İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDE ELYAF YÖNLENMESİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnş. Müh. Özben PAKSOY

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME VE İMALAT

OCAK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDE ELYAF YÖNLENMESİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gemi İnş. Müh. Özben PAKSOY
503031312

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Şafak YILMAZ

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Halit TÜRKMEN

Y.Doç.Dr. Celalettin ERGÜN

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmamı hazırlamam sırasında bana yol gösteren, bilgisini ve tecrübesini benim ile paylaşan değerli hocam Doç.Dr.Şafak Yılmaz başta olmak üzere, tüm Süper Plastik firması çalışanlarına, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2007 **Özben PAKSOY**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
SEMBOL LİSTESİ x
ÖZET xi
SUMMARY xii

1. PLASTİK MALZEMELER 1
1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması 1
1.1.1. Termosetler 2
1.1.2. Termoplastikler 2
1.2. Yaygın Kullanılan Polimer Malzemelerin İncelenmesi 2
1.3. Katkılar ve Güçlendiriciler 3
1.3.1. Güçlendiriciler 4
1.3.1.1. Cam elyaf takviyesi 4

2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI VE YOLLUK SİSTEMLERİ 8
2.1. Yollukların Seçim ve Tasarım Kriterleri 8
2.1.1. Kozmetik Etki 8
2.1.2. Uygun giriş noktası 8
2.1.3. Çevrim süresi 9
2.1.4. Hammadde tasarrufu 9
2.1.5. Parçada oluşan çöküntüler 10
2.1.6. Çok gözlü kalıplarda parça ve kalıp geometrisi 10
2.2. Yolluk Girişinin Cam Elyaf Takviyeli Mamül Özelliklerine Etkisi 12

3. PLASTİK ENJEKSİYONUNUN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ 14
3.1. Moldflow Analizinin Hazırlanması 14
3.1.1. Modelin açılması 14
3.1.2. Kalıplama parametrelerinin seçilmesi 15
3.1.3. Besleme sisteminin modellenmesi 15
3.1.3.1. Part Adviser yazılımı 16
3.1.3.2. Mold Adviser yazılımı 16
3.1.4. Analizlerin yapılması ve analiz tipleri 19

3.2. Örnek Parçanın Moldflow Analizi 20
3.3. Akış Yönünün Bilgisayar Analizi Yardımıyla İncelenmesi 22

4. DENEYSEL ÇALIŞMA 24
4.1. Plastik Enjeksiyon Uygulaması 24
4.2. Lif Dağılımlarının İncelenmesi 24
4.2.1. Lif dağılımlarının optik mikroskopta incelenmesi 24
4.2.1.1. Enjeksiyon başlangıcında tek yolluk giriş kaynaklı akışın ve lif yönlenmesinin incelenmesi 27
4.2.1.2. İki farklı yolluktan gelen akışın birleşme bölgesinde akışın ve lif yönlenmesinin incelenmesi 30
4.2.1.3. Tek giriş kaynaklı dairesel ilerlemenin incelenmesi 33
4.2.1.4. Kalıbın dolmasına yakın akışın incelenmesi 36
4.3. Çekme Deneyleri 38
4.3.1. Çekme deneyinden elde edilen elastiklik modüllerinin karşılaştırılması 39
4.3.1.1. Akış yönüne paralel doğrultuda çekilen örnekler 39
4.3.1.2. Akış yönüne dik doğrultuda çekilen örnekler 40

5. ELASTİKLİK MODÜLLERİNİN ÇEŞİTLİ MODELLER İLE HESAPLANMASI 42
5.1. Kayma Aktarımı (Shear-Lag) Modeli 42
5.2. Tshai-Halpin Modeli 44
5.3. Karışım Kuralı 44
5.4. Kerchel Yaklaşımı 45
5.5. Cox Yaklaşımı 46
5.6. Elips Modeli 47

6. ELYAF YÖNÜNE BAĞLI ELASTİKLİK MODÜL DEĞERLERİ YARDIMIYLA DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI 50

7. SONUÇLAR 55

KAYNAKLAR **56**

EKLER **58**

ÖZGEÇMİŞ **71**

KISALTMALAR

Cox TH	: Cox modelinin boyuna elastiklik modülü Tshai-Halpin'den elde edilerek hesaplanması
Cox SL	: Cox modelinin boyuna elastiklik modülü Shear-Lag'den elde edilerek hesaplanması
Elips TH	: Elips modelinin boyuna elastiklik modülü Tshai-Halpin'den elde edilerek hesaplanması
Elips SL	: Elips modelinin boyuna elastiklik modülü Shear-Lag'den elde edilerek hesaplanması

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	Başlıca Elyaf Cinslerinin Kompozisyonları (% olarak)……..	6
Tablo 1.2	Başlıca Elyaf Cinslerinin Mekanik Özellikleri……	7
Tablo 4.1	Yolluk Giriş Bölgesinde Lif Yönlenmesinin Dağılımı……	28
Tablo 4.2	İki farklı yolluktan gelen akışın birleşme bölgesinde lif yönlenmesinin dağılımı……	32
Tablo 4.3	Tek giriş kaynaklı dairesel ilerleme etkisinde lif yönlenmesinin dağılımı…….	34
Tablo 4.4	Kalıbın dolmasına yakın durumda lif yönlenmesinin dağılımı……	36
Tablo 4.5	Çekme deneyi sonucunda elde edilen elastiklik modülleri……..	39
Tablo 5.1	Hesaplamalarda kullanılan veriler……	42
Tablo 5.2	Kerchel modeli ile elde edilen elastiklik modülleri……	45
Tablo 5.3	Cox modeli ile elde edilen elastiklik modülleri……	47
Tablo 5.4	Elips modeli ile elde edilen elastiklik modülleri……..	48
Tablo 5.5	Tüm modeller ile elde edilen elastiklik modülleri……	49
Tablo 6.1	2 Numaralı bölgede elastiklik modülünün hesaplanması…….	50
Tablo 6.2	4 Numaralı bölge için 3-boyutlu halde düzenlenmiş yönlenme dağılımı…….	53
Tablo 6.3	4 Numaralı bölge için 3-Boyutlu lif dağılımı durumunda hesaplanan elastiklik modülleri……	53
Tablo 6.4	5 Numaralı bölge için 3-Boyutlu halde düzenlenmiş yönlenme dağılımı…….	54
Tablo 6.5	5 Numaralı bölge için 3-Boyutlu lif dağılımı durumunda hesaplanan elastiklik modülleri……	54

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	Polimerlerin Sınıflandırılması…….	1
Şekil 1.2	Polimerlerin Sınıflandırılması…….	2
Şekil 2.1	(a)Hatalı Yolluk Tasarımı, (b) Dengelenmiş Yolluk Tasarımı…..	11
Şekil 2.2	(a)Hatalı Yolluk Tasarımı, (b) Dengelenmiş Yolluk Tasarımı…..	11
Şekil 2.3	Parça Merkezinden Besleme Moldflow Modeli……..	12
Şekil 2.4	Parça kenarından yolluk girişi.....	12
Şekil 3.1	Moldflow Kalıplama Parametreleri Menüsü……	16
Şekil 3.2	Moldflow'da Kalıp Plakaların Yerleştirilmesi…….	18
Şekil 3.3	Moldflow'da Yolluk Tasarımı Menüsü.....	19
Şekil 3.4	Mold Adviser'a Uygun Hazırlanmış Model.....	19
Şekil 3.5	Çalışma Parçasının Resmi……...	21
Şekil 3.6	Yolluk Geometrisi……...	22
Şekil 3.7	Yolluktan Parçaya Giriş Geometrisi……	22
Şekil 3.8	Moldflow Basınç Düşüş Modeli……..	23
Şekil 4.1	Lif Yönlenmesinin İncelendiği Bölgeler…….	25
Şekil 4.2	Örnek Mikroskop Görüntüsü……...	26
Şekil 4.3	Yolluk Giriş Bölgesi Moldflow Modeli……..	27
Şekil 4.4	İlk Girişteki Püskürme Etkisi…….	28
Şekil 4.5	Yolluk Giriş Bölgesi Lif Yönlenim Grafiği……	29
Şekil 4.6	Birleşim Bölgesi Moldflow Modeli…….	30
Şekil 4.7	Liflerin Birleşim Hattı Boyunca Yönlenmesi……..	31
Şekil 4.8	Liflerin Birleşim Hattı Boyunca Yönlenmesi……..	31
Şekil 4.9	İki Farklı Yolluktan Gelen Akışın Birleşme Bölgesi Lif Yönlenim Grafiği…….	32
Şekil 4.10	Parça Dolumu Moldflow Modeli…….	33
Şekil 4.11	Gerçek Durum…….	33
Şekil 4.12	İncelenen Bölgede Optik Mikroskop ile Alınan Örnek……...	34
Şekil 4.13	Tek Giriş Kaynaklı Dairesel İlerleme Bölgesinde Lif Yönlenmesi	35
Şekil 4.14	Kalıbın Dolmasına Yakın Durumda Moldflow Basınç Düşüş Modeli……..	36
Şekil 4.15	Kalıbın Dolmasına Yakın Durumda Lif Yönlenmesi Grafiği…….	37
Şekil 4.16	Çekme Deneyi Numunelerinin Alındığı Bölgeler……...	38
Şekil 4.17	Birleşme Bölgesi Moldflow Akış Modeli……...	40
Şekil 4.18	Enjeksiyon Doğrultusuyla Yapılan Açıya Bağlı Olarak Elastiklik Modülünün Değişimi……...	41

Sayfa No

Şekil 5.1	Yönlenmiş kısa lifler için Kayma Aktarımı (Shear-Lag) modeli; (a) parçanın temsili görüntüsü, (b) analiz için birim hücre…….	43
Şekil 5.2	Fiber-Matris Modeli……	46
Şekil 5.3	(a)Kayma aktarımı boyuna elastiklik modülü kullanılmıştır, (b) Tshai-Halpin boyuna elastiklik modülü kullanılmıştır……..	48
Şekil 5.4	Elastiklik modülünün elyaf yönlenme açısına bağlı değişimi……	49
Şekil 6.1	2 Numaralı bölgede Lif Dağılımlarının Kaydırılması ile Elastiklik Modülü Değişimi……	51
Şekil 6.2	Optik İnceleme Düzleminde Eksenle Açısı Yapan ve Görülen lifler ile 3-Boyutlu Halde Aynı Açıya Sahip Olduğu Halde Görülmeyen Liflerin Uç Kısımlarının Taradığı Alan……..	52

SEMBOL LİSTESİ

θ	: Liflerin akış yönü ile yaptıkları açı
E	: Elastiklik modülü
E_f	: Fiberin elastiklik modülü
E_m	: Matrisin elastiklik modülü
ρ_f	: Fiberin özgül ağırlığı
ρ_m	: Matrisin özgül ağırlığı
V_f	: Fiberin hacim oranı
$Ø_f$	: Ortalama fiber çapı
l_f	: Ortalama fiber uzunluğu
G_m	: Matrisin kayma modülü
E_H, E_{90}	: Enine elastiklik modülü
E_L, E_0, E_C	: Boyuna elastiklik modülü
ν	: Poisson oranı
n_o, n_l	: Verimlilik faktörü

PLASTİK ENJEKSİYON PROSESİNDE ELYAF YÖNLENMESİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Plastik malzemeler düşük yoğunlukları, yüksek imalat hızı, imalatlarındaki düşük fire oranı gibi avantajlarının yanı sıra, zengin çeşitleri ile bir çok değişik uygulamalarda kullanılabilmeleri dolayısıyla sanayide vazgeçilmesi oldukça güç bir yer edinmişlerdir. Plastik malzeme işlemek için bir çok değişik imalat yöntemi söz konusudur ancak değişmeyen iki ana unsur vardır kalıp ve hammadde.

Plastik enjeksiyon prosesinde kalıp tasarımının üretilecek parçanın şeklini oluşturmak dışında, malzemenin fiziksel özellikleri üzerinde de ciddi etkileri bulunmaktadır. Parça yüzeylerinde oluşan gerilmeler, çöküntüler, eksenlere göre değişkenlik gösteren boyut çekmeleri kalıp tasarımı sırasında dikkate alınmaktadır.

Plastik parça imalatında kullanılan hammaddeler oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Kullanım alanlarına, kullanımları sırasında karşılaşacakları kimyasal ve fiziksel etkenlere karşı bir çok polimer geliştirilmiştir. Ayrıca ana polimer gruplarının altında bir takım katkılar ile fiziksel özellikleri kuvvetlendirilmiş alt polimer türleri geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Plastik katkılarının en önemlilerinden biri hiç şüphe yoktur ki kullanıldığı malzemenin mukavemetini ciddi oranda arttıran cam elyafıdır.

Plastik enjeksiyon için üretilen termoplastik granüllerinde kısa lifler kullanılmaktadır. Enjeksiyon sırasında bu liflerinin yönlendirilmesini kontrol edecek bir sistem bulunmamaktadır. İmalatı yapılacak olan parçanın mukavemetinde, bu kısa liflerinin ne yönde yoğunluk gösterecekleri çok önemlidir. Elyaf yönlenmelerinde akış geometrisi önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla akış geometrisini belirleyen unsurlardan en önemlisi olan yolluk giriş noktası, elyaf takviyeli malzemelerin mekanik özelliklerinde etkilidir, ve kalıp tasarımı esnasında bu kriter göz ardı edilmemelidir.

Bu çalışma da plastik enjeksiyon ile imal edilen cam elyafı takviyeli bir plastik parçada liflerinin yönlenmesi araştırılmıştır. Bu amaç ile örnek bir parça üzerinde sayısal ve deneysel incelemeler yapılmıştır. İmal edilen parçadaki elyaf yönlenmesi sayısal çözümler ile karşılaştırılarak gerek kalıp tasarımı esnasında kullanılan sayısal benzetimlerin kullanışlılığı, gerekse elde edilen parçanın malzeme özellikleri irdelenmiştir. Enjeksiyon kalıbı tasarımında kullanılan sayısal benzetimlerin, yolluk giriş noktasının seçimi sayesinde elyaf yönlenmesini yönetmede nasıl kullanılacağı tartışılmıştır.

FIBRE ORIENTATION IN PLASTIC INJECTION PROCESS

SUMMARY

Plastic materials are indispensable for the industry, with their various kinds, which can be used in numerous different applications, with characteristics; high production speed with low wastage percent and low density. Even though there are many production processes, two major points never change mold and the raw material.

Other than forming the shape of the part, in plastic injection process the mold design has serious influence on the physical properties of the produced parts. Tensions, deformations, forces vary on the axis's should be considered during the mold design.

There exists a wide range of raw material choices in plastic part production. Many different polymers were designed according to the area of usage, chemical or physical effects of the environments that the parts will be used. Furthermore, under than the main polymer branches, sub branches were and being improved with additives which changes the physical properties of the plastic parts. One of the most important additive, with no doubt, is fiber, which improves the strength of the parts significantly.

Thermoplastic granules, used in plastic injection, are produced with short fibers. There is no system to control fibre orientation during injection process. Short fiber orientation is very important for the strength of the part. Flow geometry takes the major role in orientation. Most important fact which affects the flow is the gate location, has an influence on the mechanical properties of the materials with fiber additives. This point must be considered in mold design.

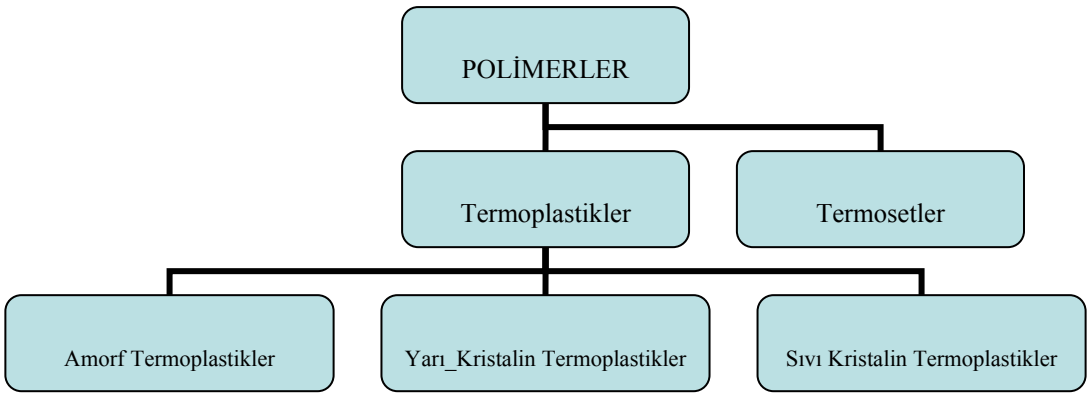
In this thesis, fiber orientation in a plastic part with fiber additive was studied. For this purpose, numerical and experimental studies were done on a sample plastic part. Numerical predictions were compared with the actual produced parts; both the numerical simulations being used for mold design and material properties were examined. How numerical simulations should be used in deciding the injection point, correspondingly affecting the fiber orientation, was discussed.

1. PLASTİK MALZEMELER

Bilindiği gibi malzemeler metal, polimer, seramik ve karma malzeme olmak üzere dört ana grup altında toplanabilir. Polimer olarak bilinen malzemeler, karbonun (C) metal olmayan elementler ile meydana getirdiği büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Monomerlerin, ısı ve basınç altında zincir şeklinde, birleşmesiyle oluşan bu makro moleküllere polimer adı verilir. Bağ yapılarını incelediğimizde monomerleri bir arada tutan bağlar kovalent bağlar, zincirleri bir arada tutan bağların ise Van der Waals bağlarıdır. [1]

1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler iki ana grup altında inceleyebilir: termosetler ve termoplastikler. Termoplastikler, fiziksel yapılarına göre kristalin, yarı kristalin ve amorf olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 1.1: Polimerlerin Sınıflandırılması

1.1.1. Termosetler

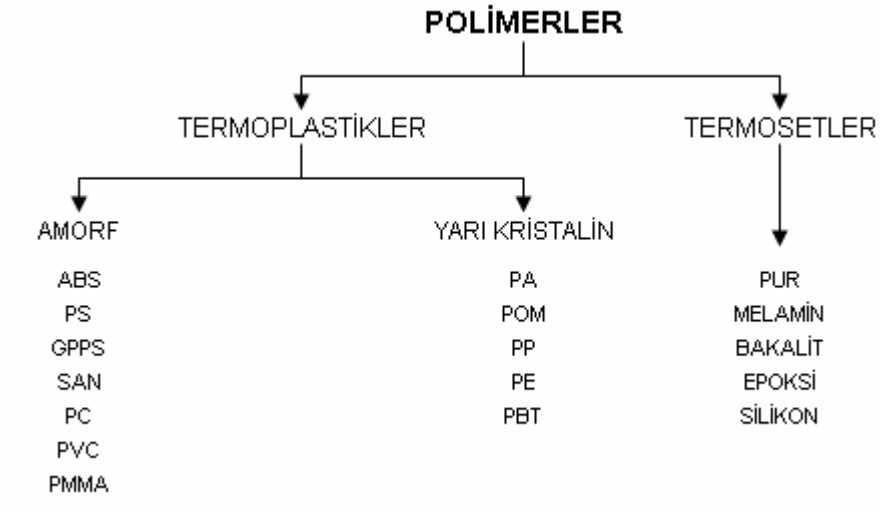
Isıtılıp soğutulduklarında termoplastiklerin aksine kalıcı olarak katılaşırlar, ve ısıtılıp soğutulma prosesi esnasında kimyasal yapılarında değişiklikler oluşur. Yapılarında bulunan çapraz bağlar sayesinde gevrek, yüksek sıcaklığa dayanıklı bir yapı ortaya koyarlar. Termosetleri, termoplastiklerden ayıran en büyük fark, geri dönüşümü olmayacak şekilde üretilmeleridir. Başka bir değiş ile ilk ısıl şekillendirme sonucunda kimyasal yapıları da kalıcı olarak değişikliğe uğrar.

1.1.2. Termoplastikler

Termoplastikler ısıtıldıklarında yumuşayıp akıcı hale geçebilen, soğutulduklarında katılaşan, tekrar ısıtıldıklarında yine akışkanlaşabilen plastiklerdir. Termosetlerin aksine ısıtılıp soğutulduklarında sadece fiziksel değişime uğrarlar ve bu yapıları sayesinde geri dönüştürülebilir üretim özelliğine sahiptirler.

1.2. Yaygın Kullanılan Polimer Malzemelerin İncelenmesi

Yaygın kullanımı olan plastik malzemeleri bu ana gruplar altında sınıflandıracak olursak.



Şekil 1.2: Polimerlerin Sınıflandırılması

1.3. Katkılar ve Güçlendiriciler

Polimerlerin çeşitli kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için farklı katkılar, güçlendiriciler kullanılır. Katkı malzemeleri sayesinde termoplastikler ciddi bir çeşitlilik yelpazesi sergilemektedirler.

Kauçuk yani polibutadiene katkısı ile plastik malzemenin darbe mukavemeti özellikleri güçlendirilir. Örneğin sıkça kullanılan HIPS malzemesi Polibütadien kauçuk ve polistrenden oluşmuş bir kopolimerdir. Kauçuk partiküller mikro çatlakların ilerlemesini durdurur. Bu durum daha tok bir davranış oluşmasını sağlar.

Stabilizatörler, plastiklerin ışık, hava ve diğer çevre faktörlerinin etkisi altında yıpranmalarını önlemek amacı ile kullanılan katkı malzemeleridirler. [1]

Oksijen stabilizatörü, oksidasyonu, hava şartlarında kimyasal degradasyonu yavaşlatır, önler.

Ultraviole stabilizatörü, UV ışınları altında renk değiştirmeyi geciktirir. Özellikle güneş ışığına uzun süre maruz kalacak olan, örneğin otomobil ön paneli gibi kozmetik parçalarda kullanılması çok yaygındır.

Isıl stabilizatör, enjeksiyon sırasında karşılaşılan sıcaklıklar altında degradasyonu önler.

Hidrolitik stabilizatör, PA, PC, PBT vb. higroskopik polimerlerin nem emme oranlarını azaltır.

Yanmazlık katkıları, polimerlerin yanma ve alevlenmeye karşı dirençlerini artıran katkı maddeleri. Klorin, Bromin ve Fosforlu bileşiklerdir.

Renklendiriciler, doğal renkteki plastiklere istenilen rengi verirler. Hemen hemen tüm plastik uygulamalarında karşımıza çıkarlar. Hammaddenin üretimi sırasında renk verilebileceği gibi, plastik enjeksiyon prosesi sırasında da renksiz plastik granülleri içerisine belirli bir miktar toz veya granül renklendirici eklenerek de renklendirme sağlanabilir.

Akışkanlaştırıcılar, plastiğin enjeksiyon sırasında, eriyik plastiğin daha kolay akmasını sağlayan katkı maddeleri. Bu katkılar plastik malzemenin ocak, vida vb. yüzeylere tutunmasını azaltırlar. Bu sayede gerekli olan enjeksiyon basıncını doğal olarak harcanacak enerji miktarını düşürürler.

Anti-Statik, katkılar üretilen mamülün statik elektriklenerek dış ortamdaki toz zerrelerini kendisine çekerek yapıştırmasını azaltan katkılardır. Günümüzde renklendiricilerin üretimi sırasında direk renklendiriciye eklenmeleri oldukça yaygın bir uygulamadır.

Kristalleştirme katkıları, yarı-kristalin polimerlerde erime aralığını ve kristalleşme oranını artırır.

1.3.1. Güçlendiriciler

Yüksek elastiklik modüllü ve mukavemetli katkılar ile polimerin mukavemeti artırılır, esnekliği azaltılır. Günümüz plastik enjeksiyon proseslerinde kullanılan başlıca iki tip kuvvetlendirici katkı maddesi vardır.

- Cam elyaf katkılar
- Mineral katkılar

Güçlendirici takviyeli polimerlerin ısıl genleşme katsayıları düşer. Bunun yanı sıra takviye edilmiş malzemenin ısıl iletim kabileyi iyileşerek, üretim esnasında soğuma süresini dolayısıyla üretim maliyetlerini düşürür[13]. Elyaf ve benzeri diğer katkılı polimerlerin genleşme katsayıları anizotropiktir, başka bir değişle akış yönünde ve akışa dik yönde farklıdır.

1.3.1.1. Cam Elyaf Takviyesi

Genelde tüm termoplastikler cam elyafı ile kuvvetlendirmeye uygun olmalarına rağmen, bu amaçla en çok PA, PP, PS, ABS ve SAN kullanılır. Cam elyaf, çekme elastiklik modülü, boyut kararlılığı, hidrolitik kararlılığı ve yorulma mukavemetini iyileştirir.[1]

Kompozisyonlarına bağlı olarak, değişik cam elyaf cinsleri vardır. Bunlar içinde "E" tipi cam elyaf kullanımda en çok tercih edilen cinstir. Elektrik ve mekanik özellikleri ile maliyetinin iyi bir denge oluşturması sonucu, bu kalsiyum alüminosilikat bileşiminin, kullanılan toplam cam elyaf takviye malzemeleri içinde %90 pazar payına sahip olduğu görülmektedir. [2]

"E-CR"camı, "E" camının modifiye edilmiş şekli olup, asitlere karşı dayanım sağlamak amacı ile kompozisyonunda bor içermemektedir. "E-CR" camı elyafı, genellikle kimyasal dayanım istenen tank ve boru imalatında kullanılmaktadır.[2]

Yüksek mekanik dayanım aranan ürünler için kullanılan cam elyafı cinsleri Amerika'da "S" Camı; Avrupa'da "R" camı olarak nitelenmektedir. Karma malzemenin mukavemetini ve rijitliğini arttıran bu cins cam elyafı havacılık, uzay ve askeri alanlarda, yüksek teknik performans gereksinimi nedeni ile kullanılmaktadır. Ayrıca, nakliye, spor ve dinlence alanlarında da bazı ürünler için kullanıldığı görülmektedir. [2]

Bunların dışında, mükemmel dielektrik özellikler taşıyan ve elektronik endüstrisinde sıkça kullanılan, "D" camı elyafı ve özellikle yüzey tüllerinde kullanılan kimyasal dayanımlı "C" camı elyafı da bulunmaktadır. [2]

Tablo 1.1: Başlıca Elyaf Cinslerinin Kompozisyonları (% olarak) [3]

	A-Camı	**C-Camı**	**E-Camı**	**R-Camı**	**S-Camı**
SiO_2	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al_20_3	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	---
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	10.3
Na_2O,K_2O	14.2	9.6	0.8	---	0.3
B_2O_3	---	4.7	10.6	---	---
BaO	---	0.9	---	---	---

Termoplastik takviyesinde en yaygın kullanılan cam elyafı tip E tipi cam elyaflardır, söz konusu elyafın ve birkaç diğer yaygın elyaf tipinin mekanik özellikleri Tablo1.2'de gösterilmiştir.

