

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN ÇEKME İŞLEMİNDE ÜRÜN KALİTESİNİN
TAHMİNİ ve KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

Oğuz KOÇAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman ELDOĞAN
Ortak Danışman : Doç. Dr. Durmuş KARAYEL

Aralık 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN ÇEKME İŞLEMİNDE ÜRÜN KALİTESİNİN
TAHMİNİ VE KONTROLÜ


DOKTORA TEZİ


Oğuz KOÇAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ

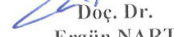
Bu tez 15 / 12 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Osman Eldoğan
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Ahmet TÜRK
Üye


Prof. Dr.
Mustafa YAŞAR
Üye


Doç. Dr.
Cevdet GÖLÖĞLU
Üye


Doç. Dr.
Ergün NART
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Osman ELDOĞAN'a ve Doç. Dr. Durmuş KARAYEL'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Doç Dr. Sinan Serdar ÖZKAN ve Yrd. Doç Dr. Ferit FIÇICI'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımnda katkı sağlayan değerli arkadaşım Hülaguhan YILDIZ'a ve Lab-Test Ekipmanları San. Ve Tic. Ltd çalışanlarına, Elringklinger TR Otomotiv San. Ve Tic. Aş'ye teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında gerekli olan bilgi ve teknolojilerini benden esirgemeyen Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet merkezine ve Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin değerli öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anne ve babama, gösterdiği sabır ve desteklerinden dolayı eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Deneysel ve Analitik Çalışmalar	4
2.2. Zeki Sistemler Kullanarak Ürün Kalitesinin İyileştirilmesi.....	14
2.3. Derin Çekmede Ürün Kalitesini Etkileyen İşlem Değişkenlerin	
İstatistiksel Olarak İncelenmesi.....	17
2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi	21
BÖLÜM 3.	
KURAMSAL TEMELLER	24
3.1. Presleme Teknikleri	24
3.2. Çekme İşlemi.....	25
3.2.1. Baskı plakalı çekme	26
3.2.2. Baskı plakasız çekme	27
3.2.3. Çevirme çekme	28
3.3. Parçaların İlkel Çapının Hesaplanması.....	28
3.3.1. Alan yöntemi	29

3.3.2. Uzunluk ve ağırlık merkezi yöntemi.....	29
3.4. Derin Çekmede Meydana Gelen Hatalar	31
3.5. Derin Çekmenin Operasyonlandırılması.....	32
3.6. Derin Çekmeyi Etkileyen Faktörler.....	35
3.6.1. Malzeme değişkenleri	35
3.6.2. İşlem değişkenleri	36
3.6.2.1. Çekme kavisleri	36
3.6.2.2. Çekme hızı.....	38
3.6.2.3. Çekme boşluğu	39
3.6.2.4. Çekme kuvveti	40
3.6.2.5. Çekmede yağlama.....	41
3.6.2.6. Baskı plakası kuvveti	42
3.7. Metallere Plastik Şekil Verme.....	44
3.7.1. Plastik şekil değiştirmede gerilme-birim	
şekil değiştirme ilişkisi	45
3.7.2. Plastik şekil değiştirmeyi etkileyen faktörler	46
3.7.2.1. Malzeme yapısı	46
3.7.2.2. Mekanik özellikler	46
3.7.2.3. Şekil değiştirme sertleşmesi üsteli	49
3.7.2.4. Deformasyon hızına duyarlılık üsteli	50
3.7.2.5. Plastik anizotropi.....	51
3.7.2.6. Deformasyon hızı.....	53
3.7.2.6. Sıcaklık.....	55
3.8. Hasar Teorileri.....	55
3.8. Deney Kavramı.....	59
3.8.1. Deney tasarımları	62
3.8.1.1. Tek faktörlü deney	62
3.8.2.2. Çok faktörlü deney.....	62
3.8.2.3. Tam faktöriyel deney	63
3.8.2.4. Kesirli faktöriyel deney.....	63
3.8.3. Taguchi yöntemi	64
3.8.4. Taguchi deney tasarımı aşamaları.....	65
3.8.4.1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi....	65

3.8.4.2. Faktör düzeylerinin seçilmesi.....	66
3.8.4.3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi.....	67
3.8.4.4. Faktör ve/veya etkileşimlerin kolonlara atanması.....	68
3.8.4.5. Testlerin yapılması.....	69
3.8.4.6. Sonuçların analiz edilmesi	69
3.8.4.7. Doğrulama deneylerinin yapılması.....	73
3.9. Yapay Sinir Ağları.....	73
3.9.1. Sinir sistemi	74
3.9.2. Girişler.....	76
3.9.3. Ağırlıklar	76
3.9.4. Toplama işlemi	76
3.9.5. Etkinlik işlevi.....	76
3.9.6. Ölçeklendirme ve sınırlama.....	78
3.9.7. Çıkış işlevi.....	78
3.9.8. Öğrenme	79
3.9.9. YSA'nın özellikleri	79
3.9.10. YSA türleri	79
3.9.11. Yapay sinir ağlarının yararları ve sınırları.....	80
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	81
4.1. Deneysel Çalışmaların Taguchi Yöntemi ile Tasarımı.....	81
4.1.1. Deneylerde kullanılacak parça tasarımı	83
4.1.2. Deney parametre değerlerinin tespiti	83
4.1.2.1. Kalıp kavisi.....	83
4.1.2.2. Zımba hızı	83
4.1.2.3. Baskı plakası kuvveti	84
4.1.2.4. Yağlayıcılar	84
4.1.3. Deneysel Tasarım.....	85
4.2. Deneysel Çalışmalar	89
4.2.1. Pres tezgahı.....	89
4.2.2. Kalıp seti.....	90
4.2.2.1. Çekme kalıbı alt grubu	91

4.2.2.2. Çekme kalıbı üst grubu.....	93
4.2.3. Çekme Parametreleri	95
4.2.4. Deneilerin yapılışı	95
4.3. Denei Sonuçlarının Ölçülmesi.....	95
4.3.1. Yırtılmanın değerlendirilmesi.....	96
4.3.2. Buruşmanın değerlendirilmesi.....	98
BÖLÜM 5.	
MODELLEME VE SİMÜLASYON.....	102
5.1. Yapay Sinir Ağları.....	102
5.1.1. YSA mimarisi	103
5.1.2. YSA için eğitim, test ve uygulama setlerinin hazırlanması	104
5.1.3. YSA için öğrenme modelinin seçilmesi.....	105
5.1.4. YSA'nın modellenmesinde kullanılan transfer fonksiyonu	106
5.1.5. YSA için diğeri parametrelerin belirlenmesi.....	108
5.2. Sonlu Elemanlar Modeli	109
5.2.1. Kalıp elemanlarının modellenmesi	109
5.2.2. Sac malzeme modellerinin oluşturulması.....	110
5.2.3. Ağ yapılarının oluşturulması	111
5.3. Derin çekme işleminde kullanılan malzeme	113
BÖLÜM 6.	
DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI.....	115
6.1. Yağlayıcı Miktarı.....	115
6.2. Sürtünme Katsayıları	116
6.3. Sac Malzemenin Yırtılma sınırının Tespit Edilmesi	118
6.4. İşlem Değişkenlerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki	
Etkilerinin Değerlendirilmesi.....	120
6.4.1. Buruşma için yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi	120
6.4.1.2. Varyans analizi (ANOVA).....	124
6.4.1.3. Kalıp kavisinin buruşma üzerindeki etkisi.....	124
6.4.1.4. Yağlayıcının buruşma üzerindeki etkisi.....	126
6.4.1.5. BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.....	128

6.4.1.6. Zımba hızının buruşma üzerindeki etkisi	130
6.4.1.7. Buruşma için doğrulama deneyinin yapılması	132
6.4.1.8. Deneylerin doğrulanması	134
6.4.2. Yırtılma için yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.....	135
6.4.2.1. S/N analizi	136
6.4.2.2. Varyans analizi (ANOVA).....	139
6.4.2.3. Kalıp kavisinin yırtılma üzerindeki etkisi	139
6.4.2.4. Yağlayıcının yırtılma üzerindeki etkisi.....	141
6.4.2.5. BPK'nin yırtılma üzerindeki etkisi	142
6.4.2.6. Zımba hızının uzama üzerindeki etkisi	144
6.4.2.7. Yırtılma için doğrulama deneyinin yapılması	146
6.4.2.8. Deneylerin doğrulanması	147
6.5. SEY Sonuçlarının İncelenmesi.....	148
6.6. Deneysel Sonuçlarının YSA ile Analizi ve Değerlendirilmesi	151
6.6.1. Buruşma için ağırlık modellenmesi.....	152
6.6.2. Yırtılma için ağırlık modellenmesi.....	157
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	162
KAYNAKLAR.....	167
ÖZGEÇMİŞ	176

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

d	: Çekilen son çap
D	: İlkel çap
H	: Çekilecek parça yüksekliği
V	: Çekilecek parçanın hacmi
l	: Çekmeye uğrayan kenarların uzunlukları
E	: Elastikiyet modülü
ν	: Poisson oranı
F	: Kuvvet
s	: Sac malzeme kalınlığı
τ	: Kayma gerilmesi
q	: Yoğunluk
K	: Mukavemet katsayısı
R	: Anizotropi katsayısı
\bar{R}	: Ortalama anizotropi katsayısı
ΔR	: Düzlemsel anizotropi katsayısı
a	: Kesme payı
m	: Çekme oranı
rk	: Kalıp kavisi
rz	: Zımba kavisi
z	: Çekme boşluğu
σ	: Çekme gerilmesi
BPK	: Baskı plakası kuvveti
Q	: Baskı plakası kuvveti
d1	: Birinci çekme çapı
d2	: İkinci çekme çapı
m1	: Birinci çekme oranı

mn	: Ara çekme oranları
σ	: Mühendislik gerilmesi
σ_g	: Gerçek gerilme
ε	: Gerçek birim şekil değiştirme
n	: Deformasyon sertleşmesi üssü
m	: Deformasyon hızı duyarlılığı üssü
$\dot{\varepsilon}$: Gerçek deformasyon hızı
Lo	: Numunenin deformasyon öncesi uzunluğu
L	: Numunenin deformasyon sonrası uzunluğu
V	: Hız
Ug	: Şekil değiştirme enerjisi
YSA	: Yapay sinir ağları
SEY	: Sonlu elemanlar yöntemi
T.F.D	: Tam faktöriyel deney
K.F.D	: Kesirli faktöriyel deney
T.M	: Taguchi metodu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sürtünmenin Azalmasıyla İşlem Penceresinin Genişlemesi.	9
Şekil 2.2. Savaş ve Seçgin'in yeni tip çekme kalıbı modeli	10
Şekil 2.3. Pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri.	11
Şekil 2.4. Browne ve Hillery et kalınlığı ölçüm modeli.	13
Şekil 3.1. Pres Tekniklerinden Örnekler.	25
Şekil 3.2. Silindirik Çekme İşleminin Oluşumu.	25
Şekil 3.3. Baskı plakalı çekme işleminin oluşumu.	27
Şekil 3.4. Baskı plakasız çekme işleminin oluşumu.	27
Şekil 3.5. Çevirme çekme işleminin oluşumu a) Çekme, b) Çevirme çekme.	
c) Ürün.	28
Şekil 3.6. Alan Metodu ile İkel Çapın Bulunması.	29
Şekil 3.7. Uzunluk ve Ağırlık Merkezi Metodu.	30
Şekil 3.8. Çekme İşleminde Oluşan Hatalar.	31
Şekil 3.9. Silindirik Çekmede Oluşan Gerilmeler.	33
Şekil 3.10. Zımba ucu kavisi ve dişi kalıp kavisi.	36
Şekil 3.11. Zaman-kuvvet grafiği.	41
Şekil 3.12. Teğetsel gerilmeler etkisiyle buruşmalar.	43
Şekil 3.13. Üç temel şekil değişimi (a- basma, b- çekme, c- kayma).	44
Şekil 3.14. Gerilme – Genleme diyagramı.	47
Şekil 3.15. Pekleşme üsselinin hesaplanması	50
Şekil 3.16. Hadde yönüne göre çekme numunesi yerleşimi.	52
Şekil 3.17. Deformasyon hızının çekme eğrisine etkisi.	54
Şekil 3.18. Sıcaklığın çekme diyagramına etkisi	55
Şekil 3.19. Maksimum normal gerilme teorisinin grafik olarak gösterilmesi.	57
Şekil 3.20. Maksimum Tresca teorisinin grafik olarak gösterilmesi.	58
Şekil 3.21. Von Misses teorisinin grafik olarak gösterilmesi.	59

Şekil 3.22. Bir sistem yada sürecin modeli	60
Şekil 3.23. Bilimsel çalışmalar istatistiksel girdi düzeyi.....	61
Şekil 3.24. Etkileşim grafik gösterimi.....	66
Şekil 3.25. Biyolojik nöron yapısı.....	74
Şekil 3.26. Yapay sinir ağı genel yapısı.....	75
Şekil 3.27. Yapay sinir ağlarında en çok kullanılan transfer fonksiyonları.....	77
Şekil 3.28. YSA'nın sınıflandırılması.....	80
Şekil 4.1. Balık Kılıçığı Yöntemiyle Derin Çekmeyi Etkileyen	
İşlem Parametreleri.....	82
Şekil 4.2. L ₂₇ serisi için doğrusal grafik.....	87
Şekil 4.3. Deneysel Çalışmaları Yapıldığı Pres Tezgahı.....	90
Şekil 4.4. SLUZ 400 – 16 Çift Tekili Hidrolik Presi Oluşturan Kısımlar.....	90
Şekil 4.5. Silindirik Kap ve İlkel Çap.....	91
Şekil 4.6. Zımbanın Teknik Resmi.....	92
Şekil.4.7. Zimba ve Alt Grubun Teknik Resmi.....	93
Şekil 4.8. Zimba ve Alt Grubun üç Boyutlu Görünümü.....	93
Şekil 4.9. Matrisin teknik resmi.....	94
Şekil 4.10. Matris ve Kalıp Üst Grubu Montaj Resmi.....	94
Şekil 4.11. Tasarlanmış deney düzeneğinin hidrolik prese montajı.....	95
Şekil.4.12. Yırtılma için Değerlendirme Kriteri a) Yırtılan Oluşan Parça	
b) Yırtık Oluşmayan Parça.....	97
Şekil 4.13. Atos Optik Ölçüm Sistemi ve Derin Çekme Deney	
Sonucunun Sayısallaştırılmış Şekli (Deney 14).....	98
Şekil 4.14. CAD Verileri ile Sayısallaştırılmış Verilerinin Çakıştırılması.....	99
Şekil 4.15. Ölçüm İçin Kesit Düzlemi Oluşturulması.....	99
Şekil 4.16. Kesit Düzlemi Üzerindeki Sapma Verilerini Hesaplanması.....	100
Şekil 5.1. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli.....	102
Şekil 5.2. YSA Mimarisi (F= Baskı Plakası Kuvveti, V= Zimba Hızı.....	
R= Kalıp Kavisi, μ = Sürtünme Katsayısı).....	103
Şekil 5.3. Transfer fonksiyonu.....	107
Şekil 5.4. Transfer fonksiyonlarının YSA mimarisindeki yeri.....	107
Şekil 5.5. Derin çekme işlemi için simetrik model.....	110
Şekil 5.6. Baskı plakasına ait ağ yapısı.....	111

Şekil 5.7. Zımba ve kalıba ait ağ yapıları.	111
Şekil 5.8. Sac malzemeye ait ağ yapısı.	112
Şekil 6.1. Derin çekme işlemi sırasındaki Kuvvet – Yol grafiği.	117
Şekil 6.2. BPK'ne göre şekillendirme boyunca zımba kuvvetinin değişimi.	119
Şekil 6.3. Farklı BPK'lerinde yapılan çekme deneyi.	120
Şekil 6.4. a) Kalıp kavisi, b) yağlayıcı, c) zımba hızı, d) BPK'nin buruşmaya.... etkileri ve S/N oranları.	123
Şekil 6.5. Buruşma için işlem değişkenlerinin arasındaki etkileşim matrisi.	123
Şekil 6.6. Kalıp kavisi için S/N oranları ve ortalamalar.	125
Şekil 6.7. Kalıp kavisinin ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.	126
Şekil 6.8. BPK ve kalıp kavisinin seviyeleri için buruşma değerleri.	126
Şekil 6.9. Yağlayıcı için S/N oranları ve ortalamalar.	127
Şekil 6.10. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.	128
Şekil 6.11. Yağlayıcı ve kalıp kavisinin seviyeleri için buruşma değerleri.	128
Şekil 6.12. BPK için S/N oranları ve ortalamalar.	129
Şekil 6.13. BPK'e göre ürün kalitesindeki değişim.	129
Şekil 6.14. BKP ve diğer kontrol faktörlerine göre deney sonuçları.	130
Şekil 6.15. Zımba hızı için S/N oranları ve ortalamalar.	131
Şekil 6.16. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.	132
Şekil 6.17. Buruşmaya göre en kötü kombinasyonun deneysel ve SEY sonuçları.	133
Şekil 6.18. Doğrulama deneyi ($A_3B_1C_2D_2$).	135
Şekil 6.19. a) Kalıp kavisi, b) yağlayıcı, c) zımba hızı, d) BPK'nin buruşmaya etkileri ve S/N oranları.	138
Şekil 6.20. Buruşma için işlem değişkenlerinin arasındaki etkileşimin çizdirilmesi.	138
Şekil 6.21. Kalıp kavisi için S/N oranları ve ortalamalar.	140
Şekil 6.22. Kalıp kavisinin ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.	140
Şekil 6.23. Yağlayıcı için S/N oranları ve ortalamalar.	141
Şekil 6.24. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.	142
Şekil 6.25. BPK için S/N oranları ve ortalamalar.	143
Şekil 6.26. BPK'e göre ürün kalitesindeki değişim.	144
Şekil 6.27. Zımba hızı için S/N oranları ve ortalamalar.	145

Şekil 6.28. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.....	145
Şekil 6.29. Yırtılma için en kötü kombinasyonun deney ve analiz sonuçları.....	147
Şekil 6.30. Doğrulama deneyi ($A_3B_1C_2D_1$).....	148
Şekil 6.31. Deneysel çalışma ve SEY sonuçları (Deney 17).	149
Şekil 6.32. Deneysel çalışma sonuçları (Deney 14).	149
Şekil 6.33. Analiz sonuçları (Deney 14).	150
Şekil 6.34. Deney ve analiz sonuçları (Deney 20).	150
Şekil 6.35. Analiz sonuçları (Deney 18).	151
Şekil 6.36. Buruşma tahmini için YSA modeli.	153
Şekil 6.37. Denklemler ve ağ yapısı.....	154
Şekil 6.38. Eğitim sonucunda YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.	156
Şekil 6.39. Buruşma için deney ve tahmin sonuçlarının sütun grafikle gösterilmesi.	156
Şekil 6.40. Buruşma için eğitim ve hata değerini gösteren eğri.....	157
Şekil 6.41. Yırtılma tahmini için YSA modeli.....	158
Şekil 6.42. Denklemler ve ağ yapısı	158
Şekil 6.43. Eğitim sonucunda YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.	160
Şekil 6.44. Test verileri için deney ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.	160
Şekil 6.45. Buruşma için eğitim ve hata değerini gösteren eğri.....	161

ÖZET

Anahtar kelimeler: Derin çekme, taguchi deneysel tasarım, YSA

Bu çalışmada, derin çekme işlemlerinde işlem değişkenlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla seçilen Al 5764 sac levha malzemesi silindirik kap şeklinde biçimlendirilmiştir. İşlem değişkenleri kalıp kavisi, yağlayıcı, zımba hızı ve baskı plakası kuvveti olarak seçilmiştir. Her işlem değişkeni üç seviyeden oluşmaktadır.

Deneysel çalışmada Taguchi L27(2^{13}) ortogonal dizini esas alınarak deney seti hazırlanmıştır. Deneyler üçer seviyeli dört değişkenin farklı kombinezonları oluşturularak yapılmıştır. İşlem değişkenlerine göre imalatı gerçekleştirilen kaplar derin çekme işleminde iki temel kusur olan buruşma ve yırtılma esas alınarak test edilmiştir. Deney verileri S/N oranları, ortalama değerler ve ANOVA (varyans analizi) kullanılarak analiz edilmiştir. İşlem değişkenlerinin ürün kalitesi üzerindeki yüzde etkileri ve birbiriyle olan etkileşimleri incelenmiştir. Ürün kalitesi üzerinde en fazla etkiye baskı plakası kuvvetinin sahip olduğu belirlenmiştir. Diğer işlem değişkenlerinin de ürün kalitesini doğrudan etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca bir işlem değişkeninin ürün kalitesine olan etkisinin diğer işlem değişkenlerinin seviyelerine bağlı olduğu ve ürün kalitesini arttırmak için işlem değişkenlerini bir bütün içerisinde değerlendirmek gerekmektedir.

Parçadaki buruşma ve yırtılma miktarının tahmini için Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Bunun için iki farklı ağ modeli geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerden yararlanılarak, oluşturulan YSA modellerinin eğitimi ve testi gerçekleştirilmiştir. Ağ modelinin test sonuçlarında buruşma için %91, yırtılma için %95'lik başarı yakalanmıştır. YSA modeli ile derin çekme işleminde kullanılacak olan işlem parametrelerine göre ürün kalitesi tahmini yapılabileceği ortaya konmuştur.

SEY kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarıyla, deney sonuçları karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılmıştır. Böylece ileriki çalışmalarda YSA modelinin genişletilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmanın, derin çekme işleminin kontrolü üzerine bundan sonra yapılacak çalışmalara temel oluşturacağı beklenmektedir. Ayrıca, esnek imalat için sac şekillendirme tezgâhlarının tasarım ve üretiminde katkı sağlayacağı ümit edilmektedir.

CONTROL AND ESTIMATION OF PRODUCT QUALITY IN DEEP DRAWING PROCESS

SUMMARY

Keywords: Deep drawing, taguchi method, ANN

This study aims to investigate the effects of process variables of deep drawing process on the product quality. For this purpose, a cylindrical cup was formed using Al 5764 sheet. Process variables were selected as the die radius, lubricant, punch speed and blank holder force. Each process variable has three levels.

Experimental setup was prepared based on Taguchi L27(2^{13}) orthogonal series. Experiments were done with different combinations of four variables having three levels. Cups, being produced according to the process variables, are tested for wearing and tearing which are two main faults in deep drawing process. Experimental data was analyzed using S/N ratios, average value, and ANOVA. The percentage of the effects of process variables on the product quality and their interactions were investigated. It was determined that the blank holder force has the most effect on the product quality. Other process variables were also observed to affect the product quality directly. It was determined that the effect of a process variable on the product quality depends on the levels of the other process variables.

Artificial Neural Networks (ANN) were used to estimate the amount of wearing and shearing on the part. Two different network model were developed for this purpose. ANN models were trained and tested using the data obtained from the experimental studies. 99% success was obtained in the training of network model, and 95% was obtained in the test results. It was determined that deep drawn product quality can be estimated using ANN model.

This study is expected to serve as a base for the further studies on the control of deep drawing processes. Besides, it is hoped to contribute to the design and production of the sheet forming benches for flexible production.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sanayileşmenin temelinde, ürünlerin belirli toleranslar dâhilinde standartlara uygun olarak üretilmesi ve bu ürünlerin sorunsuz şekilde bir birinin yerine kullanılabilmesi yatmaktadır. Bu noktadan özellikle sac metal şekillendirme tekniği birçok ürünün hızlı, ekonomik ve özdeş bir şekilde istenilen özelliklerde üretilmesi için diğer imalat yöntemlerine göre dikkat çekmektedir. Endüstriyel ve tüketici ürünlerinin çoğunu sac metal parçalar oluşturmaktadır. Örnek olarak otomobil, uçak ve raylı taşıt parçaları, ofis mobilyaları, bilgisayarlar verilebilir. Sac metal işlemlerinin önemini 1980’de Amerika’da yapılan çalışmada, bir evde ortalama olarak 100.000 adet metal parça bulunduğu belirtilerek vurgulanmıştır [1]. Sac metal şekillendirme tekniğini kesme, bükme ve çekme olarak üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Kesme; bir parçada delik açmak veya küçük parçaları büyük metallere ayırmak için, bükme ve çekme; sac metal parçalara istenilen formu vermek için kullanılmaktadır.

Üretilen parçanın kalitesi endüstrinin en önemli kaygılarından birisidir. Deneme aşamasında herhangi bir kalite sorunu hurda malzeme artışına ve zaman kaybına sebep olarak maliyeti arttırırken, sonraki aşamalarda kalite sorunu, montaj zorlukları, yeniden üretim gibi birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı ürünlerin analizinde, üretim sürecinin en iyi şekilde tasarlanması, kullanılacak malzemenin doğru seçilmesi ve malzeme israfının azaltılması çok önemlidir.

Sac metal şekillendirme teknikleri içinde birçok değişkene bağlı olan çekme işlemi diğer tekniklerine göre daha karmaşıktır. Sac levhaların çekme ile plastik şekillendirilmesi, uygun gerilme oranında, yırtılma ve buruşma olmadan düzgün bir kalınlık dağılımına sahip olarak yapılması gerekir. Bu da malzeme özelliklerinin ve işlem değişkenlerinin uygun seçilmesiyle mümkün olabilmektedir. Malzemelerin şekillendirilebilirliği konusunda birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmaların sonuçları uzun zamandır uygulamada kullanılmaktadır. Böylece üretimde malzeme kaynaklı

hatalara çok az rastlanmaktadır. Ancak işlem değişkenlerinin seçiminde deneme–yanılmaya bağlı olarak geliştirilmiş ampirik formüller kullanılmaktadır. Bunun sebebi karmaşık plastisite problemi olan çekme konusunda kullanışlı formüllerin geliştirilememesidir. Son yıllarda derin çekme işleminde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak modelleme ve simülasyon yaygınlaşmıştır. Konuyla ilgili optimizasyon çalışmalarına da başlanmış olmasına karşın halen sonlu elemanlar yönteminde de işlem değişkenlerinin seçimi çoğunlukla deneme – yanılmaya dayanmaktadır. Çok fazla işlem değişkenine sahip derin çekme işleminde çözümlerin deneme–yanılmaya dayalı olarak bulunması her zaman istenilen sonuçları vermemektedir. Bu da ürün kalitesinin kabul edilebilir sınırlar dışında kalması sonucu malzeme, işçilik ve zaman kaybına sebep olmaktadır. İmalat yöntemleri içinde derin çekme işleminin payı göz önüne alındığında ortaya çıkan ekonomik kayıp azımsanmayacak düzeydedir.

Bu bağlamda bilgisayar ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler birçok alanda olduğu gibi metal şekillendirme problemlerinde de daha kolay, daha hızlı, daha ucuz ve daha doğru çözümler sunmaktadır. Dolayısıyla günümüzde metal şekillendirme problemlerinin bilgi tabanlı sistemler kullanılarak çözümü üzerine yapılan araştırmalar yeniden ağırlık kazanmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında çekme işleminde ürün kalitesini etkileyen kalıp kavisi, yağlayıcı, zımba hızı ve BPK olarak 4 farklı değişken değeri ele alınmıştır. Farklı parametre değerlerinin uygulandığı bu çalışmada;

- Taguchi tasarım yöntemi kullanılarak dört değişkenin farklı kombinezonlarıyla deney setinin oluşturulması,
- Sonlu Elemanlar (SE) modelinin kurulması ve simülasyonların gerçekleştirilmesi,
- Deney düzeneğinin kurulması ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi,
- Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen iş parçalarının ürün kalitelerinin ölçümü,
- Taguchi yöntemi, S/N oranları ve varyans analizi kullanılarak işlem değişkenlerinin ürün kalitesine etkilerinin ve birbiriyle olan etkileşimlerinin belirlenmesi,

- Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinin kurulması, eğitilmesi ve test edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçların gerçekleştirilmesi için çalışmada, AL 5764 kullanılmış ve çekme özellikleri araştırılmıştır. Kalıp kavisinin çekme işleminde etkilerinin tespit edilmesi amacıyla 5 mm, 10 mm ve 15 mm olmak üzere üç farklı kavis değeri kullanılmıştır. Sac malzemeyle kalıp seti arasında üç farklı sürtünme durumu oluşturmak için iki farklı yağlayıcı kullanılmış ve üçüncüde yağlayıcı kullanılmamış, kuru sürtünmenin etkisi incelenmiştir. Ayrıca 17 mm/dk, 33 mm/dk ve 50 mm/dk olmak üzere üç farklı pres hızında şekillendirme gerçekleştirilmiştir. Son olarak baskı plakası kuvvetinin çekme olan etkisini incelemek için 10 kN, 100 kN ve 200 kN olmak üzere üç farklı değer kullanılmıştır. Belirlenen bütün parametre değerleri, silindirik çekme için tekrarlanarak ürün kalitesine olan etkileri belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar derin çekme işleminde iki ana kusur olan buruşma ve yırtılmaya göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, tahmin yapmak amacıyla hazırlanan yapay sinir ağları modelinin eğitim ve testi için kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre düzenlenen ve eğitilen yapay sinir ağları modeli sayesinde, yüksek doğruluk derecesine sahip tahminler gerçekleştirilmiştir. Yeni yöntem en uygun işlem değişkenlerini elde etmede sonlu elemanlar yöntemine göre çok daha basit ve hızlı olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini azaltmak ve verilerin istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi amacıyla bütün parametre değerleri için deneyler üç tekrarlı yapılmıştır.

Bu çalışma ile geliştirilen sistem kullanıldığında üretilen parçada ortaya çıkan hatalar kontrol altına alınabileceğinden daha iyi bir şekillendirme gerçekleşecek ve ürün kalitesi iyileşecektir. Sistemin günümüz üretim araçlarına uyarlanmasıyla ürün kalitesi doğrudan kontrol edilebilen bir çıktı olacak ve böylece derin çekme işleminde kullanılan araçların (pres) geliştirilmesine de katkı sağlanmış olacaktır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar tarafından derin çekme işleminde karşılaşılan problemlerin belirlenmesine yönelik deneysel ve teorik çalışmalara odaklanılmıştır. Derin çekme işleminde çekme parametrelerinin uygun değerlerde belirlenebilmesi ve ürün kalitesinin iyileştirilebilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda derin çekme işlemini etkileyen değişkenlerin ürün kalitesine olan etkilerinin deneysel olarak incelenmesinin yanı sıra derin çekme sırasında oluşan birim uzamaların ve gerilmelerin incelendiği analiz çalışmaları tespit edilmiştir. Bu çalışmalar literatür araştırmasında iki kısımda ele alınmıştır. Birincisi deneysel ve analitik çalışmalar. Diğeri ise zeki sistemlerle derin çekme işleminde ürün kalitesinin iyileştirilmesidir. Zeki sistemlerde kendi içinde eş zamanlı olarak ürün kalitesini etkileyen değişkenlerin kontrolü ve şekillendirme işleminden önce değişkenlerinin uygun değerlerinin belirlenmesi (off-line) olarak iki kısımda ele alınmıştır.

Ayrıca ürün kalitesini etkileyen değişkenlerin incelenmesi ve bu değişkenlerin ürün kalitesine olan etkilerinin belirlenmesi de kalitenin iyileştirilmesi için gereklidir. Bundan dolayı literatür araştırmasının bir kısmının da ürün kalitesini etkileyen faktörlerin araştırılmasıyla ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Deneysel ve Analitik Çalışmalar

Deneysel ve sayısal inceleme yaparak derin çekmede buruşma analiz edilmiş ve modellenmiştir. Sonuç olarak parça kalınlığının ve baskı plakası kuvvetinin buruşma üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur [2].

Kare sac parçanın son şeklini, gerilme dağılımlarını ve çeşitli şekillendirme kusurlarını doğru tahmin edebilmek için sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir.

Abaqus ticari yazılımı kullanarak, farklı malzemeler için kare sac parçanın derin çekme simülasyonunda şekillendirme karakteristiklerine dikkat çekilmiştir [3].

Kalıp ve zımba köşe yuvarlatmalarının limit çekme oranına, baskı plakası kuvvetinin ve kalıp açılarının et kalınlığı üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Kalıp ve zımba yuvarlatma yarı çapları arttıkça çekme oranının arttığını fakat et kalınlığının azaldığını tespit etmişlerdir [4].

Sabit baskı plakası kuvvetinin parça duvarındaki kalınlık dağılımına ve buruşmaya etkisini incelenmiştir. SEY kullanarak farklı baskı plakası kuvvetine göre çözümlenmeler yapılmış ve kap üzerindeki etkilerini gözlemlenmiştir. SEY'dan elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalarının sonucunda sac malzemede buruşma olmaması ve yırtılma limitinin aşılmaması için gerekli baskı plakası kuvvetinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır [5].

Dejmal vd, 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 [6].

Mori ve Tjusi [7], kalıp kavisinin, deformasyon sıcaklığının, yağlayıcıların ve baskı plakası kuvvetinin etkilerini ölçmek amacıyla, silindirik ve kare çekme kalıpları kullanarak 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.

Derin çekmede baskı plakası kuvveti için optimizasyon çalışmasında kalınlık dağılımını iyileştirmeye ve şekillenen parçada incelme eğilimini azaltılması hedeflenmiştir. Baskı plakası kuvvetinin buruşma derecesine göre uygun değerlerde tespit edilmesi ve buruşma bölgelerine uygulanması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçları sabit değerli baskı plakası kuvvetiyle yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [8].

2 mm kalınlığındaki AL-1050 sac malzeme üzerinde baskı plakasına bağlı kap ağzında oluşan kulaklaşmalar incelenmiştir. Sabit ve değişken baskı plakası kuvvetleriyle deneysel çalışma gerçekleştirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Değişken baskılı çekmelerde değişim farklılıklarının kap yüksekliğine ve kulaklaşmaya olan etkileri incelenmiş, daha derin ve daha düzgün bir kap elde etmek için baskı kuvvetinin çekme boyunca değiştirilmesi gerektiğini gözlemlenmiştir [9].

Galvaniz kaplanmış, 0,6 mm kalınlığındaki çelik sacdan dikdörtgen derin çekme işleminin SEY ile simülasyonu üzerinde çalışılmıştır. İstampa köşe yuvarlatma yarıçapı 4 mm, 6 mm ve 8 mm, derin çekme hızı 10 mm/s, 30 mm/s ve 50 mm/s olarak alınmış ve bu faktörlerdeki değişikliklerin kalınlık azalmasına ve çekme yüksekliğine olan etkisi incelenmiştir. 8 mm ıstampa köşe yuvarlatma yarıçapı ile 10, 30 ve 50 mm/s derin çekme hızlarında 43,4 mm çekme yüksekliğine hasarsız olarak ulaşılmıştır [10].

Anket, ‘DC04 sacının hidromekanik şekillendirilebilirliği SE Yöntemi ve deneysel olarak incelenmesi’ başlıklı çalışmasında öncelikler deney malzemesinin şekillendirilebilirlik sınırlarını ortaya koymak amacıyla çekme ve şekillendirilebilirlik sınır diyagramını deneysel olarak elde etmiştir. Deneylerde farklı çaplarda numune, şekil değiştirme hızı, hazne basıncı ve baskı plakası kuvvetini değişken olarak kullanarak geleneksel derin çekme ve hidromekanik derin çekme işlemi yapmıştır. Değerlendirme kriteri olarak yırtılma/buruşma oluşumu,

kalınlık dağılımı, ŞSD ve derin çekme oranını kullanmıştır. SE Yöntemi kullanarak sayısal analizleri gerçekleştirmiştir. Sonuçta geleneksel derin çekme ve hidromekanik derin çekme işlemleri karşılaştırmış, deney değişkenlerinin derin çekmeye olan etkilerini incelemiştir [11].

Gavas vd, merkezi delikli AL1050 sac malzemelerin artan delik çaplarındaki derin çekme davranışlarını deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Dört farklı kalınlıkta malzeme kullanılan deney parçalarının merkezine Ø5 mm delik delinmiştir. Sonraki deneylerde bu çap 1 mm arttırılarak derin çekmeye etkisi incelenmiştir. Çekme oranı limiti sabit tutularak üzerlerinde delikler bulunan numunelerin yırtılmadan çekilebileceği maksimum delik çaplarını tespit etmişlerdir [12].

Yıldız ve Kirli, derin çekme işleminde karşılaşılan sorunlara bilgisayar destekli çözümler üretmenin daha ekonomik olduğunu vurgulamışlardır. Bu kapsamda kompleks geometriler içeren kalıp yüzeylerinde, çelik sac malzemesinin ne doğrultuda akacağı ve şekillendirme esasında incelenen sacın yırtılma, buruşma ve benzeri şekil hatalarının; kalıp tasarımı aşamasında önceden görülüp önlem alınması, tasarım değişikliklerinin sonuçlarını kalıp imal edilmeden öngörülebilmesi için yapılması gerekenleri incelemiştir. Derin çekme etki eden faktörleri değiştirerek buruşma ve yırtılmaya etkilerini gözlemlemiştir [13].

Arif Gök, gerçek bir sanayi parçasının derin çekilmesi üzerine yaptığı çalışmada, derin çekmeyi etkileyen değişkenlerin önceden tahmini için kullanışlı matematiksel formüllerin olmadığını vurgulamıştır. Bunun sonucu olarak bu değişkenlerin uygun değerlerde belirlenmesi ampirik formüllerle veya deneme – yanılma yoluyla gerçekleştiğini belirterek hurda miktarının arttığını, hatta kalıpta değişikliklere gidilmesi gereken durumların ortaya çıkabildiğini ve bu sebeplerden bir maliyet kaybının olduğunu söylemiştir. Bu duruma çözüm olarak SE yöntemini önermiştir. Ve yaptığı deneysel çalışmalar ve SEY çözümlerinde kulaklanma, buruşma, kalınlık değişimi ve şekil sınır diyagramlarını incelemiştir. SE Yöntemiyle deneysel çalışmaların birbiriyle uyumunu göstererek, işlem değişkenlerinin belirlenmesinde SEY kullanılabileceğine dikkat çekmiştir [14].

Allen vd, farklı yağlayıcıların, ürünün çekilebilirliğine ve yüzey kalitesine etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada farklı viskozite değerlerine (Tablo 2.1) sahip 4 adet yağlayıcı malzeme kullanılmıştır [15].

Tablo 2.1. Yağlayıcıların 40 °C’de viskozite değerleri [15].

Yağ Tipi	Tanımlama	Viskozite (40°C)
Castor Yağ	Castor	225.0
Mineral Yağ A	Yağ A	460.0
Mineral Yağ B	Yağ B	1070.0
Mineral Yağ C	Yağ C	1487.5

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

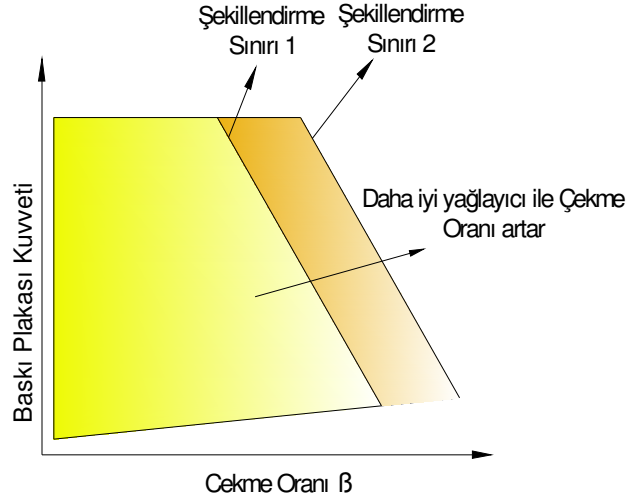
Tablo 2.2. Yağlayıcıların pres kuvvetine etkisi [15].

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

Galvanizli çelik saçların şekillendirilebilirliğinin arttırılabilmesi için çeşitli yağlayıcıların araştırılması ve değerlendirilmesi hedeflemiştir. Sentetik, su bazlı ve petrol bazlı olmak üzere 22 adet yağlayıcı şerit şekillendirme testi ve derin çekme testini kullanarak değerlendirmişlerdir. Kullanılan testlerin başlangıç şartları SEY kullanılarak belirlenmiştir. Şerit çekme testi, yağlayıcıların bağıl performansını belirlemek için ön test olarak kullanılmıştır. Bu testte iyi performans gösteren yağlayıcılar Derin Çekme testinde denenmişlerdir. Değerlendirme sırasında flanş uzunluğu ve zımba kuvveti büyüklüğü esas alınmıştır. Sentetik yağlayıcıların performansının petrol alaşımli yağlayıcılardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [16].

Yağlayıcılar, takım – iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak ürün kalitesini artırır. İyi yağlama şartları ürün kalitesini arttırırken hurda oranının azalmasını sağlar. Meiler ve arkadaşları, derin çekme sırasında sürtünme malzeme akışını büyük

ölçüde etkilediğini ve işlem penceresini genişlettiğini göstererek, işlem penceresinin tanımlamasında baskı plakası kuvveti ve çekme oranını kullanmışlardır. Şekil 2.1’de daha iyi yağlayıcı kullanıldığı takdirde, çekme oranı artarak işlem penceresinin genişlediği görülmektedir.



Şekil 2.1. Sürtünmenin Azalmasıyla İşlem Penceresinin Genişlemesi [17].

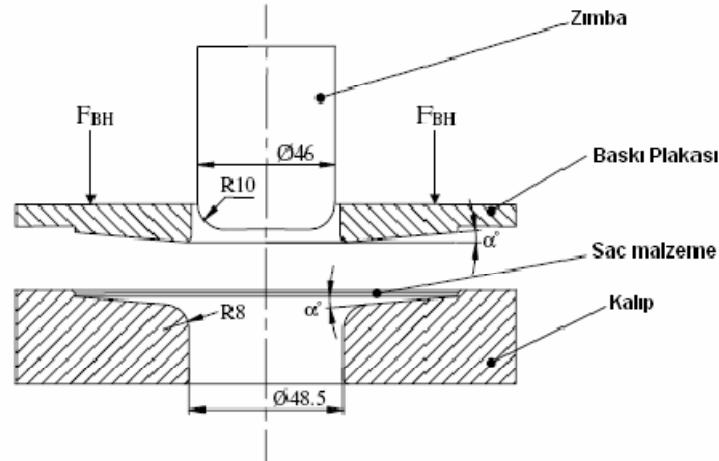
Stribeck eğrisi yağlama hızı (n), çekme hızı (v), normal pres (p)’in bir fonksiyonu olarak çeşitli yağlamanın çeşitli tiplerinin başlangıcını ortaya koymuştur [18].

ÇETİN, alüminyum hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması adlı çalışmasında AA 3003 ve AA 5754 alüminyum alaşımlarının prizmatik derin çekilmelerinde malzeme kökenli sorunların çözümüne yönelik olarak tav parametrelerini değiştirerek inceleme yapmıştır. AA 5754 alaşımına ön tav uygulamış son üç grup malzemeyi 3100 C/saat, 3300 °C/saat, 3500 °C/saat, 380 °C/saat, 410 °C/saat tavlamaştır. Tavlama sonrasında malzeme mukavemeti azalırken Erichsen derinliklerinin ve % uzamanın arttığını gözlemlemiştir [19].

Değişken baskı plakası kuvveti optimizasyonu için yeni bir strateji geliştirilmesi ve sabit ve değişken baskı plakası kuvveti altında çekme limitinin belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Baskı plakası kuvvetini çok parçalı tasarlanmış ve her parçaya ayrı baskı kuvveti uygulanmıştır. Baskı plakası kuvvetinin optimizasyonu için

algoritma geliştirilmiştir. Değişken kuvvetli baskı plakasıyla şekillendirme limitinin %30 arttığını gözlemlenmiştir [20].

Baskı plakası üzerine diğer bir çalışma ise, Savaş ve Seçgin tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, baskı plakası ile kalıp arasında açı verilerek, sac malzemelerin çekme oranlarının artırılması, dolayısıyla derin çekmedeki operasyon sayısının azaltılarak kalıp ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Çalışma, 0° , $2,5^\circ$, 5° , 10° ve 15° (Şekil 2.2) 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 [21]. Yapılan çalışmada kullanılan kalıp modeli Şekil 2.2'de verilmiştir.



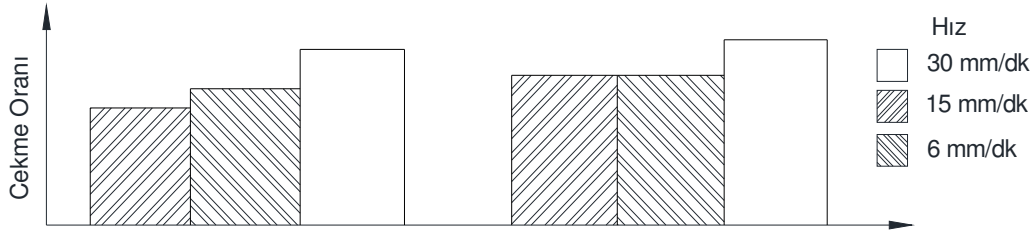
Şekil 2.2. Savaş ve Seçgin'in yeni tip çekme kalıbı modeli [21].

Yapılan diğer bir çalışmada, çekme boşluğunun kap tabanında ve köşe bölgelerdeki incelmeye olan etkileri araştırılmıştır. Ve çekme boşluğunun kesin bir değeri olmayıp malzemeye ve kalınlığa göre değiştiği ifade edilmiştir. Bu değerlerin bir aralığı temsil ettiğini ve derin çekmede cidar kalınlığının kalınlık dağılımı açısından en iyi sonucu vermesi için ön görülen çekme boşluğu değer aralığından en büyüğünün seçilmesi gerektiği belirtilmiştir [22].

Derin çekme işlemini etkileyen faktörlerin bazıları SEY kullanarak çözümlenmiştir. Bu sayede tasarım aşamasında derin çekmeyi etkileyen faktörleri kontrol altında tutulabileceği ve maliyetin aşağıya çekilebileceği gösterilmiştir [23].

Kalıp yüzeyi farklı eğimlerde yaparak matris ve zımba kavisinin çekme oranına etkisini araştırmıştır. Matris ve zımba kavisini matris ve baskı plakası açısı ve zımba kuvveti arttıkça çekme oranının arttığı görülmüştür [24].

Pres hızı, malzemelerin çekme oranlarını büyük ölçüde etkileyen bir faktördür. Palumbo vd [25], pres hızı ve sıcaklığın çekme işlemi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Pres hızının, malzemelerin çekilebilirliğine büyük oranda etki ettiği yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. 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. Yapılan çalışma ile belirlenen, pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri Şekil 2.3 'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Pres hızı ve sıcaklığın çekme oranı limitine etkileri [25].

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 [26].

AL-1050 sacın kare derin çekmede çekme oranı limiti ve maksimum çekme yüksekliğini deneysel olarak belirlenerek, teorik modelden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Baskı plakası boşluğu sistemini kullanarak metal akışı kontrol

altında tutulmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada kavisli köşelerde incelmeler görülmüş buruşmaların kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiş, teorik ve deneysel sonuçlar arasında uyum gözlemlenmiştir [27].

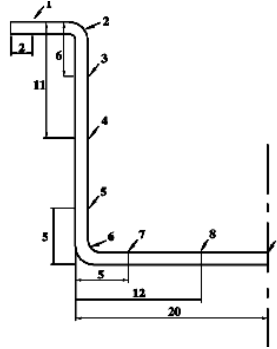
Silindirik çekme işleminde kalıp geometrisinin sac malzeme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada Marc-Mentat SEY kullanılmıştır. Zimba uç formunu değiştirerek farklı şekillendirmeler gerçekleştirmiş ve zimba uç formunun şekillendirme sonucunda oluşan köşe kavislerinin oluşumunda ve kalınlık dağılımında etkili olduğunu belirtilmiştir [28].

Kare parçaların derin çekmesinde en uygun taslak şeklini belirleme üstüne bir çalışmada, ön görülen taslak şekliyle hurda miktarı ve maliyeti azaltılmıştır. Fakat hafif buruşmalardan dolayı yüzey kalitesinin bozulduğunu görülmüştür. Diğer taslaklarla yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda ise kulaklanma oluşmuş ve hurda malzeme miktarı ile buna bağlı olarak maliyet artmıştır [29].

'Derin çekme ile soğuk şekillendirmenin SEY yardımıyla non-lineer analizi' isimli çalışmada çelik sacların soğuk şekillendirilmesi esasında oluşan problemlere bilgisayar destekli çözümler üretmek amacıyla kalıp yüzeylerinde, ince çelik sac malzemenin ne doğrultuda akacağı ve şekillendirme esasında incelenen sacın yırtılma, buruşma ve benzeri şekil hatalarının kalıp tasarımı aşamasında önceden görülüp önlem alınması, tasarım değişikliklerinin sonuçlarını kalıp imal edilmeden öngörülebilmesi için yapılması gerekenleri Ansys/Ls-Dyna yazılımının eksplisit dinamik analiz kodu yardımıyla araştırarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Geliştirilen teorik ve deneysel modelin birbiriyle uyumlu olduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca Derin çekmeyi etkileyen faktörleri değiştirerek etkilerini incelenmiştir [30].

Browne ve Hillery, derin çekme parametrelerinin optimizasyonunu yapmak amacıyla, kalıp ve zimba kavislerini, baskı plakası kuvvetini, yağlamayı, pres hızını ve sac malzemenin kalıp içerisindeki konumunu içerecek şekilde kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Deneylerden elde edilen 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 [31]. Kalınlık dağılımının ölçülmesi için kullanılan model Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Browne ve Hillery et kalınlığı ölçüm modeli [31].

Sac metal şekillendirmede sürecin kontrolünün şekillendirmede tutarlılığı sağladığı ve parça kalitesini iyileştirdiği ortaya koyulmuştur. Derin çekme işlemi sırasında baskı plakası ve zımba kuvvetini değişken olarak uygulayarak gerçekleştirilmiştir [32].

SEY ile entegre edilmiş sürtünme modeli geliştirilmiştir. Bu modelden birbiriyle çalışan yüzeyler için değişken sürtünme katsayıları SEY’nin her bir adımında ilgili parametreler elde edilerek belirlenmiştir. Sonra belirlenen sürtünme katsayılarıyla deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [33].

Konik bir kaptaki oluşmuş buruşukluklar SEY kullanılarak simüle edilmiş ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. SEY ile çözümleme yapan iki farklı yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımlardan birisi statik explicit çözüm yapan ITAS3D, diğeri ise dinamik explicit çözüm yapan Abaqus’tür [34].

Derin çekmede yağlama ve sürtünmenin etkilerini test etmek için yeni bir test yöntemi üzerinde çalışılmıştır [35].

1997, 1998 yıllarında yapılan iki çalışmada kontrollü deneyler yaparak sürtünme kuvvetinin, yağlamanın ve pot çemberinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda silindirik kapların imalatında baskı plakası kuvvetinin değişken olmasının gerekliliğini vurgulanmıştır [36,37].

