., Huinink, S., Yun, J.W., "Development of an optical sensor for the measurement of the material flow in the deep drawing process", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52: 225-228 (2003).
18. Doege, E., Siedel, H.J., Griesbach, B., Yun, J.W., "Contactless on-line measurement of material flow for closed loop control of deep drawing", *Journal of Material Processing Technology*, 130-131: 95-99 (2002).
19. Allen, S.J., Mahdavian, S.V., "The effect of lubrication on die expansion during the deep drawing of axisymmetrical steel cups", *Journal of Material Processing Technology*, 199: 102-107 (2008).
20. Kim, H., Sung, J.H., Sivakumar, R., Altan, T., "Evaluation of stamping lubricants using the deep drawing test" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47: 2120-2132 (2007).
21. Loganathan, C., Narayanasamy, R., "Wrinkling behaviour of different grades of annealed commercially pure aluminium sheets when drawing through a conical die", *Materials and Design*, 29: 662-700 (2008).
22. Narayanasamy, R., Loganathan, C., "Study on wrinkling limit of interstitial free steel sheets of different thickness when drawn through Conical and Tractrix dies", *Materials and Design*, 29: 1401-1411 (2008).
23. Narayanasamy, R., Loganathan, C., Satheesh, J., "Some study on wrinkling behaviour of commercially pure aluminium sheet metals of different grades when drawn through conical and tractrix dies", *Materials and Design*, 29: 1654-1665 (2008).

24. Yoshihara, S., Nishimura, H., Yamamoto, H., Manabe, K., "Formability enhancement in magnesium alloy stamping using a local heating and cooling technique: circular cup deep drawing process", *Journal of Material Processing Technology*, 142: 609-613 (2003).
25. Ying, L., Yuanyuan, L., Wei, L., "Stamping formability of ZE10 magnesium alloy sheets", *Journal of Rare Earths*, 25:480-484 (2007).
26. Groche, P., Nitzsche, G., "Influence of temperature on the initiation of adhesive wear with respect to deep drawing of aluminum alloys", *Journal of Material Processing Technology*, 191: 314-316 (2007).
27. Zhiying, C., Xianghuai, D., "The GTN damage model based on Hill'48 anisotropic yield criterion and its application in sheet metal forming", *Computational Material Science*, In Press (2008).
28. Nguyen, B.N., Bapanapalli, S.K., "Forming analysis of AZ31 magnesium alloy sheets by means of a multistep inverse approach", *Materials and Design*, In Press (2008).
29. Roizard, X., Pothier, J.M., Hihn, J.Y., Monteil G., "Experimental device for tribological measurement aspects in deep drawing process", *Journal of Material Processing Technology*, In Press (2008).
30. Gallee, S., Manach, P.Y., Thuillier S., "Mechanical behavior of a metastable austenitic stainless steel under simple and complex loading paths", *Material Science and Engineering*, 466: 47-55 (2007).
31. Garcia, C., Celentano, D., Flores, F., Ponthot, J.P., "Numerical modelling and experimental validation of steel deep drawing processes Part I. Material characterization", *Journal of Material Processing Technology*, 172: 451-460 (2006).
32. Azushima, A., Sakuramoto, M., "Effects of Plastic Strain on Surface Roughness and Coefficient of Friction in Tension-Bending Test", *Annals of the CIRP*, 55: 1-4 (2006).
33. Samuel, M., "Numerical and experimental investigations of forming limit diagrams in metal sheets", *Journal of Material Processing Technology*, 153-154: 424-431 (2004).
34. Liu, Y.Q., Wang, J.C., Hu, P., "The numerical analysis of anisotropic sheet metals in deep drawing processes", *Journal of Material Processing Technology*, 120: 45-52 (2002).