Tablo 1.2: Başlıca Elyaf Cinslerinin Mekanik Özellikleri [4]

	Elyaf Tipi		
	E-Camı	**C-Camı**	**S-Camı**
Çap (μm)	8-14	-	10
Yoğunluk (kg/m^3)	2540	2490	2490
Çekme Modülü (GPa)	72.4	68.9	85.5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3450	3160	4590
Uzama (%)	1.8-3.2	4.8	5.7
Genleşme Katsayısı ($x10^{-6}/°C$)	5.0	7.2	5.6
Isıl İletim (W/m/°C)	1.3	-	-
Özgül Isı (J/kg/°K)	840	780	940

Termoplastik enjeksiyonunda kullanılan cam elyaf takviyeleri, elyaf demetlerinin 3-12 mm uzunluğunda kırpılması ile elde edilirler. Çapları ortalama 10μm olan bu lifler, hammaddenin ekstrüzyon ile çekilmesi ve enjeksiyonu esnasında ortalama 0,3 mm boya kadar kırılarak kısalırlar. [4,5]

2. PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARI VE YOLLUK SİSTEMLERİ

Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında en önemli karakteristik hiç şüphe yoktur ki yolluk sistemidir. Seçilen yolluk tipi ve giriş şekli parçanın neredeyse tüm özellikleri, plastik enjeksiyon prosesinin kalitesi ve hızı ile birinci dereceden ilintilidir. Enjeksiyon makinesinin eriyiği kalıba basabilmesi için, kalıp dış yüzeyinden parça geometrisini oluşturacak hacme kadar bir yol bulunması gerekir. Plastiğin makineden kalıp çekirdeğine ulaşabilmesi için kalıpta açılmış olan bu boşluğa plastik enjeksiyon kalıpçılığında yolluk denilmektedir. Yolluktan kalıp çekirdeğine birleşme noktası ise yolluk girişi olarak adlandırılmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıpçılığında kullanılan çeşitli yolluk geometrileri vardır, bunların çeliğe işlenebilme ve eriyiği dondurmadan ilerletebilme gibi değişik değerlendirme kıstasları vardır. Kalıpçılıkta tam daire, trapez, yarım daire ve dikdörtgen geometrilerde yolluklar kullanılmaktadır. Ancak ısı kaybını ve basınç düşüşünü en aza indiren geometri minimum alan-hacim oranına sahip olan tam dairesel geometridir. [6]

2.1. Yollukların Seçim ve Tasarım Kriterleri

2.1.1. Kozmetik Etki

Yollukların parça ile birleştikleri noktalarda yani giriş bölgelerinde, ürün soğuduktan ve yolluk ile ayrıldıktan sonra bir iz bırakacaktır. Kozmetik değer taşıyan yüzeylerden yolluk girişi yapılması düşünülemez. Kalıp tasarımında bir çok diğer parametre açısından uygun bulunsa bile görsel açıdan değer taşıyan yüzeylerden yolluk girişi verilemez bu sebepten yolluk seçim noktası açısından bu parametre kalıp tasarımını birincil dereceden etkiler ve değiştirir.

2.1.2. Uygun Giriş Noktası

Plastik enjeksiyon kalıpçılığı hacim kalıpçılığının bir koludur. Yani parçanın formuna sahip boş bir hacmin eriyik hammadde tarafından doldurulması ve bu hammaddeyi soğutarak şekil verme prensibine göre yapılmaktadır. Proses sırasında eriyik malzeme belirli bir basınç yardımı ile bu boş hacmin içerisine doldurulur. Bu

noktada en kritik hususlardan biri malzemenin kalıp içindeki hareketini değişik yönlerde mümkün olduğunca eş zamanlı olarak yapmasını sağlamaya çalışmaktır. Diğer bir değişle, amaç kalıp çeperlerine malzemenin eşit zamanda ulaşmasını sağlamaktır. Aksi takdirde kalıp içerisinde eriyik akışı bir yönde durmuş olmasına rağmen diğer yönlerdeki boşluklara ilerlemeyi sağlamak için kalıba giriş noktasından hala basınçlı eriyik verilmeye devam edilecektir. Bunun doğal sonucu olarak kalıbın doldurulmuş bölgesinde, yüksek basınca sahip eriyik haldeki malzeme kalıp birleşim yüzeylerinin arasına nüfuz etmeye çalışacak ve zamanla da bu ilerlemeyi gerçekleştirerek çapak ve hatta kalıp yüzeylerinde deformasyona yol açacaktır. Bu durum parça kalitesi kadar kalıp ömrü üzerinde de negatif etkiler oluşturacaktır.

Ayrıca giriş noktasına bağlı olarak parça üzerindeki birleşme çizgileri ve gaz izleri de değişkenlik gösterecektir.

2.1.3. Çevrim Süresi

Yolluk giriş noktasının temelde parçanın imalatı için gerekli süre olarak tabir etmiş olduğumuz çevrim süresi üzerinde etkisi çok önemli değildir. Çevrim süresini asıl belirleyen parça geometrisidir, bunun sebebi de parça üretimi için gerekli sürenin çok büyük bir bölümünün parçanın soğuması için gerekli zamandan kaynaklanmasıdır. Doğal olarak da, soğuma süresinin en büyük belirleyicisi et kalınlığına bağlı parça geometrisidir. Ancak yolluk seçimi bu hususta da tamamen etkisiz değildir, kullanılacak yolluk tipi, yolluk ve giriş ölçüleri pratikte çevrim süremizi etkiler, bunların yanı sıra unutulmamalıdır ki yolluk girişlerinde yapılacak hatalı seçimler veya küçük yolluk girişleri üretim için gerekli olan basıncı ve, veya sıcaklığı arttıracak dolayısıyla hem daha çok enerji hem de daha uzun soğuma sürelerine ihtiyaç duyulmasını gerektirecektir.

2.1.4. Hammadde Tasarrufu

Yolluk seçimlerinin ekonomik yönden hesaplanması gereken en önemli kriterlerinden biri her çevrimde ortaya çıkan ve parça üzerinde bir katma değer yaratmayan yolluk oluşturmakta kullanılan hammaddedir. Pratikte bu malzemeyi kırma bıçaklarında üretimde kullanılabilecek kadar küçük parçalar halinde kırarak belli geri dönüştürmek ve imalatta belli oranlarda yeniden kullanmak mümkün olsa bile geri bu dönüştürülen malzeme mekanik özellikleri açısından ilk hali ile aynı mekanik özellikleri göstermeyecektir. Ayrıca üretimde kullanılan özel renkler, kullanılan hammaddenin karışımı ve cinsi yolluktan geri dönüştürülen hacmi tamamen kullanılmaz hale getirebilmektedir. Bu problemden yolluk dağılımlarını

mümkün olduğu kadar kısa tutarak veya sıcak yolluk sistemleri kullanarak çözüm üretilebilmektedir. Sıcak yolluk sistemleri çok daha kesin çözümler yaratabilmesine karşın, zira bu sistemde hammadde kaybı sıfır kabul edilebilir, çeşitlerine göre değişkenlik göstermeleri ile birlikte yine de oldukça pahalı sistemlerdir. Dolayısıyla bazen parça ömrü boyunca oluşacak hammadde kaybına razı olarak soğuk yolluk tercihi yapmak daha ekonomik olabilmektedir.

2.1.5. Parçada Oluşan Çöküntüler

Plastik parçanın kalıp ölçülerinden daha düşük ölçülere düşmesine çekme denilmektedir, ancak çekme et kalınlığında meydana gelirse bu durum çöküntü olarak adlandırılır. Çöküntü plastik enjeksiyon prosesi sırasında en sık yaşanan kalite problemlerinden biridir. Termoplastik kullanılarak yapılan imalatlarda kaçınılmaz olan bu durum kalıp işleme toleranslarında dikkate alınır. Ancak bazı durumlar enjeksiyon prosesinde doğal kabul edilen çöküntünün, kabul edilen veya öngörülen boyuttan daha büyük olarak ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu durumlar [11]

- Düşük enjeksiyon basıncı
- Kısa ütüleme ve/veya soğutma zamanı;
- Yüksek eriyik sıcaklığı;
- Yüksek kalıp sıcaklığı;

Sıkça karşılaşabileceğimiz çöküntü enjeksiyon hatasının önüne geçebilmenin en etkili yollarından biri yolluk seçiminin düzgün yapılmasıdır. Örneğin yolluk yerinin çöküntü ile karşılaşılan bölgeye yakın tutulması sonucunda doğal olarak bölgedeki enjeksiyon basıncı yükselecek ve çöküntü azalacaktır. Aynı şekilde daha geniş yolluk kullanımı ile yolluk girişindeki donma gecikecek ve ütüleme basıncı ve ütülemede ilerleyen hammadde miktarı artacaktır.

2.1.6. Çok Gözlü Kalıplarda Parça ve Kalıp Geometrisi

Çok gözlü kalıplarda yolluk tasarımının yapılması sırasındaki en önemli kriterlerden biri dengeli dağılım sağlama şartıdır. Bunu sağlamak içinde mümkün olduğunca yolluğun merkezden her bir parçaya olan akış mesafesini eşit tutmaya çalışılır. [6,12]

Bazı çok gözlü kalıplarda parça geometrileri aynı olmayabilir veya kalıp içerisindeki yerleşimlerinden dolayı gözler kalıp merkezinden eşit uzaklıkta bulunmayabilirler. Her bir gözün parça geometrisinden veya yerleşimlerinden doğan dolum süresi

farklıkları yolluk ölçüleri veya giriş ölçülerinde yapılacak değişiklikler ile giderilebilir. Örneğin merkeze yakın ve/veya küçük parça için daha ufak bir yolluk kanalı açılarak bu parçaya giden akış diğerine göre zorlaştırılır böylece dolum süresi büyük veya uzakta bulunan parçanın dolum süresine eşitlenmeye çalışılır.

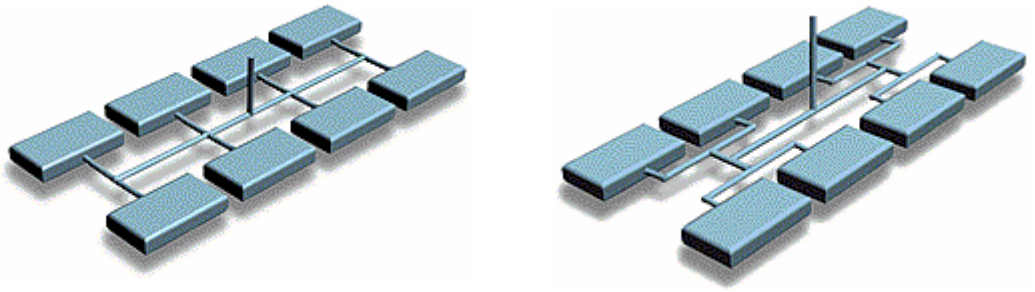
Şekil 2.1'de, eşit büyüklük ve uzaklıklarda kullanılan hatalı yolluk dağılımı görülmektedir (a), bu tasarımda her göze eşit oranda akış vardır doğal olarak küçük olan göz diğerlerinden daha erken dolacaktır. Oysa (b) resminde yolluk boyutları dengelenerek parçaların eş zamanlı dolumu gerçekleştirilebilir.



(a) (b)

Şekil 2.1: (a)Hatalı Yolluk Tasarımı, (b) Dengelenmiş Yolluk Tasarımı [7]

Şekil 2.2'de diğer bir tipik yolluk tasarım hatası ve bunun düzeltilmiş hali görülmektedir. Ana girişe yakın olan gözler akış yolu tercihi sebebi ile uçlarda bulunan gözlerden önce dolarlar.



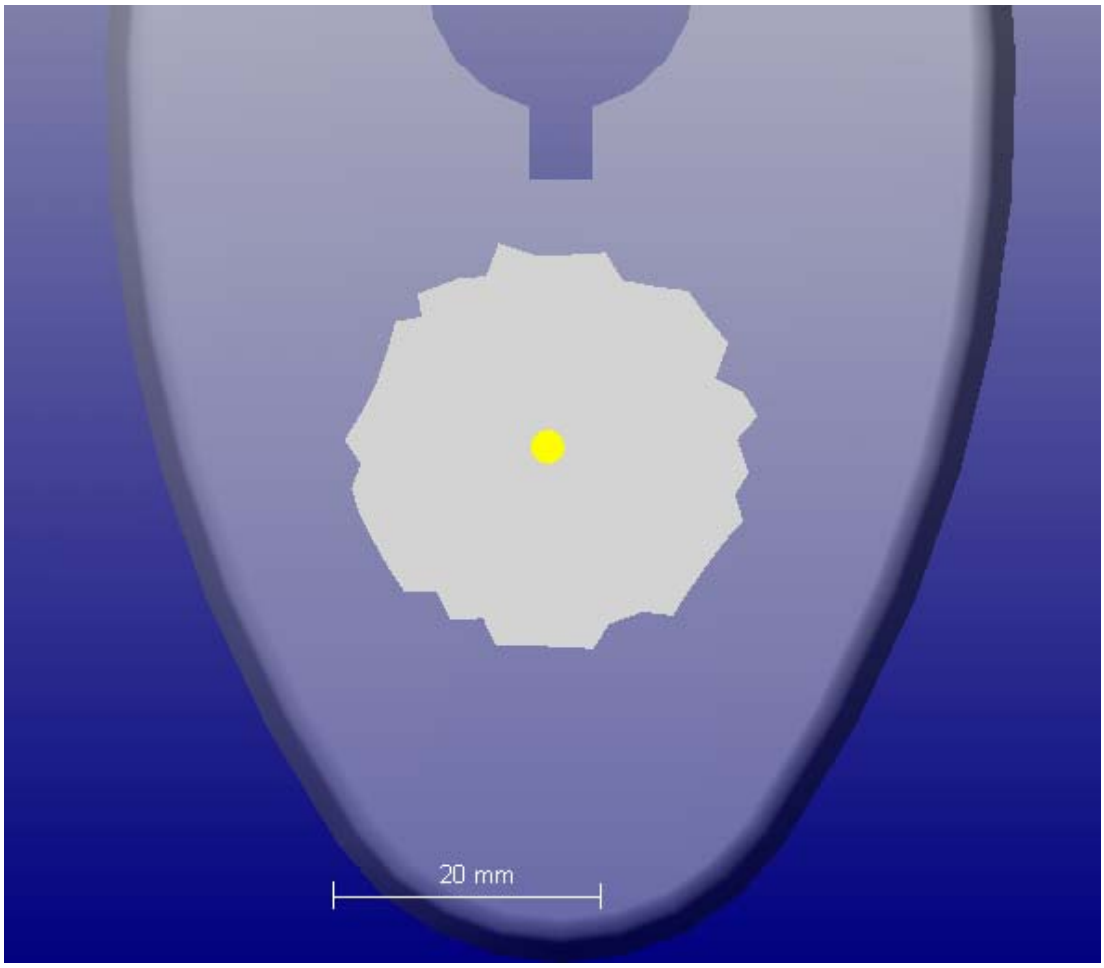
(a) (b)

Şekil 2.2: (a)Hatalı Yolluk Tasarımı, (b) Dengelenmiş Yolluk Tasarımı [7]

2.2. Yolluk Girişinin Cam Elyaf Takviyeli Mamül Özelliklerine Etkisi

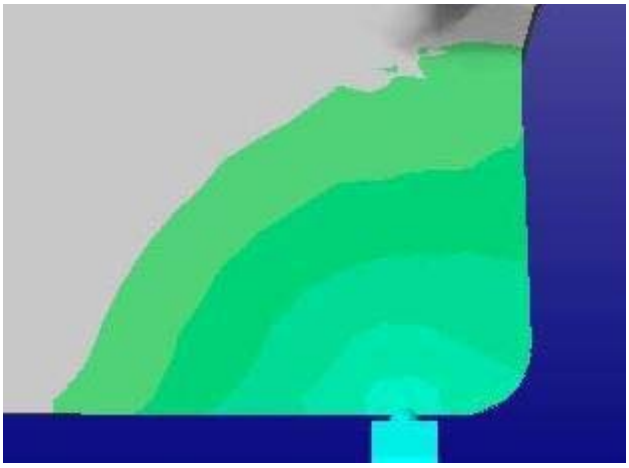
Katkısız malzemeler ile üretilen parçalarda gördüğümüz etkilerin tümü cam elyaf takviyeli parçalarda da aynen gözlemlenebilmektedir. Ancak elyaf takviyeli plastikler için dizayn yapılırken matris fiber yapışması, karma malzemenin boyutsal çekmeleri ve fiber yönlenmesi hususları daha dikkatle ele alınmalıdır[14,15]. Yapıdaki elyaf takviyeleri malzemenin akış yönü doğrultusunda yönlenmekte ve böylece doğal olarak parçanın farklı eksenlerde farklı mukavemet özellikleri göstermelerine sebep olmaktadırlar. O halde akış yönünü belirleyen etkenler elyaf takviyeli polimerlerden üretilmiş parçaların mukavemet özelliklerini de belirlemektedir. Bu etkenlerden en önemlisi hiç kuşku yoktur ki yolluk giriş noktasının konumudur.

Mamulün, ortasına yerleştirilen yolluk girişlerinde bu etki fazlaca görülmez bunun sebebi bu sistemlerde plastik malzemenin tüm eksenlerde dairesel olarak yayılarak ilerlemesidir. Moldflow programında hazırlanmış bir akış modeli Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3: Parça Merkezinden Besleme Moldflow Modeli

Ancak özellikle çok gözlü ve soğuk yolluk uygulaması tercih edilmiş kalıplarda parça kenarlarından giriş yapılmaktadır. Dolayısıyla akış giriş noktasından itibaren, Şekil 2.4'te görüldüğü gibi genişleyen bir çember şeklinde ilerleme özelliği gösterir.



Şekil 2.4: Parça kenarından yolluk girişi

Bu durumda kısa elyaf takviyeli malzemeler ile üretim yapılacağı zaman kalıp tasarımı esnasında yolluk girişinin kozmetik, ekonomik, ve üretim verimliliği gibi etkilerinin yanı sıra bu hususunda dikkate alınması gereklidir. Yapılacak seçim ürünün mekanik özellikleri üzerinde hayli etkili olmak ile beraber, yanlış yerleştirilen yollukları değiştirmek oldukça maliyetli, zor hatta bazı durumlarda imkansızdır. O halde henüz tasarım aşamasında bu kriterleri düşünmek büyük avantajlar sağlar.

3. PLASTİK ENJEKSİYONUNUN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Bilgisayar destekli analiz çalışmalarımızda MPA firmasına ait Moldflow Mold Adviser 6.0 ve Moldflow Part Adviser 6.0 programları kullanılmıştır.[7] Üzerinde çalışılan modeller herhangi bir katı modelleme programı tarafından hazırlandıktan sonra ister kullanılan katı modelleme istenirse de Moldflow yardımı ile *.stl formatına çevrilerek enjeksiyon proses modellemesi gerçekleştirilebilir.

Analiz sonucunda program yardımıyla parçanın basınç dağılımı, dolum süresi, basınç değişimleri, hava tuzakları ve hatta yüzey kalitesi gösterilebilmektedir.

Programın kütüphanesinde plastik hammadde üreticilerinin piyasaya sunmakta oldukları ürünlerinin teknik verileri bulunmaktadır. Çok yüksek sayıda ürünün bilgilerine ulaşma şansı bulunduğu için bu geniş veritabanını kullanarak tasarımı yapılan parçanın farklı hammaddeler ile üretilmesi durumunda nasıl bir sonuç ortaya çıkacağını da incelenebilir. Aynı zamanda kayıtlara ilave veri ekleyerek bu listede bulunmayan bir hammadde ile de çalışmaları gerçekleştirme olanağı da bulunmaktadır.

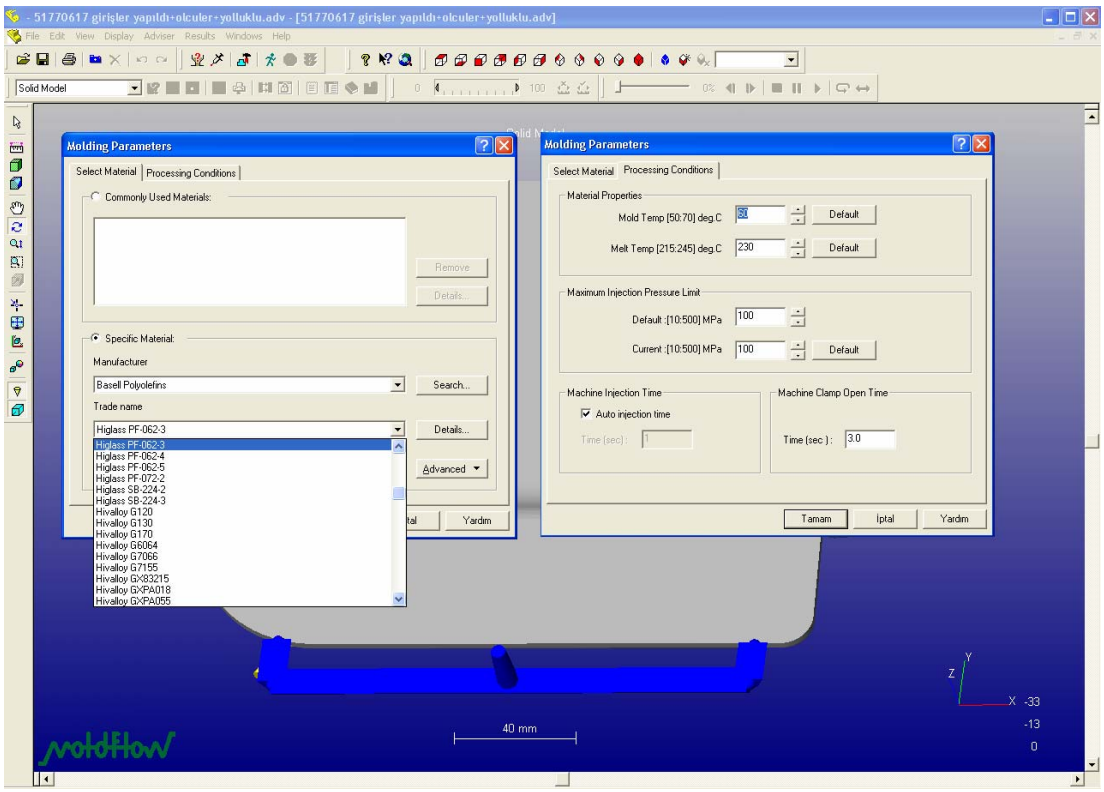
3.1. Moldflow Analizinin Hazırlanması

3.1.1. Modelin Açılması

Moldflow yazılımının tanıdığı en yaygın kullanılan format *.stl. Bu formatta oluşturulan katı model Moldflow programları tarafından açılabilir. Artık model Moldflow programında görebilir, istenilen eksende döndürülebilir, yakınlaştırılıp, uzaklaştırılabilir. Başka bir değişle parça modeli üzerinde değişiklik yapmadan inceleme yapılabilir. Part Adviser programı tek bir parça için inceleme yapılmasına olanak verirken, Mold Adviser programı sayesinde çok gözlü kalıplar, aile kalıplar, ve makine ile kalıp arasındaki malzeme iletimi sağlayan yolluk bölümü de incelenir. Diğer önemli bir fark Part Adviser programı ile aynı parça üzerine sadece tek bir giriş noktası yerleştirile bilinmesidir.

3.1.2. Kalıplama Parametrelerinin Seçilmesi

Bu adımda "Adviser" ana menusu altındaki "Molding Parameter" komutu seçilir.Çıkan pencerede "Select Material" bölümü yardımı ile, programın kütüphanesinde bulunan mevcut hammaddeler arasından seçim yapılabilir, bu hammaddelerin teknik verilerinde değişiklik yapılabilir, veya tamamen yeni bir hammadde yaratılarak seçilebilir. Ayrıca "Processing Conditions" kısmından malzemenin enjeksiyonu için program tarafından belirlenmiş olan uygun kalıp,ve malzeme sıcaklıkları görülebilir veya değiştirilir. Bahsedilen menü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Moldflow Kalıplama Parametreleri Menüsü

3.1.3. Besleme Sisteminin Modellenmesi

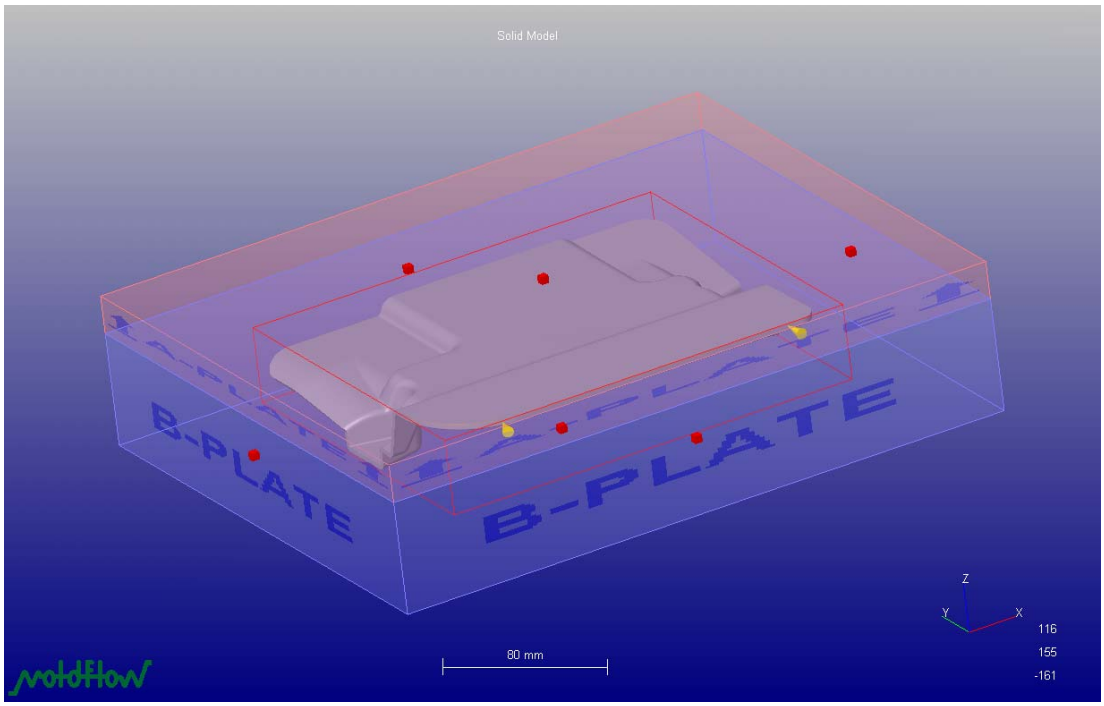
Moldflow programının iki ayrı yazılımı olan Part ve Mold Adviser yazılımlarının kullanımında olan tek farklı kısım besleme sistemlerinin modellenmesidir. Her iki yazılım için sistemin modellenmesinde kullanılacak metodoloji farklıdır.