2.2. Zeki Sistemler Kullanarak Ürün Kalitesinin İyileştirilmesi

Buruşma ve boyun vermeye benzer geometrik kararsızlıklar derin çekme işleminde başlıca kusurlardır. Bunlardan dolayı şekillendirilebilirlik azalırken zaman ve malzeme kaybı artmaktadır. Sürtünme, buruşma ve boyun vermede önemli bir değişkendir. Bundan dolayı derin çekme işleminde bunların tahmini son derece önemlidir. Geçmişte tahmin deneme yanılma yaklaşımıyla yapılırdı. Ama bu yaklaşım zaman kaybettiren bir yaklaşımdır. Bu çalışmada zaman ve malzeme kaybını önlemek için YSA'nın kullanılabilirliği esas alınmıştır. YSA'nın eğitilmesi için SEY kullanılmış ve YSA'nın güçlü ve hızlı bir tahmin yöntemi olduğunu göstermek için derin çekmede geometrik kararsızlıkların tahmininde kullanılmıştır. Pekleşme üsseli, pekleşme katsayısı ve sürtünme katsayısı değiştirilerek 9 set oluşturulmuş ve bunlar SEY ile çözümlenerek eğitim amaçlı kullanılmıştır. Sonuç olarak malzeme özellikleri girilerek kalınlık değişiminin tahmini için YSA kullanılmıştır [38].

YSA modeliyle metal şekillendirmede buruşma gibi yüzey hatalarının tahmini ve bu hatalardan kaçınılması hedeflenmiştir. Farklı kalitede ticari saf alüminyum malzeme konik kalıpta şekillendirilmiştir. YSA modeliyle buruşma başlangıcının tahmininde iyi sonuçlar elde edilmiştir [39].

'Sac metal derin çekme işleminde zeki kontrol teknolojisi' adlı çalışmada;

- 1- Analiz için mekanik model oluşturularak, zımba kuvveti ve mesafesi tanımlanmış ve derin çekme işleminde temel değişkenlerin etkileri ortaya konulmuştur,
- 2- YSA ile eş zamanlı tanımlama yapmışlar. Giriş değişkenleri fazla olduğunda YSA etkilerini iyileştirmek için iki kola ayrılmıştır,
- 3- Teorik ve deneysel analizlerle kritik yırtılma yükünün kontrol prensibi ortaya konulmuştur. Böylece baskı plakası kuvvetinin ve çekme yüksekliğinin iyileştirilmesi,
- 4- Hidrolik presin kontrolü zeki sistemlerle sağlanmıştır [40].

'Sac levhaların şekillendirilebilirliğine etki eden değişkenlerin incelenmesi' adlı çalışmada işlem değişkenlerinin arasındaki etkileşim deneysel olarak incelenmiş ve

bu etkileşimin işlem başlangıcında tahmin edilebilmesi için bir bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Kalıp kavisi, zımba kavisi, sac malzeme cinsi, sac malzeme kalınlığı, pres hızı ve çekme boşluğunun dikkate alındığı bu çalışmada

- Çekme parametrelerinin derin çekme işlemi üzerindeki etkilerinin deneysel olarak belirlenmesi,
- Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yöntemine dayalı yazılımlarla, yapılan analizleri kıyaslamak ve doğruluk yüzdelerinin belirlenmesi,
- Elde edilen deneysel sonuçların, bulanık mantık uygulaması denetimini sağlamak amacıyla kullanılması ve farklı parametre değerleri için uygulanabilir bir modelin çıkarılması hedeflenmiştir [41].

Derin çekme işleminde zeki kontrol sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu zeki kontrol sisteminde üretim sonuçlarını tahmin edebilmek için sensor, yapay görme (kamaralar) ve sinir ağları kullanarak derin çekmeyi etkileyen değişkenlerin kontrolünü bulanık mantık temelli olarak tasarlamıştır. Sistemin çalışması;

- Derin çekme işlemini etkileyen değişken değerleri rastgele belirlenerek deney başlatılır,
- Sensörler ve kameralarla deney izlenerek veriler bilgi tabanına aktarılır,
- Ürünün kusurlu olup olmadığı, eğer kusurlu ise kusurun tipi belirlenir,
- Ürün kusurlu ise ürün kalitesini iyileştirmek için bulanık mantık temelli kontrol sistemi değişkenleri tekrar belirlemiştir [42].

Bu çalışmada hidro-mekanik derin çekmede silindirik parça duvarında kalınlık dağılımının tahmininde YSA kullanılmıştır. YSA modelinin eğitilmesinde ve test edilmesinde deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. YSA mimarisinde giriş katmanı malzeme ve işlem değişkenlerinden olmak üzere 12 nöron, çıkış katmanı ise silindirik parça duvarındaki kalınlık dağılımını veren 3 nöron oluşmaktadır. YSA eğitildikten sonra bilinmeyen değerler için tahmin yaptırılmış ve tahminlerin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada hidro-mekanik derin çekmeyle geleneksel derin çekme karşılaştırılmıştır [43].

İnce sac malzemelerin buruşmasında baskı plakasının etkileri incelenmiş ve şekillendirmeyi iyileştirmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Yapılan önceki çalışmalarda SEY ile yaptıkları simülasyonlar sonucunda buruşmanın kabul edilebilir alt ve üst sınır değerlerini belirlenmiş, derin çekme işlemi sırasında buruşma seviyesini eş zamanlı olarak tespit ederek baskı plakasının mesafesi kontrol edilerek ürün kalitesi iyileştirilmiştir [44].

Limit çekme oranını (LÇO) iyileştirmek için silindirik derin çekme işleminde bulanık uyumlu kontrolle baskı plakası kuvvetinin (BPK) uygulanması hedeflenmiştir. Ve alüminyum alışımlı sac metallerde bulanık uyumlu sac değişken BPK kontrolüyle LÇO'nda %2,4 oranında iyileştirmeye ulaşılmıştır. BPK'nin kontrolü için ortam şartları, şekillendirme ekipmanları ve yağlama şartlarından oluşan bir bilgi bankası oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmayla BPK başlangıçta buruşmayı önleyecek fakat yırtılmaya sebep olamayacak sınırlar arasında belirlenerek uygulanmıştır. Bu sınırlar bilgi bankasındaki verilere göre belirlenir ve derin çekme işlemi sırasında buruşukluk miktarı eş zamanlı olarak ölçülerek BPK'nin uyumu sağlanır. Sonuç olarak LÇO'nun iyileştirilmesi için geliştirilen algoritmanın verimliliği ispat edilmiş ve zeki sistemler kullanılarak uygun BPK ile LÇO'nun iyileştirilebileceği gösterilmiştir [45].

Bulanık mantık tabanlı kontrol sistemiyle baskı plakası kuvveti, zımba hızı kontrol edilerek sac malzemenin şekillendirilebilirliğinin ve kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Kontrol sistemi için farklı baskı plakası kuvveti ve farklı zımba hızlarıyla yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan oluşan bilgi tabanı ve kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Başlangıç koşulları ara yüzden girilerek baskı plakası kuvvetinin ve zımba hızının kontrolü gerçekleştirilmiştir [46].

'Sac metal şekillendirmede kalıp tasarımı için yapay zekâ sistem yaklaşımı' konulu bir çalışmada, günümüzde kalıp tasarımının geçmiş bilgilere dayalı olarak deneme yanılma yöntemiyle çalışıldığına işaret edilmiştir. Çok hızlı işlem yapabilen bilgisayarların kullanılmaya başlanması, analilerin ve tasarımların bilgisayarla yapılması, onlarca haftada yapılan işleri kısa bir sürede yapılabilmesini sağlamıştır.

Fakat 3D sonlu elemanlar analiz programlarının çok pahalı olması, daha basit bilgi tabanlı sistemlerin uygulamaya alınması gerekliliğine işaret edilmiştir [47].

YSA ve elastoplastik teoreminin birleşimini temel alarak derin çekme işlemi sırasında kendini yenileyebilen ve işlem değişkenlerini kontrol edebilen yapay zeka tanımlamalarını ortaya koymuşlardır. Derin çekme işlemi sırasında sürtünmeyi gözlemlemişler ve sürtünmeye göre baskı plakası kuvvetini değiştirerek ürün kalitesini kontrol altında tutmayı hedeflemişlerdir [48].

2.3. Derin Çekmede Ürün Kalitesini Etkileyen İşlem Değişkenlerin İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Padmanabhan vd [49], derin çekmede işlem değişkenlerinin optimizasyonunun üretim maliyetini düşüreceğini vurgulayarak işlem değişkenlerinin deformasyon davranışındaki etkilerini belirlemek üzere araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada kontrol faktörü olarak kalıp kavisi (14, 18, 22 mm), baskı plakası kuvveti (85, 95, 105 kN) ve sürtünme katsayısı (0.08, 0.14, 0.2) olarak belirlenmiştir. Her bir işlem değişkeninin silindirik paslanmaz çelikten olan kabın et kalınlığına olan etkilerini incelemek için Taguchi yöntemi ve varyans analizi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar L9 ortogonal dizeye göre tasarlanmış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kalınlık dağılımı üzerinde en büyük etkiye %89.2'lik oranla kalıp kavisini sahip olduğu belirlenmiştir. Sonra sürtünme katsayısı ve BPK oranları, sırasıyla %6.3 ve %4.5 olarak belirtilmiştir. İşlem değişkenlerinin etki derecelerine göre optimizasyon yapılmıştır ve SEY ile Taguchi yönteminin birlikte işlem parametrelerinin tahmini için etkili bir kombinasyon olduğunu göstermişlerdir.

Diğer bir çalışmada [50], derin çekmede işlem değişkenlerinin kalınlık dağılımına olan etkilerinin belirlenmesi için istatistiksel analiz ve deney tasarımı yardımcı olarak kullanılmıştır. İşlem parametreleri olarak ikişer seviyeli altı parametre belirlenmiştir. Bu parametreler: zımba kavisi (2, 8 mm), kalıp kavisi (2, 8 mm), baskı plakası kuvveti (11, 18 kN), yağlayıcı (PE ve kuru sürtünme), yağlayıcının uygulandığı yüzey (kalıp, zımba), çekme yüksekliği (15, 20 mm)'dir. Bu amaçla

derin çekme kalıbı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Ve farklı geometrilere sahip zımbalar ve kalıplar üretilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında önceki araştırmaların zımba/kalıp kavisinin, sürtünme ve BPK'ne göre kalınlık dağılımında daha büyük bir etkiye sahip olduğunun tespit edildiği vurgulanmıştır. Bunun sebebinin küçük kalıp/zımba kavisleri zımba kuvvetinin büyümesine ve dolayısıyla çekme derinliğinin azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca BPK'nin değeri, uygun aralığın alt ve üst sınırlarında tutulmazsa çekme derinliğine önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Eğer BPK büyük olursa buna bağlı olarak zımba kuvveti yükseleceğinden yırtılma gerçekleştiği, eğer zımba kuvveti düşük olursa buruşma gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Malzemenin hadde yönüne göre anizotropik özellikleri incelenmiş ve çekme sırasında kulaklanma oluştuğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda kalınlık dağılımında en büyük etkiye sahip olan faktörler %59.977 ve %18.256 oranla sırayla kalıp kavis ve zımba kavis olarak belirlenmiştir. Diğer bir önemli kontrol faktörünün yağlayıcı olduğu tespit edilmiştir. Ve kullanılan yağlayıcıya göre zımba kuvvetinin değiştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca tavlı silindirik parçalarda çekme derinliğinin arttığını ve kulaklanmanın azaldığını tespit etmişlerdir.

Rao vd [51], derin çekme işleminde buruşmanın sebebinin BPK olduğuna dikkat çekerek, buruşma olmadan çekme işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan BPK'nin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada zımba kavis (1, 2.5, 5 mm), kalıp kavis (3, 7, 10 mm), kalıp boşluğu (0.07, 0.14, 0.2 mm), sürtünme katsayısı (0.015, 0.2, 0.45) ve zımba çapı (30, 90, 150 mm) olmak üzere beş işlem değişkeni üzerine odaklanmışlardır. Deney tasarımı L27 ortogonal dizisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her deney için BPK değiştirilerek nümerik analizler yapılmış ve buruşma limitleri belirlenmiştir. Belirlenen buruşma limitleri değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Yırtılma limitinin sürtünme katsayısıyla ters orantılı, diğer işlem değişkenleriyle doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. yapılan bu çalışmada buruşma olmadan derin çekme işleminin gerçekleşebilmesi için gerekli BPK'leri belirlenmiştir. Zımba çapı en etkili faktör olarak tespit edilmiştir. Buruşma olmadan çekme işleminin gerçekleşebilmesi için gerekli değişkenler ve seviyeleri kalıp kavis 7 mm, zımba kavis 1 mm, kalıp boşluğu 0.07 mm ve sürtünme katsayısı 0.45 olarak belirlenmiştir.

Browne vd [52], yaptıkları araştırmada 0.9 mm kalınlığında C.R.1 elik malzemenin derin çekme işleminde zımba kuvvetini ve kalınlık dağılımlarını etkileyen çekme hızı, yağlayıcı tipi, zımba/kalıp geometrisi, BPK, kalıp itici kuvveti olmak üzere beş işlem değişkeninin etkilerini araştırmışlardır. Her bir kontrol faktörünün optimum seviyelerinin ve etkilerinin araştırılması için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bunun için L8 ortogonal dizisini kullanarak deneysel tasarım yapmışlardır. Yapılan alışmalar sonucunda zımba kuvveti için üç farklı yağlayıcı (Lubysil, duchams ve plastik) test edilmiş ve en düşük zımba kuvveti plastik yağlayıcı ile elde edilmiştir. Ayrıca yağlayıcının hem kalıp yüzeyine hem de zımba yüzeyine uygulanması daha iyi bir sonuç verdiği belirtilmiştir. Zımba kuvveti için optimum işlem parametreleri zımba kavisi: 4 mm, kalıp kavisi: 6 mm, kalıp üst itme kuvveti: 80 kN, yağlayıcı: plastik ve yağlama durumu: her iki tarafa olarak belirlenmiştir. Kalınlık dağılımları için optimum işlem parametreleri kalıp itici kuvveti: 70 kN, BPK: 18 kN ve çekme hızı: 100 mm/dk olarak belirlenmiştir.

Park ve Kim [53], ekme işleminde işlem değişkenlerinin ve malzeme özelliklerini araştırmak için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak derin çekme testi ve Yoshida boyun verme testini yapmışlardır. Çeşitli faktörlerin etkilerini belirlemek için Taguchi L9 ortogonal dizisine göre tasarlanan deney setini kullanmışlardır. Derin ekme testiyle yapılan analizlerde kontrol faktörü olarak anizotropi katsayısı (1.4, 1.9, 2.4), pekleşme üssü (0.19, 0.23, 0.27), sürtünme katsayısı (0.10, 0.17, 0.25) ve çekme dayanımı (274, 333, 392 Mpa), değerlendirme kriteri olarak birim uzama esas alınırken, Yoshida boyun verme testinde kontrol faktörü olarak akma dayanımı (117, 147, 176 Mpa), pekleşme üssü (0.21, 0.24, 0.27), anizotropi katsayısı (1.2, 1.6, 2) ve kalınlık (0.75, 0.8, 0.85 mm), değerlendirme kriteri olarak boyun verme başlangıcındaki uzama esas alınmıştır. Ayrıca derin çekme testi çekme oranının ve BPK'nin değerinin belirlenmesi ve kalıp/sac malzeme arasındaki sürtünme katsayısının ve sac malzemenin anizotropi katsayısının etkilerini incelemek için, Yoshida boyun verme testiyle uniform olmayan gerilmeler altında boyun verme davranışı sırasında akma gerilmesinin ve malzeme et kalınlığının etkilerini araştırmak için kullanıldığını vurgulamışlardır. Yapılan çalışmada derin çekme testi için anizotropi katsayısı %40.9 ve sürtünme katsayısı %39.9 oranlarıyla en fazla

etkiye sahip faktörler olarak belirlenmiştir. Yoshida boyun verme testinde ise akma dayanımı %52.2 ve sac malzemenin et kalınlığı %45.5'lik oranla en fazla etkiye sahip faktör olarak belirlenmiştir. Ve anizotropi katsayısı ve sürtünme katsayısının boyun verme davranışında, akma dayanımı ve sac malzemenin et kalınlığının boyun verme başlangıcında önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Diğer bir çalışmada [54], Al 7075 sac malzemenin derin çekme karakteristiğinde üç önemli işlem değişkeni olan sac malzeme sıcaklığı (200, 325, 425 °C), kalıp kavisi (6, 9, 12 mm) ve zımba hızı (1, 2, 3 mm/s) dikkate alınarak çekme yüksekliğine olan etkileri araştırılmıştır. Taguchi yöntemi ve SEY'u birlikte işlem değişkenlerinin etkilerinin araştırılmasında kullanılmıştır. İşlem değişkenlerinin etki oranları sac malzeme sıcaklığı %84.4, kalıp kavisi %6.6 ve zımba hızı %9 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar gösteriyor ki çekme yüksekliğinde en fazla etkiye sahip olan parametre sac malzeme sıcaklığıdır. En fazla çekem yüksekliğine 15.4 mm ile Deney 8'de ulaşılmıştır. Bu deneyde kullanılan işlem değişkenleri sac malzeme sıcaklığı 450 °C, kalıp kavisi 9 mm ve zımba hızı 1 mm/s'dir. Yüksek sıcaklıklarda çekme derinliğinin artması kayma düzlemlerinin sayısının artması olarak gösterilmiştir. Ayrıca sıcaklığın yükselmesiyle zımba kuvvetinin düştüğü belirtilmiş. Buna sebep olarak da sıcaklığın artmasıyla malzemenin mekanik özelliklerinin de düşme gösterdiği belirtilmiştir.

Raju vd [55], yaptıkları çalışmada derin çekme işleminde kalınlık değişiminin sebebini aşırı gerilmeden kaynaklandığını ve yırtılmayla sonuçlanabildiğini belirtmişlerdir. Derin çekme işleminde bu kusurun oluşumunda etkili olan zımba kavisi (3, 5.5, 8 mm), kalıp kavisi (3, 5.5, 8 mm) ve baskı plakası kuvveti (4, 7, 10 kN) etkilerini Taguchi yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Derin çekme işleminde en az kalınlık değişimiyle gerçekleştirilebilmesi gerekli olan parametreler, zımba kavisi: 3 mm, kalıp kavisi: 8 mm ve BPK: 4 kN olarak belirlenmiştir. Ayrıca kalınlık dağılımı üzerinde işlem değişkenleri etkileri kalıp kavisi %66.49, BPK %29.16 ve zımba kavisi %9.23 olduğu belirtilmiştir. Diğer bir araştırmada [56] soğuk haddelenmiş çelik için derin çekme işleminde şekillendirilebilirliğin iyileştirilebilmesi ve tahmini için BPK (10, 15, 20 kN), zımba kavisi (1, 2, 3 mm) ve kalıp kavisi (2.5, 4, 5.5 mm) incelenmiştir. Kalınlık değişimine olan etkileri sırasıyla

%5.5, %56.6 ve %38 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca ilkel pul şeklini değiştirerek malzeme oluşan kulaklanmayı azaltmışlardır.

2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde derin çekme işleminde malzeme şekillendirilebilirliğini arttırabilmek, derin çekmeyi etkileyen parametrelerin etkilerini araştırabilmek ve çekme kusurlarını önceden tespit ederek tasarım aşamasında iken müdahale edebilmek için deneysel çalışmalarla birlikte Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) yaklaşımı kullanıldığı görülmüştür. Bu araştırmalarda SEY ile deneysel çalışmalar karşılaştırılarak SEY'in doğrulanması, baskı plakası kuvvetinin (BPK) buruşma üzerindeki etkisinin incelenmesi, BPK'nin ve zımba kuvvetinin değişken uygulanmasının çekmeye etkileri, limit çekme oranının iyileştirilmesinde işlem değişkenlerinin ilişkisi, BPK'nin en uygun değerinin seçilmesiyle ile kalınlık dağılımının iyileştirilmesi, kalıp köşe radyüslerinin ve zımba hızının çekme yüksekliğine etkisi, zımba uç şeklinin şekillendirmeye etkisi, ilkel parça şeklinin belirlenmesi, yağlama ve sürtünmenin çekmeye etkileri üzerine odaklanılmıştır. Sonuç olarak bu kısımda işlem değişkenlerinin derin çekme işleminde etkileri incelenmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilerek önceden uygun değerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İkinci kısım ise zeki sistemlerle derin çekme işleminde ürün kalitesinin iyileştirilmesidir. Bu kısımda zeki sistemlerin Eş-Zamanlı (Real-Time) olarak ürün kalitesini etkileyen değişkenlerin değerlerinin derin çekme işlemi sırasında yeniden hesaplanarak uygulanması ve derin çekme işleminden önce işlem değişkenlerinin belirlenerek ürün kalitesinin tahmininde kullanılması olarak iki kısımda ele alınmıştır. Eş-Zamanlı sistemlerde sensorlar, kameralar vb. ekipmanlar kullanılarak ürün kalitesindeki değişiklik ölçülmektedir. Bu değişiklik zeki bir sistemden oluşan karar verme algoritmasıyla değerlendirilerek BPK, zımba kuvveti gibi işlem değişkenleri kontrol altında tutulmuş ve derin çekme işleminde meydana gelen kusurlar engellenmeye çalışılmıştır. Eş-zamanlı zeki sistemlerle yapılan çalışmalarda kontrol amaçlı olarak ölçülebilen değer olarak buruşma esas alınmaktadır. Buruşmanın derecesine göre sistem işlem değişkenlerini yeniden hesaplar. Bu

hesaplama sonucu ortaya çıkan işlem değişkenleri derin çekme işleminde eş zamanlı olarak uygulanır.

Zeki sistemler kullanılarak derin çekmeyi etkileyen malzeme özelliklerinin ve işlem değişkenlerinin tahmininde ise zeki sistemler deneysel veya nümerik olarak elde edilen verilerle eğitilerek elde olmayan değerlerin tahmininde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda hazırlanan YSA modelinin giriş değeri olarak sayısal analiz sonuçları kullanılmıştır. Deneysel sonuçları kullanan çalışmalar ise birçok değişkenden sadece bir kaçına odaklanmaktadır. Bu çalışmalar zeki sistemlerin sac metal şekillendirme yöntemlerinde etkin olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmalar her bir parametrenin değişimine karşılık üretim kalitesini nasıl etkilediğini ortaya koymakta fakat istenilen bir üretim kalitesi için birbiriyle etkileşimli olan bu parametrelerin en uygun değerlerinin neler olması gerektiği sorusuna cevap vermemektedir.

Üçüncü kısım ise Taguchi yöntemi ve ANOVA analizi kullanılarak derin çekme işleminde ürün kalitesini etkileyen parametrelerin incelenmesini kapsamaktadır. Bu çalışmalarında çoğunluğu teorik olarak gerçekleştirilmiştir ve derin çekme sırasında kalınlık dağılımı, zımba kuvveti, boyun verme, çekme oranı ve çekme yüksekliğinin optimizasyonu konularından birisi ele almışlardır. Derin çekmede ürün kalitesini etkileyen önemli bir faktör olan baskı plakası kuvvetinin seviyeleri uygun değer aralığında seçilmiştir. Bu da baskı plakası kuvvetinin ürün kalitesi üzerindeki etkisini azaltarak diğer faktörlerin öne çıkmasına sebep olmuştur. Ayrıca işlem değişkenlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenirken birbiriyle olan etkileşimler incelenmemiştir. Bu çalışmada derin çekme işleminde karşılaşılan iki önemli kusur olan buruşma ve yırtılma esas alınarak işlem değişkenlerinin ürün kalitesine olan etkileri ve birbiriyle olan etkileşimleri incelenmiştir. İşlem değişkenlerinin değerleri daha geniş bir aralığı kapsayacak şekilde seçilmiştir. Böylece derin çekme uygulama alanında daha fazla katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ürün kalitesinin tahmini için yapay zekâ teknolojilerinden YSA kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler modelin oluşturulması, eğitilmesi ve test edilmesi için kullanılarak, derin çekmede işlem değişkenlerinin ürün kalitesi üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Literatürde bu

konuda yapılan az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı sadece teorik olarak gerçekleştirilmiş ve kalınlık dağılımı, buruşma gibi kusurlardan biri üzerinde odaklanılmıştır. Hâlbuki işlem değişkenlerinin derin çekmedeki etkisini tam olarak görebilmek için değişkenlerinin hepsinin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Zeki sistemler kullanılarak derin çekmeyi etkileyen işlem değişkenlerinin tahminiyle ilgili yapılan doktora çalışmasında kapsamlı olarak işlem değişkenlerini değerlendirmiş fakat BPK ve sürtünme katsayısı dikkate alınmamıştır. Eş-zamanlı zeki sistemlerle yapılan çalışmaların derin çekme ekipmanlarına uygulanması masraflı ve zor olmaktadır. Bu çalışmalar göz önünde bulundurularak derin çekme işleminde ürün kalitesini belirlenmesinde en önemli üç kusur (buruşma, yırtılma ve kalınlık dağılımı) esas alınmıştır. İşlem değişkenlerinin derin çekme işleminde ürün kalitesine olan etkileri ve her değişkenin birbiriyle olan etkileşimleri incelenmiştir. Ve geliştirilen YSA modeliyle işlem değişkenleri doğrudan kontrol edilerek ürün kalitesinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Böylece değişkenlerin ve hataların topluca dikkate alındığı bir sistem mimarisi içinde bütüncül olarak değerlendirme yapabilen, uygulaması kolay ve ekonomik bir sistem geliştirilecektir.

Ayrıca SE modeli, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak modelin doğrulaması yapılacaktır. Böylece ileriki çalışmalarda SEY'i kullanılarak YSA modelinin eğitimi ve test edilmesi amaçlanmaktadır.

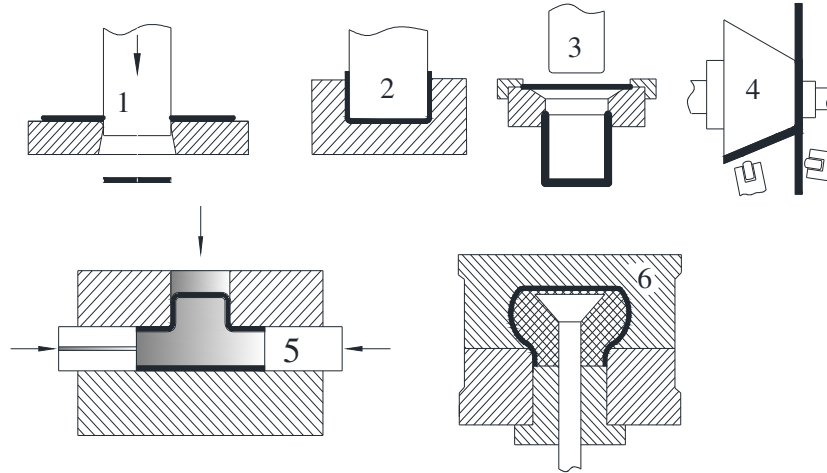
BÖLÜM 3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Presleme Teknikleri

Pres tekniği, metal veya metal olmayan plaka veya şerit şeklindeki sacların apak almaksızın istenilen şekle getirilmesi metotlarını kapsar [57]. Presleme teknikleriyle özdeş parçalar, istenen ölçü sınırları içerisinde ve en kısa zamanda talaş kaldırmadan, malzeme sarfiyatı ve insan gücünün asgari düzeyde tutularak büyük miktarlarda üretim yapılabilir. Kalıplarla üretilen parçalar mutfak malzemelerinde, elektrik-elektronik endüstrisinde, özellikle otomotiv endüstrisinde olmak üzere diğer endüstri kollarında kullanılmaktadır.

Sac metal presleme teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

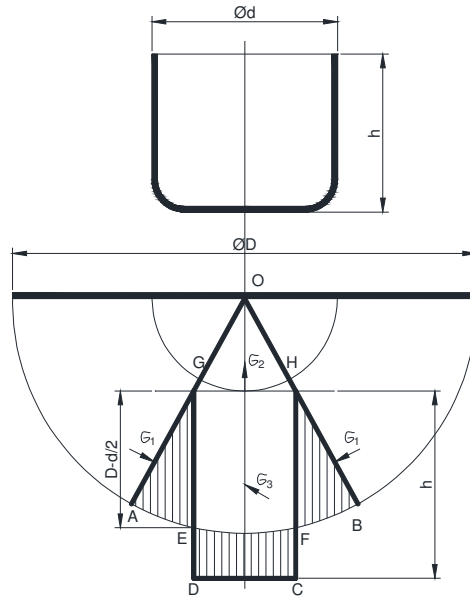
1) Delme ve Kesme Kalıpları: Levha veya şerit halindeki saclardan istenilen profil ve ölçüdeki parçaları talaş kaldırmadan elde etme işlemine denir. 2) Bükme Kalıpları: İstenilen parça şekline uygun olarak yapılmış ekipmanlar kullanılarak malzeme üzerinde kalıcı şekil değişikliği meydana getirilmesidir [58]. 3) ekme Kalıpları: Madeni düz pulların veya plakaların pres altında kalıp boşluğuna itilmesiyle belirli derinlik ve profillerde kap elde edilmesine denir. 4) Sıvama Kalıpları: Sacların rijit bir takım vasıtasıyla dönen bir kalıp üzerine bastırılarak eksenel simetrik kap şeklinde parçalar üretilmesidir [59]. 5) Sıvı Basıncı ile şekillendirme Kalıpları: Bu işlemdede kauçuk zar ve bir zımba takımı parçalara şekil vermek için kullanılmaktadır. İşlem esasında; zımba akışkanın şekil verdiği dişi kalıp içine girmektedir ve bu esada sac malzeme giren takım zımba etrafına sarılmakta ve şekillendirilmek istenen parça oluşturulmaktadır [60]. 6) şişirme Kalıpları: Kovan, boru ve benzeri parçaların belirli yerdeki dış çaplarının çeşitli yöntemlerle genişletilmesidir (şekil 3.1).



Şekil 3.1. Pres Tekniklerinden Örnekler.

3.2. Çekme İşlemi

Genellikle düz levha metallere içi boş, dikışsiz kap veya değişik parçaların elde edilmesi işleminde kullanılan biçimlendirme çekme olarak adlandırılır. Çekilecek parçanın ölçülerine göre ilkel pul çapı belirlendikten sonra bu pulun hangi kademelerden geçerek istenilen ölçülerde parçaya dönüştürüleceği kararlaştırılır. Şekil 3.2’de (D) çaplı ilkel pulun (d) çapında ve (h) yüksekliğinde bir kap şekline dönüştürülmesi görülmektedir.



Şekil 3.2. Silindirik Çekme İşleminin Oluşumu [58].

İlkel puldaki (OAB) dilimi çekme sonrası (OCD) şekline dönüşmüştür. Silindirik parça tabanının oluşturan (OGH) bölgesi değişmediğinden ilkel pulun (GHBA) kısmı yanlara doğru sıkışmış ve boyuda uzayarak (GHCD) bölgesini oluşturmuştur. Kaba benzetimle (GAE) ve (HBF) dilimleri çekme sonunda (EFCD) kısmına dönüşmüştür.

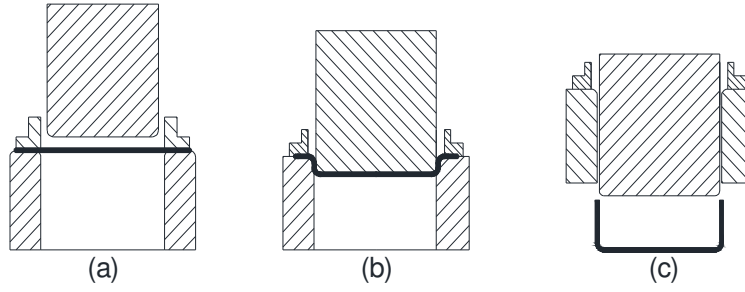
Basitleştirilerek anlatılan bu şekil değişikliği malzemenin çeşitli bölgelerinde çok çeşitli gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Bu gerilmelerin belirlenmesi karmaşık plastisite problemidir. Ve en basit çekme türü olan silindirik çekmede bile sağlıklı değerler veren pratik kurullar geliştirilememiştir [58].

Derinliği fazla olan kaplarda şekillendirme işlemi aşamalı olarak gerçekleştirilir. Birden fazla işlemle gerçekleştirilen çekme işlemine “derin çekme” denir. Çekme işleminden önce ürünün şekline göre sac levhalardan kesilerek hazırlanmış ilkel pullar çekme kalıbının içerisine yerleştirilir. Çekme ürüne silindirik, küresel ve benzeri çeşitli formlar verilebilir. İşin şekline göre, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli çekme yöntemleri uygulanmaktadır.

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

3.2.1. Baskı plakalı çekme

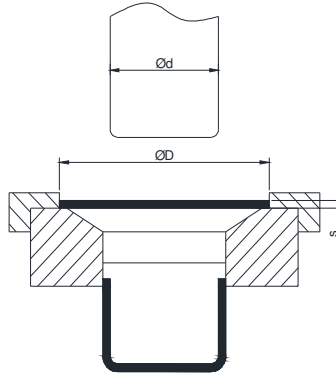
Çekme işleminin başlangıcında, ilkel pul üzerine baskı plakası tarafından belirli bir kuvvet uygulanarak, çekilecek olan sac parça kalıpla baskı plakası arasına sıkıştırılır. Oluşturulan bu baskının amacı, çekme esnasında üründe oluşabilecek kırışıklıkların engellenmesidir. Sac malzeme kalınlığının az olduğu veya çekme yüksekliğinin büyük olduğu durumlarda kırışıklıkları önlemek amacıyla bu tür bir çekme işlemi yapılması gerekmektedir [61, 62]. Baskı plakalı çekmenin işlem sırası sac malzemenin yerleştirilmesi, baskı kuvvetinin uygulanması, çekme başlangıcı ve çekme sonu olmak üzere Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Baskı plakalı çekme işleminin oluşumu [57].

3.2.2. Baskı plakasız çekme

Kalınlığı fazla olan sac malzemelerden, derinliği az olan parçaların çekilmesinde ürün üzerinde kırışıklıkların oluşması olasılığı az olduğu için, basit yapıli parçalardan oluşan baskı plakasız kalıpların kullanılması daha uygun olmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Baskı plakasız çekme işleminin oluşumu [57].

Baskı plakasız çekme işleminin yapılabilmesi için;

$$s \geq 0,017 D \text{ ve } d1/D \geq 0,55 \text{ olmalıdır.} \quad (3.1)$$

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

$$s \geq 0,015 D \text{ ve } d1/d2 \geq 0,78 \text{ olmalıdır.} \quad (3.2)$$

Verilen eşitliklerde;

s : Çekilecek olan sac malzeme kalınlığı ,mm

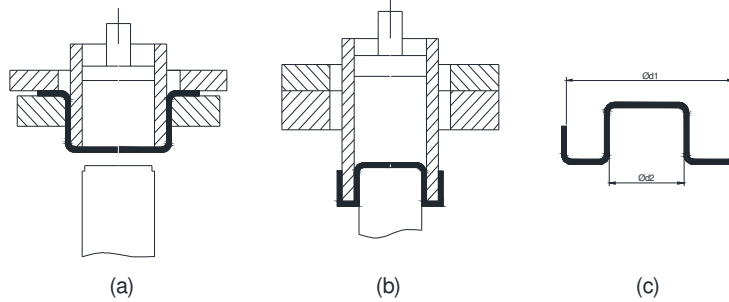
D : İlkel pul çapı ,mm

d_1 : İlk çekmede zımba çapı (mm),

d_2 : İkinci çekmede zımba çapı (mm) olarak alınmıştır.

3.2.3. 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 3.5).



Şekil 3.5. Çevirme çekme işleminin oluşumu [5]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 [57, 58].

3.3. Parçaların İlkel Çapının Hesaplanması

Silindirik kapların çekilmesinde, önce çekilecek kabın ilkel (taslak) çapı hesaplanır. Çekme süresince kap malzeme eğilme, basılma ve çekme gerilmeleri etkisinde kalır. Ancak tabanları düz olan kaplarda taban bu gerilmelerden etkilenmez [63].

3.3.1. Alan yöntemi

Alan yöntemi ile ilkel çapın bulunmasında, ilkel parçanın ve çekme işleminden sonra elde edilen ürünün alanlarının eşit olması ilkesinden yararlanılır. Şekil 3.6’da basit bir silindirik kap ve bu kabın ilkel çapının hesaplanması için gerekli formüller görülmektedir.

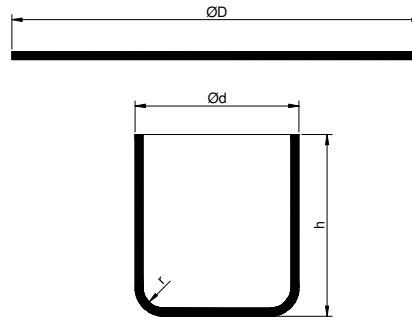
$$\text{Çekilecek parça alanı: } S = \frac{\pi * D^2}{4}, \text{ mm}^2 \quad (3.3)$$

$$\text{Çekilen kap alanı } S_1 = \frac{\pi * D^2}{4} + \pi * d * h, \text{ mm}^2 \quad (3.4)$$

$$\text{Alan eşitliği ilkesinden } S=S_1 \quad (3.5)$$

Buradan;

$$D = \sqrt{d^2 + 4 * d(h - 0,43 * r)} \quad (3.6)$$



Şekil 3.6. Alan Metodu ile İlkel Çapın Bulunması.

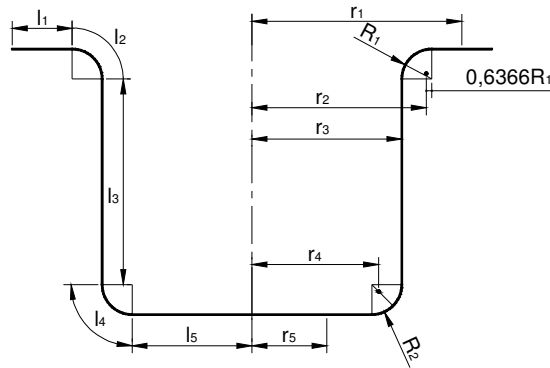
3.3.2. Uzunluk ve ağırlık merkezi yöntemi

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.

Bu yöntemin uygulanması için;

- Kesiti alınan kap, simetrik parçalara ayrılır,
- Simetrik parçaların her birini simgeleyen $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ uzunlukları bulunur (Şekil 3.7),
- Belirlenen her uzunluğa ait ağırlık merkezinin, parça merkezine olan uzaklığı r_1, r_2, \dots, r_n bulunur.



Şekil 3.7. Uzunluk ve Ağırlık Merkezi Metodu.

$$\text{Çekilecek parça alanı } S = \frac{\pi * D^2}{4}, \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

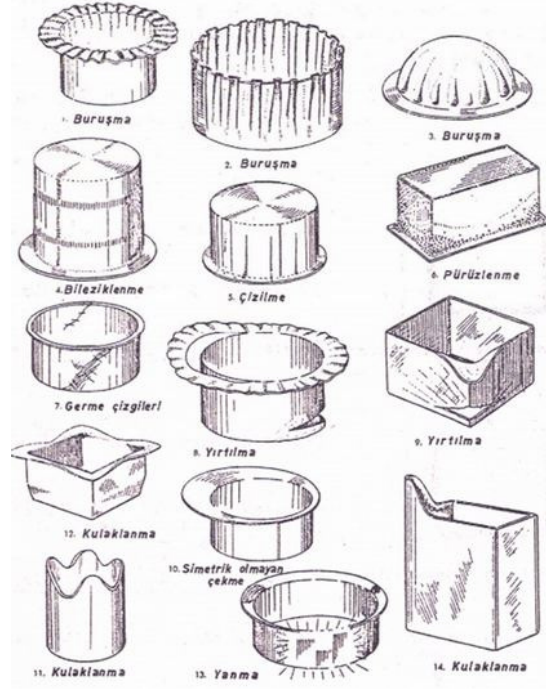
$$\text{Çekilen Kap Alanı} = 2\pi r_1 l_1 + 2\pi r_2 l_2 + 2\pi r_3 l_3 + 2\pi r_4 l_4 + 2\pi r_5 l_5, \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

Buradan;

$$D = D = \sqrt{8 * (r_1 l_1 + r_2 l_2 + r_3 l_3 + r_4 l_4 + r_5 l_5)} \text{ mm, olarak bulunur.} \quad (3.9)$$

3.4. Derin Çekmede Meydana Gelen Hatalar

Çekilen parçada en çok görülen kusurlar yırtılma ve buruşma olmak üzere kalıp içerisinde düzgün olmayan plastik şekil değişiminden meydana gelir. Bu hatalar Şekil 3.8’de görülmektedir. Çekme işleminde oluşan hatalar ve muhtemel sebepleri tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Çekme İşleminde Oluşan Hatalar.

Tablo 3.1. Çekme İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar ve Muhtemel Sebepleri.

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 ve kırılma	Aşırı baskı plakası kuvveti
	Kalıp kavisinin çok küçük olması
	Zımba kavisinin çok küçük olması
	Çekme boşluğunun çok küçük olması
	Presin veya kalıbın eksenden kaçık olması
	Uygunsuz veya eksik yağlama

Tablo 3.1. Çekme İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar ve Muhtemel Sebepleri (Devamı).

Parçada Yırtılma ve kırılma	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 kulaklanma	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 esemesi
Parçanın dip kısımlarında pürüzlenme	Sac malzeme kalitesi
	Baskı plakasının yetersiz olması
	Baskı plakası üzerinde yağ birikmesi
	Hava çıkışının olmaması
	Parçadaki uygunsuz eseme

3.5. Derin Çekmenin Operasyonlandırılması

Çekilen parçanın kalıcı şekil değişimine zorlanır. Bundan dolayı malzeme üzerinde çok değişik gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Çekmenin başarılabilmesi için malzemenin bu gerilmelere dayanabileceği ölçüde şekil değişimi uygulanmalıdır.

Şekil 3.9’de baskı plakalı çekmede silindirik parçanın çekme esasında malzeme hareketi ve çeşitli çekme bölgelerindeki gerilme dağılımları gösterilmiştir. Çekme sırasında (5) elemanı yer değiştirerek (5’) konumuna gelmiştir. Sol taraftaki şekilde gösterilen bu elemanın (σ_1) gerilmeleri ile eni daralmış, zımba kuvvetinden doğan (σ_2) gerilmeleri ile çekiye zorlanmış ve baskı kuvvetinin etkisiyle (σ_3) gerilmesiyle sıkıştırılmıştır. (4) elemanı da (4’) konumuna geçerken (5) elemanı gibi üç eksenli gerilmenin etkisindedir. Bu eleman ayrıca kalıp köşesinde bükülmeye zorlanmıştır (3) elemanı (3’) konumuna geçmeden önce kalıp köşesinde bükülmüş,

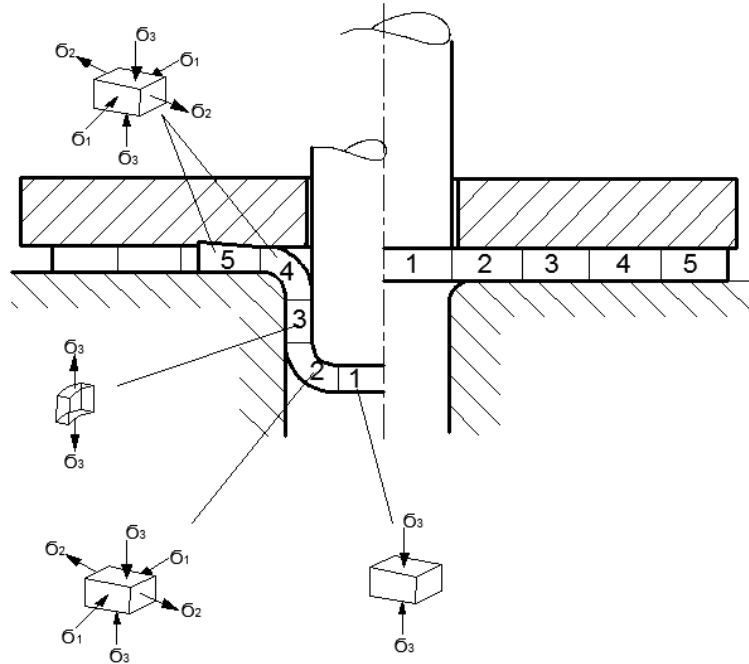
sonra tekrar doğrulmuştur. Şimdi üzerinde çekme gerilmesi vardır. Parçanın bu bölgesinde çekme kuvveti etki eden kesit:

$$F = \pi * d * s \quad (3.10)$$

Çekme kuvveti değeri (P), malzemenin çekme mukavemeti (σ_B) ise

$$P > \pi * d * s * \sigma_B \text{ ise}$$

Parça bu bölgeden kopacak ve çekme başaramayacaktır. Çekilecek parça ölçüleriyle yakından alakalı çekme kuvveti kolay yoldan belirlenebilse, bu kuvvetin dayanabileceği kesit hesabından çekme ölçüleri kolayca belirlenebilir. Ve çekmenin operasyonlandırılması yapılabilir. Hâlbuki parçayı istenilen ölçülere getirebilecek çekme kuvveti çekme ölçülerine, birçok değişkenden oluşan çekme şartlarına ve malzeme özelliklerine bağlıdır. Çekme kuvvetinin kesin değerini belirleyecek pratikte kullanışlı formüller mevcut değildir. Bunun çekem işleminin operasyonlandırılmasında çaplar arasındaki azalma oranı kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. Silindirik Çekmede Oluşan Gerilmeler.

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

$$R_c = \frac{D-d}{D} * 100 \quad (3.11)$$

R_c : Çaplar arasındaki % azalma oranı

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

Tablo 3.2. Bazı sac malzemelerin ilk çekmedeki ve müteakip çekmelerdeki %azalma oranları [64].

	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	0.93
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	0.6	0.8	0.90-0.93

Silindirik çekmelerin kademelendirilmesinde kullanılan "Sparkuhl" eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{İlk çekme çapı} \quad d_1 = \frac{DX}{100 - 0.025D}, mm \quad (3.12)$$

$$\text{İkinci çekme çapı} \quad d_2 = \frac{d_1 Y}{100 - 0.025d_1}, mm \quad (3.13)$$

$$d_3 = \frac{d_{n-1}Y}{100 - 0.025d_{n-1}}, mm \quad (3.14)$$

Son çekme çapı

Burada;

D : İlkel çap ,mm

d1, d2, ..., dn : Çekme çapları ,mm

X ve Y : Sac kalınlığına bağlı katsayılar (Tablo 3.2) olarak alınmıştır.

Tablo 3.3. Çekmenin kademelendirilmesinde sac kalınlığına bağlı katsayılar [64].

Sac Kalınlığı, mm	İlk Çekme		İkinci çekme	
	En az	En fazla	En az	En fazla
0,40-0,45	51	68	74	81
0,5	58	65	73	80
0,55-0,60	56	63	72	80
0,70	54	60	71	79
0,8	50	56	70,5	77
1,5	47	53	70	75
3	46	51	65	70

3.6. Derin Çekmeyi Etkileyen Faktörler

3.6.1. Malzeme değişkenleri

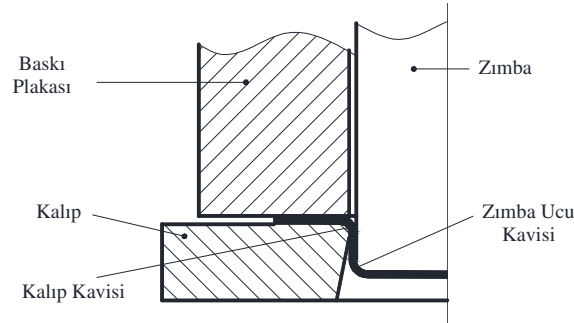
Üretim açısından sacların en önemli malzeme özellikleri, dayanımları ile şekillendirilebilme yetenekleri olmakla birlikte, bunlar içinde şekillendirilebilme yetenekleri daha baskın kabul edilmektedir. Bu özellikler malzemenin kimyasal birleşimi, döküm tekniği ve soğuk-sıcak haddeleme ile uygulanan ısıl işlemlerden oluşan termo-mekanik geçmişi tarafından kontrol edilmektedir. Malzemenin bu özelliklerini belirlemek ve analiz edebilmek için aşağıdaki özelliklerin saptanması gerekmektedir. Bu özellikler akma dayanımı, pekleşme üsteli, deformasyon hızına duyarlılık üsteli, plastik anizotropi ve elastiklik modülü olarak sıralanabilir.

3.6.2. İşlem değişkenleri

Kalıp ve zımba geometrileri, konfigürasyonları, kalıp mamul boşlukları, pot basıncı süzdürme uygulamaları gibi değişkenler sac şekillendirme işlemlerini etkileyen önemli parametrelerdir.

3.6.2.1. 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 [58]. Zımba ucu kavis ve dişi kalıp kavis Şekil 3.10'da gösterilmiştir [62]. Kalıp kavis yarıçapı değerleri tablo 3.4 'te verilmiştir.



Şekil 3.10. Zımba ucu kavis ve dişi kalıp kavis [58]

Tablo 3.4. Kalıp kavis yarıçapı değerleri [58, 62].

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 tablo 3.5 'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Kalıp kavis yarıçapı için önerilen diğer değerler [57].

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.

$$r_k = 0,035[50 + (D - d)]\sqrt{s} \quad (3.15)$$

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 (dn-1-dn) kullanılmakta, 0,035 katsayı değeri ise 0,08'e kadar arttırılabilmektedir.

Genel olarak zımba kavisleri için, $r_z=(3-10)s$ bağlantısı 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 [58].

$$\frac{s}{D}100 > 0,6 \quad r_z = r_k \quad (3.16)$$

$$\frac{s}{D}100 = 0,6-0,3 \quad r_z = 1,5 r_k \quad (3.17)$$

$$\frac{s}{D}100 < 0,3 \quad r_z = 2 r_k \quad (3.18)$$

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

3.6.2.2. 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 [57, 65].

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

Tablo 3.6. Çekme Hızı [57,65].

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.

$$V = 33,3 \left(1 + \frac{d}{D} \sqrt{D-d}\right) mm / sn \quad (3.19)$$

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 [65].

3.6.2.3. 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 [58, 64].

Çeşitli malzemeler için uygulanacak çekme boşlukları için eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Çelik saclar için} \quad z = s + 0,07 \sqrt{10s} ,mm \quad (3.20)$$

$$\text{Alüminyum için} \quad z = s + 0,02 \sqrt{10s} ,mm \quad (3.21)$$

$$\text{Demir olmayan metaller için} \quad z = s + 0,04 \sqrt{10s} ,mm \quad (3.22)$$

Çekme boşluklarının bulunması için kullanılacak bir diğer eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$z = s(1 + 0,01 \sigma_B (\beta - 1)^3) \quad (3.23)$$

Çekme boşluğu değerlerinin tespit edilmesinde pratik olarak tablo 3.7 kullanılmaktadır.

Tablo 3.7. Çekme boşluğu değerleri [58, 64].

