T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

PET ŞİŞELERDE PERFORMANS ARTIRILMASI AMACIYLA GERDİRME ŞİŞİRME KALIPLAMA PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Hazırlayan
İpek Adeviye UYSAL

Danışman I
Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Danışman II
Doç. Dr. Fatih AKKURT

Yüksek Lisans Tezi

Ağustos 2017
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

PET ŞİŞELERDE PERFORMANS ARTIRILMASI AMACIYLA GERDİRME ŞİŞİRME KALIPLAMA PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Danışman I
Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Danışman II
Doç. Dr. Fatih AKKURT

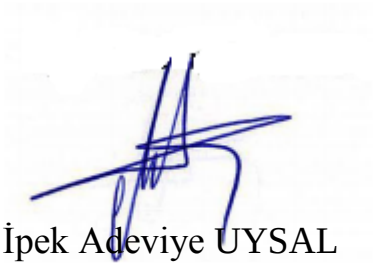
Hazırlayan
İpek Adeviye UYSAL

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından FYL - 2016 – 6999 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Ağustos 2017
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



İpek Adeviye UYSAL

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

"**Pet Şişelerde Performans Artırılması Amacıyla Gerdirme Şişirme Kalıplama Proses Parametrelerinin Optimizasyonu**" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
İpek Adeviye KAVAK

Danışman
Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Danışman II
Doç. Dr. Fatih AKKURT

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD Başkanı
Doç. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES

Doç. Dr. BİLAL DEMİREL danışmanlığında **İpek Adeviye UYSAL** tarafından hazırlanan "**Pet şişelerde performans artırılması amacıyla gerdirme şişirme kalıplama proses parametrelerinin optimizasyonu**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

14 /08/2017

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Üye : Prof. Dr. Bülent KURT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Soner SAVAŞ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 22/08/2017 tarih ve 2017/36-19 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

T.C.

22/08/2017

Prof. Dr. Mehmet AKKURT
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

"**Pet şişelerde performans artırılması amacıyla gerdirme şişirme kalıplama proses parametrelerinin optimizasyonu**" isimli tez çalışmamın konu seçiminde, yürütülmesinde destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, benim daha aydın ve geniş kapsamlı düşünmeme destek veren tez danışmanım değerli hocam Doç. Dr. Bilal DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde, beni her anlamda destekleyen her zaman yanımda olan, sevgili eşime, canım kızıma ve aileme en içten duygularımla teşekkür ederim.

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir: Proje Numarası: FYL- 2016-6999.

İpek Adeviye UYSAL

Kayseri, Ağustos 2017

PET ŞİŞELERDE PERFORMANS ARTIRILMASI AMACIYLA GERDİRME ŞİŞİRME KALIPLAMA PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

İpek Adeviye UYSAL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos, 2017
Tez Danışmanı I: Doç. Dr. Bilal DEMİREL
Tez Danışmanı II: Doç. Dr. Fatih AKKURT

ÖZET

Bu çalışmada PET şişelerin mekanik ve termal dayanımları gerdirme çubuk hareketi ve preform yüzey sıcaklık parametreleri gibi proses parametreleri değiştirilerek iyileştirilmeye çalışılmıştır. Öncelikli olarak bahsedilen proses parametreleri istatistiki analiz yöntemleri yardımıyla optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu program yardımıyla deneysel tasarım modeli oluşturulmuş ve bu modele bağlı kalınarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Yapılan mekanik analizlerde PET şişelerin yük taşıma kapasitesi, çekme dayanımı, malzeme dağılımı, çevresel çatlama direnci, iç basınç dayanımı gibi mekanik özellikler yanında Tg, Tm sıcaklıkları gibi fiziksel özellikler de incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pet şişe, Gerdirme, Kalıplama, Optimizasyon

OPTIMISATION OF STRETCH BLOW MOULDING PROCESS PARAMETERS TO INCREASE PERFORMANCE IN PET BOTTLES

İpek Adeviye UYSAL

Erciyes University, Institute of Science and Technology
Master Thesis, July 2017
Supervisor I: Assoc. Prof. Dr. Bilal DEMİREL
Supervisor II: Assoc. Prof. Dr. Fatih AKKURT

ABSTRACT

In this study, the mechanical and thermal properties of PET bottles are tried to be improved by changing process parameters such as stretch rod movement and preofrm surface temperature. First of all, aferomentioned process parameters are tried to be optimized by means of statistical analysis methods. Through the program, the experimental design model is generated and the experimental studies carried out depending on the model. In the mechanical analyses carried out, PET bottle mechanical properties such as top load capacity, tensile strength, material distribution, environmental stress crack resistance, burst strentgh as well as physical properties such as Tg, Tm temperature are examined.

Keywords: PET, Bottle Production, Optimization

İÇİNDEKİLER

PET ŞİŞELERDE PERFORMANS ARTIRILMASI AMACIYLA GERDİRME ŞİŞİRME KALIPLAMA PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii
KABUL ONAY ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xi

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Pet Şişelerin Gelişimi 1
1.2. Pet Malzemesi ve Özellikleri 2
1.3. Gazlı İçecekler İçin Pet Şişe Üretimi 8
1.3.1. Enjeksiyon Gerdirme-Şişirme (ISBM) 8
1.4. ISBM Proses Şartları 13
1.4.1. Preform yüzey sıcaklığı 14
1.4.2. Isı transferi 17
1.4.3. Şişirme Basıncı-Zaman 18
1.4.4. Gerdirme Çubuğu Hareketi-Zaman 19
1.5. ISBM Proses Parametrelerinin Optimizasyonu 20

2. BÖLÜM

DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Pet Şişe Üretim Aşamaları....23

2.1.1. ECHIP-7 Deneysel Tasarım....23

2.1.2. Preform Tasarım....25

2.1.2.1. Preform nedir?....25

2.1.2.2. Preform kalınlığının pet şişe üzerine etkisi....26

2.1.3. Preform ısıtma....28

2.1.4. Preform şişirme....30

2.2. Üretilen Pet Şişelere Uygulanacak Testler....31

2.2.1. Patlama dayanımı....31

2.2.2. Yük Taşıma Kapasitesi....32

2.2.3. Bölgesel Malzeme Dağılımı....33

2.2.4. Kalınlık dağılımı....35

2.2.5. Çevresel gerilme (çatlatma) dayanımı....35

2.2.6. Termal stabilite (DSC) testi....36

2.2.7. Çekme testi....37

3. BÖLÜM

ELDE EDİLEN VERİLEN VERİLERİN İNCELENMESİ

3.1. Basma Deneyi Sonuçları....41

3.2. Çekme Testi Sonuçları....42

3.3. Bölgesel Ağırlık Testi Sonuçları....46

3.4. Bölgesel Kalınlık Testi Sonuçları....47

3.5. Çatlatma Deneyi Test Sonuçları....48

3.6. Patlatma Deneyi Test Sonuçları....49

3.7. TG Sıcaklığı Testi Sonuçları (DSC)....50

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Sonuçlar 53

KAYNAKLAR 63

EKLER 71

ÖZGEÇMİŞ 87

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Sıcaklık, çubuk pozisyonu, basınç parametrelerinin min. ve max. değerleri 23
Tablo 3.1. Basma testi sonuçları. 41
Tablo 3.2. Çekme testi yatay numunelerin sonuçları. 42
Tablo 3.3. Çekme testi dikey numunelerin sonuçları. 44
Tablo 3.4. Numunelerin bölgesel kalınlıkları tablosu. 46
Tablo 3.5. Numunelerin bölgesel kalınlıkları tablosu. 47
Tablo 3.6. Çatlatma deneyi sonuçları. 48
Tablo 3.7. Patlatma deneyi test sonuçları 49
Tablo 3.8. DSC ile elde edilen camsı geçiş (Tg) sıcaklığına ait sonuçlar 50
Tablo 3.9. PET şişe malzeme dağılımı sonuçları. 76
Tablo 3.10. Çekme testi sonuçları. 77
Tablo 3.11. Basma testi sonuçları. 78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Günümüzde kullanılan pet şişeler. 2

Şekil 1.2. Polimerin sentez reaksiyonu. 3

Şekil 1.3. PET'in DSC kristalizasyon davranışı grafiği 5

Şekil 1.4. a) Şematik görünüş, b) Yarı-kristal tabakaların hizalanması, c) Mikroskopik görünüm 7

Şekil 1.5. Yukarıdaki şekilde bir preformun şişirilme prosesi üç aşamalı olarak gösterilmiştir 9

Şekil 1.6. Fakültemiz bünyesinde bulunan ISBM cihazı 10

Şekil 1.7. Ekstrüzyon üfleme kalıplama cihazı görüntüsü 11

Şekil 1.8. Ekstrüzyon şişirme prosesi 11

Şekil 1.9. Enjeksiyon şişirme şematik gösterimi. 12

Şekil 1.10. Enjeksiyon üfleme kalıplama cihazı 13

Şekil 1.11. Preformun bölgesel sıcaklık gösterimi 16

Şekil 1.12. PET'in termal özellikleri ve yoğunluğu 17

Şekil 1.13. Ön darbe basıncı 0.2 MPa ve darbe basıncı 4Mpa 19

Şekil 1.14. İlerleme-zaman grafiği. 20

Şekil 1.15. Farklı preform türleri 22

Şekil 2.1. ECHIP-7 deney tasarımı; Tasarım ve tepki değişkenleri, tasarım türü 24

Şekil 2.2. ECHIP-7 ile bir tasarım; Model tanımlama, denemelerin maksimum sayısı. 24

Şekil 2.3. Bir ECHIP-7 deney tasarımı görüntüsü. 25

Şekil 2.4. Yarı mamül olarak preformlar. 26

Şekil 2.5. 34 gr'lık preformun ölçüsel boyutları yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. 27

Şekil 2.6. PET şişe üretiminde kullandığımız preform. 27

Şekil 2.7. Preform ısıtma cihazı. 28

Şekil 2.8. Preform ısıtma makinesinin uyguladığı bölgesel sıcaklık skalası 29

Şekil 2.9. Profil ısıtma makinesinin preforma uyguladığı sıcaklıklar ve bölgeleri 29

Şekil 2.10. Üniversitemiz bünyesinde bulunan ISBM cihazı. 30
Şekil 2.11. Mühendislik fakültesinde bulunan patlatma test cihazımız 32
Şekil 2.12. Basma cihazı ve bilgisayar ekipmanı. 33
Şekil 2.13. PET şişeyi bölümlere ayırdığımız aparat 34
Şekil 2.14. PET şişenin aparat tarafından bölümlendirilmiş son hali. 34
Şekil 2.15. Testin yapıldığı bilgisayar ortamlı düzenek. 35
Şekil 2.16. Bir DSC cihazının çalışma prensibi. 37
Şekil 2.17. Çekme numunesi alınırken kullandığımız basma cihazımız. 38
Şekil 2.18. Çekme testi için hazırlanmış numuneler 38
Şekil 2.19. Çekme numunesinin grafiksel kopması 40
Şekil 3.1. Kesit alanı 1.8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. parçanın yatay test sonuçları ... 43
Şekil 3.2. Kesit alanı 1.8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. parçanın yatay test sonuçları ... 43
Şekil 3.3. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. Parçanın dikey test sonuçları. . 45
Şekil 3.4. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. Parçanın dikey test sonuçları. . 45
Şekil 3.5. ECHIP-7 Program ana menü 51
Şekil 3.6. PET şişenin genel ölçüleri 51
Şekil 3.7. Proses parametreleri 52
Şekil 4.1. ECHIP-7 çıktıları 53
Şekil 4.2. ECHIP-7 çıktıları 54
Şekil 4.3. ECHIP-7 çıktıları 54
Şekil 4.4. ECHIP-7 çıktıları 55
Şekil 4.5. ECHIP-7 çıktıları 56
Şekil 4.6. ECHIP-7 çıktıları 56
Şekil 4.7. ECHIP-7 çıktıları 57
Şekil 4.8. ECHIP-7 çıktıları 57
Şekil 4.9. ECHIP-7 çıktıları 58
Şekil 4.10. ECHIP-7 çıktıları 58
Şekil 4.11. ECHIP-7 çıktıları 59
Şekil 4.12. ECHIP-7 çıktıları 60

Şekil 4.13. ECHIP-7 çıktıları 61
Şekil 4.14. ECHIP-7 çıktıları 62
Şekil 4.15. 1. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı 71
Şekil 4.16. 2. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı 71
Şekil 4.17. 3. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı 72
Şekil 4.18. 4. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı 72
Şekil 4.19. 5. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı 73
Şekil 4.20. Profil ısıtma makinesinin preforma uyguladığı sıcaklıklar ve bölgeleri gösterilmektedir. Çeşitli zamanlar da çekilmiş görüntüler. 73
Şekil 4.21. Kesit alanı 1.8 mm^2 , boyu 35 mm olan 1. parçanın yatay test sonuçları .. 80
Şekil 4.22. Kesit alanı 1.8 mm^2 , boyu 35 mm olan 2. parçanın yatay test sonuçları .. 81
Şekil 4.23. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 3. parçanın yatay test sonuçları ... 81
Şekil 4.24. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 10. parçanın yatay test sonuçları . 82
Şekil 4.25. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 15. parçanın yatay test sonuçları . 82
Şekil 4.26. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 20. parçanın yatay test sonuçları . 83
Şekil 4.27. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 25. parçanın yatay test sonuçları . 83
Şekil 4.28. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 30. parçanın yatay test sonuçları . 84
Şekil 4.29. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. Parçanın dikey test sonuçları. . 84
Şekil 4.30. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. Parçanın dikey test sonuçları. . 85
Şekil 4.31. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 3. Parçanın dikey test sonuçları. . 85
Şekil 4.32. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 4. Parçanın dikey test sonuçları .. 86

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Pet Şişelerin Gelişimi

PET poli(etilen teraftalat) 1940'lı yıllarda geliştirildi ve o zamandan beri gıda ve içecek ambalaj endüstrisinde önemli bir rol oynadı [1]. Popülerliği nedeniyle, karbonatlı meşrubat şişelerindeki PET'in kullanımı kapsamlı olarak incelenmiştir [2-4]. Başlangıçta, PET şişeler iki parçadan oluşuyordu; Şişirilmiş şişe bölümü ve hemisferik şişe tabanının üzerinden ayrı bir 'başlık' bölümüdür. Polietilen kapak bölümü şişeyi kendinden ayakta tutmuştur. Son zamanlarda, PET şişeler kendi başına ayakta duran petaloid biçimli tabana tek parça halinde yapılmıştır [5].

PET'in istenen özellikleri (açık, hafif, yüksek mukavemetli, sertlik, uygun sürünme özellikleri, düşük lezzet emilimi, [1]yüksek kimyasal direnç, bariyer özellikleri ve düşük fiyat) karbonatlı meşrubat konteynerleri, elyaf ve filmler için tercih edilen malzemedir [6]. Düşük maliyet, daha iyi estetik görünüm ve daha iyi taşıma nedeniyle, PET, polikarbonat (PC) polimerleri yerine tercih edilmektedir [7].

PET, tekstil lifi oluşturan bir malzeme olarak da bilinir. Ancak son zamanlarda elastik doğası nedeniyle tekstil lifleri için ekstrüzyon köpük işlemede kullanılmaya başlanmıştır [8]. PET geri dönüştürülebilir bir polimer olarak da kullanılmaktadır ve geri dönüşümlü PET (R-PET) pazarları yıllara göre büyümektedir.



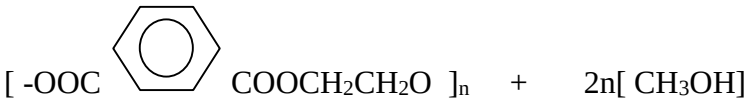
Şekil 1.1 Günümüzde kullanılan pet şişeler.

1.2. Pet Malzemesi ve Özellikleri

PET yaygın olarak bir diklormetoksitin, dikarboksilik asit(teraftalik asit) ve bir diol(etilen glikol) ile birleştirilerek metanolü yok edilerek gerçekleşir. Gösterimi ise aşağıdaki gibidir [9];

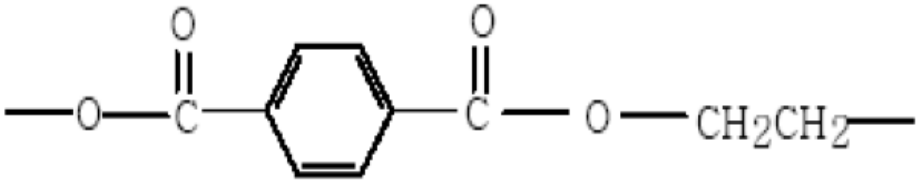


Dimethyl terephthalate Ethylene glycol



Polyethylene terephthalate Methanol

Elde edilen bu polimerler genellikle yüksek molekül ağırlıklı (düşük karboksil ve asetaldehit) gibidir. Çoğu polimerin fiziksel ve mekanik özellikleri molekül ağırlığı arttıkça iyileşme göstermektedir [10]. PET'te aynı bu eğilimi göstermektedir. Son kullanım daha yüksek molekül ağırlıkları gerektirmektedir.



Şekil 1.2. Polimerin sentez reaksiyonu.

PET meşrubat şişelerinin kendine has bir özelliği vardır. Bunlar; Viskozite 0,72 dl/g, yoğunluk 1,38 g/cm3 ve kristalinite %40'dan daha büyük olmaması gerekmektedir [11]. Yüksek ağırlıklı PET aşağıdaki 3 yöntemle üretilir [10];

- PET'in eriyik polimerizasyonu
- Kimyasal bağlanma
- PET'in katı hal polimerizasyonu

PET'in düşük molekül ağırlıklı ve sıcaklıkta katı halde bulunması projesi PET polimerizasyonu ile yürütülür [10]. Bu polimerizasyon ancak yüksek karbon içeren ön polimerin erime noktası altında ancak camsı geçiş sıcaklığının üstündeki bir noktada gerçekleşir.

1.2.1. PET'in Kristalizasyon Davranışı

Öncelikle 'kristalin' polimer zincirlerinin paralel ve sıkı bir şekilde paketlendiği anlamına gelmektedir [12].'Amorf' ise polimer zincirlerinin düzensiz bir şekilde paketlendiği anlamına gelir. Kullanılan birçok polimer kompleks bir yapıda bulunmaktadır ve bunlar kristalin ile amorf bölgelerin beraber bulunduğu yapılardır [13]. Kristalizasyon genellikle camsı geçiş sıcaklığının (Tg) üzerinde ısıtılması ile sağlanır. En düşük serbestlik derecesi ile %100 kristallik derecesine ulaşmak imkânsızdır. Çünkü enerji polimerlerin molekül ağırlığına eşit değildir. Bunun yerine polimerler sadece kısmen kristal yapılar üretmek için reaksiyona girerek genellikle yarı

kristalli yapılar oluştururlar. Polimer kristalliği derecesi hem intrinsik hem de ekstrinsik faktörlere bağlıdır [14].

Yüksek kristallik elde etme koşullarında molekül ağırlığı, doğrusal polimer zincir yapısı ve yüksek molekül ağırlığı çok önemlidir. Polimer film hazırlanırken kristalleşme streç oranı, uzatma modu ve kristalleşme sıcaklığı gibi ekstrensek faktörlerden etkilenir [12].Camsı geçiş sıcaklığı altında polimer zincirleri katıdır. Cam geçiş sıcaklığına ulaştıktan sonra zincirler daha fazla esnektir ve stres altında açılabilmektedir. Sıcaklık Tg'nin üzerindeyse ve gerdirme yapılara rasgele sarılı ve dolaşmış olan zincirler ayrışmaya, açılmaya ve düzelmeye başlar. Aynı zamanda bazı zincirler ise en yakın komşu zincirlere kaymaktadır.

PET ise kimyasal ve geometrik yapılarda düzenli olması nedeniyle kristalin bir polimerdir. Yarı kristal veya amorf halinde bulunabilmektedir.

Kristalinite ve morfolojinin seviyeleri polimerlerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [15]. Sınır özellikleri ve mekanik dayanım özellikleri hala kristal halindeki PET'ler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek kristalin polimerleri daha yüksek bir camsı geçiş sıcaklığına sahiptir.(Tg amorf PET için 67 derece, kristalin PET için 81 derecedir.) Böylece daha yüksek modül, tokluk, sertlik ve çözücüye karşı daha büyük direnç göstermektedir. Ancak daha az darbe mukavemeti gösterir. PET'deki kristalleşme genellikle ısıl kristalleşme veya gerilimle değişir. Termal hassaslık Tg'nin üstünde ve polimer ısıtıldığında meydan gelir. Bu durumda polimer küresel olmayan yapılar gösterir [16].

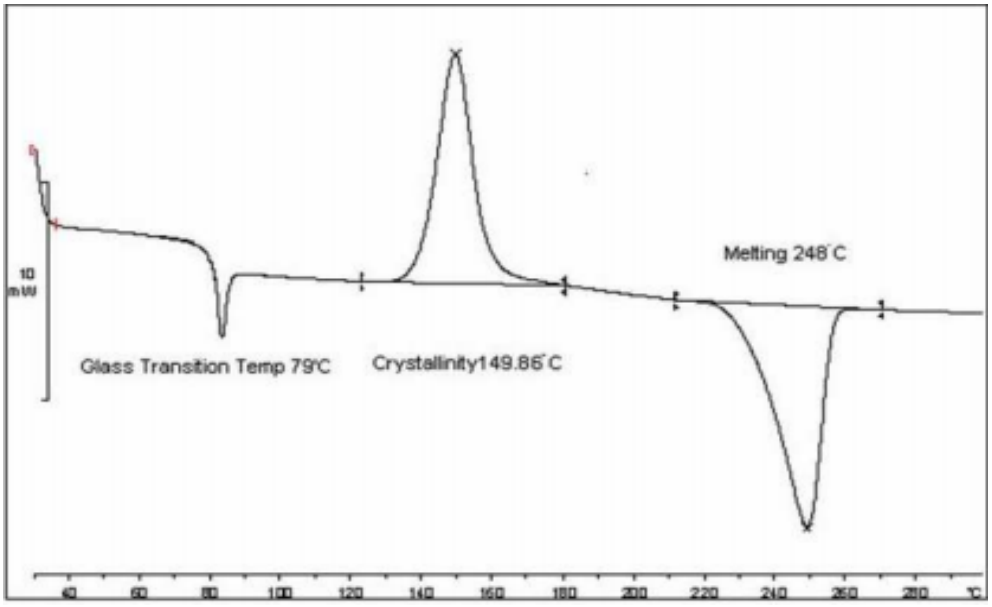
Kristalizasyon ilerlemiş çekirdekleşme ve kürecik kristalleşme Tg'nin üstünde ve Tm'nin (erime noktası) altındaki sıcaklıklarda ortaya çıkabilir [17-19]. Erime maddesinin çabucak söndürülmesi tamamen amorf bir PET'e neden olur. Kristalin polimerler dağılmış bölgelerden dolayı heterojen bir yapıya sahiptir. Amorf polimerlerin formları (Eriyikler, kauçuklar, camlar vb.) homojen yapıya sahiptirler. Polimerler camsı geçiş sıcaklığı ve Tm sıcaklığı ile karakterizedir. Molekül ağırlığı ve miktarı kristallik derecesini etkileyen önemli bir faktördür. Yarı kristalin polimerler camsı geçiş sıcaklığı amorf polimerlerine göre daha yüksektir [20]. Kristalin polimerler Tm ile karakterize edilirken, amorf polimerler Tf ile karakterize edilir. Erime

noktasında polimerler kauçuk sıvıya benzer [21]. Kristalin polimerler için Tg ve Tm arasındaki aşağıdaki ilişki tanımlanmıştır;

Tg -----→ 2/3 Tm (Simetrik olmayan zincirler için)

Ve

Tg -----→ ½ Tm (Simetrik olan zincirler için)



Şekil 1.3. PET'in DSC kristalizasyon davranışı grafiği

PET malzemesinin Tg sıcaklığı yaklaşık 340 ile 353 Kelvin arasındayken Tm sıcaklığı 540 Kelvin'dir[22]. PET'in kristalleşmesi çok araştırılmıştır. Avrami denklemi yoğunluk denge yöntemini kullanarak amorf fransiyonunun %100 kristalin yoğunluğundan ziyade bu durumda nihai yoğunluktan hesaplanmıştır. X ışını analizleri ve polarize mikroskopi kristal yapıları gözlemlemek için kullanılmıştır [23-25].

Farklı yapılar, kristalleşme sıcaklığı ve eriyik koşullar ayarlanarak sağlanır. Maksimum kristalleşme hızı 180 C'de gerçekleşir [22]. Farklı ticari PET'lerin kristalleşmelerinin kinetiği üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Malzemeleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre(DSC) ile Avrami denklemi açısından bu yönteme uyduğu ve hız sabitinin kristalizasyon sıcaklığına çok hassas olduğu doğrulanmıştır [26].Farklı PET örnekleri farklı kristalleşme mekanizmalarına sahiptir.

Kristalleşme sıcaklığının artışı ile kürüit çapı da artış gösterir [27]. Ozawa, PET'in dinamik kristalleşmesinin kinetiğini incelemiş. Farklı soğutma hızlarında DSC ile kristalizasyon eğrileri elde etmiştir. İzotermal olmayan durumlarda primer kristalleşmeye modifiye bir Avrami denklemi uygulanmıştır. Jabarin, izotermal ve dinamik süreçlerin kristalleşme hız parametrelerini karşılaştırmış ve kristalleşme mekanizmaları bakımından birbirlerine benzediklerini bulmuştur. Kristalimsi olmayan PET elde etmek için gereken minimum soğutma oranını tahmin etmek için bir yöntem geliştirildi. Zaman ve sıcaklığa ilaveten basınç, molekül derecesi, oryantasyon ve çevre üzerinde etkisi vardır [28,29].

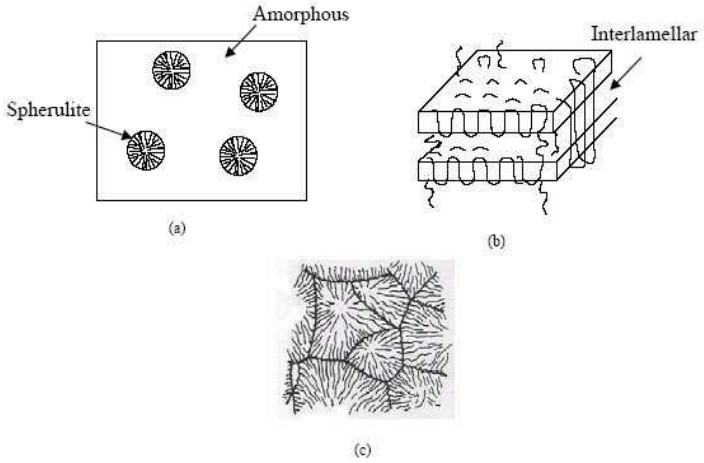
Nükleasyon ajanları da PET'in kristalleşmesini etkiler[30]. Bazı araştırmacılar katkı maddelerinin kristalleşme davranışına etkisini araştırmışlardır. Tg'ye yakın düşük sıcaklıklarda çekirdekleşmenin toplam kristalleşme hızında büyük bir etkisi olduğunu bulmuşlardır. Nem ve molekül ağırlığı kristalizasyon üzerinde büyük etkiye sahiptir. Kristalizasyon kinetiğinin moleküllere bağlı olduğu bulunmuştur. Ağırlık ve nem yüzdesinde artış, yarı ömrün kristalleşmesi ve kristalizasyon indüksiyon sürelerini azaltılır.

Gerilme, kristalleşmeyi etkileyen önemli bir faktördür [29]. Stresle indüklenen kristalleşmenin etkisi yoğunluk ölçümleri, geniş açılı X-ışını kırınımı ve küçük açılı saçılım ölçümleri ile araştırılmıştır. Amorf PET filmler, Tg'nin altında ve üstünde sabit gerilme hızlarında gerilir. Stresle indüklenen kristalleşme de zaman ve oryantasyon düzeylerinin bir fonksiyonu olarak analiz edilmiştir [31].

[32]Camsı geçişin üzerindeki sıcaklıklarda PET'in gerilmesi ile indüklenen kristalinite ve son ürünün özellikleri üzerinde gerilme ve üfleme kalıplama parametrelerinin etkisi üzerine odaklanmıştır. PET malzemesi ile yapılan çalışmalarda atış boyutunun azaltılması ile kalıp boşluğuna enjekte edilen malzeme daha fazla ittirilmektedir. Bununla birlikte, daha büyük bir atış boyutu ile, kristalliği azaltmak için düşük tutma süresi gereklidir. En az kristallik minimum tutma süresi ve minimum atış boyutu ile oluşur. PET filmlerin oryantasyon ve kristalleştirilmesi üzerine bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır [33].

PET filmler endüstriyel işleme koşullarında tek eksenli veya iki eksenli işleme tabii tutulur [34]. X-ışını saçılması (WAXS) tekniği ile yönlendirme ve kristallik derecesinde meydana gelen değişiklikler geniş açıyla incelenmiştir. Kristalin kırınım modellerini analiz ederek, gelişmekte olan kristallerin oryantasyonunun, çekme hızının ve sıcaklığın zincir gevşetme sürecine olan ilişkisine bağlı olduğunu ve kristalleşme oranının yüksek sıcaklığa bağımlı olduğunu bulmuşlardır [35-38].

Kristalizasyon, düşük sıcaklıklarda küçük çürükler oluşturan birçok çekirdek merkezinden kaynaklanıyor olabilir. Daha büyük kristal yapılar, malzeme daha yüksek sıcaklıklarda kristalleştirildiğinde elde edilebilir veya eriyikten yavaş yavaş soğutulurken elde edilir. Normal işlem koşullarında %100 kristallik asla mümkün değildir [39]. Genellikle yüzde kristalliği %90'dan düşüktür. Genel olarak, polimerik malzemeler yarı kristal haldedir; kristalin ve amorf fazlar bir arada bulunur [39]. Şematik diyagramlar tamamen kristalin amorf faz ve yarı kristalin polimer morfolojisini göstermektedir [40,41].