3.1.3.1. Part Adviser Yazılımı

Kalıp besleme noktalarının belirlenmesinde Moldflow programından yardım alınabilir. Kullanılacak malzeme ve işleme koşulları seçildikten sonra "Adviser-Analysis Selection-Gate Location Analysis" komutları kullanıldığında, yazılım tarafından en uygun giriş bölgesini veya bölgelerini gösteren bir model çıkar. Ancak yazılım kalıbın çalışma mekanizması veya birleşme yüzeyi ile ilgili bir çözümleme yapmadan söz konusu analizi yapmıştır. Yani tamamen parçanın üç boyutlu geometrisine göre analiz edilen bu noktalardan giriş yapmak kalıbın çalışma prensibi veya kozmetik görüntüsü açısından imkansız olabilir. Bu durumlarda kullanıcı kendi belirlediği bölgeden giriş yaparak analize devam edebilir.Giriş noktasının yerine karar verdikten sonra, "Adviser-Pick Injection Location" komutu yardımıyla enjeksiyon giriş noktası belirlenir.

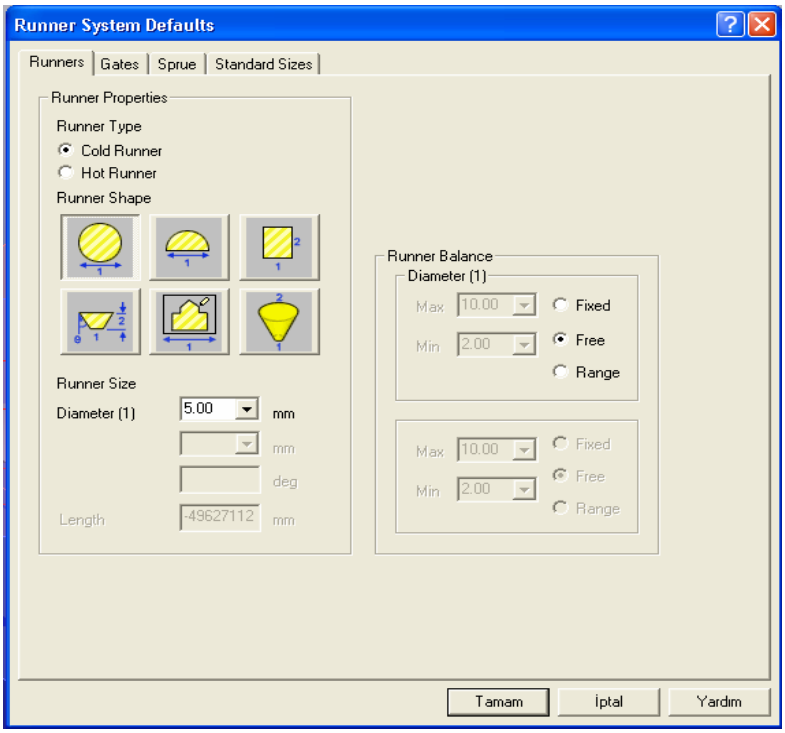
3.1.3.2. Mold Adviser Yazılımı

Daha önce de söz edildiği gibi birden fazla yolluk girişinin söz konusu olduğu veya birden fazla parçanın analizinin yapılacağı durumlarda Mold Adviser yazılımından faydalanılmalıdır. Bu yazılımda farklı olarak yapılması gereken giriş noktalarının koordinatları belirlendikten sonra kalıp ayrım hattını belirlemektir. Bunun için "Adviser - Parting Plane" komutu kullanılır ve kalıp ayırım hattını belirleyecek düzlem tanımlanır. Ardından "Adviser -Mold Dimensions" komutları ile kalıp plakaları tanımlanır. Burada kalıbın tüm dizaynını yapmak gerekmemektedir sadece parçayı içine alan çekirdek kısmın boyutlandırması yeterlidir. Şekil 3.2'de örnek parça için belirlenen çekirdek plakaları gösterilmektedir.



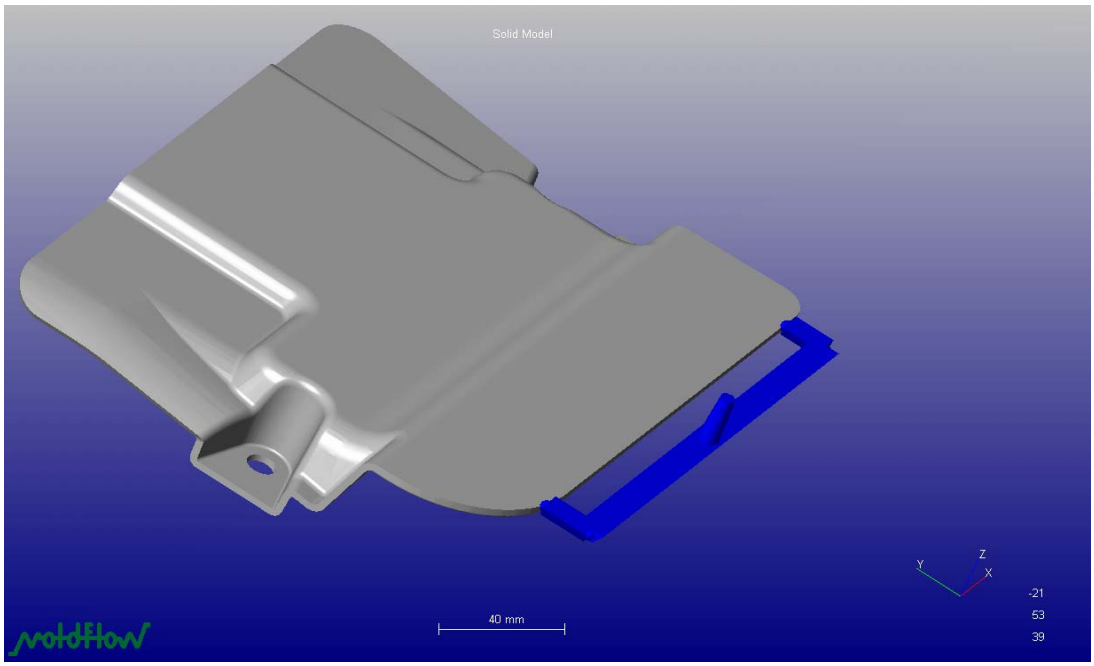
Şekil 3.2: Moldflow'da Kalıp Plakaların Yerleştirilmesi

Bir sonraki adım yolluk sistemlerini ve boyutlarını belirleyerek sistemi tamamlamaktır. Part Adviser kısmından farklı olarak sadece girişler yerine tüm yolluk hattını programda belirlemek gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.3'de gösterilen "Adviser - Runner System Defaults" komutları ile açılan pencereden yolluk tipleri seçilir ve boyutlandırmaları yapılır.



Şekil 3.3: Moldflow'da Yolluk Tasarımı Menüsü

"Adviser -Drop Point" menusu yardımıyla eriyik malzemenin makineden, kalıba ilk giriş noktası olan ve meme olarak adlandırılan nokta belirlendikten sonra, "Adviser - Design Runners" komutları seçildikten sonra yolluk rotası belirlenir ve memeden, parça üzerinde bulunan giriş noktasına kadar kat edeceği yol belirlenir. Parça Şekil 3.4' te ki hali ile modellendikten sonra analize başlanabilir.



Şekil 3.4: Mold Adviser'a Uygun Hazırlanmış Model

3.1.4. Analizlerin Yapılması Ve Analiz Tipleri

Tüm bu işlemler bitirildiğinde "Adviser -Analysis Selection" seçildiğinde karşımıza yapabileceğimiz analizleri gösteren bir pencere çıkar. Bu bölümde soğuma, çöküntü veya kalıplama parametreleri aralığı gibi plastik enjeksiyon için kritik hususların analizleri seçilerek gerçekleştirilebilir. Ancak en temel yapılması gereken analiz "Plastic Flow Analysis" komutunun seçilmesiyle gerçekleştirilen akış analizidir. Seçilen parametrelere uygun bir malzeme akışı söz konusu model için gerçekleştirilmiş olur. Bu analiz yapıldığında değerlendirmesi yapılan ve kullanıcıya raporlanan özellikler şunlardır:

- Enjeksiyon Basıncı
- Basınç Düşüşü
- Dolum Süresi
- Akış Sıcaklığı
- Dolum Kalitesi
- Parça Kalite Öngörüsü
- Birleşme (kaynak) Çizgileri
- Hava (gaz) Sıkışma Lokasyonları

Analiz sonucunda verilen raporlar parça modelinin üzerinde seçilmiş olan karakteristiğin değişimini renk skalası ile göstermektedir. Analizler yazılım yardımı ile parça dolumunun herhangi bir anını seçerek gözlemlemeye ve incelemeye uygun olarak verilirler. Bunun yanı sıra parça dolumuna bağlı olarak yukarıda bahsedilen değişkenler animasyon olarak da gösterilebilir.

3.2. Örnek Parçanın Moldflow Analizi

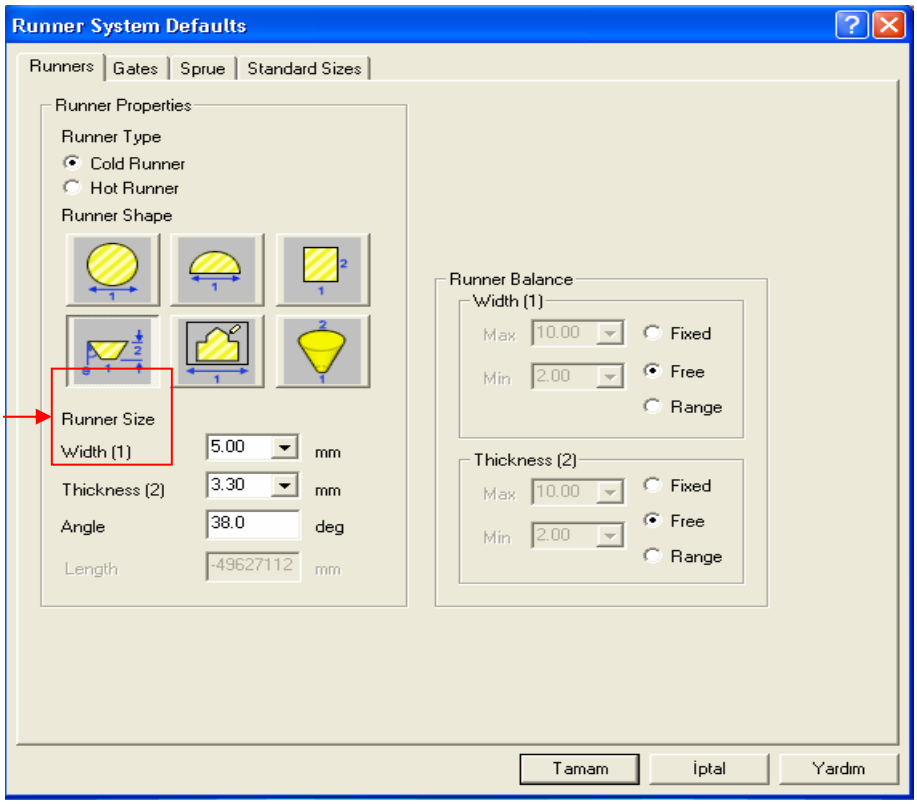
Üzerinde çalışma gerçekleştirilen parça (Şekil 3.5) otomotiv sektöründe kullanılan elektronik bir kontrol ünitesinin koruyucu kapağıdır. Parçanın üretimi Basell firmasından tedarik edilen Hostacom X G3 U10 100001 ticari ismi ile satılan ağırlıkça %30 cam elyafı takviyeli polipropilen malzemeden üretilmiştir.



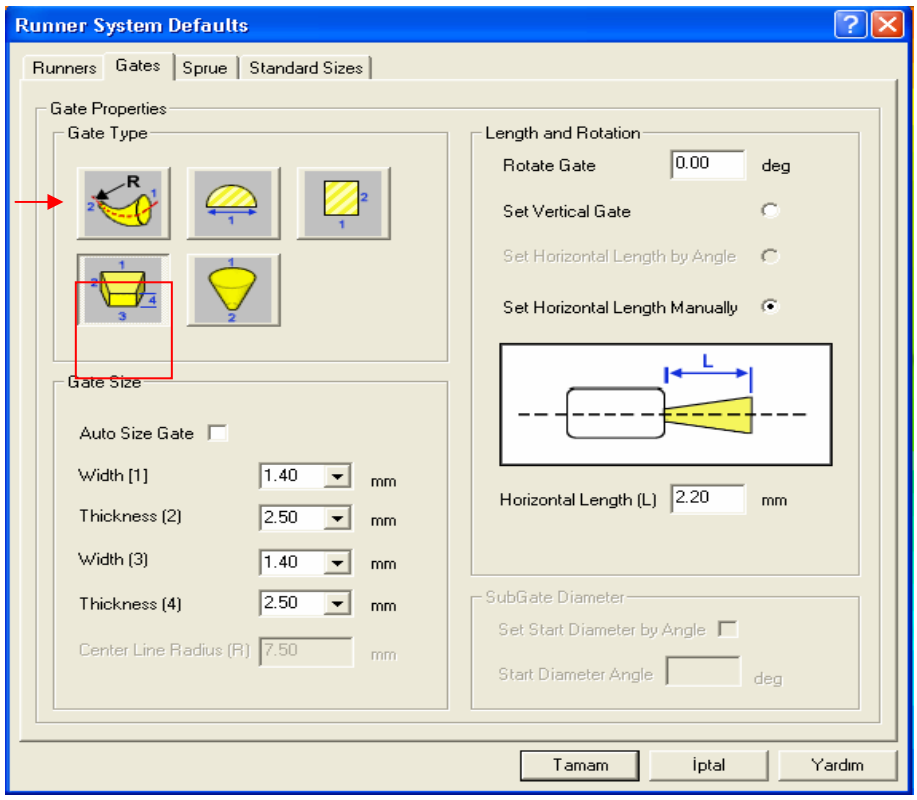
Şekil 3.5: Çalışma Parçasının Resmi

Uygulamada kullanacağımız plastik enjeksiyon kalıbı çift girişli soğuk yolluk sistemine göre hazırlanmıştır. Plastik parçanın enjeksiyon prosesinde kullanılan tüm proses parametreleri Moldflow programının kütüphanesinde kayıtlı olan, hammadde üreticisi tarafından belirlenmiş olan en uygun proses parametrelerine göre ayarlanmıştır.

Yolluk tasarımı için kullanılan geometri ve ölçüleri Şekil 3.6'da, yolluktan parçaya giriş için kullanılan geometri ve ölçüleri Şekil 3.7'de verilmiştir. Enjeksiyon makinesi ve kalıp arasında kullanılan standart konik meme yolluk çapı 5.65mm ile başlayıp, 7.5mm ile bitmektedir. İki yolluk girişi arasındaki mesafe 165mm'dir. Örnek parçanın et kalınlığı parça genelinde 2.5mm'dir.



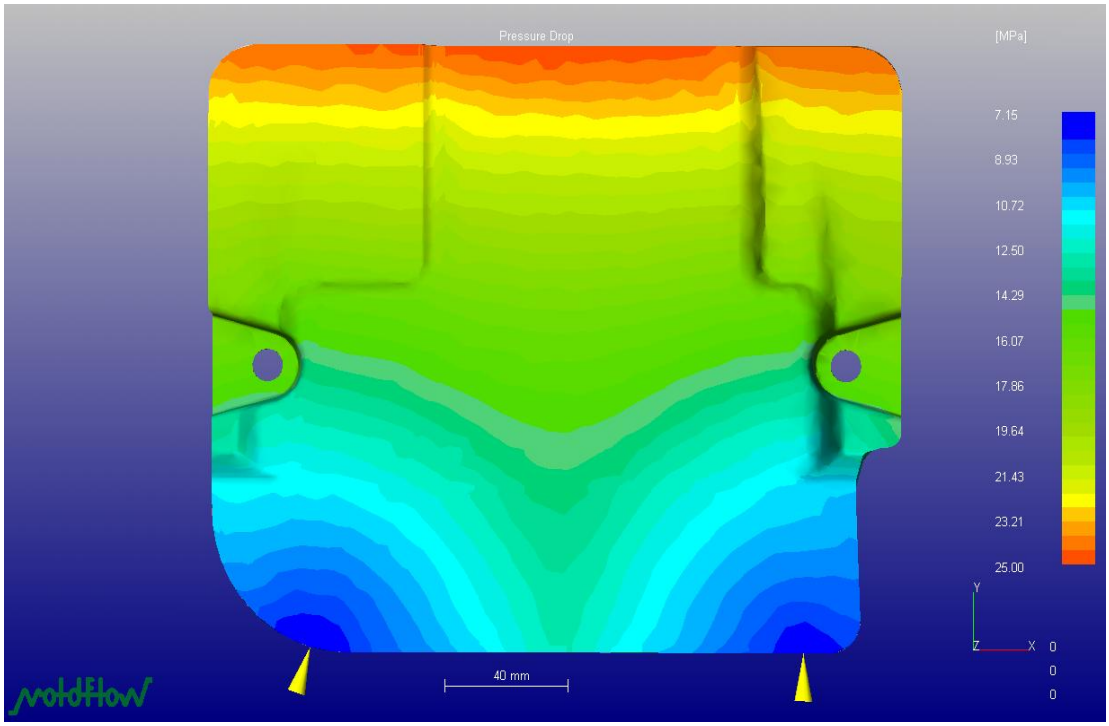
Şekil 3.6: Yolluk Geometrisi



Şekil 3.7: Yolluktan Parçaya Giriş Geometrisi

3.3. Akış Yönünün Bilgisayar Analizi Yardımıyla İncelenmesi

Plastik enjeksiyonunda kullanılan cam elyafı takviyelileri lif tipinde fiziksel yapıya sahiptirler, o halde bu liflerin yönlenmesini sağlayacak çeşitli değişkenler olmalıdır. Bu değişkenlerden en etkin olanı parçayı besleyen yolluk giriş geometrisidir. Kalıp hacmimiz eriyik plastik akışkanımız ile doldurulurken bu lifler akış doğrultusunda yönlenme gösterecektir. Eğer basınç dağılımını Moldflow programında modellersek, bu analizden yola çıkarak liflerin yönlenmesi de modellenebilir. Plastiğin dolum analizinin herhangi bir anında akış modeli veya basınç değişimi şemaları üzerinde görülebilen sınır hattına dik vektörler çizilirse, bu vektörler akış yönünü gösterecek ve lif yönlenmesine işaret edecektir. Şekil 3.8'de Moldflow programından örnek parça için alınmış olan şemada basınç düşüşü kademeli olarak gösterilmektedir. Akışın yönünün bu basınç düşüşünü gösteren hattın teğetine dik doğrultuda olacağı öngörülebilir.



Şekil 3.8: Moldflow Basınç Düşüş Modeli

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Plastik Enjeksiyon Uygulaması

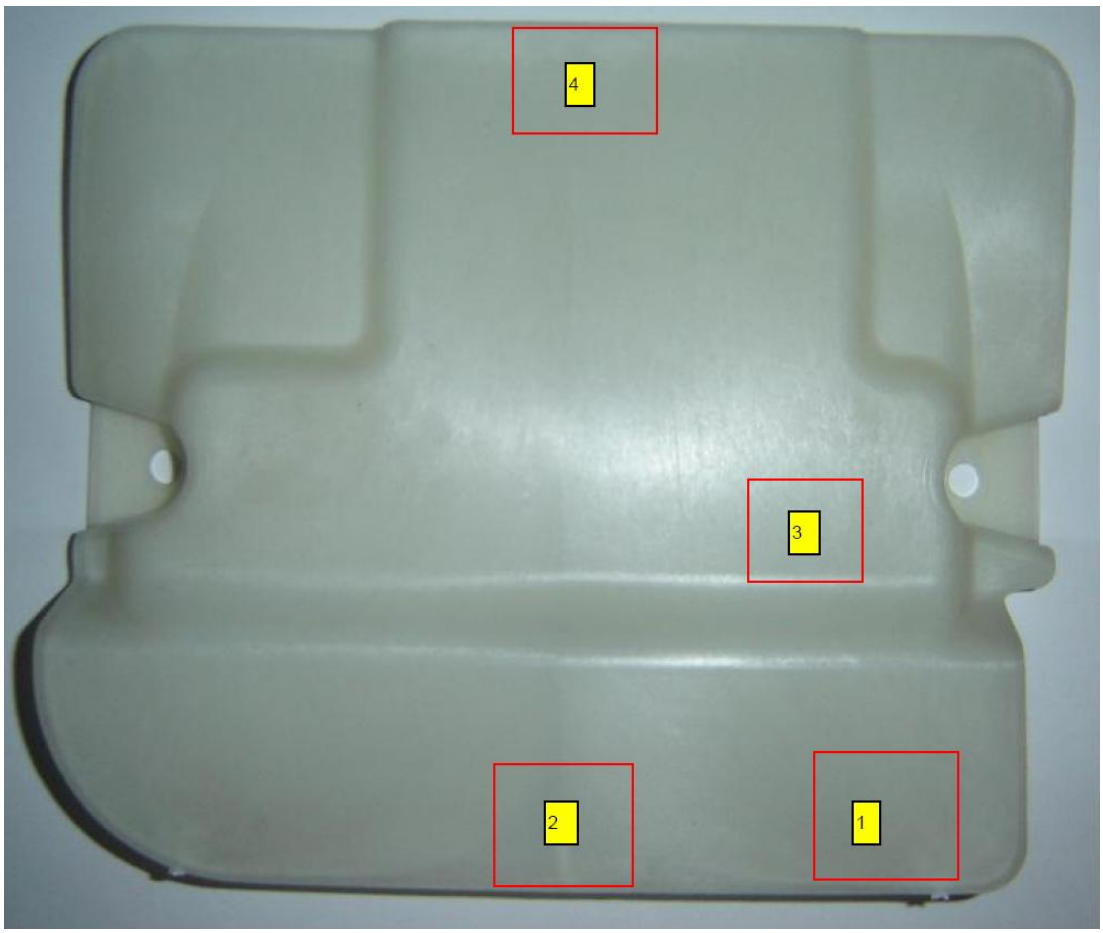
Plastik enjeksiyon üretimi ASIAN 250 SM markalı plastik enjeksiyon makinelerinde gerçekleştirilmiş ve makinenin ocak sıcaklıkları için makine sistemine bağımsız dışarıdan bağlanan termokupullar ile ayrıca kontrol edilmiştir. Kalıp sıcaklığı 60°C, eriyik sıcaklığı 230°C olacak şekilde ayarlanmıştır.

Enjeksiyon esnasında kalıp boşluğunu tamamen doldurmayacak miktarda plastik dozajlaması yapılarak tamamen bitmemiş parçalar üretilmiştir. Dozajlama yapılırken akışı zorlaştırmak veya kolaylaştırmak için kalıp, malzeme sıcaklıkları ve enjeksiyon parametreleri değiştirilmemiştir. Bu sayede enjeksiyon parametrelerinden kaynaklanan mekanik özellik değişimlerinden kaçınılmıştır. Bu yöntemle dolum prosesinin çeşitli anlarında akış hattının durumu incelenmiştir. Parçanın değişik doluluk durumlarını temsil eden parçalar üzerinde incelemeler yapılmıştır. Daha sonra üretilen numunelerden optik mikroskop altında incelemek için örnek parçanın karakteristik bölgelerinden numuneler hazırlanmıştır.

4.2. Lif Dağılımlarının İncelenmesi

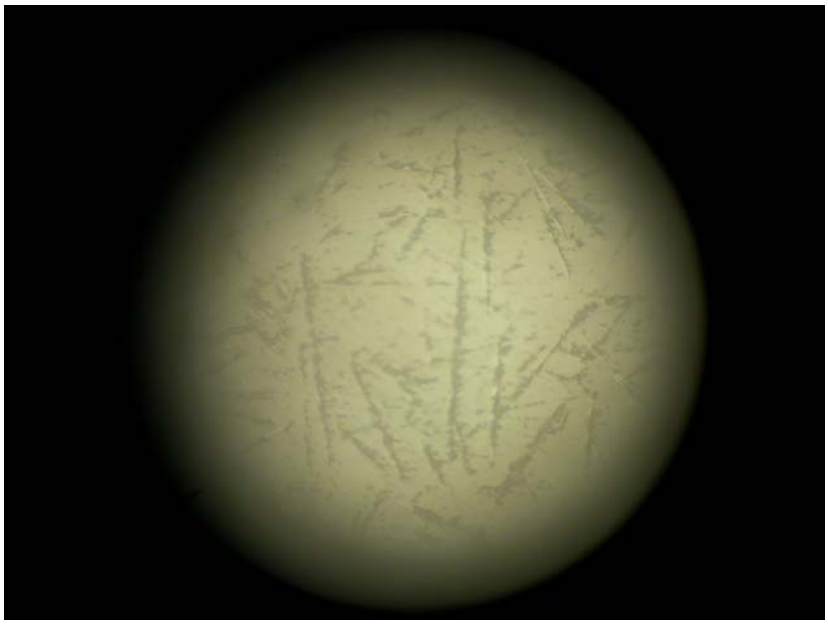
4.2.1. Lif Dağılımlarının Optik Mikroskopta İncelenmesi

Optik mikroskop yapılacak inceleme için daha önce belirtilen şartlar altında üretilen numunelerimizin karakteristik bölgeleri seçilmiştir. Bu bölgeler yolluk giriş bölgesinde, iki ayrı yolluk girişinden ilerleyen malzemelerin birleştiği bölgede, akışın dairesel olarak ilerlediği bölgede ve en son olarak da malzeme akışının yolluk giriş açısına paralel olarak ilerlediği bölgelerden alınan numuneler olarak seçilmiştir. Parçanın üzerinde lif yönlenmelerini incelemek seçilmiş bölgeler Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



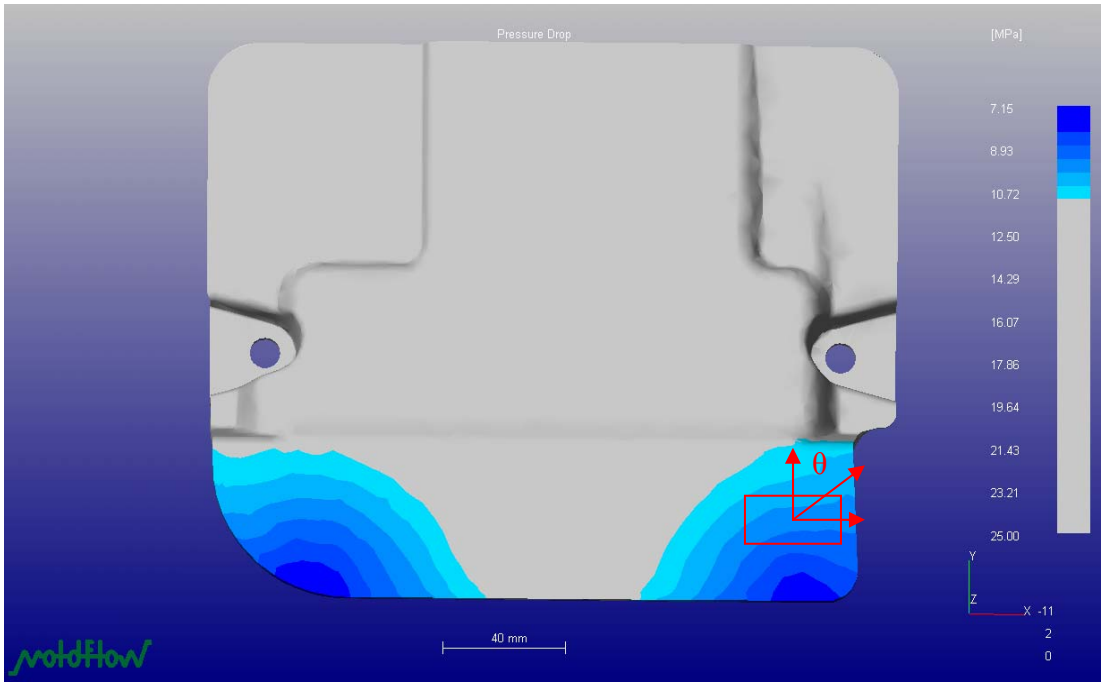
Şekil 4.1: Lif Yönlenmesinin İncelendiği Bölgeler

Optik mikroskop yardımıyla çekilen resimler, bir bilgisayar destekli çizim programına aktarılmış, ve bu programı yardımı ile elyaf liflerinin uzunlukları ve akış yönünün normali ile yaptıkları açılar ölçülerek listelenmiştir. Seçilmiş olan bu bölgelerde görülen dağılımlar onar derecelik açı aralıklarına göre gruplandırılmış ve grafiklendirilmiştir. Böylece akışın liflerinin yönlenmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optik mikroskopta incelenmekte olan bölgenin karakteristiğini daha doğru yansıtmak amacı ile aynı bölgeden birbirinden farklı üçer adet alan incelenmiş ve söz konusu alanların her birinde yapılan ölçümlerin sonuçları birleştirerek bölgesel karakteristiği temsil eden bileşke grafik üzerinde inceleme yapılmıştır. Şekil 4.2'de örnek bir mikroskop görüntüsü verilmiştir. Kullanılan tüm optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.1'de ki numaralandırmaya uygun olarak Ek A'da verilmiştir.