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

3.6.2.4. 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 [64].

$$P_z = 3,14 * d * s * m * \sigma \quad (3.24)$$

Burada;

d : Zımba çapı (mm),

s : Sac malzeme kalınlığı (mm)

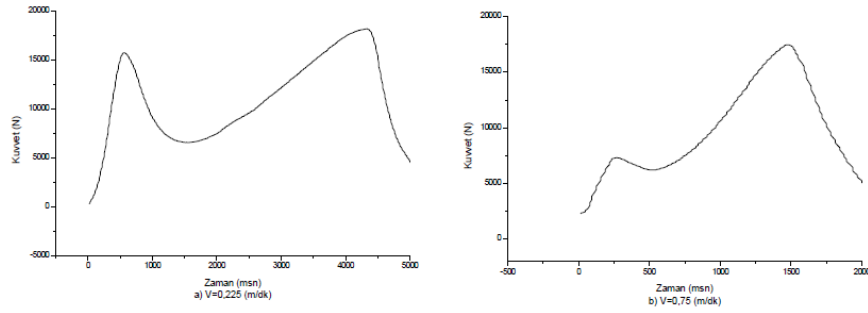
m : Katsayı,

σ : Sac malzemenin kopma gerilmesi (N/mm²)

Çekme kuvveti çekme esnasında sabit değerde olmayıp çekme yoluna bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan başka aynı çekme ölçülerine sahip aynı malzemenin çekmelerinde bile şartlara bağlı olarak çekme kuvveti farklı değerlerde seyretmektedir.

Şekil 3.11’de aynı çap ve yüksekliğe sahip kabın aynı kalınlık ve ilkel puldan çekilmesi görülmektedir. Her iki çekmede de parça ölçüleri aynı olmakla birlikte

çekme hızları farklı seçilmiştir. Şekilden görüleceği gibi çekme hızı düşük olanda çekme kuvveti daha fazla çıkmıştır.



Şekil 3.11. AA5754 malzemenin farklı çekme hızlarında silindirik olarak çekilmesi sırasında oluşan kuvvetleri gösteren zaman-kuvvet grafiği [40].

3.6.2.5. Çekmede yağlama

Çekimde yağlama malzeme takım arasındaki sürtünmeyi azaltmayı amaçlar. Böylece malzemenin şekillenmeye karşı göstereceği direnç azalmış olur. İyi bir yağlama takım ve iş parçası yüzeylerinin zamansız bozulmasını önlediği gibi kalıp ömrünün artmasına sebep olur. Yağlama iş parçasının takımdan kolayca ayrılmasını sağlamak amacıyla da kullanılır. Yağlama için kullanılacak maddelerde aşağıdaki genel özelliklerin bulunması gerekir.

- Yağlama maddesinin meydana getirdiği yağ filmi homojen olmalı ve yüksek basınçlarda yırtılarak kuru sürtünmeye sebep olmamalıdır.
- Yağlama maddesi malzeme yüzeyine iyi yapışmalı ve bütün yüzeylere homojen olarak dağılmalıdır.
- İş parçası yüzeyindeki yağ tabakası operasyonlardan sonra kolayca temizlenebilmelidir.
- Yağlama maddesi takım ve malzeme yüzeyinde kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar meydana getirmemelidir.
- Yağlama maddesinin bileşimi kararlı olmalı ve sağlığa zararlı etkileri bulunmamalıdır.
- Kullanılan operasyon sıcaklığında yağlama özelliğini kaybetmemeli, zararlı etkileri bulunabilecek duman ve gaz çıkarmamalıdır.
- Yağlama maddesinin temini kolay ve ucuz olmalıdır.

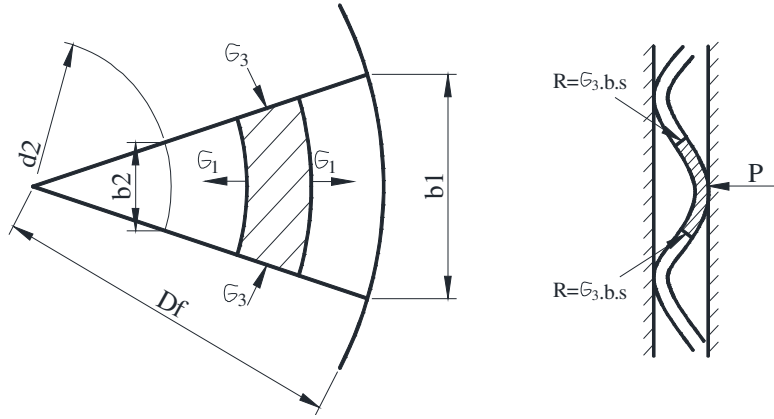
Pratikte dolgu maddeli dediğimiz grafit talk (magnezyum silikat) tebeşir (kalsiyum karbonat) MoS_2 (Molibden disülfid) vs. gibi katık maddeleri bulunan yağlarla dolgu maddesiz çok çeşitli yağlama maddeleri kullanılmaktadır. Tablo 3.8’de yağlama maddelerinin cinsine göre sürtünme katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.8. Yağlama maddesine göre sürtünme katsayıları.

Yağlama Maddesi	Çekilen malzeme		
	Çekilen sac	Alüminyum	
Dolgu maddesiz makine yağı	0,14-0,16	0,15	0,16
Dolgu maddeli makine yağı	0,06-0,10	0,10	0,08-0,10
Kuru çekme	0,18-0,20	0,25	0,22

3.6.2.6. Baskı plakası kuvveti

Çekme işlemi sırasında ilkel pul çapının (D) küçülmesinde etken olan teğetsel gerilmeler Şekil 3.12’de görülmektedir. Bu teğetsel kuvvetler parçanın flanş kısmını buruşturmaya zorlar. Çekilen malzeme kalınlığı çapına göre fazlasıyla ince ise teğetsel gerilmeler etkisiyle kolayca buruşur. Bu durumda çekme işlemi başarısız olur. Malzemenin çekme esnasında buruşmaması için ek bir baskı düzeneği ile kalıp yüzeyine bastırılması gerekir. Sacın çekme işlemi sırasında buruşmaması için baskı yapan düzeneğe ‘baskı plakası’ denir. Malzemenin ek bir kuvvetle bastırılarak çekilmeye zorlanması çekme kuvvetini artırır. Kalıbın çekme zorlanan kesitindeki çekme gerilmesinin artması çekme anında malzemenin yırtılmasına sebep olur. Bu bakımdan baskı kuvveti buruşmayı önleyici en alt değerde tutulmalıdır. Baskı plakasına uygulanacak kuvvet, baskı yüzeyi ile çekme şartlarına göre belirlenmiş yüzey basıncının çarpılması ile belirlenir. Malzemenin teğetsel gerilmeler etkisiyle buruşmadan çekilebilmesini sağlayan yüzey basıncının teorik hesabı çekme kuvvetinin hesabı gibi uzun ve karmaşık plastisite problemdir.



Şekil 3.12. Teğetsel gerilmeler etkisiyle buruşmalar.

Baskı yüzey basıncının bulunması için aşağıdaki formül önerilmektedir.

$$P = c \left[(\beta - 1)^2 + 0,5 \frac{d}{100s} \right] \sigma_B, \text{ kg / cm}^2 \quad (3.25)$$

Formülde

- s = Sac kalınlığı (mm)
- d = Zımba çapı (mm),
- c = Katsayı 0,2 ile 0,3 (mm),
- σ_B = Çekme mukavemeti (kg/mm^2),
- β = Çekme Oranı (D/d),

Tablo 3.9. Baskı plakası için formüller.

Çekmenin Şekli	Baskı Kuvveti Formülü
Herhangi bir şekilde parçalar için genel formül	$Q = p \cdot F$
Silindirik şekilli parçalar I. Çekme baskı kuvveti	$Q = \frac{\pi}{4} [D^2 - (d_1 + 2r)^2] p$
Silindirik şekilli parçaların ek çekimi	$Q = \frac{\pi}{4} [d_{n-1} - (d_n + 2r)^2] p$

Baskı plakasına uygulanacak kuvvet yüzey basıncıyla baskı yüzey alanının çarpılmasıyla elde edilir. Baskı plakasına uygulanacak kuvvetin hesabı tablo 3.9'da verilmiştir.

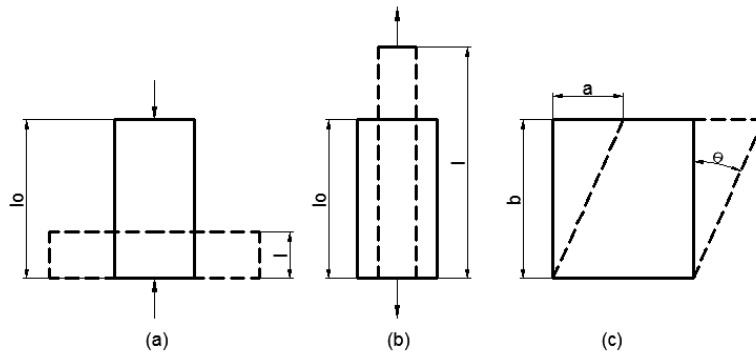
Baskı kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan yüzey basınçları çekme başlangıcındaki şartlar içindir. Baskı kuvveti hesaplanan değerde sabit tutulursa çekme ilerledikçe parçanın flanş çapı devamlı küçüleceğinden başlangıçtaki yüzey basıncı flanş çapının küçülmesiyle orantılı olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.

$$p_n = \frac{D^2 - (d + 2r)^2}{Df^2 - (d + 2r)^2} \quad (3.26)$$

3.7. Metallere Plastik Şekil Verme

Metalik malzemeleri şekillendirme işlemlerinde kullanılan en genel yöntemlerden birisi olan plastik şekil verme proseslerinde, yani metalik proseslerde, metalik malzemeye bir kuvvet tatbiki ile malzemelerin plastik olarak şekil değiştirmesi sağlanır. Bu durum metalik malzemelerin çok iyi plastik şekil değiştirme özelliklerine sahip olmasından kaynaklanır. Mekanik prosesler sonucunda, malzemelerin genellikle mekanik ve fiziksel özellikleri değişir, bununla birlikte daha işlevsel özellikler kazanırlar [66].

Tüm plastik şekil verme işlemlerinde malzeme çekme, basma ve kayma gibi üç temel şekil değişiminden birkaçının etkisinde kalır (Şekil 3.13). 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.



Şekil 3.13. Üç temel şekil değişimi (a- basma, b- çekme, c- kayma) [59].

3.7.1. Plastik şekil değiştirmede gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi

Plastik şekil değiştirmenin farklı türleri, plastisite teorisindeki matematiksel formülleri elastisite teorisine oranla daha karmaşık hale getirmekte ve plastisite analizlerini zorlaştırmaktadır. Örneğin elastik şekil değiştirme, plastik şekil değiştirmenin gerçekleşebilmesi için izlenen yükleme yoluna bağlıdır. Ayrıca plastik şekil değiştirme işleminde, gerilme ve şekil değiştirme arasında, elastik şekil işlemi değiştirmede olduğu gibi doğrusal bir ilişki yoktur. Şekil değiştirme sertleşmesi olayını basit bağlantılarla plastisite teorisine uyarlamak oldukça zordur. Ayrıca, gerçek malzemelerde görülen plastik anizotropi, elastik histerizis ve Bausehinger olayı gibi olaylar plastisite teorisi ile tam olarak incelenememektedir [66].

Basit bir çekme deneyi sonucunda elde edilen grafik yardımı ile çizilen “gerçek gerilme (σ_g)-gerçek birim şekil değiştirme (ϵ)”, eğrileri plastisite çalışmalarında çok faydalıdır. Gerçek malzemelere ait tipik gerilme-şekil değiştirme eğrileri incelenerek bunların ideal malzemelere ait teorik gerilme şekil değiştirme eğrilerinden hangisi ile bağdaştırılabileceğine karar verilebilir. Gerçek gerilme-gerçek birim şekil değiştirme eğrisine genellikle plastik akış eğrisi adı verilir. Çünkü bu eğri, belirli bir şekil değiştirme oranı için metalin plastik olarak akışını sağlayacak gerekli gerilmeleri belirtmektedir. Plastik akış eğrisi matematiksel olarak;

$$\sigma_g = K \cdot \epsilon^n \quad (3.27)$$

şeklinde ki bir denklem ile ifade edilebilir [67].

Burada;

n =Şekil değiştirme sertleşmesi üssel değeri,

K =Malzeme sabiti ($\epsilon=1$ için bulunan gerilmeye eşdeğerdir)

Bu denklem plastik şekil değiştirmenin başladığı akma noktası ile boyun verme olayının başladığı maksimum yük noktası arasındaki homojen şekil değiştirme bölgesinde geçerlidir [67].

3.7.2. Plastik şekil değiştirmeyi etkileyen faktörler

Malzemenin yapısı ve mekanik özellikleri ile şekil değiştirme şartları, malzemelerin plastik şekil değiştirme kabiliyetlerini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bunlar dışında, şekil değiştirmede uygulanan hidrostatik basınç, malzemedeki kalıntı gerilmeler ve şekillenecek malzemenin geometrik şekli gibi faktörlerde plastik şekil değiştirmeyi etkilemektedir. Plastik şekil değiştirmeyi gerçekleştirecek olan gerilmeyi ve/veya yapılabilecek şekil değiştirme oranını etkileyen faktörler: malzeme yapısı, mekanik özellikler, şekil değiştirme hızı, sıcaklık, sürtünme ve yağlama, hidrostatik basınç, kalıntı gerilmeler ve geometrik faktörlerdir [67].

3.7.2.1. Malzeme yapısı

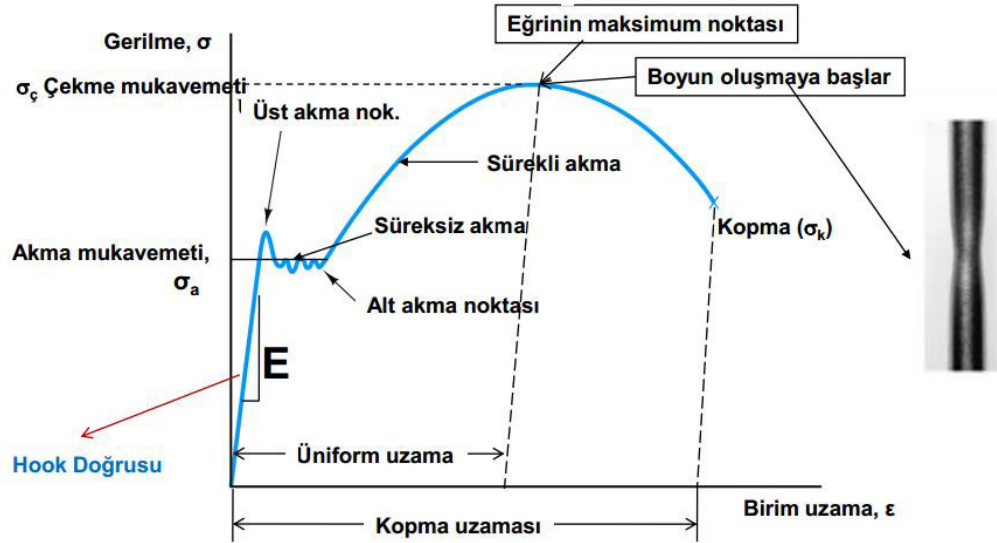
Genel olarak, tek fazlı malzemelerin plastik şekil değiştirme kabiliyeti çok fazlı malzemelerden daha iyidir. Küçük taneli malzeme, yüksek kırılma tokluğu ve süneklik özelliklerine sahip olmasına karşın, mukavemetin yüksek olması nedeniyle plastik şekil değiştirme için daha büyük gerilme uygulanmasını gerektirir. Malzeme yapısında bulunan metalik olmayan oksit, sülfür veya nitrür gibi kalıntılar (inklüzyonlar) genellikle plastik şekil değiştirme kabiliyetini azaltır. Çok fazlı malzemelerde fazların şekli, dağılımı, mekanik özellikleri, fazlar arasındaki ara yüzey enerjisi ve arayüzey bağı plastik deformasyon kabiliyetini etkiler [67]. Kalıntılar çok küçük, küresel tanecikler halinde homojen olarak dağılmışsa, zararsızdır. Fakat mukavemeti artırır.

3.7.2.2. Mekanik özellikler

Mekanik işlemlerde gerekli olan gerilme, malzemenin deformasyon şartlarındaki mukavemetine, uygulanabilecek deformasyon oranı ise deformasyon şartlarındaki malzemenin sünekliğine bağlıdır. Bir malzemenin, çatlama ya da aşırı incelmeden dayanabileceği deformasyon miktarı o malzemenin şekillendirilebilme özelliğini gösterir. Şekil verilebilirlik ve ürün kalitesi üzerinde doğrudan ya da dolaylı olarak etkisi olan malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için en çok kullanılan test tekniği, tek eksenli çekme testidir. Tek eksenli çekme testiyle kopma

ve akma mukavemeti, elastikiyet modülü, yüzde uzama ve alan daralması, şekil değiştirme sertleşmesi üsteli, deformasyon hızına duyarlılık üsteli gibi malzeme özellikleri elde edilebilir.

Bir malzeme için yük altında uzama kavramı gerilme-şekil değiştirme eğrisi ile ifade edilmektedir (Şekil 3.14). Gerilme – şekil değiştirme eğrisini elde etmek için, bir metal numune aksenal bir gerilme ile hasara uğrayana kadar çekilir.



Şekil 3.14. Gerilme – Genleme diyagramı

Mühendislik gerilmesi (σ_ϵ); uygulanan yükün (F), numunenin başlangıçtaki kesit alanına (A) bölünmesi ile bulunur.

$$\sigma_\epsilon = \frac{F}{A} \quad (3.28)$$

Mühendislik şekil değiştirme (ϵ) miktarı; son uzunluk (l), ilk uzunluk (l_0) olmak üzere

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3.29)$$

şeklinde bulunur.

Şekil 3.14'de tipik bir gerilme – şekil değiştirme eğrisi görülmektedir. Eğrinin şekil ve büyüklüğü metalin çeşidine göre değişir. Akma mukavemetinin altındaki kısım elastik bölgeyi temsil eder. Bu bölgede gerilme ve uzama arasında doğru orantı vardır. Elastik bölge içindeki eğrinin eğimi elastikiyet modülü olarak tanımlanır ve malzemenin elastik davranışını belirleyen en önemli faktördür. Özellikle akma dayanımı ile birlikte bükme işlemlerinde karşılaşılan problemlerin analizinde önemli rol oynamaktadır.

Akma mukavemeti, elastik şekil değişiminin bittiği yükleme sınırı değeridir. Akma sınırının altındaki yüklemelerde yükleme-uzama ilişkisi lineerdir. Hooke ($\sigma = tg\alpha \times \varepsilon = E \times \varepsilon$) bölgesi olarak da bilinir.

Özellikle Amerika'da akma noktasının tanımlanmasına birçok vurgu yapılmaktadır. Çünkü birçok metal (özellikle yüksek dayanımlı çelikler ve otomotiv endüstrisinde kullanılan alaşımlı çelikler) akma noktası ile tanımlanırlar. Akma mukavemeti makine konstrüksiyonlarının boyutlandırılmasında önemli bir kriterdir. Yükleme sınırlarını belirler, çünkü makine ve sistem konstrüksiyonları genellikle sadece elastik şekil değişimine izin verecek şekilde boyutlandırılır. Gerçekte akma noktasını tanımlanmak zordur. Akma noktası uzama göstermeyen çelikler için, uzama ekseninin % 0,2'sinden çıkılan paralel doğrunun çekme eğrisini kestiği noktadaki gerilme değeri ile ifade edilir. Akma sınırı belirgin olmayan malzemelerde akma mukavemeti yerine “ ε_p ” kadar kalıcı şekil değiştirme üreten gerilme değeri “ R_p ” alınıp kullanılır. Uygulamada genellikle % 0,2 birim uzamaya karşılık gelen “ $R_p 0,2$ ” değeri seçilir

Çekme gerilmesi ya da maksimum gerilme malzemenin boyun vermeden önce ulaşabileceği gerilme değerini gösterir. Bu noktada ($dF=0$) plastik kararsızlık başlar ve inceme belli bir bölgede toplanarak kopma gerçekleşir. Akma gerilmesi ve çekme gerilmesi şekil verilebilirlikle doğrudan ilgili değildir. Ancak bu ikisinin arası ne kadar yakınsa malzeme o derece serttir.

Şekil verilebilirlikte diğer bir kriter, toplam uzama ve kesit daralmasıdır. Toplam uzama kırılma anındaki tek eksenli şekil değişiminin miktarıdır. Kopma uzaması hem elastik hem de plastik deformasyonu içine alır ve genellikle kopmadaki yüzde olarak ifade edilir.

$$\text{Kırılma esnasındaki uzama (\%)} = \varepsilon_z = 100 \times \frac{l-l_0}{l_0} \quad (3.30)$$

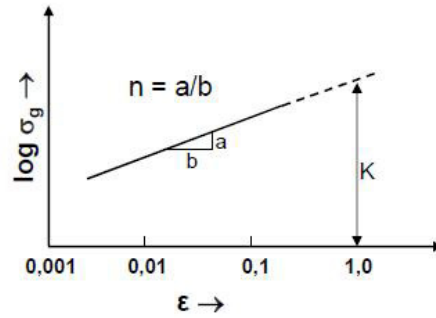
olarak hesaplanır. Kopmadaki uzamaya benzeyen kesit daralması, sünekliğin diğer bir ölçütüdür ve yüzde olarak ifade edilir. Kesit daralması kırılma esnasında kesit alanı ölçülerek hesaplanır.

$$\text{Kesit daralması (\%)} = 100 \times \frac{A_0 - A}{A_0} \quad (3.31)$$

3.7.2.3. Şekil değiştirme sertleşmesi üsteli

Bir sacın uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi sırasındaki sertleşme yeteneği, soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme özeliğidir. Yerel olarak plastik şekil değişimine uğrayan bir bölgede, burada oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artacağından, bu bölgedeki şekil değişimi durur ve parçanın diğer komsu bölgelerinde plastik şekil değişimi başlar. Bu şekilde pekleşmeden dolayı daha fazla üniform şekil değişimi elde edilerek, parça daha geç hasara uğramaktadır. Şekil değiştirme sertleşmesi (pekleşme), çok kısa olarak deformasyon sırasında dislokasyon yoğunluğundaki artış ve artan dislokasyonların gerek birbirleri ile gerekse başka engellerle etkileşmesi ile açıklanmaktadır. Çekme deneyinde malzeme maksimum yüke kadar üniform olarak şekil değiştirir. Üniform şekil değişimi, sacın pekleşme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Diğer bir kriterde pekleşme üsteli (n) değeridir. Çekme deney sonucunda elde edilen akma eğrisindeki plastik şekil değişimi ile gerilme arasındaki ilişki, Holloman bağıntısı olarak bilinen $\sigma = K \cdot \varepsilon^n$ fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Bu eğriye göre logaritmik gerilme-birim şekil değişimi diyagramındaki doğrunun eğimi pekleşme üsteli(n) olarak ifade

edilmektedir. Pekleşme üsteli değerini arttıran mikro yapısal özellikler, metalin şekil değişiminin homojen dağılımı ile daha yüksek sınır şekil değişimleri sağlayarak sacın şekillendirilebilirliğini iyileştirir. Yeniden kristalleşen yapılar düşük akma dayanımları ve yüksek pekleşme kapasitesi gösterirler.



Şekil 3.15. Pekleşme üsselinin hesaplanması

Şekil değiştirme pekleşme üsteli akma dayanımıyla çekme dayanımı arasında kalan kısım esas alınarak hesaplanır. Bunun sebebi akmadan önce elastik şekil değişimi olması. Çekmeden sonra ise malzemenin kararsız hale geçmesidir. Tek eksenli çekme deneyinden elde edilen verilere göre gerçek gerilme – birim uzama eğrisi çizdirilir. Buradan elde edilen eğri Holloman denklemiyle temsil edilir. Şekil değiştirme katsayısının hesaplanması için bu denklemin logaritması alınır. Böylece eğri doğrusal hale gelmiş olur (Şekil 13.15).

$$\log \sigma = \log K + n \log \varepsilon \quad (3.32)$$

3.7.2.4. Deformasyon hızına duyarlılık üsteli

Metal malzemelerde deformasyon hızı ile malzemenin akma gerilmesi arasında $\sigma = C \cdot \dot{\varepsilon}^m$ şeklinde tanımlanan bir ilişki mevcuttur. Burada $\dot{\varepsilon}$ birim şekil değişim hızı, m deformasyon hızına duyarlılık üsteli ve C ise malzeme sabitidir. Malzemedeki şekil değiştirme dağılımında rol oynayan diğer bir faktör de şekil değişim hızına duyarlılıktır. Bu özellik artan şekil değiştirme hızı ile meydana gelen akma gerilmesindeki artış ile tanımlanır. Deformasyon hızına duyarlılık üsteli m 'nin büyük değerleri malzemenin boyun verme olarak tanımlanan kararsız şekil değişme

olayının gecikmesine neden olmaktadır. Diğer bir deyişle m 'nin büyük değerleri malzemenin iyi şekillendirilebilir olduğunun önemli bir göstergesi sayılmaktadır.

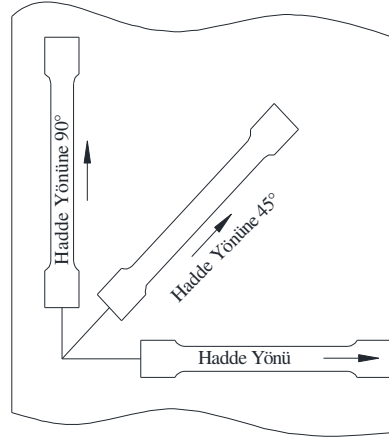
Şekillendirme işlemlerinde, şekil değiştirme miktarı ve şekil değiştirme hızındaki artışlar çoğunlukla sürtünmeli ve geometrik sınırlamalardan dolayı meydana gelmektedir. Hem pekleşme üsteli, hem de deformasyon hızına duyarlılık üsteli, üniform olmayan yerel boyun vermenin azalmasında ve hasara kadar olan şekil değişim miktarının artmasında önemli rol oynamaktadır.

3.7.2.5. Plastik anizotropi

Sac malzemedden hazırlanan bir deney parçasına çekme deneyi uygulandığında plastik şekil değişimi çekme eksenini boyunca uzama, buna dik olarak uzanan kalınlık ve genişlik doğrultularında ise kısılma şeklinde meydana gelmektedir. Hacim sabitliği uzama birim şekil değişiminin toplamının kısılma birim şekil değişimlerinin toplamına eşit olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu kalınlık ve genişlik yönlerindeki birim şekil değişimlerinin birbirine eşit olmasını gerektirmemektedir. Genişlik yönündeki birim şekil değişimi ϵ_w 'nin kalınlık yönündeki birim şekil değişimi ϵ_t 'ya oranı

$$R = \frac{\text{en boyunca \% daralma } (\epsilon_w)}{\text{kalınlık boyunca \% incelme } (\epsilon_t)} \quad (3.33)$$

ϵ_w / ϵ_t , R değeri olarak tanımlanmaktadır. Plastik anizotropi değeri R, Şekil 3.16'da görüldüğü gibi sacın farklı doğrultuları için elde edilebilmektedir. Bu amaçla çekme eksenini sacın haddeme yönüne 0° , 45° ve 90° doğrultularda olacak şekilde hazırlanan deney parçalarından yararlanılır.



Şekil 3.16. Hadde yönüne göre çekme numunesi yerleşimi.

Malzemenin izotrop olması durumunda $\varepsilon_w = \varepsilon_r$, dolayısı ile $r=1$ olmakta ve bu değer haddeleme yönüne bağlı olarak değişmemektedir. Ancak gerçekte bu şartlar sağlanamamakta ve R değeri hem 1 den farklı değerler almakta (normal veya düşey anizotropi), hem de bu değerler haddeleme doğrultusuna bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle farklı yönlerde r ölçülerek ortalaması alınır.

$$\bar{R} = \frac{R_0 + R_{90} + 2R_{45}}{4} \quad (3.34)$$

Ortalama dikey anizotropi katsayısı, yassı metalik malzemelerde derin çekilebilirliğin bir ölçüsüdür. Buna göre üç doğrultudaki r değerinin bir ağırlıklı ortalaması olarak görülebilecek bu değer birden büyük olması durumunda kalınlık doğrultusunda malzemenin incelmeye (boyun verme) karşı direncinin büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu aynı zamanda malzemeye ait şekillendirme kabiliyetinin iyi olduğunun bir işaretidir. Derin çekilebilir birçok levha malzemede ortalama dikey anizotropi katsayısı 0,8 ile 2,40 değerleri arasındadır. Çok iyi derin çekilebilirlik için $\bar{R} \geq 1,80$ olmalıdır. Alüminyum alaşımlarında ortalama dikey anizotropi katsayısının 0,6 ile 0,8 arasında olması halinde derin çekilebilirliğin iyi olduğunu açıklamaktadır.

Benzer şekilde düzlemsel anizotropi değerinin ΔR değerinden yararlanılmaktadır. ΔR değeri arttıkça çekme sırasında oluşan kulaklanmada artış görülür.

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2} \quad (3.35)$$

şeklinde ifade edilir.

3.7.2.6. Deformasyon hızı

Malzemelerde uygulanan şekil değiştirme hızı, mühendislik şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}$) ve gerçek şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}$) olmak üzere iki şekilde ifade edilir. Mühendislik şekil değiştirme hızı, çekme veya basma deneyinde çene hızı ile doğru orantılıdır.

Mühendislik şekil değiştirme hızı örnek boyuna ve çene hızına bağlı olarak;

$$\dot{\epsilon} = \frac{de}{dt} = \frac{d[(L-L_0)/L_0]}{dt} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{V}{L_0} \quad (3.36)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Burada;

L_0 =Örneğin şekil değiştirme öncesi uzunluğu,

L = Örneğin şekil değiştirme sonrası uzunluğu,

V = Çene hızı ($V=dL/dt$)

Gerçek şekil değiştirme hızı birim zamanda meydana gelen gerçek birim şekil değiştirme miktarını gösterir ve;

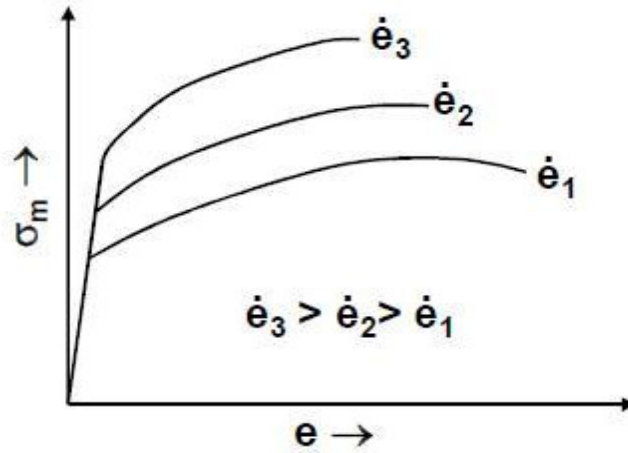
$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{d[\ln(L/L_0)]}{dt} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{V}{L} \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilir.

Gerçek şekil değiştirme hızının, örnek boyu ve çene hızı ilişkisini veren (3.33) bağıntısına göre, çene hızı sabit iken, örnek uzadıkça gerçek şekil değiştirme hızının azalacağı, örnek boyu kıaldıkça gerçek şekil değiştirme hızının artacağı

anlaşılmaktadır. Gerçek şekil değiştirme hızı, örnek boyunun etkisini gösterdiğinden, mühendislik şekil değiştirme hızına göre daha doğru sonuç vermektedir.

Şekil değiştirme hızının mekanik özelliklere önemli ölçüde etkisi vardır. Şekil değiştirme hızı arttıkça malzemenin mukavemeti artar (Şekil 3.17). Farklı şekil değiştirme hızları uygulanması halinde çekme eğrilerinin yukarıya doğru kaydığı, buna karşılık toplam birim şekil değiştirme miktarının azaldığı görülür. Şekil değiştirme hızının akma gerilmesine ve küçük birim şekil değiştirme miktarlarındaki plastik gerilmeye etkisi çekme mukavemetine etkisinden daha fazladır. Metalik malzemelerden hacim merkezli kübik yapıda olanlar diğer metalik malzemelere göre şekil değiştirme hızına daha duyarlıdır [67].



Şekil 3.17. Deformasyon hızının çekme eğrisine etkisi.

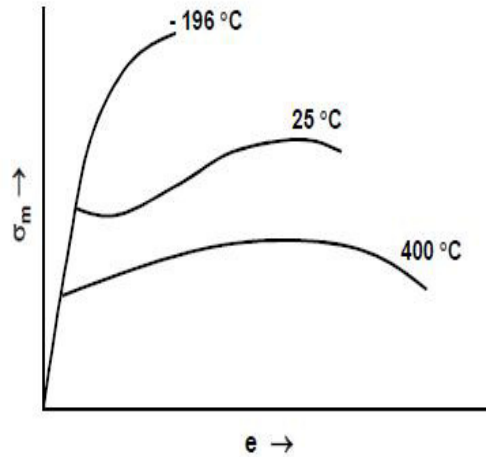
Genellikle, çeşitli sıcaklıklarda şekil değiştirme hızı artarken malzemenin sünekliği azalır. Şekil değiştirme hızı artarken sünekliğe bağlı olarak malzemenin şekil değiştirme duyarlılığı üssü de azalır. Yüksek şekil değiştirme hızı duyarlılığı üssü, metalik malzemelerde süper plastikliği karakterize eder.

Metalik malzemelerde, şekil değiştirme hızı duyarlılığı üssü, oda sıcaklığında genellikle düşüktür ($m < 0,1$), “m”in en yüksek değeri “1” olabilir. Bu durumda malzeme sıcak cam gibi akar. Şekil değiştirme hızı duyarlılığı üssü, malzemenin sünekliğini karakterize eder, şöyle ki;

- $m \leq 0,1$ ise malzeme sünek değildir.
- $m \approx 0,3-0,4$ ise malzeme sünektir.
- $m \geq 0,5$ ise malzeme süperplastiktir.
- $m=1$ ise malzeme cam gibi akar.

3.7.2.6. Sıcaklık

Bütün malzemeler için genelleştirme zor olmakla beraber, sıcaklığın yükselmesi çoğunlukla süneklik ve tokluğu artırır, elastikiyet modülü, akma sınır ve çekme dayanımını ise düşürür (Şekil 3.18). Sıcaklığa bağlı olarak oluşan çökme, deformasyon yaşanması veya yeniden kristalleşme gibi yapısal değişimler bu genel ilişkiyi etkileyebilir.



Şekil 3.18. Sıcaklığın çekme diyagramına etkisi

Pekleşme üsteli de sıcaklıktan etkilenen bir malzeme özelliğidir. Sıcaklığın yükselmesi pekleşme üstelinin düşmesine yol açar.

3.8. Hasar Teorileri

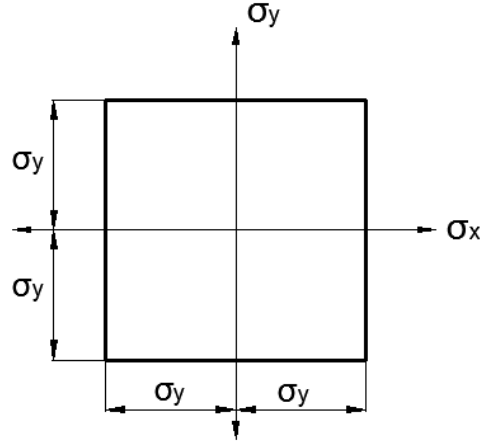
Malzemenin fiziksel özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılan test yöntemlerinin çoğunda numune basit bir yükleme türüne maruz bırakılır. Malzemelerin çoğunluğuna ait mukavemet değerlerinin önemli bir kısmı basit çekme deneylerinden

elde edilir. Gevrek malzemeler genelde çekmeden ziyade basma gerilmesi altında çalıştığından bu malzemelere ait mukavemet değerlerinin çoğu da yine basit basma deneyinde elde edilir. Malzemelerin kayma mukavemetlerinin tespiti için de yine belirli test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu tür yükleme durumuna tek eksenli yükleme denir. Bu noktadan hareketle tek eksenli gerilme halinde $\sigma_{\max} \leq \sigma_{em}$ veya $\tau_{\max} \leq \tau_{em}$ bağıntıları kullanılarak gerekli mukavemet hesaplamaları gerçekleştirilir. Böylece malzeme sadece çekme, basma veya kaymaya maruz ise bu değerler olduğu gibi kullanılarak gerekli mukavemet hesapları gerçekleştirilebilir.

Ancak mühendislik uygulamaların birçoğunda bazı noktalardaki gerilme halleri oldukça karışık olabilir ve birçok yönde hem normal hem de kayma gerilmelerine maruz kalabilirler. Böylece malzeme tek eksenliden ziyade iki veya üç eksenli gerilme durumuna maruz kalabilirler. Bu tür yükleme altında malzemenin mukavemet değerlerinin tespiti tek eksenliye göre daha zor olmaktadır. Bu şekilde, bileşik gerilmeye maruz yerlerde gerekli mukavemet hesaplarının gerçekleştirilmesi için değişik teoriler önerilmiştir. Bu teorilerin amacı, malzemelerin basit çekme ve basma deneylerinden elde edilen değerler kullanılarak kombine yükleme durumlarında malzemenin ne zaman hasara uğrayacağını tespit etmektir.

3.8.1. Maksimum normal gerilme teorisi

Rankine Teorisi olarak ta bilinen bu teoriye göre kombine yükleme altında malzemede oluşan asal gerilmeler σ_1, σ_2 ve σ_3 olmak üzere $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ olacağından malzemede oluşan maksimum asal gerilmenin değeri (σ_1) malzemenin çekme veya basma deneyinden elde edilen σ_{em} değerini aştığında malzeme hasara uğrar. Böylece bu teori $\sigma_{\max} = \sigma_1 \leq \sigma_{em}$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 3.19. Maksimum normal gerilme teorisinin grafik olarak gösterilmesi.

İki eksenli düzlemsel yükleme durumunda bu teori grafik olarak Şekil 3.19’da çizilmiştir. Yapılan deneyler bu teorisinin tüm yükleme durumları için pek güvenilir sonuçlar vermediğini göstermiştir. Ancak gevrek malzemeler için elde edilen deneysel sonuçlar ile teorik sonuçları destekler mahiyette olduğu tespit edilmiştir. Bu teorisinin en belirgin eksikliklerinden biri de çekme ve basma altında malzemede hasarın aynı gerilme seviyesinde ortaya çıktığını önermesidir.

Oysaki dökme demir ve beton gibi gevrek malzemeler basmada çekmeye rağmen daha mukavemettirler. Bu ise malzemede yer alan mikro boşlukların çekme gerilmesi sonucu ilerleyip, malzemeyi tahrip etmeleri yüzündendir.

3.8.2 Maksimum kayma gerilme teorisi

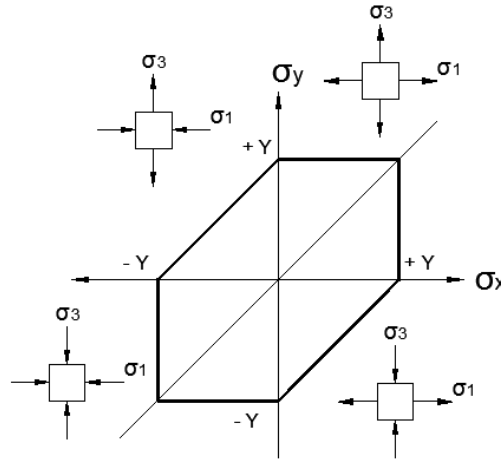
Tresca Teorisi olarak ta bilinen bu teoriye göre bir malzemenin herhangi bir noktasında akma olmasının şartı, o noktadaki maksimum kayma gerilmesinin, basit çekme halinde akma sınırındaki kayma gerilmesine eşit veya büyük olmasıdır. Üç eksenli bir sistemde veya gerilmelerden biri pozitif, diğeri negatif ve üçüncüsü de sıfır olan bir yüklemde maksimum kayma gerilmesi;

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3.38)$$

formülü ile verilir. Bu teori daha ziyade sünek malzemeler için güvenilir sonuçlar vermektedir. Öte yandan tek eksenli gerilmede $\tau_{em} = \sigma_{em} / 2$ olarak verildiğinden

$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_{em}}{2}$ veya $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{em}$ şeklinde yazılabilir. İki eksenli gerilme için bu teori grafik olarak Şekil 3.20'de çizilmiştir. Asal gerilmelerden ikisinin de pozitif ve üçüncüsünün sıfır olduğu yükleme durumunda ise maksimum kayma gerilmesi:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - 0}{2} = \frac{\sigma_1}{2} \text{ ve akma } \frac{\sigma_1}{2} = \frac{\sigma_y}{2} \text{ ve buradan } \sigma_1 = \sigma_y \text{ şeklinde yazılabilir.}$$



Şekil 3.20. Maksimum Tresca teorisinin grafik olarak gösterilmesi.

3.8.3 Maksimum kayma genleme enerjisi teorisi

Huber tarafından 1904'de ortaya atılmasına rağmen Von Misses Teorisi olarak bilinen bu teoriye göre şekil değiştirme enerjisinin belli bir sınırı aşması ile cisimde hasar başlar. Birim hacim için genel halde çarpılma enerjisi:

$$U_g = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \right] \quad (3.39)$$

Asal gerilmeler cinsinden

$$U_g = \frac{1}{12G} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] \quad (3.40)$$

şeklinde yazılır. Bu kritere göre bir malzemenin akması, çarpılma enerji değerinin, tek eksenli haldeki çarpılma enerjisi değerine eşit olduğu anda gerçekleşir. Tek eksenli halde

$$U_g = \frac{1}{6G} \sigma_o^2 \quad (3.41)$$

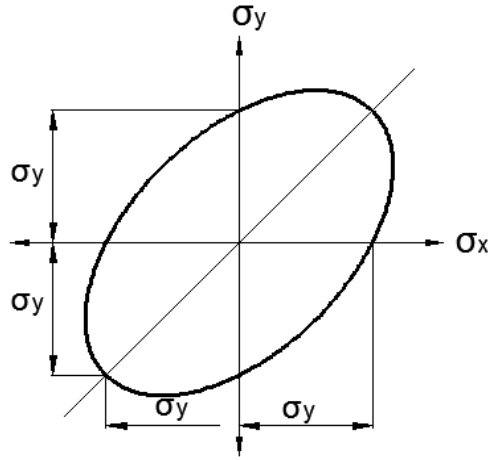
İki formül eşitlenirse

$$U_g = \frac{1}{6G} \sigma_o^2 = \frac{1}{12G} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] \quad (3.42)$$

buradan da

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 = 2\sigma_o^2 \quad (3.43)$$

elde edilir. Bu denklem ise Şekil 6.36'daki gibi bir elips ile ifade edilebilir.

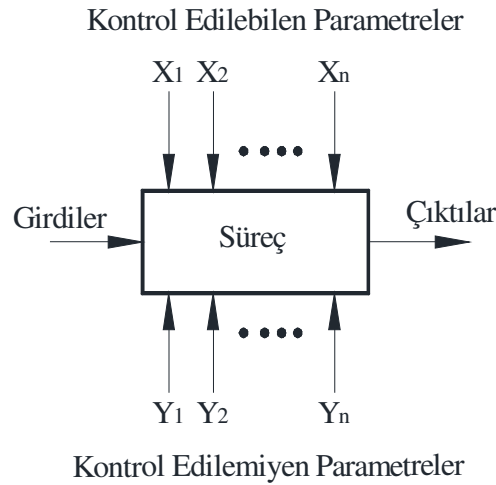


Şekil 3.21. Von Misses teorisinin grafik olarak gösterilmesi.

3.8. Deney Kavramı

Deneyler, araştırmacılar tarafından bir sistemi ya da belirli bir süreci tanımlamak ve anlamak için kullanılır. Literatürde bir deney aynı zamanda bir testtir. Bir süreç ya da sistemin girdilerinde değişiklik yapılarak çıktılarının gözlemlenmesi ve analiz edilmesidir [68].

Deney tasarımının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir. Genel olarak deneyler sistemin ya da sürecin performansını ölçmede de kullanılır. Bir deney modeli Şekil 3.22’de de gösterilmiştir. Burada deneyin gerçekleştirilmesi sürecinde, deneyde kullanılacak parametreler bir takım girdilerdir. Bunlar makine, teçhizat, yöntem ve insan kaynakları gibi girdi türleri olabilir. Parametreler iki şekilde deneye etki eder, bunlar kullanıcı tarafından bizzat kontrol edilebilen parametreler, mesela kullanılacak malzemelerin çeşitleri, sıcaklık farklılıkları, karışım oranları gibi parametrelerdir. Kontrol edilemeyen parametreler ise kullanıcının müdahale edemediği çevre sıcaklığı, nem oranı, sıcaklık değişimi, nakliye gibi daha akla gelmeyen birçok sebeplerdir. Bir deney tasarımında kontrol edilemeyen parametreler mutlaka göz önüne alınmalıdır.



Şekil 3.22. Bir sistem yada sürecin modeli [68].

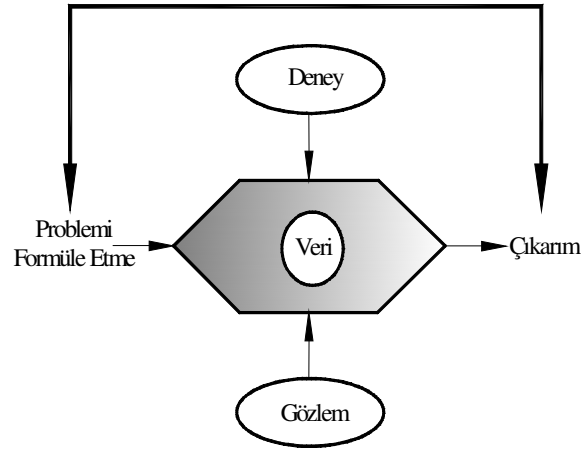
Şekil 3.22’de X_1 , X_2 ve X_3 kontrol edilebilen parametreler ve Z_1, Z_2 ve Z_3 ise kontrol edilemeyen parametrelerdir. Deney sonucunda elde edilecek çıktılar şu sorulara cevap vermelidir;

1. y Çıktısını en fazla etkileyen parametre hangisidir?
2. y çıktısı en az, nominal yada en yüksek değerde istendiği zaman, X parametrelerinin konumları ne olmalıdır?
3. Z_1, Z_2 ve Z_3 kontrol edilmeyen parametreleri minimize etmek için kontrol edilebilen (X) parametrelerin konumları ne olmalıdır?

Eğer bir deney doğru bir şekilde tasarlanırsa, optimizasyon deneyden alınan veriler doğru bir şekilde toplanmış olacaktır. Bundan dolayı deney tasarımı yapılırken aşağıdaki sorulara cevap verilecek şekilde tasarım yapılmalıdır;

1. Sonuçlar ve parametrelerin etkisi hesaplanabiliyor mu?
2. Sonucu kaç tane parametre etkiliyor?
3. Es zamanlı olarak kaç tane parametre hesaba katılmalı?
4. Kaç tane deney tekrarının yapılması gerekiyor?
5. Ne tur bir veri analizi (regresyon, ANOVA) kullanılmalı?
6. Etkiler üzerindeki hangi seviye farklılıkları ne kadar önemlidir?

Veriler deneysel ya da gözlemsel çalışmaların merkezindedir. Deneysel çalışmaların en temel problemlerinden biri de çıkarımların formüle edilmesidir. Şekil 3.23'de görüldüğü gibi veriler deneysel çalışmaların ve gözlemlerin kesişim noktasında olmalıdır. Deneysel çalışmalarda değişkenlerin kaynağı her bir test için kontrol edilebilir yada sabitlenebilir. Ancak gözlemsel çalışmalarda değişkenler kontrol edilemezler sadece veri olarak kaydedilebilirler [68].



Şekil 3.23. Bilimsel çalışmalar istatistiksel girdi düzeyi.

İstatistiksel deney tasarımının amacı minimum zaman, kaynak ve harcama ile maksimum anlamlı verileri toplamaktır. Bundan dolayı deney tasarımı geleneksel yöntemlerden uzak ve araştırmalara yeni bir yaklaşım getirir. Geleneksel deney tasarım yöntemleri yüksek malzeme maliyeti, uzun zaman ve kaynak gerektiren

yöntemlerdir. Her bir parametrenin deney üzerindeki etkisini araştırmak için diğer bütün parametreler sabit tutularak her seferinde bir parametre denenir. Bu durumda parametrelerin aynı anda 4 ya da 5'den fazla seviyeleri olamaz. Örnek vermek gerekirse 5 parametrelili bir çalışmada her bir parametre 5 seviyeye sahip olursa toplam $5^5=3125$ farklı kombinasyon denenmesi gerekmektedir. Eğer deneysel hataları azaltmak için her bir deney en az 3 sefer tekrar edilmiş olsa toplam $3125 \times 3=9375$ deney yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak klasik ya da geleneksel yöntemlerle yapılan deney çalışmalarında es zamanlı analiz mümkün olamamaktadır. Bütün bu problemler statiksel deney tasarım yöntemleri ile giderilebilir, aynı zamanda 25 deney ve istenilen tekrar sayısı ile çok yakın sonuçlar elde edilebilir. Aşağıda değişik deney stratejileri anlatılmaktadır.

3.8.1. Deney tasarımları

3.8.1.1. Tek faktörlü deney

Her seferinde sadece bir faktör ele alınır ve seçilen faktörün ürün veya süreç performansına olan etkisi incelenir. Seçilen faktörün performansa etkisi yoksa diğer faktör seçilerek aynı işlem tekrarlanmaktadır. Şayet uygulamada yapılan deneylerde ürün veya süreç performansını etkileyen faktör sayısı birden fazla ise, seçilen faktör dışında kalan faktörlerin etkisinin olmadığı kabul edilmektedir. Bu şekilde yapılan deneylerde iki faktör arası etkileşimler gözlenememektedir. Her bir faktörün performans üzerine olan etkisi ayrı ayrı araştırıldığından deney sayısı artmakta ve dolayısıyla deney maliyetleri yükselmektedir.

3.8.2.2. Çok faktörlü deney

Bu şekilde yapılan deneylerde iki farklı yaklaşım söz konusudur.

1.Yaklaşım: Her seferinde incelediğimiz faktör dışındaki faktörler sabit tutularak, sadece bir faktörün seviyelerinde değiştirme yapılmaktadır. Bu yaklaşımda da iki faktör arası etkileşimleri görmek mümkün değildir.

2. Yaklaşım: Bütün faktörlerin seviyeleri aynı anda değiştirilmektedir. Bu yaklaşımda her bir faktörün ürün/süreç performansına ayrı ayrı etkisinin olup

olmadığını görmek mümkün değildir. Sadece bütün faktörlerin düşük ve yüksek düzeyleri karşılaştırıldığından dolayı faktörlerin birleştirilmiş etkisinden söz edilmektedir.

3.8.2.3. Tam faktöriyel deney

Tam Faktöriyel Deney (T.F.D.) 'de her bir faktörün her seviyesi için eşit sayıda gözlem yapılarak, faktörlerin diğer faktörlerden bağımsızca ürün performansı üzerindeki etkileri belirlenmektedir. Bu özelliğe ortogonallik denir. Bu deney stratejisi diğer açıklanan deney stratejilerini de kapsamakta ayrıca bu deney ile bir faktörün seviyesi sabit tutulup, diğer faktör seviyeleri değişken olduğunda değişkenliğin performansa olan etkisi gözlenebilmektedir. T.F.D., performansa etki eden faktörlerin sayısının en az bir en çok beş olduğu durumlarda kullanılmaktadır. T.F.D.' de faktörlerin ürün/süreç performansına ayrı ayrı ve birlikte olan etkilerini görmek için gerekli deney sayısı;

$$n = a^k \quad (3.44)$$

formülüyle hesaplanır. Burada,

$$a=2,3,5\dots$$

a= Faktörün düzey sayısı,

k= İlgilenilen faktör sayısıdır.

