

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Selcen ÖZKAN HACIOĞULLARI

**LABORATUVAR TİPİ FİLAMENT İPLİK MAKİNESİNİN TASARIMI,
İMALATI VE ÖZGÜN ÜRÜN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI**

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LABORATUVAR TİPİ FİLAMANT İPLİK MAKİNESİNİN TASARIMI,
İMALATI VE ÖZGÜN ÜRÜN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI**

Selcen ÖZKAN HACIOĞULLARI

DOKTORA TEZİ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 07/05/2014 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
ÜYE

.....
Prof. Dr. R. Tuğrul OĞULATA
ÜYE

.....
Doç. Dr. İsmail USTA
ÜYE

.....
Doç. Dr. Pınar DURU BAYKAL
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma T.C. Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü
Tarafından SAN-TEZ Programı Kapsamında Desteklenmiştir.
Proje No: 00428.STZ.2009-2**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların
kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere
tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

LABORATUVAR TİPİ FİLAMANT İPLİK MAKİNESİNİN TASARIMI, İMALATI VE ÖZGÜN ÜRÜN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Selcen ÖZKAN HACIOĞULLARI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
Yıl: 2014, Sayfa: 284
Jüri : Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
: Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
: Prof. Dr. R. Tuğrul OĞULATA
: Doç. Dr. İsmail USTA
: Doç. Dr. Pınar DURU BAYKAL

Sürekli filament iplik üretimi yapılan işletmelerde, üretim hattı oldukça geniş bir alanı kaplamakta ve üretim gün boyu kesintisiz bir şekilde devam etmektedir. Bu sebepten, üretim çalışmaları sırasında Ar-Ge ve Ür-Ge faaliyetlerini yürütmek oldukça güç olmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurularak, “Laboratuvar tipi Filament İplik Üretim Makinesinin Tasarımı, İmalatı ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” başlıklı doktora tez çalışması gerçekleştirilmiş ve bu çalışma ile filament ipliklere yönelik, sürekli ve sistemli araştırmalar yapabilmek amaçlanmıştır. Dolayısıyla, çalışma temel olarak iki aşamalıdır; birinci aşama, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarımı, geliştirilmesi ve imalatından, ikinci aşama ise, üretilen makinede gerçekleştirilen ürün geliştirme çalışmalarından oluşmaktadır. Çalışmanın birinci aşaması kapsamında imal edilen bu laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin ilk prototipi Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Filament İplik Üretim Laboratuvarı’na kurulmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, güç tutuşurluk özelliği taşıyan katkı maddesi, cips formundaki polipropilen hammaddesine farklı oranlarda eklenerek sürekli filament iplikler üretilmiştir. Daha sonra, bu ürünlerin hem mekanik hem de özgün özellikleri incelenmiştir. Sonuçta, katkı maddesi miktarındaki artışın ipliklerin güç tutuşurluk özelliğini geliştirdiği görülmüştür. Ayrıca, söz konusu sürekli filament ipliklere mukavemet, kopma uzaması, % kristalin bölge oranı, SEM görüntü analizi, EDX analizi, vb., testler de uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Filament iplik çekim makinesi, makine tasarımı, katkı maddesi, geç tutuşurluk, limit oksijen indeks (LOI).

ABSTRACT

PhD THESIS

DESIGN AND MANUFACTURE OF LABORATORY TYPE FILAMENT YARN MACHINE AND DEVELOPMENT OF ORIGINAL PRODUCT

Selcen ÖZKAN HACIOĞULLARI

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
Year: 2014, Pages: 284
Jury : Prof. Dr. Osman BABAARSLAN
: Prof. Dr. Beşir ŞAHİN
: Prof. Dr. R. Tuğrul OĞULATA
: Assoc. Prof. Dr. İsmail USTA
: Assoc. Prof. Dr. Pınar DURU BAYKAL

In the establishments where continuous filament yarn production is made, the production line covers a fairly large space and the production continues non-stop all day long. Because of these reasons stated above, during the production activities it is pretty demanding to R&D and P&D studies. In the view of this disadvantageous case, a doctorate thesis called “Design and Manufacture of Laboratory Type Filament Yarn Machine and Development of Original Product” was carried out, and with this study it was aimed to do continuous and systematic researches towards filament yarns. Thus, this study has two stages. The first one is the study of design, improving and manufacturing of lab-type filament yarn production machinery and the second one is the study of original product development done in the manufactured machinery. In the scope of the first stage of the study, the first prototype of the produced lab-type filament yarn was established in the Filament Yarn Production Laboratory of Textile Engineering Department at Çukurova University. In the second stage of the study, the flame retardant substance by being added to the polypropylene raw material in the form of chips in different ratios, continuous filament yarns were produced. Later on, both mechanical and original properties of these products were examined. As a result, it was seen that the increase in the amount of the flame retardant substance improved the properties of the flame retardant yarns. In addition to this, the tests such as tenacity, breaking elongation, the ratio of crystallinity region, SEM analysis, EDX analysis, etc. were applied to the mentioned continuous filament yarn and the results obtained from these were interpreted.

Key Words: Filament yarn drawing machine, machine design, additive material, flame retardancy, limited oxygen index (LOI).

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince olduğu gibi doktora tez çalışmamda da bana değerli vaktini ayırarak danışmanlığımı üstlenen, desteğini ve yardımlarını benden esirgemeyen; çalışmalarımın en zor anlarında bile yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle motivasyonumu yükselterek bana daima yol gösteren, iyi bir bilim insanı olmam için beşeri ve teknik açıdan beni yetiştiren, örnek aldığım ve yolundan ilerlediğim, ayrıca öğrencisi olmakla gurur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman BABAARSLAN’a çok teşekkür ederim.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyeleri hocalarım, Sayın Prof. Dr. Beşir ŞAHİN’e ve Sayın Doç Dr. Pınar DURU BAYKAL’a çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı çok teşekkür ederim. Ayrıca, Doktora Tez Jürisi üyeleri hocalarım, Sayın Prof. Dr. Tuğrul OĞULATA ve Sayın Doç. Dr. İsmail USTA’ya da katkılarından ötürü çok teşekkür ederim.

SAN-TEZ (Sanayi Tezleri) programı kapsamında yürütülmüş olan “00428.STZ.2009-2” kod numaralı ve “Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesinin Tasarımı, İmalatı ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” başlıklı projeye olan desteklerinden ötürü, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Bilim ve Teknoloji Genel Müdürlüğü’ne ve Polyspin Makine San. ve Tic. A.Ş.’ye teşekkür ederim. Ayrıca, Ç.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Dekanlığı’na ve Tekstil Mühendisliği Bölüm Başkanlığı’na çalışmalar süresince vermiş oldukları destek ve göstermiş oldukları ilgi ve alakadan dolayı da teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmamın temel materyal testleri için gerekli tüm imkânları sunan Advansa SASA Polyester San. A.Ş. Üst Yönetimi’ne, Anadolu Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Moda Tasarımı Bölümü’nden Sayın Doç. Dr. Mustafa Erdem ÜREYEN’e ve Bursa Teknik Üniversitesi Lif ve Polimer Mühendisliği Bölümü’nden Sayın Doç. Dr. Kenan YILDIRIM’a teşekkür ederim. Ayrıca, üretim çalışmalarına olan katkılarından ötürü Sayın Müslüm SEZEN ve Onur ŞEKER’e de teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince benimle olan yol arkadaşım Mustafa KEBABCI'ya teşekkür ederim. Ayrıca, paylaşımlarından ve desteklerinden ötürü arkadaşlarım Arş. Gör. Abdurrahman TELLİ ve Arş. Gör. Yusuf DAŞAN'a teşekkür ederim.

Ve tabi ki, tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca olduğu gibi, doktora tez çalışmalarım süresince de göstermiş oldukları hassasiyet ile verdikleri emek ve destekler için, bu hayatta herşeyden önce bana iyi ve dürüst bir insan olmayı öğrettikleri için, bana her zaman güvendikleri için, duaları ve tüm iyi dilekleri için, hep yanımda oldukları için Canım Annem Hatice ÖZKAN'a ve Canım Babam Atilla ÖZKAN'a çok teşekkür ederim.

Mutluluk kaynaklarım, “*İyi ki Varlar*” dediğim, Ablam Gökçen YILDIRIM'a, Kardeşim Alparslan ÖZKAN'a, Abim Uğur YILDIRIM'a ve yeğenim İlteriş Kağan YILDIRIM'a çok teşekkür ederim. Ayrıca, ailemize yeni katılan yeğenim İlay Ece YILDIRIM'a da bana verdiği mutluluktan ötürü teşekkür ederim.

Bana her daim güvenen, her türlü desteği sağlayan, çalışmalarım süresince tüm duygularımı benimle yaşayan, beni ben gibi anlayabilen ve belki de en önemlisi bana her daim huzurlu bir çalışma ortamı sunan, hayatı gerçek anlamda benimle yaşayan ve paylaşan **Sevgili Eşim Şeref HACIOĞULLARI'na** çok teşekkür ederim.

Selcen ÖZKAN HACIOĞULLARI

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makineleri	6
1.2. Polipropilen Lifi	14
1.3. Tekstil Liflerinin Güç Tutuşurluk Özellikleri	22
1.4. Doktora Tez Çalışmasının Kapsamı ve Önemi	28
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	33
2.1. Makine İmalatına Yönelik Gerçekleştirilen Literatür Taraması Sonuçları	34
2.2. Özgün Ürün Geliştirmeye Yönelik Gerçekleştirilen Literatür Taraması Sonuçları	36
3. MATERYAL ve METOT	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Polipropilen Polimeri	42
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Güç Tutuşurluk Katkı Maddesi	44
3.2. Metot	46
3.2.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin Tasarımı ve İmalatı	46
3.2.2. Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları	49
3.2.3. Örme İşlemi	52
3.2.4. Sürekli Filament İplik ve Örme Kumaş Ürünlerine Uygulanan Testler	54
3.2.5. İstatistiksel Analiz	74
3.2.5.1. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA).....	74

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	77
4.1. Sürekli Filament İplik Doğrusal Yoğunluğu, Filament Sayısı ve Kesit Şekli Tayini.....	77
4.2. Sürekli Filament İplik Finish (Yağlayıcı) Madde Miktarı Tayini.....	79
4.3. Sürekli Filament İplik Ön Punto Sayısı Tespiti Testi	79
4.4. Sürekli Filament İpliklerin Düzgünsüzlük Test Sonuçları	80
4.5. Sürekli Filament İpliklerin Renk Ölçümü Test Sonuçları	81
4.6. Sürekli Filament İpliklerin SEM Görüntüleri ve EDX Analiz Sonuçları	84
4.6.1. Sürekli Filament İpliklerin SEM Görüntü Analizleriyle İlgili Genel Değerlendirme	102
4.6.2. Sürekli Filament İpliklerin EDX Analizleriyle İlgili Genel Değerlendirme	103
4.7. Sürekli Filament İpliklerin Mukavemet ve Kopma Uzaması Test Sonuçları.....	105
4.8. Sürekli Filament İpliklerin DSC Test Sonuçları	109
4.9. Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Test Sonuçları	121
4.9.1. Dikey Yanmazlık Test Sonuçları	122
4.9.2. Limit Oksijen Index (LOI) Test Sonuçları	130
4.9.3. F.R. Katkılı Polipropilen Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Davranışlarıyla İlgili Genel Değerlendirmeler	133
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	139
5.1. Geliştirilen Makine Açısından Çalışma Sonuçları	140
5.2. Güç Tutuşurluk Özelliğine Sahip Özgün Ürün Geliştirme Açısından Çalışma Sonuçları	141
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler	143
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	153
EKLER.....	154

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Türkiye genel ihracat ve tekstil ve hammaddeleri ihracatı	4
Çizelge 1.2. Belli başlı ürün grupları bazında Türkiye Tekstil İhracatı	5
Çizelge 1.3. Melt Spinning makinesi teknik özellikleri	10
Çizelge 1.4. Spinboy makinesi teknik özellikleri.....	11
Çizelge 1.5. Polipropilen lifinin genel özellikleri	17
Çizelge 1.6. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri.....	25
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan PP cipsinin özellikleri	42
Çizelge 3.2. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi özellikleri	47
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan makine üretim parametreleri	52
Çizelge 3.4. Örne makinesi üretim parametreleri	53
Çizelge 3.5. Hunter-Lab renk ölçüm test cihazı özellikleri	64
Çizelge 3.6. Çalışma kapsamında kullanılan materyal bilgileri ve test yöntemleri	73
Çizelge 4.1. Çalışmada üretilen ipliklerin yapısal özellikleri	78
Çizelge 4.2. Sürekli filament ipliklerin ön punto test sonuçları	79
Çizelge 4.3. Sürekli filament iplik düzgünsüzlük (%) test sonuçları.....	80
Çizelge 4.4. Sürekli filament iplik renk ölçümü test sonuçları.....	82
Çizelge 4.5. %1 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	88
Çizelge 4.6. %2 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	90
Çizelge 4.7. %3 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	93
Çizelge 4.8. %4 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	95
Çizelge 4.9. %5 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	97
Çizelge 4.10. %6 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	98
Çizelge 4.11. %7 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	100
Çizelge 4.12. %8 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları	102
Çizelge 4.13. F.R. katkılı filament ipliklerin mukavemet-uzama test sonuçları	105
Çizelge 4.14. Çeşitli polimerler için ΔH_m° değerleri	111
Çizelge 4.15. F.R. katkılı sürekli filament iplik % kristalin bölge oranı test sonuçları	112

Çizelge 4.16. Katkısız PP ve F.R. katkılı ipliklerin DSC analiz sonuçları	114
Çizelge 4.17. Katkısız PP ve F.R. katkılı sürekli filament ipliklerin dikey yanmazlık test sonuçları.....	123
Çizelge 4.18. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık [yanma süresi(+12 sn)] testine dair tanımlayıcı istatistikleri	125
Çizelge 4.19. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma süresi) testi için varyans analizi sonuçları	126
Çizelge 4.20. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma uzunluğu) testine dair tanımlayıcı istatistikler	128
Çizelge 4.21. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma uzunluğu) testi için varyans analizi sonuçları	129
Çizelge 4.22. Katkısız PP ve F.R. katkılı örme kumaşların % LOI test sonuçları	131

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. 2011 yılı Dünya lif pazarı	1
Şekil 1.2. Dünya sentetik ve doğal lif tüketim miktarları	2
Şekil 1.3. Dünya genelinde yapay ve doğal lif tüketim miktarlarıyla ilgili uzun vadeli öngörü.....	3
Şekil 1.4. Prototip tip bir filament iplik üretim makinesi	7
Şekil 1.5. Wayne Machine marka lab. tipi filament iplik üretim makinesi	8
Şekil 1.6. Plantex Libe Line marka lab. tipi filament iplik üretim makinesi	9
Şekil 1.7. “Melt Spinning” isimli laboratuvar tipi makine	10
Şekil 1.8. “SPINBOY” isimli laboratuvar tipi makine	11
Şekil 1.9. Baby Lofil marka filament iplik üretim makinesi.....	12
Şekil 1.10. Hills marka filament iplik üretim makinesi	12
Şekil 1.11. SML marka filament iplik üretim makinesi	13
Şekil 1.12. PP kimyasal yapısı	15
Şekil 1.13. Sürekli izotaktik PP üretiminin şematik diyagramı	16
Şekil 1.14. PP lifinin kullanım alanları	21
Şekil 1.15. 2008-2012 yılları arasında Dünya PP kapasitesi ve talebi	22
Şekil 1.16. Tekstil liflerinin yanma mekanizması	24
Şekil 1.17. Çalışma kapsamında üretilen özellikli iplikler ve katma değeri yüksek ürünler	30
Şekil 2.1. Güç tutuşur özellikli ürün örnekleri	33
Şekil 3.1. PP polimer cipsi ve sürekli filament iplik bobinleri	43
Şekil 3.2. Çalışma kapsamında üretilen sürekli filament iplik bobinleri	44
Şekil 3.3. Güç tutuşurluk katkı maddesi	45
Şekil 3.4. Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin teknik çizimi-önden görünüş	48
Şekil 3.5. İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi	48
Şekil 3.6. Özellikli PP örme kumaşların üretim akış şeması	49
Şekil 3.7. Sarım ünitesi	51

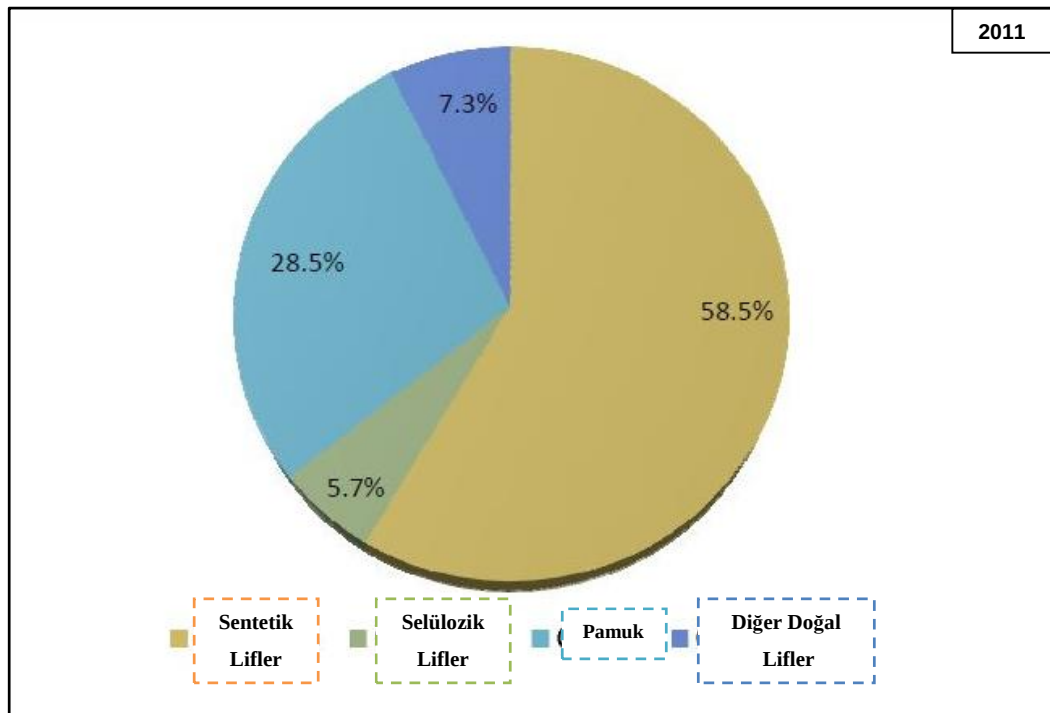
Şekil 3.8. Çorap örme makinesi	54
Şekil 3.9. Çıkırcık ve hassas terazi	56
Şekil 3.10. Oxford MQA 7020 model finish madde miktarı tayini cihazı.....	57
Şekil 3.11. Lif enine kesit şekli inceleme test mikroskobu	59
Şekil 3.12. İplikte ön punto sayısı belirleme test cihazı	61
Şekil 3.13. Uster düzgünsüzlük test cihazı	62
Şekil 3.14. Hunter-Lab renk ölçümü test cihazı	63
Şekil 3.15. Uster Mukavemet-Uzama test cihazı	65
Şekil 3.16. SEM görüntü analizi için hazırlanan filament iplik test numuneleri	66
Şekil 3.17. SEM görüntü analizi için numune hazırlama/kaplama test cihazı ve SEM cihaz görseli	66
Şekil 3.18. DSC testi numune hazırlama aparat ve cihazları	68
Şekil 3.19. DSC test cihazı	68
Şekil 3.20. Dikey yanmazlık testi numune tutucu ölçüleri	70
Şekil 3.21. Dikey yanmazlık test kabini	70
Şekil 3.22. Kömürleşme uzunluğunun şematik gösterimi	71
Şekil 3.23. Çalışma kapsamında kullanılan LOI test cihazı.....	72
Şekil 4.1. F.R. katkı maddesi oranının iplik düzgünsüzlük (%Um) değerine etkisi	81
Şekil 4.2. Üç boyutlu renk düzlemi.....	83
Şekil 4.3. Katkısız PP sürekli filament iplik SEM görüntüsü (X50 büyütme oranı).....	84
Şekil 4.4. Katkısız PP sürekli filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı).....	85
Şekil 4.5. PP filament iplik SEM görüntüsü (X2000 büyütme oranı)	86
Şekil 4.6. %1 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	86
Şekil 4.7. %1 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	87
Şekil 4.8. %2 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	89
Şekil 4.9. %2 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	90

Şekil 4.10. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X50 büyütme oranı)	91
Şekil 4.11. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	91
Şekil 4.12. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X1600 büyütme oranı)	92
Şekil 4.13. %3 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	93
Şekil 4.14. %4 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	94
Şekil 4.15. %4 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	95
Şekil 4.16. %5 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	96
Şekil 4.17. %5 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	96
Şekil 4.18. %6 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	97
Şekil 4.19. %6 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	98
Şekil 4.20. %7 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	99
Şekil 4.21. %7 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	100
Şekil 4.22. %8 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)	101
Şekil 4.23. %8 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği	101
Şekil 4.24. F.R. katkı maddesi oranının iplik mukavemet değerine (cN/tex) etkisi	106
Şekil 4.25. F.R. katkı maddesi oranının iplik kopma uzaması değerine (%) etkisi	107
Şekil 4.26. Makromoleküler polimer yapısında amorf ve kristalin bölgeler	109
Şekil 4.27. Katkısız PP filament iplik DSC termogram eğrisi	116
Şekil 4.28. %1 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	116
Şekil 4.29. %2 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	117
Şekil 4.30. %3 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	117

Şekil 4.31. %4 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	118
Şekil 4.32. %5 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	119
Şekil 4.33. %6 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	119
Şekil 4.34. %7 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	120
Şekil 4.35. %8 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi	120
Şekil 4.36. PP ve F.R. katkılı filament ipliklere ait DSC termogram eğrileri.....	121
Şekil 4.37. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş yanma süresine etkisi	124
Şekil 4.38. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş yanma uzunluğuna etkisi	127
Şekil 4.39. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş LOI değerine etkisi	131
Şekil 4.40. Çift yanma pikine sahip PP örme kumaş görseli ve teknik çizimi	134
Şekil 4.41. Tek ve çift yanma uzunluğu pikine sahip PP örme kumaşlar	135
Şekil 4.42. Tek ve çift yanma uzunluğu pikine sahip PP örme kumaşlar teknik çizim.....	136
Şekil 4.43. Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren örme kumaş test numunelerinin yanma uzunlukları	137
Şekil 4.44. Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren örme kumaş test numunelerinin yanma uzunlukları teknik çizimi.....	138

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, dünyadaki toplam elyaf tüketim miktarının artışı da beraberinde getirmektedir; doğal liflerin artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için yetersiz oluşu, sentetik lif üretiminin daha fazla önem kazanmasını sağlamıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen Ürün-Geliştirme (Ür-Ge) ve Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları neticesinde sentetik ürünlere kazandırılan fonksiyonel özellikler de bu ürünlerin tercih edilirliliğini artırmaktadır. Şekil 1.1., Dünya genelindeki toplam lif pazarını göstermektedir. Şekilden, söz konusu bu pazar içerisinde sentetik liflerin gelişiminin %58,5’lik oranla önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir (Engelhardt, 2011).

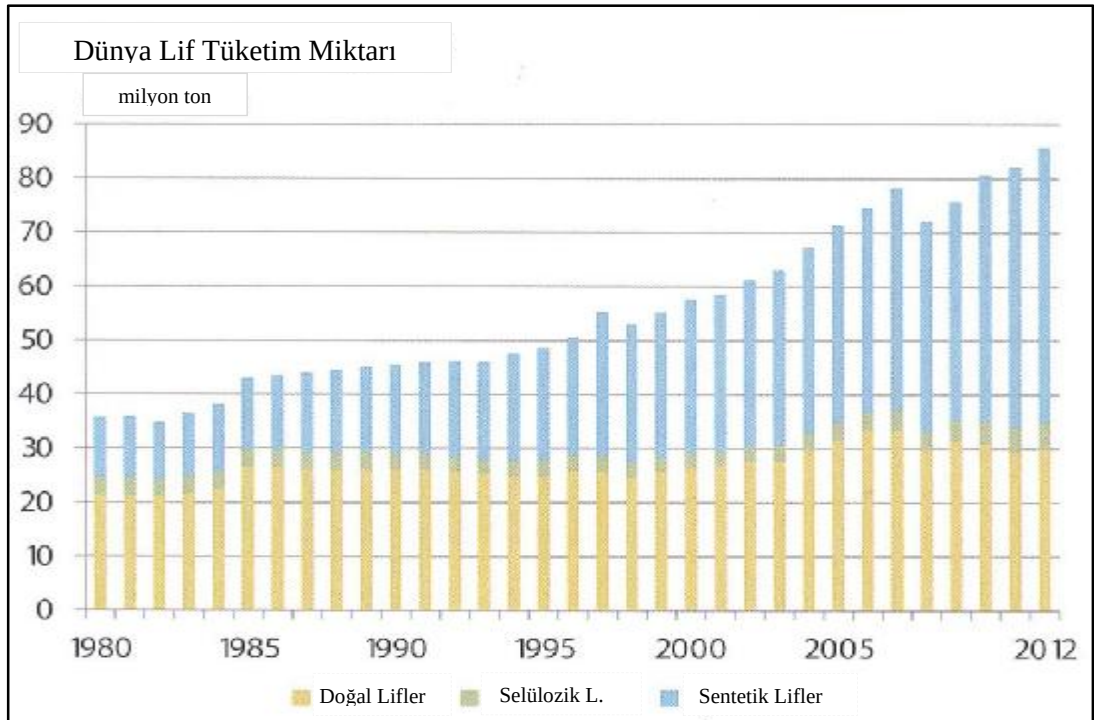


Şekil 1.1. 2011 yılı Dünya lif pazarı (Engelhardt, 2011)

2012 yılında ise, dünya tekstil endüstrisinin üretim hacmi bir önceki yıla göre %1.9 oranında artarak 88.5 milyon tona yükselmiştir. Bu toplam üretim hacmi içerisinde doğal liflerin üretimi bir önceki yıla göre % 4.3 azalarak 32.5 milyon ton,

yapay liflerin üretim miktarı ise, bir önceki yıla göre %6 oranındaki artışla 56 milyon ton olarak belirlenmiştir.

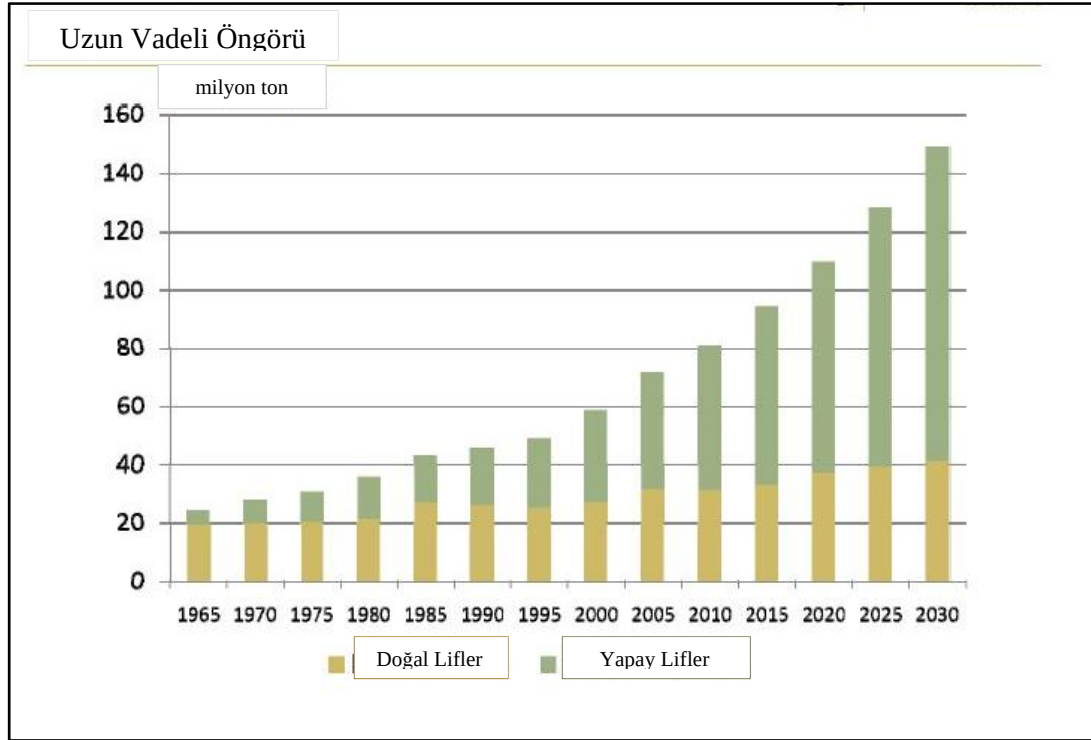
Şekil 1.2., yıllar bazında dünya lif tüketim miktarlarını göstermektedir. Şekilden de görülebileceği gibi sentetik lif tüketim miktarı yıllara göre belirgin biçimde artış göstermektedir. 2012 yılında sentetik lif tüketim miktarı, bir önceki yıla göre %5.6 oranındaki artışıyla 50.8 milyon tona ulaşmıştır (Engelhardt, 2012).



Şekil 1.2. Dünya sentetik ve doğal lif tüketim miktarları (Engelhardt, 2012)

Ayrıca, 2012 yılında kesikli liflerde sadece %1.9 oranında bir büyüme görülürken, filament iplik sektörünün üretim miktarı %7.6 oranındaki artışıyla 33.7 milyon tona ulaşmıştır.

Dünya genelinde kullanılan lif miktarındaki artış, yapay ve doğal lif tüketim miktarlarıyla ilgili uzun vadeli tahmini veriler oluşmasını sağlamaktadır. Şekil 1.3., 2030 yılına kadar Dünya genelinde kullanılabilecek toplam lif miktarına dair tahmini verileri göstermektedir.



Şekil 1.3. Dünya genelinde yapay ve doğal lif tüketim miktarlarıyla ilgili uzun vadeli öngörü (Engelhardt, 2011)

Şekilden, dünya genelinde 2030 yılına kadar yapay lif tüketim miktarının yıllar bazında önemli derecede artacağı ve bu miktarın 2030 yılında 110 milyon tona ulaşacağı öngörülmektedir.

Türk Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü, ekonominin lider sektörlerinden biridir. Türkiye ekonomisi ve sanayisi içinde önemli bir yere sahip olan bu sektörün değişen dünya rekabet şartlarına uyum sağlaması gerekmektedir. Bunun için de söz konusu konvansiyonel ürünlerin yerini Ar-Ge tabanlı, katma değeri yüksek ürünler almalıdır. 2012 yılında Türkiye'nin genel ihracatı, bir önceki yıla göre %12,6 oranında artmış ve 151,9 milyar dolara yükselmiştir. 2013 yılında ise, Türkiye genel ihracatı, bir önceki yıla göre sadece %0,01 oranında artarak 151,9 milyar dolar seviyesinde kalmıştır. 2013 yılında genel ihracat içerisinde, Türkiye Tekstil İhracatı yaklaşık olarak 8,4 milyar dolara ulaşmıştır. 2013 yılı için Tekstil ve Hazır Giyim Konfeksiyon Sektörü birlikte değerlendirildiğinde ise, veriler sektörün 25,8 milyar dolarlık toplam ihracat rakamı ile Türkiye'de en fazla ihracat yapan sektör konumunda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1.1., 2013 yılı Türkiye genel ihracatı ile tekstil sektörü ihracat rakamlarını göstermektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye genel ihracat ve tekstil ve hammaddeleri ihracatı (ITKIB, 2013)

Genel İhracat Performansı İçinde			
Tekstil ve Hammaddeleri İhracatının Payı			
<i>Birim: 1000 \$</i>			
	2012 Ocak - Aralık	2013 Ocak - Aralık	2013/12 Değişim %
Türkiye Genel İhracatı	151.695.192	151.707.002	0,01
Tekstil ve Hammaddeleri İhracatı	7.839.144	8.391.398	7,0
Teks.ve Hammaddeleri İhracatının Payı %	5,2	5,5	
Sanayi İhracatı	114.226.873	119.048.130	4,2
Teks.ve Hammaddeler İhracatının Sanayi İhracatındaki Payı %	6,9	7,0	

Çizelgeden de görüleceği üzere, tekstil ve hammaddeleri ihracatının ülkemiz sanayi ihracatı ve genel ihracat içerisinde önemli bir payı bulunmaktadır. Ayrıca, ülkemiz toplam tekstil ihracatı içerisinde elyaf ihracatının payı %7,7, iplik ihracatının payı %20,8 ve dokuma kumaş ihracatının payı da %33,8'dir. Temel hammaddeler itibariyle elyaf ihracatı incelendiğinde ise, bu grupta değer bazında en fazla, 408,2 milyon dolarla Suni-Sentetik devamsız liflerin ihraç edildiği görülmektedir.

2013 yılında Türkiye'den en fazla ihraç edilen iplik çeşidi, Sentetik-Suni filament ipliklerdir. Bu ürün grubunun toplam ihracat rakamı bir önceki yıla göre %18,6 oranında artarak yaklaşık olarak 634 milyon dolara yükselmiştir. Söz konusu bu yüksek oran, özellikle bu ürün grubunda gerçekleştirilen katma değeri yüksek, fonksiyonel özelliklere sahip (güç tutuşurluk, UV dayanımı, antibakteriyellik, vb.) iplik üretimleriyle de doğrudan ilişkilidir.

Çizelge 1.2., belli başlı ürün grupları bazında ülkemiz tekstil sektörü ihracat kalemlerini göstermektedir (ITKIB, 2012).

Çizelge 1.2. Belli başlı ürün grupları bazında Türkiye tekstil ihracatı (ITKIB, 2013)

Birim: 1.000 ABD \$				
	2012 Ocak - Aralık	2013 Ocak - Aralık	Pay %	2012/2013 Değişim %
Sentetik-Sunî Devamsız Lifler	431.549	408.193	4,9	-5,4
Pamuk Lifleri	195.167	188.540	2,2	-3,4
Yün ve İnce-Kaba Hayvan Kılın	32.665	47.286	1	44,8
İpek Lifi	672	388	0,00	-42,3
Bitkisel lifler	110	235	0,003	113,8
Elyaf İhracatı	660.164	644.642	7,7	-2,4
Sentetik-Sunî Filament İplikleri	534.757	633.969	7,6	18,6
Sentetik-Sunî Devamsız Liflerden İplikler	567.975	570.529	6,8	0,4
Pamuk İpliği	471.829	476.005	5,7	0,9
Yün ve İnce-Kaba Hayvan Kılından İplikler	60.378	52.701	0,6	-12,7
Bitkisel Liften İplik	5.578	7.896	0,1	41,6
İpek İpliği	344	433	0,0	25,9
İplik* İhracatı	1.640.861	1.741.553	20,8	6,1
Pamuklu Dokuma Kumaş	1.126.413	1.261.698	15,0	12,0
Sentetik-Sunî Filament İpliklerinden Dokuma Kumaş	956.032	1.056.462	12,6	10,5
Sentetik-Sunî Devamsız Lif. İpliklerden Dokuma Kumaş	392.873	399.986	4,8	1,8
Yün ve İnce-Kaba Hayvan Kılından Dokuma Kumaş	103.486	93.511	1,1	-9,6
Bitkisel Liften Dokuma Kumaş	18.204	18.556	0,2	1,9
İpekli Dokuma Kumaş	1.970	2.522	0,0	28,0
Dokuma Kumaş* İhracatı	2.598.978	2.832.736	33,8	9,0
Diğer Örme Kumaş	875.813	911.238	10,9	4,0
Örme Kumaş (eni 30 cm geçmeyen örme kumaşlar, %5 elastomerik veya kauçuk iplik içeren eni 30 cm geçen ve geçmeyen örme kumaşlar)	446.713	479.723	5,7	7,4
Çözümlü Örme Kumaş	185.333	226.174	2,7	22,0
Örme Tüylü Kumaş	72.215	68.622	0,8	-5,0
Örme Kumaş İhracatı	1.580.074	1.685.758	20,1	6,7
Dokusuz Yüzeyler (non-woven)**	355.415	399.214	4,8	12,3
Diğer Tekstil Ürünleri İhracatı	1.003.652	1.087.495	13,0	8,4
TÜRKİYE TOPLAM TEKSTİL İHRACATI	7.839.144	8.391.398	100,0	7,0

Bu çalışmanın ana materyallerinden birini sentetik filament iplikler oluşturmaktadır. Çizelge 1.2’de sentetik-suni filament ipliklerin toplam tekstil ihracatı içerisindeki payı yer almaktadır. Çizelgeden de görülebileceği gibi, sentetik esaslı ürünlerin genel olarak toplam tekstil ihracatındaki payı oldukça önemlidir; bu durum çalışmamızın ürün geliştirme aşamasında üretilmiş olan sentetik filament ipliklerin ülkemiz tekstil sektöründeki önemini göstermektedir.

Doktora tez çalışması kapsamında, laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesi tasarlanarak geliştirilmiş ve makine üzerinde çeşitli ürün geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Makine imalat çalışmalarına yönelik gerçekleştirilen araştırmalar kapsamında Dünya’da bulunan bu tür makinelere dair çeşitli bilgilere ulaşılmıştır. Dünya genelinde ön plana çıkan laboratuvar tipi filament iplik makinelerinden bazıları hakkında tanıtıcı bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

1.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makineleri

Filament iplik (Polipropilen-PP, Poliester-PES, Poliamid-PA) üretimi yapan işletmelerde, üretim hattı oldukça geniş bir alanı kaplamakta ve üretim gün boyu kesintisiz bir şekilde devam etmektedir. Bu sebeplerden dolayı, işletmelerde, üretim çalışmaları sırasında, Ar-Ge ve Ür-Ge faaliyetlerini yürütmek oldukça güç olmaktadır. Doktora tez çalışması kapsamında, filament ipliklere yönelik, sürekli ve sistemli araştırmalar yapabilmek için laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarım çalışmaları yapılmış ve makine imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, hem ülkemizde daha önce imalatı yapılmamış bir dikey düzlemde çalışan prototip filament iplik üretim makinesi imalatı gerçekleştirilmiş hem de makine üzerinde çeşitli üretim ve ürün geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesine dair gerçekleştirilen tasarım çalışmaları sırasında, Dünya genelinde bu tip bazı makinelerle ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Söz konusu bu bilgiler aşağıda yer almaktadır.

§ Gerçekleştirilen literatür araştırmaları neticesinde, Çin’de laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesi olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Söz konusu makinenin resmi Şekil 1.4.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Prototip tip bir filament iplik üretim makinesi (www.alibaba.com, 2011)

§ Literatür araştırması neticesinde ulaşılan bilgilerden bir diğeri Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan Wayne Machine Firması’nın, laboratuvar tipi yatay düzlemde çalışan filament iplik üretim makinesine aittir (Şekil 1.5.). Bu çalışma kapsamında imal edilen filament iplik makinesi ile bu makine arasında temel farklılıklar bulunmaktadır ve bu farklılıklar

genel olarak, makine tasarımı ve üretim prensibine dayalıdır. ABD’de imalatı yapılan makinenin üniteleri birbirine yatay pozisyonlu iken, tasarladığımız makine üniteleri birbirine dik pozisyonludur. Bir diğer husus ise üretim şekli ile ilgilidir. İmal edilen makinenin üretim prensibi yumuşak çekim iken (soğuk hava ile katılaştırma), bu makinenin üretim prensibi yaş çekim prensibine (soğuk su ile katılaştırma) dayanmaktadır. Bununla birlikte, makine üretim prensibinin ve makine elemanlarının teknik özelliklerinin incelenmesinin laboratuvar tipi makinelerle ilgili bilgi sahibi olunması açısından çalışmaya katkısı olmuştur.



Şekil 1.5. Wayne Machine marka lab. tipi monofilament iplik üretim makinesi

§ Bir diğer laboratuvar tipi makine, Plantex-Libe Line marka-model İtalyan firmasının filament iplik üretim makinesidir (Şekil 1.6.). İtalyan Plantex Firması tarafından üretilen makinenin, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi’nde ve Clariant Türkiye A.Ş. Gaizantep Ofisi’nde bulunduğu bilgisine ulaşılmış ve makine yerinde incelenmiştir.



Şekil 1.6. Plantex Libe Line marka lab. tipi filament iplik üretim makinesi

§ Araştırmalar sonucunda, İstanbul’da faaliyet gösteren “Erge Elektrik-Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti.” adlı firmanın “Melt Spinning” isimli prototip tip filament iplik üretim makinesi imal etmekte olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Makineye ait teknik özellikler Çizelge 1.3.’de ve makine görseli de Şekil 1.7.’de görülmektedir.

Çizelge 1.3. Melt Spinning makinesi teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer
Hammadde	Polipropilen ve Poliamid
Godet Sayısı	3
Vida Çapı	18 mm
Pompa Kapasitesi	Minimum 0,3 cc/devir
Pompa Değerleri	350°C ve 300 bar basınç
Soğutma Grubu (Çıkış hava sıcaklığı)	14°C

Şekil 1.7. “Melt Spinning” isimli laboratuvar tipi makine (<http://www.erge.com.tr>, 2013)

- İstanbul’da bulunan Aysa Makine Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. tarafından “SPINBOY” adlı makine imalatı gerçekleştirilmektedir. Makineye ait teknik bilgiler Çizelge 1.4.’de ve makine görseli de Şekil 1.8.’de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Spinboy makinesi teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer
Hammadde	Polipropilen, Poliester ve Poliamid
Düze Filament Sayıları	24, 44 ve 48
Godet Sayısı	4
Sıcaklık Kontrolü	PLD ısıtma sistemi ile hassas sıcaklık kontrolü
Dozajlama	Basınç sensörü ile ekstrüder ve spin pompa motor devrini kontrol ederek hassas dozajlama

Şekil 1.8. “SPINBOY” isimli laboratuvar tipi makine (<http://www.aysa.com.tr/Spinboy.html>, 2013)

§ Çalışma kapsamında gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde ulaşılan diğer birkaç laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesiyle ilgili görseller ise aşağıda yer almaktadır. Söz konusu bu makinelerden özellikle SML marka makine laboratuvar tipi bir makineye nazaran daha fazla hacime sahip olduğundan, tam bir laboratuvar tipi makine olarak değerlendirilememektedir. Bununla birlikte, makinelerin çalışma prensipleri, makinelerde üretilen iplik özellikleri ve makine elemanlarına dair diğer özelliklerin incelenmesi açısından bu araştırmaların çalışmaya katkısı olmuştur. Söz konusu makinelere ait görseller Şekil 1.9., Şekil 1.10. ve Şekil 1.11’de yer almaktadır.



Şekil 1.9. Baby Lofil marka f. iplik üretim makinesi (www.indiantextilejournal.com, 2012)



Şekil 1.10. Hills marka fil. iplik üretim makinesi (<http://www.hillsinc.net>, 2013)



Şekil 1.11. SML marka filament iplik üretim makinesi (<http://www.sml.at/spinning-lines,9,en.html>, 2013)

Dünya genelinde bulunan bu makineler üzerinde birçok Ar-Ge çalışması gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durum, bu tip makinelerin gelecekte de önemli olacağını göstermektedir.

Sentetik filament iplik üretimi, tekstil sektöründe önemli bir yer teşkil etmektedir. Özellikle son yıllarda bu ürünlerle ilgili yapılan Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları neticesinde filament ipliklerin fonksiyonelliği artmıştır. Filament iplikler üzerine yapılan bu çalışmalar hız kazanarak devam etmekle birlikte, henüz ülkemizde bu tip ipliklerin üretilmesine yönelik herhangi bir laboratuvar tipi makinenin imal edilmemiş olması büyük bir eksiklik olarak görülmektedir. Çalışmamızın ilk aşamasını oluşturan makine tasarımı ve imalatı kısmı tekstil sektöründe bu eksikliği gidermeye yöneliktir. Ayrıca, tekstil sektöründe olduğu gibi diğer sektörlerde de ülkemiz küçük ölçekli üretim makineleri ile kalite-kontrol test cihazlarında çoğunlukla dışa bağımlı olup, bu tür cihazlar için yıllık bazda milyonlarca dolar milli sermaye ülkemizden yurtdışına akmaktadır.

Sürekli filament iplikler çeşitli polimer hammaddelerinden üretilmektedir. Üretim girdisi olarak en fazla kullanılan polimerler ise, poliester, polipropilen, poliamid, vb., şeklinde sıralanabilmektedir. Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen üretim çalışmalarında hammadde olarak polipropilen (PP) polimeri kullanılmıştır. Bu nedenle aşağıda PP polimerine dair genel bilgilere yer verilmiştir.

1.2. Polipropilen Lifi

Doktora tez çalışması temel olarak iki aşamalıdır ve söz konusu bu iki aşama sonucu iki temel çıktı elde edilmiştir. Çalışmanın birinci aşaması sonucu laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesi imal edilmiştir. İkinci aşamada ise, geliştirilen bu makine üzerinde deneme üretimleri yapılmış ve ardından özgün ürün geliştirme çalışmaları tamamlanmıştır. Ürün geliştirme çalışmaları kapsamında, PP polimerine çeşitli oranlarda güç tutuşluluk katkı maddesi eklenerek sürekli filament iplikler üretilmiştir. Bir poliolefin lifi olan PP lifi ile ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

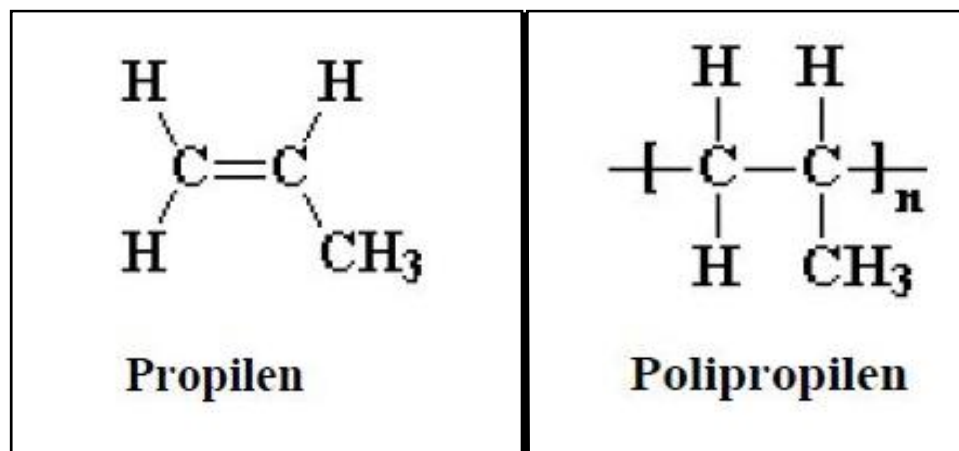
Olefin lifler olarak da bilinen Poliolefin lifleri, kütlece en az %85 oranında etilen, propilen gibi olefinlerin polimerlerini içermektedirler. Poliolefin lifleri ilk olarak İtalya ve Almanya’da üretilmişlerdir. İlk kez 1954 yılında, İtalyan G. Natta yeni bir katalizör kullanılarak propilenin yüksek kristallinite oranında bir polimer haline dönüştürülebileceğini bulmuştur ve bu buluşun sonucu olarak, polipropilen liflerinin ticari üretimi 1961 yılında başlamıştır.

Poliolefin lifleri, doymamış hidrokarbonların polimerleşmesi ile elde edilen liflerdir ve polietilen (PE) lifleri, polipropilen (PP) lifleri, politetrafluoroetilen lifleri (Teflon) olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Bunlar arasında PP lifleri ticari olarak öne çıkmış ve yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. PP monomeri propilen, $\text{CH}_2\text{-CH-CH}_3$ şeklinde bir petrol rafineri ürünüdür. Bu yüzden bol miktarda mevcuttur ve kolayca ayrıştığından dolayı da ucuzdur (Saçak, 2005).

Polimerler arasında önemli bir kullanım alanına sahip olan PP, propilen polimerizasyonu ile üretilen yarı sert, hafif, şeffaf, kolay şekillendirilebilen ve pahalı olmayan bir polimerdir. Monomer olan propilen petrolden elde edilmektedir.

Polipropilen ise, olefin tesisleri ile petrol rafinelerinden çıkan gazlardan elde edilen propilen monomerinin koordinasyon katalizörleri ile 25–30 atmosfer basıncı altında ve 100°C’de gerçekleşen polimerizasyonu sonucu üretilmektedir.

Polipropilen lifleri günümüzde yumuşak çekim veya düzesiz çekim yöntemine (film yarma tekniği) göre elde edilebilmektedirler. PP'in temel kimyasal yapısı Şekil 1.12'de görülmektedir.



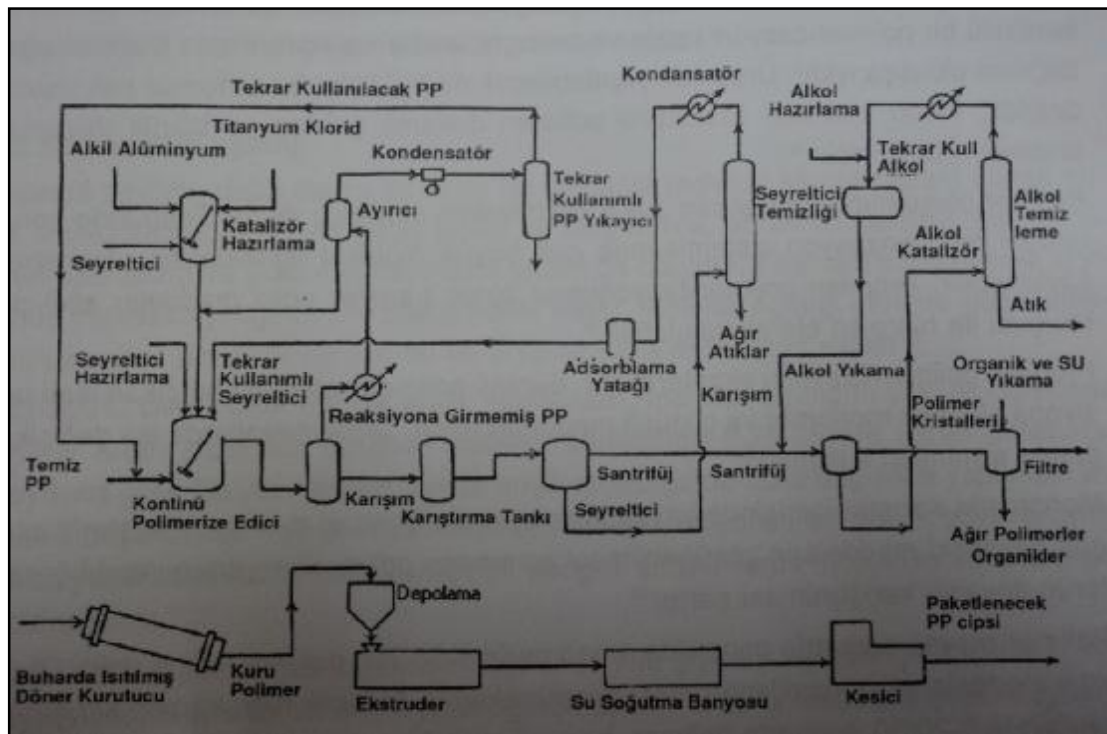
Şekil 1.12. PP kimyasal yapısı (MEGEP, 2012)

Polipropilen molekülünün polimerizasyonu katılma polimerizasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Özgün ürün geliştirme çalışmalarının hammaddesini oluşturan izotaktik PP'in üretimi temel olarak,

- Katalizör hazırlanması,
- Polimerizasyon,
- Temizleme,
- Çözücülerin geri alınması ve
- Birleştirme veya son işlemler,

aşamalarından oluşmaktadır.

Şekil 1.13.'de PP üretim akışının/adımlarının şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 1.13. Sürekli izotaktik PP üretiminin şematik diyagramı (Demir, 2006)

Propilen polimerizasyonu, genellikle kimyasal bakımdan hareketsiz bir hidrokarbon madde içerisinde H_2O , O_2 , CO_2 gibi parçacıklardan bağımsız olarak $40-100^\circ C$ 'de yapılmaktadır. Bu esnada, titanyum triklorit parçacıkları yapılanmakta ve polimer çökelmektedir. 1 ile 8 saat sonunda ise meydana gelen polimer çözünmeyen toz parçacığı şeklindedir. Çözünen parçalar, hidrokarbon tabakası içerisinde tutulmaktadır. Tipik bir polimerizasyon bu şekilde $40-100^\circ C$ arasında ve 1.4-3.5 MPa basınç altında meydana gelmektedir. Ayrıca, basıncın ve sıcaklığın artırılmasıyla da daha yüksek oranlarda polimer elde edilmektedir ve bu sayede katalizör etkinliği de artırılabilir (Demir, 2006).

PP, yoğunluğu düşük olan polimerlerden birisidir (0,90-0,92 g/cm³). Yüksek kristalite ve polar-emici grup içermemesinden dolayı da nem tutmaz ve bunun sonucu olarak da lifin mekanik özellikleri atmosferdeki izafi nem değişimlerinden tamamen bağımsızdır. Islak halde iken lifin sahip olduğu, mukavemet, uzama ve rijitlik değerleri lifin kuru halde sahip olduğu değerler ile eşittir. Ayrıca, PP kimyasallara karşı dirençlidir, fakat güneş ışığı etkisinde degradasyona uğrarlar.

PP liflerinin standart atmosfer şartları altında sahip oldukları özellikler Çizelge 1.5.'de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Polipropilen lifinin genel özellikleri (Saçak, 2005)

Özgül Mukavemet (N/tex) İzafi Nem %65, Sıcaklık 21°C Islak Halde	0,44-0,79 0,44-0,79
Kopma Uzaması (%) İzafi Nem %65, Sıcaklık 21°C Islak Halde	15-30 15-30
Elastiklik Modülü (N/tex) İzafi Nem %65, Sıcaklık 21°C Islak Halde	2,6-4,0 2,6-4,0
Rutubet Alma (%) - İzafi Nem %65	0
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0,90
Suda Hacimsel Şişme (%)	0
Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	-10
Erime Sıcaklığı (°C)	165

Ayrıca, PP liflerinin boyanması zordur ve bu özellikleri kullanım alanlarını önemli oranda sınırlamaktadır. Güneş ışığı etkisinde bozunmaya uğradıkları için çekme işleminden önce, genellikle polimer içerisine ultraviyole ışınlarını absorbe eden stabilizatörler katılmaktadır. PP kristallerinin erime noktası 160°C dolayındadır ve bu yüzden genellikle 200°C derece üzerinde proses edilmektedir.

Aşağıda maddeler halinde, PP liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgili bilgiler sunulmuş ve PP liflerinin kullanım alanlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

I. Polipropilen Liflerinin Fiziksel Özellikleri

■ Enine Kesit ve Boyuna Görünüş

PP liflerinin enine kesitleri genelde yuvarlak boyuna görünüşleri ise silindirik olmakla birlikte, üretimleri esnasında kullanılan düze delik şekline göre farklı enine kesit biçimlerine de sahip olabilmektedirler. Ayrıca, lif yüzeyleri pürüzsüzdür.

■ *Renk ve Parlaklık*

PP lifleri genellikle renksiz üretilmekle birlikte, üretimleri sırasında polimer sıvısı boyanarak istenilen renkte lif elde edilebilmektedir.

■ *İncelik ve Uzunluk*

PP liflerinin kullanım alanına bağlı olarak filament halde olabileceği gibi kesikli (stapel) şekilde ve istenilen incelikte de üretilmektedirler.

■ *Mukavemet*

PP liflerinin mukavemet değeri genellikle 3–5 gr/denye arasında değişmektedir. PP'den üretilen lifler genellikle orta mukavemet sınıfına girmektedirler.

■ *Nem Çekme Özelliği*

PP lifleri bünyelerine hiç nem çekmezler; lifler nem çekmediği için de su ile bulaşan lekelerden etkilenmezler. Bununla birlikte, üretim sırasında polimer çözeltisi renklendirildiği zaman lifler boyanabilmektedirler.

■ *Sürtünmeye Karşı Dayanıklılık*

PP liflerinin sürtünmeye karşı dayanıklılığı çok iyidir.

■ *Boyut Değiştirmezlik*

PP liflerinin boyut değiştirmezliği çok iyi olmakla birlikte, 120°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise büzüşmektedirler.

■ *Esneklik ve Yaylanma Özelliği*

PP liflerinin esneklik özelliği çok iyi olmakla birlikte, yaylanma özellikleri ise iyi değildir.

■ *Hacimsel Yoğunluk*

PP liflerinin özgül ağırlık değeri düşüktür (0,90-0,92gr/cm³).

II. Polipropilen Liflerinin Kimyasal Özellikleri

■ *Kimyasal Maddelerden Etkilenme*

PP liflerinin asitlere ve alkalilere karşı dayanıklılığı iyidir. Kuru temizlemede kullanılan çözücüler ise, life zarar verebileceğinden yıkama yapılması önerilmektedir.

■ *Çevresel Faktörlere Karşı Dayanıklılık*

Polipropilen lifleri uzun süre güneş ışığı etkisi altında kalırsa zarar görmektedir. Bununla birlikte, bakteri, mantar, küf, güve ve diğer zararlı böcekler liflere zarar vermemektedir.

■ *Elektriklenme Özelliği*

PP liflerinin elektrik iletme özelliği düşüktür ve nem çekmedikleri için de ürünlerde statik elektriklenme problemi ile karşılaşmaktadır. Bununla birlikte, bitim işlemleri ya da diğer spin-finish uygulama işlemleriyle bu problem giderilebilmektedir.

■ *Isıdan Etkilenme Özelliği*

Polipropilen liflerinin erime noktası 160-165°C civarındadır.

■ *Yanma Özelliği*

PP lifleri alevle karşılaştığında yanarak erimektedir, alev çekildikten sonra ise lifler kendi kendini söndürmektedir. Yanma sonucu, ortaya kimyasal bir koku veya parafin kokusu çıkmaktadır. Lif siyah bir is bırakmaktadır ve külü de oldukça serttir.

III. Polipropilen Liflerinin Kullanım Alanları

PP lifi tekstil sektörünün birçok alanında kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının çok geniş olmasının sebebi, PP lifinin hem kolay çalışılabilirliği ve düşük yoğunluğu hem de düşük maliyetidir. Ayrıca, PP polimerine gerek polimer üretiminde gerekse filament ve iplik üretiminde değişik kimyasallar eklenmesiyle veya üretim parametrelerinin değiştirilmesiyle çok farklı özellikler de kazandırılabilir.

PP lifinin kullanım alanlarından en önemlileri, halı ipliği, hijyenik ürünler, jeotekstilller, paketleme ve bağlama malzemeleri, tıbbi malzemeler, halat, endüstriyel malzemeler, otomotiv tekstilleri, ev tekstili ve giysilerdir. Özellikle izotaktik PP (İPP) düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemeti sayesinde çok yüksek güç/ağırlık oranına sahiptir. Bu sebeple de otomotiv parçalarından, tekstil ve paketleme endüstrisine kadar her alanda yaygın olarak kullanılan bir polimerdir.

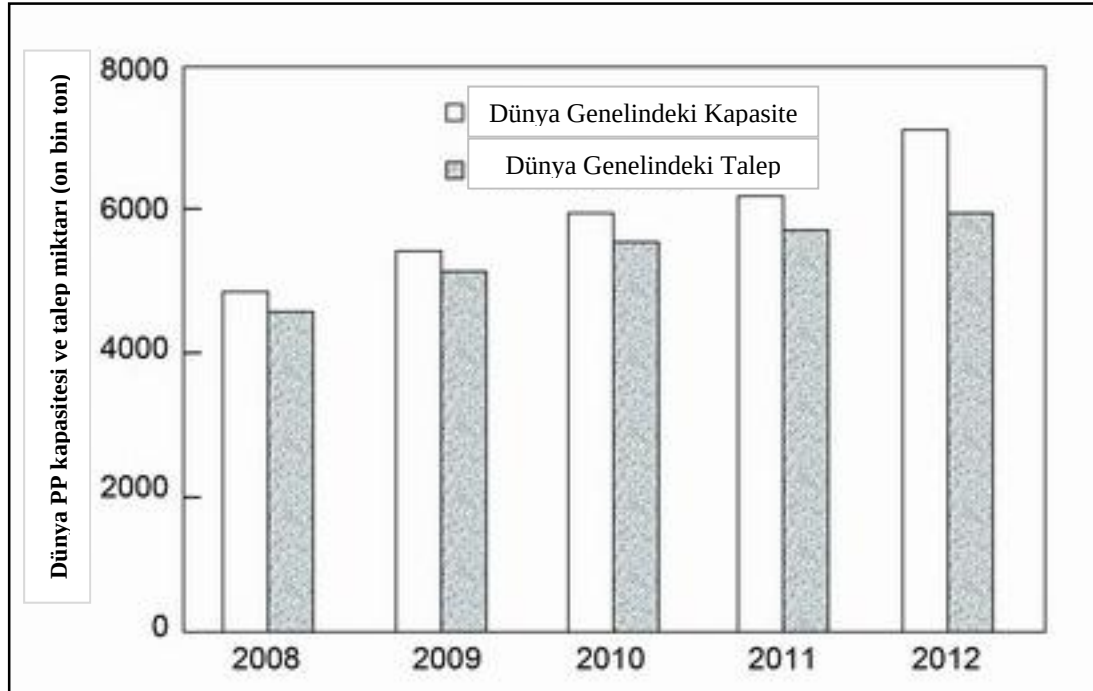
Şekil 1.14.'de PP lifinin bazı kullanım alanlarına ait görseller yer almaktadır.



Şekil 1.14. PP lifinin kullanım alanları

PP lifinin sahip olduğu özellikler ve gelişmeler bu lifin kullanım alanının ve miktarının artmasını ve dolayısıyla dünya kapasite miktarının da artışı sağlamaktadır.

Polipropilen polimeri hammadde olarak oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir ve PP'e olan talep de her geçen yıl artmaktadır. Bu kullanım alanlarından öne çıkanlar, yapı malzemesi, paketlenme ve koruma, tekstil, film üretimi, taşımacılık, vb. şeklinde sıralanabilir. Dolayısıyla, Dünya PP kapasitesi de her geçen yıl artmaktadır. Şekil 1.15.'de yer alan grafik PP polimerine dair bu gelişimi yıllar bazında göstermektedir.



Şekil 1.15. 2008-2012 yılları arasında Dünya PP kapasitesi ve talebi
(<http://km.ncmchem.com>, 2013)

Şekil 1.15.'den de görüleceği üzere, Dünya PP kapasitesi ve talebi yıllar bazında artmıştır. 2012 yılında Dünya PP kapasitesi bir önceki yıla göre %11,9 artarak 71 milyon tona yükselmiştir. Benzer şekilde Dünya PP talebi ise %5,7 artarak 59 milyon tona ulaşmıştır.

Doktora tez çalışması kapsamında, PP hammaddesi ile güç tutuşurluk katkı maddesi belirli oranlarda karıştırılarak sürekli filament iplikler üretilmiştir. Sonrasında ise, bu ürünlerin güç tutuşurluk özellikleri incelenmiştir. Aşağıda tekstil liflerinin güç tutuşurluk özelliklerine dair açıklayıcı bilgiler verilmektedir.

1.3. Tekstil Liflerinin Güç Tutuşurluk Özellikleri

Polimerler yanabilen maddelerdir. Evlerde, sinema, tiyatro vb. yerlerde polimerlerden yapılmış halı, sandalye, mobilya, koltuk, panel türü eşyalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla, güç tutuşur tekstil ürünlerinin kullanımı güvenlik açısından büyük önem arz etmektedir.

Yanma olayı, temel olarak üç aşamada gerçekleşmekte olup, ilk aşamasında polimerik malzeme ısınmakta, ikinci aşamada ısı etkisiyle bozunma başlamakta ve son aşamada ise bozunma sonucu oluşan yanıcı gazlar alevlenerek malzemeyi tutuşturmaktadır. Alevlenme, polimerin bozunarak oluşturduğu yanıcı gazların havadaki oksijenle etkileştiği anda görünen bir olaydır. Yanma sırasında polimer zincirleri daha yanıcı olan küçük zincirlere veya moleküllere parçalandığından ortamın alevlenme özelliği de sürekli artmaktadır (Günsal, 2007).

Polimerlerin yanması sırasında ısı ile birlikte yanma ürünü olan toksik ve yanıcı gazlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, ısı etkisiyle polimer zincirlerinin küçük parçalara veya moleküllere parçalanmasıyla da ortam daha yanıcı hale gelmektedir. Yanma özellikleri bakımından konvansiyonel tekstil lifleri dört gruba ayrılmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

a. Yüksek Derecede Yanıcı Lifler

Selülozik lifler (pamuk, viskoz, asetat, triasetat, keten) bu gruptadır. Çünkü bu lifler, karbon, yakıt gibi davranan hidrojen ve yanmayı destekleyen oksijenden oluşmaktadır.

b. Güç Tutuşur Özellikli Lifler

Protein lifleri (yün, ipek) bu gruptadır çünkü azot içermektedirler. Azot yanmamakta ve yanmayı desteklememektedir. Bu yüzden lifler çok zor yanmaktadır. Oluşan karbonlu yapı da alevi önleme eğilimindedir.

