

126962

**TÜP HİDROLİK ŞEKİLLENDİRMEDE MALZEME
ÖZELLİKLERİNİN ŞEKİLLENDİRMEYE ETKİSİ**

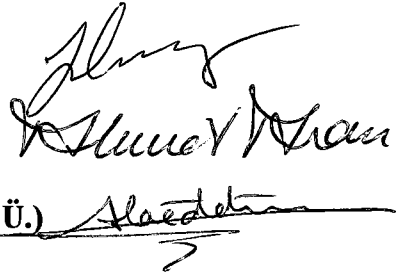
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Serdar ŞAHİN
503991154

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Ocak 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ocak 2002

Tez Danışmanı :
Diğer Jüri Üyeleri

Yard.Doç.Dr. Şafak YILMAZ
Prof.Dr. Ahmet ARAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Alaaddin Arpacı (İ.T.Ü.)



OCAK 2002

126962

ÖNSÖZ

Tüp hidrolik şekillendirme işlemi özellikle 1990'lerden sonra tüm dünyada artan bir kullanım alanı bulmasına rağmen, ülkemizde henüz uygulanma fırsatı bulmamıştır. Bunun sebepleri arasında bu konuda Türkçe kaynak olmaması, dünyada dahi henüz yeni bir teknoloji olarak kabul edilmesi ve yatırım maliyetlerinin göreceli olarak yüksek olması sayılabilir. Tüm bunların yanında yurdumuzdaki sanayi tesislerinin üretim davranışları göz önüne alındığında bir tür fason imalatçı görünümünde olması, araştırma- geliştirmeye yeterli önemi vermemesi ve yeni teknolojilere kapalı olması da henüz bu imalat yönteminin yurdumuzda uygulama sahası bulamamasını açıklar.

Çalışmalarında yakın ilgisi ve katkılarından dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Şafak YILMAZ'a , değerli teknisyen arkadaşlarım Osman ÇELEBİ ve Erdal DİNÇ'e, değerli ustamız ve akıl hocamız Sami FİDANLI'ya, PARSAT A.Ş. Teknik Genel Müdürü sayın Musa KAPLAN'a, desteklerini her zaman hissettiren abim Fehmi ŞAHİN ve sevgili eşi Serap ŞAHİN'e ve değerli aileme teşekkür ederim.

OCAK 2002

Serdar Şahin

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II	3
2. HİDROLİK ŞEKİLLENDİRMEDE SINIFLANDIRMA	3
2.1. Saç Hidrolik Şekillendirme.....	3
2.1.1. Saç Hidrolik Şekillendirmenin Esasları	4
2.2. Tüp Hidroşekillendirme	6
2.3. Hidromekanik Derin Çekme İşlemi.....	8
2.4. Yeni Teknolojiler.	10
BÖLÜM III.....	13
3. TÜP HİDROLİK ŞEKİLLENDİRMENİN TEMELLERİ	13
3.1. Dünyada Yapılan Çalışmalar	14
3.2. Tüp Hidrolik Şekillendirmede Sınıflandırma.....	19
3.2.1. Uygulanan Kuvvetlere Göre Sınıflandırma	21
3.2.1.1. Kalibrasyon.....	22
3.2.1.2. Şişme (saf şişme).....	23
3.2.1.3. Eksensel Kuvvet Ve Basınçla Şişirme.....	25
3.2.1.4. Yer Değişimi (Bükme İle Birlikte)	26
3.2.2. Meydana Gelen Gerilmeler Göre Sınıflandırma.....	27
3.2.3. Parça Geometrisine Göre Sınıflandırma	28
3.2.4. Kullanılan Kalıp Türlerine Göre Sınıflandırma.....	29
3.2.4.1. Serbest Şekillendirme.....	30
3.2.4.2. Uzunlamasına Bölünmüş Kalıpta Tüp Hidrolik Şekillendirme...	30

3.2.4.3. Enine Bölümlemiş Kalıpta Hidrolik Şekillendirme	31
3.3. Yöntemin Avantajları.....	33
3.4. İşlem Sınırları Ve Karşılaşılan Hata Türleri:	34
3.4.1. Cidar İncelmesi	35
3.4.2. Burkulma.....	35
3.4.3. Katlanma:	37
3.4.4. Yırtılma:	37
3.4.5. Yüzey Hataları Ve Toleranslar.....	38
3.5. Sanayi Uygulamaları	39
BÖLÜM IV	44
4. DENEYLERİN YAPILMASI.....	44
4.1. DENEYLER.....	48
4.1.1. Yapılan Tavlama İşlemleri	50
4.1.2. Çekme deneyleri	53
4.1.2.1. Tavsız Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri.....	53
4.1.2.2. ¼ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri.....	54
4.1.2.3. ½ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri.....	55
4.1.2.4. ¾ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri.....	56
4.1.2.5. 1 Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri.....	56
4.1.3. Numunelere Uygulanan Basınçlar	58
4.2. Geometrik Ölçümler	59
4.2.1. Homojen Çap Ölçümleri.....	59
4.2.1.1. Tavsız Numunelere Ait Homojen Çap Ölçümleri	59
4.2.1.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümler	62
4.2.1.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri	63
4.2.1.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri	64
4.2.1.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri	66
4.2.2. Et Kalınlığı Ölçümleri	68
4.2.2.1. Tavsız Numunelere Ait Et Kalınlığı Ölçümleri.....	68
4.2.2.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümler	72
4.2.2.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri	74
4.2.2.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri	76
4.2.2.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri	78

4.2.3. Benek Ölçümleri.....	80
4.2.3.1. Tavsız Numunelere Ait Benek Ölçümleri	80
4.2.3.2. ¼ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri	81
4.2.3.3. ½ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri	81
4.2.3.4. ¾ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri	81
4.2.3.5. 1 Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri	81
4.2.4. Yırtık Çap Ölçümleri	82
4.2.4.1. Tavsız Numunelere Ait Yırtık Çap Ölçümleri.....	82
4.2.4.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümler	84
4.2.4.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri.....	85
4.2.4.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri.....	87
4.2.4.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri.....	89
4.2.5. Yırtık Geometrisi Ölçümleri.....	91
4.2.5.1. Tavsız Numunelere Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri	91
4.2.5.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri	92
4.2.5.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri	93
4.2.5.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri	94
4.2.5.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri	95
4.3. En Büyük Şekil Değişimleri	96
BÖLÜM V	99
5. İRDELEMELER.....	99
5.1. Sonlu Elemanlar Analizleri.....	103
5.1.1. Gerçekleştirilen Analizler	105
BÖLÜM VI.....	114
6. SONUÇ	114
KAYNAKLAR.....	116

TABLO LİSTESİ

Tablo 3-1 Açık ve kapalı enine bölümlenmiş kalıpların karşılaştırılması (dohmann 1996)	33
Tablo 3-2 Tüp hidrolik şekillendirmenin kullanım alanları.....	39
Tablo 3-3 Tüp hidrolik şekillendirmenin kullanım alanları (Tablo 3-2 devam).....	40
Tablo 3-4 Önde gelen bazı araştırma kurumları ve şirketler [72].....	42
Tablo 4-1 Tüp malzemeye ait mekanik özellikler	44
Tablo 4-2 Tüp malzemeye ait kimyasal özellikler.....	45
Tablo 4-3 Numunelere ait tavlama süreleri	50
Tablo 4-4 Numuneler ait çekme deneyleri ile belirlenen mekanik özellikler.....	57
Tablo 4-5 Numuneler ait çekme deneyleri ile belirlenen mekanik özellikler (tablo 4-4 devam)	58
Tablo 4-6 Numunelere uygulanan en büyük basınçlar	59
Tablo 4-7 Ortalama homojen çap ölçümlerine uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları.....	68
Tablo 4-8 Ortalama yırtık çap ölçümlerine uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları.....	90
Tablo 4-9 En büyük şekil değişimleri için ölçülen ortalama değerler	97
Tablo 4-10 En büyük şekil değişimleri için ölçülen ortalama değerler (tablo 4-9 devam)	98
Tablo 5-1 Homojen çaplar için SEA ve deney sonuçlarını gösteren tablo.....	113
Tablo 5-2 Et kalınlıkları için SEA ile deney sonuçlarını gösteren tablo.....	114

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 Saç hidrolik şekillendirme	4
Şekil 2-2 Çok düşük basınç nedeniyle oluşan buruşma	5
Şekil 2-3 Çalışma bölgesinin üstünde basınç uygulanması sonucu hasar oluşumu	5
Şekil 2-4 Hidroşekillendirme de gerilme bölgeleri.....	6
Şekil 2-5 Tüp hidrolik şekillendirmede işlem aşamaları	7
Şekil 2-6 İşlem sonrası.....	8
Şekil 2-7 Hidromekanik derin çekme işlemi: (a) hidrostatik hidromekanik derin çekme (b) hidrodinamik hidromekanik derin çekme [2]	9
Şekil 2-8 Hidromekanik derin çekmede cidar kalınlığı değişimi [11]	10
Şekil 2-9 Saç malzeme için VPF yöntemi:(a) şekillendirme esnasında (b)son şekillendirme	11
Şekil 3-1 Temel tüp hidrolik şekillendirme	13
Şekil 3-2 Tüp hidrolik şekillendirmede ki kuvvetler	20
Şekil 3-3 Tüp hidrolik şekillendirmede uygulanan kuvvete göre sınıflandırma	22
Şekil 3-4 Ön şekillendirilmiş tüp hidrolik şekillendirme [66].....	23
Şekil 3-5 Eksensel simetrik katalitik konverter (mercedes-benz)	24
Şekil 3-6 Esnek kalıp sistemi ile hidrolik şekillendirme [66]	25
Şekil 3-7 Bükme ile hidrolik şekillendirme vasıtasıyla üretilmiş bir parça [75]	26
Şekil 3-8 Bükme ile hidrolik şekillendirme için bir kalıp çizimi [74]	27
Şekil 3-9 Tüp hidrolik şekillendirme de meydana gelen gerilmelere göre sınıflandırma	28
Şekil 3-10 Tüp hidrolik şekillendirmede kalıp geometrisine göre sınıflandırma	29
Şekil 3-11 Serbest hidrolik şekillendirme [78]	30
Şekil 3-12 Uzunlamasına bölünmüş kalıp [78].....	31
Şekil 3-13 a)Kapalı enine bölümlenmiş kalıp b) Açık enine bölümlenmiş kalıp	32
Şekil 3-14 σ_z , burkulma gerilimi; T_p , tanjant modülü ve J_z , kesit modülünün genişleme esnasında birbirine göre değişimi [65]	36
Şekil 3-15 Burkulmaya etkiyen faktörler	37
Şekil 3-16 Burkulma, katlanma ve yırtılma hatalarına ait örnekler [66].	38
Şekil 3-17 Tüp hidroşekillendirme yoluyla üretilen otomobil parçaları	40
Şekil 3-18 Opel Astra ve Zafira modelleri için hidroşekillendirme yoluyla üretilmiş motor beşiği	41

Şekil 4-1 Tüp hidrolik şekillendirme işlemi için tasarlanan ve imal edilen kalıp	46
Şekil 4-2 Basınç ölçüm kalibrasyon çizelgesi	47
Şekil 4-3 Boy fotoğrafı	48
Şekil 4-4 Muhtemel hasar bölgesi	49
Şekil 4-5 Yırtık bölgesini ve homojen Şekil değiştirme profilini gösteren fotoğraf. ..	49
Şekil 4-6 yırtık bölgesi profilini gösteren fotoğraf.	50
Şekil 4-7 Tavsız numuneler ait iç yapı fotoğrafı	51
Şekil 4-8 ¼ saat tavlı numuneye ait iç yapı fotoğrafı	51
Şekil 4-9 ½ saat tavlı parçaya ait iç yapı fotoğrafı	52
Şekil 4-10 ¾ saat tavlı numuneye ait iç yapı fotoğrafı	52
Şekil 4-11 1 saat tavlı iç yapı fotoğrafı	53
Şekil 4-12 Tavsız numuneler için gerçek eğriler	53
Şekil 4-13 1/4 saat tavlı numuneler için gerçek eğriler	54
Şekil 4-14 1/2 saat tavlı numunelerin gerçek eğrileri	55
Şekil 4-15 3/4 saat tavlı numunelere ait gerçek eğriler	56
Şekil 4-16 1 saat tavlı numunelere ait gerçek eğriler.....	57
Şekil 4-17 Numunelere uygulanan basıncın zamana göre değişimini gösteren grafik.	58
Şekil 4-18 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dağılımı	59
Şekil 4-19 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dağılımı	60
Şekil 4-20 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dağılımı	60
Şekil 4-21 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dağılımı	61
Şekil 4-22 Tavsız numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	61
Şekil 4-23 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı .	62
Şekil 4-24 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı	62
Şekil 4-25 1/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	63
Şekil 4-26 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı .	63
Şekil 4-27 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı .	64
Şekil 4-28 1/2 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	64
Şekil 4-29 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı .	65
Şekil 4-30 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı .	65
Şekil 4-31 3/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	66
Şekil 4-32 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı.....	66
Şekil 4-33 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı.....	67

Şekil 4-34 1 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	67
Şekil 4-35 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen 90^0 deki et kalınlığı dağılımı	68
Şekil 4-36 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen 180^0 deki et kalınlığı dağılımı	69
Şekil 4-37 2 numaralı tavsız parça için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	69
Şekil 4-38 2 numaralı tavsız parça için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	70
Şekil 4-39 3 numaralı tavsız parça için 90^0 de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	70
Şekil 4-40 3 numaralı tavsız parça için 180^0 de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	71
Şekil 4-41 4 numaralı tavsız parça için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	71
Şekil 4-42 4 numaralı tavsız parça için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	72
Şekil 4-43 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	72
Şekil 4-44 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	73
Şekil 4-45 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	73
Şekil 4-46 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	74
Şekil 4-47 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	74
Şekil 4-48 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	75
Şekil 4-49 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	75
Şekil 4-50 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	76
Şekil 4-51 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	76
Şekil 4-52 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	77
Şekil 4-53 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	77
Şekil 4-54 1 saat tavlı 1 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	78
Şekil 4-55 1 saat tavlı 1 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	78
Şekil 4-56 1 saat tavlı 2 numaralı numune için 90^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	79
Şekil 4-57 1 saat tavlı 2 numaralı numune için 180^0 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı	79
Şekil 4-58 1 numaralı tavsız numuneye ait benek ölçümleri sonuçları	80

Şekil 4-59 4 numaralı tavsız numuneye ait benek ölçümleri sonuçları	80
Şekil 4-60 1/2 saat tavlı numuneye ait benek ölçümleri sonuçları.....	81
Şekil 4-61 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı.....	82
Şekil 4-62 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı.....	82
Şekil 4-63 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı.....	83
Şekil 4-64 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı.....	83
Şekil 4-65 Tavsız numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	84
Şekil 4-66 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi çap dağılımı	84
Şekil 4-67 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi çap dağılımı	85
Şekil 4-68 1/4 saat tavlı numunelere ait yırtık bölgesi çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	85
Şekil 4-69 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	86
Şekil 4-70 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	86
Şekil 4-71 1/2 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	87
Şekil 4-72 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	87
Şekil 4-73 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	88
Şekil 4-74 3/4 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	88
Şekil 4-75 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	89
Şekil 4-76 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı	89
Şekil 4-77 1 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri	90
Şekil 4-78 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	91
Şekil 4-79 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	91
Şekil 4-80 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	92
Şekil 4-81 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	92
Şekil 4-82 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi geometrisi dağılımı	93
Şekil 4-83 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi geometrisi dağılımı	93
Şekil 4-84 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	94
Şekil 4-85 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	94
Şekil 4-86 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	95

Şekil 4-87 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	95
Şekil 4-88 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	96
Şekil 4-89 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı	96
Şekil 5-1 Artan tavlama süresiyle birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	99
Şekil 5-2 Artan tane büyüklüğüyle birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	100
Şekil 5-3 Artan çekme üsteliyle birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	101
Şekil 5-4 Artan çekme dayanımı ile birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	101
Şekil 5-5 Artan akma dayanımını ile birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	102
Şekil 5-6 Artan tane büyüklüğüyle birlikte değişen % uzama.....	103
Şekil 5-7 Artan %uzama ile birlikte değişen birim şekil değişimleri.....	103
Şekil 5-8 Tüp hidrolik şekillendirmede tasarım aşamaları.....	105
Şekil 5-9 SEA'larda uygulanan zaman basınç ilişkisi.....	106
Şekil 5-10 SEA'larda uygulanan gerilme-genleme ilişkisi.....	107
Şekil 5-11 Meydana gelen çap değişimi.....	108
Şekil 5-12 Meydana gelen eşdeğer gerilme dağılımı.....	108
Şekil 5-13 Meydana gelen eşdeğer genleme dağılımı.....	109
Şekil 5-14 Tavsız numunelere ait homojen çap karşılaştırması.....	109
Şekil 5-15 1/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması.....	110
Şekil 5-16 1/2 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması.....	110
Şekil 5-17 3/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması.....	111
Şekil 5-18 1 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması.....	111
Şekil 5-19 SEA ile bulunan en büyük homojen çaplar.....	112

ÖZET

Tüp Hidrolik Şekillendirmede Malzeme Özelliklerinin Şekillendirmeye Etkisi

Hidroşekillendirme, bir başka deyişle hidrolik şekillendirme temel olarak metal sac veya tüp malzemenin akışkan bir ortam vasıtasıyla (su, viskoz polimerik malzeme vs) kapalı bir kapta şekillendirilmesidir. Bu kadar geniş bir tanımı olmasından dolayı , hidroşekillendirme daha çok benzer işlemler için kullanılan genel bir ad olarak ta düşünülebilir. İlk olarak 1890 yılında geliştirilmiş olan bir yöntemdir [1]. Ancak asıl gelişimini II. dünya savaşı yılları sonrasında başlamıştır. İlk araştırmalar Almanya ve Japonya da gerçekleştirilmesine rağmen günümüzde Amerika, Rusya, Fransa, İsrail, Kore gibi değişik ülkelerde gerek üniversite gerekse özel araştırma birimleri tarafından yoğun bir şekilde konu üzerinde çalışılmaktadır.

Tüp hidrolik şekillendirmeye ait ilk uygulamaların 1960’larda ortaya çıkmış olmasına rağmen sanayi de ancak son 10 yılda yaygın kullanım alanı bulabilmiştir. İlk zamanlarda, işlem kontrolünün o günkü mekanik kontrol üniteleriyle tam olarak gerçekleştirilememesi sebebiyle geometrik olarak simetrik basit parçaların imalatına uygun bir yöntem olmasına rağmen, sayısal kontrollü gelişmiş ekipmanların ortaya çıkmasıyla daha karmaşık ve güvenilir tasarımlar içinde verimli bir yöntem haline gelmiştir. Ekonomik açıdan düşünüldüğünde hidroşekillendirme işleminde sabit maliyetler diğer üretim yöntemlerine göre çevrim zamanlarının uzun olmasından dolayı daha yüksektir. Ve ilk yatırım maliyetleri düşünüldüğünde oldukça büyük rakamlar olduğu görülür. Ama bu iki olumsuz etken malzemenin verimli kullanılması ile elde edilen değişken maliyetlerdeki düşüş ile telafi edilmektedir.

Temel olarak tüm tüp hidrolik şekillendirme işlemleri aynı esasa dayanmasına rağmen çeşitli araştırmacılar tarafından işlem girdilerine bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmıştır. İşlem, iki tarafından sızdırmazlık sağlanmış düz veya önceden şekillendirilmiş tüp malzemenin, bir kalıp içine yerleştirilerek, basınçlı sıvı (genellikle su) ve gerekiyorsa yardımcı bir eksensel kuvvet yardımıyla kalıbın şeklini alması olarak özetlenebilir. 2. bölümde mevcut hidrolik şekillendirme türleri incelenmiştir. Bölüm 3’te tüp hidrolik şekillendirme işlemi sınıflandırılmış, yeni teknolojiler araştırılmış ve endüstrideki uygulamaları incelenmiş, tüp hidrolik şekillendirme işleminin temel özellikleri tartışılmıştır.

Bu çalışmada tüm hidrolik şekillendirme türleri açıklanmış; tüp hidrolik şekillendirme işlemi mevcut sınıflandırma sistemlerine göre incelenerek, yeni tüp hidrolik şekillendirme teknolojileri tanıtılmıştır. Ayrıca bölüm 4’te malzemenin mekanik özelliklerinin tüp hidrolik şekillendirme işleminde, şekillenme davranışı üzerine etkisi incelenerek, elde edilen sonuçlar bölüm 5’te karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

Effect Of Material Properties On Formability In Tube Hydroforming

Hydroforming has become as one of the most popular production technique in the last decade. Since 1890's some variety of this technique has been used in industry in someway but German and Japan scientists prove the real progress of this technique after the World War II. Especially for the last 15 years many scientists have begun to make their studies in this field and by these studies hydroforming became indispensable technique in automotive industry.

The purpose of this study is classifying the tube hydroforming types and examining the effects of material properties on tube hydroforming process by the ways of experiments and finite element analysis. And also it examines the hydroforming terminology, basic types of hydroforming and a general over view of system parameters by the way of economical criteria.

BÖLÜM I

1. Giriş

Hidroşekillendirme, bir başka deyişle hidrolik şekillendirme temel olarak metal sac veya tüp malzemenin akışkan bir ortam vasıtasıyla (su, viskoz polimerik malzeme vs) kapalı bir kaptaki şekillendirilmesidir. Bu kadar geniş bir tanımı olmasından dolayı, hidroşekillendirme daha çok benzer işlemler için kullanılan genel bir ad olarak ta düşünülebilir. İlk olarak 1890 yılında geliştirilmiş olan bir yöntemdir [1]. Ancak asıl gelişimini II. dünya savaşı yılları sonrasında başlamıştır. İlk araştırmalar Almanya ve Japonya da gerçekleştirilmesine rağmen günümüzde Amerika, Rusya, Fransa, İsrail, Kore gibi değişik ülkelerde gerek üniversite gerekse özel araştırma birimleri tarafından yoğun bir şekilde konu üzerinde çalışılmaktadır.

Tüp hidrolik şekillendirmeye ait ilk uygulamaların 1960'larda ortaya çıkmış olmasına rağmen ancak son 10 yılda sanayide yaygın kullanım alanı bulabilmiştir. İlk zamanlarda, işlem kontrolünün o günkü mekanik kontrol üniteleriyle tam olarak gerçekleştirilememesi sebebiyle geometrik olarak simetrik basit parçaların imalatına uygun bir yöntem olmasına rağmen, günümüzde sayısal kontrollü gelişmiş ekipmanların ortaya çıkmasıyla daha karmaşık ve güvenilir tasarımlar içinde verimli bir yöntem haline gelmiştir.

Temel olarak tüm tüp hidrolik şekillendirme işlemleri aynı esasa dayanmasına rağmen çeşitli araştırmacılar tarafından işlem girdilerine bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmıştır. İşlem, iki tarafından sızdırmazlık sağlanmış düz veya önceden şekillendirilmiş tüp malzemenin, bir kalıp içine yerleştirilerek, basınçlı sıvı (genellikle su) ve gerekiyorsa yardımcı bir eksensel kuvvet yardımıyla kalıbın şeklini alması olarak özetlenebilir. Ekonomik açıdan düşünüldüğünde hidroşekillendirme işleminde sabit maliyetler diğer üretim yöntemlerine göre

evrim zamanlarının uzun olmasından dolayı daha yüksektir. Ve ilk yatırım maliyetleri düşünüldüğünde oldukça büyük rakamlar olduğ görülür. Ama bu iki olumsuz etken malzemenin verimli kullanılması ile elde edilen değken maliyetlerdeki d ile telafi edilmektedir.

Bu çalışmada tüm hidrolik şekillendirme türleri açıklanmış; tp hidrolik şekillendirme işlemi mevcut sınıflandırma sistemlerine göre incelenerek, yeni tp hidrolik şekillendirme teknolojileri tanıtılmıştır. Ayrıca dayanım sabiti, pekleşme üsteli, akma dayanımı, çekme dayanımı ve tane boyutunun tp hidrolik şekillendirme işlemi üzerine etkisi deneysel incelenerek, elde edilen sonuçlar gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri ile karılatırılmıtır.



BÖLÜM II

2. Hidrolik Şekillendirmede Sınıflandırma

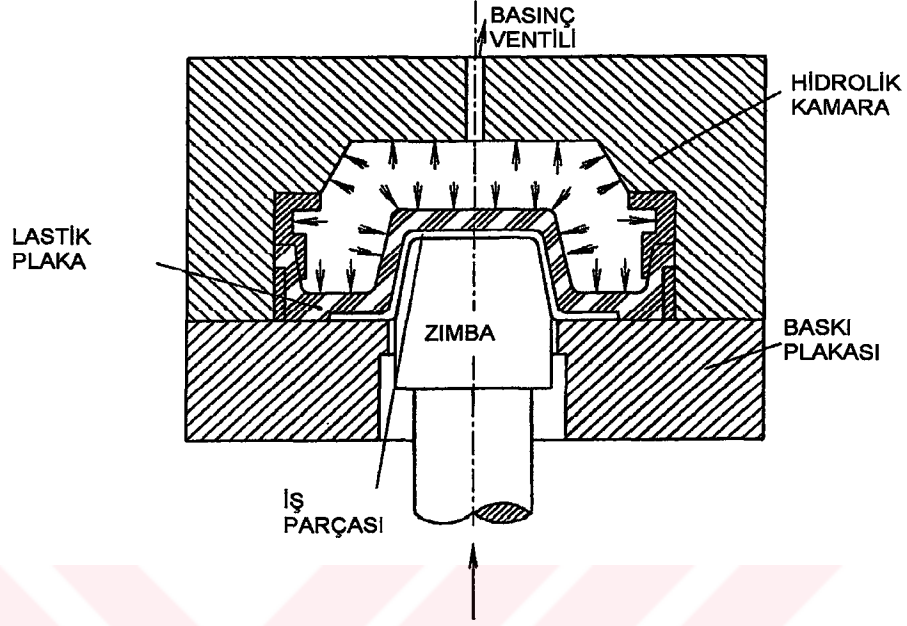
Hidroşekillendirme bir tür esnek biçimli takım (soft tool) veya diğer bir deyişle esnek şekillendirme teknolojisidir. Esnek biçimli takım ile şekillendirme teknolojileri basit ekipmanlar gerektirmeleri, mevcut donanım ile uyum sağlayabilmeleri, düşük enerji tüketimleri, yüksek mamul kaliteleri ve maliyet-fayda oranlarının yüksek olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yumuşak takım ile şekillendirme: lastik kalıpla şekillendirme ve akışkan ortam yardımıyla şekillendirme olarak iki gruba ayrılır. Akışkan ortam ile şekillendirme de kendi içinde 1) gaz ile şekillendirme 2) hidroşekillendirme olmak üzere iki alt gruba ayrılır.

Daha öncede belirtildiği gibi hidroşekillendirme tek bir işleme verilen isim değil, benzer işlemler için kullanılan genel bir tanımlamadır. En basit şekilde sınıflandıracak olursak:

2.1. Saç Hidrolik Şekillendirme

Saç Hidrolik şekillendirme hidroşekillendirmeye derin çekme [2], (hydroform) olarak da bilinir. Bu uygulama için kullanılan temel ekipmanlar Şekil 2-1’de gösterilmiştir. İşlem esnasında şekillendirilecek saç baskı tablası üzerine konulur ve zımba sacı lastik plakaya doğru iter. Sacın hidrolik kamara üzerine itelenmesi hidrolik basıncın artmasına sebep olur. Kamaradaki artan basınç sacın zımba üzerine giydirilmesini sağlar. Zımbanın hidrolik kamara içine ilerlemesi ile orantılı olarak artan hidrolik basınç, basınç ventili vasıtası ile istenilen seviyede tutulur. Saç istenilen şekli aldıktan sonra basınç boşaltılır ve parça çıkarılır. Bu teknoloji özellikle otomotiv sanayiinde

büyük boyutlu otomobil parçalarının imalatında, küçük çaplı üretimlerde ve de prototip hazırlamada kullanılmaktadır.

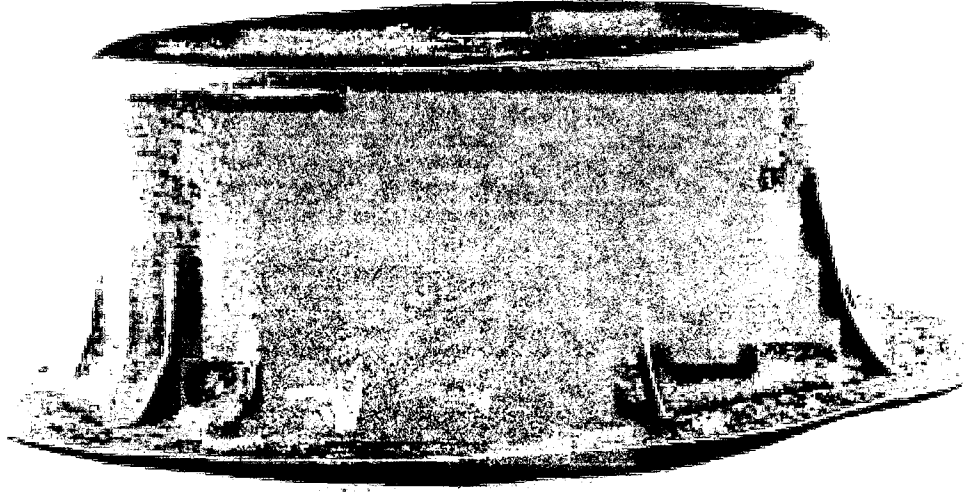


Şekil 2-1 Saç hidrolik şekillendirme

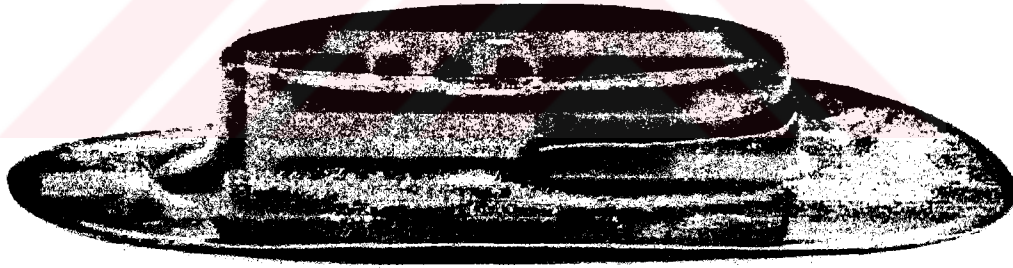
2.1.1. Saç Hidrolik Şekillendirmenin Esasları

El-sebaie, Mellor [3] ve diğerlerinin [4-6] çalışmaları, “çalışma basıncının” (back-up fluid pressure), işlemin başarılı olup olmayacağını belirleyen temel değişken olduğunu göstermiştir. Örneğin yetersiz basınçla işlemin yapılması kırışmalara yol açabilirken, gereğinden yüksek basınçlarda çalışılması ise gerilme dengesizliklerinden doğan erken yırtılmalara yol açabilmektedir. (Şekil 2-2). Ayrıca yüksek basınç flanş ile kalıp arasındaki sürtünme kuvvetlerini artıracığından, içeriye doğru gelişen plastik akışına karşı daha fazla direnç oluşmakta, buda hasar oluşumuna sebep olmaktadır. (Şekil 2-3).

Günümüzde, uygun akışkan-basınç-yol ilişkisi masraflı ve pahalı bir yöntem olan deneneme-yanılma yoluyla değil; sıvı basıncı (zımbanın hareketi ile değişim gösterir), malzeme özellikleri (akma dayanımı, pekleşme üsteli, (n), normal anizotropi parametresi, (R)) ve de mevcut parça geometrisi arasındaki bir ilişki ile belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu tür bir formülasyon, mümkün olan en yüksek çekme oranı limitlerinde (LDR) [7] çalışabilmek için gereklidir.



Şekil 2-2 Çok düşük basınç nedeniyle oluşan buruşma



Şekil 2-3 Çalışma bölgesinin üstünde basınç uygulanması sonucu hasar oluşumu

Plastik şekil değişimi esnasında malzemede farklı karakteristikte üç ayrı bölge gözlemlenir (Şekil 2-4).

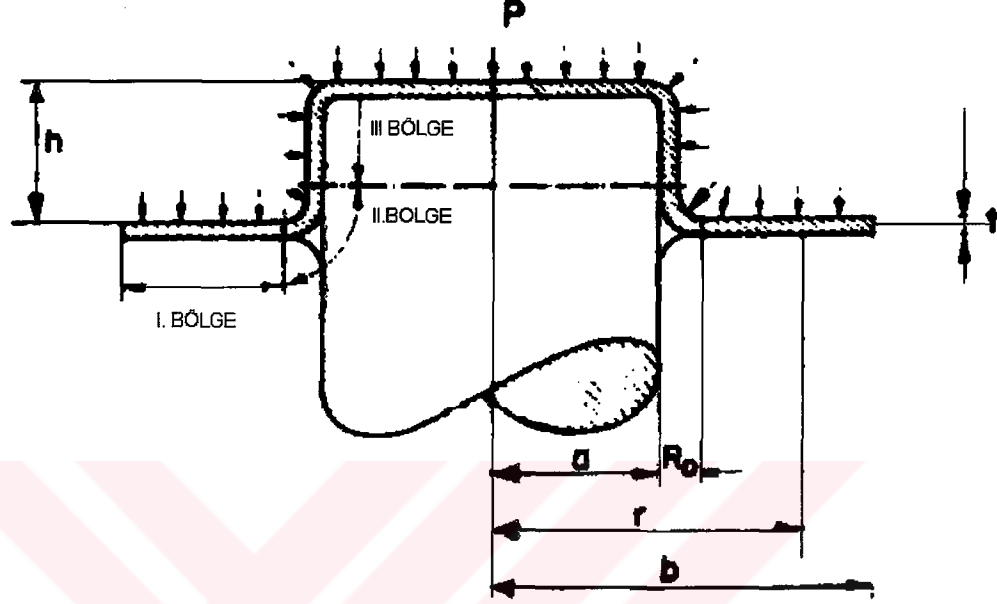
I.Bölge: Flanş bölgesinin kalıpla temasını sürdürdüğü bölümdür

II.Bölge: Saçın kalıp içine akmaya başladığı kıvrım bölümü

III.Bölge: Saçın basınç dolayısıyla zımba ile direk temasta bulunduğu bölge

Klasik derin çekme işleminde hasar kabın taban bölgesinde oluşurken (düzlemsel gerilme hali için) hidroşekillendirme ile gerçekleştirilen işlemlerde hasar, malzemenin

kabın içine akmaya başladığı üst kısımlarda (II. ve III. Bölgeler arası) hasar oluşumu gözlenir. Bunun sebebi yukarda da belirtildiği gibi sıvı basıncının malzemeyi zımbaya iyice yapıştırmasıdır. Hasar bölgesinin taban kısmından üst kısımlara taşınması neticesinde, malzemenin şekillendirilebilirlik sınırları önemli ölçüde gelişme gösterir. [8]



Şekil 2-4 Hidroşekillendirme de gerilme bölgeleri

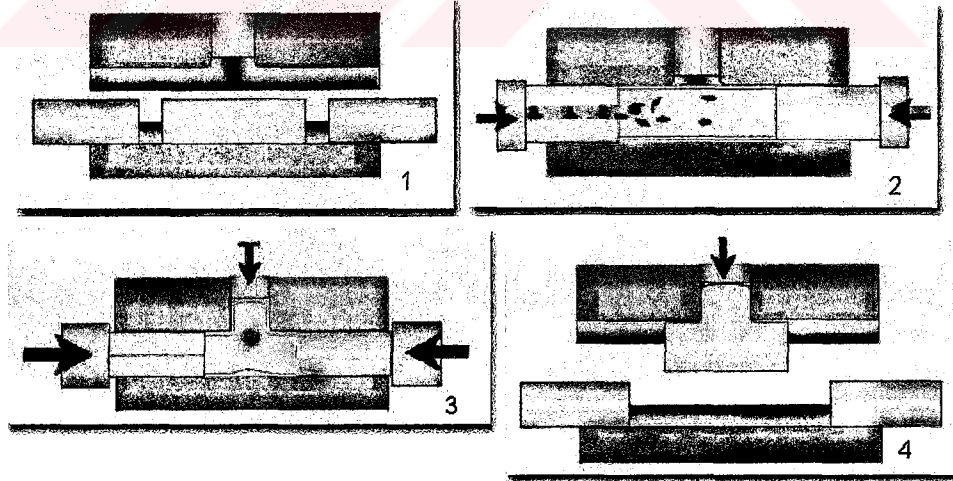
2.2. Tüp Hidroşekillendirme

Tüp hidroşekillendirme teknolojisinde zımbanın yerini tamamen sıvı bir ortam alır. Tüp parça birlikte uygulanan bir yardımcı kuvvet (eksensel veya bükme kuvveti) ve iç basınç veya sadece iç basınç tarafından kalıbın şeklini almaya zorlanır. Diğer hidroşekillendirme uygulamalarına daha yüksek basınçlarda şekillendirme gerçekleştirilir. Uygulanan basıncın büyüklüğüne göre (a) alçak basınçlı hidroşekillendirme (b) yüksek basınçlı hidroşekillendirme olarak ikiye ayrılır. Alçak-basınçlı şekillendirmede uygulanan iç basınç genel olarak 80-100 MPa civarında ve et kalınlığı incelmeleri çoğunlukla 5% 'den daha azdır. Yüksek- basınçla şekillendirmede ise iç basınç 690 MPa gibi yüksek değerlere çıkabilmektedir (bazı kaynaklarda 1380 MPa gibi değerlerde çalışıldığı da bildirilmektedir [9] ve buna bağlı olarak da malzeme daha girintili olan kalıpları doldurabilmektedir. Endüstride her iki yöntem birlikte

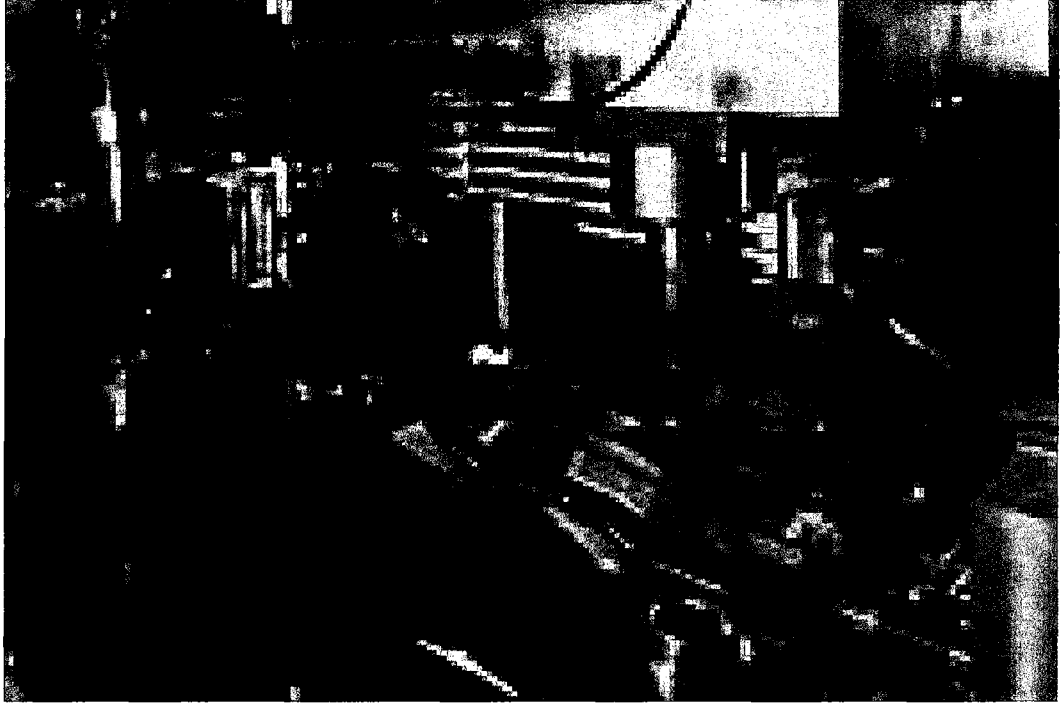
uygulanmaktadır. Öncelikle kalıp kapanırken düşük basınçla şekillendirme başlamakta, kalıp tam kapandıktan sonra yüksek basınçlı şekillendirmeye geçilmektedir. Böylece sürtünme kuvvetleri azalmakta, uygulanması gereken en yüksek basınç seviyesi düşmektedir.

Tüp hidroşekillendirme işlemini kabaca 4 adımdan oluşuyor [10] gibi düşünebiliriz (Şekil 2-5) :

1. İlk adımda düz bir tüp veya ön şekillendirilmiş tüp parça, üretilecek ürünün profiline sahip kalıp içine yerleştirilir.
2. Kalıp hidrolik pres yardımıyla kapatılır ve basınç uygulanır. Sızdırmazlığı ve aynı zamanda eksensel ilerlemeyi sağlayacak olan pistonlar harekete geçer, borunun iki tarafını kapatır ve ortam şekillendirmeyi sağlayacak akışkanla doldurulur. Bu akışkan uygulamanın türüne göre değişik özelliklerde olabilir. Genel olarak su kullanılmakla beraber, daha iyi sızdırmazlık özelliklerine sahip olmasından dolayı polimerik viskoz akışkanlarda kullanılmaktadır.
3. Asıl şekillendirmenin gerçekleştiği aşama bu aşamadır. Uygulanan iç basınçtan ve eğer varsa eksensel sıkıştırmadan dolayı malzeme kalıbın içinde akmaya başlar, şişer ve kalıbın şeklini alır.
4. İşlem sonunda kalıp açılır ve parça dışarıya alınır. (Şekil 2-6)



Şekil 2-5 Tüp hidrolik şekillendirmede işlem aşamaları

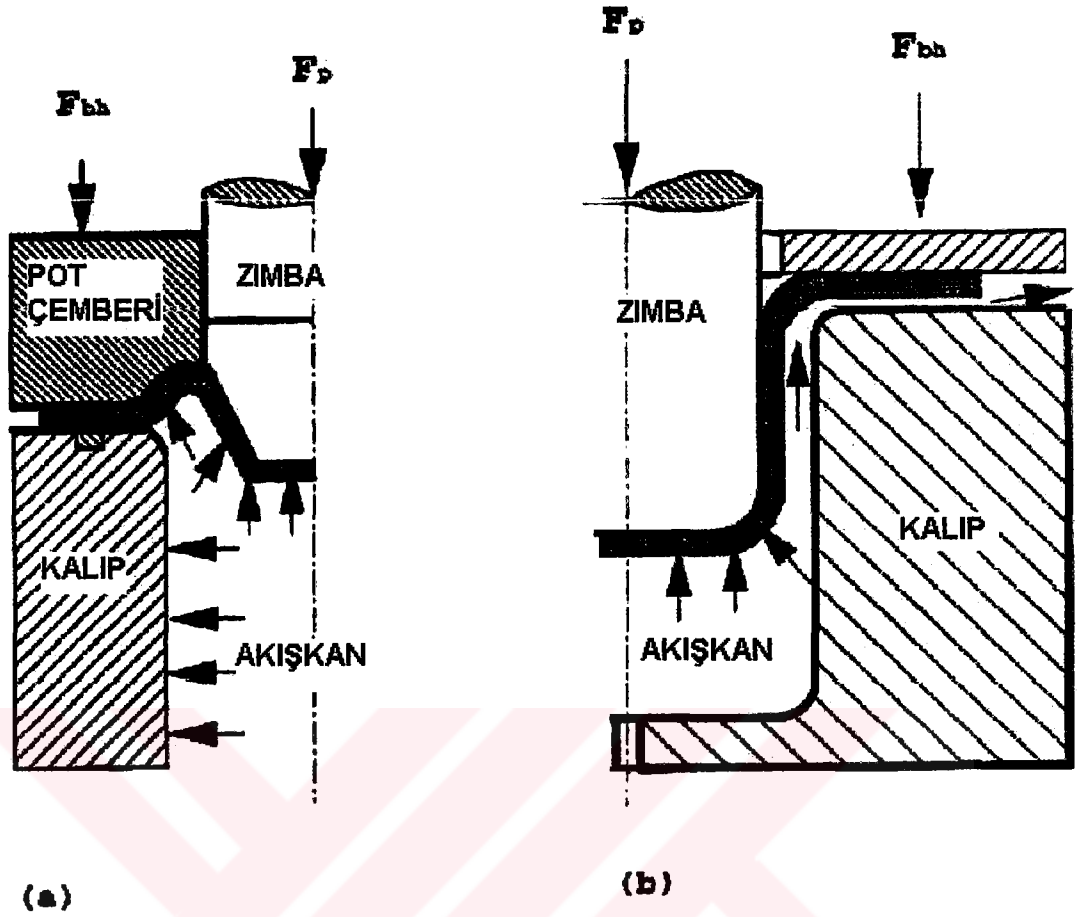


Şekil 2-6 İşlem sonrası

2.3. Hidromekanik Derin Çekme İşlemi

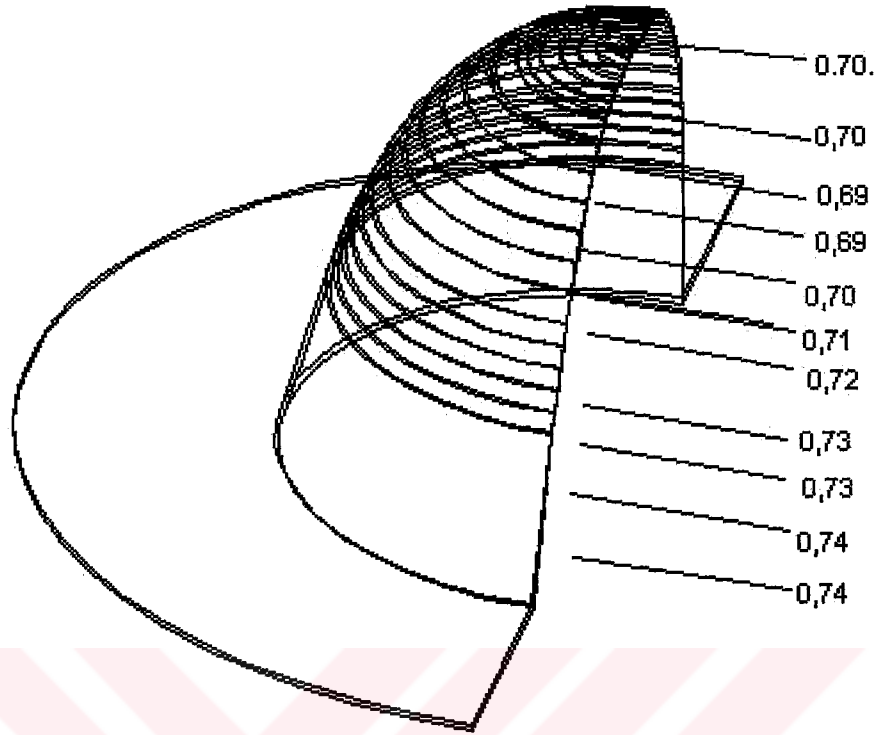
Hidromekanik derin çekme işlemi Şekil 2-7' de görülmektedir. Klasik hidrolik şekillendirme işlemi esnasında kullanılan lastik plaka bu işlem esnasında ortadan kalkar. Malzeme direk olarak akışkan ortamı ile temas halindedir. Bir çok farklı türe ayrılabilmesine rağmen temel olarak 2 grupta olarak düşünebilir: (a)hidrostatik hidromekanik derin çekme (b) hidrodinamik hidromekanik derin çekme. Hidromekanik derin çekme yönteminde klasik derin çekmeye oranla daha yüksek çekme oranlarına ulaşılabilir. Pratik uygulamalar 2.7 gibi yüksek derin çekme (β^1) oranlarına rahatlıkla ulaşılabilirdiği görülmektedir . Bu durum bize klasik derin çekmede birden çok çekme kademesi gerektirecek profillere tek adımda ulaşma imkanı verir. Ayrıca bu işlem esnasında, malzemenin çekme zımbasına akışkan basıncı yardımıyla iyice yapışmasından dolayı [11] taban kavisi bölgesinde malzeme incelmesi çok az olmaktadır. (Şekil 2-8)

¹ β çekme oranı ($\beta=D/d$), D ilkel pul çapı, d çekilecek çap



Şekil 2-7 Hidromekanik derin çekme işlemi: (a) hidrostatik hidromekanik derin çekme
(b) hidrodinamik hidromekanik derin çekme [2]

Bu büyük üstünlük çok ince malzemelerin bile hidromekanik yöntem kullanılarak derin küçük taban kavislerinin kullanılabilmesini sağlar. Bu özellik basınçlı kap imalatı gibi alanlarda oldukça büyük avantaj sunmaktadır. Klasik derin çekmede et kalınlığındaki yerel incelmelerden kaçınmak için nominal kalınlıktan daha kalın levhalar kullanılırken hidromekanik yöntemle üretilen parçalarda nominal kalınlığa çok daha yakın et kalınlığındaki malzemeler kullanılabilir [11]. Hidromekanik derin çekme otomobil parçalarının üretiminde (far kovanları, çamurluklar), uçak sanayiinde, mutfak ekipmanları üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2-8 Hidromekanik derin çekmede cidar kalınlığı değışimi [11]

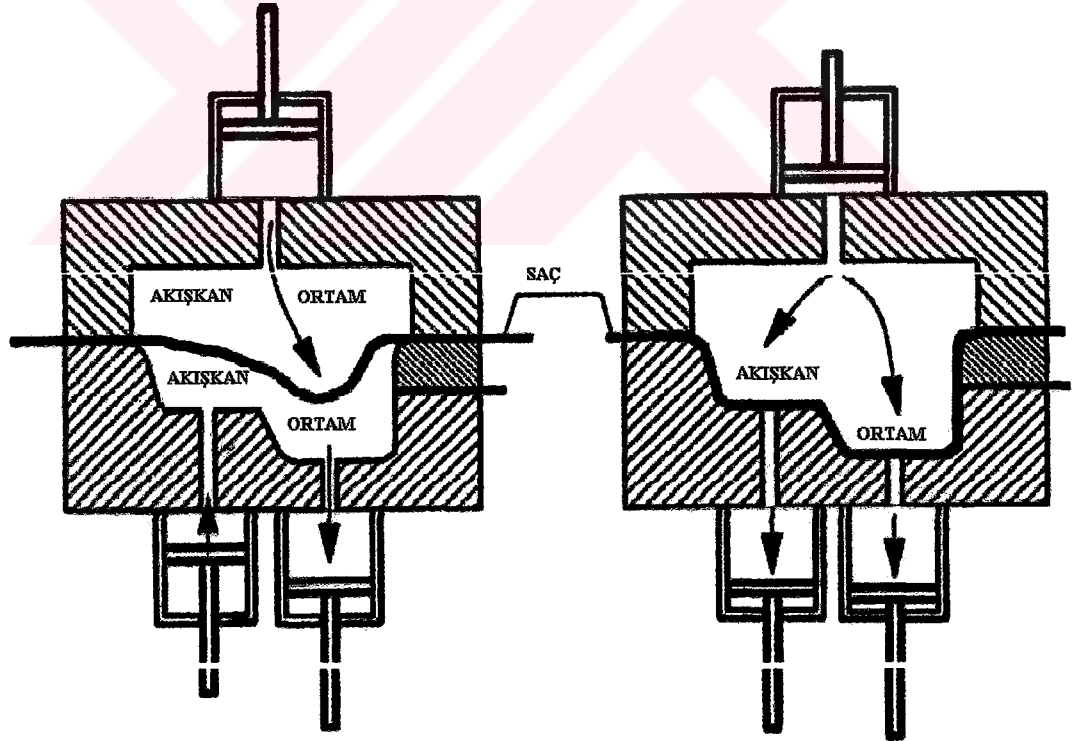
2.4. Yeni Teknolojiler.