35. Manninen, T., Larkiola, J., Cser, L., Revuelta, A., Korhonen, A.S., "Modelling and Optimization of Metal Forming Processes", *Metal Forming Science and Practice*, 10: 193-212 (2002).
36. Knockaert, R., Chastel, Y., Massoni, E., "Experimental and numerical determination of texture evolution during deep drawing tests", *Journal of Material Processing Technology*, 110: 300-311 (2001).
37. Kima, J.B., Yanga, D.Y., Yoon, J.W., Barlat, F., "The effect of plastic anisotropy on compressive instability in sheet metal forming", *International Journal of Plasticity*, 16: 649-676 (2000).
38. Chang, D.F., Wang, J.E., "Analysis of Draw-Redraw Processes", *International Journal of Mechanical Sciences*, 40: 793-804 (1998).
39. Namoco, C.S., Lizuka, T., Narita, K., Takakura, N., Yamaguchi, K., "Effects of embossing and restoration process on the deep drawability of aluminum alloy sheets", *Journal of Material Processing Technology*, 187-188: 202-206 (2007).
40. Hassan, M.A., Suenega, R., Takakura, N., Yamaguchi, K., "A novel process on friction aided deep drawing using tapered blank holder divided into four segments", *Journal of Material Processing Technology*, 159: 418-425 (2005).
41. Hassan, M.A., Takakura, N., Yamaguchi, K., "Friction aided deep drawing using newly developed blank-holder divided into eight segments", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 637-646 (2003).
42. Dejmali, I., Tirosh, J., Shirizly, A., Rubinsky, L., "On the optimal die curvature in deep drawing process", *International Journal of Mechanical Sciences*, 44: 1245-1258 (2002).
43. Mori, K., Tjusi, H., "Cold deep drawing of commercial magnesium alloy sheets" *Annals of the CIRP*, 56: 285-288 (2007).
44. Browne, M.T., Hillery, M.T., "Optimising the variables when deep drawing C.R.1 cups", *Journal of Material Processing Technology*, 136: 64-71 (2003).
45. Ku, T.W., Ha, B.K., Song, W.J., Kang, B.S., Hwang, S.M., "Finite element analysis of multi-stage deep drawing process for high-precision rectangular case with extreme aspect ratio", *Journal of Material Processing Technology*, 130-131: 128-134 (2002).
46. Wang, J., Levkovitch, V., Svendsen, B., "Modeling and simulation of directional hardening in metals during non-proportional loading", *Journal of Material Processing Technology*, 177: 430-432 (2006).

47. Cotterell, M., Schambergerova, J., Ziegelheim, J., Janovec, J., "Dependence of micro-hardness on deformation of deep drawing steel sheets", *Journal of Material Processing Technology*, 124: 293-296 (2002).
48. Hu, P., Liu, Y.Q., Wang J.C., "Numerical study of the flange earring of deep-drawing sheets with stronger anisotropy", *International Journal of Mechanical Sciences*, 43: 279-296 (2001).
49. Raabe, D., Wang, Y., Roters F., "Crystal plasticity simulation study on the influence of texture on earring in steel", *Computational Material Science*, 34: 221-234 (2005).
50. Inal, K., Wu, P.D., Neale K.W., "Simulation of earring in textured aluminum sheets", *International Journal of Plasticity*, 16: 635-648 (2000).
51. Tikhovskiy, I., Raabe, D., Roters, F., "Simulation of earring of a 17% Cr stainless steel considering texture gradients", *Material Science and Engineering*, 488: 482-490 (2008).
52. Engler, O., Hirsch, J., "Polycrystal-plasticity simulation of six and eight ears in deep-drawn aluminum cups", *Material Science and Engineering*, 452-453: 640-651 (2007).
53. Tikhovskiy, I., Raabe, D., Roters, F., "Simulation of earring during deep drawing of an Al-3% Mg alloy (AA 5754) using a texture component crystal plasticity FEM", *Journal of Material Processing Technology*, 183: 169-175 (2007).
54. Walde, T., Riedel, H., "Simulation of earring during deep drawing of magnesium alloy AZ31", *Acta Materialia*, 55: 867-874 (2007).
55. Vahdat, V., Santhanam, S., Chun, Y.W., "A numerical investigation on the use of drawbeads to minimize ear formation in deep drawing", *Journal of Material Processing Technology*, 176: 70-76 (2006).
56. Miehe, C., Schotte, J., "Anisotropic finite elastoplastic analysis of shells: simulation of earring in deep-drawing of single- and polycrystalline sheets by Taylor-type micro-to-macro transitions", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 193: 25-57 (2004).
57. Kishor, N., Kumar, D.R., "Optimization of initial blank shape to minimize earring in deep drawing using finite element method", *Journal of Material Processing Technology*, 130-131: 20-30 (2002).
58. Kumar, D.R., "Formability analysis of extra-deep drawing steel", *Journal of Material Processing Technology*, 130-131: 31-41 (2002).