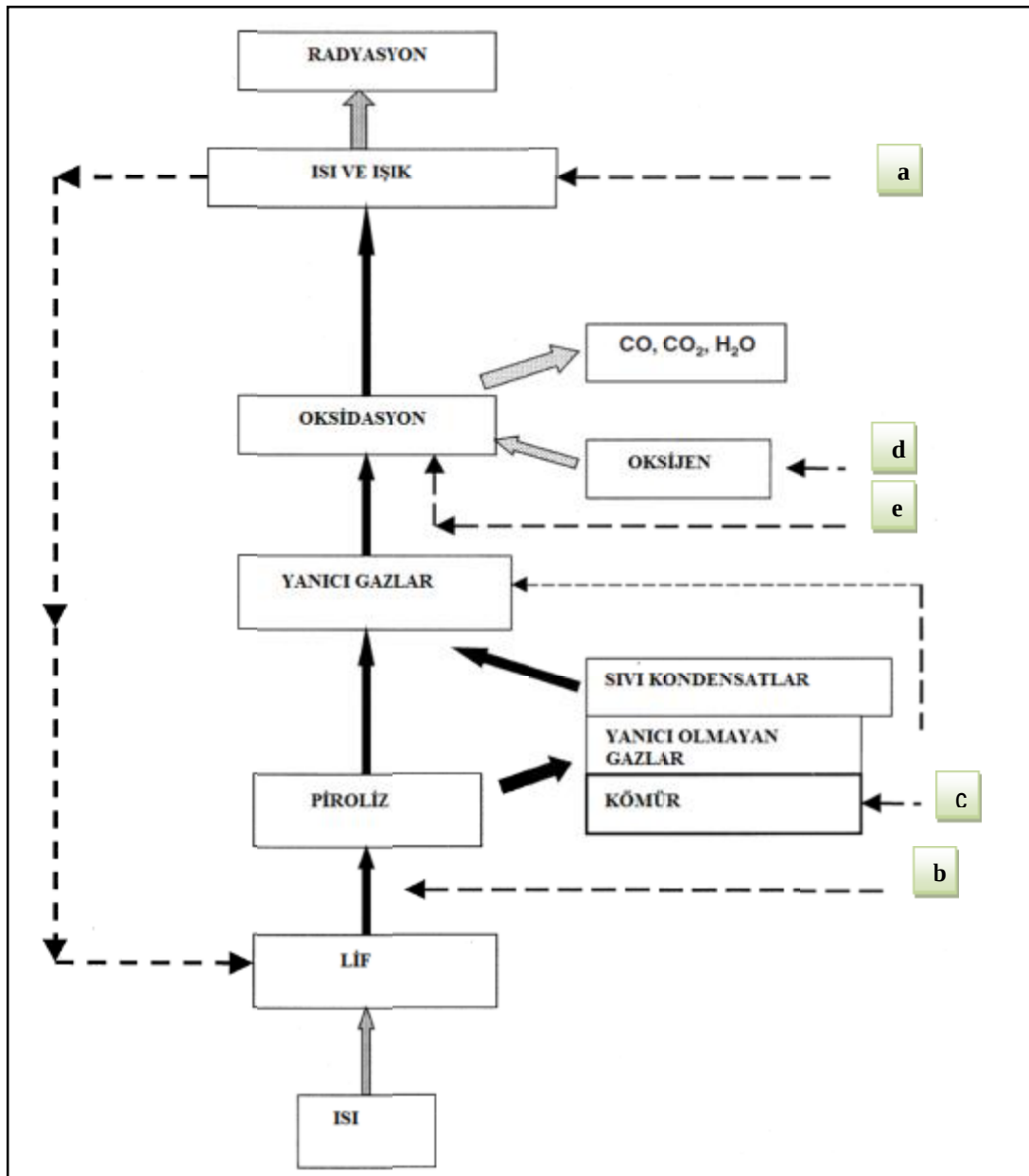
c. Eriyerek Yanan Lifler

Naylon ve perlon gibi poliamidler, terilen ve dacron gibi poliesterler, orlon ve crylon gibi akrilikler ve polipropilen bu gruptadır. Bu lifler kolaylıkla yanmaktadırlar ve düşük yumuşama ve erime sıcaklıklarına sahiptirler. Lifler, alevle karşılaştıklarında eriyerek alevli bir şekilde bütünüyle yanmaktadır.

d. Yanmayan Lifler

Bu grupta, polivinilklorür (Vinyon, Rovyl, Thermovyl) lifleri bulunmaktadır. Liflerin içerdiği klor yapısal olarak güç tutuşurdur ve liflere çok iyi derecede güç tutuşurluk özelliği kazandırmaktadır (Günsal, 2007).

Şekil 1.16.'da tekstil liflerinin yanma mekanizması verilmiştir.



Şekil 1.16. Tekstil liflerinin yanma mekanizması (Kaynak, 2012)

Şekilden görüleceği üzere, tekstil liflerinin yanma mekanizması belirli adımlardan (ısınma, piroliz, oksidasyon, vb.) oluşmaktadır. Ayrıca, yanma sonucu çeşitli yanma ürünleri (kömür, yanıcı olmayan gazlar, vb.) ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 1.6.'da, bazı tekstil liflerinin yanma özelliklerine dair değerler yer almaktadır. Çizelgeden çalışmanın hammaddesini oluşturan PP lifine ait termal özellikler de görülmektedir.

Çizelge 1.6. Bazı tekstil liflerinin termal özellikleri (Kaynak, 2012)

Lif	Yumuşama (° C)	Erime (° C)	Piroliz (° C)	Tutuşma (° C)	AH (kJ/g)	LOI %
<i>Yün</i>			245	600	27	25,2
<i>Pamuk</i>			350	350	19	18,4
<i>Viskoz</i>			350	420	19	18,9
<i>Triasetat</i>	172	290	305	540		18,4
<i>Naylon 6</i>	50	215	431	450	39	20–21,5
<i>Naylon 6.6</i>	50	265	403	530	32	20–23
<i>Poliester</i>	80–90	255	420–477	450–480	24	20–21,5
<i>Akrilik</i>	100	>220	290	>250	32	18–18,2
<i>Polipropilen</i>	-20	165	469	550	44	18,6
<i>Modakrilik</i>	<80	>240	273	690		26,8–30
<i>PTFE</i>	-17	180–210	>220	532	11	60
<i>Nomex</i>	275	375	310	500	30	28,5
<i>Kevlar</i>	340	560	590	>550		29
<i>PBI</i>	>400		>500	500		40–42

Çizelgede verilen birçok lifin yanmaya karşı dirençsiz olduğu görülmektedir. Bu yüzden tekstilde güç tutuşur malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Güç tutuşur malzemeler, tekstil lif ve kumaşlarına fiziksel ve/veya kimyasal olarak katı, sıvı ve gaz fazında etki edebilmektedirler.

Tekstil liflerine güç tutuşurluk özelliği,

- a. Isıyı uzaklaştırarak (Örneğin, organik ve inorganik fosfor içeren malzemeler, alüminyum hidroksit),
- b. Bozunma sıcaklığını artırarak (Örneğin, aramidler gibi kendinden alev ve ısıya dayanıklı malzemeler),
- c. Yanıcı uçucuların oluşumunu azaltıp, kömür oluşumunu destekleyerek (Örneğin, fosfor ve azot içeren malzemeler),
- d. Oksijene erişimi engelleyerek ve alevi seyrelterek (Örneğin, sulu ve kömür oluşumunu destekleyen malzemeler),
- e. Alev kimyasını değiştirerek ve/veya yakıt tutuşma sıcaklığını artırarak (Örneğin, antimon oksitlerle birlikte kullanılan halojen içeren malzemeler),
- f. vb.,

şekillerde kazandırılabilir.

Ayrıca doktora tez çalışmasının hammdesini de oluşturan PP lifine,

- a. Endotermik olarak bozunan ve su salan, böylece substrattan ısı çeken ve yanıcı uçucuları seyrelten sulu inorganik katkıların eklenmesiyle,
- b. Bozunma prosedürünü değiştirerek ve/veya diğer yanmayı geciktirici malzemelerle uyumluluğunu artırmak üzere polimerin yapısını değiştirerek,
- c. Isı transferini engelleyerek, uçucuların oluşumunu azaltan ve polimeri sonraki oksidasyon aşamasından koruyan bir kömür tabakası oluşturmak üzere piroliz reaksiyonlarını değiştirerek ve
- d. Alev öncesi ve alev bölgelerinde radikalleri engelleyerek,

güç tutuşurluk özelliği kazandırılabilir.

Güç tutuşur özellik kazandırmak için kullanılan kimyasallar, yanmayı önleyen veya geciktiren maddelerdir. Bu maddeler, yanma olayının aşamalarından olan yanıcı maddenin ısınması, bozunması, tutuşması ve alevin büyümesi adımlarından birinde etki ederler ve yanma için gerekli olan ısı, oksijen ve yakıt faktörlerinden birini veya birkaçını ortadan kaldırarak ya da sınırlayarak yanmayı durdurur veya yavaşlatırlar.

Alevlenmeyi geciktiricilerin polimerin yanmasını belirli bir süre engellemesi veya yavaşlatması aşağıda sıralanan olumlu durumlarla sonuçlanmaktadır.

Bunlar;

- Yanma yerinden uzaklaşma zamanı 15 kat kadar artmaktadır,
- Yanma ısısının yalnız %25 kadarı dışarı salınmaktadır,
- %50 daha az malzeme yanmaktadır,
- Zehirli gazların sadece üçte biri dışarı salınmaktadır,

şeklinde sıralanmaktadır.

PP yanması sırasında, kendisinden daha yanıcı olan “Propan” gazı açığa çıkmaktadır. PP liflerine güç tutuşur özelliği kazandırmak üzere kullanılan başlıca alevlenmeyi geciktirici maddeler ise, fosfor içeren güç tutuşur maddeler, intumesan (şişen) güç tutuşurlar, halojen içeren güç tutuşurlar, silikon içeren güç tutuşurlar, metal hidroksitler ve metal oksitler, nanokompozit malzemeler, vb., şeklinde sıralanabilmektedir. Doktora tez çalışması kapsamında söz konusu bu maddelerden, fosfor içeren alevlenmeyi geciktirici madde kullanılmıştır.

1.4. Doktora Tez Çalışmasının Kapsamı ve Önemi

Tüm sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de ilerlemenin temelini yenilikçi olmak oluşturmaktadır. Yenilikçi olmak ve bu yeniliği sunmak için de araştırma ve geliştirme çalışmalarının hızla devam etmesi gerekmektedir. Sentetik filament iplik üretimine yönelik araştırma çalışmaları son yıllarda artarak devam etmektedir. Çünkü insanların sürekli yeniye olan merakı ve gelişmiş elde etmeye yönelik talebi, katma değeri yüksek ürünlere olan talebi de arttırmaktadır. Sentetik filament iplik üretimi bu tip yenilikçi çalışmaları gerçekleştirebilmek için oldukça uygundur.

“Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesinin Tasarımı, İmalatı ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” başlıklı doktora tez çalışması kapsamında, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalatına yönelik fizibilite ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiş ve ardından da laboratuvar tipi küçük ölçekli yeni bir makine imalatı tamamlanmıştır. Çalışmanın sonraki aşamasında ise, katma değeri yüksek, fonksiyonel ürünler geliştirmek amacıyla, iplik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda, cips formundaki PP hammaddesine, güç tutuşurluk özelliği taşıyan katkı maddesi farklı oranlarda eklenerek sürekli filament iplikler üretilmiş ve bu ürünlerin hem mekanik hem de özgün özellikleri incelenmiştir.

Doktora tez çalışmasının gerekçelerini, proje hedeflerini net olarak belirtmek açısından üç temel gerekçe altında toplamak mümkündür.

Bu gerekçeler;

- I. Doktora Tez Çalışmasının İmal Edilen Makine Açısından Önemi,
- II. Doktora Tez Çalışmasının Üretilen Ürünler Açısından Önemi ve
- III. Doktora Tez Çalışmasının Ülkemiz Açısından Önemi,

şeklindedir.

I. Doktora Tez Çalışmasının İmal Edilen Makine Açısından Önemi

Makine imalatı, imalat sanayi içinde özel bir öneme sahiptir. Makine imalat sanayinin ülkelerdeki toplam üretim payının, başta ileri sanayi ülkeleri olmak üzere tüm ülkeler genelinde yıllar bazında artış gösterdiği görülmektedir. Bu sanayi dalında üretilen makineler çok çeşitlilik göstermekle birlikte, sentetik filament iplik üretimini gerçekleştiren makineler bu alandaki söz konusu alt gruplardan biridir.

Sentetik filament iplik üretimi gerçekleştirilen işletmelerde, üretim hattı oldukça geniş bir alanı kaplamakta olup, gerçekleşen üretim kesintisiz devam etmektedir. Bu iki durum beraberinde iki sonuç doğurmaktadır.

- Oldukça geniş bir alanı kaplayan üretim hattının üniversitelere kurulmasının güç olması ve
- İşletmelerde, filament iplik üretimlerinin sürekliliği ve bu durumun araştırma çalışmaları yapmayı güçleştirmesidir.

Çalışma kapsamında, bu sonuçların oluşturduğu olumsuz durumlar değerlendirilmiş ve filament iplik üretim makinesinin laboratuvar tipini imal etme fikri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında imal edilen laboratuvar tipi makinenin işletmelerde kullanılan filament iplik üretim makinesine uygunluğunun optimum düzeyde sağlanması önemlidir ve makine üzerinde daha kaliteli ürünler üretilebilmek için bu konuya özellikle dikkat edilmiştir.

Sonuçta, üniversite-sanayi işbirliğinin somut bir örneğini teşkil eden bu çalışma kapsamında imal edilen makine ticarileşebilir bir formatta ve alanında ülkemiz teknoloji bilgi birikimine katkı yapacak şekilde ülkemize kazandırılmıştır. Doktora tez çalışmasının ilk aşamasında geliştirilen makine ile bu tip bir makineyi yurt dışından oldukça pahalıya satın alma durumunu ortadan kaldırmak ve bu sayede, makineyi almak isteyen araştırmacılar ve firmalar için yerli malı olan makineyi daha ucuza alabilme şansını yaratarak, hem kendilerine hem de bölge sanayilerine katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

II. Doktora Tez Çalışmasının Üretilecek Ürünler Açısından Önemi

İmal edilen laboratuvar tipi filament iplik makinesinde yumuşak çekim prensibine göre sentetik filament iplik üretimi gerçekleştirilmektedir ve makine, üzerinde çok farklı Ar-Ge çalışmaları yapılabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Örneğin, filament iplikler makine üzerinde bulunan hava jetli tekstüre ünitesi ile tekstüre edilebilmekte veya puntalı iplik üretimi yapılabilmektedir.

Makine üzerinde yapılabilecek çalışmalar genel olarak, iplik üretim parametrelerinin değiştirilmesi ve geliştirilmesi, mevcut iplik özelliklerinin geliştirmesi ve yeni/farklı özelliklere sahip iplik üretimleri şeklinde sıralanabilmektedir. Halen bu çalışmalar kapsamında, iplik yapısal özelliklerini geliştirmeye yönelik araştırmalar yapılmakla birlikte, katma değeri yüksek iplik üretimleri de gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.17’de, çalışma kapsamında üretilen özellikli iplik görselleri ile katma değeri yüksek çeşitli ürünler yer almaktadır.



Şekil 1.17. Çalışma kapsamında üretilen özellikli iplikler ve katma değeri yüksek bazı ürünler

Doktora tez çalışmasının ikinci aşamasını oluşturan “Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” ile sentetik filament iplik üretimine yönelik bilimsel araştırmalara hız kazandırmak ve bu tip prototip makineler üzerinde sanayinin olası problemlerine yönelik araştırma ve deneme çalışmaları yapmak amaçlanmıştır. Bu açıdan, gerçekleştirilen özgün ürün geliştirme çalışmaları da büyük önem taşımaktadır.

III. Doktora Tez Çalışmasının Ülkemiz Açısından Önemi

Ülkelerin sürekli gelişmesi hem sanayilerinin hem de üniversitelerinin gelişmesiyle mümkündür. Gerçekleştirilen bu çalışma ile hem ülkemiz bilimine hem de ülkemiz sanayisine katkı sağlamak hedeflenmiştir. İmalatı gerçekleştirilen makinenin ülkemizde daha önce bir benzeri üretilmemiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, çalışma bu konuda ilk olma başarısına ulaşmayı da hedeflemiş ve bu hedefe ulaşılmıştır. Bu kapsamda, doktora tez çalışmasının ülkemize olan ekonomik katkısı ve yaratacağı yaygın etkisi aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

Çalışmanın bilime, endüstriye ve ekonomiye olan direkt katkıları,

- Ticari olarak da pazarlanabilecek bu makinenin imalatı ile sentetik filament iplik üretimine yönelik bilimsel araştırmalara hız kazandırmak ve bu tip prototip makineler üzerinde sanayinin olası problemlerine yönelik araştırma ve deneme çalışmaları yapmak,
- Prototip makine üzerinde yapılacak araştırma çalışmaları neticesinde elde edilecek bilgi birikiminden çok sayıda yayın yapılarak bilime katkı sağlamak,
- Ülkemizde böyle bir makinenin imal edilebilir olması ile bu tip bir makineyi yurt dışından oldukça pahalıya satın alma durumunu ortadan kaldırmak ve bu sayede, makineyi almak isteyen araştırmacılar için yerli malı olan makineyi daha ucuza alabilme şansını yaratarak hem kendilerine hem de bölge sanayilerine katkı sağlamak,

- Makine sanayi ile tekstil ve hammaddeleri sanayilerinin ülkelerin gelişmesine büyük katkıları olduğu düşünüldüğünde, bu çalışma ile her iki sanayi dalına yönelik de kazanımlar elde etmek,
- Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tanıtımlarını hem ulusal hem de uluslararası düzeyde gerçekleştirerek, tanıtımlar sonrası makinenin yurtdışından rağbet görmesi durumunda, ülkemiz makine ve aksamları ihracat rakamlarına katkı sağlamak,
- Ayrıca, gerçekleştirilen bu çalışma ile üniversite-sanayi işbirliğine güzel bir örnek teşkil etmek ve makinede gerçekleştirilen üretim çalışmaları ile de örnek olabilmek,

şeklinde sıralanabilmektedir.

Yukarıda maddeler halinde verilen beklentiler beraberinde katma değeri yüksek ürünler elde etme yolunu da açacak olup ulusal ekonomiye katkı yapacaktır. Dolayısıyla, bu çalışma hem bilime ışık tutacak, hem de ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak niteliktedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde tekstil sektöründeki yenilikçi bilimsel araştırmalar genel olarak, yeni polimerler ve bu polimerlerle üretilen özel performansa sahip liflerin eldesi, nano veya mikro partikül katkılı liflerin üretimi, kumaşlara ve/veya son ürünlere yeni fonksiyonel özellikler kazandıran kimyasalların ve çoğunlukla bu malzemeler kullanılarak tasarlanan kumaş ve giysilerin geliştirilmesi, vb. konular üzerine odaklanmıştır. Bu malzeme ve yöntemler kullanılarak üretilen katma değeri yüksek fonksiyonel tekstil ürünlerinin pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Örneğin, yangın riski bulunan yerlerde kullanılan güç tutuşur tekstiller, bu ürün grupları arasındadır ve günümüzde bu ürünlerin önemi gittikçe artmaktadır. Şekil 2.1.'de güç tutuşur özellikli çeşitli ürün örnekleri yer almaktadır.



Şekil 2.1. Güç tutuşur özellikli ürün örnekleri

Doktora tez çalışması temel olarak, laboratuvar tipi sürekli filament iplik üretim makinesinin tasarımı ve imalatı ile bu makine üzerinde ürün geliştirme çalışmaları gerçekleştirmek şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır. Bu kapsamda çalışmaya yönelik iki aşamalı literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu literatür araştırması sonucu ulaşılan bilgiler aşağıda yer almaktadır.

2.1. Makine İmalatına Yönelik Gerçekleştirilen Literatür Taraması Sonuçları

Makine imalatına dair yapılan literatür taramasına sonucu ulaşılan ve çalışmaya katkı sağlayan çalışmalardan öne çıkanlar aşağıda yer almaktadır.

Uskaner ve arkadaşları (1998), “Polipropilen Halı İpliği Üretim Makinesi İçin Klimatize Havalı Elyaf Soğutma Sistemi” adlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada esas amaç, çok önemli bir ünite olan soğutma ünitesinde homojen şekilde filament katılaşmasını sağlayabilmektir. Bu amaçla öncelikle, polipropilen sürekli elyaf (BCF) üretim hattında ekstrüderde eritilen hammaddenin klimatize hava ile soğutulduğu bir sistemde filament oluşumu, soğutma ünitesi tasarımı, imalatı ve ölçülen havanın hız dağılımları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca, hava kabini içerisindeki hava dağılımları farklı yönlerde (dikey ve yatay olarak) incelenerek, farklı düzelerden çıkan filamentlerin eşit soğutma ortamında soğutulabileceği bir hava hız dağılımı elde edilmiştir.

Uskaner ve arkadaşları (1999), “Polipropilen İplik sistemi İçin PID Kontrol Otomasyonlu Eğirme Kafası Sabit Sıcaklık Banyosu” adlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada polipropilen halı ipliği üretim makinesinde kullanılmak üzere tasarlanarak imal edilen PID kontrol otomasyonlu eğirme kafası sabit sıcaklık banyosu incelenmiştir. Isı transfer yağı kullanılan sistemde termodinamik kanunları uygulanarak sistemin formülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sistemin dinamik modeli oluşturulmuştur. Sistemin transfer fonksiyonu sıcaklık sensörü ve PID kontrol sistemi ile geri beslemeli olarak tasarlanmış ve deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kararlı bir sistem karakteristiğinin elde edildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen eğirme kafası sabit sıcaklık banyosunun

polimer manifoldlarının ve pompa sisteminin sıcaklığını istenilen sabit değerde tuttuğu belirlenmiştir.

Salem (2000), “An Engineering Analysis of the Process” adlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, düze deliğinden akan filamentlerin maruz kaldığı kuvvetlerden bahsedilmiştir. Ayrıca, bu kuvvetlerin etki dereceleri de örnek bir polimer için incelenmiştir. Çalışmada, poliamid 66 için her bir düze deliğinden 2,5 gr/dk. polimer akacak şekilde akışkan üzerine etki eden kuvvetler incelenmiştir. Sonuçta, akışkana en fazla etki eden kuvvetin eylemsizlik kuvveti ile sürtünme kuvvetinin olduğu belirlenmiş olup, yerçekimi kuvveti etkisinin ise çok fazla olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Filament iplik üretim makinelerinin en önemli ünitelerinden biri “Ekstrüder”dir. Bu açıdan, makine imalat çalışmaları sırasında teknik açıdan doğru bir ekstrüder seçimi yapmak oldukça önemlidir. Örneğin, ekstrüder vidasının sahip olduğu “L/D” oranı, makinede üretilebilecek polimer tipini ve elde edilecek iplik kalitesini belirlemesi açısından çok önemlidir. “Tekstilde Kullanılan Ekstrüderlerde Tasarım Esasları ve Eritme Mekanizmalarının İncelenmesi” adlı çalışmada tekstil sektöründe kullanılan ekstrüderlerle ilgili çeşitli bilgilere yer verilmiştir ve söz konusu bu ekstrüderlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları da detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada tekstilde kullanılan bazı ekstrüderler ve özellikle tek vidalı ekstrüderlerin tasarım esasları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca, polimerin tek vidalı ekstrüder içerisindeki hareketi, ekstrüderin çeşitli bölgelerinde oluşan basınç eğrileri ve polimerin ekstrüder içerisinde erime mekanizmasının oluşumu konuları da incelenmiştir. (Demiryürek ve Koç, 2004).

2.2. Özgün Ürün Geliştirmeye Yönelik Gerçekleştirilen Literatür Taraması Sonuçları

Tekstilde güç tutuşur filament iplik üretimlerine dair gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda elde edilen ve özgün ürün geliştirme çalışmaları süresince faydalanan araştırmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Zhang ve Horrocks (2003) gerçekleştirdikleri çalışmada, Polipropilen (PP)'in ısı ve yanma davranışlarıyla ilgili olarak detaylı bir literatür incelemesi sunmuşlar ve PP için kullanılan güç tutuşur malzemeleri ve lif uygulamalarında kullanım açısından bunların uygunluğunu incelemişlerdir. PP liflerine katılmak üzere beş ana tip güç tutuşur sistem belirlemişlerdir, bunlar; fosfor içeren, halojen içeren, silikon içeren, metal içeren ve son zamanlarda geliştirilmekte olan nanokompozit güç tutuşur formülasyonlardır. Belirli bir süreç için tekstilde kullanılan en etkili kombinasyonların sınırlı performansa sahip olan ve çevre zararlarına sebep olan halojen-antimon, fosfor ve bromür kombinasyonları olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada, normalde çok yüksek konsantrasyonlarda kullanılan fosfor-nitrojen formülasyonlarının liflere katılma amacıyla etkinliğini ve kullanılabilirliğini artırma yolları ve alternatifleri de sunulmuştur.

Carole ve arkadaşları (2003), intumesan bir sistem içeren güç tutuşur reçine ile kapladıkları polipropilen nonwoven kumaşların yanma davranışlarını araştırmışlardır. Yangın performansını koni kalorimetresi ve termal analizlerle değerlendirmişlerdir. Polipropilen film ve non-woven kumaşların yanma ve bozunma davranışlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca, nonwoven kumaşların sıcaklık artışına bağlı olarak sergiledikleri bozunmayı taramalı elektron mikroskobu ile analiz etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda intumesan maddelerin, polipropilen tekstil kumaşları için kullanılan kaplama reçinesi için halojen içermeyen çok uygun sistemler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Song ve arkadaşları (2004), gerçekleştirdikleri çalışmada halojen olmayan poliamid6/organoclay (PA6/OMT) nanokompoziti, alev geciktirici olarak magnezyum hidroksit (MH) ve kırmızı fosforun (RP) kullanımıyla hazırlamış ve ürünün güç tutuşurluk özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada koni kalorimetre, LOI

ve UL-94 testleri güç tutuşurluk testleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ise, MH-RP ve OMT içeren PA6'nın alev geciktirici özeliğinin sadece MH-RP veya OMT içeren PA6'dan daha iyi çıktığı bulunmuştur.

Li ve arkadaşları (2005), fosfor, nitrojen ve silikon içeren güç tutuşur malzeme sentezleyerek polipropilen ile karıştırmışlardır. Güç tutuşur özellik LOI değeri ile belirlenirken termal stabilite termogravimetrik analiz ile karakterize edilmiştir. Sonuçta, söz konusu bu maddelerin yapıya kazandırılması ile örneklerin LOI değerleri 17'den 26'ya yükselmiş ve kömür oranları da %0'dan %27'ye çıkmıştır. Çalışmada, fosfor, nitrojen ve silikon elementlerinin karışımının sinerjik etki yaratarak polipropilen ile kullanıldıklarında güç tutuşurluk özelliklerini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Chen ve arkadaşları (2005), bir güç tutuşur madde olan poli(2-hidroksipropilenspirosiklikpentaeritrolbifosfonat) (PPBP) kullanımının PET (polietilenteraftalat) kumaşlarda güç tutuşurluk ve damlama özelliğine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre % 8,7 üzerinde kullanılan PPBP, PET kumaşların yanıcılığını azaltmış, dikey yakma testinde de iyi bir güç tutuşurluk özelliği göstermiştir. Ayrıca, bu katkı maddesi ile kumaşların yanması sırasındaki damlamaları da önlenmiştir.

Xiao ve arkadaşları (2006), Polibütlen teraftalat (PBT) içinde Melamin (MA) ve trifenil fosfat (TPP)'in güç tutuşurluk etkilerini LOI ve UL-94 testleriyle incelemişlerdir. Hazırlanan kompozitlerin kırılma yüzeylerinin morfolojilerini SEM kullanarak incelemişlerdir. Kırılmış yüzeylerin SEM görüntülerinde, katkıların hiçbirinin bir araya toplanması gözlemlenmediğinden MA ve TPP'nin PBT içinde düzgün olarak dağılmış olduğunu ifade etmişlerdir. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre analizi sonuçları da katkıların polimere uyumluluğu konusunda SEM görüntülerini desteklemiştir. Isıl Gravimetrik Analiz sonuçları MA+TPP'nin PBT ile etkileştiğini ve PBT'nin kömür oluşumunu desteklediğini göstermiştir. Dinamik FTIR ve piroliz/GC/MS MA+TPP'nin PBT'nin termoliz sürecini ve kondens faz piroliz ürünlerinin kompozisyonlarını değiştirdiğini göstermektedir.

Wang ve arkadaşları (2007), fosfor içeren 13 tane alev geciktiriciyi incelemişlerdir. Seçilen solventler içerisinde alev geciktiricilerin ([[(6-oksit-6Hdibenz[c,e][1,2]okzafosforin-6-yl)-metil]-butandioik asit (DDP)) çözülebilirlikleri ölçülmüştür. 13 tane fosfor içeren alev geciktiricinin termogravimetrik analiz (TGA) ölçümlerine bakılmıştır ve 3 tane alev geciktirici reçinenin PET (FR-PET) termal stabilitesi incelenmiştir. Etilen glikol ve teraftalik asitle DDP tarafından birleştirilen FR-PET üzerinde yapılan ölçümlerde, fosfor içeren alev geciktiriciler sayesinde FR-PET in termal stabilitesinin geliştiği, fosfor içeren tüm poliesterlerin LOI değerlerinin %27'den yüksek olduğu görülmüştür.

Huang ve arkadaşları (2008), gerçekleştirdikleri çalışmada çevrenin korunması, halk sağlığı ve güvenliği adına fosfor içeren güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerden çevreye daha az toksik gaz bırakanların, konvansiyonel halojen içeren güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerin yerini almak için geliştirilmiş olduğunu belirtmişler ve bu nedenle temel veya yan zincirlerde fosfor bulunan kopoliester sentezlemişlerdir. Dallanmış grup olarak fosfor içeren kopoliesterin (FR-PET) LOI değeri %31,5 olarak ölçülmüştür. Ancak sıcaklığın artması ile kopoliesterin P-CH₂ bağlarında kopma gözlenmiştir. Kondens fazdaki ürünlerde fosfor konsantrasyonunda azalma meydana gelmiştir. Çalışma sonucunda, FR-PET'in termal stabilitesinin PET'e oranla daha düşük olduğunu, FR-PET için kondens faz yerine gaz fazında güç tutuşurluk eldesinin daha etkin olduğunu gözlenmiştir.

Fontaine ve arkadaşları (2008), etken maddesi fosfor olan nötrale bir güç tutuşur (NIFR) sentezlemişler ve bu katkının Polipropilen (PP) içindeki yanma davranışını ve çinko borat (ZnB) ile oluşturduğu sinerjik etkiyi incelemişlerdir. Çalışmada, şişen bir güç tutuşur sistemin asit kaynağı (örn. Fosfatlar), karbonizasyon etkeni (örn. Polioller), üfleme etkeninden (örn. Melamin) oluştuğunu ve yaygın olarak çalışılan bir güç tutuşur sistem amonyum polifosfat/pentaeritritol/melamin karışımı olduğunu belirtmişlerdir. Penteritritol gibi poliollerin termoplastiklerin intumesan formülizasyonlarında kullanımlarını migrasyon ve suda çözünürlük problemleriyle ilişkilendirmişlerdir. Bunun yanı sıra bu katkıların polimer ile uyumlu olmadığına ve bu yüzden bu kombinasyonların mekanik özelliklerinin çok zayıf olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu problemleri çözmek için üç intumesan güç tutuşur

bileşenini bir molekülde sentezlemişlerdir. Az oranda NIFR yerine çinko borat konulduğunda sinerjik bir etki gözlenmiştir. Çinko borat fosfor bileşiğinin yüksek sıcaklıkta stabilize olmasına imkan vererek geniş bir sıcaklık aralığında şişen yapının bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Şişen sistemler ısı ve kütle aktarımını engelleyen bir bariyer mekanizma sayesinde kondens fazda etki gösterdiklerinden malzemenin kömür bütünlüğünün önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. PP/NIGÇ sistemlerinin çinko borat varlığında ve yokluğundaki performansları karşılaştırılmıştır, kullanılan üç ticari çinko borat bileşiğinden FB500 ($2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3$)’ün, FB290 ($2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ve FB415 ($4\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)’e göre daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca, bir miktar NIFR’nin yerine çinko borat katılmasının sistemin 280-320°C aralığında düzensizleşmesine sebep olduğunu fakat 550°C’den daha yüksek sıcaklıklarda termal stabilizasyonunu sağladığını ve bu termal stabilizasyonun da tütme durumunda dikkate alınabilecek kömürün oksidasyon dayanımına bağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Erdem ve arkadaşları (2010), “Nano-Kompozit Polipropilen Filamentlerin Üretimi ve Özellikleri” başlıklı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, nano-partikül katkılı filamentlerin üretim yöntemleri hakkında bilgi verilerek, çeşitli nano-partiküllerin polipropilen filamentleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kimyasal lif endüstrisi, polimer teknolojisi ve nanomalzemelerdeki gelişmeler ile yapılan önceki çalışmalar dikkate alınarak, bu çalışmada tekstil malzemelerine yönelik ilave fonksiyonel özelliklere sahip filamentler elde edebilmek için PP ve çeşitli nano-partiküller kullanılarak laboratuvar tipi lif çekim makinası ile nano-kompozit filamentler üretilmiştir. Çalışmada, polipropilen nano-kompozit filamentlerin fonksiyonlarının nanopartiküllerin mevcudiyetinde geliştiği görülmüştür. Ayrıca, araştırma sonuçları genel olarak ele alındığında %0,3 %1 ve %3 oranlarında nano-partikül içeren nano-kompozit PP filamentlerin morfolojik ve yapısal özelliklerinde çok büyük değişiklikler olmadığı saptanmıştır. Öte yandan PP/nano-SiO filamentlerin limit oksijen indeksleri kademeli olarak artmış ve %1 ile %3’lük nano SiO mevcudiyetinde lifler yavaş yanan malzemeler sınırına ulaşmıştır. PP/nano-TiO liflerin UV koruma ve UV geçirgenlik özellikleri %100 PP liflerine göre gelişmiştir. PP/nano-C liflerinde ise istenilen iletkenlik artışı elde edilememiştir.

Sonuç olarak çalışmada, farklı özelliklere sahip kimyasal liflerin laboratuvar koşullarında üretim olanakları araştırılmış ve çeşitli ilave fonksiyonlara sahip PP/nano-kompozit filamentlerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, elde edilen bu nano-kompozit liflerin sağladıkları UV koruma ve yavaş yanma özellikleri ile bu amaçla kullanılacak tekstil malzemelerinin tasarımında alternatif birer hammadde olabilecekleri vurgulanmıştır.

Tekstilde güç tutuşurluk özelliği kaplama yöntemiyle de gerçekleştirilebilmektedir. “Polipropilen Esaslı Tekstil Malzemelerine Kaplama Yöntemiyle Uygulanabilen Güç Tutuşur Malzemeler Geliştirilmesi” başlıklı çalışmada, polipropilen malzemeye uygulanan fosfor esaslı malzemenin polimerin yanma mekanizması ve dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiş ve bunun metal hidroksitler ve çinko borat ile birlikte oluşturduğu sinerjik etki belirlenmiştir. Tane boyutları düşürülen malzemelerle katkılanırılan polipropilenin ısı davranışı TG analizleriyle, yanma dayanımı LOI ve UL-94 testleriyle belirlenmiştir. Malzemelerin karakterizasyonu için FTIR, XRD ve SEM analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak yanma mekanizmasının çeşitli aşamalarında etkinlik gösteren MPP (Di-Melamin Piro Fosfat) ve TPP (Tri-Fenil Fosfat)’nin MDH (Magnezyum Di-Hidroksit)/ATH (Alüminyum Tri-Hidroksit) ve ZnB (Çinko Borat)’yle birlikte kullanıldığında polipropilenin LOI değerini arttırdığı saptanmıştır. (Kaynak, 2012). Söz konusu çalışma, hem PP’nin güç tutuşurluk özelliğinin araştırılması hem de fosforik etken maddeli güç tutuşur ürünlerin incelenmesi açısından çalışmaya katkı sağlamıştır.

Ömeroğulları ve Kut (2012) yaptıkları çalışmada, tekstil materyallerinin yanma davranışlarını, güç tutuşur maddeler ve etki mekanizmalarını, güç tutuşurluk elde etmek için kullanılan temel ve yeni yöntemleri, güç tutuşurluk test yöntemlerini, güç tutuşur maddelerin toksik etkilerini ve son yıllarda bu konuda yapılan çeşitli araştırmaları incelemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın temel materyallerine ve çalışmada kullanılan yöntemlere dair bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

3.1. Materyal

Polimerler, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturdukları büyük moleküllerdir ve günlük yaşamda ağırlıklı plastik parçalar, tekstil yüzeyleri, kauçuk, yapıştırıcı, köpük, boya, vb. son ürünler halinde tüketilmektedirler. Plastik malzemeler genelde en yaygın kullanılan polimerler olan ve genel amaçlı polimerler olarak bilinen polietilen, polistiren, polivinilklorür ve polipropilenden yapılmaktadırlar. Polimer malzemeler oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler ve polimerik malzemelerin bu kadar yaygın olmalarının sebepleri çok yönlü kullanıma yatkın, hafif, güvenli, dayanıklı ve düşük maliyetli olmalarıdır.

Bazı maddelerin (polimerlerin) moleküllerinin, geleneksel kimyasal maddelerin moleküllerinden çok büyük olabileceğine yönelik ilk görüş 1920 yılında Staudinger tarafından ortaya atılmıştır. Staudinger'in bu önerisi 10 yıl sonra 1930'da kabul edilmiş ve polimer kelimesi de 1930'lardan sonra bilimsel alanda kullanılmaya başlamıştır. Polimer kimyası ve polimer teknolojisi bilimleri zaman içerisinde hızla gelişerek ayrı ve önemli birer bilim dalı haline gelmişlerdir. Polimer kimyasındaki gelişmelere bağlı olarak farklı yapı ve özelliklerde polimerler sentezlenmiş ve bu polimerlerden yapılan ürünler, metal ve seramik türü malzemelerin yerlerini almışlardır ve dünya toplam plastik tüketimi 1980'li yılların başında, dünya toplam çelik üretimini geçmiştir. Modern dünyanın vazgeçilmez malzemeleri haline gelen polimerlerin, insanların yaşamlarını kolaylaştırıcı etkileri günümüzde de sürmektedir (www.polimernedir.com, 2013).

Polimerler tekstil endüstrisinde de büyük öneme sahiptirler; yapay lif üretiminin girdisi olarak, poliakrilonitril, poliester, polipropilen, polietilen, poliamid, vb. polimerler sıralanabilmektedir. Söz konusu bu polimerlerden çeşitli tekstil ürünleri üretilmekte ve günümüzde bu polimerlerin özelliklerini geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalarla da yenilikçi ürünler elde edilmektedir.

Doktora tez çalışmasının materyalleri, izotaktik polipropilen polimeri ve fosfonat esaslı güç tutuşurluk katkı maddesidir. Söz konusu bu materyallerle ilgili bilgiler aşağıda yer almaktadır.

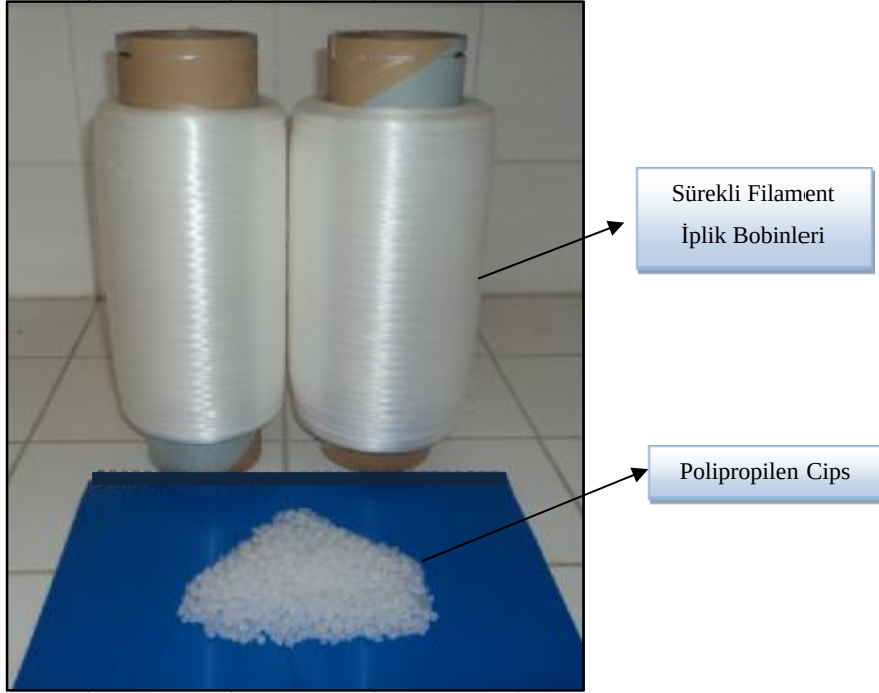
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Polipropilen Polimeri

Çalışmada kullanılan PP Polimer izotaktik özelliğe sahiptir; bu cipse dair özellikler aşağıda Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan PP cipsinin özellikleri

ÖZELLİKLER	DEĞER	STANDART
Polipropilen Cips Özellikleri		
Eriyik Akış Oranı-Melt Flow Rate (MFI) (230°C&2.16 kg Load Density)	24 g/10 dk 905 kg/m ³	ASTM D 1238 ASTM D 792
Mekanik Özellikler		
Gerilme Dayanımı	32 MPa	ASTM D 638
Gerilme Uzaması	%12	ASTM D 638
Eğilme Modülü	1550 MPa	ASTM D 790A
Notched Izod Darbe Dayanımı	30 J/m	ASTM D 256
Rockwell Sertlik, R-Scale	100	ASTM D 785
Termal Özellikler		
Vicat Yumuşama Noktası	152°C	ASTM D 1525B
Isıl Bozulma Sıcaklığı (455 kPa)	118°C	ASTM D 648

Çalışma kapsamında, teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilen PP hammaddesi kullanılarak sürekli filament iplikler üretilmiştir. Şekil 3.1.'de PP cips ile bu cipsden üretilen filament iplik görselleri yer almaktadır. Ayrıca, söz konusu bu polimere ait detaylı bilgiler Ek-4'de verilmiştir.



Şekil 3.1. PP polimer cipsi ve sürekli filament iplik bobinleri

Ayrıca, doktora tez çalışması kapsamında üretilen filament iplikler sahip oldukları oryantasyon dereceleri ve mukavemet-kopma uzaması değerlerine göre HOY (Higly Oriented Yarn) filament iplik sınıfına girmektedir. Çalışma kapsamında üretilen bu PP filament ipliklere ait diğer bazı görseller ise Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma kapsamında üretilen sürekli filament iplik bobinleri

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Güç Tutuşurluk Katkı Maddesi

Doktora tez çalışmasında kullanılan bir diğer materyal güç tutuşurluk özelliği taşıyan katkı maddesidir. Teknik özellikleri Ek-4’de verilen PP cipsi ile bu güç tutuşurluk özelliği taşıyan katkı maddesi granül formunda ekstrüdere beslenerek sürekli filament iplikler üretilmiştir. Söz konusu katkı maddesi fosfonat esastır.

Fosfor İçeren Yanma Önleyiciler

Tekstil materyallerinin yanıcılığını azaltmak için üç temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki kendinden güç tutuşur tekstilleri kullanmaktır. Bu grup yüksek performans lifleri olarak adlandırılan poliokzoazoller, polieteter-ke-ton ve poliimidleri içerir. İkinci yaklaşım varolan tekstil malzemelerini kimyasal olarak modifiye etmektir. Örneğin, polietilen zincirlerine güç tutuşur monomerin kopolimerizasyonu buna bir örnektir. Üçüncü yaklaşım ise geliştirilen güç tutuşur malzemelerin sentetik liflere katılması veya kumaşlara yüzeyden uygulanmasıdır.

Günümüzde fosfor içeren çeşitli yanma önleyiciler kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları, fosfinler, fosfatlar, fosfin oksitler, fosfonyum birleşimleri, fosfonatlar, elementel kırmızı fosfor ve fosfitler olarak sıralanabilmektedir. Söz konusu bu maddeler, polimer zincirlerine homopolimerizasyon, ko-polimerizasyon, yüzey modifikasyonu ya da karışma yoluyla eklenebilmektedirler. Bu birleşimler çoğunlukla yanma önleyicilik fonksiyonlarını, karbonlu çökelti ya da tabaka miktarını arttırarak yoğunlaşma evresinde yerine getirmektedirler. Çalışmada kullanılan güç tutuşur katkı maddesi fosfonat esaslı alevlenmeyi geciktiriciler sınıfına girmektedir.

Fosfonat esaslı güç tutuşurluk katkı maddesinin kimyasal adı ise, calciumdiethylbis[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)hydroxyphenyl]methyl]phosphonate] şeklindedir. Bu katkı maddesine ait bilgiler de Ek-4’de verilmiştir.

Şekil 3.3.’de, çalışmada kullanılan güç tutuşurluk katkı maddesi ve bu maddenin ilavesiyle üretilen güç tutuşur özellikli filament iplik görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.3. Güç tutuşurluk katkı maddesi

3.2. Metot

Doktora tez çalışması, laboratuvar tipi filament iplik makinesinin tasarımı ve imalatı ile özgün ürün geliştirme çalışmaları şeklinde iki temel aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesinin tasarım ve imalat çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, geliştirilen makinenin ilk prototipi Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Filament İplik Üretim Laboratuvarı'na kurulmuştur. Sonrasında ise, ürün geliştirme çalışmaları kapsamında PP cipsi, %1'den %8'e kadar değişen oranlarda güç tutuşurluk katkı maddesi ile karıştırılarak filament iplikler üretilmiştir. Dolayısıyla tez çalışmasında, makine tasarımı ve imalatı ile eriyikten çekim yöntemine göre güç tutuşur özellikli filament iplik üretimi şeklinde iki temel metot kullanılmıştır. Ayrıca, üretilen ipliklere çeşitli testler uygulanmış ve test sonuçları da istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Söz konusu bu yöntemlere dair açıklamalar temel başlıklar altında bu bölümde yer almaktadır.

3.2.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin Tasarımı ve İmalatı

Ülkemiz, küçük ölçekli üretim makineleri ile kalite-kontrol test cihazlarında çoğunlukla dışa bağımlı olup, bu tür cihazlar için yıllık bazda milyonlarca dolar milli sermaye yurtdışına akmaktadır. Bu durum söz konusu alanlarda gerçekleştirilmek istenen Ar-Ge çalışmaları için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu durumla bağlantılı olarak gerçekleştirilen doktora tez çalışmasının temel amaçlarından ilki, üzerinde çok sayıda Ar-Ge çalışması yapılabilecek esnek yapıda ve hem düz filament hem de tekstüre iplik üretimi gerçekleştirebilen laboratuvar tipi bir makinenin imalatını gerçekleştirmek olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, yumuşak çekim prensibini esas alan bir prototip tip filament iplik üretim makinesi imal edilmiştir.

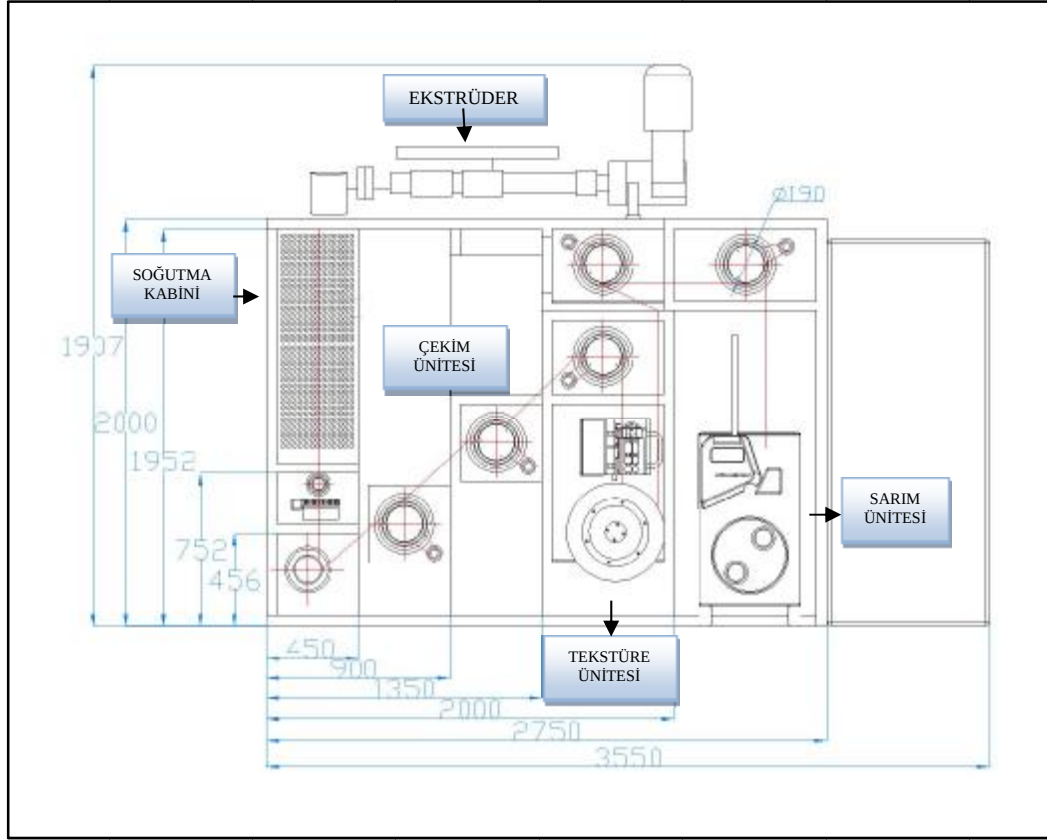
Yapay lif üretimi temel olarak üç şekilde gerçekleştirilmektedir ve bu yöntemler, yumuşak çekim, kuru çekim ve yaş çekim olarak sıralanmaktadır. Tez çalışması kapsamında imal edilen filament iplik üretim makinesi, yumuşak çekim (eriyikten çekim) prensibine göre üretim yapmaktadır. Söz konusu bu makine imalatı oldukça büyük önem ve hassasiyet gerektiren bir dizi çalışmadan meydana gelmiştir. İmalatı gerçekleştirilen makineye ait, “Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin Tasarım, Geliştirme ve İmalat Süreci” dökümanı Ek-1’de, Teknik Çizim çalışmaları Ek-2’de, ve İmalat aşamalarını gösteren fotoğraf görselleri de Ek-3’de yer almaktadır.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi ile ilgili genel teknik bilgiler ise Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi özellikleri

Teknik Özellikler		Değer
Hammadde		Polipropilen, Polietilen, Poliester ve Poliamid
Ekstrüder L/D Oranı		27
Düze Sayısı		2
Düze Kesit Şekilleri		Round, Trilobal, Hollow ve Çeşitli Modifiye Kesit Şekilleri
Godet Sayısı		5
Metraj Pompası Kapasitesi		5 cc/dv.
Tekstüre Ünitesi		Hava Jetli ve Tekstüre Tamburlu
İplik Numaraları	Düz Filament İplik	200-1500 denye
	Tekstüre Fil. İplik	500-2500 denye
Üretim Kapasitesi		72 kg/gün
Makine Kurulu Gücü		78,8 kW

Makinenin önden görünüşüne ait genel teknik çizimi Şekil 3.4.’de yer almaktadır. Bu çizimin resim boyutu da Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.4. Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin teknik çizimi-önden görünüş

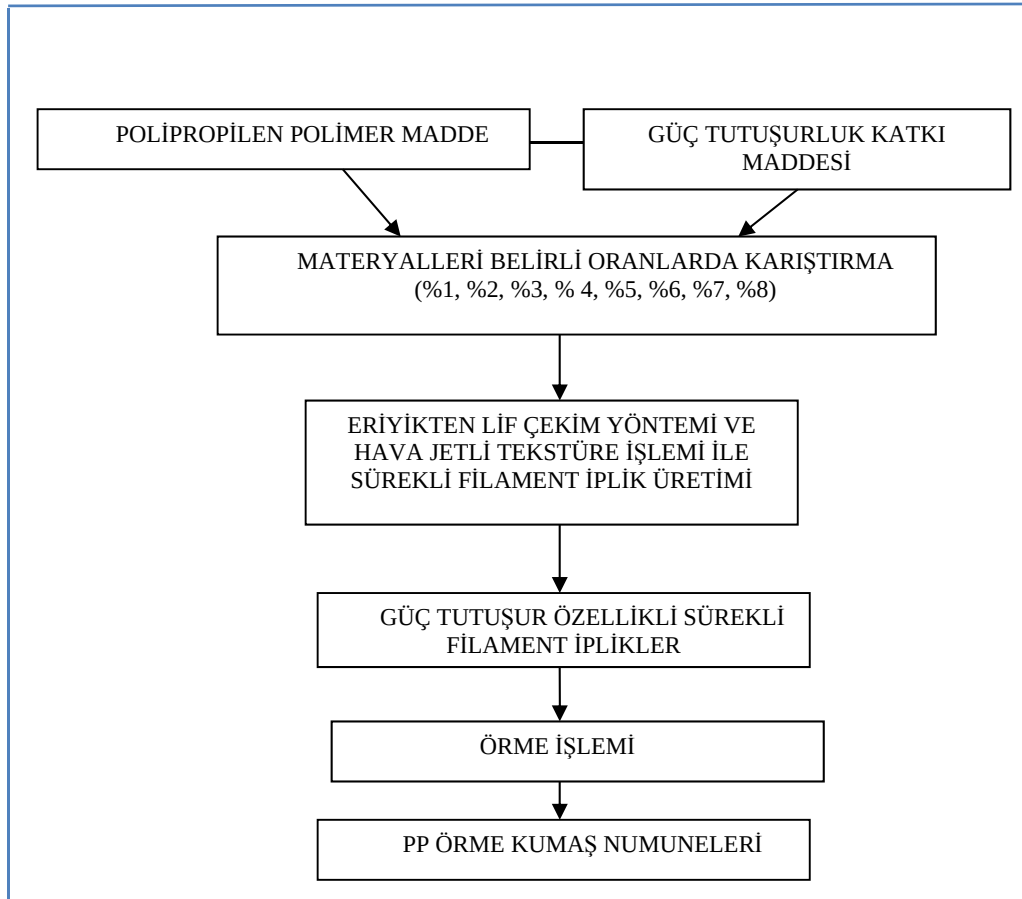


Şekil 3.5. İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi

3.2.2. Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları

Çalışma kapsamında imal edilen ve görseli Şekil 3.5.'de verilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi yumuşak çekim (melt spinning) prensibine göre üretim yapmaktadır.

Doktora tez çalışması kapsamında, ticari olarak bulunabilen PP ve güç tutuşurluk katkı maddesi hammadde olarak kullanılmış ve bu materyallerden yumuşak çekim prensibi ile filament iplik üretimleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu üretilere ait genel akış şeması Şekil 3.6.'da verilmiştir. Söz konusu bu akış şeması, PP cipsten örme kumaş üretimlerine kadar olan tüm üretim sürecini göstermektedir.



Şekil 3.6. Özellikli PP örme kumaşların üretim akış şeması

Üretim çalışmaları sırasında öncelikle, PP polimer hammaddesi ile güç tutuşurluk katkı maddesi, filtrelenmek ve düzenin içindeki küçük deliklerden basılarak filamentler haline getirilmek üzere metraj pompasından düze paketlerine beslenmiştir. Çalışmada kullanılan düze kesit şekli round ve 72 delikli düze tipindedir. Düze üzerindeki herbir delik çapı 0,6 mm düzeyindedir. Üretim sürecinde, düze deliklerinden dik olarak çekilip katılaştırılan filamentlere çekim ünitesinde iki kat çekim verilmiştir. Üretilen ipliklerde filamentler, bir arada tutunma adına tekstüre etkisine de tabii tutulmuşlardır. Dolayısıyla, üretilen ipliklerin zayıf derecede tekstüre özelliğine sahip oldukları söylenebilmektedir. Üretimde söz konusu bu ünitenin temel parametreleri olan tekstüre hava basıncı 6–7 bara, sıcaklığı ise 135°C-140°C'ye ayarlanmıştır. Ardından, filament iplikler üretimleri sırasında son işlem olarak da sarım işlemine tabii tutulmuşlardır. Çalışmada yarı-otomatik sarıcı kullanılmıştır. Şekil 3.7.'de makinenin sarım ünitesi ve üretimi tamamlanan bir ipliğin bobine sarılı şekli görülmektedir.



Şekil 3.7. Sarım ünitesi

PP hammaddesine eklenen güç tutuşurluk katkı maddesi oran etkisini inceleyebilmek için, yukarıda da açıklanan tüm üretim parametreleri sabit tutulmuştur. Bu üretim parametreleriyle ilgili bilgiler Çizelge 3.3.’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan makine üretim parametreleri

Basınç Değerleri		Ekstrüder Değerleri	
Basınç Üst Limit	300 bar	Bölge-1 Sıcaklığı	220 °C
Basınç Alt Limit	0 bar	Bölge-2 Sıcaklığı	240 °C
Maksimum Ekstrüder Hızı	143 dv./dk.	Bölge-3 Sıcaklığı	245 °C
Minimum Ekstrüder Hızı	25 dv./dk.	Bölge-4 Sıcaklığı	245 °C
K-Oransal	5.00	Ekstrüder Hızı	143 dv./dk.
K-Diff	1.00	Basınç	6,6 bar
Ekstrüder İzin C	10	Pompa Hızı	70 dv./dk.
Ekstrüder Katsayısı	9.57		
Çekim Ünitesi Değerleri			
Ön Godet Hızı		390 dv./dk.	
Godet-1 Hızı		390 dv./dk.	
Godet-2 Hızı		400 dv./dk.	
Godet-3 Hızı		800 dv./dk.	
Godet-4 Hızı		680 dv./dk.	
Godet-5 Hızı		680 dv./dk.	
Tambur Hızı		400 dv./dk.	
Hava Üfleme Motor Hızı		700 dv./dk.	
Yağlama Motor Hızı		700 dv./dk.	
Sarıcı Hızı		2050 dv./dk.	

Çalışmada kullanılan hammadde PP olduğundan, ekstrüderin sıcaklık değerleri buna göre belirlenmiş ve hammadde 200°C üzerinde proses edilmiştir. Ayrıca, çizelgede yer alan godet hız farklarından da görülebileceği üzere, sürekli filament ipliklere iki kat çekim verilmiştir.

Sonuçta, Ek-1’de imalat süreci görülen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi bilimsel yaklaşımla imal edilmiş ve makine üzerinde çeşitli sürekli filament iplik üretimleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Örme İşlemi

Doktora tez çalışması kapsamında belirlenen çeşitli test uygulamalarını gerçekleştirebilmek için PP filament ipliklerden örme kumaşlar üretilmiştir. Örme işleminin gerçekleştirildiği Lonati Goal-6715 marka/model çorap örme makinesi, otomatik iplik tansiyon ayarlıdır ve kovan çapı 3 ½ inç’dir. İpliklerden elde edilen

kumaş yapısı süprem örme tipi olmakla birlikte, 54 iğne ile örme işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm örme işlemlerinde makine hızı 160 d/dk. olarak belirlenmiştir. Ayrıca örme işlemi sırasında, her bir iplik için üretim parametreleri sabit tutulmuştur. Söz konusu bu parametreler Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Örme makinesi üretim parametreleri

Makine Marka ve Modeli	Lonati Goal 6715 Model
İğne Sayısı	54
Silindir Çapı	3 ½ inç
Örgü Tipi	Süprem
Makine Hızı	160-200 d/dk. (Çalışmamızda 160 d/dk. sabit hızıyla üretim yapılmıştır).
Gauge (İnçteki iğne sayısı)	14
Volt	380
Hz.	50
Adım	20
Çalışmada Kullanılan İğne Tipine Dair Özellikler	Vo.: 71.70 KR: 082 100 PCS

Şekil 3.8.'de ise, çalışmada kullanılan örme makine görseli görülmektedir.



Şekil 3.8. Çorap örme makinesi

3.2.4. Sürekli Filament İplik ve Örme Kumaş Ürünlerine Uygulanan Testler

Üretimi tamamlanan filament iplik ve örme kumaşlara çeşitli testler uygulanmış ve bu testlerle ilgili detaylı bilgilere bu bölümde yer verilmiştir. Testler ürünlere, hem söz konusu faktör etkilerini incelemek hem de üretimde sabit tutulan parametrelerin kontrolünün yapılması amaçlarıyla uygulanmıştır. Testlere başlamadan önce bütün numuneler standart ortam şartları olan, $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklıkta ve $\%65 \pm 2$ bağıl nemde 24 saat süresince kondisyonlanmıştır.

Çalışma kapsamında, polipropilen filament ipliklere ve örme kumaş yapılarına uygulanan testler,

- a. İplik Doğrusal Yoğunluk Tespiti Testi,
 - b. İplikte Finish (Yağlayıcı) Madde Miktarı Tespiti,
 - c. Lif Enine Kesit Şekli Tayini,
 - d. Sürekli Filament İpliklerde Toplam Filament Sayısı Tespiti Testi,
 - e. Örme Kumaş Gramajı Tespiti Testi,
 - f. İplik Punto Sayısı Tespiti Testi,
 - g. İplik Düzgünsüzlük Tespiti Testi,
 - h. İplik Renk Ölçümü Testi,
 - i. Mukavemet-Kopma Uzaması Tespiti Testi (cN-%),
 - j. SEM (Scanning Electron Microscope) Görüntü Analizi Testi,
 - k. EDX (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) Analizi,
 - l. DSC (Differential Scanning Calorimeter) Testi,
 - m. Güç Tutuşurluk Tespiti Testi,
- Dikey Yanmazlık Testi,
 - Limit Oksijen Index Testi,

şeklinde sıralanmaktadır.

Yukarıda maddeler halinde sıralanan testlerin bir kısmı (İplik doğrusal yoğunluk tespiti testi, lif enine kesit şekli tayini, iplikte finish (yağlayıcı) madde miktarı tespiti, iplik punto sayısı tespiti testi) ipliğin sahip olması gereken özelliklerin kontrolü amacıyla yapılmış olup, Mukavemet-Kopma Uzaması Tespiti Testi, İplik Düzgünsüzlük Tespiti Testi, İplik Renk Ölçümü Testi, SEM ve EDX testi, DSC (Differential Scanning Calorimeter) testi ve Güç Tutuşurluk Tespiti Testleri ise, etkisi incelenmek istenen özelliklerin tespiti için uygulanmıştır.

a. İplik Doğrusal Yoğunluk Tespiti

PP filament iplik üretiminde, üretim parametreleri (Düze delik sayısı, düze delik çapı, pompa hızı, godet hızları, vb.), elde edilmek istenilen iplik doğrusal yoğunluğuna göre ayarlanmıştır. Bununla birlikte, kontrol amaçlı olarak elde edilen filament ipliklerin incelikleri tespit edilmiştir. İplik doğrusal yoğunluğu denye cinsinden hesaplanmıştır. Test, BS EN ISO 2060, 1995 test standartına göre gerçekleştirilmiştir.

Standart ortam koşullarında ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklıkta ve $\%65 \pm 2$ bağıl nem) bekletilerek kondisyonlanan sürekli filament ipliklerden denye ölçümü için, bobinlerden bir miktar iplik sağılmasının ardından, gerilim ayar kılavuzlarından geçirilerek belirli gerginliğe sahip olan iplik çıkırğa sarılmakta ve elde edilen çile ağırlık tespiti için hassas terazide tartılmaktadır. Test her numune için beş defa tekrar edilmiş ve sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 3.9.'da çalışmada kullanılan çıkırk ve hassas terazi görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.9. Çıkırk ve hassas terazi

b. İplikte Finish (Yağlayıcı) Madde Miktarı Tayini

PP filament ipliklerin üretiminde, etkisi incelenecek parametre dışındaki diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur. Sabit tutulan bu parametrelerden biri de

yağlayıcı madde miktarıdır. Bu açıdan ipliklere özellikleri Ek-4’de verilen söz konusu yağlayıcı maddeden belirli miktarda (%1,5-1,8) aplike edilmiştir ve ipliklerin üretim sonrası yağlayıcı madde miktarları kontrol amaçlı test edilmiştir.