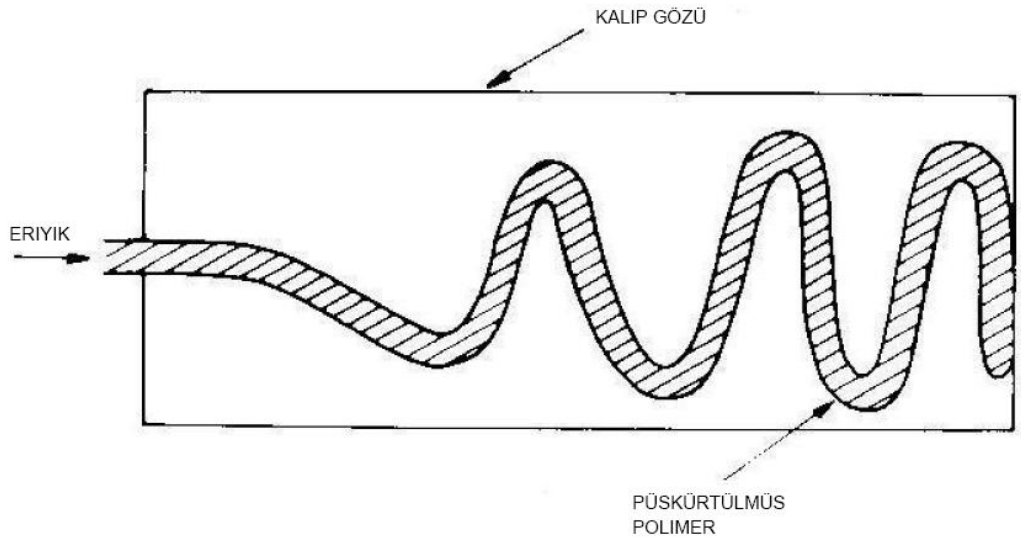
Şekil 4.2: Örnek Mikroskop Görüntüsü

4.2.1.1. Enjeksiyon Başlangıcında Tek Yolluk Giriş Kaynaklı Akışın ve Lif Yönlenmesinin İncelenmesi



Şekil 4.3: Yolluk Giriş Bölgesi Moldflow Modeli

Şekil 4.3'te başlangıç anına ait incelenen bölge ve incelemede yönlenme doğrultusu şematik olarak Moldflow analizinden çıkartılmış basınç düşüş modeli yardımıyla gösterilmektedir. Yolluk giriş bölgesinden alınan örneklerden yapılan incelemelerde bu bölgede liflerin akış normaline yakın açılarda gruplaşmasını görmemize rağmen farklı açılarda da örnekler görülebilmektedir. Dağılımın temel sebepleri, yolluk girişinin yakınında bulunan kalıp çeperine ulaşan akışkanın buraya çarparak geriye doğru yönlenmek istemesi ve makineden kalıp içine giren ilk eriyik plastiğin düzgün bir akış göstermektense, enjeksiyon basıncı nedeniyle Şekil 4.4'te görülebileceği gibi püskürmeye benzeyen bir akış karakteristiği göstermesidir. [5]

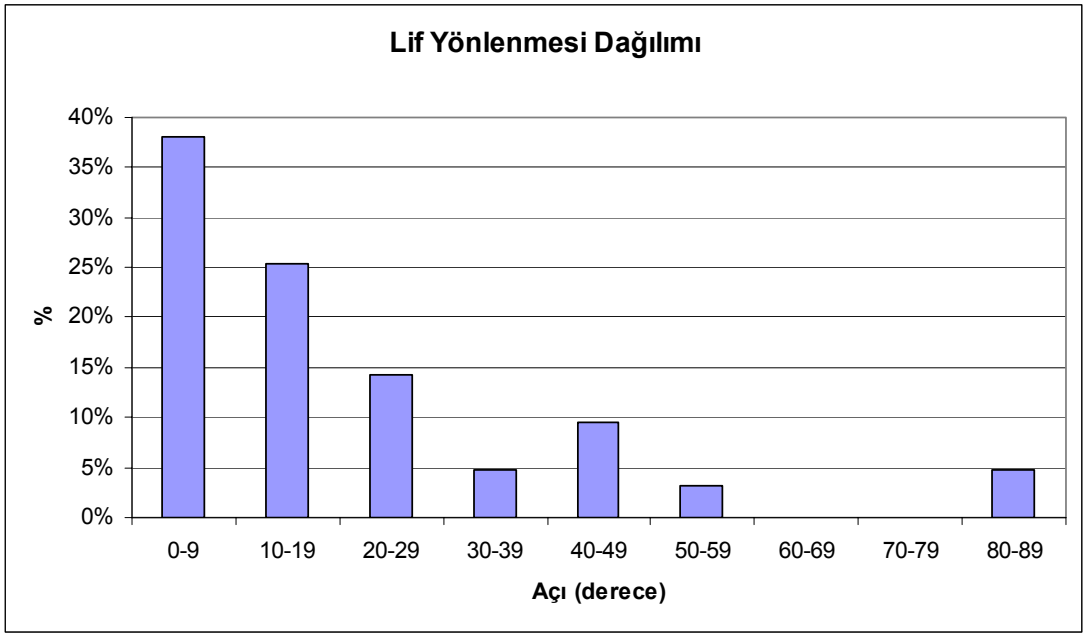


Şekil 4.4: İlk Girişteki Püskürme Etkisi [5]

Bu bölgede yapılan incelemelerin neticesinde Tablo 4.1'de ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi incelenen liflerin yaklaşık %60'ı 20 dereceden daha az açılar ile akış yönünde konumlanmıştır. Bu bölgede daha ciddi bir lif yönlenmesinin gözlemlenememesinin nedenleri; yukarıda bahsedilen püskürme etkisi ile yönlenmenin tam olarak gerçekleşmemesidir zira bu bölgede hala akış dairesel bir karakteristikte görülmektedir.

Tablo 4.1: Yolluk Giriş Bölgesinde Lif Yönlenmesinin Dağılımı

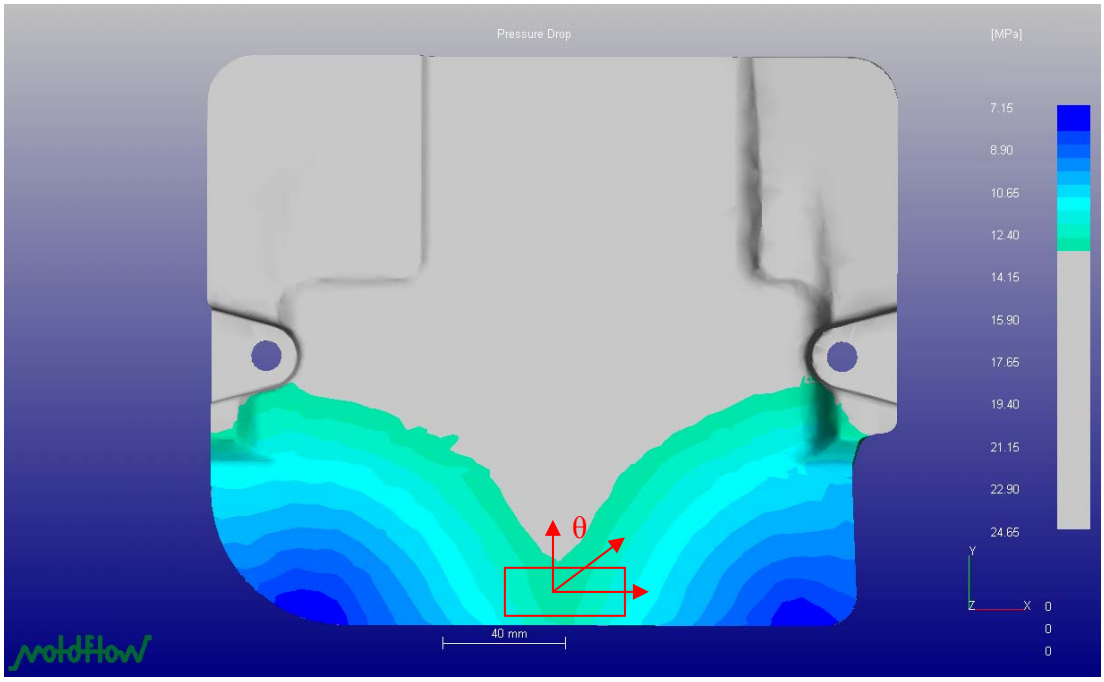
Açı/Örnek	1.1	1.2	1.3	Lif Sayısı	%
0-9	5	15	4	24	38%
10-19	7	5	4	16	25%
20-29	1	1	7	9	14%
30-39	1	2		3	5%
40-49	1	1	4	6	10%
50-59			2	2	3%
60-69				0	0%
70-79		0		0	0%
80-89	1	2		3	5%
		Toplam Lif		**63**	



Şekil 4.5: Yolluk Giriş Bölgesi Lif Yönlenim Grafiği

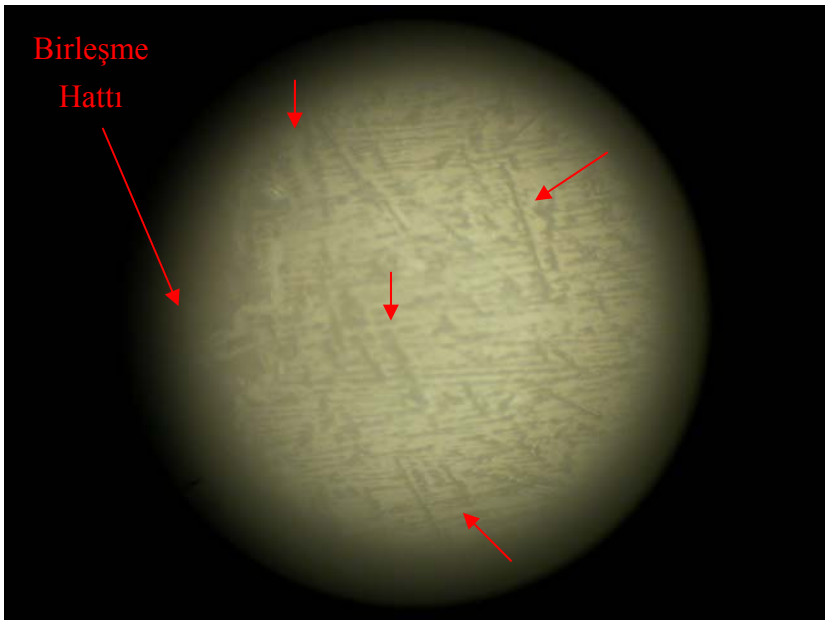
4.2.1.2. İki Farklı Yolluktan Gelen Akışın Birleşme Bölgesinde Akışın ve Lif Yönlenmesinin İncelenmesi

Üzerinde çalışmalarımızı gerçekleştirdiğimiz parçamızda iki adet yolluk giriş noktası mevcuttur. Doğal olarak bu iki kaynaktan gelen eriyik akışkanın bir noktada birleşerek bir kaynak çizgisi oluşturmaları kaçınılmazdır. Şekil 4.6'da söz konusu birleşme ve incelenen bölge görülmektedir.

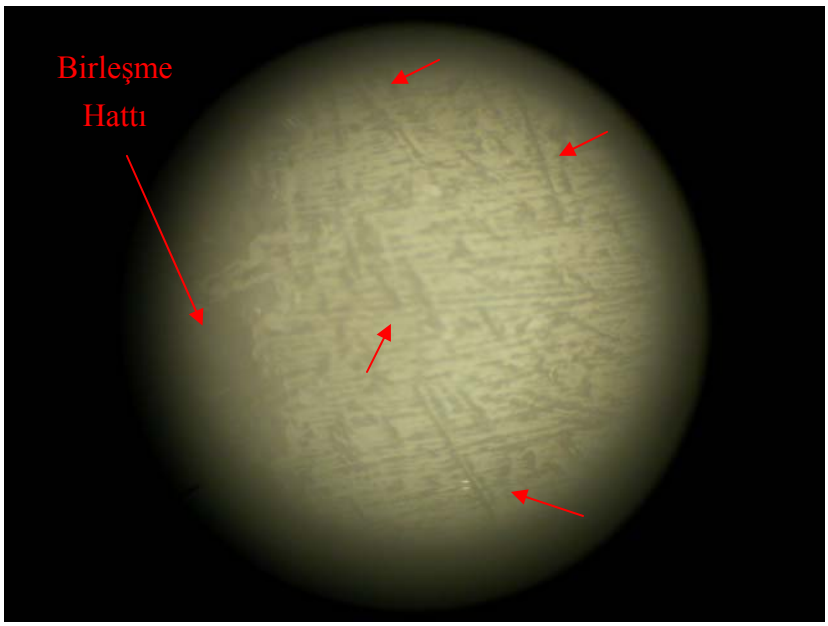


Şekil 4.6: Birleşim Bölgesi Moldflow Modeli

Bu bölgede lif dağılımlarını incelendiğinde liflerin yolluk girişinden incelenen bölgeye doğru bir açıyla yönlendikleri ve daha sonra iki grubun birleşerek tek bir kütleymiş gibi akış yönüne paralel ilerledikleri görülmektedir. Bu bölgede dar bir açı aralığında yönlenmeden ziyade birleşme esnasında ve birleşme hattı boyunca liflerin konumlanma karakteristiği önemlidir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de liflerin birleşme hattı boyunca yönlendikleri açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7: Liflerin Birleşim Hattı Boyunca Yönlenmesi

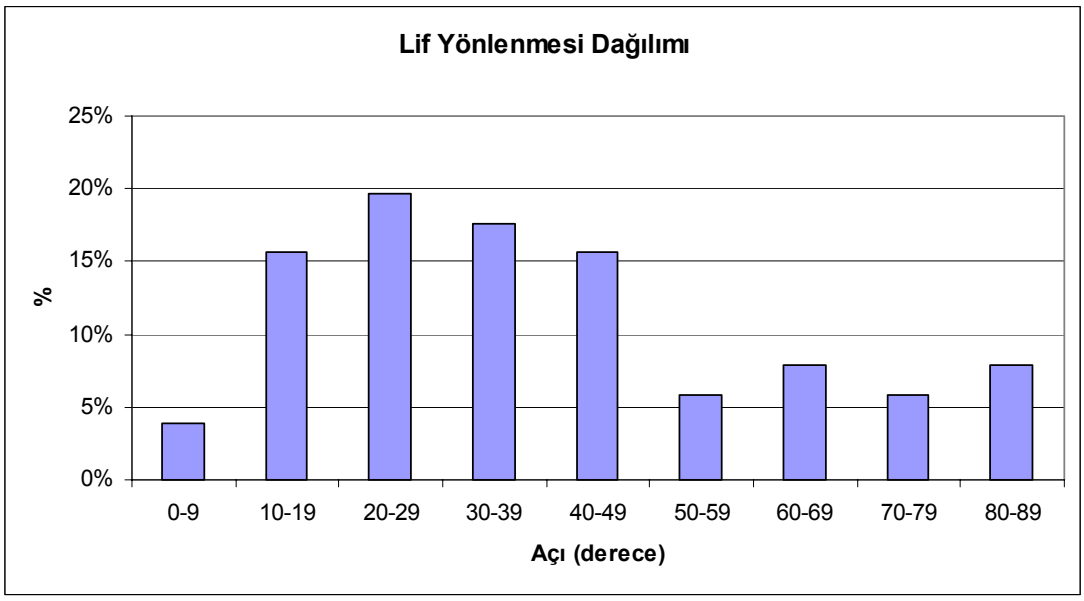


Şekil 4.8: Liflerin Birleşim Hattı Boyunca Yönlenmesi

Bu durumun üç örneğinin incelenmesi sonucunda çıkan lif dağılım tablosu (Tablo 4.2) ve grafiği (Şekil 4.9) bize yönlenme trendinin akış yönüne paralel olacak şekilde değiştiğini ve cam elyaf liflerinin bu bölgede diğer örneklere göre daha geniş bir açı aralığında yönlenmiş olduklarını göstermektedir.

Tablo 4.2: İki Farklı Yolluktan Gelen Akışın Birleşme Bölgesinde Lif Yönlenmesinin Dağılımı

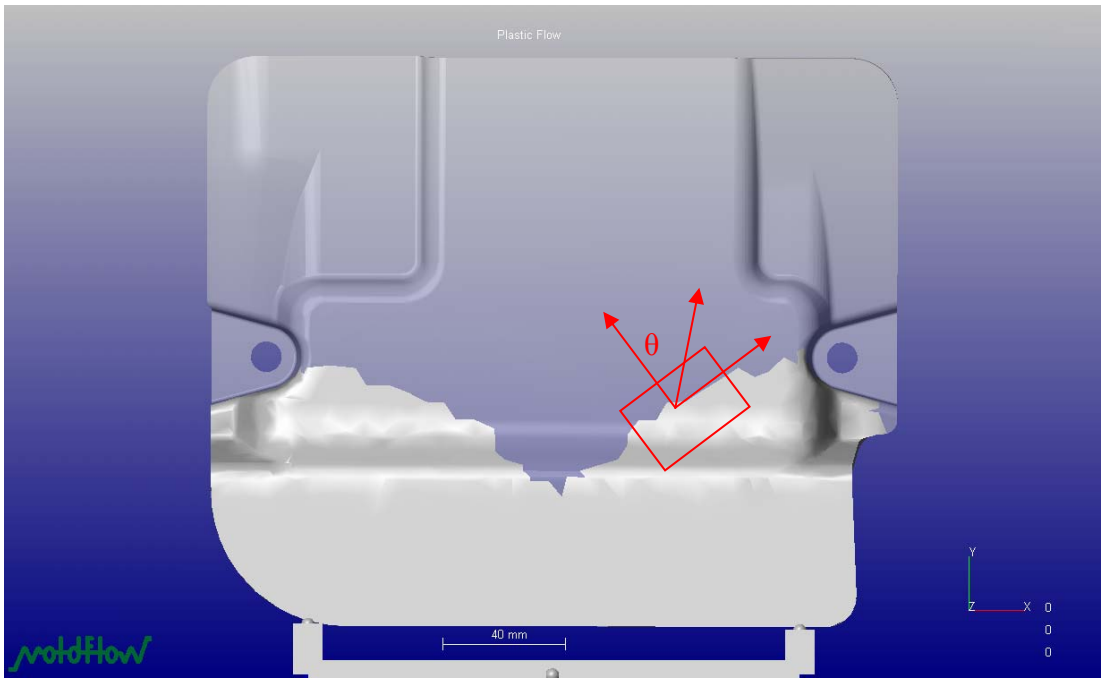
Açı/Örnek	2.1	2.2	2.3	Lif Sayısı	%
0-9	1	0	1	2	4%
10-19	4	3	1	8	16%
20-29	4	4	2	10	20%
30-39	5	3	1	9	18%
40-49	2	1	5	8	16%
50-59	1		2	3	6%
60-69	1	1	2	4	8%
70-79	1	1	1	3	6%
80-89			4	4	8%
		Toplam Lif		**51**	



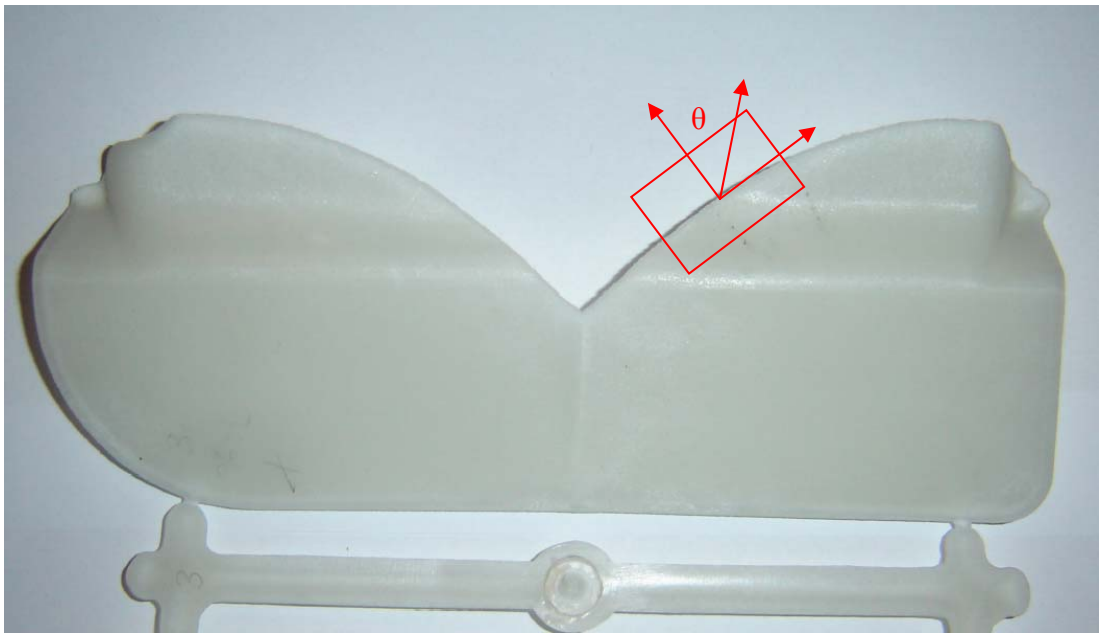
Şekil 4.9: İki Farklı Yolluktan Gelen Akışın Birleşme Bölgesi Lif Yönlenim Grafiği

4.2.1.3. Tek Giriş Kaynaklı Dairesel İlerlemenin İncelenmesi

Yolluk giriş bölgesinden uzakta yapılan bu incelemede ikinci giriş kaynağının ilettiği eriyik birleşmiştir. Ancak hala bir bütün olarak tek ilerlememektedirler. Bu yüzden inceleme bölgesinde tek giriş kaynağının yol açtığı karakteristik hala etkinliğini korumaktadır , Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de de görüleceği gibi yaklaşık parçanın doluluk göstermiş olduğu bir durumda inceleme yapılmıştır.

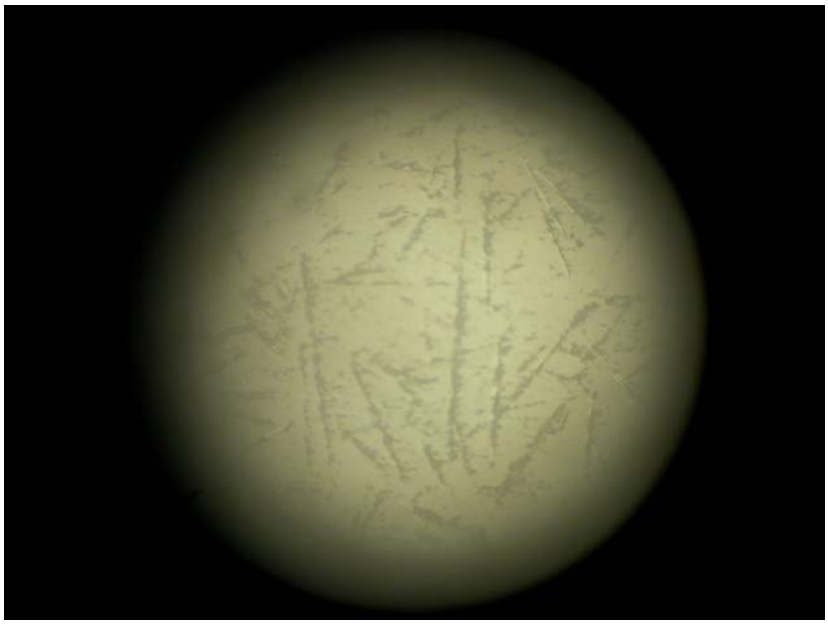


Şekil 4.10: Parça Dolumu Moldflow Modeli



Şekil 4.11: Gerçek Durum

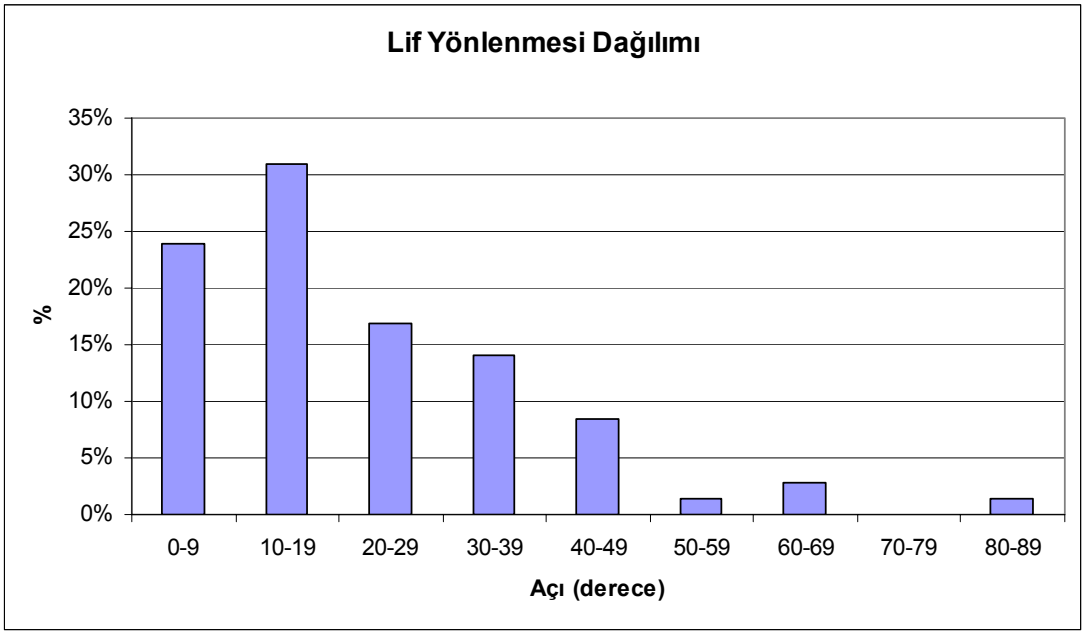
Bu inceleme sırasında görülen dairesel ilerleme hattının teğetine dik yönde bir ilerleme beklenmektedir. Şekil 4.12 ve örneklerimizin birleşik incelenmesinden çıkartılan, Tablo 4.3 ve Şekil 4.13'de verilen grafikte de görüleceği gibi beklenilen doğrultuda bir yönlenme belirginliğini göstermiştir.