Şekil 1.4. a) Şematik görünüş, b) Yarı-kristal tabakaların hizalanması, c) Mikroskopik görünüm [41]

Morfoloji, kürecik yarıçapı, katman kalınlığı ve iki bitişik katman arasındaki uzun periyot mesafesi ile tanımlanır. Bu parametrelerin elde edilmesi için genellikle analizler uygulanır. Bunlar küçük açılı ışık saçılması, mikroskopi ve X-ışını'dır [42]. Aynı kristallik içeriğinde bile daha yüksek sıcaklıklarda kristalleşen numuneler daha opak ve kırılgandır.

Daha küçük kürüm boyutlarına sahip numuneler; daha yüksek akma gerilmesi, daha düşük uzama ve yüksek kırılganlık sıcaklığı [43] ve daha yüksek darbe mukavemetine sahip olurlar [44].

1.3. Gazlı İçecekler İçin Pet Şişe Üretimi

Gazlı içecekler için PET şişeler, Dupont Company tarafından 1970'lerin ortalarında PET reçinesinin iki eksenli olarak yönlendirilmesiyle üretilmeye başlanmıştır [45]. O zamandan beri, PET şişeleri, mükemmel mekanik özellikler, gaz bariyeri, kimyasal direnç, berraklık ve parlaklık nedeniyle, artık karbonatlı içecekler, şişelenmiş su ve meyve suları ve likör gibi diğer içeceklerin paketlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır [46].

İçecek endüstrisinde ticari olarak kullanılan iki ana tip PET şişe vardır; biri karbonlu içecekler için, diğeri sıcak-doldurulmuş içecekler için [47]. Karbonatlı içecek şişeleri, tipik karbonatlı alkolsüz içeceklerin ve sıcak dolu şişelerin yüksek iç basıncına, 85° C sıcaklıkta daha az büzülme ile daha fazla termal kararlılığa dayanıklılık gerektirir [14,48].

Endüstride, polimer malzemelerin işlenmesi için geliştirilen birkaç işleme yöntemi vardır. Bu yöntemler, üretilecek polimer malzemesinin kalitesine, kullanılan polimer reçinelerinin türüne, istenilen üretim kalitesine bağlı olarak değişir. Genel olarak şuanda üç işleme yöntemi vardır ve bunlar şunlardır;

1- Ekstrüzyon Şişirme
2- Enjeksiyon Şişirme
3- Enjeksiyon Şablonu Şişirme

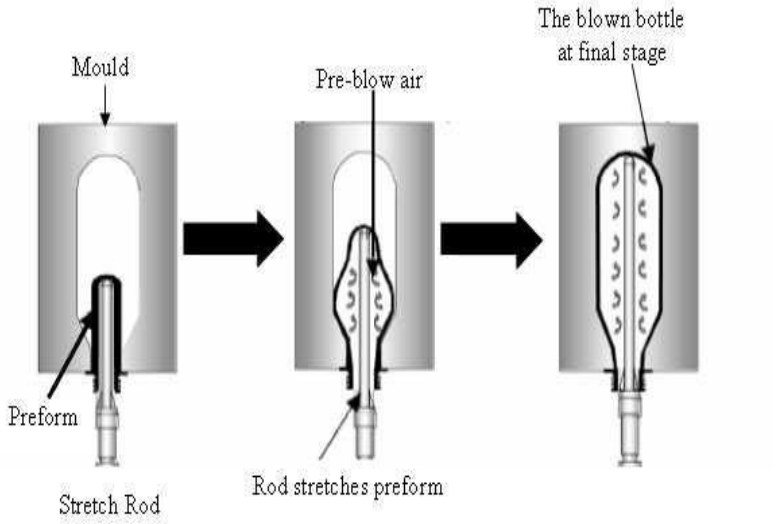
1.3.1. Enjeksiyon Gerdirme-Şişirme (ISBM)

Enjeksiyon streç şişirme işlemi, içecekler, gıda malzemeleri, ev eşyaları, endüstriyel ve eczacılık ürünleri gibi iki eksenli moleküler oryantasyona sahip kapların üretimi için kullanılır. En sık kullanılan malzeme PET'dir. Çünkü mükemmel berraklık, iyi mekanik ve bariyer özellikleri ve işleme kolaylığı sunar [49,50, 51].

İki farklı germe şişirme tekniği vardır; bir aşamalı süreç ve iki aşamalı süreç. Bir aşamalı proseste preform enjeksiyonla kalıplanır, uygun sıcaklığa ayarlanır ve bir kutuya üflenir; Hepsi sürekli bir süreçle devam ettirilir [49].

İki aşamalı süreçte üç adım vardır. Preform ayrı olarak enjeksiyon kalıplıdır ve gereken süreye kadar ortam sıcaklığında saklanır. Ardından, kızılötesi ısıtma elemanları kullanılarak arzu edilen şekillendirme sıcaklık aralığına (90 ila 110°C) kadar ısıtılır ve son şekle üflenir. Üfleme esnasında şişenin kenarları iki yönlü (uzunlamasına radyal) gerilir; buna karşın şişenin omuzları ve tabanı gergin değildir. Nihayet, gerilmiş ve şişmiş şişe kalıptan çıkarılır ve katılaşma için ortam sıcaklığında tutulur. Üfleme aşaması esnasında preform silindirik bir çubukla dikey yönde gerilir. Germe çubuğu ile ön kalıbın iç çeperi arasındaki teması önlemek için ön kalıpta bir ön basınç uygulanır. Konteyner hatalarına neden olabilir. Germe çubuğu şişenin tabanına ulaştığında, son şişe şeklini tamamlamak ve soğutma verimi maksimize etmek için radyal yönde yüksek bir darbe basıncı uygulanır. Darbe basıncı havası birkaç saniye boyunca uygulanır ve ürün nihayet kalıptan çıkarılır [49,50,52].

Nispeten yüksek kalıp ve ekipman maliyeti nedeniyle bu teknik, karbonlu içecek şişeleri gibi yüksek hacimli ürünlerin üretilmesi için en iyisidir. Streç çubuk hareketi yoksa, şişe oluşturma işlemi şişirme tekniği olarak bilinir [49]. PET materyalini işlemek için iki aşamalı proses kullanıldı çünkü bu proses gerinim sertleşmesini ve gerinim oranını sertleştirmeyi uygun bir şekilde değerlendirmektedir.



Şekil 1.5. Yukarıdaki şekilde bir preformun şişirilme prosesi üç aşamalı olarak gösterilmiştir [49].



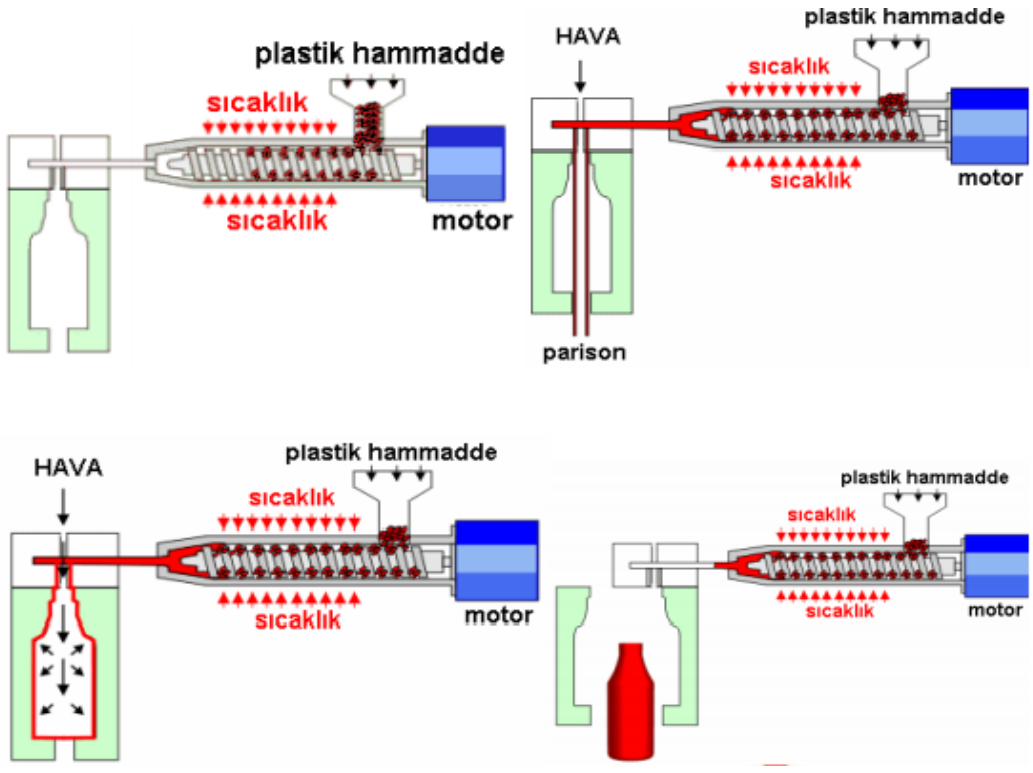
Şekil 1.6. Fakültemiz bünyesinde bulunan ISBM cihazı

1.3.2. Ekstrüzyon Üfleme Kalıplama

Bu işlem boru veya tüp yapmak için kullanılan kalıba çok benzer bir kalıp kullanılarak bir parisonun veya tüpün klasik ekstrüzyonunu içerir [53]. Tüp, kalıp kapatıldığında ve üst ve alt uçta parison'u tutturduğunda, parison belirli bir uzunluğa erişene kadar açık kalıbın iki yarısı arasında aşağıya doğru çekilir. Şişeler gibi doğal bir açıklığı olan ürünler için, kalıptaki parison, boyun ucundaki basınçlı hava vasıtasıyla üflenir. Doğal deliksiz ürünler için, üfleme havası, parisonun herhangi bir uygun noktasından delinerek içe enjekte edilir. Soğutulduktan sonra kalıp açılır, parça dışarı atılır ve fazla materyal kesilir [54].



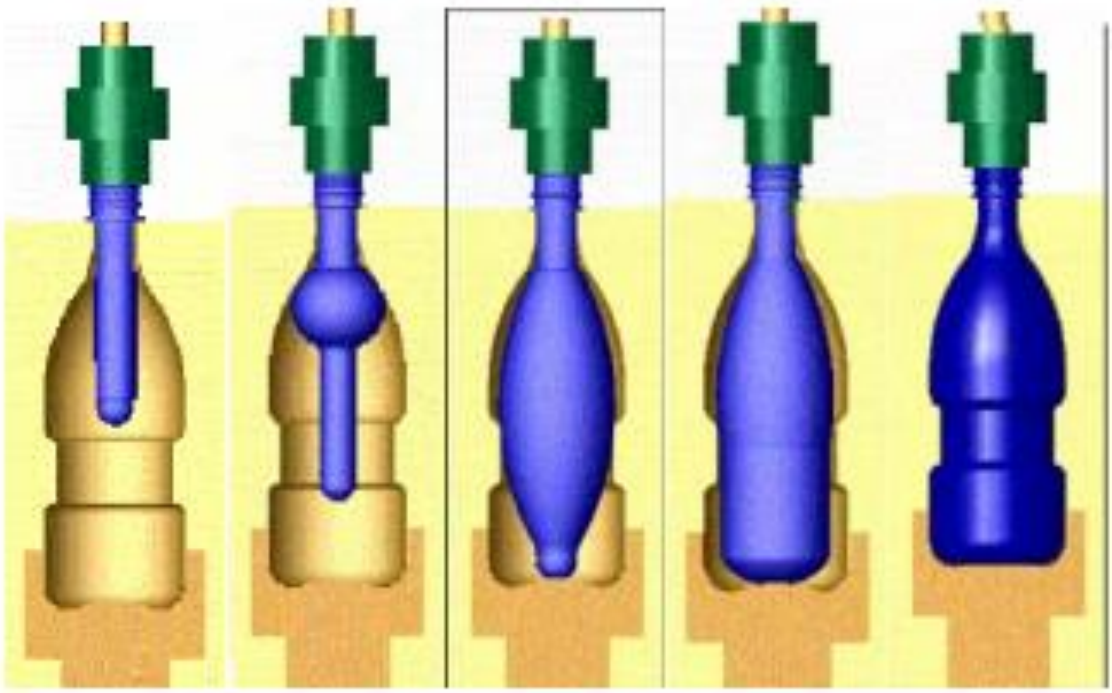
Şekil 1.7. Ekstrüzyon üfleme kalıplama cihazı görüntüsü



Şekil 1.8. Ekstrüzyon şişirme prosesi

1.3.3. Enjeksiyon Üfleme Kalıplama

Bu işlemde malzeme bir çekirdek pim etrafında enjeksiyon kalıplıdır [53]. Çekirdek pimindeki erimiş polimer malzeme üfleme istasyonuna dizilir ve üfleme polimer malzemenin soğutulması ve çekirdek piminden sıyrılması sağlanır. Bu yöntemde, trim hurda miktarı ekstrüzyon şişirme yönteminden çok da fazla değildir. Boyun ve bitiş alanında daha fazla ayrıntı elde edilebilir ve duvar kalınlığının kontrolü ekstrüzyon üfleme yönteminin aksine kolay değildir. Bu yöntem malzeme özelliklerini ve yönünü iyileştirmede etkili değildir. Genellikle, bu yöntem sadece küçük şişelerin üretimi için kullanılır [54].



Şekil 1.9. Enjeksiyon şişirme şematik gösterimi.



Şekil 1.10. Enjeksiyon üfleme kalıplama cihazı

1.4. ISBM Proses Şartları

Simülasyon teknolojilerinde kritik bir gelişme aşaması, simülasyon için proses setini girdi olarak kullanma becerisidir. Bu işlem, ön imalattan tekrar ısıtmaya ve kısmi soğutmaya kadar ardışık simülasyon adımlarının entegrasyonu ile gerçekleştirilebilir [55]. Proses koşullarının nihai kalınlık, kristallik, çift eksenli yönlendirme ve dolayısıyla nihai malzeme özellikleri üzerinde önemli ölçüde öneme sahiptir. Bu nedenle, başlangıçtaki preform sıcaklığı, ısı transferi, germe ve üfleme oranı arasındaki denge, ürünün soğuma hızı ve aynı zamanda başlangıçtaki preform şekli üretilen ürünlerdeki şişenin duvar kalınlığının istenilen kalınlıkta elde etmek için optimize edilmelidir [56-58].

İşlem kalıntılarının duvar kalınlığı, kristalliği, stres ve son ürünün diğer mekanik özellikleri üzerine etkilerini bulmak için bu konuda literatür de çok sayıda diferansiyel çalışma bulunmaktadır.

ISBM işleminde gerdirme ve üfleme aşamasındaki preform büyümesi tiplerinin, preform geometrisine ve boyutlarına, içindeki kasnağa ve uzunlamasına gerilmelere ve buna bağlı olarak sıcaklıklara bağlı olduğunu şimdiye kadar yapılan araştırmalardan

anlaşılmaktadır. Bununla birlikte kritik faktör kesinlikle PET şişelerin yanağındaki kalınlığı etkileyen ön darbenin gecikme zamanıdır [59].

PET ön formunun tasarımı hakkında bir çalışmada [60] Zagarola tarafından 1998 yılında sunulmuştur. Küçük yastık, düşük tutma basıncı ve minimum bekleme zamanı gibi proses koşullarının, yapının kristalinitesini ve artık stresleri azalttığını ve hafif preformlara ulaşabileceğini belirtti. İşleme parametrelerinin şişe performansına etkilerini yayımlamak için düzgün yerleştirilmiş bir ISBM makinesi üzerinde deneysel bir çalışma yapılmıştır [61]. Basıncın etkisi anlamaya çalışılmıştır. Bulgular basit bir termodinamik modelle karşılaştırılmış ve ISBM sürecinin termo-mekanik simülasyonu için sayısal bir model geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan birisi, ön üfleme gecikmesinde bir artışın boyundan şişenin tabanına kadar daha fazla malzemenin yer değiştirmesini sağladığıdır.

Gazlı alkolsüz içecek şişelerinde çatlama problemleri araştırılmış ve ISBM kurulumunun stres çatlama direncinde önemli bir rol oynamış olduğu ve optimum proses tasarımının stres çatlama direncini iki veya üç kat azaltılabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle, maksimum gerilme çatlaması direnci için en iyi yöntem proses parametrelerinin incelenmesidir. Sadece şişe parametrelerinin spesifikasyonları yoluyla stres çatlama direncini arttırmak yeterli değildir [62]. İşlem efektleri tipik olarak oldukça etkileşimli ve karmaşık olduğundan, optimum kurulumu keşfetmenin en iyi yolu, istatistiksel olarak tasarlanmış deneyler kullanmak ve stres çatlama direncinin sabit tutulması için imalat sistemindeki tüm işlemleri kontrol etmektir. ISBM sürecinin enjeksiyon aşamasında piyasaya sürülen preformların ortalama ağırlığının 0,3 gram kadar küçük bir değişiminin çevresel stres çatlama performansını önemli ölçüde etkileyebileceği tespit edilmiştir.

1.4.1. Preform yüzey sıcaklığı

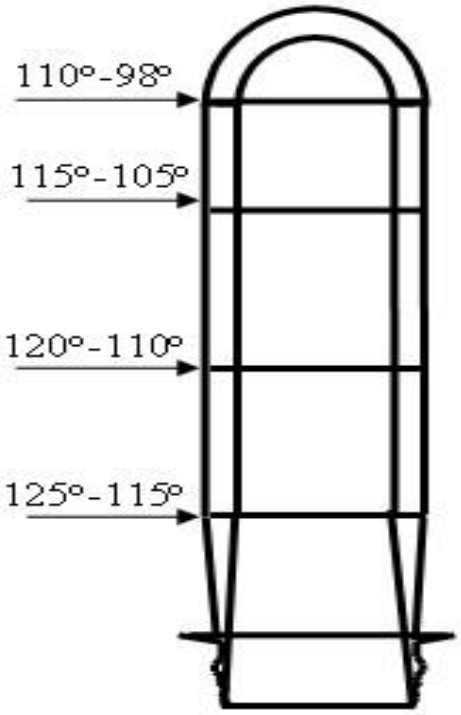
En önemli proses parametrelerinden biri, şişenin nihai performansını tanımlayan preform sıcaklığıdır [63]. Germe ve şişirme esnasında preform üzerindeki sıcaklık profilini kontrol edebilme yeteneği, darbe basıncı ve gerdirme çubuğu sırası kritiktir [55]. Yeniden ısıtma ve preformun sıcaklığı, konveksiyonla bağlantılı olarak bir dizi lamba tarafından verilen infrared radyasyon vasıtasıyla sağlanır. Genellikle preformun

sıcaklık aralığı 90-115° C arasındadır. Bu endüstriyel ölçekli üretimde tercih edilen aralıktır çünkü inceliği (mikro boşluk nedeniyle stres beyazlığı) ve şişedeki bulanıklığı önler. Preform boyunca eksenel sıcaklık profili kontrol edilmelidir çünkü destek halkasının üstündeki boyun bölgesi ve preformun alt bölgesi ana vücut sıcaklığından daha soğuk kalmalıdır. Şişenin kapanma bölgesi, preformun aşırı ısınmış olması nedeniyle deforme olabilir ve şişenin alt kısmı gerilmiş çubuk tarafından yırtılabilir. Bununla birlikte, preformun vücut ısısı profili, duvar kalınlığında azalma nedeniyle değişebilir. Üstelik preformdaki sıcaklık yanlış olduğunda, yanakta çok fazla malzeme bulunabilir ve tabandaki malzeme miktarında azalma olabilir [64]. Preform bazının sıcaklık profili, petaloid tabanın son morfolojisi için önemlidir [65].

Lebaudy ve Grenet, PET deneylerine dayanarak, temel olarak yönlendirilmiş camsı yapı elde etmek için preformun cam geçişinin (Tg) altında veya yakınında preform sıcaklığının bulunması ve kristal yapının tespit edilmesi için çalışmalar yapmışlardır[66]. Ayrıca Zagarola, yeniden ısıtma ısısının düşürülmesinin hem hafif hem de ağır preformlar için üst yük kuvvetini arttırdığını ve hafif ağırlık preformunun hem indirgenmiş tekrar ısıtma sıcaklığında hem de artan yeniden ısıtma sıcaklığında daha iyi olduğunu belirlemiştir.

Bununla birlikte, hafif preform için düşük re-heat sıcaklığında ve ağır preform için yüksek yeniden ısıtma sıcaklığında en büyük taban boşluğu elde edildiği görülmüştür[60].

Germeden önce preformun alt boyun bölgesi arasındaki sıcaklık aralığı 15-20° C arasındadır [67]. Preformun uzunluğu boyunca ortalama sıcaklık bilgileri Şekil-1.11 de verilmektedir. Sıcaklık profili, şişedeki netlik ve malzeme açısından da önemlidir. Düşük sıcaklıklarda daha yüksek üfleme basıncı gerekir ve bunun tersi de geçerlidir.



Şekil 1.11. Preformun bölgesel sıcaklık gösterimi [67]

Preformun şişirilmesi, preformun tasarımına ve preform üzerindeki sıcaklığa büyük ölçü de bağlıdır. Preformun sıcak bölgeleri daha hızlı darbe alacak ve sonuç olarak daha ince hale gelecek, bunun tersi olarak daha soğuk ve sert bölgeler, daha yavaş darbe alacak ve kalın kalacaktır [55].

Monteix ve arkadaşları, kızılötesi ışınımlı ısıtmaya maruz bırakılan bir preformun sayısal simülasyonu ile deneysel bir çalışma tamamlamıştır [63]. Parçanın nihai kalınlığının, yeniden ısıtma aşamasında belirlenen preformdaki başlangıç sıcaklığına bağlı olduğunu bulmuşlardır.

Diğer araştırmacılar tarafından, kalınlık boyunca bir sıcaklığın varlığı ve en azından preform boyunca sıcaklık kadar önemli olduğu gösterilmiştir [9]. Bununla birlikte, preformun dış yüzeyinden çevreye ısı transferi oranı çok yüksektir [68]. Ancak sıcaklık, kalıplanmış şişenin yanağıyla tabanı arasında malzemenin ne kadar iyi dağıldığını belirlediğinden çok önemlidir [9]. Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir infrared kamera kullanarak deneysel olarak preform üzerinde sıcaklığı ölçmüşler ancak kalınlık boyunca sıcaklığı ölçememişlerdir. Kızılötesi kamera, preformun uzunluğu boyunca göreli sıcaklığın iyi bir gösterimini verir ancak kalınlık boyunca

sıcaklığı belirleyemez. Floresan spektropisi gibi yöntemlerle kalınlık yönünde sıcaklık profilini ölçmek için bazı girişimlerde bulunulmuştur [69,70]. Bu girişimlerden biri de ”ultrasonik” ölçümdür [71,72].

Yüzey sıcaklığı ölçümünü kullanarak preform kalınlığı boyunca sıcaklığı ölçmek için inversiyon tekniği adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir [68].

Bazı araştırmacılar, preformun ısınmasını simüle ederek sıcaklıkları tahmin etmek için sonuçları kullanmışlardır [73]. Diğer araştırmacılar ise, üfleme kalıplama işleminde kullanılan yeni bir ısıtma simülasyonunda bir ‘bölge’ yöntemi kullanarak preformun 3D sıcaklığını belirlemeye çalışmıştır [74].

1.4.2. Isı transferi

Gerinimle indüklenen kristallik, sıcaklık düşürme oranına oldukça bağımlıdır. Bu nedenle, malzeme içindeki istenen mekanik özelliklerin elde edilmesi için kalıptaki soğutma sisteminin optimizasyonu esastır. Bunun nedeni, ısı transfer katsayısının sıcaklık düşürme oranı üzerinde önemli etkiye sahip olmasıdır. Bununla birlikte, özellikle boyun bölgelerinde ve nispeten kalın şişe tabanında, hem sıcaklık hem de sıcaklık düşürme hızı ve gerginlik açısından önemli doğrusal olmayan diferansiyeller kalınlık ve uzunluk yönleri boyunca mevcuttur [46]. PET’in termal özellikleri ve yoğunluğu Şekil-1.12’te gösterilmektedir;

Yoğunluk	1336 kg/m^3
İletkenlik	0.25 W/m/^{o}K
Öz ısı (296 ^{o}K’de)	1130 J/kg/ ^{o}K

Şekil 1.12. PET’in termal özellikleri ve yoğunluğu [61].

Son 20 yılda, ekstrüzyon şişirme ve termoformasyonun ısı transferi modellemesinde kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Hem kalıp soğuma zamanı hem de soğutma sıcaklığı, parça katılaşma hızını ve ortalama parça atım sıcaklığını doğrudan etkiler ve sonuç olarak artık gerilimler ve kristalinite seviyesi gibi son kısım özelliklerde etkilenmiş olur. Bununla birlikte, ısı transferi konusu Schmidt’in yürüttüğü çalışmalar dışında, ISBM ile ilgili yayınlanmış sayısal çalışmalarda hemen hemen hiç ihmal edilmemiştir [61].

Araştırmacılar, işlem sırasında sıcaklıkların sabit kaldığını varsaymışlardır. Bu varsayıma ilişkin gerekçeler şunlardır;

- Esnek şişirmede kullanılan işlem süresi genellikle ekstrüzyon şişirme ve termoformasyondan çok daha kısadır [67,54,74].
- Esnek şişirme işleminde preform sıcaklığı, termal olarak indüklenen kristalinite üretmek için yeterince yüksek değildir.
- Kapalı kalıp ve kısa proses süresi nedeniyle ölçülmesi zor olan ilgili deneysel veriler ve sıcaklık örgüsü yoktur.
- Streç şişirme, nihai şişenin performansı üzerine kritik etkileri nedeniyle suyun neden olduğu kristalleşme ile karakterizedir [46].

PET şişedeki ısı transferi ile kalınlık arasındaki ilişki, izotermal olmayan sonlu elemanlar modeli, temas koşulları ve ısı transfer katsayılarının parametrik çalışmaları ile incelenmiştir [46]. Germe çubuğu ve preform arasındaki düşük sürtünme katsayılarının ve ısı transfer katsayılarının daha ince bir şişe tabanına yol açtığı bulunmuştur.

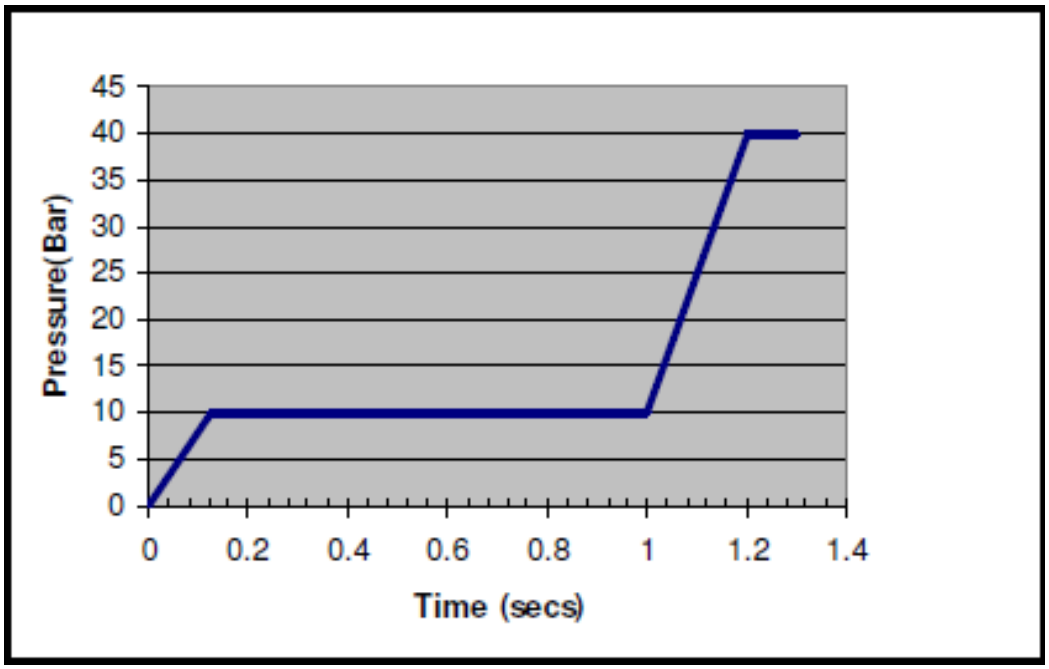
Mevcut ısı transfer denklemleri çeşitli araştırmacılar tarafından gözden geçirilmiştir [75,76]. Stelson, polimer enjeksiyon kalıplama için soğutma sürelerinin hesaplanması, mevcut tüm formüllerin teorik bir bakış açısıyla kararlaştırılması ve ince ve kalın parçalar için türevlerinin tartışılması üzerine araştırma yapmıştır [77].

1.4.3. Şişirme Basıncı-Zaman

Germe ve üfleme sırası, preform büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [59] ve şişirme basıncı şişelerin toplam işleme süresini belirler [64]. Gerdirme ve üfleme aşamaları esnasında gerdirme çubuğu ve darbe basıncının dayattığı ön şekillendirmenin deformasyonu incelenmiştir.