Bu test için Oxford MQA 7020 cihazı (Şekil 3.10.) kullanılmış olup, test BS 3582, 1981 standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, herbir iplik türü için toplam dokuz defa test tekrarı yapılmış olup, bu sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.10. Oxford MQA 7020 model finish madde miktarı tayini cihazı

Finish madde miktarı tayininde, söz konusu ipliklerden alınan numune Oxford MQA-7020 model test cihazı numune tüpüne yerleştirilmektedir. Test için hazırlanan tüp, test cihazının ölçüm haznesine yerleştirilmekte ve uygulanacak test metodu cihazdan seçilerek ölçüme başlanmaktadır. Ölçüm haznesine yerleştirilen numune, statik bir manyetik alan içerisinde radyo frekansı sinyalleri vasıtasıyla titreşime tabii tutulmaktadır. Bu manyetik alan içerisinde oluşan titreşim enerjisi, numuneden bir sinyal oluşturmakta ve bu sinyal analiz edilerek kaydedilmektedir. Üretilen bu sinyaller numunenin sıvı ve katı bileşenlerini karakterize etmektedir. Sonuçta, bu bileşenler cihaz tarafından ayırt edilebilmekte ve konsantrasyonları hesaplanabilmektedir. Test için toplam ölçüm süresi 64 saniyedir. Ölçüm tamamlanınca, numuneye ait % yağ değeri ekrandan okunmaktadır. İpliklerin ihtiva ettiği yağ miktarının bu şekilde test edilmesi oldukça pratik ve kısa süreli bir işlemdir. Çünkü test öncesi cihaza belirli miktarda finish maddesi içeren bir numune yerleştirilmiş ve bu numunenin içerdiği % yağ miktarı standart olarak ayarlanmıştır, cihazın çalışma prensibinin temelinde de bu numunenin test sonucu ile kıyaslanarak

ölçülen finish (yağlayıcı madde) miktarlarını belirlemesi yatmaktadır. Sonuçta elde edilen ölçüm değeri ekrandan okunmakta ve bu değer istenilen/belirlenen üretim değerleri ile karşılaştırılarak kaydedilmektedir.

c. Enine Kesit Şekli Tayini

Filamentlerin enine kesit şekilleri onların çeşitli fiziksel ve kullanım performans özelliklerini belirlemektedir. Bu açıdan, lif enine kesit şekli ürün özelliklerini belirlemesi açısından oldukça önemlidir. Enine kesit tayini testi için ipliklerden bir miktar numune alınmakta ve bu numune genellikle beyaz renk olduğu için zıt rengi olan siyah renk bir miktar dolgu elyafı ile sarılmaktadır. Hazırlanan numune, bir kenarı yuvarlak oyuklu olan bir plaka etrafına sarılmakta ve bu plakanın eşi olan başka bir plaka ile yuvarlak oyuklar birbiriyle kesişecek ve numune arada sıkışacak şekilde birleştirilmektedir. Plakalar arasına yerleştirilen numunenin sarkan uzun uçları ve kalan kısa parçalar da jilet ile kesilmektedir. Bu sayede, plakanın ortasında sadece kesiti incelenecek olan numune bulunmakta ve bu şekilde numune hazırlama işlemi tamamlanmaktadır. Sonrasında, numune mikroskop altında incelenmektedir. Çalışmada Şekil 3.11.'de gösterilen Microtome Leica marka/model mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Lif enine kesit şekli inceleme test mikroskobu

d. Sürekli Filament İpliklerde Toplam Filament Sayısı Tespiti

Çalışmanın üretim aşamaları sırasında üretimden veya düze delik kalitesinden kaynaklanabilecek bazı problemlerden ötürü, filament ipliklerin toplam filament sayıları kontrol edilmektedir. Bu test için hazırlanan numuneler, mikroskop haznesine yerleştirilmekte ve görüntü mikroskop monitöründen incelenmektedir (Şekil 3.11.). Filament sayısı belirleme testi oldukça pratik ve hızlıdır. Monitör tarafından, iplik enine kesit şeklinde yer alan her bir monofilament görüntülenmekte ve ekranda görülen monofilamentlerin üzeri işaretlenerek filament sayısını belirleme işlemi tamamlanmaktadır.

e. Örme Kumaş Gramajı Tespiti

Doktora tez çalışması kapsamında, numunelerin güç tutuşurluk özelliklerinin tespiti için filament iplikler çorap örme makinesinde örülmüştür. Söz konusu numunelerin kumaş gramajı tespiti testi ise, TS 251 standardına göre yapılmıştır.

Deneye başlamadan önce örme kumaş numuneleri standart atmosfer şartları olan $\%65 \pm 2$ nispi nem ve $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklıkta 24 saat süresince kondisyonlanmıştır.

Deneyde, kumaş gramajı belirleme metodlarından biri olan 10x10 cm'lik numune ile m^2 ağırlığının tayini yöntemi kullanılmıştır. Test için ana numunelerden 10*10 cm boyutlarında 3'er adet numune hazırlanmış ve sonrasında da aşağıda maddeler halinde verilen test aşamaları uygulanmıştır.

- 10x10 cm boyutlarında hazırlanan numunelerin dijital göstergeli hassas terazide tek tek tartılarak ağırlıklarının gram olarak kaydedilmesi,
- Sonuçların aritmetik ortalamasının alınması ve
- Bulunan ortalama değerin 100 ile çarpılmasıdır.

Bu işlemlerin sonucunda örme kumaşların m^2 ağırlığı tespit edilmektedir.

f. İplik Punto Sayısı Tespiti

Sürekli filamentleri oluşturan filamentlerin bir arada bulunma/tutunma özelliğini iyileştirmek için ipliklere üretimleri sırasında ön punto verilmektedir. Çalışmada bu etki tekstüre ünitesindeki hava jeti ile sağlanmış ve ipliklere bir miktar ön punto kazandırılmıştır.

Doktora tez çalışması kapsamında, PP filament ipliklerin sahip olduğu ön punto sayısı Rothschild Entanglement Tester R-2070 Test Cihazında ve testin gerçekleştirildiği işletmenin “Internal Method” yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Test çalışması için öncelikle, cihazda bulunan silindirlere iplik numunesi beslenmektedir. Sonrasında ise cihaz üzerindeki bir iğne, ipliği dik şekilde uzunluğu boyunca açmaya başlamaktadır. Bu açma işlemi sırasında, cihaz eğer iplikte herhangi bir punto/düğüm tespit ederse, bu ön punto sayısı olarak kaydedilmektedir. Cihaz tarafından 10 punto sayısı tespit edildiğinde ise, cihaza beslenen iplik uzunluğu da esas alınarak cihaz yazılımı tarafından bir hesaplama yapılmakta ve sonuç metredeki ön punto sayısı olarak kaydedilmektedir. Söz konusu cihaz Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. İplikte ön punto sayısı belirleme test cihazı (www.rothschild-instruments.ch, 2013)

İpliğe verilen ön punto sayısı, filament ipliği oluşturan filamentlerin bir arada tutunma özelliğini geliştirmesi, mukavemeti belirli bir dereceye kadar yükseltmesi, ipliğin sonraki işlemlerde kolayca işlenebilmesi ve ipliğin sağılma özelliğini iyileştirmesi açılarından önem arz etmektedir. Filament iplik yapısının bir arada bulunma özelliğinin iyi olması için gerekli olan ön punto sayısı genellikle metrede 10 ± 5 'dir. Bununla birlikte, iplik boyunca daha yüksek sayıda punto sayısının bulunma durumu, punto sayısı varyasyonuna neden olabileceği için istenmemektedir. Dolayısıyla, filament ipliğin sahip olduğu punto sayısı önemli bir diğer yapısal özelliktir.

g. Düzgünsüzlük Testi

İpliklerde düzgünsüzlük tespiti genellikle Uster marka test cihazı ile gerçekleştirildiği için bu test çoğu zaman, “Uster Düzgünsüzlük Testi” olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu bu testte amaç, ipliğin kondansatörden geçerken yüzeyinde bulunan düzgünsüzlüklerini kütsel olarak ölçmektir. Çalışmada PP filament ipliklerde düzgünsüzlük tespiti testi, DIN 53817 standardına göre gerçekleştirilmiştir ve teste başlamadan önce tüm numuneler kondisyonlanmıştır.

Cihazda hatasız sonuçlar elde etmek için her numunenin test hızı, giriş basıncı, büküm yönü ve gerilim kuvvet ayarları minimum düzgünlük elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Sonrasında ise, test edilecek iplik numuneleri cihaz kılavuzlardan geçirilmiş ve cihaz kolu da numuneyi belirli gerginlikte plakalar arasına yönlendirmiştir. Bu işlemin gerçekleştirildiği cihaz Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Uster düzgünlük test cihazı

Kapasitif yöntemle göre çalışan bu cihazdaki kanallar arasından geçen 100 metre ipliğin düzgünlük değeri hem grafiksel hem de sayısal veriler ile tespit edilmekte ve sonuçlar çıktı olarak alınmaktadır.

h. Renk Ölçümü

Renk, Commission Internationale de'Eclairage (CIE)'e göre $L^*a^*b^*$ aralık sistemiyle ifade edilebilmektedir. CIE, kısaltması Fransızca ismi olan Commission Internationale'de L'Eclairage'ın baş harflerinden oluşmaktadır ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu anlamını taşımaktadır. CIE $L^*a^*b^*$ renk aralık sistemi, üç boyutta rengi ölçmemizi sağlayan bir analiz sistemi olmakla birlikte, bu üç boyutlu

renk aralık sistemindeki eksenler; L^* , a^* ve b^* 'dir. L^* değeri, bir nesnenin aydınlık değerinin ölçümüdür ve 0 ile 100 değeri arasındaki bir sayı doğrultusudur. L değeri için 0 siyah rengi tanımlarken, 100 beyaz rengi tanımlamaktadır. a^* ve b^* değerleri, -128 ile +127 arasında olmakla birlikte; pozitif a^* (+a) kırmızı rengi ve negatif a^* (-a) ise yeşil rengi tanımlamaktadır. Ayrıca, pozitif b^* (+b) değeri sarıyı tanımlarken, negatif b^* (-b) değeri ise mavi rengi tanımlamaktadır. a^* ve b^* koordinatları nötr renkler için sıfıra yaklaşırken, daha doymuş ve keskin renkler için ise sayısal artış göstermektedir.

Çalışmada, filament iplik bobinlerine Hunter-Lab LabScanXE test cihazı ile renk ölçüm testi uygulanmıştır. Test her bir bobinde ve elde edilmek istenen renk değeri için üçer defa tekrar edilmiş olup bu sonuçların ortalaması alınmıştır. Ayrıca, her iplik bobininden üç replikasyon üretildiği için; belirlenen renk değerleri dokuz ölçüm sonucunun ortalamasından oluşmaktadır. Test sonunda her bir iplik bobinine dair L , a , b renk ölçüm değerleri elde edilmiştir. Hunter-Lab test cihazı görseli Şekil 3.14.'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Hunter-Lab renk ölçümü test cihazı

Hunter-Lab cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hunter-Lab renk ölçüm test cihazı özellikleri

No	Özellikler
1	The LabScan®XE spektrofotometre 0°/45° optik geometriye sahiptir.
2	Dalga boyu aralığı 400-700 nm'dir.
3	10 nm optik çözünürlük ve raporlama aralığına sahiptir.
4	Uzun ömürlü Xenon lambalarına sahiptir.

i. Mukavemet-Uzama Tespiti

PP filament ipliklere uygulanan mukavemet-kopma uzaması testi, Uster marka Tensorapid-3 test cihazında ve BS EN ISO 2062, 1995 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Teste tabii tutulacak olan filament iplikler test cihazı kılavuzlarının arasından geçirildikten sonra, yönlendirme silindirlerinin üzerinden (cihaz her bir iplik için bir silindir olacak şekilde dizayn edilmiştir) geçirilmektedir. Sonrasında, cihaz monitörüne numunelerle ilgili bilgiler girilmekte (iplik doğrusal yoğunluğu, vb.) ve mukavemet cihazı çalıştırılmaktadır. Test başladığında öncelikle, iplik kolu ilk silindir üzerindeki ipliği otomatik olarak algılayarak almakta ve ipliği testin uygulanacağı çene bölgesine aktarmaktadır. Devamında, üst çeneye iplik sıkıştırılmakta ve kol ipliğin diğer ucunu da alt çeneye vermektedir (Çeneler arası mesafe 200 mm'dir). Bu şekilde konumlandırılan iplik, üst çene sabit ve alt çene hareketli olacak şekilde çekilmekte ve bu çekme işlemi iplik kopuncaya kadar devam etmektedir. İplik koptuğu an birinci uç iplik için test tamamlanır ve sonrasında kol ikinci iplik ucunu sisteme taşır. Bu şekilde devam eden test, tüm iplik uçları bitinceye kadar sürmektedir. Test tamamlandığında, test cihazı alarm vererek durur ve sonuçlar çıktı olarak alınır. Mukavemet ve kopma uzaması testi, her numune için beş defa tekrar edilmektedir. Ayrıca, aynı iplik bobininden üç replikasyon ile üretim gerçekleştirildiği için sonuçlar, 15 ölçümün aritmetik ortalamasından oluşmaktadır.

Şekil 3.15.'de Uster marka Mukavemet-Uzama test cihazı görselleri yer almaktadır.



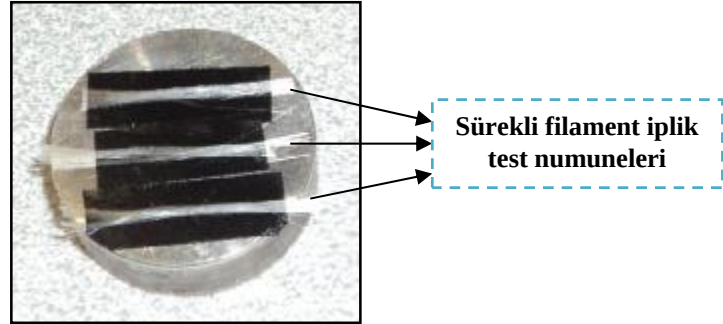
Şekil 3.15. Uster mukavemet-uzama test cihazı

j. SEM Taramalı Elektron Mikroskobu İle Görüntü Analizi

SEM cihazında görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli etkileşimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilmektedir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Ayrıca, mikroskobun sahip olduğu ayırım gücü (resolution), odak derinliği (depth of focus) ve görüntü ile analizi birleştirebilme özellikleri de taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir (www.selcukiltek.com, 2013).

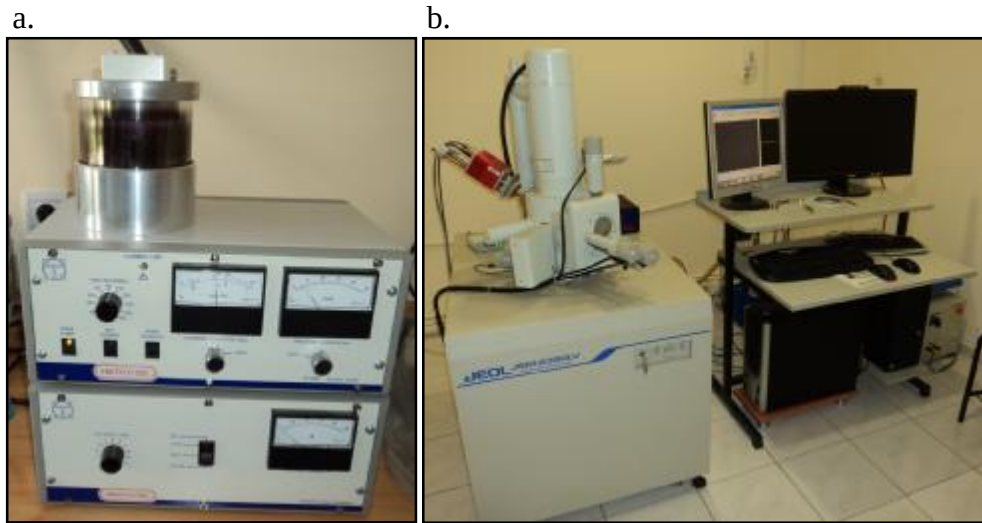
Çalışma kapsamında, Şekil 3.16.'da görülebileceği gibi, katkısız PP ve F.R. katkılı filament ipliklerden alınan 1,5 cm uzunluğundaki numuneler metal bir plaka üzerine yerleştirilmiştir. Sonrasında, numunelerin üzerindeki hava bir cihaz vasıtasıyla vakumlanarak alınmış ve aynı cihazda numunelerin yüzeyi altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır (Şekil 3.17.). Kaplama işlemi ile hazır

duruma gelen iplik numuneleri teste tabii tutulmak üzere SEM görüntü işleme cihazı numune haznesine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.16. SEM görüntü analizi için hazırlanan sürekli filament iplik test numuneleri

Bu çalışmada ikincil elektron metoduna göre çalışan ve Şekil 3.17.'de görseli verilen, Jeol marka-JSM-6390 LV model SEM cihazı kullanılmıştır. Ayrıca, sürekli filament ipliklerin görüntüleri 20 kV'da incelenmiştir.



Şekil 3.17. SEM görüntü analizi için numune hazırlama/kaplama test cihazı (a) ve SEM cihaz görseli (b)

k. EDX (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) Analizi

EDX analizi, bir numunenin elementel analizini ya da kimyasal karakterizasyonunu gerçekleştirmek için kullanılan bir test yöntemidir. EDX analizinde, numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarpmakta ve bu

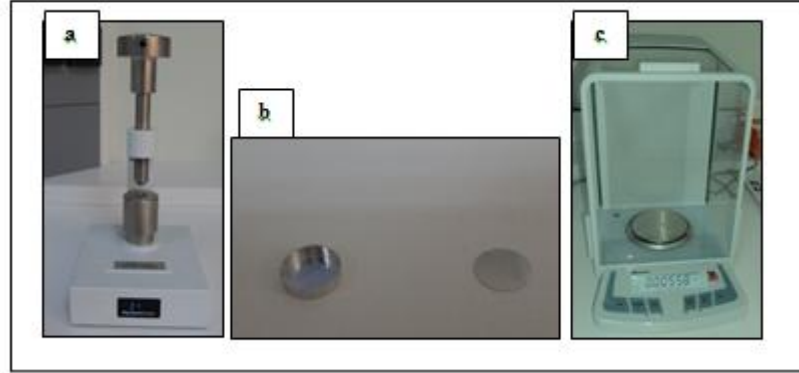
çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopmaktadır. Eğer bu elektronlar içteki (çekirdeğe yakın) orbitallerden koparılmışlarsa atomlar kararlıklarını kaybetmekte ve tekrar karalı hale gelebilmek için de dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldurmaktadırlar. Dış orbitallerdeki elektronların enerjileri iç orbitallerdeki elektronların enerjilerinden daha yüksek olduğu için dış orbital elektronları iç orbitalleri doldururken belirli bir miktar enerji kaybetmek zorundadırlar ve bu kaybedilen enerji X-ışını şeklinde ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan X-ışınlarının enerjisi ve dalga boyu ise, sadece atomla ilgili olmayıp o atomun alışverişde bulunan orbitalleri ile ilgili de karakteristik bir özelliktir (<http://www2.aku.edu.tr>, 2013).

Çalışmada üretilen PP ve çeşitli oranlardaki F.R. katkılı filament ipliklere SEM görüntü analizi testi ile birlikte aynı cihaz üzerinde EDX analiz testi de uygulanmıştır.

I. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri veya *DSC (Differential Scanning Calorimetry)* tekniği malzemelerin ısı analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. DSC yöntemi ile maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristallenme ve termal bozunma yapıları incelenmekte ve % kristalin bölge oranları belirlenebilmektedir. Ayrıca, DSC testi uygulanış prensibine göre genel olarak, “*Güç Dengelemeli*” ve “*Isı Akışlı*” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen test “Isı Akış Prensibi”ne göre gerçekleştirilmiştir.

DSC testi için deneye tabii tutulacak olan numuneden bir parça kesilmekte ve bu numune küçük alüminyum bir kaba yerleştirilmektedir. Söz konusu numunenin belirli bir ağırlıkta olması gerekmektedir ve bu ağırlık genellikle 3,5 ile 5,5 mg arasındadır. Çalışmamızda tüm numuneler için bu ağırlık yaklaşık 5 mg olarak belirlenmiştir. Sonrasında, hazırlanan numune kapsülünün tartımı oldukça hassas olan bir terazide gerçekleştirilmiştir. Söz konusu numune hazırlanmasında kullanılan kapsül ve cihazların görselleri Şekil 3.18.’de görülmektedir.



Şekil 3.18. DSC testi numune hazırlama aparat ve cihazları (a. Kapsülasyon cihazı, b. numune kapsülü c. hassas terazi)

Teste başlamadan önce numuneye ait tartım sonucu veri olarak bilgisayara girilmektedir. DSC test cihazında, hazırlanan numunenin yerleştirildiği iki adet hücre bulunmaktadır. Söz konusu bu hücrelerden sağ taraftaki hücre referans hücresidir ve bu hücre esas alınan DSC test yöntemine göre boş bırakılmıştır. Çalışmamızın materyali olan numune kapsülü ise, cihazın solunda yer alan hücreye yerleştirilmiştir. Şekil 3.19.'da çalışmada kullanılan DSC test cihazı görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.19. DSC test cihazı

DSC test cihazında bulunan numune hücresine hazırlanan bu kapsül yerleştirilmektedir. Sonrasında ise, cihaz bilgisayara işlemle ilgili olan veriler girilmektedir. Örneğin bu çalışmanın materyali Polipropilen olduğu için öncelikle numune 10°C'den -35°C'ye ve dakikada 10°C düşecek şekilde sıcaklık verileri bilgisayara kaydedilmektedir ve cihaz bu sıcaklıkta 3 dk. beklemektedir. Sonrasında, numune sıcaklığı, dakikada 10°C artacak şekilde 210°C'ye yükseltilmektedir. Sonuçta, bu test ile PP numunesinin -35°C ve 210°C arasındaki ısı analizi

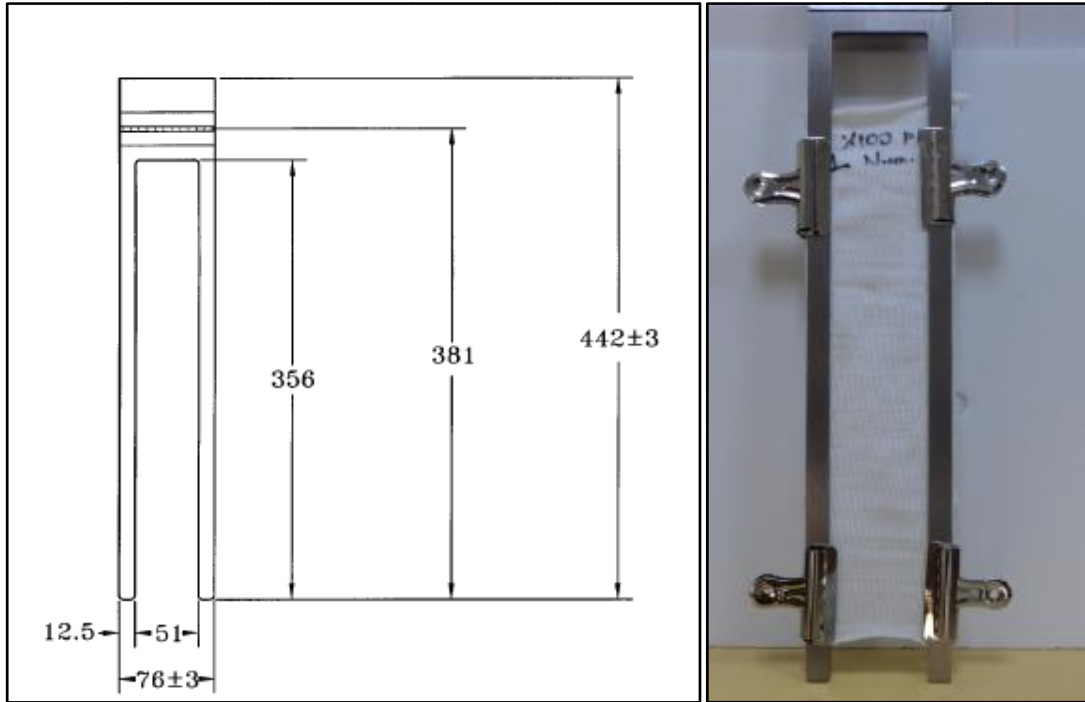
gerçekleştirilmiş ve ürünün ısı akış hızı ile sıcaklık grafiği elde edilmiştir. DSC ölçümü sonunda “*Sıcaklık-Isı Akışı Grafiği*” elde edilir. Dolayısıyla, DSC cihazı örnek ısıtılırken, soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçmektedir. Testin tamamlanmasıyla birlikte, numuneye ait ısı analiz grafiği cihaz tarafından oluşturulur. Daha sonra ürün için önemli olan sıcaklık aralığında ki bu durum çalışma numunesi için -35°C ve 210°C aralığındadır, grafik büyütülür/düzenlenir. Sonrasında, grafiğin özellikle pik yapan noktaları işaretlenir ve gerekli/önemli notlar, formüller ve veriler bu pik değerlerinin yanına eklenir ve son olarak da grafik yorumlanır. Ayrıca bu çalışmada, DSC test cihazı kullanılarak, numunelerin % kristalin bölge oranları da hesaplanmıştır.

m. Güç Tutuşurluk Test Yöntemleri

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında, güç tutuşurluk katkı maddesi içeren PP sürekli filament iplikler test çalışmaları için örme kumaş formuna getirilmiştir. Daha sonra bu örme kumaş numunelerine güç tutuşurluk özelliklerinin araştırılması için Dikey Yanmazlık ve Limit Oksijen İndeks (LOI) testleri uygulanmıştır. Aşağıda bu testlerle ilgili açıklamalar yer almaktadır.

§ Dikey Yönde Yakma Testi

Dikey yanmazlık testine tabii tutulmak üzere örme kumaş formuna getirilen numuneler, ASTM D6413 test standardına göre 300 mm*76 mm ebatlarında hazırlanmışlardır. Ardından kumaşlar numune tutucuya yerleştirilmiştir. Numune tutucu ölçülerine ait genel bir teknik çizim ve test çalışmaları sırasında hazırlanan bir kumaş numunesi görseli Şekil 3.20.’de verilmiştir.



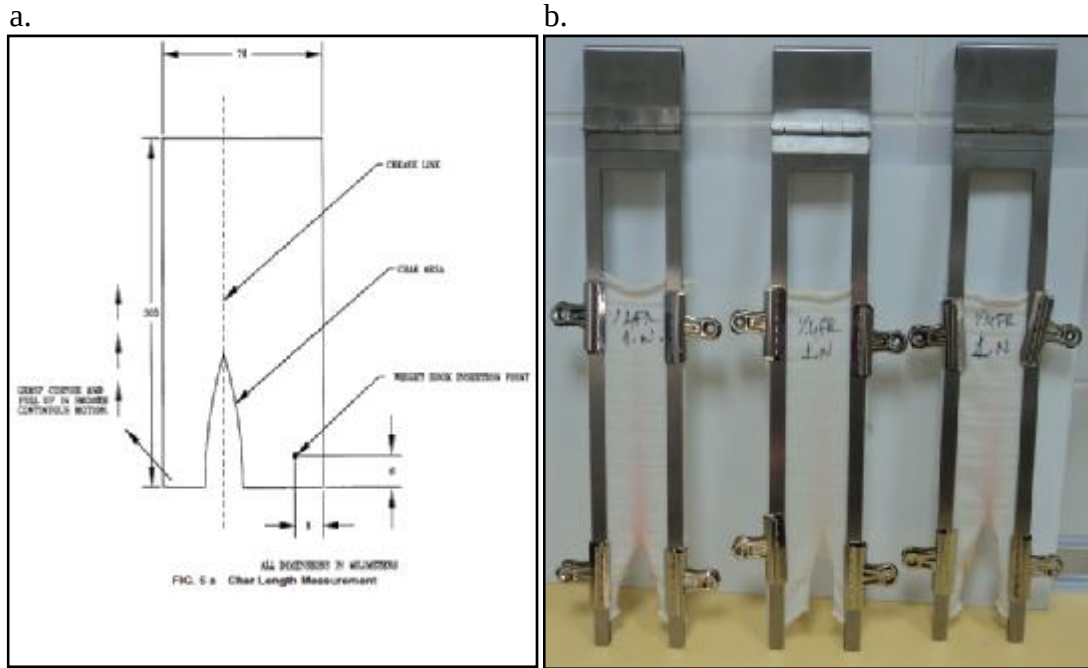
Şekil 3.20. Dikey yakma testi numune tutucu ölçüleri (ASTM D 6413, 2011)

Örme kumaş numunelerine uygulanan dikey yakma testi Atlas Marka Fire Science Product-AGC Automic Gas Control cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.21.'de cihazın test kabini ve ilgili bölümleri yer almaktadır.



Şekil 3.21. Dikey yönde yakma testi kabini

Çalışmada hazırlanan örme kumaş numuneleri dikey yanmazlık test kabine yerleştirilmiştir. Ardından, kumaşın orta alt noktasında bulunan alev beki yakılmış ve kumaş 12 saniye boyunca 19 mm uzunluğundaki aleve maruz bırakılmıştır. 12 saniyelik sürenin ardından alev beki sönmekte ve kumaşın yanmaya devam eden süresi kronometre ile ölçülmektedir. Ayrıca, söz konusu yanma süresi boyunca kumaşın yanma davranışı da izlenmekte ve kumaşta damlama olup olmadığı not edilmektedir. Test sonunda, kumaşın kömürleşme uzunluğu olarak tanımlanan yanan kısmı ölçülmektedir. Test her bir numune için dokuz defa tekrar edilmiş olup, sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 3.22.'de kömürleşme uzunluğu ölçümü ve test sonrasında fotoğraflanan bir grup numune kumaş görseli yer almaktadır.



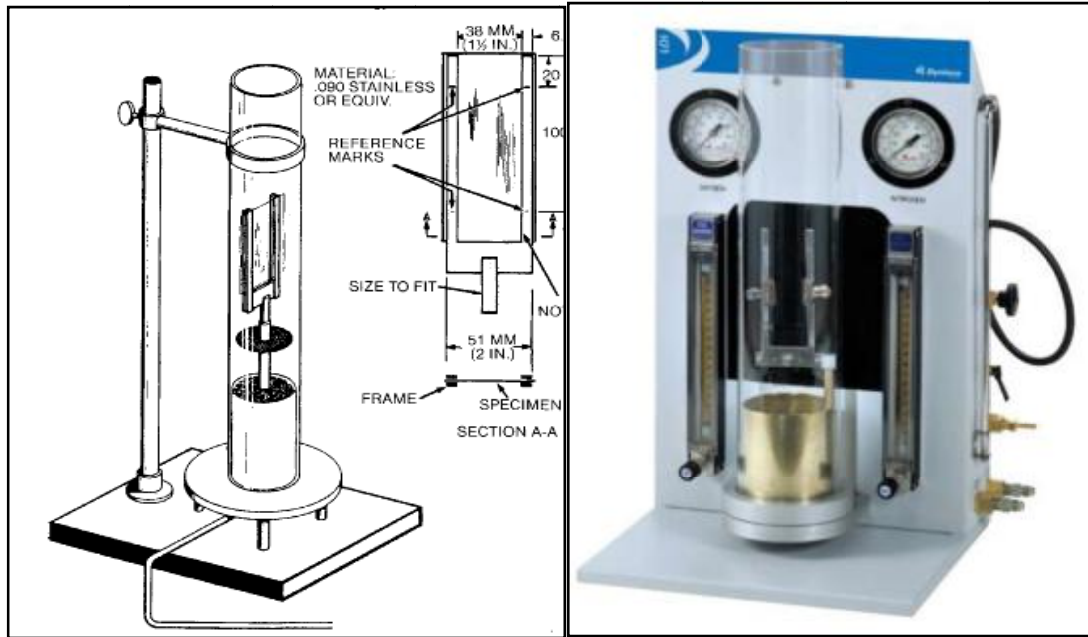
Şekil 3.22. Kömürleşme uzunluğunun şematik gösterimi (a. Kumaş kömürleşme uzunluğu teknik çizimi, b. test sonrası kumaşların kömürleşme uzunlukları) (ASTM D 6413, 2011)

§ Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi

LOI test metodu malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini görme açısından en iyi test metotlarından birisidir. LOI değeri, bir materyalin havada

yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu “%” olarak oksijen miktarı anlamına gelmektedir. Yüksek LOI değeri standart atmosfer ortamlarında o malzemenin daha zor yanma karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. LOI değeri 25’ten büyük olan materyal havada genelde kendiliğinden sönmekte; 25’ten küçük olanlar ise çok kolay yanmaktadır (Öz, 2006).

Çalışmada örme kumaş numunelerine uygulanan LOI testi ASTM-D2863 test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Standartta göre test numuneleri 140*52 mm ebatlarında hazırlanarak numune tutucuya dikey olarak yerleştirilmiştir (ASTM D2863–10, 2009). Test her bir numune için dokuz defa tekrar edilmiş olup, sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Çalışmada kullanılan LOI test cihazına ait görseller Şekil 3.23.’de verilmiştir.



Şekil 3.23. Çalışma kapsamında kullanılan LOI test cihazı (ASTM D2863–10, 2009)

Çalışma kapsamında uygulanan testte prensip olarak öncelikle, küçük bir deney numunesi, içerisinden yukarı doğru bir oksijen ve azot karışımı geçen şeffaf bir baca içine düşey olarak yerleştirilmiştir. Ardından, deney numunesinin üst ucu tutuşturulmuş ve deney numunesinin yanma davranışı gözlemlenmiştir. Testte kullanılan polimerik malzeme PP esaslı olduğu için, ortamdaki oksijen miktarı %18 olarak ayarlanarak teste başlanılmıştır. Sonrasında, numunenin bu konsantrasyonda

yanmadığı gözlemlendiğinde, ortamdaki oksijen miktarı artırılmıştır. Sonuçta, numune yandığında ortamda bulunan oksijen miktarı numunenin LOI değerini vermiştir. Deneyde söz konusu numunenin sahip olduğu LOI değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$LOI\% = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100 \quad (3.1.)$$

Çalışmada PP filament ipliklere ve örme kumaş numunelerine uygulanan testler yukarıda özetlenmiştir. Çizelge 3.6.'da, çalışmanın materyalleri ile ilgili genel bilgiler ve gerçekleştirilen test bilgileri özetlenmiştir.

Çizelge 3.6. Çalışma kapsamında kullanılan materyal bilgileri ve test yöntemleri

Özellik	Açıklama
Polimer Cinsi	İzotaktik Polipropilen
İplik Doğrusal Yoğunluğu	918 denye
Filament Kesit Şekli	Round
Filament Sayısı	72*2
Materyal Türü	Sürekli Filament İplik ve Örme Kumaş
Güç Tutuşurluk Katkı Maddesi Özelliği ve Kullanım Miktarları	Fosfonat Esaslı Güç Tutuşur Katkı Maddesi %1, %2, %3, ...%8
Sürekli Filament İplik Bobin Ağırlığı	3 kg
Replikasyon Sayısı	3
Sürekli Filament İpliklere ve Örme Kumaş Numunelerine Uygulanan Testler	- İplik Doğrusal Yoğunluk Tespiti Testi, - Finish (Yağlayıcı) Madde Miktarı Tespiti, - Elyaf Enine Kesit Şekli Tayini ve Toplam Filament Sayısı Tespiti Testi, - Örme Kumaş Gramajı Tespiti Testi, - İplik Punto Sayısı Tespiti Testi, - İplik Düzgünsüzlük Testi, - İplik Renk Ölçümü Testi, - Mukavemet-Kopma Uzaması T. (cN/tex-%), - SEM Görüntü Analizi Testi, - EDX Analizi ile Partikül İçeriği Belirleme Testi, - DSC Testi, - Güç Tutuşurluk Tespiti Testi, ■ Dikey Yanmazlık Testi ve ■ Limit Oksijen Index Testi

3.2.5. İstatistiksel Analiz

Tez çalışmasında ulaşılan test sonuçlarının değerlendirilmesi için istatistiksel yaklaşımlardan yararlanılmıştır. Uygulanan testlere ve karşılaştırılmak istenen verilerin durumuna uygun olarak belirlenen istatistiksel yaklaşım Tek Yönlü Varyans Analizidir. Söz konusu bu analiz yöntemi ile ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

3.2.5.1. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Çalışma test sonuçlarının değerlendirilmesi amacı ile kullanılan istatistiksel analiz metodu Tek Yönlü Varyans Analizi (One Way ANOVA)'dır. Varyans analizi aynı şartlarda elde edilen veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olup olmadığını tespit etmeye yönelik gerçekleştirilen bir analiz yöntemidir. Bu çalışmanın konusu olan güç tutuşurluk katkı maddesi oranındaki değişimin örme kumaş özelliklerine etkisi bu yöntem ile analiz edilmiştir.

Tek yönlü varyans analizinde, bağımsız ve bağımlı olmak üzere iki temel değişken bulunmaktadır. Bağımsız değişkenler, faktör değişken olarak da nitelendirilmektedir. Çalışmada bağımsız değişkeni “Katkı Maddesi Oranı” oluştururken, örme kumaşlar için bağımlı değişkenler ise; dikey yanmazlık test sonuçlarıdır. Bu bilgiler ışığında, %95’lik güvenilirlik aralığında farklı katkı maddesi oranlarının örme kumaş özellikleri üzerindeki etkisinin anlamlı olup olmadığı incelenmiştir.

Varyans analizinde sonuçlar arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla iki hipotez kurulmuştur. Bunlardan ilki H_0 hipotezi, ikincisi ise H_1 hipotezidir. H_0 hipotezi aynı şartlarda elde edilen veriler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığını savunurken, H_1 hipotezi veriler arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu savunmaktadır. H_0 hipotezinin doğruluğu kanıtlanamazsa bu durumda H_1 hipotezi kanıtlanır. Dolayısıyla, aynı şartlarda elde edilen iki farklı veri tablosu arasında fark vardır tezi kanıtlanmış olur.

Üzerinde çalışılan tek yönlü varyans analizi ana etkiler modeli ve değişkenlerin tanımlanması aşağıda yer almaktadır.

Ana Etkiler Modeli;

$$Y = \mu + \alpha + \varepsilon$$

şeklinde oluşturulmaktadır (Kalaycı, 2006). Formülde;

Y : İstatistiksel analiz bağımlı değişkenleri (Yanma uzunluğu, vb.),

μ : Sabit terim,

α : Katkı maddesi oranı,

ε : Hata'yı ifade etmektedir.

Yukarıda yer verilen ana etkiler modeline bağlı olarak oluşturulan hipotezler ise aşağıda yer almaktadır.

- a.** ‘Sabit terim (μ) modelde yer almalı mıdır?’ sorusuna yönelik oluşturulan ilk hipotez çifti aşağıda yer almaktadır.

$H_0 : \mu = 0$ (Sabit terimin modele katkısı yoktur).

$H_1 : \mu \neq 0$ (Sabit terimin modele katkısı vardır).

- b.** Katkı maddesi oranının ürün özellikleri (Güç tutuşurluk özellikleri) üzerindeki etkisi anlamlı mıdır?’ sorusuna yönelik oluşturulan ikinci hipotez çifti aşağıda yer almaktadır.

$H_0 : \alpha = 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı yoktur)

$H_1 : \alpha \neq 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı vardır)

Yukarıda prensibi verilen istatistiksel analiz modeline göre SPSS 15.0 paket programında analiz edilerek bulunan test sonuçları, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde irdelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretimi tamamlanan filament iplik ve örme kumaş numunelerine bazı fiziksel, kimyasal ve termal testler uygulanmıştır. Testlere başlamadan önce bütün numuneler standart ortam şartları olan, $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklıkta ve $\%65 \pm 2$ bağıl nemde iklimlendirilmiştir. Materyallere uygulanan tüm testlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesine bu bölümde yer verilmiştir.

Çalışmada iplik numunelerine uygulanan doğrusal yoğunluk tespiti, iplik enine kesit şekli ve filament sayısı tayini testi, iplikte finish (yağlayıcı) madde miktarı tespiti, iplik punto sayısı tespiti ve düzgünsüzlük testi üretilen ürünlere kazandırılmak istenen özelliklerin kontrolü amacıyla uygulanmıştır. Bununla birlikte, mukavemet-kopma uzaması, iplik renk ölçümü testi, SEM ve EDX analiz testleri, DSC (Differential Scanning Calorimeter) testi, dikey yanmazlık testi ve limit oksijen index testi ise, etkisi incelenmek istenen özelliklerin tespiti için gerçekleştirilmiştir. Üretimi tamamlanan filament ipliklere istenen/belirlenen özellikleri sağlayıp sağlamadıklarının kontrolü için uygulanan söz konusu bu testlerle ilgili açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

4.1. Sürekli Filament İplik Doğrusal Yoğunluğu, Filament Sayısı ve Kesit Şekli Tayini

Filament ipliklerin sahip olduğu doğrusal yoğunluk, filament sayısı ve kesit şekli gibi özellikler, iplik yapısal özelliklerini belirleyen başlıca üretim parametrelerindendir. Bu özelliklere dair gerçekleştirilen testler ve sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

a. Doğrusal Yoğunluk Tayini

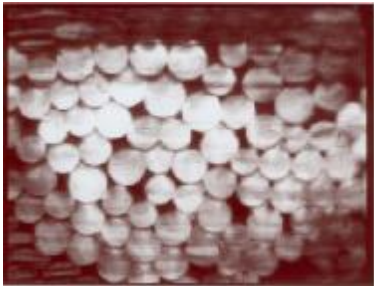
PP filament iplik üretiminde kullanılan çeşitli üretim parametreleri (düze özellikleri, pompa hızı, godet hızları, vb.), elde edilmek istenilen iplik doğrusal yoğunluğuna göre ayarlanmış olup, sonrasında da üretilen sürekli filament ipliklere doğrusal yoğunluk testleri uygulanmıştır.

Tez çalışması kapsamında üretilen filament iplik doğrusal yoğunluk değerleri denye cinsinden hesaplanmış olup, ölçümler BS EN ISO 2060, 1995 test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre üretilen PP ve güç tutuşur madde (F.R.) katkılı filament ipliklerin ortalama **918 denye** doğrusal yoğunluk değerine sahip oldukları görülmüştür.

b. Lif Enine Kesit Şekli ve Filament Sayısı Tespiti

Yürütülen araştırma kapsamında laboratuvar ortamında üretimleri yapılmış olan iplikleri oluşturan filamentlerin kesit şekillerini kontrol etmek amacıyla bir seri çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen kesit şekline ait görüntü ve diğer iplik özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada üretilen ipliklerin yapısal özellikleri

İplik Türü	İplik Doğrusal Yoğunluğu	Kesit Şekli Görüntüsü	Filament Sayısı
Sürekli Filament İplik	918 denye		144 adet (72*2)

4.2. Sürekli Filament İpliklerde Yağlayıcı Madde Miktarı Tayini

Filament ipliklere üretimleri esnasında, belirli oranda yağlayıcı madde applike edilmiş olup, ipliklerin üretim sonrası söz konusu bu özelliği kontrol amaçlı test edilmiştir. Bu test için Oxford MQA 7020 cihazı kullanılmış ve çalışma BS 3582, 1981 test standardına göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, PP filament ipliklerin ortalama %1,8 oranında yağlayıcı madde içerdiği tespit edilmiştir.

4.3. Sürekli Filament İpliklerde Ön Punto Sayısının Tespiti

PP filamentlerin ön punto sayısını tayin etmeye yönelik yürütülen çalışma “Rothschild Entanglement Tester R-2070” cihazında ve testin yapıldığı işletmenin kullandığı “Internal Method” yöntemine göre uygulanmıştır. Çizelge 4.2.’de ön punto sayısı sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.2. Sürekli filament ipliklerin ön punto sayıları

İplik Türü	İplikte Ön Punto Sayısı Test Sonuçları (adet/metre)			
	Test-1	Test-2	Test-3	Ortalama
Katkısız PP	10.5	10.3	9.5	10.1
% 1 F.R.	10.4	11.1	9.0	10.2
% 2 F.R.	10.4	14.6	8.1	11.0
% 3 F.R.	8.2	9.7	8.8	8.9
% 4 F.R.	8.9	11.8	9.5	10.1
% 5 F.R.	8.7	10.5	10.0	9.7
% 6 F.R.	10.2	8.2	11.5	10.0
% 7 F.R.	14.1	10.4	11.5	12.0
% 8 F.R.	7.5	8.3	11.9	9.2

Gerçekleştirilen araştırmalar sonucu, filament iplik üretim işletmelerinde ipliklerin bir metredeki ön punto sayısının 10 ± 5 olmasının optimum bir değer olarak kabul edildiği görülmüştür. Dolayısıyla, çalışma kapsamında gerçekleştirilen

üretimlerde ipliklere 10 ± 5 oranında ön punto verilmesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.2. incelendiğinde, test sonuçlarının bu hedefe uygun bulunduğu görülmektedir.

4.4. Sürekli Filament İpliklerin Düzgünsüzlük Test Sonuçları

Filament ipliklerde düzgünsüzlük tespiti, genellikle Uster marka test cihazı ile gerçekleştirildiği için çoğu zaman bu test, “Uster Düzgünsüzlük Testi” olarak da bilinmektedir. Söz konusu bu testte amaç, ipliğin kondansatörden geçerken yapısındaki değişiklikleri yani iplik yüzey düzgünsüzlüklerini kütesel olarak ölçmektir.

Çalışmada PP filament ipliklerde düzgünsüzlük tespiti, DIN 53817 standardına göre ve her bir numune için 100 metrede ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, teste başlamadan önce tüm numuneler standart ortam şartlarında kondisyonlanmıştır.

Çizelge 4.3.’de katkısız PP ve F.R. katkılı ipliklerin düzgünsüzlük test sonuçları yer almaktadır.

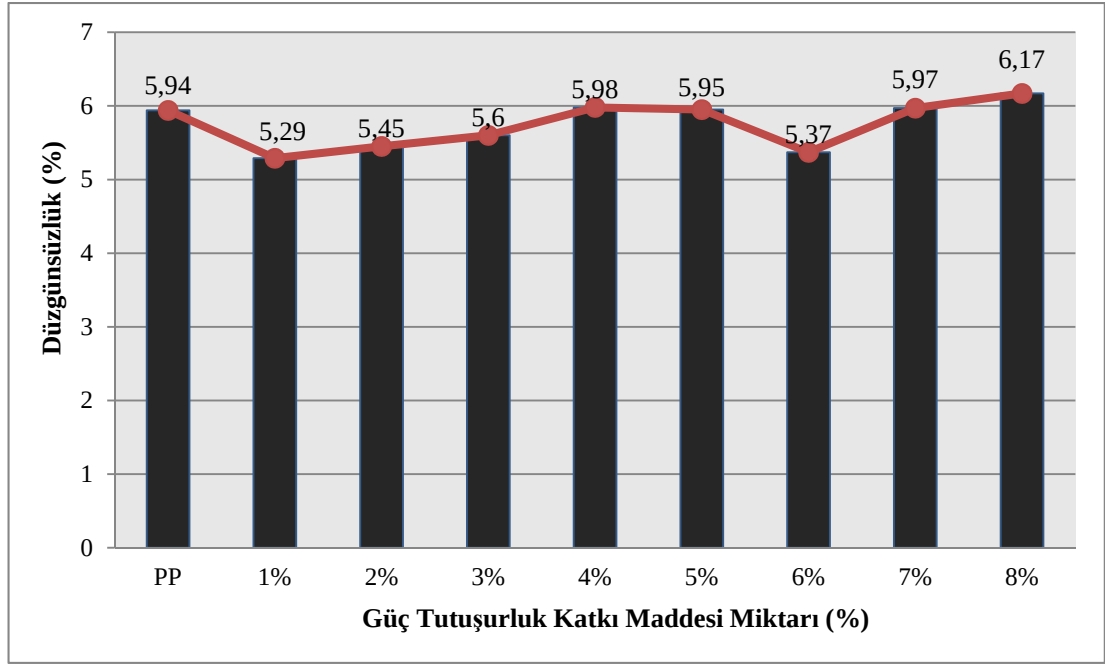
Çizelge 4.3. Sürekli filament iplik düzgünsüzlük (%) test sonuçları

No	İplik Türü	Uster (%)	CVm (%)
1	Katkısız PP	5,94	7,49
2	% 1 F.R.	5,29	6,63
3	% 2 F.R.	5,45	6,88
4	% 3 F.R.	5,60	6,95
5	% 4 F.R.	5,98	7,53
6	% 5 F.R.	5,95	7,41
7	% 6 F.R.	5,37	6,64
8	% 7 F.R.	5,97	7,50
9	% 8 F.R.	6,17	7,63

Çizelge 4.3.’de çalışma kapsamında üretilen ipliklerin uster düzgünsüzlük (%Um) sonuçları ile % kütesel düzgünsüzlük katsayısı olan (%CVm) değerleri görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak % Uster değerlerinin

%5,3-%6,2 arasında, ortalama %CVm değerlerinin ise %6-%7,6 arasında olduğu görülmektedir.

Şekil 4.1., F.R. katkı maddesi ilave edilerek üretilmiş olan ipliklerin Uster düzgünsüzlük (%Um) değerlerindeki değişimi göstermektedir.



Şekil 4.1. F.R. katkı maddesi oranının iplik düzensizlik (%Um) değerine etkisi

Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren filament ipliklerin % olarak düzensizlik değerlerindeki değişim incelendiğinde, katkı maddesi oranındaki değişim, iplik düzensizlik değerlerini belirli bir yönde (artış ya da azalış) değiştirmemiştir. Dolayısıyla, filament iplik düzensizlik değerleri arasında bir miktar farklılık olduğu ancak bu değişikliğin F.R. maddesi oranından bağımsız olduğu söylenebilmektedir.

4.5. Sürekli Filament İpliklerin Renk Ölçümü Test Sonuçları

Çalışmada, F.R. katkı maddesi eklenerek üretilen filament ipliklerin renklerinde, katkısız PP referans ipliğe göre belirgin değişimler gözlemlenmiştir. Ayrıca, söz konusu bu değişimlerin katkı maddesi oranındaki değişimle de

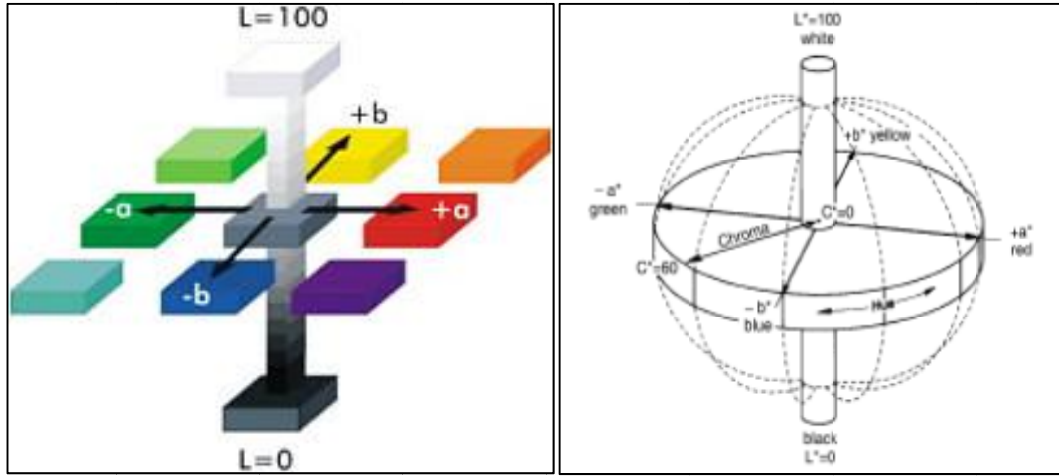
farklılaştığı görülmüştür. Bu yüzden hem çalışmada kullanılan PP cipsin ve yine cips formundaki F.R. katkı maddesinin hem de üretilen filament iplik numunelerinin renk değerlendirmeleri kalitatif ölçüm yapan Hunter-Lab LabScanXE marka bir ışık kabini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, tüm numunelere ait L, a ve b renk değerleri elde edilmiştir.

Katkısız PP ve Güç tutuşur (F.R.) madde katkılı filament iplikler ile iplik üretiminde kullanılan PP cips ve güç tutuşur katkı maddesine ait L, a, b renk değerleri Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sürekli filament ipliklerin renk ölçümü test sonuçları

No	İplik Türü	L (%)	a (-a: Yeşillik, +a: Kırmızılık)	b (-b: Mavilik, +b: Sarılık)
1	PP Cips	72,72	-0,34	-0,59
2	Güç Tutuşur K.M.	59,4	6,15	16,21
3	Katkısız PP	82,76	0,1	0,42
4	% 1 F.R.	81,62	0,16	2,59
5	% 2 F.R.	80,63	0,35	3,8
6	% 3 F.R.	79,41	0,48	4,68
7	% 4 F.R.	78,64	0,57	5,15
8	% 5 F.R.	77,51	0,80	5,6
9	% 6 F.R.	76,78	0,86	5,98
10	% 7 F.R.	76,05	0,93	6,2
11	% 8 F.R.	75,45	1,02	6,49

CIE Lab renk uzayının bileşenleri değer (L: lightness), tonlama ve doygunluk (a, b)'dur. L, bir rengin açıklığını/aydınlığını, a ve b ise rengini oluşturmaktadır. Bu değerler CIE XYZ renk uzayına bağımlı olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için gerekli ilişki beyazın CIE XYZ uzayındaki değerleriyle sağlanmaktadır. Şekil 4.2. incelendiğinde, L değerinin 0-100 arasında değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte, materyallerin renk tonunu belirlemek için de genellikle a* ve b* renk değerleri kullanılmaktadır. Şekil 4.2.'deki üç boyutlu renk düzlemine göre, a* değeri arttıkça rengin kırmızıya, azaldıkça yeşile, b* değeri arttıkça ise rengin sarıya ve azaldıkça da maviye yöneldiği görülmektedir. Ayrıca, a ve b değerleri -128 ve +127 değerleri arasında değişmektedir (Yılmaz, 2002).



Şekil 4.2. Üç boyutlu renk düzlemi (Yılmaz, 2002)

Ayrıca Çizelge 4.4.'e bakılarak, ipliğin ihtiva ettiği güç tutuşurluk katkı maddesi arttıkça, L aydınlık değerinin azaldığı görülmektedir. Söz konusu F.R. katkı maddesinin %L değeri, %59,4 olarak hesaplanırken, PP cipsin %L değeri ise %72,72 olarak hesaplanmıştır. Sonuçta, F.R. katkı maddesinin aydınlık değeri düşük sayılabilecek bir değer olduğu için iplik üretiminde kullanılan katkı maddesi miktarı arttıkça iplik %L değeri azalmıştır. PP cipsin a renk değerinin yeşil tonda olduğu, F.R. katkı maddesi ve katkısız PP ipliğin ise kırmızı tonda olduğu görülmektedir. Bununla birlikte katkı maddesi miktarındaki artış, ipliklerin kırmızılık (+a) değerini yükseltmiştir. Çalışmada, kırmızı ton renk değeri yüksek olan F.R. maddesi, yeşil tonda olan PP cips ile ekstrüderde karıştırılarak üretimler gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, filament ipliklerin kırmızılık renk tonu değeri F.R. katkı maddesindeki artışla yükselmiştir. Grafikte yer alan “b” değerleri incelendiğinde ise, PP cipsin “b” renk değerinin mavi tonda olduğu, F.R. katkı maddesi ve katkısız PP ipliğin ise sarı tonda olduğu görülmektedir. Ayrıca, katkı maddesi miktarındaki artış, ipliklerin sarılık (+b) değerlerini arttırıcı yönde etki yaptığı da görülmektedir. Sonuçta, filament ipliklerin sarılık renk tonu değerinin, F.R. katkı maddesindeki artışla yükselmiş olduğu anlaşılmaktadır.

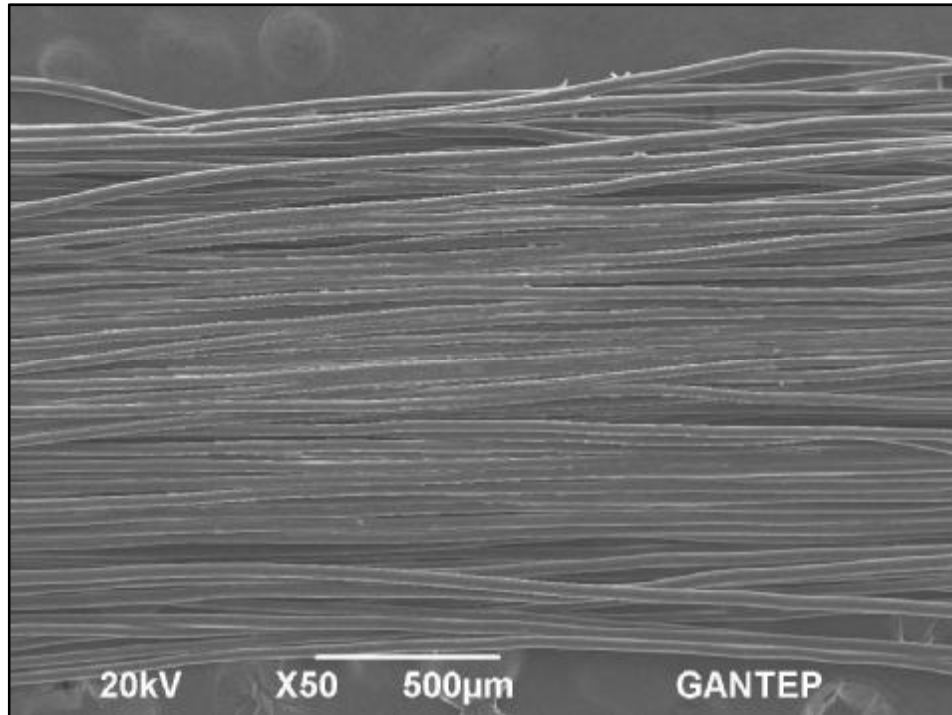
Son yıllarda özellikli yapay iplikler üretebilmek için polimerden katkılı üretimler gündeme gelmektedir. Bu tür üretimlerde fonksiyonel özellik için ilave edilen katkı maddesinin son ürünlerde işlenebilme ve kullanım açısından oluşturacağı

yerine göre olumlu yerine göre de olumsuz etkilerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

4.6. Sürekli Filament İpliklerin SEM Görüntüleri ve EDX Analiz Sonuçları

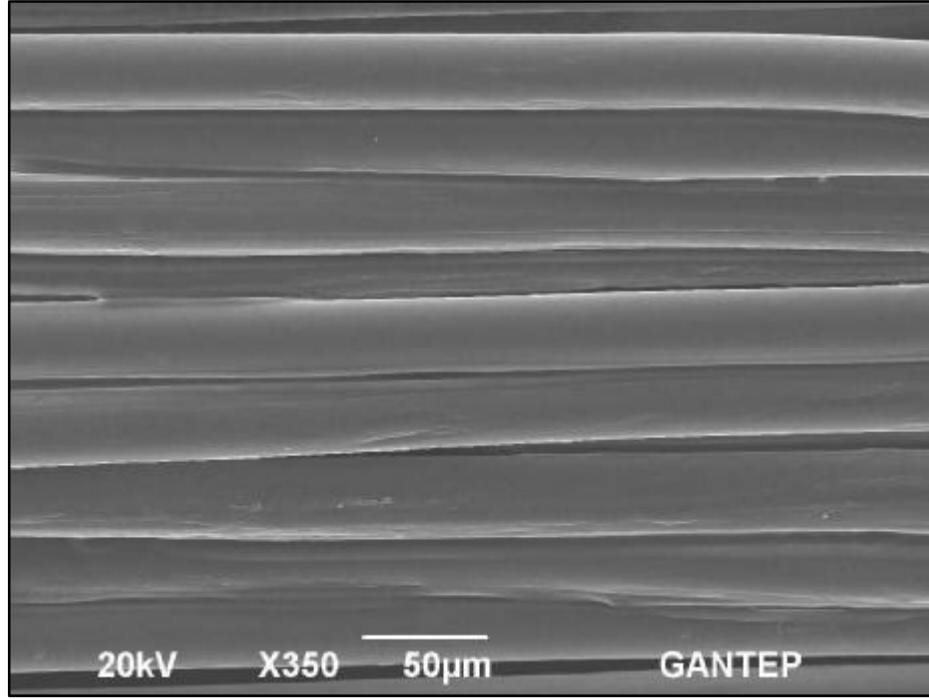
Katkısız PP ve çeşitli oranlarda F.R. katkı maddesi içeren PP filament ipliklerin SEM cihazında 20 kV'de, çeşitli büyütme oranlarında (X50, X350 ve X2000) iplik boyunca yüzey görüntüleri oluşturulmuştur. Ayrıca, katkı maddesi içeren sürekli filament iplikler EDX analizine de tabi tutulmuştur. Söz konusu numunelere ait iplik uzunluğu doğrultusunda çekilen bu SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları bu bölümde yer almaktadır. Görüntüler çalışmanın tüm numuneleri için oluşturulmuş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Şekil 4.3.'de, katkısız PP filament iplik filamentlerinin genel görünümü X50 büyütme oranıyla verilmiştir.



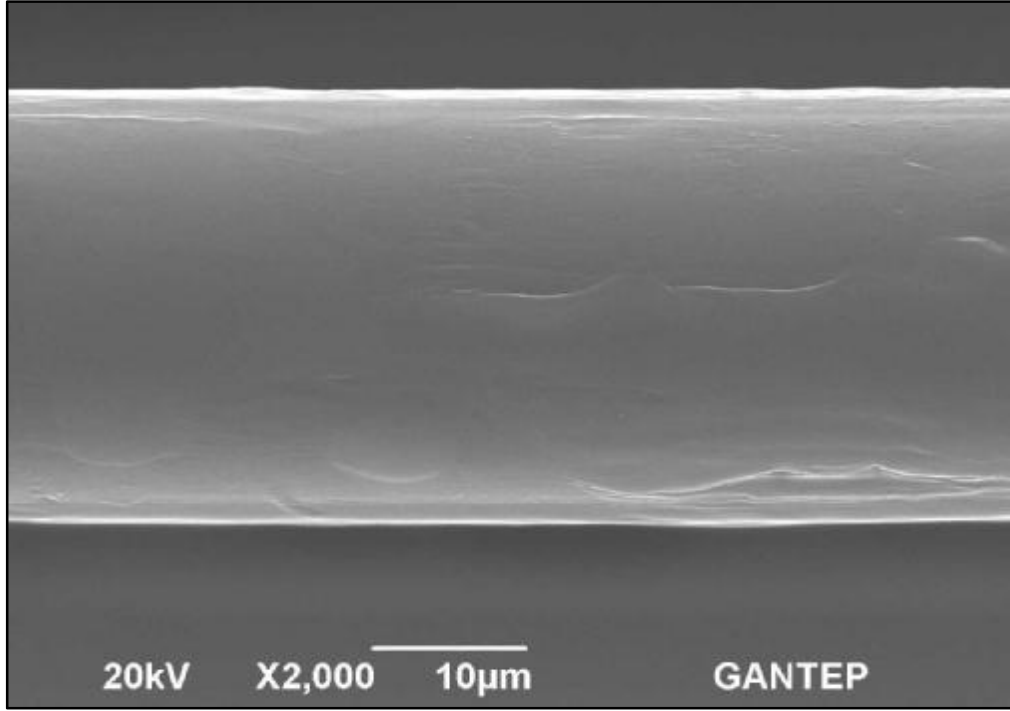
Şekil 4.3. Katkısız PP filament iplik SEM görüntüsü (X50 büyütme oranı)

Şekil 4.4.'de ise, katkısız PP filament ipliğin X350 büyütme oranıyla elde edilmiş yüzey görüntüsü verilmiştir. Şekilden, PP monofilamentlerin düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Katkısız PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

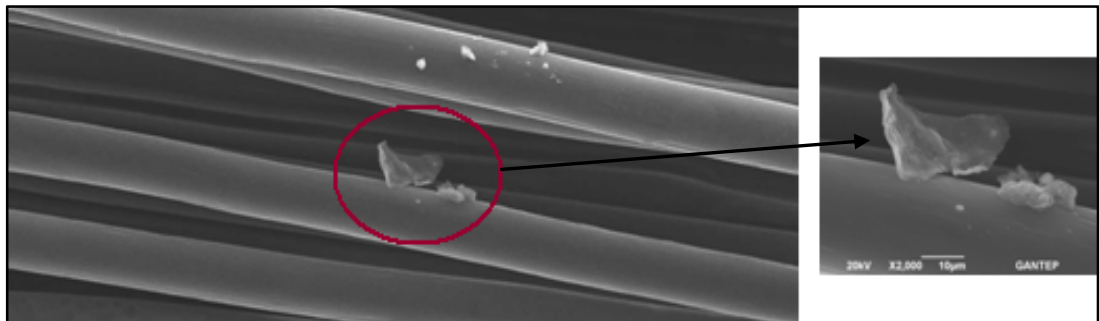
Şekil 4.5. ise, katkısız PP ipliğin tek bir filamentinin X2000 büyütme oranıyla elde edilmiş görüntüsü yer almaktadır. Şekilden; ipliği oluşturan tek bir filamentin uzunluğu boyunca düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Katkısız PP filament iplik SEM görüntüsü (X2000 büyütme oranı)

Yapılmış olan bu çalışmalarda amaç, herhangi bir katkı maddesi ilave etmeyen ipliklerin yüzey görüntülerinde tahmin edilen düzgünlük durumunun gerçekten yakalanıp yakalanmadığını gözlemlemektir. Böylece daha sonra, üretimleri yapılmış olan katkılı ipliklerin yapılarında ne tür bir değişiklik olup olmayacağını görmek mümkün olacaktır.