Şekil 4.12: İncelenen Bölgede Optik Mikroskop ile Alınan Örnek

Tablo 4.3: Tek Giriş Kaynaklı Dairesel İlerleme Etkisinde Lif Yönlenmesinin Dağılımı

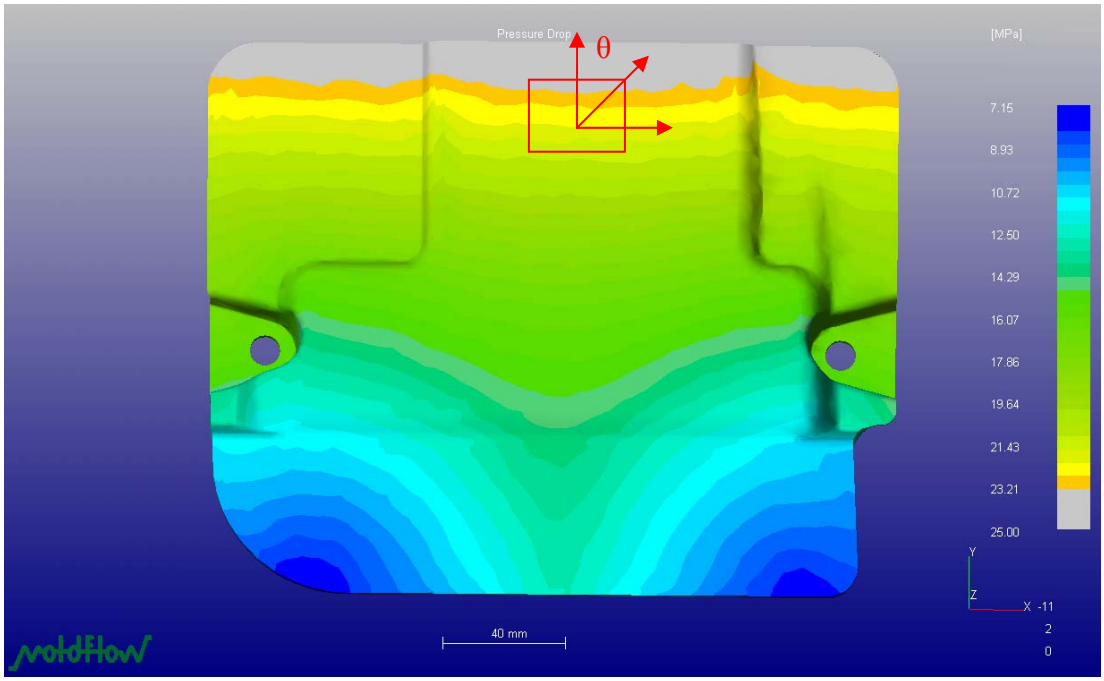
Açı/Örnek	3.1	3.2	3.3	Lif Sayısı	%
0-9	8	2	7	17	24%
10-19	1	6	15	22	31%
20-29	5	5	2	12	17%
30-39	5	3	2	10	14%
40-49	4	2		6	8%
50-59		1		1	1%
60-69		2		2	3%
70-79				0	0%
80-89			1	1	1%
		Toplam Lif		**71**	



Şekil 4.13: Tek Giriş Kaynaklı Dairesel İlerleme Bölgesinde Lif Yönlenmesi

4.2.1.4. Kalıbın Dolmasına Yakın Akışın İncelenmesi

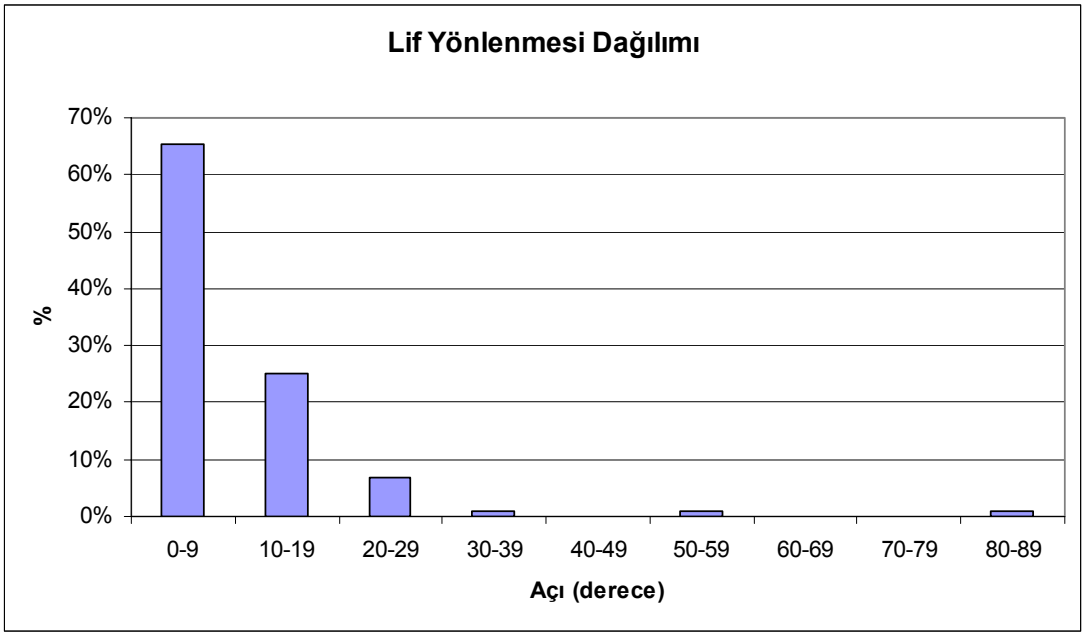
Kalıbın dolmasına yakın durumda Şekil 4.14' te görüldüğü gibi iki giriş kaynağından gelen malzemeler artık tamamen birleşmiş ve tamamen tek bir kütle halinde ilerlemelerini gerçekleştirmektedir. Yolluk girişinden ve iki malzemenin birleşme etkisinden uzak olan bu bölgede ölçümler yapılmıştır. Tablo 4.4 ve Şekil 4.15'de görüldüğü üzere liflerin %65'i akış doğrultusu ile 10 dereceye kadar %90'ı ise 20 dereceye kadar olan açılar ile konumlanmıştır.



Şekil 4.14: Kalıbın Dolmasına Yakın Durumda Moldflow Basınç Düşüş Modeli

Tablo 4.4: Kalıbın Dolmasına Yakın Durumda Lif Yönlenmesinin Dağılımı

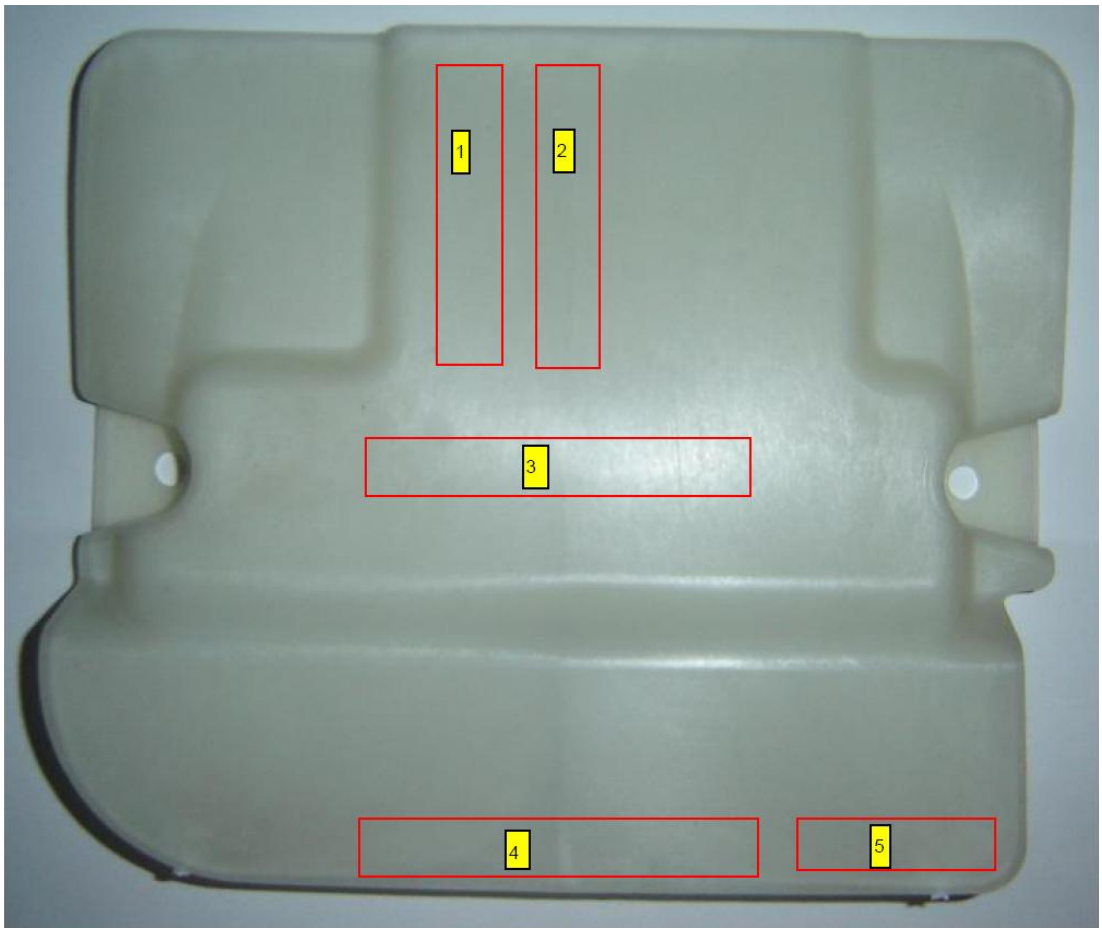
Açı/Örnek	4.1	4.2	4.3	Lif Sayısı	%
0-9	26	26	16	68	65%
10-19	6	11	9	26	25%
20-29	2	1	4	7	7%
30-39	1			1	1%
40-49				0	0%
50-59			1	1	1%
60-69				0	0%
70-79				0	0%
80-89	1			1	1%
		Toplam Lif		**104**	



Şekil 4.15: Kalıbın Dolmasına Yakın Durumda Lif Yönlenmesi Grafiği

4.3. Çekme Deneyleri

Parçanın Şekil 4.16'da gösterilen bölgelerinden alınmış numuneler üzerinde yapmış olduğumuz çekme deneylerinin sonuçlarını ve parçanın mekanik özelliklerinde cam elyafı liflerinin yönlenmesinin oluşturduğu etkileri incelemek amacıyla çekme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.16: Çekme Deneyi Numunelerinin Alındığı Bölgeler

Çekme deneyi sonuçları, Şekil 4.16'da verilen numaralandırmaya uygun olarak Ek B'de Gerilme-Genleme eğrileri olarak verilmektedir. Deneyle belirlenen elastiklik modülleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Çekme Deneyi Sonucunda Elde Edilen Elastiklik Modülleri

Örnek No	Elastiklik Modülu (Mpa)
1. Bölge	
1.1	5653,8
1.2	5652,4
1.3	5645,6
Ortalama	***5650,6***
2. Bölge	
2.1	6068,1
2.2	6172,1
Ortalama	***6120,1***
3. Bölge	
3.1	2666,6
3.2	2683,9
3.3	2640,3
Ortalama	***2663,6***
4. Bölge	
4.1	3533,3
4.2	3564,9
4.3	3690
Ortalama	***3596,1***
5. Bölge	
5.1	3288,6
5.2	3065,4
5.3	3320
Ortalama	***3224,7***

4.3.1. Çekme Deneyinden Elde Edilen Elastiklik Modüllerinin Karşılaştırılması

Elastiklik modüllerinin karşılaştırmasını yaparken numuneleri akış doğrultularına göre iki ayrı grupta inceleyeceğiz.

4.3.1.1. Akış Yönüne Paralel Doğrultuda Çekilen Örnekler

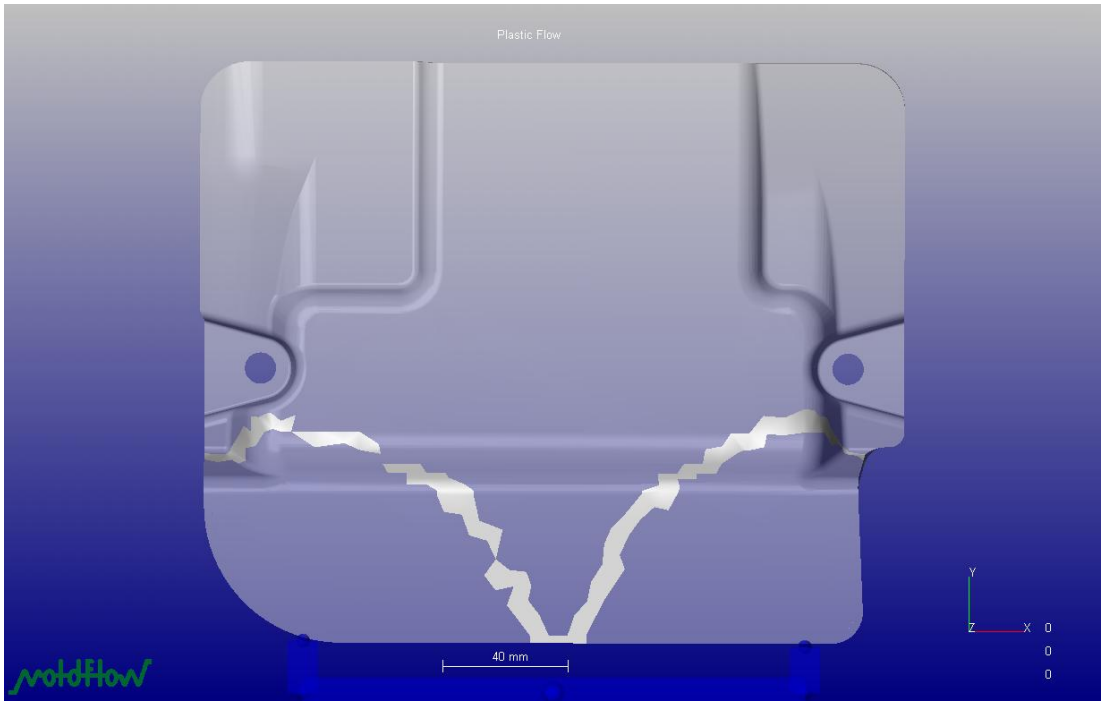
Şekil 4.16'da görüldüğü gibi 1 ve 2 numaralı bölgelerden alınan numuneler plastik malzemenin parçayı doldururken yaptığı akış doğrultusuna paralel yönde çekme deneyine alınmışlardır. Elyaf yönlenmeleri besleme noktasından uzaklaştıkça artarlar.[5]

1 ve 2 numaralı numuneler besleme noktasından en uzakta olan kısımlarından alındığından daha önce Tablo 4.5'de belirtildiği üzere elyaf yönlenmesinin en güçlü

olduğu numunelerdir. Gerek elyaf yönlenmesinin yüksek oluşundan, gerek akış doğrultusuna paralel çekme yaptığımızdan dolayı bu bölgeden elde ettiğimiz elastiklik modülü değerleri en yüksek değerlere ulaşmıştır.

2 numaralı bölgeden alınan numuneler, 1 numaralı bölgeden alınan numunelerden daha yüksek elastiklik modüllerine sahiptirler. Bunun sebebi 2 numaralı numunelerin orta ekseninin parçanın orta ekseni ile aynı yerde olmasıdır. Çünkü iki besleme noktasından gelen akış bu bölgede birleşmekte dolayısıyla liflerin akış yönüne doğru olan yönlenmelerini arttığı düşünülebilir.

4.3.1.2. Akış Yönüne Dik Doğrultuda Çekilen Örnekler



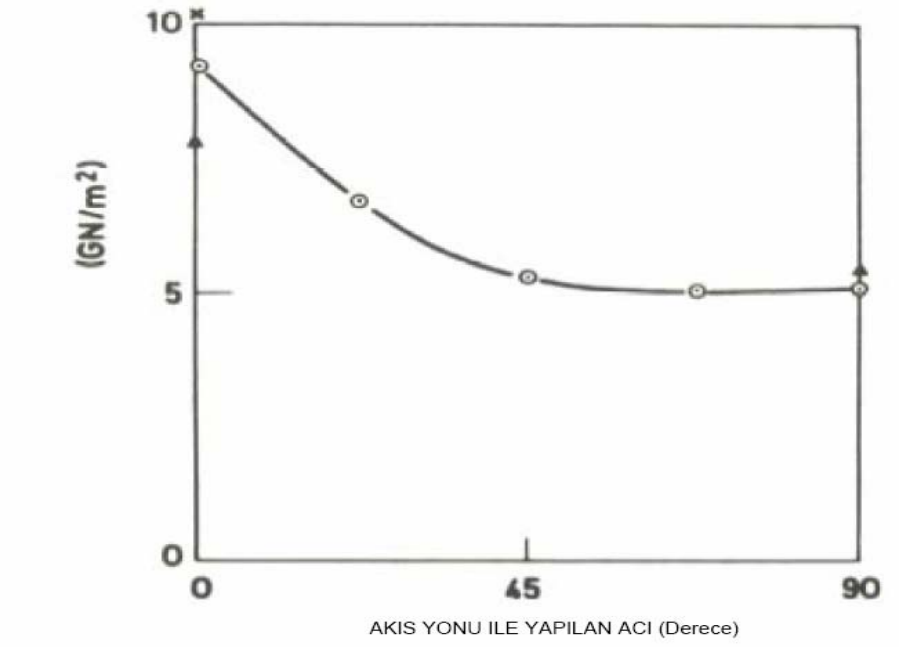
Şekil 4.17: Birleşme Bölgesi Moldflow Akış Modeli

Akış yönünde dik doğrultuda çekme deneyi uygulanan numunelerden, en büyük elastiklik modülünü 4 numaralı bölgeden alınan numune göstermiştir. Şekil 4.17'de de görülen bölgenin plastik eriyik tarafından dolduruluşunda görüldüğü gibi bu bölgede yaşanan akış karakteristiği lif yönlenmesinin parça enine olmasını da sağlamaktadır. Bu durum, bölgenin lif yönlenmesini veren Şekil 4.9, ve Tablo 4.2'de gösterilen lif dağılımlarında anlaşılabilir. Bu bölgede boyuna doğru yönlenmenin sebebi iki kaynaktan parçanin eni yönünden gelen eriyiklerin birleştikten sonra beraberce parça boyuna doğru akış yönlerini değiştirmeleridir. Bu sebepten ötürü elde etmiş olduğumuz elastiklik modülü değerleri beklentiye uygundur.

Şekil 4.16'da gösterilen 3 numaralı numunenin lif dağılımları akış doğrultusunda yönlenmelerini güçlendirmişlerdir, bu bölgeden elde edilen elastiklik modüllerinin parçanın yatay yönde beklenilen elastiklik modülü değerlerinde olduğunu düşünülebilir.

Şekil 4.16'da gösterilen 5 numaralı bölge tam yolluk giriş bölgesi olduğu için bu bölgedeki akışta daha önce Şekil 4.4'de gösterilen püskürme etkisi olacağını düşünülebilir. Elyaf lifleri tam olarak yönlenmelerini gerçekleştirmeye başlamadıkları bu bölgede, püskürmenin etkisinden dolayı liflerin üç boyutlu yönlenmesi ile mekanik özelliklerdeki zayıflama bakımından diğer yatay yönde çekme deneyine sokulmuş numuneler arasındaki en düşük elastiklik modülü değerlerine sahip olması makul bir sonuçtur.

Kısa elyaf lifi kullanılan karma malzemelerde bir aksın üzerinde tam yönlenme görülmesi zordur. Enjeksiyon akışının liflerin yönlenmesi üzerinde yapmış olduğu etki hesaplanmaya çalışılmıştır.Enjeksiyonun değişik yönlerinde hazırlanan çekme deneyi numunesinde elastiklik modülünün değişimi Şekil 4.18' de görüldüğü gibi olmaktadır.[5]



Şekil 4.18: Enjeksiyon Doğrultusuyla Yapılan Açıya Bağlı Olarak Elastiklik Modülünün Değişimi [5]

5. ELASTİKLİK MODÜLLERİNİN ÇEŞİTLİ MODELLER İLE HESAPLANMASI

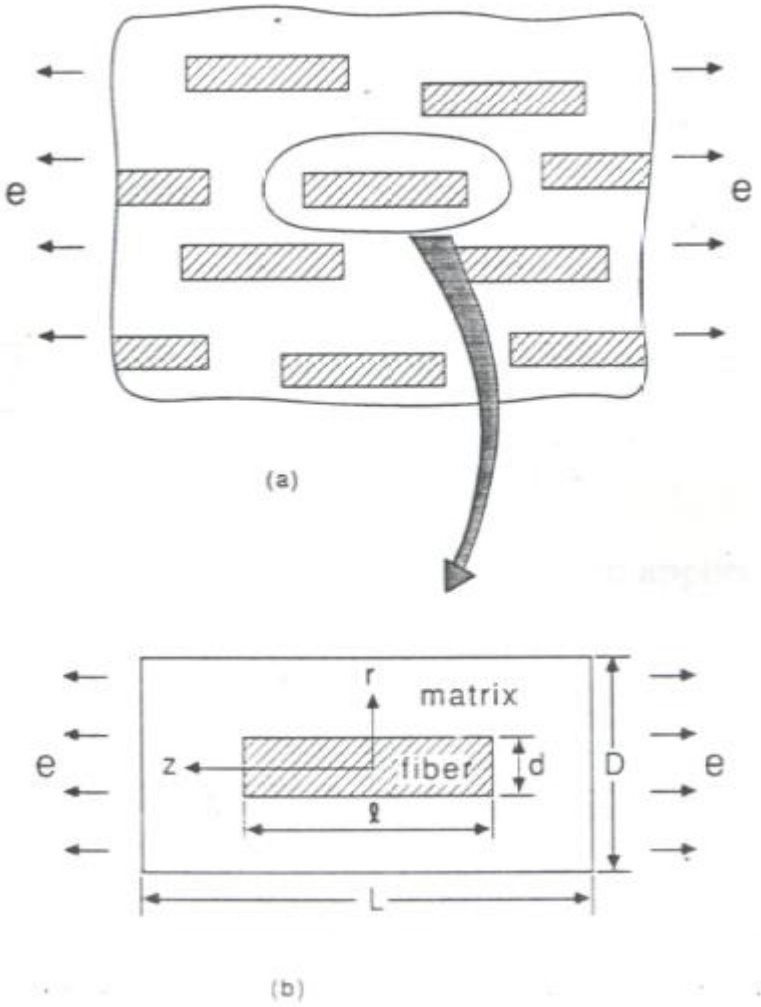
Karma malzemeler için elastiklik modüllerini hesaplamaya yarayan çeşitli yöntemler vardır. Bu hesaplamalar arasından kayma aktarımı(Shear-Lag), Tshai Halpin ve karışım kuralı yöntemleri ile gerçekleştirilen hesaplamalar öne çıkmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan, matrise ve elyafa ait özellikler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Hesaplamalarda Kullanılan Veriler [4,3]

$$E_f = 72400MPa$$
$$E_m = 1400MPa$$
$$\rho_f = 2{,}54gr/cm3$$
$$\rho_m = 0{,}90gr/cm3$$
$$G_m = 560MPa$$
$$V_f = 0{,}13$$
$$Ø_f = 0{,}01\text{mm}$$
$$l_f = 0{,}3\text{mm}$$

5.1. Kayma Aktarımı (Shear-Lag) Modeli

Kısa elyaf lifleri için kullanılan bu modelde tüm elyaf liflerinin yükleme doğrultusunda yönlendikleri ve düzgün dağıldıkları düşünülür. Böylece seçilen tek bir hücre için yapılacak olan hesabın tüm sistemi temsil ettiği öngörülür. Şekil 5.1'de modelleme gösterilmiştir. Bu modellemenin neticesinde elastiklik modülünü hesaplanması, (5.1) ve (5.1a)'da gösterilmiştir. [8]



Şekil 5.1: Yönlenmiş kısa lifler için Kayma Aktarımı (Shear-Lag) modeli; (a) parçanın temsili görüntüsü, (b) analiz için birim hücre

$$E_C = \left(1 - V_f\right)E_m + V_f E_f \left\{ 1 + \frac{\left(\frac{E_m}{E_f} - 1\right)\tanh\left(\frac{\beta l}{2}\right)}{\frac{\beta l}{2}} \right\} \qquad \textbf{(5.1)}$$

$$\beta = \frac{2\sqrt{2}}{d}\sqrt{\frac{G_m / E_f}{\ln\left(D/d\right)}} \qquad \textbf{(5.1a)}$$

Bu modellemenin sonucunda elastiklik modülü boyuna yönde 7728 MPa olarak hesaplanmıştır.

5.2. Tshai-Halpin Modeli

Bu modellemede de yükleme yönüyle elyaf yönü aynıdır, 5.2'de kullanılan "s" değişkeni lifin boyunun çapına olan oranıdır. 5.3,ve 5.4 yardımıyla bu modellemenin sonucunda, elastiklik modülü 6756 MPa olarak hesaplanmıştır. [8]

$$C_L = 2s + 40V_f^{10} \tag{5.2}$$

$$n = \frac{\left(E_f / E_m\right) - 1}{\left(E_f / E_m\right) + C_L} \tag{5.3}$$

$$E_L = E_m \left(1 + C_L n V_f\right) / \left(1 - n V_f\right) \tag{5.4}$$

5.3. Karışım Kuralı

Karışım kuralı karma malzemelerin mekanik özelliklerini hesaplamanın en temel ve pratik yöntemlerden biridir. Mekanik özellikleri hem enine hem boyuna doğrultuda kolayca hesaplamamıza olanak sağlar. Karma malzemenin takviye yönlenmesi ile aynı doğrultuda(dikey) olan elastiklik modülü 5.5 eşitliği, yatay yönde olan elastiklik modülü ise 5.6 eşitliği yardımı ile hesaplanabilir. [8]

$$E_C = E_m V_m + E_f V_f \tag{5.5}$$

$$E_H = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f V_m} \tag{5.6}$$

Bu formullerden yola çıkarak kullandığımız karma malzemenin i elastiklik modülü sınır değerleri dikey yönde 10630 MPa, yatay yönde 1609 MPa olarak hesaplanmıştır.