Ürün/ Süreç performansına etki eden faktörlerin seviyelerinin çok olması deneyi maliyetli ve karmaşık hale getirmektedir.

3.8.2.4. Kesirli faktöriyel deney

T.F.D. yapmak ekonomik, kolay ve uygulanabilir olmadığı durumlarda daha az deneyin yapıldığı bir deney stratejisi olan Kesirli (Kısmi) Faktöriyel Deney (K.F.D.) kullanılmaktadır. K.F.D.'de gerekli deney sayısı,

$$a^{k-p}, a=2,3,5\dots\dots \quad (3.45)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

a: Faktör düzey sayısı,

k: İlgilenilen faktör sayısını,

p: Bağımsız jeneratör simgelemektedir.

p=1 için 1/2 KFD,

p=2 için 1/4 KFD,

p=3 için 1/8 KFD,

olarak isimlendirilirler [69]. Çalışmada uygulanan Taguchi yöntemi de kesirli faktöriyel deney tasarımının bir türüdür.

3.8.3. Taguchi yöntemi

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi yöntemi (T.M.) uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da T.M. başarı ile uygulanabilmektedir.

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm getirmiştir (Ross, 1996). Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma gözlenmiştir.

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarıma dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, robust tasarım ve ortogonal diziler gibi kavramları eklemektedir. Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/Gürültü oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı

seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [69].

3.8.4. Taguchi deney tasarımı aşamaları

Taguchi'nin deneysel tasarım adımları;

1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi
3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi
4. Faktör veya etkileşimlerin kolonlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması

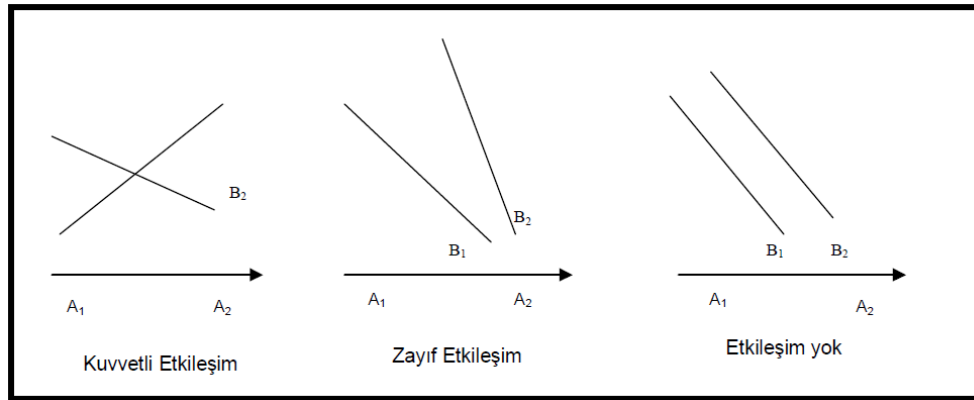
Bu adımların izlenmesi sonucunda proses veya ürün için en iyi performansın elde edileceği deney parametreleri belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve en iyi deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir [69, 70, 71].

3.8.4.1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi

Var olan problemin çözümüne ilişkin amaç ortaya konduktan sonra, klasik tasarımda olduğu gibi, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, değerlendirmeye alınacak faktör veya etkileşimler seçilmektedir. Taguchi; faktörleri kontrol edilebilen ve gürültü faktörü olarak da ifade edilen kontrol edilemeyen faktörler olarak ikiye ayırmaktadır. Faktör düzeyleri belirlenmeden önce faktörler belirlenmekte ve kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olarak ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım belirlenmekte ve denemeler yapılmaktadır.

3.8.4.2. Faktör düzeylerinin seçilmesi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksiğidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir. Bu etkileşim etkilerine interaction effects denmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Aynı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir. İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuna bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli ve etkileşimli olmayan faktörlerin grafikleri Şekil 3.24’de gösterilmektedir [69].



Şekil 3.24. Etkileşim grafik gösterimi.

Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, etkileşimlerde faktör gibi kabul edilerek diziyeye atanmaktadır.

3.8.4.3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Ancak Taguchi, kullanımları basitleştirmiştir. Ortogonal dizinin ilk kullanılması, 1930'lu yıllarda, İngiltere'de Fisher tarafından olmuştur. Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır [69].

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi olmak üzere,

$$L_d(a)^k \text{ ya da } L_d \quad (3.46)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L16 ve L32 ve 3 seviyeliler için L9, L18 ve L27 dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır. Ortogonal dizi, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. L9 tasarım matrisi örnek olarak tablo 3.10' de verilmiştir.

Tablo 3.10. L9 tasarım matrisi [72].

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Ortogonal Dizinler tam faktöriyel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır. Tablo 3.10 için, tam faktöriyel tasarıma göre $3^4=81$ adet deneme yapılması gerekirken, ortogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir. Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsu o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine 1 eklendiğinde deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur.

3.8.4.4. Faktör ve/veya etkileşimlerin kolonlara atanması

Faktör ve/veya etkileşimlerin seçilen ortogonal düzene göre kolonlara atanmasında, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel Tablolar kullanılmaktadır. Doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini kullanılacağını göstermektedir. Üçgensel Tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri içermektedir.

3.8.4.5. Testlerin yapılması

İlgilenilen problemin çözümü için birden fazla performans karakteristiğinin özelliklerine uygun olarak performans istatistiği seçilmektedir. Verilerin analizi seçilen performans istatistiğine göre yapılmaktadır. Bu nedenle performans istatistiğinin doğru belirlenmesi çok önemli bir husustur. Taguchi tasarımlarında en çok kullanılan performans istatistiği S/N oranıdır ve bu oran sağlam tasarımın performansını ölçmek için kullanılır. Testler, problemin belirlediği ortogonal dizinin satırlarının öngördüğü denemelerden oluşur. Deney boyunca hatayı minimize edebilmek, gürültü faktörlerinin etkisini görebilmek, gözlem değerleri sayısının çokluğuna bağlıdır. Seçilen her bir deney tasarımı ne kadar çok sayıda test edilirse deneyin güvenilirliği o ölçüde artış göstermektedir.

3.8.4.6. Sonuçların analiz edilmesi

Ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyleri belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Elde edilen gözlem değerlerinin analizinde, varyans analizi, faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu, hesap Tablosu metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Varyans Analizi

Test yapmanın amacı ürün veya proses değişimini kontrol etmek ve performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar vermektir. Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermektedir. Varyans analizine F testi de denmektedir. Varyans analizine ait formüller;

$$GKT= KTA+KTB+KTAB+KTe : \text{Genel Kareler Toplamı} \quad (3.47)$$

$$GKT = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{Tüm verilerin kareleri toplamını} \quad (3.48)$$

$$KT_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{ A faktörünün kareleri toplamını} \quad (3.49)$$

$$KT_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \left(\frac{(AXB)_i^2}{n_{AXBi}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} - KT_A - KT_B \quad (3.50)$$

$$KTe = KT_T - KT_A - KT_B - KT_{AxB} \quad (3.51)$$

Burada;

GKT = Genel Kareler Toplamı

KT_A = A faktörüne ait kareler toplamı

KT_{AxB} = A ve B faktörlerinin etkileşim faktörüne ait kareler toplamı

KTe = Hata kareler toplamı

N = Toplam gözlem sayısı

$Y_i = i$. Gözlem değeri

T = Tüm gözlemlerin toplamı

k_A = A faktörünün kademe sayısı

A_i = A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı

n_{Ai} = A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı

c = Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı

$(AXB)_i$ = A ve B faktörlerinin i. Koşulu altındaki verilerin toplamı.

Varyans analizini yapabilmek için serbestlik derecesine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$Sd_T = Sd_A + Sd_B + Sd_{AxB} + Sd_e \quad (3.52)$$

Burada;

Sd_T = Toplam serbestlik derecesi

Sd_A = A faktörünün serbestlik derecesi

Sd_{AxB} = AxB faktörünün serbestlik derecesi

Sd_e = Hata serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksisidir.

$$Sd_T = N - 1 \quad (3.53)$$

Bir faktör yada sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$Sd_A = k_A - 1 \quad (3.54)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşim faktörlerinin serbestlik dereceleri çarpımıdır.

$$Sd_{A \times B} = (Sd_A) \cdot (Sd_B) \quad (3.55)$$

Hata serbestlik derecesi, toplam serbestlik derecesinden, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin çıkarılması ile bulunmaktadır.

$$Sd_e = Sd_T - Sd_A - Sd_B - Sd_{A \times B} \quad (3.56)$$

Denemeler tekrar edildiğinde serbestlik derecesi;

$$Sd_T = (\text{Deneme sayısı}) \cdot (\text{Tekrar sayısı}) - 1 \quad (3.57)$$

Varyans değerinin hesaplanması, varyans analizi tablolarıyla yapılmaktadır.

$$V_A = \frac{KT_A}{Sd_A} : \quad \text{A faktörü için örnek varyans formülü} \quad (3.58)$$

Hata varyansı da hata kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür. Hatayı kontrol edilemeyen faktörler ve ölçüm yanlışlıkları oluşturmaktadır.

$$V_e = \frac{KT_e}{Sd_e} : \quad (3.59)$$

Varyans analizi Tablosu oluşturulduktan sonra, F testi hangi faktörlerin önemli olduğunu gösterir. F testi uygulanırken hesaplanan F değerleriyle, istenen güven düzeyindeki F Tablo değerleri karşılaştırılır. F değeri, Tablodaki değerden büyükse

1- α güvenle kabul edilir. Varyans analizi (ANOVA) Tablosundan elde edilen F değeri, faktör ya da etkileşim varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad \text{A faktörüne ait F değeri} \quad (3.60)$$

$$F_{\text{Tablo}} = f_{\alpha, v_1, v_2}$$

α = anlamlılık düzeyi

v_1 = Faktörün serbestlik derecesi

v_e = Hata serbestlik derecesi

ANOVA tamamlandıktan sonra önemli faktörler ve etkileşimler belirlenir, sonuçlar yorumlanır. Ortalamanın tahmin edilmesi, tahmin edilen ortalamanın etrafında güven aralığının belirlenmesi kullanılan metotlardır. Ortalamanın Tahmin edilmesi, kombinasyondaki faktör- seviyelerinin ortalama değerleri,

$$\mu_{A_1 B_2} = A_1 + B_2 - (n-1)\bar{T} \quad (3.61)$$

n = Belirlenen faktör-seviye kombinasyondaki faktör sayısı

\bar{T} = Seçilen faktör-seviye kombinasyonundaki faktörlerin tüm seviyelerinin ortalamasıdır.

Tahmin edilen ortalama etrafında güven aralığı,

$$G.A. = \sqrt{F_{\alpha, sd_T, sd_e} \cdot V_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (3.62)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1+c} \quad (3.63)$$

Burada;

c = μ bulunurken kullanılan tüm faktörlerin toplam serbestlik derecesi

r = Yapılan doğrulama deneyi sayısı

sd_f = Ortalama ait serbestlik derecesi olup daima 1dir.

Sd_e = Hata serbestlik derecesi

V_e = Hata varyansı

N = Deney sayısı

$G.A.$ = Güven aralığı

$$\mu - G.A. \leq \text{performans karakteristiği değeri} \leq \mu + G.A. \quad (3.64)$$

3.8.4.7. Doğrulama deneylerinin dapılması

Deney analiz sonucunda seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deney doğrulama deneyidir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur.

3.9. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemindekine benzer şekilde çalışan bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir [73]. YSA, sınıflandırma, örüntü tanıma, tahmin, optimizasyon vb. birçok alanda başarı ile kullanılmaktadır. YSA, deneme yolu ile öğrenme ve genelleştirme yapabilmektedir. Haykin YSA'yı şöyle tanımlamaktadır:

Yapay sinir ağı; deneyime dayalı bilgiyi depolamaya ve bu bilgiyi kullanıma sunmaya yönelik doğal bir eğilim içinde olan yoğun paralel dağıtılmış bir işlemcidir. YSA iki açıdan insan beynine benzemektedir: Bilgi ağ tarafından bir öğrenme süreci vasıtasıyla elde edilmektedir ve sinir hücreleri arasında saptık ağırlık olarak adlandırılan bağlar bilgiyi depolamakta kullanılmaktadır.

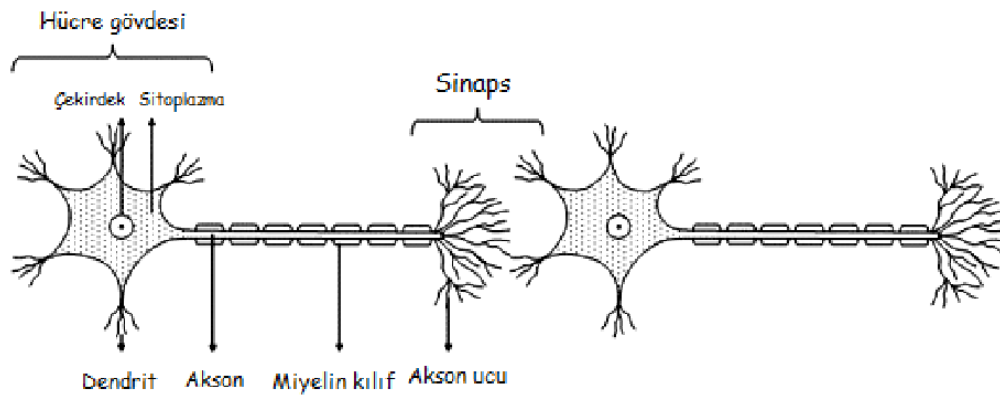
YSA, birbiri ile bağlantılı yapay sinir hücrelerinden oluşan bir sistemdir. Biyolojik sinir hücresinin işleyişinin matematiksel olarak modellenmesi amacı ile geliştirilen yapay sinir hücreleri (YSH) aşağıdaki varsayımları temel almaktadır:

- Bilgi işleme süreci nöron olarak adlandırılan basit elemanlardan meydana gelir.
- Sinyaller nöronlar arasındaki bağlantılar ile iletilir.
- Nöronlar arasındaki her bir bağlantı bir ağırlık değerine sahiptir.
- Her bir nöronun net çıktısı, net girdisinin bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi ile elde edilir [73].

Yapay sinir ağlarının başlıca uygulama alanları sınıflandırma, tahmin ve modelleme olarak ele alınabilir.

3.9.1. Sinir sistemi

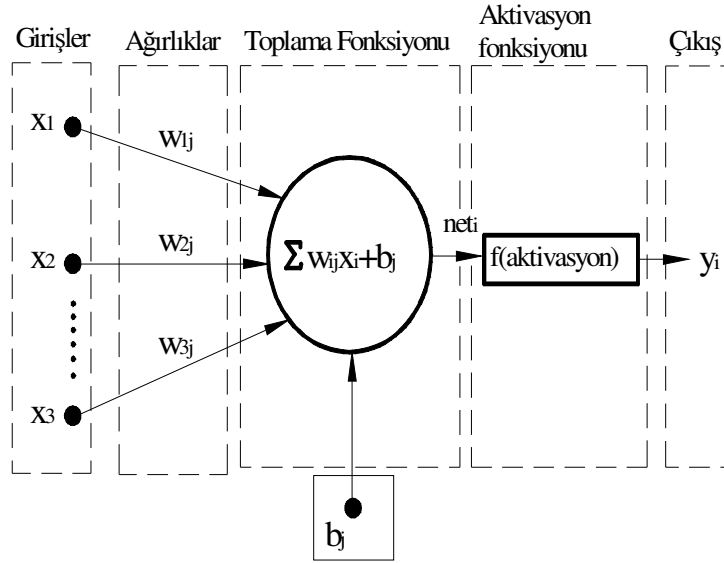
İnsan vücudunda sinir sisteminin ana merkezi olarak beyin kabul edilmektedir. Çok basit anlatımla beş duyu organı tarafından beyine iletilen sinyallere göre beyin sinir sistemine değişik emirler gönderir ve tepki verilmiş olur. Sinir sisteminin merkezi beyin beynin temel elemanları ise sinir hücreleri yani nöronlardır. Şekil 3.25’ de görüldüğü gibi nöronlar, hücre gövdesi, aksonlar, dendritler ve sinapslar olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır. Dendritler, bağlı buldukları nöron aksonlarından bilgiyi alan yapılardır. Aksonlar, çekirdekten çıkan sinyalleri çıkış verisine çevirir ve yine sinapslar sayesinde diğer nöronlara geçmesini sağlar. Sinapslar, bir nöronun aksonu ile diğer nöronun dendritinin birleşim noktasıdır.



Şekil 3.25. Biyolojik nöron yapısı [74].

Yapay sinir ağları da benzer şekilde çalışmaktadır. Girdiler ağa dışarıdan beslenir. Bu girdiler ağırlıklarla çarpılarak hepsinin toplandığı bir işlemde geçirilirler ve

probleme uygun bir transfer fonksiyonunda işlendikten sonra yine dış çevreye çıktı olarak yayılırlar. Yapay sinir ağlarının şematik gösterimi Şekil 3.26'de sunulmuştur.



Şekil 3.26. Yapay sinir ağı genel yapısı.

İki şekil karşılaştırıldığında nöronlar ile işlemci eleman, dendritler ile toplama fonksiyonu, hücre gövdesi ile transfer fonksiyonu, aksonlar ile nöron çıkışı, sinapslarla ağırlıklar eşleştirilebilir.

Tablo 3.11. Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir ağı benzerlikleri [74].

Biyolojik Sinir Hücresi	Yapay Sinir Ağı
Nöron	Veri işleme elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Yapay sinir ağında nöronlar, giriş değerleri (X_n), ağırlıklar (W_n), toplam fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu ($F(\Sigma)$) ve çıktı (y) olmak üzere beş ana kısımdan oluşur. Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan türetilmiştir. Bu yapıdaki farklılıklar yapay sinir ağlarının sınıflandırılmalarını sağlar. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen algoritması içerisinde ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır.

3.9.2. Girişler

Girişler (x_1, x_2, \dots, x_n) çevreden aldığı bilgiyi sinire getirir. Girişler, kendinden önceki sinirlerden veya dış dünyadan sinire gelebilir. Bir sinir genellikle gelişi güzel bir çok girdileri alır [75].

3.9.3. Ağırlıklar

Ağırlıklar (w_1, w_2, \dots, w_n), yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her giriş kendine ait bir katsayıya sahiptir. Bir ağırlığın değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması, küçük olması zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir (74, 75).

3.9.4. Toplama işlemi

Toplama işlemi V_i , sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamlarına eşik θ_j değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlevi bu kadar basit işlem yerine, en az(min), en çok (max), çoğunluk veya birkaç normalleştirme algoritması gibi çok daha karmaşık olabilir [74, 75].

3.9.5. Etkinlik işlevi

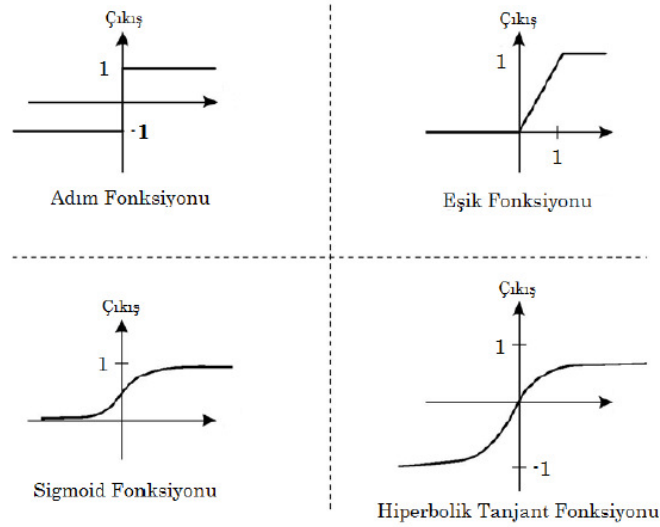
Bir nöronun eşik değeri ile nörona gelen ağırlıklandırılmış girişlerin toplamı arasındaki fark bu nörona ait net giriş değeri, başka bir ifade ile nöronun aktiflik seviyesi olarak tanımlanır. YSA yapısı içerisinde kullanılacak transfer fonksiyonlarının sürekli ve türevi alınabilir fonksiyonlar olması gerekmektedir. Ağ yapısına sunacağımız problemin özelliklerine göre transfer fonksiyonu lineer veya non-lineer olarak seçilebilir. YSA'larda en çok tercih edilen transfer fonksiyonları Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Adım fonksiyonu, giriş değerlerine karşılık elde edilecek çıkış değerlerinin iki ayrı grupta sınıflandırılacağı problemler için tercih edilen bir aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu herhangi bir nöronun net giriş değeri sıfırdan küçükse nöronun çıkış değerini -1'e, sıfırdan büyük ya da sıfıra eşit

ise 1 değerine atamaktadır. Eşik fonksiyonunu kullanan nöron, kendi durumunu giriş değeri eşiği aştığında 0'dan 1'e geçirir.

Sigmoid fonksiyonu genellikle geri yayılım öğrenme kuralının kullanıldığı çok katmanlı ağ yapılarında tercih edilen bir transfer fonksiyonudur. Transfer fonksiyonu (3.56) eşitliğini kullanarak $+\infty$ ile $-\infty$ aralığında herhangi bir değere sahip olan nöron net giriş değerlerini (0) ile (1) aralığında sınırlandırılmış herhangi bir çıkış değerine atamaktadır.

$$y_k = \frac{1}{1 + e^{-v_k}} \quad (3.65)$$

Burada v_k , nöron net giriş değeri, y_k , nöron çıkış sinyalidir.



Şekil 3.27. Yapay sinir ağlarında en çok kullanılan transfer fonksiyonları [74].

Nöron çıkış değerlerinin -1 ile +1 aralığında olduğu problemlerde (3.57) eşitliği ile ifade edilen ve orijine göre ters simetrik olan hiperbolik tanjant (tanh) fonksiyonu kullanılabilir. Hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanıldığı problemlerde nöron net giriş değeri ($-\infty$) ile ($+\infty$) aralığında değerler alabilmektedir.

$$y_k = \frac{1 - e^{-2v_k}}{1 + e^{2v_k}} \quad (3.66)$$

Burada net_i değeri ağırlıklandırılmış giriş değerlerinin doğrusal toplamıdır. Aktivasyon (transfer) fonksiyonu, toplama işlemi yapıldıktan sonra elde edilen çıktıyı işlemde geçiren, çıktı verisini veren, çoğu zaman lineer olmayan bir fonksiyondur ve herhangi bir nöronun net giriş değerine karşılık olan çıkış değerinin belli bir değer aralığında kalmasını sağlar. Aktivasyon fonksiyonu, toplam fonksiyonun çıktısında hesaplanan 0 ile 1 veya -1 ile 1 arasında işlem elemanı çıktı değerine dönüştürerek nöronun giriş ve çıkış değerleri arasında ilişki kurar. Çıktı, aktivasyon fonksiyonunun sonucudur. Problemin tipine, ağın yapısına ve hücrelerin özelliklerine göre değişik aktivasyon fonksiyonları kullanılır [74].

3.9.6. Ölçeklendirme ve sınırlama

Düğümde, etkinlik işlevinin sonuçları ölçek veya sınır işlemlerinden geçebilir. Bu ölçeklendirme basitçe bir ölçek etmeni ile etkinlik değerinin çarpımının sonucudur. Sınırlandırma ise, ölçeklenmiş sonuçların en az ve en çok sınırlarını aşmamasını sağlamaktır [75].

3.9.7. Çıkış işlevi

Çıkış $y_i = f(s)$, etkinlik işlevi sonucunun dış dünyaya veya diğer sınırlara gönderildiği yerdir. Bir sinirin tek çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı, kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sınırlara giriş olabilir.

Her düğümde bir çıkış işaretine izin verilir. Bu işaret diğer yüzlerce sinir hücresinin çıkışı olabilir. Bu durum biyolojik sinirde olduğu gibidir. Düğüm çıkışı etkinlik işlevinin sonucuna eşdeğerdir. Fakat bazı ağ yapıları, komşu düğümler arasında yarışma oluşturmak için etkinlik sonuçlarını düzenleyebilir. Böylece yarışmacı girişler hangi düğümün öğrenme ya da uyma işlemine katılacağına karar verilmesine yardımcı olur (75).

3.9.8. Öğrenme

Öğrenme kuralı Hebbşan öğrenme kuralı denilen basit bir modele dayanır. Hebbian öğrenme kuralı temek olarak 'Eğer iki düğüm aynı zamanda etkin ise aralarındaki bağ gücü artar' kuramına dayanmaktadır. Öğrenmenin amacı, her bir düğümün girişlerindeki değişken bağlantı aralıkları derlemektir. İstenilen bazı sonuçları elde etmek için, giriş bağlantılarının ağırlıklarını değiştirme işlemi uyma işlevi olarak adlandırabildiği gibi öğrenme kipi olarak ta adlandırılabilir.

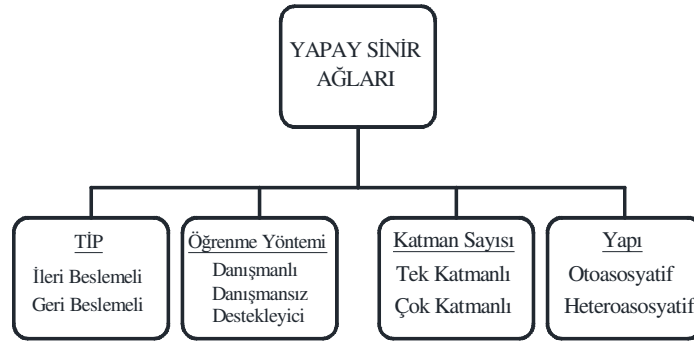
Danışmanlı ve danışmansız olmak üzere iki tip öğrenme türü vardır. Danışmanlı öğrenmede bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmen, bir veri alıştırma kümesi veya ağ sonuçlarının performansını derecelendiren bir gözlemci olabilir. Danışmanlı öğrenmede eğitilmiş sınırlara öğretme işaretini göndererek sınırlar eğitilir. Bu işaretin bağlantısındaki ağırlıkları ayarlamakta kullanılır [75].

3.9.9. YSA'nın özellikleri

YSA'nın; doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, paralel dağılmış yapısı, öğrenme ve genelleme yapma yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilirliği, hata toleransına sahip olması en önemli özelliklerindedir. YSA'nın bu özellikleri işletme, finans, mühendislik, tup vb. birçok farklı alanda tercih edilmelerini sağlamıştır. Aşağıda kısaca bu özelliklerden bahsedilmiştir.

3.9.10. YSA türleri

YSA'nın birçok türü vardır. YSA'lar tiplerine, katman sayılarına, yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılabilirler (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. YSA'nın sınıflandırılması [75].

3.9.11. Yapay sinir ağlarının yararları ve sınırları

YSA'nın yararları aşağıdaki gibi sınırlanabilir.

- YSA verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri ortaya çıkarabilir. Bu özellikleri uygulama açısından son derece önemlidir. Ayrıca veri toplama için bir ön sorgulama ya da açıklama gerekmemektedir.
- Ağlar genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle, diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilir. Genelleştirme yapabilme özelliği çıkış değerine olumlu katkısından dolayı iyi bir özelliktir.
- YSA lineer değildir. Bu özelliği nedeniyle daha karmaşık problemleri doğrusal tekniklerden daha doğru çözebilir. Doğrusal olmayan davranışlar hissedilir, algılanır, bilinebilir ancak bu davranışları ya da problemleri matematiksel olarak çözmek zordur.
- YSA son derece paralelliğe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilir. Paralel donanımlar yapıları gereği YSA'ya uygun olduğundan diğer benzerlerinden daha elverişlidir.

YSA'ların dezavantajları da vardır. YSA'lar da ki en büyük problem karmaşık sorunları çözmek için ya çok büyük, ya da çok katmanlı ve çok nöron içeren sinir ağlarına ihtiyaç olmasıdır. Ne yazık ki YSA'lar büyüdükçe çalışmalarını üstel bir şekilde yavaşlamaktadır. Ancak bunu paralel işleme teknolojisi ile kısmen de olsa çözmek mümkündür [74].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tez çalışması dört ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar, “Taguchi deneysel tasarım yöntemiyle deney setinin oluşturulması ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi”, “Derin çekme işleminin gerçekleştirilmesi ve sonuçların ölçülmesi”, ‘Sonlu elemanlar modelinin kurulması’ ve “YSA’nın eğitimi ve tahmin” dir.

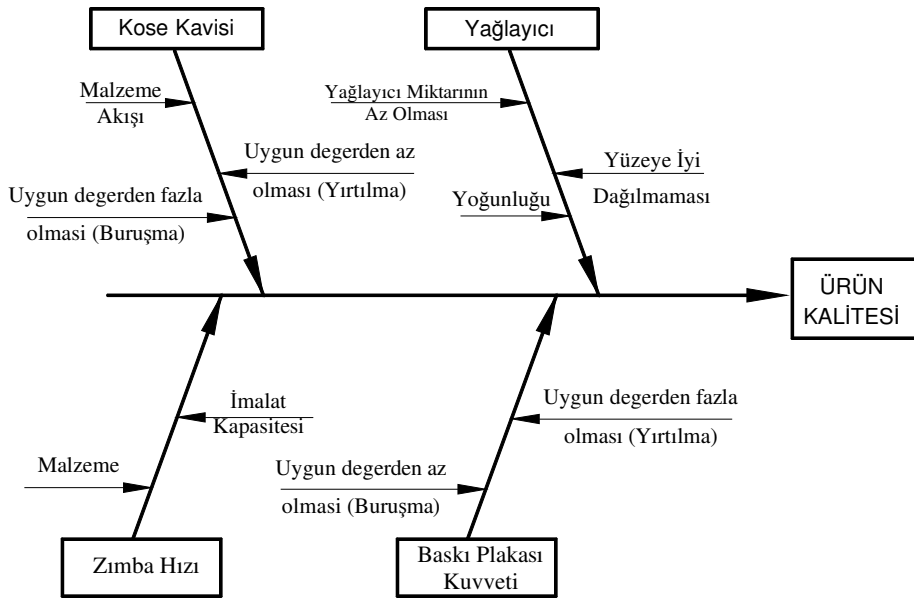
4.1. Deneysel Çalışmaların Taguchi Yöntemi ile Tasarımı

Derin çekme işleminde ürün kalitesini etkileyen işlem parametreleri belirlemek için beyin fırtınası yapılmıştır. Ve işlem parametrelerinden zımba hızı, matris kavis, yağlayıcı ve baskı plakası kuvvetinin ürün kalitesi üzerindeki etkileri incelenmek için seçilmiştir. Bu dört işlem parametresi ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Ve bunların uygun değerlerde seçilememesi derin çekme işleminde en çok karşılaşılan kusurlardan olan buruşma ve yırtılmayla sonuçlanmaktadır.

İşlem parametrelerinin ürün kalitesi üzerindeki etkisini daha iyi inceleyebilmek için balık kılçığı yöntemi kullanılmıştır. Bu metot, belirli bir problemin olası nedenlerini belirlemek ve ortaya çıkarmak için kullanılır. Balık kılçığı diyagramı ürün veya prosesin kalitesini temsil eden değeri ve o değere etki eden tüm faktörleri ortaya koyar.

Şekil 4.1’de balık kılçığı üzerinde derin çekmede ürün kalitesini etkileyen dört ana işlem parametresi ve her işlem parametresinin ürün kalitesini neden etkilediği görülmektedir. Köşe kavisinin uygun değerde olmaması malzeme akışını etkilemektedir. Köşe kavis küçük olursa malzeme akışı yavaşlayacak ve şekil değiştirme hızına uyum sağlayamayarak yırtılma gerçekleşecektir. Köşe kavisinin büyük olması da baskı plakasının şekillendirilen parçaya olan etkisini azaltarak

buruşmaya sebep olacaktır. Zımba hızı malzeme özelliklerine ve üretilecek parçaların sayısına ve siparişin teslim süresine göre belirlenmektedir. Zımba hızının düşük olması ürün çevrim süresini uzatmaktadır, yüksek olması durumunda ise derin çekme işlemi başarılı bir şekilde tamamlanamayarak yırtılma ile sonuçlanabilir. Baskı plakası kuvvetinin değerinin az olması şekillendirme sırasında oluşan teğetsel kuvvetlerin baskı kuvvetini yenerek buruşma oluşmasına, baskı kuvvetinin fazla olması ise malzeme akışını engelleyeceği için yırtılma oluşmasına sebep olmaktadır. Yağlayıcıda ise, yağlayıcı miktarının az kullanılması sonucu kuru sürtünme oluşarak sürtünme katsayısı artmakta ve malzeme akışını zorlaştırmaktadır, fazla yağlayıcı kullanılması durumunda ise sadece yağlayıcı israfına yol açmakta ve işlemden sonra yağlayıcının temizlenmesini zorlaştırmaktadır. İşlem parametrelerinden zımba hızı, baskı plakası kuvveti, ampirik formüllerle hesaplanmakta ve uygun değerler deneme – yanılma yöntemiyle belirlenmektedir. Köşe kavisi ise yine ampirik formüllere hesaplanmaktadır, fakat kalıp imalatından sonra değiştirilemeyeceği için diğer parametreler üzerinde değişiklik yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Balık Kılçığı Yöntemiyle Derin Çekmeyi Etkileyen İşlem Parametreleri.

4.1.1. Deneyleerde kullanılacak parça tasarımı

Yapılan çalışmada, en uygun işlem değişkenlerinin seçimine odaklanıldığından ürünün uygulamada sık kullanılan, basit silindirik Şekilli simetrik bir parça olması tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçların belirlenen işlem değişkenleri dışındaki etkilerden arındırılmasında seçilen Őeklin simetrik ve basit olması da oldukça etkilidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışma daha karmaşık Şekilli parçalar içinde tekrarlanabilir. Örneğin parça basit ve simetrik olduğundan baskı kuvvetinin dağılımı eşit olacaktır ve baskı kuvveti değişimlerinde doğrudan ürün kalitesi üzerindeki etkisi görülebilecektir. Diğer taraftan çekme derinliği tek kademedede çekme işleminin yapılabileceği boyutta seçilmiştir.

4.1.2. Deney parametre değerlerinin tespiti

4.1.2.1. Kalıp kavisi

Kalıp kavisinin kk olması, aşırı bükme etkisinden dolayı çekme kuvvetinin artmasına, sac malzemenin incelmesine ve hatta yırtılmasına neden olmaktadır. Kavisin büyük olması da çekme kuvveti düşecektir. İdeal değerin hesaplanması için kullanılan formüller geniş bir aralığı kapsamaktadır. Bu çalışmada kalıp kavisinin derin çekmeye olan etkilerini incelemek için c farklı değer seçilmiştir. Ve bu değerler alt sınır, st sınır ve ortalama olmak üzere 5 mm, 10 mm ve 15 mm olarak belirlenmiştir.

4.1.2.2. Zimba hızı

Derin ekmede Şekil değiştirme hızı çok önemlidir [58]. Derin ekmede ürün çevrim zamanının azaltılması için uygulanabilir en yüksek zimba hızına ihtiyaç vardır. Uygulanabilir en yüksek zimba hızı da malzemede cidar kalınlığının fazla değişmediği ve yırtılmanın gerçekleşmediği hız olarak tanımlanabilir. Fakat bu hız malzemedenden malzemeye değişmektedir. Ve deneme yanılma yoluyla ve tecrübeye dayalı olarak belirlenmektedir. Bu çalışmanın deneysel kısmında mevcut çift etkili

hidrolik presin çekme hızının %30, %50 ve %90 oranında olması yani 17 mm/s, 33 mm/s ve 50 mm/s hızları deney değişkeni olarak belirlenmiştir.

4.1.2.3. Baskı plakası kuvveti

Araştırmacıların en çok üzerinde durduğu işlem değişkenlerinin biri baskı plakası kuvvetidir. Baskı plakasının iki görevi bulunmaktadır. Birincisi derin çekme sırasında malzemenin kalıp içine akmasıyla teğetsel gerilmelerden dolayı oluşan buruşmayı önlemek. Diğeri ise malzeme akışını kontrol etmektir. Baskı plakası kuvveti uygulanırken bu noktalar göz önünde tutulmalı ve uygulanan kuvvet derin çekme sırasında oluşan teğetsel kuvvetlerden fazla olmanın yanında malzeme akışına da engel olmamalıdır. Bu noktalar düşünülerek baskı plakası kuvveti 10 kN, 100 kN ve 200 kN olarak belirlenmiştir.

4.1.2.4. Yağlayıcılar

Yağlayıcıların kalıp – iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltarak ürün kalitesini arttırdığı, aşınmaları ve hurda oranını azalttığı bilinmektedir. Bu çalışmada yağlayıcıların etkisini görebilmek için iki farklı durum incelenmiştir. Birincisi baskı plakası / sac malzeme ve kalıp / sac malzeme arasında kuru sürtünme şartlarının oluşturulabilmesi için yağlayıcı kullanılmayarak elde edilmiştir. İkincisi ise sınır sürtünme şartının oluşturulabilmesi için iki farklı yağlayıcı kullanılmıştır. Bu yağlayıcıların seçimi ve temini için Ankara Organize Sanayi bölgesinden Lab-Test Ekipmanları San. Ve Tic. Ltd. ve Bursa Organize Sanayi Bölgesinden Elringklinger TR Otomotiv San. Ve Tic. Aş. Firmalarıyla görüşülmüştür. Ve derin çekme işleminde kullandıkları yağlayıcılar temin edilmiştir. Bu firmalardan temin edilen yağlayıcıların kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla tablo 4.1 ve tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Mobil Dte 24 (Lub1) Yüksek performanslı hidrolik yağın kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Özellik	Birim	Veri	Test Metodu
Viskozite 40 °C	mm ² /s	31.5	ASTM D 445
Viskozite 100 °C	mm ² /s	5.29	ASTM D 445
Yoğunluk 15,6 °C	Kg/m ³	871	ASTM D 1298
Fiziksel Görünüm		Sıvı	
Renk		Amber	

Tablo 4.2. RenoformUbo 377/13 (Lub2) yağlayıcının kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Özellik	Birim	Veri	Test Metodu
Kinematik Viskozite 20 °C	mm ² /s	2,4	DIN 515662
Yoğunluk 15 °C	Kg/m ³	780	DIN 51557
Fiziksel Görünüm		Sıvı	
Renk		Açık Sarı	
Solvent İçeriği		%86	
Ph		Nötr	

4.1.3. Deneysel tasarım

Deney planlarının hazırlanmasında üçer seviyeli dört faktör için Taguchi yöntemi kullanıldı. Tablo 4.3’de faktörler ve seviyeleri görülmektedir.

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan faktörlerin seviyeleri.

Faktör	Seviye			Birim
	I	II	III	
A:Kalıp Kavisi	5	10	15	Mm
B:Yağlayıcı	Lub1	Lub2	Dry	None
C:Zimba Hızı	17	33	50	mm/s
D:Baskı Plakası Kuvveti	10	100	200	kN

Tablo 4.4. Toplam serbestlik derecesi.

Simge	Faktör	Serbestlik Derecesi
A	Kalıp Kavisi	3-1=2
B	Yağlayıcı	3-1=2
C	Zimba Hızı	3-1=2
D	Baskı Plakası Kuvveti	3-1=2
AxB	Kalıp Kavisi x Yağlayıcı	2*2=4
A x C	Kalıp Kavisi x Zimba Hızı	2*2=4
B x C	Yağlayıcı x Zimba Hızı	2*2=4
	Toplam Serbestlik Derecesi	2+2+2+2+4+4+4=20

Probleme uygun ortogonal dizinler, serbestlik derecelerine göre belirlenir. Her faktörün serbestlik derecesi faktör seviye sayısının bir eksiğidir. Ve faktörler arasındaki etkileşimde faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıyla hesaplanır. Bu durumda dört faktör ve üç etkileşim için serbestlik derecesi 20’dir (Tablo 4.4). Bir faktörün (örneğin köşe kavisi) ürün kalitesine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin

BPK) hangi değerde bulunduğuna bağlıysa iki faktörün etkileşimli olduğu anlamına gelir.

Tablo 4.5. L27 (3^{13}) ortogonal dizin.

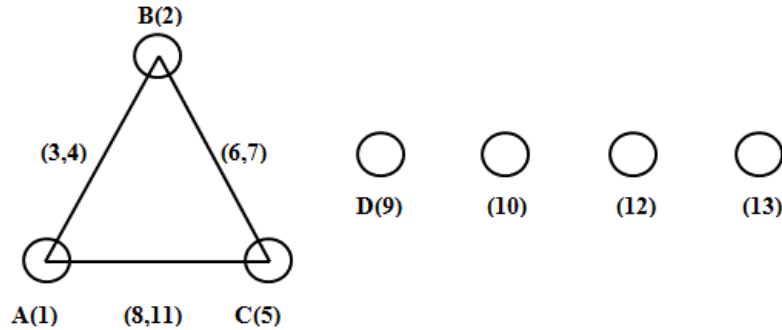
L ₂₇ (3^{13}) test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

4 değişkenli ve her değişken üç seviyeye sahip bir deney, tam faktöriyel yapılmak istenirse $3^4=81$ adet deney yapılması gerekir. Taguchi deneysel tasarım yöntemiyle daha az sayıda deney yapılarak aynı sonuçların elde edilebilmektedir. Bunun için ilk önce değişkenlerin seviyeleri dikkate alınmalıdır. Çünkü değişkenlerin seviyelerine göre kullanılacak deney setleri seçilir. Tüm değişkenleri üç seviyeli bir deneyde kullanılacak seriler L9, L18, L27 ve L36'dır. Bir sonraki adım toplam serbestlik derecesinin belirlenmesidir. Toplam serbestlik derecesi, maksimum seçilecek ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olacaktır. Toplam serbestlik derecesi

Bu durumda en küçük ortogonal dizin $L_{27}(3^{13})$ seçilmiştir. Tablo 4.5’de Taguchi L_{27} deney tasarımı gösterilmektedir. Her deney üç kere tekrarlanarak bunların ortalaması alınmıştır ve böylece istatistiksel olarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.

L_{27} dizisi 27 deneysel testleri ifade eder ve 10 sütundan oluşur. Her etkileşim dört serbestlik derecesine sahip olduğundan etkileşimler arasındaki ilişkinin incelenmesi için 6 sütuna gerek vardır. L_{27} ortogonal dizininde üç seviyeli Taguchi ortogonal dizini için bir üçgen tablo kullanılmıştır. Ve bu tabloya göre değişkenler sütunlara atanmıştır[76].

Sütunlara işlem değişkenlerinin atanması aşağıdaki gibi yapılmıştır. İlk sütuna kalıp kavis (A), ikinci sütuna yağlayıcı (B), beşinci sütuna zımba hızı (C), dokuzuncu sütuna BPK (D), üç ve dördüncü sütunlara kalıp kavis ve yağlayıcının arasındaki etkileşim $(A \times B)_1$ ve $(A \times B)_2$, sekizinci ve on birinci sütunlara kalıp kavis ve zımba hızı arasındaki etkileşim $(B \times C)_1$ ve $(B \times C)_2$ ve altıncı ve yedinci sütunlara yağlayıcı ve zımba hızı arasındaki etkileşim $(B \times C)_1$ ve $(B \times C)_2$ atanmıştır. Kalan sütunlar ise hata değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. L_{27} serisi için doğrusal grafik.

Derin çekme işleminde işlem değişkenlerinin ürün kalitesi üzerinde olan etkilerinin belirlenmesi için belirlenen işlem değişkenleri ve seviyelerine göre hazırlanan L_{27} ortogonal dizi tablo 4.6’de ve işlem değişkenlerinin L_{27} dizinine yerleştirilmiş şekilde tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.6. Deney Faktörleri ve Seviyelerinin L27Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi.

Deney no	Kalıp Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (m/min)	BHF (kN)
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	1
7	1	3	1	3
8	1	3	2	1
9	1	3	3	2
10	2	1	1	2
11	2	1	2	3
12	2	1	3	1
13	2	2	1	3
14	2	2	2	1
15	2	2	3	2
16	2	3	1	1
17	2	3	2	2
18	2	3	3	3
19	3	1	1	3
20	3	1	2	1
21	3	1	3	2
22	3	2	1	1
23	3	2	2	2
24	3	2	3	3
26	3	3	2	3
27	3	3	3	1
26	3	3	2	3

Tablo 4.7. Deney faktörlerinin L27 Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi.

Deney no	Kalıp Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BHF (kN)
1	5	Lub 1	17	10
2	5	Lub 1	33	100
3	5	Lub 1	50	200
4	5	Lub 2	17	100
5	5	Lub 2	33	200
6	5	Lub 2	50	10
7	5	Dry	17	200
8	5	Dry	33	10
9	5	Dry	50	100
10	10	Lub 1	17	100

Tablo 4.7. Deneysel faktörlerinin L27 Ortogonal Dizine Yerleştirilmesi (Devamı).

Deneysel no	Kalıp Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BHF (kN)
11	10	Lub 1	33	200
12	10	Lub 1	50	10
13	10	Lub 2	17	200
14	10	Lub 2	33	10
15	10	Lub 2	50	100
16	10	Dry	17	10
17	10	Dry	33	100
18	10	Dry	50	200
19	15	Lub 1	17	200
20	15	Lub 1	33	10
21	15	Lub 1	50	100
22	15	Lub 2	17	10
23	15	Lub 2	33	100
24	15	Lub 2	50	200
25	15	Dry	17	100
26	15	Dry	33	200
27	15	Dry	50	10

4.2. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde deneylerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan kalıp seti, çift etkili hidrolik pres tanıtılmıştır.

4.2.1. Pres tezgahı

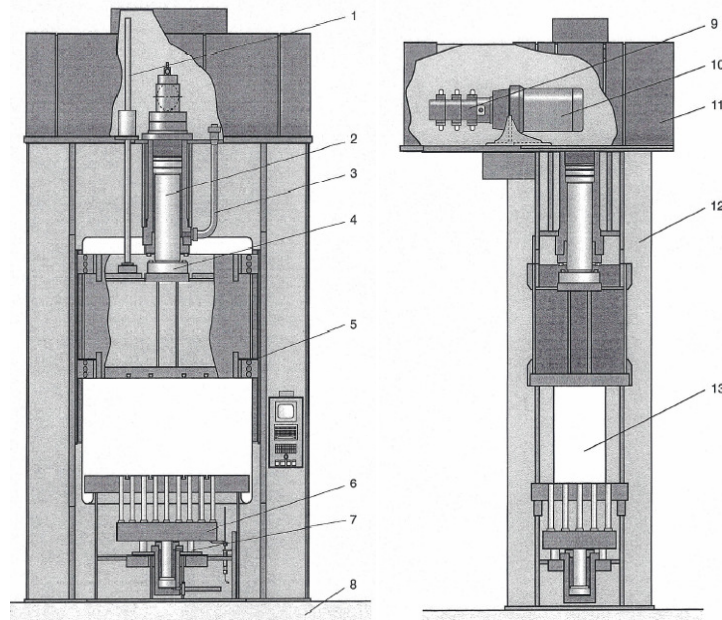
Deneysel çalışmalar, Atılım Üniversitesi Mükemmeliyet merkezinde bulunan 400 ton basma kapasiteli ShulerSLUZ 400 – 16 marka çift etkili hidrolik pres tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların yapıldığı pres tezgahı Şekil 4.3 'de, pres tezgahının parçaları Şekil 4.4'de ve bu tezgahın teknik özellikleri tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8. Çift etkili Shuler Marka Hidrolik Pres Teknik Özellikleri.

Presleme Kuvveti	400 ton
Yastıklama/çıkarıcı kuvveti	160 ton
Piston hareketi	600 mm
Presleme Hızı	55 mm/s
Boşta iniş hızı	300 mm/s
Tabla boyutu	1 x 1 metre
Max. Açıklık	1100 mm



Şekil 4.3. Deneysel Çalışmaları Yapıldığı Pres Tezgahı.

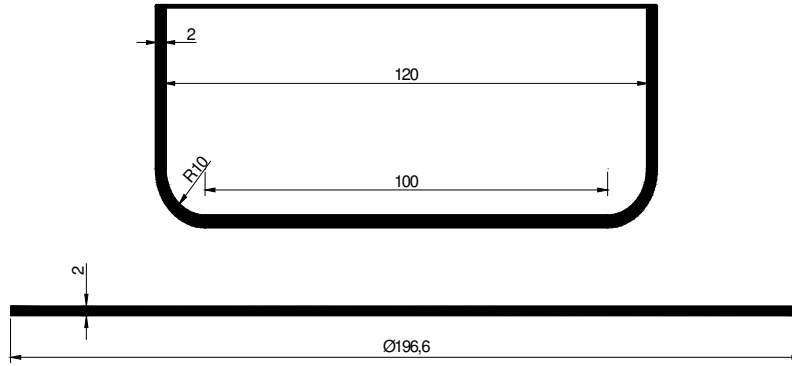


Şekil 4.4. SLUZ 400 – 16 Çift Tekli Hidrolik Presi Oluşturan Kısımlar. (1-Strok alanında etkili piston emniyeti, 2- Pres silindiri, 3- Yüksek basınçlı boru hattı, 4- Güç aktarımı için ara eleman, 5- 8’li piston kılavuzları, 6- Doğrusal yol ölçme sistemli hidrolik slayt, 7- Slayt kılavuzları, 8- Temel, 9- Radyal pistonlu pompa, 10- Tahrik motoru, 11- Koruyucu kaplama, 12- Pres iskeleti, 13- Otomasyon cihazları)

4.2.2. Kalıp seti

Deneysel çalışmada kullanılacak kalıp sistemi literatür gözönüne alınarak tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında ilk dikkate alınan husus, sac malzemenin ilkel pul çapı, basıldıktan sonraki derinliği ve çapıdır (Şekil 4.5). Sonra mevcut hidrolik

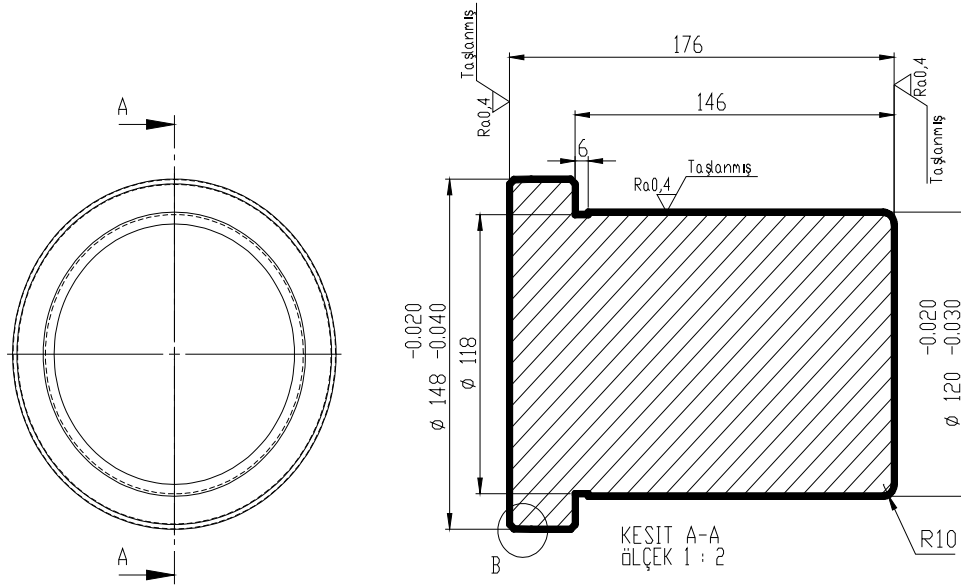
preslerde kalıp sisteminin kullanılabilir olmasıdır. Bu kapsamda, öncelikle derin çekme yapabilecek pres tespit edilmiştir. Çift etkili hidrolik presin üst gurubuna matris bağlanmıştır. Alt guruba ise zımba ve baskı plakası bağlanmıştır. Kalıp tasarımında “SolidWorks - 2011” yazılımı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.5. Silindirik kap ve ilkel parça.