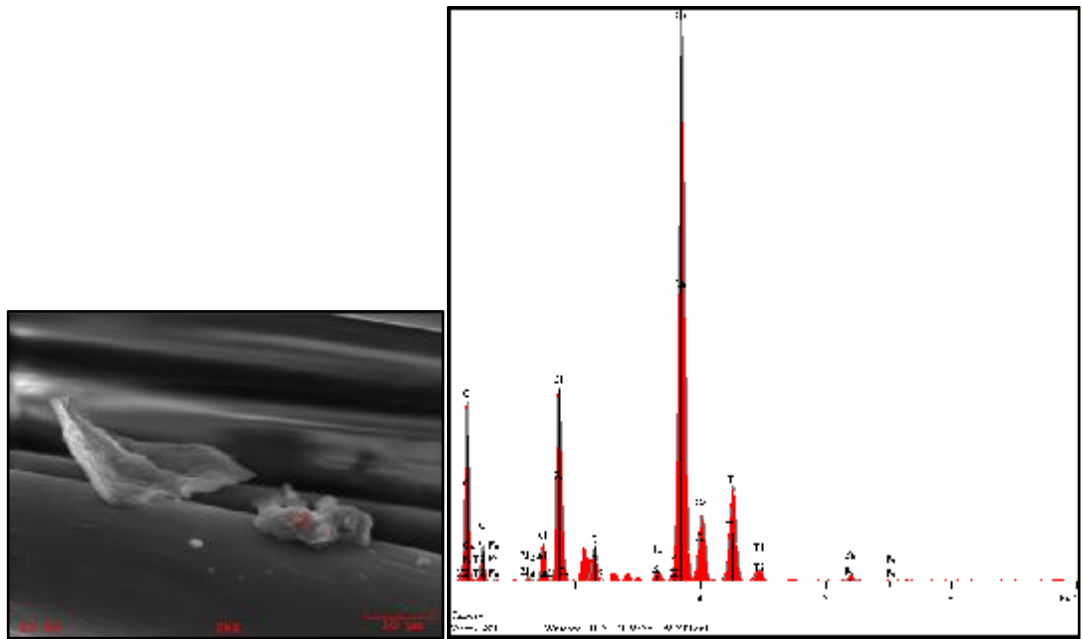
Şekil 4.6.'da %1 F.R. katkılı filament ipliğin X350 büyütme oranında yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6. %1 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekilden, filament iplik yapısına tam olarak nüfus etmemiş ve iplik yüzeyinde kalıntı şeklinde belirmiş olan F.R. katkı maddesi görülmektedir. Katkı maddesinin iplik yapısına tam olarak nüfuz etmeyerek iplik yüzeyinde bulunması homojen olmayan bir iplik yapısına sebep olacağı ve bu düzensizliklerin bir araya gelerek yığılaşan partiküllerin aglomerasyon oluşturacağı bilinmektedir.

Ayrıca, %1 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiği Şekil 4.7.'de ve analiz sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.



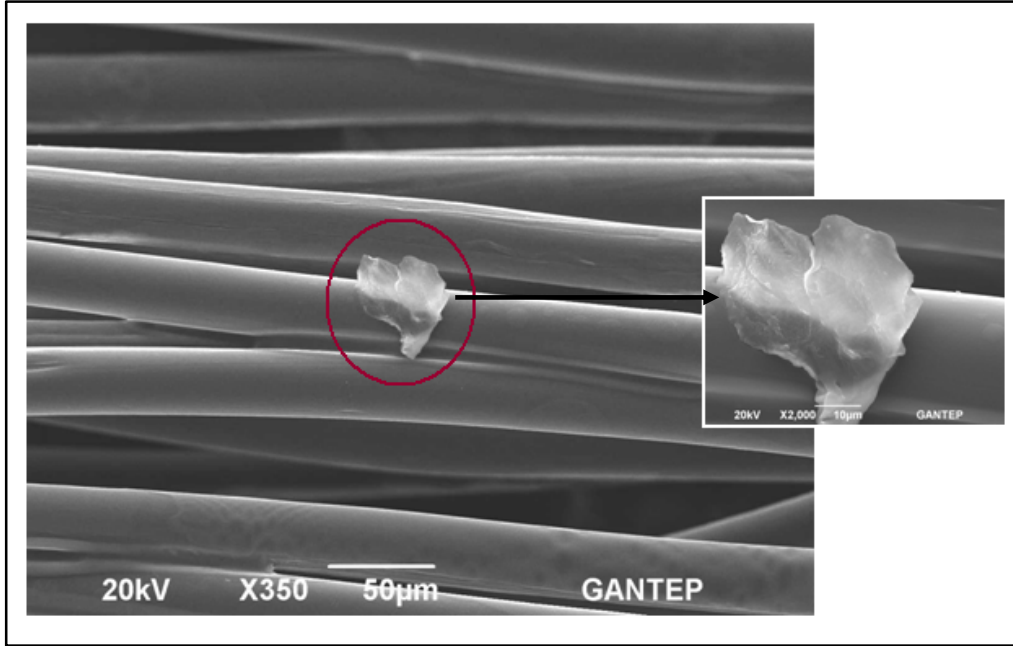
Şekil 4.7. %1 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.5. %1 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	74.71	23.506	wt.%	1.127	0.121
O	Ka	14.98	9.848	wt.%	2.939	0.256
Mg	Ka	2.01	0.202	wt.%	16.216	0.078
Al	Ka	18.47	1.629	wt.%	3.154	0.085
Si	Ka	101.15	8.355	wt.%	1.104	0.090
S	Ka	21.53	1.866	wt.%	3.257	0.112
K	Ka	6.28	0.618	wt.%	7.833	0.108
Ca	Ka	369.26	41.639	wt.%	0.516	0.125
Ti	Ka	67.38	11.161	wt.%	1.306	0.148
Fe	Ka	4.08	1.175	wt.%	8.493	0.217
			100.000	wt.%		

Çizelgede yer alan sonuçlar incelendiğinde, %1 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün Kalsiyum (Ca), Karbon (C), Titanyum (Ti) ve Oksijen (O)’den oluştuğu anlaşılmaktadır.

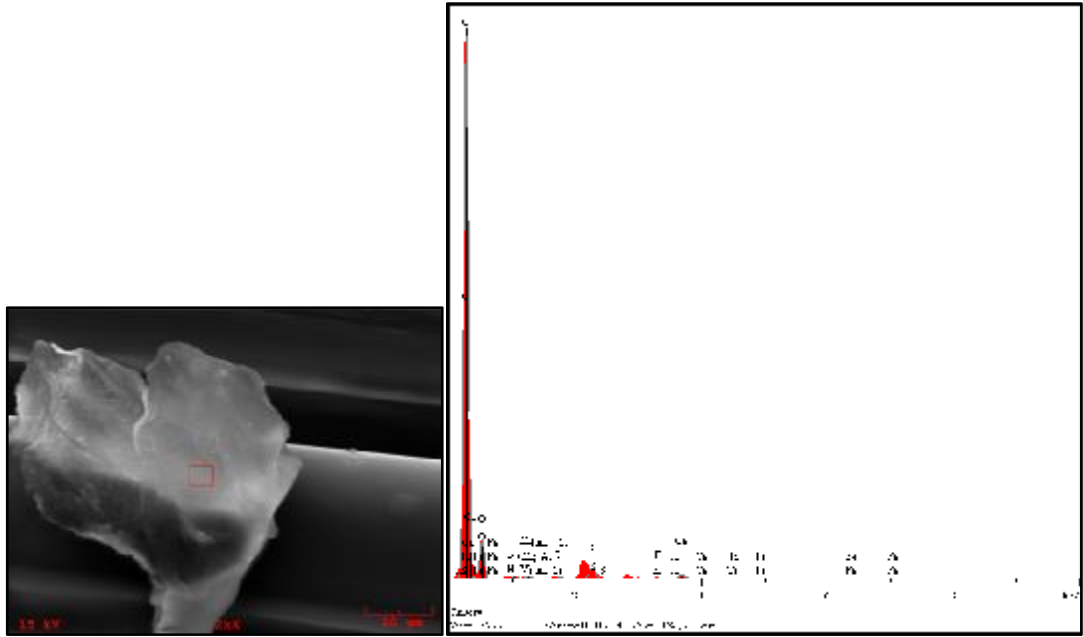
Şekil 4.8.’de ise, %2 F.R. katkılı filament ipliğin X350 büyütme oranında yüzey görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.8. %2 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekilden, %2 F.R. katkılı iplik yüzeyinde katkı maddesi olduğu anlaşılan bir partikül görülmektedir. İplik yüzeyinde birikmiş söz konusu bu katkı maddesinin büyüklüğü dikkat çekicidir. Ayrıca bu durum, aglomerasyonun iplik yüzeylerinde farklı büyüklüklerde ve farklı sıklıklarda oluşabileceğini de göstermektedir.

Şekil 4.9.'da %2 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiği ve sonuçları da Çizelge 4.6.'da yer almaktadır.



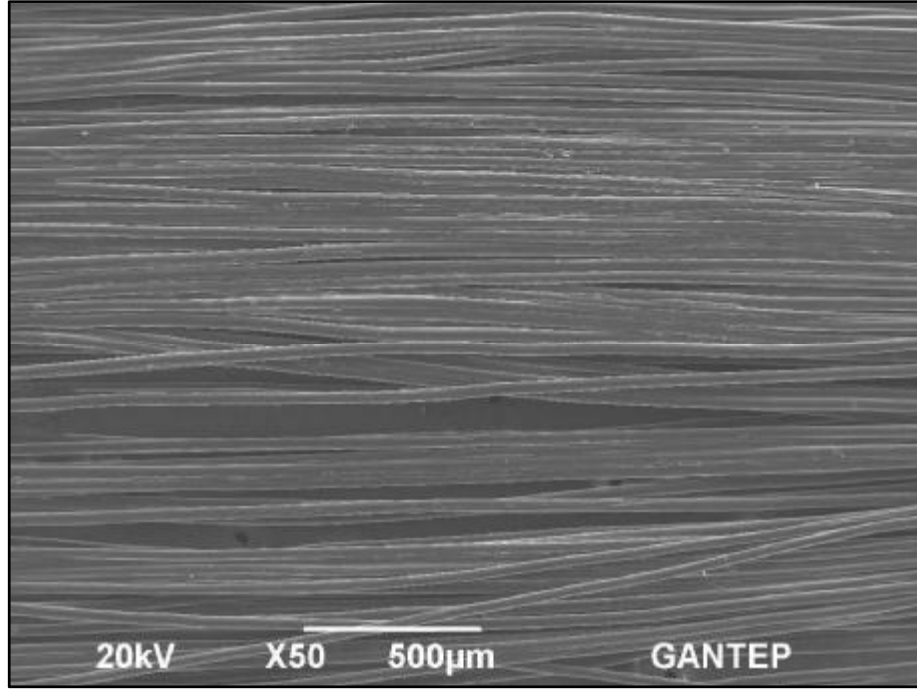
Şekil 4.9. %2 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.6. %2 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	1,040.46	78.784	wt.%	0.297	0.069
O	Ka	70.65	18.184	wt.%	1.411	0.261
Na	Ka	6.34	0.351	wt.%	8.637	0.068
Mg	Ka	5.33	0.231	wt.%	10.468	0.054
Al	Ka	1.57	0.062	wt.%	32.767	0.048
Si	Ka	4.00	0.149	wt.%	13.143	0.044
S	Ka	32.89	1.299	wt.%	2.107	0.043
K	Ka	3.60	0.185	wt.%	11.653	0.048
Ca	Ka	11.28	0.622	wt.%	4.104	0.048
Ti	Ka	0.45	0.034	wt.%	50.696	0.052
Fe	Ka	0.72	0.100	wt.%	29.503	0.077
			100.000	wt.%		

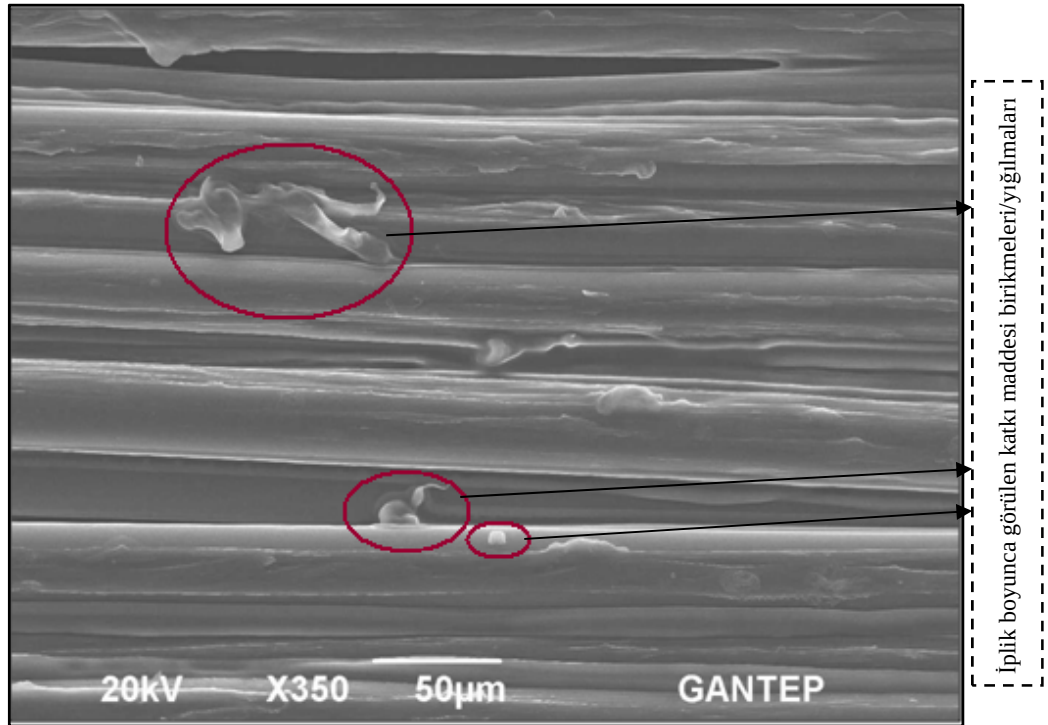
Çizelge 4.6.’daki sonuçlar incelendiğinde, %2 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün Karbon (C) ve Oksijen (O)’den oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.10.’da, %3 F.R. katkılı filament ipliğin filamentlerinin genel görünümü verilmiştir.



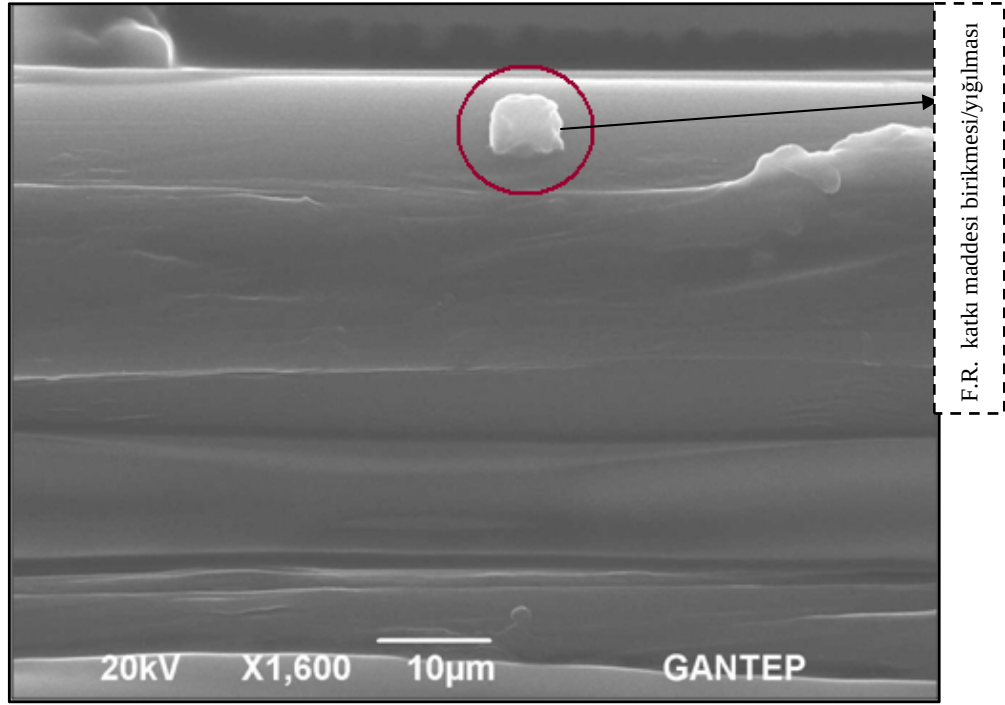
Şekil 4.10. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X50 büyütme oranı)

Şekil 4.11.'de ise, %3 F.R. katkılı filament ipliğin X350 büyütme oranındaki görüntüsü verilmiştir.



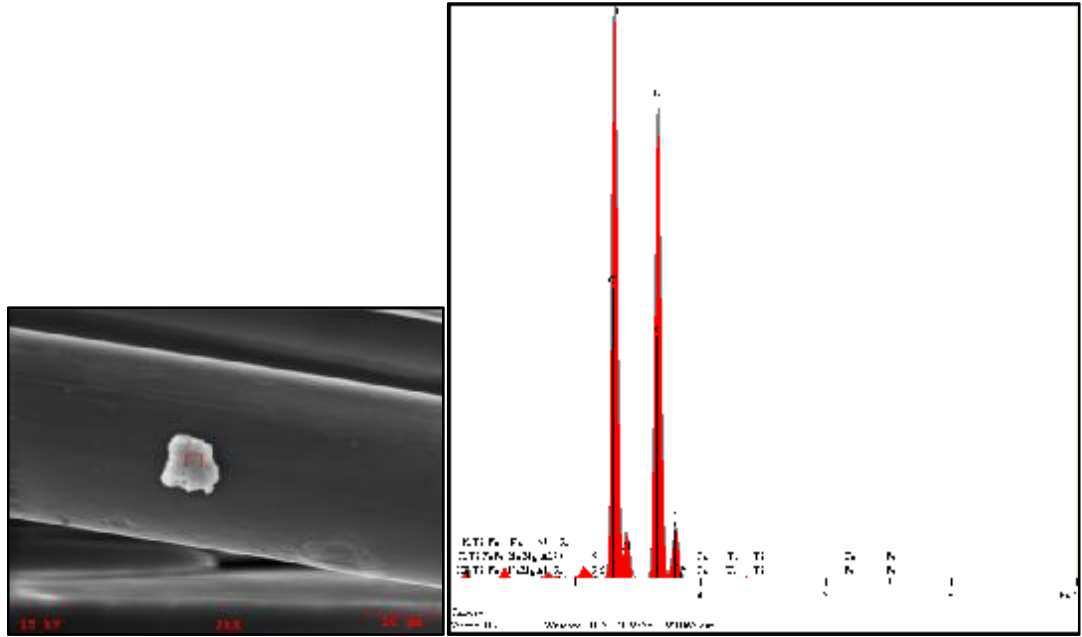
Şekil 4.11. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekil 4.11.'den, F.R. katkı maddesinin yapıya homojen olarak kazandırılmadığı ve iplik uzunluğu boyunca değişen büyüklüklerde katkı maddesi partiküllerinin olduğu görülmektedir. Şekil 4.12.'de de aynı iplikte görülen bir katkı maddesi X1600 büyütme oranıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.12. %3 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X1600 büyütme oranı)

Şekil 4.13.'de %3 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiği ve analiz sonuçları da Çizelge 4.7.'de yer almaktadır.



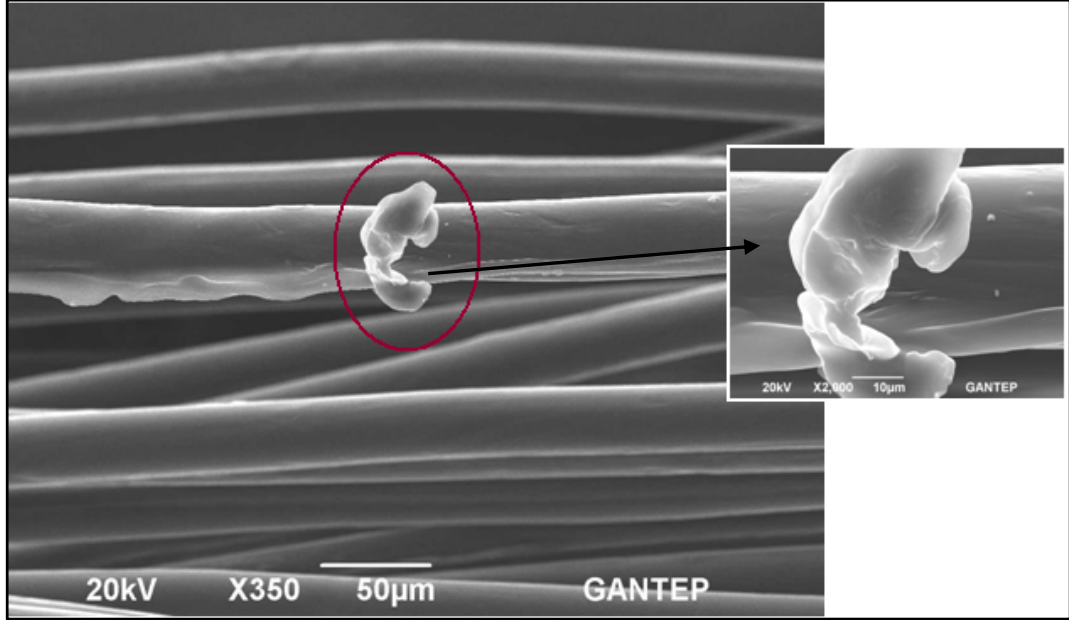
Şekil 4.13. %3 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.7. %3 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	12.68	6.657	wt.%	3.101	0.215
O	Ka	0.39	0.139	wt.%	39.540	0.116
Na	Ka	0.37	0.024	wt.%	69.058	0.035
Mg	Ka	0.00	0.000	wt.%	-1.#IO	0.000
Al	Ka	10.09	0.450	wt.%	5.357	0.043
Si	Ka	1.94	0.081	wt.%	26.293	0.046
S	Ka	3.17	0.131	wt.%	16.269	0.054
Cl	Ka	877.89	41.216	wt.%	0.340	0.082
K	Ka	787.27	51.113	wt.%	0.350	0.089
Ca	Ka	0.00	0.000	wt.%	-1.#IO	0.000
Ti	Ka	0.77	0.072	wt.%	49.391	0.094
Fe	Ka	0.74	0.117	wt.%	46.512	0.138
			100.000	wt.%		

Çizelge 4.7.’deki sonuçlar incelendiğinde, %3 F.R. katkılı sürekli filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün Potasyum (K), Klor (Cl) ve C’den oluştuğu görülmektedir.

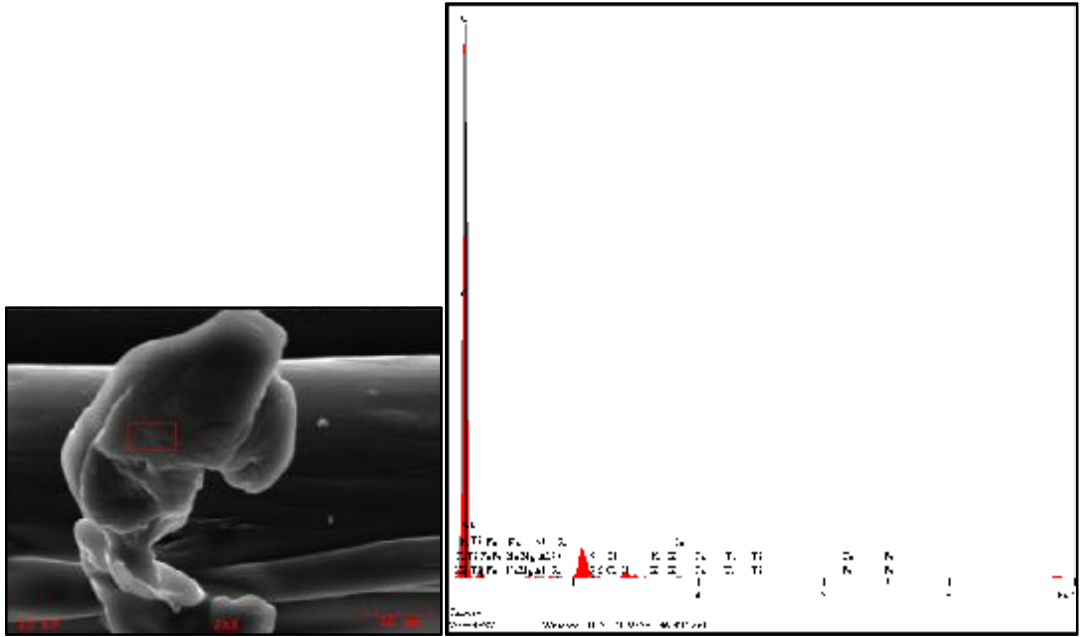
Şekil 4.14.'de ise, %4 F.R. katkılı filament ipliğin X350 büyütme oranında yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.14. %4 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekil 4.17.'den, %4 F.R. katkılı iplik yüzeyinde bulunan bir katkı maddesi partikülü görülmektedir. İplik yüzeyinde birikmiş olan bu katkı maddesi partikülünün büyüklüğü ve monofilamentin uzunluğu boyunca görülen yüzey düzgünsüzlüğü de dikkat çekicidir.

Ayrıca, Şekil 4.15.'de %4 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiği ve Çizelge 4.8.'de de sonuçlar tablosu yer almaktadır.



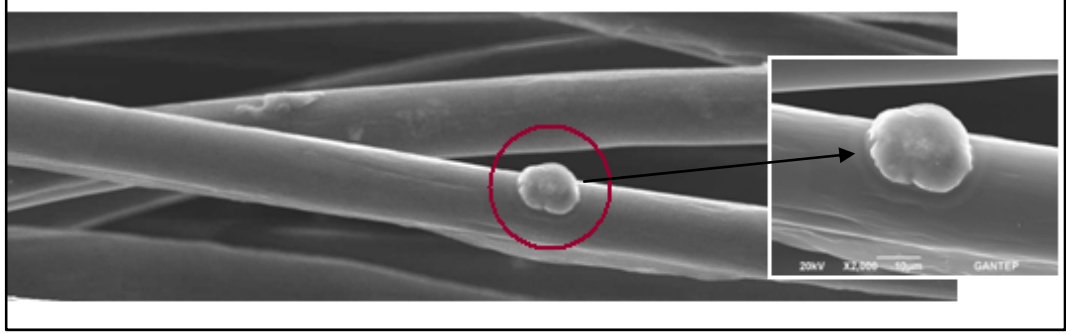
Şekil 4.15. %4 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.8. %4 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	366.50	88.321	wt.%	0.495	0.111
O	Ka	8.93	9.492	wt.%	3.774	0.377
Na	Ka	0.59	0.113	wt.%	47.111	0.121
Mg	Ka	1.28	0.194	wt.%	26.006	0.110
Al	Ka	1.95	0.271	wt.%	18.968	0.110
Si	Ka	2.33	0.311	wt.%	16.544	0.109
S	Ka	2.94	0.420	wt.%	11.018	0.117
Cl	Ka	0.60	0.095	wt.%	50.362	0.124
K	Ka	0.41	0.077	wt.%	64.334	0.131
Ca	Ka	1.40	0.279	wt.%	18.554	0.131
Ti	Ka	0.75	0.203	wt.%	28.838	0.147
Fe	Ka	0.44	0.224	wt.%	36.136	0.213
			100.000	wt.%		

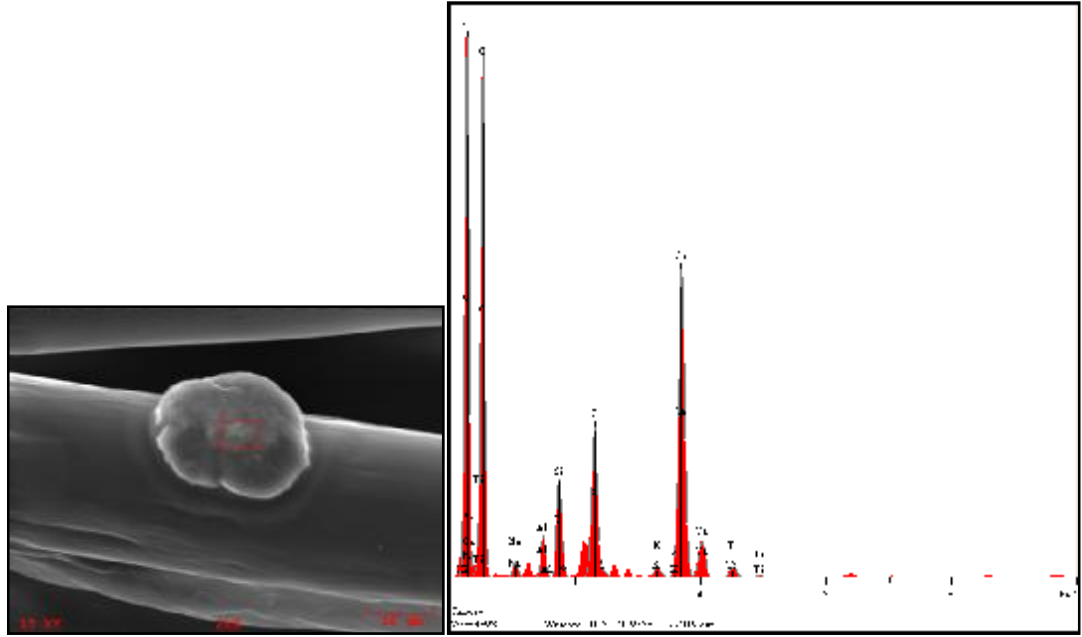
Çizelge 4.8.’deki sonuçlar incelendiğinde, %4 F.R. katkılı sürekli filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün C ve O’den oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.16.'da %5 F.R. katkıli ipliğe ait SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.16. %5 F.R. katkıli PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekil 4.17.'de %5 F.R. katkıli ipliğe ait EDX analiz grafiği ve Çizelge 4.9.'da ise, sonuçlar tablosu yer almaktadır.



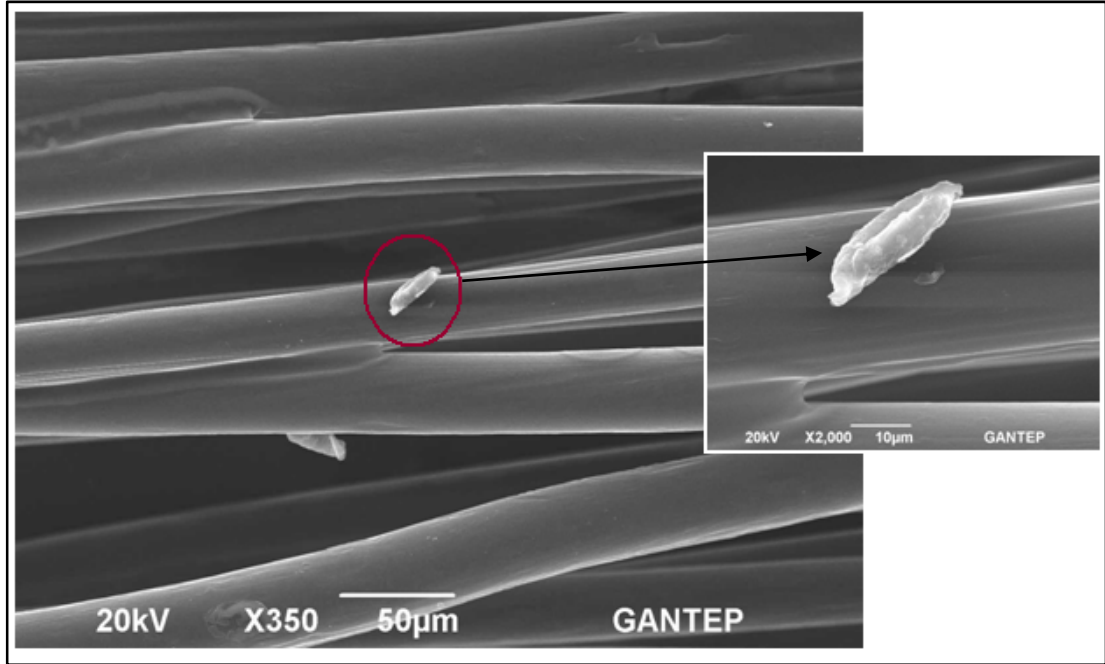
Şekil 4.17. %5 F.R. katkıli filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.9. %5 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	378.78	34.744	wt.%	0.511	0.092
O	Ka	368.18	44.039	wt.%	0.559	0.146
Na	Ka	13.61	0.587	wt.%	5.231	0.066
Al	Ka	33.13	0.947	wt.%	2.549	0.045
Si	Ka	82.66	2.204	wt.%	1.345	0.040
S	Ka	153.16	4.209	wt.%	0.909	0.040
K	Ka	9.80	0.334	wt.%	5.582	0.040
Ca	Ka	330.12	12.322	wt.%	0.553	0.044
Ti	Ka	11.96	0.614	wt.%	3.937	0.046
			100.000	wt.%		

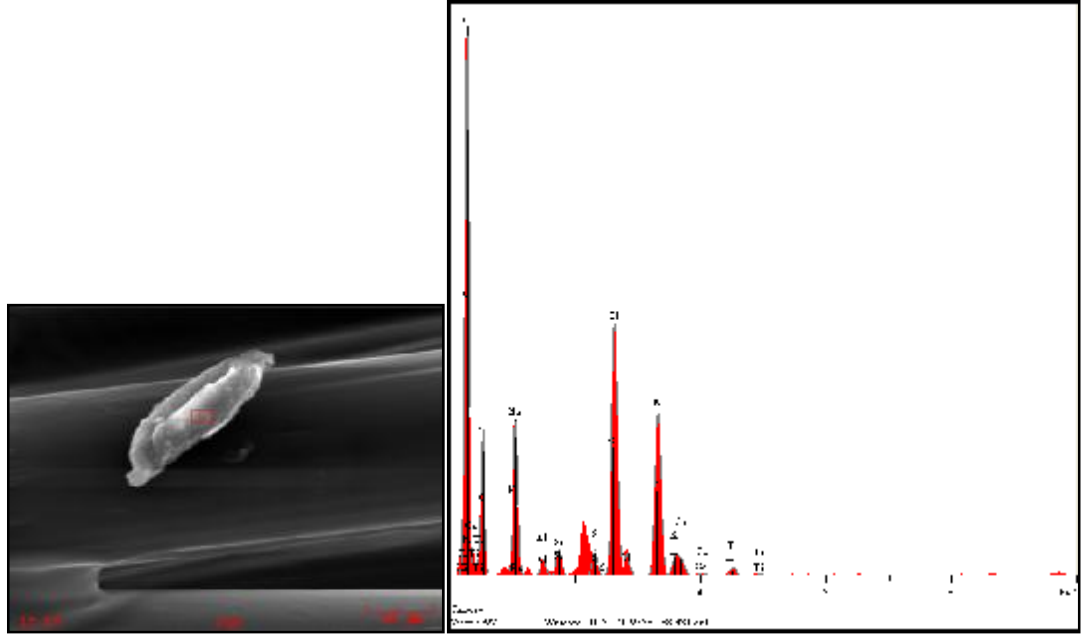
Çizelge 4.9.'daki sonuçlar incelendiğinde, %5 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün O, C ve Ca'dan oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.18.'de ise, %6 F.R. katkılı ipliğe ait SEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.18. %6 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Ayrıca, Şekil 4.19.'da %6 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiği ve Çizelge 4.10.'da da sonuçlar tablosu yer almaktadır.



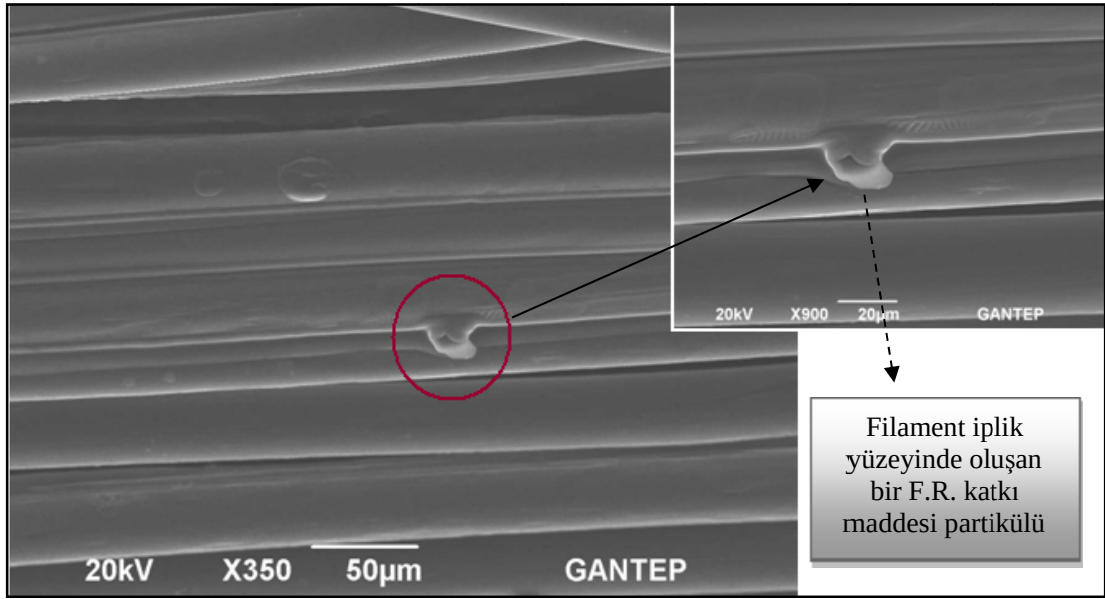
Şekil 4.19. %6 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.10. %6 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	263.28	56.157	wt.%	0.609	0.176
O	Ka	66.03	18.495	wt.%	1.416	0.249
Na	Ka	87.52	5.844	wt.%	1.212	0.076
Al	Ka	9.92	0.497	wt.%	5.878	0.062
Si	Ka	15.95	0.748	wt.%	3.964	0.057
S	Ka	16.19	0.780	wt.%	3.723	0.057
Cl	Ka	164.75	8.809	wt.%	0.834	0.068
K	Ka	114.48	7.394	wt.%	0.988	0.066
Ca	Ka	10.83	0.762	wt.%	4.629	0.067
Ti	Ka	5.55	0.513	wt.%	6.399	0.068
			100.000	wt.%		

Çizelge 4.10'daki sonuçlar incelendiğinde, %6 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün C, O, Cl ve K'dan oluştuğu görülmektedir.

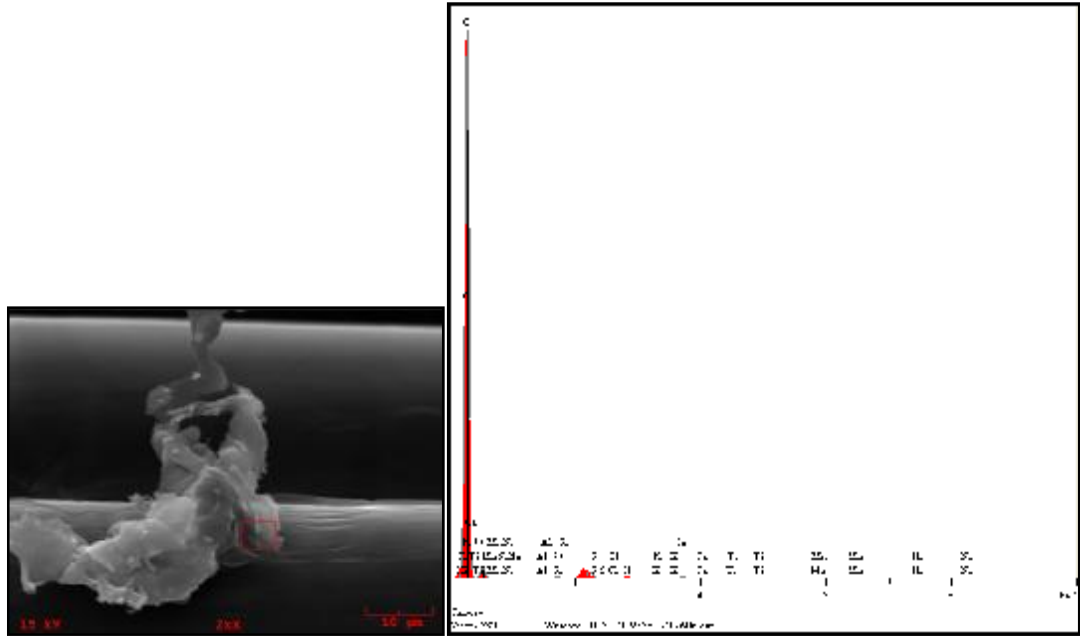
Şekil 4.20.'de, %7 F.R. katkılı filament ipliğin monofilamentlerinin X350 ve X900 büyütme oranlarında SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.20. %7 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekil 4.20.'de, %7 F.R. katkılı filament ipliğin X350 büyütme oranında boyuna görünümü verilmiştir. Şekilde iplik boyunca oluşan bir F.R. katkı maddesi birikimi gösterilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, katkı maddesinin iplik yapısına tam olarak kazandırılmayarak iplik yüzeyinde bulunması, homojen olmayan yani düzgünsüz bir iplik yapısına sebep olmaktadır.

Şekil 4.21. ise, %7 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiğini ve Çizelge 4.11. ise EDX analizinin sonuçlar tablosunu göstermektedir.



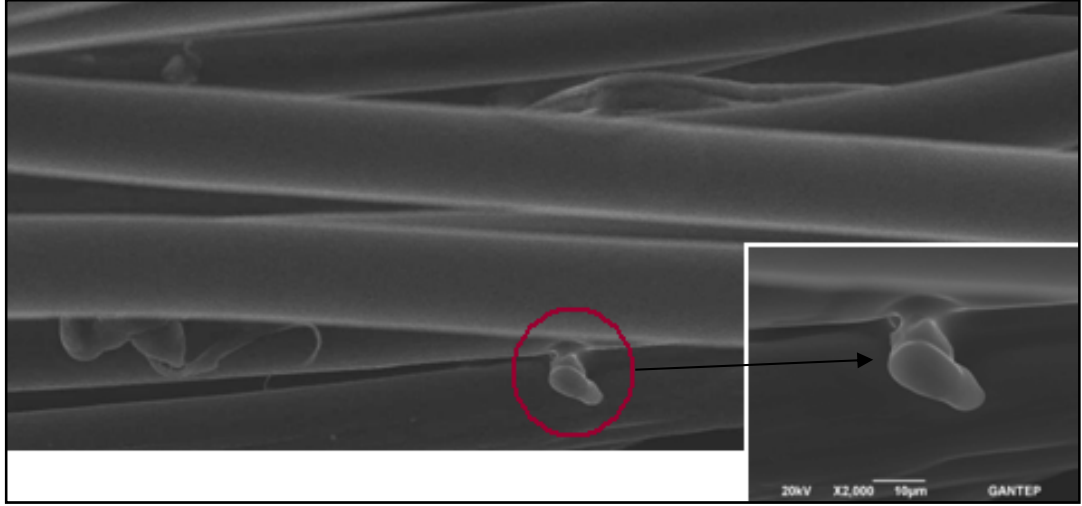
Şekil 4.21. %7 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.11. %7 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	2,017.64	89.378	wt. %	0.211	0.036
O	Ka	44.71	8.946	wt. %	1.812	0.208
Na	Ka	2.56	0.092	wt. %	17.811	0.047
Al	Ka	2.68	0.069	wt. %	19.457	0.031
Si	Ka	7.16	0.177	wt. %	7.868	0.028
S	Ka	29.78	0.788	wt. %	2.244	0.027
Cl	Ka	0.54	0.016	wt. %	68.495	0.029
K	Ka	0.53	0.018	wt. %	68.901	0.030
Ca	Ka	8.64	0.321	wt. %	5.051	0.030
Ti	Ka	0.35	0.018	wt. %	62.632	0.033
Mn	Ka	0.79	0.063	wt. %	27.109	0.043
Ni	Ka	0.80	0.115	wt. %	23.829	0.061
			100.000	wt. %		

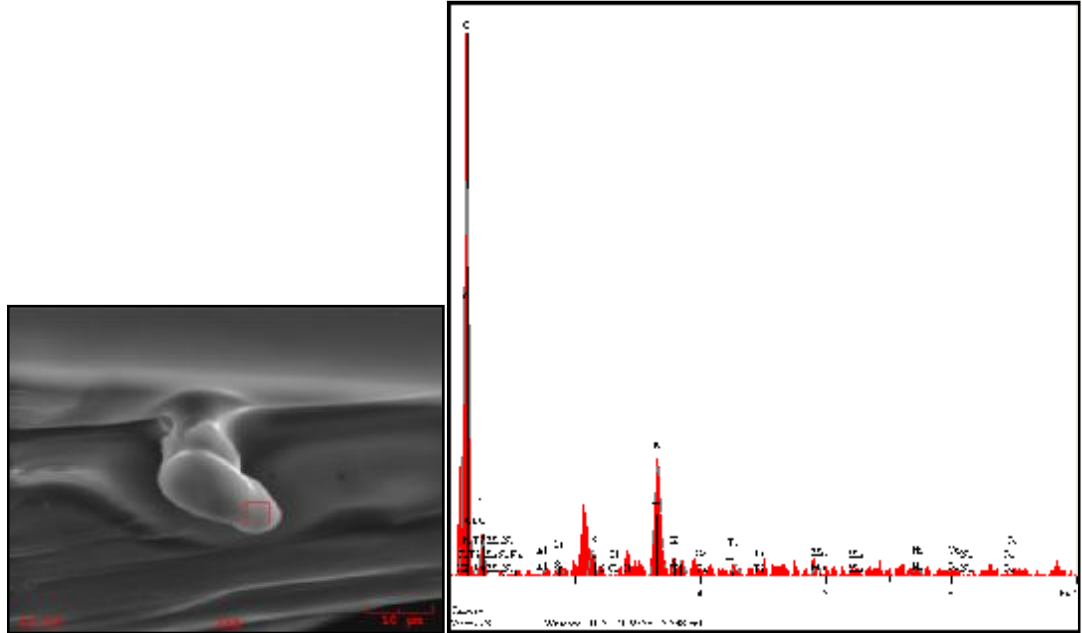
Çizelge 4.11.'deki sonuçlar incelendiğinde, %7 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün C ve O'den oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4.22.'de ise, %8 F.R. katkılı filament ipliğin monofilamentlerinin X350 büyütme oranında SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.22. %8 F.R. katkılı PP filament iplik SEM görüntüsü (X350 büyütme oranı)

Şekil 4.23. ise, %8 F.R. katkılı ipliğe ait EDX analiz grafiğini ve Çizelge 4.12. de, EDX analizi sonuçlar tablosunu göstermektedir.



Şekil 4.23. %8 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz grafiği

Çizelge 4.12. %8 F.R. katkılı filament iplik EDX analiz sonuçları

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc.	Units	Error 2-sig	MDL 3-sig
C	Ka	15.66	59.347	wt.%	2.239	0.161
O	Ka	1.43	11.279	wt.%	8.718	0.749
Na	Ka	0.17	0.381	wt.%	32.876	0.224
Al	Ka	0.24	0.356	wt.%	28.518	0.212
Si	Ka	0.44	0.611	wt.%	21.684	0.250
S	Ka	1.15	1.616	wt.%	15.544	0.559
Cl	Ka	0.28	0.433	wt.%	74.878	0.769
K	Ka	5.57	9.808	wt.%	6.058	1.070
Ca	Ka	0.63	1.220	wt.%	37.028	1.220
Ti	Ka	0.72	1.825	wt.%	31.865	1.485
Mn	Ka	0.65	2.547	wt.%	30.116	1.948
Ni	Ka	0.60	4.260	wt.%	26.472	2.627
Cu	Ka	0.65	6.316	wt.%	22.457	3.340
			100.000	wt.%		

Çizelge 4.12.’deki sonuçlar incelendiğinde, %8 F.R. katkılı filament iplik boyunca görülen partikül içeriğinin büyük bir bölümünün C, O ve K’dan oluştuğu görülmektedir.

Aşağıda, filament ipliklerin SEM ve EDX analizleriyle ilgili genel değerlendirmeler yer almaktadır.

4.6.1. Sürekli Filament İpliklerin SEM Görüntü Analizleriyle İlgili Genel Değerlendirme

“Aglomerasyon” genel olarak, aynı veya farklı elementlerin ya da bileşiklerin kümeleşmesi şeklinde tanımlanabilir. Çalışma numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, içerisinde F.R. katkı maddesi bulunmayan PP filament ipliğin filament boyunca düz ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu, F.R. katkı maddesi eklenen filamentlerin ise yüzeylerinde yer yer partiküller oluştuğu görülmüştür. Söz konusu bu partiküller de bir araya gelerek yığınlaşan partiküller oluşmasına sebep olmakta ve filament boyunca düzgünsüzlükler oluşmaktadır. Ayrıca, bu yığılmaların filament boyunca düzgün olmayan bir dağılım sergilediği de görülmektedir. Diğer bir husus ise, bu durumun katkı maddesi ihtiva eden filamentlerin kendi içinde de farklı

olmasıdır. Örneğin, %3 F.R. katkı maddesinde %7 F.R. katkı maddesine göre, çok daha fazla aglomerasyon oluşumu görülmüştür. Sonuçta, katkı maddesi miktarındaki artışla aglomerasyon miktarı paralellik değil değişkenlik göstermiştir. Katkı maddesi ihtiva eden filamentlerde oluşan bu düzgünsüz yapı bu konuda gerçekleşen bazı önceki çalışmalarda da ortaya konmuş ve bu durumun daha ziyade katkı maddesinin filament yapısına kazandırılmasında kullanılan tek vidalı ekstrüderden kaynaklandığı belirtilmiştir. Homojen yapıda katkı maddesi içeren sürekli filament iplik üretimi için kullanılan tek vidalı ekstrüder bu konuda yetersiz kalabilmektedir (Selver, 2010). Bu açıdan bu tür çalışmalarda, katkı maddelerinin filament yapısına daha iyi kazandırılması için, partikül boyutlarının nano seviyeye indirgenmesi ve/veya çift vidalı ekstrüder kullanımı tercih edilebilmektedir.

4.6.2. Sürekli Filament İpliklerin EDX Analizleriyle İlgili Genel Değerlendirme

Filament ipliklere ait SEM görüntüleri incelendiğinde katkısız PP filament ipliğin düz ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.). Güç tutuşurluk katkı maddesi kullanımıyla üretilen filament iplik yapıları incelendiğinde ise, iplik yüzeyinde çeşitli büyüklüklerde partikül yığılmaları olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen EDX analizi ile bu partiküllerin elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu analiz sonuçları Bölüm 4.6.'da verilmiş olup, elde edilen sonuçlara yönelik yorumlar ise aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Bu sonuçlar;

- § SEM görüntüleri incelendiğinde, katkısız PP iplik yüzeyinin düz ve pürüzsüz olduğu, F.R. katkı maddesi içeren filament iplik yüzeylerinde ise partikül aglomerasyonları bulunduğu görülmüştür. Bu durum, söz konusu partiküllerin F.R. katkı maddesinden oluştuğunu göstermektedir,

- § Çalışmada kullanılan F.R. katkı maddesinin kimyasal yapısı, calciumdiethylbis[[[3,5-bis(1,1 dimethylethyl)hydroxyphenyl)methyl]phosphonate], şeklindedir. Dolayısıyla, F.R. katkı maddesinin etken maddesi fosfonat olmakla birlikte yapıda, Ca, C, Hidrojen (H) ve O elementleri de yer almaktadır,
- § F.R. katkı maddesi yukarıda kimyasal adı verilen maddeden oluşmakla birlikte, taşıyıcı maddesi ise PP'dir. Dolayısıyla yapıda PP polimerinden de kaynaklı olarak da C ve H elementleri bulunmaktadır,
- § Yapıda H elementi bulunmakla birlikte EDX analiz sonuçlarında bu elementin varlığına rastlanmamıştır. Bu durum hafif metaller olarak da nitelendirilen atom numarası küçük olan elementlerin EDX testi ile analiz edilememesiyle açıklanabilmektedir. Çünkü hafif elementlerin elektron değerliklerini ölçmek oldukça güçtür (<http://www.ammrf.org.au>, 2013),
- § EDX analizinde, numunenin yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarpmakta ve bu çarpışmalardan dolayı, numune yüzeyinden bazı elektronlar kopmaktadır. Bu olay sonucunda, yapıdaki elektronlar kararlı hale geçebilmek için hareket etmekte ve sonuçta ortaya çıkan enerji X-ışını olarak yayılmaktadır. EDX test sonuçları incelendiğinde, F.R. katkı maddesi içeriğinde bulunmadığı halde yapıda, K, Ti ve Cl elementlerinin de tespit edildiği görülmüştür. Bu durum, K ve Ti elementlerinin yapıda bulunan Ca elementi ile Cl elementinin ise yine yapıda bulunan P elementi ile benzer atom sayısı değerine (benzer enerji düzeylerine) sahip olmasıyla açıklanabilir,
- § Ayrıca, filament iplik üretiminin tüm aşamalarında materyal, bir çok metal malzemeye temas etmektedir. Söz konusu bu malzemelerden sürekli filament iplik yüzeyine çeşitli maddeler geçmiş olabilir,
- § EDX analizi noktasal bir analiz olduğundan ve söz konusu katkı maddesi molekülü oldukça büyük olduğundan P elementi tespit edilememiş olabilir; noktasal analiz testlerinde bu tür belirsizlikler olabilmektedir,

§ EDX analizinde %1’lik bir yanılma payı bulunmaktadır,

şeklinde sıralanmaktadır.

4.7. Sürekli Filament İpliklerin Mukavemet ve Kopma Uzaması Test Sonuçları

Filament ipliklere uygulanan bir diğer test ise, mukavemet ve kopma uzaması testidir. Test Uster marka Tensorapid-3 model test cihazı ile BS EN ISO 2062, 1995 standardına göre gerçekleştirilmiştir. İplik numuneleri, testlere başlamadan önce standart ortam şartları olan, 20°C±2 sıcaklıkta ve %65±2 bağıl nemde 24 saat süreyle kondisyonlanmıştır.

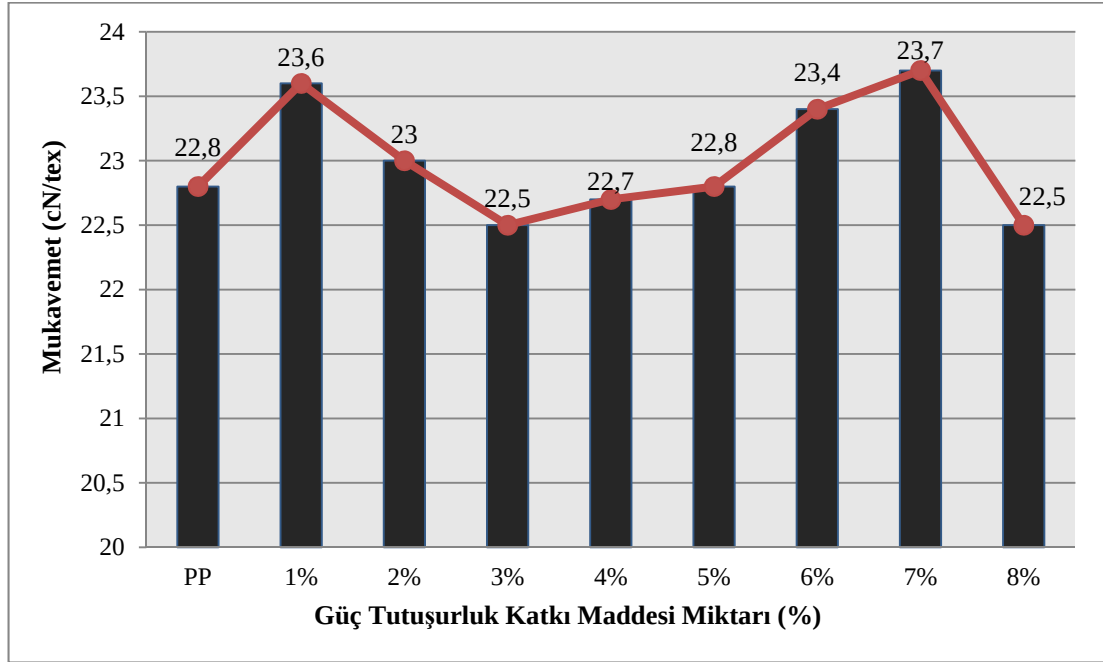
F.R. katkılı filament ipliklere uygulanan Mukavemet-Kopma Uzaması test sonuçları Çizelge 4.13.’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. F.R. katkılı filament ipliklerin mukavemet-uzama test sonuçları

No	İplik Türü	Mukavemet (cN/tex)	Kopma Uzaması (%)
1	Katkısız PP	22,8	28,4
2	% 1 FR	23,6	28,4
3	% 2 FR	23	27,4
4	% 3 FR	22,5	26,7
5	% 4 FR	22,7	27,3
6	% 5 FR	22,8	26,2
7	% 6 FR	23,4	26,6
8	% 7 FR	23,7	28,7
9	% 8 FR	22,5	26,6

Çizelge 4.13.’den de görüleceği üzere, filament iplikler için birbirine yakın değerlerde mukavemet ve kopma uzaması test sonuçları bulunmuştur. Değerler arasında bir miktar farklılık olmakla birlikte, F.R. katkı maddesi oranındaki değişimin test sonuçlarını belirli bir yönde (belirgin bir düzenli artış ya da azalış şeklinde) etkilemediği görülmüştür.

Şekil 4.24., F.R. katkı maddesi oranının ipliklerin mukavemet (cN/tex) değerlerine etkisini göstermektedir.



Şekil 4.24. F.R. katkı maddesi oranının iplik mukavemet değerine (cN/tex) etkisi

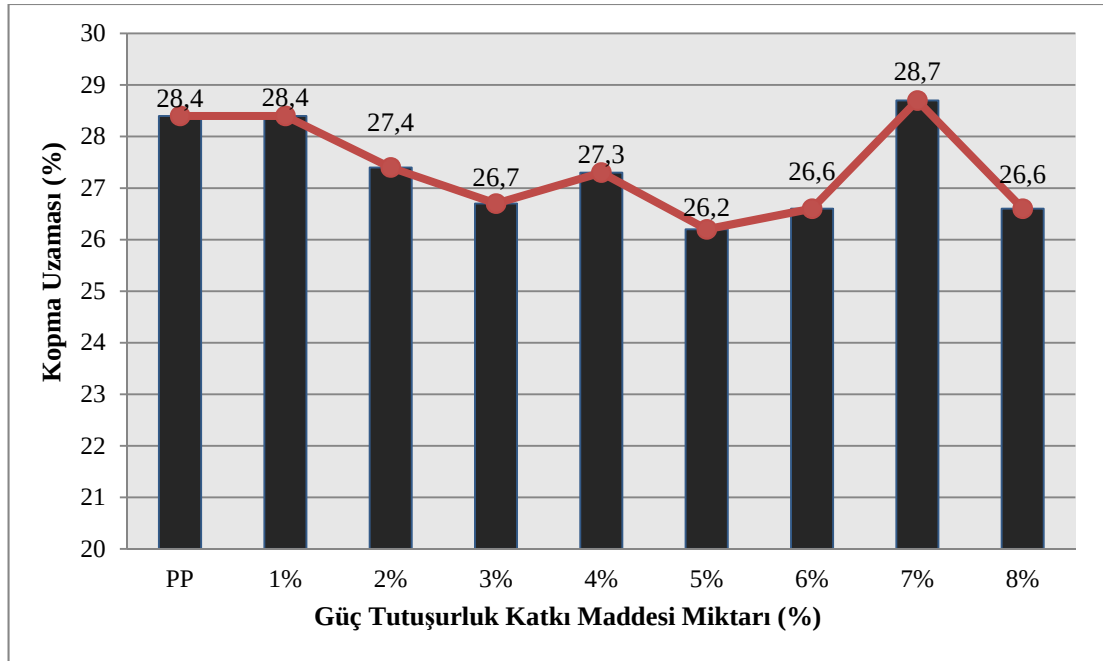
Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren filament ipliklerin mukavemet değerlerindeki değişim Şekil 4.24.'de görülmektedir. Grafikten de görüleceği üzere, katkı maddesi oranındaki değişim, iplik mukavemet değerlerini belirli bir yönde (artış ya da azalış) değiştirmemiştir. Dolayısıyla, filament iplik mukavemet değerleri arasında bir miktar farklılık olduğu ancak bu değişikliğin F.R. maddesi oranından bağımsız olduğu söylenebilmektedir. Bununla birlikte, katkısız PP sürekli filament ipliğe kıyasen daha düşük mukavemet değerlerine sahip diğer ipliklerdeki minimum mukavemet değeri azalışı %0,4 iken, maksimum azalış ise %1,3 seviyesinde olmuştur. Aynı zamanda, katkısız PP sürekli filament ipliğe kıyasen daha yüksek mukavemet değerlerine sahip diğer ipliklerdeki minimum mukavemet değeri artışı %0,9 ve maksimum artış da %3,9 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15.'de yer alan filament iplik % kristalin bölge oranları incelendiğinde, kristalin bölge oranındaki artışın (genel olarak) beklenildiği gibi, iplik mukavemet değerlerini arttırdığı görülmüştür. Örneğin, % kristalin bölge oranı

(%38,7) diğer ipliklerden bir miktar daha düşük olan katkısız PP filament ipliğin mukavemet değeri de (22,8 cN/tex) diğer ipliklere kıyasla daha düşük ölçülmüştür.

Bölüm 4.6.'da da değinildiği gibi filament iplik yapısında, katkı maddesinden dolayı oluşan aglomerasyon mevcudiyeti mukavemet değerlerini etkilemiştir. SEM görüntüleri ve mukavemet test sonuçları birlikte incelendiğinde, yüzeyi boyunca daha fazla aglomerasyon görülen F.R. katkılı filament ipliklerin (%3, %4, %5 ve %8 F.R. katkılı) daha düşük mukavemet değerine, daha düzgün yapıda olan ipliklerin (%1, %2, %6 ve %7 F.R. katkılı) ise, daha yüksek mukavemet değerine sahip olduğu görülmüştür. Selver, 2010 yılında gerçekleştirdiği çalışmada nanopartikül katkılı PP monofilament iplikler üretmiş ve bu ipliklerin mukavemet test sonuçlarını incelemiştir. Sonuçta, nanopartikül aglomerasyonlarının monofilament iplik mukavemet değerlerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna ulaşmıştır (Selver, 2010).

Şekil 4.25., F.R. katkı maddesi oranının ipliklerin kopma uzaması (%) değerlerine etkisini göstermektedir.



Şekil 4.25. F.R. katkı maddesi oranının iplik kopma uzaması değerine (%) etkisi

Şekil 4.25.'den de görüleceği üzere, katkı maddesi oranındaki değişim iplik kopma uzaması değerlerini belirli bir yönde (artış ya da azalış) değiştirmemiştir. Sonuçta, filament iplik kopma uzaması değerleri arasında bir miktar farklılık olduğu ancak bu değişikliğin F.R. maddesi oranından bağımsız olduğu söylenebilmektedir. Aynı zamanda, sürekli filament ipliklerin mukavemet sonuçlarıyla ilgili yapılan aglomerasyon yorumu, kopma uzaması sonuçları için de geçerlidir. PP sürekli filament iplik yüzeyinde oluşan düzgünsüzlükler ve yığılmalar heterojen bir iplik yapısı oluşumuna neden olmuştur. Söz konusu bu durum da ipliklerin kopma uzaması değerlerinde değişkenliğe sebep olmuştur. Bununla birlikte, katkısız PP sürekli filament ipliğe kıyasen daha düşük kopma uzaması değerlerine sahip diğer ipliklerdeki minimum kopma uzaması değer azalışı %3,5 iken, maksimum azalış ise %7,7 seviyesinde olmuştur. Aynı zamanda, katkısız PP filament ipliğe kıyasen daha yüksek kopma uzaması değerine sahip diğer iplikteki maksimum kopma uzaması artışı da %1,1 olarak bulunmuştur.