5.4. Kerchel Yaklaşımı [5]

Kerchel yaklaşımına göre elastiklik modülü 5.7'ye göre hesaplanabilir, burada kullanılan n toplam verimlilik faktörüdür, ve fiber yönlenme açısına bağlıdır.[5]

Denklemlerde kullanılan veriler daha önce Tablo 5.1'de verilmiştir, 5.7a'da kullanılan β ifadesi ise denklem 5.1a'ya göre hesaplanabilir.

$$E = n_0 n_l V_f E_f + (1 - V_f) E_m \quad \textbf{(5.7)}$$

$$n_l = 1 - \frac{\tanh(\beta l/2)}{\beta l/2} \quad \textbf{(5.7a)}$$

$$n_0 = \sum_n a_n \cos^4 \theta_n \quad \textbf{(5.7b)}$$

$$\sum_n a_n = 1 \quad \textbf{(5.7c)}$$

Bu yaklaşımın en önemli özelliği kısmi yönlenmenin görüldüğü haller için kabul edilebilir sonuç vermesidir, örneğin tam yatay hal için elde edilecek elastiklik modülü matrisin elastiklik modülünden bile değer olarak daha düşük çıkacaktır.

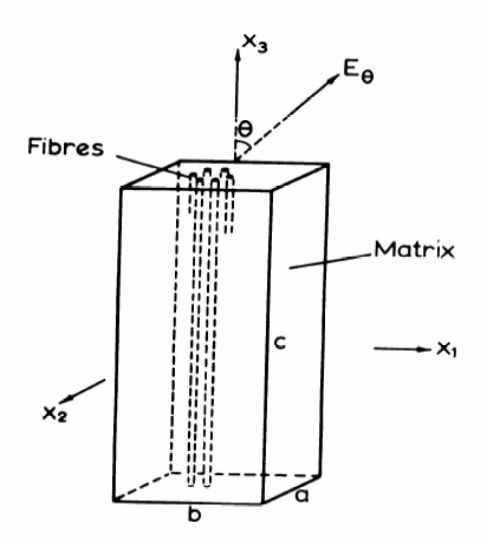
Bu denklemlere bağlı olarak elastiklik modülü değerleri açıya bağlı hesaplandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.2' de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Kerchel Modeli ile Elde Edilen Elastiklik Modülleri

θ	Kerchel
0°	7670,5
10°	7287,3
20°	6249,2
30°	4847,6
40°	3440,0
50°	2319,5
60°	1621,3
70°	1306,3
80°	1223,9
90°	1218,0

5.5. Cox Yaklaşımı [5]

Eğer matris fiber birleşimini Şekil 5.2 de ki gibi modellersek, elastiklik modülünü θ açısına bağlı olarak 5.8'e göre hesaplanması mümkün olur.



Şekil 5.2: Fiber-Matris Modeli [5]

$$\frac{1}{E_\theta} = S_{33}\cos^4\theta + (2S_{13} + S_{44})\sin^2\theta\cos^2\theta + S_{11}\sin^4\theta \qquad \textbf{(5.8)}$$

$$S_{33} = \frac{1}{E_0} \qquad \textbf{(5.8a)}$$

$$S_{11} = \frac{1}{E_{90}} \qquad \textbf{(5.8b)}$$

$$S_{44} = \frac{1}{G} \qquad \textbf{(5.8c)}$$

$$\nu_{13} = -\frac{S_{13}}{S_{11}} \qquad \textbf{(5.8d)}$$

5.8d'de geçen ν_{13} ifadesi Poisson oranıdır. 5.8c'dekullanılan G ise boyuna yöndeki kayma modülüdür.

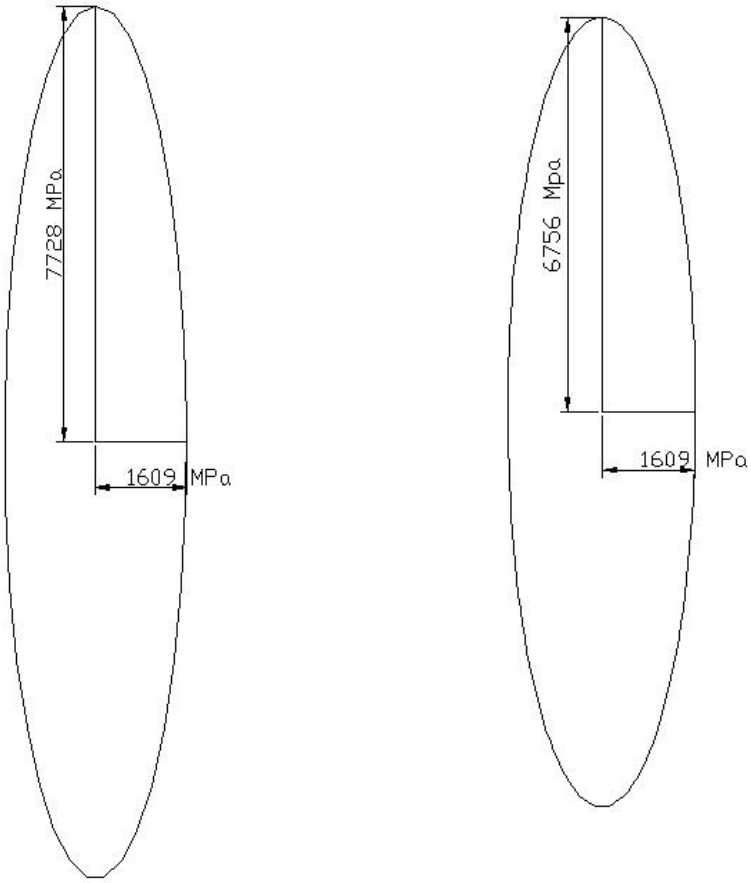
Bu hesaplamalar yapıldığında θ açısına bağlı elastiklik modülü değişimleri Tablo 5.3'te verilmiştir. E_{SL} olarak verilen sütundaki değerler hesaplanırken 5.8a'da ki E_0 değeri kayma aktarımı metodu ile hesaplanmış değer, E_{TH} olarak verilen sütunda ki değerler için ise E_0 değeri olarak Tshai-Halpin metodundan elde edilen elastiklik modülü değeri kullanılmıştır. Her iki durum içinde E_{90} değeri karışım kuralı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.3: Cox Modeli ile Elde Edilen Elastiklik Modülleri

θ	E_{SL}	E_{TH}
0°	7727,8	6756,0
10°	6308,7	5681,2
20°	4212,8	3970,1
30°	2907,7	2821,8
40°	2217,2	2186,1
50°	1864,1	1853,1
60°	1695,1	1691,8
70°	1627,9	1627,2
80°	1610,7	1610,6
90°	1609,2	1609,2

5.6. Elips Modeli

Elyaf yönlenme açısına bağlı olarak elastiklik modülünde olan değişimi daha yalın bir şekilde ortaya koymak için Şekil 5.3'de gösterildiği gibi, açıya bağlı elastiklik modülü değişimi eliptik olarak modellenebileceği kabul edilmiştir. Bu modellemede elipsi kısa yarıçapı için karışım kuralı ile hesaplanan enine elastiklik modülü, uzun yarıçapı için hem kayma aktarımı hemde Tshai Halpin ile hesaplanan iki ayrı boyuna elastiklik modülü değerleri kullanılmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.3: (a)Kayma aktarımı boyuna elastiklik modülü kullanılmıştır, (b) Tshai-Halpin boyuna elastiklik modülü kullanılmıştır

Şekil 5.3'de iki durum için çizilen elips modellemesini görmekteyiz, bu modeller ile hesaplanan açıya bağlı elastiklik modülü değerleri ise Tablo 5.4' te verilmiştir.

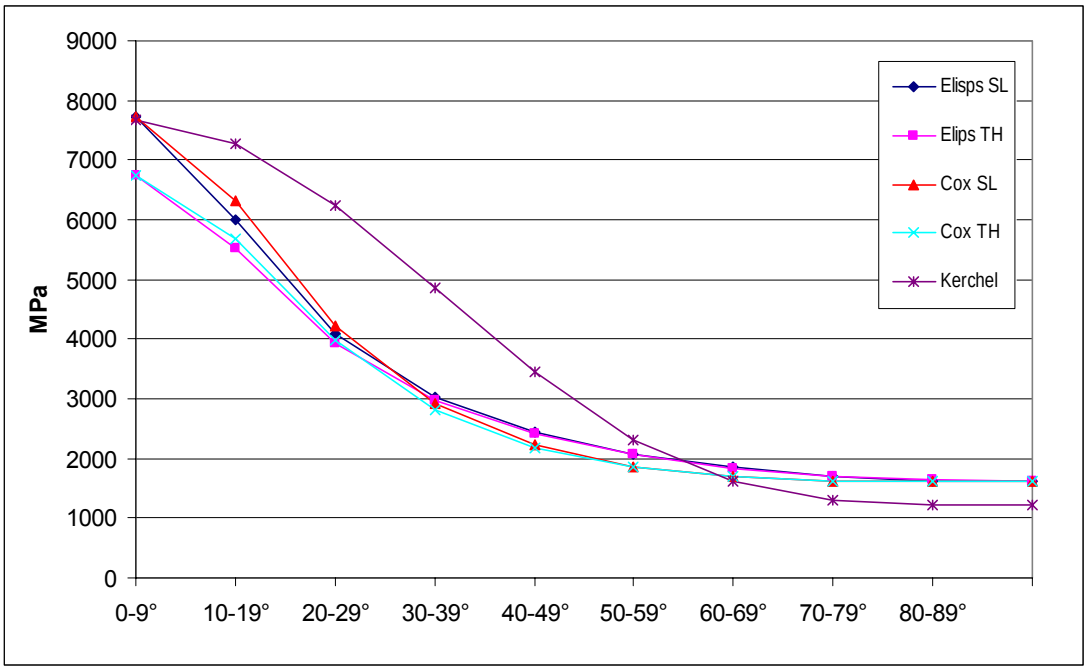
Tablo 5.4: Elips Modeli ile Elde Edilen Elastiklik Modülleri

θ	E_{SL}	E_{TH}
0°	7728,0	6756,0
10°	5988,3	5513,5
20°	4083,5	3936,6
30°	3027,3	2975,0
40°	2429,8	2408,1
50°	2069,7	2059,7
60°	1845,7	1840,5
70°	1707,4	1706,8
80°	1626,0	1632,8
90°	1609,0	1609,0

Tüm bu modellemeler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen elyaf yönününe bağlı elastiklik modüllü değerleri toplu olarak Tablo 5.5 ve grafikleri de Şekil 5.4' de verilmiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi elips modellemesi özellikle Cox yaklaşımı ile oldukça tutarlı sonuçlar vermektedir. Buna karşı Kerchel yaklaşımı diğerlerinden ayrı bir karakteristik sergilemektedir.

Tablo 5.5: Tüm Modeller ile Elde Edilen Elastiklik Modülleri

θ	Elips E_{SL}	Elips E_{TH}	Cox E_{SL}	Cox E_{TH}	Kerchel E_{KH}
0°	7728	6756	7727,8	6756	7670,5
10°	5988,3	5513,5	6308,7	5681,2	7287,3
20°	4083,5	3936,6	4212,8	3970,1	6249,2
30°	3027,3	2975	2907,7	2821,8	4847,6
40°	2429,8	2408,1	2217,2	2186,1	3440,0
50°	2069,7	2059,7	1864,1	1853,1	2319,5
60°	1845,7	1840,5	1695,1	1691,8	1621,3
70°	1707,4	1706,8	1627,9	1627,2	1306,3
80°	1626	1632,8	1610,7	1610,6	1223,9
90°	1609	1609	1609,2	1609,2	1218,0



Şekil 5.4: Elastiklik modülünün elyaf yönlenme açısına bağlı değişimi

6. ELYAF YÖNÜNE BAĞLI ELASTİKLİK MODÜL DEĞERLERİ YARDIMIYLA DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI

Deney parçasının çeşitli karakteristik bölgelerinden aldığımız numuneler optik mikroskopta incelenerek elyaf dağılımları yönlenme açısına bağlı olarak Bölüm 4'te belirlenmiştir. Yönlenme açısına bağlı elastiklik modülü değerleri, kullanmış olduğumuz polimer katma malzemet için, matematik modeller yardımı ile hesaplanmıştır. Elyaf liflerinin yönlendikleri aralıktaki ağırlıklı ortalamalarının toplamı kullanılarak hesaplanan elastiklik modülleri bize o bölgeden alınan numuneler ile yapılan çekme deneyleri sonucunda elde etmiş olduğumuz elastiklik modülü değerini verebilir. Bu karşılaştırma örnek parçanın üç karakteristik bölgesi için yapılmıştır.

Şekil 4.16'da gösterilen 2 numaralı bölge için yapılan incelemede bölüm 4.2.2.3'te değinildiği gibi besleme noktasından uzaklaşılmıştır ve akışın dairesel karakteristiği bırakarak düz bir hat ile ilerlediği bu bölgede yönlenme en üst düzeydedir. Parçanın bitiş noktasına yakın bu bölgeden çıkartılan lif dağılımları daha önce Tablo 4.4'te verilmişti. Bu bölgeden elde edilen dağılımın, açıya bağlı elastiklik modülü değerlerini elde ettiğimiz modeller ile birleştirilmesi sonucunda hesaplanan elastiklik modülü değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

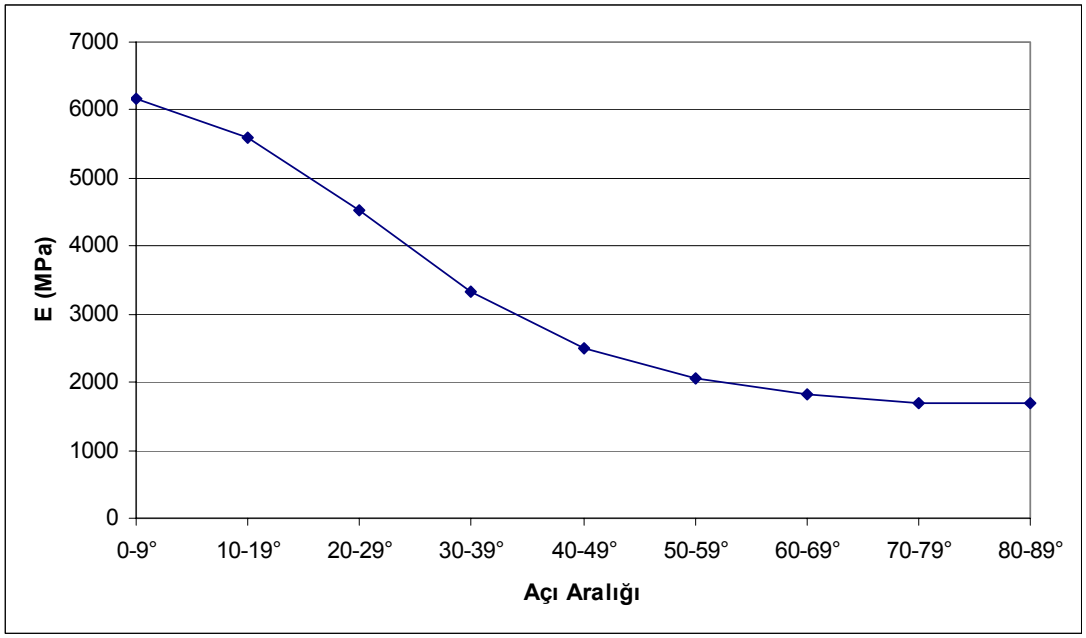
Tablo 6.1: 2 Numaralı Bölgede Elastiklik Modülünün Hesaplanması

Açı	3.1	3.2	3.3	Lif Sayısı	%	Cox TH	Cox SL	Elips TH	Elips SL	Kerchel
0°-9°	26	26	16	68	65%	4417	5053	4417	5053	5015
10°-19°	6	11	9	26	25%	1420	1577	1378	1497	1822
20°-29°	2	1	4	7	7%	267	284	265	275	421
30°-39°	1			1	1%	27	28	29	29	47
40°-49°				0	0%	0	0	0	0	0
50°-59°			1	1	1%	18	18	20	20	22
60°-69°				0	0%	0	0	0	0	0
70°-79°				0	0%	0	0	0	0	0
80°-89°	1			1	1%	15	15	16	16	12
TOPLAM				**104**	**100%**	**6165**	**6975**	**6125**	**6889**	**7338**

Bu bölgeden alınan numuneler ile yapılan çekme deneyleri sonucunda hesaplanan olduğumuz elastiklik modülü değeri ise 6120,1 MPa'dır. Özellikle Tshai-Halpin ile elde edilen boyuna elastiklik modülü kullanılarak kurulan Cox yaklaşımı ve yine

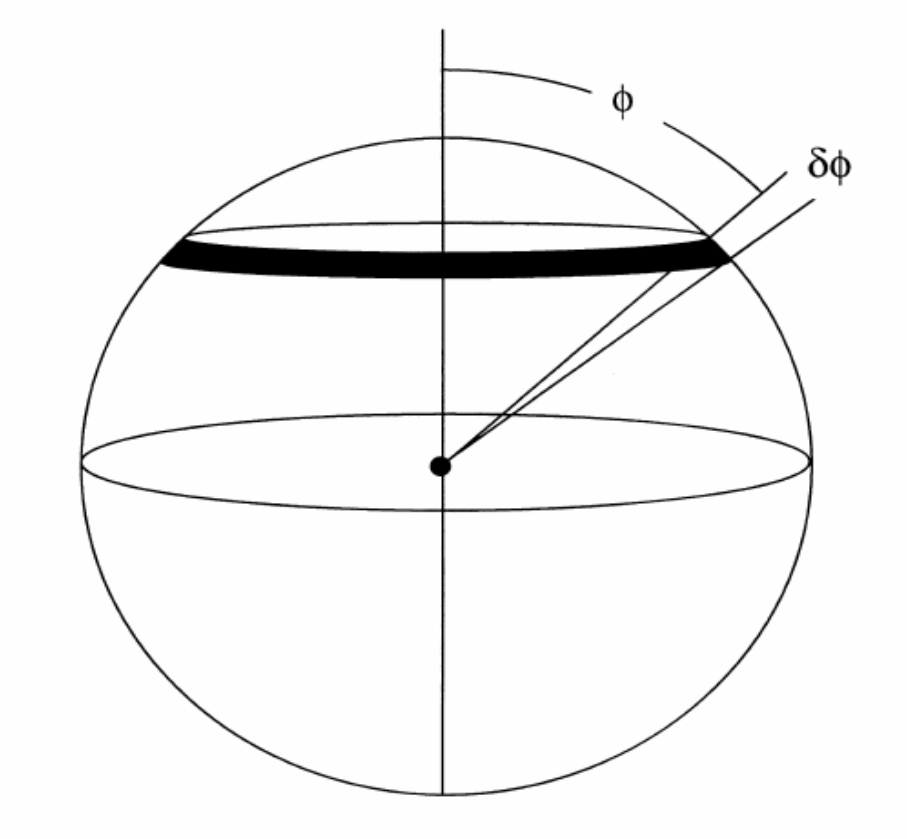
Tshai-Halpin ile kurulan elips modeli çekme deneyi sonucuna oldukça yakın değerler vermektedir.

Dağılımların onar derece kaydırılması ile çekme numunesinin onar derece döndürülerek çekme deneyinin yapılması arasında bir fark yoktur. Lif dağılımları bu bölge için bilindiğine göre 0°-90° aralığı için 10°'lik döndürmeler yapılarak, Cox TH yaklaşımından elde edilen elastiklik modülü değerleri ile hesaplamalar yapıldığında bölgeden alınan numunenin elastiklik modülü değişimi açıya bağlı olarak Şekil 6.1'deki gibi olur. Eğrinin gösterdiği trend hem Şekil 4.18, hem de Şekil 5.4 ile benzerdir.



Şekil 6.1: 2 Numaralı bölgede Lif Dağılımlarının Kaydırılması ile Elastiklik Modülü Değişimi

Şekil 4.16'da 4 ve 5 numaraları ile gösterilmiş olan bölgeler, besleme kaynağına çok yakın olduğu için henüz tam anlamıyla bir yönlenme sağlanamamaktadır. Akış için yeterli mesafe bulunmadığı için eriyiğin içinde bulunan elyaf lifleri akışı gözlediğimiz düzlemde geniş bir dağılım gösterdikleri gibi aynı zamanda parçanın et kalınlığı yönünde yani akışı gözlemlediğimiz düzleme dik doğrultuda da yönlenmektedirler. Dolayısıyla elyaf dağılımlarının optik incelenmesinde göremediğimiz ancak elastiklik modülüne katkıda bulunan elyaf lifleri de mevcuttur. Bu durumda lif dağılım tablosu yeniden düzenlemek gereklidir, bu şekilde bir projeksiyon düzleminde gözlemlenen liflerin üç boyuttaki dağılımları arasında $sin\theta$'ya bağlı bir ilişki olduğu bilinmektedir.[9]



Şekil 6.2: Optik İnceleme Düzleminde Eksenle Açısı Yapan ve Görülen lifler ile 3-Boyutlu Halde Aynı Açıya Sahip Olduğu Halde Görülmeyen Liflerin Uç Kısımlarının Taradığı Alan [9]

Belirtildiği gibi parça iki yolluk girişi ile beslenerek doldurulmaktadır. Şekil 4.16'da 4 numara ile gösterilmiş olan bölge iki yönden gelen akışın birbirleri üzerinde oluşturdukları etki sebebi ile parça için önemli bir karakteristik bölgedir. Birleşmenin yolluk girişlerine yakın bir bölgede gözlenmesi ve iki farklı yönden gelen eriyiğin akışlarının birbirlerini etkilemesi sebebi ile kuvvetli bir yönlenme karakteristiği gözlemlenememiştir. Bu bölgede de yönlenme henüz yeterince düzlemsel olmadığından dolayı, yolluk giriş bölgesinde olduğu gibi bu bölgede sinüs dağılımıyla orantılanmış ve yükleme doğrultusuna göre düzenlenmiş halde, bölgenin elyaf dağılımı Tablo 6.2 da verilmiştir.

Tablo 6.2: 4 numaralı Bölge için 3-Boyutlu Halde düzenlenmiş Yönlenme Dağılımı

θ	Sin(θ)	Aralıktaki Lif Sayısı	Sin(θ)*n	%
85°	1,00	4	3,98	**13,2%**
75°	0,97	3	2,90	**9,6%**
65°	0,91	4	3,63	**12,0%**
55°	0,82	3	2,46	**8,1%**
45°	0,71	8	5,66	**18,7%**
35°	0,57	9	5,16	**17,1%**
25°	0,42	10	4,23	**14,0%**
15°	0,26	8	2,07	**6,8%**
5°	0,09	2	0,17	**0,6%**
TOPLAM		**51**	**30,26**	**100,0%**

Bu dağılımdan yola çıkılarak elastiklik modülünün hesaplanması da Tablo 6.3' te verilmiştir.

Tablo 6.3: 4 Numaralı Bölge için 3-Boyutlu lif Dağılımı Durumunda hesaplanan Elastiklik Modülleri

θ	Sin(θ)	Aralıktaki Lif Sayısı	Sin(θ)*n	%	Cox TH	Cox SL	Elips TH	Elips SL	Kerchel
85°	1,00	4	3,98	13,2%	890	1018	890	1018	1010
75°	0,97	3	2,90	9,6%	544	604	528	574	698
65°	0,91	4	3,63	12,0%	476	505	472	489	749
55°	0,82	3	2,46	8,1%	229	236	242	246	394
45°	0,71	8	5,66	18,7%	409	415	450	454	643
35°	0,57	9	5,16	17,1%	316	318	351	353	396
25°	0,42	10	4,23	14,0%	236	237	257	258	226
15°	0,26	8	2,07	6,8%	111	111	117	117	89
5°	0,09	2	0,17	0,6%	9	9	9	9	7
TOPLAM		**51**	**30,26**	**100,0%**	**3221**	**3453**	**3316**	**3518**	**4213**

Hesaplanın yapılmış olduğu bölge için yapılmış olan çekme deneylerinden elde edilen elastiklik modülü 3596,1 MPa'dır. Bu örneğimizde en yakın sonucu, Cox yaklaşımında boyuna elastiklik modülünü Kayma Aktarımı analizinden elde etmiş olduğumuz değeri kullanarak ve yine Kayma Aktarımı analizi ile elde edilmiş elastiklik modülünü elips modelimizde kullanarak elde ettik.

Şekil 4.16'da 5 numara ile gösterilen yolluk giriş bölgesinde liflerin 3-Boyutlu dağıldığından yola çıkarak elyaf dağılımları tekrar orantılanırsa, ve yönlenme açılarını çekme deneyinin yükleme doğrultusuna göre tekrar düzenlendiğinde oluşan dağılım Tablo 6.4' de verilmiştir.

Tablo 6.4: 5 numaralı Bölge için 3-Boyutlu Halde düzenlenmiş Yönlenme Dağılımı

θ	Sin(θ)	Aralıktaki Lif Sayısı	Sin(θ)*n	%
85°	1,00	3	2,99	85
75°	0,97	0	0,00	75
65°	0,91	0	0,00	65
55°	0,82	0	0,00	55
45°	0,71	4	2,83	45
35°	0,57	7	4,02	35
25°	0,42	9	3,80	25
15°	0,26	16	4,14	15
5°	0,09	24	2,09	5
TOPLAM		**63**	**19,87**	**TOPLAM**

Bu dağılımı kullanarak karma malzemenin numune alınan bu bölgesi için yapılan elastiklik modülünü hesapları Tablo 6.5 de verilmiştir.