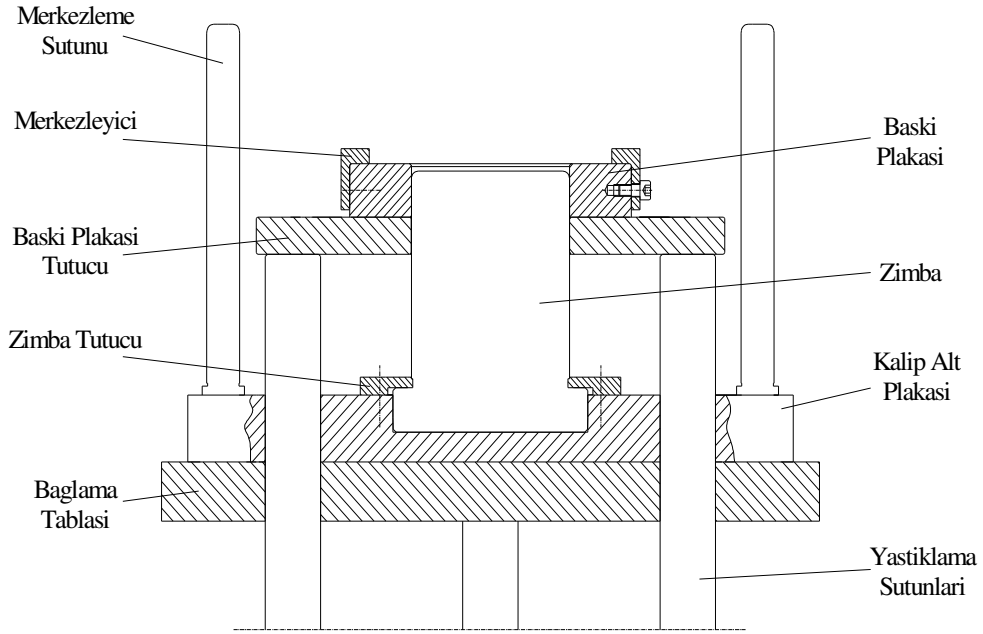
4.2.2.1. Çekme kalıbı alt grubu

Hidrolik presin emniyeti için kullanılan kalıpların boyutunun 0,5 x 0,5 ‘den az olmaması gerekmektedir. Bu yüzden 0,5 x 0,5 m boyutlarında olan üst bağlama tablası ve alt bağlama tablası kalıba eklenmiştir. Levha halindeki sac malzemeyi silindirik kap haline getirmek için kullanılan zımbanın teknik resmi Şekil 4.6’da görülmektedir.

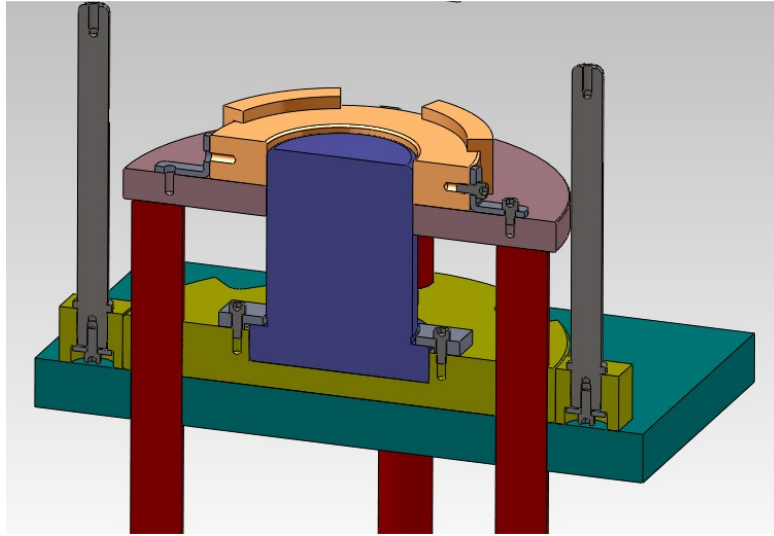


Şekil 4.6. Zımbanın Teknik Resmi.

Yastıklama sütunları 4 adet olup, istenilen değerlerde ayarlanan kuvveti baskı plakasına iletmek için kullanılmaktadır. Baskı plakasının tek parça olarak üretilmesi malzeme sarfiyatını ve imalat maliyetini arttıracığından iki parça olarak yapılmıştır. Bu parçalardan birincisi yastıklama sütunlarıyla direk temas eden 'Baskı Plakası Tutucu' dur. İkincisi sac malzemenin üzerine konulduğu 'Baskı Plakası' dır. Baskı plakasının üstüne yerleştirilen sac malzemeyi merkezlemek için 4 adet merkezleyici kullanılmıştır. Merkezleyiciler baskı plakasına sabitlenmiştir. Zımba ve sütunları yataklamak için kalıp alt plakası kullanılmıştır. Hidrolik pres sac malzemeyi şekillendirdikten sonra yukarıya doğru hareketi sırasında zımbanın da yukarı kalkmasını önlemek için zımba tutucular kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar esnasında şekil değişimine uğramaması için ısıl işleme tabi tutulmuştur. Zımba alt grup ile birlikte Şekil 4.7'de teknik resmi ve Şekil 4.8'de üç boyutlu olarak görülmektedir.



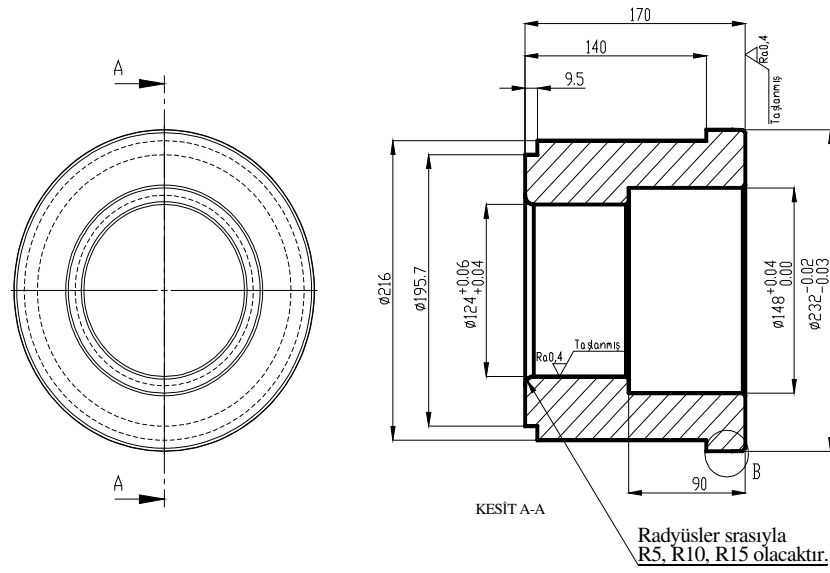
Şekil.4.7. Zimba ve Alt Grubun Teknik Resmi.



Şekil 4.8. Zimba ve Alt Grubun üç Boyutlu Görünümü.

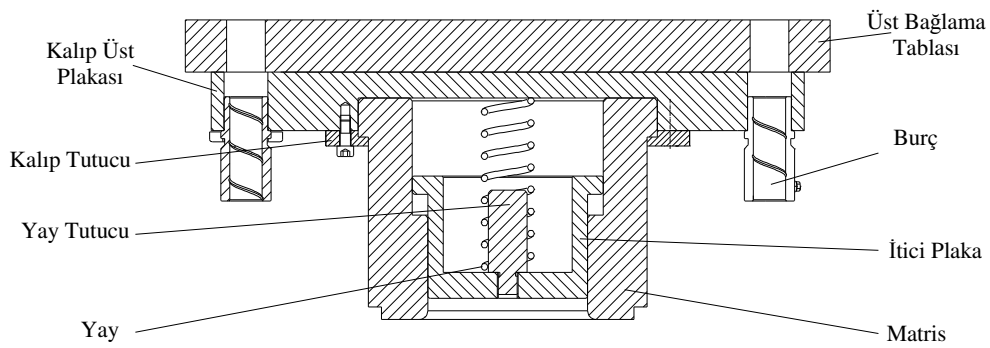
4.2.2.2. Çekme kalıbı üst grubu

Sac malzemeye şeklini verecek matris tasarımı kalıp boşlukları dikkate alınarak tasarlanmıştır. Derin çekmede köşe yuvarlatma yarıçapının etkisini görebilmek için köşe kavisleri sırasıyla 5 mm, 10 mm ve 15 mm olmak üzere 3 farklı matris (Şekil 4.9) yapılmıştır. Matrisler sırasıyla kalıba takılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Matrisin teknik resmi.

Çekme işlemi gerçekleştirildikten sonra presin yukarı hareketi sırasında silindirik kapla matrisi birbirinden ayırmak için itici plaka kullanılmıştır. İtme kuvvetini sağlamak için yay ve yayı merkezlemek için de itici plakaya takılabilen vidalı mil kullanılmıştır (Şekil 4.10). Şekil 4.11’de hidrolik prese bağlanmış durumda görülmektedir.



Şekil 4.10. Matris ve Kalıp Üst Grubu Montaj Resmi.



Şekil 4.11 Tasarlanmış deney düzeneğinin hidrolik prese montajı.

4.2.3. Çekme parametreleri

Derin çekme işleminde belirlenen işlem parametrelerinin ürün kalitesine olan etkileri ve birbiriyle olan etkileşimlerini incelemek amacıyla Taguchi deneysel tasarım yöntemi L_{27} serisi kullanılarak çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Derin çekme işlemi için en yaygın olarak kullanılan Al 5764 malzemesinin çekilmesinde üç farklı çekme hızı (mm/s), üç farklı yağlayıcı, üç farklı kalıp kavisi (r , mm) ve üç farklı baskı plakası kuvveti (BPK, kN) kullanılmıştır.

4.2.4. Deneylerin yapılışı

Deneysel çalışmalar, sabit çekme yüksekliğinde, Taguchi L_{27} orthogonal dizisi esas alınarak, üç tekrarlı yapılmıştır. Çekme hızı ve baskı plakası kuvvetinin istenilen değerleri çift etkili pres kontrol ünitesinden girilmiştir. Kalıp kavisi için farklı üç adet kalıp imal edilmiş ve bu kalıpların değiştirilmesiyle istenilen kavis değerinde çekme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yağlama işlemi fırça yardımıyla sac malzemenin üstüne uygulanarak farklı sürtünme durumları elde edilmiştir.

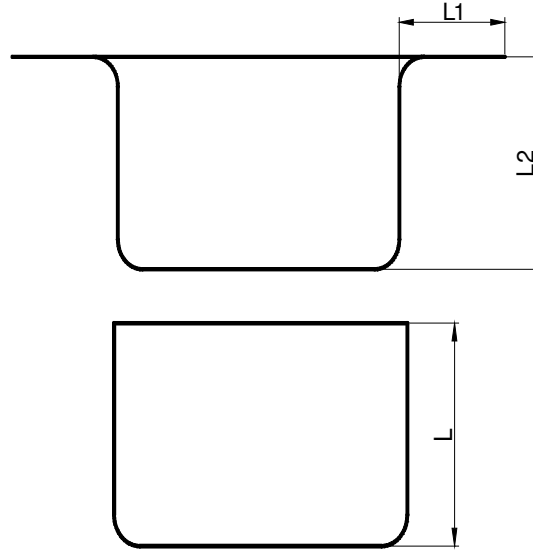
4.3. Deney Sonuçlarının Ölçülmesi

Yapılan deneylerde elde edilen parçaların ürün kalitelerini değerlendirmek için iki ölçüt seçilmiştir. Bunlar derin çekme işleminde en çok karşılaşılan kusurlardan

yırtılma ve buruşmadır. Elde edilen üründe bu kusurlardan biri veya her ikisi görülebilir. Ve bu kusurların dereceleri olabilir. Yani ürünlerden birinde yırtılma miktarı fazlayken diğerinde az olabilir. Belki diğer bir üründe tam yırtılma sınırına gelince şekillendirme tamamlanmış olabilir. Bundan dolayı istenilen ürün kalitesi hem buruşmanın hem de yırtılmanın veya yırtılma olasılığının en düşük olduğu işlem parametrelerini belirlemekle sağlanabilir.

4.3.1. Yırtılmanın değerlendirilmesi

Yırtılma için kabın cidar kalınlığındaki incelme değerlendirme ölçütü olarak kabul edilmiştir. Fakat yırtılan parçalarda, yırtılma bölgesinde boyun verme kalınlık ölçümünü zorlaştırmaktadır. Bunun için kap boyları ölçülmüş ve kabın boyu uzadıkça kap cidarlarında incelmenin arttığı görülmüştür. Yırtılmayla uzama arasındaki bu ilişkiden dolayı yırtılma ölçütü olarak kap boylarındaki uzama esas alınmıştır. Yırtılan parçalarda flanş olduğundan kap boyu hesaplanırken $L=L_1 + L_2$ (Şekil 4.12. a), yırtılma oluşmayan parçalarda ise L (Şekil 4.12. b) boyu değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Ölçümler kumpasla yapılmış olup hassasiyet 0,01 mm'dir. Ölçümlerde binlik kısım dikkate alınmamıştır. Sapma miktarı 0.04 mm'dir. Ölçüm sonuçları tablo 4.9'de verilmiştir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde yırtılan kapların boylarının istenilenden uzun olduğu, buruşma gerçekleşen kaplarda ise kapların boylarının istenilenden daha kısa olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Yırtılma için Değerlendirme Kriteri a) Yırtılan Oluşan Parça b) Yırtık Oluşmayan Parça.

Tablo 4.9. Yırtılma için Değerlendirme Kriterleri.

Deney Numarası	Yırtılma Değeri (mm)	
15	96.40	YIRTIŁAN NUMUNELER
5	92.47	
19	92.00	
13	90.51	
7	90.13	
24	89.00	
18	83.70	
9	77.50	
4	75.00	
3	60.00	
2	58.56	
11	55.30	
6	54.60	
21	54.50	
17	54.46	
10	54.30	
26	53.94	
23	52.80	
25	52.70	
22	51.43	KALINLIK

27	51.40	YIĞILMASI GÖRÜLEN NUMUNELER
1	50.96	
8	50.30	
14	49.90	
16	48.70	
12	46.80	

4.3.2. Buruşmanın değerlendirilmesi

Buruşmanın değerlendirilmesi için derin çekmeden elde edilen kapların ölçümünde Atılım Üniversitesi Metal Mükemmeliyet Merkezinde, Atos Optik Ölçüm Sistemi (Şekil 4.13) kullanılmıştır. Böylece derin çekmede elde edilen kaplar sayısal verilere dönüştürülmüştür.

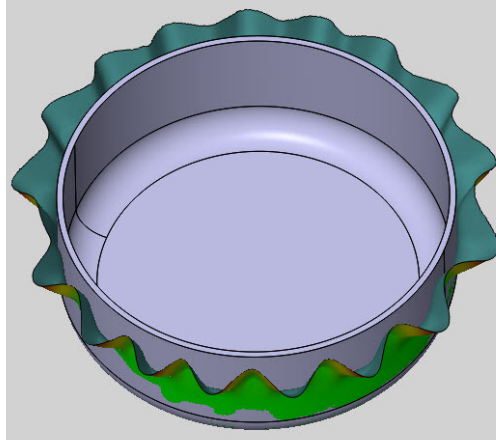


Şekil 4.13. Atos Optik Ölçüm Sistemi ve Derin Çekme Deney Sonucunun Sayısallaştırılmış Şekli (Deney 14).

Atos optik ölçüm sistemi nesne ızgara metodunu kullanmaktadır. Bu sistemlerde güçlü bir halojen ışık kaynağı ile cismin üzerine farklı dokusal özellikleri olan ızgara şeklinde ışık demetleri düşürülür. Cismin yüzeyi üzerinde bu kodlanmış yapıllı ışıklar, cismin şeklinin karakteristik özelliklerine göre deformasyona uğrar. Projeksiyon sistemi ile özel bir açı yapacak şekilde yönlendirilmiş yüksek çözünürlükteki bir kamera sistemi ile bu deformasyon bilgileri alınır ve nokta bulutu oluşturulur. Bu sistemler sayesinde çok sayıda noktanın koordinatı çok kısa zamanda ($\sim 1s$) ölçülür. Böylelikle cismin yüzey formu bilgisini içeren nokta bulutu oluşturulmuş olur.

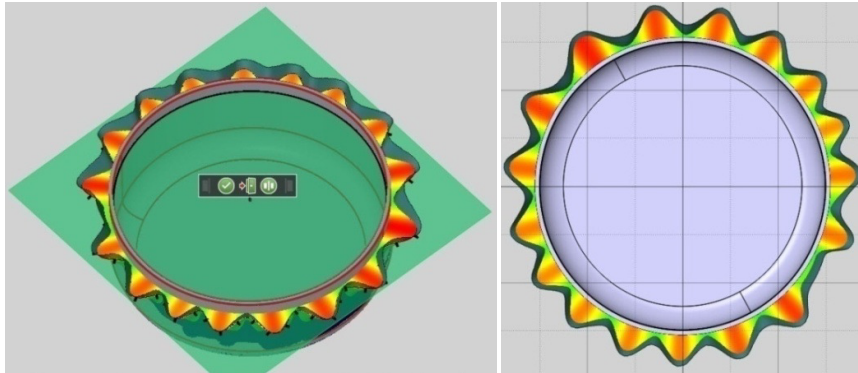
Atos Optik Ölçüm Sistemi ile bütün parçalar tarandıktan sonra istenilen ölçülere göre modellenmiş CAD verileri ile karşılaştırıldı. Karşılaştırma için Gom Inspect V7.5 SR1 yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan yazılımda ölçüm yapılabilmesi için aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir;

- CAD verilerinin açılması,
- Atos Optik ölçüm sistemiyle elde edilen sayısal verilerin açılması,
- CAD verisi ile sayısallaştırılmış verilerin karşılaştırılması (Şekil 4.14),



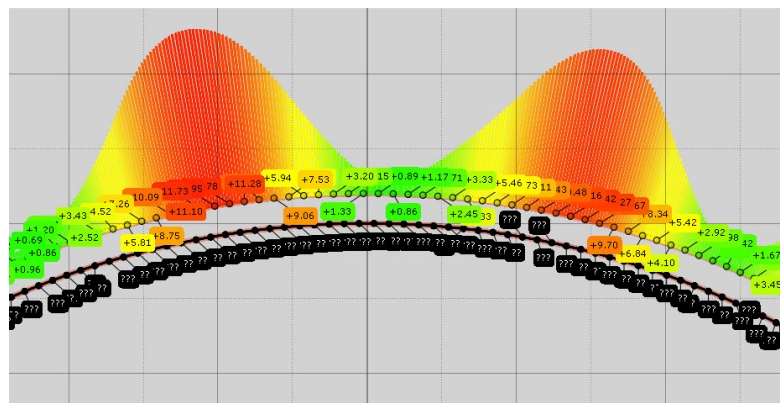
Şekil 4.14. CAD Verileri ile Sayısallaştırılmış Verilerinin Çakıştırılması.

- Kesit düzlemi oluşturulması (Şekil 4.15),



Şekil 4.15. Ölçüm İçin Kesit Düzlemi Oluşturulması.

- Kesit düzlemi üzerinde 300 noktanın ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kesit Düzlemi Üzerindeki Sapma Verilerini Hesaplanması.

- Sapma verilerinin aktarılması,
- Her deney için elde edilen 300 noktasındaki sapma miktarlarının ortalaması alınmıştır. Elde edilen sonuç buruşma için değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır (Tablo 4.10). Deney sonucunda elde edilen kapla istenilen kap arasındaki ölçü farkı artması buruşmanın şiddetinin arttığını göstermektedir.

Tablo 4.10. Buruşma Değerleri.

Deney No	Buruşma (mm)
1	15.04
2	0.296667
3	30.4
4	25.15
5	36.6
6	6.238588
7	36.6
8	13.82
9	25.12
10	0.256667
11	30.36
12	8.215937
13	35.7
14	14.8
15	25.5
16	14.80667
17	0.3075
18	36.2
19	35.16

20	12.5
21	0.316667
22	5.17
23	0.373333
24	37.3
25	0.423333
26	30.45
27	2.653333

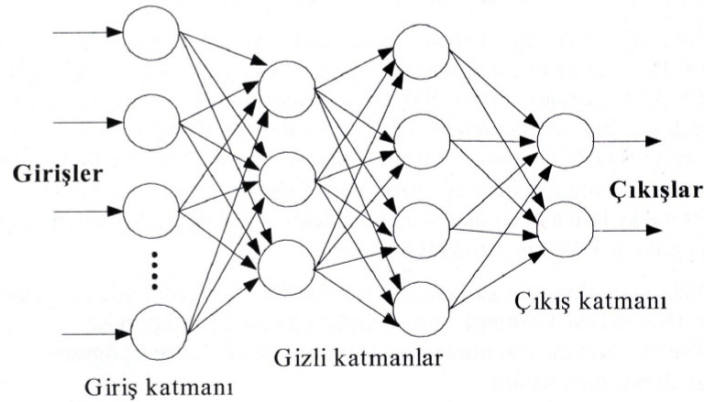
Tablo incelendiğinde '0.256 - 0.42' arasındaki değerlere sahip deney sonuçları derin çekme sonucunda olumlu şekillendirmeyi ifade etmektedir. '2.65 – 15.04' arasındaki değerlere sahip deney sonuçları BPK'nin yetersiz olması sonucu buruşma oluşan parçaları gösterirken, '25.12 – 37.3' arasındaki değerlere sahip deney sonuçları BPK'nin fazla olmasından dolayı flanş oluşan parçaları göstermektedir. Buruşma en az deney 10'da meydana gelmiştir. 10, 2, 23, 17, 21, 25 numaralı deneylerde parça kalitesi kabul edilebilir durumdadır. Kalan deneylerde ise kalite gittikçe bozulmaktadır. Baskı plakası kuvvetinin aşırı olduğu deneylerde BPK teğetsel kuvvetleri yenerek buruşma oluşmasını engellemiştir. Fakat aynı zamanda malzeme akışını zorlaştırdığı için ürünlerde flanş oluşumuna ve yırtılmalara sebep olmuştur.

BÖLÜM 5. MODELLEME VE SİMÜLASYON

5.1. Yapay Sinir Ağları

YSA kullanılarak çözülmek istenen problemler, çoğunlukla doğrusal bir özellik göstermeyen yani sistemin girdileri ile çıktıları arasında doğrusal bir ilişki olmayan problemlerdir. Sac şekillendirme yöntemlerinden biri olan derin çekme işleminde ürün kalitesiyle işlem değişkenleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Bundan dolayı, mühendislik uygulamalarında özellikle tahmin konusunda yoğun olarak kullanılan İleri Beslemeli Çok Katmanlı Algılayıcı modeli kullanılmıştır [77].

Çok Katmanlı Algılayıcı modeli, danışmanlı öğrenme yöntemini kullanır. Girdilere karşı çıktılar da ağa eğitim sırasında gösterilir[78]. Şekil 5.1’de de örneği gösterilen Çok Katmanlı Ağ giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşur.



Şekil 5.1. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli.

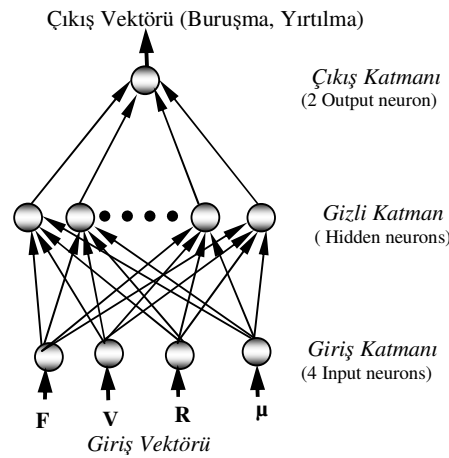
Ayrıca çok katmanlı algılayıcılarda gizli katmanlara ve çıkış katmanına etki eden, ağırlık çıktısının sıfır olmasını önleyen ve sabit olarak 1 değerini alan eşik değerleri de

mevcuttur. Bu tez kapsamında yapılacak olan çalışma için de problemin yapısına uygun olarak Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli tercih edilmiştir.

Deney sonuçları MATLAB R2009b programının Neural Network Toolboxes'ı kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Yapay sinir ağının eğitiminde deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır.

5.1.1. YSA mimarisi

Bu çalışmada kullanılan YSA mimarisi Şekil 5.2'de görülmektedir. Bu mimari bir gizli katman, bir giriş katmanı ve bir çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayısı, problemin yapısı esas alınarak belirlenmiştir. Bundan dolayı giriş katmanında işlem değişkenlerini temsil eden dört nöron bulunmaktadır. Çıkış katmanında ise ürün kalitesini belirlemek için ölçüt olarak kullanılacak olan yırtılma ve buruşma seviyelerini gösteren bir nöron bulunmaktadır. Bununla beraber gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayısını belirlemek için bir kural bulunmadığından [79] gizli katman ve gizli katmandaki nöron sayısı deneme yoluyla belirlenmiştir.



Şekil 5.2. YSA Mimarisi (F= Baskı Plakası Kuvveti, V= Zımba Hızı, R= Kalıp Kavisi, μ = Sürtünme Katsayısı).

5.1.2. YSA için eğitim, test ve uygulama setlerinin hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda 27 adet veri seti elde edilmiştir. Ayrıca buruşma için Taguchi yöntemiyle belirlenen ve optimum değişkenleri içeren deney de veri setine dahil edilmiştir. Böylece yırtılma için 27 adet, buruşma için 28 adet veri seti oluşturulmuştur (Tablo 5.1). Bu değerler, giriş parametreleri ve çıkış parametrelerine göre YSA’nda kullanılmak üzere düzenlenmiştir. Deneylerden elde edilen ürün kalitesi yırtılma ve buruşmaya göre değerlendirilmiştir. Bundan dolayı yırtılma ve buruşma için ayrı ayrı YSA’nın eğitimi ve testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler.

Deney No	Köşe kavisi (mm)	Sürtünme Katsayısı	Zımba hızı (mm/s)	BPK (kN)	Buruşma	Yırtılma
1	5	0.05	17	10	15.04	50.96
2	5	0.05	33	100	0.2966	58.56
3	5	0.05	50	200	30.4	60.00
4	5	0.08	17	100	25.15	75.00
5	5	0.08	33	200	36.6	92.47
6	5	0.08	50	10	6.2385	54.60
7	5	0.12	17	200	36.6	90.13
8	5	0.12	33	10	13.82	50.30
9	5	0.12	50	100	25.12	77.50
10	10	0.05	17	100	0.2566	54.30
11	10	0.05	33	200	30.36	55.30
12	10	0.05	50	10	8.2159	46.80
13	10	0.08	17	200	35.7	90.51
14	10	0.08	33	10	14.8	49.90
15	10	0.08	50	100	25.5	96.40
16	10	0.12	17	10	14.806	48.70
17	10	0.12	33	100	0.3075	54.46
18	10	0.12	50	200	36.2	83.70
19	15	0.05	17	200	35.16	92.00
20	15	0.05	33	10	12.5	44.40
21	15	0.05	50	100	0.3166	54.50
22	15	0.08	17	10	5.17	51.43
23	15	0.08	33	100	0.3733	52.80
24	15	0.08	50	200	37.3	89.00
25	15	0.12	17	100	0.4233	52.70
26	15	0.12	33	200	30.45	53.94
27	15	0.12	50	10	2.6533	51.40
28	15	0.05	33	100	0,2104	

Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle verilerin %75-80'i eğitim için, %20-25'i test amaçlı kullanılmıştır [80, 81]. Bu yaklaşımlardan yola çıkarak yırtılma için toplam 27 adet deney verisinden ağır eğitiminde 23 adet deney verisi, test için 4 adet deney verisi, buruşma için eğitimde 23 adet, test için 5 adet deney verisi kullanılmıştır. Test için seçilen deney verileri tablo 5.2 ve tablo 5.3'de verilmiştir. Seçilen test verileri, deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin kalitesi buruşma, yırtılma ve düzgün şekillenen numuneler olarak gruplandırılmıştır. Seçilen test verileri, bu gruplardan en az bir veri olacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 5.2. Buruşma için kullanılan deney sonuçları.

Deney No	Köse kavisi	Sürtünme	Zimba Hızı	BPK	Buruşma
3 (Yırtılma)	5	0.05	50	200	30.4
12 (Buruşma)	10	0.05	50	10	8.2159
13 (Yırtılma)	10	0.08	17	200	35.7
22 (Buruşma)	15	0.08	17	10	5.17
25 (Düzgün şekillenmiş parça)	15	0.12	17	100	0.4233

Tablo 5.3. Yırtılma için kullanılan deney sonuçları.

Deney No	Köse kavisi	Sürtünme	Zimba Hızı	BPK	Yırtılma
6 (Düzgün şekillenmiş parça)	5	0.08	5	10	54.60
7 (Yırtılma)	5	0.12	1	200	90.13
16 (Buruşma)	10	0.12	1	10	48.70
24 (Yırtılma)	15	0.08	5	200	89.00

5.1.3. YSA için öğrenme modelinin seçilmesi

Öğrenme yapay sinir ağlarının temelini oluşturur. Öğrenme; giriş değerlerine ve bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağırlık bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir. Oluşturulan yapay sinir ağında öğrenme modeli olarak doğrusal olmayan problemlerin yapısına uygun ileri beslemeli geri yayılım ağı olan Newff YSA modeli seçilmiştir [82].

Bu ağ yapısı tahmin problemleri için en çok kullanılan YSA türüdür [73]. Bu öğrenme modelinin tercih edilmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

- Ağda kullanılan transfer fonksiyonları sayesinde nöronlar doğrusal olmama özelliği içerir.

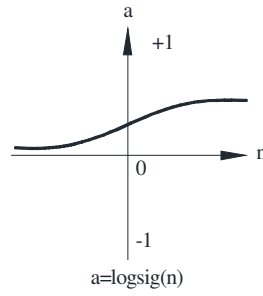
- Modellerinde bağ yapısındaki katman sayısı ve katmanlardaki nöronların sayısı uygun olarak kullanıldığında öğrenme daha üst değerlere çıkartılabilir.
- Ağ bağlantılar sayesinde çok yüksek derecede bilgi işleme kabiliyetine sahiptir.

5.1.4. YSA'nın modellenmesinde kullanılan transfer fonksiyonu

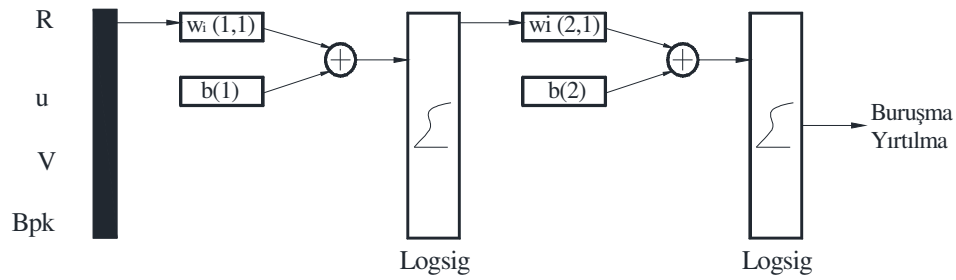
YSA'ında net girdiler ağırlık değerleri ile çarpılarak birleştirme fonksiyonu yardımı ile birleştirilirler ve transfer fonksiyonundan geçirilirler. Buradan elde edilen değer ara katmana ulaşıyorsa bir sonraki nöronun girdisi olurken, çıkış katmanına ulaşıyorsa net çıktıyı verir.

Bu çalışmada Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bunun sebebi; doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde en iyi sonuçlar Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak elde edilebilmesidir [83]. Şekil 5.3' da logsig fonksiyonunun grafiği verilmiştir. Matematiksel ifadesi denklem (4.1)' de verilmiştir. Şekil 5.4'de transfer fonksiyonunun YSA mimarisi içerisindeki yeri gösterilmiştir. Ağın mimarisi gereği iki tane transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Birincisi giriş katmanı ile gizli katman arasında yer almaktadır. Burada ki transfer fonksiyonundan çıkan değerler gizli katmanda yer alan nöronların giriş değeri olarak kullanılmaktadır. İkincisi ise gizli katmanla çıkış katmanı arasında yer alır. Ve buradaki transfer fonksiyonundan çıkan değerler, çıkış katmanındaki net çıkışı oluşturmaktadır.

$$a = \log \text{sig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (4.1)$$



Şekil 5.3. Transfer fonksiyonu.



Şekil 5.4. Transfer fonksiyonlarının YSA mimarisindeki yeri.

Giriş değerlerinin transfer fonksiyonundan geçirilmesi için normalizasyon yapılması yani değerlerin 0 – 1 arasına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada farklı normalizasyon teknikleri denenmiştir. En iyi ve daha hızlı eğitim giriş değerlerinin 10^3 'ün katlarına bölünmesiyle yapılan normalizasyonla elde edilmiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. Normalizasyon yapılmış giriş değerlerinin.

Deney No	Kalıp Kavisi (mm)	Sürtünme katsayısı	Zımba hızı (m/dk)	BPK (KN)	Buruşma	Yırtılma
1	0.05	0.05	0,17	0.01	0,1504	0,5096
2	0.05	0.05	0,33	0.1	0,002967	0,5856
3	0.05	0.05	0,5	0.2	0,304	0,6
4	0.05	0.08	0,17	0.1	0,2515	0,75
5	0.05	0.08	0,33	0.2	0,366	0,9247
6	0.05	0.08	0,5	0.01	0,062386	0,546
7	0.05	0.12	0,17	0.2	0,366	0,9013
8	0.05	0.12	0,33	0.01	0,1382	0,503
9	0.05	0.12	0,5	0.1	0,2512	0,775
10	0.1	0.05	0,17	0.1	0,002567	0,543
11	0.1	0.05	0,33	0.2	0,3036	0,553
12	0.1	0.05	0,5	0.01	0,082159	0,468
13	0.1	0.08	0,17	0.2	0,357	0,9051
14	0.1	0.08	0,33	0.01	0,148	0,499
15	0.1	0.08	0,5	0.1	0,255	0,964
16	0.1	0.12	0,17	0.01	0,148067	0,487

Tablo 5.4. Normalizasyon yapılmış giriş değerlerinin (Devamı).

Deney No	Kalıp Kavisi (mm)	Sürtünme katsayısı	Zımba hızı (m/dk)	BPK (KN)	Buruşma	Yırtılma
17	0.1	0.12	0,33	0.1	0,003075	0,5446
18	0.1	0.12	0,5	0.2	0,362	0,837
19	0.15	0.05	0,17	0.2	0,3516	0,92
20	0.15	0.05	0,33	0.01	0,125	0,444
21	0.15	0.05	0,5	0.1	0,003167	0,545
22	0.15	0.08	0,17	0.01	0,0517	0,5143
23	0.15	0.08	0,33	0.1	0,003733	0,528
24	0.15	0.08	0,5	0.2	0,373	0,89
25	0.15	0.12	0,17	0.1	0,004233	0,527
26	0.15	0.12	0,33	0.2	0,3045	0,5394
27	0.15	0.12	0,5	0.01	0,026533	0,514
28	0.15	0.05	0,33	0.1	0,2104	0,2104

5.1.5. YSA için diğer parametrelerin belirlenmesi

Oluşturulan ağda Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli ve Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması kullanılmıştır. Ağ, yapılan denemeler sonucunda en yüksek performansı sağlayan tek gizli katman ve bu gizli katmanda buruşma ve yırtılma için 5 nöron olacak şekilde modellenmiştir. Ağlarda kullanılan transfer fonksiyonları, eğitim fonksiyonları, durdurma kriterleri tablo 5.5 ve tablo 5.6'de gösterilmiştir.

Her bir örnek ağa 100 kez gösterilmiş, eğitimin durdurulması için gerekli olan hata oranı katsayısı ise 0.01 olarak tanımlanmıştır.

Tablo 5.5. Buruşma için eğitim parametreleri.

Eğitim Fonksiyonu	Trainscg
Gizli katman aktivasyon fonksiyonu	logsig
Çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu	logsig
İterasyon sayısı	13033
Gizli Katman nöron sayısı	5

Tablo 5.6. Yırtılma için eğitim parametreleri.

Eğitim Fonksiyonu	Trainscg
Gizli katman aktivasyon fonksiyonu	logsig
Çıkış katmanı aktivasyon fonksiyonu	logsig
İterasyon sayısı	6000
Gizli Katman nöron sayısı	5

5.2. Sonlu Elemanlar Modeli

Taguchi deneysel tasarım yöntemiyle oluşturulan deney setine göre 27 adet deney yapılmıştır. Bu bölümde oluşturulan simülasyon modeliyle, deneyler karşılaştırılarak doğrulama yapılacaktır. Deneysel çalışmayla simülasyon arasında uyum yakalanırsa veriler simülasyon kullanılarak arttırılabilir. İlerideki çalışmalarda parametre sayısı genişletilerek, çalışma endüstriyel uygulamalı hale getirilebilir. Buradan alınacak güvenilir sonuçlarla SEY kullanılarak veriler toplanacaktır. Buda maliyet ve zaman açısından büyük kazanç sağlayacaktır.

Sac malzeme üzerinde meydana gelen deformasyonların sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak analizleri Ansys/LS Dyna paket programında gerçekleştirilmiştir. Ansys/LS Dyna deformasyon işlemlerinin analizinde dünya çapında kabul görmüş, yüksek güvenilirliğe sahip paket programlar olarak bilinmektedir.

Derin çekme işleminin analiz edilebilmesi için

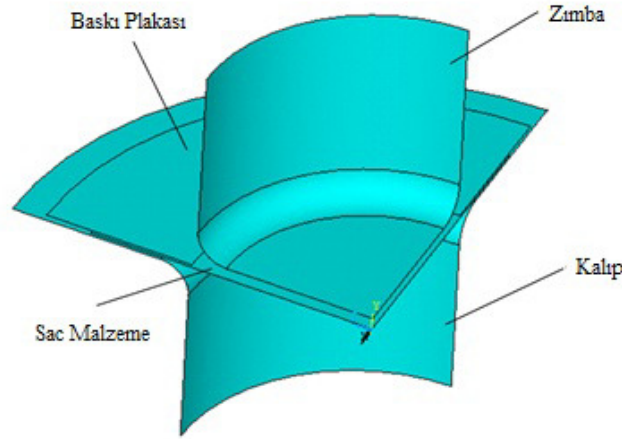
- Kalıp elemanlarının ve sac malzemenin bilgisayar ortamında modellenmesi,
- Modelin analiz işlemine kullanılacak olan paket programa aktarılması,
- Ağ yapılarının oluşturulması
- Sac malzeme özelliklerinin atanması gerekmektedir.

5.2.1. Kalıp elemanlarının modellenmesi

Kalıp elemanları Solidworks 2013 Paket Programı yüzey modelleme modülü kullanılarak oluşturulmuştur. Ve oluşturulan parça resimleri, “.iges” uzantılı olarak kaydedilerek ve analiz programında açılmasıyla aktarma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sac parçanın modellenmesinde, kalıba ait bütün özellikler (kalıp boyutları,kalıp kavisi, zımba kavisi, çekme derinliği vb.) dikkate alınmıştır. Kalıp geometrisi ve sac malzeme simetrik olduğu için modelleme dörtte bir olarak yapılmıştır. Böylece oluşturulan modelin çözüm süresinin de aynı oranda kısaltılması sağlanmıştır. Sac parçaya ait modeller bu şekilde yüzey modelleme komutlarıyla hazırlandıktan sonra

“.iges” uzantısıyla kaydedilmiştir. Ansys/LS Dyna paket programında oluşturulan modeller çağırılmıştır. Kalıp seti için Solidworks’de kullanılan koordinat sistemi esas alınmıştır. Çekme işlemleri için kalıp seti modeli Ansys/LS Dyna’ya aktarılmış olarak Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5. Derin çekme işlemi için simetrik model.

5.2.2. Sac malzeme modellerinin oluşturulması

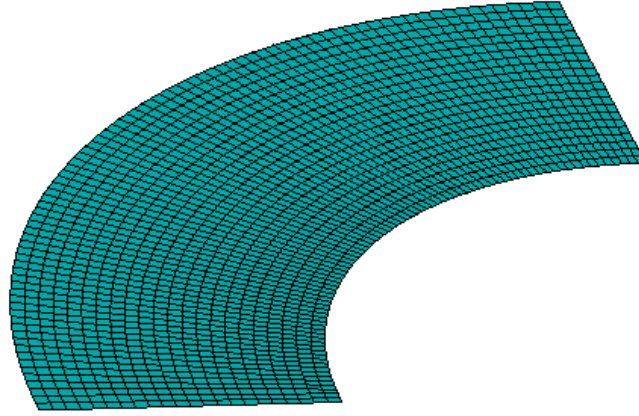
Analizler öncesinde, kalıp elemanlarının modellenmesinin ardından, çözümlemede kullanılacak olan sac malzemelerin modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde zimba, kalıp ve baskı plakası rijit kabul edilerek buna uygun malzeme modeli kullanılmıştır. Ayrıca kalıbın x,y ve z eksenlerinde dairesel ve doğrusal hareketi engellenirken zimba ve baskı plakasında y yönünde doğrusal hareketlerine izin verilmiştir. Sac malzeme için ‘Bilinear isotropic’ malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model sac malzemenin deforme olmasına izin vermekle beraber tablo 5.7’de analizlerde kullanılan sac malzemeler için alınan E,v ve g değerleri verilmiştir.

Tablo 5.7. Analizlerde kullanılan sac malzeme özellikleri.

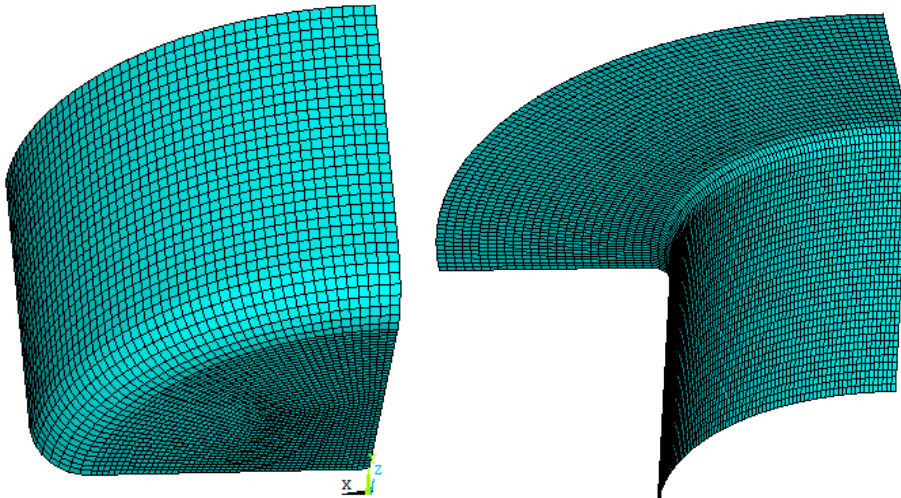
Mekanik Özellikler	Al 5754
Yoğunluk (g), kg/mm ³	0,0002705
Çekme Dayanımı, MPa	226
Akma Dayanımı, Mpa	164
Uzama, %	12.5
Elastikiyet Modülü (E), Gpa	69000
Poisson Oranı (ν)	0.31

5.2.3. Ağ yapılarının oluşturulması

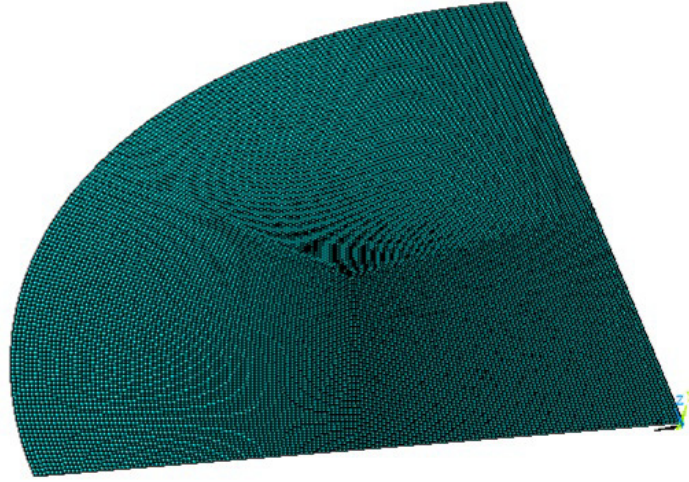
Ansys/Ls Dyna programında açılan kalıp seti, baskı plakası ve sac malzemenin ağ yapıları farklı ağ oluşturma tekniklerinden dikdörtgenlere (quadrant) bölüntüleme yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Baskı plakasına ait ağ yapıları Şekil 5.6'da, kalıp seti ve zımbalara ait ağ yapıları Şekil 5.7'de ve sac malzemeye ait ağ yapıları da Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Baskı plakasına ait ağ yapısı



Şekil 5.7. Zimba ve kalıba ait ağ yapıları.



Şekil 5.8. Sac malzemeye ait ağ yapısı.

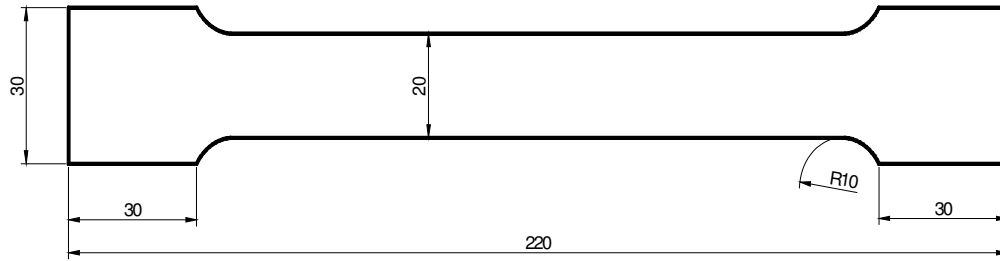
Bu çalışma kapsamında, sac malzemedeki deformasyon işleminin incelenmesi esas hedef olduğundan dolayı baskı plakası ve kalıp setinin ağ yapıları zaman kaybını önlemek amacıyla daha büyük tutulmuştur. Baskı plakası ve kalıp setinin ağ yapılarının analiz sonucunda etkili olmadığı, buna karşılık çözümleme süresini önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir.

Ağ yapılarının oluşturulması esasında, baskı plakası ve kalıp setinde ağ aralıkları 1,5 mm olarak alınmıştır. Sac malzemede ise gerilmeler kabın yan duvarlarında ve ağız kısmında olduğundan bu kısımlarda daha sık bölüntüleme yapılmıştır. Sac malzemenin zımbanın alt kısmına temas eden bölgesinde oluşan gerilmeler az olduğundan bölüntüleme sayısı bu kısımda seyrek olarak yapılmıştır. Böylece çözüm süresinin kısaltılması sağlanmıştır. Sac malzemenin ağ aralığı dış kısımlarda 0,7 mm, iç kısımlarda ise 1,3 mm olarak ayarlanmıştır. Yani dış kısımdan iç kısma gidildikçe ağ aralığı arttırılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi, Ls-Dyna çözücüsü kullanarak gerçekleştirilmektedir. Ls-Dyna çözücüsü, kapalı (implicit) çözümleme yöntemini uygulayarak form verme işlemlerini hızlı ve güvenilir bir şekilde oluşturmaktadır. Soidworks paket programında yüzey modelleme komutlarıyla hazırlanan modeller, deneysel çalışma sonuçları ve Ansys/Ls-Dyna analiz sonuçları ile karşılaştırılarak modelin doğrulanması yapılmıştır.

5.3. Derin çekme işleminde kullanılan malzeme

Deneysel çalışmalarda 2 mm kalınlığında AL 5764 sac malzeme kullanılmıştır. Deneysel olarak, sac malzemenin mekanik özelliklerini tespit edilebilmek için, standart çekme deney örneği kullanılmıştır. Örnekler TS EN ISO 6892 standartlarına göre hazırlanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Çekme deneyinde kullanılan numune boyutları [85].

Numunelerin sac plakadan kesme işlemi su jeti kullanılarak yapılmıştır. Böylece sac malzemenin kenarlarında kesme işlemi sırasında oluşan ısının mekanik özelliklere etki etmesi önlenmiştir [84].

Deney örnekleri 3 mm/dk [11] şekil değiştirme hızıyla, Shimadzu marka çekme deneyi cihazında test edilmiştir. Kopma uzaması değerlerini tespit edebilmek için, standart deney örneği üzerine 25 mm aralıklarla işaretleme yapılmış ve bu noktalardan uzama değerleri ölçülmüştür. Bütün deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

AL 5764 sac malzeme 160 Mpa seviyesinde akma mukavemeti ve 225Mpa seviyesinde çekme mukavemeti sergilemiştir. Akma ve çekme noktalarının şekillendirilebilirliğe doğrudan etkileri olmamakla beraber iki nokta arası ne kadar uzaksa malzeme o kadar sünek demektir. Malzemenin kopmadan önce sergilediği % uzama miktarı 11 ile 13 arasında değişmektedir. Bulunan değerler üretici firmanın hazırlamış olduğu katalog değerleriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. AL 5764 mekanik özellikler tablo 5.8'de, malzemenin temin edildiği firmadan alınan kimyasal içerik bilgileri tablo 5.9'de verilmiştir.

Tablo 5.8. Mekanik Özellikler.

MALZEME ÖZELLİKLERİ	Deney Numuneleri		
	R0	R45	R90
Elastikiyet Modülü (E) (N/mm ²)	65531	61275	55403
Akma Gerilmesi (N/mm ²)	168.21	167.81	162.5
Çekme Gerilmesi (N/mm ²)	231.26	225.3	221.7
Yüzde Uzama	11.6	13.3	12.47
Poison Oranı	0,31	0,31	0,31
Yoğunluk (kg/mm ³)	0,0027	0,0027	0,0027

Tablo 5.9. 5754 Kimyasal Bileşenleri.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,17	0,28	0,003	0,157	3,02	0,068	0,002	0,05	Kalan

BÖLÜM 6. DENEY VE ANALİZ SONUÇLARI

6.1. Yağlayıcı Miktarı

Derin çekme işlemi sırasında sac malzeme/kalıp ve sac malzeme/baskı plakası arasındaki sürtünmeyi ve aşınmayı azaltmak için kullanılan yağlayıcıların miktarına ön çalışma sonucunda karar verilmiştir. Bu ön çalışmada baskı plakası kuvveti, zımba hızı ve kalıp kavisi sabit tutularak farklı miktarlarda yağ kullanılmıştır. Yağ miktarını belirlemek için yapılan deneylerdeki işlem değişkenlerinin değerleri tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Yağlayıcı miktarının belirlenmesinde kullanılan değişken değerleri.