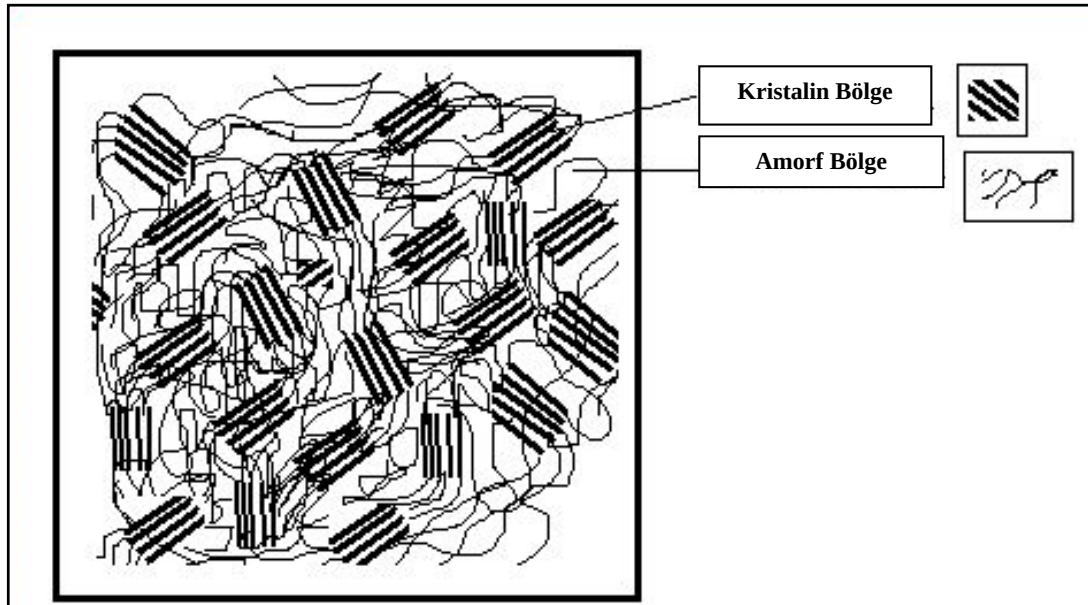
Filament ipliklerin mukavemet ve kopma uzaması değerlerinde belirlenen bu farklılıklar, yüzeydeki partikül aglomerasyonlarının çatlaklara neden olması ve sürekli filamentlerin mukavemet-kopma uzaması testindeki çekme kuvvetine daha az direnç göstermesiyle açıklanabilir (Şekil 4.20.). Ayrıca Şekil 4.11.'de de görülebileceği üzere, monofilamentler arasında bulunan partiküller, filamentlerin bir arada bulunma/birbirlerine tutunma özelliklerini de zayıflatmaktadır. Sonuçta da, sürekli filament iplik mukavemet ve kopma uzaması değerleri azalmaktadır.

Test sonuçlarından elde edilen bir diğer sonuç da iplik yapısal özelliği ile ilgilidir. Doktora tez çalışması kapsamında üretilen filament iplikler sahip oldukları oryantasyon dereceleri ve mukavemet-kopma uzaması değerlerine göre HOY (Highly-Oriented Yarn) sınıfına girmektedir.

4.8. Sürekli Filament İpliklerin DSC Test Sonuçları

Polimerin sıvı hâlden katı hâle ani olarak geçişi molekül zincirlerinin karmaşık olarak düzenlenmesine sebep olmaktadır ve filament hâlini almış olan iplik taşıdığı özellikler bakımından henüz tekstilde kullanılmaya uygun değildir. Bu yüzden lifin yapısındaki kristalin (düzenli) bölgeleri artırmak ve sonuç olarak da filamente gerekli bazı özellikleri (mukavemet, kopma uzaması, vb.) kazandırmak için germe-çekme işlemi uygulanmaktadır. Germe-çekme sonucunda filamentler, boylarının 2-10 katına (%200–1000) kadar uzatılmaktadır. Germe-çekme işlemi uygulanmamış iki lifin boyuna kesitleri mikroskop altında incelendiğinde iç yapıdaki polimer zincirlerin önce karmaşık ve amorf karakterde olduğu, germe-çekme işleminden sonra ise lif boyunca yönelen kristalin alanların oluştuğu gözlenmektedir. Dolayısıyla, bu uygulamadan sonra sürekli filament ipliklerin mukavemeti artmaktadır (MEGEP, 2011).

Şekil 4.26.'da bir makromoleküler polimer yapısında amorf ve kristalin bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 4.26. Makromoleküler polimer yapısında amorf ve kristalin bölgeler (Hedge, 2013)

Filament ipliklerin sahip olduğu kristalin bölge oranı, mukavemet, erime noktası, boyanabilirlik, vb. birçok yapısal özelliği önemli derecede etkilemektedir. Doktora tez çalışması kapsamında üretilen tüm ipliklerin % kristalin bölge oran değerleri DSC (Differential Scanning Calorimetry) Cihazı ile belirlenmiştir.

Ayrıca, DSC tekniği malzemelerin ısı analizi için de kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Bu test yöntemi genel olarak, polimerlerin ısıtıldığı zaman ne gibi fiziksel değişimlere uğrayacağını göstermektedir. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile termal karakterizasyon sonuçlarının belirlenmesi, absorplanan veya açığa çıkan ısı, sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ve tanımlanması temeline dayanmaktadır. Dolayısıyla, DSC cihazı, sıcaklık ya da zamanın bir fonksiyonu olarak, bir numunenin içinden ya da dışından geçen enerji akışını ölçmektedir. DSC yöntemi ile polimer maddenin kristalin bölge oranı hesaplanabilmekte ve maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristallenme ve termal bozunma yapıları da incelenebilmektedir. Doktora tez çalışması kapsamında, söz konusu bu termal analizler 10°C/dk. tarama hızıyla ve -35°C-210°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ipliklerin termogram grafikleri de yine bu test cihazının verdiği sonuçlar ile oluşturulmuştur. Katkısız PP ve F.R. katkılı sürekli filament ipliklere dair elde edilen test sonuçları ve grafikler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

a. F.R. Katkılı Sürekli Filament İpliklerin %Kristalin Bölge Oranı Test Sonuçları

Doktora tez çalışmasının materyallerine ait % kristalin bölge oranı değeri, DSC test cihazı ile “Isı Akışı” prensibi esas alınarak ölçülmüştür. Bu hesaplama yapılırken aşağıda verilen formül kullanılmıştır.

$$\% \text{ Kristalinite} = [\Delta H_m - \Delta H_c] / \Delta H_m^\circ \times 100\% \quad (4.1.)$$

Formüldeki verilere ait açıklamalara aşağıda yer verilmiştir.

ΔH_m (J/gr): Erime Isısı

ΔH_c (J/gr): Soğuk Kristalleşme Değeri

ΔH_m° (J/gr): Referans bir değerdir ve polimer maddenin %100 kristalin olma durumundaki erime ısısını göstermektedir.

Erime ısısı (ΔH_m) değeri oldukça önemli bir karakteristik özellik olup, materyalin % kristalin bölge oranı değeriyle direkt ilgilidir.

Çalışma materyali olan polipropilen ve diğer bazı önemli polimerlere ait ΔH_m° değerleri ise, Çizelge 4.14.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Çeşitli polimerler için ΔH_m° değerleri (Sichina, 2012)

Polimer	ΔH_m° (J/g)
Naylon 6	230.1
Naylon 6,6	255.8
Poliester	140.1
Polipropilen	207.1
Polietilen	293.6

Çizelge 4.14.'den de görülebileceği gibi, Polipropilen polimeri için (%100 kristalin olma durumundaki) ΔH_m° referans değeri 207.1 j/gr olarak belirlenmiştir.

Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen DSC testi sonucu elde edilen veriler kullanılarak, katkısız PP referans ipliği ve F.R. katkılı numuneler için % Kristalin Bölge Oranları, formül 4.1. esas alınarak hesaplanmıştır ve söz konusu bu sonuçlar Çizelge 4.15.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.15. F.R. katkılı sürekli filament iplik % kristalin bölge oranı test sonuçları

İplik Özelliği	PP	%1 F.R.	% 2 F.R.	% 3 F.R.	% 4 F.R.	% 5 F.R.	% 6 F.R.	% 7 F.R.	% 8 F.R.
Kristalin Bölge Oranı (%)	38,7	40,9	40,6	40,1	40,1	42,0	43,7	42,1	39,6

Filament ipliklerin sahip olduğu % kristalin bölge oranı, üretimleri esnasındaki birçok parametreye (çekim miktarı, vida hızı, eriyik sıcaklığı, düze delik sayısı, vb.) bağlı olarak değişmekle birlikte, bu çalışmada tüm bu üretim parametreleri sabit tutulmuş ve güç tutuşurluk katkı maddesi miktarının % kristalin bölge oranına etkisi incelenmiştir. Yukarıda yer alan Çizelge 4.15.'den de görüleceği üzere, çalışma kapsamında katkısız PP ve çeşitli oranlarda katkılı olarak üretilen filament ipliklerin % kristalin bölge oranları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Ayrıca, söz konusu bu sonuçlara göre filament iplikler yarı-kristalin iplik sınıfına girmektedir. Bununla birlikte, dikkat çeken bir diğer sonuç ise, katkısız PP filament ipliğin % kristalin bölge oranının diğer ipliklere göre bir miktar daha düşük olmasıdır. Sonuçta, F.R. katkılı ipliklerin bu değerlerinin bir miktar daha yüksek çıkması, granül halinde yapıya kazandırılan katkı maddesi miktarının belirli oranda kristalin bölge oranını artırmış olabileceği ile açıklanabilir.

F.R. katkılı filament iplik % kristalin bölge oranı sonuçları kendi içinde kıyaslandığında ise, test sonuçlarının birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte, en yüksek % kristalin bölge oranı sonucu % 6 oranında F.R. katkı maddesi içeren filament iplikte, en düşük sonuç ise %8 oranında F.R. katkılı filament iplikte görülmüştür. Benzer şekilde, filament ipliklerin mukavemet (cN/tex) test sonuçları da incelendiğinde, en yüksek mukavemet değerlerinden birine % 6 oranında F.R. katkı maddesi içeren filament ipliğin, en düşük mukavemet değerine ise %8 oranında F.R. katkılı filament ipliğin sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.24.). Ayrıca, F.R. katkı maddesi oranındaki değişimin test sonuçlarını belirli bir artış ya da azalış

yönünde etkilemediği de görülmüştür. Dolayısıyla, F.R. katkı maddesi oranı artışının ipliklerin % kristalin bölge oranı değerlerinde belirgin bir artış ya da azalışa sebep olmamıştır yorumu yapılabilir.

b. F.R. Katkılı Sürekli Filament İpliklerin DSC Termogram Grafikleri

DSC analizinde, örnek sıcaklığı çevre koşullarından başlayarak belirli bir sıcaklığa kadar soğutulurken ve ısıtılırken, numunenin kütlesi sürekli olarak izlenmekte ve kütlenin sıcaklıkla ilgili olan grafiği oluşturulmaktadır. Söz konusu bu grafiğe "Termogram" denilmektedir. Bir polimerin sıcaklığındaki değişiklik süresince karşılaştığı çeşitli değişiklikler (geçişler) bu termogramdan gözlemlenebilmektedir ve termogram grafikleri ile polimerin sahip olduğu çeşitli değerler de belirlenmektedir (Yıldırım, 2011). Bu değerler polimerin sahip olduğu termo fiziksel özelliklerdir ve materyalin fiziksel özelliklerini belirlemesi açısından da oldukça önemlidir.

Bu değerler;

- Camlaşma sıcaklığı,
- Erimeye başlama sıcaklığı,
- Erime sıcaklığı,
- Erime ısısı,
- Soğuk Kristalleşme sıcaklığı,
- vb.,

şeklinde sıralanabilmektedir.

Bu değerlerden öne çıkanların tanımlamaları aşağıda yapılmıştır.

Camsı Geçiş Sıcaklığı ve Erime Sıcaklığı

Polimerik malzemeleri karakterize etmek için kullanılan iki ana geçiş sıcaklığı vardır ve bunlar, camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime sıcaklığı (T_e) olarak sıralanmaktadır. Maddenin camsı özelliklerini kaybedip viskoz özellikler kazanmaya başladığı sıcaklık sınırına **camsı geçiş sıcaklığı** denir. Yarı kristal bir polimerin kristalize olmuş zincirlerinin erimeye başladığı sıcaklık ise, polimerin **erime sıcaklığı** olarak kabul edilmektedir. Bir polimerin her iki ısı geçişi de göstermesi morfolojilerine ve fiziksel hallerine bağlıdır. Tamamen amorf polimerler sadece T_g gösterirken, yarı-kristal polimerler ise hem T_g hem de T_e değerlerini göstermektedirler. Laboratuvar koşullarında oluşturulabilen %100 kristal polimerler ise sadece T_e ısı geçişini gösterip camsı geçiş göstermezler (www.polimernedir.com, 2013).

Doktora tez çalışması kapsamında üretilen katkısız PP ve F.R. katkılı sürekli filament ipliklere ait termogram garfiklerinden elde edilen veriler, Çizelge 4.16.'da verilmiştir. Çizelgede, T_g camlaşma sıcaklığı, Onset erimeye başlama sıcaklığı, T_e erime sıcaklığı ve ΔH erime ısısı değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.16. Katkısız PP ve F.R. katkılı ipliklerin DSC analiz sonuçları

İplik Özelliği	T_g (°C)	Onset (°C)	T_e (°C)	T (°C), (mW)	ΔH (J/gr)
Katkısız PP	4.6	155.2	160.8	167.4-7.3	80.1
%1 F.R.	2.8	154.9	161.9	160.2-8.3	84.8
%2 F.R.	-1.9	154.6	158.3	164.6-5.4	84.1
%3 F.R.	-3.3	156.6	160.6	166.5-5.5	82.9
%4 F.R.	5.4	154.7	159.5	166.5-7.4	83.0
%5 F.R.	4.9	154.5	159.3	166.0-5.9	87.0
%6 F.R.	6.4	154.4	158.2	165.9-6.4	90.6
%7 F.R.	5.6	154.4	158.1	165.6-6.0	87.2
%8 F.R.	3.0	154.2	158.2	165.4-5.4	82.1

Çizelge 4.16. incelendiğinde, filament ipliklerin sahip olduğu erime başlangıç sıcaklıkları, erime sıcaklıkları ve erime ısısı değerleri arasında yakınlık olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ipliklerin camlaşma sıcaklık değerleri ise birbirinden farklıdır.

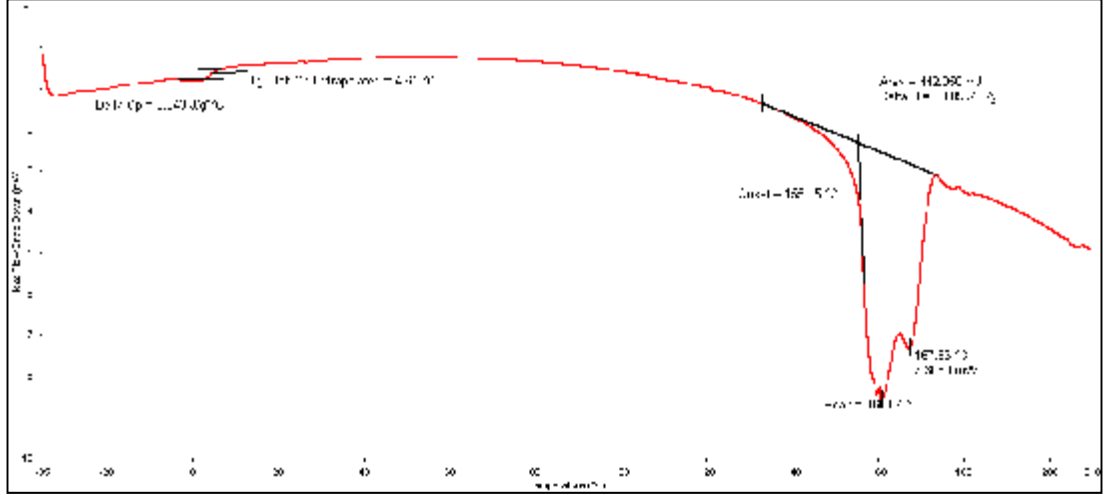
Bu durumun gerekçeleri;

- § Amorf ve yarı-kristalin polimerik maddeler camsı geçiş sıcaklığı üzerinde yumuşarlar. DSC analizi ile T_g sıcaklığının belirlenmesinde bu geçiş belirli bir sıcaklık aralığında gerçekleşmiş olabilir (Örneğin, -4°C ile 7°C arasında). Sonuçta, ipliklere dair farklı T_g sonuçları elde edilmiştir.
- § DSC analizi genellikle materyallerin erime noktası ve % kristalleşme oranı değerlerini belirlemek için kullanılmaktadır. DSC test cihazı, camlaşma sıcaklığının tespiti için yeteri kadar hassas değildir ve sonuçta elde edilen camlaşma sıcaklık değerleri arasında farklılıklar olabilmektedir (Yıldırım, 2011 ve Sichina, 2012).
- § PP sürekli filament ipliklerin yapısında PP polimeri dışında bulunan diğer maddeler (F.R. katkı maddesi ve yağlayıcı madde), camlaşma sıcaklık değerinde farklılıklara sebep olabilmektedir,
- § F.R. katkı maddesi, sürekli filament iplik yapısında değişkenlik gösteren birikmelere/yığılmalara (partikül aglomerasyonu) sebep olduğundan, materyalin farklı T_g ($^{\circ}\text{C}$) değerlerine sahip olmasına neden olabilir,

şeklindedir.

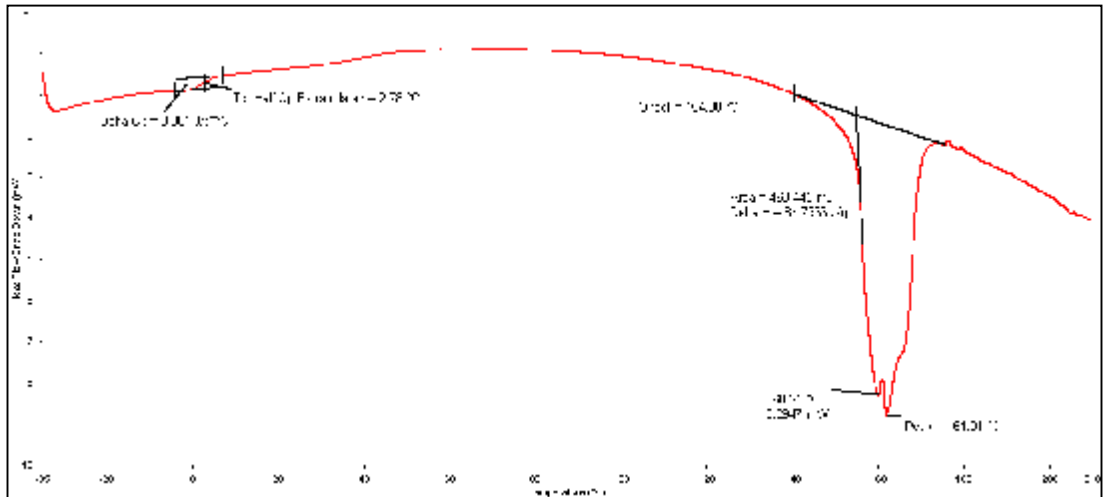
Çalışmada, üretimi gerçekleştirilen ipliklerin yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için iplikler DSC testine tabii tutulmuştur. Test sonuçlarında temel amaç, % kristalin bölge oranının tespitidir. Bununla birlikte, test süresince numunelerin termogram grafikleri de oluşturulmuştur. Bu grafikler aşağıda yer almaktadır. Ayrıca, aşağıdaki grafiklerden de görülebileceği gibi, polimerik maddenin yaptığı erime pikinden sonra ikinci bir pik değeri de yer almaktadır. Bu durum, PP polimerinin yapısal karakterinden kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle, PP karakteristik olarak çift erime pikine sahiptir.

Şekil 4.27.'de katkısız PP filament ipliklerin termogram eğrisi verilmiştir.



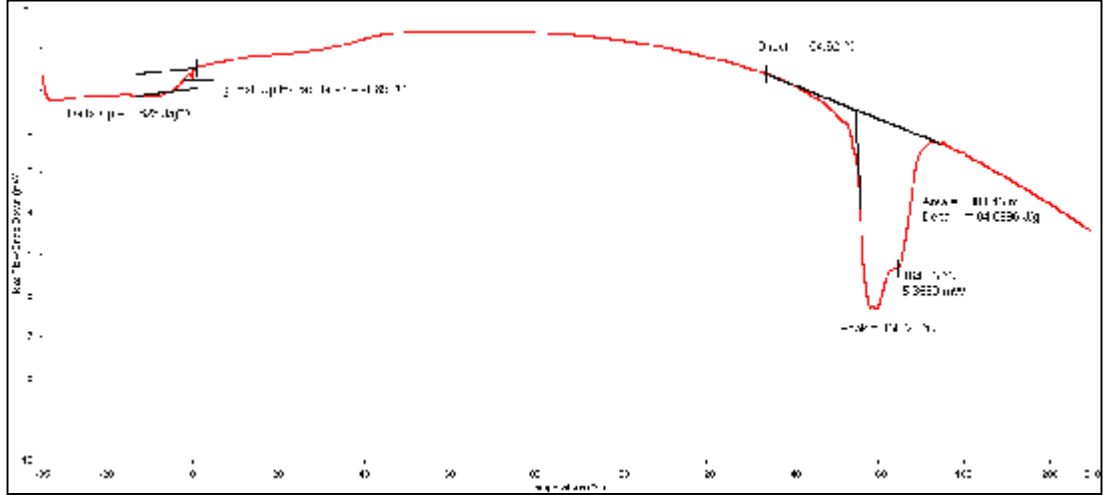
Şekil 4.27. incelendiğinde, katkısız PP filament ipliklerin camlaşma sıcaklığının 4.6 °C, erime sıcaklığının ise 160.8°C olduğu görülmektedir.

Şekil 4.28. ise, %1 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.28. incelendiğinde, %1 F.R. katkılı filament ipliklerin camlaşma sıcaklığının 2.8 °C, erime sıcaklığının ise 161.9 °C olduğu görülmektedir.

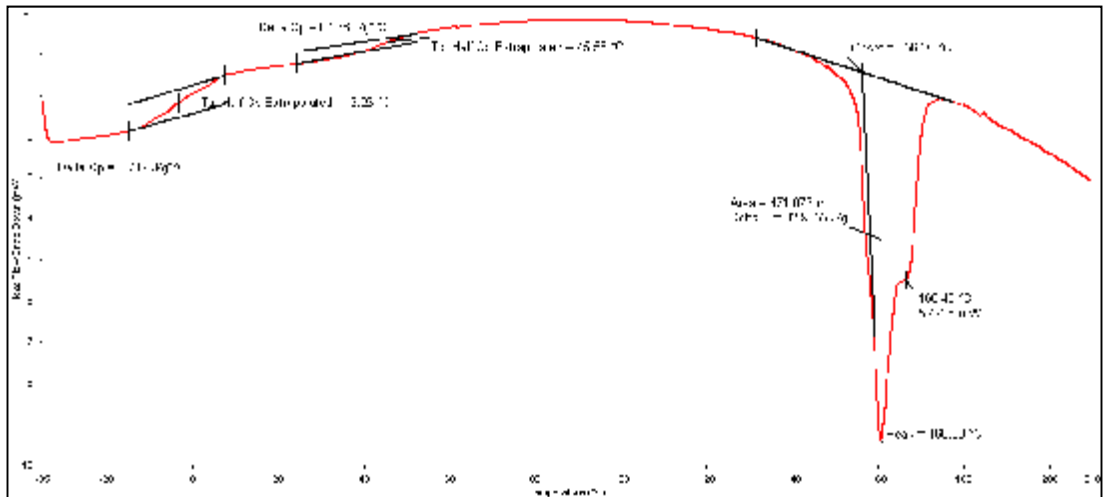
Şekil 4.29.'da, %2 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğri grafiği görülmektedir.



Şekil 4.29. %2 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

Şekil 4.29. incelendiğinde, %2 F.R. katkılı filament ipliklerin camlaşma sıcaklığının -1.9°C, erime sıcaklığının ise 158.3°C olduğu görülmektedir.

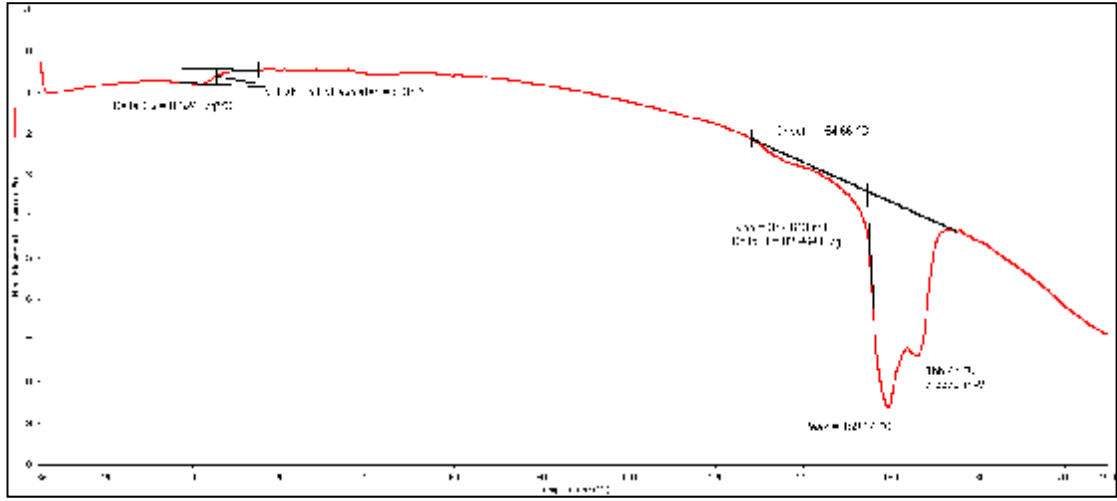
Şekil 4.30., %3 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.30. %3 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

Şekil 4.30. incelendiğinde, %3 F.R. katkılı ipliğin camlaşma sıcaklık değerinin -3.3°C olarak bulunduğu görülmektedir. Aynı zamanda, ipliğin erime sıcaklık değeri de 160.6°C olarak hesaplanmıştır.

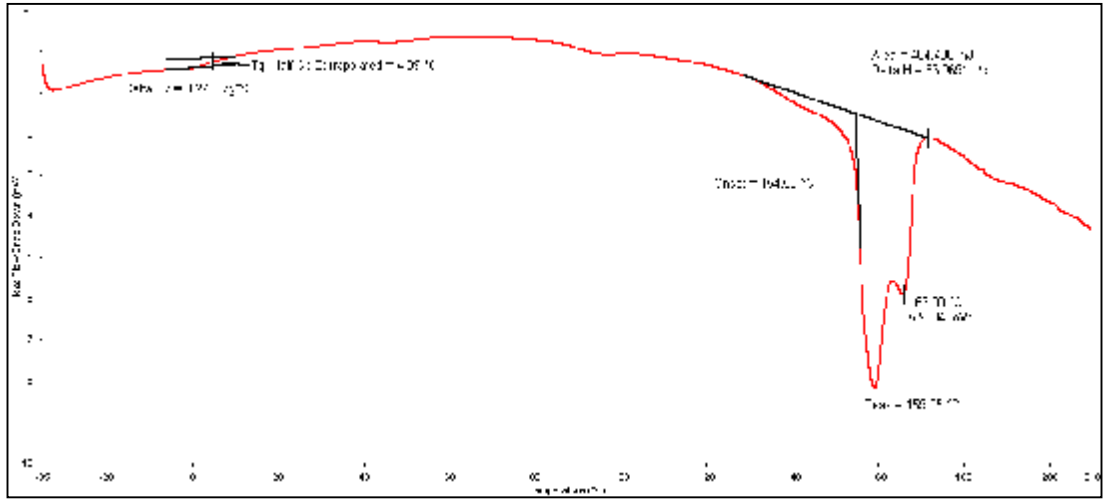
Şekil 4.31., %4 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.31. %4 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

Şekil 4.31'den, %4 F.R. katkılı filament ipliğin camlaşma sıcaklığının 5.4°C , erime sıcaklığının ise 159.5°C olduğu görülmektedir.

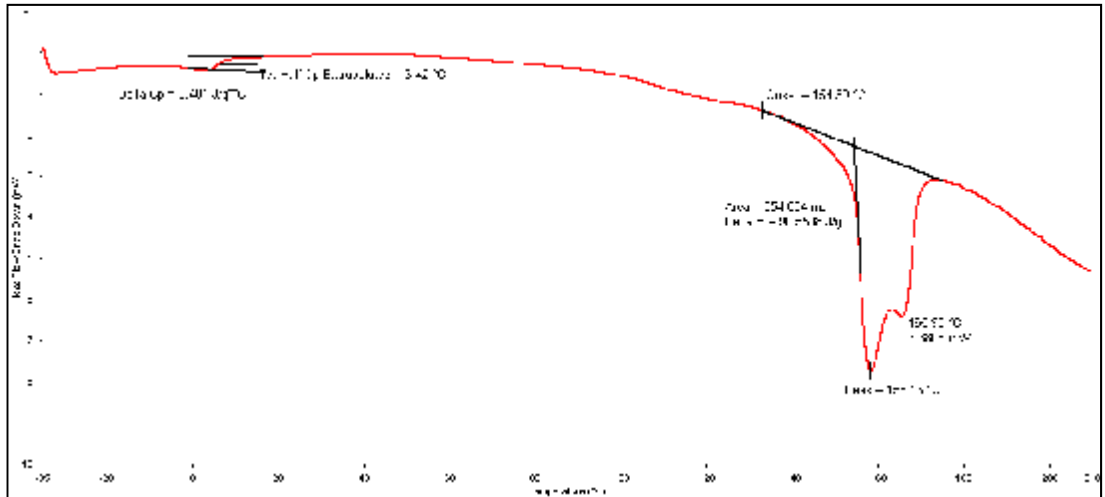
Şekil 4.32.'de ise, %5 F.R. katkılı filament ipliğe ait termogram eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.32. %5 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

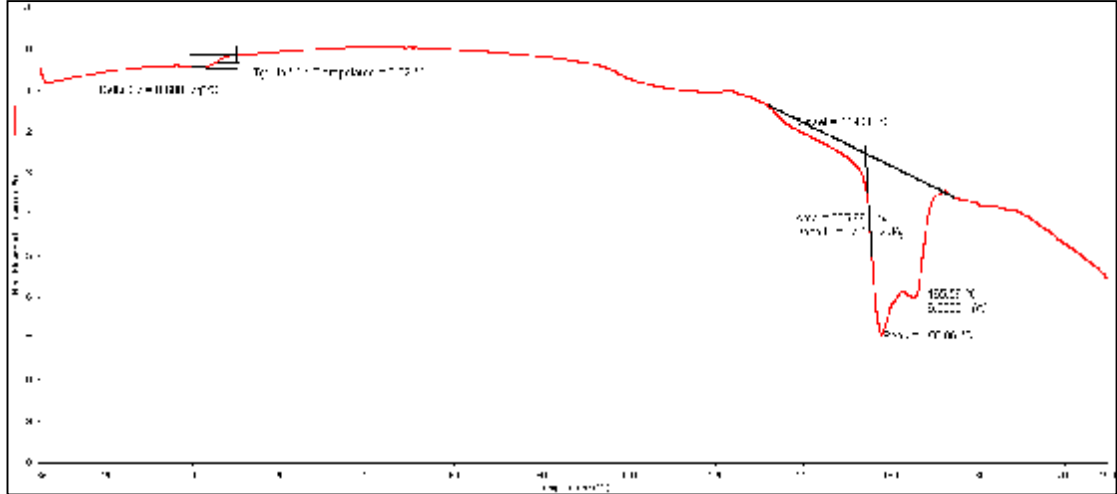
Şekil 4.32.'den, %5 F.R. katkılı filament ipliklerin camlaşma sıcaklığının 4.9 °C, erime sıcaklığının ise 159.3°C olduğu görülmektedir.

Şekil 4.33., %6 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisini göstermektedir. Şekil incelendiğinde, %6 F.R. katkılı filament ipliklerin camlaşma sıcaklığının 6.4 °C, erime sıcaklığının ise 158.2°C olduğu görülmektedir.



Şekil 4.33. %6 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

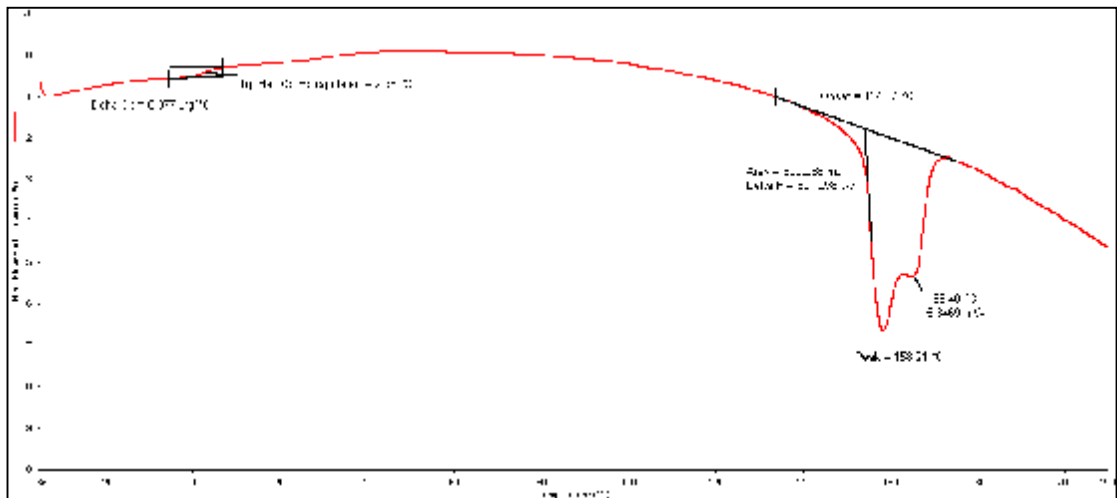
Şekil 4.34.'de, %7 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.34. %7 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

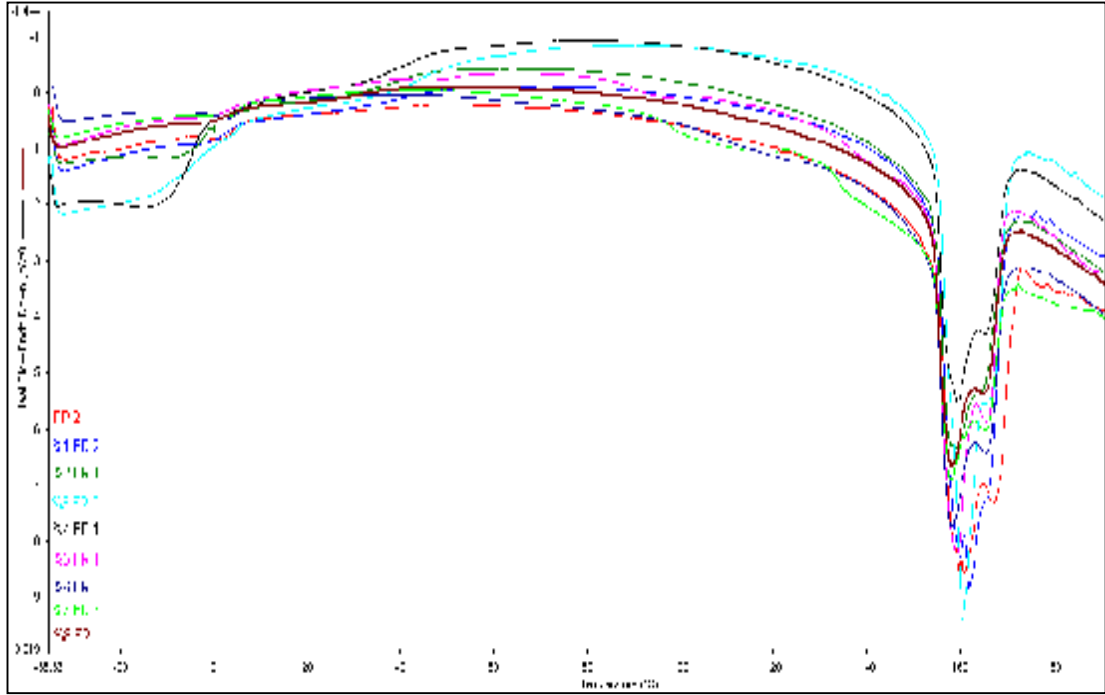
Şekil 4.34.'deki grafik incelendiğinde, %7 F.R. katkılı ipliğin camlaşma sıcaklığı değerinin 5.6°C, erime sıcaklık değerinin ise 158.1°C olduğu görülmektedir.

Şekil 4.35. de, %8 F.R. katkılı filament ipliklerin termogram eğrisi göstermektedir. Şekilden %8 F.R. katkılı ipliğin camlaşma sıcaklığı değerinin 3.0°C, erime sıcaklık değerinin ise 158.2°C olduğu görülmektedir.



Şekil 4.35. %8 F.R. katkılı filament iplik DSC termogram eğrisi

Ayrıca, Şekil 4.36. ise, katkısız PP ve F.R. katkılı ipliklere ait tüm DSC sonuçlarının yer aldığı grafiği göstermektedir.



Şekil 4.36. Katkısız PP ve F.R. katkılı filament ipliklere ait DSC termogram eğrileri

Şekil 4.36.'daki test sonuçları incelendiğinde, sürekli filament ipliklerin T_g değerleri arasında genel olarak bir miktar farklılık olduğu görülmektedir. Bu durum daha önce açıklanan sebeplerden kaynaklanabilmektedir (Syf. 115). Bununla birlikte, ipliklerin erime sıcaklık değerleri ise, beklenen değerlerde ve birbirine yakın bulunmuştur.

4.9. Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Test Sonuçları

Kullanım alanına yönelik bir materyalin güç tutuşurluk özelliğinin belirlenmesiyle ilgili olarak, söz konusu bu materyalin cinsi ile ilişkili yanma davranışı, materyalin bulunuş şekli, materyalin yüzey yapısı, alevin çıkış kaynağı, vb. değişkenlere bağlı geliştirilen ve uygulamada kullanılan çok sayıda test metodu bulunmaktadır. Bu test yöntemlerinden en çok kullanılanları malzemenin bulunuş konumuna göre; dikey yakma testi ve yatay yakma testi, yanma için ortamda gerekli

olan oksijen miktarının tespiti için LOI (Limited Oxygen Index) testi ve yanma sırasında açığa çıkan toksinliğin belirlenmesinde kullanılan toksisite testi, vb. şeklinde sıralanabilmektedir. Sıralanan bu testlerden farklı olarak da oluşturulduğu ülkenin standardına göre çeşitli güç tutuşurluk testleri bulunmaktadır. Güç tutuşurluk testlerinde genel olarak, tutuşturma kaynağı uzaklaştırıldıktan sonraki yanma süresi, alevli yanma bittikten sonraki içten yanma süresi, test sonunda oluşan kömürleşme boyu ve alanı, yanmanın ilerleme hızı, damlama olayı, gaz veya duman çıkarma durumu, vb. sonuçlar dikkate alınmaktadır.

Doktora tez çalışmasında, fosfonat esaslı güç tutuşur katkı maddesi eklenen sürekli filament iplikler, dikey yanmazlık ve LOI testlerine tabii tutulmuşlardır. Söz konusu bu testlerle ilgili bilgiler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

4.9.1. Dikey Yanmazlık Test Sonuçları

Dikey yanmazlık testine tabii tutulmak üzere örme kumaş yapısı haline getirilen iplik numuneleri, ASTM D6413 test standardına göre 300 mm*76 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmışlardır. Çalışma kapsamında, 352 gr/m² gramaja sahip, 3 farklı replikasyonla üretilen ve 9 gruptan oluşan toplam 27 adet örme kumaş numunesine dikey yanmazlık testi uygulanmıştır ve test Atlas Marka Fire Science Product-AGC Automic Gas Control cihazında gerçekleştirilmiştir.

İlgili standarta göre gerçekleştirilen dikey yanmazlık testi sonucu kumaşlara ait,

- Kumaşın yanma süresi,
- Kumaşın yanma uzunluğu ve
- Kumaşın yanma davranışı,

temel üç yanma sonucu belirlenmiştir.

Söz konusu test sonuçları Çizelge 4.17.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.17. Katkısız ve F.R. katkılı filament ipliklerin dikey yanmazlık test sonuçları

No	İplik Türü	Dikey Yanmazlık Test Sonuçları		
		Yanma Süresi (+12 sn)	Yanma Uzunluğu (mm)	Yanma Durumu
1	Katkısız PP	46,04	145,7	Genel olarak, tüm test numunelerinde erime görülmüştür. Bununla birlikte, bazı test numunelerinde damalama olmamış, bazı numunelerde ise yanma sırasında az miktarda damlama görülmüştür. Testler sırasında sadece birkaç numunede ise, belirgin bir damlama davranışı görülmüştür.
2	% 1 FR	9,68	92,3	
3	% 2 FR	3,82	90	
4	% 3 FR	2,63	83,9	
5	% 4 FR	1,9	81,6	
6	% 5 FR	0,66	82,6	
7	% 6 FR	0,58	84,4	
8	% 7 FR	1,16	69,2	
9	% 8 FR	1,04	53	

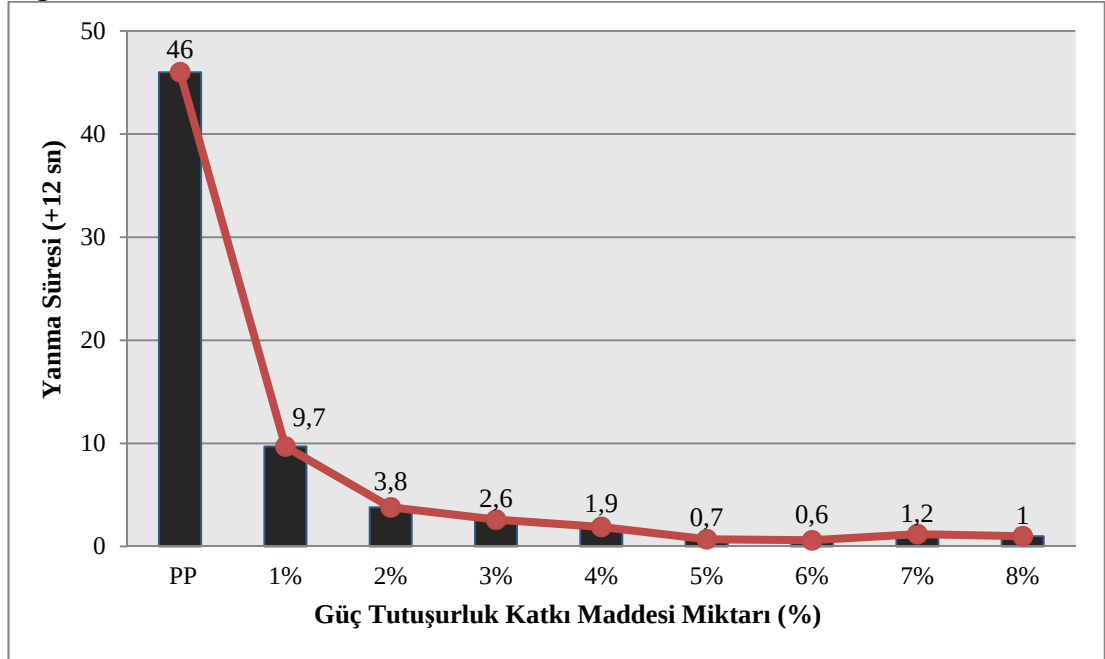
Çizelge 4.17.'den de görülebileceği üzere, dikey yönde yakma testi sonucunda yanma süresi (+12 sn) ve yanma uzunluğu (mm) olmak üzere iki farklı veri grubu elde edilmiştir. Her iki test sonucu ve numunelerin yanma davranışlarına dair açıklamalara aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir.

a. Örme Kumaş Numunelerinin Dikey Yanma Süresi Test Sonuçları

Örme kumaş numuneleri dikey pozisyonda ve 12 saniye süresince alev bekenden gelen aleve maruz bırakılmışlardır. Test süresince, PP kumaş numunesinin yanmaya devam ettiği süre kronometreden takip edilmiş ve test sonunda da dikey yanma süresi saniye cinsinden belirlenmiştir.

Şekil 4.37., F.R. katkı maddesi oranının PP örme kumaşların yanma süresine etkisini göstermektedir.

Significant: 0,000



Şekil 4.37. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş yanma süresine etkisi

Şekil 4.37. incelendiğinde, F.R. katkı maddesi miktarındaki artışın numunelerin dikey yanma sürelerini belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Grafikten, F.R. katkı maddesi içermeyen katkısız PP ipliğin aleve maruz bırakıldığı 12 saniye sonrasında 46 saniye boyunca yandığı, katkı maddesi eklenen kumaşların ise, bu sürenin çok altında yanma süresine sahip oldukları görülmektedir. Diğer dikkat çekici bir sonuç ise, %5 oranıyla %8 oranı arasında katkı içeren örme kumaşların yanma süresi sonuçlarındaki artış-azalış yönündeki değişkenliktir. Bu durum, %5 katkı maddesi içeren örme kumaş numunesinin belirli bir güç tutuşurluk seviyesine ulaşması ve bu orandan daha fazla katkı maddesi ilave edilse bile numunelerde benzer yanma davranışlarının gözlemlenmesi şeklinde açıklanabilmektedir.

Ayrıca, gerçekleştirilen testler süresince katkısız PP örme kumaşın yanma davranışları da gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sonuçlardan biri, dik olarak aleve maruz bırakılan PP örme kumaşların genellikle alt kenar orta noktasından yanmaya başladığı, bazı testler esnasında ise, alevin kumaş kenarına doğru da yanma eğilimi göstermesidir.

Bu testler sonucunda, alevin kumaş kenarına doğru yayılma etkisi yapmasının,

- I. PP örme kumaşın daha uzun süre yanmaya devam etmesi (kenardan oluşan yanma eğiliminin, orta noktadaki tutuşmaya göre daha şiddetli ve daha uzun süre devam ettiği gözlemlenmiştir) ve
- II. Genellikle orta ve kenar olmak üzere, kumaşın çift pikli yanma davranışı göstermesi,

sonuçlarını oluşturduğu görülmüştür.

Alevin kumaş kenarına yayılması sonucunda yukarıda sıralanan durumlar gözlemlenmiştir. Söz konusu bu durumlar, örme kumaşın dik yönde yanmaya karşı daha dirençli olduğu sonucunu doğurmaktadır. Bu sonuç, F.R. katkı maddesinin kumaşın uzunluğunca (dik doğrultusunda) daha etkili olmasıyla da açıklanabilir.

Örme kumaş numunelerine ait dikey yönde yanma süresi test sonuçları Tek Yönlü Varyans Analizi ile istatistiksel olarak da incelenmiştir. Söz konusu istatistiksel analiz sonuçları aşağıda çizelgeler halinde yer almaktadır.

Çizelge 4.18. her bir grup için ortalama, standart sapma, vb. temel istatistik verilerini göstermektedir.

Çizelge 4.18. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık [yanma süresi(+12 sn)] testine dair tanımlayıcı istatistikleri

Descriptives								
Yanma Süresi (+12 sn)								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
%100 PP	9	46,067	20,6870	6,8957	30,165	61,968	27,9	91,5
%1 F.R.	9	9,689	5,3471	1,7824	5,579	13,799	4,5	19,6
%2 F.R.	9	3,822	2,7730	,9243	1,691	5,954	,0	8,0
%3 F.R.	9	2,633	1,6793	,5598	1,343	3,924	,0	4,9
%4 F.R.	9	1,911	1,0764	,3588	1,084	2,738	,6	3,7
%5 F.R.	9	,656	,5341	,1780	,245	1,066	,0	1,3
%6 F.R.	9	,578	,9667	,3222	-,165	1,321	,0	2,9
%7 F.R.	9	1,167	,9975	,3325	,400	1,933	,0	2,6
%8 F.R.	9	1,044	,6598	,2199	,537	1,552	,0	2,1
Total	81	7,507	15,5730	1,7303	4,064	10,951	,0	91,5

Çizelge 4.19.'da ise, varyans analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.19. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma süresi) testi için varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Yanma Süresi (+12 sn)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15634,562	8	1954,320	37,355	,000
Within Groups	3766,893	72	52,318		
Total	19401,456	80			

Gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre, $\alpha=0,05$ güvenirlik seviyesinde ipliklerin yanma süresi değerlerine ait test sonuçlarının anlamlılık değeri 0,000 bulunduğundan, katkı maddesi miktarının örme kumaş numunelerinin yanma süreleri üzerindeki etkisinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.19.).

Söz konusu istatistiksel çalışmada elde edilen diğer sonuçlar ise, aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- F.R. katkı maddesi oranı faktörünün, örme kumaş yanma süresi üzerindeki etkisi anlamlıdır (Katkı maddesi oranı, sig. değeri: 0,000)
- Oluşturulan hipotez,

$H_0 : \alpha = 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı yoktur),

$H_1 : \alpha \neq 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı vardır),

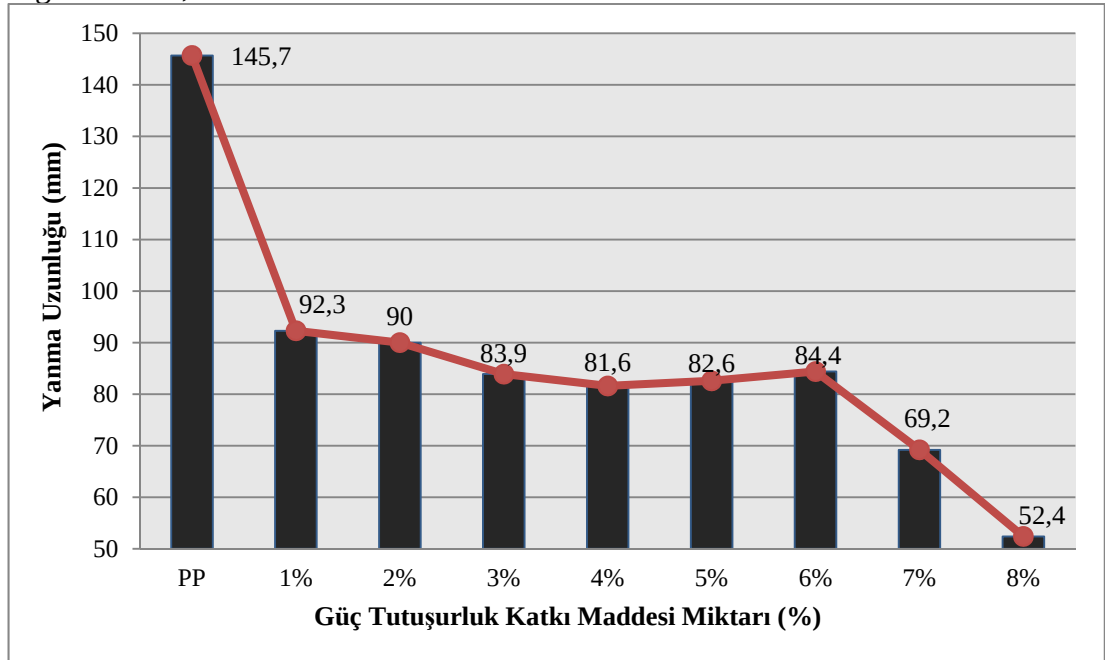
olmak üzere, H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 hipotezi kabul edilmektedir.

- F.R. katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı bulunmaktadır.

b. Örme Kumaş Numunelerinin Dikey Yanma Uzunluğu Test Sonuçları

Örme kumaş numuneleri, dikey olarak ve 12 saniye süresince bekten gelen aleve maruz bırakılmış ve süre sonunda da PP örme kumaş numunelerinin yanma uzunluğu (kömürleşme uzunluğu) ölçülmüştür. Aşağıda yer alan Şekil 4.38., F.R. katkı maddesi oranının PP örme kumaşların yanma uzunluğuna etkisini göstermektedir.

Significant: 0,000



Şekil 4.38. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş yanma uzunluğuna etkisi

İlgili standarta göre örme kumaş numunelerine uygulanan dikey yanmazlık testinde numunelerin aleve maruz bırakıldıktan 12 saniye sonraki toplam yanma süresi izlenmekte ve süre sonunda da kumaş, yanma uzunluğu ölçümü için test kabininden çıkarılmaktadır.

Şekil 4.38. incelendiğinde, F.R. katkı maddesi miktarındaki artışın numunelerin dikey yanma uzunluklarını belirgin bir şekilde azalttığı görülmektedir. Grafik incelendiğinde, F.R. katkı maddesi olmayan-PP ipliğin 145,7 mm yanma uzunluğuna sahip olduğu, katkı maddesi eklenen kumaşların ise bu uzunluğun oldukça altında kömürleşme uzunluğu değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Özellikle %8 oranında F.R. katkılı olan PP örme kumaş yanma uzunluğu sonucundaki belirgin azalış dikkat çekicidir. Diğer bir dikkat çekici sonuç ise, %3 ve %6 oranı arasında katkı içeren örme kumaşların yanma uzunluk ölçüm sonuçları arasındaki benzerliktir. Diğer bir deyişle, bu sonuçlar arasında belirgin bir azalış eğilimi değil benzerlikler görülmüştür. Bu durum, %3, %4, %5 ve %6 oranında F.R. içeren test numunelerinin benzer seviyede güç tutuşurluk özelliğine sahip olmalarıyla açıklanabilmektedir.

Ayrıca, gerçekleştirilen testler süresince PP örme kumaşların yanma davranışları da gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sonuçlardan biri daha önce de bahsedildiği gibi, dik olarak aleve maruz bırakılan PP örme kumaşların genellikle alt kenar orta noktasından yanmaya başladığı, bazı testler esnasında ise alevin kumaş kenarına doğru da yanma eğilimi göstermesidir. Bu yanma davranışının gözlemlendiği kumaşlarda yanma uzunluğu bir miktar artmıştır.

Örme kumaş test numunelerinin yanma uzunluğu test sonuçları Tek Yönlü Varyans Analizi ile istatistiksel olarak da incelenmiştir. Söz konusu istatistiksel analiz sonuçları aşağıda çizelgeler halinde yer almaktadır.

Çizelge 4.20. her bir grup için ortalama, standart sapma, vb. temel istatistik verilerini göstermektedir.

Çizelge 4.20. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma uzunluğu) testine dair tanımlayıcı istatistikler

Descriptives								
Yanma Uzunluğu (mm)								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
%100 PP	9	145,667	37,1113	12,3704	117,140	174,193	90,0	200,0
%1 F.R.	9	92,333	11,5217	3,8406	83,477	101,190	79,0	118,0
%2 F.R.	9	90,000	13,8203	4,6068	79,377	100,623	60,0	101,0
%3 F.R.	9	83,889	8,1001	2,7000	77,663	90,115	73,0	100,0
%4 F.R.	9	81,556	17,0449	5,6816	68,454	94,657	59,0	111,0
%5 F.R.	9	82,556	14,9592	4,9864	71,057	94,054	60,0	105,0
%6 F.R.	9	84,444	7,6012	2,5337	78,602	90,287	71,0	95,0
%7 F.R.	9	69,222	19,7976	6,5992	54,004	84,440	30,0	89,0
%8 F.R.	9	52,444	11,8544	3,9515	43,332	61,557	35,0	71,0
Total	81	86,901	29,2539	3,2504	80,433	93,370	30,0	200,0

Çizelge 4.21.'de ise, varyans analizi sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.21. F.R. katkılı ipliklerin dikey yanmazlık (yanma uzunluğu) testi için varyans analizi sonuçları

ANOVA					
Yanma Uzunluğu (mm)					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45493,877	8	5686,735	17,826	,000
Within Groups	22969,333	72	319,019		
Total	68463,210	80			

Gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre, $\alpha=0,05$ güvenirlilik seviyesinde ipliklerin yanma uzunluklarına ait test sonuçlarının anlamlılık değeri 0,000 bulunduğundan, katkı maddesi miktarının örme kumaş numunelerinin yanma uzunlukları üzerindeki etkisinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu söylenebilmektedir (Çizelge 4.21.).

Söz konusu istatistiksel çalışmada elde edilen diğer sonuçlar ise, aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- F.R. katkı maddesi oranı faktörünün, örme kumaş yanma uzunluğu üzerindeki etkisi anlamlıdır (Katkı maddesi oranı, sig. değeri: 0,000)
- Oluşturulan hipotez,
 $H_0 : \alpha = 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı yoktur),
 $H_1 : \alpha \neq 0$ (Katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı vardır),

olmak üzere, H_0 hipotezi reddedilmekte ve H_1 hipotezi kabul edilmektedir.

- F.R. katkı maddesi oranı faktörünün modele katkısı bulunmaktadır.

4.9.2. Limit Oksijen Index (LOI) Test Sonuçları

Güç tutuşurluk, tekstil mamullerinin perdeler, döşemelikler, halılar ve koruyucu giysiler gibi bazı kullanım alanlarında oldukça önemli bir özelliktir. PP lifi, söz konusu bu kullanım alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, PP lifleri tam alifatik yapıları ve hızlı bozunma oranları nedeni ile de kolay alev alarak oldukça hızlı yanmaktadırlar.

LOI test metodu malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini görme açısından çok tercih edilen bir test metodudur. Test polimer esaslı malzemelerin tek bir sayı ile güç tutuşurlukları hakkında fikir verdiği için de yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. LOI değeri ise, bir materyalin havada yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu % oksijen miktarı anlamına gelmektedir. Yüksek LOI değeri standart atmosfer ortamlarında söz konusu materyalin daha zor yanma karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, LOI değeri %21-28 arasında olan materyaller “Yavaş Yanan Malzemeler” olarak, LOI değeri %28’den büyük olan materyaller ise “Güç Tutuşur-Kendi Kendini Söndürebilen Malzemeler” olarak tanımlanmaktadır (Fenimore, 1975, Horrock, 1989 ve Erdem, 2010).

PP liflerinin LOI değeri %17-18 civarındadır. Bu değer güç tutuşurluk özelliği açısından oldukça düşüktür. Bununla birlikte, PP polimeri bazı özelliklerinden ötürü (kolay işlenebilirlik, hafiflik, vb.) güç tutuşurlukluğun arandığı kullanım alanlarında (perdeler, döşemelikler, halılar, vb.) tercih edilmektedir. Bu nedenle güç tutuşur PP liflerinden tekstil malzemeleri üretebilmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

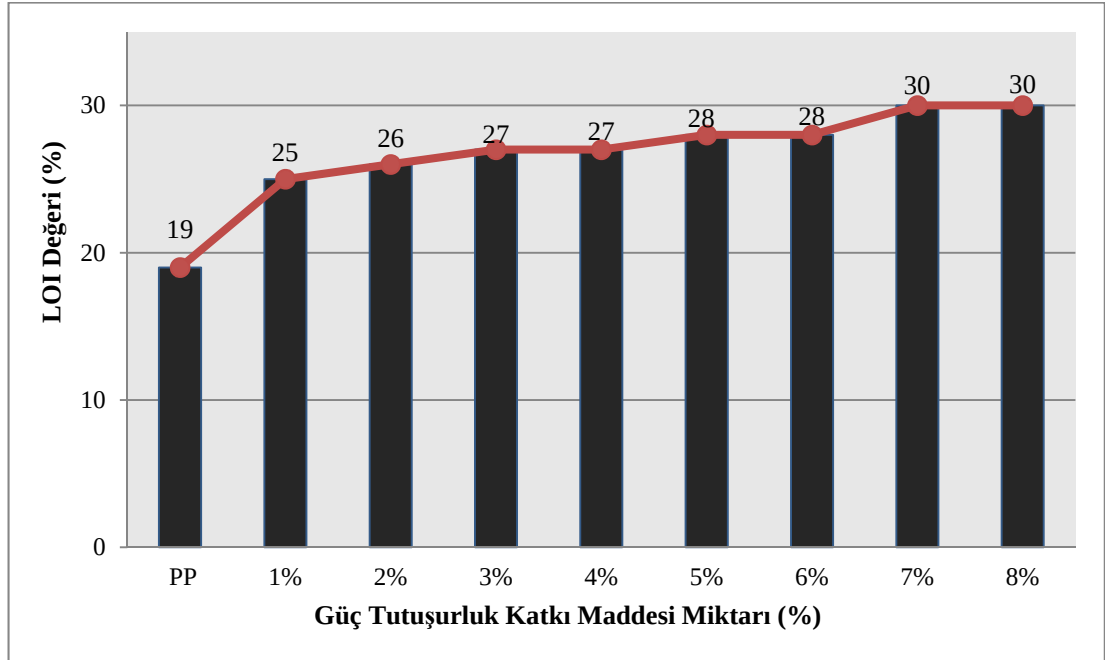
Tez çalışmasında, PP sürekli filament ipliklerden elde edilen örme kumaş numunelerine LOI testi uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Test belirli basınçta azot ve oksijen gazları akışının bulunduğu ortamda tutuşmanın başlaması için gerekli minimum oksijen konsantrasyonun (Limit Oksijen İndeksi-LOI) ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Deneylerde ASTM D2863-76'e göre dizayn edilmiş bir oksijen indeks test aleti kullanılmıştır.

Çizelge 4.22.'de, örme kumaş numunelerine ait LOI test sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.22. Katkısız PP ve F.R. katkılı örme kumaşların % LOI test sonuçları

No	İplik Türü	LOI Değeri (%)
1	Katkısız PP	19
2	% 1 FR	25
3	% 2 FR	26
4	% 3 FR	27
5	% 4 FR	27
6	% 5 FR	28
7	% 6 FR	28
8	% 7 FR	30
9	% 8 FR	30

Şekil 4.39. ise, güç tutuşurluk katkı maddesi oranına göre LOI değerlerindeki değişimi göstermektedir.



Şekil 4.39. F.R. katkı maddesi oranının örme kumaş LOI değerine etkisi

Havadaki oksijen oranı yaklaşık %21 olduğu için LOI değeri bu değerden düşük olan herhangi bir materyal hava ortamında kolayca yanabilmektedir. Bunun aksine, LOI değeri %21 den fazla olan malzemeler ise tutuşturucu alev ortadan kalktığı anda yanmayı yavaşlatmakta veya durdurmaktadırlar.

Şekil 4.39.'dan da görülebileceği gibi, katkısız PP'nin LOI değeri %19 olarak bulunmuştur. F.R. katkı maddesi eklenen numunelerin ise LOI değerleri, PP referans numunesine göre belirgin derecede yükselmiştir.

Örme kumaş numunelerine uygulanan LOI testi neticesinde çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Bunlar,

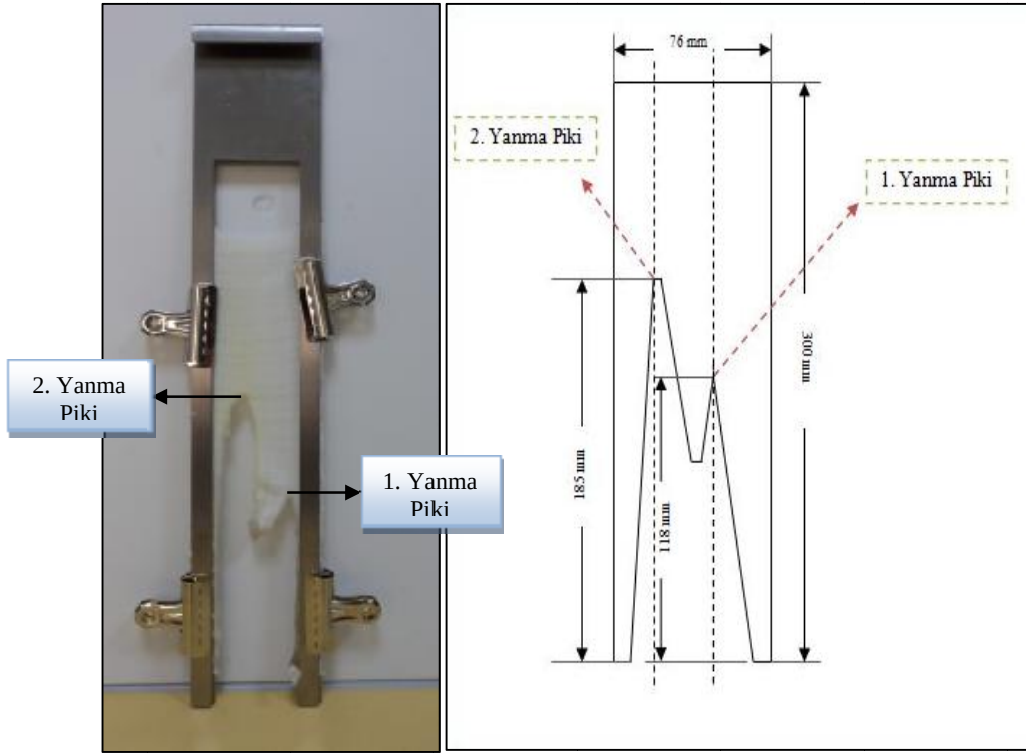
- I. Katkısız PP için genellikle belirlenen LOI değeri %17-18 civarında olmakla birlikte, çalışmamızda kullanılan numune örme kumaş yapısının LOI değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun, sürekli filament iplik doğrusal yoğunluğunun (918 denye) yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür,
- II. %1'lik F.R. katkı maddesi ilavesi itibarıyla, PP örme kumaşların LOI değerleri belirgin ölçüde yükselmiştir,
- III. %1, %2, %3, %4, %5 ve %6 oranında F.R. içeren numunelerin “Yavaş Yanan” ürünler kategorisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır,
- IV. %7 ve %8 oranında katkı içeren numuneler ise “Güç Tutuşur-Kendi Kendini Söndürebilen Malzeme” sınıfına girmektedir,

şeklindedir.