Tablo 6.5: 5 Numaralı Bölge için 3-Boyutlu lif Dağılımı Durumunda hesaplanan Elastiklik Modülleri

θ	Sin(θ)	Aralıktaki Lif Sayısı	Sin(θ)*n	%	Cox TH	Cox SL	Elips TH	Elips SL	Kerchel
85°	1,00	3	2,99	15,0%	1016	1162	1016	1162	1154
75°	0,97	0	0,00	0,0%	0	0	0	0	0
65°	0,91	0	0,00	0,0%	0	0	0	0	0
55°	0,82	0	0,00	0,0%	0	0	0	0	0
45°	0,71	4	2,83	14,2%	311	316	343	346	490
35°	0,57	7	4,02	20,2%	374	377	416	418	469
25°	0,42	9	3,80	19,1%	324	325	352	353	310
15°	0,26	16	4,14	20,8%	339	339	356	356	272
5°	0,09	24	2,09	10,5%	170	170	172	171	129
TOPLAM		**63**	**19,87**	**100,0%**	**2535**	**2688**	**2655**	**2807**	**2824**

Yolluk çıkış bölgesinden alınan numuneler ile daha önce yapmış olduğumuz deneyler sonucunda bölgenin elastiklik modülünü 2663,6 MPa olarak tespit edilmişti. 5 numaralı bölge için de Cox'un yaklaşımı ve elips modeli oldukça yaklaşık sonuçlar vermişlerdir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada polimer malzemeler ve bu malzemelerin türevlendirilmesinde kullanılan katkılar ve takviyeler konusunda bilgi verilmiş, ve günümüzde polimerlerin mekanik özelliklerini güçlendirmek konusundaki en etkin katkılardan biri olan kısa cam elyafının enjeksiyon işlemi esnasında kalıp içindeki akıştan etkilenerek yönlenmesinin etkileri incelenmiştir.

Termoplastik enjeksiyonun anahtar noktalarından biri olan kalıp imalatın da, elyaf takviyeli malzemeler için yolluk giriş yerinin akışı ve dolayısıyla lif yönlenmesini belirleyerek parçanın kazanacağı mekanik özelliklere etki edeceği açığa çıkartılmıştır. Kalıp tasarımı sırasında Moldflow programı ile yapılacak analizler sonucunda bu yönlenmeye dair bir öngörüye sahip olabileceğimiz belirlenmiştir. Bu değerlendirmelerin sonucunda beslenme girişinden uzak bölgelerde, elyaf liflerinin düzlemsel olarak yönlendiği sonucuna varılmıştır. Ancak özellikle besleme noktasına yakın bölgelerde elyaf liflerinin düzlemselleşerek yönlenmek için yeterli mesafeye sahip olamadıkları gözlenmiştir.

Ayrıca karma malzemeden imal edilen ürünün elastiklik modülünün hesaplanmasında, kısa elyaf liflerinin yönlenmesinin nasıl modellenebileceği konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Hem Cox yaklaşımının, hem de öngörmüş olduğumuz elips yaklaşımının güvenilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Besleme noktasına yakın olan bölgelerde elastiklik modülü hesaplarken inceleme düzlemimize dik olan düzlemlerde konumlanmış olan elyaf liflerinin etkilerini göz önünde bulundurmamız gerektiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Akkurt, S.,** 1991, Plastik Malzeme Bilgisi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul

[2] **Cam Elyaf Sanayi A.Ş.Home Page**, 05 Mart 2007. 14 Ağustos 2007. < http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevaplar.php>

[3] **Hyer, M.W.,** 1998, Stres Analyses of Fiber Reinforced Materials, McGraw Hill, Boston

[4] **Rosato, Dominick V.,** 1997, Designing with Reinforced Composites, Hanser, New York

[5] **Folkes, M.J.,** 1985, Short Fiber Reinforced Thermoplasics, Hanser, Research Studies Press, Chichester

[6] **Mennig, G.,**1998, Mold-Making Handbook, Hanser Publishers, Munich

[7] **Moldflow 6.0 User Manual**, Moldflow Corporation 2007

[8] **Taya, M., and Arsenault, Richard J.,** Metal Matrix Composites, Pergamon Press, Oxford

[9] **Schuh, C, and Dunand, D.C.,** 1999. Whisker alignment of Ti-6Al-4V/TiB composites during deformation by transformation superplasticity, International Journal of Plasticity, 17, 317-340.

[10] **Groover, M.P.,** 1996. Fundementals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and Systems, John Wiley & Sons, Inc., New York

[11] **Whelan, T., and Goff, J.,** 1988. Injection Molding of Engineering Thermoplastic

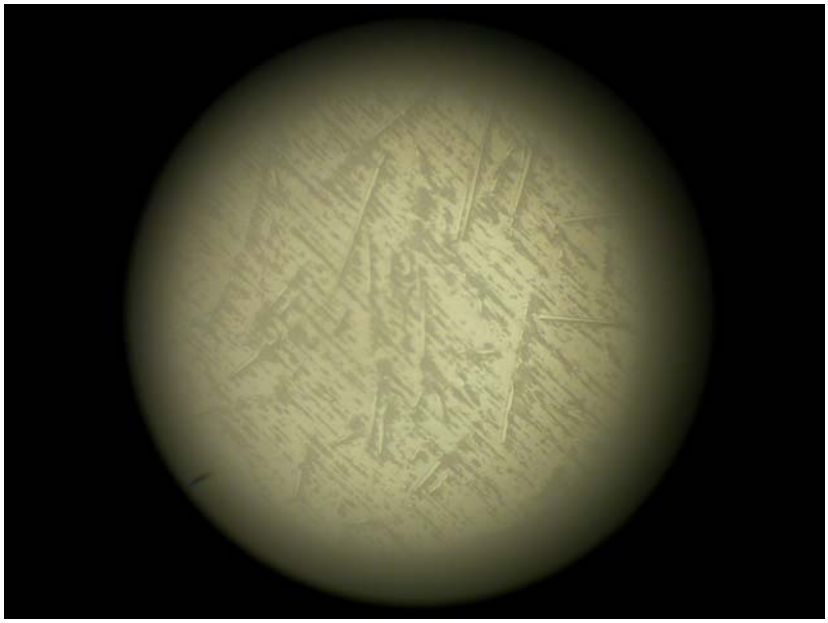
[12] **Rees, H.,** 2001. Understanding Injection Mold Design, Hanser Publishers, Munich

[13] **Weidenfeller, B., Höfer, M., and Schilling, F.R**., 2004. Cooling behaviour of particle filled polypropylene during injection moulding process Elsevier, Composites: Part A 36 (2005) 345–351, 4 July 2004, Science Direct.

[14] **Dominick, V.R., Donald, V.R., Marlene, G.R., 2000,** Plastics Design Handbook, KluwerAcademic Publishers, Dordrecht,

[15] **Milewshk, J.V., Katz, H.S.,** 1987,Handbook of Reinforcement for Plastics, Van Hostrand Reinhold Publishers, New York

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

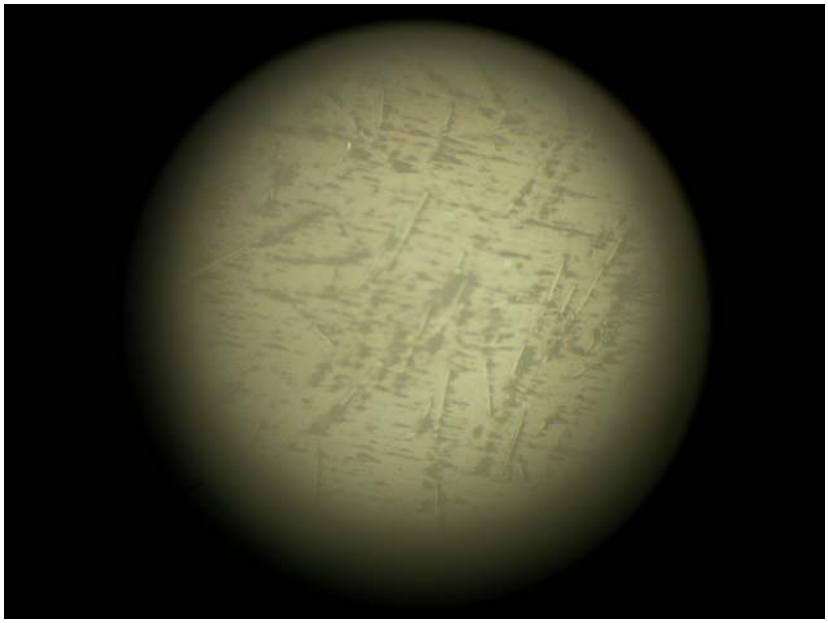


Şekil A.1: 1 Numaralı bölge 1. örnek için lif dağılım fotoğrafı

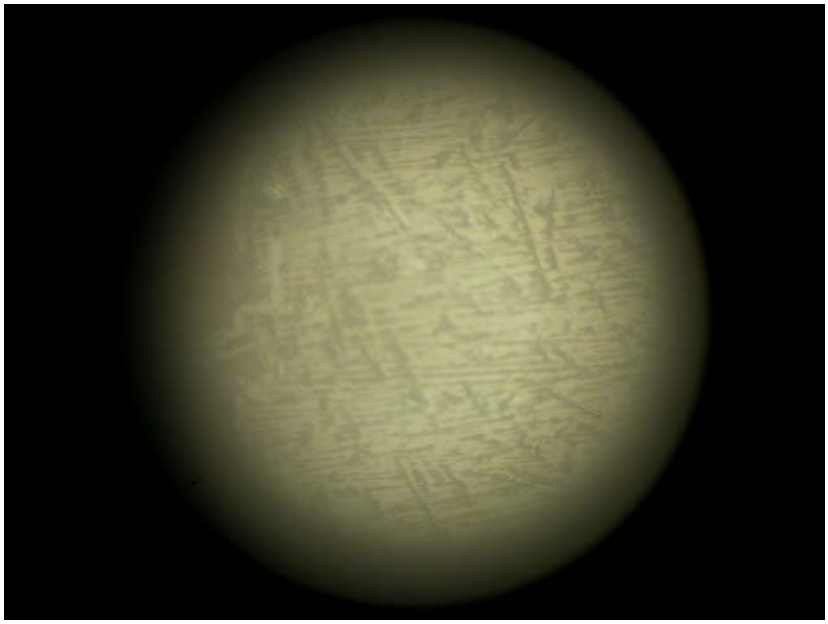


Şekil A.2: 1 Numaralı bölge 2. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

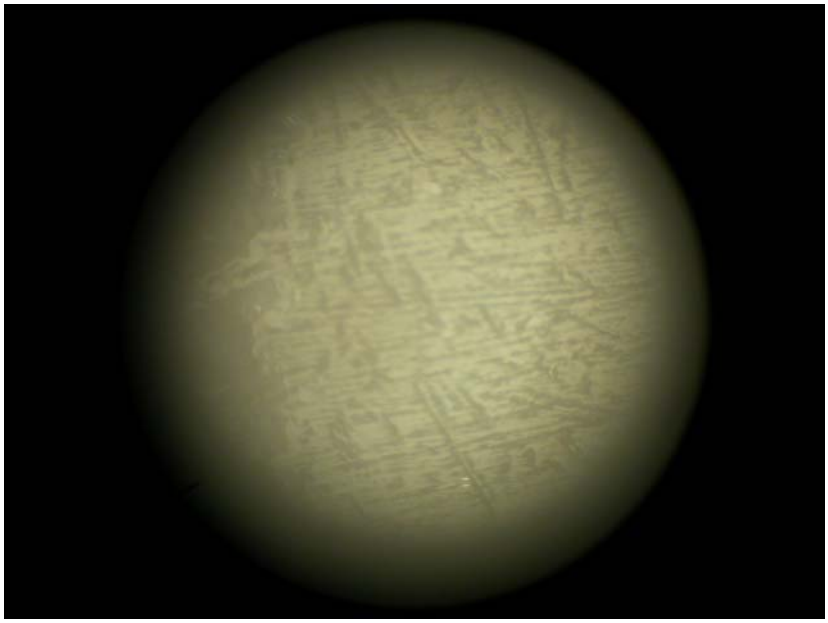


Şekil A.3: 1 Numaralı bölge 3. örnek için lif dağılım fotoğrafı



Şekil A.4: 2 Numaralı bölge 1. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

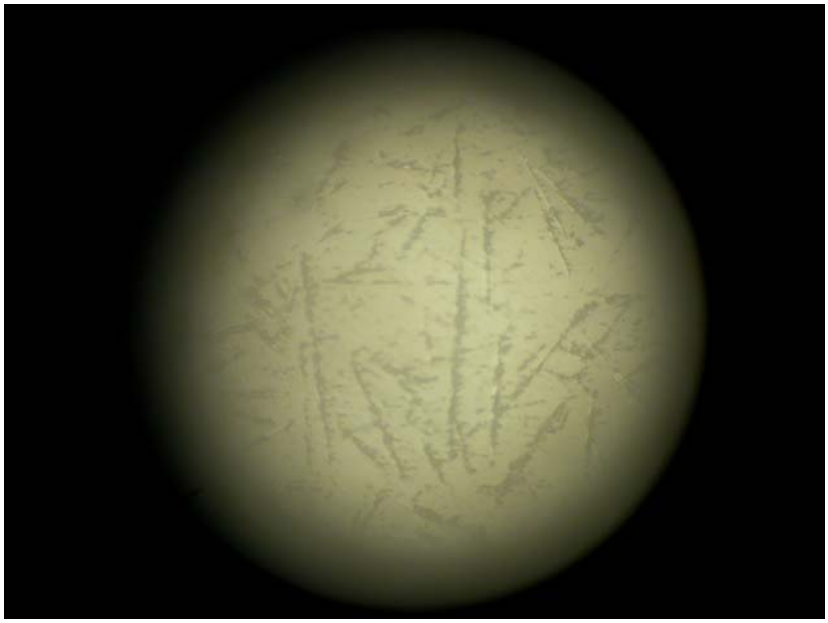


Şekil A.5: 2 Numaralı bölge 2. örnek için lif dağılım fotoğrafı

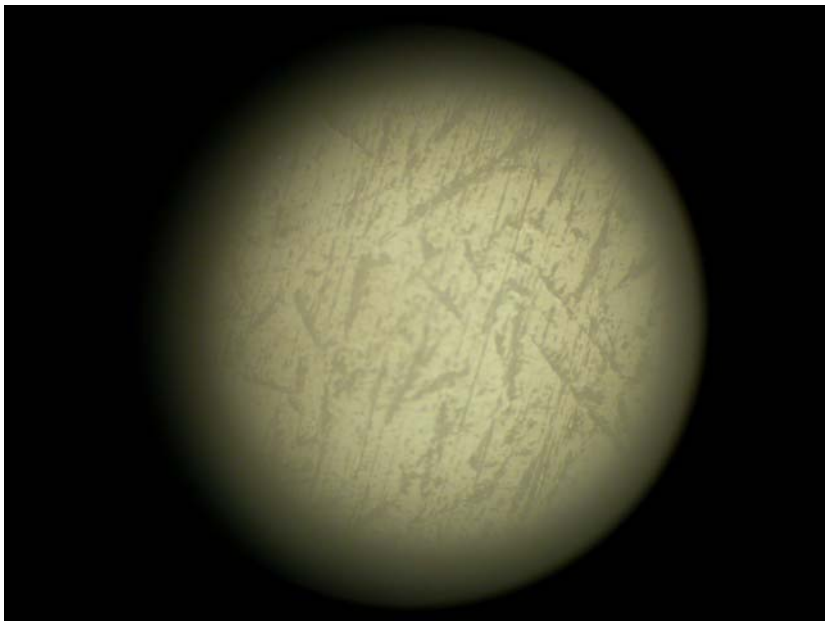


Şekil A.6: 2 Numaralı bölge 3. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

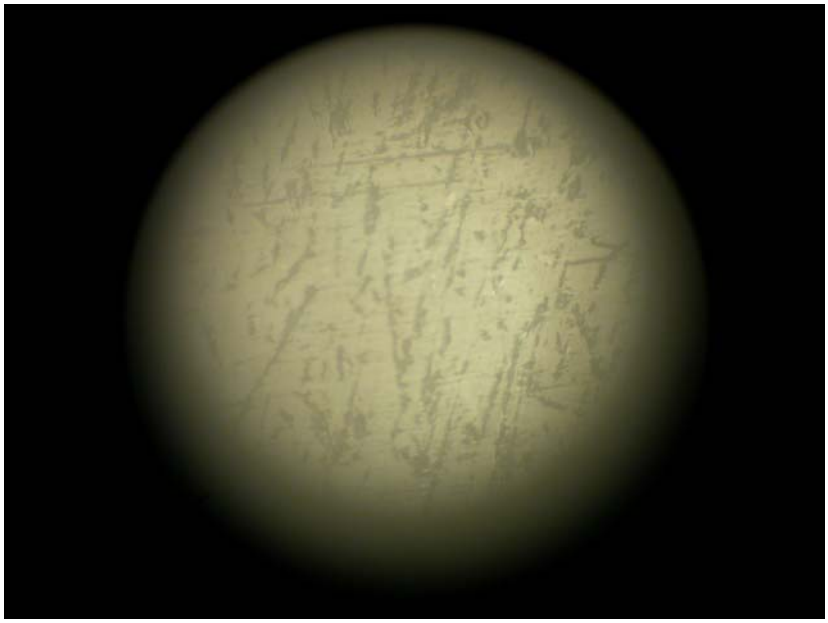


Şekil A.7: 3 Numaralı bölge 1. örnek için lif dağılım fotoğrafı

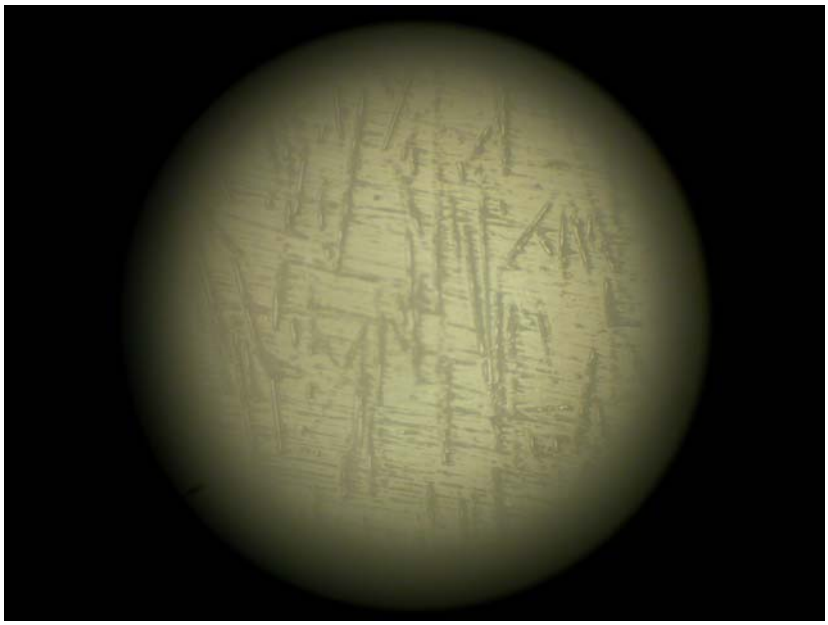


Şekil A.8: 3 Numaralı bölge 2. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

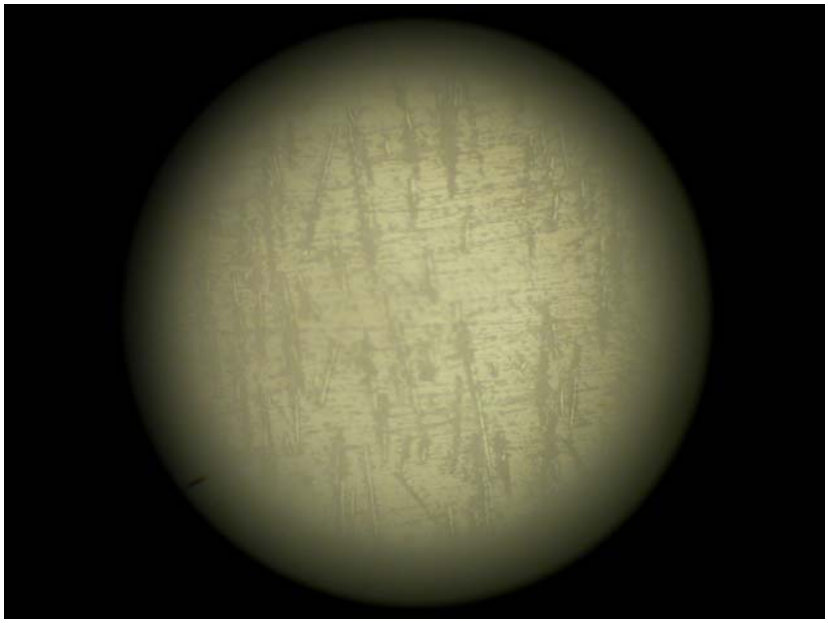


Şekil A.9: 3 Numaralı bölge 3. örnek için lif dağılım fotoğrafı



Şekil A.10: 4 Numaralı bölge 1. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-A LİF DAĞILIM FOTOĞRAFLARI

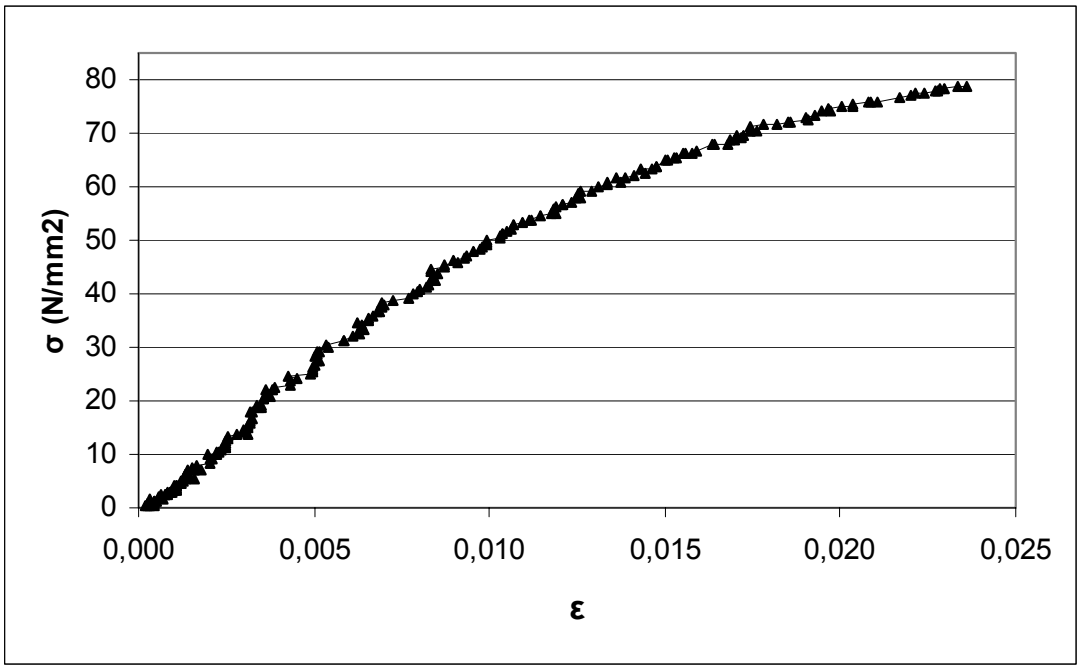


Şekil A.11: 4 Numaralı bölge 2. örnek için lif dağılım fotoğrafı

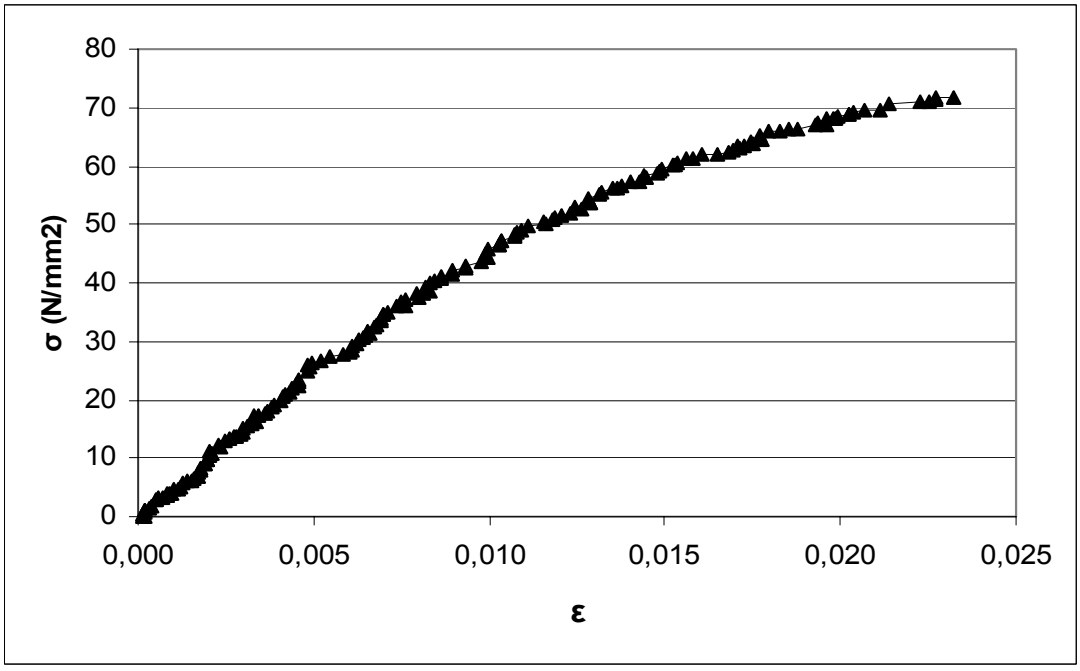


Şekil A.12: 4 Numaralı bölge 3. örnek için lif dağılım fotoğrafı

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

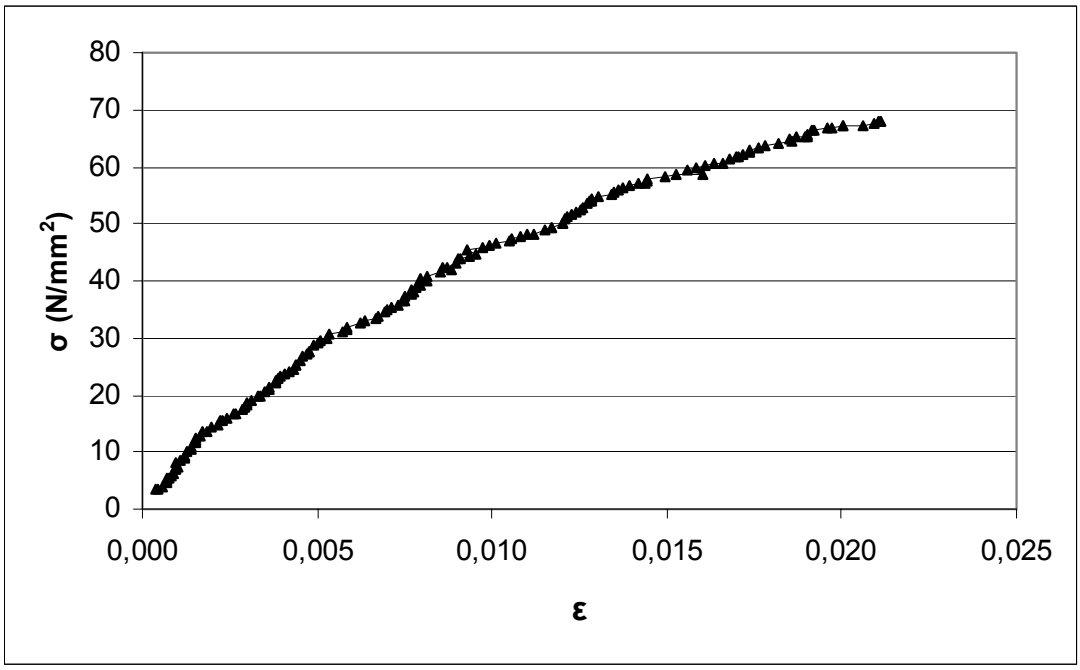


Şekil B.1: 1 Numaralı bölge 1. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