Wang ve arkadaşları dört rejimde üfleme kalıplama simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Bunlar; germe olmadan üfleme, tam esnetme, ardından üfleme ve kısmi esnetme ardından tamamlama için üflemedir [64]. Sonuçlar son metodun nihai üründe en iyi kalınlığı verdiğini göstermiştir. McEvoy ve arkadaşları da çalışmalarında aynı sonucu elde etmiş olup, ön darbe basıncının uygulanması, simülasyonlarda şişenin

yan duvar kalınlığını tahmin edilebilir kılmaktadır [67]. AOKI ISBM makineleri ile çalışmışlardır ve aşağıdaki grafiği elde etmişlerdir;



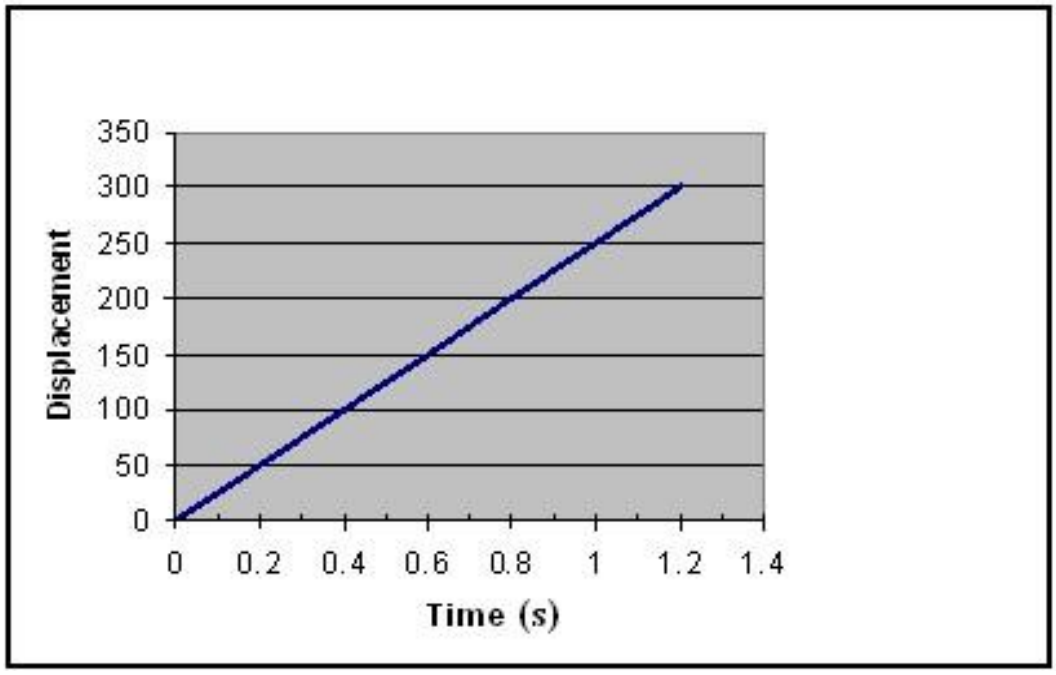
Şekil 1.13. Ön darbe basıncı 0.2 MPa ve darbe basıncı 4Mpa

1.4.4. Gerdirme Çubuğu Hareketi-Zaman

Doğru gerdirme çubuğu, yan duvarlarda PET'in arzu edilen erinim sertleşmesini sağlar ve dolayısıyla bu alanda sabit duvar kalınlığı sağlar. Hareket ön darbeli harekete geçirmeye göre çok yavaşsa veya esneyen çubuk hareketi olmadığında, preform merkezden uzaklaşabilir ve eşit olmayan duvar kalınlığına neden olabilir. Hareket çok hızlıysa, preform patlayabilir [67].

Şişenin tabanının çok az gerilmesinin sebebi bu bölümün çevresindeki sıcaklık aralığının üst bölgelere göre daha yüksek olmasıdır ve bu yüzden çubuk da şişenin tabanına yapışabilir [65]. Bu yüzden, şişenin alt kısmı gerilme çatlama direnci açısından zayıflık gösterir. Gerilme tabana yakın durduktan sonra, kalan kısımlar önce 'ön-darbe' basıncı ve daha sonra 'son-darbe' basıncı ile gerilmeye devam eder.

Sonuç olarak, alt alanda sıkıştırma meydana gelebilir [46]. Tipik gerilme çubuğu yer değiştirme zamanı ilişkisini gösteren grafiğe bakarsak;



Şekil 1.14. İlerleme-zaman grafiği.

PET şişelerin gerilebilir şişirme süresini simüle edilmiş bir şekilde görebilir ve süreci düzenlememizde önemli rol oynayabilir [67].

Pham ve diğerleri, PET'in mekanik davranışını tanımlayan bir model ortaya koymuşlardır [56]. Ayrıca, PET'in gerildiği zaman PET'in gerinin sertleşmesinden geçtiğini de açıklamışlardır. Onlara göre preform gerilmesi oluşan şişedeki düzgün duvar kalınlığına ulaşmak şarttır. Gerinim sertleşmesi, sıcaklık profili ve gerinim oranına bağlı olduğu için, herhangi bir gerinim de sıcaklığın artırılması gerinim sertleştirme özelliklerini azaltır ve bunun tam tersini de sağlayabilir. Buna karşılık, sabit bir sıcaklıkta artan gerinim oranı, özelliklede yüksek gerinim değerlerinde polimerin gerilme sertleşmesine neden olur. Bu nedenle deformasyon sertleşmeden önce üflenen ön forma (kalıba) dokunursa, malzeme doğal çekme oranına ulaşamaz ve sonuçta istenen düzgün duvar kalınlığına ulaşılamaz [64].

1.5. ISBM Proses Parametrelerinin Optimizasyonu

PET ön formunun tasarımı, özellikle sayısal optimizasyon açısından oldukça karmaşıktır. ISBM süreç dizisi karmaşıktır ve birleşmiş işlemler toplamıdır. Bununla birlikte, germe ve üfleme aşamaları esnasındaki malzemenin reolojik davranışı oldukça doğrusal olmayıp termal olarak da bağımlıdır [78].

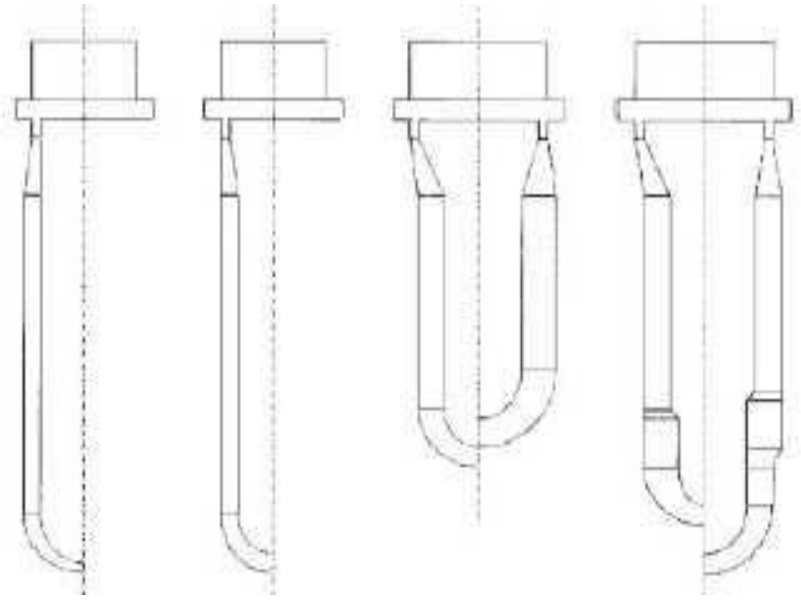
Kısaca, ISBM sürecinin optimizasyonu çok karmaşıktır. Literatürde tasarım optimizasyonu için sayısal modelleme konusunda sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu konuda yapılan Lee ve Soh'un ISBM için yaptıkları çalışma bulunmaktadır [79]. Bir darbe kalıplı parça için bir preformun optimum kalınlık profilini belirlemek için sonlu elemanlar yöntemi geliştirdiler ve gerekli duvar kalınlığını bulmaya çalışmışlardır. Form yapım aşamasında preformun eksenel olarak gerilmediğini varsaydılar.

Ekstrüzyon üfleme kalıplama ile ilgili bir araştırma gerçekleştirilmiş ve şişirilmiş parçanın kalınlığını belirlemek için proses parametrelerini değiştirme amaçlı klasik proses kontrol sistemine benzeyen bir kapalı halkalı optimizasyon yaklaşımının kullanılabileceği önerildi [80].

[81] Gauvin ve arkadaşları ise 2003 yılında işlem parametrelerini sabitleyerek tasarım hedef fonksiyonunu en aza indirgemek için önceki çalışmayı degradeye dayalı bir yaklaşımla revize etmiştir. Polimer enjeksiyon kalıplama işleminde, polimer materyalin dolum süresini en aza indirgemek için, bazı araştırmacılar gradyana dayalı bir yaklaşımla birleştirilmiş bir tasarım hassasiyeti analizi yoluyla kapı konumunu optimize etmeye çalışmışlardır [82,83]. Preform kalıp tasarımını optimize etmek için farklı algoritmalar önermekte olan metal formasyonunda çeşitli kâğıtlar bulunmaktadır [84].

Preform ve konteyner tasarımı için bir tasarım optimizasyon ortamı geliştirmek amacıyla bazı çalışmalar yürütülmüştür ve iki tamamlayıcı optimizasyon algoritması önerilmiştir [78].

Bir preform kalınlığı, üst yük, basınçlandırma ve vakum yükleri gibi şişmiş kap performans özelliklerini etkiliyor olduğundan, performans optimizasyon işleminde ön form kalınlığının öngörüsü vurgulanır [10]. Öte yandan, endüstride mevcut farklı preform türleri vardır ve seçim, üretilecek şişeye ve arzulanan nihai kalınlığa bağlıdır. Bu preform modelleri şekil-1.15'te gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Farklı preform türleri[10].

[10] Preform tasarımında üç farklı streç oranı göz önüne alınmaktadır. Bunlar eksenel, kasnak ve uç kapak kalınlığı oranıdır. Literatürde sıfırıncı, birinci ve ikinci dereceden veya yumuşak hesaplama yöntemlerinin geleneksel degrade teknikleri gibi bir dizi sayısal optimizasyon tekniği bulunmaktadır. VanderPlaatsi bu yöntemin güçlü sicili nedeniyle ikinci dereceden bir yöntem kullanmıştır.

2. BÖLÜM

DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Pet Şişe Üretim Aşamaları

2.1.1. ECHIP-7 Deneysel Tasarım

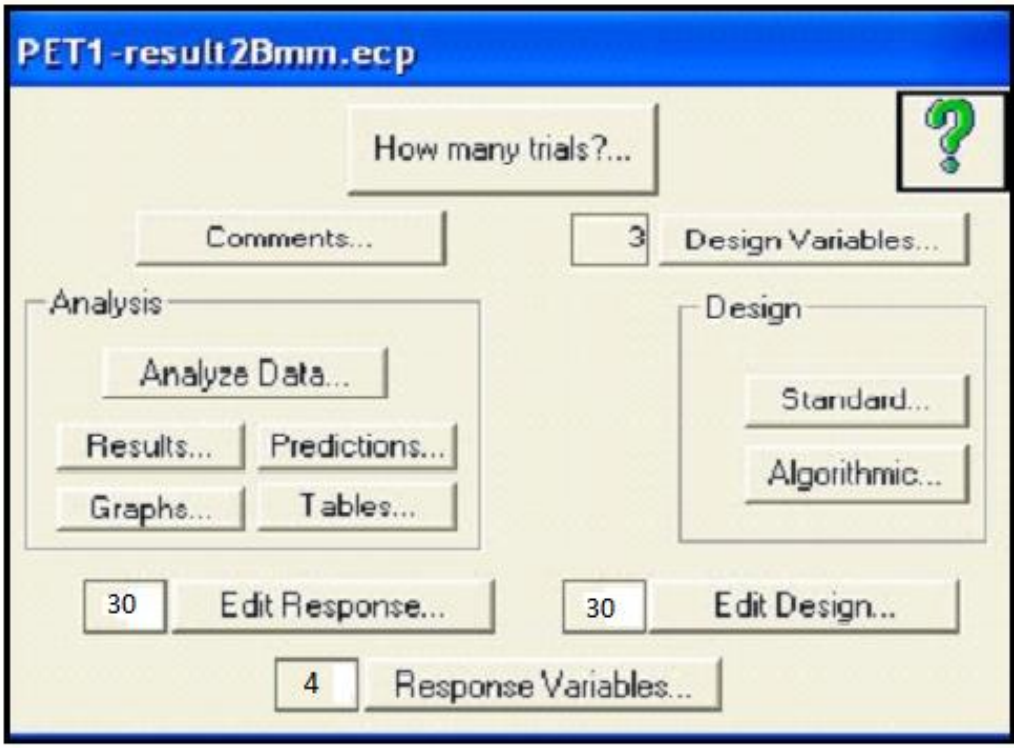
Optimizasyon işlemi, ECHIP-7 deney tasarımı ve optimizasyon programı ile gerçekleştirildi. Böylece hem hesaplama için gerekli süre hem de stres analiz adımı sayısı önemli ölçüde azaltıldı ve optimizasyon süreci bilimsel bir yaklaşıma dayandırıldı. Tasarım parametrelerinin (tablo-2.1) maksimum ve minimum değerleri, petaloid taban deforme olmamış ve dik konumda kalacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 2.1. Sıcaklık, çubuk pozisyonu, basınç parametrelerinin min. ve max. değerleri

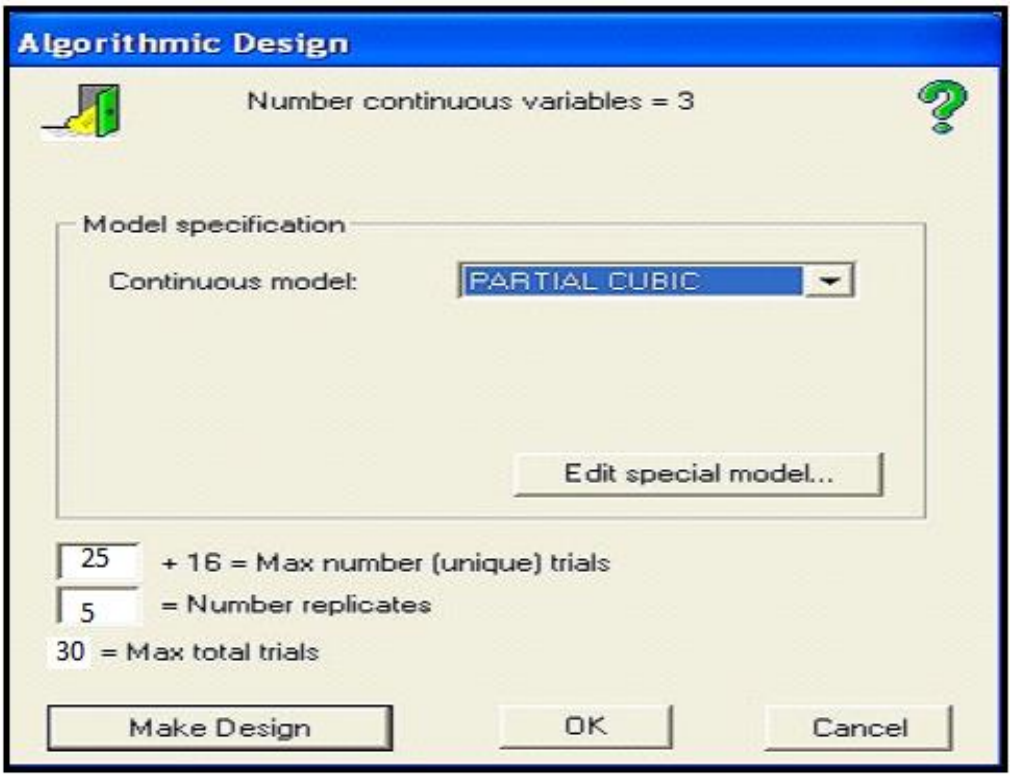
Tasarım Parametreleri	Minimum	Maximum
Sıcaklık(°C)	100	115
Çubuk pozisyonu	38000	65200
Basınç	15	25

Deney ve optimizasyon programı tasarlayan Echip-7, kullanıcıya 'standart' ve 'algoritmik' tasarım seçeneklerini sunar. Kuadratik, etkileşim, küp içinde merkezi bileşik, kısmi kübik, küre içindeki merkezi bileşik ve Box-Behnken gibi model özellikleri de içinde barındırmaktadır. Kısmi kübik algoritma tasarımı, bu çalışma için uygun bir model olarak kabul edilmiştir, çünkü boşluk parametresi ve üç girdi değişkeninin bir blok değişkeni bulunmaktadır. Diğer yandan algoritmik tasarım, doğrusal değil, stres testlerinden elde edilen sonuçların kullanılması bakımından esnektir ve stres analizinde deneysel bölge de birkaç kısıtlamaya sahiptir.

Yukarıda bahsedilen üç tasarım değişkeni girildikten sonra, tasarımın tipi belirlenmiştir (Şekil-2.1).Deneme sayısı 'make design' komutu ile hesaplanmıştır



Şekil 2.1. ECHIP-7 deney tasarımı; Tasarım ve tepki değişkenleri, tasarım türü



Şekil 2.2. ECHIP-7 ile bir tasarım; Model tanımlama, denemelerin maksimum sayısı.

TRİAL	TEMPERATURE	STRETCH-ROD	FİNAL-PRESSURE
11	105-110	TOP	20.0
6	105-110	BOTTOM	15.0
9	105-110	TOP	15.0
12	110-115	BOTTOM	20.0
5	110-115	TOP	15.0
3	110-115	BOTTOM	25.0
28	100-105	BOTTOM	15.0
30	110-115	MIDDLE	25.0
18	105-110	BOTTOM	25.0
21	100-105	BOTTOM	20.0
12	110-115	BOTTOM	20.0
29	100-105	TOP	20.0
15	105-110	MIDDLE	15.0
16	105-110	MIDDLE	20.0
10	110-115	TOP	25.0
22	100-105	BOTTOM	25.0
1	100-105	TOP	15.0
19	105-110	BOTTOM	20.0
24	110-115	MIDDLE	20.0
17	110-115	BOTTOM	15.0
8	100-105	MIDDLE	15.0
23	110-115	MIDDLE	15.0
1	100-105	TOP	15.0
7	100-105	TOP	25.0
13	100-105	MIDDLE	20.0
2	105-110	TOP	25.0
20	105-110	MIDDLE	25.0
14	110-115	TOP	20.0
15	105-110	MIDDLE	15.0
4	100-105	MIDDLE	25.0
20	105-110	MIDDLE	25.0
2	105-110	TOP	25.0

Şekil 2.3. Bir ECHIP-7 deney tasarımı görüntüsü.

2.1.2. Preform Tasarım

2.1.2.1. Preform nedir?

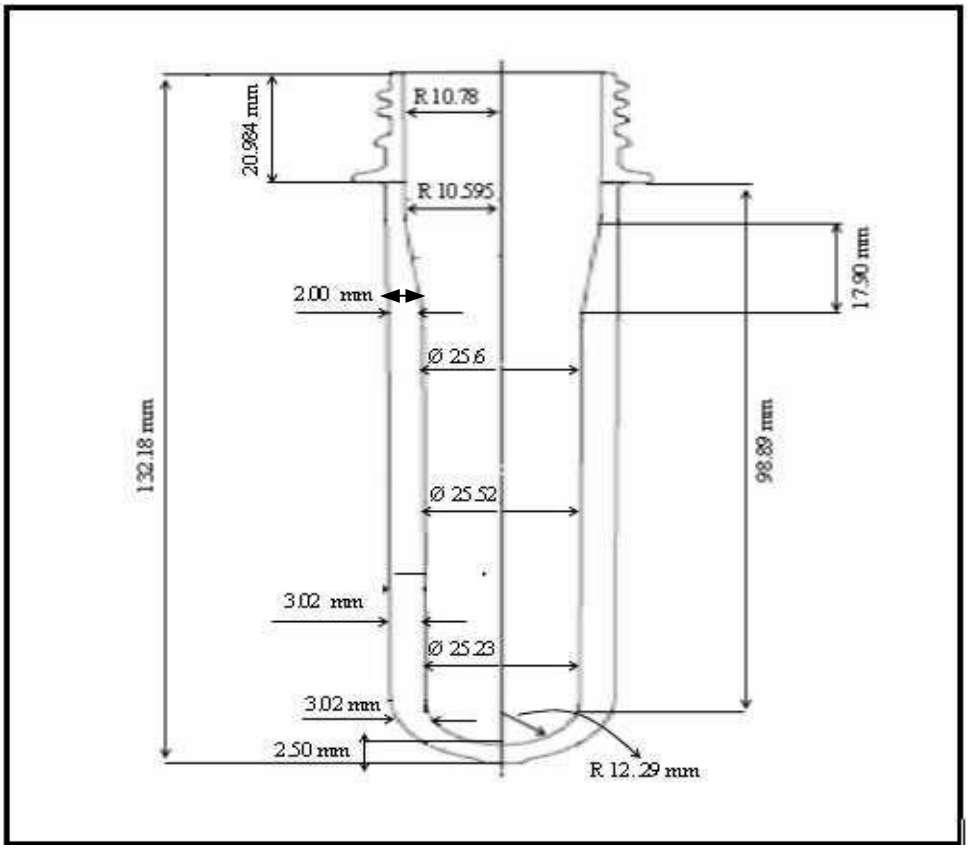
PET Preform, bir PET Kavanoz veya şişenin şişmeden önceki halidir. Öncelikle PET Granül hammadde özel PET kurutma makinelerinde %0,001 nem oranına kadar kurutulduktan sonra silolardan PET enjeksiyon makinesinin ocağına aktarılır, burada 285°C sıcaklığa kadar ısıtılıp eritildikten sonra son teknoloji enjeksiyon makineleri ile tamamen bilgisayar kontrollü olarak aktif su soğutmalı enjeksiyon kalıplarına enjekte edilir.



Şekil 2.4. Yarı mamül olarak preformlar.

2.1.2.2. Preform kalınlığının pet şişe üzerine etkisi

Preformun kalınlık profili son şişenin kalınlığını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Böylece, şişedeki istenilen kalınlık, ön şekillendirme tasarımı ile sağlanmaktadır. Şişe taban kalınlığının tekdüzeliği hedeflenebilirken, tabandaki ani kalınlık değişiklikleri şişenin tabanındaki çatlak oluşumunun kaynağı olduğu iddia edilmektedir [68]. Daha da önemlisi, stresin en aza indirgenmesi ve aynı zamanda şişe tabanı boyunca stresdeki değişimleri azaltması hedefleniyor. Bu nedenle, minimum varyasyon ile gerilimi en aza indiren kalınlık profili, optimum işleme koşullarını üretir.



Şekil 2.5. 34 gr'lık preformun ölçüsel boyutları yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.6. PET şişe üretiminde kullandığımız preform.

2.1.3. Preform ısıtma

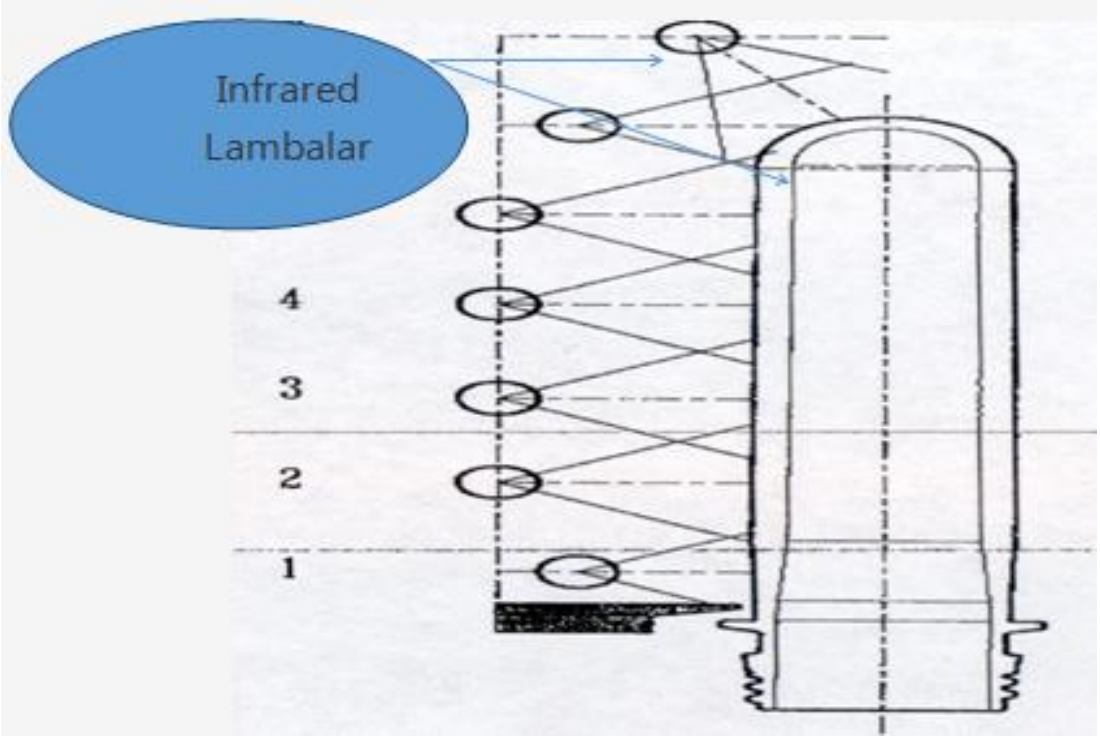
Preform ısıtmanın amacı belirli bir sertlikte gelen preformların şişirmeye uygunluğunu sağlamaktır. Sert bir preformun şişirme sırasında çatlak veya kırık gibi istenmeyen sonuçlar vermesini engellemek amaçlı önceden belirlenmiş kriterler de ısıtma işlemi yapılır. Bu kriterler ise bölgesel ısıl farklılıklarını ortadan kaldırmak amaçlı yapılmaktadır. Isıtma işlemi infrared ışıklarla donatılmış makineler yardımıyla yapılmaktadır. Şekil-2.7 de gösterilen devamlı dönen bir sistem üzerine yerleştirilen preformlar sağ taraftan ilerler ve sol taraftan şişirmeye uygun hale gelmiş halde çıkar. Isıtılmış preform şişirme cihazına götürülür.

Preformların yetersiz ısıtılması aşağıdaki sorunlara yol açar;

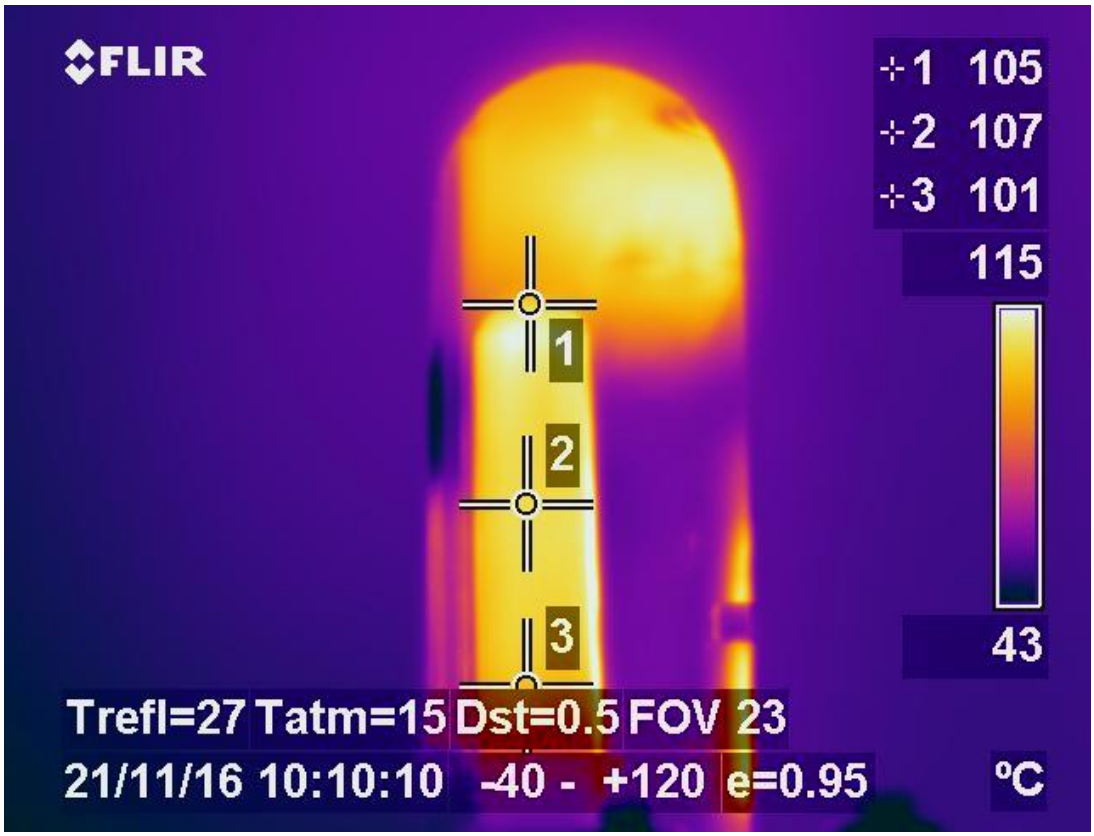
- PET şişede yetersiz malzeme dağılımı
- PET şişede zayıf duvar kalınlığı
- PET şişe yan duvarlarında incimsi yapı



Şekil 2.7. Preform ısıtma cihazı.