4.9.3. F.R. Katkılı Polipropilen Örme Kumaşların Güç Tutuşurluk Davranışlarıyla İlgili Genel Değerlendirmeler

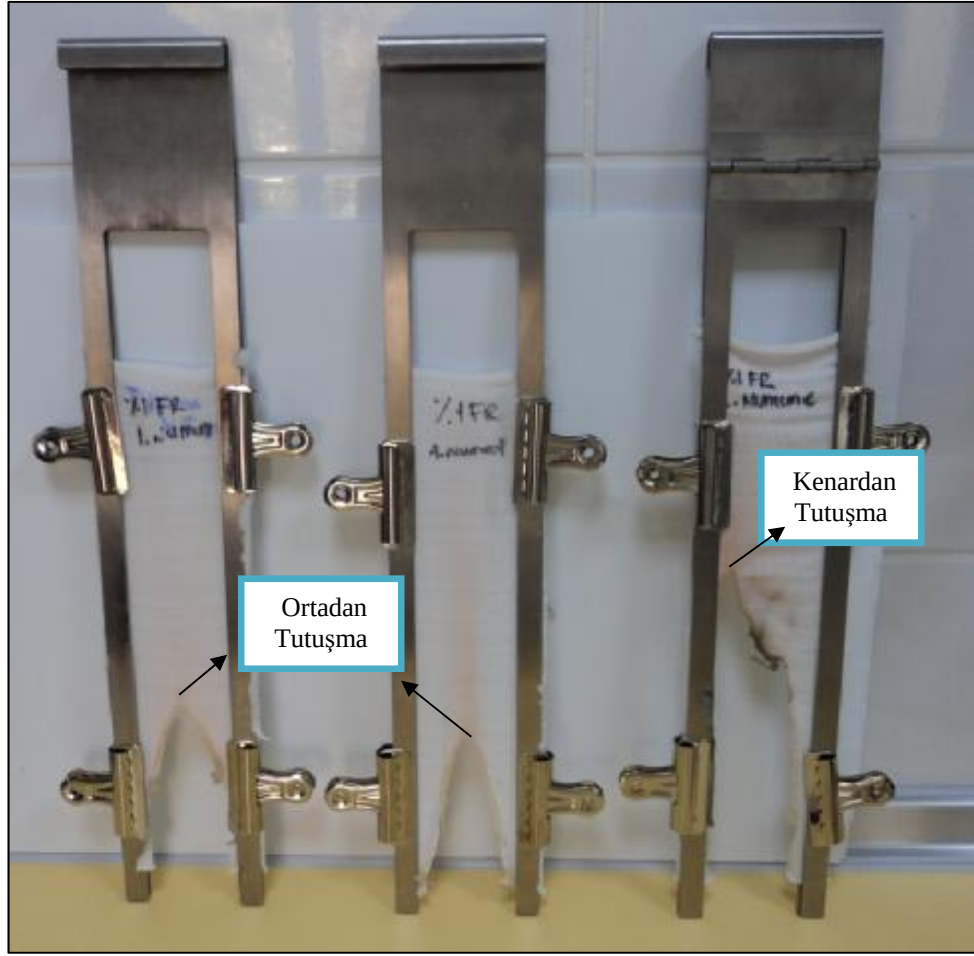
Doktora tez çalışmasında, katkısız PP ve F.R. katkı polipropilen örme kumaş numunelerine dair gerçekleştirilen dikey yanmazlık ve LOI testleri sırasında yapılan gözlemler ve ulaşılan test sonuçları esas alınarak bazı değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler, aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

§ Polipropilen örme kumaş numunelerinin dikey yönde yanma davranışlarının genellikle, alev bekinin bulunduğu alt kenarın orta kısmından yukarıya doğru tutuşmak şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Ancak bazı numunelerde bu davranışla birlikte, alevin kumaşın yan uzun kenarına doğru da yayılma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bu durum, katkısız PP örme kumaşlarda zaman zaman alevin çift yayılma eğilimi gösterdiği şeklinde yorumlanabilmektedir. Sonuç olarak da, kumaşta çift yanma piki oluşmaktadır. Söz konusu bu durum aşağıda yer alan Şekil 4.40.'da da görülmektedir.



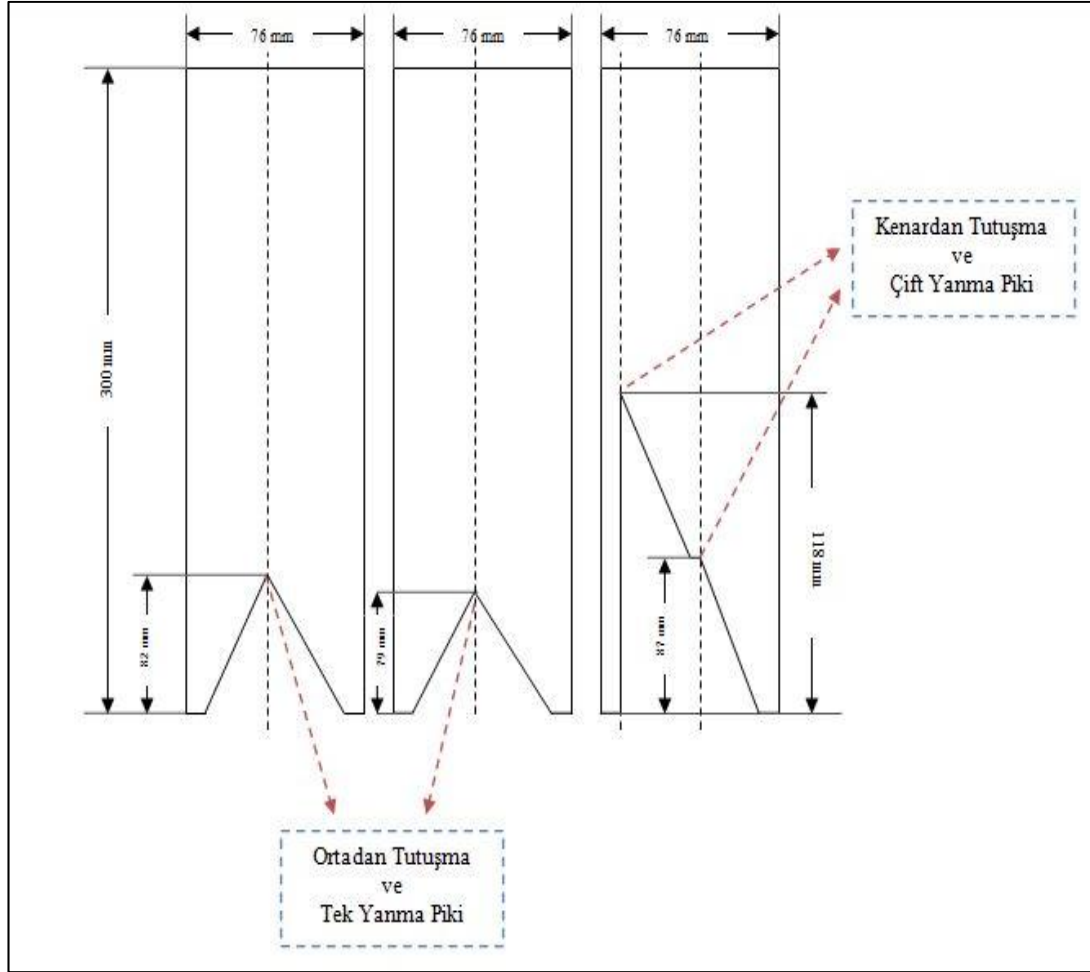
Şekil 4.40. Çift yanma pikine sahip PP örme kumaş görseli ve teknik çizimi

Ş Şekil 4.40.'da gösterilen söz konusu bu alev yayılma davranışı kumaşın güç tutuşurluğunu da olumsuz etkileyebilmektedir. Test çalışmaları sırasında gözlemlenen ve çift yanma pikiyle sonuçlanan bu yanma davranışı çoğunlukla F.R. katkısız PP numunelerde gözlemlenmiştir. Bahsedilen bu yanma davranışıyla ilgili olarak; test çalışmaları sırasında oluşturulan bir diğer görsel de Şekil 4.41.'de yer almaktadır.



Şekil 4.41. Tek ve çift yanma uzunluğu pikine sahip PP örme kumaşlar

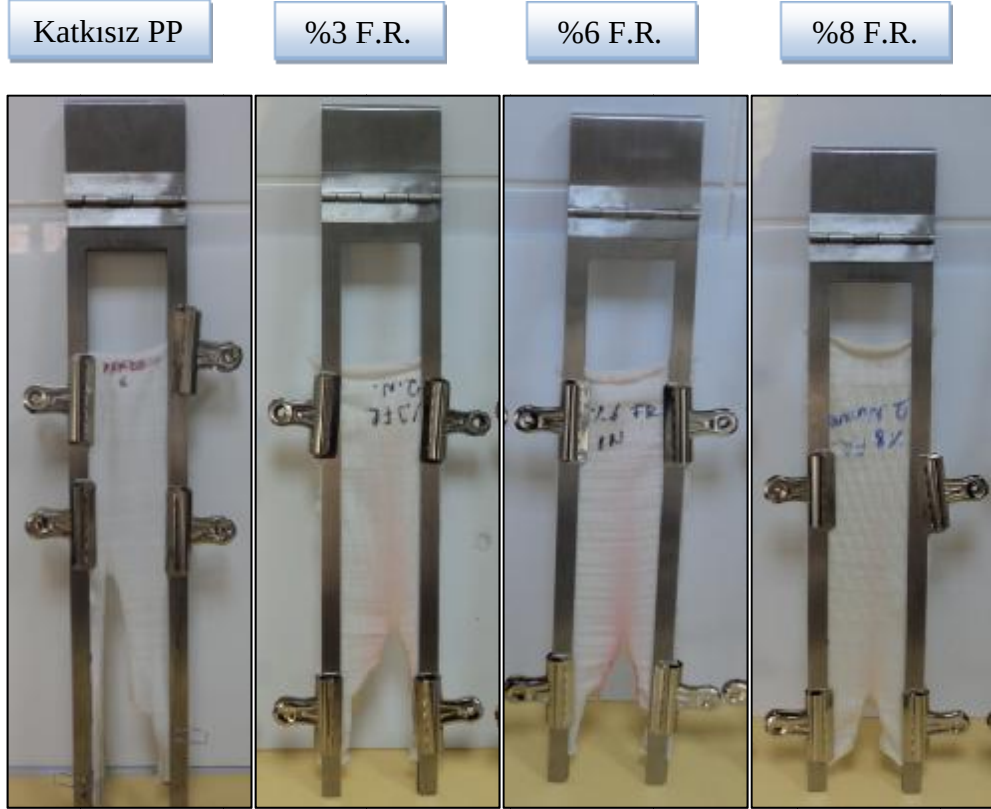
Ayrıca, Şekil 4.42.'de, yukarıda yer verilen görselin teknik çizimi verilmiştir.



Şekil 4.42. Tek ve çift yanma uzunluğu pikine sahip PP örme kumaşlar teknik çizimi

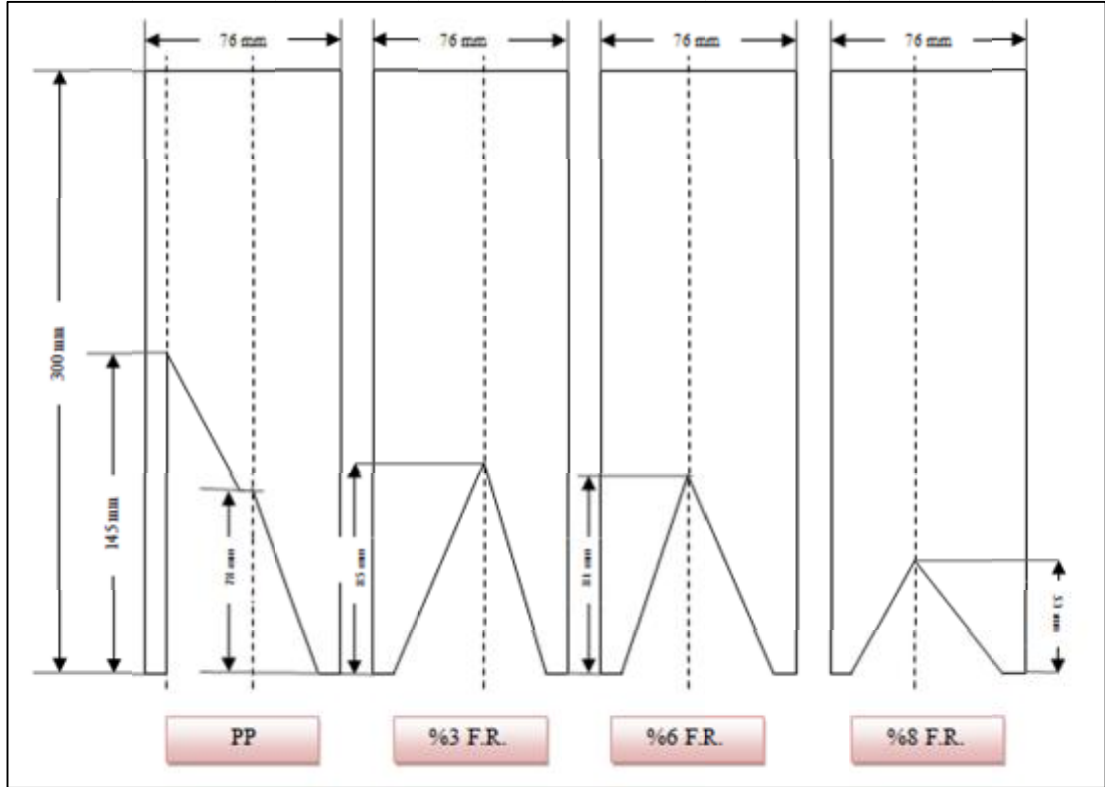
- § PP örme kumaşlar eriyerek yanma davranışı göstermektedirler. Ayrıca, bazı test numunelerinde yanma sırasında damlama da gözlemlenmiştir.
- § ASTM D6413 test standardına göre gerçekleştirilen dikey yönde yakma testinde, kumaş 12 saniye süresince alev beğine maruz bırakılmakta ve kumaşın 12 saniye sonundaki yanma süresi kaydedilmektedir. Eğer kumaşın yanma süresi 12 saniyenin altında ise, bu süre “0” olarak kaydedilmektedir. Test çalışmaları sırasında söz konusu bu durum yani ilk 12 saniyenin altındaki değer, %2 F.R. katkılı iplikte gözlemlenmiştir. Ayrıca, %5 katkı oranı itibarıyla da birçok defa yanma süresi değerinin 12 saniyenin altında kaldığı görülmüştür.

Ş Tez çalışmasında test numunelerinin ihtiva ettiği katkı maddesi oranı arttıkça, yanma süresinin yanında, yanma uzunlukları da belirgin şekilde azalmıştır. Bu değerlendirmeyeyle ilgili oluşturulan bir görsel de Şekil 4.43.'den incelenebilir.



Şekil 4.43. Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren örme kumaş test numunelerinin yanma uzunlukları

Ayrıca, Şekil 4.44.'de, Şekil 4.43.'de yer verilen görselin teknik çizimi gösterilmiştir.



Şekil 4.44. Katkısız PP ve farklı oranlarda F.R. katkı maddesi içeren örme kumaş test numunelerinin yanma uzunlukları teknik çizimi

§ PP örme kumaşların güç tutuşurluk davranışlarının belirlenmesine katkı yapması için gerçekleştirilen LOI test sonuçları, dikey yanmazlık test sonuçlarını desteklemiştir. Örme kumaş test numunelerinin sahip olduğu yanma süresi ve yanma uzunluğu değerleri beraber ele alındığında özellikle %7 ve %8 F.R. katkılı numunelerin güç tutuşur özelliklerinin çok iyi olduğu görülmüştür. Bu hususla ilgili olarak, Çizelge 4.22.’de yer alan test sonuçları da incelendiğinde %7 ve %8 F.R. katkılı numunelerin LOI değerlerinin “30” olarak bulunduğu ve “*Kendi Kendini Söndürebilme*” özelliğine sahip oldukları görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tekstil sektöründe, sentetik filament iplik üretimine yönelik yapılan Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları önemli çıktılarla sonuçlanmakta ve bu konudaki çalışmalara hız verilmek istenmektedir. Buna rağmen, bu tip çalışmaları sanayi ortamındaki filament iplik üretim makinelerinde gerçekleştirmek oldukça güçtür. Çünkü sanayide üretimler kesintisiz bir şekilde sürmekte ve genellikle standartlaşan üretim parametrelerinin bilimsel çalışmalar için değiştirilebilir olması mümkün olamamaktadır. Bu durumlar göz önünde bulundurularak “Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin Tasarımı, İmalatı ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” başlıklı doktora tez çalışması gerçekleştirilmiş ve bu çalışma ile filament ipliklere yönelik, sürekli ve sistemli araştırmalar yapabilmek amaçlanmıştır. Dolayısıyla, çalışma temel olarak iki aşamalıdır; birinci aşama, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarımı, geliştirilmesi ve imalatından oluşurken, ikinci aşama ise, üretilen makinede gerçekleştirilen ürün geliştirme çalışmalarından oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci aşaması için öncelikle, detaylı fizibilite çalışmaları yapılmış ve laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise, görselleri ve teknik çizimleri Ek-2 ve Ek-3’de verilmiş olan laboratuvar tipi küçük ölçekli yeni bir makine imalatı yapılmış ve geliştirilen makinenin ilk prototipi Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Filament İplik Üretim Laboratuvarı’na kurulmuştur. Ardından, deneme iplik üretim çalışmaları tamamlanmıştır. Sonrasında ise, doktora tez çalışmasının ikinci aşamasını oluşturan “Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” kapsamında Güç Tutuşurluk (F.R.) katkı maddesi eklenen polipropilen sürekli filament iplikler ve bu ipliklerden örme kumaş numuneleri üretilmiş ve bu ürünlerin hem mekanik hem de özgün özellikleri incelenmiştir.

Sonuçta, iki aşamalı doktora tez çalışmasında hedeflenenlere ulaşılmış ve bu kapsamdaki tüm çalışmalar tamamlanmıştır. Aşağıda, çalışma sonuçları temel başlıklar altında genel olarak değerlendirilmiş ve sonraki çalışmalar için de öneriler sunulmuştur.

5.1. Geliştirilen Makine Açısından Çalışma Sonuçları

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesi imal edilmiştir. Bu kapsamda çalışmanın bilime, endüstriye ve ekonomiye olan direkt katkıları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Bunlar;

- Ticari olarak da pazarlanabilecek bu makinenin imalatı ile sentetik filament iplik üretimine yönelik bilimsel araştırmalara hız kazandırmak ve bu tip prototip makineler üzerinde sanayinin olası problemlerine yönelik araştırma ve deneme çalışmaları yapmak,
- Ülkemizde böyle bir makinenin imal edilebilir olması ile bu tip bir makineyi yurt dışından oldukça pahalıya satın alma durumunu ortadan kaldırmak ve bu sayede, makineyi almak isteyen araştırmacılar için yerli malı olan makineyi daha ucuza alabilme şansını yaratarak hem kendilerine hem de bölge sanayilerine katkı sağlamak,
- Makine sanayi ile tekstil ve hammaddeleri sanayilerinin ülkelerin gelişmesine büyük katkıları olduğu düşünüldüğünde, bu çalışma ile her iki sanayi dalına yönelik de kazanımlar elde etmek,
- Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tanıtımlarını hem ulusal hem de uluslararası düzeyde gerçekleştirerek, tanıtımlar sonrası makinenin yurtdışından rağbet görmesi durumunda, ülkemiz makine ve aksamaları ihracat rakamlarına katkı sağlamak,
- Prototip makine üzerinde yapılacak araştırma çalışmaları neticesinde elde edilecek bilgi birikiminden çok sayıda yayın yapılarak bilime katkı sağlamak,
- Ayrıca, gerçekleştirilen bu çalışma ile üniversite-sanayi işbirliğine güzel bir örnek teşkil etmek ve makinede gerçekleştirilen ürün geliştirme çalışmaları ile de örnek olabilmek,

şeklinde sıralanabilmektedir.

5.2. Güç Tutuşurluk Özelliğine Sahip Özgün Ürün Geliştirme Açısından Çalışma Sonuçları

Filament iplikler, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan tekstil ürünleridir. Sahip oldukları özelliklerin geliştirilmesiyle de kullanım alanları genişlemektedir. Özellikle son yıllarda, bu ipliklerin yapı ve özelliklerinin geliştirilmesine yönelik yapılan Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları artarak devam etmekte ve bu çalışmalar neticesinde kazanılan bilgiler ışığında, yeni ve katma değeri yüksek ürünler üretilmektedir.

Doktora tez çalışması kapsamında, katkısız PP ve F.R. katkılı PP filament iplikler ile bu ipliklerden örme kumaş numuneleri üretilmiş olup sonrasında da bu numunelere çeşitli testler uygulanmıştır. Söz konusu bu çalışmalar neticesinde ulaşılan sonuçlarla ilgili genel değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışma kapsamında hem referans iplik olan PP iplik hem de çeşitli oranlarda güç tutuşur katkı maddesi içeren filament iplikler üretilmiştir. Üretimler sonrası söz konusu bu ipliklerin katkı maddesi oranındaki değişim ile renklerinin değiştiği gözlemlenmiştir ve iplik bobinleri HunterLab Cihazı ile renk ölçüm testine tabii tutulmuştur. Test çalışması ile ipliklerin % L (Lightness-Aydınlık), a (+a: Kırmızılık, -a: Yeşillik), b (+b: Sarılık, -b: Mavilik) değerleri belirlenmiştir. Sonuçta, F.R. maddesi içeren ipliklerin katkı maddesi oranındaki artışla, % L değerlerinin azaldığı, +a ve +b değerlerinin ise arttığı görülmüştür.
- Çalışma kapsamında üretilen filament iplik numunelerin mukavemet-kopma uzaması test sonuçları incelendiğinde, sonuçlar arasında bir miktar farklılık olduğu ancak bu durumun katkı maddesi miktarındaki artış ya da azalış ile paralellik göstermediği görülmüştür. Söz konusu numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise, iplik boyunca görülen katkı maddesi aglomerasyonu oluşumları ile bunların sıklık durumlarının iplik mukavemetini olumsuz olarak etkilediği tespit edilmiştir. İplik yüzeyindeki katkı maddesi miktarındaki ve büyüklüğündeki artışın iplik

mukavemet değerini azalttığı görülmüştür.

- Filament ipliklerin % kristalin bölge oranları DSC testi ile tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre, F.R. katkılı ipliklerin % kristalin bölge oranının, katkısız PP iplikten bir miktar daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, filament iplikler ortalama %40'luk kristalin bölge oranı ile yarı-kristalin sürekli filamentler olarak değerlendirilebilmektedir.
- Filament iplikler sahip oldukları mukavemet-kopma uzaması değerlerine göre HOY (Highly Oriented Yarn) sınıfına girmektedir.
- PP örme kumaş numunelerinin güç tutuşurluk özelliklerinin incelenmesi için numunelere, Dikey Yanmazlık ve LOI testleri uygulanmıştır. Söz konusu bu testlerden dikey yanmazlık test sonuçları incelendiğinde, örme kumaş numunelerinin yanma davranışının, alev bekinin bulunduğu alt kenarın orta kısmından yukarıya doğru tutuşmak şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Ancak bazı numunelerde bu davranışla birlikte, alevin kumaşın yan uzun kenarına doğru da yayılma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bu durum, katkısız PP örme kumaşlarda zaman zaman alevin çift yayılma eğilimi gösterdiği şeklinde yorumlanabilmektedir. Sonuç olarak, test sonunda bazı kumaşlarda çift yanma piki oluşmuştur.
- Test çalışmaları sırasında gözlemlenen ve çift yanma pikiyle sonuçlanan yanma davranışı çoğunlukla %1 F.R. katkılı numuneler ile katkısız PP numunelerde gözlemlenmiştir.
- PP örme kumaşlar eriyerek yanma davranışı göstermektedirler. Ayrıca, bazı test numunelerinde yanma sırasında damlama da gözlemlenmiştir.
- ASTM D6413 test standardına göre gerçekleştirilen dikey yönde yakma testinde, kumaş 12 saniye süresince alev bekinin maruz bırakılmakta ve kumaşın 12 saniye sonundaki yanma süresi kaydedilmektedir. Eğer kumaşın yanma süresi 12 saniyenin altında ise, bu süre "0" olarak kaydedilmektedir. Test çalışmaları sırasında söz konusu bu durum yani ilk 12 saniyenin altındaki değer, %2 F.R. katkılı iplikte gözlemlenmiştir. Ayrıca, %5 katkı oranı itibarıyla da birçok defa yanma süresi değeri 12 saniyenin altında kalmıştır.

- Tez çalışmasında test numunelerin ihtiva ettiği katkı maddesi oranı arttıkça, hem yanma süreleri hem de yanma uzunlukları belirgin şekilde azalmıştır.
- PP örme kumaşların güç tutuşurluk davranışlarının belirlenmesine katkı yapması için gerçekleştirilen LOI test sonuçları, dikey yanmazlık test sonuçlarını desteklemiştir. Dikey yanmazlık testi sonucu örme kumaş numunelerinin sahip olduğu yanma süresi ve yanma uzunluğu değerleri beraber ele alındığında özellikle %7 ve %8 F.R. katkılı numunelerinin güç tutuşur özelliklerinin çok iyi olduğu görülmüştür. Bu hususla ilgili olarak, %7 ve %8 F.R. katkılı numunelerin LOI değerlerinin de “30” olarak bulunduğu ve “Kendi Kendini Söndürebilme” özelliğine sahip oldukları belirlenmiştir.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Doktora tez çalışmasında belirlenen faktör etkisi (Güç tutuşurluk katkı maddesi oranı) ışığında, PP filament iplik ve örme kumaş özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında, bu ve benzeri konularda ileride gerçekleştirilebilecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Doktora tez çalışmasının ilk aşamasında geliştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi üzerinde çok sayıda Ar-Ge çalışması yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla, makine üzerinde farklı formda ve özellikte filament iplik üretimleri gerçekleştirilebilmektedir. Bu açıdan hem makine üretim parametrelerinin değiştirilmesi ve/veya geliştirilmesi hem de bu doktora tez çalışmasında olduğu gibi özgün ürün geliştirilmesine yönelik çeşitli bilimsel çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışma kapsamında üretilen katkısız PP ve F.R. katkılı filament iplikler düz forma sahiptirler (Filament ipliklere düşük seviyede bir tekstüre etkisi verilmiştir). Gerçekleştirilebilecek sonraki çalışmalarda ise özgün yapıda tekstüre filament iplikler üretilebilir. Böylece, katkı maddesi

oranındaki değişimin tekstüre ipliklerin öne çıkan özellikleri (krimp, sıcakta çeme, vb.) üzerindeki etkileri de incelenebilir.

- F.R. katkı maddesi miktarının filament iplik renginde oluşturduğu değişimle ilgili daha kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilebilir. Bu sayede, sürekli filament ipliğin sahip olması gereken güç tutuşurluk özelliği ve renk değerleri bir arada değerlendirilerek uygun iplik üretim parametreleri belirlenebilir.
- Doktora tez çalışması sonucu, F.R. katkı maddesinin filament iplik yapısına homojen olarak kazandırılabilmesinin oldukça önemli olduğu görülmüştür. Yapıya tam olarak kazandırılmayan ve iplik boyunca gözlemlenen katkı maddesi partiküllerinin özellikle iplik mukavemet değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla geliştirilen makine üzerinde, katkı maddesinin iplik bünyesine daha iyi kazandırılmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Doktora tez çalışmasında filament ipliklere “Fosfonat” esaslı bir katkı maddesi ile güç tutuşurluk kazandırılmıştır. Sonraki çalışmalar kapsamında iplik üretiminde farklı özellikte ve içerikte F.R. katkı maddeleri de kullanılabilir ve elde edilen sonuçlar bu çalışmanın test sonuçlarıyla kıyaslanabilir.
- Çalışma kapsamında polipropilen polimerden filament iplikler üretilmiştir. Sonraki çalışmalarda, özellikli poliester (PES) ya da poliamid (PA) sürekli filament iplik üretimleri de gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışma kapsamında güç tutuşurluk katkı maddesi kullanılmıştır. Makine üzerinde gerçekleştirilecek sonraki bilimsel çalışmalarda, UV absorban, antibakteriyel, vb. özelliklere sahip katkı maddeleri kullanarak da üretimler gerçekleştirilebilir. Ayrıca, söz konusu bu maddelerin nano boyutta polimer cipsine karıştırılarak üretilebilecek katkılı cipslerle de filament iplik üretimleri gerçekleştirilebilir ve bu ürünlerin özellikleri araştırılabilir.

Sonuçta, Üniversite-Sanayi İşbirliğinin somut bir örneğini teşkil eden bu doktora tez çalışması kapsamında imal edilen makine ticarileşebilir bir formatta ve alanında ülkemiz teknoloji bilgi birikimine katkı yapacak şekilde ülkemize kazandırılmıştır. Ayrıca, makine üzerinde çeşitli özgün ürün geliştirme/üretim çalışmaları da gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma hem bilime ışık tutacak, hem de ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak niteliktedir.

KAYNAKLAR

- ASTM D 6413, 2011. Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test).
- ASTM D2863–10, 2009. Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index).
- AUAD, M. L., 2010. Polymer Characterization-4100 and 7700. Auburn University, ABD.
- BABAARSLAN, O. and HACIOĞULLARI, SÖ., 2013. Effect of Fibre Cross-Sectional Shape on the Properties of POY Continuous Filaments Yarns, Fibers and Polymers. 14 (1): 146-151, DOI: 10.1007/s12221-013-0146-z.
- BS 3582, 1981, Method for Determination of Oils, Fats and Waxes in Wool.
- BS EN ISO 2060, 1995. Textiles-Yarn From Packages: Determination of Linear Density (Mass per Unit Length) by The Skein Method.
- BS EN ISO 2062, 1995. Textile-Yarns from Packages: Determination of Single-End Breaking Force and Elongation At Break.
- CAROLE, M., ANDRE, D., and MOISE, V., 2003. Behavior of an Intumescent System for Flame Retardant Materials Coated on Polypropylene Textiles. Journal of Industrial Textiles, 32 (4): 255-266.
- CHEN, D., WANG, Y., HU, X., WANG, D., QU, M., and YANG, B., 2005. Flame-Retardant and Antidripping Effects of a Novel Char-Forming Flame Retardant for the Treatment of Poly(Ethylene Terephthalate) Fabrics. Polymer Degradation and Stability, 88(2): 349-356.
- DEMİR, A., 2003. Tekstil Üretim Yöntemleri. Şan Ofset, İstanbul, 336.
- DEMİR, A., 2006. Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri. Şan Ofset, İstanbul, 455.
- DEMİRYÜREK, O. ve KOÇ, E., 2004. Tekstilde Kullanılan Ekstrüderlerde Tasarım Esasları ve Eritme Mekanizmalarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 19: 1-13.

- DIN 53817-1, 1983. Textile-Testing of Textiles: Determination of Unevenness of Slivers and Yarns; General Basis.
- EBERLE, H., HERMELING, H., HORNBURGER, M., MENZER, D., and RING, W., 1995. Man-made Fibres, Clothing Technology, Germany, 304.
- ENGELHARDT, A.W., 2010. A World Survey on Textile and Nonwovens Industry- The Fiber Year 2009/10, 10: 5-33.
- ENGELHARDT, A.W., 2012. A World Survey on Textile and Nonwovens Industry- The Fiber Year 2010/11, 11: 55-65.
- ENGELHARDT, A.W., 2013. Continued Healthy Growth for Manmade Fiber Industry- The Fiber Year 2013, 27(3): 22-33.
- ERDEM, N., ERDOĞAN, Ü. H., ve AKŞİT, A., 2010. Nano-Kompozit Polipropilen Filamentlerin Üretimi ve Özellikleri, Tekstil ve Mühendis Dergisi, 69: 14-24.
- ERDOĞAN, M., 2000. Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri-1. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 338. Solutions for POY Manufacturing, POY Solution, 2009. Oerlikon Barmag.
- ERKOÇ, Ş., 2011. Nanobilim ve Nanoteknoloji. Aydoğdu Ofset Matbaacılık ve Amb. San. Tic. Ltd. Şti., ODTÜ Yayıncılık, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Toplum ve Bilim Merkezi, 107.
- FENIMORE, C.P., 1975. Candle-Type Test for Flammability of Polymers. Flame Retardant Polymeric Materials, 1: 371-397.
- FIBER INNOVATION TECHNOLOGY, INC., 2000. Deep-Grooved Fiber, Clemson University, USA.
- FONTAINE, G., BOURBIGOT, S. ve DUQUESNE, S., 2008. Neutralized Flame Retardant Phosphorus Agent: Facile Synthesis, Reaction to Fire in PP and Synergy With Zinc Borate. Polymer Degradation and Stability, 93: 68-76.
- GÜNSAL, Ç., 2007. Tekstil Malzemelerine Yanmazlık Özelliğinin Kazandırılması. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Fakültesi. 177 sayfa.
- HORROCKS, A.R., TUNC, M., and PRICE, D., 1989. The Burning Behavior of Textiles and its Assessment by Oxygen Index Methods. Textile Progress, 18(1): 1-205.

- HUANG, N.H., ZHANG, Q., and FAN, C., 2008. A Mechanistic Study of Flame Retardance of Novel Copolyester Phosphorus Containing Linked Pendant Groups by TG/XPS/direct Py-MS. Chinese Chemical Letters, 19(3): 350–354.
- ITKIB, 2012. Tekstil Sektörü İhracat Performans Değerlendirmesi. İTKİB Genel Sekreterliği, İstanbul.
- ITKIB, 2013. Tekstil Sektörü İhracat Performans Değerlendirmesi. İTKİB Genel Sekreterliği, İstanbul.
- KALAYCI, Ş., 2010. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Öz Baran Ofset, Ankara.
- KAYNAK, E., 2012. Polipropilen Esaslı Tekstil Malzemelerine Kaplama Yöntemiyle Uygulanabilen Güç Tutuşur Malzemeler Geliştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı/Nanoteknoloji Bilim Dalı, 76 sayfa.
- LI, Q., JIANG, P., SU, Z., WEI, P., WANG, G., and TANG, X., 2005. Synergistic Effect of Phosphorus, Nitrogen, and Silicon on Flame-Retardant Properties and Char Yield in Polypropylene. Journal of Applied Polymer Science, 96(3): 854–860.
- MEGEP, 2006. Ekstrüzyon Makinelerinde Üretim, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.
- MEGEP, 2008. Polimer Kavramları ve Özellikleri-1, Kimya Teknolojisi, Ankara.
- MEGEP, 2008. Polimer Kavramları ve Özellikleri-2, Kimya Teknolojisi, Ankara.
- MEGEP, 2011, Filament İplik Üretimi, Tekstil Teknolojisi, Ankara.
- MORTON, W.E., and HEARLE, J.W.S., 1986. Physical Properties of Textile Fibres, The Textile Institute, Manchester.
- ÖMEROĞULLARI, Z. ve KUT, D., 2012. Tekstilde Güç Tutuşurluk. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(1): 27-42.
- ÖZ, M.K., 2006. Yanmaya Karşı Dirençli (Fr) ve Katyonik Boyalarla Boyanabilen (Cd) Polyester Üretimi ve Bu Polyesterin Elyaf Prosesi. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı, 74 sayfa.

- ÖZKAN, S., 2008. Filament Kesit Şeklinin, Sayısının ve Lineer Yoğunluğunun POY ve Tekstüre İplik Özelliklerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Fakültesi, 275 sayfa.
- ÖZKAN, S., ve BABAARSLAN, O., 2008. Filament Kesit Şeklinin ve Lineer Yoğunluğunun POY ve Tekstüre İplik Özelliklerine Etkisi. Ç.Ü. FBE Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2): 147-158.
- ÖZKAN, S., ve BABAARSLAN, O., 2010. İplik Kesitindeki Filament Sayısının Filament ve Tekstüre İpliklerin Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi, 20(1): 17-22.
- SAÇAK, M., 2002. Polimer Kimyası. Öz Baran Ofset, Ankara, 525.
- SAÇAK, M., 2005. Polimer Teknolojisi. Baran Ofset, Ankara, 431.
- SAÇAK, M., 2007. Lif ve Elyaf Kimyası. Baran Ofset, Ankara, 271.
- SALAUN, F., LEWANDOWSKI, M., VROMAN, I., BEDEK, G., and BOURBIGOT, S., 2011. Development and Characterisation of Flame-Retardant Fibres from Isotactic Polypropylene Melt-Compounded with Melamine-Formaldehyde Microcapsules. Polymer Degradation and Stability, 96(1): 131-143.
- SALEM, D., 2000. Structure Formation in Polymeric Fibers, Hanser Publishers, Munich, 578.
- SELYER, E., 2010. Extrusion and Properties of Nanoclay Added Composite Polypropylene Monofilaments. Auburn University, MSc Thesis, Master of Science of Polymer and Fiber Engineering, 83 pages.
- SICHINA, W.J., 2012. DSC as Problem Solving Tool: Measurement of Percent Crystallinity of Thermoplastics. PerkinElmer Instruments, 761 Main Ave Norwalk, CT 06859, 6 pages.
- SONG, L., HU, Y., LIN, Z., XUAN, S., WANG, S., CHEN, Z., and FAN, W., 2004. Preparation and Properties of Halogen-Free Flame-Retarded Polyamide 6/Organoclay Nanocomposite. Polymer Degradation and Stability, 86: 535-540.
- TS 251, 1991. Birim Uzunluk ve Birim Alan Kütlesinin Tayini.

- USKANER, Y. ve ÖZÇELİK, C., 1998. Polipropilen Halı İpliği Üretim Makinesi Tasarımı ve İmalatı-Polyspin BCF4, Makine Müh. Odası Bilim Günleri 1998, pp: 127-133.
- USKANER, Y., 2006. Polipropilen, Polyester ve Polyamid BCF ve FDY İplik Üretim Sistemleri. Güncel Gelişmeler Çerçevesinde Tekstil Teknolojileri, pp: 36-44.
- USKANER, Y., USKANER, F. ve AKSOY, M., 1998. Polipropilen Halı İpliği Üretim Makinesi İçin Klimatize Havalı Elyaf Soğutma Sistemi. Makine&Metal Teknolojisi Dergisi, 77: 104-113.
- USKANER, Y., USKANER, F. ve ÖZÇELİK, C., 1999. Polipropilen İplik Sistemi İçin PID Kontrol Otomasyonlu Eğirme Kafası Sabit Sıcaklık Banyosu. Endüstri&Otomasyon, 24: 44-48.
- VARSHNEY, R. K., KOTHARI V. K., and DHAMIJA, S., 2010. Effect of Polyester Fibre Fineness and Cross-Sectional Shape on Physical Characteristics of Yarns. Journal of The Textile Institute, 4: 101, 495.
- VARSHNEY, R. K., KOTHARI V. K., and DHAMIJA, S., 2011. Influence of Polyester Fibre Fineness and Cross-Sectional Shape on Low-Stress Characteristics of Fabrics. Journal of The Textile Institute, 102(1): 31-40.
- WANG, L., KANG, H., and WANG, S., 2007. Solubilities, Thermostabilities and Flame Retardance Behaviour of Phosphorus-Containing Flame Retardants and Copolymers. Fluid Phase Equilibria, 258(2): 99–107.
- WEB: <http://km.ncmchem.com>, Eylül, 2013.
- WEB: <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87elik>, Aralık, 2013.
- WEB: <http://web.utk.edu/~mse/Textiles/Polymer%20Crystallinity.htm>, 10.12.2013
- WEB: <http://www.alibaba.com/product>, Nisan, 2012.
- WEB: <http://www.aysa.com.tr/Spinboy.html>, Eylül, 2013.
- WEB: <http://www.erge.com.tr/default.aspx?pid=60625>, Eylül, 2013.
- WEB: <http://www.hillsinc.net>, 10.04.2011.
- WEB: <http://www.sml.at/spinning-lines,9,en.html>, 10.04.2011.
- WEB: <http://www2.aku.edu.tr>, Malzeme Muayenesi, Aralık, 2013.
- WEB: www.indiantextilejournal.com/focus/ITMA-2007, 10.04.2011.

- WEB: www.polimernedir.com, Eylül, 2013.
- WEB: www.rothschild-instruments.ch, Ekim, 2013.
- WEB: www.sarmak.com.tr, Eylül, 2013.
- WEB: www.waynemachine.com, Nisan, 2012.
- WEB: <http://www.ammrf.org.au/myscope/analysis/eds/quantitative/>, Aralık, 2013.
- WEB: [http://www.selcukiltek.com/equipment-105-sem-taramali-elektron mikroskobu.aspx](http://www.selcukiltek.com/equipment-105-sem-taramali-elektron-mikroskobu.aspx), Aralık, 2013.
- WEB: <http://www.turanmetal.net/galvaniz-kaplama-celik-nedir/>, Aralık, 2013.
- XIAO, J., HU, Y., YANG, L., CAI, Y., SONG, L., CHEN, Z., and FAN W., 2006. Fire Retardant Synergism Between Melamine and Triphenyl Phosphate in Poly(Butylene Terephthalate). Polymer Degradation and Stability, 91(9): 2093-2100.
- YILDIRIM, K., 2007. PET İpliğinde Kristalinite Oranını Etkileyen Faktörlerin Etki Derecelerinin Tespiti. Uludağ Üniversitesi, Doktora Tezi, Mühendislik Fakültesi, 540 sayfa.
- YILDIRIM, K., ALTUN, S. ve ULCAY, Y., 2011. DSC Analysis of Partially Oriented (POY) and Textured Poly (Ethylene Terephthalate) Yarns. Research Journal of Chemical Sciences, 1(9): 57-66.
- YILMAZ, İ., 2002. Renk Sistemleri, Renk Uzayları ve Dönüşümler. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, pp: 340-350.
- ZHANG, S., and HORROCKS, A.R., 2003. Review of Flame Retardant Polypropylene Fibres. Prog. Polym. Sci., 28(11): 1517–1538.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Çankırı’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Balıkesir ve Amasya’da, lise öğrenimini ise İskenderun Demir Çelik Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2002 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü’nden 2006 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı ve eğitimini 2008 yılında tamamladı. 2009 yılında aynı bölümde doktora eğitimine başladı.

EKLER

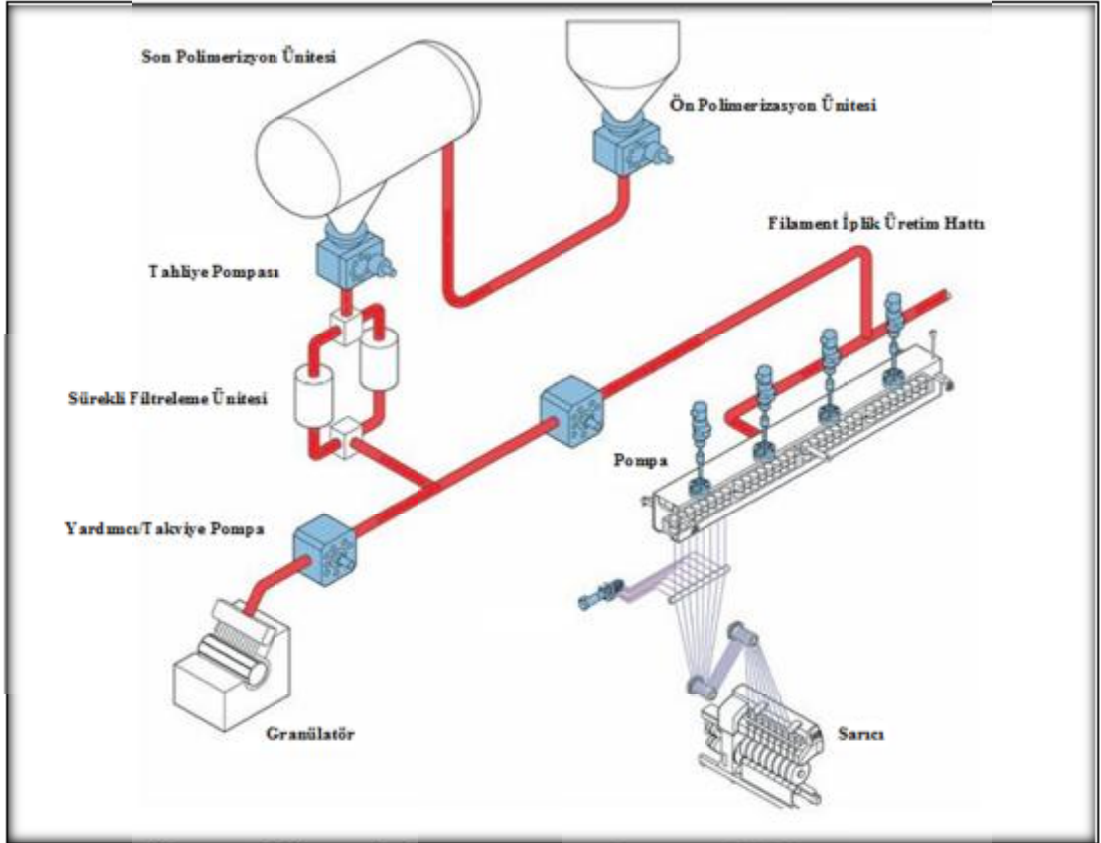
“Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesinin Tasarımı, İmalatı ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” başlıklı doktora tez çalışmasının, makine tasarım, geliştirme ve imalat süreci, imalata yönelik teknik çizimler ve makine görselleri, çalışmada kullanılan ürünlere ait bilgi formları ve örme kumaş güç tutuşurluk test sonuçlarının istatistiksel olarak çoklu karşılaştırma çizelgeleri bu bölümde yer almaktadır.

EK-1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin Tasarım, Geliştirme ve İmalat Süreci.....	158
EK-2. Laboratuvar tipi Filament İplik Üretim Makinesi Teknik Çizimleri.....	256
EK-3. Laboratuvar tipi Filament İplik Üretim Makinesi Görselleri.....	268
EK-4. Filament İplik Üretiminde Kullanılan Ürün Bilgi Formları.....	276
EK-5. Örme Kumaş Güç Tutuşurluk Test Sonuçlarının İstatistiksel Olarak Çoklu Sonuç Karşılaştırma Çizelgeleri.....	280

EK-1: LABORATUVAR TİPİ FİLAMENT İPLİK MAKİNESİNİN TASARIM, GELİŞTİRME VE İMALAT SÜRECİ

1. GİRİŞ

Günümüzde, filament iplik üretimi yapan modern eğirme tesisleri genellikle direkt eğirme tesisleri olarak tasarlanmış ve kurulmuşlardır. Söz konusu bu üretimler çeşitli ve belirli evrelerin bulunduğu, büyük önem ve hassasiyet gerektiren bir dizi üretim sürecini kapsamaktadır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Filament iplik üretim hattı (Oerlikon Barmag, 2009)

Şekil 1.1’den de görüleceği üzere, sanayi tipi filament iplik üretim hattı oldukça geniş ve karmaşık bir dizi procesten oluşmaktadır. Dolayısıyla, sürekli filament iplik (Polipropilen-PP, Poliester-PES, Poliamid-PA, vb.) üretimi yapan işletmelerde, üretim hattı oldukça geniş bir alanı kaplamakta ve üretim gün boyu

kesintisiz bir şekilde devam etmektedir. Bununla birlikte, özellikle son yıllarda sürekli filament ipliklerin yapı ve özelliklerinin geliştirilmesine yönelik çok sayıda bilimsel çalışma gerçekleştirilmektedir. Ancak, sıralanan söz konusu bu sebeplerden dolayı işletmelerde üretim çalışmaları sırasında, Ar-Ge ve Ür-Ge faaliyetlerini yürütmek oldukça güç olmaktadır.

Doktora tez çalışmasında, sentetik filament ipliklere yönelik sürekli ve sistemli araştırmalar yapabilmek için laboratuvar tipi bir filament iplik üretim makinesinin tasarımı ve imalatı hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda da, hem daha önce imalatı yapılmamış ve dikey düzlemde çalışan bir prototip filament iplik üretim makinesi geliştirilmiş hem de bu makine üzerinde çeşitli üretim ve ürün geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Doktora tez çalışması kapsamında öncelikle, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalatına yönelik fizibilite ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiş ve ardından laboratuvar tipi küçük ölçekli yeni bir makine imal edilmiştir. Bu makine test cihazı tipinde ve esnek bir yapıdadır. Söz konusu makine, üzerinde katma değeri yüksek, ileri teknoloji tabanlı ürün ve üretim yöntemleri geliştirmek amacıyla esnek bir yapıda geliştirilmiştir. Örneğin, üretim parametrelerden biri olan kesit şekli faktörünün iplik yapı ve özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi, tekstüre ve düz sürekli filament ipliklerinin farklı üretim parametreleriyle eldesi ve özelliklerinin incelenmesi, güç tutuşur, UV dayanımlı gibi özellikli tekstil ipliklerinin üretimi, vb. araştırmalar makine üzerinde gerçekleştirilebilecek bilimsel çalışmalardan bazılarıdır. Sonuçta doktora tez çalışmasının laboratuvar tipi sürekli filament filament iplik makinesi ve özellikleri geliştirilmiş sürekli filament iplikler olmak üzere iki temel çıktısı bulunmaktadır.

Yukarıda amaç ve kapsamı özetlenen doktora tez çalışması hedeflerine ulaşmış ve dünya genelinde rağbet görecektir yeni bir test tipi prototip makinenin imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sentetik filament iplik üretimiyle ilgili yapılacak çalışmalar hız kazanabilecektir. Bu açılarından düşünüldüğünde çalışma, hem bilime ışık tutacak, hem de ülkemiz ekonomisine katkı sağlayacak niteliktedir.

3. METOT

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalat çalışmaları kapsamında çeşitli yöntemler izlenmiştir ve bu yöntemler genel olarak makine imalatı ve özgün ürün geliştirme çalışmaları olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar detaylı biçimde bu bölümde açıklanmıştır.

3.1. Fizibilite Çalışmaları

Çalışmanın ilk altı aylık döneminde, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarımına dair ön çalışmalar belirli bir plan dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu plan dâhilinde sırasıyla, çalışmaya dair yapılan araştırma çıktılarının raporlanması, bu araştırma sonuçlarının irdelenmesi ve sonuçların uygulamaya geçirilmek üzere raporlanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- a. Makine imalatı ile ilgili ön tasarım çalışmaları yapılmış ve temel makine bölümleri belirlenmiştir (Ekstrüder, soğutma kabini, çekim bölgesi, sarım bölgesi, vb.), sonrasında makinenin yerleştirileceği Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde fiziki alan değerlendirilmesinde bulunulmuş ve yapılan bu değerlendirmelerden hareketle imalatı yapılacak makinenin boyutlandırma çalışmaları yapılmıştır.
- b. Çalışmanın ilk üç aylık dönemindeki fizibilite çalışmaları neticesinde, AutoCAD çizim programı kullanılarak makinenin genel görünüşünü oluşturan makine teknik resimleri oluşturulmuştur (Ek-7.2.). Filament iplik üretim makinesinin teknik çizimleri oluşturulurken, bazı faktörler göz önünde bulundurulmuştur.

Bu faktörler,

- Kaliteli iplik oluşumu için optimum makine boyutlandırma çalışmalarının yapılması (soğutma kabini yüksekliği, godet sayısı, v.b.),
- Üretilen hammadde çeşitliliğine göre, makinede yer alacak ünitelerin belirlenmesi (poliester üretimi için kristalizatör ve kurutucu ünitesinin gerekliliği gibi),
- Makinenin konumlandırılacağı yere göre uygun ölçülerde olması (makine yüksekliği, makine genişliği gibi),
- vb.,

şeklinde sıralanmaktadır.

Yukarıda sıralanan hususlar göz önünde bulundurularak makine tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, diğer bir önemli husus da, prototip imalatı yapılacak makinede ağırlıklı olarak ne tür polimer madde ya da maddelerin çalışacağı konusudur. Dünyada ve ülkemiz tekstil sektöründe en çok tüketilen polimer maddeler sırasıyla poliester (PES), polipropilen (PP) ve poliamid (PA)'dır. Geliştirilecek makinede öncelikle üretimi daha kolay olan PP ile ilgili gerekli üretim denemeleri yapılacak ve sonrasında da PES ile üretim çalışmalarına devam edilecektir. Dolayısıyla, fizibilite çalışmaları ile temel olarak, makine imalatına yönelik önemli tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiş ve üretimde kullanılacak hammaddeler belirlenmiştir.

3.2. Teknik Çizim Çalışmaları

Makine imalat çalışmaları süresince, belirli bir plan dahilinde literatür taraması ve fizibilite çalışmaları gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen bu çalışmalar ışığında da makine teknik çizimleri oluşturulmuştur.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin teknik çizimleri gerçekleştirilmeden önce, makine imalatı ile ilgili ön tasarım çalışmaları yapılmış ve temel makine bölümleri belirlenmiştir (Ekstrüder, soğutma kabini, çekim bölgesi,

sarım bölgesi, vb.). Bunun ardından makinenin yerleştirileceği Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde fiziki alan değerlendirilmesinde bulunulmuştur. Yapılan değerlendirmelerden hareketle imalatı yapılacak makinenin boyutlandırma çalışmaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu fizibilite çalışmaları neticesinde, makineyle ilgili çeşitli çizimler gerçekleştirilmiştir (Ek-2.). Makinenin genel tasarım çizimlerinin ardından, belirli bir plan dâhilinde makine parçaları ve ünitelerinin seçimleriyle ilgili araştırma çalışmaları sürdürülmüştür. Gerçekleştirilen bu çalışmaların ışığında, alımı gerçekleştirilen makine parçalarıyla ilgili de çeşitli teknik çizimler oluşturulmuştur. Bu çizimler, iki boyutlu AutoCAD programı ve SolidWorks çizim programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizim çalışmalarının esası, makinenin önemli üniteleri ve elemanlarının ayrıntılı çizimlerinden ve teknik özelliklerinden oluşmaktadır. Gerçekleştirilen bu çizim çalışmaları aşağıda sıralanmıştır.

Bunlar,

- AutoCAD çizim programı kullanılarak, makinenin önden, sol yandan ve üstten görüşlerinin çizimi (Ayrı ayrı ve bir arada tek bir çizim olmak üzere),
- Makinenin önden, sol yandan ve üstten görüşlerinin el ile teknik çizimleri,
- Makinenin SolidWorks programı kullanılarak yapılan çizimi,
- Makinenin önemli elemanlarından biri olan Godetlerin detaylı çizimi,
- Tekstüre Ünitesinin SolidWorks programı kullanılarak yapılan çizimi,
- Makinenin önemli bir ünitesi olan Tekstüre Ünitesinin AutoCAD çizim programı kullanılarak gerçekleştirilen detaylı çizimi,
- Makinenin önemli bir elemanı olan Godetlerin AutoCAD çizim programı kullanılarak gerçekleştirilen detaylı çizimi,
- Yağ tankının AutoCAD çizim programı kullanılarak gerçekleştirilen teknik çizimi,

- Makinenin önemli bir elemanı olan Düzelerin teknik çizimi,

şeklindedir.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin çizimleri teknik resim kurallarına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Makineye dair gerçekleştirilen bu çizim çalışmaları Ek-2’de yer verilmiştir.

Makine imalatına dair fizibilite çalışmaları sonucu oluşturulan teknik çizim çalışmalarında özellikle kaliteli iplik oluşumu için optimum makine boyutlandırma çalışmalarının yapılması (soğutma kabini yüksekliği, godet sayısı, v.b.) hususuna dikkat edilmiştir.

3.3. Malzeme Seçimi

Filament iplik üretim makinesi çeşitli ve belirli birçok ünitenin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Şekil 3.1.’de bu elemanlardan bazıları yer almaktadır.



Şekil 3.1. Filament iplik üretim makinesinin bazı elemanları (MEGEP, 2010)
(a. Ekstrüder Vidası, b. Metraj Pompası, c. Düze Paketi, d. ve e. Godet,
f. Yağlayıcı Ünite, g. Sarım Ünitesi)

Gerçekleştirilen alımlarla ilgili olarak öncelikle, makine parçalarının teknik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, imalat çalışmaları öncesinde gerçekleştirilen fizibilite ve teknik çizim çalışmaları da makine imalatında kullanılacak malzemelerin/parçaların doğru belirlenmesine büyük katkı sağlamıştır ve yapılan bu araştırmalar sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda, makine imalatı için çeşitli alımlar gerçekleştirilmiştir. Malzeme alımı çalışmaları kapsamında, makineyi oluşturacak olan her bir parçanın/ünitenin malzemesi ve bu malzeme özellikleri, boyutları, gibi konularda çalışmalar yapılmış ve her bir parça itina ile belirlenerek alımlar gerçekleştirilmiştir. Makine parçalarının imalatı veya satın alımı sırasında,

“Neden bu parça söz konusu malzemeden seçilmelidir/imale edilmelidir?” ve “Optimum uygunluk ve kalite hangi malzeme türüyle sağlanır?” gibi sorulara verilen cevaplar esas alınmıştır. Aşağıda, alımı gerçekleştirilen makine parçaları maddeler halinde sıralanmış ve bu ünitelerle ilgili temel bilgiler verilmiştir. Bu kapsamda öncelikle makinenin gövdesini/iskeletini oluşturan çelik malzeme ile ilgili özellikler açıklanmıştır.

3.3.1. Makine Gövdesi

Yürütülen bu çalışmanın birinci aşamasının çıktısı olan makine imalatı için öncelikle makinenin iskeletini (makine kafesi) oluşturacak olan St-37 kod numaralı çelik malzeme alınmıştır. Makine imalat çalışmaları ile ilgili detaylı bilgi “Makine İmalatı” bölümünde verilmekle birlikte, söz konusu malzemenin özellikleri ve makine iskeleti için neden bu malzemenin tercih edildiği ile ilgili gerekli açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

a. St-37 Kod Numaralı Çelik Malzeme

Çelik, bir Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. Ayrıca, içeriğinde farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite (saf olmayan, kirlilik yaratan) elementler de bulunmaktadır. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile de iç yapı kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik malzemeler elde edilebilmektedir.

Çelik malzemelerin bazı temel özellikleri aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

Bu özellikler,

- I. Çeliklerin büyük çoğunluğu ısıtıl işlemlere karşı duyarlıdır. Çeliklere kimyasal bileşimin yanı sıra uygulanan ısıtıl işlemler sonucunda istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özellikleri kazandırılabilir,
- II. Çelikler yapılarının gerektirdiği sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine sahiptirler (haddeleme, presleme, dövme),
- III. Çelikler talaş kaldırıcı tezgâhlarda işlenerek, istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne getirilebilir. Kimyasal bileşim olarak uygun olan çelikler de kaynak işlemi ile birleştirilebilir,
- IV. Çeliklerin büyük bir bölümü çeşitli yöntemler ile metal ile kaplanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidir,

şeklinde sıralanabilir.

Taşıyıcı sistemler için kullanılan çelik malzeme yapı çeliği veya yapısal çelik olarak isimlendirilmektedir. Yapısal çelik, malzeme kalitesine göre normal yapı çeliği ve yüksek dayanımlı yapı çeliği olarak ikiye ayrılmaktadır. Normal dayanımlı yapı çeliği akma sınırı 2400 kg/cm^2 olan ve St-37 olarak anılan çeliklerdir. Yüksek dayanımlı çelikler akma sınırı 3000 kg/cm^2 (St-50) ve daha yukarı olan çeliklerdir ve en yaygın kullanılanı 3600 kg/cm^2 akma sınırına sahip St 52 kalitede olan çeliktir.

“Uluslararası Çelik Standartları” malzemenin tanımlanma şeklini belirlemektedir. Çeliklerle ilgili Türk Standartları’nın hazırlanmasında DIN-Alman Standartları esas alınmıştır. Alman Standartlarında malzeme tanımlaması için üç değişik sistem kullanılmaktadır.

Bunlar,

- I. Malzeme Numarası,
 - II. Çeliğin çekme dayanımına göre kısa işareti,
 - III. Çeliğin kimyasal analizine göre kısa işareti,
- Karbon Çelikleri
 - Düşük Alaşımlı Çelikler
 - Yüksek Alaşımlı Çelikler

şeklinde sıralanmaktadır.

Laboratuvar Tipi Filament İplik Makinesinin iskeletini oluşturan çelik malzemenin standardı çekme dayanımına göre isimlendirilmiştir; söz konusu bu çeliğin standardı St-37'dir. Bu şekildeki isimlendirmede, örneğin St-37 için çekme dayanımı 37 kg/mm², St-52 için ise çekme dayanımı 52 kg/mm², değerleri esas alınmaktadır. Buradaki söz konusu değer minimum çekme dayanımı değeri olarak belirlenmektedir.

Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin iskeletini de oluşturan St-37 kod numaralı malzemenin kullanım alanları, inşaat sanayi, makine imalatı, kutu profil, çubuk yapımı ve sıcak haddelenmiş sanayi profilleri, vb., şeklinde sıralanabilmektedir. Yapılan bu açıklamalara istinaden, çalışmamızda neden bu malzemenin kullanıldığıyla ilgili bilgiler ise aşağıda yer almaktadır.

b. Çalışmada St-37 Kod Numaralı Çelik Malzemesi Kullanımının Nedenleri

St-37 kod numaralı çelik malzeme laboratuvar tipi filament iplik makinesinin iskeleti için optimum özellikleri sağlamaktadır.

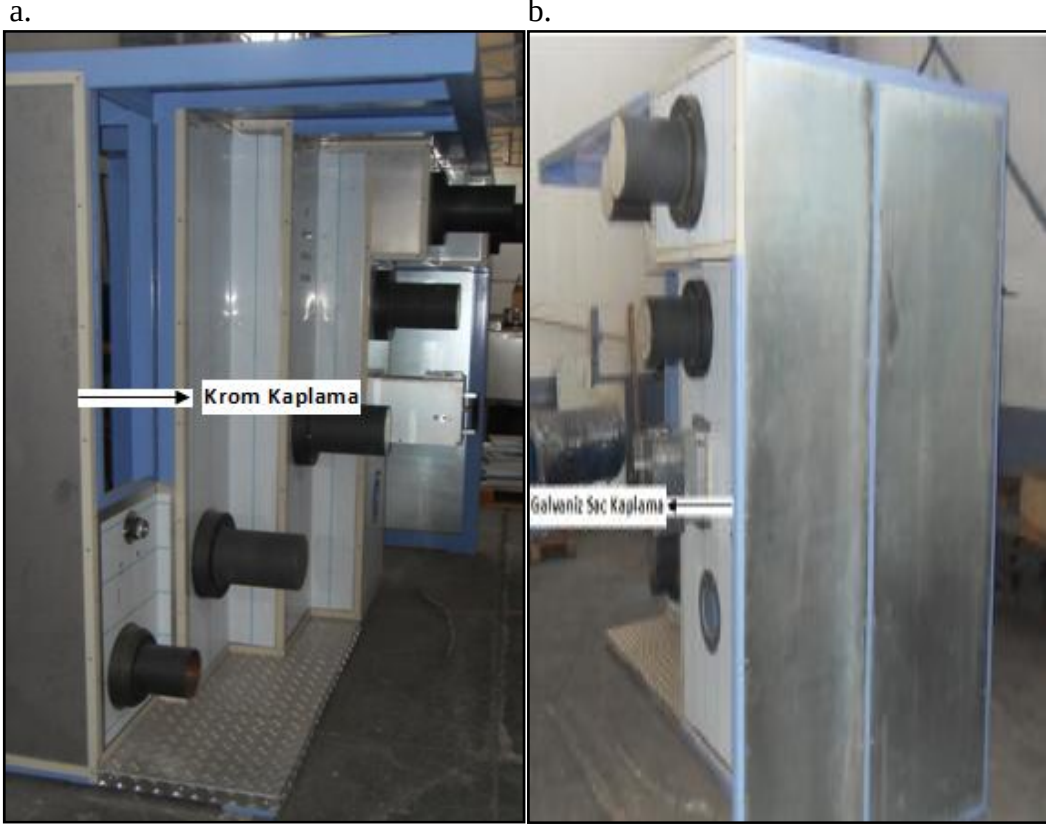
Bu standarttaki bir çeliğin tercih edilmesinin nedenleri,

- Kolay şekil verilebilmesi,
- İstenilen mukavemet özelliğine sahip olması,
- Üretim sırasında oluşan titreşimi yutması, (Örneğin, St-52 daha kalın bir malzemedir ve titreşimi St-37 malzeme koduna sahip çelik gibi iyi derecede yutamamaktadır),

şeklinde sıralanabilmektedir.