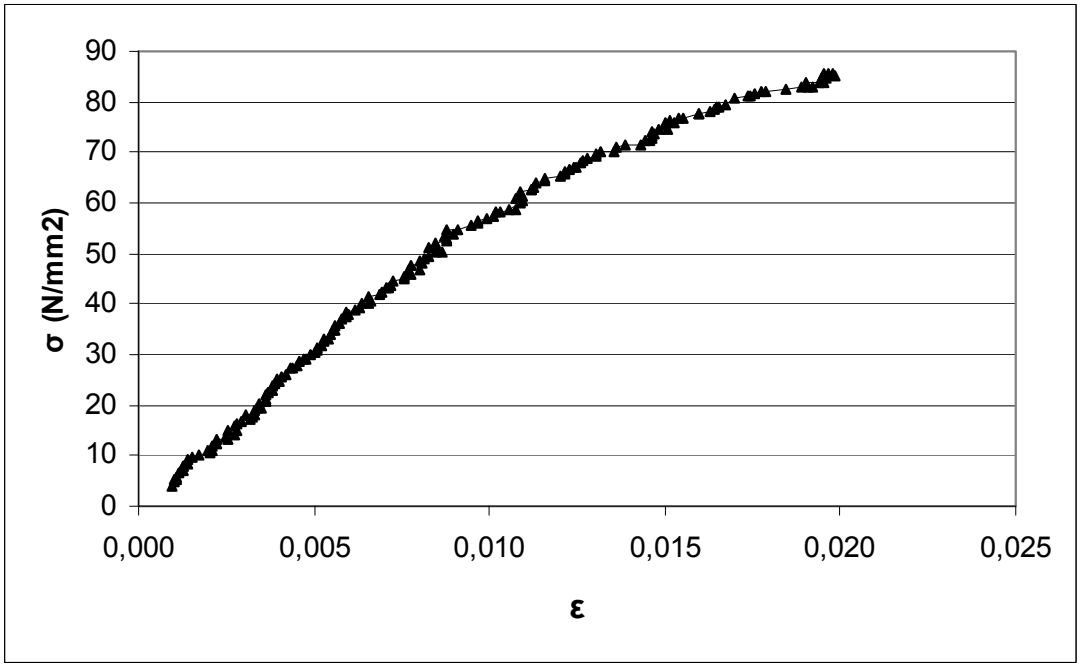


Şekil B.2: 1 Numaralı bölge 2. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

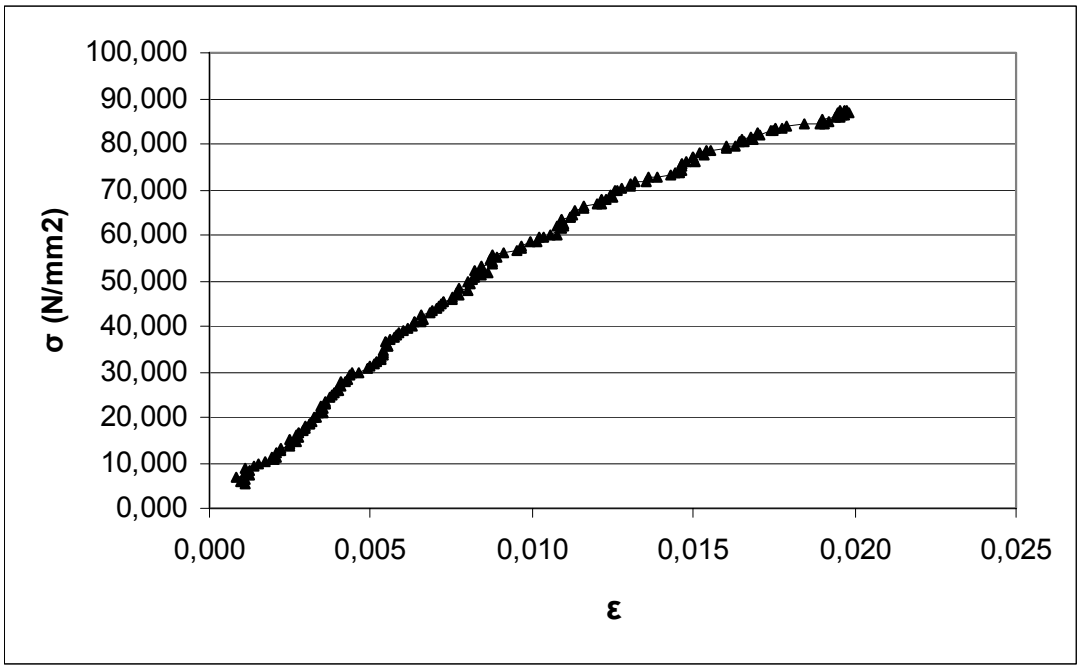


Şekil B.3: 1 Numaralı bölge 3. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

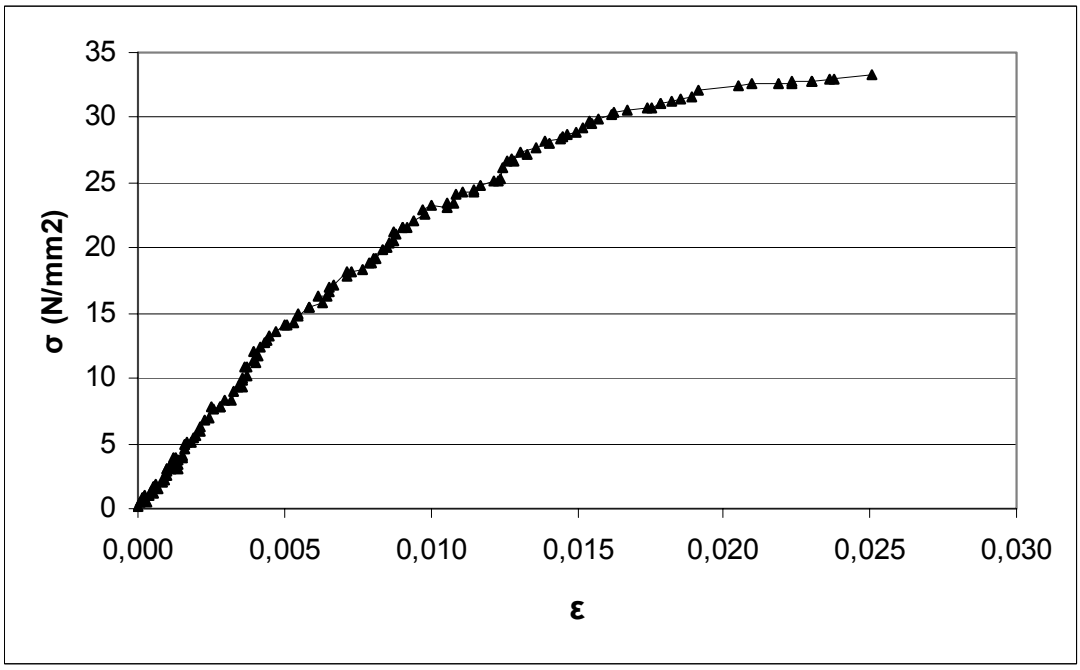


Şekil B.4: 2 Numaralı bölge 1. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

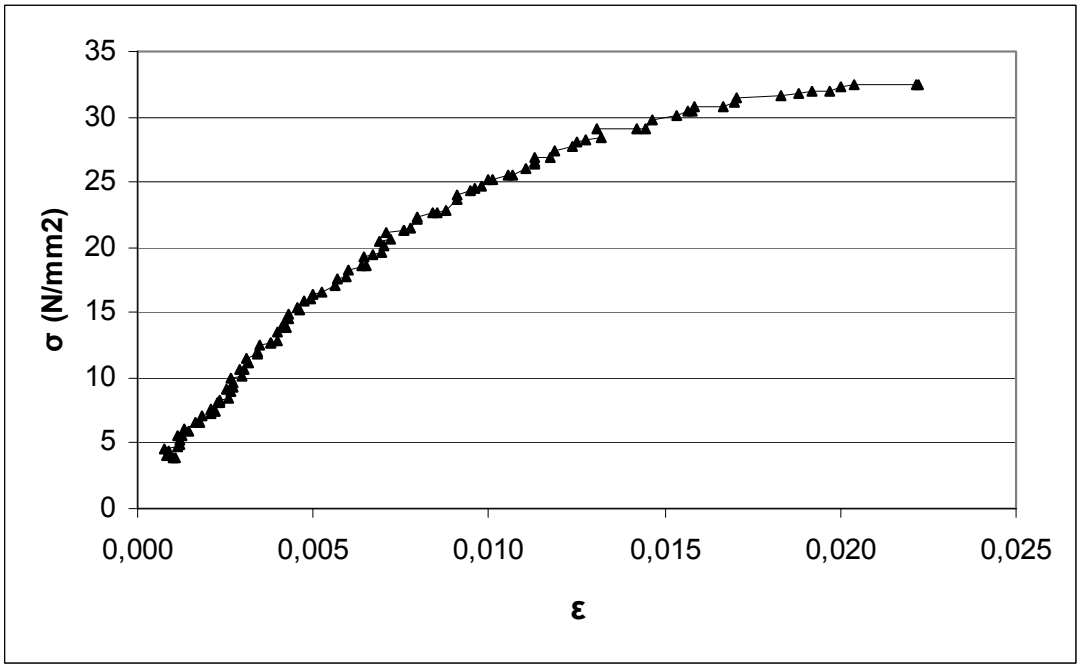


Şekil B.5: 2 Numaralı bölge 2. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

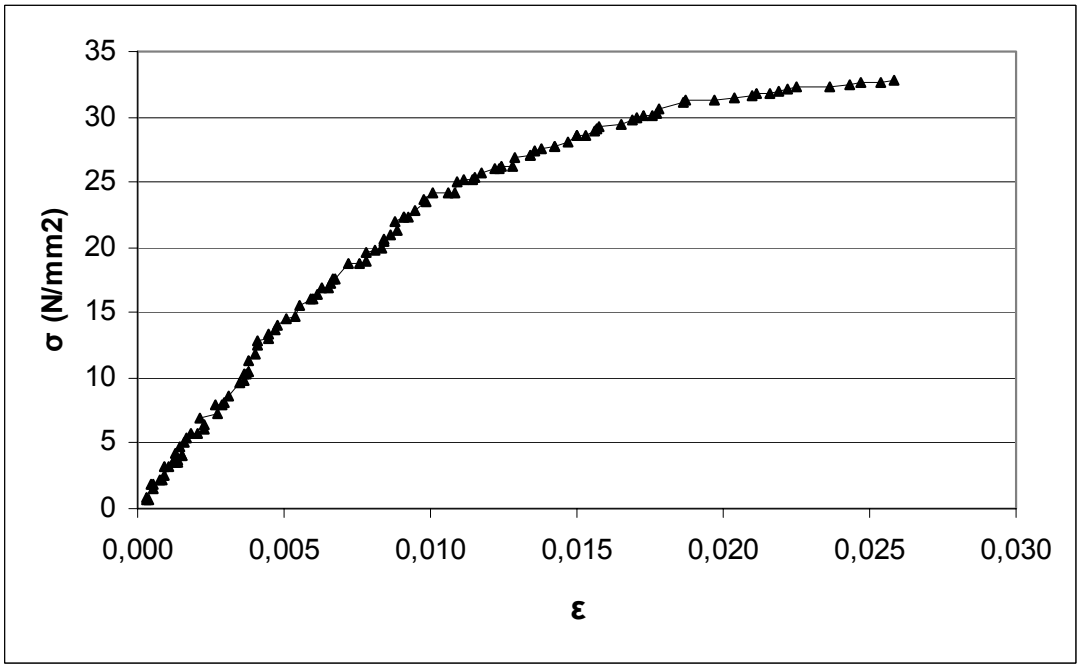


Şekil B.6: 3 Numaralı bölge 1. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

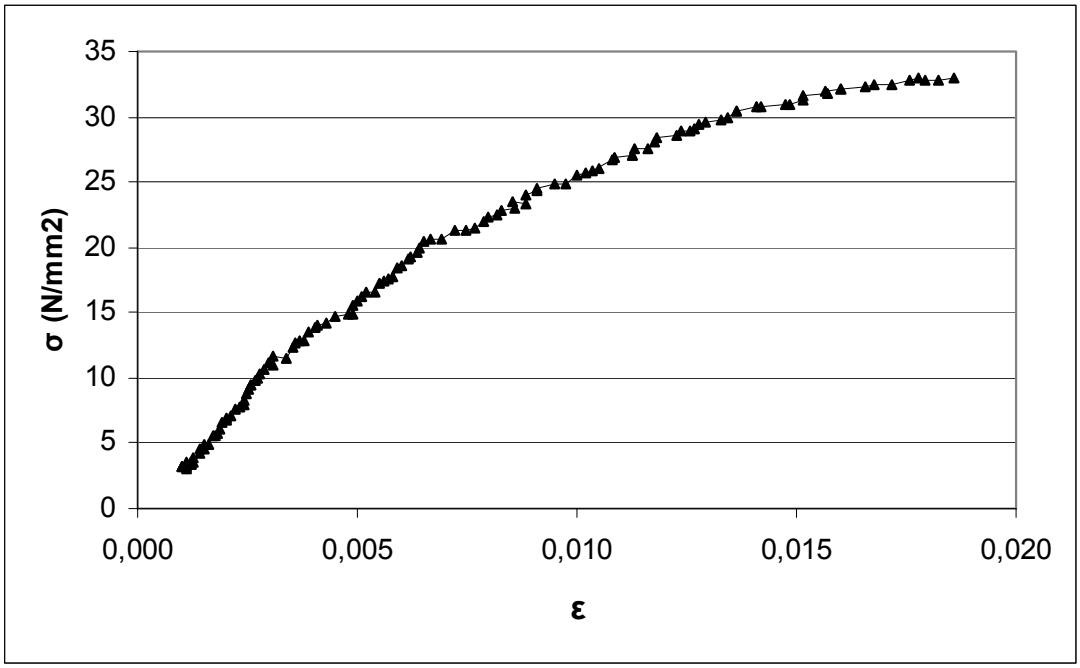


Şekil B.7: 3 Numaralı bölge 2. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

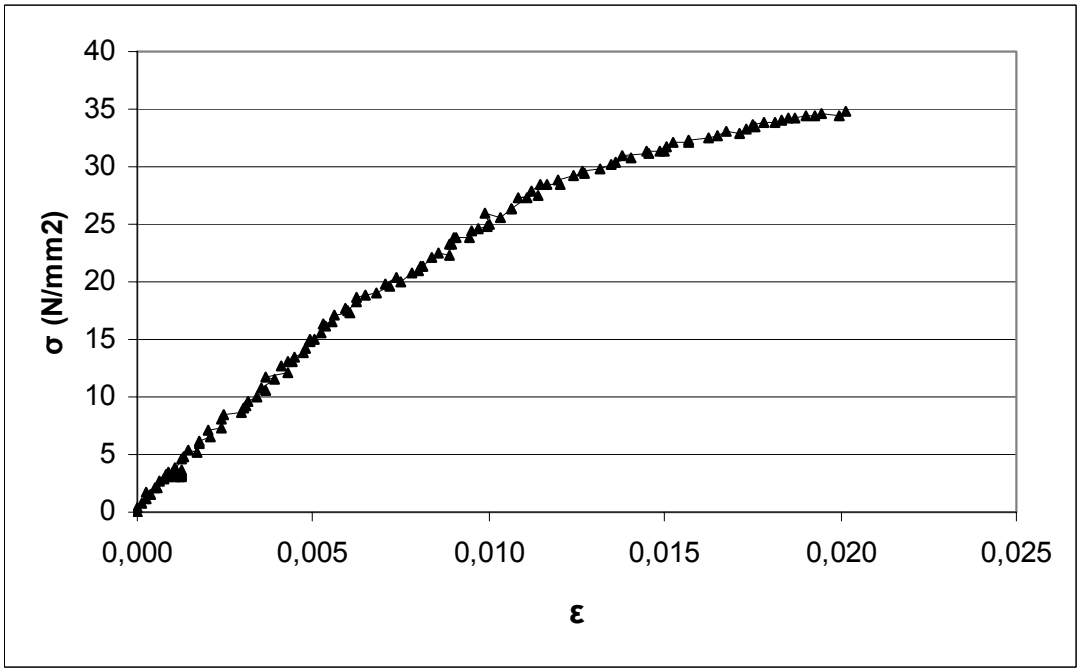


Şekil B.8: 3 Numaralı bölge 3. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

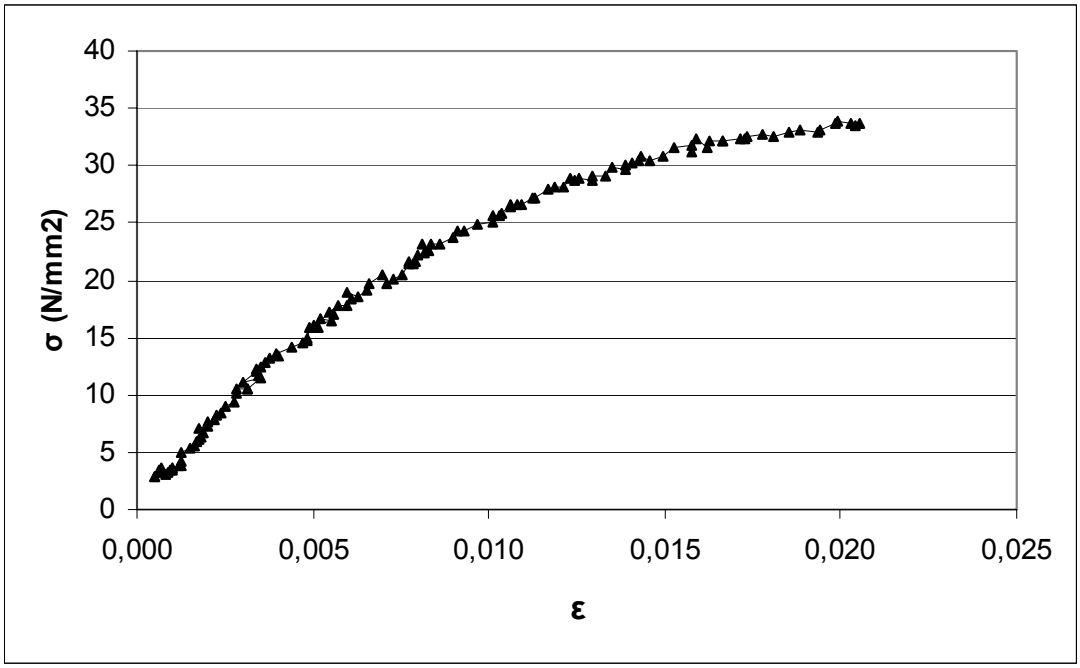


Şekil B.9: 4 Numaralı bölge 1. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

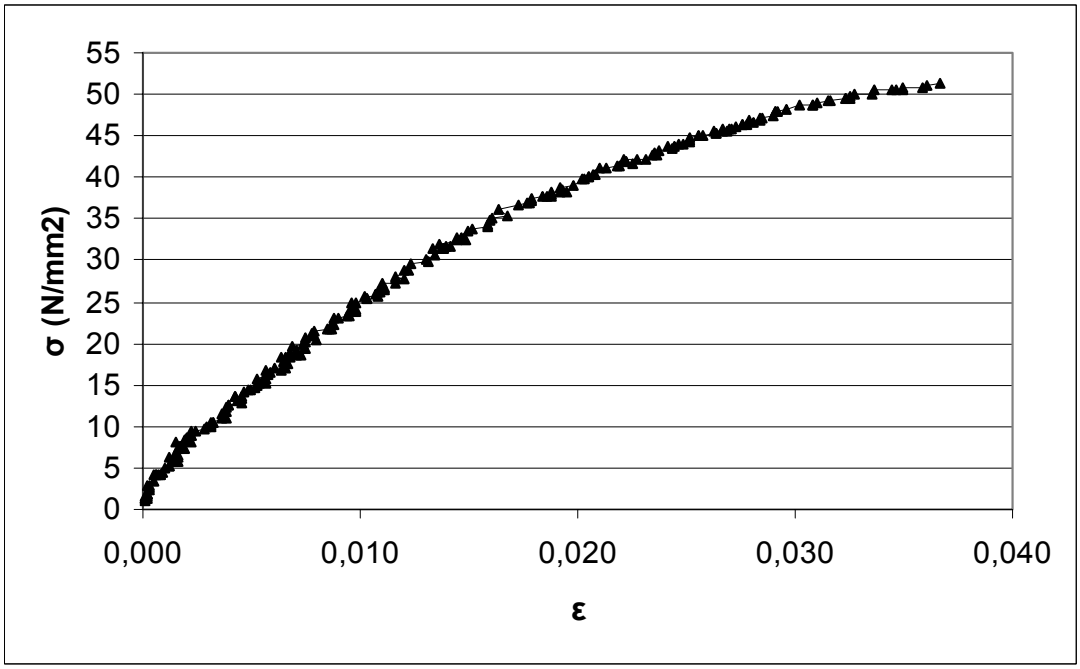


Şekil B.10: 4 Numaralı bölge 2. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ

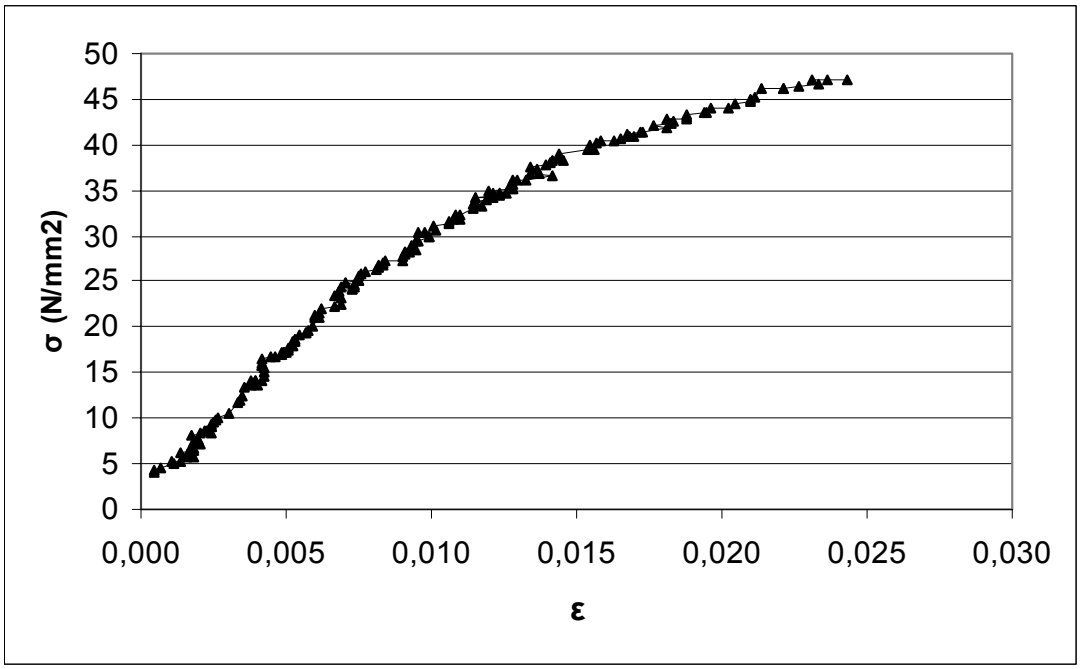


Şekil B.11: 4 Numaralı bölge 3. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

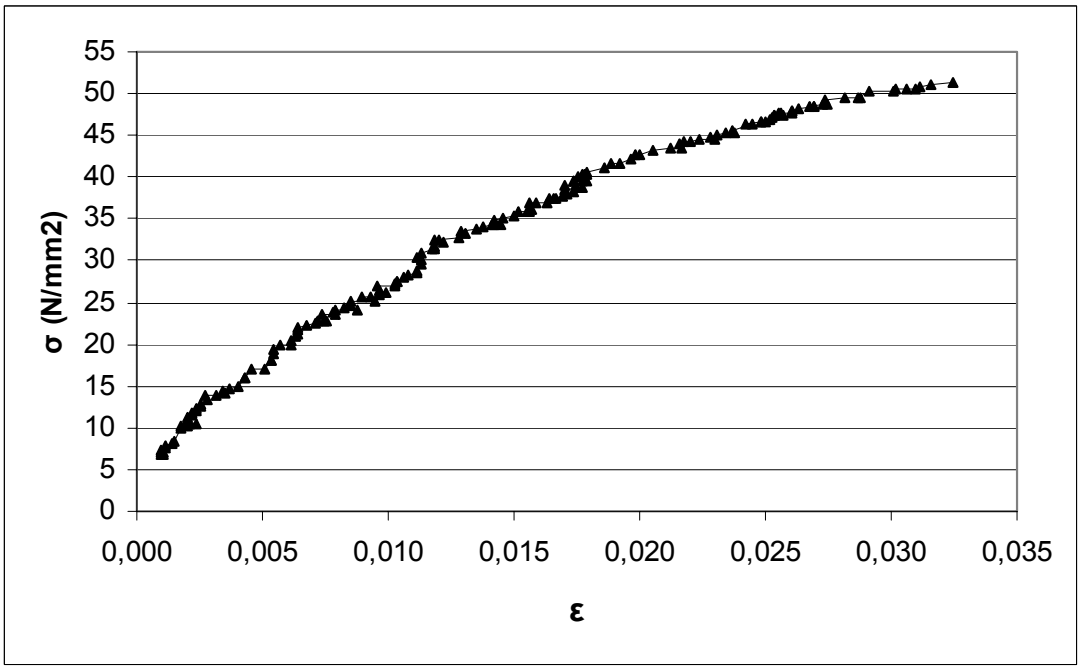


Şekil B.12: 5 Numaralı bölge 1. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

EK-B GERİLME - GENLEME GRAFİKLERİ



Şekil B.13: 5 Numaralı bölge 2. örnek Gerilme-Genleme Grafiği



Şekil B.14: 5 Numaralı bölge 3. örnek Gerilme-Genleme Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul'da doğan Özben PAKSOY ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1998 yılında Galatasaray Lisesi'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşatı ve Gemi Makinaları bölümünde eğitimine devam etti. 2003 yılında mezuniyetinin ardından, İstanbul Teknik Üniversitesinde Makina Mühendisliği, Malzeme ve İmalat bölümünde yüksek lisans eğitimine. 2003 yılında, Mühendislik departmanında göreve başladığı Süper Plastik firmasında, teknik müdür olarak çalışmaya devam etmektedir. İyi derecede İngilizce ve Fransızca bilmektedir.