59. Zeng, X.M., Mahdavian, S.M., "Critical conditions of wrinkling in deep drawing at elevated temperature", *Journal of Material Processing Technology*, 84: 39-46 (1998).
60. Jain, M., Alin, J., Bull, M.J., "Deep drawing characteristics of automotive aluminum alloys", *Material Science and Engineering*, 256: 69-82 (1998).
61. Chu, E., Xu, Y., "An elastoplastic analysis of flange wrinkling in deep drawing process", *International Journal of Mechanical Sciences*, 43: 1421-1440 (2001).
62. Kim J.B., Yoon, J.W., Yang, D.Y., Barlat, F., "Investigation into wrinkling behavior in the elliptical cup deep drawing process by finite element analysis using bifurcation theory", *Journal of Material Processing Technology*, 111: 170-174 (2001).
63. Kawka, M., Olejnik, L., Rosochowski, A., Sunaga, H., Makinouchi, A., "Simulation of wrinkling in sheet metal forming", *Journal of Material Processing Technology*, 109: 283-289 (2001).
64. Colgan, Mark., Monaghan, J., "Deep drawing process: analysis and experiment", *Journal of Material Processing Technology*, 132: 35-41 (2003).
65. Demirci, H.İ., Yaşar, M., Demiray, K., Karalı, M., "The theoretical and experimental investigation of blank holder forces plate effect in deep drawing process of AL 1050 material", *Materials and Design*, 29: 526-532 (2008).
66. Chen L., Yang, J.C., Zhang, L.W., Yuan, S.Y., "Finite element simulation and model optimization of blankholder gap and shell element type in the stamping of a washing-trough", *Journal of Material Processing Technology*, 182: 637-643 (2007).
67. Yaşar, M., Korkmaz, Z., Gavas, M., "Forming sheet metals by means of multi-point deep drawing method", *Materials and Design*, 28: 2647-2653 (2007).
68. Loganathan, C., Narayanasamy, R., Sathiyarayanan, S., "Effect of annealing on the wrinkling behaviour of the commercial pure aluminium grades when drawn through a conical die", *Materials and Design*, 27: 1163-1168 (2006).
69. Loganathan, C., Narayanasamy, R., "Effect of mechanical properties on the wrinkling behaviour of three different commercially pure aluminium grades when drawn through conical and tractrix dies", *Material Science and Engineering*, 406: 229-253 (2005).
70. Lang, L., Danckert, J., Nielsen, K.B., "Investigation into hydrodynamic deep drawing assisted by radial pressure Part II. Numerical analysis of the drawing mechanism and the process parameters", *Journal of Material Processing Technology*, 166: 150-161 (2005).

71. Correia, J.P.M., Ferron, G., “Wrinkling of anisotropic metal sheets under deep-drawing: analytical and numerical study”, *Journal of Material Processing Technology*, 155-156: 1604-1610 (2004).
72. Sheng, Z.Q., Jirathearanat, S., Altan, T., “Adaptive FEM simulation for prediction of variable blank holder force in conical cup drawing”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44: 487-494 (2004).
73. Correia, J.P.M., Ferron, G., Moreira, L.P., “Analytical and numerical investigation of wrinkling for deep-drawn anisotropic metal sheets”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 45: 1167-1180 (2003).
74. Garcia, C., “Artificial intelligence applied to automatic supervision, diagnosis and control in sheet metal stamping process”, *Journal of Material Processing Technology*, 164-165: 1351-1357 (2005).
75. Lin, J.C., “Using FEM and neural network prediction on hydrodynamic deep drawing of T-piece maximum length”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 39: 445-456 (2003).
76. Manabe, K., Koyama, H., Yoshihara, S., Yagami, T., “Development of a combination punch speed and blank-holder fuzzy control system for the deep-drawing process”, *Journal of Processing Technology*, 125: 440-445 (2002).
77. Manabe, K., Yang, M., Yoshihara, S., “Artificial intelligence identification of process parameters and adaptive control system for deep-drawing process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 80: 421-426 (1998).
78. Koyama, H., Manabe, K., Yoshihara, S., “A database oriented process control design algorithm for improving deep-drawing performance”, *Journal of Materials Processing Technology*, 138: 343-348 (2003).
79. Sing, M.W., Rao, K.P., “Knowledge-based process layout system for axisymmetrical deep drawing using decision tables”, *Computers Ind. Engng.*, 32: 299-319 (1997).
80. Park, S.B., Choi, Y., Kim, B.M., Choi, J.C., “A Study of a computer-aided process design system for axisymmetric deep-drawing products”, *Journal of Materials Processing Technology*, 75: 17-26 (1998).
81. Pepelnjak, T., Kuzman, K., “Adaptable tooling sets for metal forming of geometrically similar products”, *Journal of Materials Processing Technology*, 80: 413-420 (1998).
82. Erişkin, Y., “Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları*, Ankara, 127-159 (1986).