Yukarıda sıralanan açıklamalardan da görülebileceği üzere, makinenin temel iskeleti St-37 kod numaralı çelik malzemeden üretilmiştir. Bununla birlikte, makinenin sağ ve sol yanları iki ayrı malzeme ile kaplanmıştır. Makinenin sağ yan yüzeyi “*Sac Galvaniz*” ile sol yan yüzeyi ise “*Krom*” ile kaplanmıştır. Makinenin her iki tarafının kaplanmasında aynı malzeme tercih edilmemiştir. Çünkü makinenin sol tarafında, filamentlere uygulanan yağlayıcı maddenin bulunduğu bölüm yer almaktadır. Söz konusu bu maddenin teması halinde birçok malzeme zarar görmesine karşın, krom malzemesi zarar görmemektedir. Ayrıca, bu bölümün üzerinde bulunan sıcak yağ tankının yaratabileceği sıcaklığa karşı yüzeyi dayanıklı hale getirebilmek için de, makinenin sol yan tarafı için “*Krom Malzeme*” tercih edilmiştir (Şekil 3.2.).

Krom maddesi genellikle, çok sert olması ve erime noktasının 1857 °C olması nedeniyle, metallere dayanıklılık sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. En önemli kullanım şekli Nikel birleşimiyle oluşturduğu paslanmaz çeliklerdedir. Oluşturduğu krom oksit tabakası çelik yüzeyini film tabakası gibi kaplamakta ve kimyasal korozyona karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Şekil 3.2. söz konusu makinenin yan yüzeylerini göstermektedir.



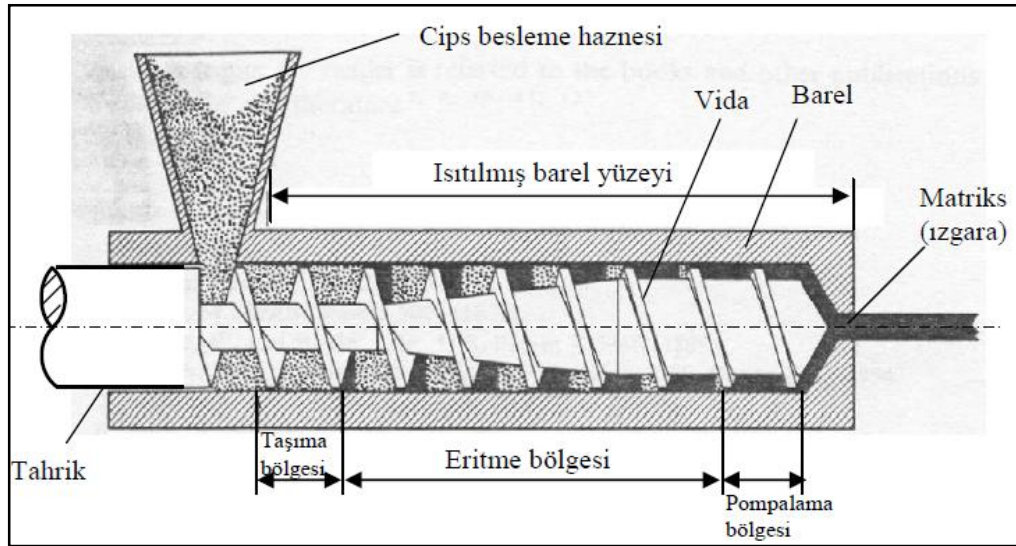
Şekil 3.2. Makine gövdesi malzemeleri (a. Makinenin sol yan yüzeyine yapılan krom kaplama, b. Makinenin sağ yan yüzeyine yapılan galvanize sac kaplama)

Makine yüzeyinde Galvanize Sac kullanılmasının sebebi ise, çelik malzemenin korozyondan korunmasıdır. Çelik malzemeyi, korozyondan korumanın temel kuralı onu başka bir metal olan çinkoyla kaplamaktır. Çelik eritilmiş çinkoya batırıldığında, oluşan kimyasal reaksiyon sonrasında çinko çeliğin yüzeyini kaplamaktadır. Ayrıca çinko, boya gibi sadece çeliğin yüzeyine yapışmakla kalmayarak, daldırma galvaniz kaplama işlemi sonrasında da çeliğin bir parçası haline gelmektedir. Galvaniz kaplamanın gerçekleşmesi için çinko, çeliğin içinde bulunan demir molekülleriyle reaksiyona girmektedir. En dış tabaka tamamen çinkodan meydana gelir. En içte bulunan merkez tabaka ise, tamamen saf çelikten meydana gelmektedir. Bu tabakaların görevi içte bulunan saf çeliği korozyona karşı korumaktır. Galvaniz kaplamanın derecesi çinkonun kalınlığından çok, çinkonun birim alana düşen ağırlığına göre değerlendirilmektedir. Çünkü bu galvaniz kaplamanın malzemeye ne seviyede uygulandığını göstermek için daha iyi bir

ölçektir. Genellikle çelik kullanım amacına göre şekillendirilip, son halini aldıktan sonra sıcak daldırma galvaniz kaplama işlemi uygulanmaktadır. Bu sayede galvaniz kaplama çeliğe çok daha iyi bir koruma sağlayabilmektedir (<http://www.turanmetal.net>, 2013).

3.3.2. Ekstrüder ve Besleme Ünitesi

Ekstrüder ve besleme ünitesi, Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ekstrüder cips halindeki polimeri sıkıştırıp eritme işini gerçekleştirmekte olup, besleme, sıkıştırma ile ölçme ve pompalama bölgelerinden oluşmaktadır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Tipik bir ekstrüder ve kısımları (Demiryürek, 2004)

a. Besleme Bölgesi (Taşıma Bölgesi)

Besleme bölgesi, vidanın huniden malzemeyi aldığı kısımdır ve vida boyunun %25-30'unu oluşturmaktadır. Bu bölgede diş dibi derinliği sabittir. Bu dişler sayesinde de belirli bir basınç artışı sağlanmakta ve plastik malzeme besleme hunisinden alınarak ileriye doğru itilmektedir.

b. Sıkıştırma Bölgesi (Eritme Bölgesi)

Bu bölgede dış dibi derinliği gittikçe azalmaktadır. Bu sayede, polimer granülün (cipslerin) sıkışması ve basıncın artmasıyla cipslerin eriyerek homojen bir hal alması sağlanmaktadır. Sıkıştırma sırasında ortaya çıkan hava ve nem gaz alma ünitesi bulunan makinelerde gaz alma ünitesinden dışarı çıkar, gaz alma ünitesi bulunmayan makinelerde ise, oluşan gaz hareketin ters yönüne giderek huniden dışarı çıkmaktadır. Bu bölgenin bir diğer özelliği de sıkıştırma oranıdır. Bu oran besleme bölgesindeki hacimsel büyüklüğün ölçme bölgesindeki hacimsel büyüklüğe oranıdır.

c. Ölçme ve Pompalama Bölgesi

Ekstrüderin ölçme ve pompalama bölümünde homojenleşmiş polimer ileriye doğru pompalanmaktadır. Bu bölgede dış dibi derinliği sabittir ve eriyik sabit hızda mümkün olduğu kadar yüksek basınçla pompalanmaktadır. Ölçme pompalama bölümü yalnız bir bölümden oluşacağı gibi iki bölümden de oluşabilir. İki bölümden oluşanlarda ölçme kısmında erimiş polimerin içindeki gazların atılması veya vakumla alınması için bir boşaltma hattı vardır. Vidadaki bölge uzunlukları işlenecek malzemeye bağlıdır. Plastik hammadde türüne göre vida geometrileri değişiklikler göstermektedir. Ürün kalitesini artırmak için ekstrüder vidalarına standart bölgeler dışında başka bölgeler de ilave edilebilmektedir. Örneğin, ölçme bölgesi veya başlık önüne mikser ilaveleri yerleştirilerek eriyiğin homojenliği artırılabilir. Daha önce de açıklandığı gibi, ekstrüder ünitesi laboratuvar tipi filament iplik makinesi için çok önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Üretiminde kullanılan polimer hammadde burada istenilen miktarda eritilip sıkıştırılmakta ve uygun homojenliğe getirilerek iplik üretimi için diğer üniteye sevk edilmektedir (Demiryürek, 2004).

Ekstrüder ünitesinde temel konstrüksiyon parametreleri vida uzunluğu (L) ve çap (D) olup bunların birbirine oranı olan “L/D” ise, ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. L/D oranı büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirlemektedir.

Bu çalışmada, ekstrüderin en önemli özelliklerinden biri olan L/D oranının seçimine önem verilmiştir. L/D oranıyla ilgili gerekli açıklamalar “İmalat Hesapları” bölümünde de yer almaktadır.

Çizelge 3.1.’de seçilmiş bazı firmalara ait makinelerin ekstrüder ünitesi parametreleri yer almaktadır. Ayrıca, bu bilgilerin arasında imalatı gerçekleştirilen ekstrüderle (Firma bilgisi: Polyspin) ilgili de bilgiler yer almaktadır.

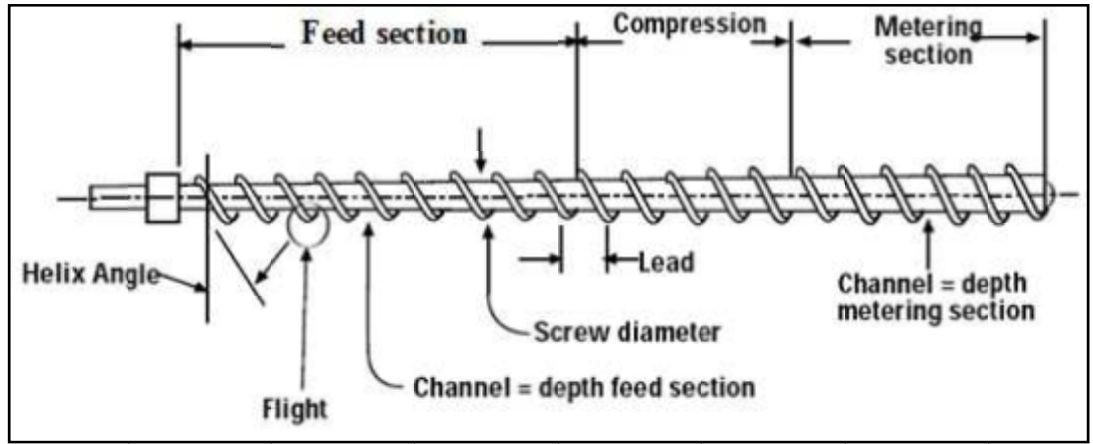
Çizelge 3.1. Seçilmiş bazı firmalara ait ekstrüderlerin temel özellikleri

Firma	Teknik özellikler	Değer
Baby Lofil	Vida Sayısı Vida Çapı L/D Oranı Maksimum Kapasite Maksimum Hız	1-Tek Vidalı 30 mm 28 20 kg/saat 220 rpm
Plantex	Vida Sayısı Vida Çapı L/D Oranı Maksimum Kapasite Isıtma Bölge Sayısı AC Motor	1-Tek Vidalı 25 mm 30 15 kg/saat 3 4.3 kW
Polyspin	Vida Sayısı Vida Çapı L/D Oranı Isıtma Bölge Sayısı Motor Gücü	1-Tek Vidalı 30 mm 27 4 4 kW
Wayne Machine	Vida Sayısı L/D Oranı	1-Tek Vidalı 30

Çizelge 3.1’de verilen bilgilerin, alımı gerçekleştirilecek olan ekstrüderin teknik özelliklerini belirlemesine katkısı olmuştur. Çizelge incelendiğinde, alımı gerçekleştirilen ekstrüderin tek burgulu olduğu ve L/D oranının da 27 olduğu görülmektedir. Ekstrüderin L/D oranının 27 olması iyi derecede eriyik karışımı yapılabilirliği sağlamaktadır. Bununla birlikte, satın alınan ekstrüder çift vidalı değil tek vidalı ekstrüderdir. Çift vidalı ekstrüderler, tek vidalı ekstrüderlere göre daha homojen karışım sağlayabilme açısından avantajlıdır. Ancak, yüksek fiyatlı olması ve bakım maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Araştırmalar sonucunda, ekstrüder vidasının belirli bir bölümüne statik karıştırıcı ilavesiyle polimeri homojen karıştırma kabiliyetinin yükseltilmesi ve çift vidalı ekstrüder özelliğinin yakalanması amaçlanmıştır. Tek vidalı ekstrüderin karıştırma kabiliyetinin yükseltilebilirliği ve ekonomik avantajı sayesinde, tek vidalı ekstrüder kullanımı uygun bulunmuştur.

Şekil 3.4.'de, tipik bir tek vidalı ekstrüderin bölümleri ve Şekil 3.5.'de de, alımı gerçekleştirilen ekstrüder vidası görseli yer almaktadır.



Şekil 3.4. Tek vidalı ekstrüder bölümleri (Selver, 2010)



Şekil 3.5. Ekstrüder vidası bölümleri

Şekil 3.5'den de görüleceği üzere, ekstrüder vidası dört temel önemli bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler, taşıma bölgesi, eritme bölgesi, karıştırıcı ve pompalama bölgesi olarak sıralanmaktadır. Polimer cipsleri bu bölümlerden belirli bir sıcaklıkta ve sürede geçerek istenilen sıvı polimer haline dönüşmektedir.

3.3.3. Soğutma Ünitesi ve Aksesuarları

Ekstrüderde eritilerek sıvı polimer haline getirilen hammadde kafa motorları vasıtasıyla düzelere beslenmektedir. Düze deliklerinden dik olarak sıvı halde fışkıran filamentler hava ile oda sıcaklığına kadar soğutulmaktadır. Soğutma havası prosese bağlı olarak genellikle 18-26 °C ve nem oranı da 50-70 % olup, hava hızı ise, 0.25-1.2 m/s arasında değişmektedir. Soğutma kabininde laminar, düzgün, filtre edilmiş ve şartlandırılmış hava dağılımına ihtiyaç vardır. Soğutma kabininden geçen tüm elyaf demetleri üzerinde eşit soğutma etkisi elde edilmesi gerekmektedir (Uskaner, 2006).

Çalışmada soğutma ünitesi dâhilinde, paket tip chiller ünitesi (soğutucu ünite), Fan-coil ünitesi, termokapıl ve soğutma kabini, su ve hava pompası alınmıştır. Ayrıca, soğutma kabininde elyafın yapışmasını önlemek amacı ile paslanmaz çelik ve alüminyum malzemeler kullanılmıştır.

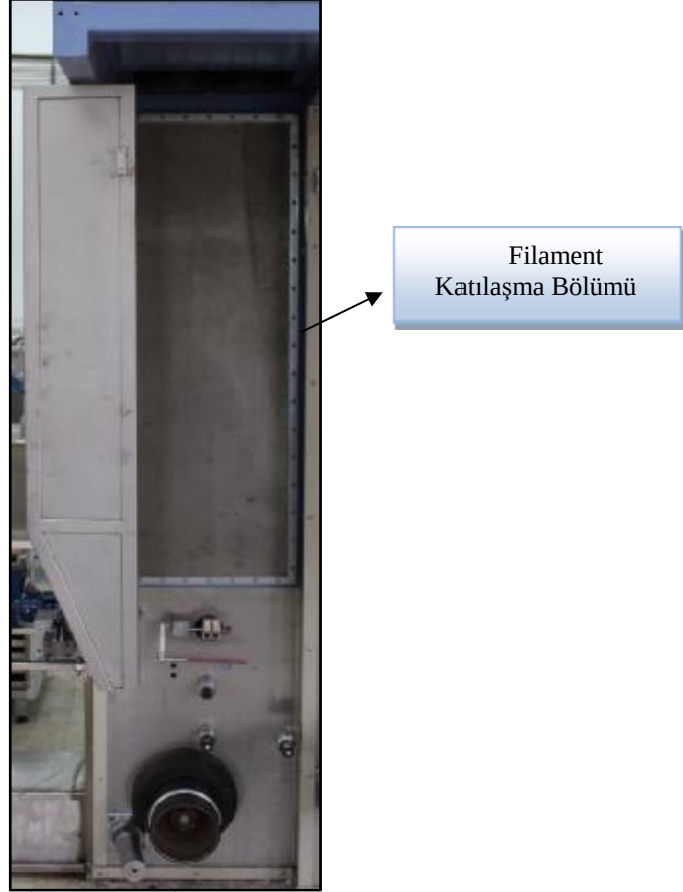
Filament katılma bölümü, sıvı haldeki sıcak eriyiğin katılarak filament haline geldiği makine ünitesidir ve “*Soğutma Ünitesi*” olarak da adlandırılmaktadır. İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik makinesinin soğutma ünitesi altı temel elemandan oluşmaktadır.

Bu elemanlar,

- § Soğutma kabini,
- § Davlumbaz 1,
- § Davlumbaz 2,
- § Soğutma peteği,
- § Fan,
- § Soğutma ünitesi kapağı,

şeklindedir.

Soğutma ünitesinin önemli bir elemanı olan davlumbazların malzemesi Galvanize Sacdır. Şekil 3.6.'da, makine imalatı sırasında oluşturulan soğutma kabini görseli yer almaktadır.



Şekil 3.6. Soğutma kabini

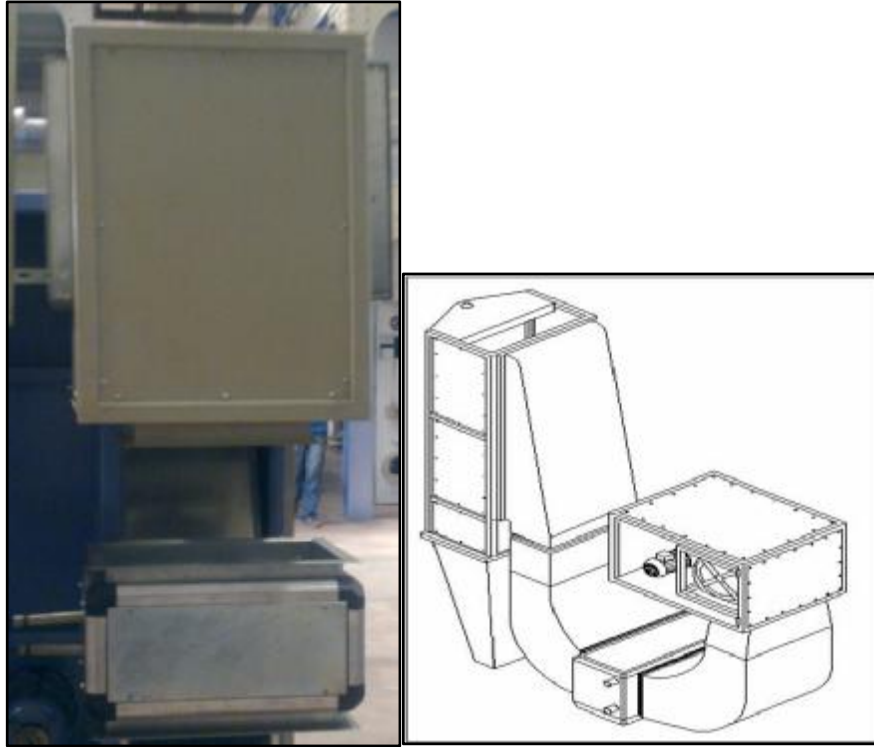
Soğutma kabininden üflenen soğuk hava ile sıvı eriyik katılaşmakta ve düz filament halini almaktadır. Dolayısıyla bu bölüm üretim kalitesi açısından büyük önem arz etmektedir. Soğutma kabini montajı 3 temel elemanın bir araya getirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu elemanlar,

- § Bağlantı çerçevesi,
- § Elek teli,

§ Delikli sac (iki adet)'dir.

Ayrıca, düzgün bir katılaşmanın sağlanabilmesi için soğutma ünitesine kapak elemanının montajı da gerçekleştirilmiştir ve bu elemanın malzemesi *Kromdur*. Soğutma sırasında dış ortam ile olabilecek sıcaklık alışverişinin önüne geçerek düzgün bir katılaşma sağlama ve mevcut sıcaklığı muhafaza etme açısından bu bölümün kapaklı olmasının önemli olduğu düşünülmüştür. Sıvı eriyiğinin düzgün katılaşması, düzgün bir filament iplik oluşumu için büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla, soğutma ünitesinin elemanlarının kalitesi ve ünitenin alımı, imalatı ve montajı çalışmaları büyük bir titizlikle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Soğutma fanı

Filamentlerin fiziksel özellikleri moleküllerin oryantasyonuna, kristalleşme derecesine, soğutma hızı ve gerginliğine bağlıdır. Hava hızındaki değişiklikler ve türbülans filament kalitesi üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Soğutma kabini içinde laminer, düzgün, filtre edilmiş ve şartlandırılmış hava dağılımına ihtiyaç vardır. Sonuçta, soğutma kabiniinden geçen tüm filamentler üzerinde eşit soğutma etkisi elde

edilmesi gereklidir. İmalatı gerçekleştirilen soğutma ünitesi ile bu kalitenin sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca, soğutma kabini lif yapışmasını önlemek amacı ile paslanmaz çelik ve alüminyum malzemeler kullanılmıştır.

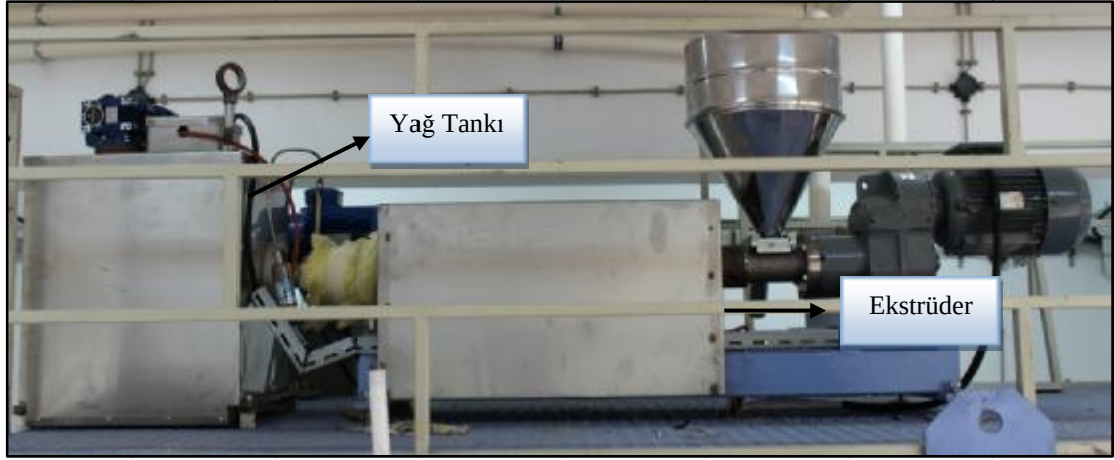
3.3.4. Yağ Tankı

İplik kalitesi açısından, ekstrüderden çıkan sıcak polimerin aynı sıcaklıkta ve dolayısıyla aynı viskozitede düzelere aktarılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu durumu sağlayabilmek için ekstrüderden hemen sonra, eriyiğin sıcak borular içerisinden geçerek pompa ile düzelere basılması gerekmektedir. Borular ise, içerisinde sıcak yağ bulunan bir tankta bulunmaktadır. Eriyik, ekstrüderden sonra sıcak yağ tankından geçtiği takdirde, kaliteli eriyik oluşumu tamamlanmakta ve istenilen iplik kalitesine ulaşılmaktadır. Bu amaçla, makine imalatı için “*Sıcak Yağ Tankı*” imalatı gerçekleştirilmiştir. Montajı gerçekleştirilen yağ tankının temel özellikleri,

- I. Sıcaklığa dayanıklı,
- II. İzolasyon özellikli,
- III. Platin Malzemeli,
- IV. 17 litrelik iç hacimli,

şeklinde sıralanmaktadır.

Şekil 3.8., makinenin yağ tankı ve ekstrüder ünitelerini göstermektedir.



Şekil 3.8. Makinenin yağ tankı ünitesi ve ekstrüder

Ayrıca, tankta yağ sızıntısı olup olmadığı da, ısı transfer yağı kullanılarak test edilmiştir. Yağ tankı dış yüzeyi izocamdır ve sonrasında bu yüzey “Krom” ile kaplanmıştır.

3.3.5. Düzeler ve Bağlantı Sistemleri

Filament iplik üretiminde kullanılmak üzere çeşitli düze üretimleri gerçekleştirilmiştir. Düzeler, özgün ürün üretimlerine yönelik olarak farklı filament enine kesit şekillerinde (round, trilobal, hollow, v.b.), farklı filament sayılarında ve düze delik çaplarında üretilmiştir. Düzelerin malzemesi Krom olmakla birlikte düzenin içinde bulunan ve ipliklerin safsızlığını sağlayan kovan ve süzekler ise Çelik malzemelidir. Ayrıca, makine ikili düze sistemine göre imal edilmiştir.

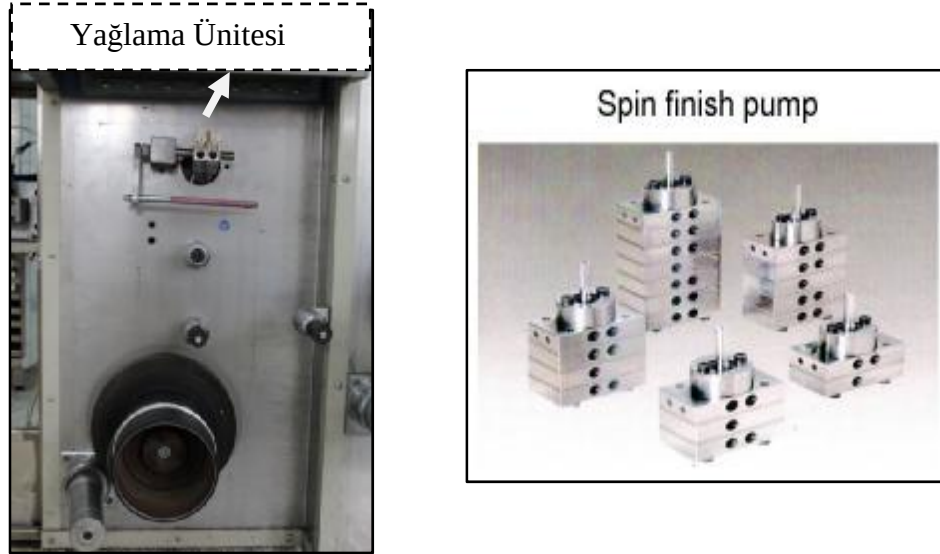
3.3.6. Yağlama/Spin Finish Ünitesi

İplik üretimi sırasında filament materyaline yağlayıcı madde (spin finish yağı) aplikasyonu ürün kalitesinde önemli rol oynamaktadır; ipliğin yağlanması ile birlikte, iplik üzerinde oluşabilecek statik elektrik alınır ve daha yüksek çekim hızlarında çalışılmasına olanak sağlanır. Ayrıca bu sayede, iplik kopuş sayıları azalır, ipliğin daha sonraki aşamalarında işleme verimliliği artar ve üretilen iplik üzerinde bakteri üremesi problemi önlenerek uzun ömürlü sürekli filament iplik üretimi

mümkün olur. Uygulamalarda spin finish yağı saf olarak veya su ile karıştırılarak emülsiyon halinde kullanılabilir. Bununla birlikte, Spin finish yağı uygulamasının iplik üretim sisteminde oluşturduğu performans artışına karşılık kimyevi maddeler içermesi nedeni ile uluslararası standartlar tarafından üretim işlemi sonucunda iplik üzerinde bulunması gereken yağ oranı sınırlandırılmıştır (Maksimum % 1).

Aşınmaya karşı dayanıklı seramik aplikatörlerin kullanıldığı sistem, yağ tankı, vektör kontrollü AC frekans invertörü, redüktörlü motor, pompalar, hortumlar, bağlantı tesisat elemanları, geri dönüş tesisatı ve PLC kontrol sisteminden oluşmaktadır. Tasarımı ve imalatı yapılan yağlama sisteminde kullanılmak üzere iki adet tek girişli ve sekiz çıkışlı spin finish yağlama pompası satın alınmıştır.

Şekil 3.9.'da makine yağlama ünitesi ve yağlayıcı pompa aparat görselleri yer almaktadır.



Şekil 3.9. Yağlama ünitesi ve yağlama pompası

3.3.7. Çekim Ünitesi

Filament ipliklerin istenilen incelikte ve sağlamlıkta üretilebilmesi ve daha iyi moleküller oryantasyon elde edebilmek için ipliğin çekilmesi gerekmektedir. Çekme işlemi çekim ünitesi tarafından gerçekleştirilmektedir. Sürekli filament ipliğe verilen

çekim, farklı hızlara sahip godet elemanları ile gerçekleştirilmektedir. Godet hızlarının birbirine oranı üretimde gerçekleştirilen çekim oranını vermektedir.

Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin çekim ünitesi godetler, ipliğe yön veren avare silindirler, kılavuzlar ve godet motorlarından oluşmaktadır. Makinenin çekim ünitesinde kullanılan godetlere ait özellikler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Bu özellikler;

- a. Godet malzemesi Ç1040 kod numarasına sahiptir,
- b. İçten ısıtılmalı godetlerin içi bakır püskürtmeli yüzeye sahip iken, dışı seramik kaplamalıdır (Godetler, iç yüzeylerindeki sıcaklığın yüzey boyunca homojen olarak dağılması için bakır püskürtme işlemine tabii tutulmuştur, aynı zamanda godetlerin dış yüzeyine de yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımını sağlamak için seramik kaplama yapılmıştır),
- c. Godet çapları 19 cm'dir.
- d. Godetlerde vektör kontrollü AC sürücülü motorlar kullanılmıştır (vektör kontrollü AC sürücüler ile hassas hız ayarı sağlanmakta ve sabitlenen çevresel hızın salınımı minimize edilmektedir),
- e. Godet motorlarının gücü 2,2 kW'dır.
- f. Godetler magnetik alan etkisiyle ısıtılmaktadırlar,
- g. vb.,

şeklindedir.

Yukarıda maddeler halinde sıralanan godet özellikleriyle birlikte, Godet malzemesi olarak Ç1040 kullanımının sebepleri ve makinenin çekim ünitesinde yer alan diğer elemanlarla ilgili açıklamalar aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

a. Godet Malzemesi Olarak Ç1040 Kullanımının Sebepleri

Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeliğin çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile iç yapısı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özellikler elde edilebilmektedir. Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunmaktadır. Diğer elementler ise (Cr, Ni, vb.) ferro-alyajlar halinde istenilen miktarlarda çelik bünyesine ilave edilebilmektedir (Simith, 2000).

Çelikler farklı parametreler göz önüne alınarak çeşitli gruplara ayrılmaktadırlar. Bu gruplara Çizelge 3.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeliklerin sınıflandırılması (Simith, 2000)

No	Sınıflandırma	Alt Gruplar
1	Genel Olarak	Alaşımless (karbonlu) çelikler Alaşımlı çelikler
2	Kullanım Amacına Göre	Yapı (konstrüksiyon) çelikleri Takım çelikleri
3	Karbon Miktarına Göre	Düşük karbonlu çelikler; karbon oranı $0,02 < \%C < 0,5$ Orta Karbonlu çelikler; $0,5 < \%C < 0,8$ Yüksek karbonlu çelikler $0,8 < \%C < 2,3$
4	Alaşım Miktarına Göre	Düşük alaşımlı çelikler Yüksek alaşımlı çelikler

Karbon çelikleri Ç1020, Ç1040, Ç1060 gibi çeşitli malzeme kod numaraları ile tanımlanmaktadır. Çalışmada Ç1040 (C 35-DIN Normu) kod numaralı karbon çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin diğer bir adı da “Malzeme Çeliği”dir ve makineler, cıvata ve somun, vb. yapımlarında kullanılmaktadır. Ç1040 özellikteki çelikler yüksek dayanım gerektiren makine parçalarında kullanıldığı için tercih sebebidir. Ayrıca, Ç1040 kod numaralı çeliğin titreşim yutma özelliği de bulunmaktadır ve söz konusu makine için bu özellik büyük önem arz etmektedir. Çeliklerde karbon miktarı arttıkça çeliğin sertliği ve aşınmaya karşı dayanımı da

artmaktadır. Dolayısıyla, orta karbonlu olan Ç1040 çeliği, çekim ünitesi elemanları için gerekli ve yeterli özellikleri sağladığı için tercih edilmiştir.

b. Çekim Ünitesinin Diğer Elemanları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin çekim ünitesinde Godet malzemesiyle beraber, avare silindirler ve iplik kılavuzları da bulunmaktadır. Bu malzemelere dair bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

Avare Silindirler

Avare silindirler, ipliğin godetler arasında düzgün aktarımına yardımcı olmak ve ipliğin godet üzerinde kendi üzerine sarılmasını engellemek görevlerini yerine getirmektedir. Laboratuvar tipi filament iplik makinesinde toplam 6 adet avare silindiri bulunmaktadır. Bu silindirlerin malzemesi alüminyumdur ve malzemelerin üzeri sertlik kazanması açısından krom ile kaplanmıştır. Silindirlerin çapları 59 mm ve uzunlukları ise 38 cm'dir.

İplik Kılavuzları

İplik kılavuzları, filament ipliğin çekim ünitesinde düzgün olarak ilerleyebilmesi ve önünde bulunduğu godete ipliğin beslenebilmesi için godetler arasında yer almaktadır. Kılavuzlar seramik malzemeli olup, dış kısımları ise darbeye dayanımlı olabilmesi için fosfat ile kaplanmıştır. Makine imalatında kullanılan bir iplik kılavuzu Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. İplik kılavuzu

3.3.8. Tekstüre Ünitesi

Tekstüre işlemi genel anlamda, sıkı ve paralel bir biçimde düzenlenmiş sürekli filament ipliklere doğal lif görünüm ve tutumuna benzetilebilmesi için çeşitli kimyasal, mekanik ya da ısıt işlemlerin uygulanması ve sonuçta, daha hacimli, tuşe ve örtücülük özellikleri daha iyi ve mat bir yapıya sahip ipliklerin elde edilmesi şeklinde tanımlanabilmektedir. Dolayısıyla tekstüre işlemi ile sentetik filament iplik özellikleri, daha fazla hacimli, daha yüksek mukavemet, daha fazla ısı alma yeteneği, daha fazla nem alma yeteneği ve daha yumuşak tutuma sahiplilik olarak sıralanabilmektedir. Sonuçta bu ürünler daha fazla kullanım alanına hitap etmektedir. Tekstüre işlemlerinde 3 temel basamak bulunmaktadır.

Bu işlem basamakları,

1. Filamentlerin ısıtılması,
2. Tekstüre özelliğinin verilmesi,
3. Verilen özelliğin fikse edilmesi,

şeklinde sıralanmaktadır.

Tekstüre işleminin içeriği genel olarak bu üç temel basamaktan oluşmakla birlikte, çeşitli tekstüre metotları bulunmaktadır. Bunlar, yalancı büküm tekstüre işlemi, hava jetli tekstüre işlemi, sıkıştırma kutusu ile tekstüre işlemi, dişli mekanizması ile tekstüre verme işlemi, örme sökme tekstüre işlemi, vb. şeklinde

sıralanabilmektedir. Bu çalışmada söz konusu bu metotlardan “*Sıcak Hava Jeti ile Tektüre Metodu*” esas alınmıştır.

Tektüre ünitesi, imalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin önemli bir ünitesidir ve makine dizaynı, filament ipliğin istenilirse tektüre edilerek üretilmesini de sağlayacak şekilde yapılmıştır. Aşağıda hava jetli tektüre ünitesinin tektüre jeti ve tektüre tamburu olmak üzere iki temel bölümü açıklanmıştır.

a. Tektüre Jeti

Sıcak hava jetli tektüre prensibi 1970’lerin başlarından beri kalın numaralardaki ipliklerin tektüresinde kullanılmaktadır. Buradaki temel prensip, bir sıcak hava veya aşırı derecede ısıtılmış buhar jetinin besleme ipliğini plastikleştirerek, yığma borucuğunun içine veya tarak telleri ile kaplanmış dönen silindirin üzerine püskürtmesi ve ipliğin tektüre özelliğinin fikse edilmesi şeklindedir (Demir, 2006).

Sürekli filament iplikler tektüre jetine yumuşama sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta girmektedir. Bu jet içinde iplik sıcak gaz akışları ile daha da ısıtmakta ve sonrasında da tektüre tamburunun üzerine aktarılmaktadır.

Şekil 3.11.’de makine imalatında kullanılan tektüre jetinin elemanları/parçaları gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Sıcak hava jetli ve tamburlu tekstüre ünitesi elemanları

Çalışmada makineye sıcak hava jetli ve tekstüre tamburlu tekstüre ünitesi montaj edilmiştir. Bu sistem bilinen bir sistem olmakla birlikte, bu tip bir makinede üretim kolaylığı ve sürekliliği sağladığı için de tercih edilmiştir.

b. Tekstüre Tamburu

Tekstüre tamburu, hava jetinden çıkan filament ipliklere verilen tekstüre etkisinin fikse edilmesini sağlamaktadır. Bu işlem sırasında, sürekli filament iplik hava jetinden çıktıktan sonra tambur üzerine yığılmakta ve sıcaklık farkı ile aldığı tekstüre etkisi fiskelenmektedir. Şekil 3.12.'de tekstüre jetinden çıkan ipliklerin tambur üzerinde birikmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Sürekli filament ipliğin tambur üzerine serimi (Uskaner, 2006)

Makine imalatı için satın alımı gerçekleştirilen tambur Ç1040 kod numarasına ve 44,5 cm çapa sahiptir. Tekstüre tamburu temel olarak dört bölümden oluşmaktadır.

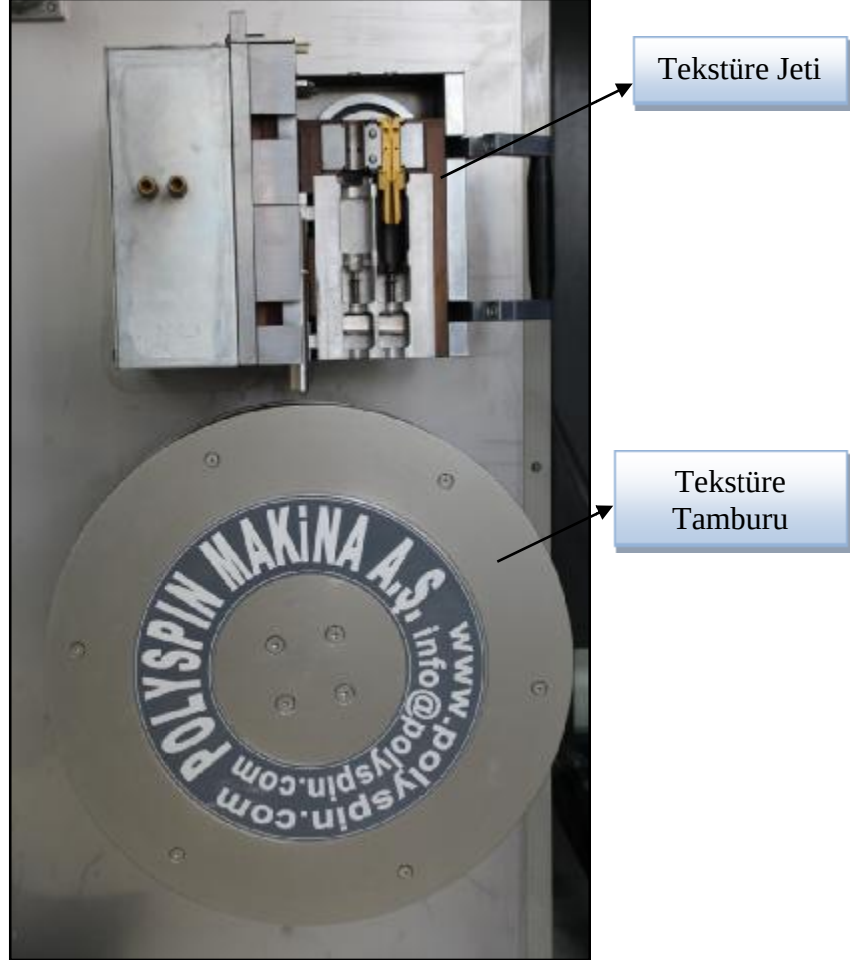
Bu bölümler,

1. Tambur ön kapak,
2. Tambur delikli sac malzemesi,
3. Bağlantı flanşı,
4. Tambur arka kapağı,

şeklinde sıralanmaktadır.

Yukarıda sıralanan bu malzemelerden tambur ön-arka kapak, delikli sac ve bağlantı flanşı alüminyum malzemedir, delikli sac malzemesi ise krom malzemedir imal edilmiştir.

Şekil 3.13. ise, makinenin tekstüre ünitesini göstermektedir.



Şekil 3.13. Tekstüre ünitesi ve bölümleri

Tekstüre jetlerinin imalatında elektro-erozyon prensibi kullanılmıştır. Ayrıca, tekstüre havasının basıncı 6–9 bar, sıcaklığı ise uygulamaya bağlı olarak 150–200 °C arasında değişebilmektedir. Hava sıcaklığı PLC yardımı ile otomatik olarak ayarlanmaktadır.

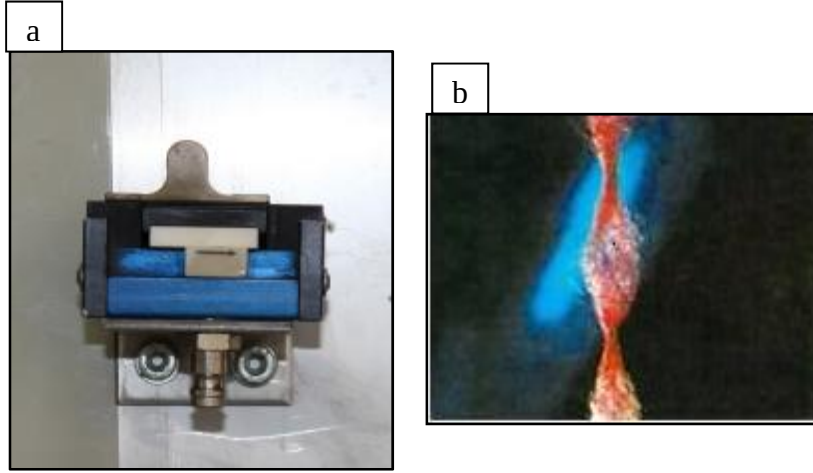
3.3.9. Puntalama Jeti

Durağan ya da hareket halinde olan düz veya tekstüre edilmiş filamentlerden oluşan bir filament topluluğu, aniden ipliğe dik doğrultuda çarpan türbülanslı ve soğuk hava jetinin etkisi altına girecek olursa filamentler açılarak birbirinden

olabildiğince ayrılmaktadırlar. Bu dağılan filamentler hava akımının kısmen azaldığı bölgelerde birbirine sarılmakta, karışmakta ve neticede karmaşık bir toplu yapı oluşmaktadır. İplik eksen yönünde hareketli, hava jeti ise buna dik doğrultuda ve sabittir. Jet daha önce karışmış kısım önüne geldiğinde bu kısmı açmayı başaramadığından, açılan ve karışan bölgeler birbirini takip etmektedir ve bu şekilde iplikteki filamentler bir araya gelmektedir. Temel filament yapısında fiziksel ya da kimyasal hiçbir değişiklik olmamakla birlikte, sadece filamentlerin pozisyonu değişmektedir. Sonuç olarak, iplik boyunca soğuk hava akımıyla karıştırılmış bu bölgelere *Punta* ve bu işleme de *Puntalama* adı verilmektedir. Puntalama sayesinde filamentler arası kohezyon oluşmaktadır ve bu durum ipliğe mukavemet kazandırmakla birlikte, ipliğin sarılma ve sağılma işlemlerinin de daha düzgün yapılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu işlem örme ve dokuma gibi sonraki tekstil işlemlerine de yardımcı olmaktadır (Demir, 2006).

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesine “Puntalama Jeti” montajı yapılmasına karar verilmiştir. Çünkü söz konusu bu jet sayesinde, özgün ürün geliştirme çalışmaları aşamasında farklı denemeler yapılabilecektir.

Makinede yer alan puntalama jeti, aşınmaya karşı dayanımlı seramik malzemeden imal edilmiştir ve söz konusu jetin basınç değer aralığı 2-6 bar arasındadır. Bununla birlikte jet, puntalama işleminde sıklıkla tercih edilen trilobal delik şekline sahiptir. Ayrıca, puntalama işleminin daha kontrol edilebilir bir şekilde sürdürülebilmesi için jet iki adet godet arasına yerleştirilmiştir. Şekil 3.14.’de, makinede yer alan punta jeti ile örnek bir puntalı iplik görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.14. Makinede yer alan punta jeti ve bir puntalı iplik görüntüsü (a. Punta Jeti
b. Puntalı iplik görüntüsü)

3.3.10. Sarım Ünitesi

Üretilen ipliğin tekstil özelliklerinin korunması sarım işlemi sırasında oluşturulan bobin kalitesine direkt olarak bağlıdır. Bobindeki sarım, ipliğin iyi sağılma kabiliyetini, iyi taşınma kararlılığını, vb. özelliklerini etkilemektedir. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi için Barmag marka ve laboratuvar tipi bir sarım makinesi alınmıştır. Ayrıca, üretim için orta boy plastik ve delikli masuralar alınmıştır. Şekil 3.15.'de, makinenin sarım ünitesi görseli yer almaktadır.



Şekil 3.15. Sarım Ünitesi

3.3.11. Vidalı Kompresör

Kompresör, bir akışkanı gereken basınca göre sıkıştırmaya yarayan alettir. Dolayısıyla, kompresör ile amaçlanan üretimde kullanılacak akışkanlar için gerekli basıncın sağlanmasıdır. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen vidalı kompresör için alım öncesi yeterli özellikler belirlenmiştir. Söz konusu kompresör, 4 m³/dk debiye ve 10 bar basınca sahiptir.

Vidalı Kompresör Nedir ve Nasıl Çalışır?

Vidalı kompresör, basınçlı hava üretmek için piston yerine birbirine geçmiş bir rotor çiftinin kullanıldığı pozitif yer değiştirmeli makinedir. Rotorlar bir mil üzerindeki helisel loblardan oluşmaktadır. Rotorlardan ilki, birinci rotor olarak adlandırılmakta ve onun helisleri dolgun yuvarlak çıkıntılardan/loblardan

oluşmaktadır. Diğer rotor da, ikinci rotor olarak adlandırılmakta ve birinci rotorun loblarına karşılık gelen yivleri/yuvaları bulunmaktadır. Tipik olarak, birinci rotorun dört lobuna karşılık, ikinci rotorda altı yiv kullanılmaktadır. İki rotor birbirine geçmiş olarak dönerken, birinci rotorun bir turuna karşılık, ikinci rotor sadece 240° dönmektedir. İkinci rotorun bir tam tur dönmesi için ise, birinci rotor 1.5 tur dönmektedir.

Birinci rotor hareketini elektrik motorundan veya içten yanmalı motordan almaktadır. Birinci rotorun dört lobu olması bir turda dört kompresyon çevrimi oluşturmakta ve böylece, vidalı kompresörler pistonlu kompresörlerle kıyaslandığında dalgalanmıyor sayılabacak nitelikte basınçlı hava üretmektedirler. Bu sayede, basınçlı hava vidalı kompresör ünitesinden çıkarken, dalgasız (sabit akışlı, titreşimsiz) çıkıyor denilebilmektedir.

Sürekli filament iplik üretim makinesi için pistonlu, vb. bir kompresör yerine vidalı kompresör tercih edilmesinin bazı temel sebepleri vardır.

Bu sebepler genel olarak,

- Bakımı kolaydır,
- Aşınan parça yoktur,
- Az yer kaplarlar,
- Ucuzdurlar,

şeklinde sıralanmaktadır.

Ayrıca, vidalı kompresörler çalıştıkları sürece aşınmazlar ve verimleri ile birim miktar hava üretmek için harcadıkları enerji de her zaman aynıdır. Örneğin, pistonlu kompresörler zamanla aşınmakta ve birim miktar hava üretmek için harcadıkları enerji de artarak verimleri düşmektedir. Bu durum da, daha fazla elektrik tüketmek demektir. Bu açılardan değerlendirildiğinde, bu çalışma için “*Vidalı Kompresör*” satın alınması uygun bulunmuştur. Çizelge 3.3.’de satın alınan vidalı kompresörün teknik özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Vidalı kompresör teknik özellikleri

Özellikler	Değer
Serbest hava verimi	4.2 m ³ /dk.
Maksimum çalışma basıncı	10 bar g
Minimum çalışma basıncı	5 bar g
Öngörülen çalışma basıncı	10 bar g
Nominal motor gücü/maksimum devamlı motor gücü (F izolasyonlu)	30 kW
Motor korunması/izolasyon sınıfı	IP54/F
Nominal motor devri	3000 1/ dk.
Çevre sıcaklığı	+1/+40°C
Soğutma hava debisi	100 m ³ / dk.
Müstakil havalandırma fan motor güç	1,1 kW
Basıncılı havada kalan yağ miktarı	3/5 mg/m ³
Gürültü seviyesi	70 dB
Bağlantı	DN 40
Standartlar	
Debi/basınç testi	Cagi Pneurop PN2CPTC2-ISO 1217
Gürültü	Cagi Pneurop PN8NTC2
Kalite	ISO 9001
Boyutlar (Boy/En/Yükseklik)	1400/890 /1115 mm
Ağırlık	500 kg

Alımı gerçekleştirilen paket kompresör ünitesi vidalı kompresör ile hava filtresi, nihai soğutucu, yağ soğutucusu, yağ separatörü ile birlikte hava-yağ tankını ve mekanik, elektriksel kontrol ve regülasyon sistem parçalarını da kapsamaktadır. Kumanda kontrol sistemine entegre edilmiş mikroprosesör gerekli verileri göstermesinin yanında arıza halinde makinenin otomatik olarak kapanmasını da sağlamakta ve tüm arızaları da göstermektedir. Paket ünitesinin bu elemanları ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 3.4.’de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Hava kurutucusu, filtre ve hava tankının teknik özellikleri

Özellikler	Değer
Hava Kurutucusu Teknik Özellikleri	
Kapasite	5.2 m ³ /dk.
Çiğ Noktası	3°C
Giriş Hava Sıcaklığı	35°C
Yağ-Toz Tutucu Filtre Teknik Özellikleri	
Kapasite	4.83 m ³ /dk.
Yağ-Toz Tutma Hassasiyeti	0.1 ppm, 1 micron
Giriş Hava Sıcaklığı	35°C
Hava Tankı Teknik Özellikleri	
Kapasite	1 m ³

Şekil 3.16.'da ise, satın alınan vidalı kompresör görseli yer almaktadır.



Şekil 3.16. Vidalı kompresör (www.sarmak.com, 2013)

3.3.12. Düze Yakma Fırını ve Ultrasonik Temizleme Banyosu

Çalışma dahilinde satın alımı gerçekleştirilen düze yakma fırınının ve ultrasonik temizleme banyosunun kullanım amacı düzelerin temizliğini sağlamaktır. Söz konusu düze yakma fırınının özellikleri, 0,5 m³ iç hacim, 500°C'ye kadar çıkabilme özelliği, izolasyonlu ve otomatik kontrollü şeklinde sıralanabilmektedir. Ultrasonik Temizleme banyosunun sahip olduğu özellikler ise, 25 litre iç hacim, paslanmaz gövdeli, ısıtıcı ve sıcaklık kontrollü şeklindedir.

Sürekli filament iplik üretiminde kullanılan düzelerin temizliği kaliteli üretim için büyük önem arz etmektedir. Gerçekleştirilen bu satın alımlarla ilgili amaçlanan üretimde maksimum kaliteyi elde etmektir.

Doktora tez çalışması kapsamında laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi için birçok uygun malzeme seçimi gerçekleştirilmiş ve bu malzemeler satın alınmıştır. Söz konusu bu çalışmalar, hedeflenen kaliteli makine imalatı için büyük önem arz ettiğinden araştırma temelli ve itinayla gerçekleştirilmiştir.

3.4. İmalat Hesaplarının Yapılması

Makine imalatıyla ilgili hesaplamalar, makinenin optimum şekilde boyutlandırılması, makine elemanlarının teknik özellikleri ve üretim ile ilgili hesaplamalar şeklinde sıralanabilmektedir. Söz konusu bu konulara aşağıda temel başlıklar altında yer verilmiştir.

3.4.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesinin Boyutlandırma Çalışmaları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin boyutlandırılması ile ilgili çalışmalar bu tez çalışmasının başlangıç aşamasından itibaren gerçekleştirilen fizibilite çalışmaları sonucu şekillenmiştir. Makinede yer alan ünitelerin boyutlandırılmalarıyla ilgili çalışmalarda; gerçekleştirilen literatür çalışmaları sonucu elde edilen bilgiler, sanayi tipi makinelerdeki orijinal ünite boyutları, makine kurulumunun gerçekleştirileceği yer ile makine boyutları arasındaki uyumluluk, v.b. faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Bu araştırmalar neticesinde de optimum boyutlandırmalar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu araştırma sonuçlarıyla ilgili bazı bilgilere aşağıda maddeler halinde yer verilmiştir.

■ Soğutma kabini yüksekliği belirlenirken yukarıda sıralanan çeşitli hususlar göz önüne alınarak, 1 metrenin üzerinde bir değer belirlenmiştir. Bu değer ile hedeflenen sıvı polimerin en iyi/en kaliteli şekilde katılaşmasını sağlayabilmektir. Araştırmalar neticesinde, bu değerın altına düşülmesi halinde, filamentlerin düzgün katılaşamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda makinenin laboratuvar tipi olması yükseklik açısından soğutma kabinine sınırlama getirmekte ve daha yüksek bir değer belirlenememektedir.

■ Godet çapları ile ilgili yapılan araştırmalar sonrasında 19 cm'lik godet çapı değerinin uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda godet çapının optimum değerde olmasının, ipliğin godet yüzeyine temasını arttırarak materyale olan ısı transferini, yönlendirmeyi, vb. durumları olumlu yönde etkileyeceği görülmüştür. Sonuçta da, daha kaliteli ürün eldesi sağlanmaktadır. Makine ölçüleri belirlenirken, sanayi tipi orijinal POY makinelerinin de ölçüleri de incelenmiştir. Makinenin temel ünitelerinin (soğutma ünitesi, vb.) boyutları ile temel elemanlarının ölçüleri (godet çapı, vb.) birebir sanayi tipi makinelerle uyumludur. Bazı ölçüler ise makineyi laboratuvar tipine uygun hale getirebilmek için tekrar şekillendirilmiştir. Örneğin, sanayi tipi üretim yapan bir POY makinesinde altı adet düze bulunurken (sıvı polimerin pompalandığı yer), çalışmadaki makinede deneme üretimleri yapılacağı için iki düzeli bir sistem yeterli görülmüştür. Dolayısıyla bu durum makine uzunluğunu azaltmıştır.

■ Soğutma ünitesi, godetlerin çapı, vb. makine bölümlerinin yükseklikleri, uzunlukları, sayıları, vb. özellikler, makinenin genel yükseklik değerini ve uzunluğunu belirlemiştir. Sonuç itibariyle, makinenin yüksekliği yaklaşık 3 metre, uzunluğu ise 3,5 metre olarak ölçülendirilmiştir.

■ Makinede beş adet godet bulunmaktadır. Makinenin çekim ünitesini oluşturan godetlerde, ipliğe asıl çekimin Godet-2 ile Godet-3 arasında verilmesi düşünülmüştür. Üretilecek iplik beş adet godete sarılarak sarım ünitesine yönlendirilmektedir. Söz konusu godet sayısı, verilecek çekim

miktarı, ipliğin daha iyi form alabilmesi vb. sebeplerden ötürü optimum olarak belirlenmeye çalışılmıştır. İpliklerin fazla sayıda godete sarılması ile ipliklere daha mükemmel bir ısı aktarımının olması ve çekim boyu da arttırılarak daha homojen bir çekimin sağlanması amaçlanmaktadır.

3.4.2. Üretimle İlgili Makine İmalat Hesapları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinde gerçekleştirilecek üretimlerle ilgili çeşitli imalat hesapları yapılmıştır. Bu çalışmalarla ilgili bilgiler maddeler halinde bu bölümde yer almaktadır.

a. Ekstrüder Vidası L/D Oranı

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve vida çapı (D) olup, bunların birbirine oranı olan L/D değeri ise, ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. Örneğin, 80 mm çaplı bir ekstrüder 24 L/D değerine sahip ise, vidanın uzunluğu $24 \times 80 = 1920$ mm'dir. L/D büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirlemektedir. Ekstrüder konstrüksiyonunda önceleri 24/1 L/D oranı kullanılırken, günümüzde daha yüksek L/D oranlarıyla daha kaliteli üretim yapıldığı sonucuna varılmıştır. Bu da üretilen polimer kalitesini arttıran önemli bir parametredir. Bu sayede, eriyiğin homojenliği daha iyi sağlanmaktadır. Literatürde mevcut bilgilerden, L/D oranının 24'den büyük olması ile çok kaliteli eriyik sağlandığı sonucuna varılmıştır (Demiryürek, 2004). Dolayısıyla, L/D oranı arttığında polimer ekstrüder içerisinde daha uzun kalacağından daha iyi karışım sağlanmakta ve daha iyi ısıl homojenlik oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında kaliteli bir eriyik oluşumu için 27 L/D oranına sahip ekstrüder alınmıştır. Eriyiğin kalitesi vidanın içinde kalma süresine bağlı olduğu kadar ısıl homojenliğe de bağlıdır. Alımı gerçekleştirilen ekstrüder dört bölgeden ısıtılmalı ve ısı kontrollüdür.

b. Ekstrüdere Ait Temel Değişkenler

Ekstrüzyon işlemi sırasında kontrol edilmesi gereken bazı temel değişkenlerin vida hızı, barel sıcaklığı ve çıkış basıncı olduğu bilinmektedir. Vida hızı ekstrüderin büyüklüğüne ve üretim kapasitesine bağlıdır. Ayrıca, filament üretimi için düşük hızlardaki ve orta büyüklükteki (Örneğin, 1...10 inç vida çapı ve 150...400 d/dk motor hızı) ekstrüderler tercih edilirken, boru üretimi için ise, büyük vida çapına sahip ekstrüderler kullanılabilmektedir (12...36 inç vida çapı ve 100...300 d/dk motor hızı). Ekstrüder vidalarının birçoğu 20-200 d/dk dönüş hızında çalışmakta olup, ekstrüder büyüklüğüne göre de 2000 kg/saat'lik bir üretim hızına kadar ulaşabilmektedirler. Ekstrüderin tahrik aldığı elektrik motorunun devir sayısı ise genellikle, 1500 d/dk'dan büyük olduğundan, düşük hızların sağlanabilmesi için elektrik motoru ve vida tahrik şaftı arasında redüktör kullanılmaktadır.

Ekstrüderde üretim hızının limitini belirleyen asıl faktör ise, polimerin kaliteli bir şekilde işlenebilmesidir. İstenen sıcaklık ve basınç değerlerinin ekstrüder çıkışında da elde edilebilmesi ve polimerin ısı olarak homojen olması durumu polimerin kaliteli işlenip işlenemediğini gösteren parametrelerdendir. Bu açıdan, yüksek hızlarda çalışan ekstrüderlerde veya büyük vida çaplı ekstrüderlerde polimerin ekstrüder içerisinde tam olarak eritilmesi ve homojen bir yapı elde edilmesi zor olmaktadır. Büyük vida çaplı ekstrüderlerde, eritme yapılan hacmin büyük olmasından dolayı yeterli eritmenin sağlanabilmesi için daha yavaş bir çalışma hızı ve daha uzun bir vida gerekmektedir. Hızlı çalıştırılan ekstrüderlerde ise yeterli eritme için daha uzun vida gerekmektedir. Yapılan deneylerde 1000-2000 dev/dk hızda çalıştırılan ekstrüderlerde üretilen polimerlerin, düşük hızda çalıştırılanlara göre daha kalitesiz olduğu görülmüştür.

Sonuç itibarıyla, çalışma parametreleri, dizayn parametreleri ve üretim ihtiyaçları (son ürün ve kullanım amacı) dikkate alındığında; kaliteli polimer üretimi için, küçük veya orta boy ekstrüderlerde (1-10 inç vida çap) ve düşük-orta hızlarda (100-500 d/dk) üretim yapılmasının daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında ve gerçekleştirilen diğer araştırmaların sonucunda, imalat çalışmalarında kullanılacak olan ekstrüder vidasının hızı yaklaşık olarak 150 d/dk olarak belirlenmiştir. Ekstrüder vidasının çapı da 30 mm'dir ve ekstrüderin tahrik aldığı elektrik motorunun devir sayısı da 1500 d/dk'dır. Ayrıca belirtilen sebeplerden ötürü ekstrüderde redüktör ünitesi kullanılmıştır.

c. Metraj Pompası

Doktora tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalar sonucu, ekstrüder çıkışında sıvı eriyik formundaki polimer hammaddesini düzelere basan metraj pompası kapasitesinin 5 cc olmasına karar verilmiştir. Bu kapasite miktarı, metraj pompasının bir tam devrinde dişlileri arasından 5 cc'lik eriyiği düzelere basması şeklinde açıklanabilmektedir. Ayrıca, makine ikili düze sistemine sahip olduğu için her bir düzeye bu miktardaki eriyik madde beslenmektedir. Söz konusu makinede 5 cc'lik metraj pompası ile çalışılması, deneme üretimlerinde düşük kapasite ile çalışılmasının yeterli olacağı şeklinde açıklanabilmektedir.

d. Polimer Eriyiğinin Filament Formuna Geçişi

Düze deliğinden çıkan polimer kütlesi Poiseuille's kanunu ile hesaplanabilmektedir. Söz konusu hesaplama için denklem aşağıda yer almaktadır.

$$M = \frac{P * \pi * r^4 * \rho}{8l\eta}$$

Yukarıdaki denklemde yer alan değerler,

M: Düze deliğinden çıkan polimer kütlesi, P: Uygulanan basınç,

ρ : Polimer yoğunluğu, η : Polimer viskozitesi,

r: Kapilari (düze deliği) yarı çapı ve l: Kapilari (düze deliği) uzunluğu,

şeklinde sıralanmaktadır (Yıldırım, 2007).