Şekil 2.8. Preform ısıtma makinesinin uyguladığı bölgesel sıcaklık skalası

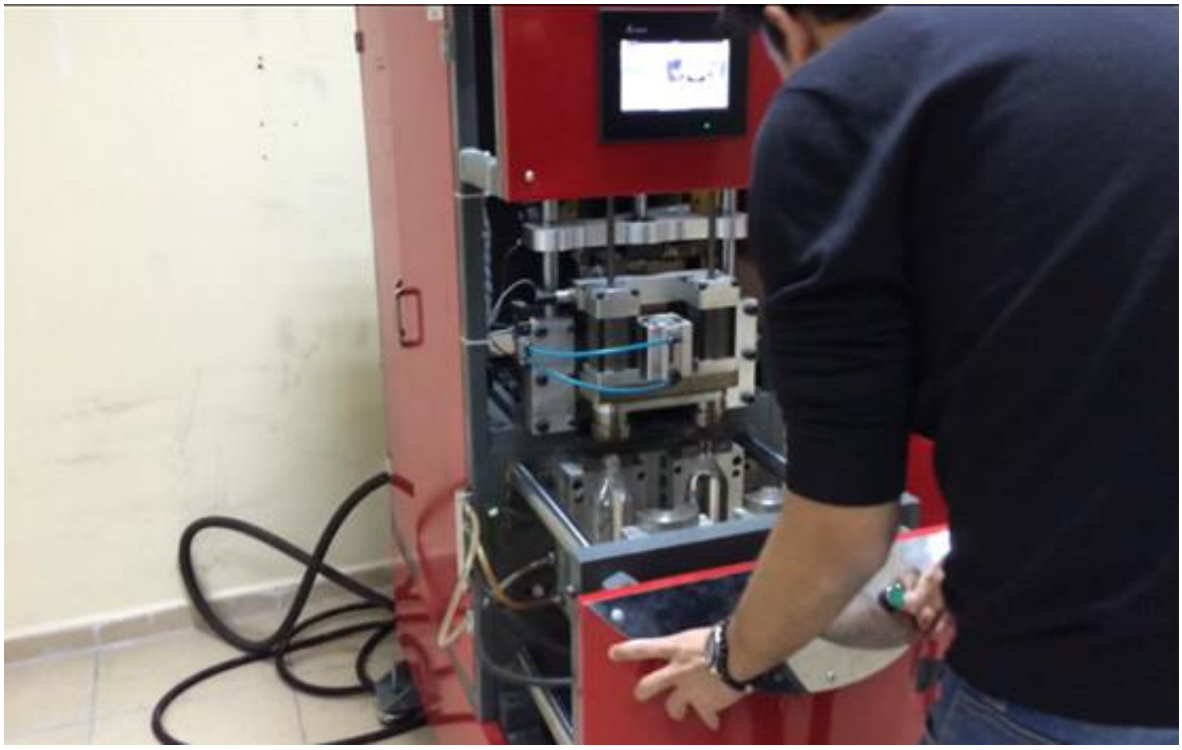


Şekil 2.9. Profil ısıtma makinesinin preforma uyguladığı sıcaklıklar ve bölgeleri

2.1.4. Preform şişirme

Gerdirme şişirme prosesinde daha önce ön biçimlendirilme ile enjeksiyon makinesinde kalıplanmış preformlar tekrar ısıtılarak bir şişirme çubuğu yardımı ile gerdirilir ve basınçlı hava ile bu gerilmiş preformlar şişirilerek tekrar kalıplanmış olur. Germe şişirme kalıplama, şişirme kalıplamanın özel bir şeklidir. İlk form verilmiş preformlar, enjeksiyon makinesinde üretildikten sonra plastik kütle sadece radyal olarak değil uzunlamasına da gerdirilir. Bu işlem göreceli olarak düşük sıcaklıklar, yüksek kalıplama kuvvetleri gerektirir. Bu nedenle 20 bar'a kadar üfleme basınçlarına rastlanır. Bu yöntemde preformlar ısıtılır, sıkıştırılmış hava üflenerek mekanik aksiyal ve buna bağlı olarak radyal genleşme sağlanır. Sodalı ve sodasız içeceklerin saklandığı pet şişelerin üretiminde bu metod kullanılmaktadır.

Preform ısıtma makinesinden alınan ısınmış perform'lar kalıplara yerleştirilerek gerdirme işlemiyle şişirilmişlerdir.



Şekil 2.10. Üniversitemiz bünyesinde bulunan ISBM cihazı.

2.2. Üretilen Pet Şişelere Uygulanacak Testler

2.2.1. Patlama dayanımı

Karbonatlı içecekler, şişeyi 100 psi'ye (7 Bar) kadar basınçlandırır. Basınçlı şişe aşırı şişmemelidir veya daha da kötüsü şişirici dolum hattında patlamamalıdır.

Bir dizi faktör, şişe patlaması kuvvetinin düşmesine neden olabilir; zayıf malzeme dağılımı, kalıp telafisi kaybı (boyun, omuz veya yan duvar arızası), kalıp hasarı vs. nedeniyle geniş kalıp ayırma çizgileri bazı bölgelerin duvarındaki kalınlık yetersizdir. Benzer şekilde omuzda aşırı genişleme meydana gelebilir veya panel bölgeleri düşük bölüm ağırlığı veya zayıf malzeme dağılımının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir.

Prosedür;

A. Öncelikle bu testin yürütülmesi boyunca sonuçların girilmesi sağlanır. Bu, bilgisayarda depolanmış bir program kontrol sistemi, Excel elektronik tablosu veya manuel rapor formu olabilir.

B. "Başlangıç Basıncı" 100 psi (7 BAR) olarak ayarlanır.

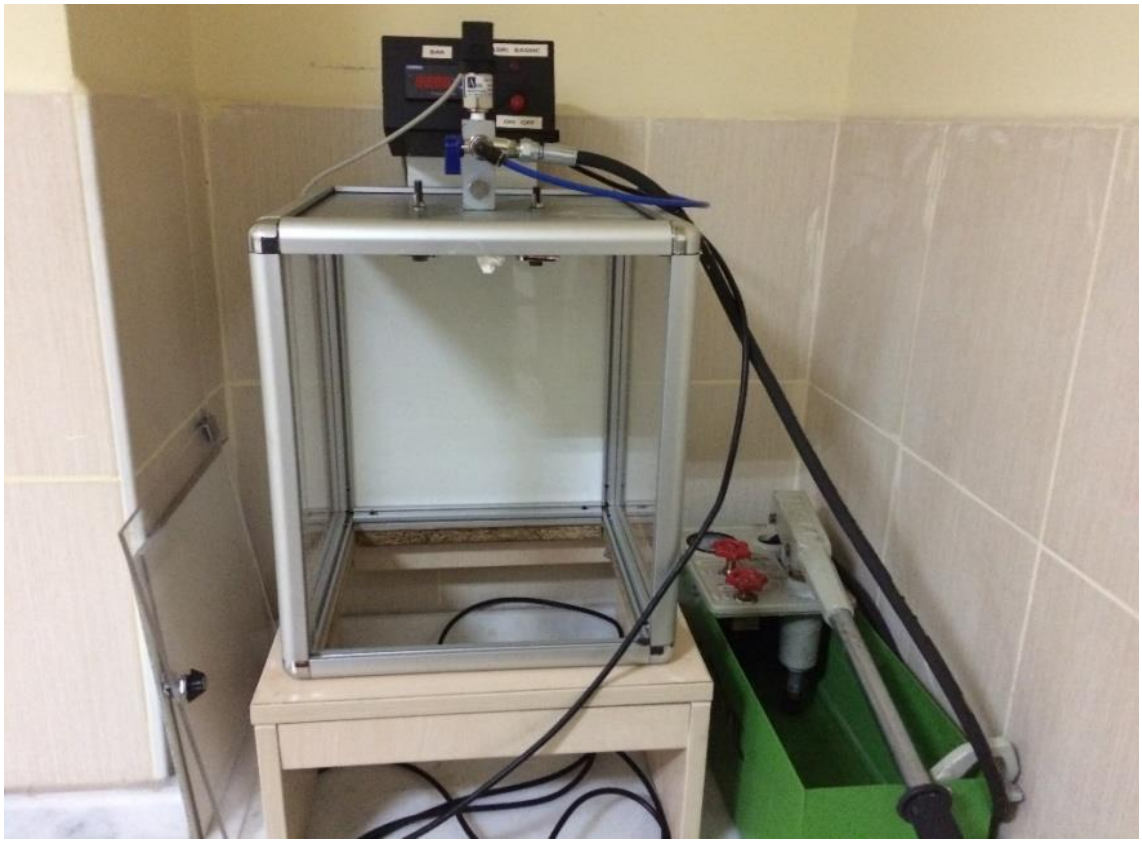
C. Şişe, test odasındaki boyun desteğine yerleştirilir.

D. Test odasının kapısı kapalı olmalıdır. Kapıda emniyet kilidi bulunmalıdır ve eğer tamamen kapalı değilse şişeyi test etmeye başlanmaz.

E. Sağ tarafta görülen kol yardımıyla şişeye su basmaya başlanır.

F. Şişe patlayıncaya kadar su basılmaya devam edilir.

G. Şişe patladığı andaki son basınç değeri üst tarafta bulunan barometre tarafından ölçülür ve sonuç not edilir.



Şekil 2.11. Mühendislik fakültesinde bulunan patlatma test cihazımız

2.2.2. Yük Taşıma Kapasitesi

Prosedür

A. Test edilecek olan şişe ilk olarak test cihazına yerleştirilir.

B. Şişenin üst kısmına sıkıştırma kuvveti uygulanır.

C. Şişe kırılır veya kuvvetle büküldüğünde test tamamlanır.

D. Maksimum yük ve arıza yükü bilgisayar sistemi tarafından kaydedilir.

E. Elde edilen verilen kaydedilir ve tabloya dökülür.

Kullanılan Cihaz



Şekil 2.12. Basma cihazı ve bilgisayar ekipmanı.

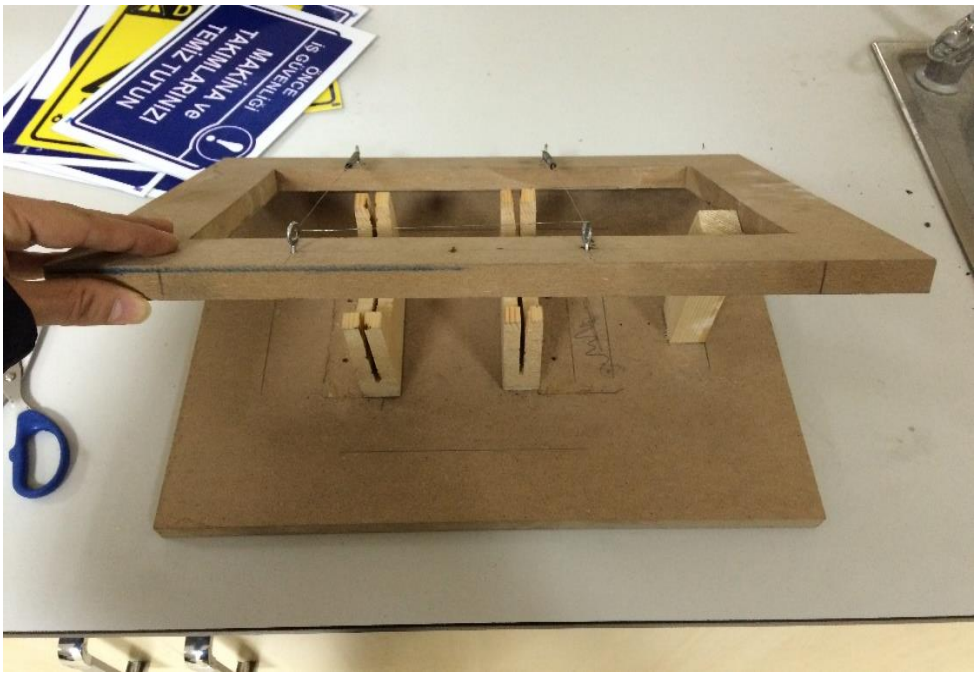
2.2.3. Bölgesel Malzeme Dağılımı

Kullanılan Cihaz

Şişe üzerindeki malzemeyi ölçmek için, şişeler üç bölüme ayrılır. Bu üç bölüm alt, orta ve üst olarak adlandırılır ve bu bölümlerin tabandan mesafeleri 53,3 mm ve 194,3 mm'dir. Bu işlemde, şişenin herhangi bir maddi kaybına izin vermeyecek uygun bir aparatla bölümlerine ayrılması önemlidir. Bu nedenle, bu işlemi keskin bir malzeme ile gerçekleştirmek uygunsuz bir yöntemdir. Bu amaçla, elektrik akımı ile ısıtılabilen ince bir iplikten ve bir tanesinden hareket edebilen ve diğeri hareketsiz olan iki katlanır çerçeveden oluşan bir elektrik mekanizması kullanılır ve Şekil-2.13 de mekanizma gösterilmektedir. Buna ek olarak, mekanizmanın ortasında kesilecek şişeyi sıkıca sıkıştıran başka bir silindirik aparat bulunmaktadır. Bundan dolayı, şişe kısımları, sıcak filaman vasıtasıyla PET maddesinin eritilmesi yoluyla birbirinden ayrılabilir.

Şişe, Şekil-2.13'de gösterildiği gibi özel olarak imal edilen bir aparat vasıtasıyla taban, gövde ve üst olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Şekil-2.13'te gösterilen şişenin üç

bölümü, hassas ölçek ile ayrı ayrı ağırlıklandırılır ve değerler değerlendirme için kaydedilir.



Şekil 2.13. PET şişeyi bölümlere ayırdığımız aparat



Şekil 2.14. PET şişenin aparat tarafından bölümlendirilmiş son hali.

PROSEDÜR

PET şişenin tabanı, gövdesi ve üst kısmı bölümlere ayrıldıktan sonra ayrı ayrı ağırlıkları hassas tartıyla ölçülür ve tabloya girilir.

2.2.4. Kalınlık dağılımı

Bölgesel malzeme dağılımı için hazırlanan numuneler işi bittikten sonra kalınlık dağılımı testine tabi tutulur.

2.2.5. Çevresel gerilme (çatlatma) dayanımı

Kullanılan Cihaz:

Hızlandırılmış gerilme-çatlatma testinde kullanılan malzemeler;

1- % 0.20 Sodyum Hidroksit Çözeltisi (NaOH)

2- Bilgisayara bağlı bir şişe batırıcı ve tutucu mekanizma

3- Datalyzer Spektrum SQC programı



Şekil 2.15. Testin yapıldığı bilgisayar ortamlı düzenek.

PROSEDÜR

A. Analiz edilecek olan tüm şişeler toplanır ve analiz için hazırlanır.

B. Her bölmeden boşaltma valflarının kapalı olması sağlanır.

C. Yaklaşık 500 ml (şişenin tabanı daldırmaya kadar) her bölmeye eklenir.

D. Her şişe etiketlenir ve soğuk musluk suyu ile flanş doldurulur.

E. Her şişe, finişi metalik kapaklara vidalanarak üniteye bağlanır.

F. Her şişe uygun bölmeye yerleştirilir, kapak kapatılır ve mandallar sabitlenir.

G. Her bir numuneyi başlatmak için, ilgili başlat düğmesi basılana kadar basılı tutulur.

H. Tespit edilememiş sızıntılar, teste başlandıktan 15 veya 30 dakika sonra kontrol edilir.

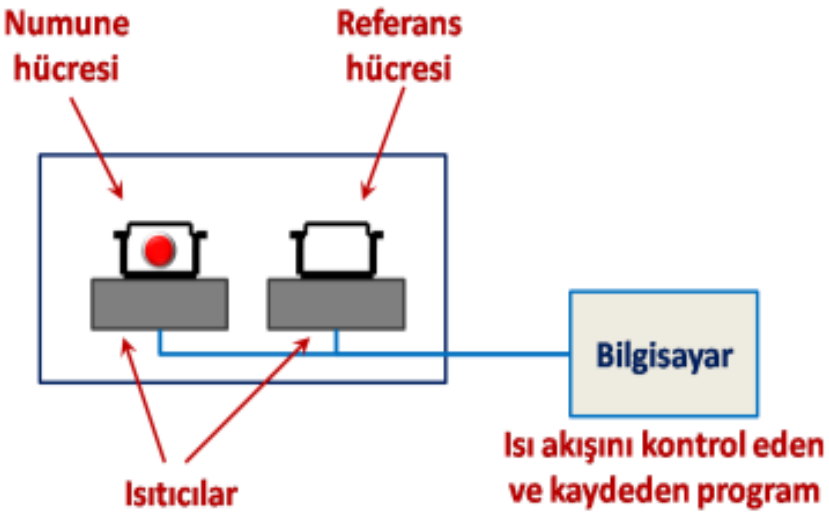
I. Birim şişenin başarısız olduğu zaman SQC programı vasıtasıyla tespit edilir ve not edilir.

2.2.6. Termal stabilite (DSC) testi

Kullanılan Cihaz:

Genel olarak küçük veya büyük molekül ağırlıklı bütün moleküllerde ısı alışverişi ile bazı fiziksel ve kimyasal değişimler olmaktadır. DSC ile termal karakterizasyon ise değişimlerin absorblanan veya açığa çıkan ısının, sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülerek tanımlanması temeline dayanmaktadır. Bir polimerik malzemeyi düşük sıcaklıklardan itibaren ısıtmaya başlandığımızda, sahip olduğu morfolojiye (kristalin ve amorf özellikler) bağlı olarak değişik geçişlere sahip olabilir.

Bir DSC hücresi esas olarak iki adet kalorimetreden oluşmaktadır. Bunlardan birine numune içeren kroze, diğerine ise referans içeren kroze yerleştirilir. Genellikle alüminyum kroze kullanılır. Değişen sıcaklıkla birlikte her iki krozeye aktarılan ısı farkı milivolt olarak algılanarak buradan numune krozesindeki numunenin aldığı veya verdiği ısı kayıt edilir. Bu ısı farkı bize organik veya inorganik esaslı herhangi bir malzemedeki enerji alışverişi ile paralel giden herhangi bir fiziksel veya kimyasal değişimi sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak açıklayabilme olanağını verir.



Şekil 2.16. Bir DSC cihazının çalışma prensibi.

PROSEDÜR

Numune, pellet, film veya plaka formunda ise ince ince doğranır. Toz numuneler doğrudan tartılır. Yaklaşık 2-10 mg numune, Al kroze de tartılır. Al kapak krimpır da sıkıştırılır. Numune bölmesine yerleştirilir. Aynı şekilde hazırlanan boş (veya alumina konmuş) bir alüminyum kroze referans bölmesine yerleştirilir. İstenen sıcaklığa kadar, sabit bir hızla inert atmosferde (çoğunlukla azot) ısıtılır ya da soğutulur. Polimer numuneleri için genellikle 50 °C/dk. hızı ile bir ön ısıtma yapılarak termal hafıza (thermal history) silme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra 10 °C/dk. hızı ile yavaş bir ısıtma ve soğutma programı uygulanarak termogram çizdirilir. Elde edilen termogram üzerinde camsı geçiş, erime ve kristalleşme pikleri hatta dekompozisyon eğrisi incelenerek değerlendirilir.

2.2.7. Çekme testi

Malzemede belirli bir şekil değiştirme meydana getirmek için uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması ya da cisme belirli bir kuvvet uygulandığında meydana gelecek şekil değişiminin belirlenmesi mühendislikte büyük önem taşır.

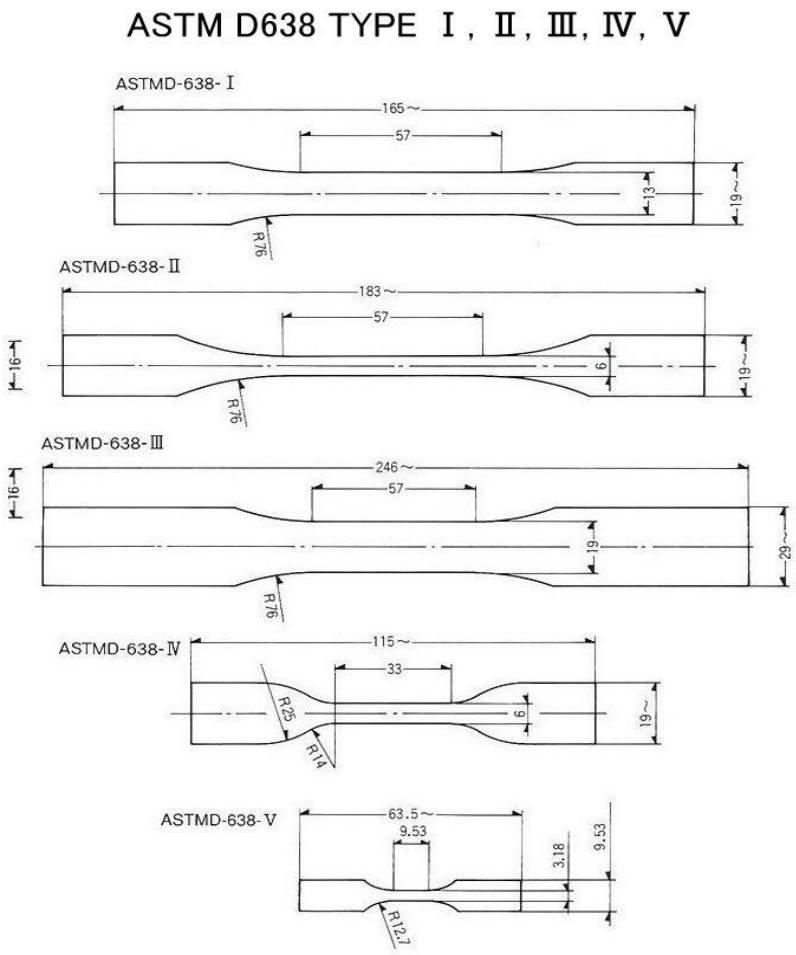
Numune hazırlama: Şekil-2.17'de gösterilen pres makinesi arasına şekil-2.18'de gösterilen kalıp PET üzerine konulduktan sonra sıkıştırılarak kesilmesi sağlanır. Numune belirli standartlarda hazırlanmış kalıp yardımıyla yatay ve dikey olarak kesilir ve çekme deneyine hazır hale getirilir.



Şekil 2.17. Çekme numunesi alınırken kullandığımız basma cihazımız.



Şekil 2.18. Çekme testi için hazırlanmış numuneler



Çekme testimizde ASTM standartlarına göre ASTMD-638-II deney numune ölçüleri kullanılmıştır.

PROSEDÜR

A. Hazırlanan yatay ve dikey numuneler toplanır ve hazır hale getirilir.

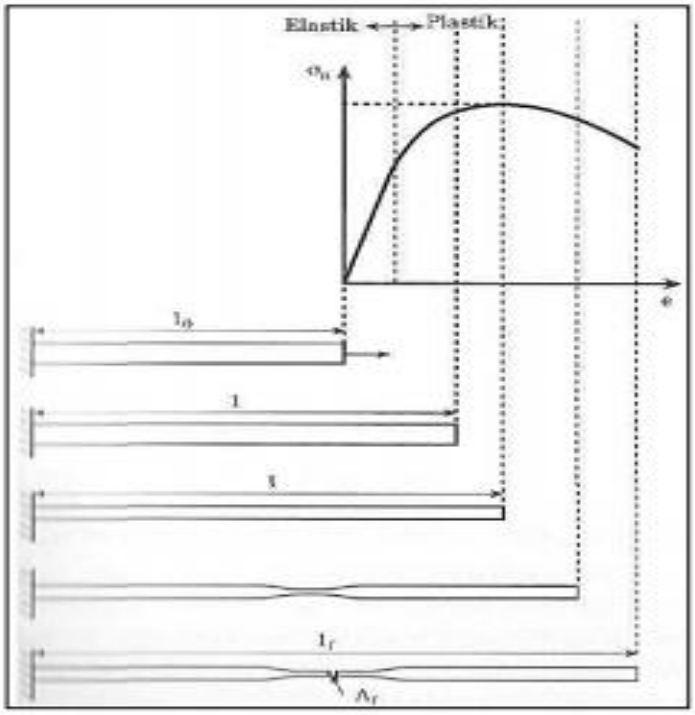
B. Test cihazına 2 ucundan tutturulan numuneler cihazın üst bloğunun yukarı yönlü hareketiyle çekilmeye başlar.

C. Akma mukavemetini aşan numune elastik özelliğini kaybettikten kısa bir süre sonra kopma noktasına gelir.

D. Kopma noktasındaki gerilme bilgisayar ekranından kaydedilerek bir sonraki numuneye geçilir.

E. Kopma mukavemetinden PET için yorumlamalar yapılır.

ÇEKME DENEYİ



Şekil 2.19. Çekme numunesinin grafiksel kopması

3. BÖLÜM

ELDE EDİLEN VERİLERİN İNCELENMESİ

3.1. Basma Deneyi Sonuçları

Tablo 3.1. Basma testi sonuçları.

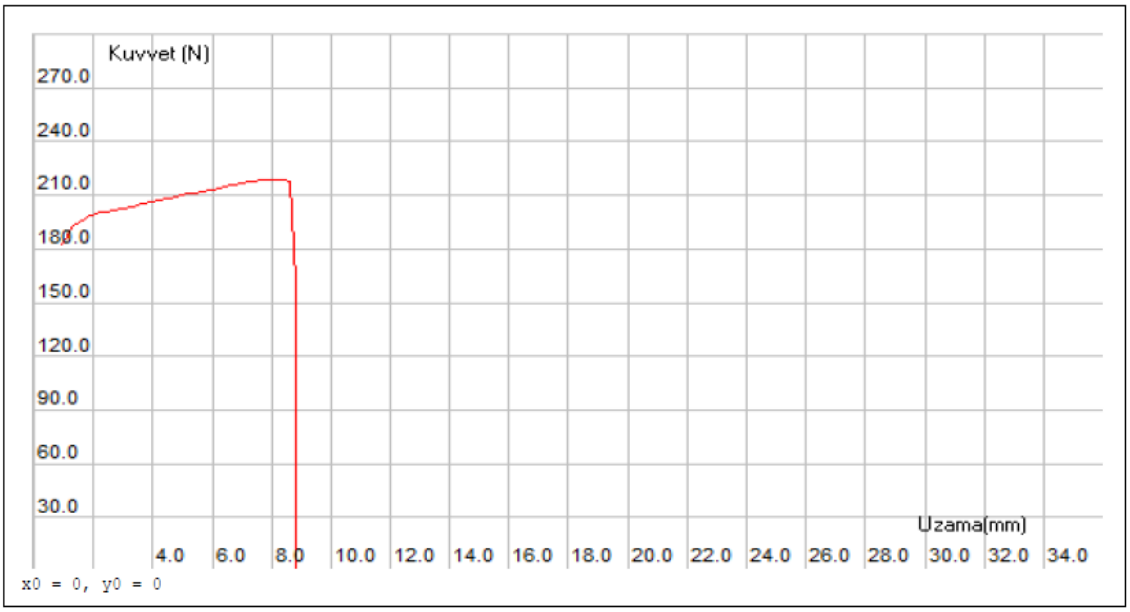
NUMUNE	KUVVET (N/m2)
1	37,76
2	154,6
3	222,97
4	87,75
5	95,1
6	203,75
7	70,9
8	73,74
9	73,66
10	86,26
11	11,9
12	174,92
13	97,74
14	104,66
15	77
16	96,4
17	163,87
18	203,58
19	241,6
20	120
21	116,8
22	206,5
23	84,64
24	97,98
27	221,8
28	196,7
29	98,91
30	85,7

3.2. Çekme Testi Sonuçları

Yatay Numune Testi

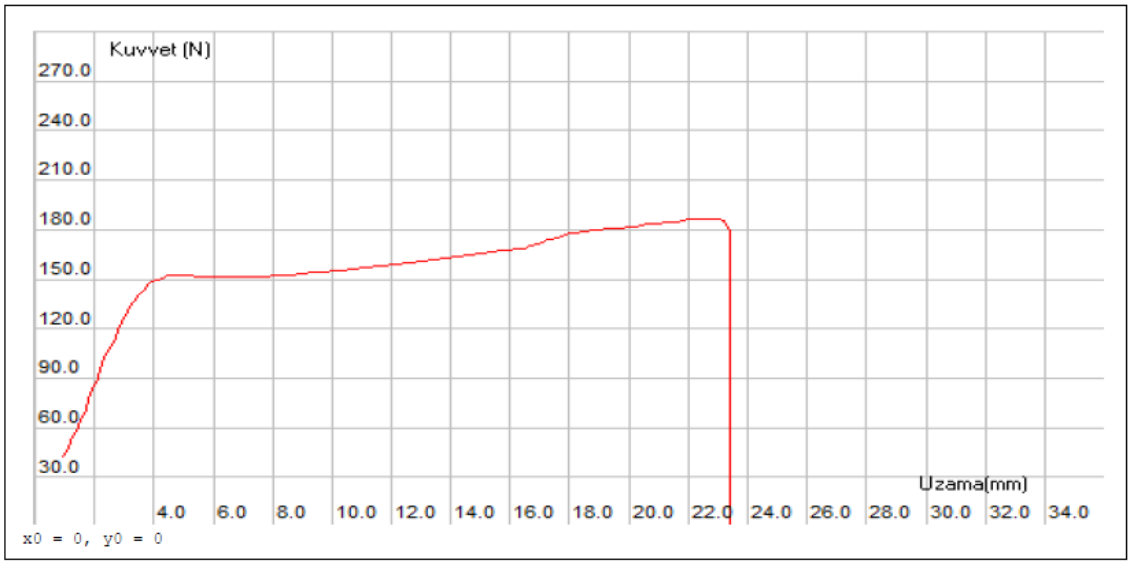
Tablo 3.2. Çekme testi yatay numunelerin sonuçları.