Değişkenin İsmi	Değişkenin Değeri	Birim
Zımba Hızı	27,5 (%50)	mm/s
Baskı Plakası Kuvveti	70	kN
Kalıp kavisi	10	mm
Yağlayıcı Miktarı	10/20/30	ml

Yağlayıcı iş parçasının tek yüzeyi üstüne fırça kullanılarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmada aşağıdaki gözlemler yapılmıştır.

- Lub1 isimli yağlayıcının viskozitesi Lub2 isimli yağlayıcıya göre daha yüksektir. Yağlayıcının viskozitesi arttıkça yüzeye homojen olarak yayılması zorlaşmaktadır. Yağın homojen olarak parça üzerine dağılmaması kalıp ve iş parçasında çizilmelere sebep olabilmektedir. Bundan dolayı yağlayıcı iş parçası yüzeyine uygulandıktan sonra dağılması için beklenmesi gerekmektedir. Yağlayıcının yüzeye uygulanması ile homojen olarak yayılması arasında geçen süre çevrim zamanını arttırmaktadır. Buda seri imatatlarda önemli zaman kaybına neden olabilir.

- Viskozitesi yüksek olan yağlar parça üzerinde daha kalın bir yağ tabakası oluşturmaktadır. Fakat yağın viskozitesinin fazla olması zımba kuvvetini arttıracığından enerji kaybına neden olabilir.
- Viskozitesi yüksek olan yağlayıcının derin çekme işleminden sonra iş parçasının üzerinde temizlenmesinin daha zor olduğu görülmüştür.
- Yağlayıcı miktarı 10ml olarak yapılan deneylerde yağlayıcının parça yüzeyini kaplamadığı görülmüştür. Yağlayıcı miktarı 30ml olarak yapılan deneylerde ise yağ miktarı fazla geldiğinden parçanın dışına aşırı miktarda taşmalar meydana gelmiştir. Yukarıdaki durumlar göz önünde bulundurulduğunda, derin çekme işleminde yağlayıcı miktarı olarak 20 ml tercih edilmiştir.

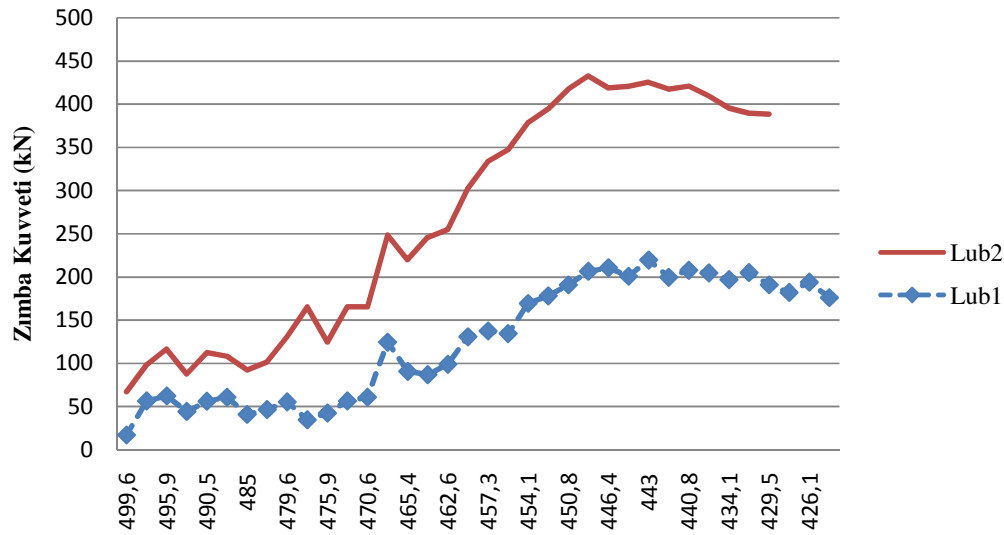
6.2. Sürtünme Katsayıları

YSA'da işlem değişkenlerinin tahmini için model oluşturulurken her değişkenin sayısal bir değerle ifade edilmesi gerekmektedir. Bunun için yağlayıcı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan deneyler için sürtünme katsayıları belirlenmelidir. Yağlayıcıların sürtünme katsayılarının belirlenmesi için literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar sürtünme katsayısının belirlenmesinde standart testlerin yanında yeni test metodlarının ve matematiksel modellerin geliştirilmesini kapsamaktadır (86-92). Bu çalışma kapsamında kuru ve sınır sürtünme katsayısı literatürdeki çalışmalardan faydalanarak yaklaşık olarak belirlenmiştir.

Literatürde kuru sürtünme şartlarında sürtünme katsayısı 0,10 – 0,15 aralığında (93,94), yağlayıcı kullanılarak oluşturulan sınır sürtünme durumunda ise 0,05 – 0,10 aralığında değişmektedir (93, 94, 95).

Derin çekme işlemi sırasında kullanılan yağlayıcıların sürtünme katsayılarını değerlendirebilmek için zımba kuvvetinin çekme boyunca aldığı değerler karşılaştırılabilir (94, 96, 97). Aynı şartlar altında yapılan deney sonucunda zımba kuvvetinin büyük olması sürtünme katsayısının daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.1’de Lub1 ve Lub2 yağlayıcılarının çekme işlemi sırasındaki zımba kuvvetleri görülmektedir. Bu diyagramda dikey eksen zımba kuvvetini yatay eksen ise zımbanın konumunu göstermektedir. Lub2 isimli yağlayıcı kullanılarak yapılan çekme işleminde zımba kuvveti şekillendirme işlemi süresince Lub1’le yapılan çekme işlemindeki zımba kuvvetine göre daha büyüktür. Başlangıçta ve bitiş kısımlarında ise iki eğrinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bunun sebebi verilerin ilk kısmı şekillendirme işlemi başlamadan önce alınmış olmasıdır. Şekillendirmenin sonuna doğru ise iş parçası baskı plakasından kurtularak kalıbın içine itilmiş durumdadır. Bu durumda lub2 isimli yağlayıcının sürtünme katsayısı Lub1’e göre daha büyük alınmalıdır. Bu değerlendirmelere göre belirlenen sürtünme katsayıları tablo 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Derin çekme işlemi sırasındaki Kuvvet – Yol grafiği.

Tablo 6.2. Sürtünme Katsayıları.

Yağlama Durumu	Sürtünme Katsayısı
Lub1	0.05
Lub2	0.08
Kuru Sürtünme	0,12

6.3. Sac Malzemenin Yırtılma sınırının Tespit Edilmesi

Yapılan çalışmada kullanılan AL 5764 sac malzemesinin derin çekme sırasında uygulanabilecek baskı plakasının üst sınırını belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Bu çekme deneylerinde amaç, sac malzemenin yırtılmadan dayanabileceği baskı plakası kuvvetinin belirlenmesidir. Deneylerde çekme hızı ve kalıp kavisi sabit tutulurken baskı plakası kuvveti değiştirilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan işlem değişkenlerin değerleri tablo 6.3’de görülmektedir. Uygulanan baskı kuvvetinin büyüklüğü, teorik hesaplamalar, literatürde yapılan çalışmalar, analiz programlarından alınan değerler ve yapılan deneysel çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 6.3. BPK’nin belirlenmesi için yapılan çekme deneyindeki işlem değişkenlerinin değeri.

Değişkenin İsmi	Değişkenin Değeri	Birim
Zimba Hızı	27,5 (%50)	mm/s
Baskı Plakası Kuvveti	60/ 90/ 130/ 170/ 200/ 225	kN
Kalıp kavisi	10	mm
Yağlayıcı	Kuru	-

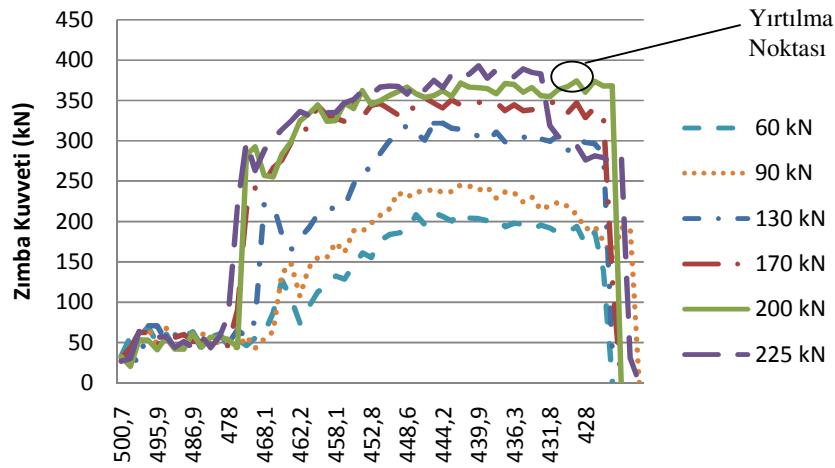
Yapılan çekme deneylerinde BPK’e bağlı olarak iş parçasının şekillendirilmesi için gerekli olan zimba kuvvetinin arttığı görülmüştür. BPK’nin büyük seçilmesi durumunda hem sac malzemenin yırtılmasına hem de presin enerjisinin gereksiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Tablo 6.4’de BPK’ne bağlı olarak oluşan maksimum zimba kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 6.4. BPK’ne göre oluşan zimba kuvvetleri.

BPK (kN)	En Büyük Zimba Kuvveti (kN)
60	211.1
90	245.1
130	321.7
170	353.2
200	374.1
225	392.7

Çekme deneyleri; BPK 60, 90, 130, 170,200 ve 225 kN olmak üzere küçükten başlanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.3’de farklı BPK değerlerinde yapılan çekme

deneyinin fotoğrafı yer almaktadır. Çekme yüksekliği 40 mm olarak alınmıştır. BPK'i 100 kN'u geçtikten sonra malzeme akışının zorlaştığı tespit edilmiştir. Çünkü 100 kN'dan sonra sac malzemede oluşan flanş mesafesi artmaya başlamıştır. BPK'i 220 kN'u geçtikten sonra sac malzemenin duvarlarında oluşan çekme kuvvetine dayanamayarak yırtılma gerçekleşmiştir. BPK'i 225 kN olan deneyin kuvvet/yol diyagramı (Şekil 6.2) incelendiğinde zımba kuvvetinde şekillendirme sonuna gelmeden ani bir düşüş görülmektedir. Bu düşüşün başladığı nokta sac malzemenin yırtıldığı noktadır. Yırtılma, sac malzeme 22 mm derinliğe ulaştıktan sonra gerçekleşmiştir. Ve şekillendirme devam ettiği için yırtık büyüme göstermiştir. Diğer kuvvet/yol diyagramları incelendiğinde ise kuvvette şekillendirme sonuna kadar ani bir düşüş görülmemektedir.



Şekil 6.2. BPK'ne göre şekillendirme boyunca zımba kuvvetinin değişimi.



Şekil 6.3. Farklı BPK'lerinde yapılan çekme deneyi.

6.4. İşlem Değişkenlerinin Ürün Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada deney tasarımının gereği olarak 27 deney yapılmış ve toplam olarak 27 gözlem alınmıştır. Ürün kalitesinin belirlenmesi için iş parçalarında meydana gelen buruşma ve yırtılma değerleri ölçülmüştür. Deneyler 3 tekrarlı gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler alınmıştır. Toplanan gözlem verileri Minitab programının Taguchi analiz kısmında en küçük en iyi kriterine göre çözümlenerek gerekli veri ve grafikler elde edilmiştir.

6.4.1. Buruşma için yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Derin çekme deneyleri sonucunda parçalarda oluşan buruşmanın ölçüm değerleri Bölüm 4'de verilmiştir. Buruşma değerleri incelendiğinde en düşük buruşma değeri 0.3mm olarak ölçülmüştür. '2.65 mm – 15.04 mm' arasındaki buruşma değerlerine sahip deney sonuçları BPK'nin 1. seviyesinde (10 kN) oluşmuştur. Bu da BPK'nin derin çekme işlemi sırasında oluşan teğetsel kuvvetleri yenerek buruşmayı engellemek için yeterli olmadığını göstermektedir. '25.12 mm – 37.3 mm' arasındaki buruşma değerlerine sahip deney sonuçları BPK'nin 3. seviyesinde meydana

gelmiştir. Bu deneylerde buruşma oluşmamıştır. Fakat fazla olan BPK malzeme akışını engelleyerek parçalarda flanş oluşmuş ve yırtılmıştır. Bu durum kalite açısından kabul edilemez olduğundan oluşan flanşlar ölçülerek veriler oluşturulmuştur.

6.4.1.1. S/N analizi

Taguchi yönteminde performans belirlemede ve sisteme ait varyasyonu ölçmede S/N analizi kullanılmaktadır. Ürün kalitesinin yüksek olması için buruşmanın olmaması veya kabul edilebilir seviyede olması istendiği için sinyal-gürültü faktörlerinin analizinde 'en küçük en iyidir' yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yaklaşıma göre elde edilen buruşma değerleri ve S/N değerleri tablo 6.5' de gösterilmiştir.

Tablo 6.5 Deney sonrası buruşma değerleri ve S/N oranları.

Deney no	Kalıp kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BPK (kN)	Buruşma	S/N
1	5	Lub 1	17	10	15,0400	-23,5450
2	5	Lub 1	33	100	0,2967	10,5546
3	5	Lub 1	50	200	30,4000	-29,6575
4	5	Lub 2	17	100	25,1500	-28,0108
5	5	Lub 2	33	200	36,6000	-31,2696
6	5	Lub 2	50	10	6,2386	-15,9017
7	5	Kuru	17	200	36,6000	-31,2696
8	5	Kuru	33	10	13,8200	-22,8102
9	5	Kuru	50	100	25,1200	-28,0004
10	10	Lub 1	17	100	0,2567	11,8126
11	10	Lub 1	33	200	30,3600	-29,6460
12	10	Lub 1	50	10	8,2159	-18,2931
13	10	Lub 2	17	200	35,7000	-31,0534
14	10	Lub 2	33	10	14,8000	-23,4052
15	10	Lub 2	50	100	25,5000	-28,1308
16	10	Kuru	17	10	14,8067	-23,4091
17	10	Kuru	33	100	0,3075	10,2431
18	10	Kuru	50	200	36,2000	-31,1742
19	15	Lub 1	17	200	35,1600	-30,9210
20	15	Lub 1	33	10	12,5000	-21,9382
21	15	Lub 1	50	100	0,3167	9,9880
22	15	Lub 2	17	10	5,1700	-14,2698
23	15	Lub 2	33	100	0,3733	8,5581
24	15	Lub 2	50	200	37,3000	-31,4342
25	15	Kuru	17	100	0,4233	7,4664
26	15	Kuru	33	200	30,4500	-29,6717
27	15	Kuru	50	10	2,6533	-8,4758

Derin çekme işleminde buruşmaya her bir kontrol faktörünün etkisinin analizi S/N Tablosu kullanılarak yapılmıştır. Tablo 6.6 ve tablo 6.7'de her bir kontrol faktörünün

seviyesinin değişimiyle S/N oranlarının ve ortalamalarının nasıl değiştiğini göstermektedir.

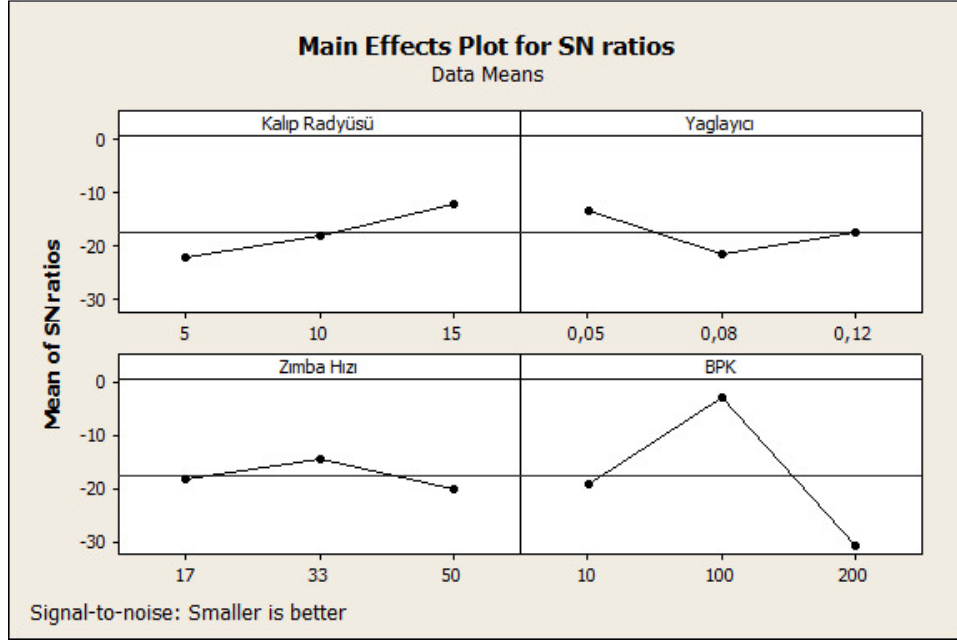
Tablo 6.6. Buruşma için kontrol faktörlerinin S/N oranları.

Seviye	Köşe Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BPK (kN)
1	-22.212	-13.516	-18.133	-19.116
2	-18.117	-21.657	-11.376	- 2.835
3	-12.300	-17.456	-20.120	-30.677
Delta	9.912	8.141	5.744	27.842
Rank	2	3	4	1

Tablo 6.7. Buruşma için kontrol faktörlerinin ortalama değerler.

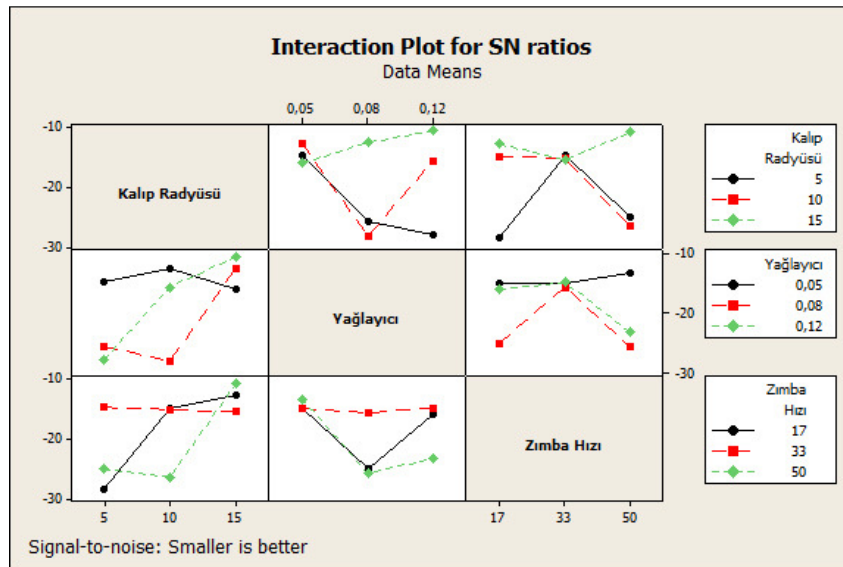
Seviye	Köşe Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BPK (kN)
1	21.029	14.727	18.701	10.361
2	18.461	20.759	15.501	8.638
3	13.816	17.820	29.105	34.308
Delta	7.213	6.032	4.604	25.670
Rank	2	3	4	1

şekil 6.4’de her bir kontrol faktörü için S/N oranları gösterilmektedir. Kalıp kavisi incelendiğinde radyüs değeri arttıkça S/N oranının ve ortalamanın düştüğü görülmektedir. Yağlayıcıda en düşük S/N oranı ve ortalama seviye 1’de yakalanmıştır. Zımba hızı ve BPK seviye 1 ve 3’de buruşma değeri artarken, seviye 2’de buruşma değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.4. a) Kalıp kavisi, b) yağlayıcı, c) zımba hızı, d) BPK'nin buruşmaya etkileri ve S/N oranları.

Şekil 6.5'de üç işlem değişkeninin arasındaki etkileşimi gösteren grafikler verilmiştir. Bu grafikte birinci sütun kalıp kavisini, ikincisi yağlayıcıyı ve üçüncüsü de zımba hızını temsil etmektedir. Zımba hızının kalıp kavisi üzerindeki etkisini birinci sütunun üçüncü satırı göstermektedir. Bu grafikte kalıp kavisinin her seviyesi için zımba hızı değiştiğinde ürün kalitesinin nasıl etkilendiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.5. Buruşma için işlem değişkenlerinin arasındaki etkileşim matrisi.

6.4.1.2. Varyans analizi (ANOVA)

Deneylerde dört değişik faktör ve üç farklı seviye kullanılarak yirmi yedi deney yapılmış ve her bir deneyin buruşma değerleri ölçülmüştür. Deneysel bulgular kullanılarak Anova Tabloları oluşturulmuştur. Anova tablolarında buruşmaya etki eden parametrelerin etki oranları ve birbiriyle olan etkileşimleri yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.8 incelendiğinde buruşmayı en çok etkileyen parametrenin %53.16'lık oranla BPK'nin, daha sonra %6.74'lik kalıp kavisinin, %4.50'lik oranla yağlayıcının ve %2.31'lik oranla zımba hızının olduğu görülmektedir. Kontrol faktörlerinin arasındaki etkileşim oranları ise kalıp kavis/yaglayıcı (AxB) %6.52, kalıp kavis/zımba hızı (AxC) % 6.45 ve yağlayıcı/zımba hızı (BxC) %2.26 olduğu görülmektedir. Dikkat edilirse hataların buruşmaya olan etki oranı %18.04 olarak belirlenmiştir. Bu hata oranı deneyde bizim seçtiğimiz kontrol faktörlerinin dışında etkileşim halinde olan diğer faktörler sonucunda oluşmuştur ve giderilmesi veya azaltılması durumunda ürün kalitesinin iyileştirmede önemli bir etken olduğu görülmektedir.

Tablo 6.8. Buruşma için ANOVA analizinin sonuçları.

Kontrol faktörü	SD	KT	Variance	F _{test}	F _{table}	P (%) ^a
A - Kalıp Kavis	2	446.6	446.6	223.3	1.12	6.74
B - Yağlayıcı	2	298.4	298.4	149.2	0.75	4.50
C - Zımba Hızı	2	153.2	153.2	76.6	0.38	2.31
D - BPK	2	3521.7	3521.7	1760.9	8.84	53.16
A x B	4	432.0	432.0	108.0	0.54	6.52
A x C	4	427.5	427.5	106.9	0.54	6.45
B x C	4	150.1	150.1	37.5	0.54	2.26
Error	6	1195.1	1195.1	199.2	0.19	18.04
Toplam	26	6624.5				

KT: kareler toplamı; SD: serbestlik derecesi; P: yüzdelik katkı

^a yüzdelik katkı

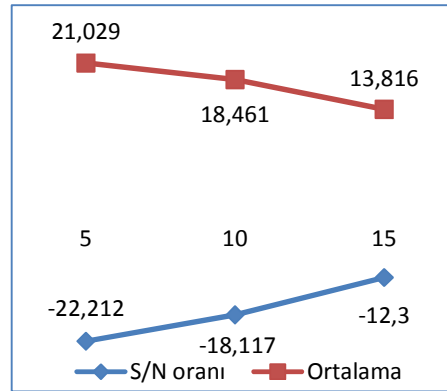
^b99.5% güven seviyesi

^c90% güven seviyesi

6.4.1.3. Kalıp kavisinin buruşma üzerindeki etkisi

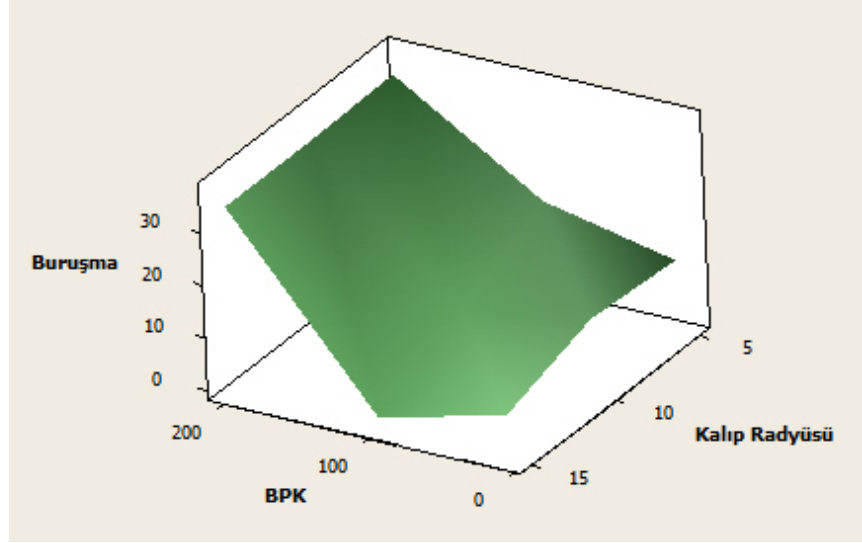
Şekil 6.6 incelendiğinde kalıp kavis artmasıyla buruşma miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi sac malzeme, şekillendirmede zımba tarafından kalıbın içine doğru itilmektedir. Bu işlem sırasında oluşan teğetsel kuvvetler buruşmaya sebep olmaktadır. Kalıp kavisinin büyük olması sac malzemenin kalıp içine akışını kolaylaştıracağından oluşan teğetsel kuvvetler ve dolayısıyla buruşma miktarı

azalacaktır. Fakat kalıp kavisi çok büyük olursa baskı plakasının sac malzeme ile olan temasını azaltacaktır. Kalıp kavisinin 1.seviyesinde (5 mm) ortalama buruşma değeri 21.029 mm olurken bu değer kalıp kavisinin artmasıyla ters orantılı olarak azalmış ve 3. Seviyede (15 mm) ortalama buruşma değeri 13.816 mm'ye düşmüştür. Deneylerde 15 mm kalıp kavisiyle elde edilen en düşük buruşma değeri 0.39 mm olarak deney 23'de ölçülmüştür. Fakat burada oluşan düşük buruşma oranına BPK (100 kN)ve sürtünme katsayının (0.05) etkisi de vardır. Kalıp kavisinin 1. Seviyesinde (5 mm) gerçekleştirilen deneyler sonucu ortalama buruşma değeri 21.029 mm olduğu düşünüldüğünde, kalıp kavisinin ürün kalitesinin iyileşmesi için önemli olduğu görülmektedir. Buradaki değişim bize farklı kalıp kavisiyle yapılan derin çekme işlemlerinde farklı değerlerde teğetsel gerilmeler oluşacağı ve farklı kalıp kavisi için farklı BPK ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.

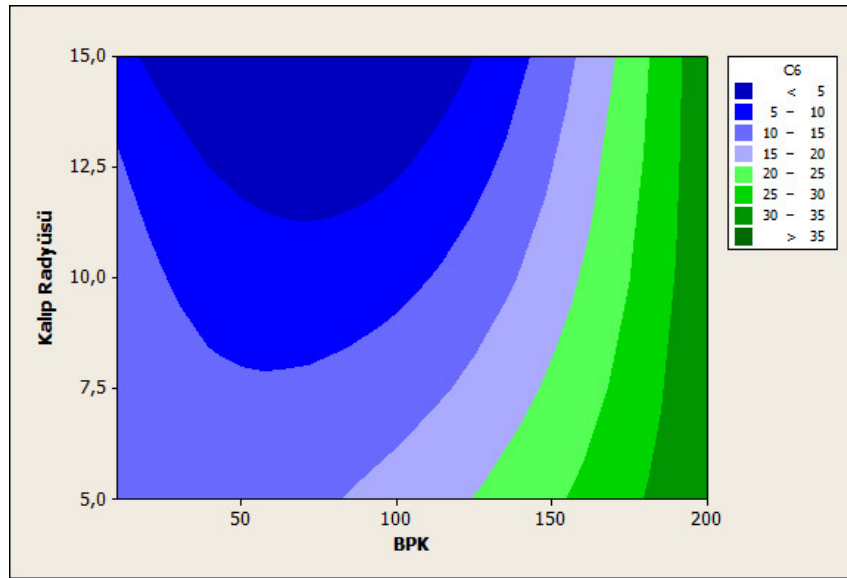


Şekil 6.6. Kalıp kavisi için S/N oranları ve ortalamalar.

Yaptığımız deneylerde dört kontrol parametresinden herhangi üçü sabit, diğeri değişken seviyeli bir tasarım uygulanmadığı için oluşan buruşma değerleri üzerindeki parametrelerin etkileri üç boyutlu grafikler kullanarak modellenmiştir. Kalıp kavisi ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.7'de verilmiştir. Bu grafiğe göre en düşük buruşma değeri kalıp kavisinin 3. Seviyesi ve BPK'nin 2. seviyesinde elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.8'de BPK ve kalıp kavisinin hangi seviyeleri için hangi buruşma değerlerinin elde edileceği renkli grafik olarak verilmiştir.



Şekil 6.7. Kalıp kavisinin ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

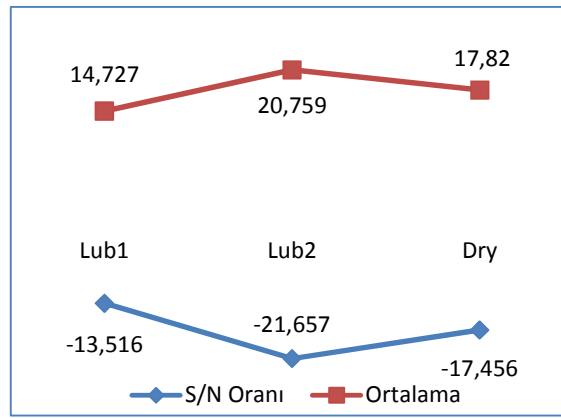


Şekil 6.8. BPK ve kalıp kavisinin seviyeleri için buruşma değerleri.

6.4.1.4. Yağlayıcının buruşma üzerindeki etkisi

Farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan derin çekme işleminde oluşan ortalama buruşma değerlerine ve S/N oranlarına ait değişim Şekil 6.9'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde ortalama en düşük buruşma miktarı 1. seviyede kullanılan yağlayıcıyla elde edildiği görülmektedir. Bunun sebebi 1. seviyede kullanılan yağlayıcı diğerlerine göre temas yüzeylerinde daha düşük sürtünme katsayısı değeri

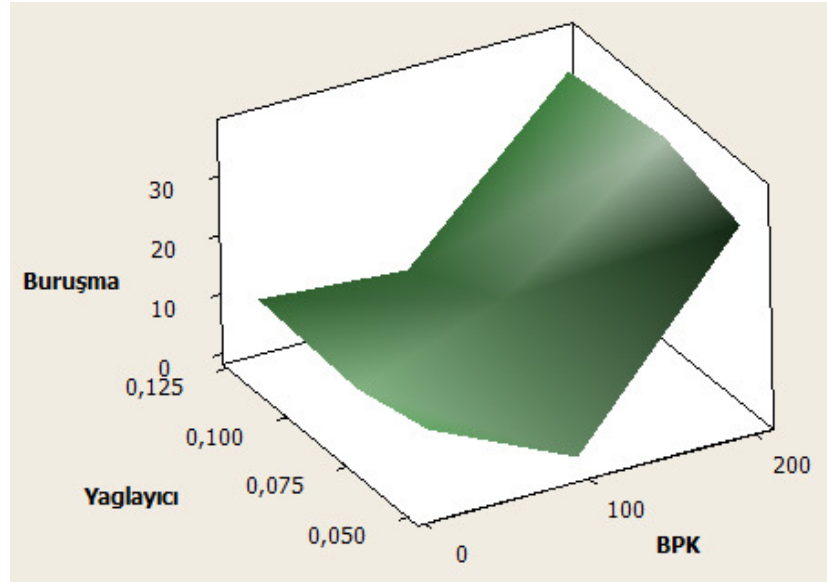
elde edildiğinden malzeme akışını kolaylaştırmıştır. Buda oluşan teğetsel gerilmelerin ve buruşmaların küçük olmasını sağlamıştır. Yağlayıcının 1. seviyesinde (Lub1) ortalama buruşma değeri 14.727 mm olurken 2. seviyede (Lub2) 20.759 mm ve 3. seviyede (Dry) 17.82 mm olduğu görülmektedir. Hâlbuki kuru sürtünme şartında yapılan derin çekme işlemindeki ortalama buruşma değerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Bunun sebebi Lub2'nin viskozitesi düşük olduğundan çekme işlemi sırasında oluşan basınçtan dolayı kuru sürtünmeyle hidrodinamik sürtünme şartlarının aynı anda oluşmasından kaynaklandığı ve malzemede farklı akış hızları meydana geldiği söylenebilir.



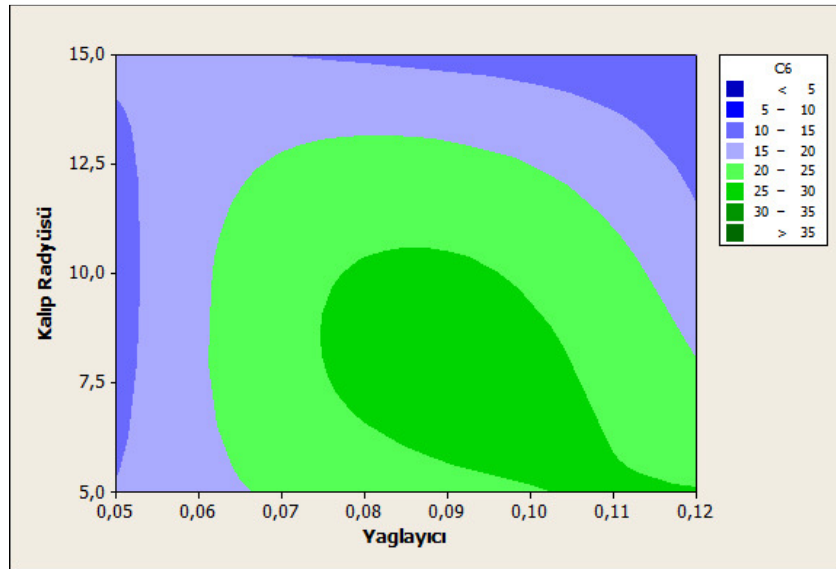
Şekil 6.9. Yağlayıcı için S/N oranları ve ortalamalar.

Deneylerde Lub1 kullanılarak elde edilen en düşük buruşma değeri 0.30 mm olarak deney 10'da ölçülmüştür. Fakat burada oluşan düşük buruşma oranına BPK (100 kN) ve kalıp kavisinin (10 mm) etkisi de vardır. Derin çekme işleminde kullanılan yağlayıcının ürün kalitesi üzerindeki etkisi %4.50 ile BPK ve kalıp kavisinden sonra gelmesine rağmen kalıp kavisini ile ortalamaları arasındaki fark 1.2 mm'dir. Bunun için derin çekmede kullanılan yağlayıcı ürün kalitesini iyileştirilmesinde etkili olabilir.

Yağlayıcı ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.10'de verilmiştir. Bu grafiğe göre en düşük buruşma değeri yağlayıcının 1. seviyesi ve BPK'nin 2. seviyesinde elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.11'de yağlayıcı ve kalıp kavisinin farklı seviyelerde buruşma değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren renkli grafik verilmiştir.



Şekil 6.10. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

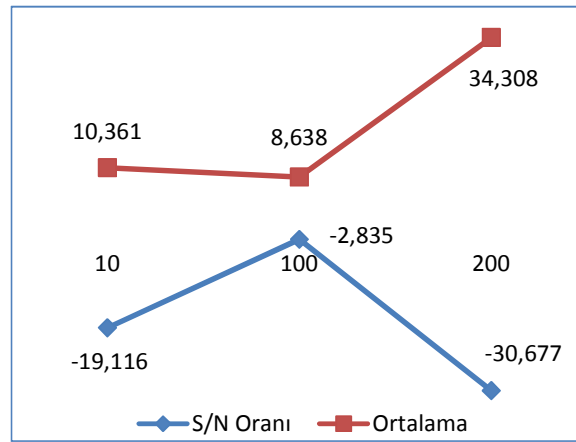


Şekil 6.11. Yağlayıcı ve kalıp kavisinin seviyeleri için buruşma değerleri.

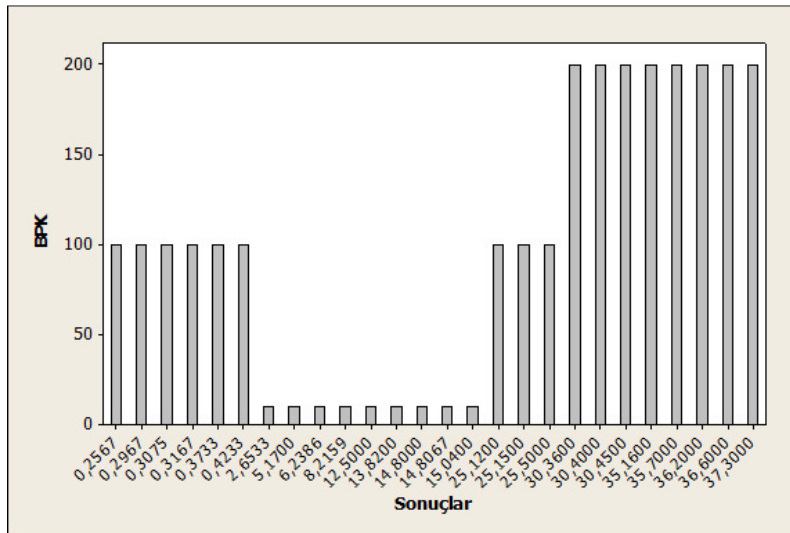
6.4.1.5. BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi

Derin çekme işleminde %53.16 oranla en fazla etkiye sahip değişken BPK'dir. Farklı BPK seviyelerinde gerçekleştirilen derin çekme işleminde parçalarda oluşan ortalama buruşma değerleri ve S/N oranları Şekil 6.12'de gösterilmiştir. BPK'nin 2.

seviyesinde (100 kN) ortalama buruşma değeri 8.638 mm olurken 1. seviyede ortalama buruşma değeri artmıştır. 3. seviyede ise ifade edilen ortalama değer ürünün kullanılamaz durumda olduğunu bu da derin çekme işleminde en uygun BPK'nin 2. seviye olduğunu gösterir. Ve bu değerden uzaklaştıkça ürün kalitesi bozulmaktadır. Eğer baskı plakası kuvveti küçük olursa buruşma, büyük olursa yırtılma gerçekleşmektedir (Şekil 6.13). Diğer parametreler, derin çekme işleminde istenilen parçanın elde edilebilmesi için gerekli BPK'yi daha geniş bir alana yayarak işlem penceresini genişletmektedir. BPK'nin 2. seviyesinde gerçekleştirilen deneylerde en düşük buruşma deney 2'de 0.31 mm olarak ölçülmüştür.

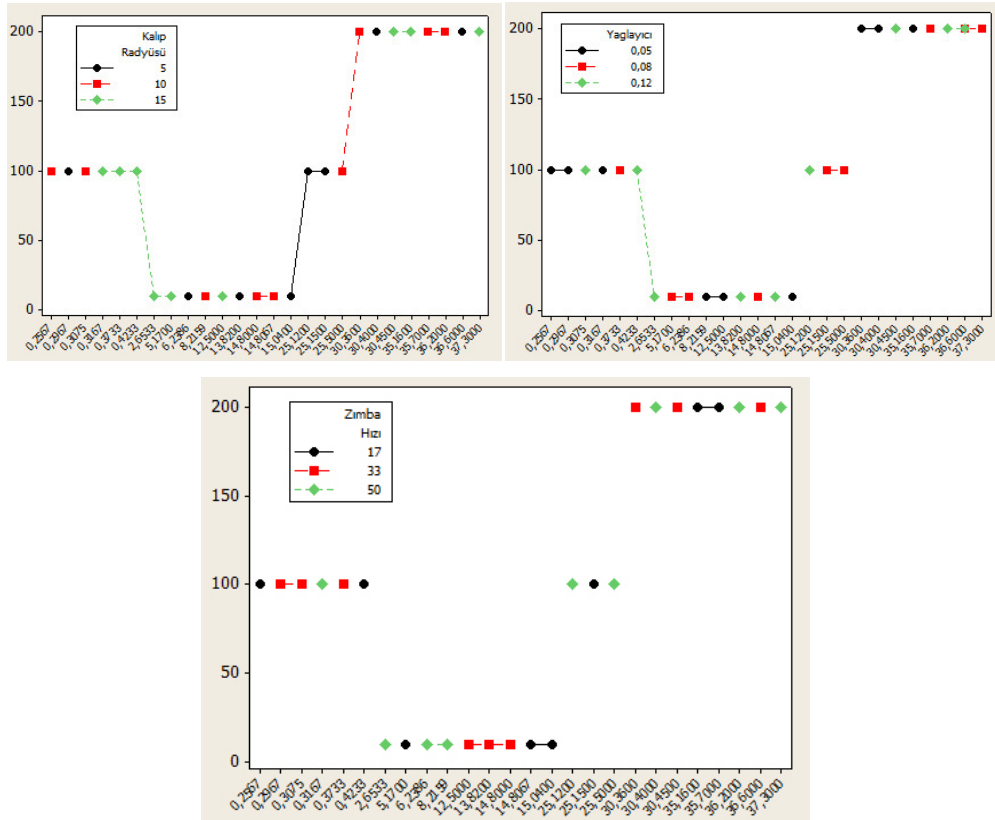


Şekil 6.12. BPK için S/N oranları ve ortalamalar.



Şekil 6.13. BPK'e göre ürün kalitesindeki değişim.

Kalıp kavisi, yağlayıcı ve zımba hızı ile birlikte BPK seviyelerine göre sonuçlar Şekil 6.14’de gösterilmektedir. Grafikte ‘x eksenı’ deney sonucunda buruşma için kalite değerini, ‘y eksenı’ ise BPK’nın seviyelerini göstermektedir. BPK’nın 2. seviyesinde düşük buruşma miktarı için kontrol faktörlerinin her bir seviyesinin istenilen sonucu verdiği görülmektedir. Fakat kalıp kavisinin 3. seviyesi, yağlayıcının 1. seviyesi ve zımba hızının 2. seviyesi tekrarlı olarak istenilen sonuçları vermiştir. Eğer kontrol faktörlerinin bu seviyeleri kullanılırsa, derin çekme işlemi istenilen şekilde sonuçlanacaktır.

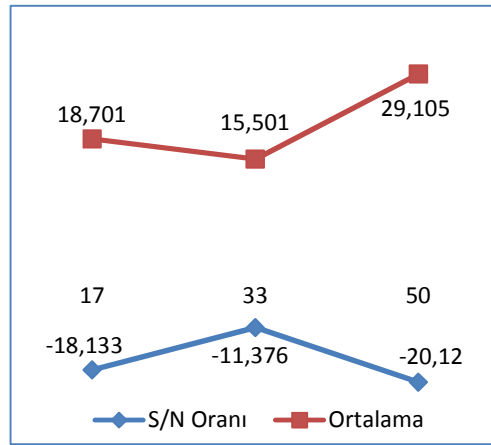


Şekil 6.14. BPK ve diğer kontrol faktörlerine göre deney sonuçları.

6.4.1.6. Zımba hızının buruşma üzerindeki etkisi

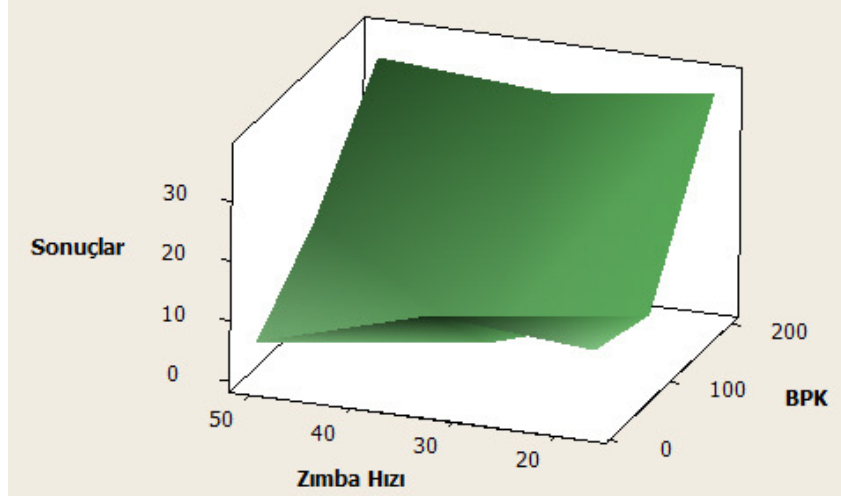
Buruşmada % 2.31 oranla en az etkiye sahip faktör zımba hızıdır. Farklı zımba hızlarında yapılan derin çekme işleminde ortalama buruşma değerlerine ve S/N oranlarına ait değişim Şekil 6.15’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde zımba

hızının 2. seviyesinde (33 mm/s) ortalama buruşma değeri 15.501 mm, 1. seviyesinde (17 mm/s) ise 18.701 mm olduğu görülmektedir. Bu da iki seviyenin ürün kalitesine olan etkilerinin birbirine yakın olduğunu gösterir. Zımba hızının 3. seviyesinde ise ortalama değer arttığından ürün kalitesinin istenilenden uzaklaştığı söylenebilir. Zımba hızının buruşma oluşumunda fazla sayılmayacak derecede az etki göstermesinin sebebi zımba hızının buruşmanın oluşumuna sebep olan teğetsel kuvvetlere etkisinin az olmasıdır.



Şekil 6.15. Zımba hızı için S/N oranları ve ortalamalar.

Zımba hızı ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.16'de verilmiştir. Grafiğe göre, BPK'nin 1. ve 2. seviyeleri için zımba hızını değiştirerek yapılan deneylerde düşük buruşma miktarı görülürken, BPK'nin 3. seviyesi için zımba hızı değiştirilerek yapılan deneylerde ise ürünün istenilen kaliteden uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 6.16. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

Zımba hızı ile kalıp kavisi arasındaki etkileşim %6.45 olarak belirlenmiştir. Bu da zımba hızı aynı seviyede tutulurken, kalıp kavisi değiştiğinde zımba hızının ürün kalitesine olan etkisinin değiştiğini ifade etmektedir.

6.4.1.7. Buruşma için doğrulama deneyinin yapılması

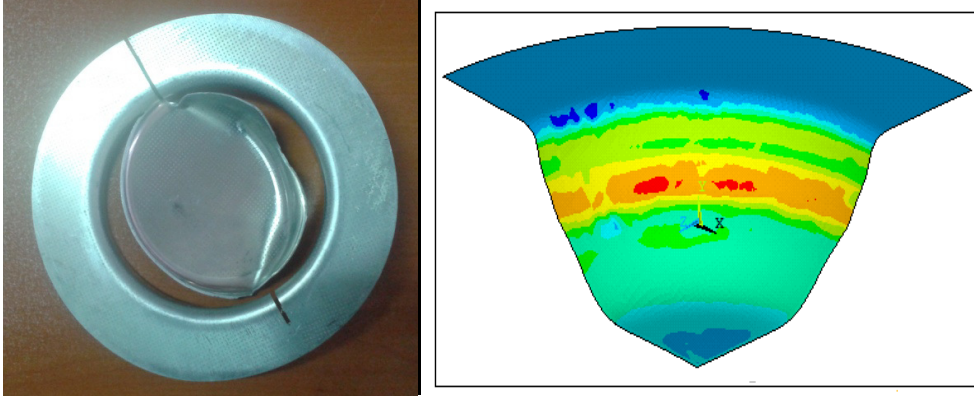
Deney sonuçları Varyans analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve seçilen faktörlerin en iyi, en kötü ve mutlak en iyi değerleri belirlenmiştir (Tablo 6.9). En iyi belirlenirken S/N oranlarından maksimum, en kötü için S/N oranlarından minimum seçilmiştir. Mutlak en iyi için ise değişkenlerin optimum seviyeleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 6.9. Buruşmaya Göre deney setinin en iyisi, en kötüsü ve mutlak en iyisi.

	Deney Numarası	Değişkenler	S/N Oranı	Deney Sonuçları
En iyi	Deney 10	A2B1C2D2	11,8126	0,2567
En kötü	Deney 7	A1B3C2D3	-31,2696	36,600
Mutlak en iyi	Önerilen kombinasyon	A3B1C2D2	12,1214	0,2104

Deneyler sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu (A3B1C2D2) ile yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen buruşma değeri en iyi performans karakteristiğine ulaştığı için istenen durum gerçekleşmiştir.

Şekil 6.17’de deney 7’nin deneysel ve SEY sonuçları görülmektedir. BPK’nin fazla olması malzeme akışını engellediği için yırtılma gerçekleşmiştir.



Şekil 6.17. Buruşmaya göre en kötü kombinasyonun deneysel ve SEY sonuçları.

Herhangi bir deney tasarım yönteminin son adımı doğrulama deneyinin hesaplanmasıdır. Bunun için Taguchi deneysel tasarımının önerdiği mutlak en iyi alınarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılır. Buruşma için S/N oranı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir,

$$\hat{n} = T + (A_3 - T) + (B_1 - T) + (C_2 - T) + (D_2 - T) \quad (6.1)$$

Burada

\hat{n} = tahmin edilen değer ortalaması

T=Bütün deneylerin ortalaması

A_3, B_1, C_2 ve D_2 = faktörler için ortalama S/N oranları

Formül düzenlenirse

$$\hat{n} = A_3 + B_1 + C_2 + D_2 - 2T \quad (6.2)$$

Buruşma için formül 6.2’de değerler yerine yazılırsa S/N oranları elde edilir (Tablo 6.10).

Tablo 6.10. Buruşma için doğrulama deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

	Optimal control parameters	
	Tahmin	Deney
Seviye(Buruşma)	A ₃ B ₁ C ₂ D ₂	A ₃ B ₁ C ₂ D ₂
S/N oranı	4.9179	5.0362

Yapılan tahminlerin güven aralığını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır;

$$CI = \left[\frac{F(1, n_2) \times V_e}{N_e} \right]^{0.5} \quad (6.3)$$

$F(1, n_2)$ F tablosundan F değeri (serbestlik derecesi 2 ve grup içi serbestlik derecesi 27 için)

V_e = Hata teriminin varyansı (Anova)

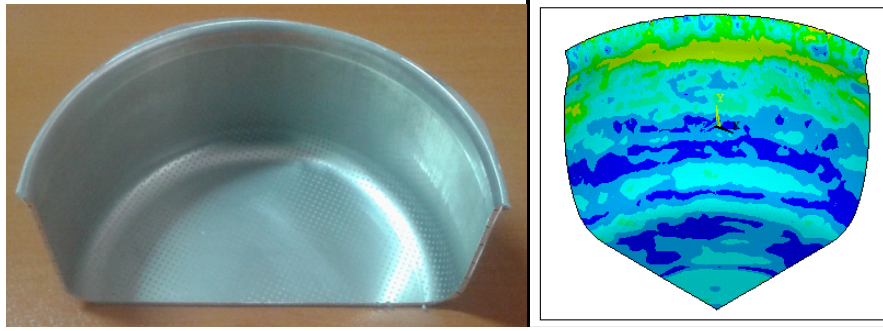
N_e = Tekrar sayısının etkisi

$$N_e = \frac{\text{Toplam deney sayısı (veya } S / N \text{ oranının sayısı)}}{1 + \text{Değişkenlerin serbestlik dereceleri toplamı}} \quad (6.4)$$

%99.5 güven aralığı için : $CI_{\text{buruşma}} = \pm 0.446 \text{ db}$ sonucu elde edilir.