83. Smith, A.D., “Fundamentals of Pressworking”, *Society of Manufacturing Engineers*, Michigan, 75-142 (1994).
84. Szumera, J.A., “The Metal Stamping Process”, *Industrial Press Inc.*, New York, 96-140 (2003).
85. Çapan, L., “Metallere Plastik Şekil Verme”, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul, 291-310 (2003).
86. Kayalı, E.S., Çimenoglu, H., “Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları”, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 4-37 (1995).
87. Elmas, Ç., “Bulanık Mantık Denetleyiciler”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 23-103 (2003).
88. Baykal, N., Beyan, T., “Bulanık Mantık İlke ve Temelleri”, *Bıçaklar Kitabevi*, Ankara, 53-388 (2004).
89. Nabiyev, V. V., “Yapay Zeka”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 639-666 (2003).
90. “FuzzyTECH User’s Manuel”, *Inform Software Corp.*, 39-148 (2001).

EKLER

EK-1. Bulanık mantık için oluşturulan kural tablosu

EĞER					O ZAMAN	
Kalip Kavisi	Malzeme	Pres Hizi	Sac Kalınlığı	Zimba Kavisi	DoS	Cekme Kuvveti
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.79	endusuk
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.21	dusuk
kucuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.82	endusuk
kucuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.18	dusuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.89	endusuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.11	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.05	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.95	endusuk
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.80	endusuk
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.20	dusuk
buyuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.84	endusuk
buyuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.16	dusuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.90	endusuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.10	dusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.96	endusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.04	dusuk
kucuk	AL5754	kucuk	orta	kucuk	0.42	endusuk
kucuk	AL5754	kucuk	orta	kucuk	0.58	dusuk
kucuk	AL5754	orta	orta	kucuk	0.56	endusuk
kucuk	AL5754	orta	orta	kucuk	0.44	dusuk
kucuk	AL5754	buyuk	orta	kucuk	0.69	endusuk
kucuk	AL5754	buyuk	orta	kucuk	0.31	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	orta	kucuk	0.77	endusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	orta	kucuk	0.23	dusuk
buyuk	AL5754	kucuk	orta	kucuk	0.44	endusuk
buyuk	AL5754	kucuk	orta	kucuk	0.55	dusuk
buyuk	AL5754	orta	orta	kucuk	0.58	endusuk
buyuk	AL5754	orta	orta	kucuk	0.42	dusuk
buyuk	AL5754	buyuk	orta	kucuk	0.70	endusuk
buyuk	AL5754	buyuk	orta	kucuk	0.30	dusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	orta	kucuk	0.77	endusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	orta	kucuk	0.23	dusuk
kucuk	AL5754	kucuk	buyuk	kucuk	0.26	endusuk
kucuk	AL5754	kucuk	buyuk	kucuk	0.74	dusuk
kucuk	AL5754	orta	buyuk	kucuk	0.34	endusuk
kucuk	AL5754	orta	buyuk	kucuk	0.66	dusuk
kucuk	AL5754	buyuk	buyuk	kucuk	0.48	endusuk
kucuk	AL5754	buyuk	buyuk	kucuk	0.52	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	buyuk	kucuk	0.55	endusuk