NUMUNE(Yatay)	KESİT ALANI(mm2)	Max Gerilme(Mpa)
1	1,8 mm2	121,6
2	1,8 mm2	103,8
3	1,8 mm2	170,1
4	1,8 mm2	129
5	1,8 mm2	109
6	1,8 mm2	129,1
7	1,8 mm2	165,4
8	1,8 mm2	132,9
9	1,8 mm2	148
10	1,8 mm2	112,3
11	1,8 mm2	131,6
12	1,8 mm2	123,4
13	1,8 mm2	141,3
14	1,8 mm2	112,9
16	1,8 mm2	156,6
17	1,8 mm2	100,9
18	1,8 mm2	132,4
19	1,8 mm2	141,8
20	1,8 mm2	6
21	1,8 mm2	166,2
22	1,8 mm2	132,4
23	1,8 mm2	113
24	1,8 mm2	120
28	1,8 mm2	217,6
29	1,8 mm2	152,6
30	1,8 mm2	123,7



	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	218.8	8.2	121.6	218.2	8.6	24.6

Şekil 3.1. Kesit alanı 1.8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. parçanın yatay test sonuçları



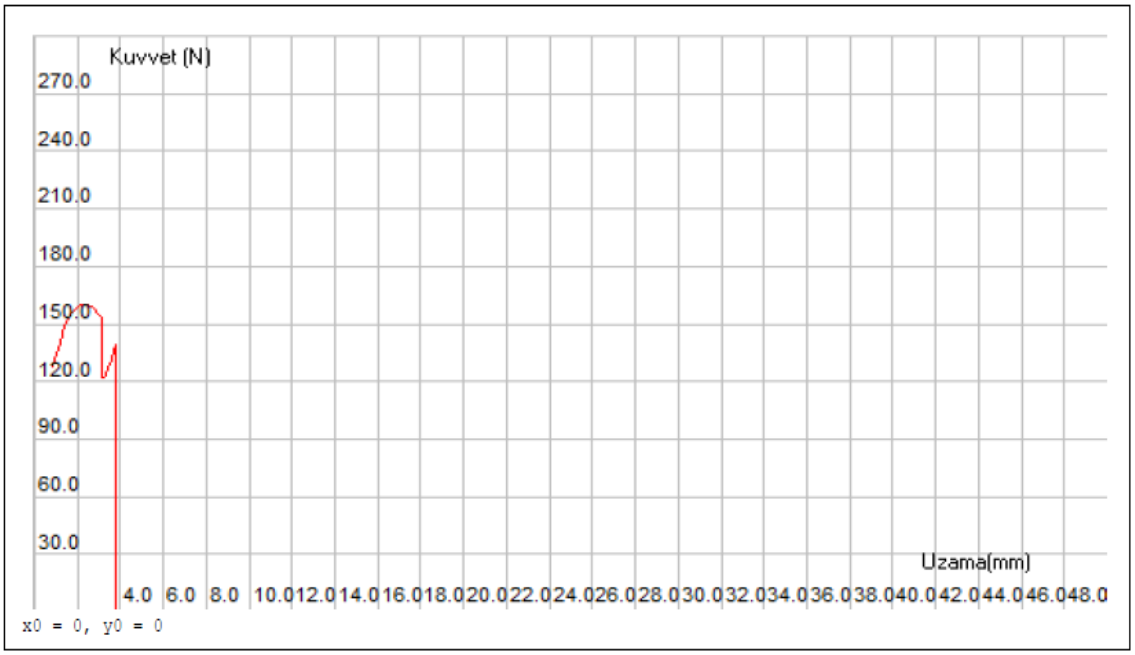
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	186.8	22.4	103.8	186.0	23.2	66.3

Şekil 3.2. Kesit alanı 1.8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. parçanın yatay test sonuçları

Dikey Numune Testi

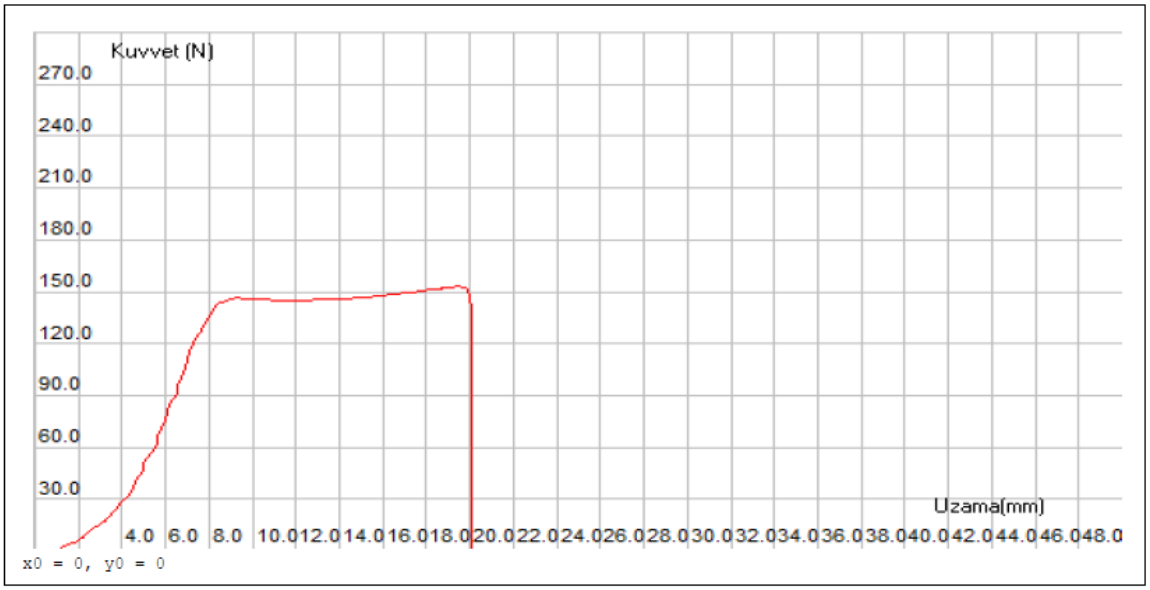
Tablo 3.3. Çekme testi dikey numunelerin sonuçları.

NUMUNE(Dikey)	KESİT ALANI(mm2)	Max Gerilme(Mpa)
1	1,8 mm2	88,8
2	1,8 mm2	85
3	1,8 mm2	115,3
4	1,8 mm2	84,2
5	1,8 mm2	96,3
6	1,8 mm2	95,2
7	1,8 mm2	92,4
8	1,8 mm2	79,6
9	1,8 mm2	100,8
10	1,8 mm2	117,9
11	1,8 mm2	96,1
12	1,8 mm2	104,6
13	1,8 mm2	107,4
14	1,8 mm2	132,4
16	1,8 mm2	80,7
17	1,8 mm2	105,1
18	1,8 mm2	90
19	1,8 mm2	104,1
20	1,8 mm2	100,9
21	1,8 mm2	109,1
22	1,8 mm2	107,3
23	1,8 mm2	111,2
24	1,8 mm2	103,3
28	1,8 mm2	10,6
29	1,8 mm2	75,8
30	1,8 mm2	103,7



	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	159.8	2.3	88.8	159.4	2.7	7.7

Şekil 3.3. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. Parçanın dikey test sonuçları.



	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	153.0	19.4	85.0	152.4	19.9	56.9

Şekil 3.4. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. Parçanın dikey test sonuçları.

3.3. Bölgesel Ağırlık Testi Sonuçları

Tablo 3.4. Numunelerin bölgesel kalınlıkları tablosu.

NUMUNE	ALT(gr)	ORTA(g)	ÜST(gr)
1	2,08	14,38	13,04
2	3,5	11,97	14,04
3	6,64	12	11,04
4	3,48	13,31	12,54
5	3,43	11,62	14,46
6	6,29	12,36	10,94
7	2,38	14	13,06
8	2,92	13,36	13,14
9	3,17	15,58	13,54
10	3,33	12,26	13,69
11	4,13	12,21	13,07
12	5,83	11,51	12,23
13	2,81	13,68	13,11
14	2,93	12,02	14,6
15	3,45	12,42	13,6
16	3,16	12,98	13,31
17	5,31	11,13	13,06
18	7,13	11,69	13,48
19	5,41	13,03	11,03
20	3,9	12,31	13,24
21	5,54	13,41	10,54
22	6,17	12,97	10,3
23	3,74	11,61	13,97
24	3,52	12,35	13,65
28	4,88	13,8	10,8
29	3,31	13,56	14,51
30	3,26	12,22	13,75

3.4. Bölgesel Kalınlık Testi Sonuçları

Tablo 3.5. Numunelerin bölgesel kalınlıkları tablosu.

Numune	1(mm)	2(µm)	3(µm)	4(µm)	5(µm)	6(µm)	7(µm)	8(mm)
1	0,22	343	357	335	282	230	177	0,31
2	0,23	281	314	313	266	226	168	0,56
3	0,18	206	196	249	370	293	286	0,98
4	0,19	293	312	391	309	239	165	0,64
5	0,21	256	231	230	219	244	172	0,63
6	0,19	244	241	251	298	318	319	0,98
7	0,18	298	355	383	336	197	155	0,29
8	0,23	268	253	263	230	224	163	0,82
9	0,22	252	274	272	250	271	155	0,59
10	0,21	307	307	294	290	246	208	0,43
11	0,22	255	249	281	233	240	209	0,81
12	0,2	200	209	227	241	277	282	0,76
13	0,24	305	340	332	289	311	168	0,4
14	0,24	252	232	205	205	256	137	0,23
15	0,22	260	242	267	240	229	213	0,65
16	0,22	259	263	272	249	253	133	0,65
17	0,2	230	226	218	218	260	293	0,48
18	0,18	257	285	335	373	309	280	0,85
19	0,18	300	265	335	343	337	286	0,76
20	0,23	313	295	300	282	237	190	1,1
21	0,2	267	289	342	398	280	275	0,71
22	0,19	237	260	351	391	369	325	0,97
23	0,18	256	226	254	295	247	187	1,01
24	0,2	343	312	281	270	204	180	0,83
28	0,2	268	231	269	356	341	260	0,75
29	0,2	281	332	328	293	290	198	0,36
30	0,21	222	302	282	228	193	144	0,59

3.5. Çatlatma Deneyi Test Sonuçları

Tablo 3.6. Çatlatma deneyi sonuçları.

NUMUNE	BASINÇ(BAR)	SÜRE(dak)
1	5	105
2	5	61
3	6	0
4	6	122
5	6	15
6	6	0
7	6	10
8	6	0
9	6	180
10	6	15
11	6	25
12	6	60
13	6	100
14	6	60
15	6	30
16	6	885
17	6	25
18	6	180
19	6	0
20	6	12
21	6	0
22	7	0
23	6	21
24	6	180
28	6	0
29	6	5
30	6	80

3.6. Patlatma Deneyi Test Sonuçları

Tablo 3.7. Patlatma deneyi test sonuçları

NUMUNE	BAR
1	12,27
2	9,66
3	9,04
4	10,16
5	9,09
6	10,99
7	11,8
8	12,23
9	10,68
10	9,24
11	6,84
12	9,28
13	9,27
14	9,69
15	11,02
16	11,11
17	9,03
18	5,73
19	4,34
20	10,48
21	4,41
22	6,24
23	9,49
24	10,16
28	5,74
29	12,06
30	10,04

3.7. TG Sıcaklığı Testi Sonuçları (DSC)

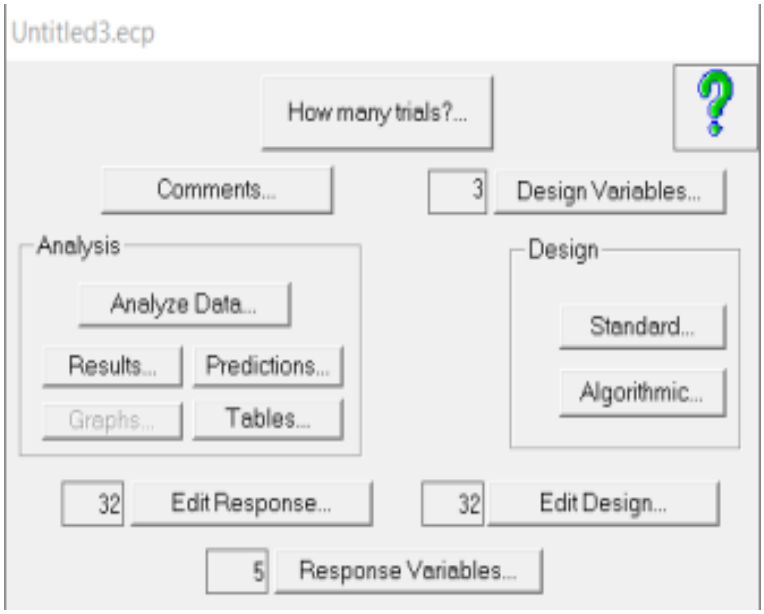
Tablo 3.8. DSC ile elde edilen camsı geçiş (Tg) sıcaklığına ait sonuçlar

NUMUNE	TG(HALF Cp °C)
1	65,96
2	87,13
3	85,88
4	84,78
5	72,66
6	92
7	76,2
8	88,75
9	92,3
10	116,18
11	76,26
12	102,62
13	78,13
14	92,2
15	62,3
16	70,3
17	84,18
18	88,19
19	57,3
20	83,25
21	88,9
22	84,52
23	84,6
24	94,9
28	33,5
29	92,9
30	67,4

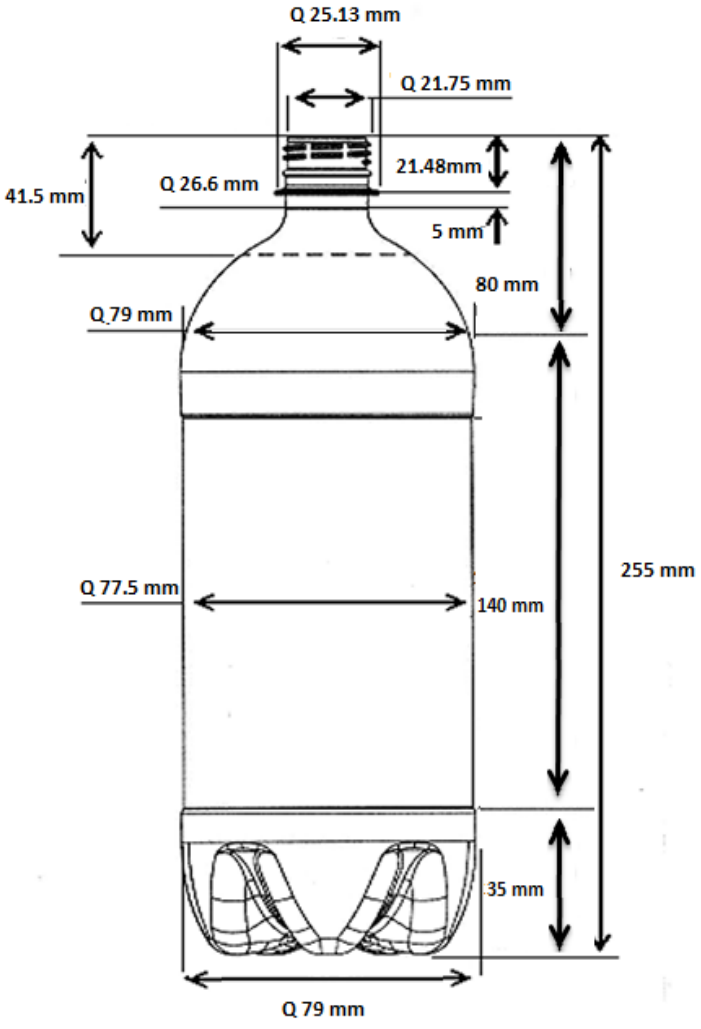
Tg değerlerinde ise 116,18 santigrat değeriyle 10 numaralı numuneyi görüyoruz.

Alınan sonuçlar değerlendirilmek üzere ECHIP-7 programına girilmek üzere hazırlanmıştır.

Bulunan değerler programın her bir çıktısında ayrı olarak girilecek ve sonuçlar değerlendirilecektir.



Şekil 3.5. ECHIP-7 Program ana menü



Şekil 3.6. PET şişenin genel ölçüleri

Process Parameters	
SCREW	
Diameter (mm)	55
Screw speed (rpm)	0-165
Nozzle Diameter (mm)	8
HOT RUNNER BLOCK (°C)	
Sprue	275
Block	275
Nozzle	280
BARREL TEMPERATURE (°C)	
Front	270
Middle	280
Rear	280
Nozzle	275
INJECTION PRESSURE	
Primary (MPa)	140.7
Injection rate (g/s)	192
Shot volume (cm^3)	500
STRETCH BLOW MOLDING	
Cold preform temperature (°C)	10
Preform re-heat temperature (°C)	90
Pre-blow (MPa)	0.09
Final blow (MPa)	2.5
Machine Oil Temperature (°C)	18
Stretch Rod Speed (m/s)	1.0
Stretch rod outside diameter (mm)	12
Process time (sec)	2.0

Şekil 3.7. Proses parametreleri

4. BÖLÜM

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Sonuçlar

```
Summary results by sources

 TOP-LOAD
 .    BURST-PRESSURE
 .    .    GLASS-TEMPERATURE
 .    .    .    PANEL-WEIGHT
 .    .    .    .    STRESS-CRACKING
-------------------------------
 .    .    .    .    .      2 FINAL-PRESSURE
 .    .    .    **   .      2 TEMPERATURE
  *    *   .    .    **     2 STRETCH-ROD
 .    .    .     *   .      4 TEMPERATURE*FINAL-PRESSURE
 .    .    .     *    *     4 STRETCH-ROD*FINAL-PRESSURE
```

Şekil 4.1. ECHIP-7 çıktıları

Şekil-4.1'deki verilen çıktılar ışığında bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

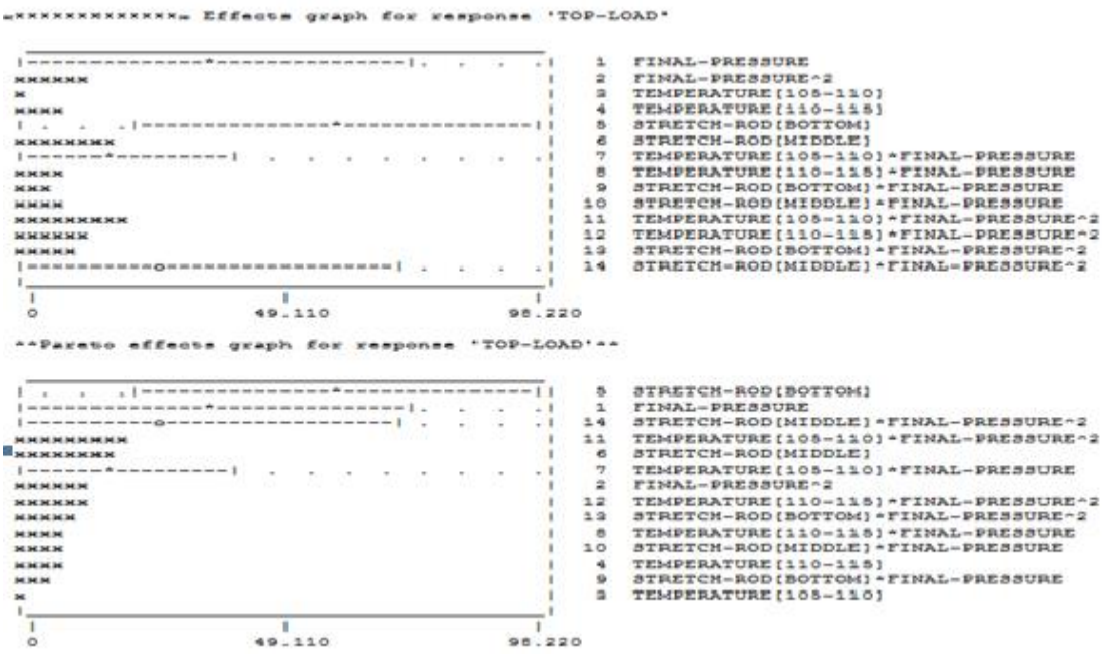
1-Şişe üretiminde nihai şeklin verildiği son basınç değerinin şişenin yük taşıma kapasitesi, patlama basınç dayanımı, çevresel gerilim çatlaması, Tg sıcaklığı ve panel ağırlığı üzerine etkisinin olduğu söylenemez. Dolayısıyla yukarıda bahsedilen unsurlar üzerine etki eden faktörün ilk basınç değeri söylenebilir ancak bu kısmın çalışılması gerekmektedir.

2-Preform yüzey sıcaklığı panel ağırlığını direkt etkilemiş ancak yük taşıma kapasitesini etkilemediği görülmektedir. Buradan şişenin yük taşıma kapasitesini etkileyen faktörün içyapı gibi faktörler ile açıklanabileceğidir.

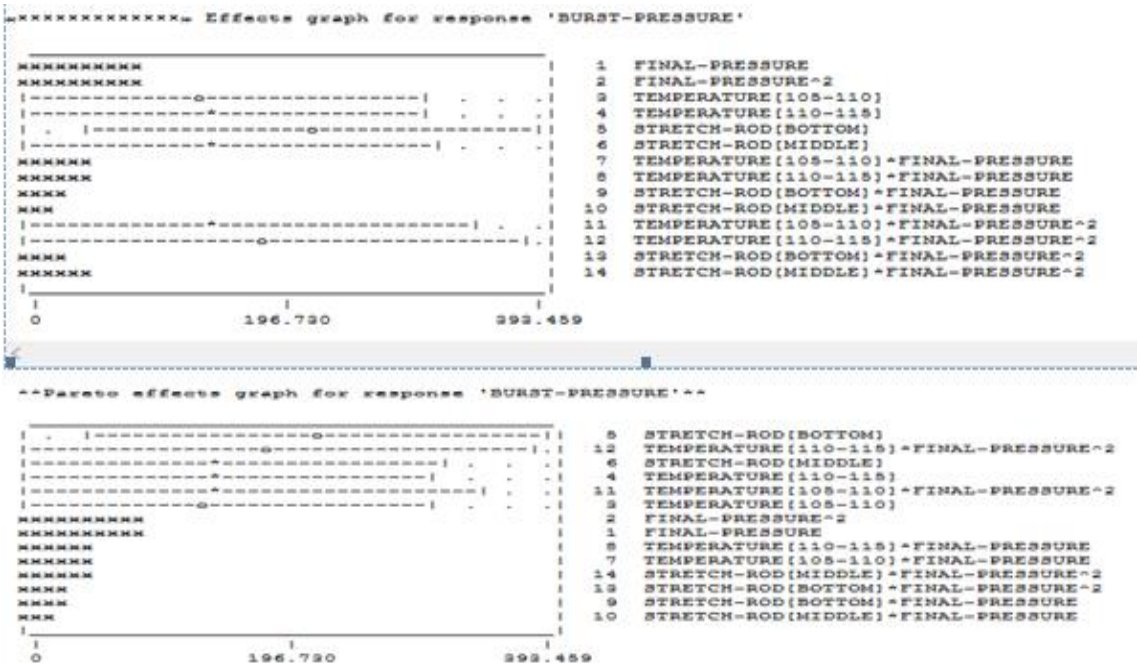
3- Gerdirme- şişirme- kalıplama üretim prosesinde en önemli parametrelerden birisi gerdirme milinin hareketidir. Gerdirme mili bu çalışmalarda da görüleceği üzere

çevresel gerilim çatlama dayanımı ciddi bir şekilde etkilenmiştir. Dolaylı olarak iç basınç dayanımını ve yük taşıma kapasitesini de etkilediği anlaşılmaktadır. Nasıl etkilediği konusunda daha ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

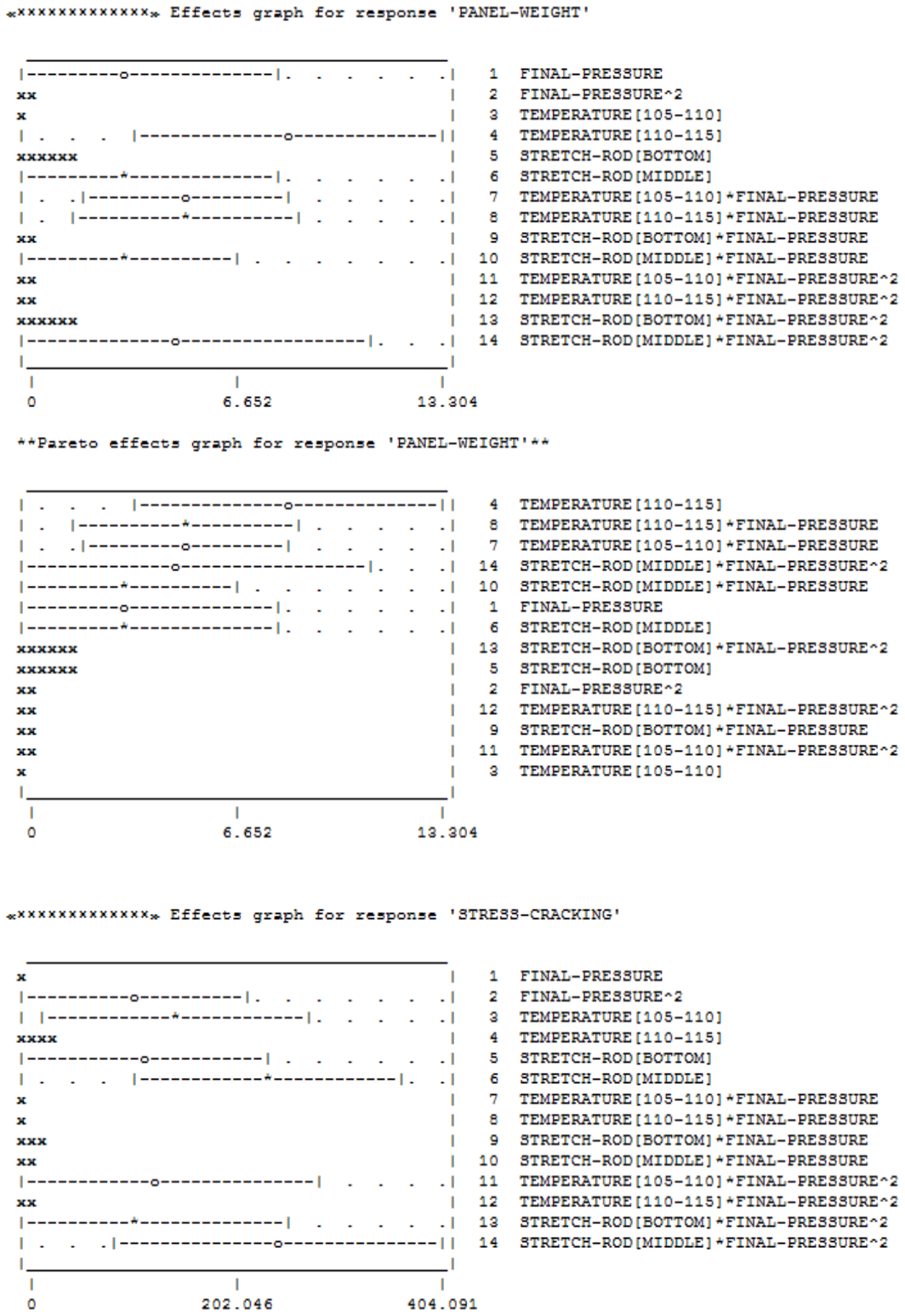
4- Statik etkiler düşünüldüğünde “preform yüzey sıcaklığı x son basınç” ile “gerdirme mili x son basınç” faktörünü de gerilme çatlama dayanımı ve panel ağırlığını etkilemektedir.