Son yıllarda hidroşekillendirme esaslı daha bir çok farklı üretim yöntemi ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında IHBf (integral hydro-bulge forming) [12-14] ve VPF (viscous pressure forming) [15, 16] öne çıkmaktadır.

IHBf metodu küresel kapların imalatı için öne sürülmüş [13] oldukça yani bir teknolojidir. Bu yöntemde ilk olarak metal plakalar belirlenen geometrilere kesilerek polyhedral bir hacim oluşturacak şekilde kaynak edilirler. Daha sonra sıvı ile doldurularak küresel veya küre benzeri geometri oluşturması için hidrolik olarak şekillendirilir. IHBf yöntemi kullanılarak 50- 900 m³ hacimli tek katmanlı ve çok katmanlı küresel kaplar, örneğin su kuleleri, LPG tankları oluşturulabilir. Kullanılabilecek malzemeler oldukça geniş bir aralığı kaplar. Örneğin basit karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler ve bazı demir dışı alaşımlar sayılabilir. Malzemedен istenen temel özellikler iyi bir sünekliğe sahip olması, yeterli plastik

şekillendirilebilme kabiliyeti ve iyi bir kaynak kabiliyetidir. IHBF'nin bize sağladığı temel faydalar ise şu şekilde sıralanabilir [2] : (a) kalıp ve büyük kapasiteli preslere ihtiyaç kalmaması (b) ürün boyutlarının kolayca değiştirilebilmesi (c) düzgün bir kalınlık dağılımı (d) artık gerilmelerin ciddi düşüş göstermesi. İşlemin bu özellikleri sayesinde maliyetler oldukça düşürülebilmekte ve küresel kapların imalat imkanları genişlemektedir

VPF teknolojisi ise alüminyum alaşımları, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) çelikler, titanyum alaşımları, karma malzemeler ve tabakalı levhalar gibi şekillendirmesi zor malzemelerin küçük ölçekli üretimi için düşünülmüş yeni bir yöntemdir [15, 16]. Temel olarak sac hidrolik şekillendirmeye benzemesine rağmen burada akışkan ortam olarak şekil değişim hızına duyarlı bir viskoz malzeme kullanılmaktadır. Böylece sac levha üzerindeki basınç, malzemenin viskozitesinin değişimi ile birlikte bölgesel olarak değişmekte (Şekil 2-9) parça istenilen özelliklere uygun olarak şekillendirilebilmektedir.



Şekil 2-9 Sac malzeme için VPF yöntemi:(a) şekillendirme esnasında (b)son şekillendirme

Viskoz ortamın özellikleri, özellikle viskozitesinin, malzemenin şekillendirilebilirliğine etkisi çok yüksektir, bundan dolayı saç levhanın her iki tarafında viskoz ortamla doldurularak ve kontrollü olarak bir taraf boşaltılırken diğer taraftan basınç artırılarak saç malzeme çok daha düzgün olarak şekillendirilebilir.

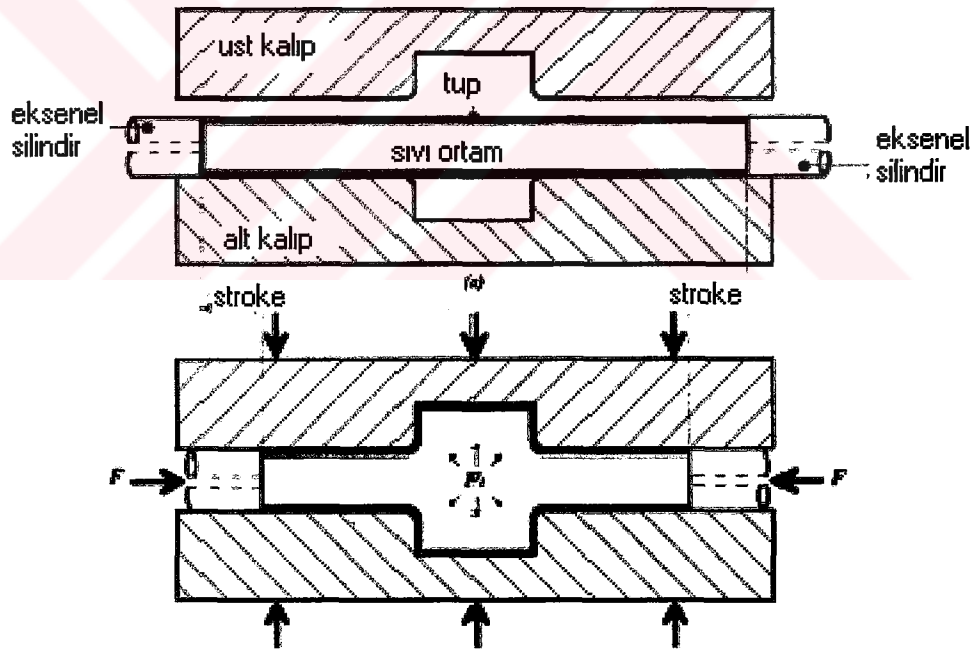
Ayrıca esnek kalıpla şekillendirme (FDF) [17], hidrostatik ütüleme [18], yüksek basınçla saç metal şekillendirme (HBU) [19] gibi yeni teknolojiler üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Yalnız bu konular üzerinde yeterli araştırma henüz yapılmamış olduğundan dolayı literatür oldukça kısıtlıdır.



BÖLÜM III

3. Tüp Hidrolik Şekillendirmenin Temelleri

Tüp hidrolik şekillendirme, tüpün bir sıvı karışımı (~%95 su) ile doldurulup daha sonra oluşturulan iç basınç ve bazen eksensel kuvvet etkisinde şekillendirilmesidir. (Şekil 3-1). eksensel kuvvet uygulanması durumunda tüp iç basınç ve eksensel kuvvetin bir bileşkesi tarafından şekillendirilir ve kalıp içine sürekli olarak yeni malzeme sokulduğundan, bu tür uygulamalarda cidar incilmesi çok düşük düzeyde kalır.



Şekil 3-1 Temel tüp hidrolik şekillendirme

3.1. Dünyada Yapılan Çalışmalar

Tüp hidroşekillendirme (THŞ) işleminin endüstrideki pratik uygulamaları son 10 yıldır görülmeye başlanmasına rağmen, teorik ve teknik gelişimi 1940'lara kadar gitmektedir. Dikişsiz bakır T bağlantıların iç basınç ve eksensel kuvvetle üretilmesiyle ilgili Grey ve diğerlerinin [20] çalışmaları bulunmaktadır. Davis [21], basit karbonlu çelik tüplerin iç basınç ve eksensel yükleme altındaki akma hasar karakteristiklerini test etmiştir ince cidarlı silindirlerin yırtılma basınçlarını bulmak için Faupel [22], Crossland [23] ve Dietmen [24] tarafından 1950 ve 1960'larda sayısal ve deneysel çalışmalar yürütülmüştür. 1960'larda ince cidarlı silindirlerin süreksizliği üzerine bir çok farklı ülkedeki birçok değişik araştırmacı tarafından deneysel ve teorik araştırmalar yürütülmüştür. [25-27] İnce ve kalın cidarlı silindirler üzerine yapılan temel araştırmalar sıvı yardımıyla gerçekleştirilen tüp şekillendirme işleminin teorik gelişimini sağlamıştır. Metal şekillendirme işleminde özellikle tüp parçaların şekillendirilmesinde hidrostatik basıncın kullanıldığı ilk çalışma Fuchs [28] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bakır tüplerin hidrolik basınç altında şişmesi ve flanş oluşumu üzerinde yaptığı deneyleri açıklamıştır.

Ogura ve Ueda [29] düşük ve orta karbonlu çelik borularda sıvı yardımıyla şekillendirme kullanarak T bağlantısı oluşturmaya dahil bir çok deneysel çalışmalar yapmıştır. İç basınç ve eksensel yükleme yardımıyla bir dizi farklı düzenleme denenmiş ve bir dizi farklı çıkıntılar oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar kullanılarak T çıkıntıları için uygun olan deformasyon bölgeleri belirlenmiştir. Aynı zaman aralığında Al-Qureshi ve arkadaşı [30] bakır, çelik ve alüminyum gibi değişik malzemelerde iç basınç oluşturmada poliüretan kullanarak şişirme ve delme deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneyler esnasında herhangi bir eksensel yükleme uygulanmamıştır. 1970'lerde değişik araştırmacılar tarafından şişirmeyle şekillendirme üzerine çeşitli bakış açılarına göre türlü araştırmalar yapılmaya devam edilmiştir. Yeni şekiller yeni malzemeler değişik kalıp türleri ve yeni sistem tasarımları incelenmiş ancak temel fikirler hep aynı kalmıştır. Örneğin iç basınç oluşturacak ortam olarak poliüretan yerine lastik ve elastomer kullanılmıştır [31]. Burada Al-Qureshi [31] ince cidarlı tüplerde lastik kullanılarak yapılan şekillendirmeye göre daha büyük çevresel

genişlemelere ulaşıldığını göstermiştir. Aynı zamanda lastik ile tüp iç yüzeyi arasındaki sürtünme durumları da incelenmiştir. Limb ve arkadaşları[32] şişirmeyle tüp şekillendirme işlemini değişik et kalınlıklarındaki farklı malzemelere uygulamıştır. eksensel yüklemeyle birlikte dereceli olarak artan iç basıncın cidar incelmesi ve tüpün kalıbı tam olarak doldurması açısından en iyi sonucu verdiğini bildirmişlerdir. Besleme bölgesinde tüp ve kalıp yüzeyleri arasındaki sürtünmeden dolayı cidar kalınlaşması da gözlemlenmiştir. Ek olarak PTFE, colloidal srafit, Rocol RTD sprey gibi türlü yağlayıcılarla ilgili deneyler de yapılmıştır. Yetersiz yağlama durumunda T çıkıntısı boyu kısa kalmakta, düzgün tam olarak şişirilmiş bir yapı yerine yetersiz şişme gösteren düzensiz bir alan oluşmaktadır. Yeterli yağlamayla, tam şişirilmiş daha düzgün T çıkıntıları olduğu bildirilmiştir.

Woo [33] iç basınç ve eksensel yükleme altında tüp şişirmeyle ilgili teorik ve deneysel sonuçlar ortaya koymuştur. Woo, şişirilmiş tüpün tamamının belirli bir gerilme altında olduğunu ve dolayısıyla serbest şekil değişiminin gerçekleştiği var sayımıyla konuyla ilgili sayısal çalışmalar yapmıştır. Hesaplamalarda tüp için iki eksenli (bi-axial) gerilme hali için elde edilen gerilme şekil değişimi özellikleri kullanıldığında teorik ve deneysel sonuçların çok iyi bir uyum gösterdiği saptanmıştır. İç basınçlı malzeme özellikleri ve parça geometrisinin bir fonksiyonu olarak tanımlamada “upper-bound” üst sınır tekniği Powel ve Avitzur [34] tarafından kullanılmıştır. Düz bir tüpten özel olarak üretilmiş bir kalıp ve sıvı basıncı kullanarak 90°'lik dik kıvrımlar oluşturmaya çalışmışlardır.

Limb ve arkadaşları [35] bakır, alüminyum, düşük karbonlu çelik ve pirinç gibi tüp malzemelerden T çıkıntısı oluşturmada basınç sağlayıcı ortam olarak yağ kullanmıştır. Kullanılan yağlayıcı ve malzemeye ilişkin değişimler ulaşılan çıkıntı yüksekliği cinsinden sunulmuştur. Sauer ve gurubu [36] çalışmalarını teorik ve deneysel olarak şişirilmiş tüplerin yerel cidar incelmesini incelemeye yoğunlaştırmıştır. Çevresel ve eksensel gerilmelerin belirli bir orana (proportional loading) sahip olduğunu kabul ederek bir biriyle örtüşen sayısal ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Aynı zamanda cidar incelme bölgesindeki etkin gerilmeyi ön şekil değişimi (pre-strain), pekleşme ve gerilme oranı cinsinden açıklamışlardır. Wo ve Lua [37, 38] şişirmeyle tüp şekillendirmede kullandıkları düzeneği açıklayarak malzemelerde yöne bağımlılığı

(anizotropi) da göz önüne alarak gerilme ve şekil değişimini teorik olarak incelemişlerdir. Hill'in plastik anizotropi teorisini çalışmaları için uyarlamışlardır.

1980'lerden itibaren Japonya'daki araştırmacılar malzeme özelliklerinin ve tüp şişirme işlemine etkilerini belirlemeye yoğunlaşmışlardır. Manabe ve Nishimura [39, 40] pekleşme üstelinin ve yöne bağımlılığın sıvı yardımıyla tüp şişirme ve çıkıntı (nosing) oluşturma işlemine etkilerini araştırmışlardır. eksensel yüklemenin olmadığı durumlar için kullanılabilecek en büyük basıncı tüp yarı çapı kalınlığı pekleşme üsteli ve dayanım sabiti cinsinden ifade edilmişlerdir. Manabe ve arkadaşları alüminyum tüplerin iç basınç ve eksensel yükleme durumunda şekillendirilebilirlik sınırının değişimini incelemiştir. Deneyler esnasında önceden belirlenmiş gerilme oranlarına ulaşabilmek için eksensel ilerlemeler ve iç basınç bilgisayar yardımıyla kontrol edilmiştir. İç basıncı ve eksensel yüklemeyi belirlemek için özde ince cidarlı silindirler için geçerli olan temel yaklaşımları genelleştirerek kullanmışlardır. Fuchizawa [41] artımlı plastisite teorisini kullanarak belirli uzunluktaki ince cidarlı tüplerin şişme davranışlarını incelemiştir. Pekleşme üstelinin şişme çapına (bulge height) tesirini göstermiştir. Manabe ve arkadaşlarına [39, 40] benzer olarak çıkarımlarında temel plastisiteyi ve kabuk (membrane) teorilerini kullanmıştır. İç basınç ve ulaşılan en büyük genişleme çapı uzunluk, çap, pekleşme üsteli (n) ve dayanım sabiti (K) cinsinden ifade edilmiştir. Daha sonraları Fuchizawa[42] çalışmalarını ince cidar tüplerinde yöne bağımlılığın (anizotropi) sadece iç basınç uygulaması durumunda şekil değiştirme davranışına etkisini incelemeye kaydırmıştır. Analizlerini deformasyon teorisine ve Hill'in plastik yöne bağımlılık teorisine dayandırmıştır. eksensel yöndeki yöne bağımlılığın kritik genişleme sınırı üzerinde etkili olurken, çevresel yöndeki yöne bağımlılığının ise gereken en yüksek basınç miktarı üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. eksensel yöndeki yön bağımlılığının artmasıyla birlikte, daha düşük cidar inceliği olmakta ve ulaşılabilen genişleme miktarı da artmakta aynı zamanda gereken iç basınç da düşmektedir. Daha sonra deneysel sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır [43]. Deney düzeneklerinde alüminyum, pirinç ve bakır gibi değişik malzemeler kapalı bir kalıp boşluğunda sadece iç basınç kullanılarak test edilmiştir. Tüp malzemelerinin pekleşme kanunlarına uygun olduğu kabul edilmiş deneysel ve hesaplanan sonuçlar iyi bir uyuma göstermiştir. Manabe ve

Fuchizawa'nın yönlenme etkileri üzerine yapmış oldukları çalışmalar alüminyum mamullerinin THŞ uygulamalarında çok yararlı olmuştur. Daha sonraları Fuchizawa ve arkadaşları tarafından tüp malzemelerinin gerilme-şekil değişim davranışlarını belirlemek için sıvı yardımıyla tüp şekillendirme işlemi kullanılmıştır.[44] Tavlanmış alüminyum bakır, pirinç ve titanyum tüpler sadece iç basınç uygulanarak test edilmiştir. Mevcut olan teçhizat ve kontrol sistemleriyle cidar kalınlığı uzunlamasına (eksensel) ve çevresel yöndeki kıvrım yarıçapları ve iç basınç şişirme esnasında ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kabuk ve plastisite teorilerinin kullanıldığı analitik yöntemlerle gerilme-şekil değişimi ilişkileri oluşturulmuştur. Bu sonuçlar ayrıca çekme testlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gerilme-şekil değişimi ilişkisi alüminyum, bakır ve pirinç için çekme deneyi ile benzer sonuçlar verirken titanyumun sonuçları farklı çıkmıştır. Şişirme esnasında eksensel yükleme kullanmadıklarından dolayı elde edilen gerilme-genleme oranı ilişkisi 0,7 gibi küçük genleme değeriyle sınırlı kalmıştır. Thiruvarudchelvan [45] ve takımı poliüretan ve su kullanarak tüp şişirme işleminin deneysel ve teorik bulguları üzerinde çalışmıştır. İşlem değişkenlerini kontrol etmek ve verileri toplamak için deney düzeneklerinde bilgisayarlar kullanmışlardır. Hasar oluşturmadan yüksek şişirme miktarlarına ulaşmak için en uygun eksensel yükleme değerleri belirlenmiştir [46, 47] ve de Ueda'nın [48, 49] 1980'lerde gerçekleştirdiği bir dizi deneyden sonra hidroşekillendirme teknikleri kullanılarak diferansiyel dişli (casing) yatakları üretilmiş ve bunlarla ilgili sonuçlar yayınlamıştır. Yüksek iç basınçla şekillendirme işlemi ile deneysel çalışmalar çok uzun ve pahalı uğraşlar gerektirmektedir. Bundan dolayı doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemleri kullanarak işlem sayısal olarak canlandırılmaya çalışılmaktadır . Böhm [50], Ahmed ve Hashmi [51-57] eksensel simetrik ve simetrik olmayan mamullerin deneysel analitik SEA kullanılarak şişme davranışlarını incelemişlerdir. Ayrıca tüp hidroşekillendirme işlemi için yükleme değişkenlerinin belirlenmesi için teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Tonghai [58] ise poliüretan kullanılarak T çıkıntısı oluşturmak üzerine deneysel ve analitik çalışmalar yapmıştır. Toplam şekillendirme yükünü bulmak için üst sınır tekniğini kullanmıştır. Ana katkısı ise kalıp kapatma kuvvetinin (counter force) ve buna bağlı değişkenlerin T çıkıntısı yüksekliğine etkisini incelemek ve yorumlamak

olmuştur. Üst sınır tekniğinin en büyük iç basıncın ve eksensel kuvvetin hesaplanmasında kullandığı başka uygulamalarda vardır [59]. Alüminyum tüplerin serbest olarak şişirilmesi incelenip ve sonuçlar teorik çözümlemelerle karşılaştırıldığında -1 ile 0 arasındaki gerilme oranlarının tüplerin iki eksenli [bi-axial] gerilme halinde şekillendirilebilmeleri için en uygun aralık olduğu bulunmuştur. Fakat uygulanmada bu gerilme oranını bu aralıkta tutmanın güçlüğü de ayrıca bildirilmiştir [59]. Son olarak 1980'lerin başından itibaren Dohmann ve bir çok öğrencisi THŞ hakkındaki çeşitli konulardaki çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışmaları genel olarak daha önce elde edilmiş olan teorik bulguların gerçek ve yeni sanayi uygulamalarına dönüştürmeye dayanmaktadır. Ayrıca sürekli olarak gelişen SEA ve bilgisayar kontrol olanaklarını deneysel ve analitik çalışmalarına uyarlamışlardır.[60-62] Değişik malzemeler için değişik şartlar altındaki şekillendirilebilirlik sınırlarına çıkararak bu teknolojinin uygulama sürecini hızlandırmaya çalışmışlardır[63]. Dohmann ve Hartl [64] hidroşekillendirmeyi etkileyen değişkenleri, meydana gelen hata türlerini, kullanılabilecek kalıp türlerini tanımladıktan sonra tüp malzeme için teorik, SEA ve deneysel yollardan incelemeler yapmışlardır. eksensel kuvvet, iç basınç, cidar kalınlığı gibi değişkenler arasında ikili ilişkiler elde ederek bunların değişik yöntemlerle doğruluklarını göstermişlerdir. Cidar kalınlığı değişimini kuvvet ve iç basınç etkisinden kurtarmak için boyutsuz bir "e" faktörüne göre çeşitli çıkarımlar yapmışlar, iç basınç ve eksensel yüklemeye bağlı olarak bir çalışma bölgesi belirlemişlerdir. Dohmann ve Hartl [65, 66] tüp hidroşekillendirmede kullanılabilecek kalıp türlerini sınıflandırmış, işlem değişkenlerini belirlemekte kullanılan yöntemleri açıklayarak sanayide yapılan uygulamalara ait çeşitli örnekler vermişlerdir. Bu uygulamalar esnasında karşılaşılan zorlukları açıklayarak bunlara ait çeşitli çözüm önerileri sunmuşlardır. Ayrıca bazı parçaları SEA yöntemiyle inceleyerek bunların gerçek uygulamalarla örtüştüğünü görmüşlerdir.

Rimkus , Baver ve Mihsein [67] iç basınç yoluyla şekillendirme işlemi için gerekli yükleme eğrilerini elde etmeye çalışmışlardır . Bunu yaparken malzemeleri pekleşme karakteristiğine göre iki guruba ayırmışlar , sonlu elemanlar kullanarak basınç-dayanım ve radius-kalınlık arasında boyutsuz iki katsayı oluşturarak malzeme ve

kalınlıktan bağımsız akma çizgileri elde etmişlerdir . Elde ettikleri sonuçlara uygun çeşitli örnekler vermişlerdir

İşlem değişkenlerinin kontrolü ve muhtemel parça türleriyle ilgili çalışmalar Darmstat, Almanya da Schmoechel ve öğrencileri tarafından yürütülmüştür.[68] İnce cidarlı tüpler kullanılarak krank mili gibi parçaların imalini deneysel şartlar altında gerçekleştirmişlerdir [69, 70]. Ayrıca işlem değişkenlerini belirlemede temel teorileri kullanmış ve bunları pratik endüstriyel uygulamalara aktarmışlardır. Çalışmaları çeşitli otomobil parçalarının şekillendirilebilirliği ve üretilebilirliği üzerine çeşitli bulgularla ve yağlayıcı kaplama ve kalıp yüzey kalitesi gibi sürtünme (tribologic) koşullarının etkisi konularındaki deneylerden oluşmaktaydı [71].

3.2. Tüp Hidrolik Şekillendirmede Sınıflandırma

Tüp hidrolik şekillendirmede; parça geometrisine, uygulanan kuvvetlerin türlerine, oluşan gerilme türlerine ve kullanılan kalıp türlerine göre sınıflandırmalar yapmak mümkündür. Yalnız esas olarak tüm tüp hidrolik şekillendirme işlemlerinin temel prensibi tüpün kalıp içinde sıvı basıncı ve duruma göre de eksensel kuvvet yardımıyla şekillendirmesidir. Bundan dolayı genelde, bazı özel durumlar haricinde, genelde kullanılan kuvvetler değişmemektedir (Şekil 3-2).

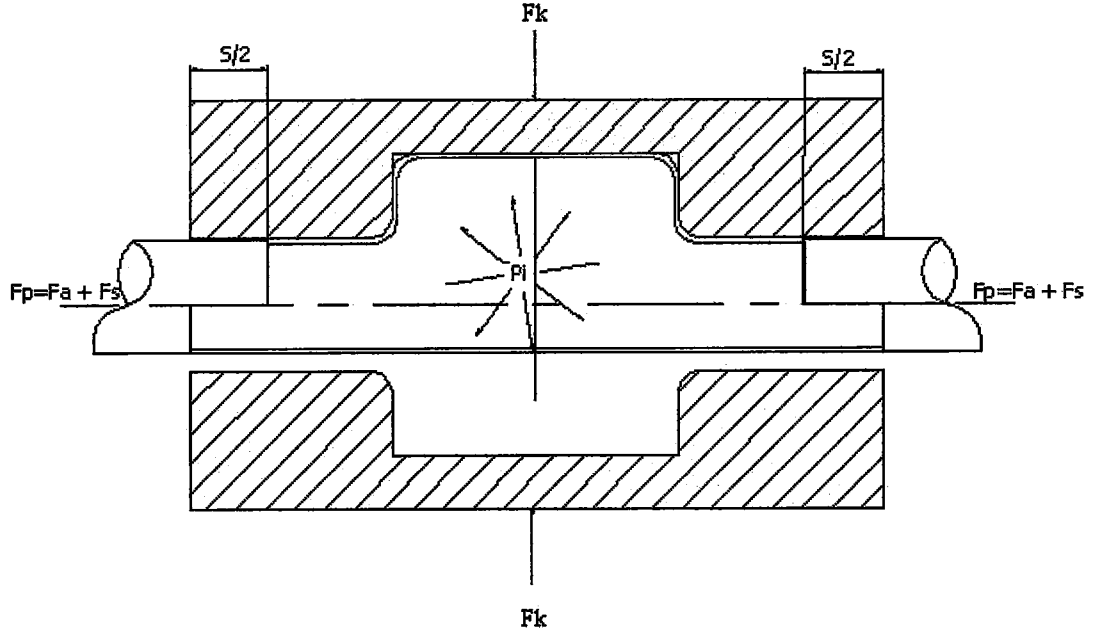
Kalıp kapatma kuvveti F_k kalıbı kapalı tutmak için gereken kuvvettir.

F_p piston kuvveti iki bileşenden oluşmaktadır. F_a (şekillendirme kuvveti) ve F_s (sızdırmazlık kuvveti) kuvvetlerinin toplamıdır.

Şekillendirme kuvveti F_a tüp alın yüzeyinden uygulanan, malzemeyi şekil değiştirme bölgesine sürmek için kullanılan kuvvettir. Bu kuvveti uygulanan basınca bağlı olarak artırarak şekillendirme kabiliyetini artırmak mümkündür. Artan iç basıncın etkisi ile yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetlerinin artması ve sürtünme katsayısının değişmesi nedeniyle genellikle sabit beslemeyi sağlayacak şekilde artan bir karakteristik gösterir.

Sızdırmazlığı sağlamak için kullanılan F_s kuvveti ise aslında yardımcı bir kuvvet olmakla beraber F_p 'nin hesaplanması sırasında göz önüne alınması gerekir. eksensel

yüklem olmadığı durumlarda $F_p = F_s$ olmaktadır ve direk olarak sıvı basıncına bağlı bir değişken haline almaktadır.



Şekil 3-2 Tüp hidrolik şekillendirmede ki kuvvetler

P_i iç basınç esas şekillendirmeyi sağlayan unsurdur. Tüp malzemenin içinde bir meme vasıtasıyla basılan sıvı yardımıyla oluşturulmaktadır (farklı yöntemler mevcuttur). Genellikle basınç oluşturu ortam olarak su kullanılmasına karşın çeşitli solüsyonlar, yağ, normal polimerler ve bazı şekil değişimine duyarlı polimerler kullanılabilir.

Tüp hidrolik şekillendirmenin bilimsel olarak sınıflandırılmasında kabul gören yöntem uygulanan kuvvetler göre ve meydana gelen gerilmelere göre gerçekleştirilen sınıflandırmalardır . Her iki yöntemde mevcut tüm işlem türlerini kapsamına rağmen uygulanan kuvvetlere göre gerçekleştirilen sınıflandırma daha yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Bunların dışında çok farklı sınıflandırma yöntemleri vardır. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir:

A. Uygulanan kuvvetlere göre sınıflandırma

- a. Kalibrasyon
- b. Şişme (saf şişme)

- c. Eksensel kuvvet ve basınçla şişirme
- d. Yer değişimi (bükme ile birlikte)
- B. Meydana gelen gerilmeler göre sınıflandırma
 - a. Gerilmeli basınçla şekillendirme
 - b. Gerilmeli şekillendirme
 - c. Gerilmeli basınçla bükerek şekillendirme
 - d. Gerilmeli kayma şekillendirmesi
- C. Parça geometrisine göre sınıflandırma
- D. Kullanılan kalıp türlerine göre sınıflandırma
 - a. Serbest şekillendirme
 - b. Uzunlamasına bölünmüş kalıpta tüp hidrolik şekillendirme
 - c. Enine bölünmüş kalıpta hidrolik şekillendirme
 - i. Kapalı enine bölünmüş kalıpta hidrolik şekillendirme
 - ii. Açık enine bölünmüş kalıpta hidrolik şekillendirme
- E. Uygulanan basıncın büyüklüğüne göre sınıflandırma
 - a. Alçak basınçlı şekillendirme
 - b. Yüksek basınçlı şekillendirme
- F. İşlem kontrolü açısından sınıflandırma
 - a. Kuvvet kontrollü
 - b. İlerleme kontrollü

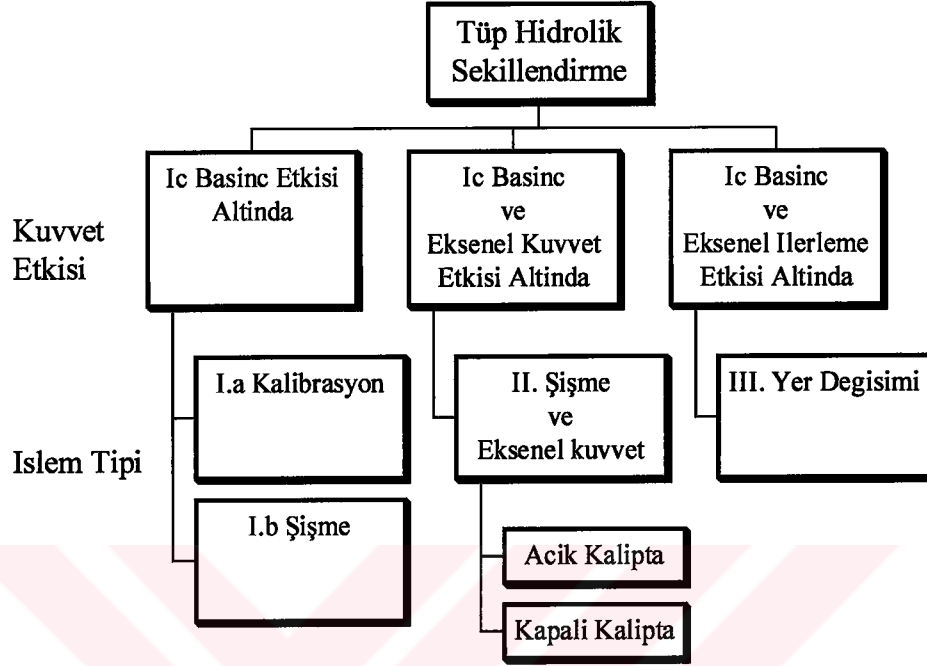
3.2.1. Uygulanan Kuvvetlere Göre Sınıflandırma

Tüp hidrolik şekillendirme, ürün oluşma sürecinde tüp malzemenin maruz kaldığı etkilere göre dört grupta toplanabilir [72]:

- Kalibrasyon
- Şişme (saf şişme)
- Eksensel kuvvet ve basınçla şişirme

- Yer değişimi (bükme ile birlikte)

Tüp Hidrolik Şekillendirmede Uygulana Kuvvetlere Göre Sınıflandırma



Şekil 3-3 Tüp hidrolik şekillendirmede uygulanan kuvvete göre sınıflandırma

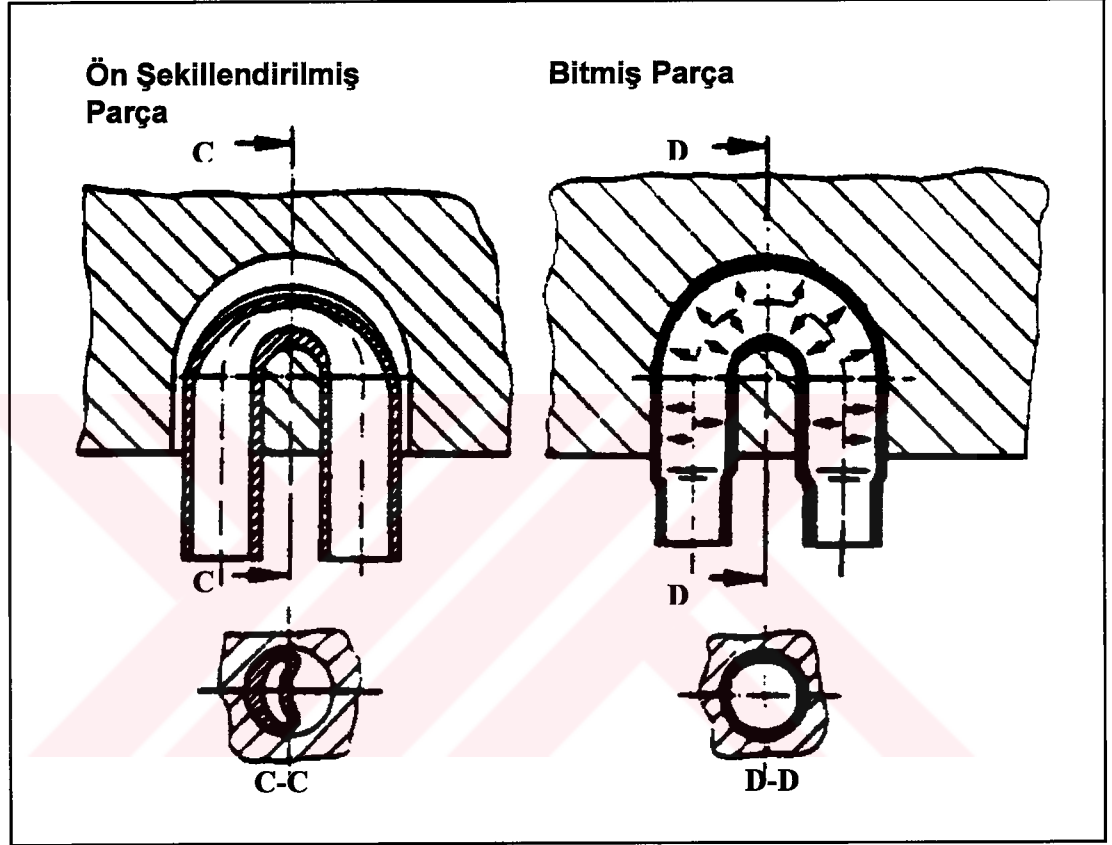
3.2.1.1. Kalibrasyon

Kalibrasyon işlemi, genellikle diğer işlemlerin son aşaması olarak düşünöldüğünden bu işlemlerle birlikte ele alınmaktadır. Ancak aynı zamanda içi boş ürünlerin imalatında onlarca yıldır kullanılan, başlı başına bir yöntemdir [66].

Hidrolik şekillendirme esnasında kesit alanındaki değişimin çok küçük olmasında dolayı kalibrasyon işlemi denilen bu işlem karmaşık geometrili parçaların imalatı için çok uygundur. Ön şekillendirilmiş (bükölmüş), farklı kesitlere sahip parçalarda meydana gelmiş olan bükme kusurları ve cidar kalınlığı farklılıkları bu yöntem kullanılarak ortadan kaldırılabilir (Şekil 3-4). Yalnız burada malzemenin şekillendirilebilirliği, tüpün daha önceden geçirmiş olduğu şekil değişiminden dolayı bir miktar kısıtlanmıştır. Bu yöntemde şekil değişim miktarları çok küçük olduğundan herhangi bir yağlama ihtiyacı yoktur. Aynı zamanda kalıp yüzeyine göre parça hareketi sınırlı olduğundan dolayı üretilen parçaların yüzey kalitesi çok iyidir, kalıp

yüzeylerinin aşınma miktarları da oldukça düşüktür. Bu yöntem kullanılarak 0.2 mm ye varan tolerans aralıklarına ulaşılabilir [73]. Sanayide yıllardır orta ve büyük ölçekli üretimler için kullanılan bu yöntemin başlıca kullanım alanlarını sıralayacak olursak:

- Otomobil sanayi
- Sağlık ve yiyecek sanayi
- Bisiklet sanayi



Şekil 3-4 Ön şekillendirilmiş tüp hidrolik şekillendirme [66]

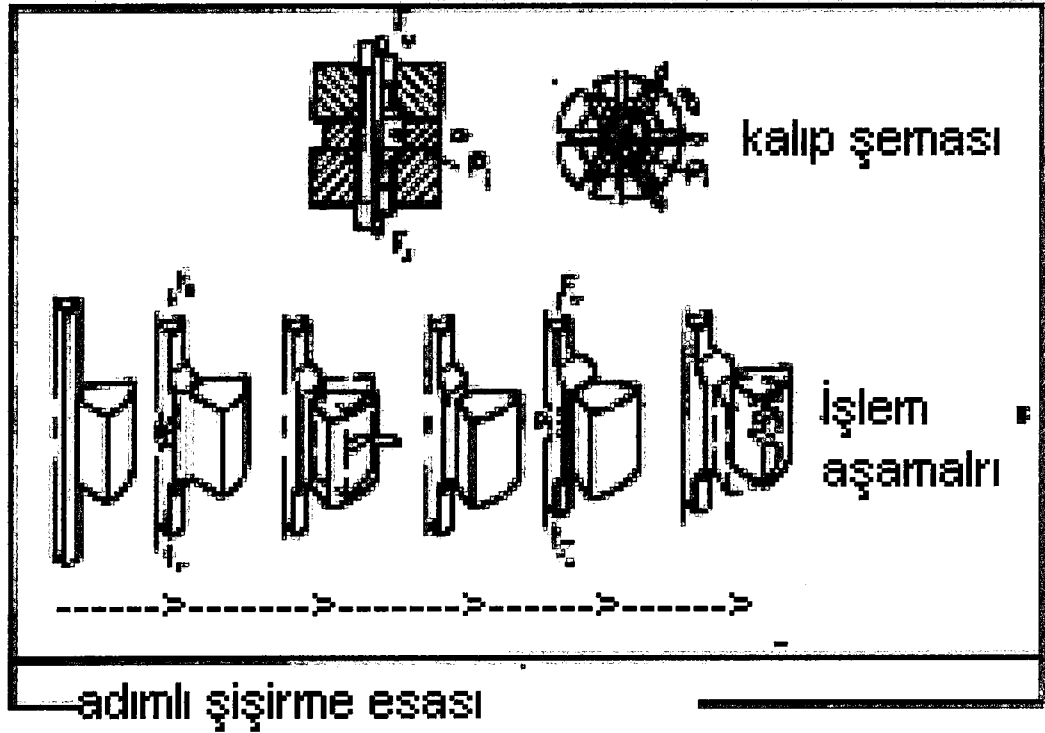
3.2.1.2. Şişme (Saf Şişme)

Sadece basınç etkisi altında meydana gelen şişme işleminde sadece eksensel simetrik yada eş eksenli geometrilerin şekillendirilmesi gerçekleştirilebilir. Şekillendirme bölgesi genellikle tüpün belli bir kesimini kapsamaktadır. Kısmi genişlemeler sayesinde eksen boyunca farklı eğimlere sahip geometriler oluşturmak mümkündür.



Şekil 3-5 Eksensel simetrik katalitik konverter (mercedes-benz)

Eksensel simetrik şekillendirme durumunda tüp kalıp yüzeyi temas edene dek serbest şekil değiştirir. Genellikle yırtılma ve burkulma gibi hatalar bu serbest şekil değişimi safhasında meydana gelmektedir. İç basınç etkisi altında serbest şekil değiştiren yüzeylerde incelmeler meydana gelmekte bu da yırtılmalara sebep olmaktadır. Bu yırtılma safhasına kadar gerçekleşen şekillendirme miktarı malzeme özelliklerin, tüp özelliklerine, şişme bölgesi geometrisine ve şişme miktarına bağlıdır [61]. İşlem esnasında meydana gelebilecek hatalardan kaçınmak için şekillendirme esnasında, şekillendirme bölgesindeki malzemeye destek olacak ek ekipmanlar kullanılabilir. Dohmann [61] bu işlem için esnek kalıpla şekillendirme diye yeni bir yöntem geliştirmiştir (Şekil 3-6). Bu yöntemde şişme bölgesi, şişmeyle orantılı olarak açılan pabuçlar kullanılarak malzemede meydana gelebilecek olan yırtılmalar önlenmiş, şekillendirilebilirlik artırılmıştır. Bu yöntemde elde edilebilecek geometriler ve ulaşılacak şişirme yükseklikleri eksensel yüklemeli şişirme işleminde olduğu gibi malzeme şekillendirme bölgesine doğru itilmediğinden dolayı daha kısıtlıdır. Bu tür şekillendirmenin avantajı kalıpla temas süresi kısa olduğundan meydana gelen aşınma miktarı daha düşük olmasıdır.



Şekil 3-6 Esnek kalıp sistemi ile hidrolik şekillendirme [66]

3.2.1.3. Eksensel Kuvvet Ve Basınçla Şişirme

Bu işlemde, eksensel kuvvetler kullanılarak (Şekil 3-8) şekillendirme bölgesine daha fazla malzeme gitmesi sağlanır. Böylece bölgede meydana gelebilecek olan cidar incelmelerinin dolayısıyla yırtılmaların önüne geçilebilir. Durum böyle olunca bu yöntemle elde edilebilecek olan şişme yükseklikleri sadece basınç kullanılarak gerçekleştirilebilecek olan şişme yüksekliklerinden çok daha fazladır. Tüpün kalıpla temas yüzeyi artıkça meydana gelen sürtünme kuvvetleri de artmaktadır. Bir süre sonra bu sürtünme kuvvetleri dolayısıyla şişirme bölgesine daha fazla malzeme itilememekte ve hasar oluşmaktadır. Yani bu işlemde şekillendirmeyi etkileyen en önemli dış etken sürtünme kuvvetleridir.

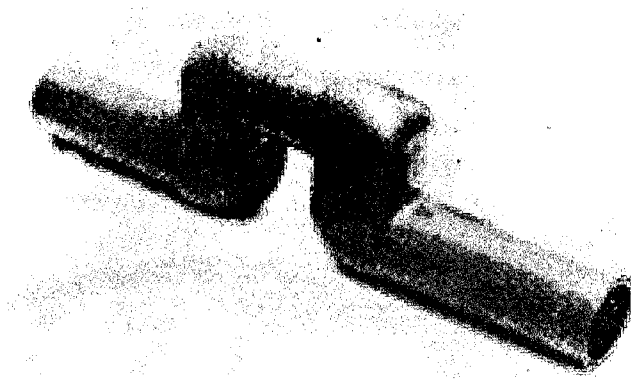
Bu işlemde önemli olan nokta zımba hareketiyle iç basınç arasında uygun bir ilişki kurarak, bu ilişkiye uygun olarak zımba hareketini programlamaktır. Bunun için zımba hareketi ve iç basınç miktarları sürekli olarak ölçülerek en uygun biçimde ayarlanmalıdır. Eğer yetersiz iç basınç varsa zımba hareketi katlanmaya sebep

olacaktır. Aynı şekilde iç basınç haddinden fazla ise sade basınç altında şekillendirmede olduğu gibi yırtılma meydana gelecektir.

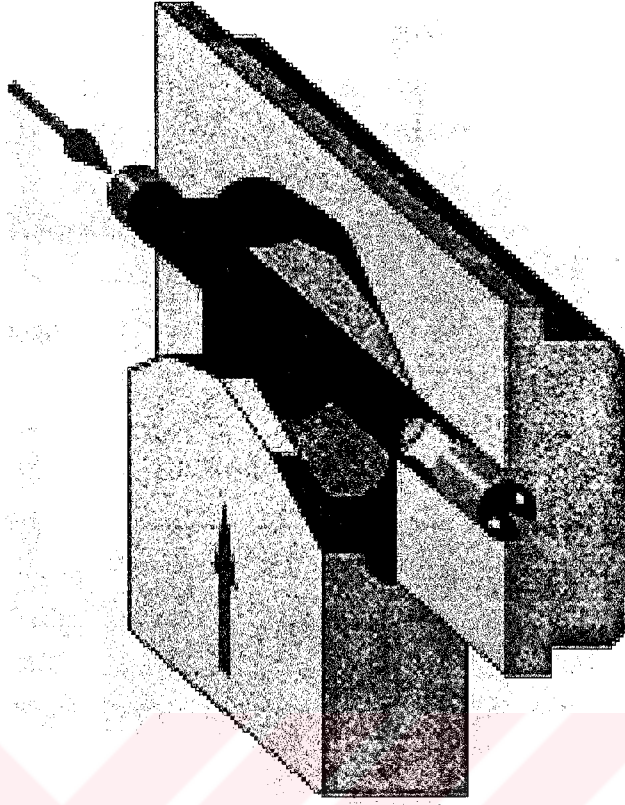
Yöntem kalibrasyon işlemiyle birlikte en yaygın şekilde kullanılan tüp hidrolik şekillendirme yöntemidir.

3.2.1.4. Yer Değişimi (Bükme İle Birlikte)

Klasik yöntemlerle üretilmeyen karmaşık geometrideki parçalar tüp hidrolik şekillendirme ile üretilmektedir. Yalnız tüp malzemenin genellikle başlangıçta belirli bir ön şekillendirme geçirmiş olması gerekmektedir (Şekil 3-7). Bu ön şekillendirmeye uğramış olan parçalar geçirmiş oldukları şekil değişiminden dolayı şekillendirme kabiliyetlerinin bir kısmını kaybetmekte buda yöntemin önüne bir pürüz olarak çıkmaktadır. Bundan dolayı bükme ve hidrolik şekillendirme işlemleri tek bir işlem altında toplanmıştır. Bu yöntem kullanılarak, düz bir tüp tek bir adımda son şeklini almaktadır. Kalıp içine yerleştirilen düz tüp artan basınçla birlikte, kalıp tarafından bükme kuvvetlerine maruz bırakılır. Burada zorlamanın basınç bileşeni kesit değişimlerini gerçekleştirirken, bükme kuvvetleri ise eksen doğrultusunun değiştirilmesine yarar. Bu yöntemin Schmoeckelin gerçekleştirdiği sınıflandırmasındaki yeri gerilmeli basınçla bükerek şekillendirme işlemdir.