EK-1. (Devam) Bulanık mantık için oluşturulan kural tablosu

EĞER					O ZAMAN	
Kalıp Kavisi	Malzeme	Pres Hızı	Sac Kalınlığı	Zimba Kavisi	DoS	Çekme Oranı
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.82	orta
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.10	buyuk
kucuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.98	orta
kucuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.02	buyuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.04	dusuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.96	orta
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.13	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.88	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.88	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	kucuk	0.12	buyuk
buyuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.97	orta
buyuk	AL5754	orta	kucuk	kucuk	0.03	buyuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.02	dusuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	kucuk	0.98	orta
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.13	dusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	kucuk	0.88	orta
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	orta	0.88	orta
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	orta	0.13	buyuk
kucuk	AL5754	orta	kucuk	orta	0.96	orta
kucuk	AL5754	orta	kucuk	orta	0.04	buyuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	orta	0.02	dusuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	orta	0.98	orta
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	orta	0.12	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	orta	0.88	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	orta	0.86	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	orta	0.14	buyuk
buyuk	AL5754	orta	kucuk	orta	0.95	orta
buyuk	AL5754	orta	kucuk	orta	0.05	buyuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	orta	0.01	dusuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	orta	0.99	orta
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	orta	0.10	dusuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	orta	0.98	orta
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	buyuk	0.85	orta
kucuk	AL5754	kucuk	kucuk	buyuk	0.15	buyuk
kucuk	AL5754	orta	kucuk	buyuk	0.94	orta
kucuk	AL5754	orta	kucuk	buyuk	0.06	buyuk
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	buyuk	0.99	orta
kucuk	AL5754	buyuk	kucuk	buyuk	0.01	buyuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	buyuk	0.10	dusuk
kucuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	buyuk	0.90	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	buyuk	0.84	orta
buyuk	AL5754	kucuk	kucuk	buyuk	0.16	buyuk
buyuk	AL5754	orta	kucuk	buyuk	0.92	orta
buyuk	AL5754	orta	kucuk	buyuk	0.08	buyuk
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	buyuk	0.98	orta
buyuk	AL5754	buyuk	kucuk	buyuk	0.02	buyuk
buyuk	AL5754	enbuyuk	kucuk	buyuk	0.09	dusuk

EK-1. (Devam) Bulanık mantık için oluşturulan kural tablosu

EĞER		O ZAMAN	
Malzeme	Sac Kalınlığı	DoS	Baskı Kuvveti
AL5754	kucuk	0.32	endusuk
AL5754	kucuk	0.68	dusuk
AL5754	orta	0.88	dusuk
AL5754	orta	0.13	orta
AL5754	buyuk	0.75	dusuk
AL5754	buyuk	0.25	orta
DKP1110	kucuk	0.78	orta
DKP1110	kucuk	0.22	buyuk
DKP1110	orta	0.56	orta
DKP1110	orta	0.44	buyuk
DKP1110	buyuk	0.22	orta
DKP1110	buyuk	0.78	buyuk
CuZn30	kucuk	0.78	orta
CuZn30	kucuk	0.22	buyuk
CuZn30	orta	0.56	orta
CuZn30	orta	0.44	buyuk
CuZn30	buyuk	0.22	orta
CuZn30	buyuk	0.78	buyuk

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Gürün, Hakan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.11.1976, Gürün
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 86 15
 Web : <http://w3.gazi.edu.tr/web/hgurun>
 e-mail : hgurun@gazi.edu.tr
 Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı	2002
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
09.2006–	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Kalıpcılık Eğitimi ABD.	Öğretim Görevlisi
09.1999– 09.2007	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Kalıpcılık Eğitimi ABD.	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

1. Hascalik, A., Caydaş, U., Gürün, H., “Effect of Traverse Speed on Abrasive Waterjet Machining of Ti-6Al-4V Alloy”, *Materials & Design*, 28 (6): 1953-1957 (2007).
2. 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*, 27: 1134-1138 (2006).
3. Gürün, H., Nalbant M., “Bilgisayar Destekli Ardışık Delme-Kesme Kalıbı Tasarımı”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 20 (2): 155-160 (2005).
4. Gürün, H., Nalbant, M., Dilipak, H., Özdemir, A., “Ardışık Kesme Kalıplarında Bilgisayar Destekli Şerit Yerleşimi ve Planlaması”, *Teknoloji*, 7 (2): 311-319 (2004).
5. Özdemir, A., Gürün, H., Dilipak, H., “Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 4 (1): 41-45 (2005).

PROJELER

1. Tekiner, Z., Gürün, H., “Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri*, (2007)