Şekil 4.2. ECHIP-7 çıktıları



Şekil 4.3. ECHIP-7 çıktıları



Şekil 4.4. ECHIP-7 çıktıları

```
xxxxxxxxxxxxx Effects for response 'TOP-LOAD'

EFFECTS   RESLTN SIG   TERM

114.833                  0 CONSTANT
 36.202   74.165         1 FINAL-PRESSURE
 12.857   46.589         2 FINAL-PRESSURE^2
  1.833   42.019         3 TEMPERATURE[105-110]
  8.333   46.220         4 TEMPERATURE[110-115]
 60.333           **     5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
-17.500   57.685         6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
 15.794   41.520         7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
 -9.601   37.511         8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
 -6.601   34.511         9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
 -9.425   35.529        10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
 20.622   68.337        11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
-12.857   59.915        12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
 11.476   58.533        13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
-24.930   72.849        14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


Residual SD     = 41.145727
Replicate SD    = 31.306549

N terms             = 15
N unique trials     = 27
N replicates        = 5
N total trials      = 32
Cross val  RMS = 59.590627
```

Şekil 4.5. ECHIP-7 çıktıları

```
xxxxxxxxxxxxx Effects for response 'BURST-PRESSURE'

 EFFECTS    RESLTN SIG   TERM

 872.571                  0 CONSTANT
 -92.378   260.316        1 FINAL-PRESSURE
  93.701   242.920        2 FINAL-PRESSURE^2
-129.571   307.340        3 TEMPERATURE[105-110]
 144.143   311.745        4 TEMPERATURE[110-115]
-225.857             *    5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
 145.429   323.198        6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
 -53.865   167.669        7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
  58.022   181.488        8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
 -32.978   156.443        9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
  27.155   142.634       10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
 139.603   350.680       11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
-178.249   386.418       12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
  39.085   247.254       13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
 -52.709   264.693       14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


Residual SD     = 182.018223
Replicate SD    = 0.000000

N terms             = 15
N unique trials     = 27
N replicates        = 5
N total trials      = 32
Cross val  RMS = 293.237717
```

Şekil 4.6. ECHIP-7 çıktıları

```
«xxxxxxxxxxxxx» Effects for response 'GLASS-TEMPERATURE'

   EFFECTS     RESLTN SIG  TERM

  8421.119                  0 CONSTANT
  1238.577   2614.486       1 FINAL-PRESSURE
  -456.574   1679.125       2 FINAL-PRESSURE^2
 -1625.786              *   3 TEMPERATURE[105-110]
  1382.571              *   4 TEMPERATURE[110-115]
    19.238   1392.399       5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
  -310.119   1766.576       6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
  -186.231   1118.624       7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
  -152.288   1163.841       8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
   195.878   1207.431       9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
  -313.606   1259.722      10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
  1814.350              *  11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
  -832.116   2537.639      12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
  -179.283   1884.806      13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
     6.308   1743.087      14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


 Residual SD     = 1491.270750
 Replicate SD    = 0.000000

 N terms            = 15
 N unique trials    = 27
 N replicates       = 5
 N total trials     = 32
 Cross val  RMS = 2287.508688
```

Şekil 4.7. ECHIP-7 çıktıları

```
«xxxxxxxxxxxxx» Effects for response 'PANEL-WEIGHT'

 EFFECTS   RESLTN SIG  TERM

 127.310                  0 CONSTANT
  -3.186    8.119         1 FINAL-PRESSURE
  -0.467    4.849         2 FINAL-PRESSURE^2
   0.024    5.245         3 TEMPERATURE[105-110]
  -8.381           **     4 TEMPERATURE[110-115]
  -1.714    6.637         5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
   3.024    8.245         6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
  -5.176           **     7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
   5.260           **     8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
   0.426    4.053         9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
   3.262    6.654        10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
  -0.348    6.548        11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
  -0.462    6.576        12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
  -1.962    8.076        13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
  -4.911   11.137        14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


 Residual SD     = 5.346174
 Replicate SD    = 0.000000

 N terms            = 15
 N unique trials    = 27
 N replicates       = 5
 N total trials     = 32
 Cross val  RMS = 8.130272
```

Şekil 4.8. ECHIP-7 çıktıları

```
 -832.116   2537.639          12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
 -179.283   1884.806          13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
    6.308   1743.087          14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


Residual SD     = 1491.270750
Replicate SD    = 0.000000

N terms            = 15
N unique trials    = 27
N replicates       = 5
N total trials     = 32
Cross val  RMS = 2287.508688

«xxxxxxxxxxxx» Effects for response 'PANEL-WEIGHT'

EFFECTS  RESLTN SIG  TERM

127.310                  0 CONSTANT
 -3.186    8.119         1 FINAL-PRESSURE
 -0.467    4.849         2 FINAL-PRESSURE^2
  0.024    5.245         3 TEMPERATURE[105-110]
 -8.381           **     4 TEMPERATURE[110-115]
 -1.714    6.637         5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
  3.024    8.245         6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
 -5.176           **     7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
  5.260           **     8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
  0.426    4.053         9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
  3.262    6.654        10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
 -0.348    6.548        11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
 -0.462    6.576        12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
 -1.962    8.076        13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
 -4.911   11.137        14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


Residual SD     = 5.346174
Replicate SD    = 0.000000
```

Şekil 4.9. ECHIP-7 çıktıları

```
N terms            = 15
N unique trials    = 27
N replicates       = 5
N total trials     = 32
Cross val  RMS = 8.130272

«xxxxxxxxxxxx» Effects for response 'STRESS-CRACKING'

EFFECTS  RESLTN SIG  TERM

152.262                  0 CONSTANT
  6.258 129.919          1 FINAL-PRESSURE
-107.620 217.498          2 FINAL-PRESSURE^2
151.071           *      3 TEMPERATURE[105-110]
-33.810 157.224          4 TEMPERATURE[110-115]
-113.810 237.224          5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
236.071           **     6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
 -2.757  86.557           7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
  2.538  93.452           8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
 22.704 113.619           9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
 15.685 100.719          10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
-128.439 283.866          11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
 15.168 168.454          12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
103.334 256.620          13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
-247.996          **     14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


Residual SD     = 134.029712
Replicate SD    = 0.000000

N terms            = 15
N unique trials    = 27
N replicates       = 5
N total trials     = 32
Cross val  RMS = 226.332677
```

Şekil 4.10. ECHIP-7 çıktıları

```
«xxxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'BURST-PRESSURE'

 Centered continuous variables

  COEFFICIENTS        SD         P     CONDITION  TERM

        872.571                                    0 CONSTANT
       -9.23782        7.95982 0.2619-    0.975    1 FINAL-PRESSURE
        3.74804        2.82905 0.2028-    0.982    2 FINAL-PRESSURE^2
       -129.571        84.2581 0.1425     0.462    3 TEMPERATURE[105-110]
        144.143        79.4393 0.0873     0.512    4 TEMPERATURE[110-115]
       -225.857        79.4393 0.0112     0.500    5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
        145.429        84.2581 0.1025     0.461    6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
       -10.7731         10.788 0.3320-    0.847    7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
        11.6045        11.7039 0.3353-    0.864    8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
       -6.59551        11.7039 0.5804-    0.831    9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
        5.43109        10.9468 0.6262-    0.831   10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
        5.58414        4.00179 0.1809     0.457   11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
       -7.12995        3.94668 0.0886     0.512   12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
        1.56339        3.94668 0.6969-    0.495   13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
       -2.10836          4.019 0.6066-    0.453   14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


N trials          = 32
N terms           = 15

Residual SD    = 182.018223
Residual DF    = 17
Residual SD used for tests

Replicate SD   = 0.000000
Replicate DF   = 5
Cross val  RMS = 293.237717

R Squared      = 0.619, P=0.0914
Adj R Squared  = 0.306
Maximum Cook-Weisberg LD influence (scaled 0-1)  = 0.856
- This term may be eliminated
```

Şekil 4.11. ECHIP-7 çıktıları

```
«xxxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'GLASS-TEMPERATURE'

 Centered continuous variables

  COEFFICIENTS        SD         P     CONDITION  TERM

        8421.12                                    0 CONSTANT
        123.858        65.2146 0.0746     0.975    1 FINAL-PRESSURE
        -18.263        23.1784 0.4416-    0.982    2 FINAL-PRESSURE^2
       -1625.79        690.324 0.0308     0.462    3 TEMPERATURE[105-110]
        1382.57        650.844 0.0486     0.512    4 TEMPERATURE[110-115]
        19.2381        650.844 0.9768-    0.500    5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
       -310.119        690.324 0.6589-    0.461    6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
       -37.2462        88.3862 0.6787-    0.847    7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
       -30.4577        95.8902 0.7546-    0.864    8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
        39.1756        95.8902 0.6880-    0.831    9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
       -62.7212        89.6871 0.4938-    0.831   10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
         72.574        32.7866 0.0408     0.457   11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
       -33.2847         32.335 0.3177-    0.512   12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
       -7.17132         32.335 0.8271-    0.495   13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
       0.252326        32.9276 0.9940-    0.453   14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


N trials          = 32
N terms           = 15

Residual SD    = 1491.270750
Residual DF    = 17
Residual SD used for tests
```

Şekil 4.12. ECHIP-7 çıktıları

```
     -8.38095        2.33326 0.0022    0.512      4 TEMPERATURE[110-115]
     -1.71429        2.33326 0.4725-   0.500      5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
      3.02381         2.4748 0.2384    0.461      6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
     -1.03513       0.316863 0.0045    0.847      7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
      1.05192       0.343764 0.0071    0.864      8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
    0.0852564       0.343764 0.8071-   0.831      9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
     0.652372       0.321526 0.0584    0.831     10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
   -0.0139267       0.117539 0.9071-   0.457     11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
   -0.0184799        0.11592 0.8752-   0.512     12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
   -0.0784799        0.11592 0.5075-   0.495     13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
    -0.196427       0.118045 0.1144    0.453     14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2

N trials          = 32
N terms           = 15

Residual SD    = 5.346174
Residual DF    = 17
Residual SD used for tests

Replicate SD   = 0.000000
Replicate DF   = 5
Cross val  RMS = 8.130272

R Squared      = 0.852, P=0.0001 ***
Adj R Squared  = 0.731
Maximum Cook-Weisberg LD influence (scaled 0-1)  = 1.000
Maximum absolute Studentized residual = 3.516  P=0.0002 ***
- This term may be eliminated
```

Şekil 4.13. ECHIP-7 çıktıları

```
«xxxxxxxxxxxx» Coefficients for response 'STRESS-CRACKING'

 Centered continuous variables

  COEFFICIENTS        SD         P     CONDITION  TERM

        152.262                                    0 CONSTANT
       0.625801        5.86124 0.9162-    0.975    1 FINAL-PRESSURE
        -4.3048        2.08318 0.0544     0.982    2 FINAL-PRESSURE^2
        151.071        62.0437 0.0262     0.462    3 TEMPERATURE[105-110]
       -33.8095        58.4954 0.5709-    0.512    4 TEMPERATURE[110-115]
        -113.81        58.4954 0.0684     0.500    5 STRETCH-ROD[BOTTOM]
        236.071        62.0437 0.0014     0.461    6 STRETCH-ROD[MIDDLE]
      -0.551474        7.94381 0.9455-    0.847    7 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE
       0.507532        8.61824 0.9537-    0.864    8 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE
        4.54087        8.61824 0.6051-    0.831    9 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE
        3.13707        8.06073 0.7020-    0.831   10 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE
       -5.13756        2.94673 0.0993     0.457   11 TEMPERATURE[105-110]*FINAL-PRESSURE^2
       0.606708        2.90615 0.8371-    0.512   12 TEMPERATURE[110-115]*FINAL-PRESSURE^2
        4.13337        2.90615 0.1730     0.495   13 STRETCH-ROD[BOTTOM]*FINAL-PRESSURE^2
       -9.91985        2.95941 0.0038     0.453   14 STRETCH-ROD[MIDDLE]*FINAL-PRESSURE^2


N trials          = 32
N terms           = 15

Residual SD    = 134.029712
Residual DF    = 17
Residual SD used for tests

Replicate SD   = 0.000000
Replicate DF   = 5
Cross val  RMS = 226.332677

R Squared      = 0.604, P=0.1142
Adj R Squared  = 0.277
Maximum Cook-Weisberg LD influence (scaled 0-1)  = 1.000
Maximum absolute Studentized residual = 3.834  P=0.0000 ***
- This term may be eliminated
```

Şekil 4.14. ECHIP-7 çıktıları

KAYNAKLAR

1. Bjorksten, J., Tovey, H., Harker, B., Henning, J. (1956), "Polyesters and their Applications", London, UK., Chapman and Hall. Blundell, D. J., Oldman, R. J., Fuller, W. (1999), "**Orientation and Crystallization Mechanisms**
2. Bonnebat, C., Roullet, G., de Vries, A. J. (1981),"Biaxially Oriented Poly(Ethylene Terephthalate) Bottles: Effects of Resin Molecular Weight on Parison Stretching Behavior", **Polymer Engineering Science**, **21**,189-195.
3. Erwin, L., Pollock, M. A., Gonzalez, H. (1983),"Blowing of Oriented PET Bottles: Predictions of Free Blown Size and Shape", **Polymer Engineering Science**, **23**, 826-829.
4. Cakmak, M., Spruiell, J. E., White, J. L. (1984), "A Basic Study of Orientation in Poly(Ethylene Terephthalate) Stretch-Blow Molded Bottles", **Polymer Engineering Science**, **24**, 1390-1395.
5. Leigner, F. P. (1985), "Free-Blown PET Preforms Characterize Blown Bottles", **Plastics Engineering 41**, 47-51.
6. Lyu, M. Y., Pae, Y. (2003), "Bottom Design of Carbonated Soft Drink Poly(Ethylene Terephthalate) Bottle to Prevent Solvent Cracking", **Journal of Apply Polymer Science**, **88**, 1145- 1152.
7. Dominghaus, H. (1993), "Plastic for Engineering: Materials, Properties, Applications", New York, USA, Hanser Publishers.
8. Wang, S., Makinouchi, A., Nakagawa, T. (1998), "Three-Dimensional Viscoplastic FEM Simulation of a Stretch Blow Molding Process", **Advances in Polymer Technology**, **17**, 189-202.
9. Vander Plaats, G. N. (1999), "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design", Colorado Springs, USA, Vander Plaats Research & Development Inc.
10. Yilmazer, U., Xanthos, M., Bayram, G., Tan, V.(2000), "Viscoelastic Characteristics of Chain Extended/Branched and Linear Polyethylene Terephthalate Resins", **Journal of Applied Polymer Science**, **75**, 1371-1377.
11. Joel, R. F. (1995), "Polymer Science and Technology", Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice Hall PTR

12. Chang, S., Sheau, M. F., Chen, S. M. (1983), "Solid-State Polymerization of Poly(Ethy1eneTerephthalate)", **Journal Applied Polymer Science**, **28**, 3289-3300.
13. Cobbs, W. H., Jr., Burton, R. L. (1953), "Crystallization of Polyethylene Terephthalate", **Journal of Polymer Science**, **10**, 275-290.
14. Robertson, G.L. (1993), "Food Packaging: Principles and Practice", New York, USA, Marcel Dekker Inc.
15. Jabarin, S.A. (1984), "Orientation Studies of Poly(Ethylene Terephthalate)", **Polymer Engineering and Science**, **24,** 376-384.
16. Strobl, G. (1997), "The Physics of Polymers: Concepts for Understanding Their Structures and Behavior" Berlin, Germany, Springer.
17. Varma, P., Lofgren, E.A., Jabarin, S.A. (1998), "Properties and Kinetics of Thermally Crystallized Orientated Poly(Ethylene Terephthalate) (PET) I: Kinetics of Crystallization", **Polymer Engineering and Science**, **38**, 237-244.
18. Benning, C. J. (1983), "Plastic Films for Packaging", Lancaster, Pennsylvania, Technomic Publishing Co.
19. Groeninckx, G., Berghmans, H., Smets, G. (1976), **"**Morphology and Modulus-Temperature Behavior of Semicrystalline Poly(Ethylene Terephthalate) (PET)", **Journal of Polymer Science**, **Polymer Physic, 14**, 591-602.
20. Starkweather, H. W., JR., Moore, G. E., Hansen, J. E., Roder, T. M., Brooks, R. E. (1956), "Effect of Crystallinity on The Properties of Nylons " **Journal of Polymer Science**, **21**, 189-204.
21. Dixon, E. R., Jackson, J. B. (1968), "The Inter-relation of Some Mechanical Properties with Molecular Weight and Crystallinity in Poly(Ethylene Terephthalate)", **Journal of Material Science**, 3, 464-470.
22. Collins, E. A., Bares, J., Billmeyer, F. W. (1973), "Experiments in Polymer Science", New York, USA, John Wiley and Sons.
23. Jabarin, S.A. (1982), "Optical Properties of Thermally Crystallized Poly(Ethylene Terephthalate)", **Polymer Engineering and Science**, **22**, 815-820.
24. Salem, D.R. (1998), "Microstructure Development during Constant-Force Drawing of Poly(Ethylene Terephthalate) Film", **Polymer, 39**, 7067-7077.

25. Miller, M. L. (1966), “The Structure of Polymers”, New York, USA, Reinhold Publishing Corp.

26. Mark, H. F., Bikales, N. M., Overberger, C. G., Menges, G. (1985), “Organophosphorus polymers”, **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 10**, 595-618.

27. Munk, P., Aminabhavi, T.M. (2002), “Introduction to Macromolecular Science”, New York, USA, John Wiley & Sons, Inc.

28. Newman, S., Cox, W.P. (1960), “The Glass Temperature of Semicrystalline Polymers”, **Journal of Polymer Science**, **46**, 29-49.

29. Illers, H., Breuer, H. (1963),”Molecular Motions in Polyethylene Terephthalate”, **Journal of Colloid Science**, **18**, 1-31.

30. Ito, E. (1974), “Studies of The Amorphous Region of Polymers. I. Relationship Between the Change of Structure and Glass-Transition Temperature in Drawn Poly(Ethylene Terephthalate)”, **Journal of Polymer Science, Polymer Physic**, **12**, 1477-1483.

31. Lee, S. C., Min, B, G. (1999), “Depression of Glass Transition Temperature Due to The Chain Extension in Glassy State”, **Polymer, 40**, 5445-5448.

32. Struik, L. C. E. (1978), “Physical Aging of Amorphous Polymer and other Materials”, Amsterdam, Elsevier applied science publishers.

33. Keller, K., Lester, G. R. (1954), Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, London, UK, A247, 1-34.

34. Rybnikar, F. (1960),”Secondary Crystallization of Polymers”, **Journal of Polymer Science, 44**, 517-522.

35. Lu, X. F., Hay, J. N. (2001), “Isothermal Crystallization Kinetics and Melting Behaviour of Poly(Ethylene Terephthalate)”, **Polymer, 42**, 9423-9431.

36. Misra, A., Stein, R. S. (1972), “Light Scattering Studies of The Early Stages of The Crystallization of Poly(Ethylene Terephthalate)”, **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters, 10**, 473-477.

37. Jabarin, S. A. (1987), “Crystallization Kinetics of Polyethylene Terephthalate. I. Isothermal Crystallization from The Melt”, **Journal Applied Polymer Science**, **34(1),** 85-96.

38. Keller, A. (1955),"The Spherulitic Structure of Crystalline Polymers. Part I. Investigations with The Polarizing Microscope", **Polymer Science, 17(84)**, 291-308.

39. Ozawa, T. (1971),"Kinetics of Non-Isothermal Crystallization", **Polymer, 12(3)**, 150-158.

40. Misra, A., Stein, R. S. (1975),"Stress-Induced Crystallization of Poly(Ethylene Terephthalate)", **Journal Polymer Science, Polymer Physic, 17**, 235-257.

41. Venkateswaran, G., Cameron, M. R., Jabarin, S. A. (1998), "Effects of Temperature Profiles Through Preform Thickness on The Properties of Reheat-Blown PET Containers", **Advances in Polymer Technology**, **17**, 237-349.

42. Marco, Y., Chevalier, L., Poitou, A. (2002), "Induced Crystallization and Orientation of Poly(Ethylene Terephthalate) During Uniaxial and Biaxial Elongation", **Macromolecule Symposium**, **185**, 15-34.

43. Zagarola, S. W. (1998), "Designing PET Preform Injection Molding Process for The Lightest Practical Weight Offers Opportunities for Improved Productivity and Quality", *Conference Proceedings, SPE ANTEC*, Atlanta, USA.

44. Hanley, T., Sutton, D., Cookson, D., Koisor, E., Knott, R. (2006), "Molecular Morphology of Petaloid Bases of PET Bottles: A Small-Angle X-Ray Scattering Study", **Journal of Polymer Science**, **99**, 3328-3335.

45. Chevalier, L. (1999), "Influence of Microstructure Evolution on Mechanical Strength of Blown Poly(Ethylene Terephthalate)", **Plastics Rubber and Composites**, **28**, 385-392

46. Yang, Z. J., Jones, E. H., Menary, G. H., Armstrong, C. G. (2004), "A Non-Isothermal Finite Element Model for Injection Stretch-Blow Molding of PET Bottles with Parametric Studies", **Polymer Engineering Science**, **44**, 1379-1390.

47. Blundell, D. J., Oldman, R. J., Fuller, W. (1999), "Orientation and Crystallization Mechanisms During Fast Drawing of Poly(Ethylene Terephthalate) ", **Polymer Bulletin, 42**, 357-363.

48. Blundell, D. J., Mahendrasingam, A., Martin, C. (2000),"Orientation Prior to Crystallization During Drawing of Poly(Ethylene Terephthalate)", **Polymer, 41**, 7793-7802.

49. Mahendrasingam, A., Martin, C., Fuller, W., Blundell, D. J, (1999), "Effect of Draw Ratio and Temperature on The Strain-Induced Crystallization of Poly (Ethylene Terephthalate) at Fast Draw Rates", **Polymer**, **40**, 5553-5565.

50. Everall, N., MacKerron, D., Winter, D. (2002), "Characterization of Biaxial Orientation Gradients in Poly(Ethylene Terephthalate) Films and Bottles Using Polarized Attenuated Total Reflection FTIR Spectroscopy ", **Polymer**, **43**, 4217-4223.

51. Boyer, R. F. (1975),"Glassy Transitions in Semi-Crystalline Polymers" **Journal Polymer Science Symposium**, **50**, 189-242

52. Starkweather, H. W., Richard, J. R., Brooks, R. E. (1959), "Effect of Spherulites on The Mechanical Properties of Nylon 66", ***Journal Applied Polymer Science***, **1**, 236-239.

53. Ohlberg, S. M., Roth, J., Raff, R. A. V. (1959), "Relationship between impact strength and spherulite growth in linear polyethylene", ***Journal Applied Polymer Science*****, 1**, 114-120.

54. Menary, G. H., Armstrong, C. G., Crawford, R. J., McEvoy, J. P. (2000),"Modelling of Poly(Ethylene Terephthalate) In Injection Stretch-Blow Moulding", **Plastic Rubber Composite, 29**, 360-370.

55. Martin, L., Stracovsky, D., Laroche, D., Bardetti, A., Ben-Yedder, R., DiRaddo, R. (1999),"Modeling and Experimental Validation of The Stretch Blow Moulding of PET", *Conference Proceedings*, *SPE ANTEC,* New York, USA

56. Pham, X. T., Thibault, F., Lim, L. T. (2004), "Modeling and Simulation of Stretch Blow Molding of Polyethylene Terephthalate", **Polymer Engineering and Science**, **44**, 1460-1472

57. Schmidt, F. M., Agassant, J. F., Bellet, M., Desoutter, L. (1966), "Viscoelastic Simulation of PET Stretch/Blow Molding", **Journal Non-Newtonian Fluid Mechanic**, **64**, 19-42.

58. Schmidt, F. M., Agassant, J. F., Bellet, M. (1998), "Experimental Study and Numerical Simulation of The Injection Stretch/Blow Molding Process", **Polymer Engineering and Science**, **38**, 1399-1412.

59. Huang, H. X., Yin, Z. S., Liu, J. H. (2006),"Visualization Study and Analysis on Preform Growth in Polyethylene Terephthalate Stretch Blow Molding", **Journal Applied Polymer Science**, **103**, 564-573.

60. Zagarola, S. W. (1998), "Designing PET Preform Injection Molding Process for The Lightest Practical Weight Offers Opportunities for Improved Productivity and Quality", *Conference Proceedings, SPE ANTEC*, Atlanta, USA.

61. Schmidt, F. M., Agassant, J. F., Bellet, M. (1998), "Experimental Study and Numerical Simulation of The Injection Stretch/Blow Molding Process", **Polymer Engineering and Science**, **38**, 1399-1412.

62. Zagarola, S. W. (2000), "Blow and Injection Molding Process Set-Ups Play a Key Role in Stress Crack Resistance for PET Bottles for Carbonated Beverages', *Conference Proceedings, SPE ANTEC*, Orlando, USA.

63. Monteix, S., Schmidt, F., Le Maoult, Y., Ben Yedder, R., Diraddo, R. W., Laroche, D. (2001),"Experimental Study and Numerical Simulation Of Preform or Sheet Exposed to Infrared Radiative Heating", **Journal of Materials Processing Technology**, **119**, 90-97.

64. Wang, S., Makinouchi, A., Nakagawa, T. (1998), "Three-Dimensional Viscoplastic FEM Simulation of a Stretch Blow Molding Process", **Advances in Polymer Technology**, **17**, 189-202.

65. Hanley, T., Sutton, D., Cookson, D., Koisor, E., Knott, R. (2006), "Molecular Morphology of Petaloid Bases of PET Bottles: A Small-Angle X-Ray Scattering Study", **Journal of Polymer Science**, **99**, 3328-3335.

66. Lebaudy, Ph., Grenet, J. (2001),"Heating Simulation of Multilayer Preforms", **Journal of Applied Polymer Science**, **80**, 2683-2689.

67. McEvoy, J. P., Armstrong, C. G., Crawford, R. J.(1998),"Simulation of the Stretch Blow Moulding Process of PET Bottles", **Advances in Polymer Technology**, **17**, 339-352.

68. Nyugen, K. T., Prystay, M. (1978), "An Inverse Method for Estimation of the Initial Temperature Profile and Its Evolution in Polymer Processing", **International Journal of Heat and Mass Transfer**, **42**, 1969-1978.

69. Bur, A. J., Wang, F. W., Thomas, C. L., Rose, J. L. (1994), "In-Line Optical Monitoring of Polymer Injection Molding", **Polymer Engineering Science**, **34**, 671-679.

70. Migler, K. B., Bur, A. J. (1998), "Fluorescence Based Measurement of Temperature Profiles During Polymer Processing", **Polymer Engineering Science**, **38**, 213-221.

71. Konno, M., Cui, A., Nishiwaki, N., Hori, S. (1993), "Measurement of The Polymer Melt Temperature in Injection Molding Machine by Using Ultrasonic Technique", Conference Proceedings, *SPE ANTEC*, New Orleans, USA.

72. Wadley, H. N. G., Norton, S. J., Mauer, F., Droney, B. (1986), "Ultrasonic Measurement of Internal Temperature ", Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series, London, UK, **A320**, 341-361.

73. Alfonso, G.C., Verdona, M.P., Wasiak A. (1978), "Crystallization Kinetics of Oriented Poly(Ethylene Terephthalate) from the Glassy State", **Polymer, 19**, 711–716.

74. Walter Michaeli, E. H. (2004)," Saving Time by Foam Injection Molding", Conference Proceedings, *SPE ANTEC*, Chicago, USA.

75. Yu, C. J., Sunderland, J. E. (1992), "Determination of Ejection Temperature and Cooling Time in Injection Molding", **Polymer Engineering Science, 32,** 191-197.

76. Liang J. Z., Ness, J. N. (1996), "The Calculation of Cooling Time in Injection Moulding", **Journal Material Processing Technology**, **57**, 62-64.

77. Stelson, K. A. (2003), "Calculating Cooling times for Polymer Injection Moulding", **Proceedings of the institution of Mechanical Engineers**, **217**, 709-713.

78. Thibault, F., Malo, A., Lanctot, B., Diraddo, R. (2007), "Preform shape and operating condition optimization for the stretch blow molding process", **Polymer engineering science**, **47**, 289-301

79. Lee D. K., Soh, S. K. (1996), "Prediction of Optimal Preform Thickness in Blow Molding", **Polymer Engineering Science**, **36**, 1513-1520.

80. Laroche, D., DiRaddo, R. W., Pecora, L. (1995), “Closed-loop optimization and integrated analysis of the blow moulding process”, *Conference Proceedings, Numiform,* New York, USA

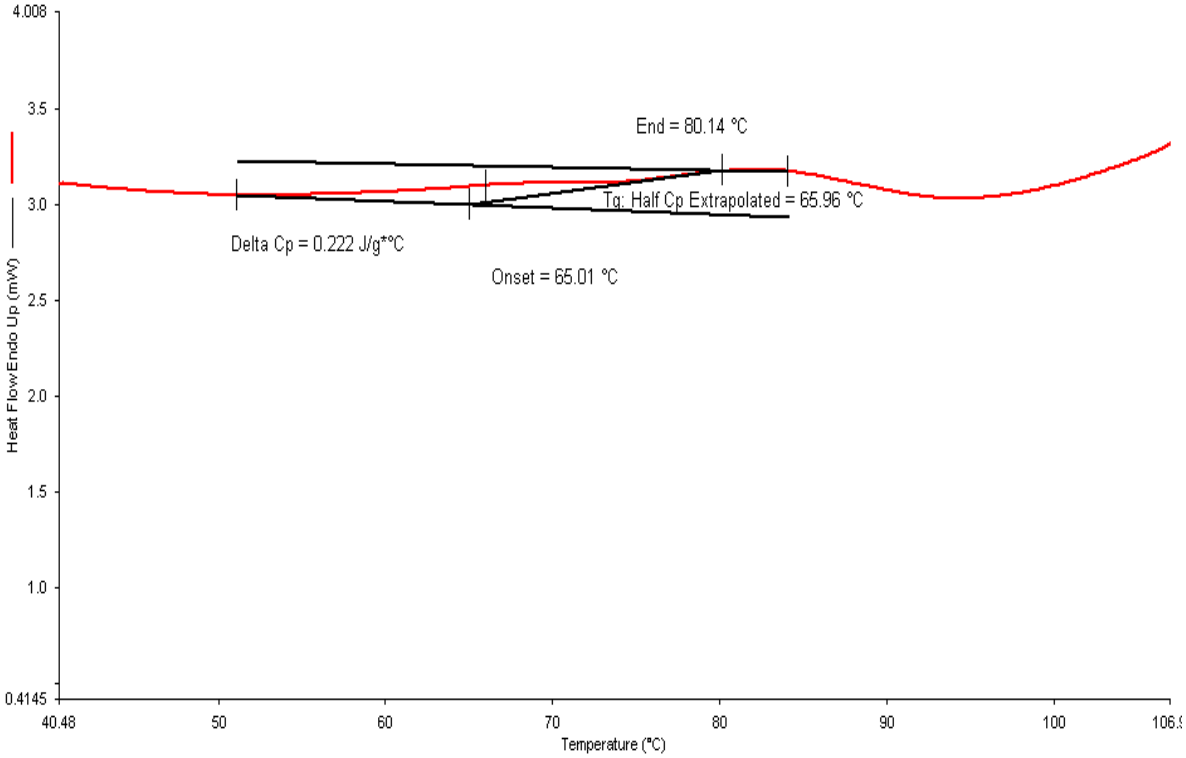
81. Gauvin, C., Thibault, F., Laroche, D. (2003), ”Optimization of Blow Molded Part Performance Through Process Simulation”, **Polymer Engineering Science**, **43**, 1407-1414.