Şekil 3-7 Bükme ile hidrolik şekillendirme vasıtasıyla üretilmiş bir parça [75]

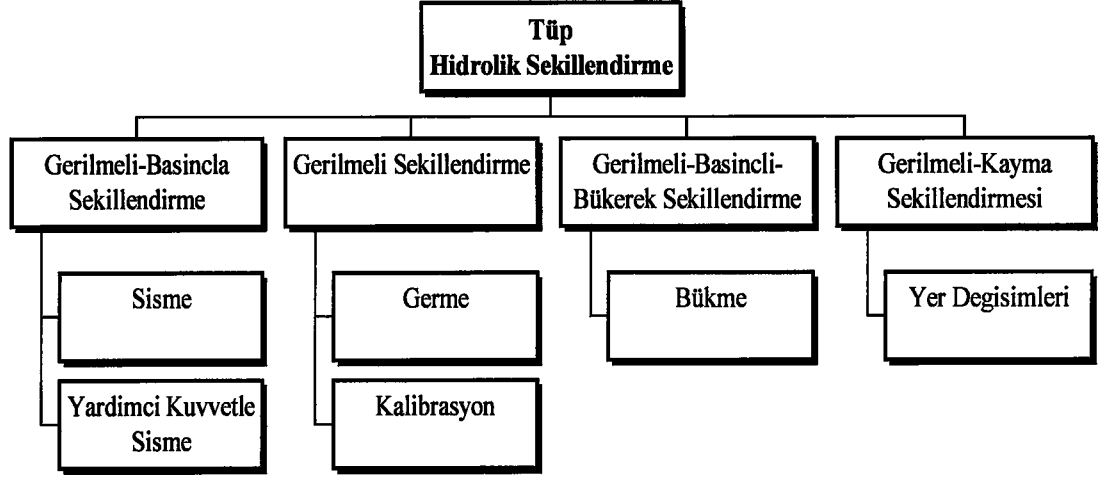


Şekil 3-8 Bükme ile hidrolik şekillendirme için bir kalıp çizimi [74]

3.2.2. Meydana Gelen Gerilmeler Göre Sınıflandırma

Değişik işlem türlerini sınıflandırmak için meydana gelen gerilme türlerini ilk defa Almanya'daki Darmstadt üniversitesinden profesör Schmoeckel kullanmıştır [76]. Bu sınıflandırma türü Alman standartlar enstitüsü tarafından da kabul görmüş olup tüp hidrolik şekillendirmeyi temel olarak dört grupta incelemektedir (Şekil 3-9):

- Gerilmeli basınçla şekillendirme
- Gerilmeli şekillendirme
- Gerilmeli basınçla bükerek şekillendirme
- Gerilmeli kayma şekillendirmesi



Şekil 3-9 Tüp hidrolik şekillendirme de meydana gelen gerilmelere göre sınıflandırma

3.2.3. Parça Geometrisine Göre Sınıflandırma

Tüp hidrolik şekillendirme işleminin parça geometrisine göre sınıflandırılması ilk defa hidroşekillendirme işlemi için bir bulanık kontrol sistemi tasarlarken Engel ve Dick [70] tarafından yapılmıştır. Parçaları:

- eksensel (uzunlamasına) yönde olan değişimlerine
- uzunlamasına olan ekseninde ki göre önemli noktaların konumlarına
- kesit alanının değişimine

göre sınıflandırmışlardır.

Yalnız bütün bir sınıflandırma sadece egzoz sistemlerini içerirken yapısal şase parçalarını kapsamamaktadır. Koç ve Altan [77] ise akslar beşikler gibi yapısal parçaları da egzoz parçalarıyla birlikte incelemiştir.

Sınıflandırmaları:

- Spline geometrisine
- Temel özellikler
- Tüplerin kesit alanları ve
- Boy-çap[L/D] oranına

dayanmaktadır.

Dohmann ise tüp hidrolik şekillendirme işlemini kısaca iki gruba ayırmıştır:

- Başlangıçta düz bir eksene sahip tüplerle gerçekleştirilen hidrolik şekillendirme
- Hidrolik şekillendirme öncesi bükülmüş tüplerle gerçekleştirilen hidrolik şekillendirme

Bu sınıflandırmaya bağlı kalarak hangi tür parçaların ne tür kalıplarda üretilebileceğini belirtmiştir [66]

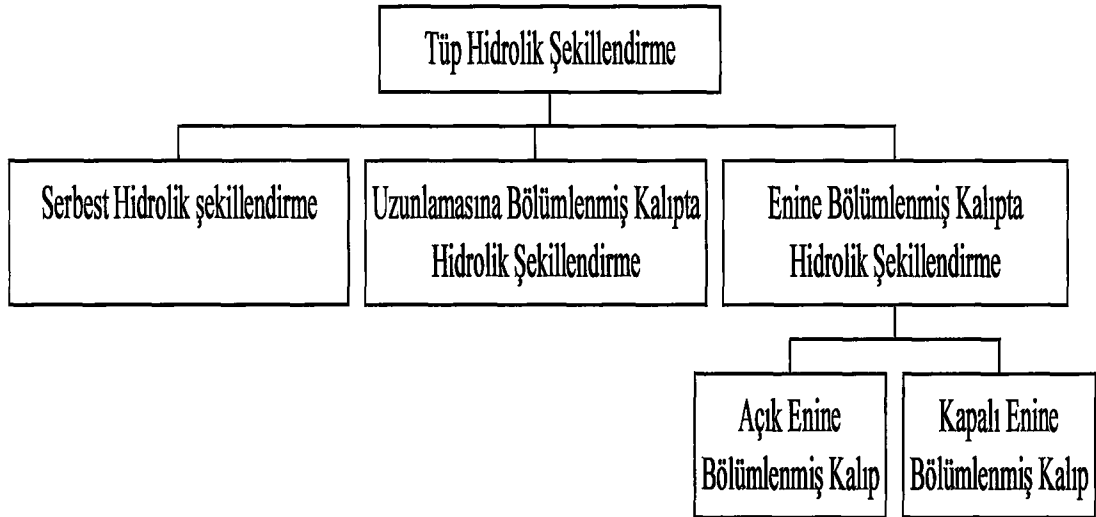
3.2.4. Kullanılan Kalıp Türlerine Göre Sınıflandırma

Tüp hidrolik şekillendirme işlemi kullanılan kalıbın kapanma şekline göre 3 sınıf altında incelenebilir. Bunlar sırasıyla:

- Serbest tüp hidrolik şekillendirme
- Uzunlamasına bölünmüş kalıpta tüp hidrolik şekillendirme
- Enine bölünmüş kalıpta hidrolik şekillendirme

olarak sınıflandırılabilir (Şekil 3-10).

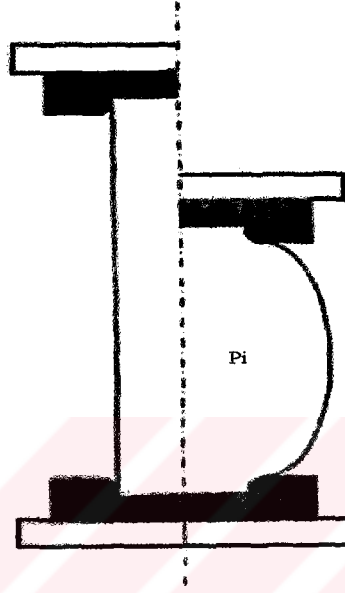
Tüp Hidrolik Şekillendirmede Kalıp Geometrisine Göre Sınıflandırma



Şekil 3-10 Tüp hidrolik şekillendirmede kalıp geometrisine göre sınıflandırma

3.2.4.1. Serbest Şekillendirme

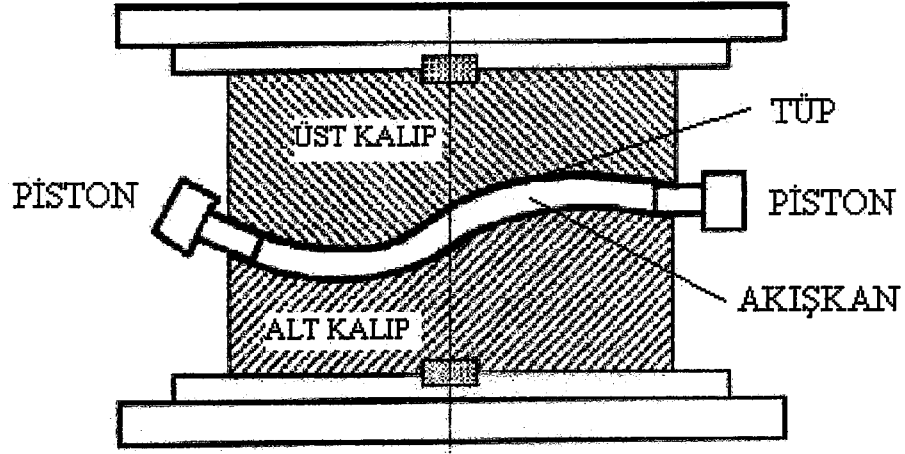
serbest hidrolik şekillendirme sadece basit geometriler için uygun olan bir yöntemdir. Genellikle tüp malzemelerin şekillendirilebilirliğini test etmek için kullanılan bu tür kalıplarda, tüp malzemenin kalıp yüzeylerine temas etmesi gibi bir sorun yoktur. Yalnız endüstride kullanılan parçaların hassasiyeti ve karmaşıklığı düşünülecek olursa bu tür şekillendirmenin pratikte bir faydası olmadığı açıktır (Şekil 3-11)



Şekil 3-11 Serbest hidrolik şekillendirme [78]

3.2.4.2. Uzunlamasına Bölünmüş Kalıpta Tüp Hidrolik Şekillendirme

Bu tür kalıpların imalatı genel olarak pahalı olmasına ve enlemesine bölünmüş kalıpların sağlamış olduğu üstünlükleri sağlayamamasına rağmen iş parçasının çeşitli eğrilikleri ve kesit geometrisinde değişikliklerin olduğu durumlarda kullanılması gerekmektedir. Egzoz, bağlantı elemanları gibi parçalar bu gruba girmektedir. Böyle durumlarda genellikle parçanın kalıp içinde hareketi için ek sistemler gerekmektedir [61] (Şekil 3-12).



Şekil 3-12 Uzunlamasına bölünmüş kalıp [78]

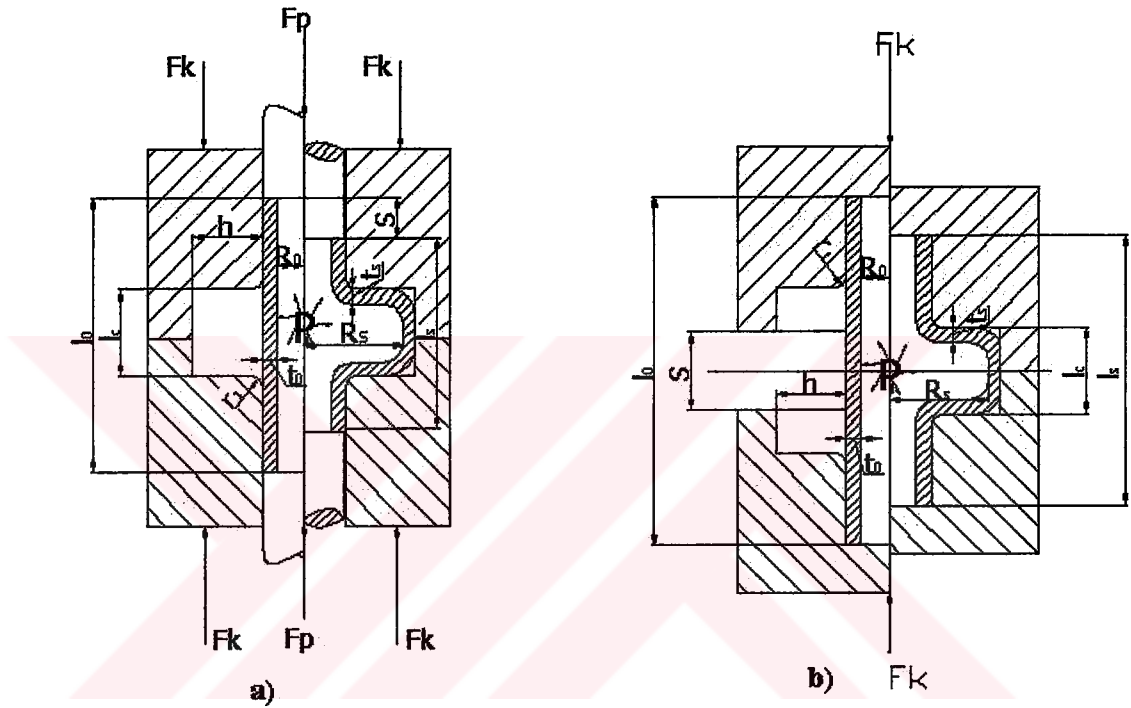
3.2.4.3. Enine Bölümlenmiş Kalıpta Hidrolik Şekillendirme

Bu tür kalıplar endüstride en yaygın olarak kullanılan kalıp türleridir. İki grup altında düşünülebilir a)kapalı enine bölümlenmiş kalıpta hidrolik şekillendirme b)açık enine bölümlenmiş kalıpta hidrolik şekillendirme. Bu tür kalıplar maliyet açısından daha ucuzdur ve boyut hassasiyeti daha iyi iyidir. Aynı zamanda kalıp kapatma kuvvetleri, uzunlamasına bölümlenmiş kalıplar düşünüldüğünde daha azdır. Yalnız bu kalıplarda karmaşık biçimli parçaların imalatı oldukça zordur.

3.2.4.3.1. Kapalı Enine Bölümlenmiş Kalıpta Hidrolik Şekillendirme

Enine bölünmüş kapalı kalıp, işlem başlangıcında kapalı haldedir. Tüp malzeme, şişme işlemi esnasında, şekil değiştirme bölgesine pistonlar vasıtasıyla itilmektedir (Şekil 3-13 a). Kalıp yüzeyi ile tüp arasında sürtünme olduğundan dolayı, gerekli piston kuvveti hesaplanırken bu dikkate alınmalıdır bu tür kalıp. Bu tür kalıpların türlü avantajları ve dezavantajları vardır. Kalıbın tüp malzemeye iyi bir şekilde kılavuzluk

etmesinden dolayı tüpün burkulma riski azdır. Yalnız tüp malzemenin, kalıba göre göreceli olarak hareket etmesinden dolayı meydana gelen sürtünme kuvvetleri daha yüksektir ve de bu şekillendirmeye etki eder. Bu tür kalıplarda tüp malzemenin boyutları tam olarak kalıba uygun şekilde kesilebileceğinden malzeme verimliliği açısından oldukça avantajlı bir konuma sahiptir.



Şekil 3-13 a) Kapalı enine bölümlenmiş kalıp b) Açık enine bölümlenmiş kalıp

3.2.4.3.2. Açık Enine Bölümlenmiş Kalıpta Hidrolik Şekillendirme

Bu tür kalıplarda şekillendirme işlemi kalıp açık iken başlamaktadır (Şekil 3-13b). Kalıbın açık miktarı (iki kalıp yarısı arasındaki mesafe) başlangıç tüp boyu ve şekillendirme işlemi sonrasında meydana gelecek ürün boyu arasındaki fark kadardır. İç basıncın artmasıyla beraber kalıp yavaş yavaş kapanır. Bu tür kalıplarda tüp malzeme ile kalıp birlikte hareket ettiğinden yüzeyler arasında oluşan sürtünme kuvvetleri önemsiz olmayacak mertebededir. Göreceli bir hareket oluşmadığından dolayı

işlem hassasiyeti artmaktadır. Ayrıca tüpün kalıp içine fazla itilmesi gibi bir tehlikede yoktur. Bu tür kalıpların en büyük tehlikesi, başlangıç aşamasında burkulma tehlikesinin çok yüksek olmasıdır. Bu şekillendirmeyi kısıtlayıcı bir faktördür. Tüp başlangıç boyu oldukça dikkatli hesaplanmalıdır.

Kapalı ve açık enine bölümlenmiş kalıpların bazı temel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 3-1 de verilmiştir.

Tablo 3-1 Açık ve kapalı enine bölümlenmiş kalıpların karşılaştırılması [65]

	SÜRTÜNME	BURKULMA	YIRTILMA
AÇIK KALIP	-	↑	↓
KAPALI KALIP	↑	↓	↑

3.3. Yöntemin Avantajları

Hidroşekillendirme teknolojisinin avantajlarını şu şekilde sayabiliriz

- İşlem tek taraflı rijit kalıp kullanır ve diğer kalıp yarısı veya erkek kalıp bir sıvı ortam ile değiştirilebilir, bundan dolayı işleme, parça ve işçilik masrafları düşürülebilir. Ayrıca daha az kalıp aşınması görüldüğünden kalıp bakım masrafları daha düşüktür.
- İşlem, mamul kalitesini geliştirebilir, ürün performansını ciddi ölçüde artırabilir. Hidroşekillendirme ile üretilmiş parçalar daha hafif, ucuz ,dayanıklı, rijit, malzemeyi daha verimli kullanan daha kaliteli ürünlerdir. Özellikle yüksek dayanımlı çelik kullanıldığında bu artış daha iyi gözlenebilmektedir. Buna örnek olarak liderliğini Porsche mühendisliğin yürüttüğü Süper Hafif Çelik Otomobil Gövdesi-Gelişkin Araç Konsepti Projesi verilebilir.Bu projede iki temel kriter vardır: ağırlık ve maliyet. Ve bu teknolojiyi ağırlıktan avantaj sağladığından ve de daha fonksiyonel parçaların

üretilebilmesine imkan sağlamasından dolayı bazı gövde parçalarının (roof rail) üretiminde kullanılmasına karar vermişlerdir.

- Presleme ile üretilen parçalarla kıyaslandığında, hidroşekillendirme ile üretilen parçalar daha sıkı bir tolerans aralığına ve de daha yüksek bir boyutsal tekrarlanabilirliğe sahiptir. Ayrıca daha iyi bir yüzey görünümüne, kalıptan çıkarılmasından sonra daha az geri yaylanma miktarına, ve önemli ölçüde daha düşük artık gerilmelere sahiptir
- Hidroşekillendirme ile üretilen parçalar oldukça karmaşık şekillerde olabilir. Bu teknoloji ile diğer üretim yöntemleri ile üretilemeyen karmaşık geometrideki parçalar üretilebilir. Klasik presleme yoluyla üretilen, daha sonra kaynak ve de benzeri yöntemlerle birleştirilen bir çok parça hidroşekillendirme yöntemiyle üretilen parçalarla değiştirilerek üründeki parça adedi düşürülebilir. Daha az parçadan oluşan bir ürün, örneğin bir otomobil, daha hafif olacaktır ve de daha az işçilik gerektirecektir. Bir çok farklı aşama gerektiren parçalar tek bir adımda üretilebilir. Örneğin parça aynı kalıbın içinde hem şişirilip hem de delikler açılabilir. Örneğin Opel Astra ve Zafira modellerine ait motor beşiğinde hidroşekillendirme ile şekillendirme işlemi esnasında 22 adet delik açılmıştır. Yöntem bir çok işlemi aynı anda yapmasından dolayı ve de bazı durumlarda kaynaklı parçaların yerini almasından dolayı oluşan hurda miktarı çok düşüktür (Şekil 3-18).
- Hidroşekillendirme bir çok avantajlarının yanında; uzun işlem süresi, çok iyi parlatılmış kalıp yüzeyleri , özel sızdırmazlık teknolojileri, yüksek güçlü presler gibi pahalı ekipmanlar ve gerek işlem hakkında ve de gerekse de uygun takım dizaynı hakkında gerekli bilgi ve tecrübenin oluşmamış olması gibi bir çok farklı dezavantajlara da sahiptir. Bundan dolayı işlemin, presleme ve kaynak gibi klasik üretim yöntemlerine göre avantajlı olup olmadığı tüm bu şartlar göz önüne alınarak, her bir parça için ayrı ayrı kontrol edilmelidir.

3.4. İşlem Sınırları Ve Karşılaşılan Hata Türleri:

Parçanın şekil verilebilirliği şu hata türleri ile sınırlandırılmıştır:

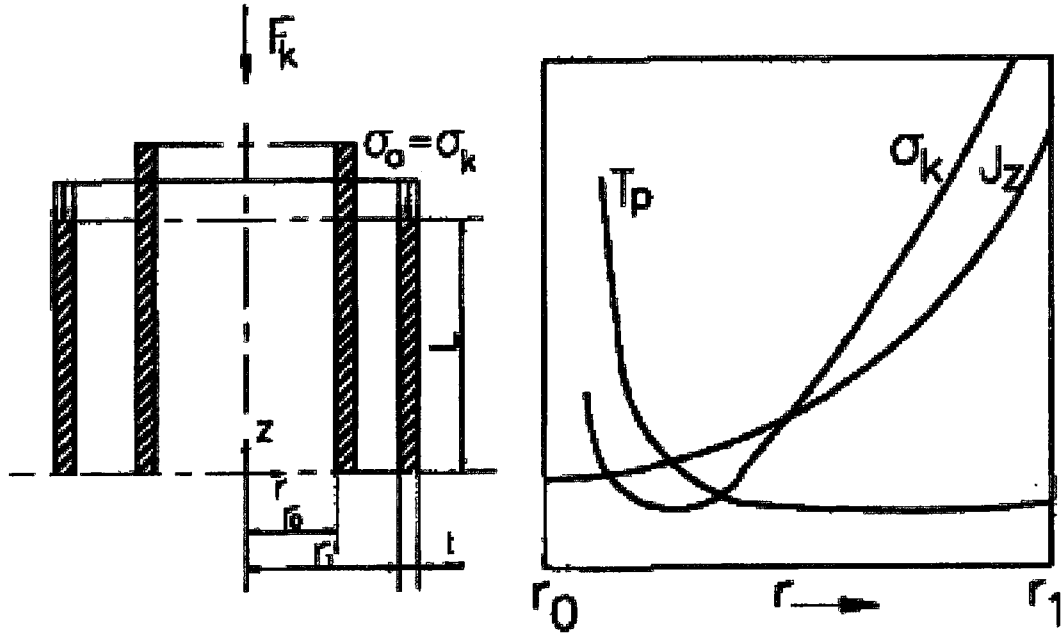
- Cidar incelmesi
- Burkulma (buckling)
- Katlanma (Wrinkling)
- Yırtılma (Bursting)
- Yüzey hataları ve toleranslar

3.4.1. Cidar İncelmesi

Tüp malzemenin cidarı şişirmeyle birlikte incelemeye başlar. Bu inceleme malzeme kalıpla temas ettiği noktada durur ve bu noktadan sonra neredeyse sabit olarak kalır. Temas bölgesinde çevresel olarak meydana gelen genleme (birim şekil değişimi-strain) ve et kalınlığı doğrultusunda meydana gelen genlemeler düzgün dağılımlı olarak oluşur. Kalınlık doğrultusunda meydana gelen genlemenin mutlak değeri çevresel doğrultuda meydana gelen genlemenin mutlak değerinden daha yüksektir. [43]. Yüksek şekil değiştirme oranlarında hasar temas bölgesinin yakınında ama dışında bir bölgede meydana gelir.

3.4.2. Burkulma.

Burkulma tehlikesi genel olarak işlemin ilk başlangıcında çok yüksek eksensel kuvvetler uygulanması ile ortaya çıkmaktadır. Tüp malzeme kalıp cidarı ile temas etmeye başladığı andan itibaren burkulma tehlikesi kalmamasına rağmen, öncesinde meydana gelen küçük miktardaki burkulmalar, tüp malzeme homojen olarak kalıba temas etmediğinden dolayı et kalınlığı dağılımında farklılıklar gösterecektir. Burkulma tüp değişkenlerine, işlem değişkenlerine ve kalıp geometrisine bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.. Bu hata türünden kaçınmak için, sıkıştırma sonucu tüp serbest uzunluğundaki kısılma miktarının, tüm tüp boyunca kesit alanlardaki dayanım artışıyla (section modulus) [65] hızlı bir şekilde telafi edilmesi gerekir.(Şekil 3-14)



Şekil 3-14 σ_z , burkulma gerilimi; T_p , tanjant modülü ve J_z , kesit modülünün genişleme esnasında birbirine göre değişimi [65]

Buradaki temel değişkenler serbest tüp uzunluğu, l_f , tüp çapı (dış çap), d_0 , ve tüp et kalınlığından, t_0 , oluşmaktadır.

Bir parçada burkulma gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini d_0/t_0 oranına bakarak kestirebiliriz. Eğer $20 \leq d_0/t_0 \leq 45$ aralığında bir malzeme ile çalışılıyorsa, serbest tüp boyu, l_f , boru dış çapının, d_0 , iki katını aşmamalıdır. Eğer $d_0/t_0 \geq 45$ ise, bu durumda tüp çok ince cidarlı olduğundan dolayı burkulma riski çok yüksektir. Bunun gibi eğer $d_0/t_0 < 20$ ise tüp oldukça kalın cidarlı olduğundan dolayı l_f serbest boyu $2d_0$ dan büyük seçilebilir. (Şekil 3-15) [79].

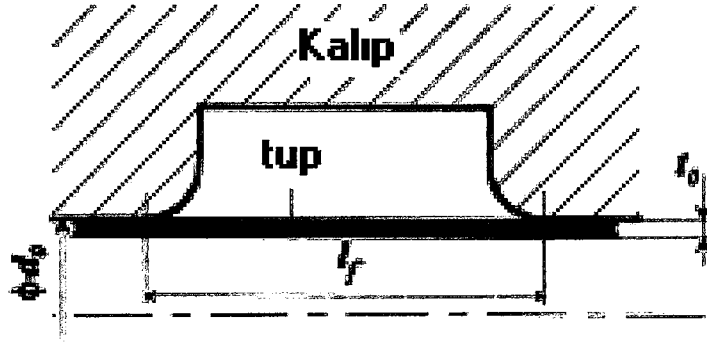
Kısaca özetleyecek olursak:

Eğer $20 \leq d_0/t_0 \leq 45$, $\rightarrow l_f \leq 2 \cdot d_0$

Eğer $d_0/t_0 > 45$, $\rightarrow l_f \ll 2 \cdot d_0$

Eğer $d_0/t_0 < 20$, $\rightarrow l_f > 2 \cdot d_0$

Olarak alınmalıdır.



Şekil 3-15 Burkulmaya etkiyen faktörler

Yüksek basınçlarda çalışılması da bu tür hatayı önleyecektir (denklem 3-1)

$$P_i = 2\sigma_y(t_0/l_f) \quad (3-1)$$

3.4.3. Katlanma:

Katlanma genişleme bölgesinde görülen neredeyse kaçınılmaz bir hata türüdür. Çok yüksek eksenel kuvvet kullanılması sonucu oluşur. Uzun eksen boyunca simetrik olan bu katlanma hataları iç basıncın artırılması ile ortadan kalkarlar. Eğer çok uzun bir şekillendirme boşluğu kullanılıyorsa, yüksek eksenel kuvvetler yüzünden iş parçasının orta kısmının katlanma oluşturma olasılığı artar. Bu tür bir katlanma oluşumu, bazı basitleştirici kabullere dayalı analitik çözümlerle daha önceden tahmin edilebilir. Denklem 3-1 kullanılarak bu tür hatalardan (büyük miktardaki katlanma hatasından) kaçınılabilir [80].

3.4.4. Yırtılma:

Yırtılma oluşumu genel olarak orta seviye şekillendirme ($d_1/d_0 > 1.4$) sonrasında, gereğinden yüksek iç basınç uygulanması sonrası oluşur. Yırtık oluşumu, tüp cidarında meydana gelen yerel incelme ile başlar. Tüp duvarlarının şişirme esnasında ki davranışları bu olaya etki eden temel faktördür. Tüp kalıp yüzeyi temas etmeye başladıktan sonra, kritik iç basınca ulaşılsa bile yırtılma gerçekleşmez (temas bölgesinde)

İç basınç ve eksensel kuvvet etkisi altında şekillendirilen tüplerde boyun vermenin başlayacağı etkin genleme miktarı Denklem 3-2 ile hesaplanabilir.

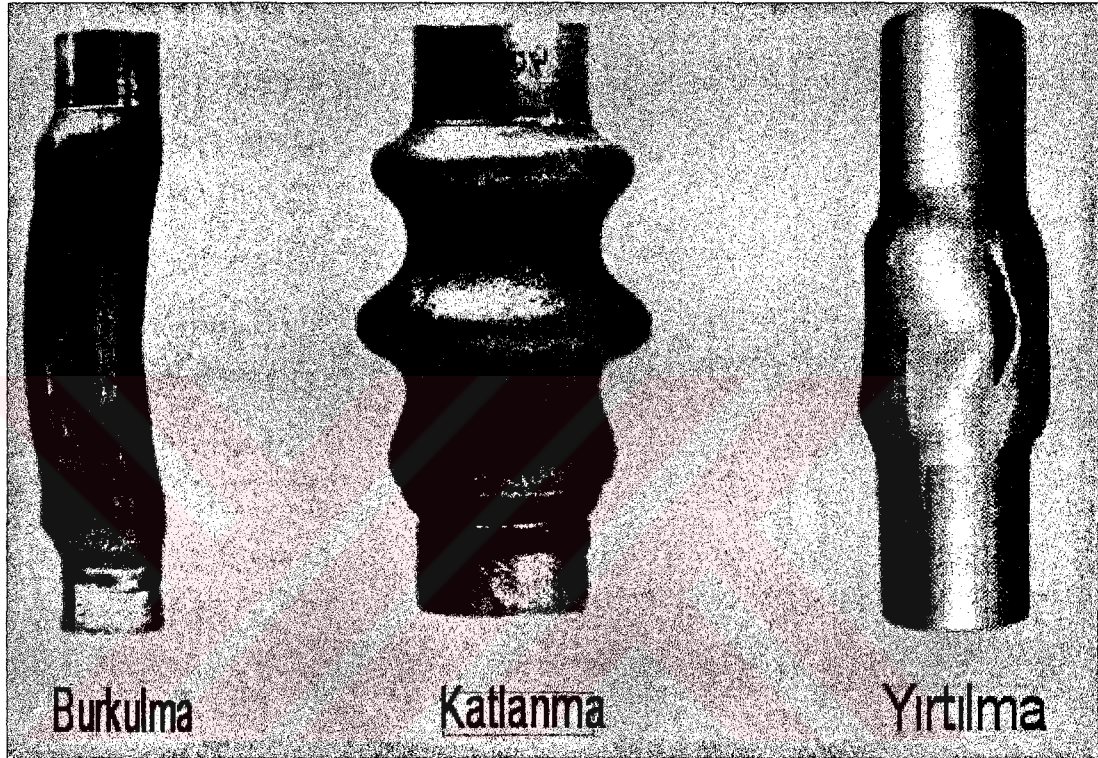
$$\varepsilon_v = n \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\zeta^2 - \zeta + 1} \quad (3-2)$$

burada :

n =pekleşme üsteli

ζ =eksensel gerilmenin teğetsel gerilmeye oranı

Şekil 3-16 'de burkulma, katlanma ve yırtılma hataları görülmektedir.



Şekil 3-16 Burkulma, katlanma ve yırtılma hatalarına ait örnekler [66].

3.4.5. Yüzey Hataları Ve Toleranslar

Tüp hidrolik şekillendirmede elde edilebilen boyutsal tolerans aralığı IT 12 ile IT 14 arasında değişmektedir. Bazı özel durumlar için IT 10 dahi elde edilebilmektedir. [81] Yüzey hataları limit şekillendirme genlemelerini düşürmektedir. Yalnız etkili olan yüzey hataları et kalın kalınlığının 1/7 sinden daha fazla olanlardır. Hatanın boyu önemli değildir. Gerekli maksimum iç basınçta bundan etkilenmeyecektir [82].

3.5. Sanayi Uygulamaları

Hidrolik şekillendirme tarafından sunulan yapısal ve tasarım imkanları, bir çok başarılı, uygun hizmet ömrü ve ağırlık avantajlarına sahip yüksek dayanımlı parça ve montajların imalatına olanak vermiştir.

Bu parçalar, yarı mamulleri ve bir çok farklı alandaki bitmiş ürünleri kapsamaktadır

Uygulama alanları son yıllarda özellikle 3 önemli grup altında toplanmıştır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: Tablo 3-2 de hidrolik şekillendirmenin kullanıldığı sanayi dalları ve kullanım yerleri verilmiştir.

- Otomotiv mühendisliği ve tedarik sanayi
- Sağlık ve ev araç gereci sanayi
- Boru ve boru paçaları sanayi

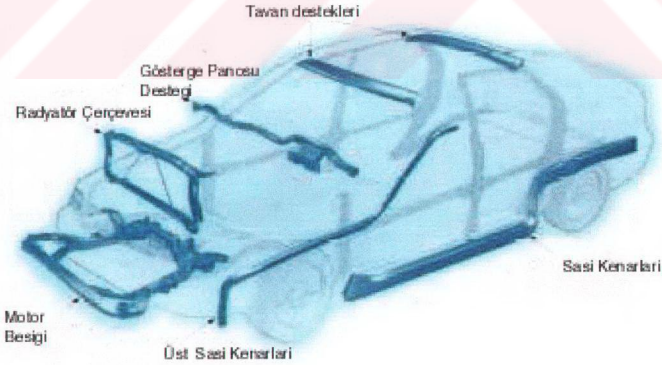
Tablo 3-2 Tüp hidrolik şekillendirmenin kullanım alanları

Dal	Montaj	Parça (örnek)
Otomotiv Sanayi Araçlar -kara -su -hava -raylı	Şasiler, çıkış (egzoz) ve giriş sistemleri, eklenti parçalar, sürüş sistemleri, koltuklar, gövde yapıları, seyir sistemleri	Çapraz bağlantılar,, yan kenarlıklar , manifoldlar, tavan yatakları, rüzgarlıklar, şaft milleri, koltuk çerçeveleri , A/B/C sütunları, tavan profilleri, hassas direksiyon milleri
Kimyasal, gaz, petrol Sanayi, güç santrali yapıları	Boru ve tank parçaları, boru bağlantıları	T bağlantıları, indirgeyiciler, yataklar, ızgaralar.
Bisiklet Sanayi	Boru bağlantıları	Pedal yatakları, bağlantılar, çerçeveler
Kesit İşleme	Çerçeve imalatı, yarı bitmiş borular, raylı taşıtlar, eğlence araçları	bağlantılar, kirişler, kalibre edilmiş tüpler, çeşitli kesitler, tavan kemerleri, kafesler, yapısal elemanlar

Tablo 3-3 Tüp hidrolik şekillendirmenin kullanım alanları (Tablo 3-2 devam)

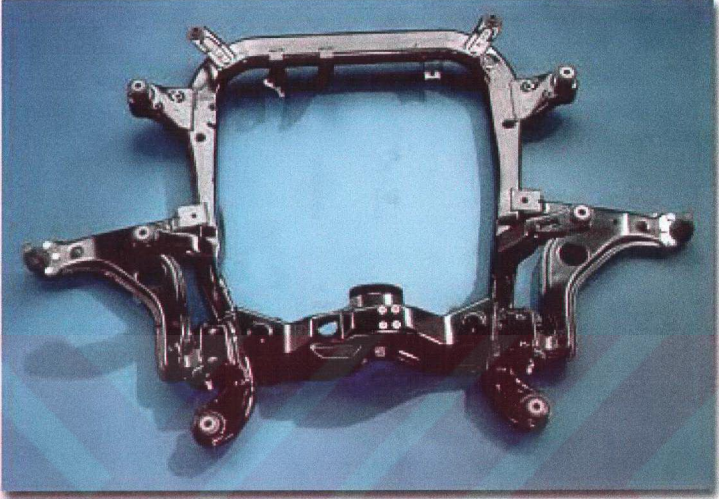
Pompa ve bağlantılar	Yataklar	Giriş boruları
Isıtma, havalandırma	Bağlantılar	Bükümlü borular, indirgeyiciler, T-bağlantılar, manifoldlar
Mobilya Sanayi	Çerçeveler,	Ayaklar, yapısal elemanlar, bağlantılar, kabuk yapılar, raflar
Aydınlatma Sanayi	Sokak lambaları	Lamba yuvaları, lamba yatakları
Optik Sanayi	Teleskoplar, torchlar	Yataklar

Günümüzde özellikle otomotiv sanayiinde hidroşekillendirme yoluyla üretilmiş gövde sistemlerini (gösterge panosu, radyatör çerçeveleri, koltuk çerçeveleri) , tavan ve yan kenarları; şasi sistemleri (motor beşiği, arka beşik, merdiven çerçeveleri, sönümleme çubukları); kontrol ve süspansiyon sistemleri (kontrol kolları, direksiyon milleri); motor ve çekiş sistemleri (egzoz manifoldu, cam mili) görmek mümkündür. Şekil 3-17’de tüp hidroşekillendirme yöntemiyle üretilmiş otomobil parçaları görülmektedir.



Şekil 3-17 Tüp hidroşekillendirme yoluyla üretilen otomobil parçaları

Bunlara güncel bir örnek olarak Opel Astra ve Opel Zafira modellerinin motor beşikleri örnek olarak verilebilir.(Şekil 3-18)



Şekil 3-18 Opel Astra ve Zafira modelleri için hidroşekillendirme yoluyla üretilmiş motor beşığı

Firma bu yolla klasik üretim yöntemine (half shelling method) göre:

- Ağırlıkça %30
- Üretim maliyetlerinde %20
- Takım maliyetlerinde %60

varan oranlarda tasarruf etmiştir.

Hidrolik şekillendirme gerek ürün bakımından, gerek hizmet bakımından gerekse ekipman bakımından hizmet veren oldukça çok sayıda firma vardır. Bunlardan bazı önemli firmalar ve faaliyetleri Tablo 3-4'de verilmiştir:

Tablo 3-4 Önde gelen bazı araştırma kurumları ve şirketler [72].

Araştırma Kurumları	Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, Columbus Ohio, ABD Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz, Almanya TH Darmstadt, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen, Almanya Universität Dortmund, Lehrstuhl für umformende Fertigungsverfahren, Almanya Universität-GH Paderborn, Laboratorium für umformende Fertigungsverfahren, Almanya
Tüp Hidrolik Şekillendirme Ekipmanları Üreticileri	Huber & Bauer GmbH, Dillingen, Almanya Hydrap Pressen Maschinenbau GmbH, Plüdershausen, Almanya HydroDynamic Technologies, Michigan USA, Amerika Müller-Weingarten AG, Esslingen, Almanya Schäfer Maschinenbau GmbH & Co., Wilnsdorf, Almanya Siempelkamp Pressen Systeme GmbH & Co., Krefeld, Almanya Schuler GmbH, Almanya Vari-Form, Amerika
Tüp Hidrolik Şekillendirme Yoluyla Parça Üreten Firmalar	A.O. Smith Benteler AG BMW AG, Dingolfing Boysen GmbH, Altensteig Butting GmbH, Wittingen Drauz GmbH, Heilbronn Dr. Meleghy Preßwerk, Zwickau hde Metallwerk GmbH, Menden Magna-IHV, Aalen Mercedes-Benz AG, Werk Hamburg Schmitz & Brill GmbH, Finnentrop Vari-Form, Michigan USA Zeuna Stärker GmbH, Augsburg

Bu şirketlerin ve araştırma kurumlarının geliştirmiş oldukları bir çok farklı tüp hidrolik şekillendirme yöntemi mevcuttur. Yalnız bunların bir çoğu patentli yöntemlerdir.



BÖLÜM IV

4. Deneylerin Yapılması

Deney Malzemesi:

Deneyler sıcak ekstrüzyonla üretilmiş dikişsiz borularla yapılmıştır. Boru malzemesi ST35.8/I dengi bir malzemedir. Bu malzemeye ilişkin teknik bilgiler DIN 2448/81, DIN 17175/79/I ve EN 10204/3.1B de belirtilmiştir. Malzemeler Slovak Zelezárne Podbrezova firmasından sağlanmıştır.

Tüp malzemenin boyutları:

Dış Çap: 60.53 mm (standart sapma 0,045)

Et kalınlığı: 3 mm (standart sapma 0,165)

Deney numunelerin boyu 395 mm olarak seçilmiştir.

Tüp malzemesine ait mekanik özellikler Tablo 4-1 'de verilmiştir.

Tablo 4-1 Tüp malzemeye ait mekanik özellikler

Deney No	Isıl İşlem No	Akma Noktası (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Uzama %	Sertlik HRB	Darbe Enerjisi	Notlar
1	E 3202	378	445	35	-	-	-
2		392	442	35	-	-	-
3		394	450	38	-	-	-
4		392	459	35	-	-	-

Tüp malzemenin kimyasal özellikleri ise Tablo 4-2’de verilmiştir:

Tablo 4-2 Tüp malzemeye ait kimyasal özellikler

Isıl işlem no		C	Mn	Si	P	S
	En düşük	-	0.400	0.100	-	-
	En yüksek	0,170	0.800	0.350	0.040	0.040
E 3202		0.090	0.420	0.230	0.007	0.005

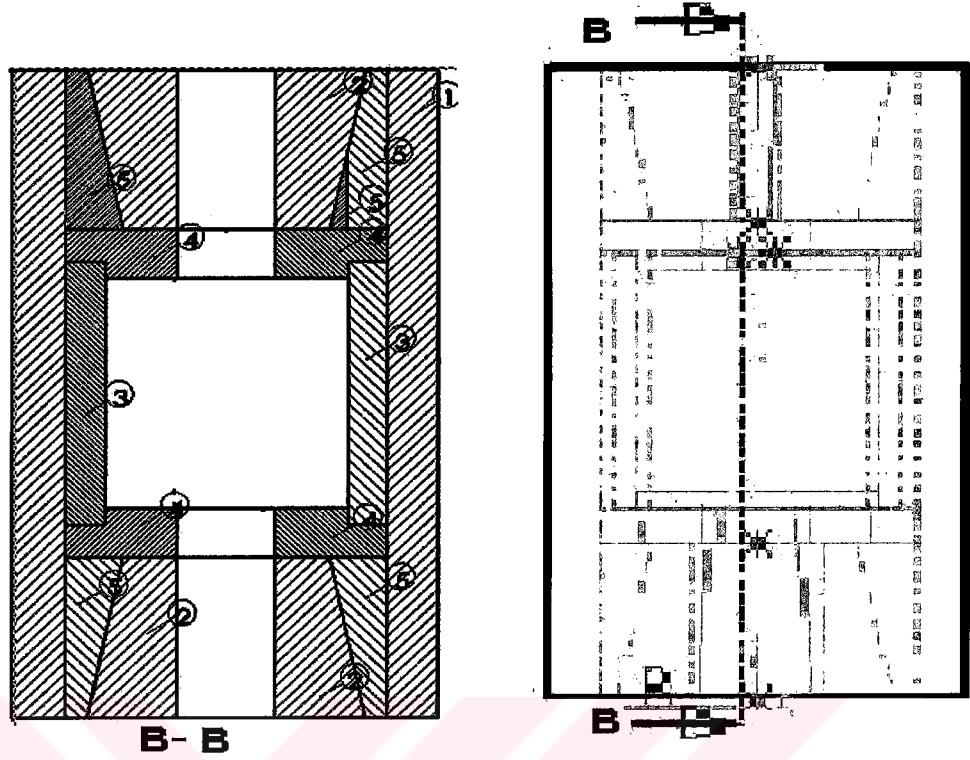
Deneylerin amacı malzemenin mekanik özelliklerini değiştirerek tüp hidrolik şekillendirme esnasındaki şekil değişimini incelemektir. Bu amaçla şu deney planı uygulanmıştır:

Tüp malzemeler 1000 derece sıcaklıkta değişik sürelerde tavlanmıştır.

Tavlanmış numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için tavlı numunelere çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi testleri Dartec marka çekme deneyi test düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri esnasında kısa aralıklı (1.25mm okuma kapasiteli) bir eksansometre kullanılmış; belli aralıklarla eksansometre sıfırlanarak, plastik şekil değiştirme bölgesinden mümkün olduğunca çok veri alınmasına çalışılmıştır.

Tüp malzemeler yüzeylerinde fotoresist yöntemle benekler (grid) oluşturulmuştur. Bunun için numune yüzeyleri iyice temizlendikten sonra alkolle silinmiş ardından yüzey ışığa duyarlı bir boyayla (pozitif 20) boyanmıştır. Boyanın kurumasında sonra (70 santigratta ~1 saat) yüzeye üstünde 2.6 mm çapında küçük daireler olan bir asetat yapıştırılarak torna tezgahında 18 dakika boyunca ultraviyole ışık altında pozlanmıştır. Ardından kostik çözeltisi (%2 NaOH) çözeltisi içinde 2 dakika banyoya daldırılarak benekler oluşturulmuştur.

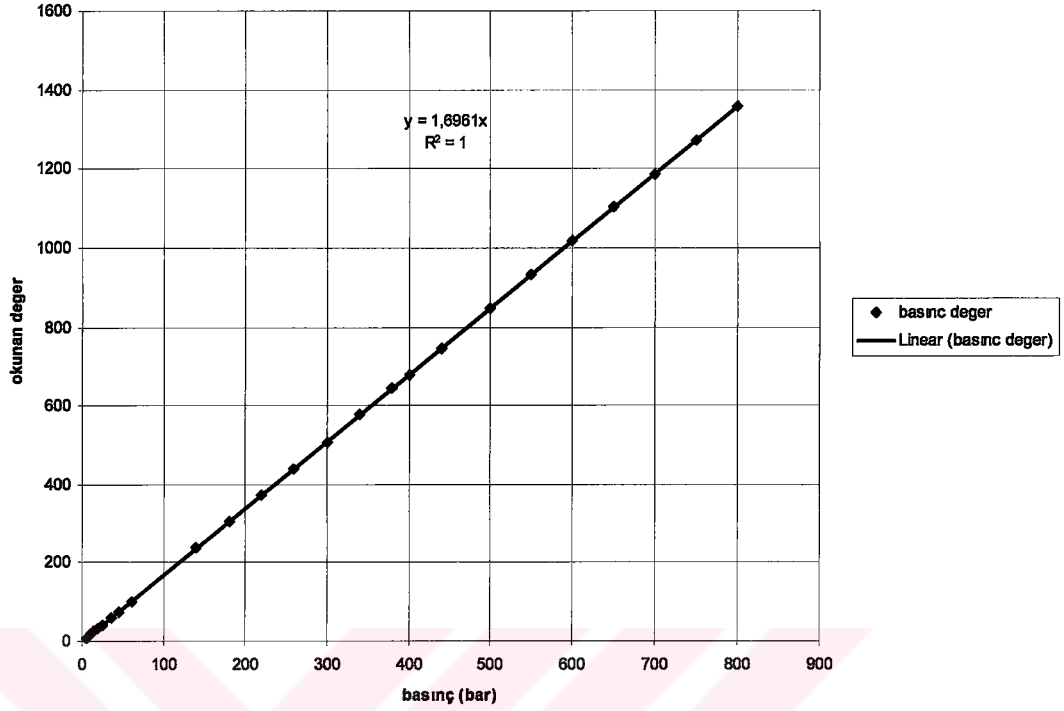
Hazırlanan kalıpta, basınç oluşturu ortam olarak su ve yağ (bor yağı) karışımı kullanılarak şekillendirme işlemi yapılmıştır. Şekil 4-1’de şekillendirme esnasında kullanılması tasarlanan kalıp görülmektedir. Kalıpta deneyler esnasında, işlemi basitleştirmek için bazı değişiklikler yapılmış olmasına rağmen, temel yaklaşım muhafaza edilmiştir.



Şekil 4-1 Tüp hidrolik şekillendirme işlemi için tasarlanan ve imal edilen kalıp

Şekillendirme işlemi esnasında mümkün olduğunca aynı şartlar sağlanmaya çalışılmış, sürtünme koşulları tüm numuneler için aynı olduğu varsayılmıştır. Yeterli basınca ulaşabilmek için 10 barda çalışan bir kompresör ve 1/65 verimli bir pompa kullanılmıştır. Herhangi bir kaçak olmaması durumunda toplam Şekillenme süresi yaklaşık ~20 saniye almaktadır. Uygulanan basıncı ölçebilmek için genleme ölçer rozetler (strain gage) yardımıyla bir yarım köprü basınç hücresi oluşturulmuş, sabit ağırlık test düzeneği kullanılarak (dead weight tester) oluşturulan bu hücreler kalibre edilmiştir. Şekil 4-2’de bu basınç ölçüm hücresine ait kalibrasyon eğrisi görülmektedir.

Basınç Hücresi Kalibrasyon Ölçümleri



Şekil 4-2 Basınç ölçüm kalibrasyon çizelgesi

Oluşturulan kalibrasyon eğrisinden genleme ölçer rozet değeri ile basınç arasında şu Şekilde bir bağıntı olduğu bulunmuştur:

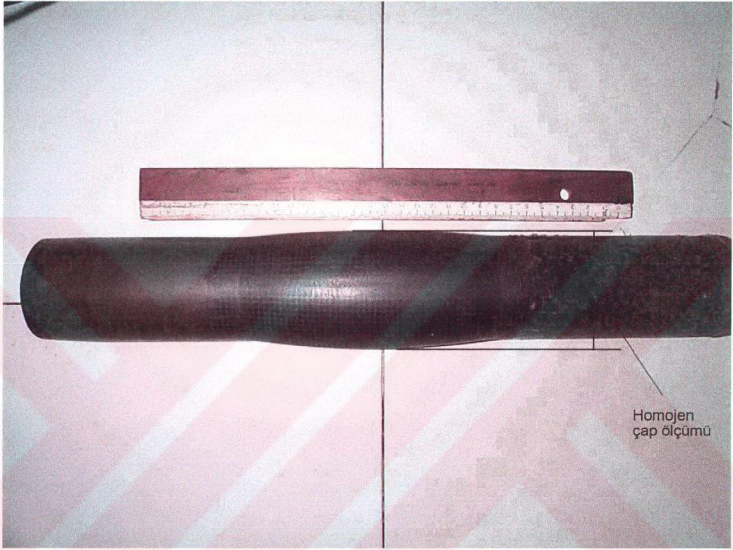
Genleme ölçer rozet değeri=1,6961* Basınç.