6.4.1.8. Deneylerin doğrulanması

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre Taguchi yöntemiyle işlem değişkenlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyona göre buruşmanın en az oluşacağı faktörler A₃B₁C₂D₂ olarak tahmin edilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri kalıp kavisi= 15 mm, birinci yağlayıcı, zımba hızı= 33 mm/dak ve BPK= 100 kN'dur. Doğrulama deneyi yapıldıktan sonra buruşma değerini değerlendirmek için tekrar ölçme yapılmıştır. Ölçüm değeri tablo 6.9'da verilmiştir. Şekil 6.18'de doğrulama deneyinden elde edilen deneysel ve analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.18. Doğrulama deneyi (A₃B₁C₂D₂)

6.4.2. Yırtılma için yapılan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Derin çekme deneyleri sonucunda dokuz numunede yırtılma meydana gelmiştir. Ürün kalitesinin değerlendirilebilmesi için 27 numunenin ortak ölçüm yapılabilinecek bir kritere ihtiyaç vardır. İlk olarak numuneler kesilerek kalınlık dağılımı ölçülmüştür. 18 numunede kalınlık dağılımı ölçümleri gerçekleştirilirken yırtılma gerçekleşen numunelerde yırtılma ölçüm yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bunun sebebi numunelerde yırtılmadan önce boyun verme gerçekleşmesi ve incelmenin belli bölgelerde sınırlı kalmasıdır. Yırtılan numunelerde yırtılma bölgesinde yapılan kalınlık dağılımı ölçümleri yaklaşık '1.4 mm' olarak belirlenmiştir. Bu sınıra en yakın ölçüm '1.56 mm' ile deney 3'de ölçülmüştür (Tablo 6.11).

Tablo 6.11. Deney sonrası numunelerin kalınlık dağılımı.

Deney no	Ortalama Kalınlık Dağılımı
1	1.8
2	1.623333333
3	1.563333333
4	Yırtılma
5	Yırtılma
6	1.645
7	Yırtılma
8	1.8
9	Yırtılma
10	1.806666667
11	1.753333333
12	1.883333333
13	Yırtılma
14	1.87
15	Yırtılma
16	1.866666667
17	1.786666667
18	Yırtılma

Tablo 6.11. Deney sonrası numunelerin kalınlık dağılımı (Devamı).

Deney no	Ortalama Kalınlık Dağılımı
19	Yırtılma
20	1.92
21	1.866666667
22	1.903333333
23	1.843333333
24	Yırtılma
25	1.853333333
26	1.793333333
27	1.91

Yırtılma ölçütü olarak kap boyları ölçülmüştür. Yırtılma gerçekleşmeyen numunelerde numune derinliği esas alınırken, yırtılma gerçekleşen numunelerde ise flanş ile birlikte numune derinliği ölçülmüştür. Ve numune boyu uzadıkça et kalınlığında incelme olduğu tespit edilmiştir. Derin çekmeden sonra numunelerde oluşan uzama miktarları Bölüm 4’de verilmiştir. Uzama değerleri incelendiğinde ’75 mm – 96.40 mm’ arasındaki ölçümler yırtılma gerçekleşen numuneler, ’52.70 mm – 60 mm’ arasındaki ölçümler kalınlık azalmasının daha homojen olduğu numuneler ve ’44.40 mm – 51.43’ arasındaki ölçüm değerleri ise kalınlık yığılması olan numuneleri göstermektedir.

6.4.2.1. S/N analizi

Taguchi yönteminde performans belirlemede ve sisteme ait varyasyonu ölçmede S/N analizi kullanılmaktadır. Ürün kalitesinin yüksek olması için yırtılmanın olmaması istendiği için sinyal-gürültü faktörlerinin analizinde ‘en küçük en iyidir’ yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu yaklaşıma göre elde edilen buruşma değerleri ve S/N değerleri tablo 6.12’ de gösterilmiştir.

Tablo 6.12. Deney sonrası yırtılma değerleri ve S/N oranları.

Deney no	Kalıp Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BPK (kN)	Yırtılma	S/N
1	5	Lub 1	17	10	50,96	-34,14
2	5	Lub 1	33	100	58,56	-35,35
3	5	Lub 1	50	200	60,00	-35,56
4	5	Lub 2	17	100	75,00	-37,50
5	5	Lub 2	33	200	92,47	-39,32
6	5	Lub 2	50	10	54,60	-34,74
7	5	Kuru	17	200	90,13	-39,10

Tablo 6.12. Deneysel sonrası yırtılma değerleri ve S/N oranları (Devamı).

Deneysel no	Kalıp Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (mm/s)	BPK (kN)	Yırtılma	S/N
8	5	Kuru	33	10	50,30	-34,03
9	5	Kuru	50	100	77,50	-37,79
10	10	Lub 1	17	100	54,30	-34,70
11	10	Lub 1	33	200	55,30	-34,85
12	10	Lub 1	50	10	46,80	-33,40
13	10	Lub 2	17	200	90,51	-39,13
14	10	Lub 2	33	10	49,90	-33,96
15	10	Lub 2	50	100	96,40	-39,68
16	10	Kuru	17	10	48,70	-33,75
17	10	Kuru	33	100	54,46	-34,72
18	10	Kuru	50	200	83,70	-38,45
19	15	Lub 1	17	200	92,00	-39,28
20	15	Lub 1	33	10	44,40	-32,95
21	15	Lub 1	50	100	54,50	-34,73
22	15	Lub 2	17	10	51,43	-34,22
23	15	Lub 2	33	100	52,80	-34,45
24	15	Lub 2	50	200	89,00	-38,99
25	15	Kuru	17	100	52,70	-34,44
26	15	Kuru	33	200	53,94	-34,64
27	15	Kuru	50	10	51,40	-34,22

Derin çekme işleminde yırtılmaya her bir kontrol faktörünün etkisinin analizi S/N Tablosu kullanılarak yapılmıştır. Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’de her bir kontrol faktörünün seviyesinin değişimiyle S/N oranlarının ve ortalamalarının nasıl değiştiğini göstermektedir.

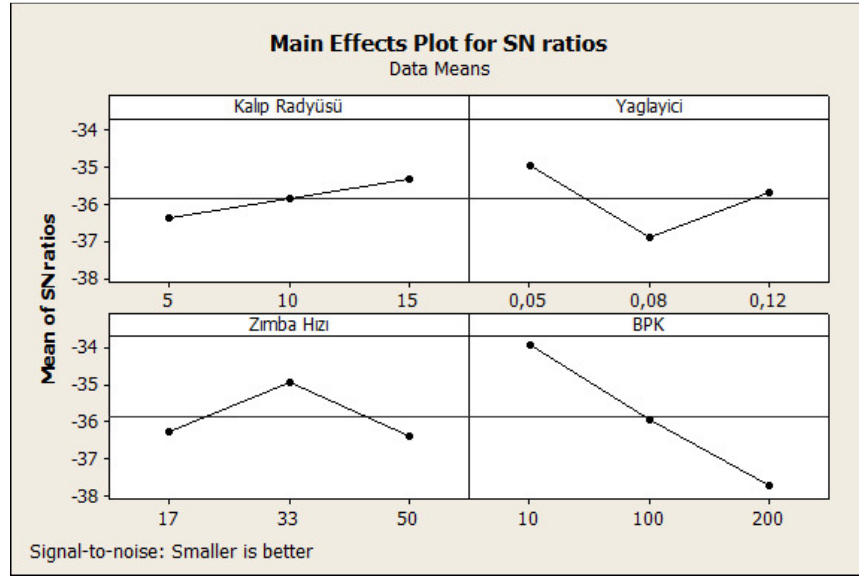
Tablo 6.13. Kontrol faktörleri için S/N oranları.

Seviye	Köşe Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (m/min)	BPK (kN)
1	-36,39	-35,00	-36,25	-33,94
2	-35,85	-36,89	-34,92	-35,93
3	-35,32	-35,68	-36,40	-37,70
Delta	1,07	1,89	1,48	3,77
Rank	4	2	3	1

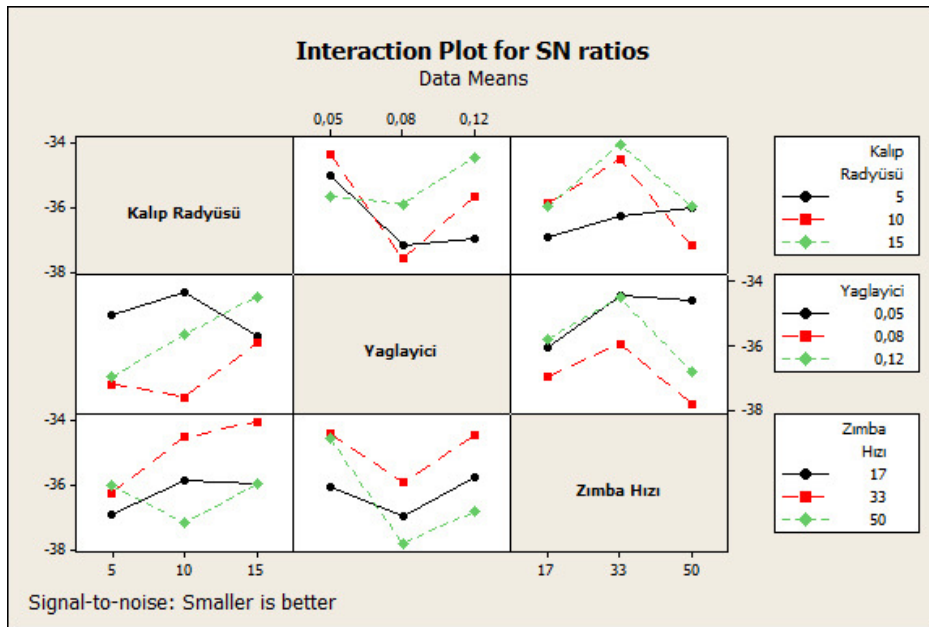
Tablo 6.14. Kontrol faktörleri için ortalama değerler.

Seviye	Köşe Kavisi (mm)	Yağlayıcı	Zımba Hızı (m/min)	BPK (kN)
1	67.72	57.42	67.30	49.83
2	64.45	72.46	56.90	64.02
3	60.24	62.54	68.21	78.56
Delta	7.48	15.03	11.31	28.73
Rank	4	2	3	1

Şekil 6.19’da her bir kontrol faktörü için S/N oranları çizdirilmiştir. Kalıp kavisi incelendiğinde kavis değeri arttıkça S/N oranının ve ortalamanın düştüğü görülmektedir. Yağlayıcıda en düşük S/N oranı ve ortalama seviye 1’de yakalanmıştır. Zimba hızına bakıldığında 33 mm/s yırtılmadan en uzak seviye, dördüncü faktörde ise BPK’nin artmasıyla kalitenin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.19. a) Kalıp kavisi, b) yağlayıcı, c) zimba hızı, d) BPK’nin buruşmaya etkileri ve S/N oranları.



Şekil 6.20. Buruşma için işlem değişkenlerinin arasındaki etkileşimin çizdirilmesi.

6.4.2.2. Varyans analizi (ANOVA)

Deneyler sonucunda yırtılma için yapılan ölçümler kullanılarak Anova Tabloları oluşturulmuştur. Anova Tablolarında yırtılmaya etki eden parametrelerin etki oranları ve birbiriyle olan etkileşimleri yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.15 incelendiğinde buruşmayı en çok etkileyen parametrenin % 49.687'lik oranla BPK olduğu görülmektedir. Daha sonra sırayla % 12.862'lik zımba hızı, %9.268'lik oranla yağlayıcı ve %4.005'lik oranla kalıp kavisi gelmektedir. Kontrol faktörlerinin arasındaki etkileşim oranları ise kalıp kavisi/yaglayıcı (AxB) %9.296, kalıp kavisi/zımba hızı (AxC) % 6.039 ve yağlayıcı/zımba hızı (BxC) %5.263 olduğu görülmektedir. Dikkat edilirse hataların buruşmaya olan etki oranı %3.577'lik olarak belirlenmiştir. Bu hata oranı deneyde bizim seçtiğimiz kontrol faktörlerinin dışında etkileşim halinde olan diğer faktörler sonucunda oluşmuştur ve buruşmaya göre düşük ve kabul edilebilir seviyede kalmıştır.

Tablo 6.15. Buruşma için Anova analizinin sonuçları.

Kontrol faktörü	SD	KT	Variance	Ftest	Ftable	P (%) ^a
A- Kalıp Kavisi	2	5,1520	5,1520	2,5760	3,36b	4,005
B- Yağlayıcı	2	16,542	16,542	8,2714	10,7b	12,862
C- Zımba Hızı	2	11,919	11,919	5,9598	7,77b	9,268
D- BPK	2	63,903	63,903	31,951	41,6b	49,687
A x B	4	11,956	11,919	2,9592	3,90c	9,296
A x C	4	7,7674	7,7674	1,9418	2,53c	6,039
B x C	4	6,7688	6,7688	1,6922	2,21c	5,263
Error	6	4,6009	4,6009	0,7668		3,577
Toplam	26	128,61				
A x B	4	11,956	11,919	2,9592	3,90c	9,296

KT: kareler toplamı; SD: serbestlik derecesi; P: yüzdeler katkı

^a yüzdeler katkı

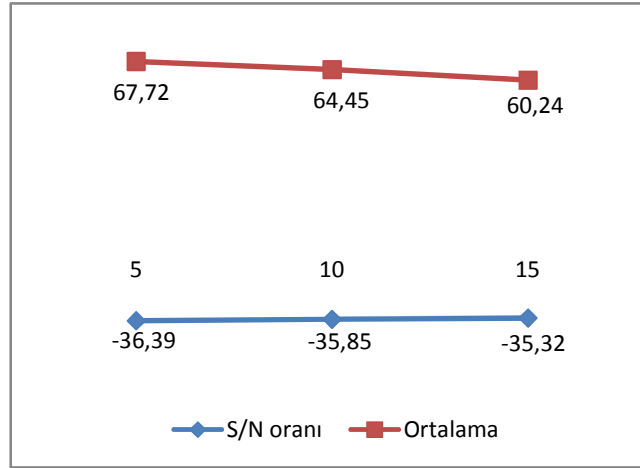
^b99.5% güven seviyesi

^c90% güven seviyesi

6.4.2.3. Kalıp kavisinin yırtılma üzerindeki etkisi

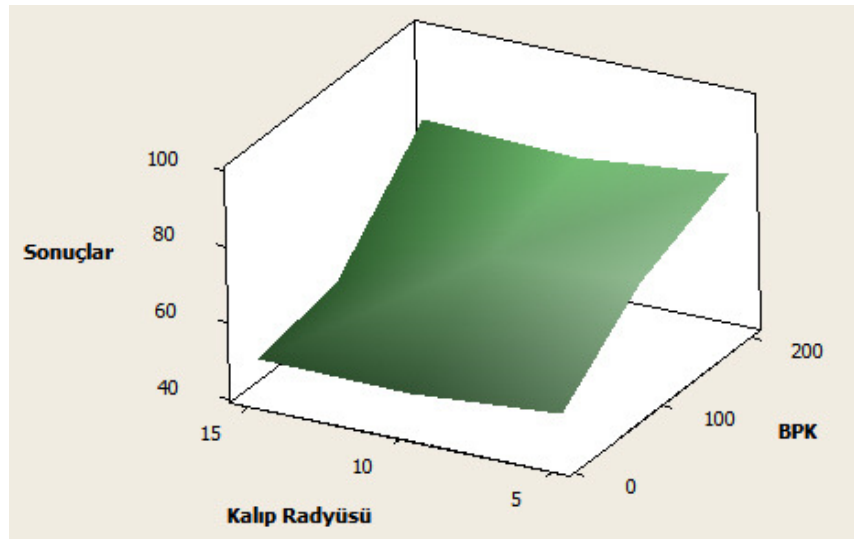
Yırtılmada % 4.005 oranla en az etkiye sahip faktör kalıp kavisidir. Kalıp kavisinin artmasıyla ortalama değerin ve S/N oranının düştüğü (Şekil 6.21) ve kalitenin arttığı belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde kalıp kavisinin 3. Seviyesinde (15 mm) ortalama yırtılma değeri 60.24 mm, 1. seviyesinde (5 mm) ise 67.72 mm olduğu görülmektedir. İki seviye arasındaki ortalama farkının az olması da bu faktörün

yırtılma açısından ürün kalitesine olan etkisinin az olduğunu göstermektedir. Farklı kalıp kavisleri malzeme akışını etkilediği söylenebilir. 5 mm köşe kavisine sahip olan bir kalıptaki malzeme akışı 15 mm köşe kavisine sahip kalıptaki malzeme akışına göre daha zor olacaktır. Grafikten anlaşılacağı gibi bu iki kalıp kavisinin malzeme akışına olan etkisi yırtılma açısından diğerlerine göre düşüktür.



Şekil 6.21. Kalıp kavisini için S/N oranları ve ortalamalar.

Kalıp kavisini ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.22'de verilmiştir. Bu grafiğe göre BPK'nin üç seviyesinde de kalıp kavisinin sonuçları fazla etkilemediği görülmektedir.

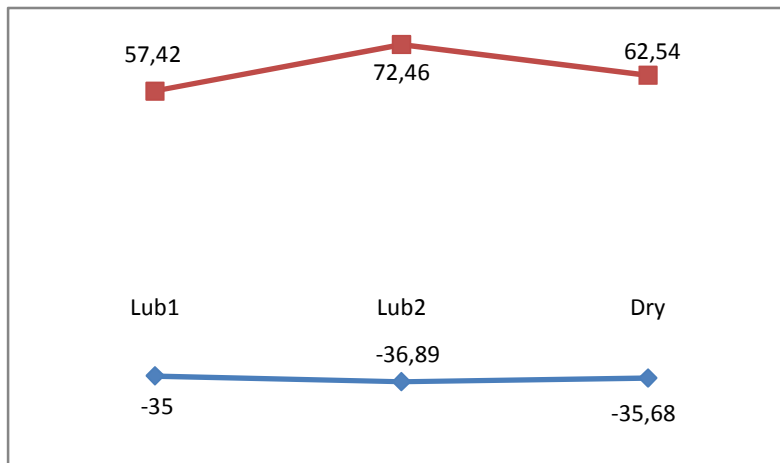


Şekil 6.22. Kalıp kavisinin ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

6.4.2.4. Yağlayıcının yırtılma üzerindeki etkisi

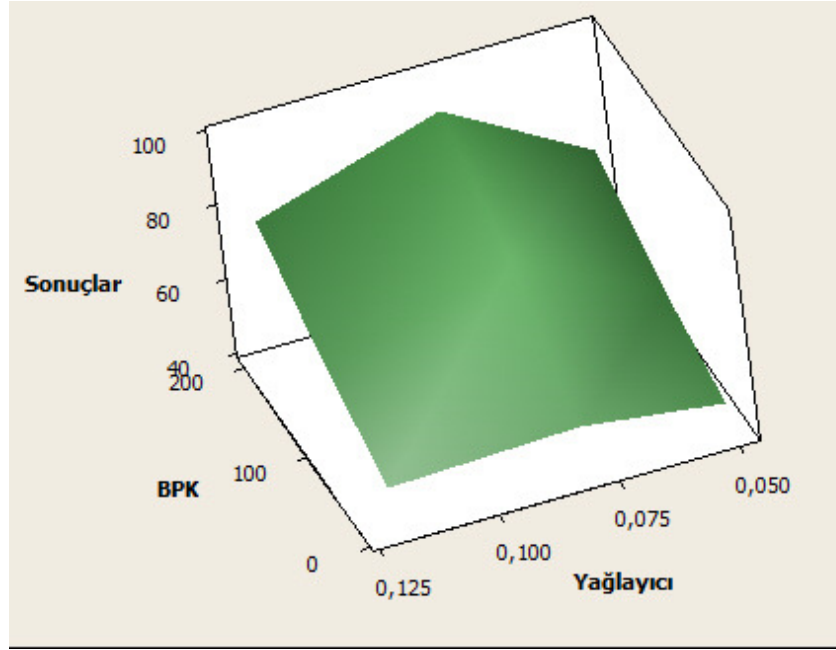
Yağlayıcı % 12.862 oranla BPK'den sonra en fazla etkileye sahip olan faktördür. Farklı yağlayıcılar kullanılarak yapılan derin çekme işleminde oluşan ortalama uzama değerlerine ve S/N oranlarına ait değişim Şekil 6.23'de gösterilmiştir. En düşük uzama yağlayıcının 1. Seviyesinde ölçülmüştür. Uzamada da buruşmada olduğu gibi 1. Seviyede kullanılan yağlayıcı malzeme akışını kolaylaştırmıştır. Bu da malzemenin uzama miktarının artmasını önlemektedir. Yağlayıcının 1. Seviyesinde (Lub1) ortalama uzama değeri 57.42 mm olurken 2. Seviyede (Lub2) 72.46 ve 3. Seviyede (Dry) 62.54 olduğu görülmektedir. Bunun düşük viskoziteye sahip Lub2'nin çekme işlemi sırasında oluşan basınçtan dolayı malzemenin bazı bölgelerinde kuru sürtünme oluşmasından kaynaklandığı söylenebilir. Derin çekme işlemine uygun bir yağlayıcı kullanılırsa, bu yağlayıcı malzeme ile kalıp seti arasındaki sürtünmeyi azaltacağından malzeme akışı sağlanacaktır ve et kalınlığında meydana gelen azalma en aza indirilebilecektir.

Deneylerde Lub1 kullanılarak elde edilen en düşük uzama değeri 44.4 mm olarak deney 20'de ölçülmüştür. Fakat burada oluşan düşük uzama oranına BPK (10 kN) ve kalıp kavisi (15) etkisi de vardır.



Şekil 6.23. Yağlayıcı için S/N oranları ve ortalamalar.

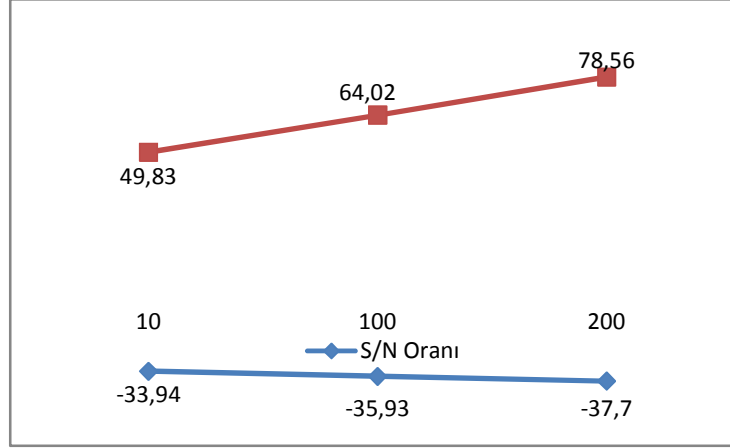
Yağlayıcı ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.24'de verilmiştir. Bu grafiğe göre en düşük buruşma değeri yağlayıcının 1. Seviyesi ve BPK'nin 2. Seviyesinde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.24. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

6.4.2.5. BPK'nin yırtılma üzerindeki etkisi

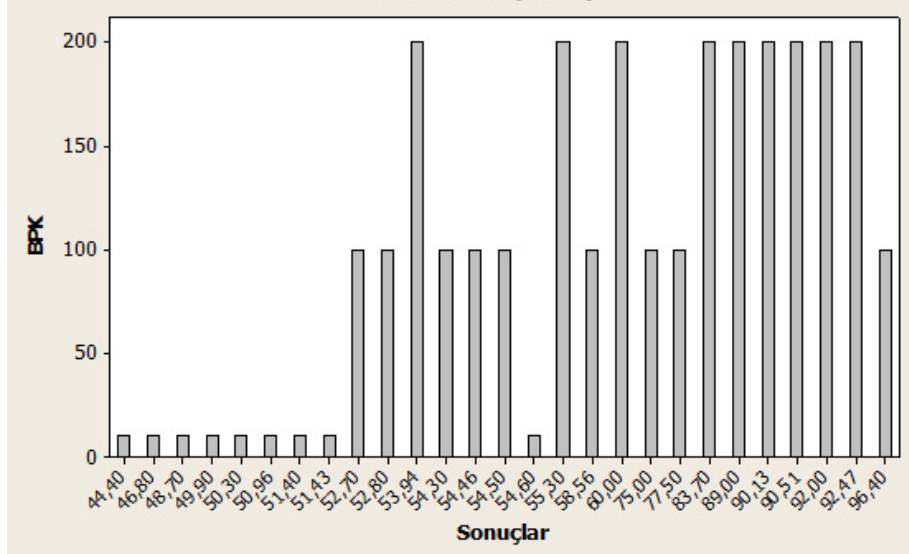
BPK'i %49.687 oranla derin çekme işleminde en fazla etkiye sahip değişkendir. Şekil 6.25'deki ortalama değerler ve S/N oranları incelendiğinde BPK'nin artmasıyla birlikte uzama oranının ve dolayısıyla incelmeyin arttığı görülmektedir. Çünkü BPK'i arttıkça malzeme hem derin çekme işlemine hem de gererek şekillendirmeye maruz kalmaktadır. BPK'nin 1. seviyesinde (10 kN) ortalama uzama değeri 49.83 mm olurken 2. seviyede (100 kN) ortalama uzama değeri 64.02, 3. seviyede (200 kN) ise 78.56 mm'dir. 1. seviyede ki ortalama uzama değeri ile 3. Seviyede ki ortalama uzama değeri arasındaki farkın büyük olması BPK'in etkisinin fazla olduğunu gösterir. Diğer parametreler, derin çekme işleminde istenilen parçanın elde edilebilmesi için gerekli BPK'i daha geniş bir alana yayarak işlem penceresini genişletmektedir.



Şekil 6.25. BPK için S/N oranları ve ortalamalar.

Şekil 6.26'da BPK'nin seviyelerine karşılık gelen uzama sonuçları görülmektedir. Grafik incelendiğinde BPK'i 200 kN olmasına rağmen 3, 11, 26 numaralı deneylerde parçaların uzama miktarlarının diğerlerine göre düşük olduğu belirlenmiştir. BPK'i fazla olmasına rağmen diğer kontrol faktörlerinden biri ve bir kaç malzeme akışını kolaylaştırmıştır. 3 ve 11 numaralı deneylerde sürtünme katsayısının, 26 numaralı deneyde ise köşe kavisinin etkisi olduğu söylenebilir.

15 numaralı deneyde ise BPK'i 100 kN olmasına rağmen parça yırtılmıştır. Deney değişkenleri incelendiğinde zımba hızı 50 mm/s ve yağlayıcı olarak Lub2 kullanılmıştır. Zımba hızı yüksek olduğundan ve yağlayıcı, parça ve kalıp seti arasında iyi yağlama yapamadığından işlem hızı malzeme akışından hızlı olmuş ve yırtılma gerçekleşmiştir.



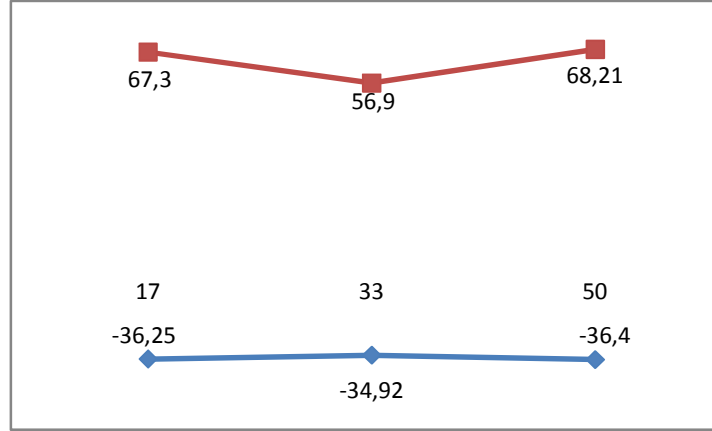
Şekil 6.26. BPK'e göre ürün kalitesindeki değişim.

Kalıp kavisi, yağlayıcı ve zımba hızı ile birlikte BPK seviyelerine göre sonuçlar Şekil 6.24'de çizdirilmiştir. Grafikte 'x eksen' deney sonucunda buruşma için kalite değerini, 'y eksen' ise BPK'nin seviyelerini göstermektedir. BPK'nin 2. seviyesinde düşük buruşma miktarı için kontrol faktörlerinin her bir seviyesinin istenilen sonucu verdiği görülmektedir. Fakat kalıp kavisinin 3. seviyesi, yağlayıcının 1. seviyesi ve zımba hızının 2. seviyesi tekrarlı olarak istenilen sonuçları vermiştir. Eğer kontrol faktörlerinin bu seviyeleri kullanılırsa derin çekme işlemi istenilen şekilde sonuçlanacaktır.

6.4.2.6. Zımba hızının uzama üzerindeki etkisi

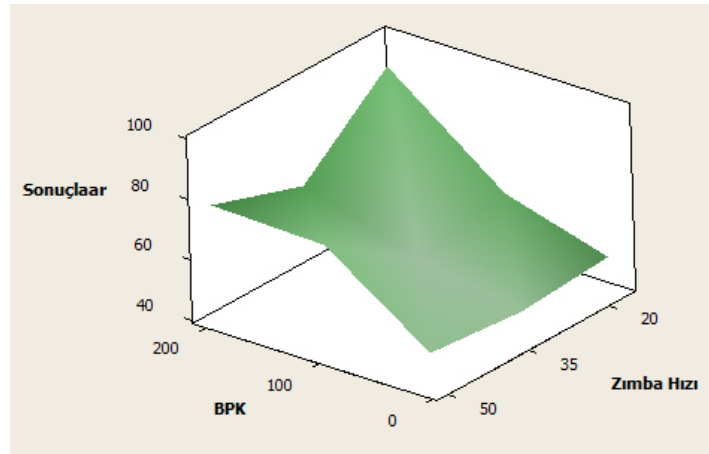
Derin çekme işleminde yırtılma için % 9.268 oranla zımba hızının uzama üzerindeki etkisi BPK ve yağlayıcıdan sonra gelmektedir. Farklı zımba hızlarında yapılan derin çekme işleminde ortalama uzama değerlerine ve S/N oranlarına ait değişim Şekil 6.27'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde zımba hızının 2. Seviyesinde (33 mm/s) ortalama buruşma değeri 56.9 mm, 1. seviyesinde (17 mm/s) ise 67.3 mm ve 3. seviyesinde (50 mm/s) 68.21 mm'dir. 1. ve 3. seviyelerde ortalama uzama değerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Yüksek çekme hızı malzeme şekil değişimine izin vermediği için incelleme ve yırtılma gerçekleşirken, düşük çekme hızı

ise BPK'nin parça üzerindeki etkisini arttıracığından kaliteyi olumsuz etkilemektedir.



Şekil 6.27. Zımba hızı için S/N oranları ve ortalamalar.

Zımba hızı ile birlikte BPK'nin buruşma üzerindeki etkilerini gösteren grafik Şekil 6.28'de verilmiştir. Bu grafiğe göre en düşük buruşma değeri BPK'nin bütün seviyeleri için zımba hızının 2. Seviyesinde (33 mm/s) ölçülmüştür.



Şekil 6.28. Yağlayıcı ve BPK'nin buruşma üzerindeki etkisi.

Zımba hızı ile kalıp kavisi arasındaki etkileşim % 6.039, zımba hızı ile yağlayıcı arasındaki etkileşim %5.263 olarak belirlenmiştir. Bu da zımba hızının ürün kalitesi üzerindeki etkisini kalıp kavisinin daha fazla etkilediği anlamına gelmektedir. Zımba hızının yüksek olduğu ve değiştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda ürün

kalitesini arttırmak için kalıp kavisi ve yağlayıcı zımba hızına göre seçilmelidir. Böylece istenilen ürün kalitesi elde edilebilir.

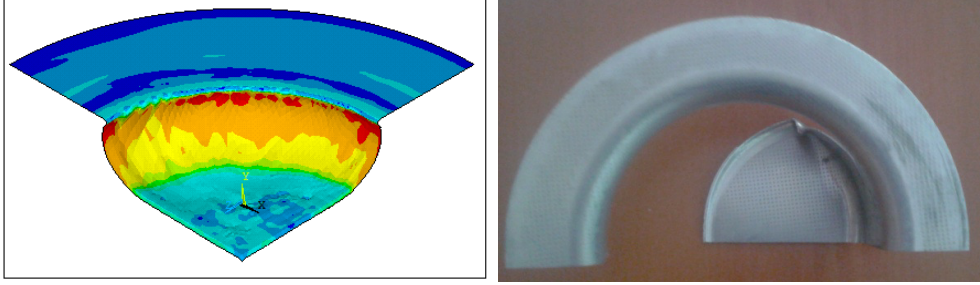
6.4.2.7. Yırtılma için doğrulama deneyinin yapılması

Deney sonuçları Varyans analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve seçilen faktörlerin en iyi, en kötü ve mutlak en iyi değerleri belirlenmiştir (Tablo 6.16). En iyi belirlenirken S/N oranlarında maksimum, en kötü için S/N oranlarından minimum seçilmiştir. Anı zamanda deney seti içindeki en iyi, mutlak en iyidir. Bundan dolayı ayrıca doğrulama deneyi yapmaya gerek kalmamıştır.

Tablo 6.16. Yırtılmaya göre deney setinin en iyisi, en kötüsü.

	Deney Numarası	Değişkenlerin Seviyeleri	S/N Oranı	Deney Sonuçları
En iyi	Deney 20	A3B1C2D1	-35,95	44,4
En kötü	Deney 15	A2B2C3D2	-39,69	96,4

Deneyler sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu (A3B1C2D1) ile yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen yırtılma değeri en iyi performans karakteristiğine ulaşmıştır. Yırtılma, kap duvarlarında ki homojen incelmeden sonra bölgesel incelme sonucunda ortaya çıkmaktadır. Derin çekme işleminde aşırı incelme istenmediği gibi kalınlık yığılması da istenen bir durum değildir. En iyi durumu ifade eden 15 numaralı deneyde aşırı incelmeden yırtılma oluşurken, 20 numaralı deneyde de kalınlık yığılmaları oluşmuştur. Tahmin yırtılma için geçerli olup iyi sonucu verirken, kalınlık yığılmasından dolayı ürün kalitesinden uzaklaşmıştır. Bunun sebebi BPK'nin yırtılma üzerindeki etkisidir. BPK'nin artışıyla malzeme akışı zorlaşacağından yırtılma riski artarken, düşük BPK değerlerinde ise teğetsel kuvvetler kalınlık yığılmasına sebep olacaktır. Şekil 6.29'da deney 15'in deneysel ve SEY sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.29. Yırtılma için en kötü kombinasyonun deney ve analiz sonuçları.

Yırtılma için formül 6.2'de değerler yerine yazılırsa S/N oranları elde edilir (Tablo 6.18).

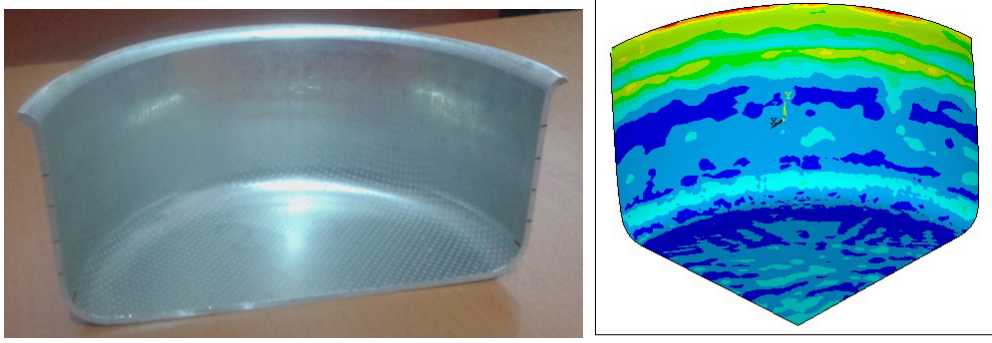
Tablo 6.17. Yırtılma için doğrulama deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

	Optimum kontrol parametreleri	
	Tahmin	Deney
Seviye(Buruşma)	A ₃ B ₁ C ₂ D ₁	A ₃ B ₁ C ₂ D ₁
S/N oranı	-33.6044	-32.95

%99.5 güven aralığı için : $CI_{buruşma} = \pm 2.08 db$ sonucu elde edilir.

6.4.2.8. Deneylerin doğrulanması

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre Taguchi yöntemiyle işlem değişkenlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyona göre yırtılma riskinin en az oluşacağı faktörler A₃B₁C₂D₁ olarak tahmin edilmiştir. Bu faktörlerin seviyeleri kalıp kavisi= 15 mm, birinci yağlayıcı, zımba hızı= 33 mm/dak ve BPK= 10 kN'dur (Şekil 6.30).

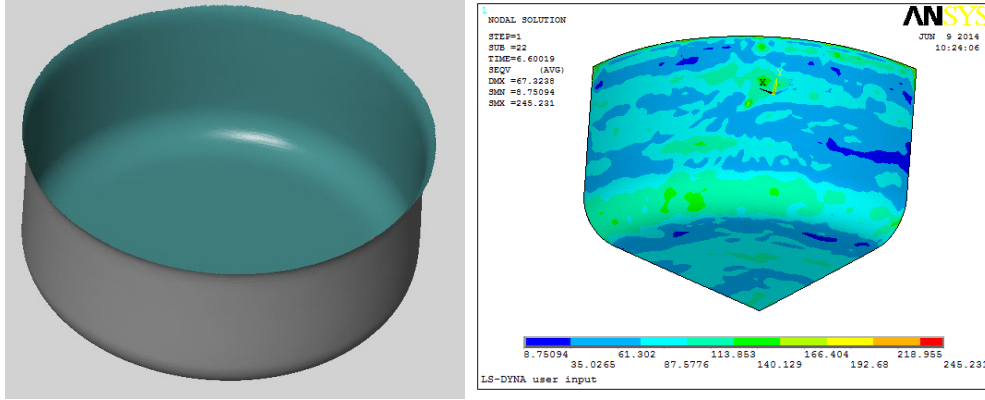


Şekil 6.30. Doğrulama deneyi ($A_3B_1C_2D_1$)

6.5. SEY Sonuçlarının İncelenmesi

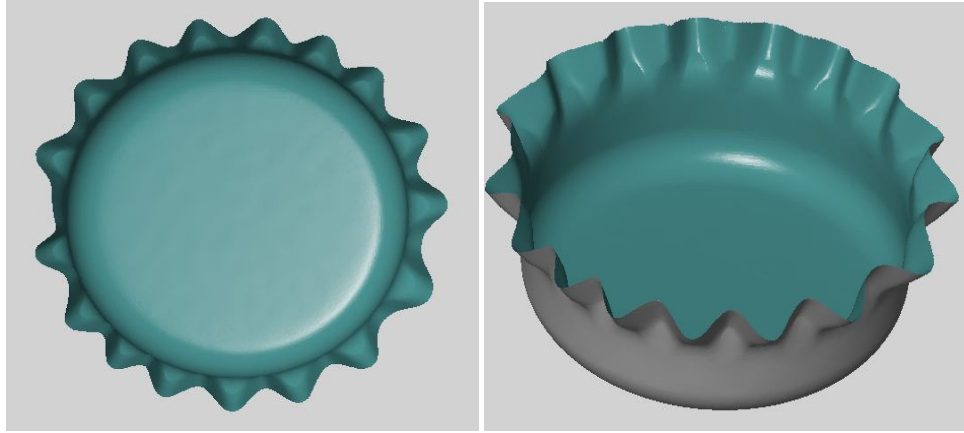
Bu bölümde derin çekme işleminde, işlem değişkenlerinin ürün kalitesine olan etkilerinin incelenmesi için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun için ilk önce Taguchi yöntemiyle hazırlanan deney setine uygun olarak ANSYS-LS DYNA programında derin çekme işleminin analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme esnasında çalışmada kullanılan sac malzemenin izotropik özelliği esas alınmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde elde edilen ürünleri buruşma, yırtılma ve bu iki kusurun olmadığı kaplar olarak üç kategoriye ayırmak mümkündür. Analiz sonuçları da bu kapsamda değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalardan farklı olarak yırtılmayı değerlendirmek için çekme sırasında oluşan gerilme değerleri kullanılabilir. Analiz sonuçlarının bazıları karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir.

Şekil 6.31’de 17 numaralı deneyin ($A_2B_3C_2D_2$) analiz ve sayısallaştırılmış deney sonucu görülmektedir. Deney sonucuyla analiz sonucu arasında büyük oranda benzerlik tespit edilmiştir. Analiz sonucunun gerilme değerleri incelendiğinde en yüksek gerilme değerinin çekme gerilmesi değerini geçtiği fakat bu sadece kabın üst kısmıyla sınırlı kaldığı ve şekillendirmeyi olumsuz etkilemediği belirlenmiştir.

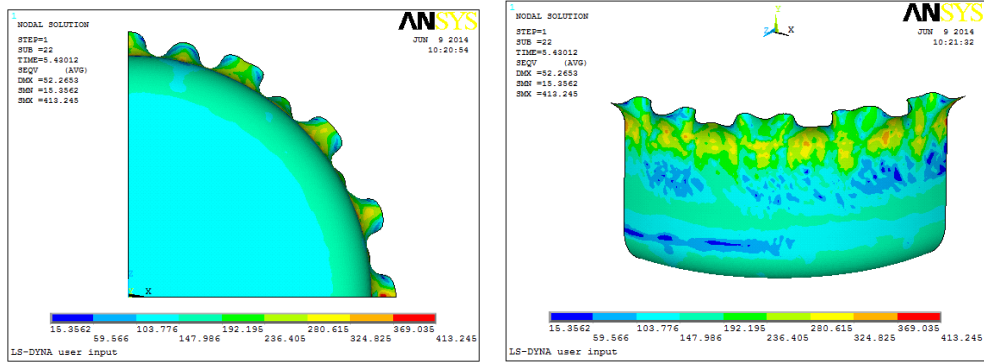


Şekil 6.31. Deneysel çalışma ve SEY sonuçları (Deney 17).

Şekil 6.32’de 14 numaralı deneyin ($A_2B_2C_2D_1$) sayısallaştırılmış deney sonucu, Şekil 6.33’de ise analiz sonuçları görülmektedir. Bu deney buruşmayla sonuçlanmıştır. Bunun en önemli sebebi BPK’nin yetersiz kalmasıdır. Deney sonucuyla analiz sonucu arasında buruşma şiddetinde fark tespit edilmiştir. Bu malzeme özelliklerinin tespitinin bazı kabullere dayalı olması ve test cihazlarından kaynaklanan hatalardan dolayı malzemenin mekanik özelliklerinin yaklaşık olarak belirlenmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

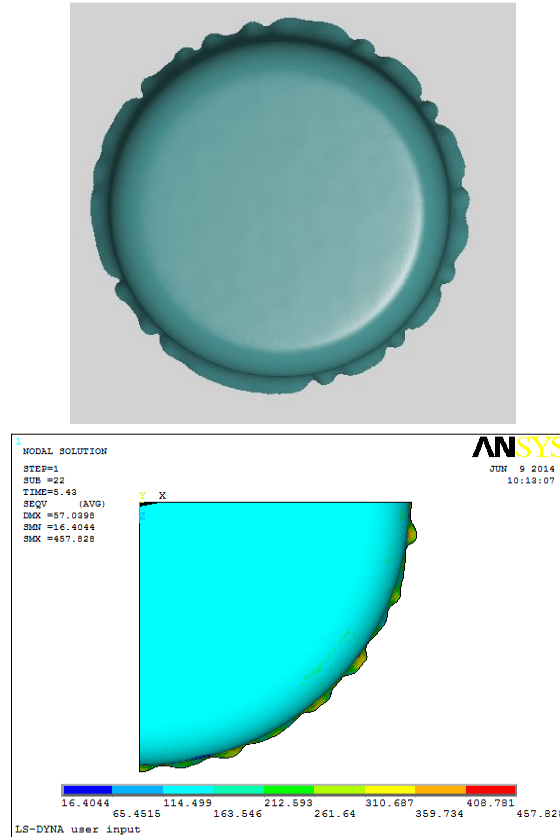


Şekil 6.32. Deneysel çalışma sonuçları (Deney 14).



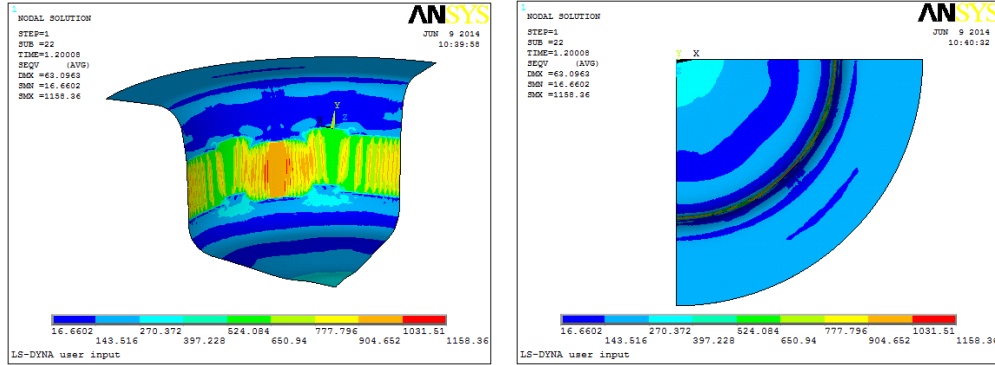
Şekil 6.33. Analiz sonuçları (Deney 14).

Şekil 6.34’da görülen 20 numaralı deneyde ($A_3B_1C_3D_1$) ise deney sonuçlarıyla analiz sonuçları arasında yakalanan benzerliğin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Simülasyonda kullanılan çekme şartlarıyla, deney koşulları birbirine ne kadar yaklaşırsa sonuçlarda o kadar yakın olmaktadır.



Şekil 6.34. Deney ve analiz sonuçları (Deney 20).

Şekil 6.35’de 20 numaralı deneyin ($A_2B_3C_3D_3$) analiz sonuçları görülmektedir. BPK’nin, zımba hızının ve sürtünme katsayısının fazla olmasından dolayı malzeme yırtılmıştır. Deney sonuçlarıyla büyük oranda benzerlik yakalanmıştır. Gerilme değeri incelendiğinde yaklaşık çekme gerilmesinin dört katına ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 6.35. Analiz sonuçları (Deney 18).

Bu sonuçlara göre analiz çalışmaları, derin çekmede işlem değişkenlerinin tahmini için kurulan YSA modelinin farklı değerlerini kapsayacak şekilde genişletilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

6.6. Deney Sonuçlarının YSA ile Analizi ve Değerlendirilmesi

Derin çekme işleminde ürün kalitesinin iyileştirilebilmesi için işlem değişkenlerinin tahmin edilebilmesi için YSA kullanılmıştır. Yapılan deneylerde işlem değişkenlerinin ürün kalitesini olumsuz etkileyen iki temel kusur olan buruşma ve yırtılma üzerindeki etkileri araştırılmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ürün kalitesinin tahmini için iki ağ oluşturulmuştur. Ağların eğitilmesinde ve test edilmesinde deneysel veriler kullanılmıştır.

Derin çekme deneylerinden elde edilen sonuçları değerlendirmek ve yırtılma/buruşma miktarını önceden tahmin edebilmek için MATLAB R2009b Neural Network’dan yararlanılmıştır.

Yapay Sinir Ağları yönteminin kullanılabilmesi için tüm verilerin 0 ile 1 arasına indirgenmeleri gerekmektedir. Bu nedenle tüm veriler normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla bütün değerler en 10'un katlarına bölünmüştür.

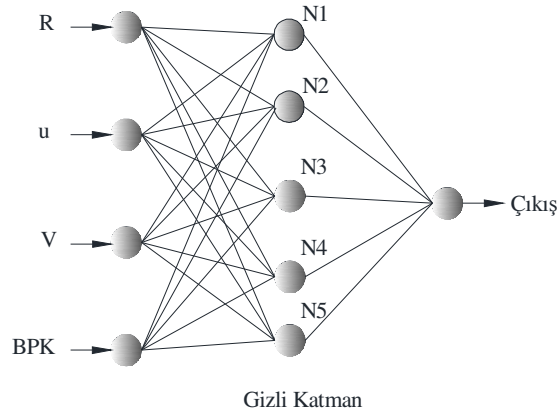
YSA ile modelleme iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama eğitim süreci, diğer aşama ise test sürecidir. Eğitim sürecinde ağa verilen giriş ve çıkış değerleri kontrol edilerek hata (sapma) değeri en aza indirilmeye çalışılırken, test aşamasında ise ağırlık değerleri değiştirilmeksizin giriş değerleri verilerek sonucun tahmin edilmesi istenir. Derin çekmede ürün kalitesinin tahmini için kullanılacak olan iki ağ içinde girdi bilgileri olarak; kalıp kavisi, sürtünme katsayısı, zımba hızı ve BPK değerleri alınmıştır.

Her iki ağ yapısında da YSA ile modellemede 4 adet deney sonuçları test edilmesi (doğrulanması) için seçilmiş, bunun dışında kalan diğer 23 adet deney değerleri ise YSA'nın öğrenme verisi olarak kullanılmıştır. Verilerin ayrılması işlemi belirli bir kurala göre yapılmamış olup; rastgele yapılmıştır.

Giriş ve çıkış bilgileri programa aktarıldıktan sonra, model için en uygun ağ yapısının analizine geçilmiştir. Program veri setindeki dört giriş ve bunlara bağlı olarak bir çıkış değerini inceleyerek uygun ağ yapısını bulmak için denemeler yapılmıştır.

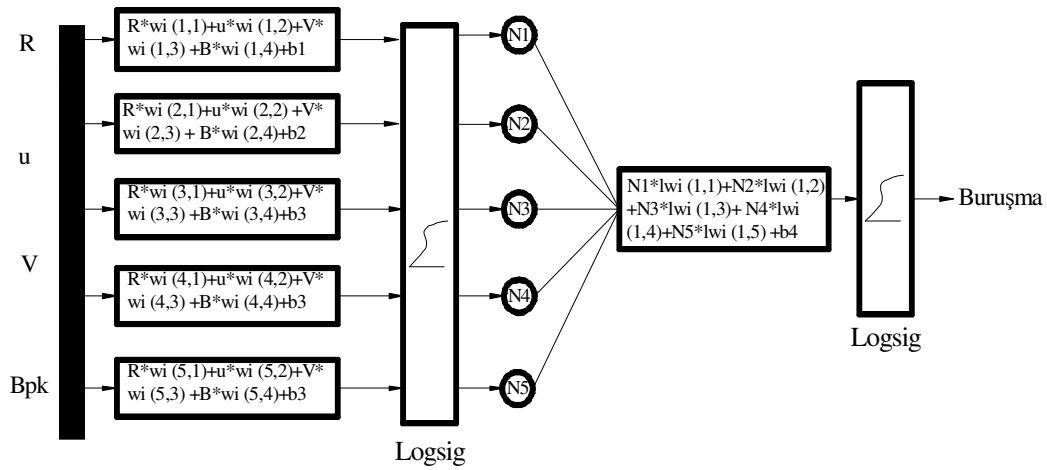
6.6.1. Buruşma için ağı modellemesi

Derin çekme işleminde ürün kalitesinin YSA'da modellenmesinde buruşma için uygun ağ yapısı 4-5-1 olarak belirlenmiştir. Buna göre giriş katmanında dört nöron, çıkış katmanında bir nöron ve gizli katmanda ise beş nöron bulunmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme yoluyla tespit edilmiştir. En uygun nöron sayısını tespit edebilmek için oluşturulan ağların eğitim ve test performansları karşılaştırılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısı beşi geçtiğinde test performansında düşme olduğu belirlenmiştir. Gizli katmanlarda kullanılacak nöronlar N1, N2, N3, N4 ve N5 olarak isimlendirilmiştir. Buruşma tahmininde kullanılan en uygun ağ modeli Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.36. Buruşma tahmini için YSA modeli.