82. Smith, D. E., Chen, C. J., Usman, M., Koskey, J. (1997), “Multi-Gate Injection Molding Process Optimization Using Design Sensitivity. Analysis”, American Society Mechanical Engineering, New York, USA

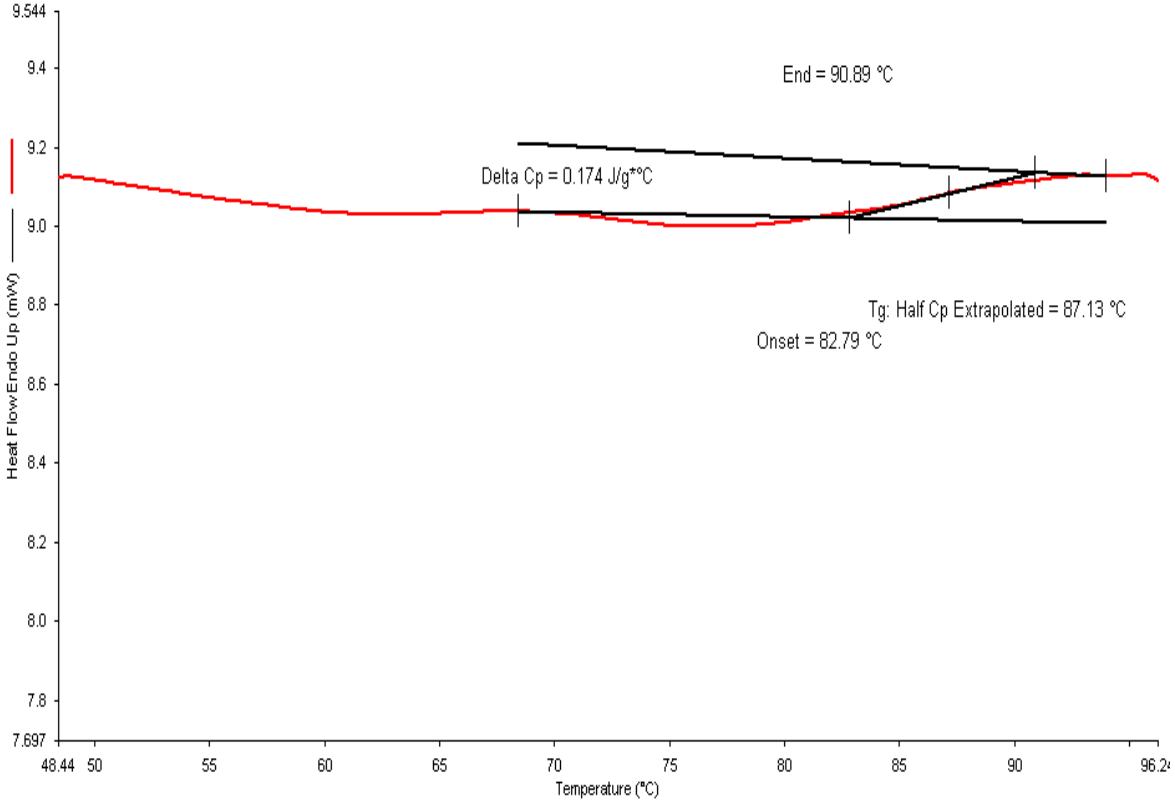
83. Kabanemi, K. K., He´tu, J. F., Derdouri, A. (2002) “Design Sensitivity Analysis Applied to Injection Molding for Optimization of Gate Location and Injection Pressure”, *Symposium Proceedings, National Research Council of Canada (NRC),* Boucherville, Canada

84. Xinhai, Z., Guogun, Z., Guangchun, W., Tonghai, W. (2006), “Sensitivity Analysis Based Multiple Objective Preform Die Shape Optimal Design in Metal Forging”, **J. Mater. Sci. Technol., 22**, 273-278.

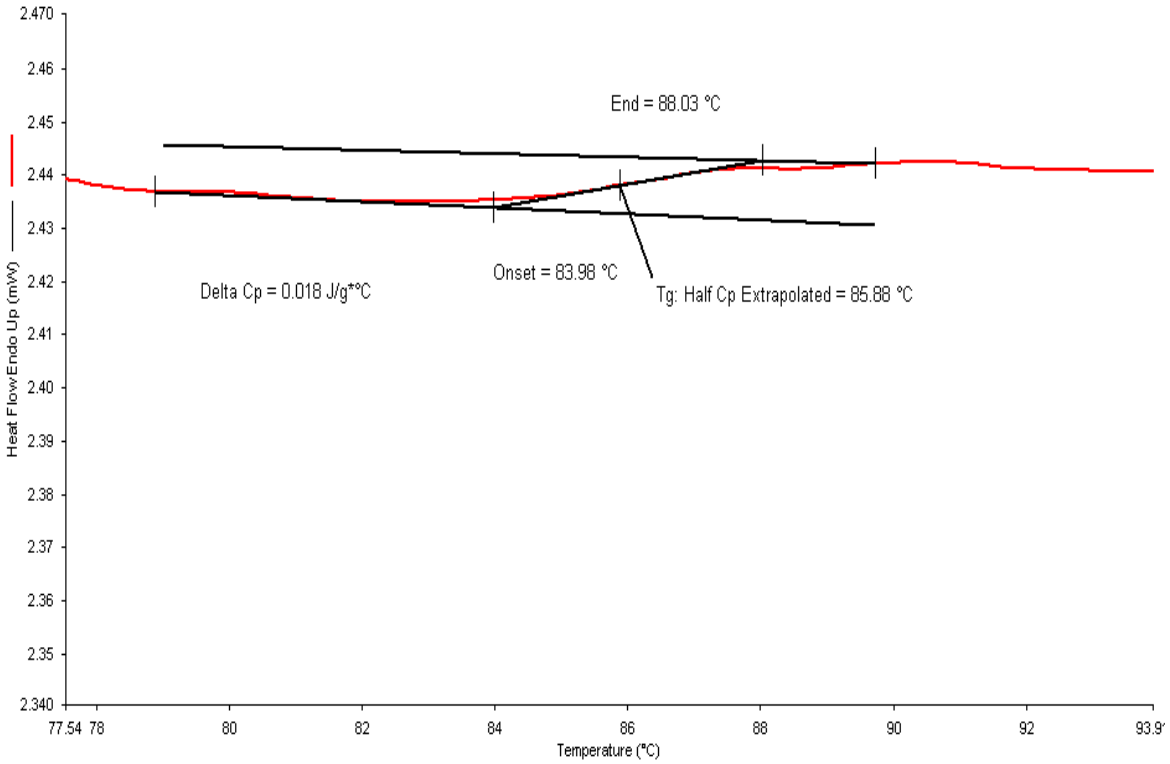
EKLER



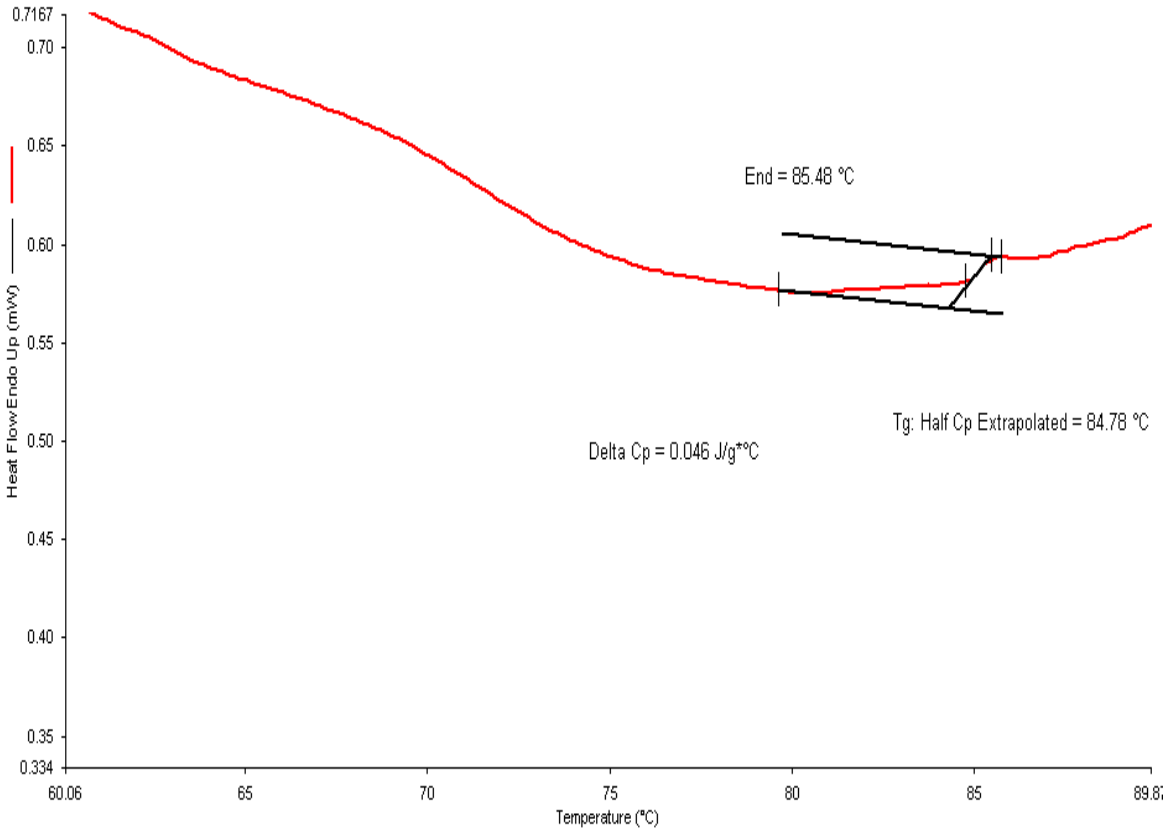
Şekil 4.15. 1. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı



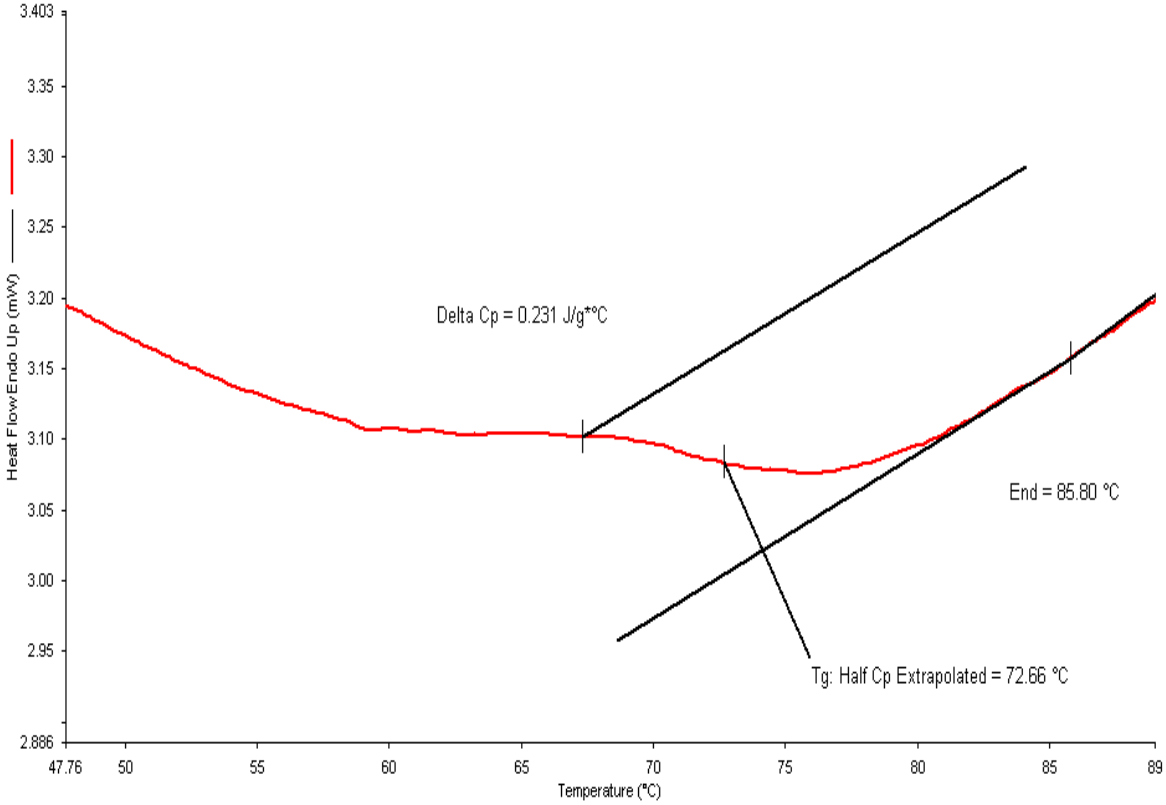
Şekil 4.16. 2. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı



Şekil 4.17. 3. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı



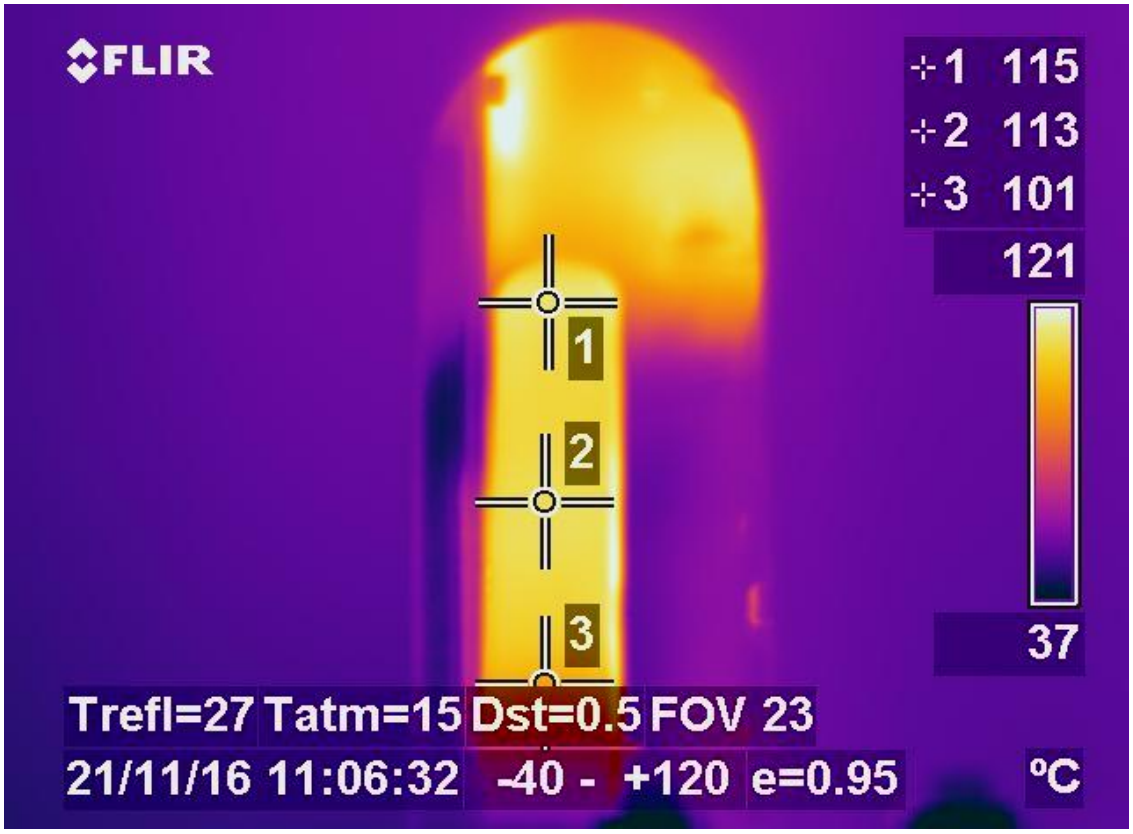
Şekil 4.18. 4. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı

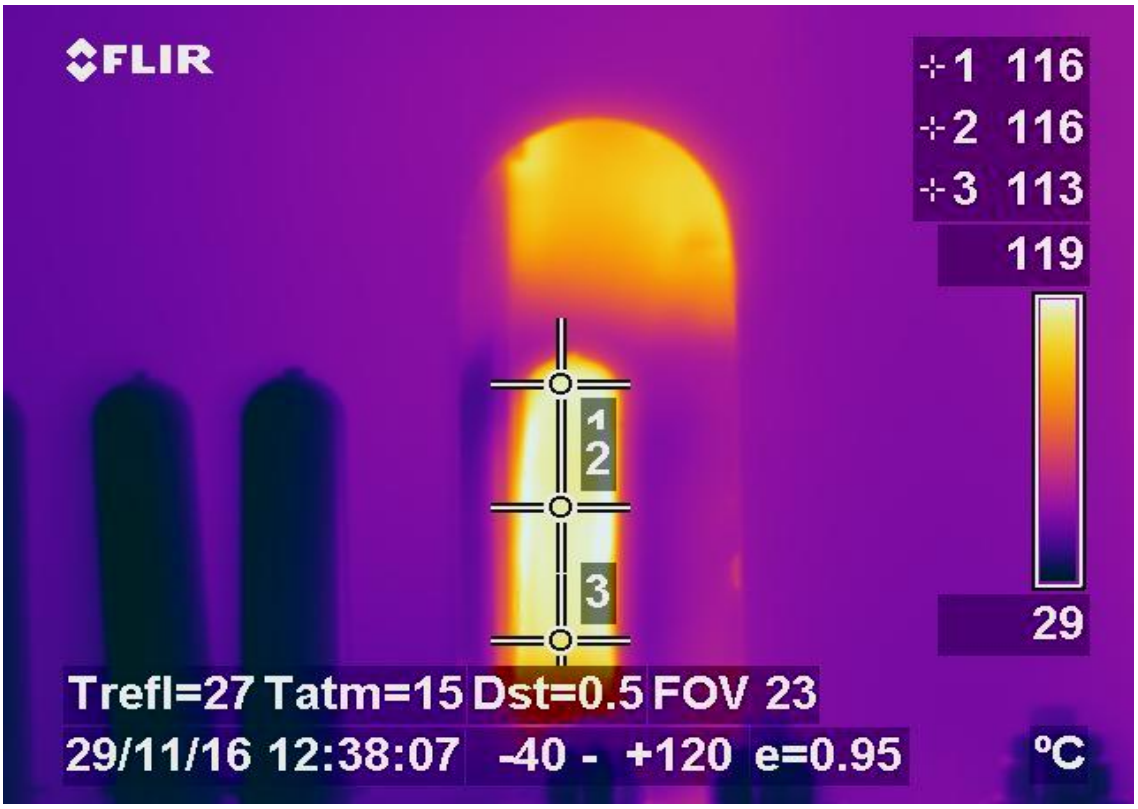


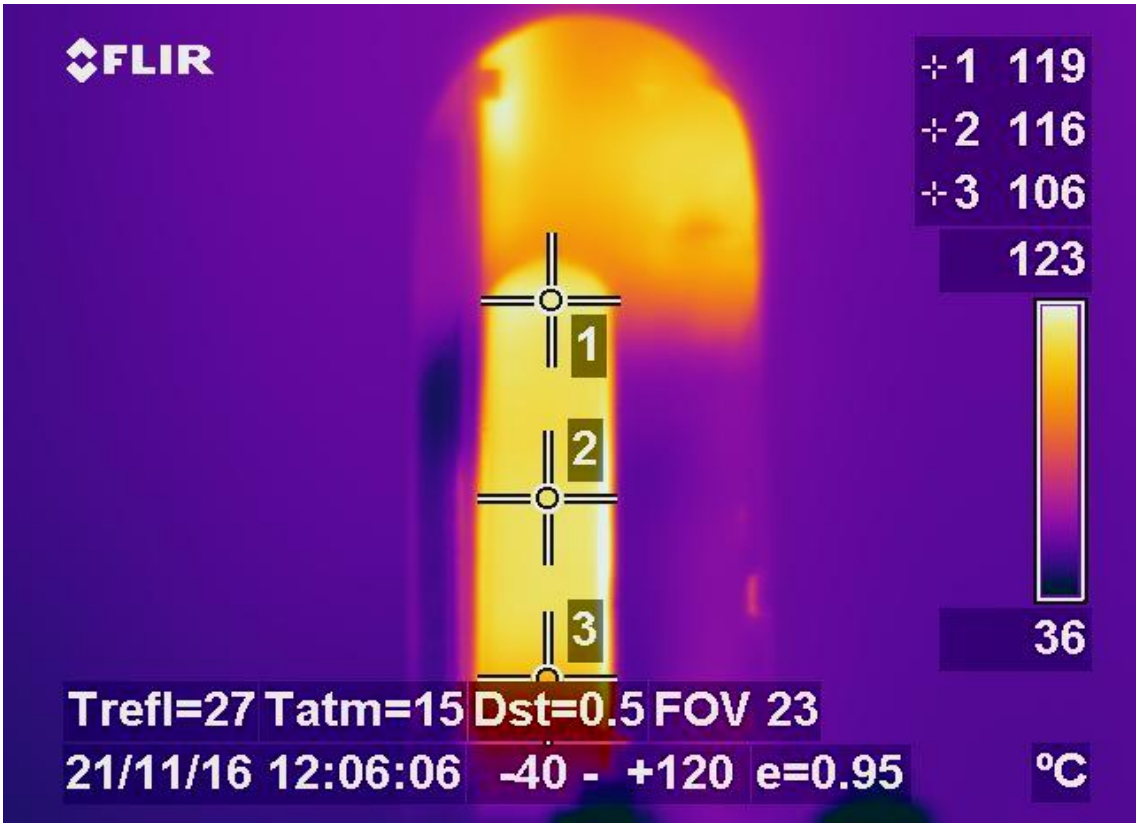
Şekil 4.19. 5. Numunenin ECHIP-7 programında belirlenen Tg sıcaklığı

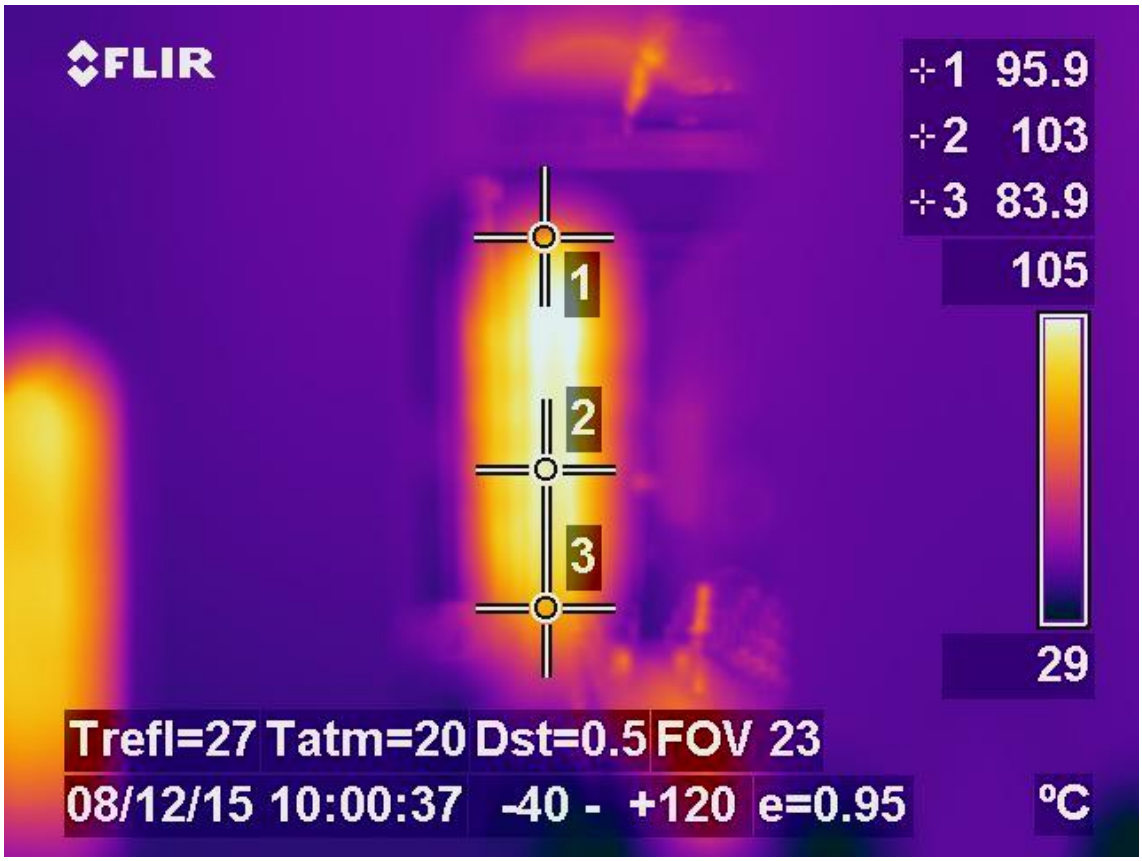


Şekil 4.20. Profil ısıtma makinesinin preforma uyguladığı sıcaklıklar ve bölgeleri gösterilmektedir. Çeşitli zamanlar da çekilmiş görüntüler.


FLIR
1 115
2 113
3 101
121
1
2
3
37
Trefl=27 Tatm=15 Dst=0.5 FOV 23
21/11/16 11:06:32 -40 - +120 e=0.95
°C


FLIR
1 116
2 116
3 113
119
1
2
3
29
Trefl=27 Tatm=15 Dst=0.5 FOV 23
29/11/16 12:38:07 -40 - +120 e=0.95
°C


FLIR
1 119
2 116
3 106
123
36
1
2
3
Trefl=27 Tatm=15 Dst=0.5 FOV 23
21/11/16 12:06:06 -40 - +120 e=0.95
°C


FLIR
1 95.9
2 103
3 83.9
105
29
1
2
3
Trefl=27 Tatm=20 Dst=0.5 FOV 23
08/12/15 10:00:37 -40 - +120 e=0.95
°C

Malzeme Dağılımı Test Sonuçları

Tablo 3.9. PET şişe malzeme dağılımı sonuçları.

NUMUNE NUMARASI	KAPAK(GR)	ORTA (GR)	ALT (GR)
1	15,6 gr	12,0 gr	4,6 gr
2	16,6 gr	11,9 gr	3,6 gr
3	16,5 gr	11,4 gr	4,2 gr
4	16,1 gr	11,5 gr	4,7 gr
5	16,4 gr	11,6 gr	4,2 gr
6	16,3 gr	11,6 gr	4,3 gr
7	16,6 gr	11,5 gr	4,0 gr
8	15,7 gr	11,9 gr	4,5 gr
9	16,1 gr	11,8 gr	4,3 gr
10	16,8 gr	11,5 gr	3,9 gr
11	15,9 gr	12,0 gr	4,6 gr

ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

NUMUNE PARAMETRELERİ;

- KALINLIK: 0,30 mm
- GENİŞLİK: 5,92 mm
- İLK BOY: 70,91 mm
- N/SECOND: 5,000

Tablo 3.10. Çekme testi sonuçları.

NUMUNE NUMARASI	YP(POİNTS) KUVVET(N)	KOPMA KUVVET(N)	ELASTİK KUVVET(N/mm^2)
1-ENİNE	101,026	203,667	4119,89
1-BOYUNA	111,898	210,050	2265,40
2-ENİNE	153,748	288,471	4541,87
2-BOYUNA	132,364	251,145	3702,24
3-ENİNE	154,491	200,168	2969,61
3-BOYUNA	121,708	227,067	3433,28
4-ENİNE	140,891	203,813	3453,85
4-BOYUNA	115,097	211,115	2691,64
5-ENİNE	137,723	241,985	3467,96
5-BOYUNA	123,725	229,133	3098,74
6-ENİNE	141,031	217,969	3397,97
6-BOYUNA	117,917	204,724	2727,71
7-ENİNE	140,669	245,881	3533,69
7-BOYUNA	115,199	217,131	2790,33
8-ENİNE	110,815	205,449	3433,91
8-BOYUNA	121,036	219,760	2794,20
9-ENİNE	149,519	214,607	3455,52
9-BOYUNA	119,799	222,400	2745,05
10-ENİNE	140,573	215,826	3563,60
10-BOYUNA	116,793	209,934	2474,61
11-ENİNE	136,355	249,271	3262,19
11-BOYUNA	116,491	179,133	2623,13

BASMA TESTİ SONUÇLARI

NUMUNE PARAMETRELERİ;

- UZUNLUK:255 mm
- ET KALINLIĞI:0.23 mm
- DIŞ ÇAP: 80.60 mm
- ALAN: 5.313 mm^2
- KG/SANİYE:0.250

Tablo 3.11. Basma testi sonuçları gösterilmiştir.