Basınç değerlerinin belirlenebilmesi için bu bağıntıdan yararlanılmıştır. Basınç hücresi değerlerini okumada bir X-Y yazıcı kullanılarak veriler elde edilmiştir. Daha sonra bu veriler milimetrik kağıttan okunarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

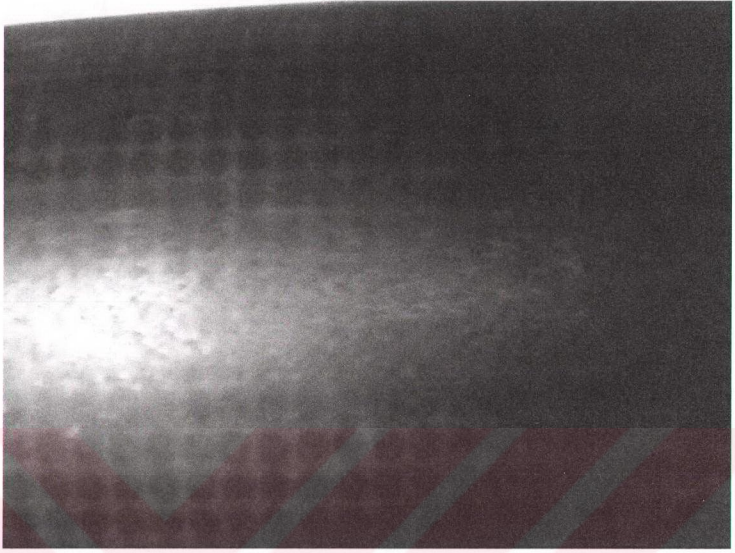
Parçalar şekillendirildikten sonra şişme bölgesindeki çap değişimi, et kalınlığı değişimi ve eksensel ve teğetsel benek ölçümleri yapılarak üç eksenindeki şekil değişimleri bulunmuştur. Beneklerin ölçülmesinde 20 büyütmeli, 1/10 hassasiyetli bir büyüteç kullanılmıştır. Et kalınlığı ölçümlerinde 1/100 hassasiyetli analog bir mikrometre kullanılmıştır. Çap değişimlerini ölçmek için ise 1/100 hassasiyetli bir dijital kumpas kullanılmıştır. Beneklerin şekil değiştirme öncesindeki ortalama çapı eksensel ve teğetsel ölçümler sonucunda 2,6mm (standart sapması 0.18mm) olarak bulunmuştur. Ayrıca bir fikir vermek amacıyla hasar bölgesindeki çap değişimi, açılma miktarı ve yırtık boyları da ölçülmüştür. Geometrik ölçümlerin nerelerden yapıldığı Şekil 4-5 ve Şekil 4-6 ya bakılabilir. Et kalınlığı 90° ve 180° deki et kalınlığı olmak üzere iki ayrı bölgede ölçülmüştür.

4.1. Deneyler

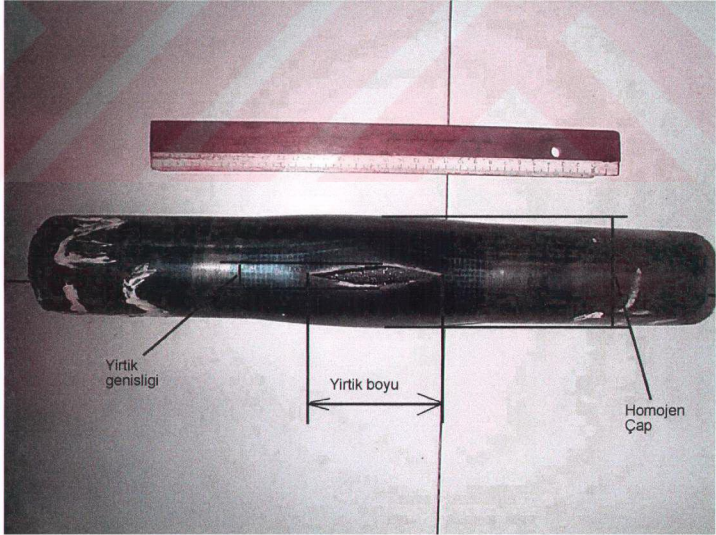
Deney sonucunda elde edilen şekil değişimleri ölçülerek belirli profiller çıkarılmıştır. Bu profillerin ne ifade ettiğini anlatmak için aşağıda şekillenme sonrasına ait fotoğraflar görülmektedir. Oluşan şekillenmeler tüm numunelerde benzer şekildedir.



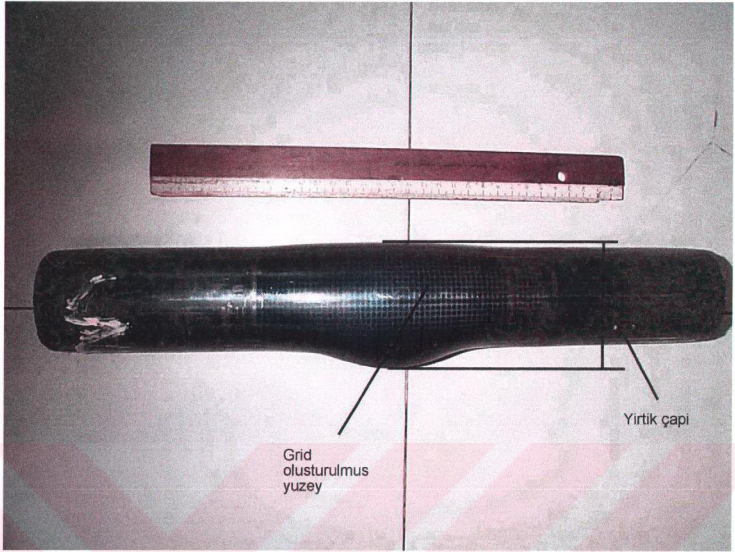
Şekil 4-3 Boy fotoğrafı



Şekil 4-4 Muhtemel hasar bölgesi



Şekil 4-5 Yırtık bölgesini ve homojen şekil değiştirme profilini gösteren fotoğraf.



Şekil 4-6 Yırtık bölgesi profilini gösteren fotoğraf.

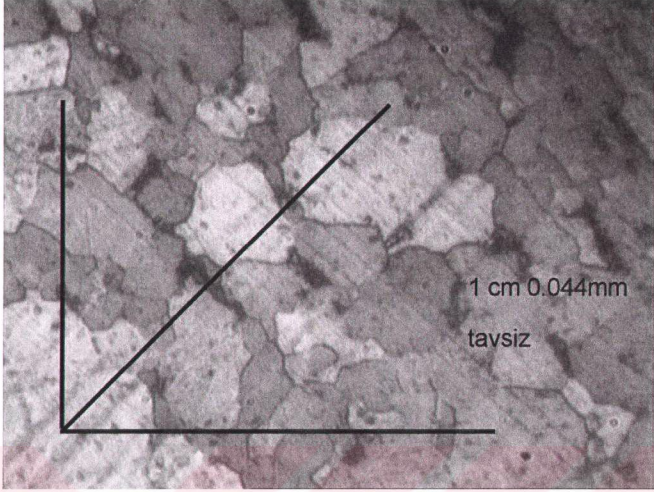
4.1.1. Yapılan Tavlama İşlemleri

Numunelere uygulanan tavlama zamanları ve ölçülen tane boyutları Tablo 4-3 de verilmektedir. Tane boyutları çizgisel tane kesişim yöntemine göre hesaplanmıştır .

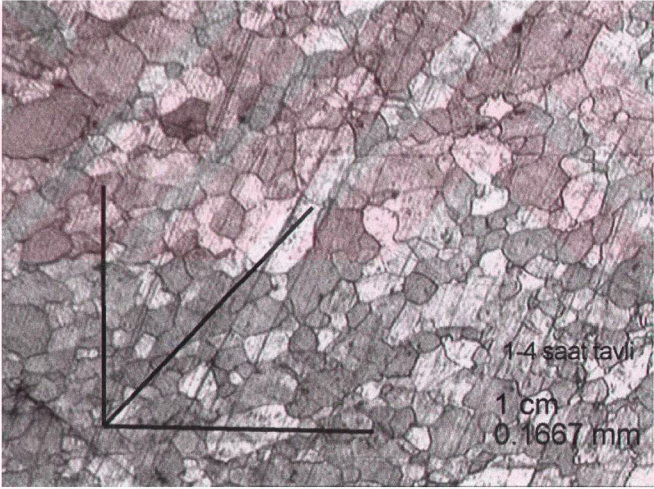
Tablo 4-3 Numunelere ait tavlama süreleri

Numune Sayısı	Yaklaşık tavlama süresi (Saat)	Tane boyutu (mikron)
4 adet	tavsız	15
2 adet	$\frac{1}{4}$	20
2 adet	$\frac{1}{2}$	22
2 adet	$\frac{3}{4}$	24
2 adet	1	26

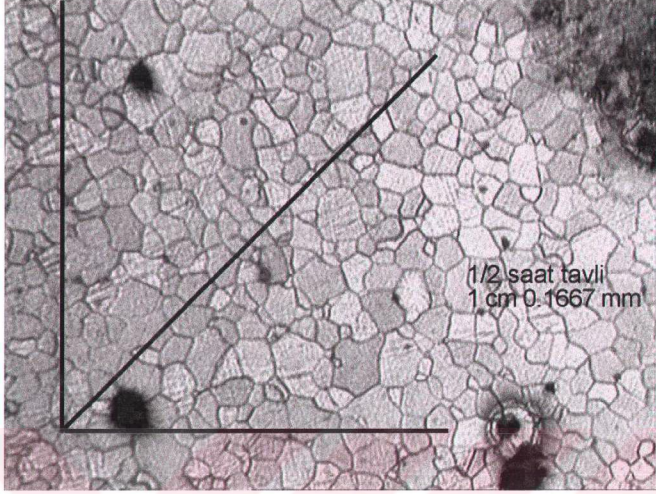
Tavllanmış numunelerin mikro yapı fotoğrafları aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



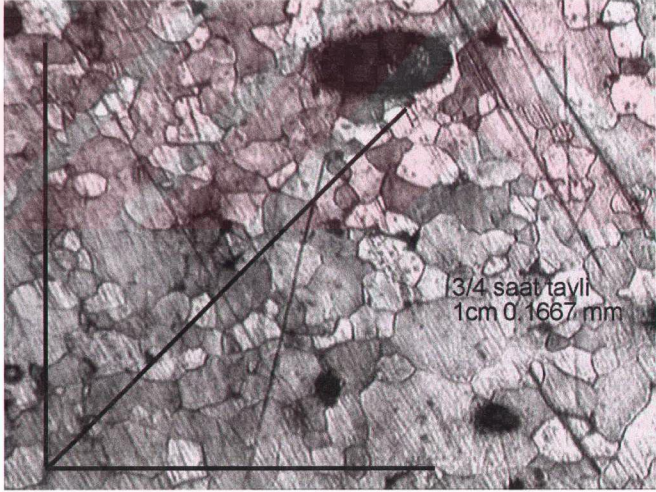
Şekil 4-7 Tavsiz numuneler ait iç yapı fotoğrafı



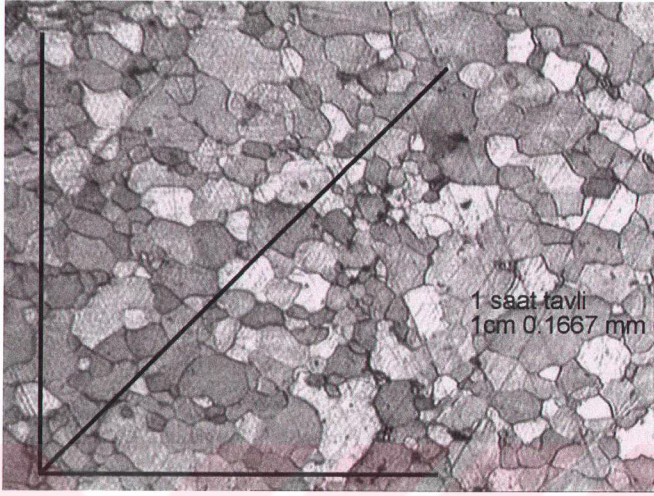
Şekil 4-8 ¼ saat tavlı numuneye ait iç yapı fotoğrafı



Şekil 4-9 1/2 saat tavlı parçaya ait iç yapı fotoğrafı



Şekil 4-10 3/4 saat tavlı numuneye ait iç yapı fotoğrafı

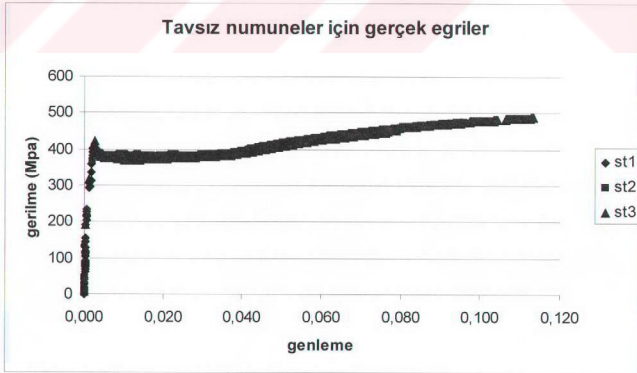


Şekil 4-11 1 saat tavlı iç yapı fotoğrafı

4.1.2. Çekme Deneyleri

4.1.2.1. Tavsız Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri

Tavsız numuneler için elde edilen gerçek gerilme-genleme eğrileri şekil 4'de görülmektedir. Bulunan değerler bu 3 eğrinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



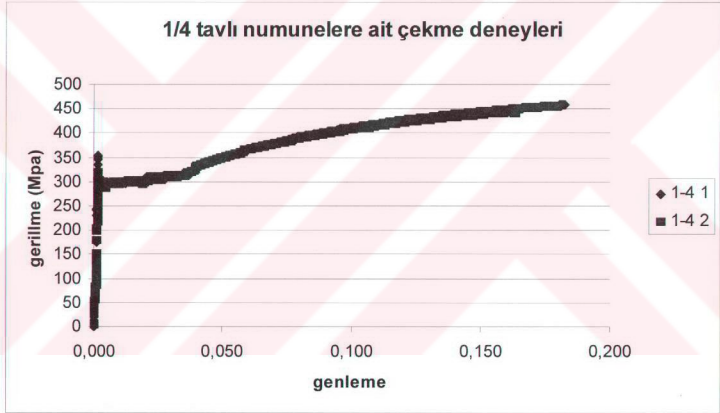
Şekil 4-12 Tavsız numuneler için gerçek eğriler

Malzemenin tavsız halde çekme dayanımı $\sigma=434,092$ Mpa ve malzemenin akma dayanımı ise yaklaşık $\sigma_a=391,934$ Mpa olarak bulunmuştur.

Bu grafikler için yaklaşık olarak ϵ_g 0,0044-0,096 aralığındaki malzeme verileri kullanılarak ,en küçük kareler metoduyla uydurulan üstel eğri yardımıyla malzemenin dayanım sabiti $K=769,03667$ Mpa ve pekleşme üsteli $n=0,206667$ olarak bulunmuştur. Malzemenin tam olarak davranış özelliklerini ifade etmese de karşılaştırmalar için bir fikir verebilir. Bu yöntemle uydurulan eğrinin hassasiyeti %99,89 gibi oldukça yüksek bir değerdedir.

4.1.2.2. ¼ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri

¼ saat tavlı numuneler için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucu bulunan gerilme genleme eğrisi şekilde görülmektedir. Sonuçlar iki eğrinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.



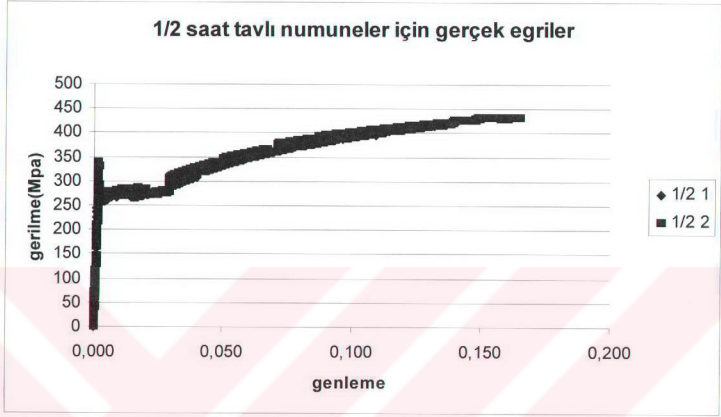
Şekil 4-13 1/4 saat tavlı numuneler için gerçek eğriler

Mühendislik eğrisinden faydalanarak malzemenin çekme dayanımı $\sigma=379.678$ Mpa ve malzemenin akma dayanımı ise yaklaşık $\sigma_a=335,751$ Mpa olarak bulunur.

Bu grafikler için en küçük kareler metoduyla uydurulan üstel eğri yardımıyla malzemenin dayanım sabiti $K=697,535$ Mpa ve pekleşme üsteli $n=0,23065$ olarak bulunur. Bu K ve n değerleri yaklaşık olarak ϵ_g 0,0044-0,096 aralığındaki malzeme verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemle uydurulan eğrinin hassasiyeti %99,79 gibi oldukça yüksek bir değerdedir.

4.1.2.3. ½ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri

½ saat tavlı numuneler için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucu bulunan gerilme genleme eğrisi şekilde görülmektedir. Sonuçlar iki eğrinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.



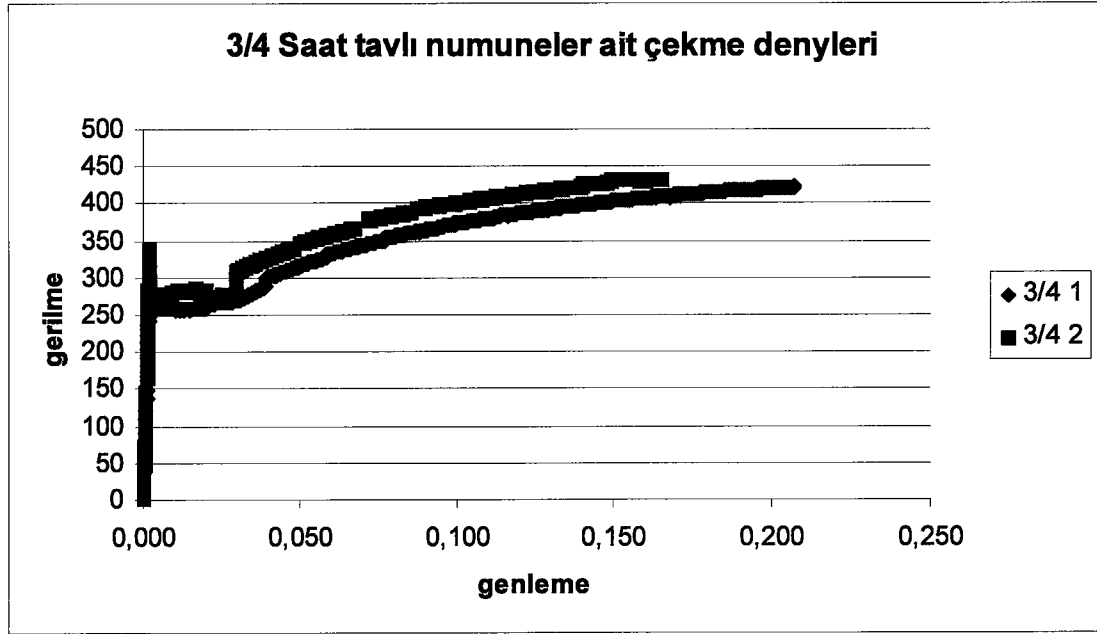
Şekil 4-14 1/2 saat tavlı numunelerin gerçek eğrileri

Mühendislik eğrisinden faydalanarak malzemenin çekme dayanımı $\sigma=368,3665$ Mpa ve malzemenin akma dayanımı ise yaklaşık $\sigma_a=314,2025$ Mpa olarak bulunur.

Bu grafikler için en küçük kareler metoduyla uydurulan üstel eğri yardımıyla malzemenin dayanım sabiti $K=690,79$ Mpa ve pekleşme üsteli $n=0,2386$ olarak bulunur. Bu K ve n değerleri yaklaşık olarak ϵ_g 0,0044-0,096 aralığındaki malzeme verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemle uydurulan eğrinin hassasiyeti %99,83 gibi oldukça yüksek bir değerdedir.

4.1.2.4. ¾ Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri

¾ saat tavlı numuneler için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucu bulunan gerilme genleme eğrisi şekilde görülmektedir. Sonuçlar iki eğrinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4-15 3/4 saat tavlı numunelere ait gerçek eğriler

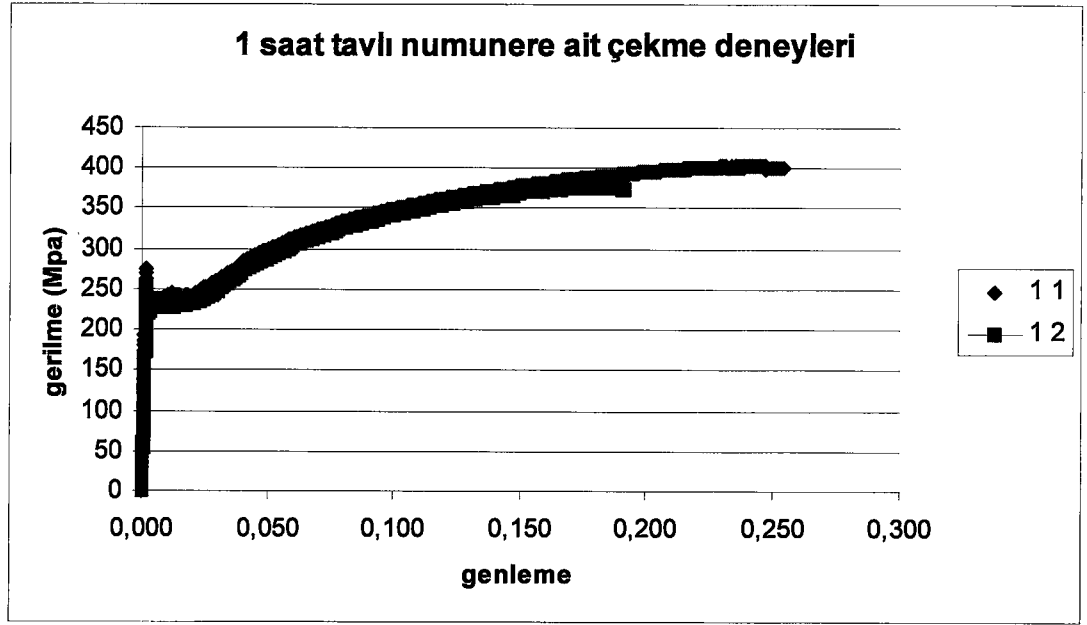
Mühendislik eğrisinden faydalanarak malzemenin çekme dayanımı $\sigma=337,724\text{Mpa}$ ve malzemenin akma dayanımı ise yaklaşık $\sigma_a=277,689\text{ Mpa}$ olarak bulunur.

Bu grafikler için en küçük kareler metoduyla uydurulan üstel eğri yardımıyla malzemenin dayanım sabiti $K=660,22\text{ Mpa}$ ve pekleşme üsteli $n=0,25825$ olarak bulunur. Bu K ve n değerleri yaklaşık olarak ϵ_g 0,0044-0,096 aralığındaki malzeme verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemle uydurulan eğrinin hassasiyeti %99,72 gibi oldukça yüksek bir değerdedir.

4.1.2.5. 1 Saat Tavlı Numuneler İçin Yapılan Çekme Deneyleri

1 saat tavlı numuneler için gerçekleştirilen çekme deneyleri sonucu bulunan gerilme genleme eğrisi şekilde görülmektedir. Sonuçlar iki eğrinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Mühendislik eğrisinden faydalanarak malzemenin çekme dayanımı $\sigma=322,057\text{Mpa}$ ve malzemenin akma dayanımı ise yaklaşık $\sigma_a=261,796\text{Mpa}$ olarak bulunur.



Şekil 4-16 1 saat tavlı numunelere ait gerçek eğriler

Bu grafikler için en küçük kareler metoduyla uydurulan üstel eğri yardımıyla malzemenin dayanım sabiti $K=600,835$ Mpa ve pekleşme üsteli $n=0,23865$ olarak bulunur. Bu K ve n değerleri yaklaşık olarak ε_g 0,0044-0,096 aralığındaki malzeme verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemle uydurulan eğrinin hassasiyeti %99,79 gibi oldukça yüksek bir değerdedir.

Tablo 4-4 ve Tablo 4-5 de numuneler ait çekme deneyleri ile belirlenen mekanik özellikler görülmektedir.

Tablo 4-4 Numuneler ait çekme deneyleri ile belirlenen mekanik özellikler

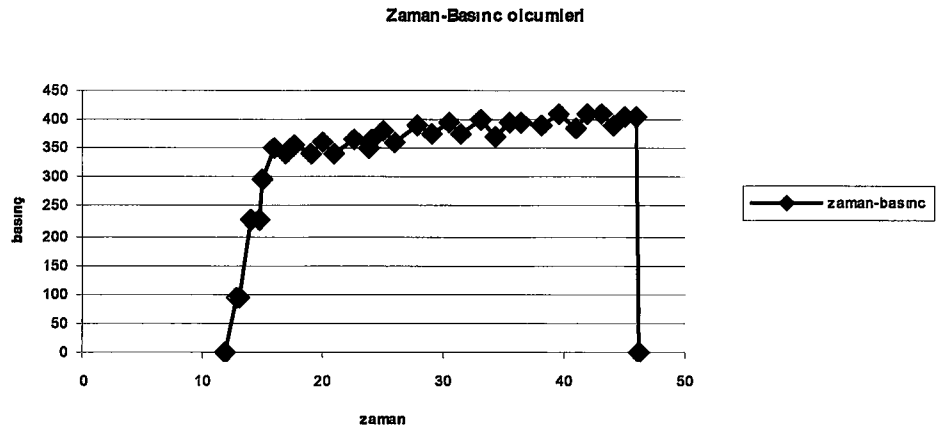
Tav Süresi	Çekme Dayanımı σ (Mpa)	Akma Dayanımı σ_a (Mpa)	Dayanım Sabiti K (Mpa)	Pekleşme Üsteli N	% uzama
Tavsız	434 ± 5	392 ± 29	762 ± 10	$0,20 \pm 0,009$	20,1
$\frac{1}{4}$ saat tavlı	$380 \pm 2,5$	336 ± 18	698 ± 10	$0,23 \pm 0,004$	26,7

Tablo 4-5 Numuneler ait çekme deneyleri ile belirlenen mekanik özellikler (tablo 4-4 devam)

Tav Süresi	Çekme Dayanımı σ (Mpa)	Akma Dayanımı σ_a (Mpa)	Dayanım Sabiti K (Mpa)	Pekleşme Üsteli N	% uzama
½ saat tavlı	369±2	314±24	691±8	0,24±0,001	-
¾ saat tavlı	338±9	278±3	660±9	0,26±0,017	31,99
1 saat tavlı	322±3,5	262±13	601±7	0,24±0,008	32,96

4.1.3. Numunelere Uygulanan Basınçlar

Numunelere uygulanan basıncın zamana göre değişimi Şekil 4-17’de verilmiştir. Tablo 4-6 da numuneler uygulanan en büyük basınç değerleri verilmiştir. Verilen zaman değeri saniye cinsindenden verilmiştir.



Şekil 4-17 Numunelere uygulanan basıncın zamana göre değişimini gösteren grafik

Tablo 4-6 Numunelere uygulanan en büyük basınçlar

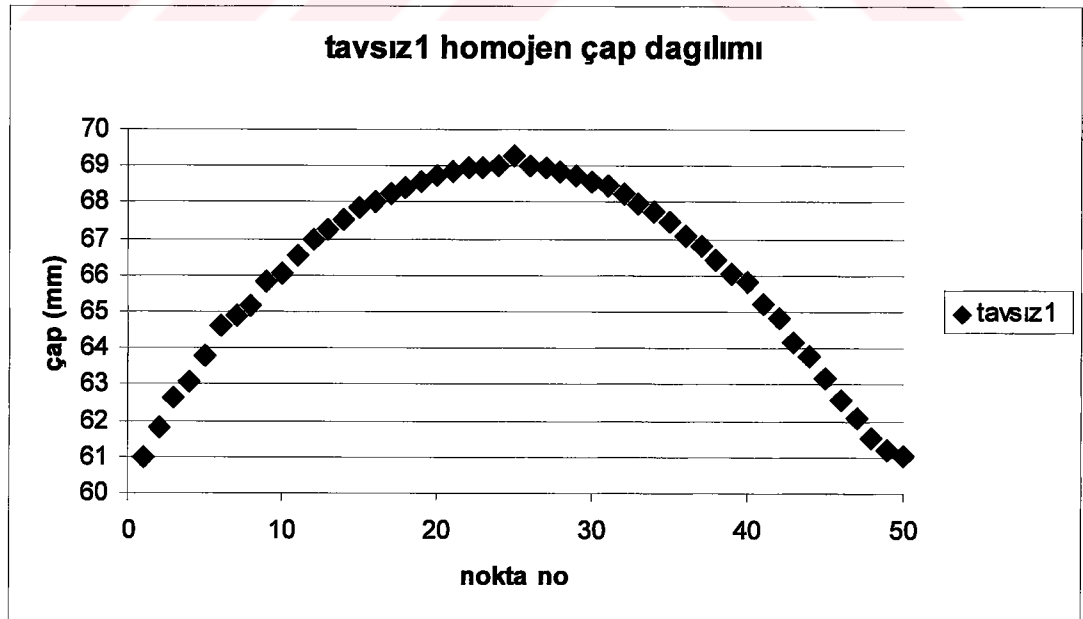
Numune türü	Numune sayısı	Uygulanan en büyük basınç		
		En küçük değer	Ortalama	En büyük değer
Tavsız	4	396	426	449
¼ saat tavlı	2	316	336	356
½ saat tavlı	2	334	336	338
¾ saat tavlı	2	324	326	328
1 saat tavlı	2	318	324	330

4.2. Geometrik Ölçümler

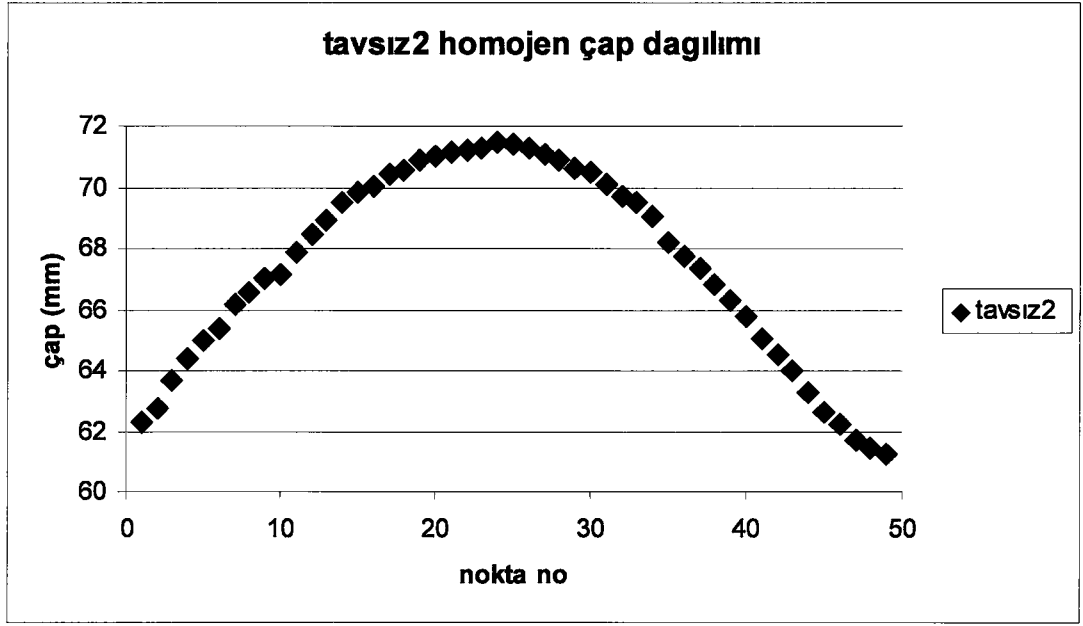
4.2.1. Homojen Çap Ölçümleri

Numunelere uygulanan tüp şişirme deneyleri sonucunda tüp çapında tegetsel olarak meydana gelen değişimler (homojen çap ölçümü sonuçları) aşağıda verilmektedir. Homojen çap için Şekil 4-5 'e bakınız.

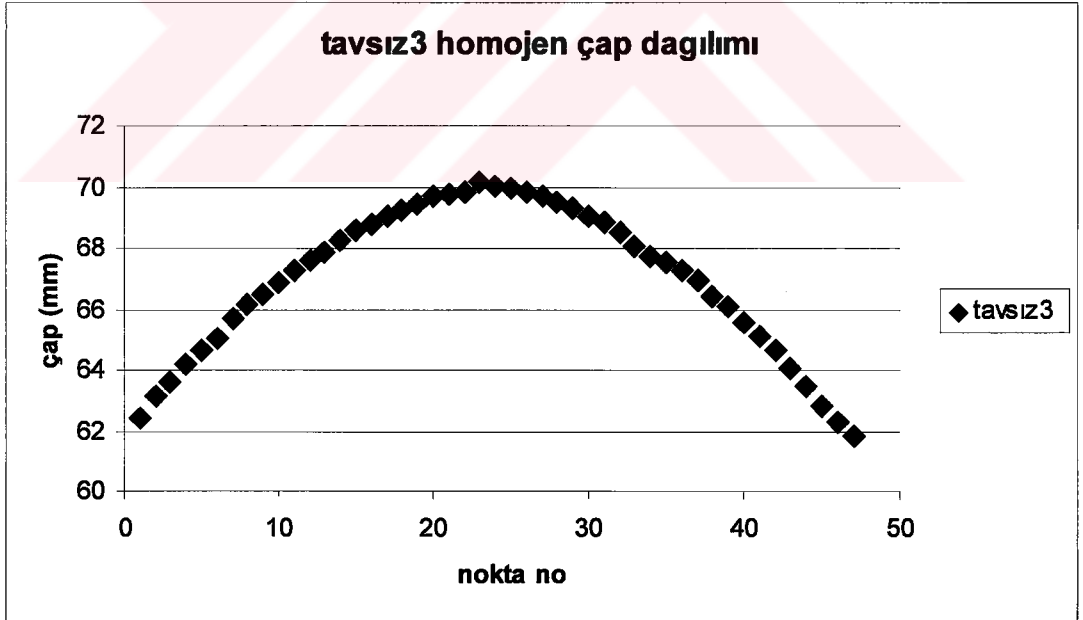
4.2.1.1. Tavsız Numunelere Ait Homojen Çap Ölçümleri



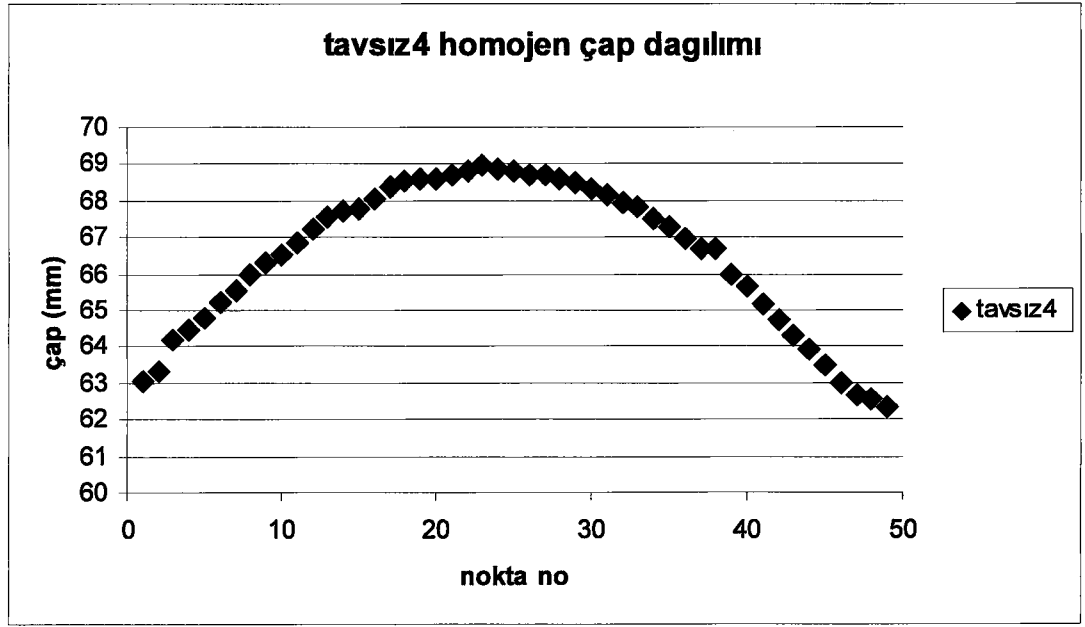
Şekil 4-18 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dağılımı



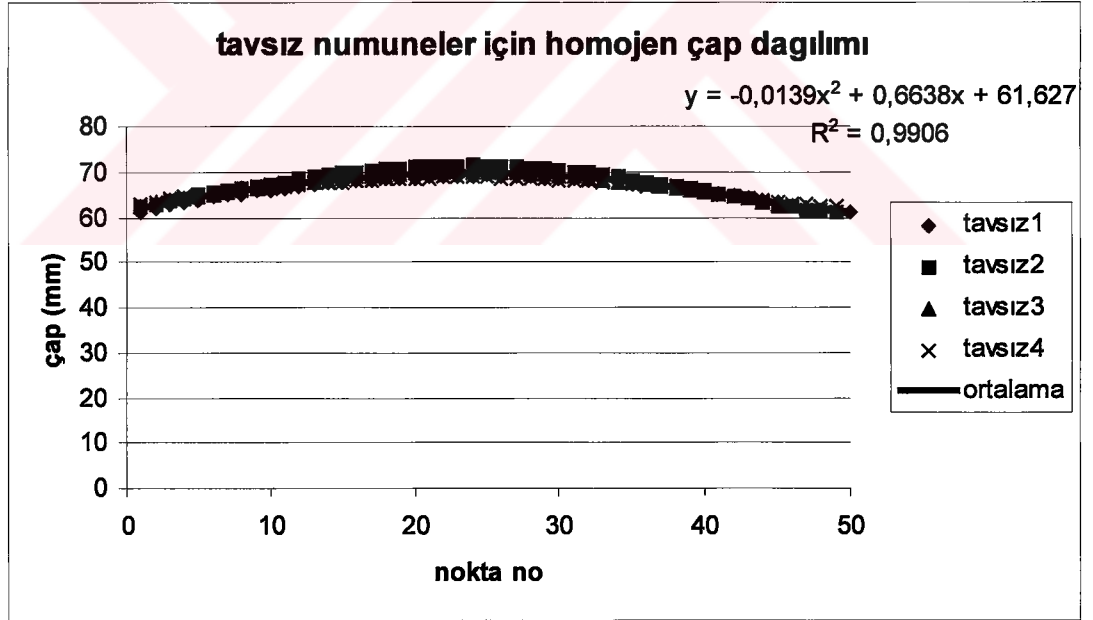
Şekil 4-19 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dagılımı



Şekil 4-20 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dagılımı

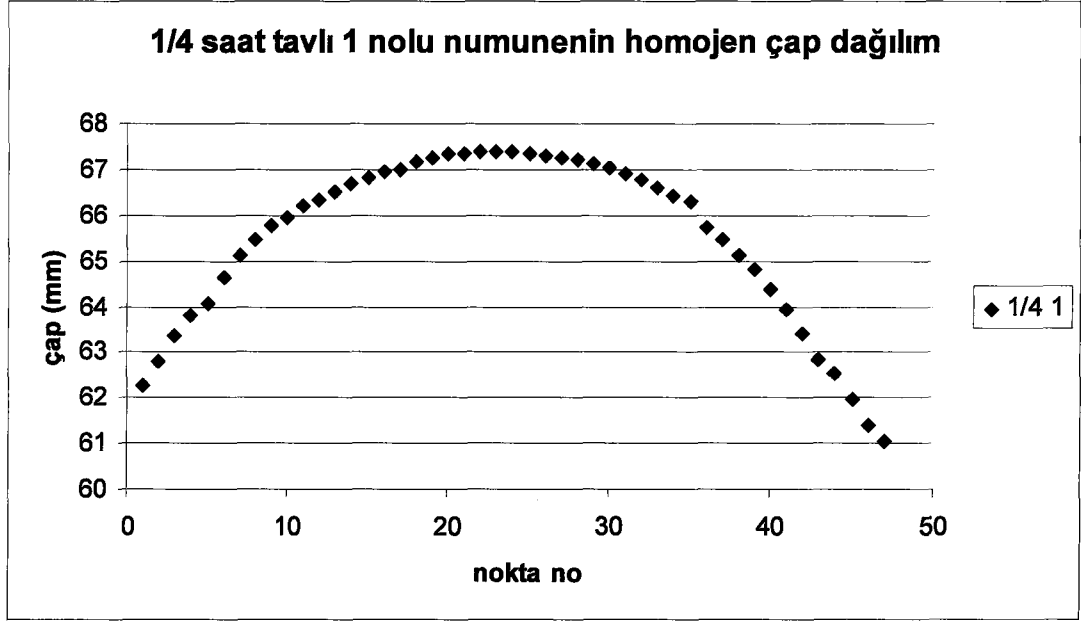


Şekil 4-21 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen homojen çap dagılımı

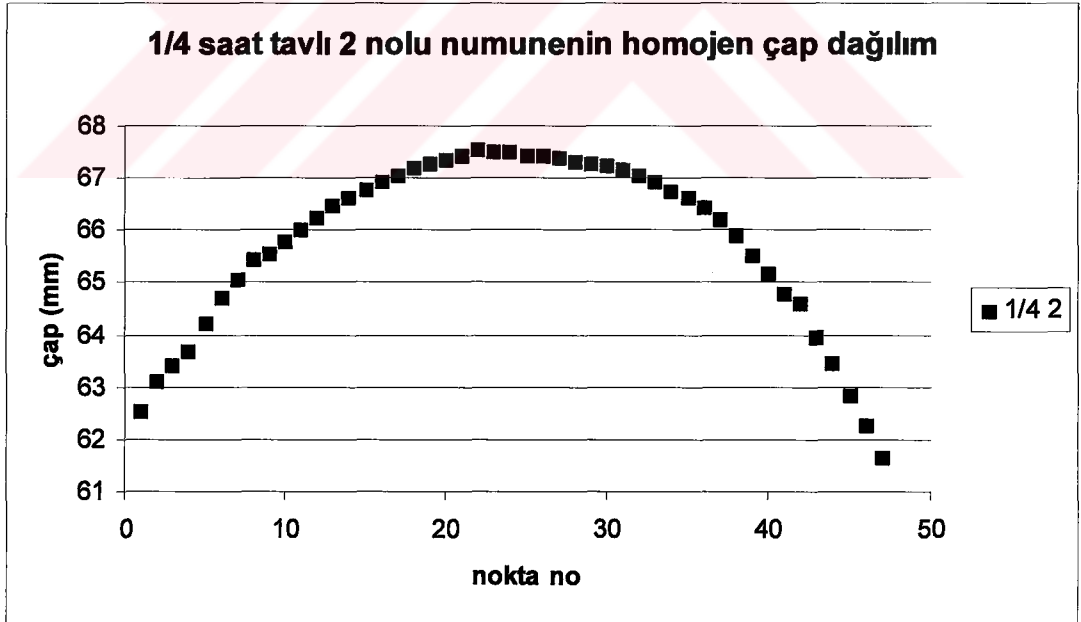


Şekil 4-22 Tavsız numunelere ait homojen çap dagılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

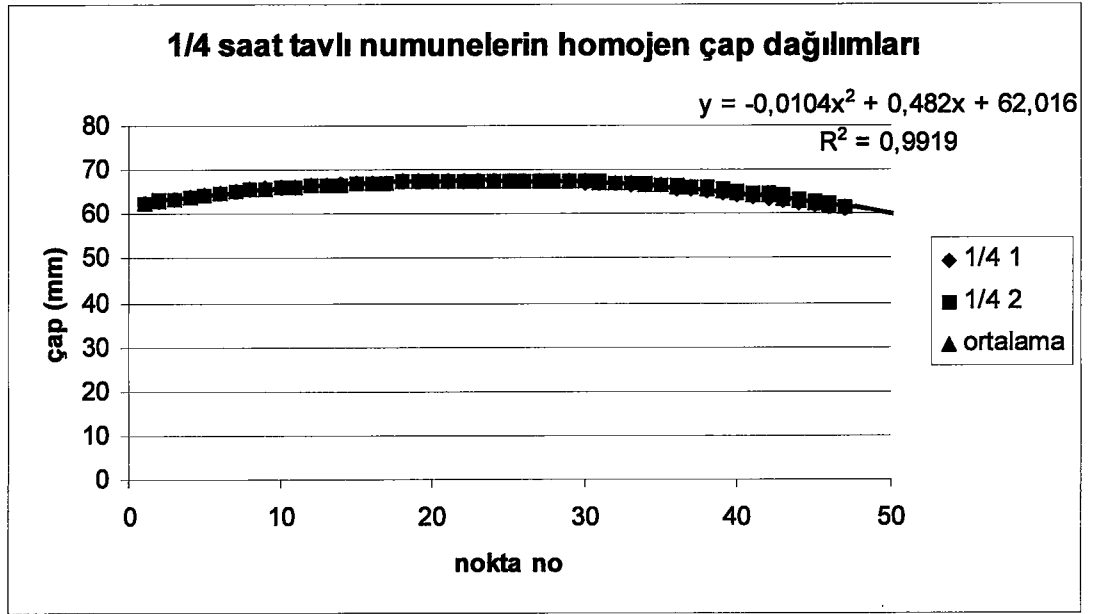
4.2.1.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümler



Şekil 4-23 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

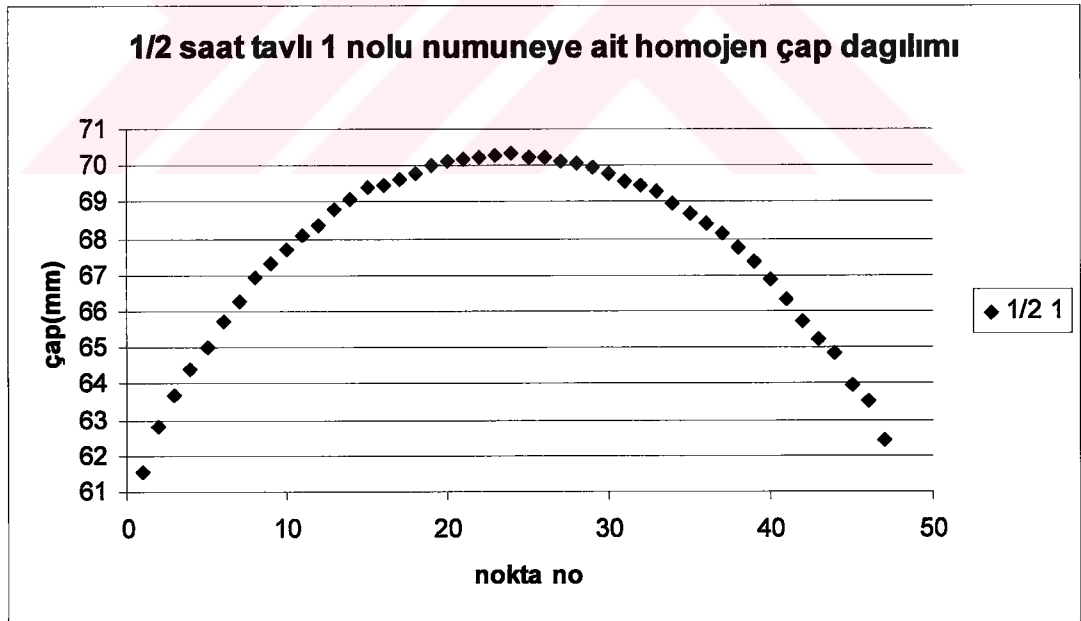


Şekil 4-24 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

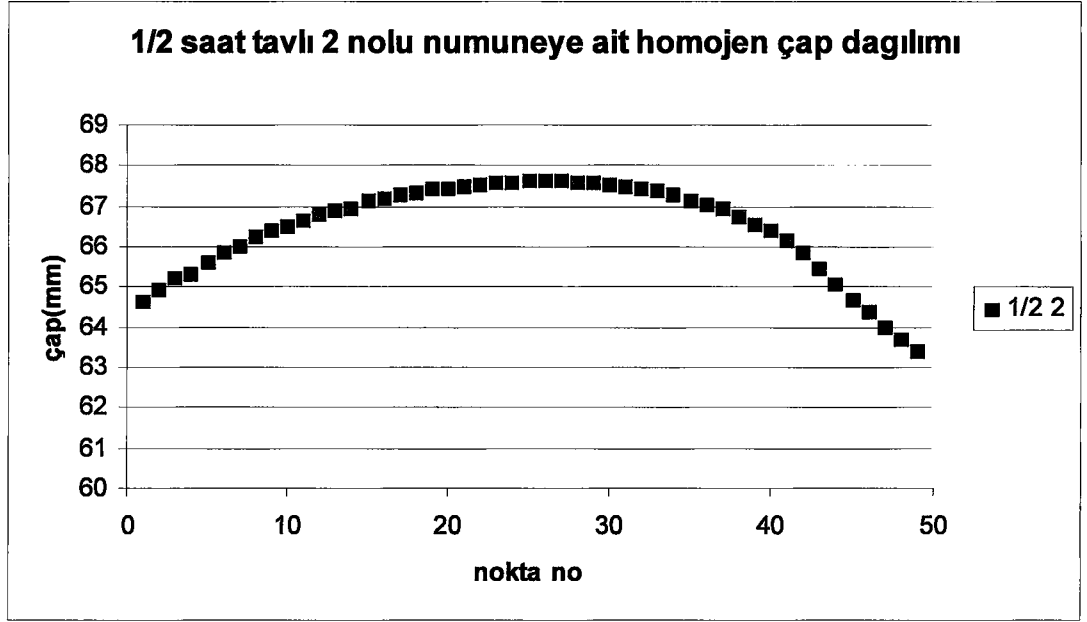


Şekil 4-25 1/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

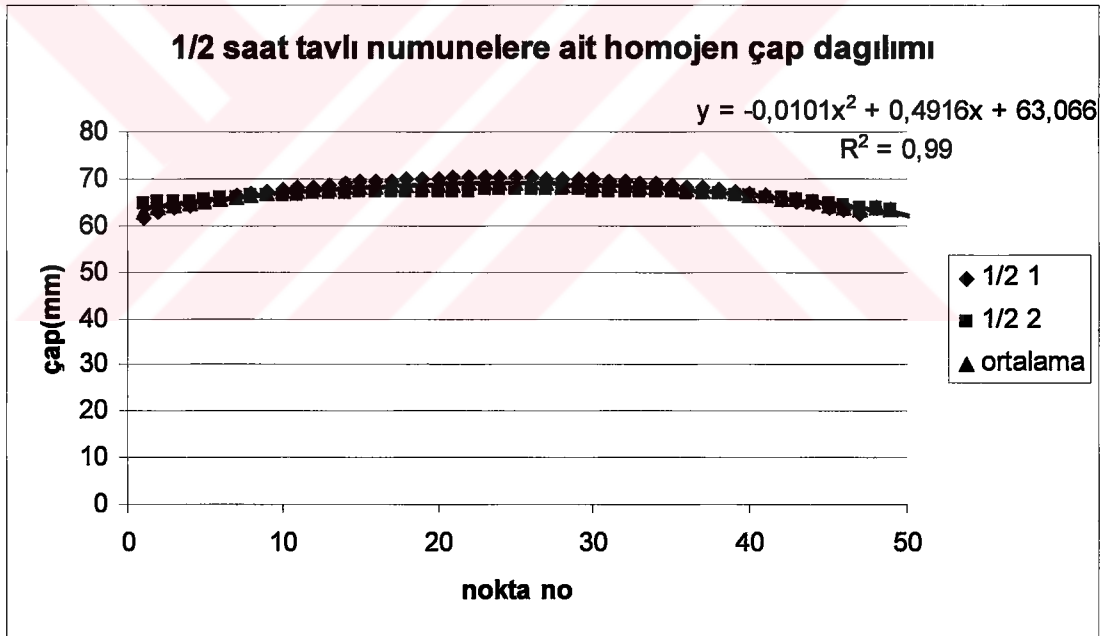
4.2.1.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri



Şekil 4-26 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

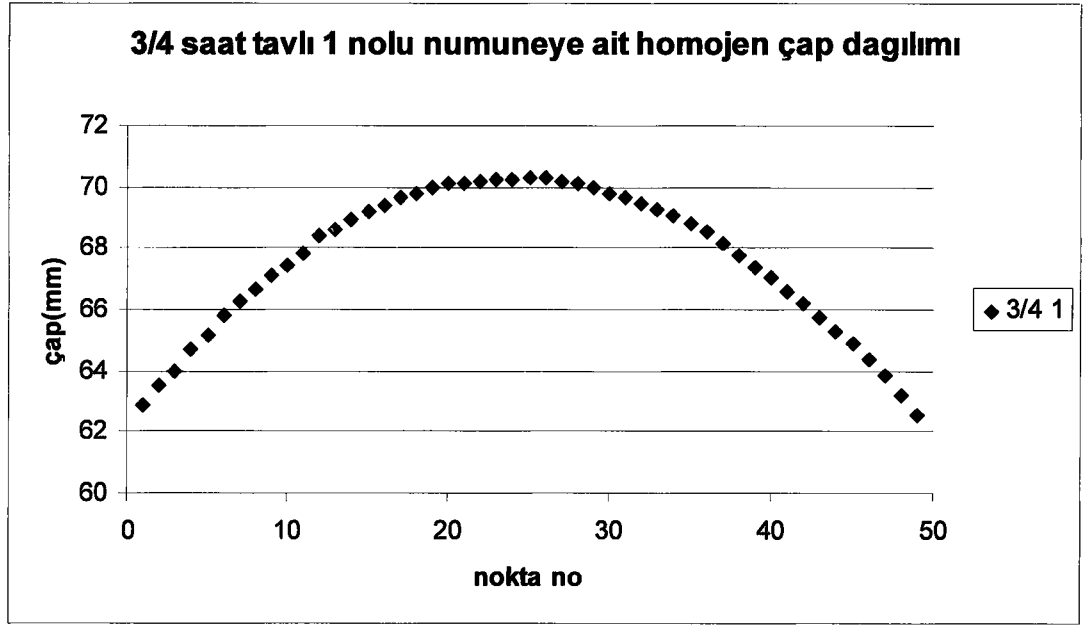


Şekil 4-27 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

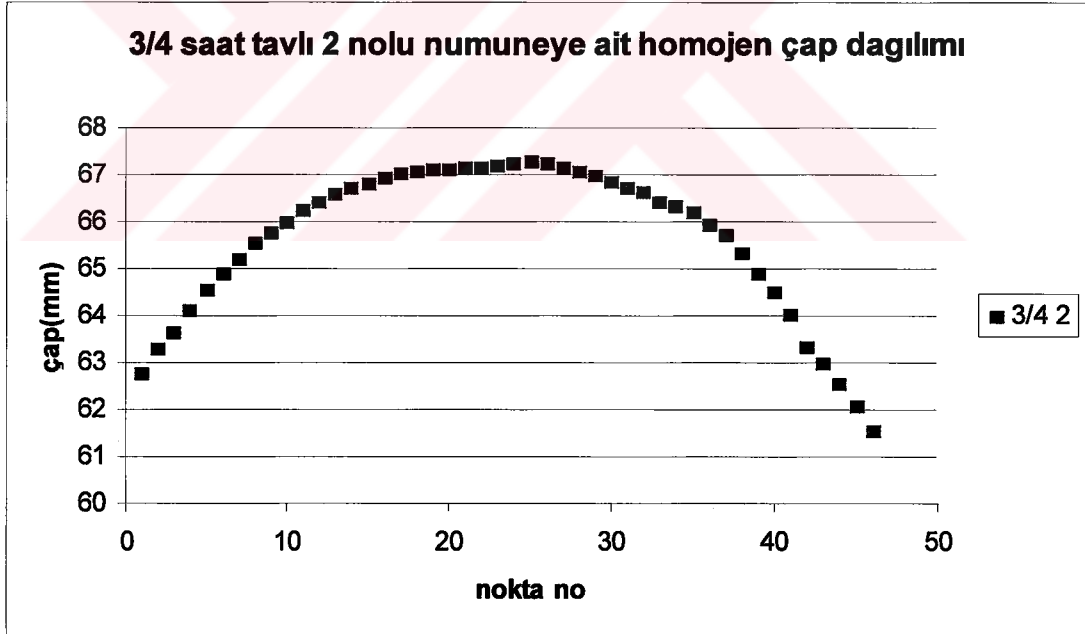


Şekil 4-28 1/2 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

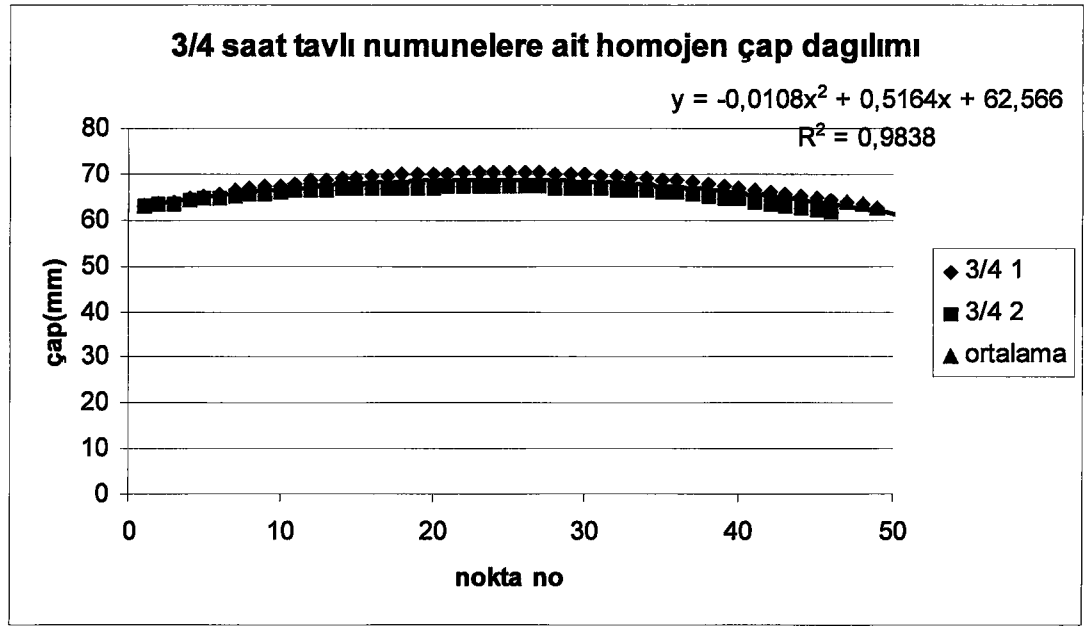
4.2.1.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri



Şekil 4-29 ¾ saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

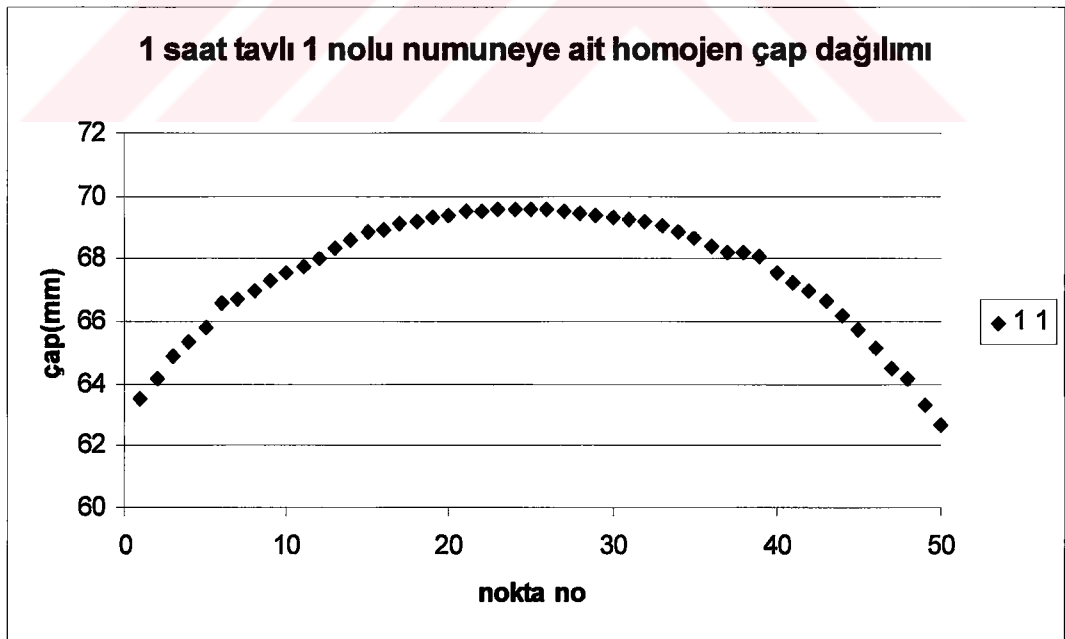


Şekil 4-30 ¾ saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı

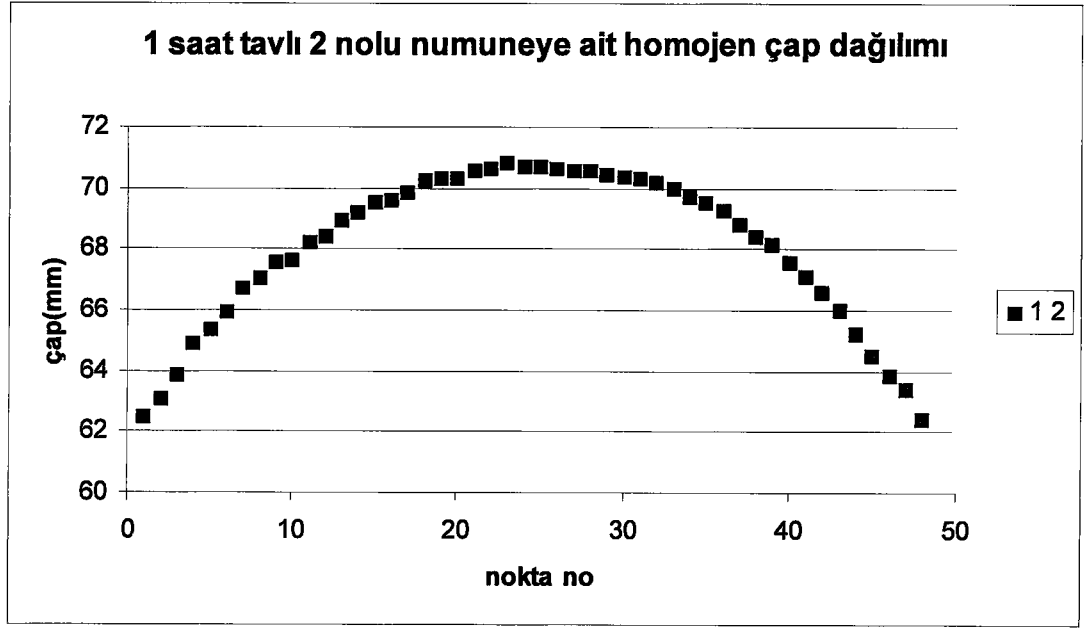


Şekil 4-31 3/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

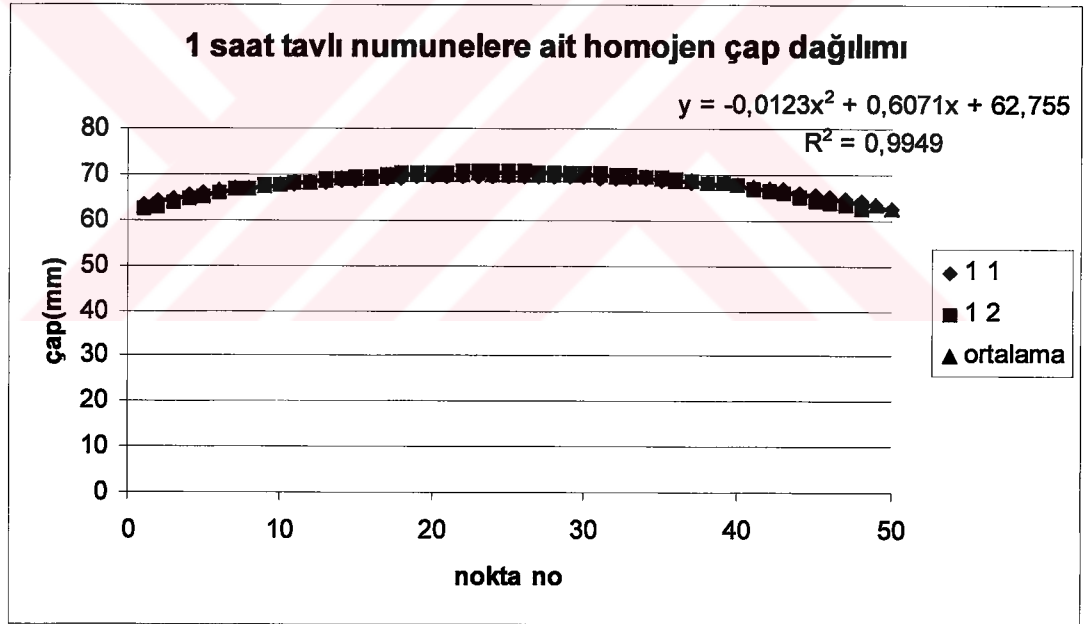
4.2.1.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Homojen Çap Ölçümleri



Şekil 4-32 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı



Şekil 4-33 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen homojen çap dağılımı



Şekil 4-34 1 saat tavlı numunelere ait homojen çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

Ortalama homojen çap ölçümlerine uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları Tablo 4-7 'de verilmiştir:

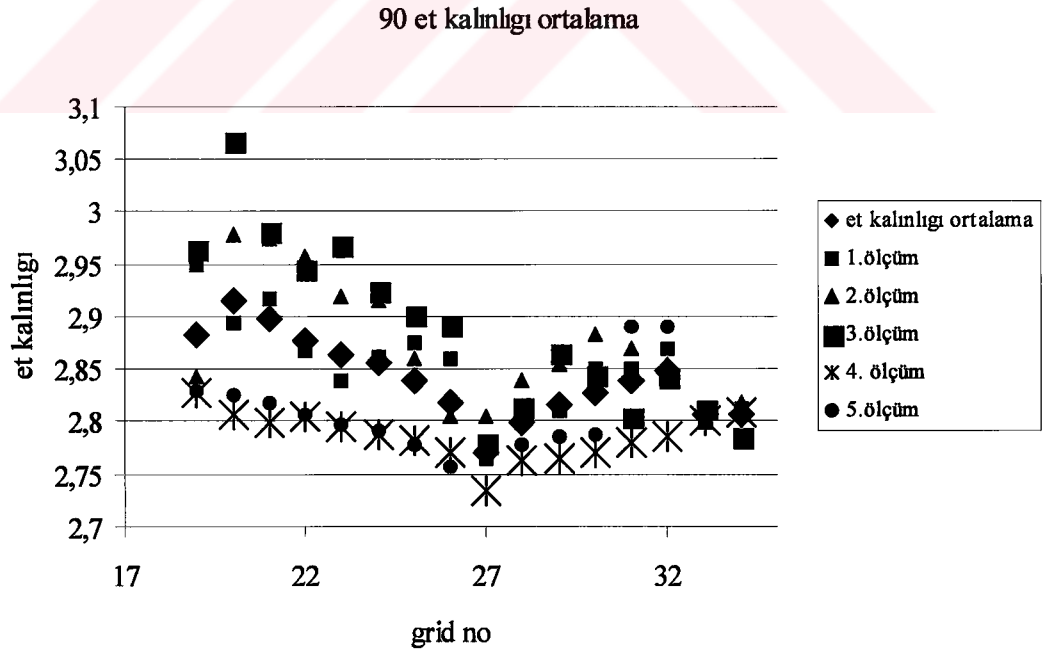
Tablo 4-7 Ortalama homojen ϕ ölçümüne uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları

Numune	A (x^2)	B (x)	C	R ²
Tavsız	-0,0139	0,6638	61,627	0,9906
¼ saat tavlı	-0,0104	0,482	62,016	0,9919
½ saat tavlı	-0,0101	0,4916	63,066	0,99
¾ saat tavlı	-0,0108	0,5164	62,566	0,9838
1 saat tavlı	-0,0123	0,6071	62,755	0,9949

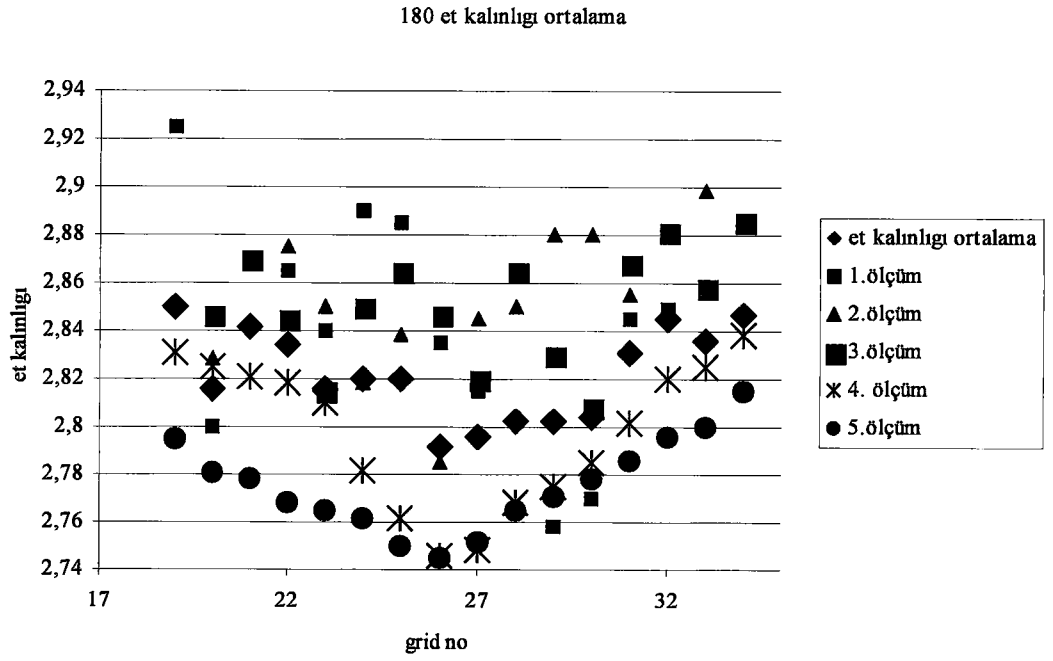
4.2.2. Et Kalınlığı Ölçümleri

Numunelere uygulanan tüp şişirme deneyleri sonucunda tüp et kalınlığında meydana gelen değişimler ve yapılan çok sayıdaki ölçümler sonucu bulunan ortalama et kalınlığı dağılımları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

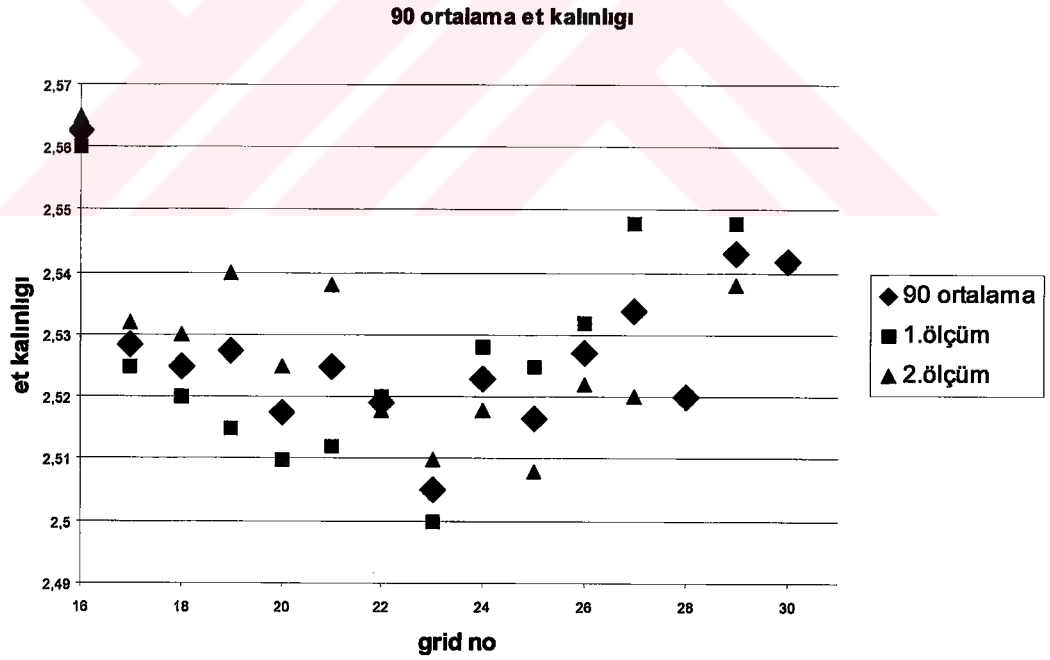
4.2.2.1. Tavsız Numunelere Ait Et Kalınlığı Ölçümleri



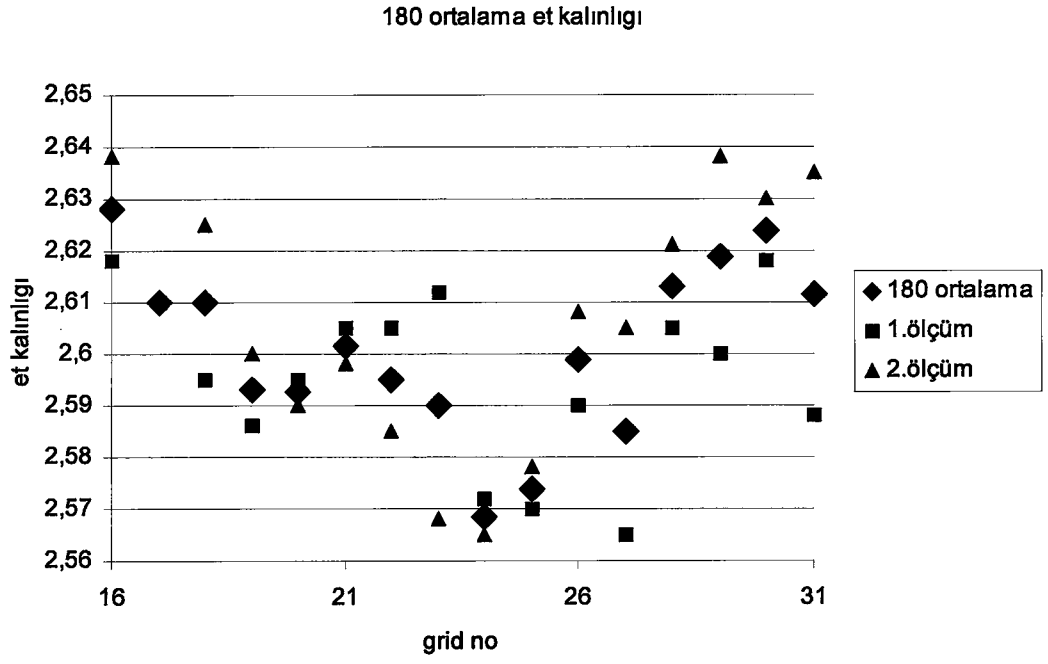
Şekil 4-35 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen 90° deki et kalınlığı dağılımı



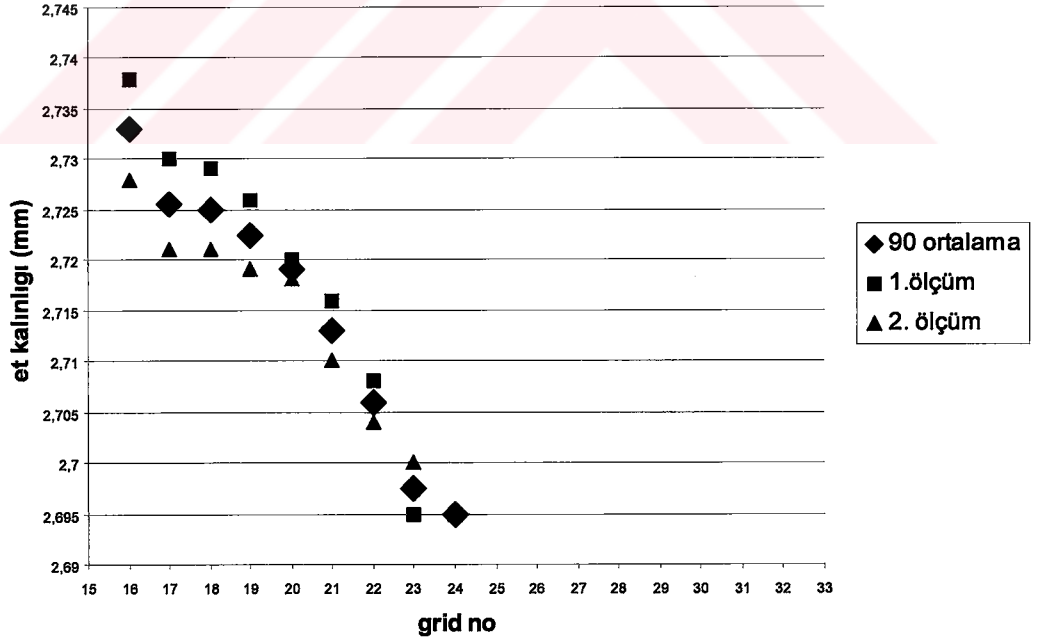
Şekil 4-36 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen 180° deki et kalınlığı dağılımı



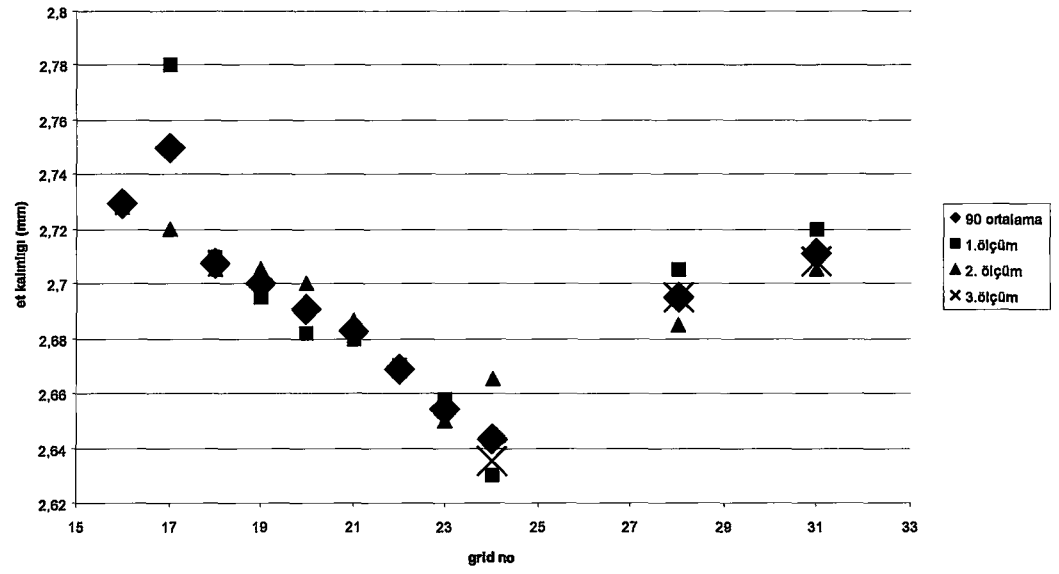
Şekil 4-37 2 numaralı tavsız parça için 90° 'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



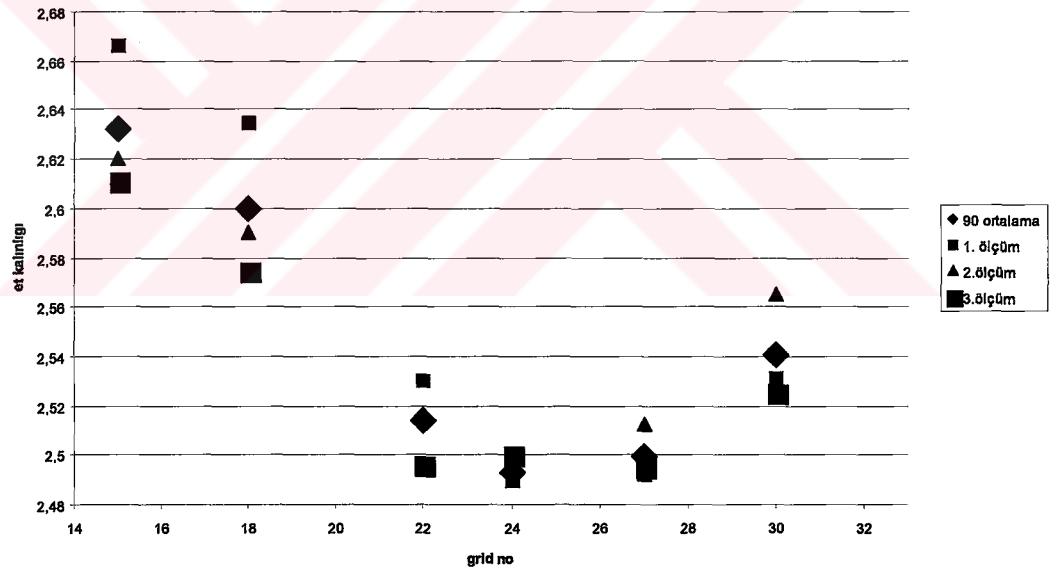
Şekil 4-38 2 numaralı tavsız parça için 180° de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



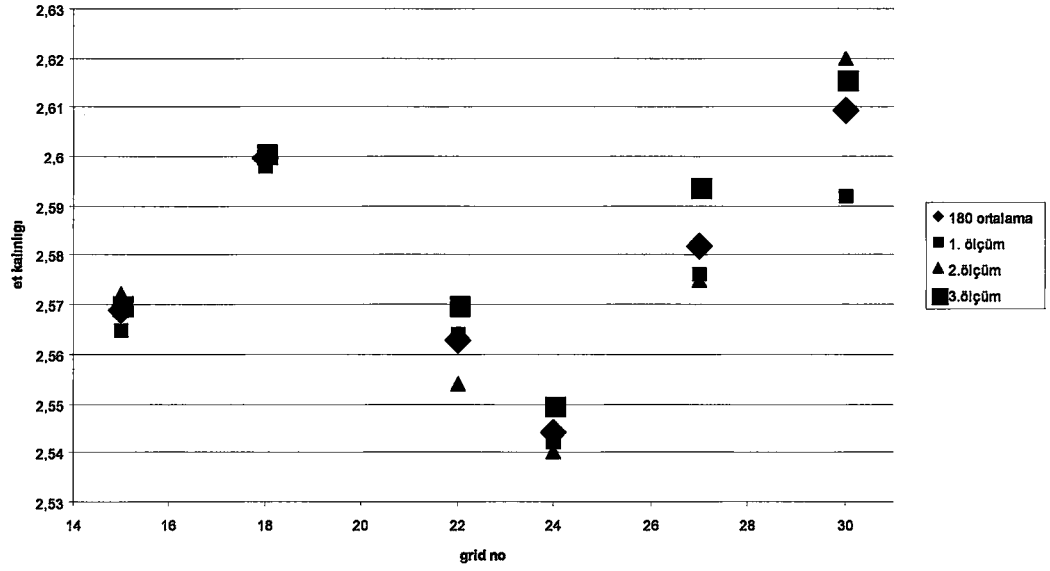
Şekil 4-39 3 numaralı tavsız parça için 90° de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



Şekil 4-40 3 numaralı tavsız parça için 180⁰ de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

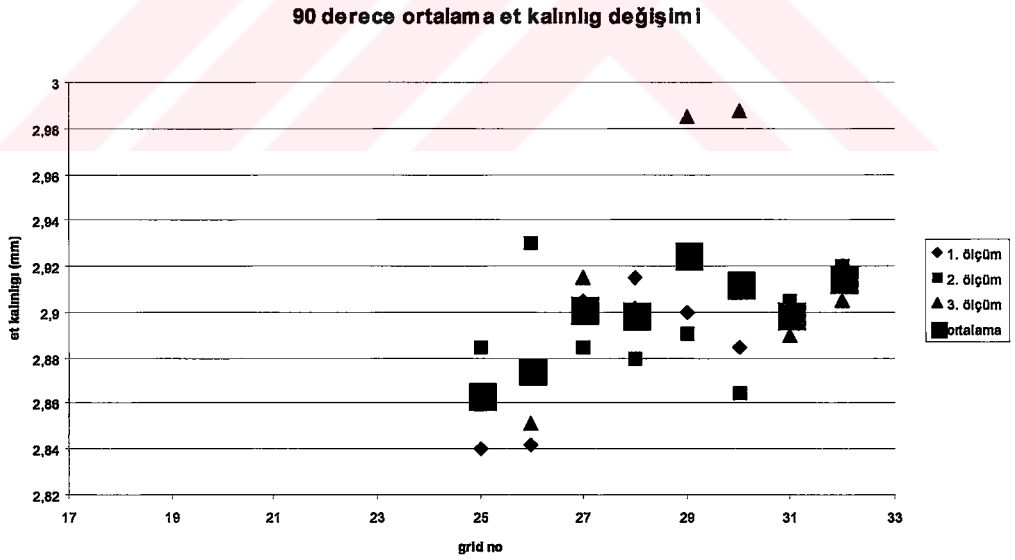


Şekil 4-41 4 numaralı tavsız parça için 90⁰ de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

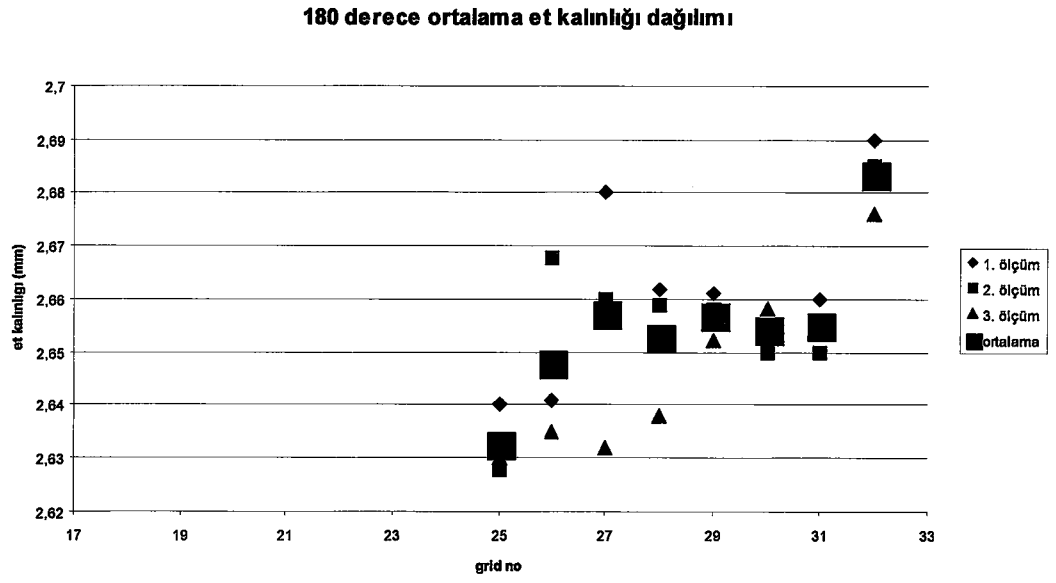


Şekil 4-42 4 numaralı tavsız parça için 1800’de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

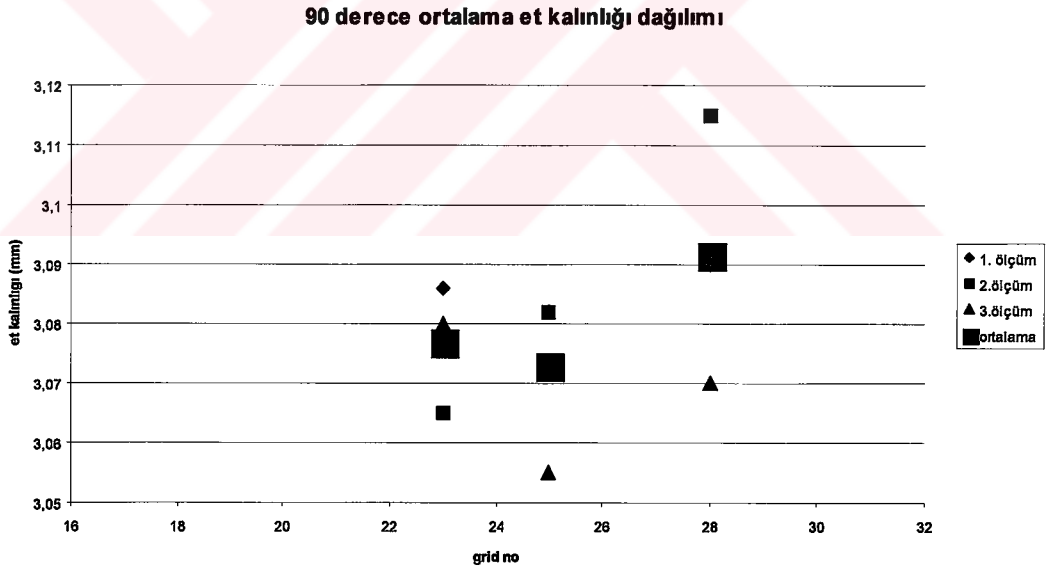
4.2.2.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümler



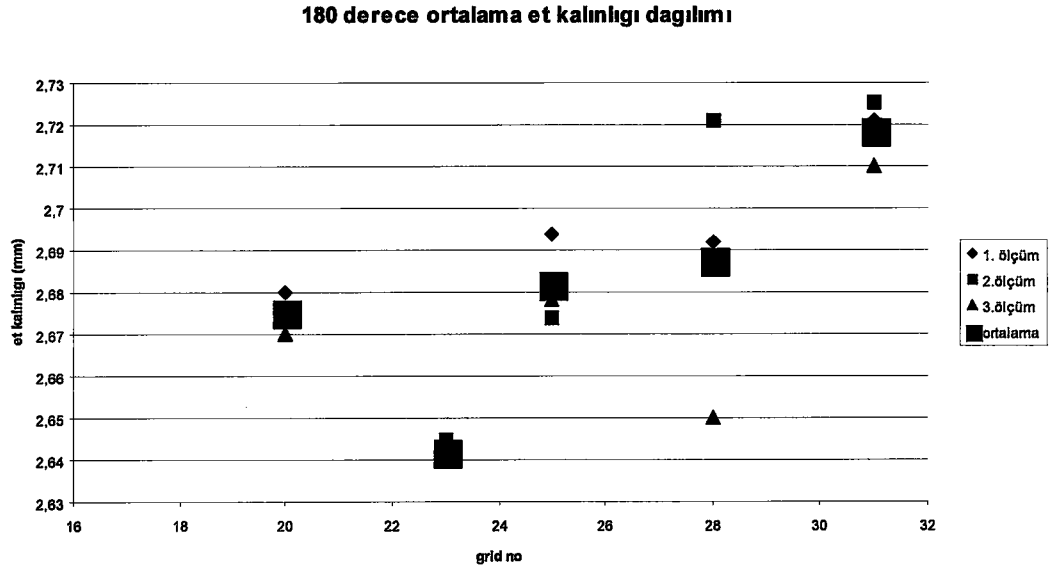
Şekil 4-43 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 90⁰’de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



Şekil 4-44 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 180°de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

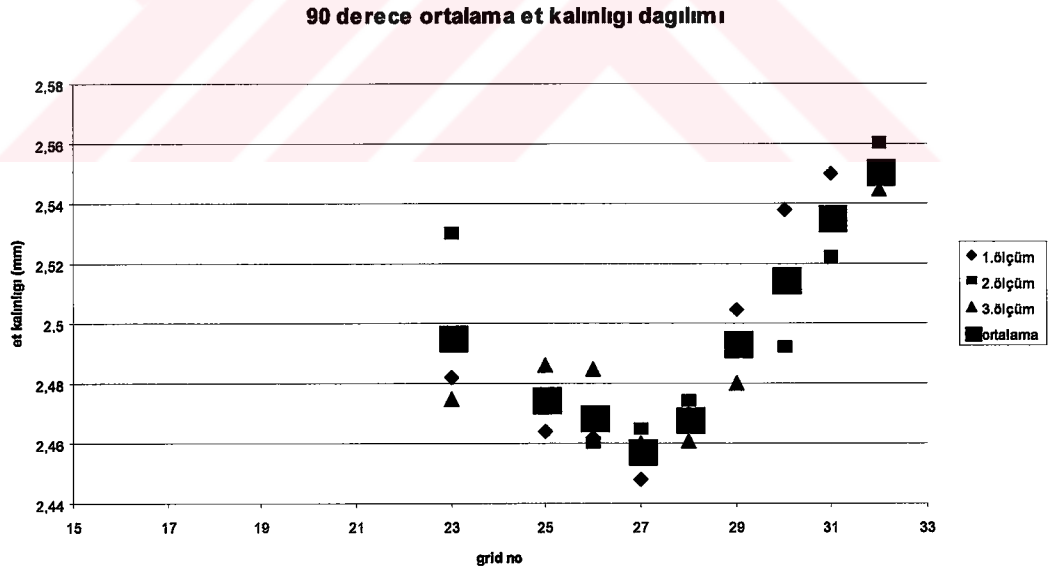


Şekil 4-45 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 90°de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

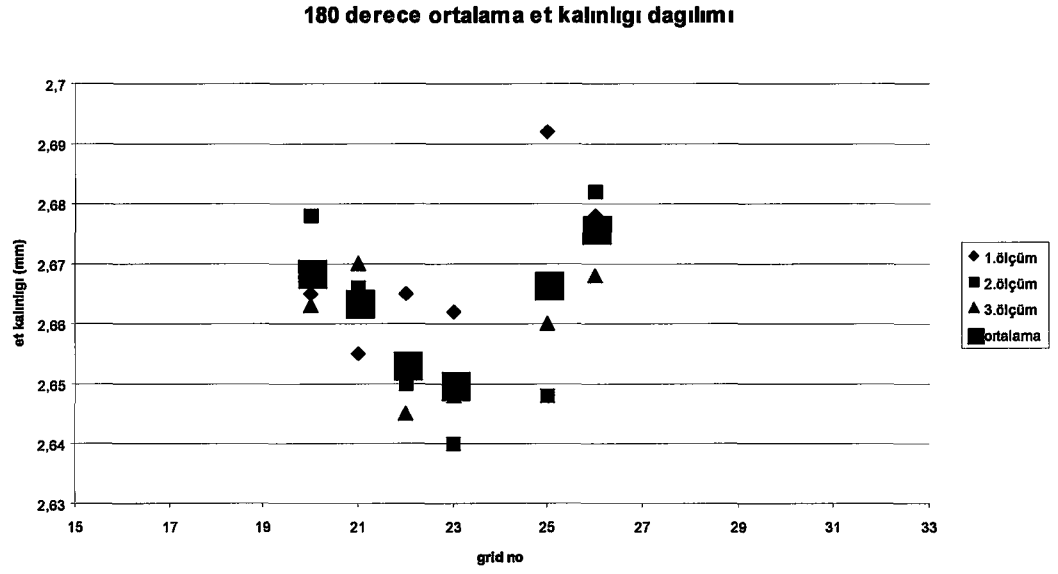


Şekil 4-46 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 180°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

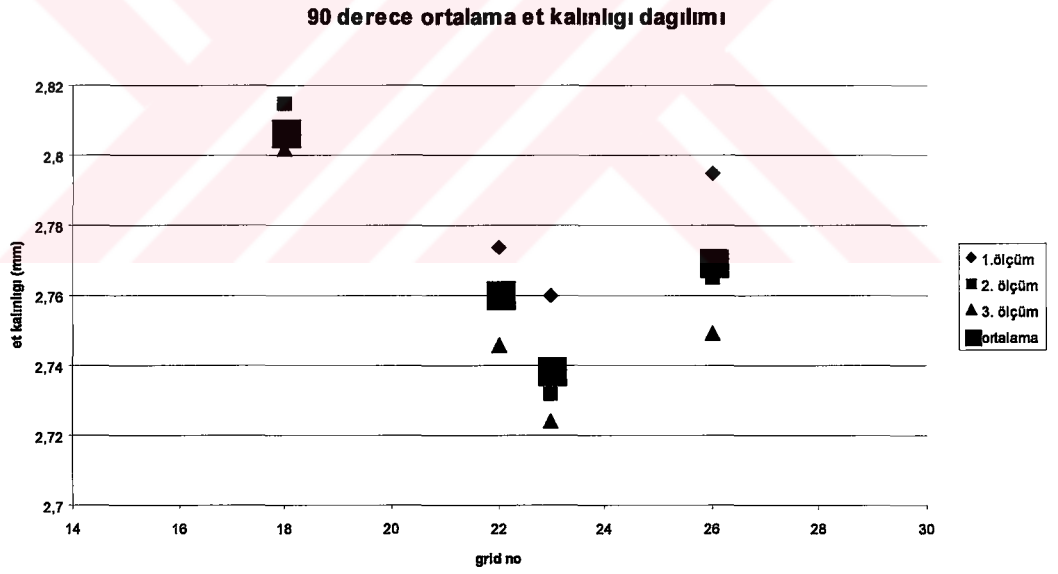
4.2.2.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri



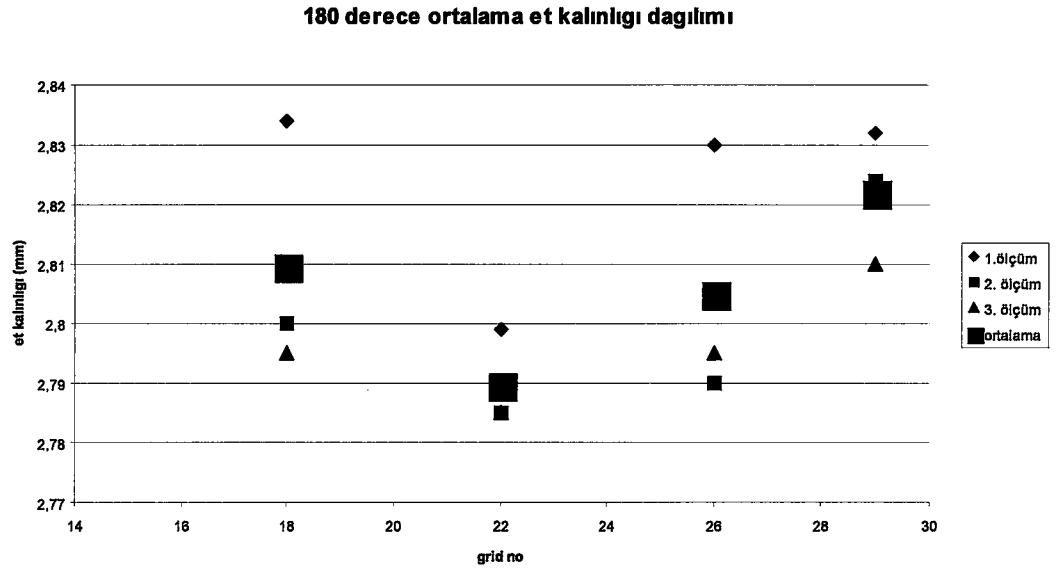
Şekil 4-47 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için 90°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



Şekil 4-48 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için 90⁰'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

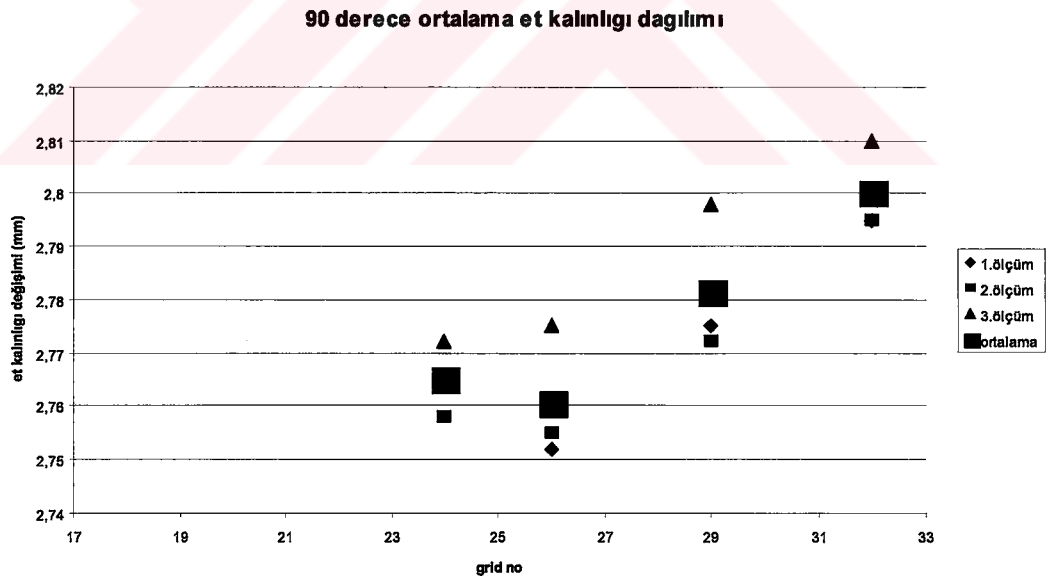


Şekil 4-49 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için 90⁰'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

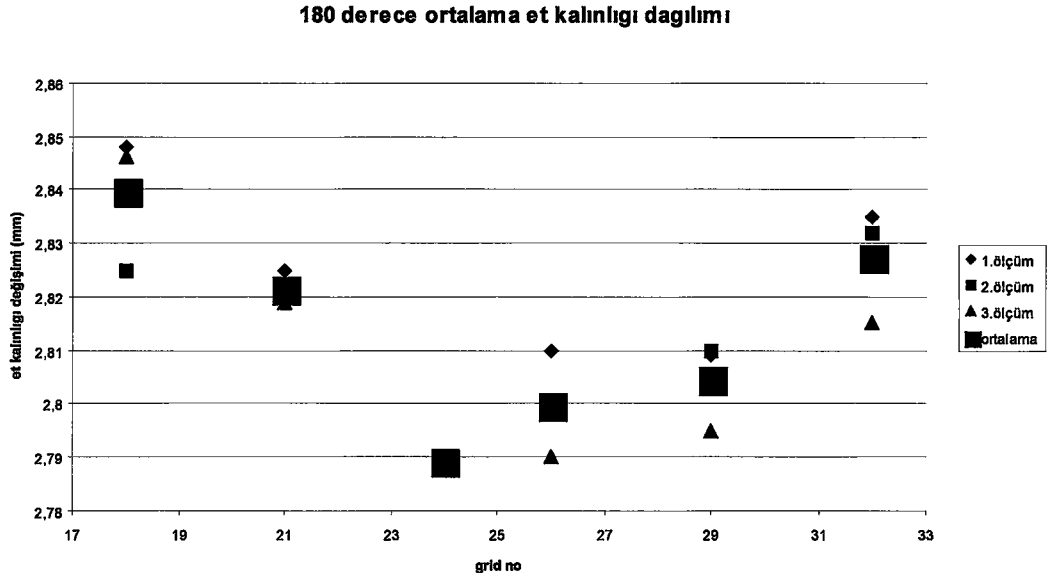


Şekil 4-50 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için 180°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

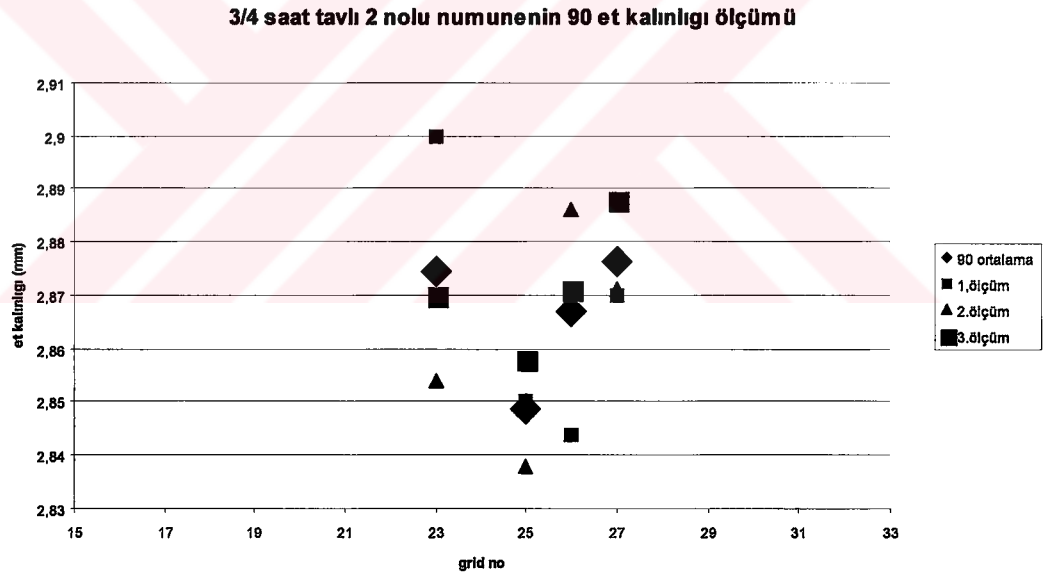
4.2.2.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri



Şekil 4-51 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 90°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

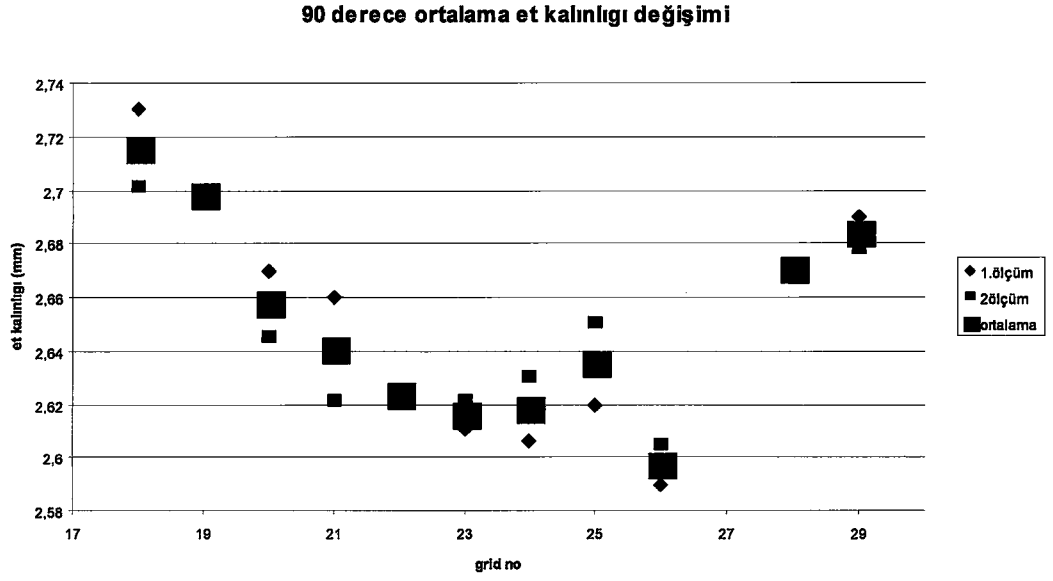


Şekil 4-52 3/4 saat tavlı 1 numaralı numune için 180°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

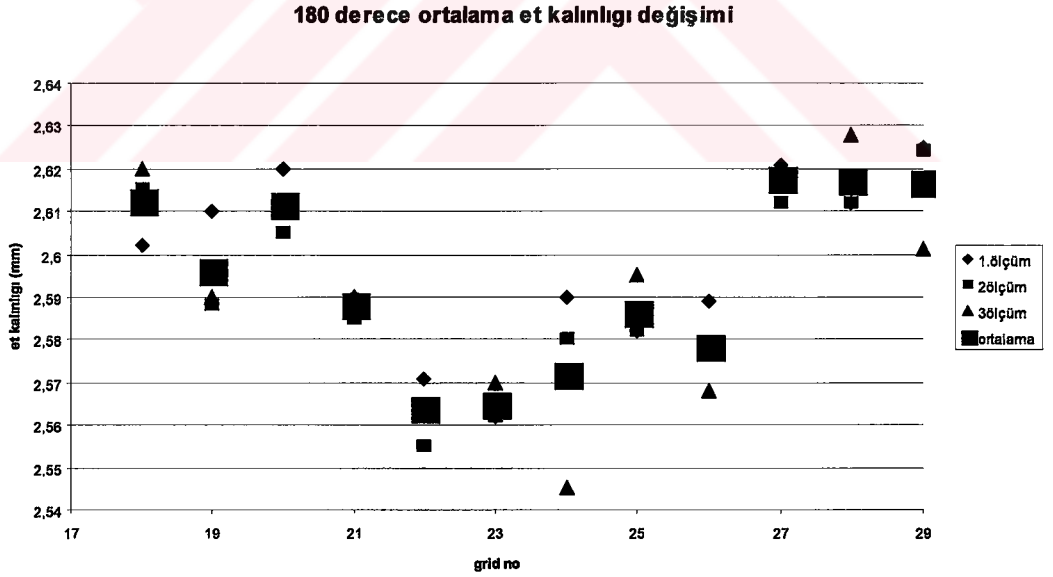


Şekil 4-53 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için 90°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

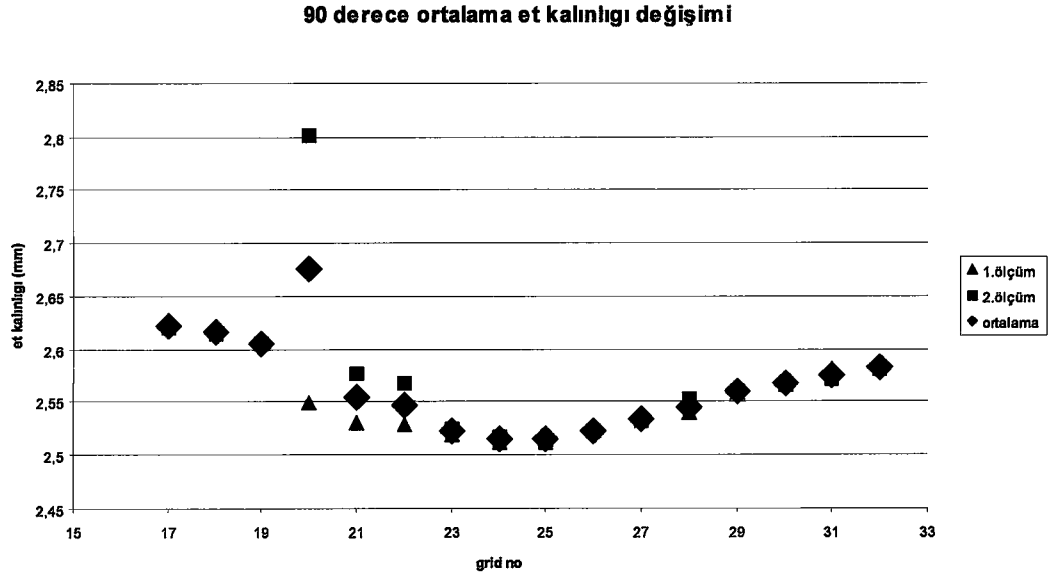
4.2.2.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Et Kalınlığı Ölçümleri



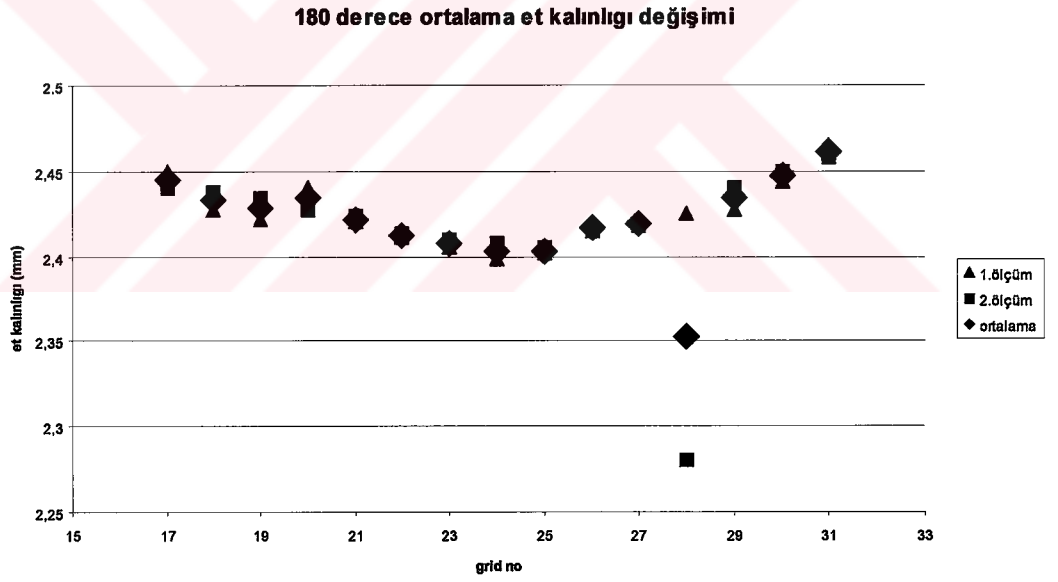
Şekil 4-54 1 saat tavlı 1 numaralı numune için 90⁰'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



Şekil 4-55 1 saat tavlı 1 numaralı numune için 180⁰'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı



Şekil 4-56 1 saat tavlı 2 numaralı numune için 90°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

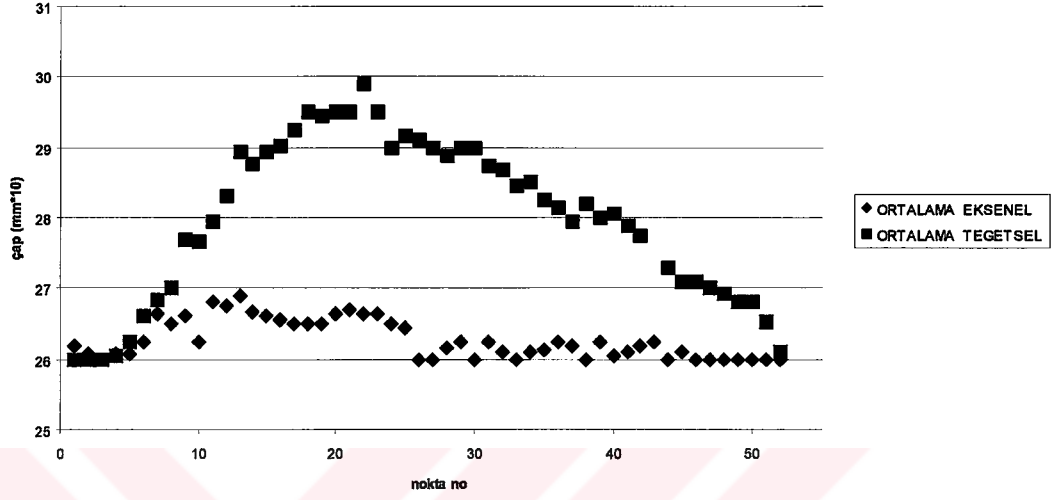


Şekil 4-57 1 saat tavlı 2 numaralı numune için 180°'de gerçekleşen et kalınlığı dağılımı

4.2.3. Benek Ölçümleri

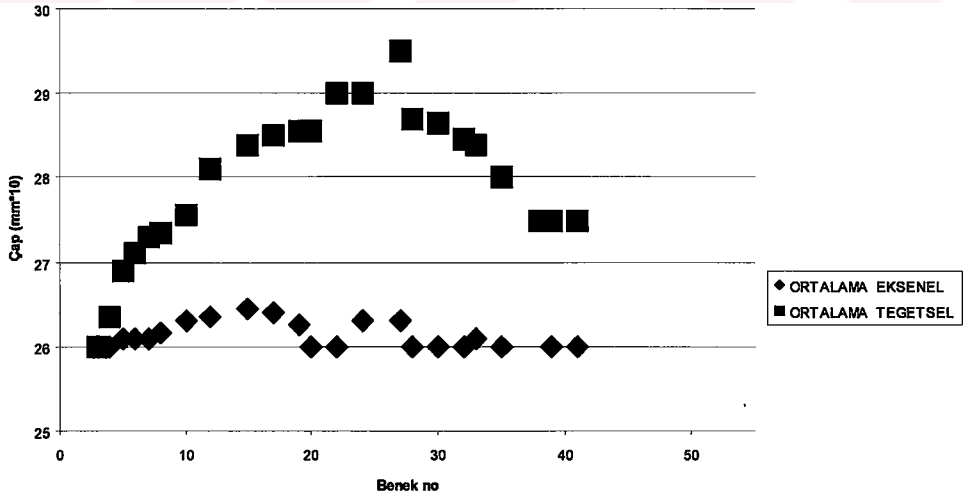
4.2.3.1. Tavsız Numunelere Ait Benek Ölçümleri

1 nolu tavsız parça için ortalama benek (grid) ölçümü



Şekil 4-58 1 numaralı tavsız numuneye ait benek ölçümleri sonuçları

4 nolu tavsız parça için ortalama benek (grid) ölçümü



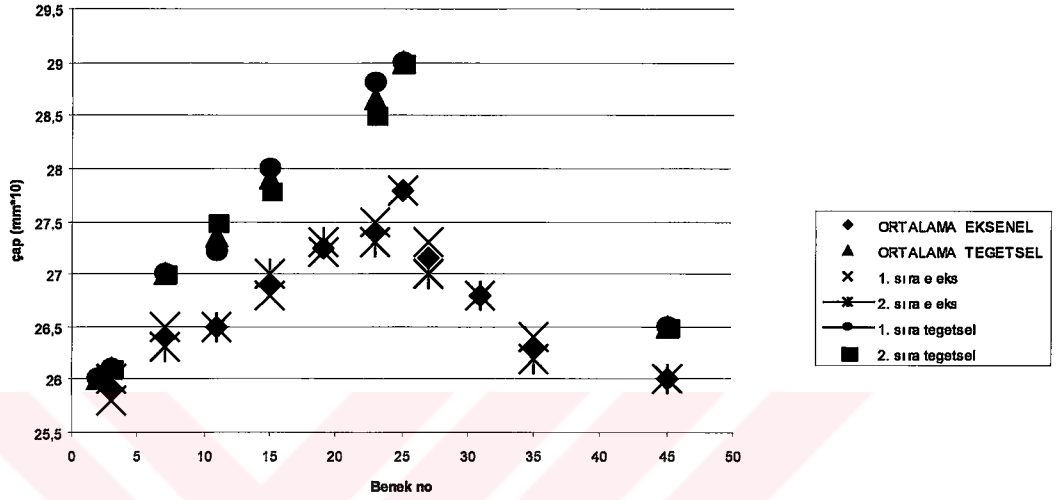
Şekil 4-59 4 numaralı tavsız numuneye ait benek ölçümleri sonuçları

4.2.3.2. ¼ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri

Bu tav süresine ait benek ölçümleri benek kalitesi çok düşük olduğundan yapılamamıştır.

4.2.3.3. ½ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri

1 saat tavlı 1 nolu numune için ortalama benek (grid) ölçümleri



Şekil 4-60 1/2 saat tavlı numuneye ait benek ölçümleri sonuçları

4.2.3.4. ¾ Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri

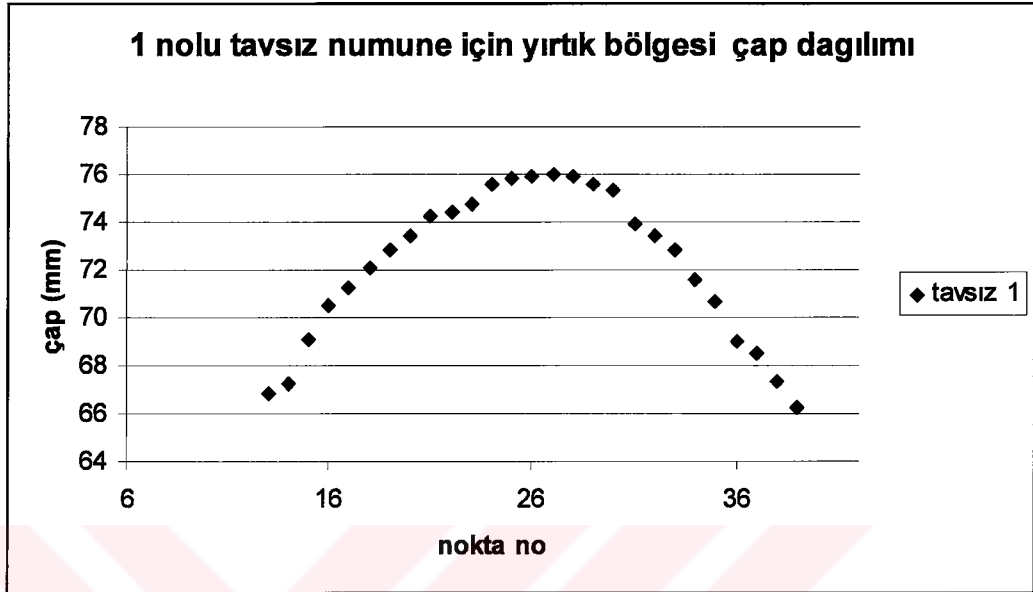
Bu tav süresine ait benek ölçümleri benek kalitesi çok düşük olduğundan yapılamamıştır.

4.2.3.5. 1 Saat Tavlı Numunelere Ait Benek (Grid) Ölçümleri

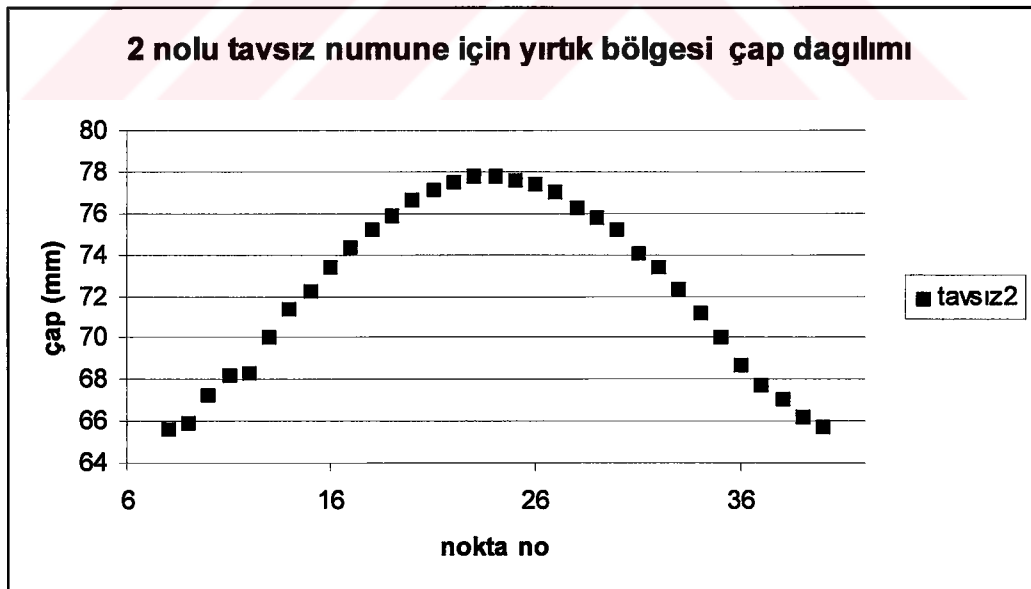
Bu tav süresine ait benek ölçümleri benek kalitesi çok düşük olduğundan yapılamamıştır.

4.2.4. Yırtık Çap Ölçümleri

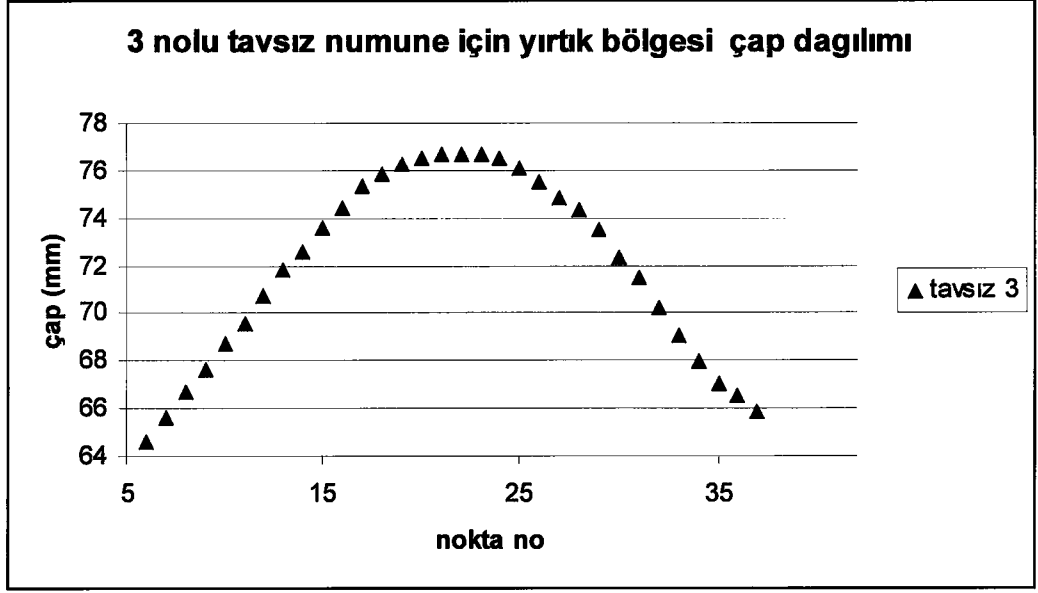
4.2.4.1. Tavsız Numunelere Ait Yırtık Çap Ölçümleri



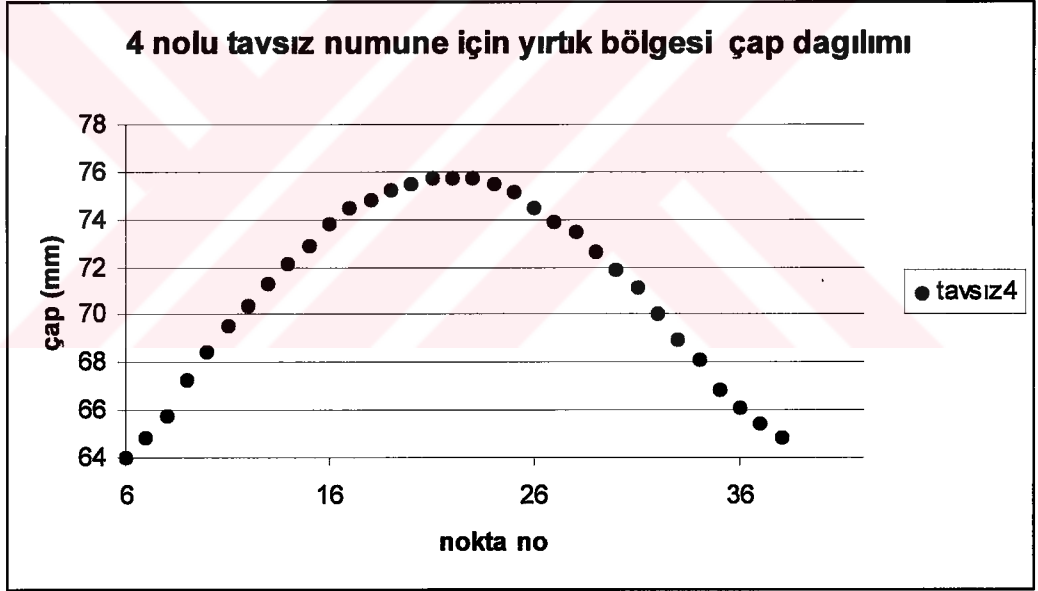
Şekil 4-61 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



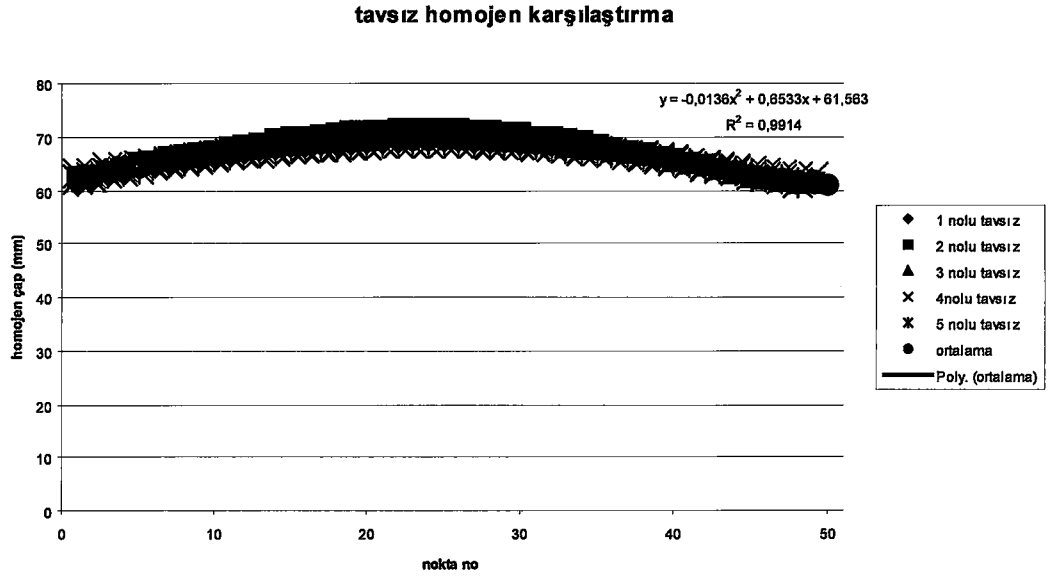
Şekil 4-62 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-63 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-64 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık çap dağılımı

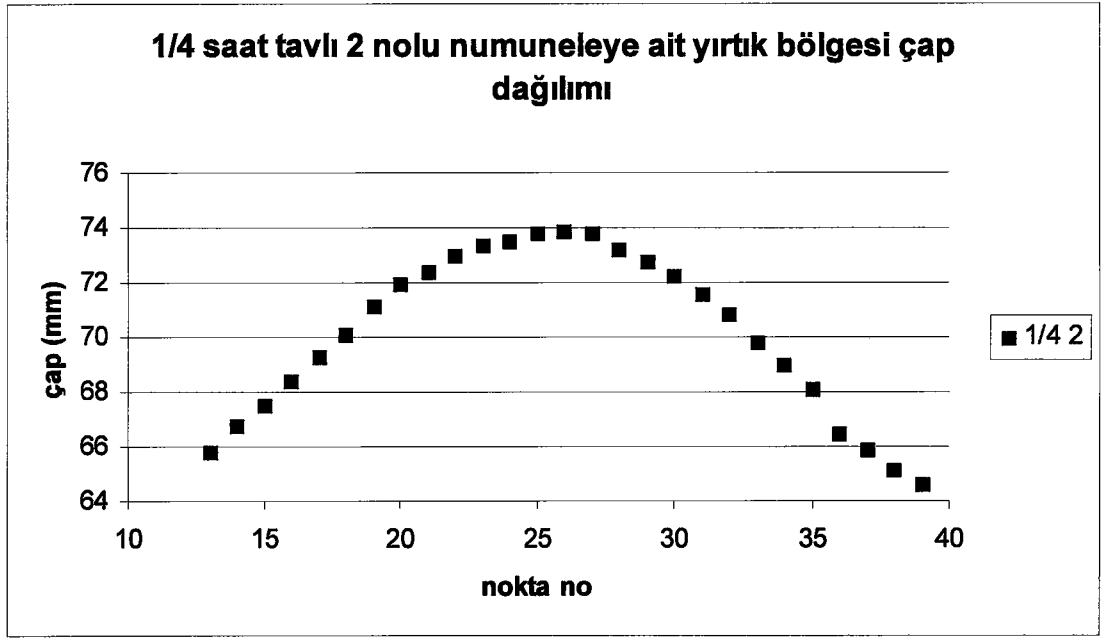


Şekil 4-65 Tavsız numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

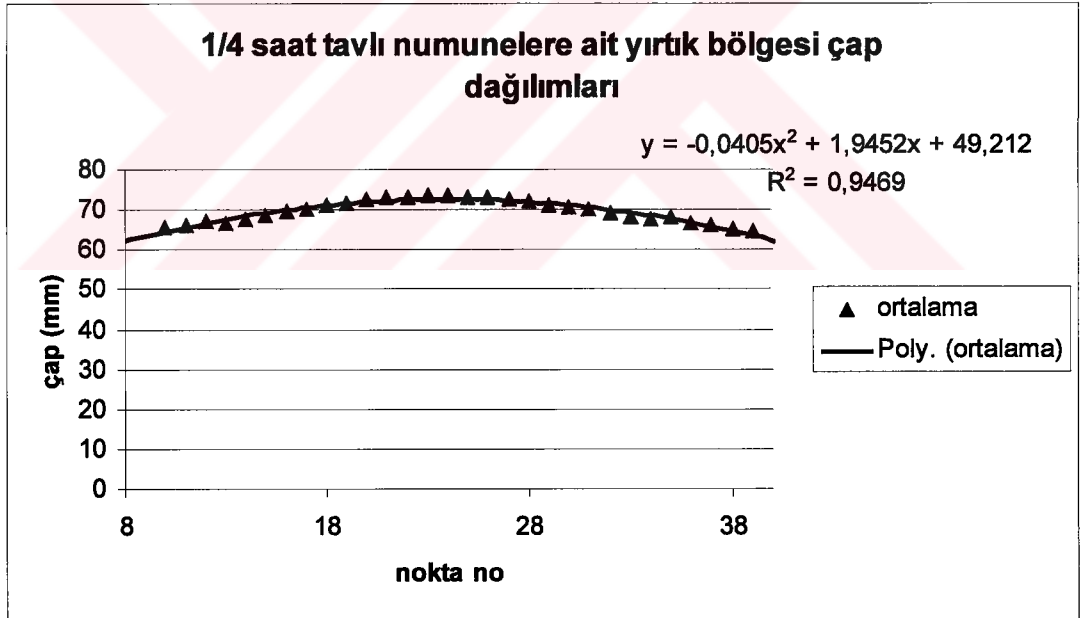
4.2.4.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümler



Şekil 4-66 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi çap dağılımı

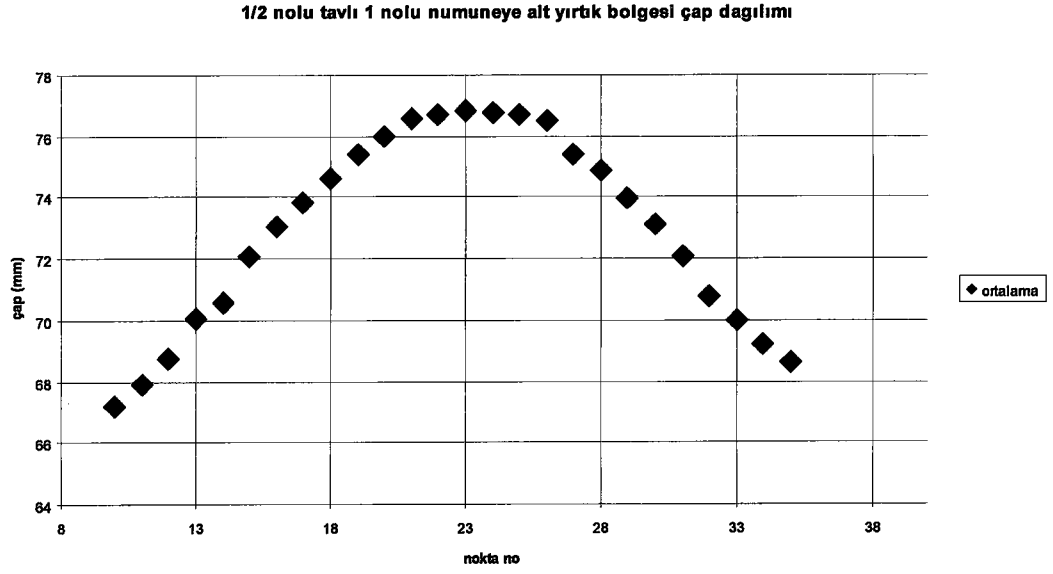


Şekil 4-67 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi çap dağılımı

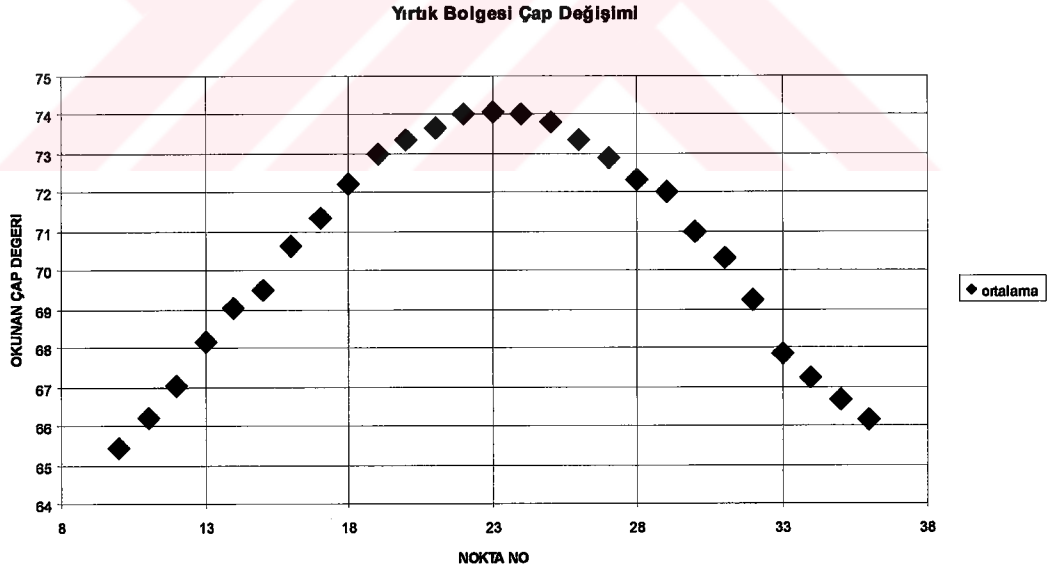


Şekil 4-68 1/4 saat tavlı numunelere ait yırtık bölgesi çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

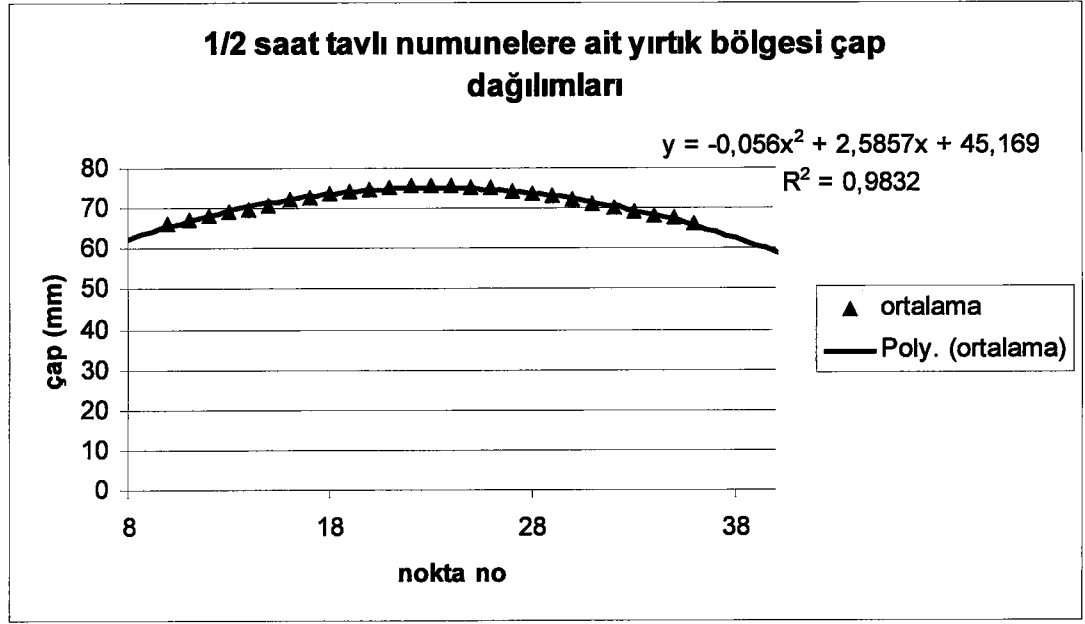
4.2.4.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri



Şekil 4-69 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-70 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-71 1/2 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

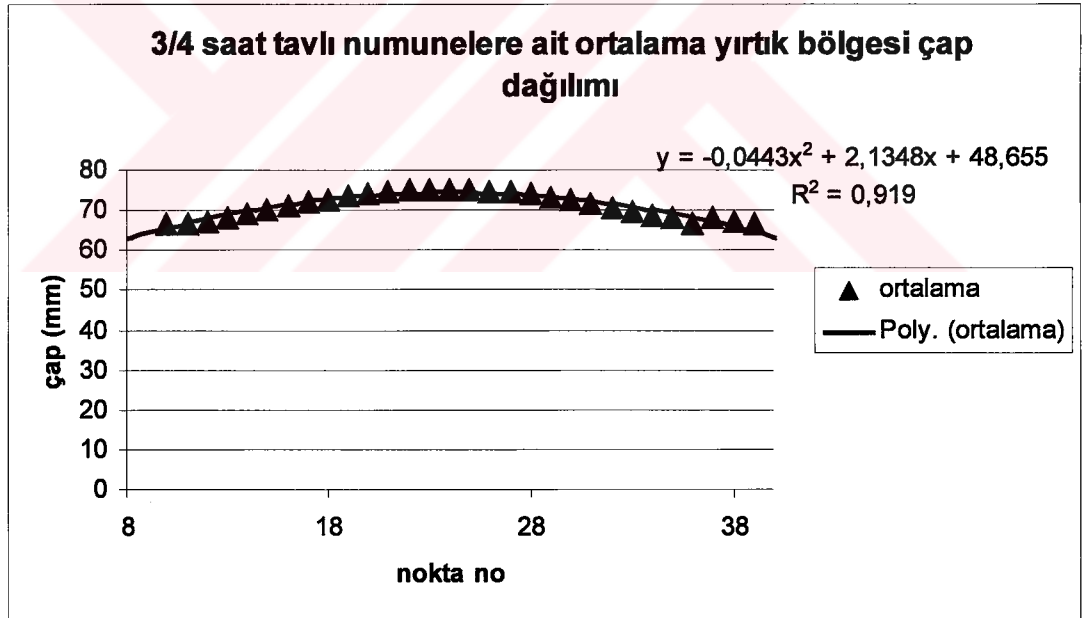
4.2.4.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri



Şekil 4-72 ¾ saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı

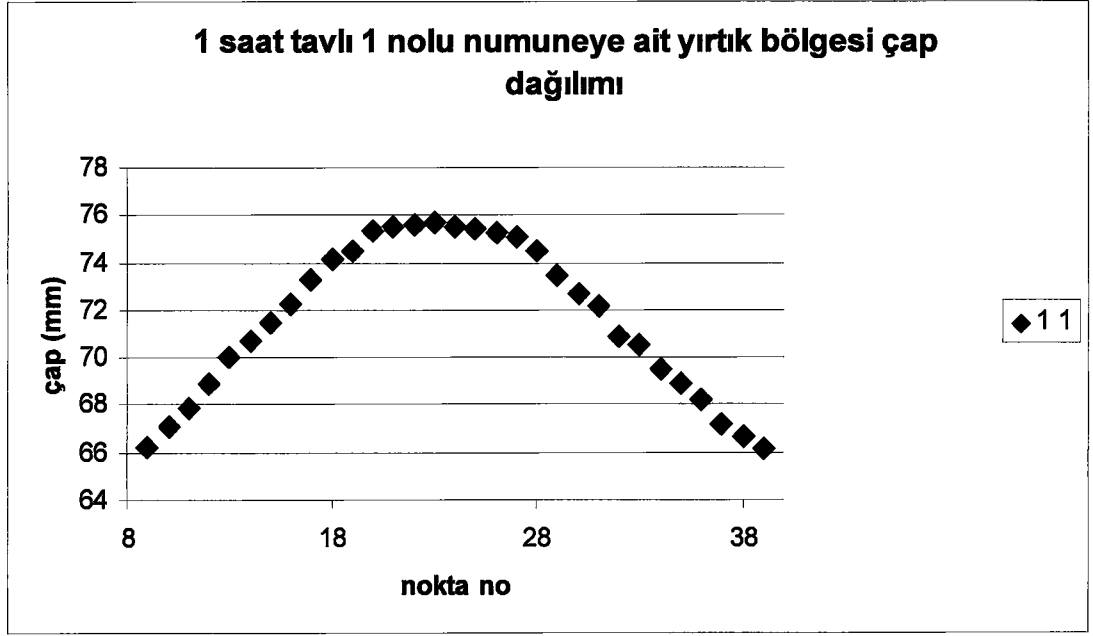


Şekil 4-73 3/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı

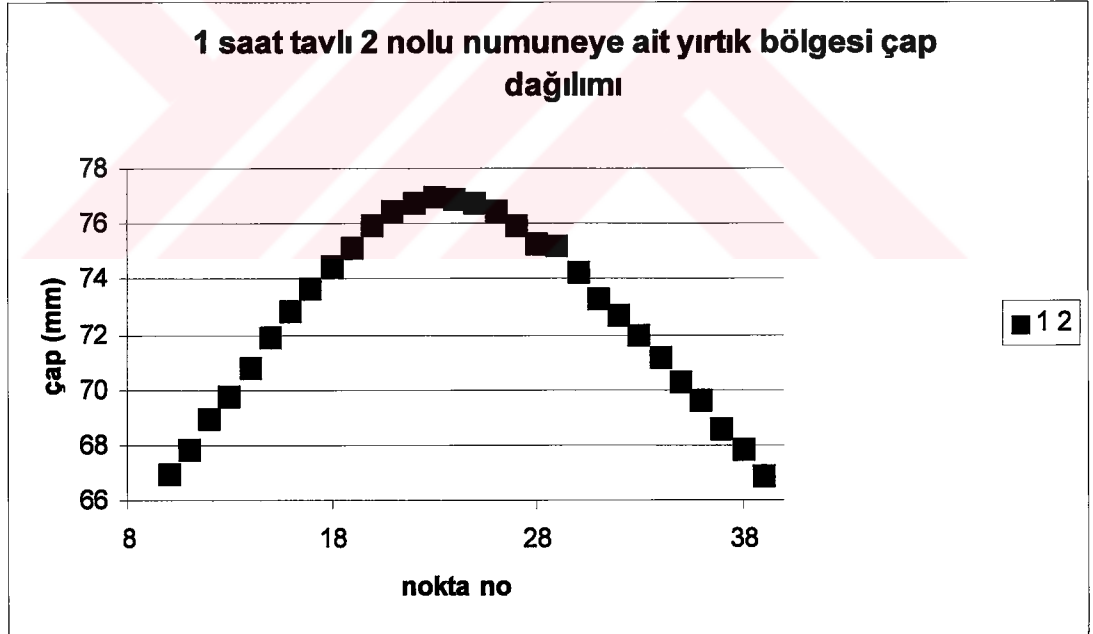


Şekil 4-74 3/4 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

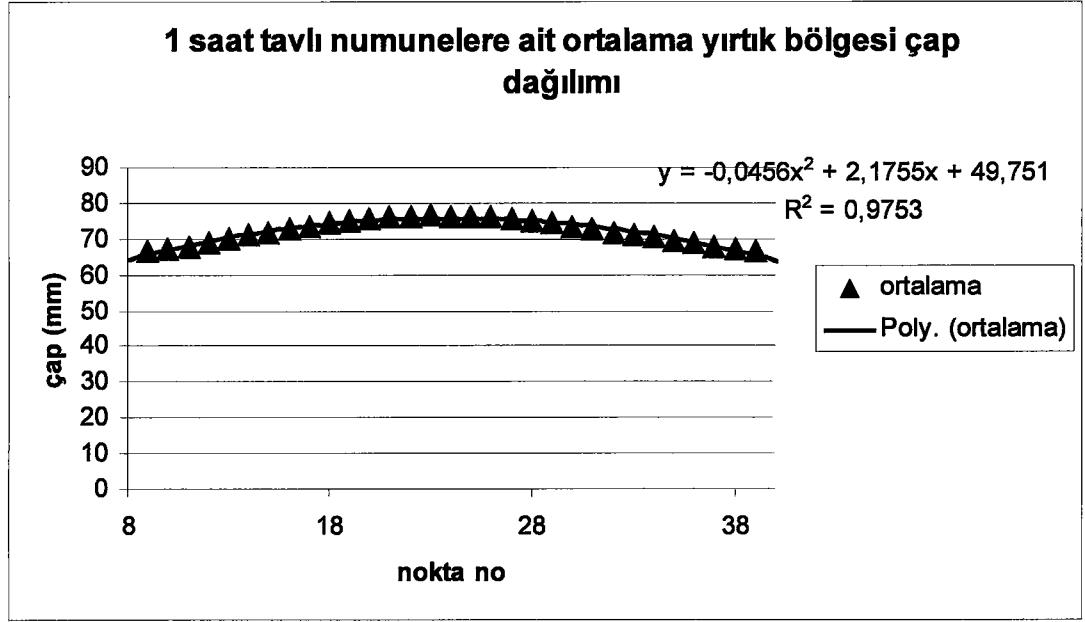
4.2.4.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Çap Ölçümleri



Şekil 4-75 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-76 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık çap dağılımı



Şekil 4-77 1 saat tavlı numunelere ait yırtık çap dağılımlarının toplu olarak gösterimi ve ortalama sonuçlara uydurulan eğri

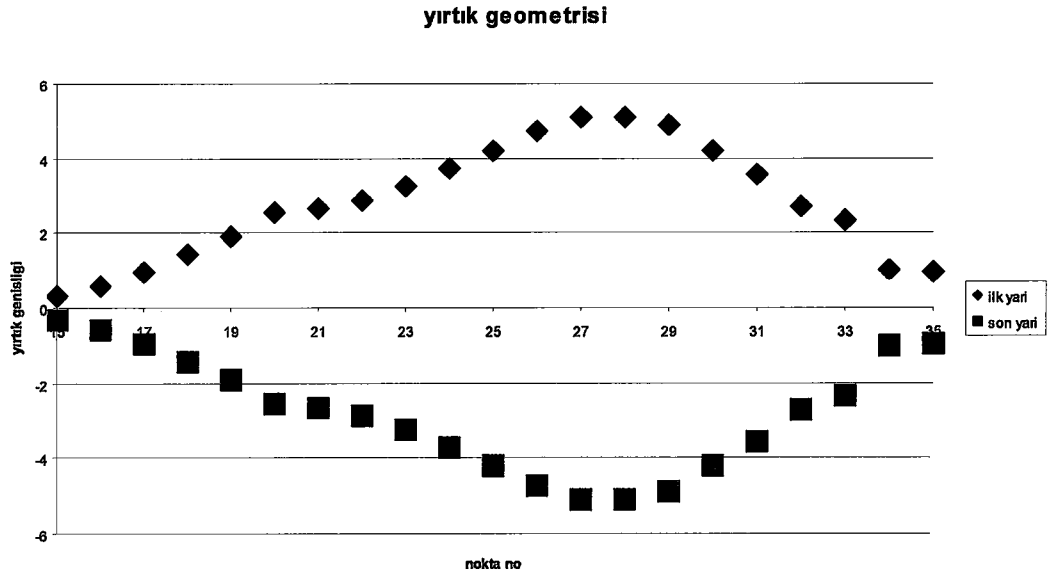
Ortalama yırtık çap ölçümlerine uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları Tablo 4-8'de verilmiştir:

Tablo 4-8 Ortalama yırtık çap ölçümlerine uydurulan ikinci derece eğrilerin katsayıları

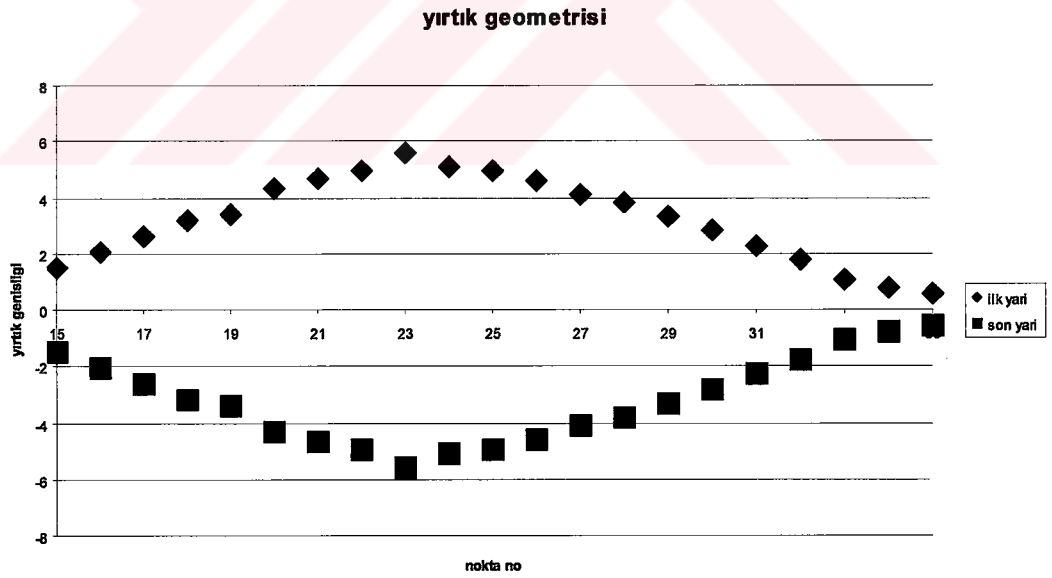
Numune	A (x^2)	B (x)	C	R^2
Tavsız	-0,0136	0,6533	61,563	0,9914
¼ saat tavlı	-0,0405	1,9452	49,212	0,9469
½ saat tavlı	-0,056	2,5857	45,169	0,9832
¾ saat tavlı	-0,0443	2,1348	48,655	0,919
1 saat tavlı	-0,0456	2,1755	49,751	0,9753

4.2.5. Yırtık Geometrisi Ölçümleri

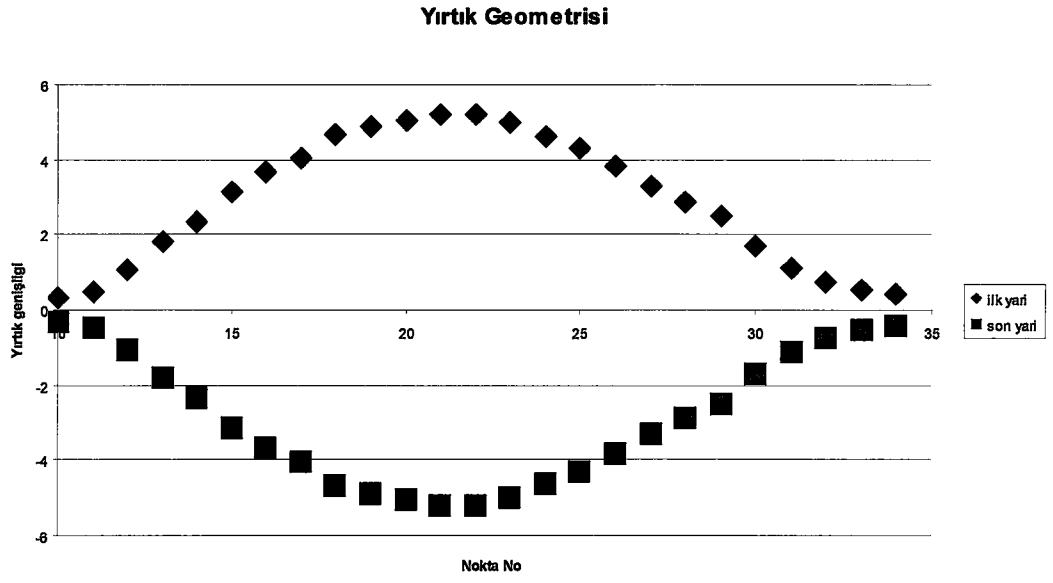
4.2.5.1. Tavsız Numunelere Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri



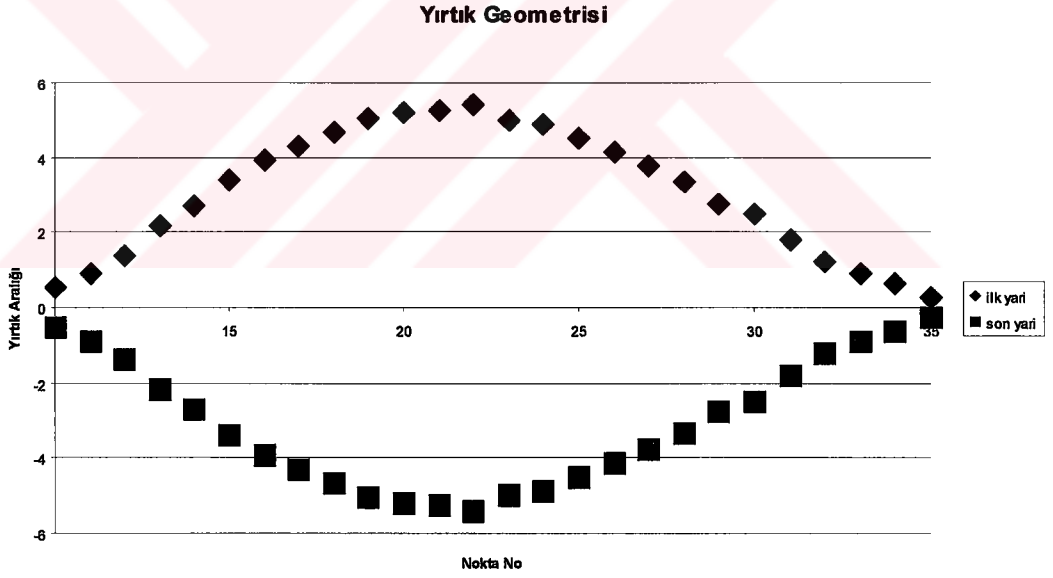
Şekil 4-78 1 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı



Şekil 4-79 2 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

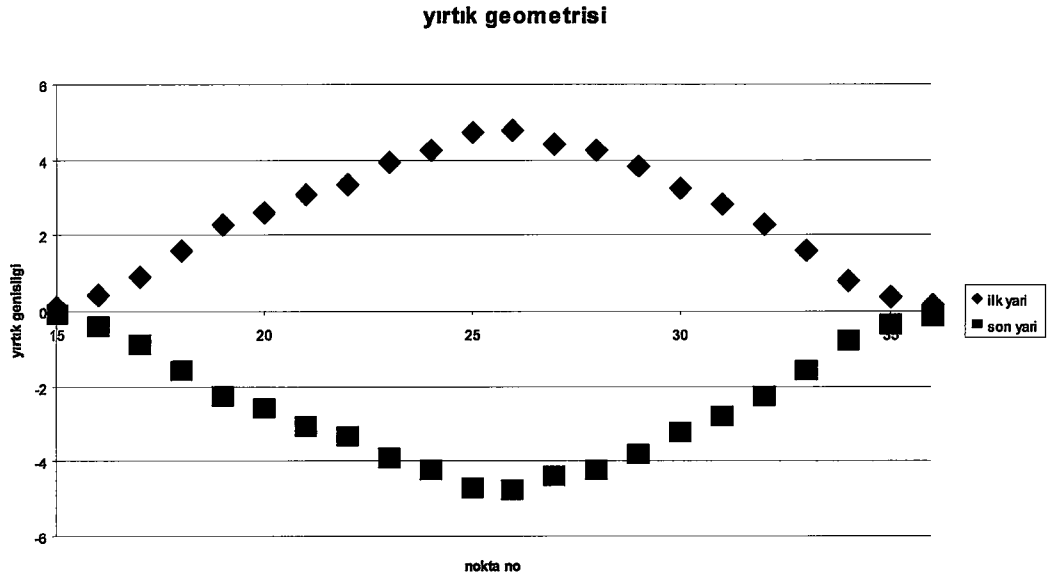


Şekil 4-80 3 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

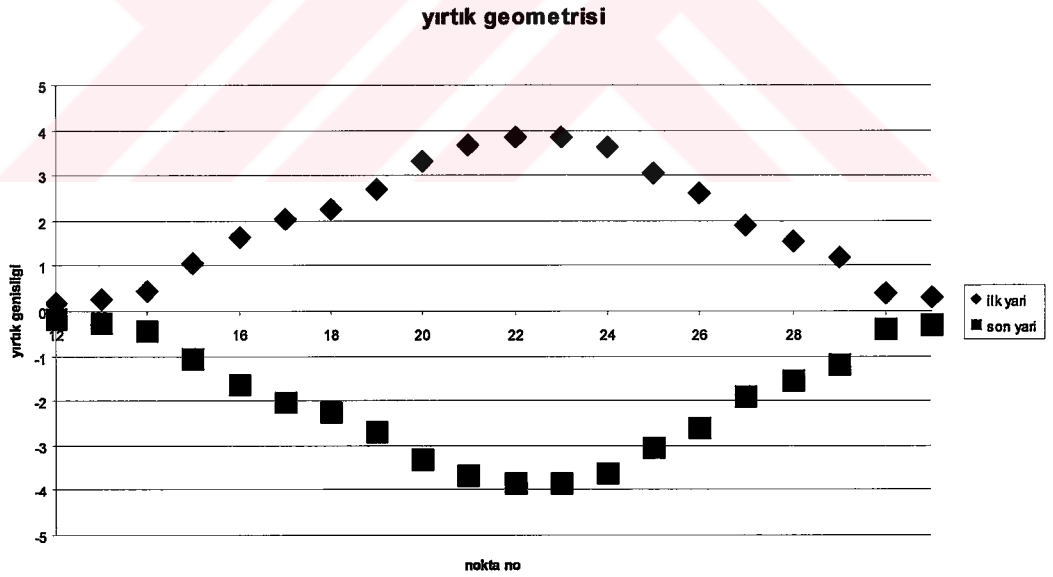


Şekil 4-81 4 numaralı tavsız parça için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

4.2.5.2. ¼ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri

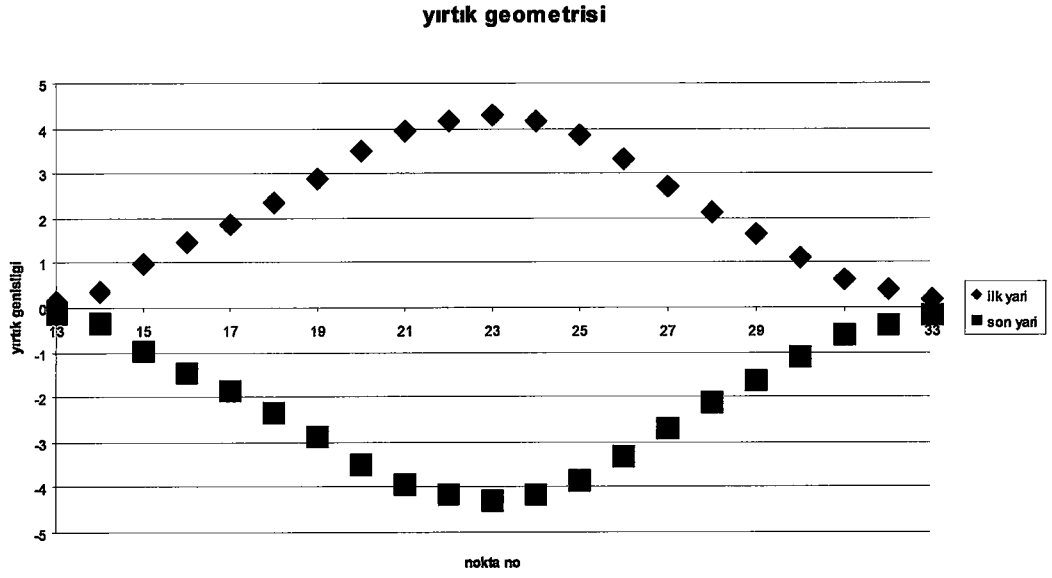


Şekil 4-82 1/4 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi geometrisi dağılımı

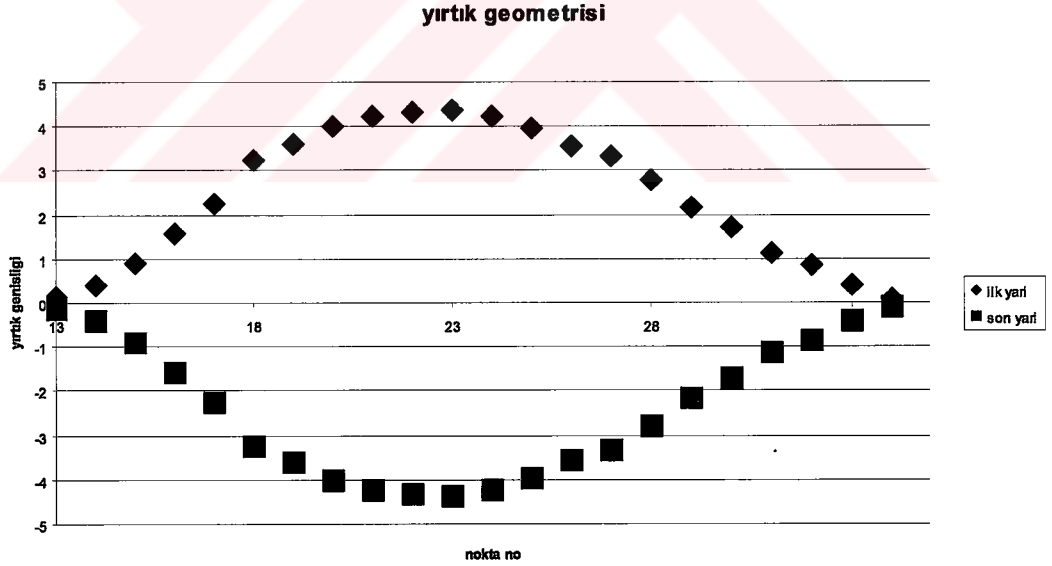


Şekil 4-83 1/4 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık bölgesi geometrisi dağılımı

4.2.5.3. ½ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri

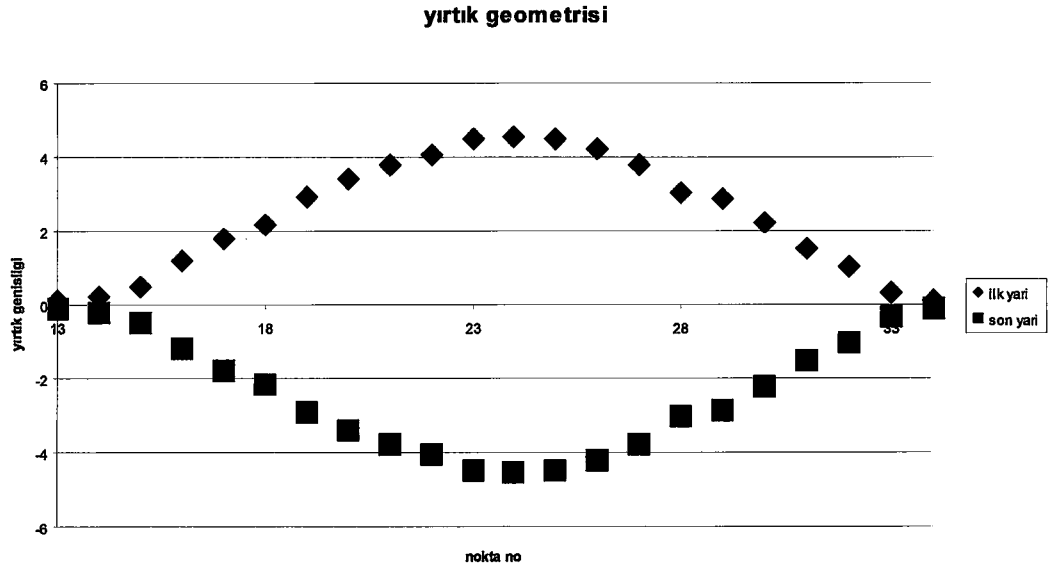


Şekil 4-84 1/2 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

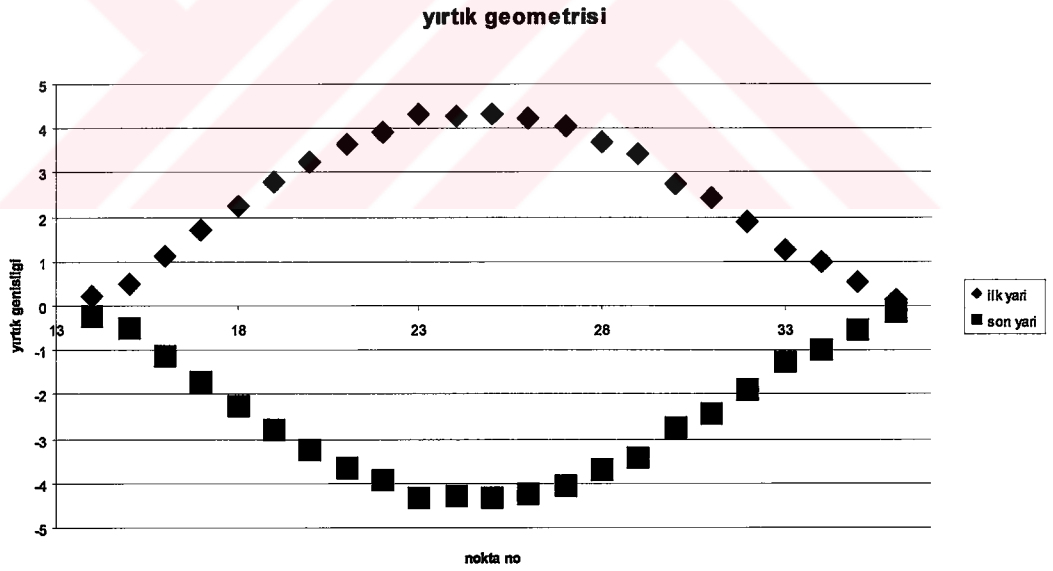


Şekil 4-85 1/2 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

4.2.5.4. ¾ Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri

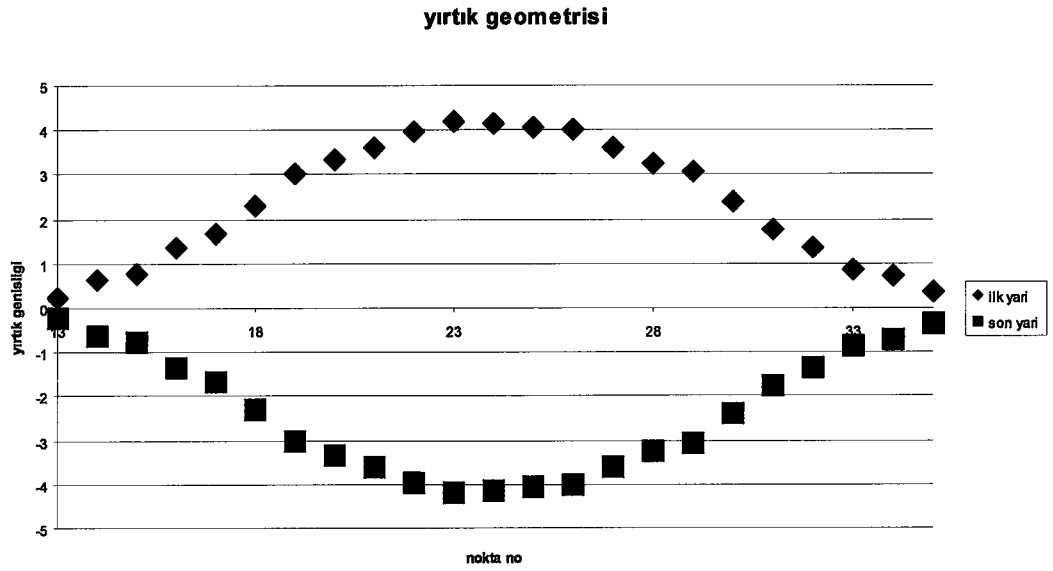


Şekil 4-86 ¾ saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

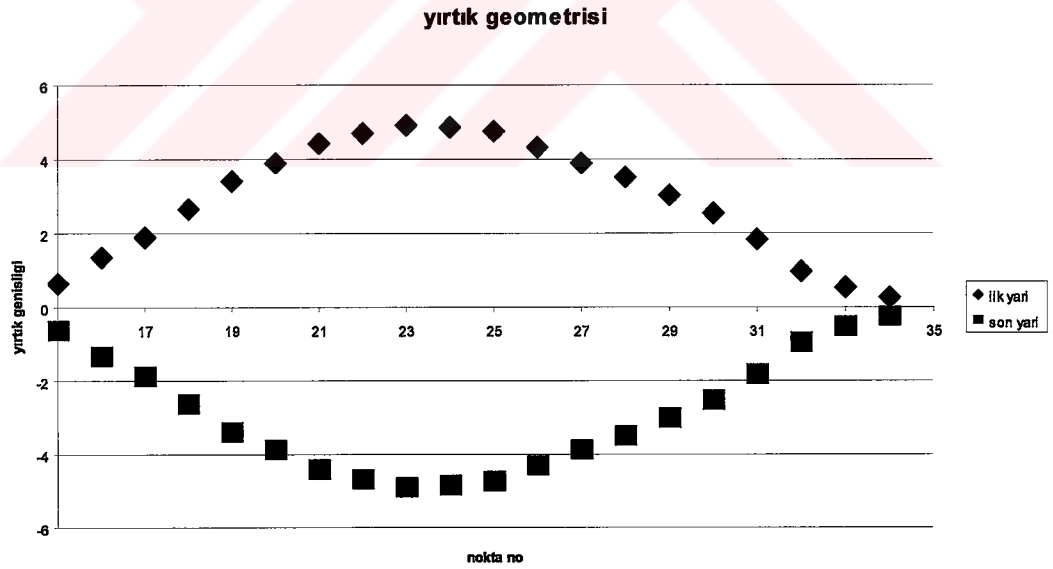


Şekil 4-87 ¾ saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

4.2.5.5. 1 Saat Tavlı Parçalara Ait Yırtık Geometrisi Ölçümleri



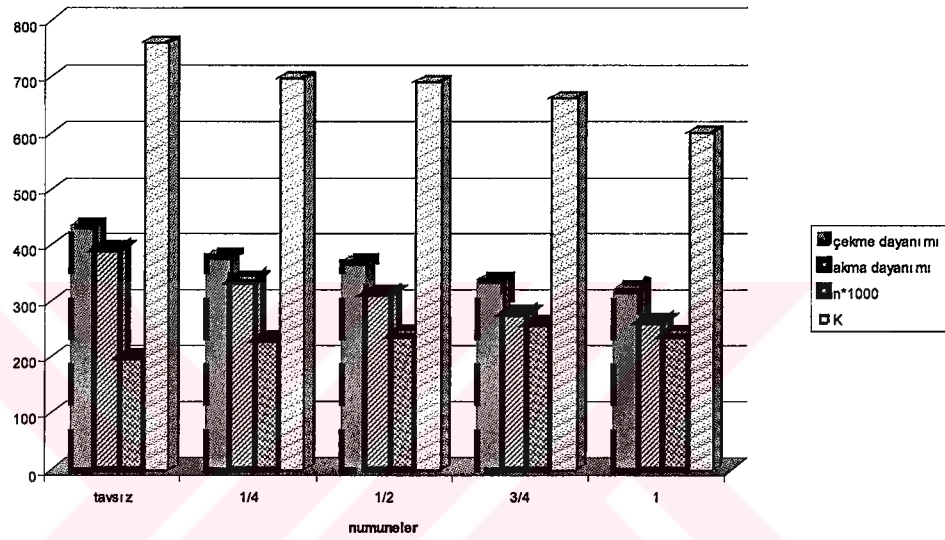
Şekil 4-88 1 saat tavlı 1 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı



Şekil 4-89 1 saat tavlı 2 numaralı numune için gerçekleşen yırtık geometrisi dağılımı

4.3. En Büyük Şekil Değişimleri

Numunelerin yırtılmasında yerel şişme başladıktan sonra diğer bölgelerdeki şekil değişimlerinin durduğu kabul edilebilir. Yukarıdaki verilerden en büyük çap, en küçük et kalınlığı ve benek boyutlarındaki en büyük değişim değerleri dikkate alınarak Tablo 4-9 da ki karşılaştırma tablosu yapılmıştır. Şekil 4-90'da ise malzeme özelliklerinin tavlama süresiyle değişimi görülmektedir.



Şekil 4-90 Ortalama malzeme özelliklerinin tavlama süresiyle değişimi

Tablo 4-9 En büyük şekil değişimleri için ölçülen ortalama değerler

Tav Süresi (saat)	Numune no	En büyük çap	En küçük et kalınlığı		Benek çap değişimi	
			90	180	Teğetsel	Eksensel
Tavsız	1	69,27	2,77	2,79	2,99	2,69
	2	71,48	2,505	2,568	-	-
	3	70,14	2,65	2,64	-	-
	4	68,97	2,493	2,544	2,95	2,645

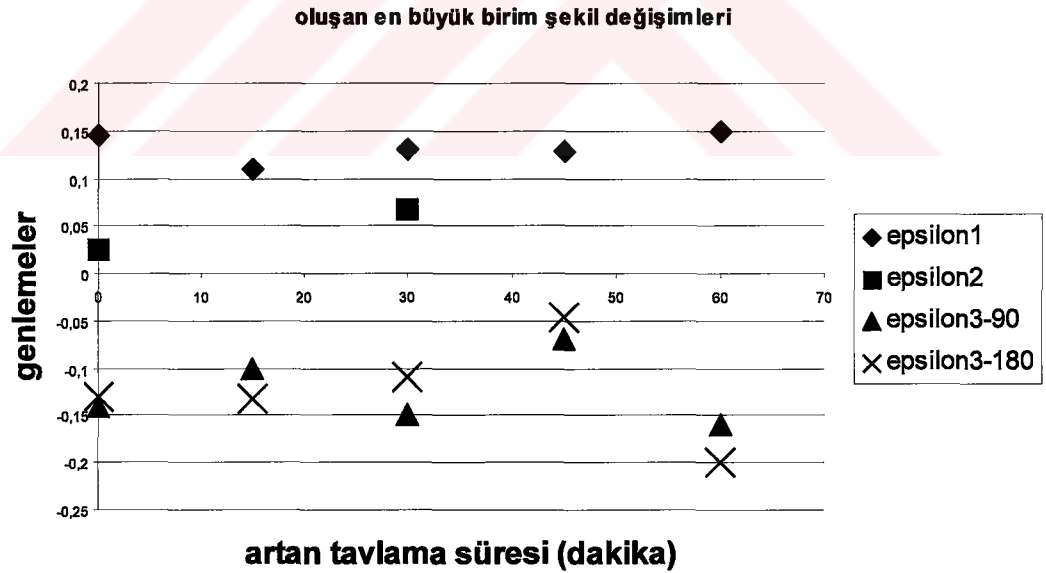
Tablo 4-10 En büyük şekil değişimleri için ölçülen ortalama değerler (tablo 4-9 devam)

Tav Süresi (saat)	Numune no	En büyük çap	En küçük et kalınlığı		Benek çap değişimi	
			90	180	Teğetsel	eksensel
$\frac{1}{4}$	1	67,54	2,713	2,62	-	-
	2	67,385	-	2,642	-	-
$\frac{1}{2}$	1	70,315	2,457	2,59	-	-
	2	67,62	2,715	2,789	2,9	2,78
$\frac{3}{4}$	1	67,275	2,756	2,789	-	-
	2	70,31	2,848	2,937	-	-
1	1	70,85	2,597	2,563		
	2	69,6	2,514	2,352		

BÖLÜM V

5. İrdelemeler

Tablo 4-8 den yararlanılarak- numunelerin başlangıç et kalınlığı değeri 3mm, başlangıç tüp çapı 60.5 mm ve başlangıç benek çap değeri 2.6 mm alınarak genleme (birim şekil değişimleri) hesaplanmıştır. Epsilon 1 çap bölgesindeki teğetsel genişlemeyi, epsilon 2 çap bölgesindeki eksensel genlemeyi, epsilon 3-90 hasar bölgesinden 90 derece açı yapan bölgedeki et kalınlığındaki genlemeyi ve epsilon-180 ise hasar bölgesinin tam karşı tarafındaki bölgedeki et kalınlığındaki genlemeyi ifade etmek üzere elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

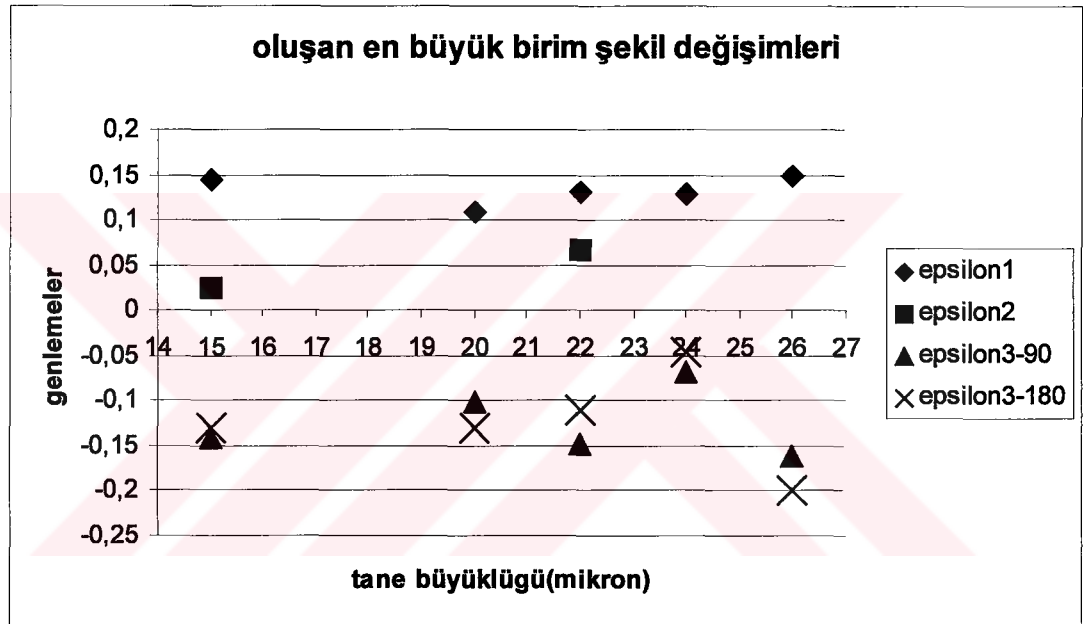


Şekil 5-1 Artan tavlama süresiyle birlikte değişen birim şekil değişimleri

Beneklerin silik çıkmasından dolayı boyca şekil değişimleri tüm durumlar için belirlenememiş, sadece tavsız ve 30 dakika tavlı numuneler belirlenebilmiştir. Tüplerin deney sonrasında boylarında azalma gözlenmiştir. Bu durum tüpün kalıp içinde kayabildiğini göstermekte ve boyca şekil değişiminin diğer yönlerdeki şekil

değiştirmeler kadar belirgin oluşmadığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Şekil 5-1 den yararlanarak en büyük şekil değişimi gösteren tüp bölgesi için, genel olarak şişme esnasında tüpün çapının arttığı, et kalınlığının ise azaldığı anlaşılmaktadır. Şekil değişimi toplamalarının plastik şekillenmede sıfır olacağı göz önüne alınırsa teğetsel yöndeki genleme artışının esas olarak et kalınlığının azalan genlemesi ile karşılandığı söylenebilir. Şekil değişimi toplamının tam olarak sıfır olmadığı durumlar ise ölçüm doğruluğundaki hata payı ile açıklanabilir.

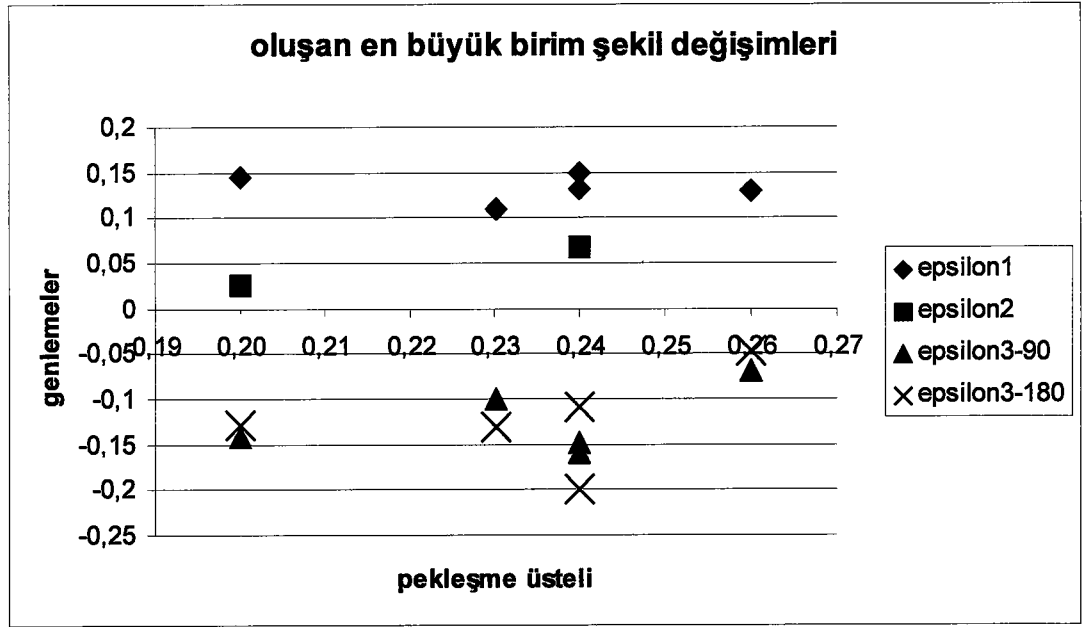
Genleme değerlerinin tane çapı ile değişimi Şekil 5-2’de görülmektedir.



Şekil 5-2 Artan tane büyüklüğüyle birlikte değişen birim şekil değişimleri

Şekil 5-2 incelendiğinde ele alınan tane boyutu aralığının tüp hidrolik şekillendirme işleminde şekil değiştirme sınırlarına belirgin bir etkisi görülmemiştir.

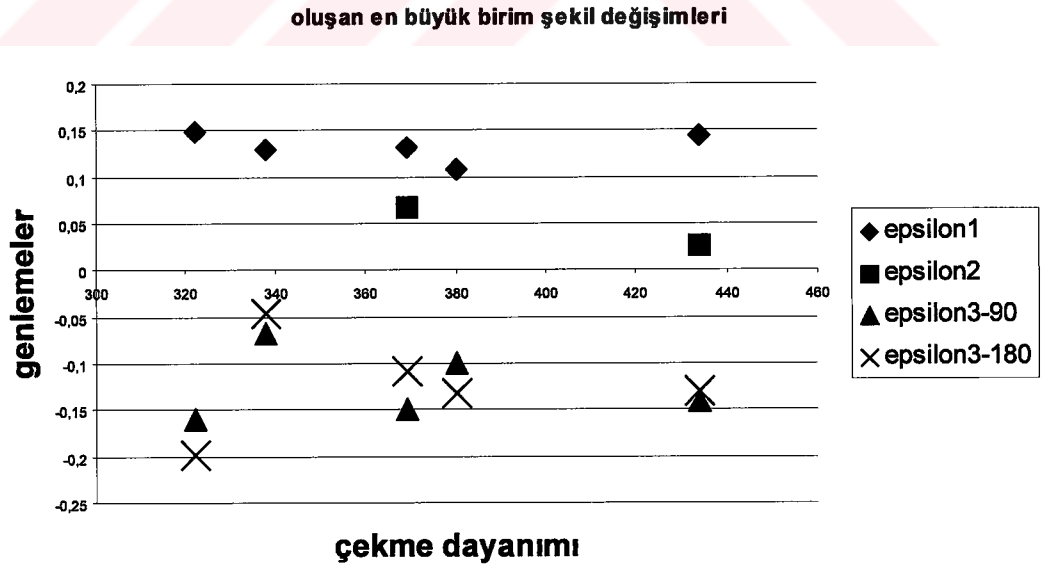
Şekil değişim değerlerinin pekleşme üsteli ile değişimi Şekil 5-3 de görülmektedir



Şekil 5-3 Artan pekleşme üsteliyle birlikte değişen birim şekil değişimleri

Şekil 5-3 incelendiğinde değişen pekleşme üstelinin tüp hidrolik şekillendirme işleminde şekil değiştirme sınırlarına belirgin bir etkisi görülmemiştir.

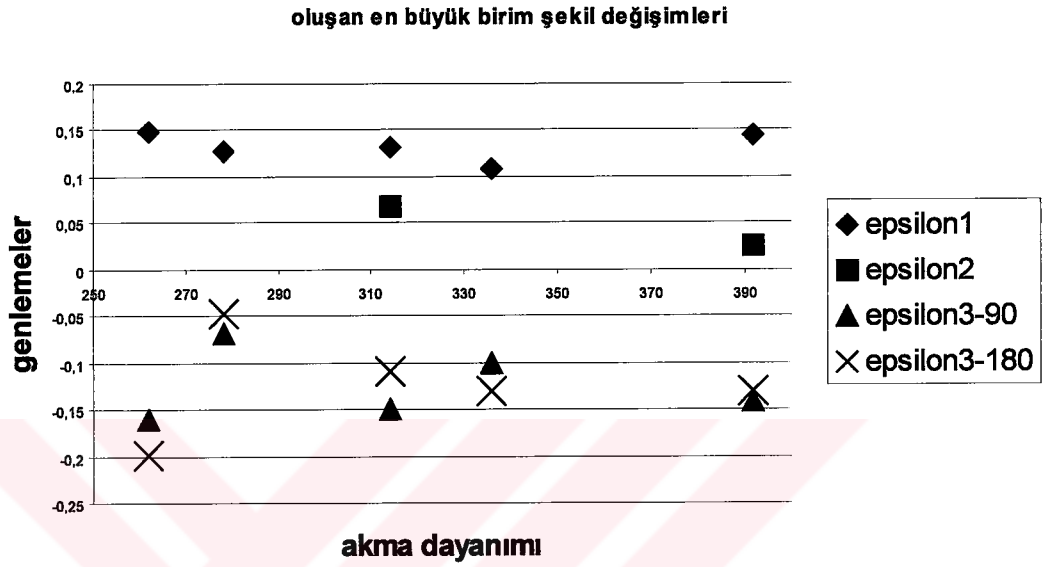
Şekil değişim değerlerinin çekme dayanımı ile değişimi Şekil 5-4de görülmektedir



Şekil 5-4 Artan çekme dayanımı ile birlikte değişen birim şekil değişimleri

Şekil 5-4 incelendiğinde değişen çekme dayanımının tüp hidrolik şekillendirme işleminde şekil değiştirme sınırlarına belirgin bir etkisi görülmemiştir.

Şekil değişim değerlerinin akma dayanımı ile değişimi Şekil 5-5’de görülmektedir

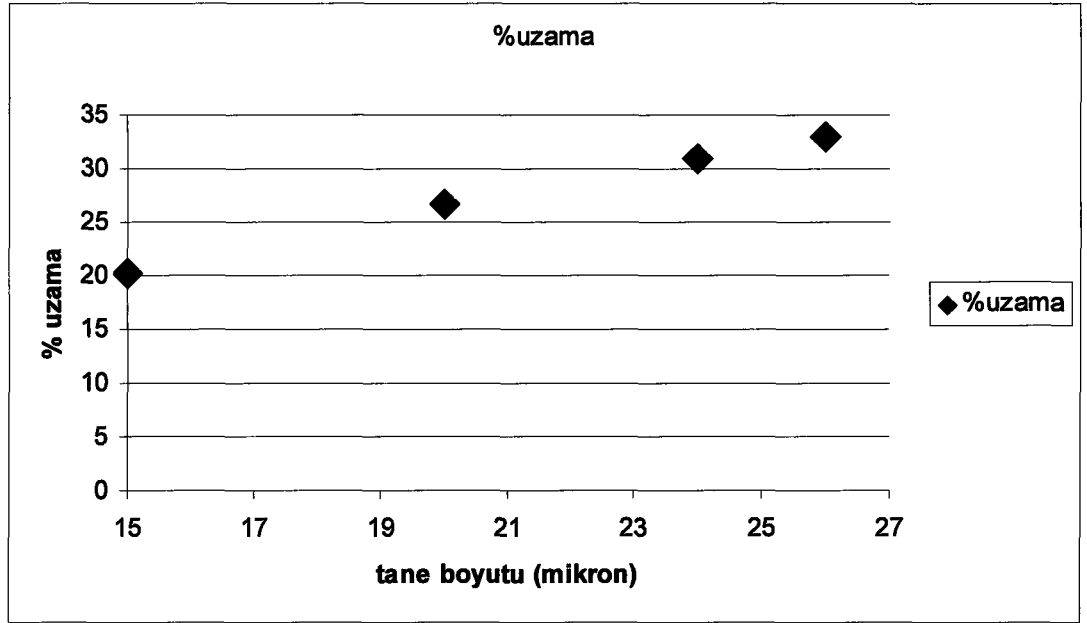


Şekil 5-5 Artan akma dayanımı ile birlikte değişen birim şekil değişimleri

Şekil 5-5 incelendiğinde değişen akma dayanımının tüp hidrolik şekillendirme işleminde şekil değiştirme sınırlarına belirgin bir etkisi görülmemiştir.

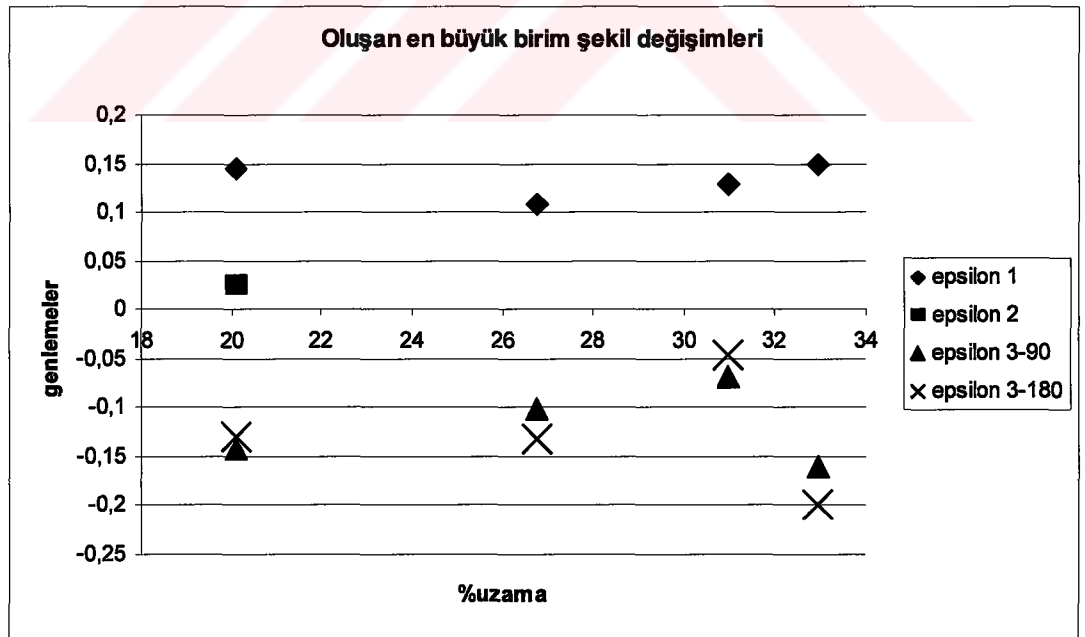
Artan tavlama süresi sonucu artan tane büyüklüğü artışıyla ile malzemenin sünekliği arasındaki ilişki Şekil 5-6’da görülmektedir.