Eğitim sonucunda nöronlara ait ağırlıklar bulunur ve YSA çıktı değerleri ile gerçek deney sonuçlarından ortalama sapma değeri hesaplanır. Derin çekmede işlem parametrelerine göre buruşma değeri iki tane Logsig aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Birincisi giriş katmanından sonra, diğeri ise gizli katmandan sonra yer almaktadır. Birinci transfer fonksiyonundan çıkan değerler gizli katmandaki nöronların giriş değerlerini oluştururken, ikinci transfer fonksiyonundan çıkan değerler net çıkışı vermektedir. Şekil 6.37’de giriş değerleri ile ağırlıkların çarpılması ve eşik değerinin eklenmesinden sonra aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesi görülmektedir. Birinci aktivasyon fonksiyonundan çıkan değerler gizli katmandaki nöronların girişlerini oluştururlar. Bu nöronların değerleri yeni ağırlıklarla çarpılarak eşlenik değeriyle birlikte toplama fonksiyonundan ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek net çıkış elde edilir. Tablo 6.18 ve tablo 6.19’da ağırlıklar ve eşik değerleri verilmiştir.



Şekil 6.37. Denklemler ve ağ yapısı (R= kalıp kavisi, u= sürtünme katsayısı, V=zımba hızı, B= BPK).

Tablo 6.18. Birinci ağırlıkların değerleri.

Wi (i,j)	1	2	3	4	5
1	-1,25036	1,92326	26,0023	45,92971	-1,25036
2	3,11844	6,48614	-12,704	1,88315	3,11844
3	2,22136	-18,0717	-13,6985	-21,2448	2,22136
4	-1,61551	-8,71657	12,14803	-34,8043	-1,61551
5	-17,8152	14,31924	4,16634	-50,9855	-17,8152

Tablo 6.19. İkinci ağırlıkların ve eşleniklerin değerleri.

b(1)	-18,432	lwi(1,1)	34,21848
b(2)	-0,97937	lwi(1,2)	-6,12785
b(3)	10,93245	lwi(1,3)	19,75193
b(4)	3,26166	lwi(1,4)	-26,4937
b(5)	5,20912	lwi(1,5)	22,32448
3b(6)	-17,0800		

Bir modelleme işleminin başarısını ifade etmek için kullanılan farklı kriterler geliştirilmiştir. Bu kriterler geliştirilen modelin temsil ettiği gerçek sistemin giriş değerlerine karşılık gelen deneysel sonuçlar ile modelin giriş değerlerine karşılık ürettiği tahminlerin arasındaki hata (fark) esas almaktadır [98]. Bu çalışmada geliştirilen YSA modelinin tahmin performansı farklı analiz yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Bu yöntemler; belirleme katsayısı (R^2) ortalama karesel hatanın karekökünün (RMSE) alınması suretiyle bulunan hata ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) performanslarıdır. Bu yöntemlerin hesaplanmasında kullanılan formüller sırasıyla (6.1, 6.2 ve 6.3) nolu eşitliklerde verilmiştir. RMSE değerleri hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki sapmayı göstererek korelasyonların performansı

hakkında bilgi verir. Diğer bir performans ölçütü tanımlanması olarak MAPE'nin tercih edilmesinin nedeni, veri setinin ölçek büyüklüğünden bağımsız olarak 0-100 aralığında kolayca karşılaştırılabilir küçük değerler üretmesidir [98]. MAPE değeri kadar küçük olursa elde edilen tahmin değerleri gerçek değerlere o oranda yaklaşacaktır.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (VB_i - VB_{ANN,i})^2}{\sum (VB_{ANN,i})^2} \right) \quad (6.5)$$

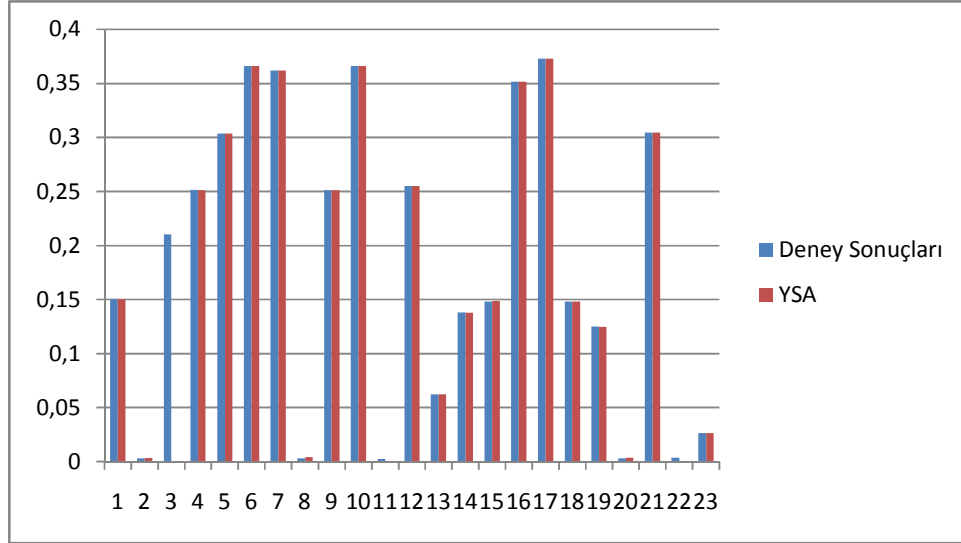
$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |VB_{ANN,i} - VB_i|^2 \right)} \quad (6.6)$$

$$MAPE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{VB_{ANN} - VB}{VB_{ANN}} \right| \times 100 \right)} \quad (6.7)$$

Tablo 6.20. YSA analizi değerlendirme kriterleri.

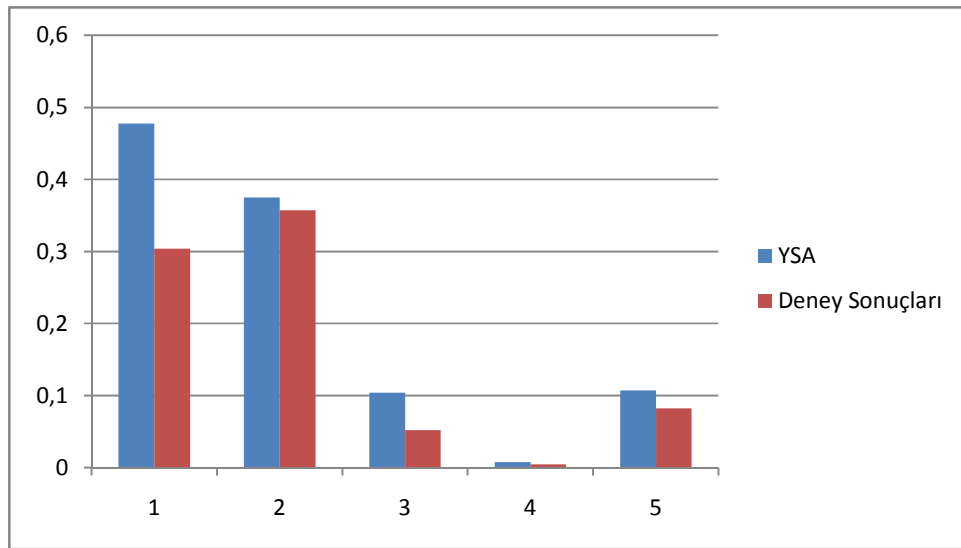
Ölçüm Performansı	YSA Eğitim	YSA Test
R ²	0,961277	0,91362
MAPE	0,024607	0,02953418
RMSE	0,0438821	0,038315748

Ortalama Karesel Hata Karekökü (RMSE), ölçme değerleri ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmakta ve RMSE değerinin sıfıra yaklaşması modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [98]. Elde edilen sonuçlar, YSA algoritmasının girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi iyi bir şekilde tanımladığını ve çıktı değişkeninin yüksek doğrulukla tahmin edildiğini ortaya koymaktadır (Tablo 6.20). Şekil 6.38 eğitim seti için deney sonuçlarıyla YSA'nın sonuçlarının yakın değerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.38. Eğitim sonucunda YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.

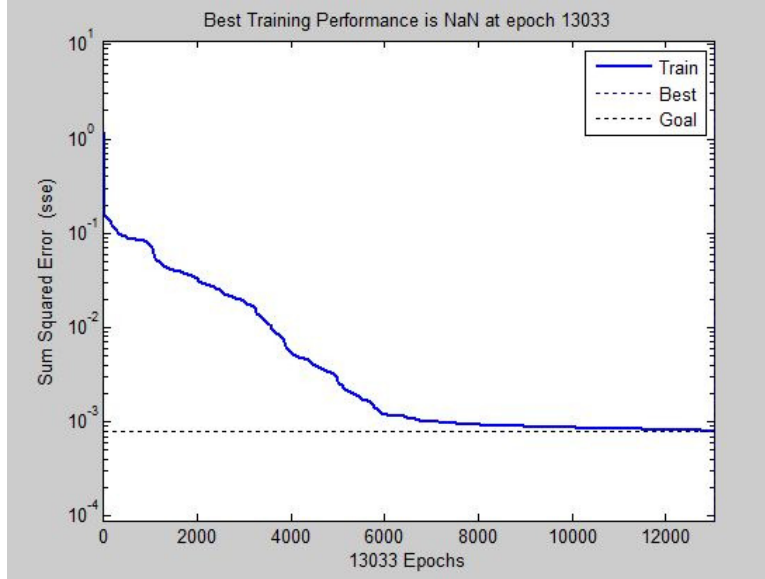
Modelin test edilmesi için ayrılan beş deney sonucu ve tahmin sonuçları Şekil 6.39'da grafik olarak gösterilirken, tablo 6.21'de sayısal değer olarak verilmiştir. 2, 3, 4 ve 5 numaralı tahminlerin deney sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. 1 numaralı tahminin deney sonucundan uzak olması, deney sırasında veya ölçme sırasında kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin artmasından dolayı olabilir. Şekil 6.40'da eğitimin tekrarlanması sonucu, ağa gösterilen deney sonuçlarıyla ağın ürettiği tahminler arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. 13033 iterasyon sonra istenilen hata oranı yakalandığı için ağın eğitimi durdurulmuştur.



Şekil 6.39. Buruşma için deney ve tahmin sonuçlarının sütun grafikte gösterilmesi.

Tablo 6.21. Buruşma için deney ve tahmin sonuçları.

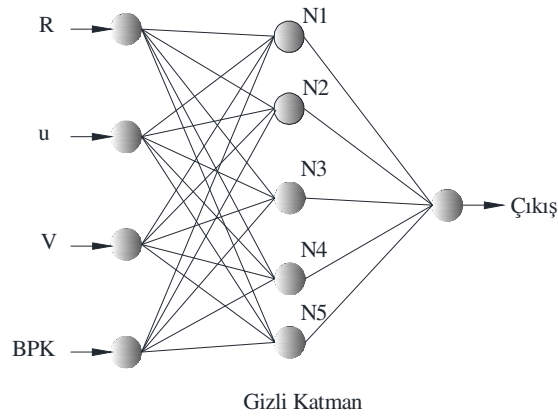
Deney no	Deney Sonuçları	YSA Tahminleri
1	0,304	0,477464715
2	0,357	0,37510833
3	0,0517	0,104100214
4	0,004233	0,007412449
5	0,082159	0,106705268



Şekil 6.40. Buruşma için eğitim ve hata değerini gösteren eğri.

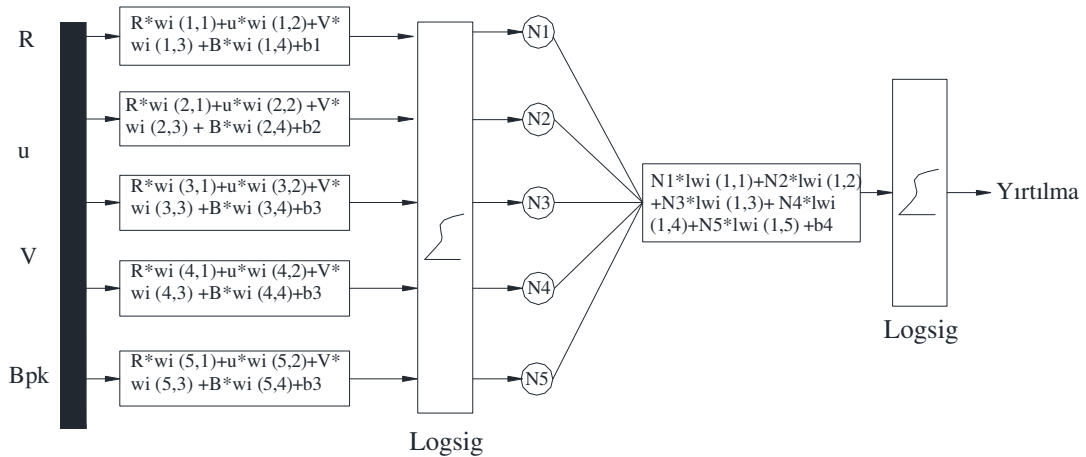
6.6.2. Yırılma için ağıın modellenmesi

Derin çekem işleminde ürün kalitesinin YSA da modellenmesinde yırılma için uygun ağ yapısı 4-5-1 olarak belirlenmiştir. Buna göre giriş katmanında dört nöron, çıkış katmanında bir nöron ve gizli katmanda ise beş nöron bulunmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı deneme yoluyla tespit edilmiştir. En uygun nöron sayısı, oluşturulan ağların eğitim ve test performanslarının karşılaştırılmasıyla tespit edilmiştir. Gizli katmanlarda kullanılacak nöronlar N1, N2, N3, N4 ve N5 olarak isimlendirilmiştir. Yırılma tahmininde kullanılan en uygun ağ modeli Şekil 6.37’de verilmiştir.



Şekil 6.41. Yırtılma tahmini için YSA modeli.

Derin çekmede işlem parametrelerine göre yırtılma değerinin tahmini için iki tane aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 6.42'de modelin işleyiş prensibi görülmektedir. İşlem değişkenleri giriş değeri olarak ağa verilir. Giriş değerleri ile ağırlıkların çarpılarak eşik değeri eklenir. Buradan elde edilen değer aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve gizli katmandaki nöronun giriş değerini oluşturur. Gizli katmandaki bütün nöronların değerleri yeni ağırlıklarla çarpılarak eşlenik değeriyle birlikte toplama fonksiyonundan ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek net çıkış elde edilir. Net çıkış deneylerden elde edilen verilerle karşılaştırılır ve hata oranı hesaplanır. Eğer hata oranı kabul edilebilir seviyede ise işlem sonlandırılır. Eğer hata oranı istenilenden yüksekse ağ geriye doğru ağırlıkları değiştirir. Bu işlem durdurma kriterlerinden biri yakalanıncaya kadar devam eder. Tablo 6.22 ve tablo 6.23'de ağırlıklar ve eşik değerleri verilmiştir.



Şekil 6.42. Denklemler ve ağ yapısı (R= kalıp kavisi, u= sürtünme katsayısı, V=zımba hızı, B= BPK).

Tablo 6.22. Birinci ağırlıkların değerleri.

Wi (i,j)	1	2	3	4	5
1	-5,37226	30,20158	-13,3430	17,74322	19,52624
2	-0,00401	-8,06070	3,17168	-5,24284	-3,80718
3	-5,65876	-30,20895	-16,3413	28,33658	-28,54242
4	7,42360	-10,22717	19,41704	-34,37906	-6,24586
5	-5,37226	30,20158	-13,3463	17,74322	19,52624

Tablo 6.23. İkinci ağırlıkların ve eşleniklerin değerleri.

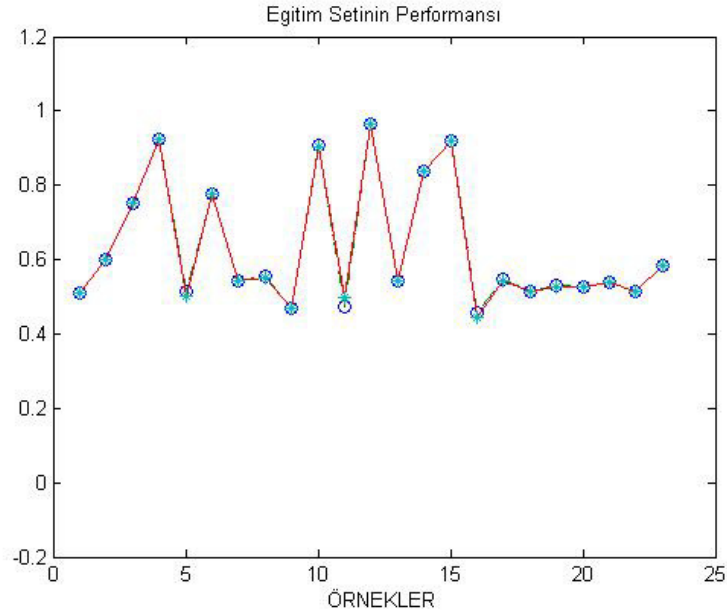
b(1)	-0,97206	lwi(1,1)	4,48548
b(2)	14,80909	lwi(1,2)	-15,92358
b(3)	-2,21832	lwi(1,3)	-8,90611
b(4)	4,95405	lwi(1,4)	-8,07508
b(5)	14,77102	lwi(1,5)	19,81162
b(6)	3,74968		

Yırtılmanın tahmini için kullanılacak olan ağırlıkların performansının değerlendirilmesi için de belirleme katsayısı (R^2), ortalama karesel hatanın karekökünün (RMSE) ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) kullanılmıştır. Tablo 6.24’de yukarıdaki kriterlerin eğitim ve test setleri için hesaplanan değerleri görülmektedir. Eğitim seti için %99, test seti için %95 oranında başarı sağlanmıştır. MAPE ve RMSE kriterlerine baktığımızda eğitim setinin daha başarılı olduğu görülmektedir. Ama her iki sette de MAPE, RMSE’ni sıfıra ve R^2 bire yakın olması ağırlık modelinin tahmin için kullanılabilirliğini göstermektedir.

Tablo 6.24. YSA analizi değerlendirme kriterleri.

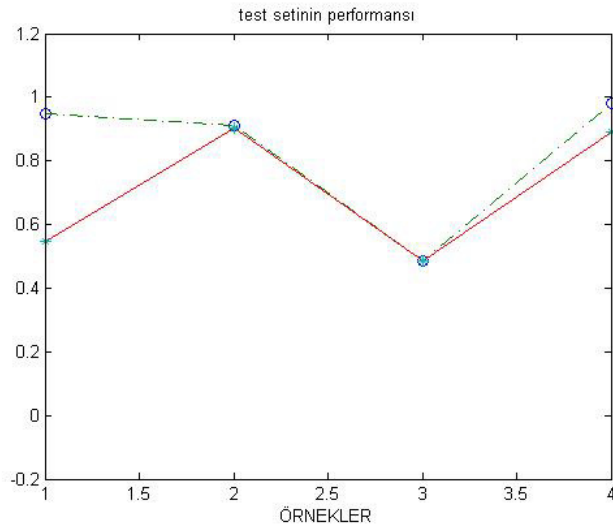
Ölçüm Performansı	YSA Eğitim	YSA Test
R^2	0,999903	0,953753
MAPE	0,00781735	0,02953418
RMSE	0,006400858	0,022333792

Şekil 6.43’de eğitim setinin performansını görebilmek için 23 adet deneyin sonuçları ile YSA tahmin sonuçları grafik olarak karşılaştırılmıştır. 11 nolu deney sonucuyla tahmin sonucu arasındaki çok az fark dışında eğitimin yüksek başarıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.43. Eğitim sonucunda YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.

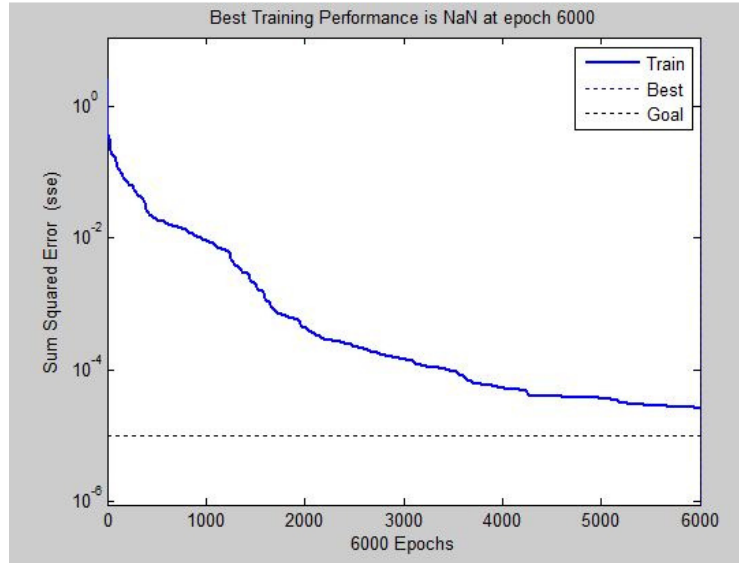
Modelin test edilmesi için ayrılan dört deney sonucu ve tahmin sonuçları Şekil 6.44'de grafik olarak gösterilirken, Tablo 6.25'de sayısal değer olarak verilmiştir. 2,3 ve 4 numaralı tahminlerin deney sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. Eğitim ve test setindeki veri setindeki veri sayısının artırılmasıyla daha iyi bir sonuç alınabilir. Şekil 6.44'de 6000 iterasyon sonra istenilen hata oranı yakalandığı için ağın eğitimi durdurulduğu görülmektedir.



Şekil 6.44. Test verileri için deney ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması.

Tablo 6.25. Yırtılma için deney ve tahmin sonuçları.

Deney no	Deney Sonuçları	YSA Tahminleri
1	0,9471	0,546
2	0,9103	0,9013
3	0,4847	0,487
4	0,9793	0,89



Şekil 6.45. Buruşma için eğitim ve hata değerini gösteren eğri.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları iki bölümde değerlendirmek mümkündür. İlk kısım; deneysel çalışmaların Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak derin çekme deneylerinin tasarlanması ile deneysel çalışmada kullanılan değişkenlerin ürün kalitesine olan etkilerinin ve birbiriyle olan etkileşimlerinin incelenmesidir. İkinci kısımda ise YSA'nın tahmin sonuçlarının değerlendirilmesidir.

İşlem değişkenlerini ürün kalitesine olan etkilerinin ve birbiriyle olan etkileşimlerinin incelenmesi için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılarak 81 deney yerine 27 deneyle aynı başarı sağlanmıştır. Kullanılan işlem değişkenleri 5 mm, 10 mm ve 15 mm olmak üzere üç farklı kalıp kavisli, üç farklı yağlayıcı, 17 mm/sn, 33 mm/sn ve 50 mm/sn zımba hızı ve 10 kN, 100 kN ve 200 kN BPK seçilerek kullanılmıştır. Deneylerde elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranları, varyans analizi ve Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Taguchi yöntemi esas alınarak L27 ortogonal istatistiksel deney tasarımına göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler üçer seviyeli dört değişkenin farklı kombinasyonları oluşturularak yapılmıştır. İşlem değişkenleri ve seviyeleri: kalıp kavisli (5, 10, 15 mm), yağlayıcı (kuru sürtünme ve iki farklı yağlayıcı), zımba hızı (17, 33, 50 mm/s) ve BPK (10, 100, 200 kN) olarak belirlenmiştir.
- Elde edilen sonuçlar varyans analizi uygulandığında (%99.5 güven aralığında) buruşma için derin çekme işleminde ürün kalitesine kalıp radyüsü (A), yağlayıcı (B), zımba hızı (C) ve BPK'nin (D) etkileri sırasıyla %6.74, %4.50, %2.31 ve %53.16'dir. Kontrol faktörlerinin dışında deneyi etkileyen faktörlerin oranı %18.04 olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörleri arasındaki etkileşim ise kalıp

- radyüsü / yağlayıcı (AxB) %6.52, kalıp radyüsü/zımba hızı (AxC) %6.45 ve yağlayıcı/zımba hızı (BxC) %2.26'dir.
- Elde edilen sonuçlara varyans analizi uygulandığında (%99.5 güven aralığında) yırtılma için derin çekme işleminde ürün kalitesine kalıp radyüsü (A), yağlayıcı (B), zımba hızı (C) ve BPK'nin (D) etkileri sırasıyla %4.005, %12.865, %9.268 ve %49.687'dir. Kontrol faktörlerinin dışında deneyi etkileyen faktörlerin oranı %3.577 olarak belirlenmiştir. Kontrol faktörleri arasındaki etkileşim ise kalıp radyüsü / yağlayıcı (AxB) %9.296, kalıp radyüsü/zımba hızı (AxC) %6.039 ve yağlayıcı/zımba hızı (BxC) %5.263'dir.
 - BPK, hem buruşma hem de yırtılma için en büyük etkiye sahip faktördür. BPK, derin çekme işlemi sırasında oluşan teğetsel kuvvetleri yenerek buruşma oluşumunu engelleyecek büyüklükte olmalıdır. BPK'nin artması malzeme akışını zorlaştırmaktadır ve BPK'ne bağlı zımba kuvvetindeki artış parça duvarlarındaki gerilmeyi arttırdığından malzemede yırtılma meydana gelmektedir. BPK ne buruşmaya ne de yırtılmaya sebep olmayacak uygun değerde seçilmelidir. BPK'nin ürün kalitesi üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulursa diğer üç faktörün BPK'ni optimum değer aralığını genişleterek, derin çekme işleminde temel iki kusurun oluşumunu engelledikleri belirlenmiştir.
 - Buruşma ve yırtılma için kalıp kavisinin artan değerleri malzemenin kalıp içerisine daha kolay akmasına izin verdiği için çekme işlemini olumlu etkilemiştir. Deneysel sonuçlara göre kalıp kavisinin düşük değerleri için çekme sırasında oluşan teğetsel kuvvetlerin arttığı ve buruşma oluşumuna sebep olduğu belirlenmiştir. Buda düşük kalıp kavisinin değerleri için daha büyük BPK ihtiyacını ortaya çıkarmakta ve zımba kuvvetinin büyümesine yol açmaktadır. Kalıp kavisinin buruşma üzerindeki etkisinin kullanılan yağlayıcı ve zımba hızına göre değiştiği tespit edilmiştir.
 - Deneysel çalışmalarda iyi bir yağlayıcının sürtünme katsayısını azaltarak ürün kalitesini arttırdığı belirlenmiştir. Kullanılan yağlayıcının viskozitesinin önemli olduğu görülmüştür. Viskozitesi düşük olan yağlayıcıların derin çekme

- işleminde sonra parçanın üstünden temizlenmesi ve derin çekme işleminde önce parçanın üstüne uygulanması daha kolay olmaktadır. Viskozitesi yüksek olan yağlayıcının çevrim süresini arttırdığı tespit edilmiştir.
- Buruşmada en az etkiye sahip faktör zımba hızıyken, yırtılmada en az etkiye sahip faktörün kalıp kavisi olduğu belirlenmiştir. Buruşmada en fazla etkiye sahip ikinci faktör kalıp kavisi, yırtılmada ise yağlayıcı olduğu görülmüştür. Bunun sebebi kalıp kavisi teğetsel kuvvetlerin oluşumunda daha etkili olurken, yağlayıcı malzemenin akışını etkilediği için incelmede etkili bir rol oynamaktadır.
 - Derin çekme işleminde ürün kalitesinin, buruşma ve yırtılmaya göre değerlendirilmesinde en uygun ağ yapısı 4x5x1 olarak bulunmuştur.
 - Deneysel olarak bulunan sonuçlar, ağ modelinin eğitilmesi ve test edilmesi için kullanılmıştır. YSA'nın verdiği sonuç ile deneysel çalışma sonuçlarına bakıldığında sonuçların uyduğu belirlenmiştir. Yapılan deney sonuçları ile oluşturulan matematiksel modeller kullanılarak yapılan tahminlerde, YSA test sonuçlarında buruşma için %91'lik, yırtılma için %95'lik başarı sağlanmıştır.
 - YSA modeli ile derin çekme işleminde kullanılacak olan işlem parametrelerine göre ürün kalitesi tahmini yapılabileceği ortaya konmuştur. Bu yöntem optimum şartları bulmada tecrübe ve deneme yanılma ile kaybedilen zaman ve malzeme kaybını önlemiş olacaktır.
 - Deneysel çalışmalarla sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak yapılan analizlerin sonucunda malzemede oluşan deformasyonların (yırtılma, buruşma) yakın olduğu belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için geliştirilen bu modellerin, işlem değişkenlerinin farklı değerleri içinde kullanılarak tahmin modelinin geliştirilebileceği görülmüştür.

Zeki sistemler; ürün kalitesinin iyileştirilmesinde, işlem değişkenlerinin eş zamanlı olarak değiştirilerek uygulanması ve işlem değişkenlerinin tahmini amaçlı kullanılmaktadır. Eş zamanlı uygulamalar özel ekipmanlar gerektirdiklerinden

maliyetleri yüksektir. Eş zamanlı uygulamalarda, derin çekme işleminde meydana gelen kusurlardan birini esas almaktadır. Ayrıca kalıp imalatı gerçekleştiği için matris/zımba kavislerinin optimal değerlerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeplerden, dolaylı bu çalışma YSA'nın tahmin amaçlı kullanılması üzerine odaklanılmıştır.

Zeki sistemler kullanılarak yapılan tahminlerde ise [38]'de farklı malzeme özellikleri kullanılarak (pekleşme üsteli, sürtünme katsayısı) SEY'yle analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler YSA'nın eğitiminde kullanılarak kalınlık değişimi tahmini yapılmıştır. YSA kullanılarak buruşma [39] ve kalınlık dağılımı [40] tahmini yapılmıştır. Kullanıcı arayüzünden başlangıç koşulları girilerek bulanık mantık tabanlı kontrol sistemiyle zımba hızı ve BPK'nin tahmini yapılmıştır [46]. [41]'de malzeme, çekme hızı, malzeme kalınlığı, kalıp/zımba kavisi ve çekme boşluğu değerleri değiştirilerek yapılan deneysel çalışmada bulanık mantık kullanılarak tahminler gerçekleştirilmiştir. Fakat BPK'ininoptimal değeri deneysel çalışmalar sonucu belirlenerek, işlem değişkenleri içine dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada diğer çalışmalarda farklı olarak derin çekme işleminde oluşan kusurlardan ikisi dikkate alınmış ve ürün kalitesi değerlendirilmiştir. Bu kusurlar, işlem değişkenlerinin optimum seviyelerinin belirlenmemesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca işlem değişkenlerinin ürün kalitesine olan etkileriyle birlikte birbiriyle olan etkileşimleri de incelenmiştir. Ve elde edilen sonuçlar bir işlem değişkenlerinin optimum seviyelerinin belirlenmesinde diğerlerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Böylece değişkenleri ve etkileşimlerinin etkilerini birlikte dikkate alan, belirlenen değerlere göre oluşabilecek kusurları değerlendirebilen bir sistem mimarisi içinde, uygulaması kolay bir sistem geliştirilmiştir. Fakat çalışma sadece işlem değişkenleri üzerine yoğunlaşmıştır. İşlem değişkenlerinin değerleri buruşma ve yırtılmayı kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Bu da BPK'nin öne çıkmasına neden olmuştur. Derin çekmede işlem değişkenlerinin ürün kalitesine olan etkilerini incelemek için yapılan çalışmalarda ise [49-55] diğer işlem değişkenlerinin etkilerinin belirlenmesi için BPK'ioptimal aralıkta seçilmiştir. Bu da diğer işlem değişkenlerinin öne çıkmasına sebep olmuştur.

Yapay zekâ teknolojilerini kullanarak derin çekme işleminde ürün kalitesinin imalat öncesi tahmin edilmesi için model geliştirilmiştir. Bu model farklı malzemeler ve daha çok parametre kullanılarak geliştirilebilir. Geliştirilen model bir derin çekme presine, CAM yazılımıyla bütünleştirilerek sisteme yeni bir özellik kazandırılabilir.

Sonlu elemanlar modeliyle, farklı malzemeler ve farklı işlem değişkenleri için çözümler yapılarak YSA modeli genişletilebilir. Buradan yola çıkarak bir sanayi kuruluşuyla ortak çalışma sağlanarak, derin çekme işleminde işlem değişkenlerinin belirlenmesi için yapılan denemeler YSA modeline aktarılabilir. Böylece bu konuda uzman kişi gereksinimi karşılanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] ZHNANG, W., Desing for uncertainties of sheet metal forming process (Ph. D. Thesis), The Ohio state University, Industrial and System Engineering, 2007.
- [2] YALÇIN, S., Analysis and Modeling of Plastic Wrinkling in Deep Drawing (Yüksek Lisans Tezi), ODTÜ Mühendislik Fakültesi, 2010.
- [3] ARAYI, F., LAZGHAB T., BAYRAKTAR E., Parametric Finite Element Anallysis of Square cup Deep Drawing, Archive of Computational Materials Science and surface engineering 1(2), 106-111, 2009.
- [4] ÖZBEK, C., BAL M., Derin Çekme kalıplarında matris-zımba radyüsü ve çekme oranının et kalınlığı üzerindeki etkisi, J Fac. Eng. Arch. Gazi Üniv, 24(1), 33-41, 2009.
- [5] DEMİRCİ, H.I., YAŞAR M., DEMİRAY K., KARALI M., The Theoretical and experimental investigation of blank holder forces plate effect in deep drawing process of AL 1050 materials, Materials &Design, 29, 526-532, 2008.
- [6] DEJMAL, I., TIROSH, J., SHIRIZLY, A., RUBINSKY, L., On the optimal diecurvature in deepdrawingprocess, International Journal of MechanicalSciences, 44:1245-1258, 2002.
- [7] MORI, K., TJUSI, H., Cold deep drawing of commercial magnesium alloy sheets, Annals of the CIRP, 56: 285-288, 2007.
- [8] PADMANABHAN, R., OLIVEIRA M.C., ALVES J.L., MENEZES L.F., An optimizationstrategyfortheblankholderforce in deepdrawing, 8th World Congress on ComputationalMechanics, Venice-Italy, 2008.
- [9] KARALI, M., Silindirik kapların derinçekilmesinde farklı baskı plakası kuvvetlerinin ve uygulama yöntemlerinin kulaklaşmaya olan etkilerinin incelenmesi, Trakya Univ J Sci, 9(1), 41-46, 2008.
- [10] ÖZÇELİK, G., Derin çekme işleminin simülasyonu (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, 2008.

- [11] ANKET, O, DC04 Otomotiv sacının hidromekanik yöntem ile şekillendirilebilirliğinin sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel olarak incelenmesi (Doktora), Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2011.
- [12] GAVAS, M, KÖKLÜ, U, ALPARSLAN, Y,E, Merkezi delikli AL-1050 sac malzemenin derin çekme özelliklerinin incelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, 2, 53-61, 2010.
- [13] YILDIZ, H, KİRLİ, O, Derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10, 3, 317-326, 2004.
- [14] GÖK, A, Sonlu elemanlar metodunun derin çekme işlemine uygulanması ve gerçek bir sanayi parçası ile analiz, Yüksek Lisans, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi, 2007.
- [15] ALLEN, S.J., MAHDAVİAN, 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.
- [16] SUBRAMONIAM, S, Evaluation of lubricant for stamping deep draw quality sheet metal in industrial environment, Master, Ohio State University, Mechanical Engineering, 2009.
- [17] MEILER, M., PFESTORF, M., MERKLEIN, M., and GEIGER, M., Tribological Properties of Dry Film Lubricantsin AluminumSheet Metal Forming, Proceedings of the 2nd ICTMP, June 15-18, 2004, Nyborg, Denmark, pp.489-500, 2004.
- [18] SCHEY, J. et. al., Tribology in Metalworking: Lubrication, Frictionand Wear, American Societyfor Metal, Metal Park, Ohio, 1983.
- [19] ÇETİN, H, Alüminyum hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2005.
- [20] ZHONG-QİN, L., WU-RONG, W., GUAN-LONG, C., A New strategyt optimize variable blank holder force toward simproving the forming limits of aluminyum shee tmetal forming, Journal of Metarials Processing Technology, 183, 339-346, 2007.
- [21] SAVAS, V., SECKIN, G., A newtype of deep drawing die design and experimental results, Materials and Design, 28: 1330-1333, 2007.
- [22] KARALI, M., Çekme boşluğunun kap tabanında ve köşe bölgelerdeki incelmeye olan etkilerin incelenmesi, Electronic Journal of Machine Technologies, pp 55-60, 2007.

- [23] ÇETİN, M.S., Derin çekme ile soğuk şekillendirmenin sonlu elemanlar metodu yardımıyla analizi (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Edirne, 2007.
- [24] BAL, M., Açılı derin çekme kalıplarında matris ve zımba radyüsünün çekme oranına etkisinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi Makine Eğitim Anabilim Dalı, 2007.
- [25] PALUMBO, G., SORGETTE, D., TRICARICO, L., ZHANG, Z.H., ZHENG, W.T., Numeric and experiment an 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.
- [26] 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.
- [27] GAVAS, M., YAŞAR M., AL-1050 alaşımlı alüminyum sacın kare çekilmesi ve teorik modelinin oluşturulması, Teknoloji, 9, 119-126, 2006.
- [28] KARALI, M., Silindirik derin çekme işleminde zımba uç formunun cidar kalınlık dağılımına etkisinin SEM yöntemiyle incelenmesi, Electronic Journal of Machine Technologies, 3(4), 53-57, 2006.
- [29] GAVAS, M., KÜÇÜKRENDECİ İ., Alüminyum kare kabın derin taslak malzeme şekillerinin belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 185-200, 2004.
- [30] KİRLİ, O., Derin çekme ile soğuk şekillendirmenin sonlu elemanlar metodu yardımıyla Non-Lineer analizi (Yüksek Lisans Tezi) , Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 2003.
- [31] BROWNE, M.T., HILLERY, M.T., Optimizing the variables when deep drawing C.R.1 cups, Journal of Material Processing Technology, 136: 64-71, 2003.
- [32] HSU, C-W., ULUSOY A.G., DEMERİ M.Y., Development of Process Control in Sheet Metal Forming, Journal of Materials Processing Technology, 127, 361-368, 2002.
- [33] DARENDELİLER, H., AKKÖK, M., YÜCESOY, C.A., Effect of variable friction coefficient on sheet metal drawing, Tribology International, 35, 97-104, 2002.

- [34] KAWKA, M., OLEJŃIK, L., ROCOSHOWSKI, A., SUNAGA H., Makinouchi A., Simulation of wrinkling in sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 109, 283-289, 2001.
- [35] HE, D.N., YIN, X.F., THAO, H.Z., LU D., RUAN X.Y., CHENG J.L., JIANG J.Y., Research on the evaluation method of friction and lubrication in deep drawing, *Acta Metallurgical Sinica*, 13, , 439-445, 2000.
- [36] KHELİFA, M., OUDJENE, M., KHENNANE, A., Fracture in sheetmetal forming: effect of ductile damage evolution, *Computers&Structures*, 85, 205-212, 2007.
- [37] YOSHİRA, S., MANEBE, K., YANG, M. and NISHIMURA H., Fuzzyadaptive control of the circular-cup deep-drawing process using variable blankholder force Technique J. JSTP, 46, 428-435, 1997.
- [38] YOSHİRA, S., MANEBE, K., YANG, M., NISHIMURA H., Fuzzy adaptive control of blank holder in circular-cup deep-drawing (Adaptability to Frictional Change and Simple Evaluation Lubrication), *Trans. JSME*, 3209, 64-624, 1998.
- [39] PATIHAK, K.K., ANAND, V.K., AGNOHOTRI, G., Prediction of geometrical instabilities in deep drawing using artificial neural network, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4, 344-349, 2008.
- [40] SIVASANKARAN, S., NARAYASAMY, R., JEYAPPAUL, R., LOGANATHAN, C., Modelling of wrinkling in deep drawing of grades of annealed commercial pure aluminium sheets when drawn through a conical die using Artificial Neural Network, *Materials and Design*, 30, 3193-3205, 2009.
- [41] GÜRÜN, H., Derin çekme kalıplarındaki parametrelerin deneysel olarak incelenmesi ve bulanık mantık ile tahmini (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, 2008.
- [42] GARCÍA, C., Artificial intelligence applied to automatic supervision, diagnosis and control in sheet metal stamping processes, *Materials Processing Technology*, 164-165, 1351-1357, 2005.
- [43] SINGH, S.K., RAVI KUMAR, D., Application of a Neural Network to predict thickness train and finite element simulation of hydro-mechanical deep drawing, *Int J Adv Manu Technol*, 25, 101-107, 2005.
- [44] ZHAO, J., CAO H.Q., MA L.X., WANG F.Q., LI S.B., Study on intelligent control technology for the deep drawing of an axi-symmetric shell Part, *Materials Processing Technology*, 151, 98-104, 2004.

- [45] KOYAMA, H., MANABE, K., YOSHIHARA, S., A database oriented process control algorithm for improving deep-drawing performance, *Journal of Materials Process Technology*, 138, 343-348, 2003.
- [46] 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 Materials Processing Technology*, 125-126, 404-445, 2002.
- [47] PILANI, R., NASARASIMHAN, K., MAITTI, S., Intelligent systems approach for die design in sheet metal forming, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, 370-375, 2000.
- [48] MANABE, K., YANGO M., YOSHIHARA, S., Artificial intelligence identification of process parameters and adaptive control system for deep-drawing process, *Journal of Materials Processing Technology*, 80-81, 421-426, 1998.
- [49] PADMANABHAN, R., OLIVEIRA, M.C., ALVES, J.L., MENEZES, L.F., Influence of process parameters on the deep drawing of stainless steel, *Finite Elements in Analysis and Design*, 43:1062-1067, 2007.
- [50] COLGAN, M., MONAGHAN, J., Deep drawing process: analysis and experiment, *Journal of Materials Processing Technology*, 132:35-42, 2003.
- [51] RAO, B.V.S., RAVINDRA, REDDY, P.V.R., MOHAN REDDY, G.C., MOHAN ROA, G.K., Optimization of blank holding force in deep drawing of cylindrical cups using taguchi approach, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 2 (3):143-148, 2008.
- [52] BROWNE, M.T., HILLERY, M.T., Optimising the variables when deep-drawing C.R.1 cups, *Journal of Materials Processing Technology*, 136: 64-71, 2003.
- [53] PARK, K., KIM, Y., The effect of material and process variables on the stamping formability of sheet materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 51 :64-78, 1995.
- [54] VENKATESWARLU, G., DAVIDSON, M.J., TAGORE, G.R.N., Influence of process parameters on the cup drawing of aluminium 7075 sheet, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 41-49, 2010.
- [55] RAJU, S., GANESAN, G., KARTHIKEYAN, R., Influence of variables in deep drawing of AA 6061 sheet, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20: 1856-1862, 2010.

- [56] NGUYEN, D.T., DINH, D.K., NGUYEN, H.M.T., BANH, T.L., KIM, Y.S., Formability improvement and blank shape definition for deep drawing of cylindrical cup with complex curve profile from SPCC sheets using FEM, J. Cent. South Univ., 21: 27-34, 2014.
- [57] KARAGÖZ, Y., 2003, Saç Kalıpcılığı Teknolojisi, Ege Üniversitesi Ders Notları, İzmir.
- [58] GÜNEŞ, A. T., Pres İşleri Tekniği Cilt 1, Makine Mühendisleri Odası, 318, Ankara, 2005.
- [59] ÇAPAN, L, Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, 442, İstanbul, 2010.
- [60] KARAAĞAÇ, İ., ÖZDEMİR, A., Sıvı ile Sac Şekillendirme Yönteminin Derin Çekilebilirlik Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 56-67, 2009.
- [61] GÜNEŞ, A.T., Pres İşleri Tekniği Cilt 2, Makine Mühendisleri Odası, 159 ,Ankara, 2005.
- [62] SIMITH, A.D.,Die Design Handbook, Society of Manufacturing Engineers, 450, Michigan, 1990.
- [63] Megeb, Çekme Kalıpları 1, Milli Eğitim Bakanlığı, 100, Ankara, 2006.
- [64] ERİŞKİN, Y., Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 127-159, Ankara, 1986.
- [65] SIMITH, A.D., Fundamentals of Pressworking, Society of Manufacturing Engineers, 75-142 , Michigan, 1994.
- [66] KAYALI, S., Ensari, C., Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayınları, İstanbul, 1986.
- [67] SIEGERT, K., WAGNER, S., Formability characteristics of aluminium sheet, Training in Alüminium Application Technologies, Lecture 3701, European Aluminium Association, Stuttgart, 1994.
- [68] GÖKÇE, B.,TAŞGETİREN, S., Kalite İçin Deney Tasarımı, Electronic Journal of Machine Technologies, 6 (1), 71-83, 2009.
- [69] TAYLAN, D., Taguchi Deney Tasarımı Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009.

- [70] YANAR, N., Hidrolik Silindirlerin İmalatında Yüzey Pürüzlülüğüne Etkili Parametrelerin Taguchi Yöntemi İle Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008.
- [71] ŞİRVANCI, M., Kalite İçin Deney Tasarımı, Literatür Yayıncılık, 110, İstanbul, 1997.
- [72] University of Michigan Chemical Engineering (2006), <https://controls.engin.umich.edu>, Erişim Tarihi: 02 Şubat 2014.
- [73] HAMZAÇELEBİ, Ç., Yapay Sinir Ağları Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı, Ekin Basım Yayın Dağıtım, 10-27, Bursa, 2011.
- [74] HAMAMCI, M., Yüksek Hızda İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2012.
- [75] ELMAS, Ç., Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayınevi, 5-100, Ankara, 2007.
- [76] SIDDHARTHA, P.A., BHATT, D.A., Mechanical and dry sliding wear characterization of epoxy-TiO₂ particulate filled functionally graded composites materials using Taguchi design of experiment. Material and Design 32:615–627, 2011.
- [77] ŞENCAN, A. ve KALOGIROU, S.A., A New Approach Using Artificial Neural Networks For Determination Of The Thermodynamic Properties Of Fluid Couples, Energy Conversion and Management, 46, 15, 2405-2418, 2005.
- [78] AYVAZ, E., Yapay Sinir Ağları ve Paralel Akışlı Isı Eşanjörlerinde Uygulanması (Yüksek Lisans Tezi) , Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon, 2012.
- [79] KARAYEL, D., Journal of Materials Processing Technology Vol 209, p 3125–3137, 2011.
- [80] AKKUŞ, H., Tornalama İşlemlerinde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel ve Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmin Edilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, 2010.
- [81] ÖZEN, S., Neural Networks Applications in Parameter Settings of Tube Hydro forming and Metal Cutting Processing (Degree of Doctor of Philosophy), Dokuz Eylül University Natural and Applied Sciences, İzmir, 2011.

- [82] KÖKSAL, E., Makina Elemanları Konstrüksiyonunda Çentik Faktörünün Yapay Sinir Ağları İle Hesaplanması (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi, Ankara, 2011.
- [83] GÜNDÜZ, A., Tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağlarıyla tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [84] ODAN, A.D., Su jeti ile kesme sisteminde kesmeye etki eden faktörlerin deneysel incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2001.
- [85] SIEGERT, K., WAGNER, S., Formability characteristics of aluminium sheet, Training in Aluminium Application Technologies, Lecture 3701, European Aluminium Association, Stuttgart, 1994.
- [86] VOLLERTSAN, F., HU, Z., Analysis of punch velocity dependent process window in micro deep drawing, Prod. Eng. Res. Devel., 4, 553–559, 2010.
- [87] EVIN, E, TOMAS, M., VYROSTEK, M., Benchmarking of friction model used in the simulation of deep drawing, Annals of Faculty Engineering Hunedora - International Journal Of Engineering, 2, 1602-1608, 2012.
- [88] SIEKERS , R.J.J.M., SMITS, A.A., Experimental set-up and data processing of the radial strip-drawing frictiontest, Journal of Materials Processing Technology, 66, 216-223, 1997.
- [89] WESTENENG, A., Modelling of contact and friction in deep drawin grocessing (Degree of Doctor), The Twente University Mechabical Engineering, 2001.
- [90] DANNONG, H., RUI, W., XIAODAN, Z., XINGJUN, B., YAJUN, L., JIANHUA, Y, WIE, Z., JUN, L., Study on the testing methods of friction coefficient in metal sheet deep drawing, Science in China, 4 (A), 223-229, 2001.
- [91] JURKOVIC, M., BULJIN, S., The tribological statetest in metal forming processes using experiment and modelling, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 18, 383-387, 2006.
- [92] JURKOVIC, MERIMA, M., Mathematical modeling of friction force and friction coefficient at deep drawing process, 15th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology TMT 2011, Prague, CzechRepublic, 2011.

- [93] ALTAN, T., Metal Forming Handbook, Schuler (c) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 543, Germany, 1998.
- [94] ALTAN, T., TEKKAYA, A.E., Sheet Metal Forming Fundamentals, ASM International, 516, United States of America, 2012.
- [95] KAONGA, M., Simulation and optimisation of a full deep drawing process (degree of Master), The University of Zambia Production Engineering and Management, 2009.
- [96] JAYAHARI, L., SASIDHAR, P.V., REDDY, P.P., BALUNAIK, B., GUPTA, A.K., SINGH, S.K., Formability studies of ASS 304 and evaluation of friction for Al in deep drawing setup at elevated temperatures using LS-DYNA, Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 26, 21-31, 2014.
- [97] LIN, J.F., LEE, A.Y., LEE, K.Y., Friction evaluation in deep drawing using an instrumented blank holder, Tribology Transactions, 35 (4), 635-642, 1992.
- [98] KARABULUT, Ş., Vermiküller grafitli dökme demirin frezelemedeki işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması ve yapay sinir ağlarıyla modellenmesi, Doktora, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Oğuz KOÇAR 1982'de İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini Faruk Timurtaş İlkokulunda, orta öğrenimini İsmail Rüştü Olcay İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. 1996 yılında Zeytinburnu Teknik Lisesi Makine Ressamlığı bölümünü kazandı. 2000 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Programına girdi. 2004'de bu bölümden mezun olarak teknik öğretmen unvanını aldı. 2006 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisansını bitirdi. 2009 yılında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Osmaneli MYO Makine programında öğretim görevlisi olarak işe başladı. Şu anda burada görevine devam etmektedir.