NUMUNE NUMARASI	MAXİMUM KUVVET
1	10,73785 kgf
2	11,60123 kgf
3	10,44244 kgf
4	8.7185 kgf
5	9,54877 kgf
6	10,56283 kgf
7	9,54319 kgf
8	10,74513 kgf
9	10,1907 kgf
10	9,32840 kgf
11	13.24395 kgf

KALINLIK DAĞILIMI KAPAK –ORTA – ALT

KAPAK BÖLGESİ

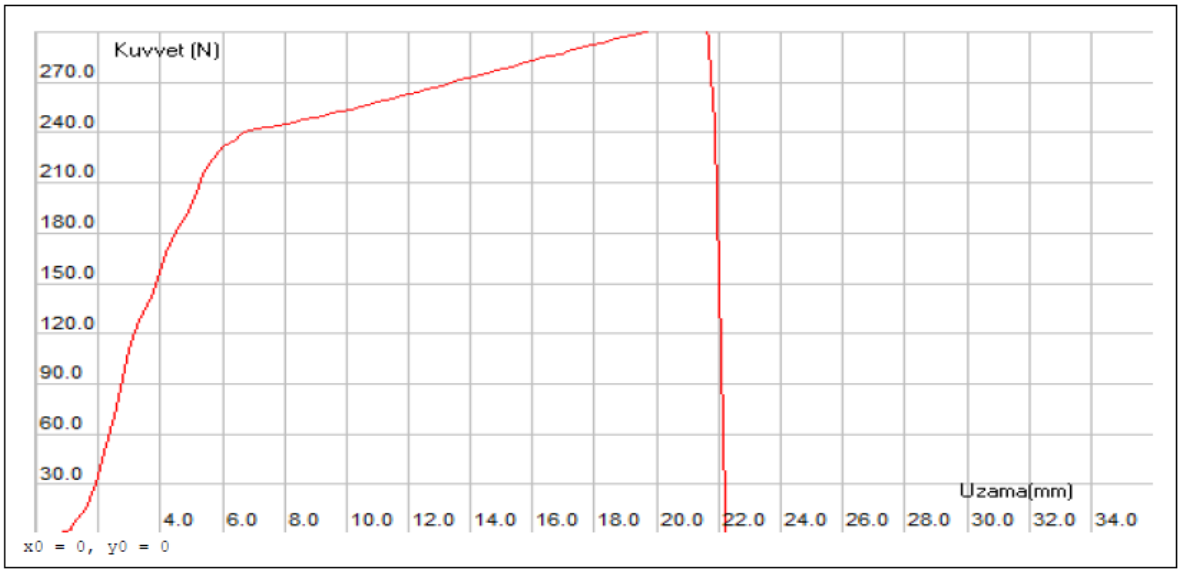
Numune	1.Nokta	2.nokta	3. nokta	4. nokta
1	2.32mm	1.45mm	0.25mm	0.19mm
2	2.25mm	1.57mm	0.40mm	0.24mm
3	2.16mm	1.60mm	0.51mm	0.20mm
4	2.20mm	1.80mm	0.33mm	0.20mm
5	2.14mm	1.77mm	0.40mm	0.23mm
6	2.22mm	1.49mm	0.40mm	0.23mm
7	2.25mm	1.56mm	0.37mm	0.24mm
8	2.24mm	1.65mm	0.33mm	0.18mm
9	2.22mm	1.68mm	0.29mm	0.19mm
10	2.15mm	1.91mm	0.80mm	0.23mm
11	2.20mm	1.77mm	0.38mm	0.21mm

ORTA BÖLGE

Numune	5.nokta	6. nokta	7.nokta	8.nokta
1	0.22mm	0.24mm	0.23mm	0.23mm
2	0.25mm	0.24mm	0.22mm	0.20mm
3	0.21mm	0.20mm	0.20mm	0.20mm
4	0.18mm	0.21mm	0.20mm	0.22mm
5	0.20mm	0.21mm	0.20mm	0.21mm
6	0.20mm	0.21mm	0.22mm	0.20mm
7	0.22mm	0.21mm	0.22mm	0.20mm
8	0.25mm	0.24mm	0.24mm	0.26mm
9	0.20mm	0.22mm	0.22mm	0.20mm
10	0.22mm	0.22mm	0.21mm	0.21mm
11	0.22mm	0.21mm	0.20mm	0.21mm

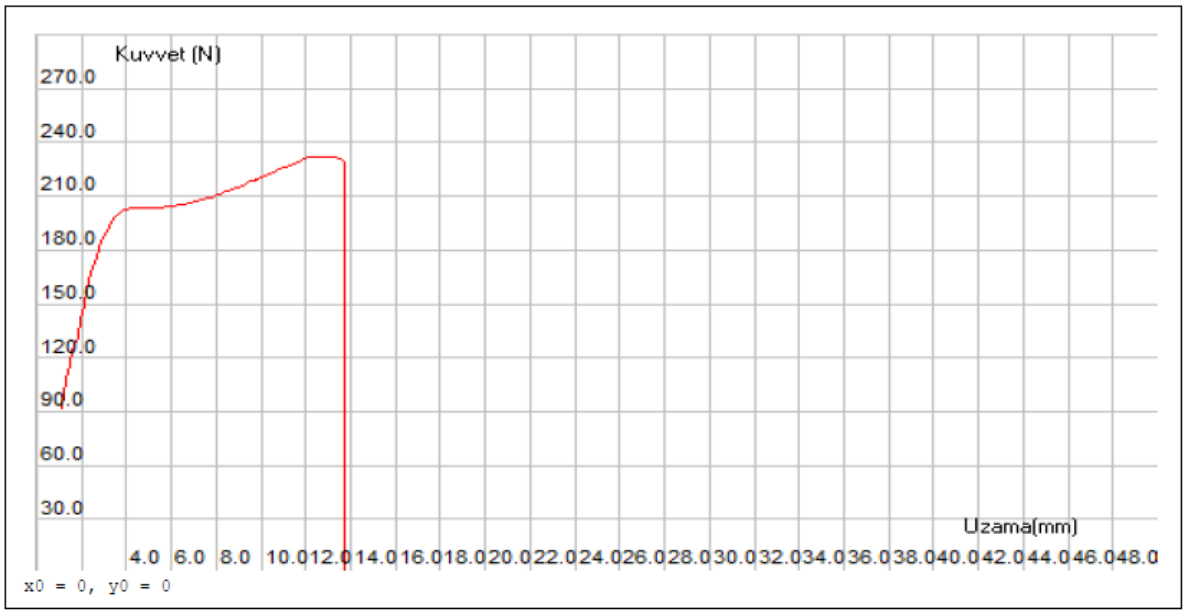
ALT BÖLGE

Numune	9.nokta	10.nokta	11.nokta
1	0.36mm	0.09mm	1.53mm
2	0.51mm	0.11mm	1.58mm
3	0.39mm	0.10mm	1.42mm
4	0.50mm	0.14mm	1.63mm
5	0.48mm	0.16mm	1.68mm
6	0.47mm	0.12mm	1.42mm
7	0.47mm	0.14mm	1.51mm
8	0.39mm	0.08mm	1.48mm
9	0.43mm	0.15mm	1.68mm
10	0.40mm	0.14mm	1.45mm
11	0.52mm	0.16mm	1.68mm



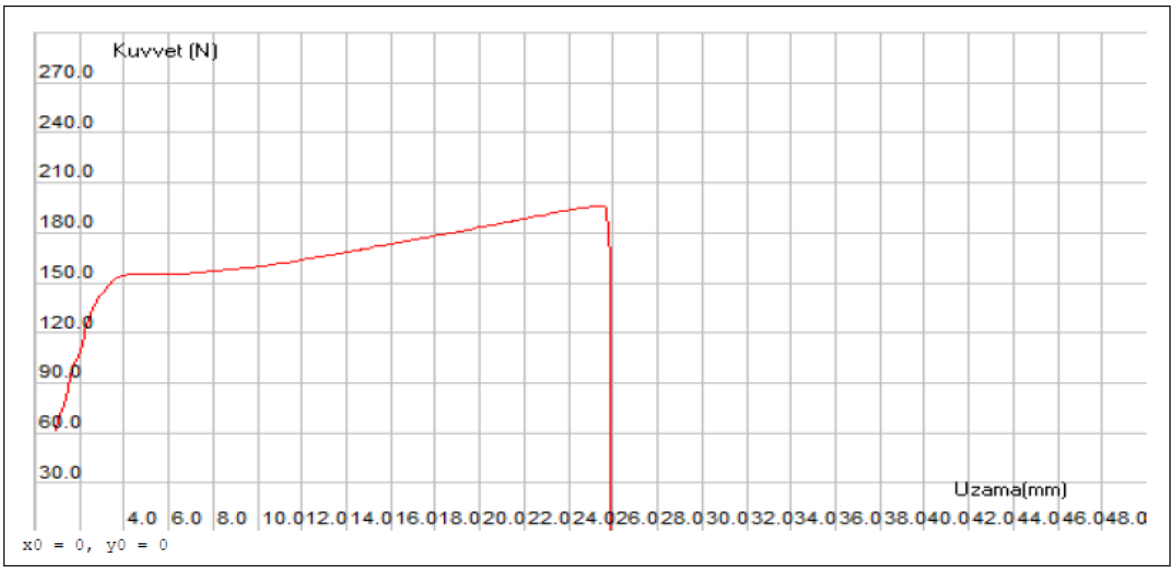
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	306.2	21.2	170.1	306.2	21.9	62.6

Şekil 4.21. Kesit alanı 1.8 mm^2 , boyu 35 mm olan 1. parçanın yatay test sonuçları



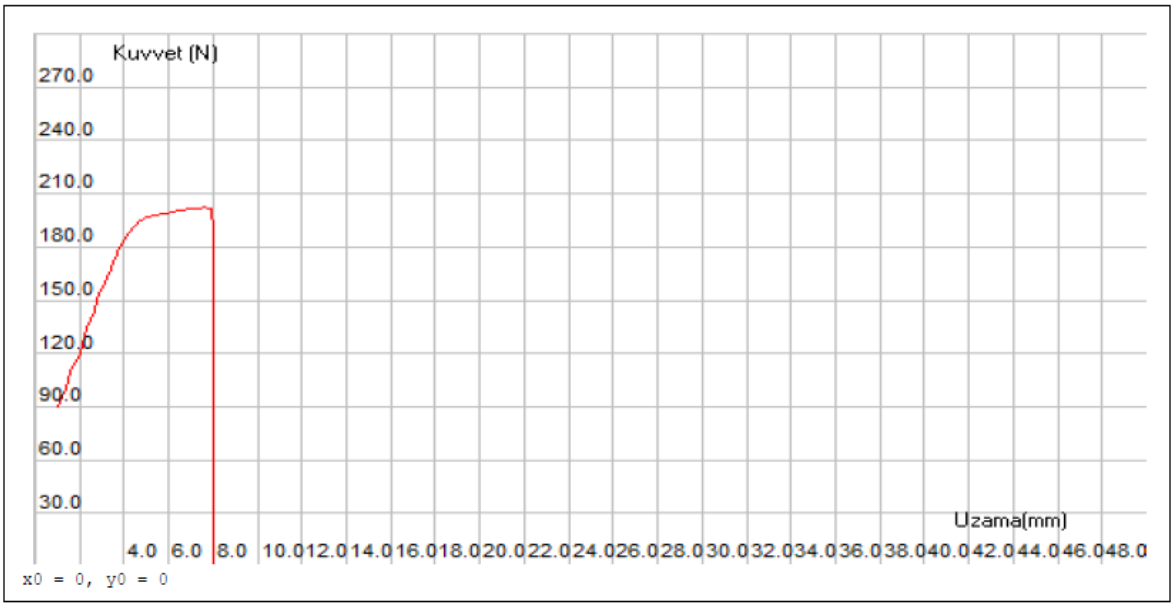
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	232.2	12.6	129.0	238.0	15.1	43.1

Şekil 4.22. Kesit alanı 1.8 mm^2 , boyu 35 mm olan 2. parçanın yatay test sonuçları



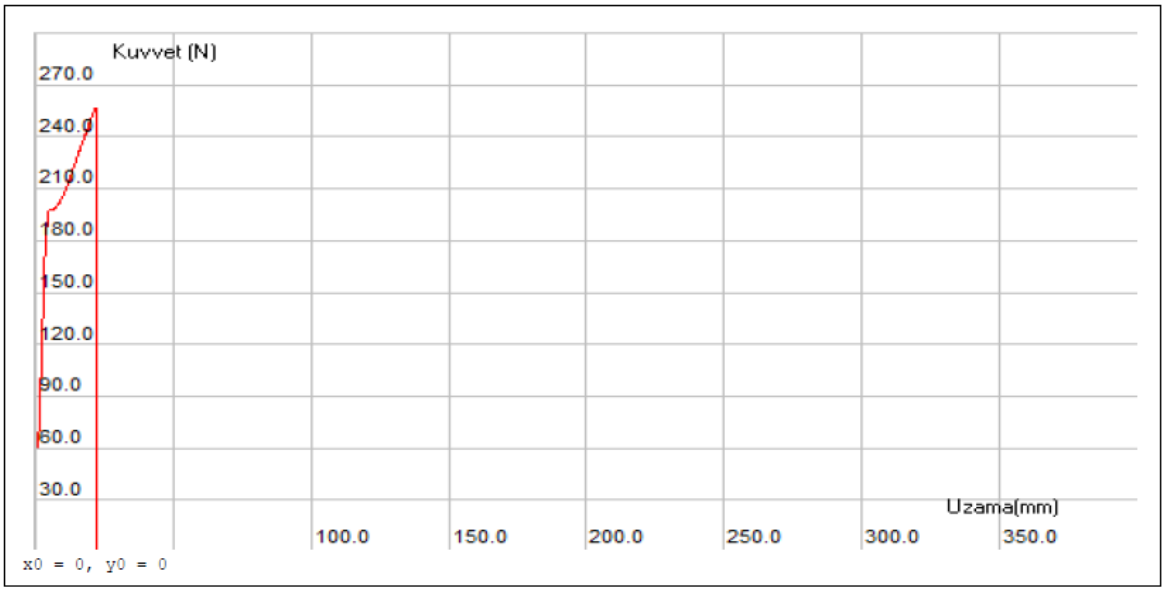
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	196.2	25.3	109.0	195.8	25.7	73.4

Şekil 4.23. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 3. parçanın yatay test sonuçları



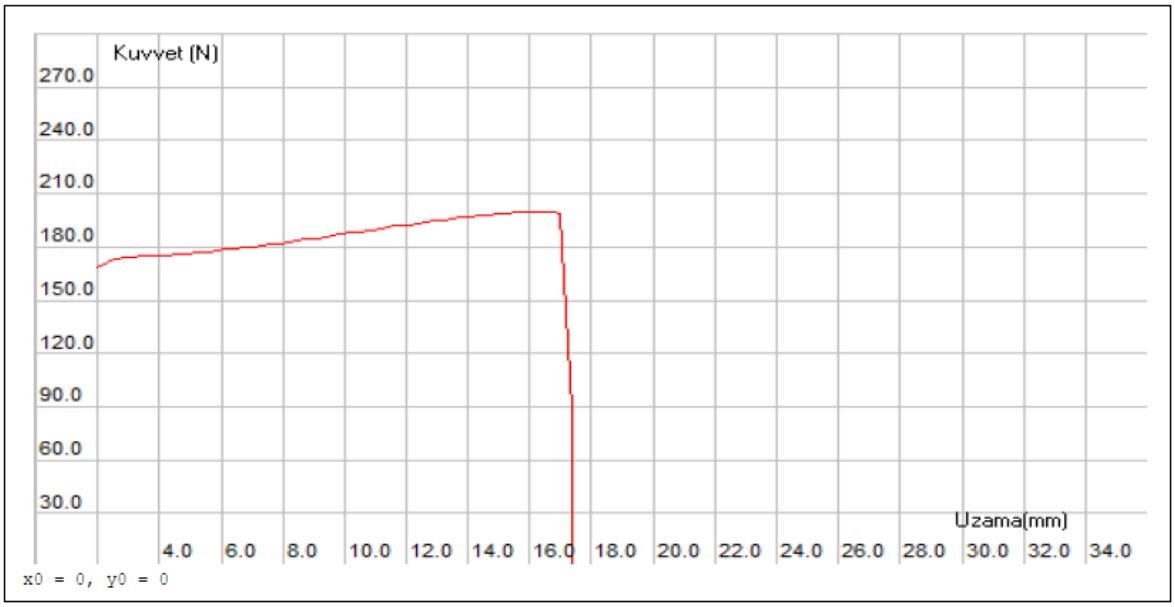
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	202.2	7.6	112.3	202.0	7.9	22.6

Şekil 4.24. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 10. parçanın yatay test sonuçları



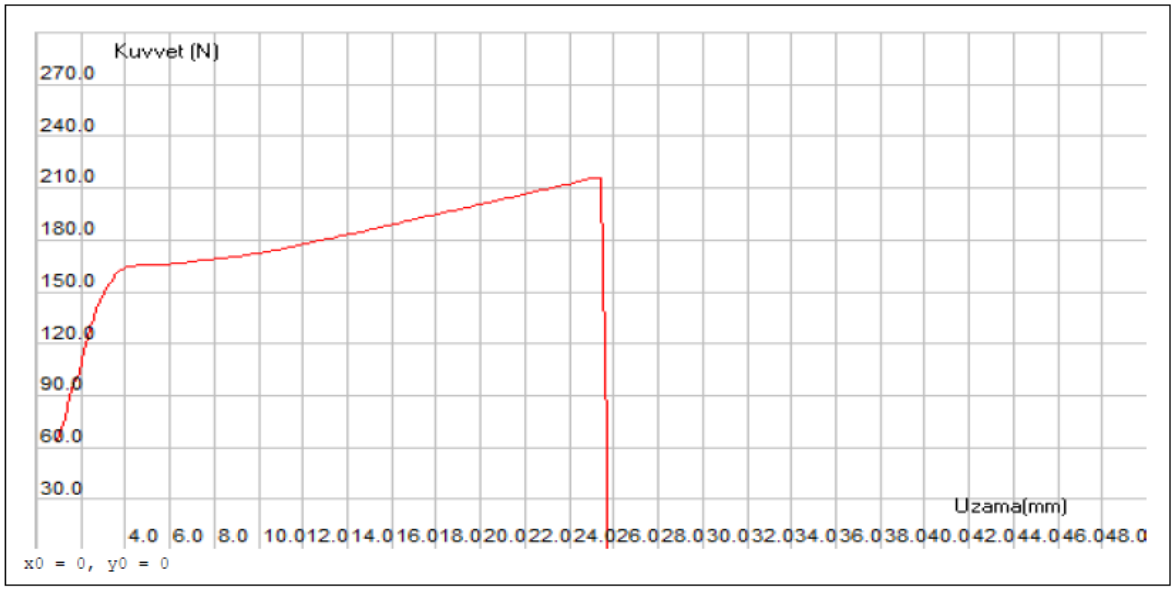
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	256.4	21.8	142.4	256.0	22.2	55.5

Şekil 4.25. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 15. parçanın yatay test sonuçları



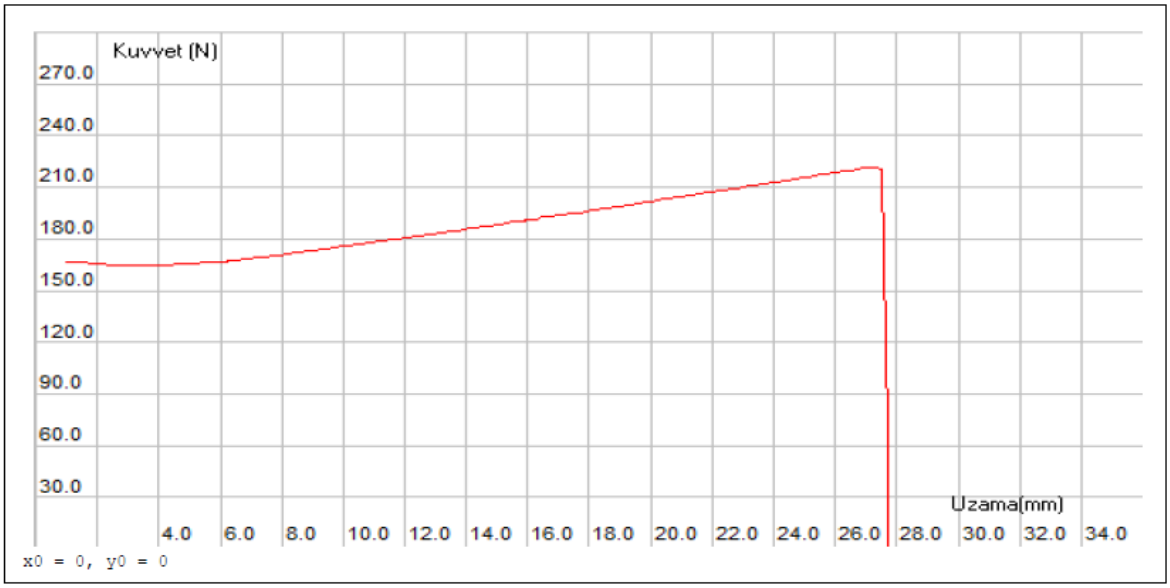
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	200.0	16.2	111.1	199.8	17.0	48.6

Şekil 4.26. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 20. parçanın yatay test sonuçları



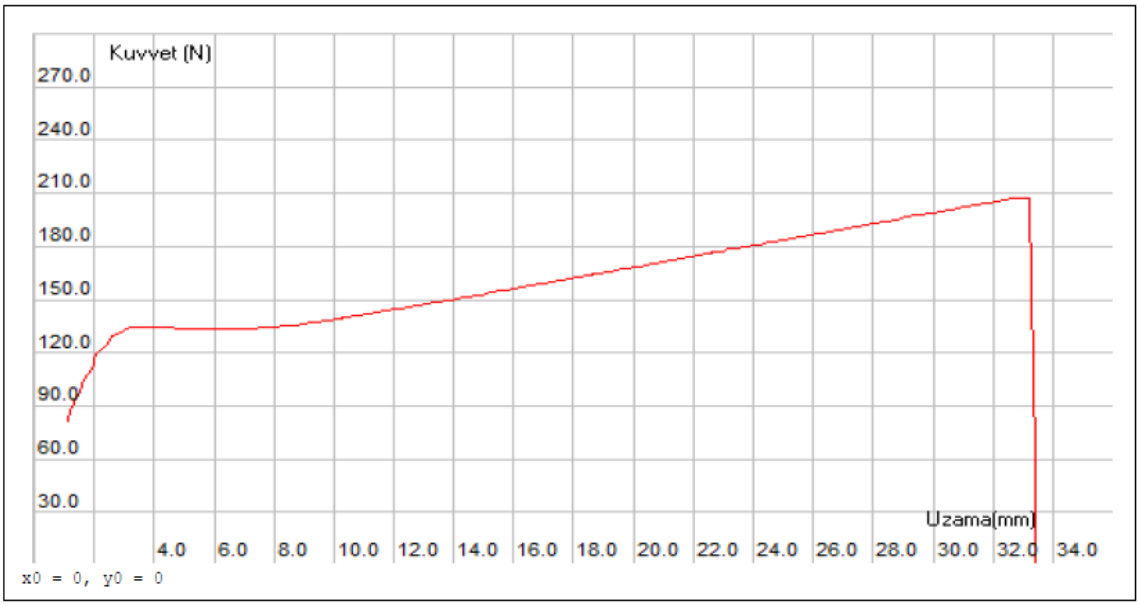
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	216.2	25.3	120.1	216.2	25.4	72.6

Şekil 4.27. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 25. parçanın yatay test sonuçları



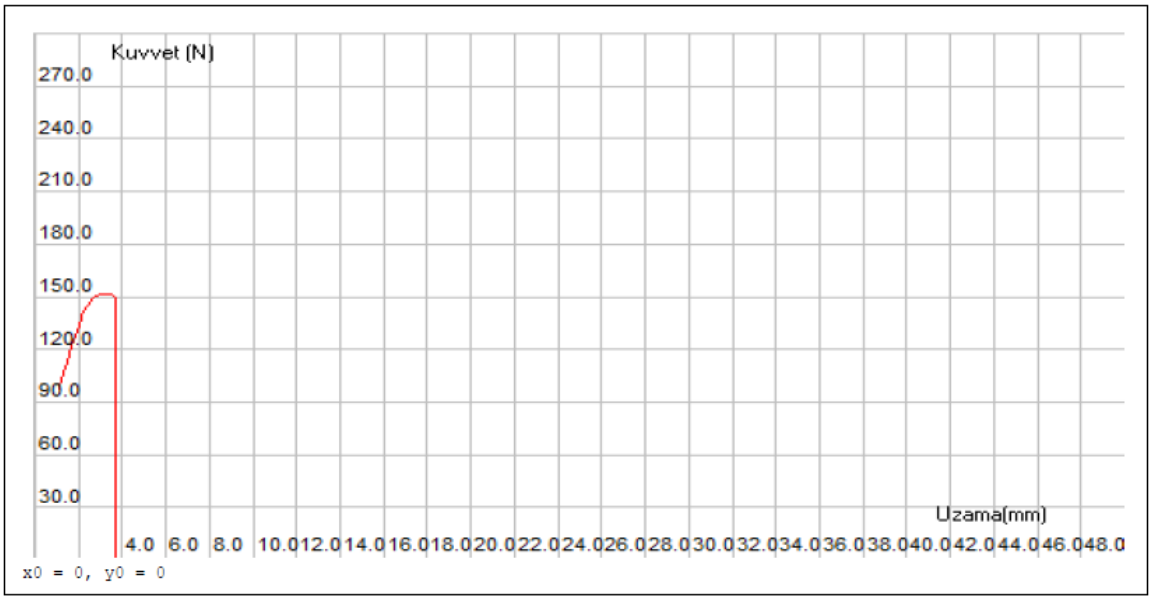
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	221.8	27.3	123.2	221.8	27.5	78.6

Şekil 4.28. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 30. parçanın yatay test sonuçları



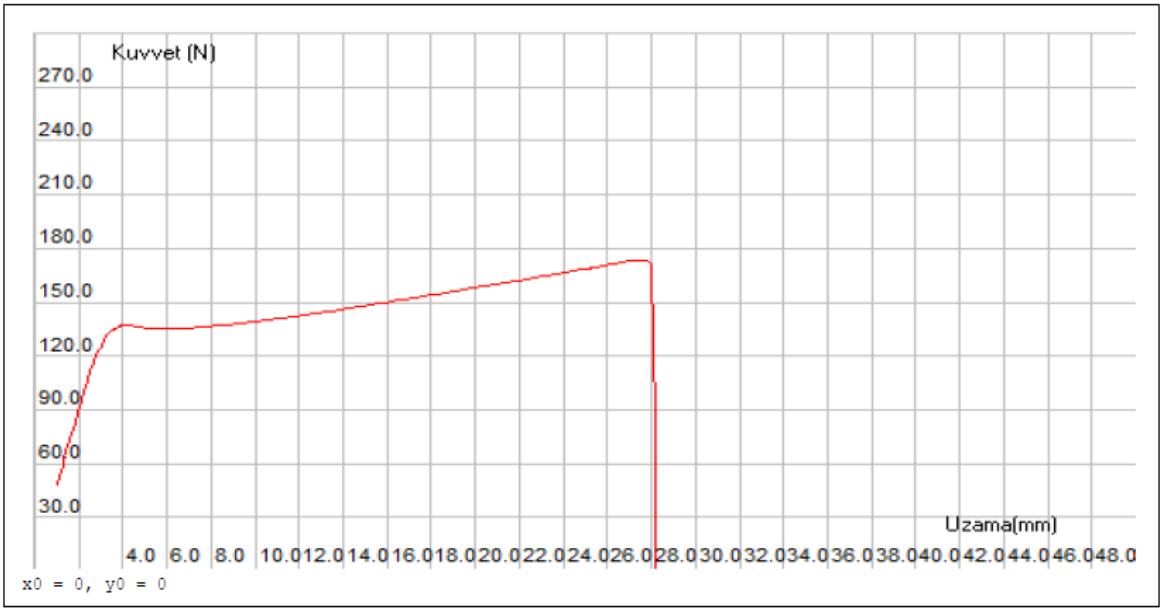
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	207.6	32.9	115.3	207.6	33.2	94.9

Şekil 4.29. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 1. Parçanın dikey test sonuçları.



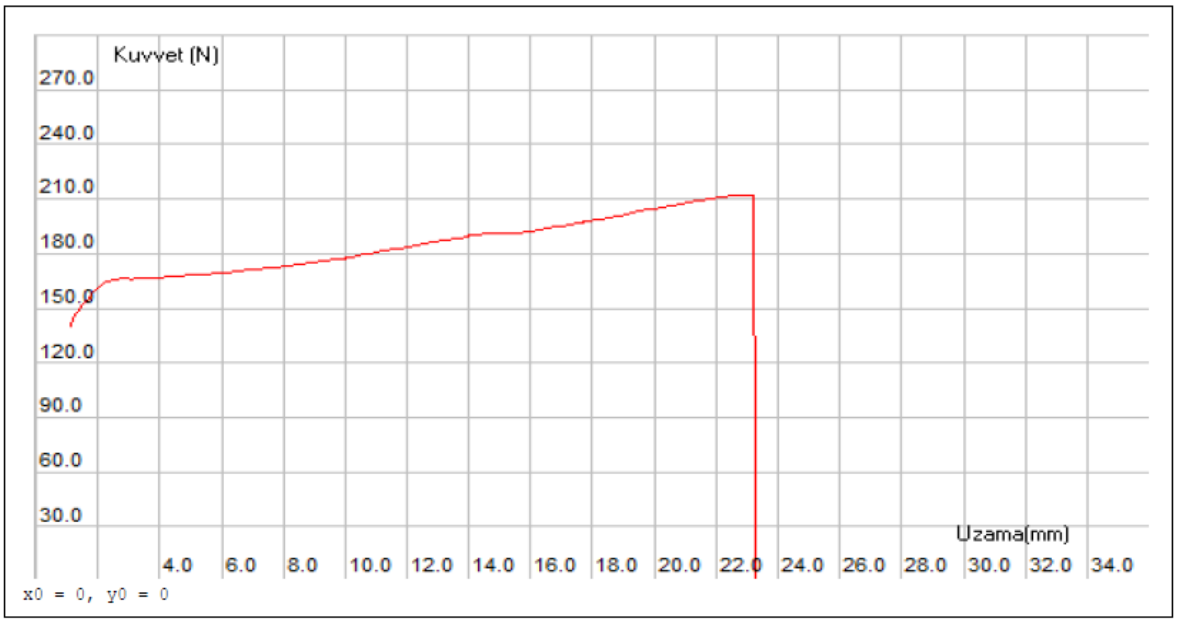
	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama ΔI - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama ΔI - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	151.6	3.1	84.2	154.4	5.4	15.4

Şekil 4.30. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 2. Parçanın dikey test sonuçları.



	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama ΔI - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama ΔI - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	173.4	27.4	96.3	172.8	28.0	80.0

Şekil 4.31. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 3. Parçanın dikey test sonuçları.



	Max Kuvvet Fmax (N)	Max Kuvvette Uzama Δl - (mm)	Max Gerilme σ_{ZB} (N/mm²)	Kopma Kuvveti (N)	Kopma Anında Uzama Δl - (mm)	Kopma Uzaması σ_S - (%)
	212.2	22.9	117.9	212.2	23.2	66.3

Şekil 4.32. Kesit alanı 1,8 mm^2, boyu 35 mm olan 4. Parçanın dikey test sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı : İpek Adeviye

Soyadı : UYSAL

Doğum yeri/tarihi : Nevşehir/1991

Medeni Durumu **:**Evli

E-posta : ipekkavak50@gmail.com

Adres : 2000. Evler mah. 12. Sok. Merkez/ Nevşehir

EĞİTİM

DERECE	KURUM	MEZUNİYET TARİHİ
Lise	Altınyıldız Koleji	2009
Lisans	Bartın Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Müh.	2013
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Müh.	2017

YABANCI DİL

İngilizce