Şekil 5-7 de görüldüğü gibi tüp hidrolik şekillendirme işleminde artan malzeme sünekliği ile numunelerin şekil değişimde düzenli bir artma gözlemlenmemektedir. Bu durumun tüp hidroşekillendirmede gerilme halinin iki eksenli olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Bilindiği gibi malzemenin süneklik değerleri tek eksenli gerilme hali olan çekme deneyi ile bulunmuştur.



Şekil 5-6 Artan tane büyüklüğüyle birlikte değişen % uzama

Genleme değerlerinin sünellik ile değişimi Şekil 5-7'de verilmiştir..



Şekil 5-7 Artan %uzama ile birlikte değişen birim şekil değişimleri

5.1 Sonlu Elemanlar Analizleri

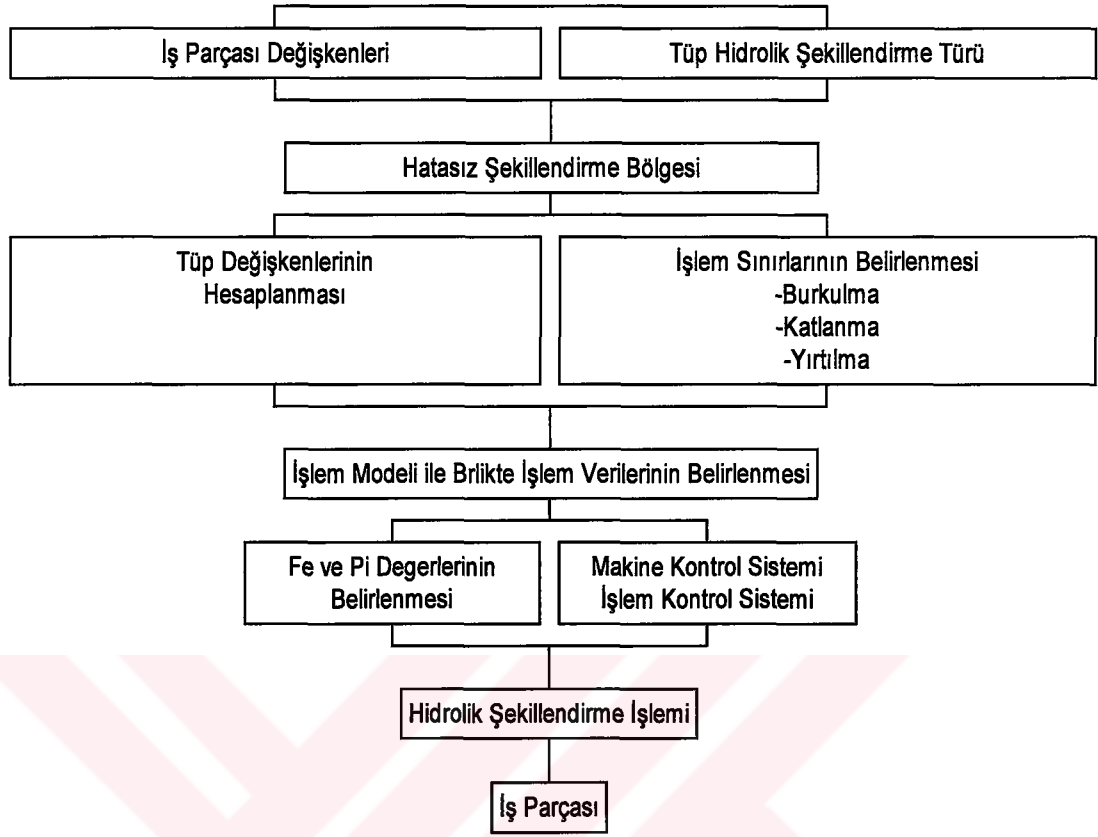
THŞ de SEA kullanımı 1990'lardan itibaren birçok araştırmacı tarafından inceleme ve değerlendirme sonrası temel bir geliştirme aracı olarak kullanılmaya başlanılmıştır. LS-Dyna, PAM-STAMP, ABAQUS, MARC AUTO-FORM, DEFORM gibi presle şekillendirme ve dövme için mevcut olan ticari SEA yazılımları başarıyla THŞ işlemine uygulamışlardır.

Bükme ve şekillendirme, hidroşekillendirme ve bazı durumlarda sızdırmazlık işlemlerinin simülasyonu sayesinde üretkenlik, şekillendirebilirlik gibi etkenler tahmin edilebilmekte ve eğer aşırı cidar incilmesi gibi durumlar varsa kalıp üzerinde yapılması gereken değişiklikler belirlenebilmektedir. Örneğin gelişkin (adaptiv) simülasyon tekniği ile uygun iç basınca-eksensel besleme oranı için gerekli adımlar hesaplanarak herhangi bir yırtılma veya katlanma olmadan parçaların imali mümkün hale gelmiştir . 1990'lardan itibaren çeşitli araştırmacılar uygulamalarını ve pratiğe dönük çalışmalarını belirli aralıklarla yayınlamışlardır. Bu çalışmalar şu konular hakkında yoğunlaşmıştır.

- THŞ işleminin sanayii uygulamaları.
- Yapısal şasi parçalarının üretimi.
- Ürün geliştirme ve tasarım süreçleri.
- Hidroşekillendirilmiş parçaların presleme yoluyla üretilenlere göre gelişimi.
- Hidroşekillendirme sistemine delme işleminin eklenmesi.
- Montaj ve kaynak konuları.
- Malzeme tasarrufu, ağırlık vs, vs.

Şekil 5-8 deki şema tüp hidrolik şekillendirme öncesi kullanıcının kaba bir işlem ön hazırlığı yapmasına olanak verecektir, yalnız daha hassas bir ön hazırlık evresi için sonlu elemanlar analizinden (SEA) faydalanılması gerekmektedir.

İşlem Değişkenlerini Belirlemek İçin Kullanılabilecek Bir Akış Diyagramı

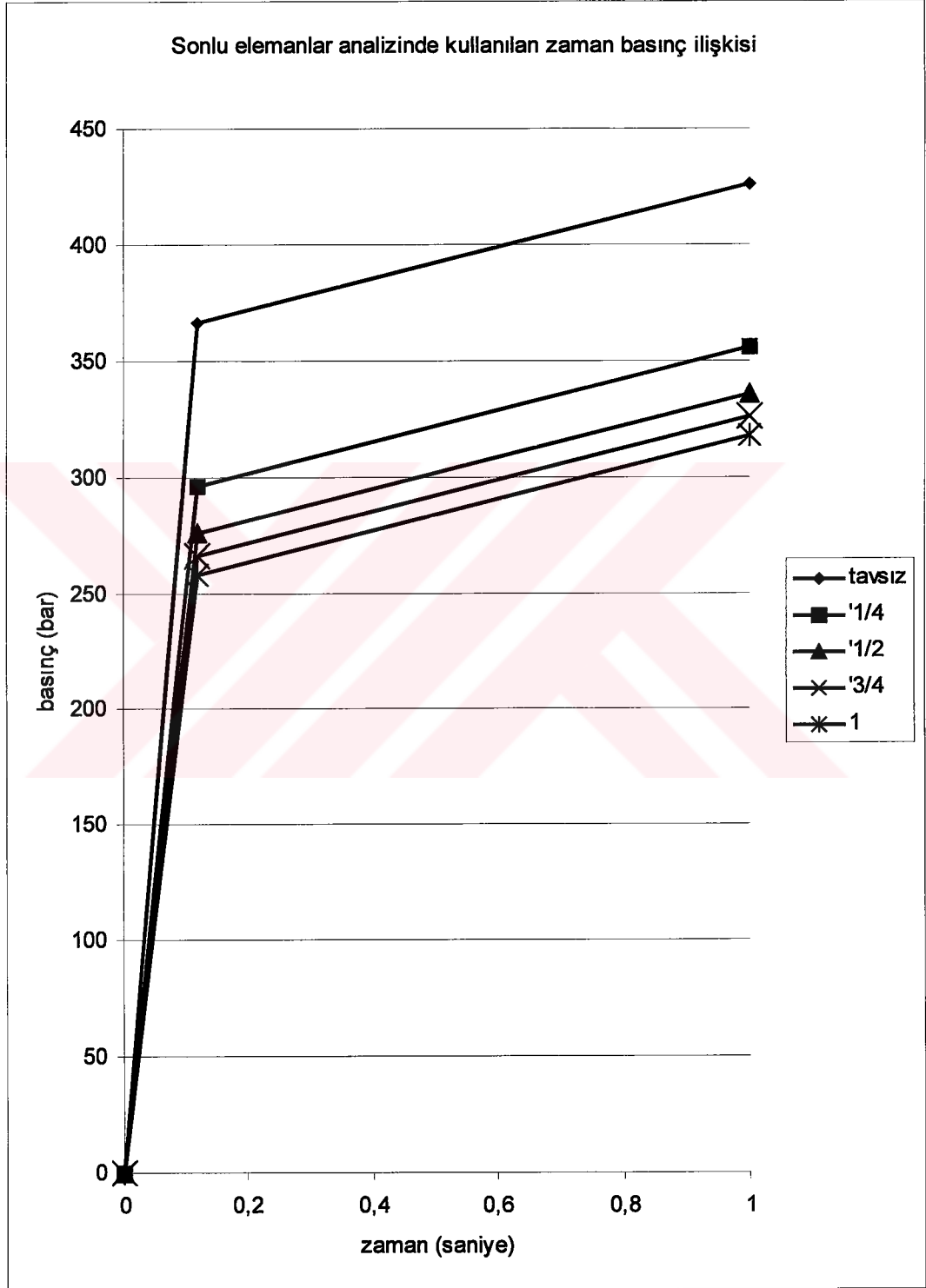


Şekil 5-8 Tüp hidrolik şekillendirmede tasarım aşamaları

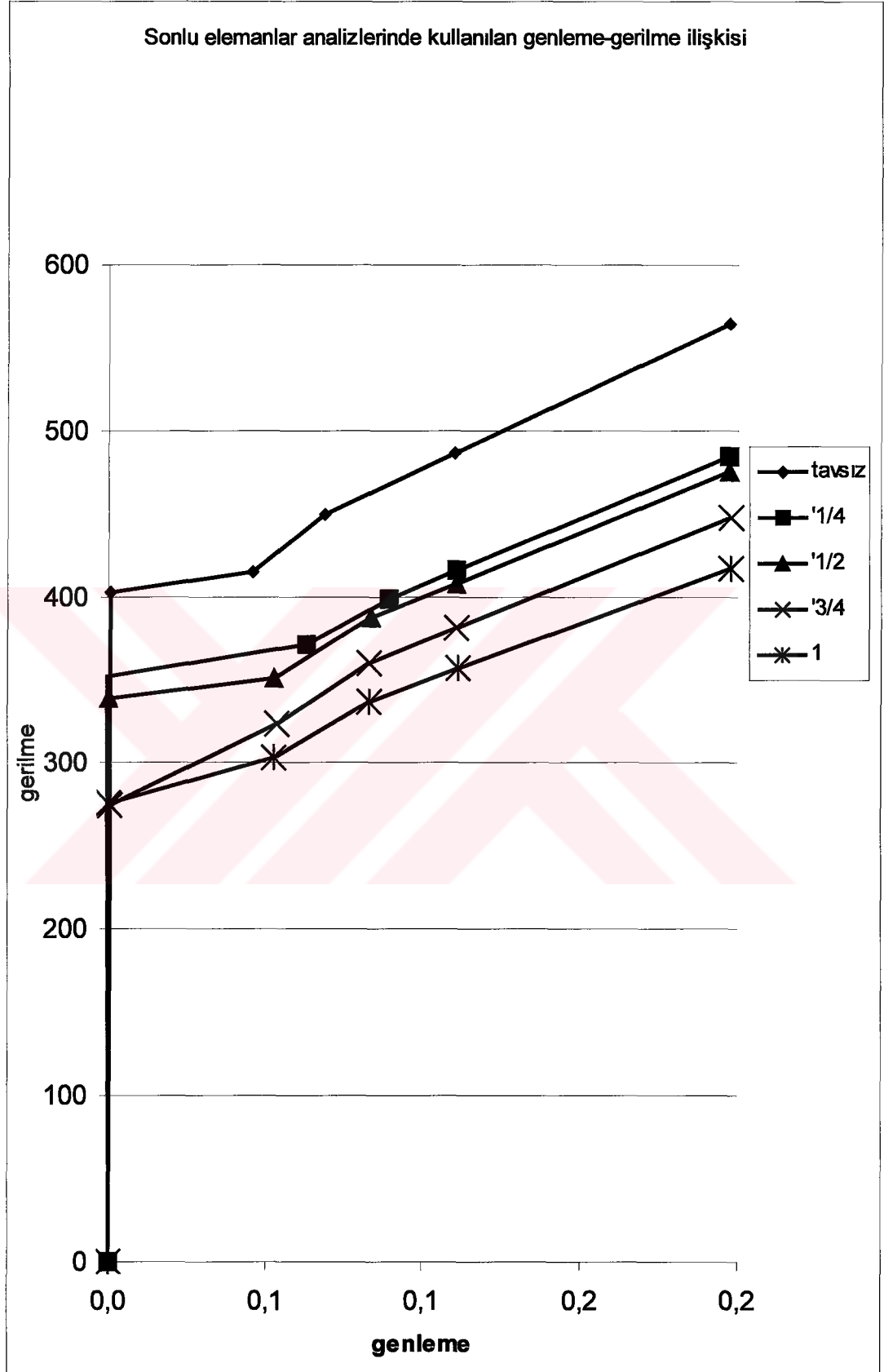
5.1.1 Gerçekleştirilen Analizler

Sonlu elemanlar analizlerinin amacı gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçları ile model sonuçlarını karşılaştırmaktır. Bu amaçla şekillendirme deneylerinden elde edilen yük değerleri ve çekme deneylerinden elde edilen malzeme şekil değiştirme karakteristikleri kullanılarak işlem 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde doğrusallaştırılmış σ - ϵ birim şekil değişimi grafikleri kullanılmıştır. Modelleme esnasında kalıp ile tüp malzeme arasında bir temas yüzeyi tanımlanmıştır. Temas yüzeyindeki sürtünme katsayısı 0.9 olarak seçilmiştir. Tüp geometrisi modellenirken kalınlık boyunca 5 , uzunluk boyunca 40 adet eleman olmak üzere toplam 200 adet düzlem eleman kullanılmıştır. Oluşturulan ağ yapı orta noktalı dörtgen elemanlardan oluşmaktadır. Malzemelerin elastisite modülleri 200 GPa ve yoğunlukları 7860 kg/m^3 olarak tüm çözümlerde aynı alınmıştır. Analizler için Ansys-LS Dyna kullanılıp eksplisit yolla doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

Şekil 5-9'da ve Şekil 5-10'da sonlu elmanlar analizlerinde kullanılan; deneylere ait yükleme değişimleri ve malzemenin tavlınmış durumlarına ait doğrusallaştırılmış σ - ϵ grafikleri görülmektedir.

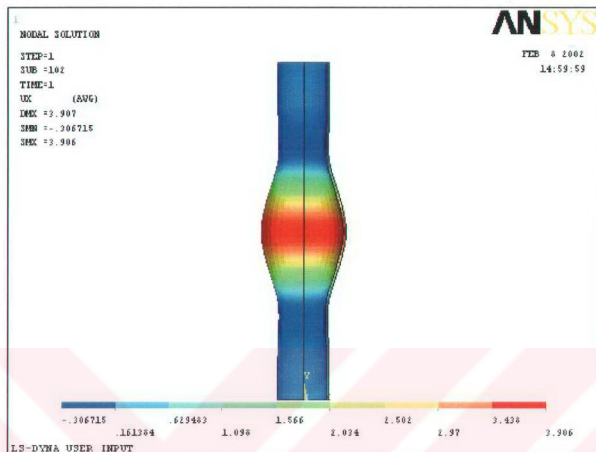


Şekil 5-9 SEA'larda uygulanan zaman basınç ilişkisi



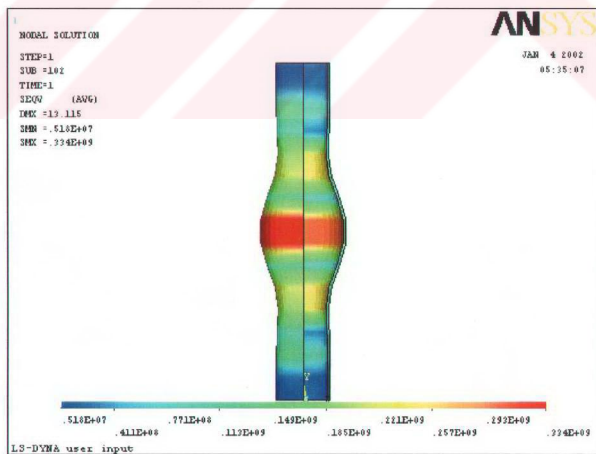
Şekil 5-10 SEA'larda uygulanan gerilme-genleme ilişkisi

Sırasıyla Şekil 5-11, Şekil 5-12 , ve Şekil 5-13’ de meydana gelen çap değişimi, eşdeğer gerilme dağılımı ve eşdeğer genleme dağılımına örnekler görülmektedir.



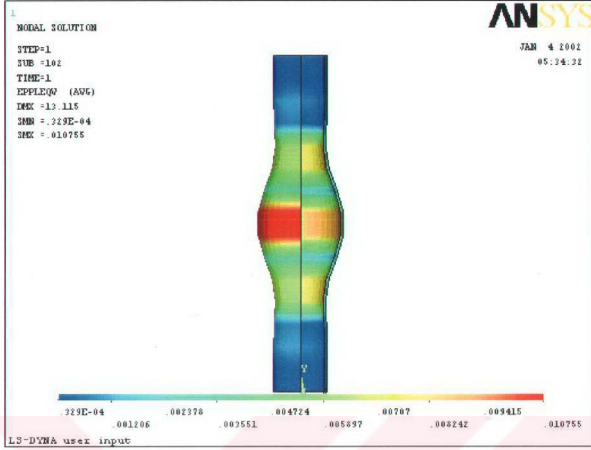
Şekil 5-11 Meydana gelen çap değişimi

Analiz sonucu meydana gelen eşdeğer gerilme dağılımı şu şekildedir



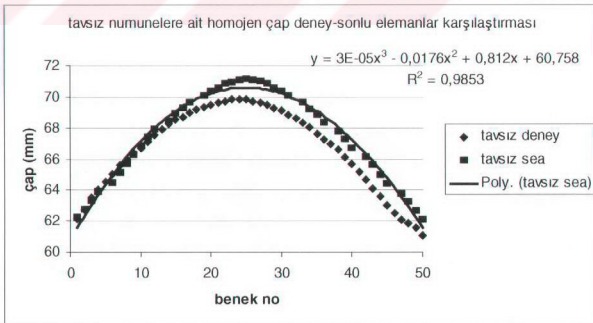
Şekil 5-12 Meydana gelen eşdeğer gerilme dağılımı

Analiz sonucu meydana gelen eşdeğer genleme dağılımı şu şekildedir

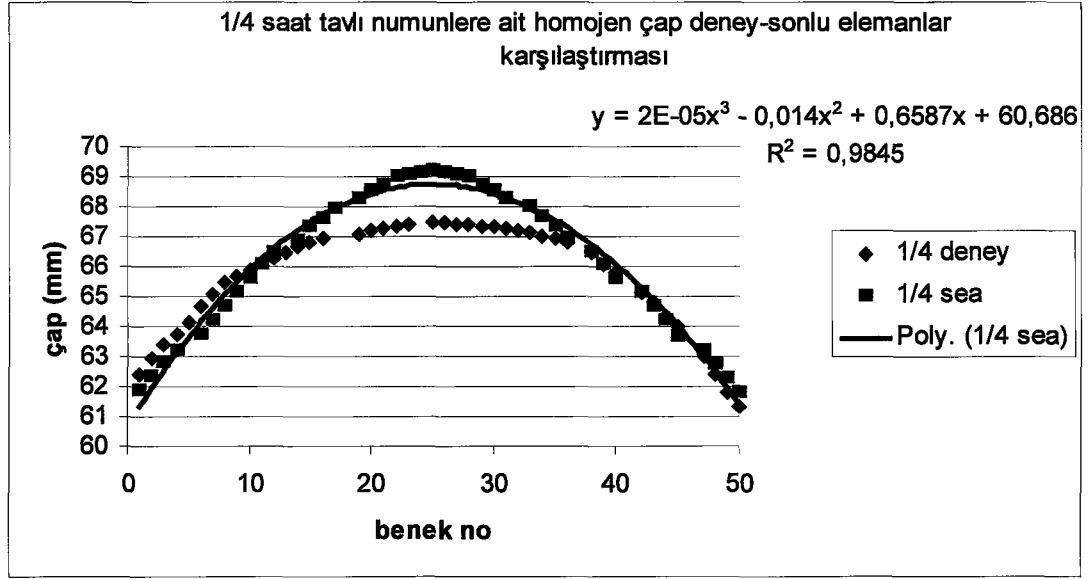


Şekil 5-13 Meydana gelen eşdeğer genleme dağılımı

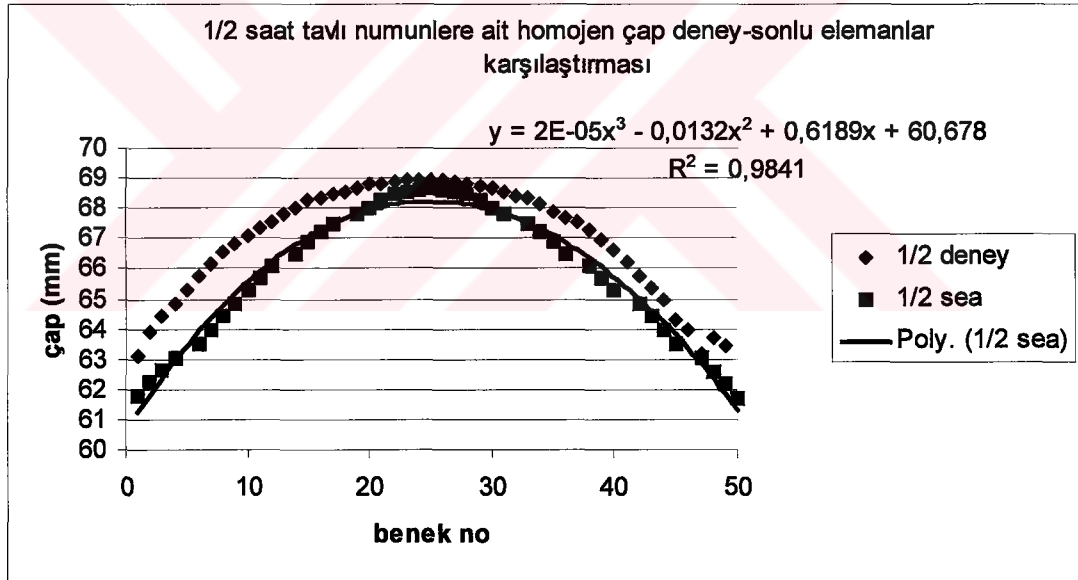
Gerçekleştirilen analizler sonucunda bulunan çap dağılımları ile deneylerden bulunan çap dağılımlarının karşılaştırılması ise Şekil 5-14, Şekil 5-15, Şekil 5-16, Şekil 5-17, Şekil 5-18 ve Şekil 5-20 'de verilmiştir. Bunlara ait deneysel sonuçlarla sayısal sonuçlar arasındaki fark değerleri oransal olarak Tablo 5-1 ve Tablo 5-2'de verilmiştir.



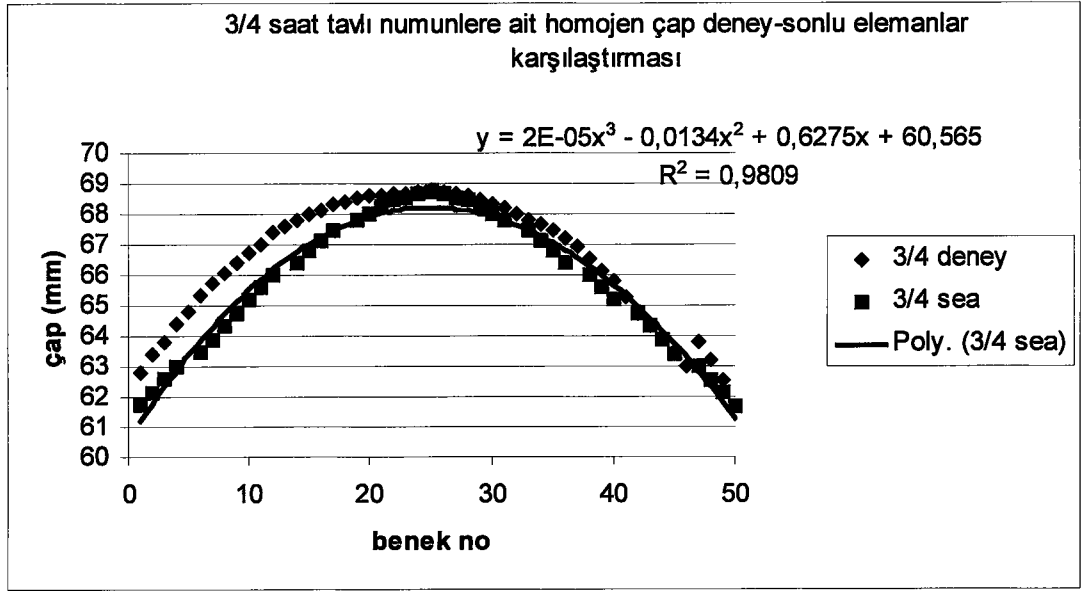
Şekil 5-14 Tavsız numunelere ait homojen çap karşılaştırması



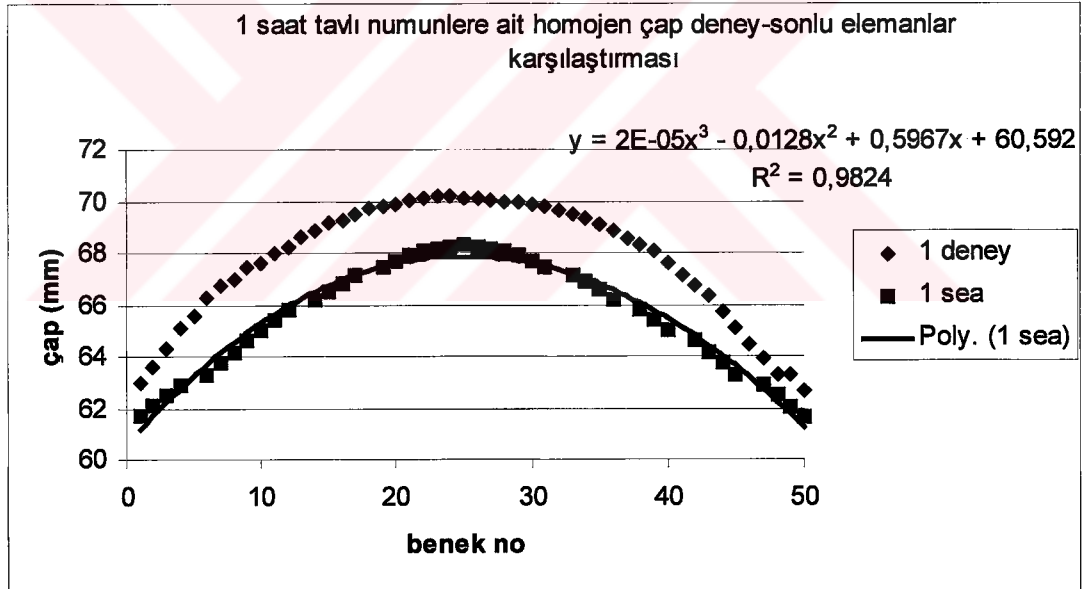
Şekil 5-15 1/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması



Şekil 5-16 1/2 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması

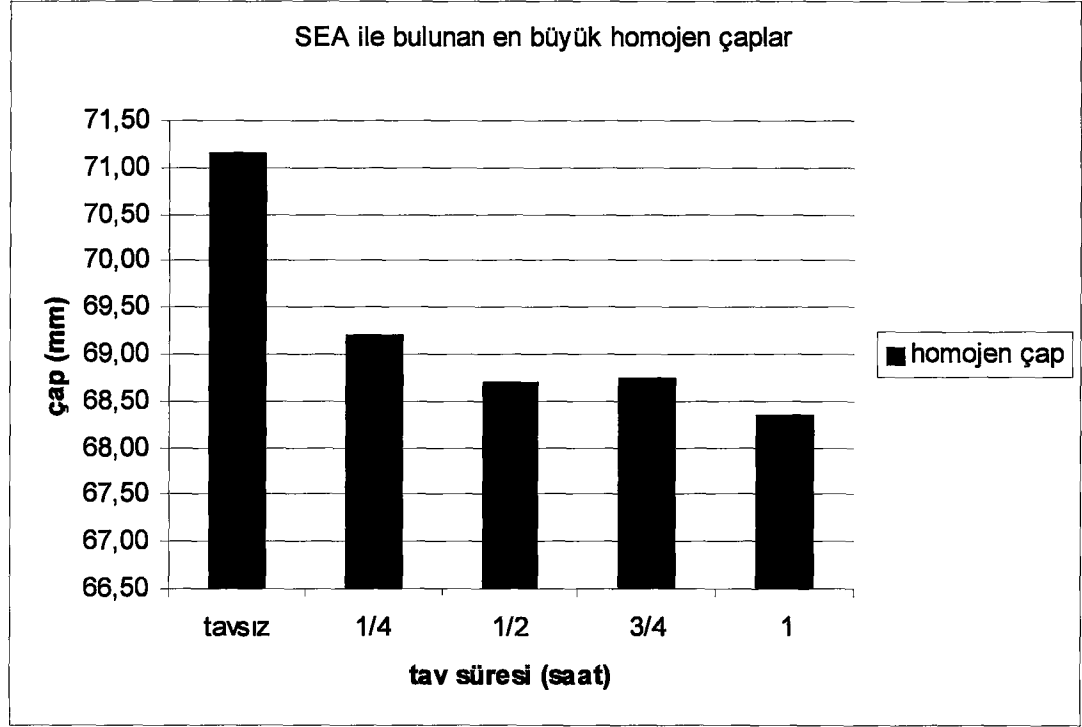


Şekil 5-17 3/4 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması



Şekil 5-18 1 saat tavlı numunelere ait homojen çap karşılaştırması

Sonlu elemanla yöntemi çözümlerinde uygulanan deney basınçları sonucu ulaşılan en büyük çap değerleri Şekil 5-19 da toplu olarak verilmiştir



Şekil 5-19 SEA ile bulunan en büyük homojen aplar

Sonlu elemanlar analizlerinden bulunan en büyük homojen çap ile deneyler sonucu bulunan en büyük homojen çaplar arasında fark oransal olarak tanımlanmıştır. Bu oranlar şu formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Fark} = 100 \times [\text{en büyük SEA apı} - \text{en büyük deney çapı}] / (\text{başlangıç apı}).$$

Meydana gelen hata miktarları Tablo 5-1 de listelenmiştir. Tablo 5-1 den görüldüğü gibi deney sonuçları ile sayısal model sonuçları arasında % 4'lere kadar fark görülmektedir. Ayrıca fark dağılımı da değişen tavlama süresine göre rasgele olmaktadır. Bu durum modellemede kullanılan katsayıların ve eleman sayısının uygunluğu yanında deneysel ölçümlerin hata oranından da kaynaklanabilir.

Tablo 5-1 Homojen aplar için SEA ve deney sonuçlarını gösteren tablo

En büyük homojen aplar			
Tav süresi (saat)	SEA	Deney	% fark
Tavsız	71,14	69,86	2,13
$\frac{1}{4}$	69,21	67,46	2,88
$\frac{1}{2}$	68,69	68,95	-0,44
$\frac{3}{4}$	68,73	68,79	-0,11
1	68,34	70,21	-3,09

BÖLÜM VI

6. Sonuç

Bu çalışmada St35.7 malzemesinden yapılan tüplerin mekanik özellikleri tavlama ile değiştirilmiş ve değişen mekanik özelliklerin tüpün şekil değişimine etkisi incelenmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi analizleri de yapılmıştır.

Bulunan sonuçlar aşağıda sırası ile verilmektedir.

- 1- Artan tavlama ile tüp malzemesinin akma ve çekme dayanımı azalırken sünekliği artmıştır.
- 2- Tavlama sonucu artan süneklik ile tüpün şişirilebildiği en büyük çap değerinde beklentilere uygun olarak belirgin bir artış gözlemlenmemiştir. Malzemenin süneklik artışı çekme deneyindeki tek eksenli gerilme hali altında belirlenmiştir. Oysa tüp hidrolik şekillendirmede tüpe etkiyen gerilme alanı tek eksenli değildir. Bu durum tüp hidrolik şekillendirmede çok eksenli gerilme ile şekil değiştiren tüp malzemesinin şişirilebileceği en büyük şekil değişiminin yalnızca süneklik artışı sağlayarak elde edilemeyeceğini, malzemenin hidrostatik gerilmelere karşı direncinin de artırılması gerektiğine işaret etmektedir.
- 3- Tüpün şişirme ile artan çapına karşın esas olarak et kalınlığında bir azalma görülmüştür. Tüpün boyca genlemesi tüp malzemesi kalıp içinde kayabildiğinden diğerleri kadar belirgin olmamıştır.
- 4- Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çözümler deney sonuçlarının trendine uygun sonuçlar vermiştir. Sayısal çözümlerin deney sonuçları ile tam aynı

değerleri vermemesi modellemenin gerçekte olan farklılığından özellikle sürtünme katsayısının gerçek değerinin bilinmemesinden ve ayrıca deneysel ölçümlerin de ölçüm hatalarına sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma sonucu Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim dalı laboratuvarına hidrolik şekillendirme deneylerinin gerçekleştirilebileceği deney düzeneği ve donanımları kazandırılmıştır. Bu konuda ilk olan çalışmamız ışığında ileriki deneysel çalışmalarda daha ayrıntılı, malzeme ve imalat değişkenlerinin etkisini birbirinden ayırarak ele alacak daha kapsamlı çalışmaların yapılabileceği açıktır.



KAYNAKLAR

1. Q.Wang, Hydromechanical deep drawing. New Technol. New Process, 1994. 5: p. 23-24
2. Zhang, S.H., Developments in hydroforming. Journal of Materials Processing Technology, 1999. 91: p. 236-244.
3. M.G. EL-Sebaie ve P.B. Mellor, plastic instability condition when deep drawing into a high-pressure medium. Int. J. Mech. Sci. 15,485-501 (1973)
4. Tirosh, S. Yossifon, R.Eshel ve A. Betzer, Hydroforming process for uniform wall thickness products. Trans. ASME J. Eng. For Ind. 99,685-691 (1977)
5. S. Yossifon, J. Tirosh ve E. Kochavi, On suppression of plastic buckling in hydroforming process. Int. J. Mech. Sci. 26, 389-402 (1984)
6. S. Yossifon ve J Tirosh, Buckling prevention by lateral fluid pressure in deep drawing. Int. J. Mech. Sci. 27, 177-185 (1985)
7. I. Stramland, Fluid forming of sheet steel. Sheet Met. Ind. 47, 41-54 (1970)
8. S. Yossifon ve J. Tirosh, Rapture instability in hydroforming deep drawing process. Int. J. Mech. Sci. 27,559-570
9. J. Tirosh, S. Yossifon, R. Eshel ve A. Betzer, Hydroforming Process For Uniform Wall Thickness Products. Trans. ASME J. Eng. For Ind. 99, 685-691 (1977)
10. GMBH, S.H., Steps to a Hydroform Component.
11. Günes, A.T., Pres İşleri Tekniği. Vol. II: TMMOB Makine Mühendisleri Odası.
12. S.H.Zhang, Y.S.Z., Z.R. Wang, Theoretical analysis and experimental research into the integral hydro-bulge forming of oblate shells. J. Mater. Process. Technol., 1996. 62(1-3): p. 199-205.
13. Z.R. Wang, T.W., D.C. Kang, S.H.Zhang, Y. Fang, The technology of the hydro-bulging of whole spherical vessels and experimental analysis. J. Mech. Working Technol, 1989. 18: p. 85-94.
14. S.H. Zhang, K.B.N.E., J. Danckert, Z.R. Wang, Integral hydro-bulge forming of pressure vessel heads. Mater. Process. Technol., 1998(86): p. 184-189.
15. J.N. Pennington, Research center targets sheet metal forming. Modern Met. 53 (1997), pp. 32-38.
16. J. Liu, B. Westhoff, M. Ahmetoglu and T. Altan, Application of viscous pressure forming (VPF) to low volume stamping of difficult-to-form alloys- results of preliminary FEM simulations. J. Mater. Process. Technol. 59 (1996), pp. 49-58.

17. M.W. Fu, S.Q. Lu and M.H. Huang, High-precision sheet-metal work pieces manufactured by flexible-die forming using a visco-plastic pressure-carrying medium. *J. Mater. Process. Technol.* 62 (1996), pp. 70-75
18. J. Tirosh, D. Iddan, M. Silviano, Hydrostatic ironing analysis and experiment, *ASME Eng. Ind.* 114 (1992) 237-243
19. M. Kleiner, A. Gartzke, R. Kolleck, J. Rauer, T. Weidner, Finite element simulation for high-pressure sheet metal forming (HBU process) and tool construction, *Advanced Technology of Plasticity 1996, Proceedings of the Fifth International Conference on Technology of Plasticity, Columbus, Ohio, USA, 7-10 Oct 1996*, pp. 975-983
20. J.E. Grey, A.P. Devereaux, W.N. Parker, Apparatus for making wrought metal T's, US Patent 2,203,868 June [1939].
21. E.A. Davis, Yield and fracture of medium-carbon steel under combined stress, *J. Appl. Mech.* [March 1945] A13-A24.
22. J.H. Faupel, Yield and bursting characteristics of heavy wall cylinders, *Trans. ASME* [July 1956].
23. B. Crossland, S.M. Jorgensen, J.A. Bones, The strength of thick-walled cylinders, *ASME J. Eng. Ind.* [May 1959].
24. H. Dietmann, The flow behavior of thick-walled cylinders under internal pressure, *Bander Bleche Rohre* 8 [3] [1967] 143-149 [in German].
25. P.B. Mellor, The ultimate tensile strength of thin-walled shells and circular diaphragms subjected to hydrostatic pressure, *Int. J. Mech. Sci.* 1 [1960] 216-228.
26. N.A. Weil, Tensile instability of thin-walled cylinders of finite length, *Int. J. Mech. Sci.* 5 [1963] 487-506.
27. D.M. Woo, The analysis of axisymmetric forming of sheet metal and the hydrostatic bulging process, *Int. J. Mech. Sci.* 6 [1964] 303-317.
28. F.J. Fuchs, hydrostatic pressure-its role in metal forming, *Mech. Eng.* [April 1966] 34-40.
29. T. Ogura, T. Ueda, Liquid bulge forming, *Metalworking Prod.* [April 1968] 73-81.
30. H.A. Al-Qureshi, P.B. Mellor, S. Garber, Application of polyurethane to the bulging and piercing of thin-walled tubes, in *Proceedings of the Ninth International MTDR Conference, Birmingham, UK, September 1968*, pp. 319-338.
31. H.A. Al-Qureshi, Comparison between the bulging of thin-walled tubes using rubber forming technique and hydraulic forming process, *Sheet Metal Ind.* [July 1970] 607-612.
32. M.E. Limb, J. Chakrabarty, S. Garber, P.B. Mellor, The forming of axisymmetric and asymmetric components from tube, in: *Proceedings of the 14th International MTDR Conference, 1973*, pp. 799-805.
33. D.M. Woo, Tube-bulging under internal pressure and axial force, *J. Eng. Mater. Technol.* [October 1973] 219-223.

34. G. Powel, B. Avitzur, Forming of tube by hydraulic pressure, in: Proceeding of the NAMRC, Ontario, Canada, May 14-15, 1973, pp. 65-83.
35. M.E. Limb, J. Chakrabarty, S. Garber, W.T. Roberts, Hydraulic forming of tubes, sheet Metal Ind. [November 1976] 418-424.
36. W.J. Sauer, A. Gotera, F. Robb, P. Huang, Free bulge forming of tubes under internal pressure and axial compression, in: Proceedings of the sixth NAMRC, 1978, pp. 228-235.
37. D.M. Woo, Development of a bulge forming process, Sheet Metal Ind. [May 1978] 623-625.
38. D.M. Woo, A. Lua, Plastic deformation of anisotropic tubes in hydraulic bulging, J. Eng. Mater. Technol. 100 [1978] 312-425.
39. K. Manabe, H. Nishimura, Influence of material properties in forming of tubes, Bander Bleche Rohre 9 [1983].
40. K. Manabe, S.M. Mori, K. Suzuki, H. Nishumura, Bulge forming of thin-walled tubes by micro-computer controlled hydraulic press, Adv. Technol. Plasticity 1 [1984] 279-284.
41. S. Fuchizawa, Influence of strain hardening exponent on the deformation of thin-walled tube of finite length subjected to hydrostatic external pressure, Adv. Technol. Plasticity 1 [1984] 297-302.
42. S. Fuchizawa, Influence of plastic anisotropy on deformation of thin-walled tubes in bulge forming, Adv. Technol. Plasticity 2 [1987] 727-732.
43. S. Fuchizawa, Deformation of metal tubes under hydrostatic bulge forming with closed die, Adv. Technol. Plasticity 3 [1990] 1543-1548.
44. S. Fuchizawa, M. Nazaraki, H. Yuki Bulge test for determining stress-strain characteristics of thin tubes, Adv. Technol. Plasticity [1993] 488-493.
45. S. Thiruvarudchelvan, A theory for the bulging of aluminum tubes using urethane rod, J. Eng. Technol. [February 1989].
46. S. Thiruvarudchelvan, A theory for initial yielding conditions in tube bulging with a urethane rod, J. Mater. Process. Technol. 42 [1994] 71-74.
47. S. Thiruvarudchelvan, G.L. Seed, H.E. Ang. Computer-monitored hydraulic bulging of tubes, J. Mater. Process. 57 [1996] 182-188.
48. T. Ueda, Differential gear casings for automobile is liquid bulge forming process-Part 1, Sheet Metal Ind.- Metal Forming 60 [3] [1983] 181-184.
49. T. Ueda, Differential gear casings for automobile is liquid bulge forming process-Part 2, Sheet Metal Ind.- Metal Forming 60 [4] [1983] 220-222.
50. Böhm , Numerische simulation von Verfahren der Innen hochdruckumformung unter besonderer Berücksichtigung des Aufweitens im geschlossenen Werkzeug, Dissertation , Universitat-gesamthochschule Paderborn , 1993 .
51. M. Ahmed, M.S.J. Hashmi, Three-dimensional finite element simulation of bulge forming, proceedings of the International Conference on Advances in materials and processing Technologies, AMPT'99&16TH Annual

- Conference of the Irish Manufacturing Committee, IMC 19, Vol. Dublin, 1999 pp. 153-161
52. M. Ahmed, M.S.J. Hashmi, Finite element simulation of manufacturing metal bellows from tubes, Proceedings of the Advances in Materials & Processing Technologies 1998, pp. 928-989
 53. M. Ahmed, M.S.J. Hashmi, Finite element analysis of bulge forming applying pressure and in plane compressive load 3, J. Mater. Process. Technol. 77 [1-3] [1998], 95-102
 54. M. Ahmed, M.S.J. Hashmi, Estimation of machine parameters for hydraulic bulge forming of tubular components, J. Mater. Process. Technol. 64 [1997], 9- 23.
 55. M.S.J. Hashimi, Forming of tubular components from straight tubings combined axial load and internal pressure: theory and experiment, in: Proceedings of the international conference on Development on Drawing of Metals, Metals Society, London, 1983, pp. 146-155.
 56. M.S.J. Hashimi, R. Crampton, Hydraulic bulge forming of axisymmetric and asymmetric components: Comparison of experimental results and theoretical predictions, in: Proceedings of the International MTDR Conference, 1985, pp. 541-549.
 57. M. Ahmed, M.S.J. Hashimi, Estimation of machine parameters for hydraulic bulge forming of tubular components, J. Mater. Process. Technol. 64 [1997] 9-23.
 58. W. Tonghai, S. Sheng, M. Dexiu, The research of tube bulging using polyurethane under compound external forces and its application, Adv. Technol. Plasticity [1993] 494-499.
 59. J. Tirosh, A. Neuberger, A. Shirizly, Pn tube expansion by internal fluid pressure with additional compressive stress, J. Mech. Sci. 38 [8-9] [1995] 839-851.
 60. F. Klaas, Expansion upsetting of tubes using internal high pressure forming, Fortschr-Berichte VDI Reihe 2, No. 142, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987 [in German].
 61. F. Dohmann, P. Bieling, Theoretical basis and applications of high pressure forming, Bleche Rohre Profile 38 [5] [1991] 379-385.
 62. Bohm, Numerical Simulations for the Process of Internal High Pressure forming, Dissertation, University of Paderborn, Germany, 1993 [in German].
 63. F. Dohmann, C. Hartl, Liquid bulge forming as a flexible production method, J. Mater. Process. Technol. 45 [1994] 377-382.
 64. F. Dohmann, C. Hartl. Hydroforming components for automotive. Applications, Fabricator [February 1998] 30-38.
 65. F. Dohmann, Ch. Hartl, Hydroforming a method to manufacture lightweight parts. Mater. Proces. Technol. 60(1996) 669-676
 66. F. Dohmann, Ch. Hartl, Tube Hydroforming-research and practical applications, J. Mater, Proces. Technol 71.(1997) 174-186

67. W.Rimkus , H . Bayer, M.J.A. Mihsein, Design of load curves for hydroforming applications, J. Mater. Process. Technol. 108 [2000] 97-105
68. D. Schmoeckel, C. Hessler, B. Engel, Pressure control in hydraulic tube forming, Ann. CIRP 41 (1) (1992) 311-314
69. B.Engel, Process Strategies for internal High Pressure Forming, Dissertation, University of Darmstadt, Germany
70. B. Engel, P. Dick, New forming spectrums with internal high pressure forming process, unknown source, 1995 (in German).
71. D. Schmoeckel, Personal contacts on friction experiments and lubrication information exchange with T. Altan of ERC/NSM, The Ohio State University, Columbus, OH, 1998.
72. Hoff, H.G.; Lichtenberg, S., (1996), "State of the Art: Internal High Pressure Forming in Germany" (in German), from: Blech Rohr Profile, 1/2 1996
73. Seifert, M., (1996), "Internal High Pressure Forming of Space-Frame-Components" (in German), from: Blech Rohr Profile, 1/2 1996
74. D. Schmoeckel, P. Dick, C. Hielscher, Innovational possibilities of internal high pressure forming with superimposed bending stresses, Blech Rohre Profile 43 (1-2) (1996) 49-52 (in German).
75. Hielscher. C., (1996), "Process Combination of Internal High Pressure Forming and Pipe Bending" (in German), PtU, TH Darmstadt 1996
76. Schmoeckel, D.; Dick, P.; Engel, B., (1995), "Manufacturing of Complex Geometries with Internal High Pressure Forming" (in German), in: wt-Produktion und Management, Band 85, Hft 6 (1995), Springer Verlag, Berlin, S.297-301
77. M. Koç, T. Altan, Development of guidelines for part, process and tooling design in the tube hydroforming (THF) process & classification of the THF parts and analytical models for prediction of process parameters, Report No. ERC/NSM-98-R-34, The Ohio State University, Columbus, OH, October 1998
78. Metal forming handbook / Schuler GMBH, 1998
79. N. Asnafi, Analytical modeling of tube hydroforming, Thin-Walled Structures, 34, 4, 1999 Pages 295-330
80. W. J. Saver, Proc. 6th Northam. Metal Working Res. Conf., SME, Gainsville, 1978, 228
81. Ebbinghaus, A, (1994), "Precision Work pieces in Weight Saving Construction, Fabricated by Internal High-Pressure Forming", Siempelkamp Pressen Systeme Company Literature, (1994)
82. Hiroi, T., Nishimura, H., (1993), "Bulging Limit of Thin-Walled Aluminum Tubes with a Surface Defect", Advanced Technology of Plasticity 1993, pp. 527-532