Üretim çalışmalarında, söz konusu bu denklem ve kullanılan hammadde ile üretim parametreleri esas alınarak çeşitli teorik hesaplamalar gerçekleştirilebilir.

e. Toplam Filament Adedi

Sürekli filament ipliğin sahip olduğu bireysel filament sayısının artması filamentlerin birbirleriyle olan temasını artacağından daha iyi bir iplik oluşumunu sağlamaktadır. Bununla birlikte, gerçekleştirilen literatür taraması kapsamında, iplikte bulunan filament sayısının belirli bir miktarın üzerine çıkmasının elde edilen tekstüre etkisinde bozulma oluşturacağı sonucuna ulaşılmıştır (Demir, 2006). Bu açıdan, makine üzerinde yapılacak olan tekstüre iplik üretim çalışmalarında bu husus göz önünde bulundurulmalıdır.

f. Soğutma Ünitesi Parametreleri

İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinde, düzelerden dik pozisyonda ve sıvı halde fışkıran sıcak eriyik, üflenlen hava ile oda sıcaklığına kadar soğutulmaktadır. Söz konusu bu proses parametreleri, nihai ürünün kalitesi açısından oldukça önemlidir. Bu açıdan, soğutma havası prosese bağlı olarak genellikle 18-26 °C ve nem oranı da % 50-70 arasında olmaktadır. Ayrıca, soğutucu hava hızının da 0.25-1.2 m/s arasında değişmesi öngörülmüştür.

g. İplik Çekim Miktarları

Sürekli filament iplik üretiminde ipliğe uygulanacak olan çekim miktarı, çekim silindirlerinin hızları arasındaki farkla ayarlanmaktadır. İpliğe verilen bu çekim üretilecek ipliğin sahip olacağı doğrusal yoğunluk, mukavemet, kopma uzaması, vb. yapısal özelliklerini belirleyeceğinden oldukça önemlidir. Bu bağlamda, belirlenen çekim miktarının gerçekleştirilen bir üretim süresince sabit kalması gerekmektedir.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin çekim ünitesi godetler, ipliğe yön veren avare silindirler ve godet motorlarından oluşmaktadır. Ayrıca, makinede asıl çekim Godet-2 ile Godet-3 arasında verilmektedir. Örneğin, Godet 2'nin hızı 400 m/dk iken Godet 3'ün hızı 800 m/dk olduğunda, iplik asıl çekim bölgesinde 2 kat çekim almış olacaktır.

h. Çekim Silindirlerinin Yapısı ve Sıcaklığı

Çekim silindirleri olan godetlerin, yüzeyleri boyunca sahip oldukları sıcaklığın homojen olarak dağılması, iplik kalitesi açısından oldukça önemlidir. Bu özelliğin sağlanabilmesi için çeşitli yöntemler vardır. Örneğin, çekim silindirlerinin iç cidarına (çift kabuk yapısı) bir su haznesi yerleştirilerek çekim silindirinin tüm uzunluğu boyunca sıcaklık sabit hale getirilmek istenmektedir. Benzer bir uygulama da yağ ile ısıtmadır. Çalışma kapsamında bu ve benzeri durumlar değerlendirilmiş olup, godet içine bakır püskürtme yapılarak homojen sıcaklık dağılımı sağlanmasının daha sağlıklı olacağı görüşüne varılmıştır. Diğer yöntemler oldukça eski uygulamalar olmakla birlikte, godet hızlarını düşürme dezavantajına da sahiptirler. Ayrıca, özgün ürün geliştirme çalışmaları sırasında belirtilen bu godet sıcaklıkları hammaddelerin yumuşama sıcaklığına göre ayarlanmalıdır.

Çizelge 3.5.'de özgün ürün geliştirme çalışmalarında kullanılabilecek bazı polimerlere ait yumuşama sıcaklıkları yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Polimer yumuşama sıcaklıkları

Polimer Türü	PP	PES	PA 6	PA 6,6
Yumuşama Sıcaklıkları (°C)	120	200	160	210

ı. Filament İpliklerin Godetler Üzerine Sarılması

Çalışmada, godetlerin üzerine sürekli filament ipliğin sarılması, godetin en dış ucundan en az 2 cm içeride kalacak şekilde ayarlanmıştır. Çünkü godet yüzeyinin uç kısmına doğru sıcaklık üniformitesinin sağlanamaması söz konusudur. Bununla

birlikte, godet üzerine en fazla 7-8 tur sarım yapılabilir. Söz konusu bu sarımlar arasındaki mesafe ise minimum 2 cm olmalıdır. Filament ipliğin godetler üzerine sarımı ile ilgili tüm bu tespitler yapılan çalışmalar ve teknik incelemeler sonucu belirlenmiş olup amaç, düzgün bir iplik çekimi ve nihai iplik kalitesini en iyi şekilde sağlamaktır.

i. Yağlayıcı Madde Miktarı ve Özellikleri

Sürekli filament iplik üretimi esnasında, soğutma kabini içinde sıvı eriyiğin katılaşmasının hemen ardından filamentlere spin finish yağı aplike edilmektedir. Bu yağ sayesinde, ipliğin sürtünme katsayısı azalmakta ve iplikte statik elektrik yüklemesinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca, söz konusu yağlayıcı madde antibakteriyel ve antistatik özelliklere de sahiptir. Bununla beraber, ipliğe verilecek olan yağlayıcı madde miktarı da önem arz etmektedir. Konuyla ilgili literatür araştırması da yapıldığında, filament iplik üretiminde %1'in altındaki uygulamalarda özellikle istenilen mukavemet, kopma uzaması ve kıvrımlılık durumunun iplikte elde edilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Demir, 2006). Dolayısıyla, gerçekleştirilecek üretim çalışmalarında bu hususa dikkat edilecektir.

j. Tekstüre Ünitesi Üretim Parametreleri

Sürekli filament iplikler, imalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi makinede istenildiği takdirde tekstüre işlemine tabii tutulabilmektedir. Söz konusu tekstüre işlemi hava jetli tekstüre prensibine göre çalışmaktadır. Aşağıda, imalatı gerçekleştirilen ve sonrasında makineye montaj edilen tekstüre ünitesinin özellikleri maddeler halinde açıklanmıştır.

■ *Hava Jeti İçerisindeki Basınç, Tekstüre Sıcaklığı ve Vakum Uygulaması*

Tekstüre kabininde yer alan tekstüre jetinde oluşacak olan hava basınç değerinin, optimum seviyede olması büyük önem arz etmektedir. Çünkü hava basıncının yüksek ya da düşük olmasının ipliğe farklı etkileri bulunmaktadır. Örneğin, hava basıncı arttıkça filamentleri açan, ileriye doğru fırlatan ve karıştıran ana kuvvet akışkan hızları artacağından daha iyi filament dolaşıklığı ve hav oluşumu anlamına gelen daha iyi bir tekstüre etkisi elde edilebilmektedir. Ayrıca, basınç artışı oluşan hava jeti türbülansının ve hız dağılım düzgünlüğünün artmasını da sağlayacaktır. Bu nedenle yüksek hava basınçlarında daha iyi tekstüre etkisi gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, belirli bir basınç değerinden sonra ise, artan hava basıncıyla doğru orantılı olarak iplik mukavemeti düşmekte ve söz konusu bu durum da kalitesiz iplik oluşumuna neden olmaktadır. Dolayısıyla, hava jeti içerisindeki basınç değerinin iplik yapısal özelliklerine göre, optimum bir değer aralığında olması gerekmektedir ve bu değer genel olarak 6-8 bar aralığında olması uygun bulunmaktadır. 8.5-9 bar gibi daha yüksek basınç değerlerinde ise, filamentlere aşırı yükleme yapılmakta ve dolayısıyla kıvrım düzgünsüzlükleri oluşabilmektedir. Çok küçük basınçlarda ise, istenilen kıvrım etkisi elde edilemeyebilir. Dolayısıyla, çalışmalarımızda da 6-8 bar arasındaki basınç değerlerinin üretilecek iplikler için optimum seviye olduğu belirlenmiştir.

Sürekli filament ipliklere tekstüre hava jeti içerisinde verilecek olan sıcaklık değeri ise, hammaddeye göre değişecektir (Polipropilen-PP için 135-140°C, Poliamid-PA için 210-225°C, vb.). Bunların yanında, tekstüre ünitesinde “*Vakum Uygulaması*” da gerçekleştirilecektir. Bu uygulama sayesinde filamentlere uygun şartlarda istenilen kıvrım verilebilmektedir. Örneğin, vakum ayarlamasının olmadığı makinelerde tekstüre sıcaklığının 145°C’nin üzerinde seçilme zorunluluğu vardır. Bu yüksek sıcaklık da PP’nin moleküler yapısında bozunmaya, masterbatch pigmentlerinin yanmasına ve dolayısıyla da renk değişimlerine neden olabilmektedir. Öte yandan, tekstüre sıcaklığını arttırmak yerine tekstüre hava basıncının artırılması da filamentlerde kıvrım düzgünsüzlüklerine yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, tekstüre odacığındaki vakum uygulaması hem hava sıcaklığının 135-140°C

gibi makul seviyelerde olmasını hem de hava basıncının 6-8 bar gibi normal seviyelerde kullanılmasını sağlamaktadır (Demir, 2006).

k. Puntalama İşlemi

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinde istenildiği takdirde puntalama işlemi de yapılabilmektedir. Uygulamada genellikle, her bir metre iplikte 25–30 punta olacak şekilde puntalama yapılmaktadır. Puntalama işlemi basınçlı hava kullanılarak gerçekleştirilmekte olup, punta sıklığı da punta jetine giren havanın basıncı ve puntalama jetinin arasında olduğu godet hızları ile belirlenmektedir.

l. İplik Tipleri ve İplik Numara Aralığı

Geliştirilen laboratuvar tipi makine üzerinde CF (Continuous Filament) ve BCF (Bulked Continuous Filament) olmak üzere iki tip iplik üretimi gerçekleştirilebilmektedir. CF iplik düz sürekli filament iplik olmakla birlikte, BCF iplik ise sıcak hava jeti ile tekstüre edilen CF ipliğın aldığı yeni formu-hacimli ipliğı tanımlamaktadır. Söz konusu bu ipliklere dair belirlenen filament iplik doğrusal yoğunluk değeri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Makine üzerinde üretilebilecek iplik özellikleri

İplik Türü	Doğrusal Yoğunluk Değeri (denye)
CF	200-1500
BCF	500-2500

m. İşlem Hızı ve Üretim Hızı

Filament iplik üretiminde “İşlem Hızı” ve “Üretim Hızı” kavramları dikkat çekmektedir. İşlem hızı, godetlerin sahip olduğu hız olarak tanımlanırken üretim hızı ise, makinenin son aşamasındaki iplik üretim hızı olarak tanımlanmaktadır. İşlem

hızı üretim hızından %10-15 daha düşük olmaktadır. Ayrıca, iplikte tekstüre etkisiyle oluşan kıvrım sebebiyle de üretim hızı daha düşük değerlerde olabilmektedir.

İmalatı gerçekleştirilen makinede yer alan Godetlerin hızları 5000 m/dk'ya kadar ulaşabilmektedir. Bununla birlikte, daha sağlıklı ve güvenilir bir üretim için godet hızlarının maksimum 1500 m/dk olması gerektiği belirlenmiştir.

Literatür araştırması sırasında işlem ve üretim hızının ürün özelliklerine etkisiyle ilgili çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin, artan işlem hızının belirli bir değerden sonra, mukavemet, kopma uzaması, sıcakta çekme, vb. ürün değerlerini olumsuz etkilediği görülmüştür ki; bu da her iki hız değerinin ayarlanmasında da çok hassas davranılması gerektiği sonucunu belirtmektedir. İşlem hızı değeri, iplik üretiminde ekstrüderden sarıcıya kadar birçok parametreyi etkilemektedir. Bu parametreler aşağıda yer almaktadır.

İşlem hızı,

- a. Mevcut cipslerin ve eğer varsa katkı maddelerinden oluşan karışımın ekstrüder boyunca homojen olarak eritilip karıştırılmasını,
- b. Eriyiğin filament haline gelirken homojen olarak katılaşmasını,
- c. Filamentler üzerine verilen spin finish yağının homojenliğini,
- d. Filamentlerin homojen bir şekilde çekilmesini,
- e. Tekstüre etkisinin iplik boyunca düzgün olarak oluşmasını,
- f. vb.,

durumları etkilemektedir.

Sonuç olarak, kaliteli bir iplik üretimi için işlem ve üretim hızlarının doğru tespiti oldukça önemlidir.

4. LABORATUVAR TİPİ FİLAMENT İPLİK ÜRETİM MAKİNESİNİN İMALATI

4.1. Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesi İmalat Çalışmaları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalatı, “*Malzeme Seçimi*,” “*Teknik Çizim Çalışmaları*” ve “*İmalat Hesaplamaları*” çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yapılan makine imalat çalışmaları, makinenin temel bölümleri esas alınarak anlatılmıştır.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi birçok malzemenin/parçanın bir araya getirilmesi ile imal edilmiştir ve makine genel olarak,

I. Besleme Hunisi, Ekstrüder ve Metraj Pompası Bölümü,

II. Düzeler ve Bağlantı Sistemleri,

III. Filament Oluşum/Katılma Ünitesi,

IV. Yağlama Ünitesi,

V. Çekim Ünitesi,

VI. Tekstüre Ünitesi ve

VII. Sarım Ünitesi olmak üzere,

yedi temel ünitelerden oluşmaktadır.

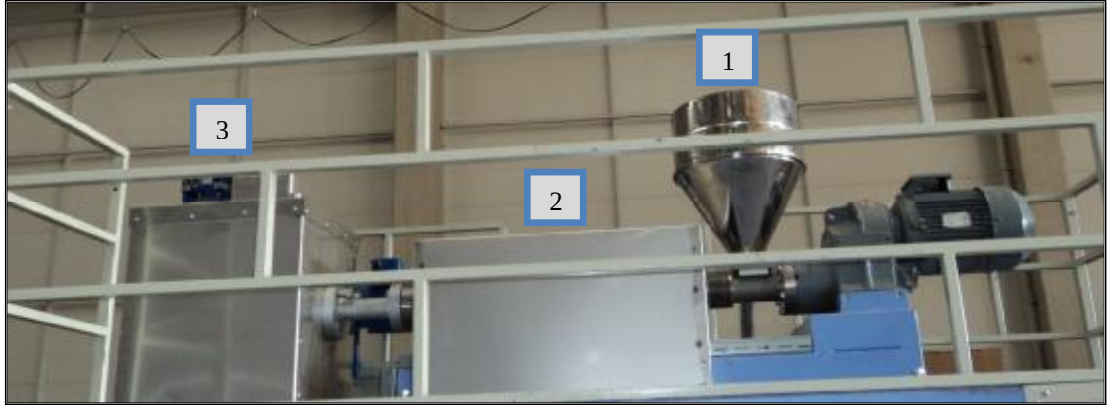
Ayrıca, laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi, “*Elektrik-Elektronik Donanım ve Otomasyon Sistemi*” ile “*Kompresör*” ekipmanına da sahiptir. Söz konusu bu üniteler de bu bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde genel olarak, söz konusu bu ünitelerle ilgili teknik bilgiler ile imalat bilgilerine yer verilmiştir.

I. Besleme Hunisi, Ekstrüder ve Metraj Pompası

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin ilk temel bölümü, besleme hunisi, ekstrüder ve metraj pompasından oluşmaktadır.

■ *Besleme Hunisi*

Katı halde olan polimer cipsleri, ekstrüderde eritmek üzere besleme hunisine aktarılmaktadır. Besleme hunisi, krom ve nikel malzemeden yapılmış olup maksimum 15 kg cips kapasitesine sahiptir. Şekil 4.1.'de sırasıyla, besleme hunisi, ekstrüder ve metraj pompasını içerisinde bulunduran yağ tankı gösterilmiştir.



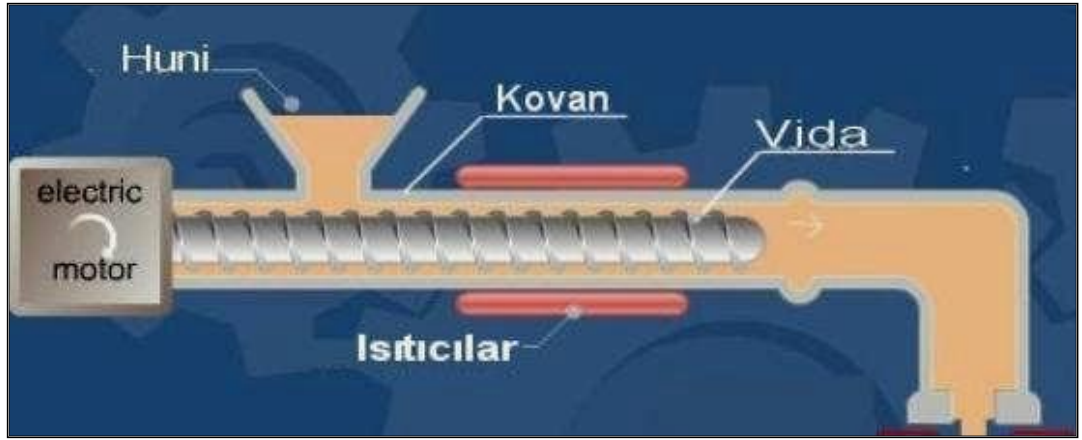
Şekil 4.1. Geliştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi temel bölümleri (1. Besleme Hunisi, 2. Ekstrüder ve 3. Metraj Pompası)

■ *Ekstrüder Ünitesi*

Ekstrüder, katı halde bulunan polimerleri sıcaklık ve sürtünme etkisi ile sıkıştırmakta ve eritmektedir. Böylelikle istenilen sıcaklık ve basınçta ergimiş polimer elde edilmektedir. Ekstrüderdeki sıcaklık uygulamaya ve hammaddeye bağlı olarak 220-270°C arasında değişebilmektedir. Ekstrüzyon sisteminin performansı, iyi bir eriyik sıcaklık kontrolü, iyi basınç stabilitesi, uygun eriyik homojenliği, vb. faktörlere bağlı olmakla birlikte, ekstrüder performansını arttırmak amacı ile merkezi bilgisayar kontrolü, gerekli ısıtma ve soğutma üniteleri ve gerekli karıştırma bölümleri teçhiz edilmiştir. Ayrıca, ekstrüderden istenilen kalitede eriyik elde

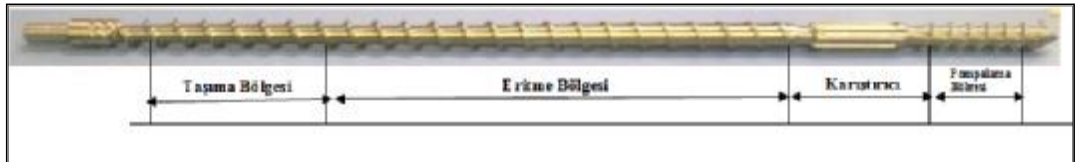
edebilmek için, ergimiş polimerin sıcaklığının istenilen aralıkta tutulabilmesi de önemli bir husustur.

Ekstrüder ünitesi genel olarak, kovan, vida, ısıtıcılar ve motordan oluşmaktadır. Şekil 4.2.'de bu bölümler şematik olarak gösterilmiştir. Söz konusu bu bölümlerin çeşitli görevleri olmakla birlikte, polimeri taşıma, sıkıştırma ve eritme görevlerini ekstrüder vidası gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.2. Tipik bir ekstrüder ve bölümleri (MEGEP, 2011)

Ekstrüder vidası, değişik derinlik ve helis açlarına sahip besleme (taşıma), eritme (sıkıştırma), ölçme ve pompalama bölümlerine sahiptir. Besleme bölgesinde katı madde içeri sürülmekte ve ileri doğru itilmekte, sıkıştırma bölgesinde vidanın akış derinliği azaltılarak malzeme sıkıştırılarak eritilmekte ve ölçme bölgesinde ise eritilmiş malzeme homojen hale ve istenilen işleme sıcaklığına getirilmektedir. Şekil 4.3.'de, makine imalatında kullanılan ekstrüder vidası ve bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Makine imalatında kullanılan ekstrüder vidası ve bölümleri

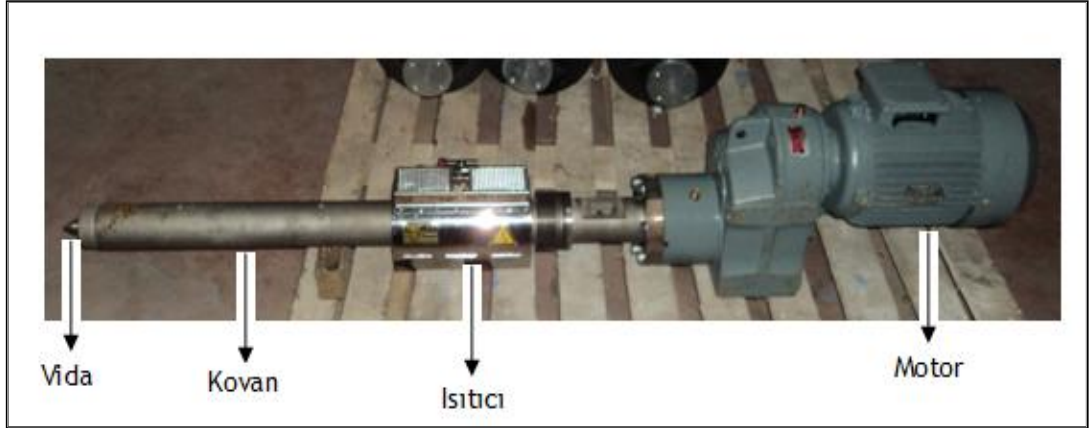
Ekstrüder vidasının eritme bölgesindeki basıncı, vida dış derinliklerinin giderek küçültülmesi ile sağlanmaktadır. Ayrıca, eriyikte kalan hava da basınç altında sıkıştırma ile çıkartılmaktadır.

Ekstrüderdeki vida sıkıştırma oranı ise, besleme bölgesindeki hacmin eritilme bölgesindeki hacime oranı olarak tarif edilmektedir. Ayrıca, ekstrüder vidasındaki bölgeler uzunluk olarak birbirine eşit değildir ve işlenecek polimer türüne bağlı olarak da değişebilmektedir.

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri, vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise, vida uzunluğu (L) ve vida çapı (D) olup, bunların birbirine oranı olan L/D oranı da ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. L/D oranı büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirlemektedir. Ekstrüder konstrüksiyonunda önceleri 24/1 L/D oranı kullanılırken, günümüzde daha yüksek L/D oranlarıyla daha kaliteli üretim yapıldığı sonucuna varılmıştır. Bu da üretilen polimer kalitesini arttıran önemli bir parametredir. Bu sayede, eriyik homojenliği de daha iyi sağlanmaktadır.

Makine imalat çalışmaları kapsamında, kaliteli bir eriyik oluşumu için 27 L/D oranına sahip ekstrüder alınmıştır. Ayrıca, eriyiğin kalitesi vidanın içinde kalma süresine bağlı olduğu kadar ısı homojenliği de bağlıdır; alımı gerçekleştirilen ekstrüder dört bölgeden ısıtılmalı ve sıcaklık kontrollüdür. Yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, çalışmada kullanılacak olan ekstrüder vidasının hızı da 150 d/dk olarak belirlenmiştir (150 d/dk hıza kadar çıkabilmektedir). Ekstrüder vidasının çapı 30 mm ve ekstrüderin tahrik aldığı elektrik motorunun devir sayısı 1500 d/dk'dır.

Şekil 4.4., alımı gerçekleştirilen ekstrüder parçalarının montajı sırasında oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Ekstrüdere ait bir montaj görseli

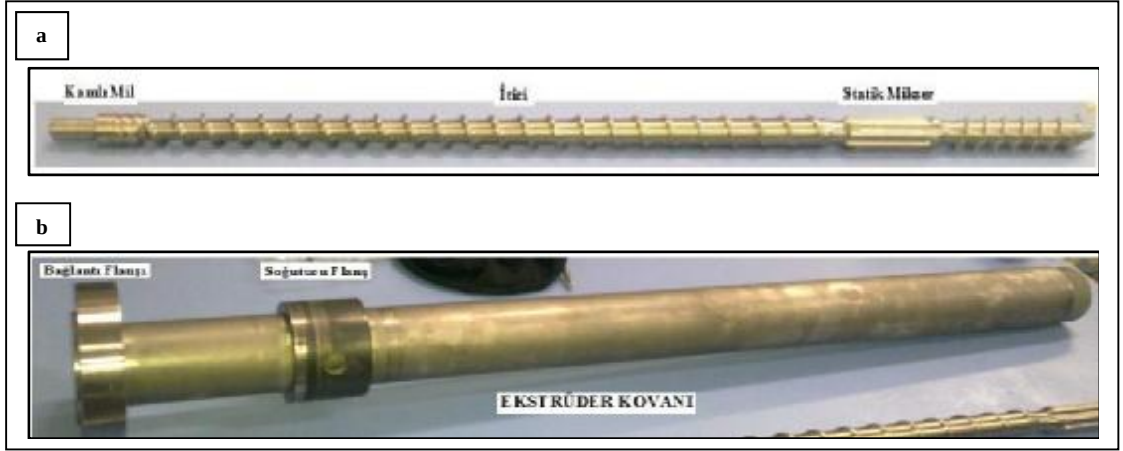
Ekstrüzyon işlemi öncesi belirlenmesi gereken çeşitli değerler vardır ve bunlardan biri de hammaddenin işleneceği sıcaklık değeridir. Bu değer eritilecek polimerin erime sıcaklığına göre belirlenmektedir. Üretim sırasında olması gereken sıcaklık değerinin üstünde veya altında ayarlanan bir sıcaklık değeri, hammaddenin yanmasına veya yeterince erimemesine neden olmaktadır. Makine üzerinde sıcaklık ayarı, vidaanın belli bölgelerine ve kalıbın üzerine yerleştirilmiş ısıtıcılar ile gerçekleştirilmektedir.

Ekstrüzyon işleminde ayarlanması gereken bir diğer üretim parametresi de basınç değeridir. Ekstrüderde basınç, vida dönme hızına ve hammadde özelliğine bağlıdır. Sistemde basınç artışı vida dönme hızının artırılması ile gerçekleştirilmektedir; dönme hızı artan vida polimerin ekstrüder içerisindeki basıncını arttırmaktadır.

Yukarıda ekstrüder ünitesiyle ilgili temel teknik bilgiler verilmiştir, aşağıda ise montaj çalışmalarına dair açıklamalar yer almaktadır.

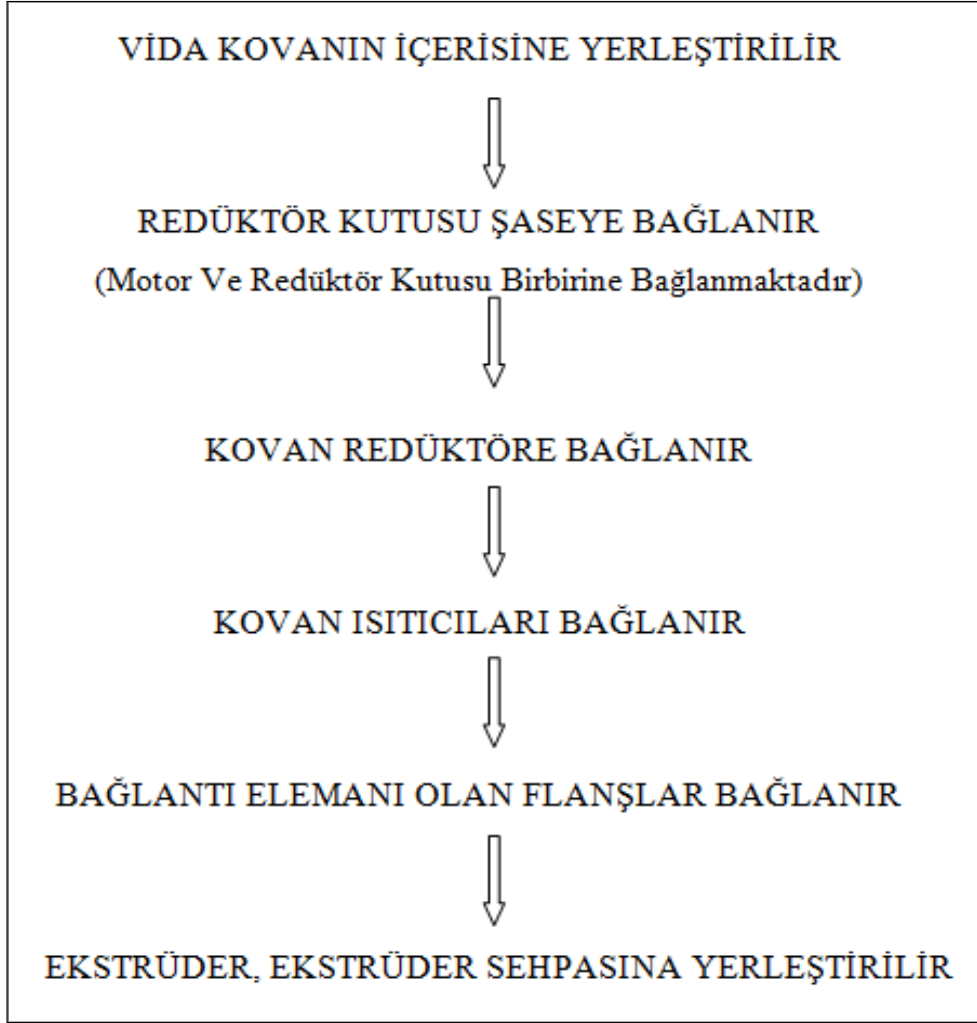
Ekstrüder Montajı

Ekstrüder, vida ve kovan olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Makine imalat çalışmaları kapsamında alınan ekstrüder parçalarına ait bu görseller Şekil 4.5.'de yer almaktadır.



Şekil 4.5. Ekstrüder kısımları (a. Ekstrüder mili, b. Ekstrüder kovani)

Ayrıca, makine imalat aşamasında ekstrüderin de makineye montaj edilebilmesi için çeşitli imalat aşamaları gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar, Şekil 4.6.'da özetlenmiştir.



Şekil 4.6. Ekstrüder ünitesinin montaj aşamaları

■ *Metraj Pompası ve Yağ Tankı*

Sürekli filament iplik üretim makinesinin bir diğer önemli bölümü de “*Metraj Pompası*”dır. Granül hammaddenin eritilerek ipliğe dönüştürüldüğü direkt eğirme sistemlerinde metraj pompaları sistemin çok önemli bir bölümüdür ve üretilen ipliğin doğrusal yoğunluğu ile düzgünlüğü pompa performansına bağlıdır. Dolayısıyla, kaliteli bir iplik üretim sisteminde istenilen çalışma hızında ve istenilen kalınlıkta iplik üretimi tamamı ile metraj pompasının erimiş polimeri istenilen hassasiyetle ölçerek istenilen basınçta verebilmesi ile mümkündür.

Metraj pompaları, sürekli yüksek basınç altında ve yüksek sıcaklık ortamlarında çalışmaları gerektiğinden çok hassas imal edilmeli ve her türlü ortamda polimeri çok hassas bir biçimde ölçerek düzelere aktarabilmeleri sağlanmalıdır.

Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde, makinede yer alacak olan metraj pompasının kapasitesinin 5 cc olmasına karar verilmiştir. Bu kapasite miktarı, metraj pompasının bir tam devrinde dışlileri arasından 5 cc'lik eriyiği düzelere basacak şekilde ayarlanması ile açıklanabilmektedir. Özgün ürün geliştirme çalışmalarında 5 cc'lik metraj pompası ile çalışılması, deneme üretimlerinde düşük kapasite ile çalışılmasının yeterli olacağı şeklinde açıklanabilmektedir. Kullanılan metraj pompası iki çıkışlıdır (iki düzeli iplik üretim sistemi olduğu için) ve her bir çıkış düzelere 5 cc'lik erimiş polimer besleyecek şekilde tasarlanmıştır. Pompanın bu iki çıkışının her biri ayrı ayrı düzelere bağlandığından manifold kullanılarak dağıtım yapılan sistemlere oranla çok daha hassas ve güvenli bir biçimde polimer madde beslenmesi gerçekleştirilmektedir. Buna ilaveten, imalat çalışmalarında istenilen hassasiyette hız ayarı yapılabilmesi ve değişken yük şartlarında pompa devrinin sabit kalması için vektör kontrollü AC sürücüler kullanılmış olup, motor ve redüktörün sıcaklıktan etkilenmemeleri için de pompa ve redüktör arasında mafsal bağlantı kullanılmıştır. Pompanın çalışma ortam sıcaklığı 220-300 °C arasında değişebilmektedir ve pompa mili etrafında polimerin sızmasını önlemek için özel alaşımlı salmastra kullanılmıştır. Pompa içerisindeki dışliler ve ara elemanları arasındaki boşluklar, değişik sıcaklık şartlarında elemanların genleşmesi, polimerin ara yüzey oluşturabilmesi ve yeterli basınçta polimeri pompalayabilmesi gibi kriterler düşünülerek tasarlanmıştır.

Metraj pompası, yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere oldukça önemli bir ünedir. Bununla birlikte, ekstrüderden çıkan sıvı eriyiğın sıcaklığını koruyarak düzelere basılabilmesi için eriyik yağ ile sıcaklığı muhafaza edilen tank içerisinden geçirilmektedir.

Makineye montajı gerçekleştirilen yağ tankının,

- a. Sıcaklığa dayanıklı,
- b. İzolasyon özellikli,
- c. Platin malzemeli,
- d. 17 litrelik iç hacimli,

şeklinde bazı önemli özellikleri bulunmaktadır.

Ayrıca, tankta yağ sızıntısı olup olmadığı da ısı transfer yağı kullanılarak test edilmiştir. Yağ tankı dış yüzeyi izocamdır ve sonrasında bu yüzey “Krom” ile kaplanmıştır.

II. Düzeler ve Bağlantı Sistemleri

Metraj pompasında istenilen miktarda polimer ölçülerek istenilen basınçta düzelerle aktarılmaktadır ve düze deliklerinden akan sıvı polimer sürekli filament iplik formuna dönüşürken, düze özelliklerine göre iplik yapısal parametrelerine (kesit şekli, doğrusal yoğunluk, filament sayısı, vb.) sahip olmaktadır. Bu açıdan düzeler, filament iplik üretim makinesinin en önemli elemanlarındanır.

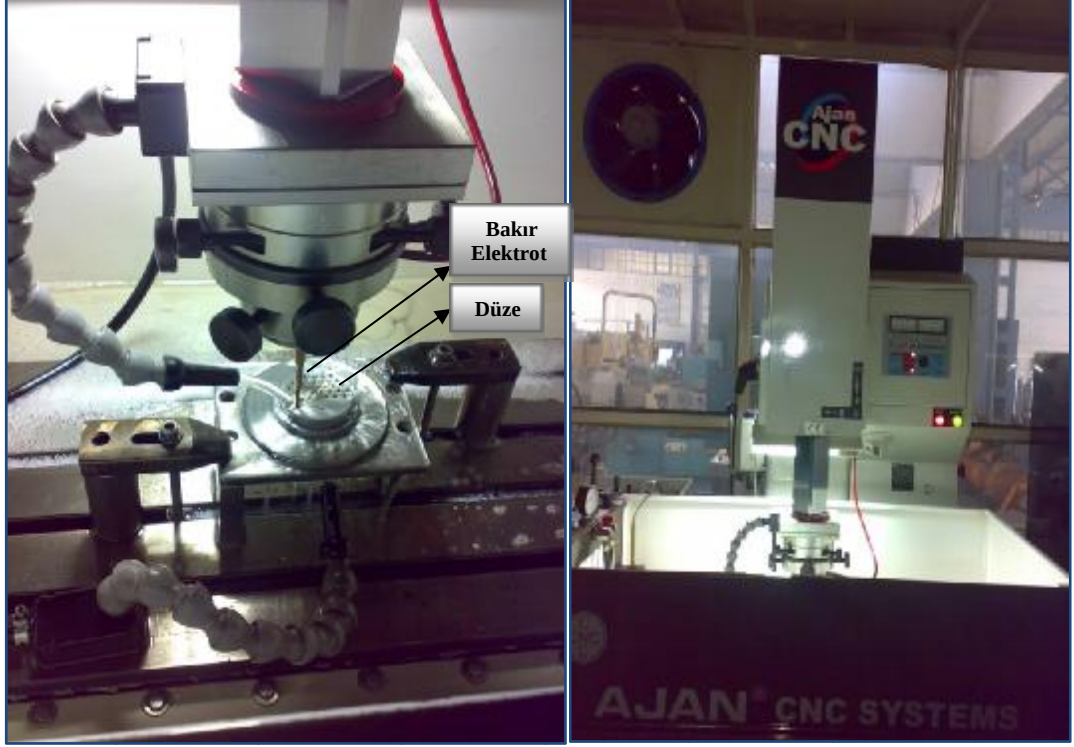
Tez çalışması kapsamında düze imalatları da gerçekleştirilmiştir. Aşağıda söz konusu bu çalışmalara dair açıklamalar yer almaktadır.

■ Düze İmalatı

Düzeler genellikle özel malzemeler kullanılarak tel erozyon veya lazer ile delme teknolojisi ile üretilmektedir. Doktora tez çalışması kapsamında, lazer ile delme teknolojisi kullanılarak düze imalatları gerçekleştirilmiştir. Bu imalat sırasında düze malzemesi üzerine, bakır elektrotlar ile belirlenen/istenilen kesit şekilleri verilebilmektedir. Düze üretim makinesinde bulunan bakır elektrot parçası, belirli hızda düzenin üzerine basılmakta ve aynı anda belirli bir noktadan gelen su düze üzerine akmaktadır. Bu su hem fazla ısınmayı önlemekte hem de düze deliklerinin

daha düzgün açılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bu sayede deliklerin üzerindeki ve içindeki küçük tortular da uzaklaştırılmaktadır.

Şekil 4.7.'de, lazer ile delme teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen düze imalatı görselleri yer almaktadır.



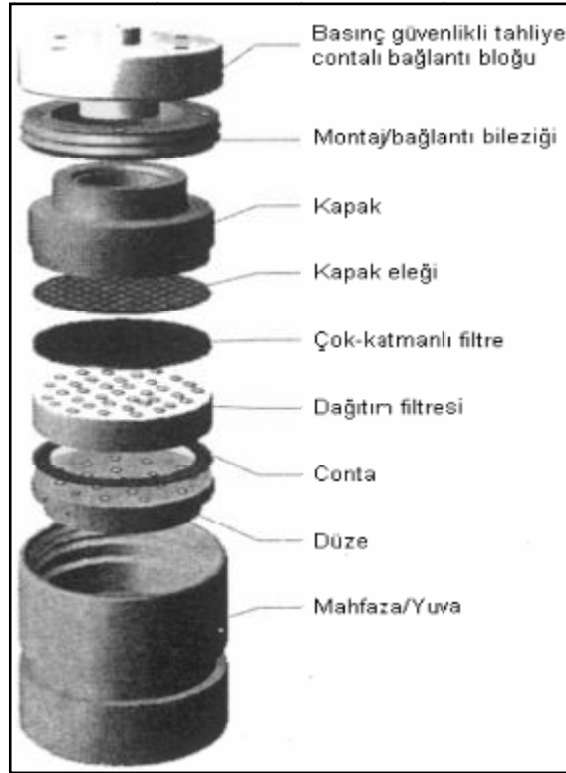
Şekil 4.7. Düze imalatı görselleri

Düzeler ve düze imalatı ile ilgili öne çıkan bazı diğer bilgiler de,

- Bir bakır elektrot düzede ortalama 50 kadar delik açabilmektedir. Bununla birlikte, bu durum düze delik şekline göre değişmektedir. Örneğin, round kesit şekli oluşturmada kullanılan bakır elektrot daha uzun süre dayanırken, trilobal, vb. kesit şekillerinde ise, bakır elektrot daha kısa ömürlü olmaktadır.
- Düzelerin temizleme işlemi genel olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Bu işlemler, kaba ve ince temizleme ile kontrol işlemleri şeklinde sıralanmaktadır.

Filament iplik üretimi için gerekli olan ve polimer maddenin içerisinde geçerek hem istenilen saflığa, hem de istenilen bazı yapısal özelliklere sahip olmasını sağlayan elemanlara “Paket” adı verilmektedir. Metraj pompaları polimer eriyiğini, filtrelenmek ve düzenin içindeki küçük deliklerden fışkırtılarak filamentler haline getirilmek üzere üniform bir akış şeklinde bu düze paketlerine beslemektedir.

Polimer maddenin içerisinde geçtiği paket elemanı çeşitli parçaların birleşimiyle oluşmaktadır. Şekil 4.8.’de görülebileceği gibi bu elemanlar, paket elemanını dış etkenlerden koruyan mahfaza/yuva, polimer maddeyi gerekli saflığa ulaştıran elekler ve kumlar ile tüm bu elemanların birbirine tutunmasını sağlayan montaj bilezikleri, vb. şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 4.8. Düze paketi ve parçaları (Özkan, 2008)

Şekil 4.9. ise, doktora tez çalışması üretimleri kapsamında kullanılan paket elemanı parçalarını göstermektedir.



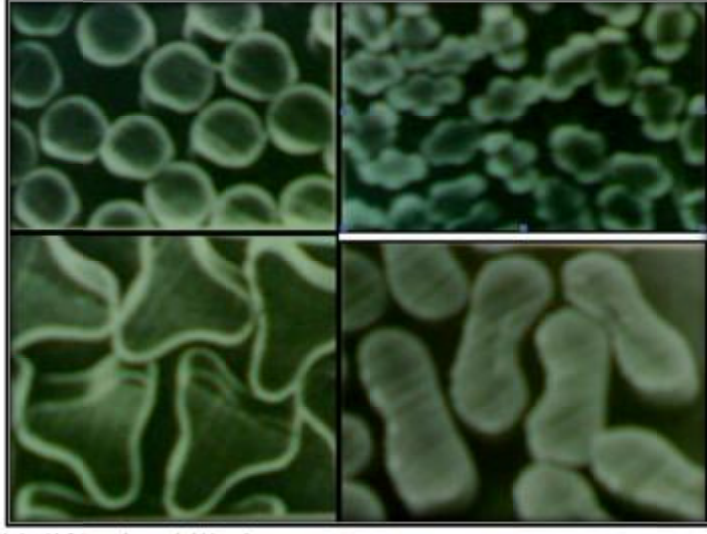
Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan paket elemanları

Şekil 4.10. ise, Şekil 4.9’da gösterilen paket elemanlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulan paket yapısını göstermektedir.



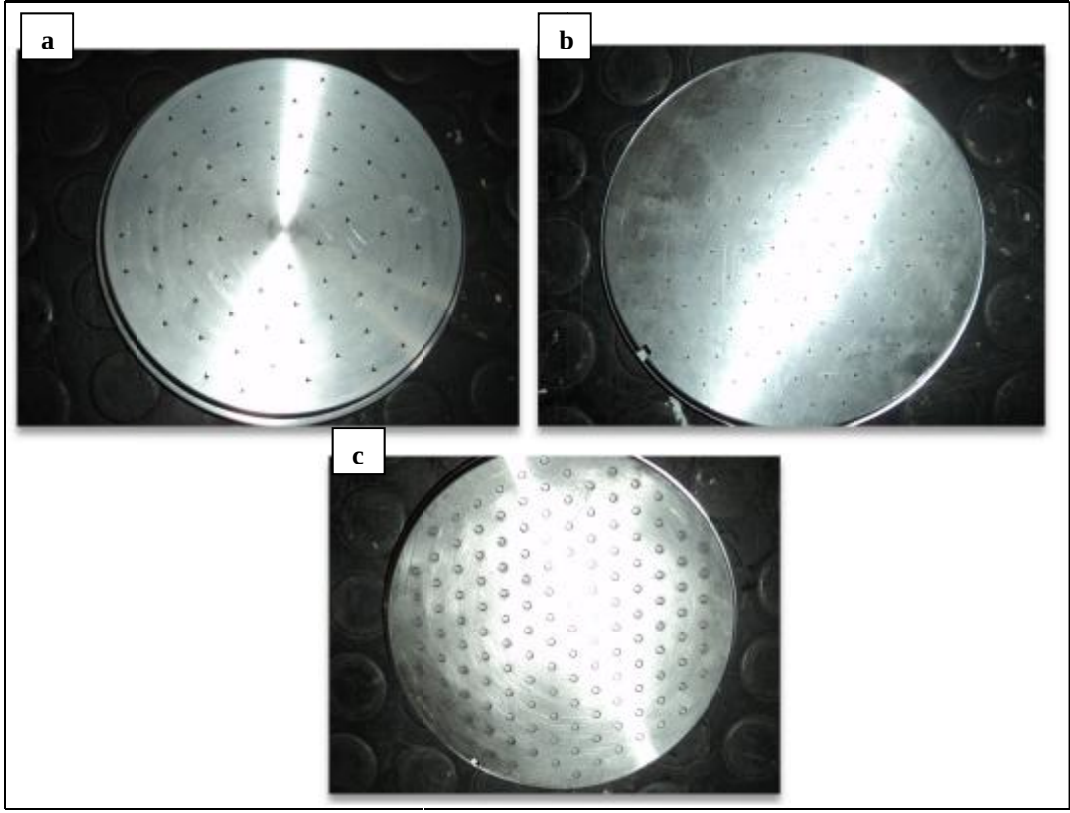
Şekil 4.10. Üretim çalışmalarında kullanılan paket

Düzeler, özgün ürün üretimlerine yönelik olarak farklı filament enine kesit şekillerinde (round, trilobal, hollow, C, vb.), farklı filament sayılarında ve doğrusal yoğunluklarda imal edilmişlerdir. Şekil 4.11’de de, farklı lif kesit şekilleri yer almaktadır.



Şekil 4.11. Farklı lif kesit şekilleri

Çalışma kapsamında imalatı gerçekleştirilen bu düzelerin malzemesi *Krom* olmakla birlikte, düzenin içinde bulunan ve ipliklerin safsızlığını sağlayan kovan ve süzekler ise, *Çelik* malzemelidir. Ayrıca, üretimde ikili düze sistemi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında imal edilen ve farklı kesit şekillerine sahip bazı düze görselleri Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Çalışmada kapsamında imal edilen düze çeşitleri (a.Trilobal, b. Round, c. Hollow)

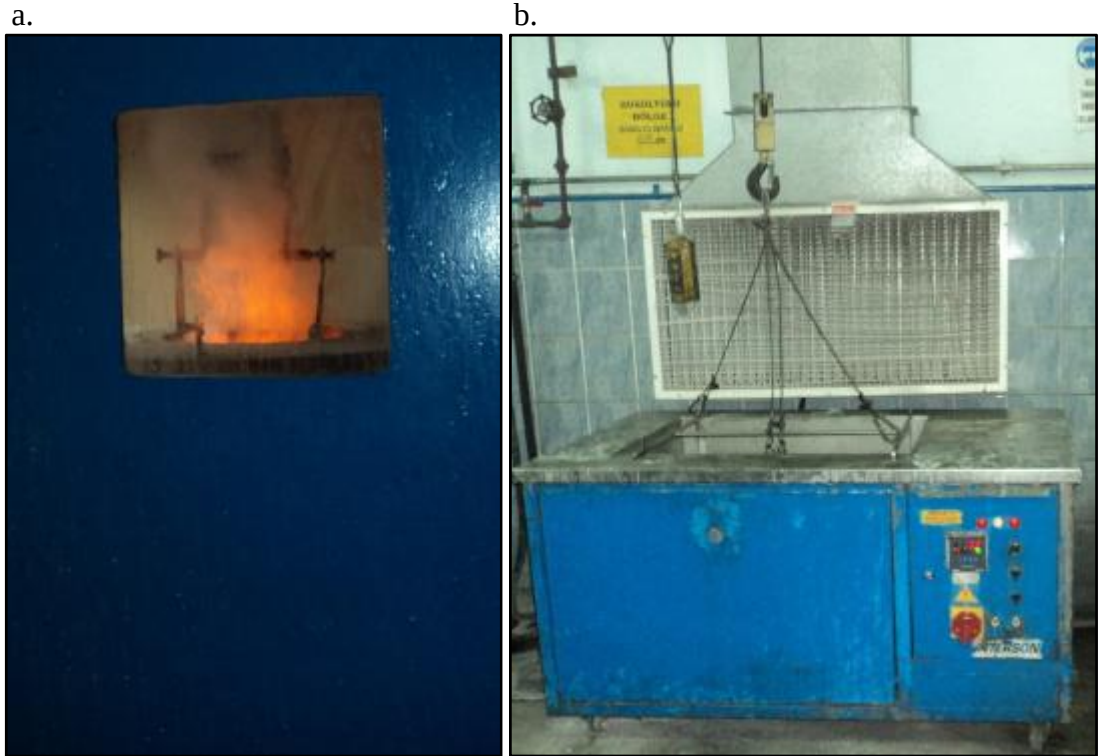
Bu çalışma kapsamında, Çizelge 4.1.’deki iplik türleri ile bunlara karşılık gelen doğrusal yoğunluk değer aralıklarında üretimlerin yapılması amaçlanmaktadır.

Çizelge 4.1. Üretimi hedeflenen iplik türleri ve doğrusal yoğunluk değerleri

İplik Türü	Numara Aralığı (denye)
CF	200-1500
BCF	500-2500

Düze Temizliği ve Kalite-Kontrolü

Belirli miktardaki polimer, metraj pompasından belirlenen basınçta düzelere aktarılmaktadır. Düze deliklerinden akan sıvı polimer, filament iplik formuna dönüşürken düze özelliklerine göre de iplik yapısal parametrelerine (kesit şekli, doğrusal yoğunluk, filament sayısı, v.b.) sahip olmaktadır. Bu açılardan düzeler, filament iplik üretim makinesinin en önemli elemanlarından ve düze temizliği de büyük önem arz etmektedir. Çalışmada kullanılan düzelerin üretim öncesi ve üretimler süresince olan temizlikleri, öncelikle yüksek sıcaklıktaki “Düze Yakma Fırını”nda kaba temizleme işlemi olarak, daha sonra da ultrasonik temizleme banyosunda ince temizleme işlemi olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu temizleme işlemlerine dair görseller Şekil 4.13.’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Düze temizliğinde kullanılan cihazlar (a. Düze yakma fırını, b. Ultrasonik temizleme banyosu)

Düze temizliğinde son aşama ise, her bir delik yapısının mikroskop altında kontrolüdür. Bu işlem sırasında, mikroskop altında düze delikleri itina ile kontrol edilmekte ve gerek duyulduğu halde özel düzeltme kalemleri ile düze delik yapılarına müdahale edilmektedir (Şekil 4.14.). Çalışmada kullanılan tüm düzeler, üretim çalışmaları öncesinde bu işleminden geçirilmiştir.



Şekil 4.14. Düzelerin kalite-kontrolü

III. Filament Oluşum/Katılaştırma Bölümü

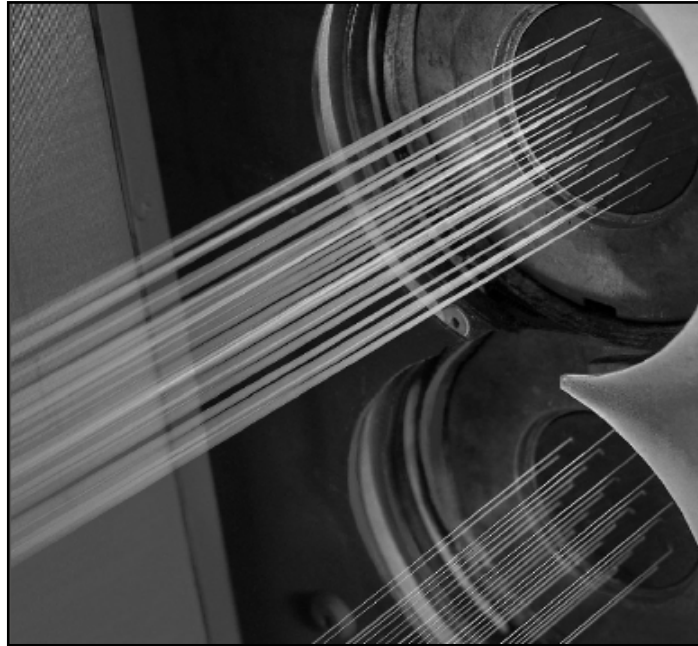
Filament oluşum bölümü, sıvı haldeki sıcak eriyiğin katılaşıp filament haline geldiği makine ünitesidir ve “Soğutma Ünitesi/Kabini” olarak da adlandırılabilir. İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin soğutma ünitesi altı temel elemandan/parçadan oluşmaktadır.

Bu parçalar,

- Soğutma kabini,
- Davlumbaz-1,
- Davlumbaz-2,

- Soğutma peteği,
- Fan,
- Soğutma ünitesi kapağıdır.

Düzelerden dik olarak sıvı halde fışkıran sıcak eriyik, üflenlen hava ile oda sıcaklığına kadar soğutulmaktadır. Soğutma havası prosese bağlı olarak genellikle 18-26°C ve nem oranı da %50-70 olup, hava hızı ise 0.25-1.2 m/s arasında değişmektedir. Soğutma kabininde laminar, düzgün, filtre edilmiş ve şartlandırılmış hava dağılımı olmalıdır ve soğutma kabininden geçen tüm filamentler üzerinde eşit soğutma etkisi elde edilmelidir. Filamentlerin düzgün katılaşması, iplik kalitesini direkt etkileyen bir parametre olduğundan, makinede bu bölümün imalat çalışmaları itinayla gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15.'de düzelerden akan sıvı eriyik sonrası filament oluşumu gösterilmektedir.

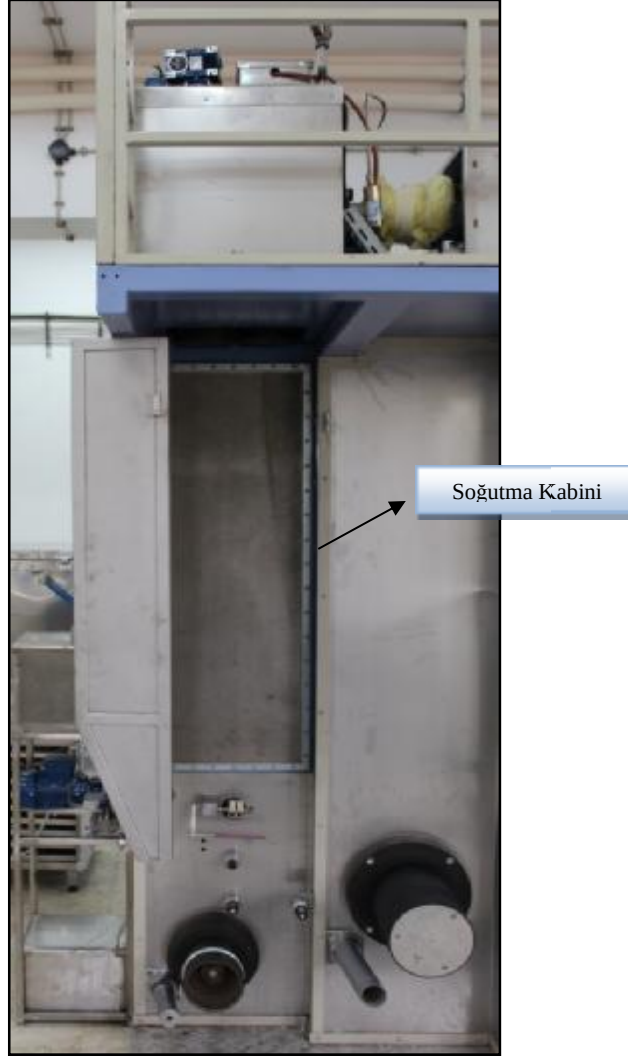


Şekil 4.15. Filament oluşumu

Polimerin düzeden fışkırması ile birlikte genellikle 1-3 mm' lik bir mesafede maksimum filament çapına ulaşılmakta ve çekme kuvveti de akışkan ipliğin üzerinde etkili olmaya başlamaktadır.

Soğutma kabininde oluşan filamentin yapışmasını önlemek amacı ile “Paslanmaz Çelik” ve “Alüminyum” malzemeler kullanılmıştır. Ayrıca, Soğutma ünitesinin önemli bir elemanı olan davlumbazların malzemesi de “Galvanize Sac”dır.

Şekil 4.16., imalatı gerçekleştirilen makinedeki soğutma kabini bölümünü göstermektedir.



Şekil 4.16. Soğutma kabini

Soğutma kabininden üflenen soğuk hava ile sıvı eriyik katılaşmakta ve filament halini almaktadır. Dolayısıyla bu bölüm üretim kalitesi açısından büyük önem arz etmektedir. Soğutma kabini montajı üç temel elemanın bir araya getirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Bu elemanlar,

- Bağlantı çerçevesi,
- Elek teli,
- Delikli sac (2 adet),

şeklinde sıralanmaktadır.

Ayrıca, elek teli “*Sac Malzeme*”den ve delikli sac ise “*Krom*” malzemeden oluşmaktadır. Soğutma kabini yüksekliği 1 metrenin üzerinde bir değer olarak belirlenmiştir. Bu değer ile hedeflenen, sıvı polimerin en iyi/en kaliteli şekilde katılaşmasını sağlayabilmektir. Araştırmalar neticesinde bu değerın altına düşülmesi halinde, filamentlerin düzgün katılaşamayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

IV. Yağlama Ünitesi

Spin finish yağı ile filament ipliğın yağlanması, iplik kalitesinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Sürekli filament ipliğın yağlanması ile birlikte iplik üzerinde oluşan statik elektrik alınmakta, daha yüksek çekim hızlarında çalışılmasına olanak sağlanmakta, iplik kopuş sayıları azalmakta, filamentin daha sonraki aşamalarında işlenme verimliliği artmakta ve üretilen iplik üzerinde bakteri üremesi problemi önlenerek daha uzun ömürlü iplik üretimi mümkün kılınmaktadır. Uygulamalarda spin finish yağı saf olarak veya su ile karıştırılarak emülsiyon halinde kullanılmaktadır. Yağın uygulanması sırasında, filamentin her tarafının minimum yağ tüketimi ile iyice yağlanması gerekmektedir.

Spin finish yağlama sisteminin stabilitesi ve hassasiyeti çok önemlidir. Sistem, aşınmaya karşı dayanıklı seramik aplikatörlerin kullanıldığı yağ tankı, vektör kontrollü AC frekans invertörü, redüktörlü motor, pompalar, hortumlar, bağlantı tesisat elemanları, geri dönüş tesisatı ve PLC kontrol sisteminden oluşmaktadır.

Sürekli filament ipliğın işlenmesi sırasında; materyal–metal sürtünmesini azaltıp düzgün ve düşük bir gerginlik oluşmasını sağlayarak lifin aşınmasını önlemek

amacıyla yapılan yağlama işlemi, filament iplik oluşumunun hemen sonrasında gerçekleştirilir. Yağlama işlemi, spin-finish yağı olarak adlandırılan ürün ile yapılmaktadır.

Yağlama işlemi ile sürekli filament ipliğe kazandırılan özellikler,

- Filamentlerin birbirlerine tutunmalarını arttırma,
- Sürtünmeyi azaltarak liflerin zarar görmesini engelleme,
- Statik elektriklenmeyi azaltma,
- İplik kopuş sayısını azaltma,
- İpliğin üzerinde boya dağılımını iyileştirme,
- Bakteri üremesini engelleyerek filamentin uzun ömürlü olmasını sağlama,
- Yüksek çekim hızlarında daha verimli çalışabilme,
- vb.,

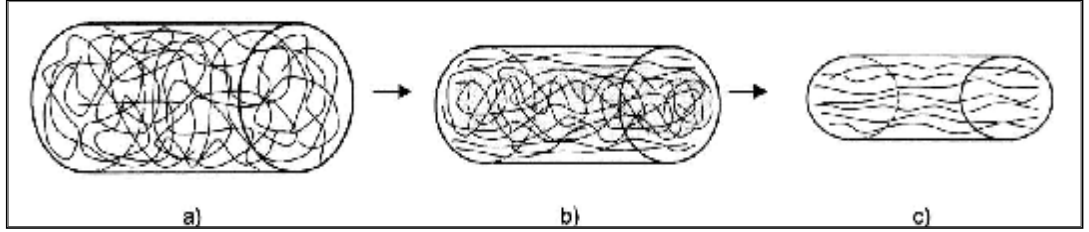
şeklinde sıralanabilmektedir.

Soğutma kabininde sürekli filament oluşumunun hemen ardından materyale applike edilecek olan yağlayıcı miktarının belirlenmesi de oldukça önemlidir. Bu konuda çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir ve bu oran üretim çalışmaları için minimum % 1 olarak belirlenmiştir (Bu oran iplik doğrusal yoğunluğuna göre değişecektir). Konuyla ilgili literatür araştırması da yapıldığında en ideal iplik özelliklerinin bu oranın üzerinde kazandırıldığı görülmektedir. %1'in altındaki uygulamalarda ise özellikle, istenilen mukavemet, kopma uzaması ve kıvrımlılık durumu elde edilememiştir (Demir, 2006). Ayrıca söz konusu yağlayıcı madde antibakteriyel ve antistatik özelliklere sahiptir.

V. Çekim Ünitesi

Filament hâlini almış olan materyal, taşıdığı özellikler bakımından henüz tekstilde kullanılmaya uygun değildir; polimerin sıvı hâlden katı hâle ani olarak geçişi molekül zincirlerinin karmaşık olarak düzenlenmesine sebep olmuştur. Bu

karmaşıklığı düzenlemek, lifin kristalin (düzenli) bölge oranını artırmak ve bunun sonucu olarak da filamente gerekli özellikleri kazandırmak için germe-çekme işlemi uygulanmaktadır. Germe-çekme sonucunda filamentler, boylarının 2-10 katına (%200–1000) kadar uzatılmaktadır. Germe-çekme işlemi uygulanmamış bir lifin boyuna kesitleri mikroskop altında incelendiğinde; içyapıdaki polimer zincirlerin önce karmaşık ve amorf karakterde olduğu, germe-çekme işleminden sonra ise, lif boyunca yönlendirilen kristalin alanların oluştuğu gözlenmektedir. Bu durum Şekil 4.17.'de de görülmektedir. Ayrıca, bu uygulamadan sonra filamentin mukavemeti de belirgin ölçüde artmaktadır.



Şekil 4.17. Çekim işlemi ile lif yapısında meydana gelen değişim (a. Çekim öncesi makro moleküler yapı, b. Kısmen çekim sonrası makro moleküler yapı, c. Tamamen çekim sonrası makro moleküler yapı) (Selver, 2010)

Sürekli filament ipliğe uygulanan çekim, aynı yönde dönen silindirler (godet) arasında gerçekleştirilmektedir. Çekim godetlerinde hassas hız ayarını sağlamak ve set edilen çevresel hızın salınımını minimize etmek amacı ile vektör kontrollü AC sürücüler kullanılmıştır. Sıcak çekim godetleri içeriden ısıtılmakta olup, çekim yüzeyinde istenilen değerde düzgün sıcaklık dağılımı PLC kontrol sistemi kullanılarak elde edilmektedir. Şekil 4.18.'de imalatı gerçekleştirilen makinenin çekim ünitesi ve beş adet godet görülmektedir.



Şekil 4.18. Filament iplik üretim makinesi çekim ünitesi ve godetleri

Germe çekme işlemi sırasında filamentler, silindirler üzerinde oluşabilecek kaymayı önlemek üzere birkaç kez sarılmaktadır. Godetler üzerine iplik sarılırken godetin dış ucundan en az 2 cm içeride kalacak şekilde son sarım gerçekleştirilmelidir. Çünkü godet yüzeyinin uç kısmına doğru sıcaklık üniformitesinin sağlanamaması söz konusudur. Bununla birlikte, godet üzerine en fazla 7-8 tur sarım yapılabilmektedir. Bu sarımlar arası mesafe ise minimum 2 cm olmalıdır.

Laboratuvar tipi filament iplik makinesinin çekim ünitesi, godetler, ipliğe yön veren avare silindirler ve godet motorlarından oluşmaktadır. Makinenin çekim ünitesi, sürekli filamentlere asıl çekimin Godet-1 ile Godet-2 arasında verilmesi şeklinde tasarlanmıştır. Ayrıca, sürekli filament ipliğin sarıldığı ilk silindirin hızı (V1), ikinci silindirin hızından (V2) daha küçük olmalıdır; ikinci silindirin daha hızlı olması sebebiyle silindirler arasındaki bölgede filament boyu uzayarak çekilmektedir ve bu bölgeye/bölgelere asıl çekim bölgesi denilmektedir. Dolayısıyla, ikinci silindirin hızı birinciden ne kadar fazla ise çekim de o oranda fazla olacaktır.

Şekil 4.18.'de, asıl çekim bölgesi silindirleri, 1, 2, ve 3 numara ile gösterilmiştir. Ayrıca, söz konusu bu asıl çekim godetlerinin iç yüzeyi bakır püskürtme yapılarak imal edilmişlerdir. Godetlerin ısınmasını sağlayan içlerinde yer alan bakır tellerdir. Üretimler esnasında, mıknatıslanma ile ısıtılan bu godetler sayesinde sürekli filamentler yumuşama sıcaklıklarına kadar ısıtılarak daha iyi bir moleküler oryantasyon işlemine tabii tutulmaktadır.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin geliştirilmesinde kullanılan godetlerin imalatı, Ç1040 numaralı sıcak iş çeliği malzemesinden üretilmiştir. Söz konusu bu imalatların ardından da godet malzemeleri, çaplarına göre makinede açılan yuvalara montaj edilmişlerdir. Şekil 4.19.'da godet montaj aşamaları sırasında oluşturulan bazı görseller yer almaktadır.



Şekil 4.19. Godetlerin makineye montajı

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin asıl elemanları godet malzemesi olmakla birlikte, avare silindirler ve iplik kılavuzları da bu ünite de yer almaktadır. Söz konusu bu parçalarla ilgili bilgiler de aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

■ Avare Silindirler

Avare silindirler, ipliğin godetler arasında düzgün aktarımına yardımcı olmak ve ipliğin godet üzerinde kendi üzerine sarılmasını engellemek görevlerini yerine getirmektedir. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinde toplam altı adet

avare silindiri vardır. Bu silindirlerin malzemesi “*Alüminyum*”dur ve malzemenin üzeri sertlik kazanması açısından “*Krom*” ile kaplanmıştır. Ayrıca, silindirlerin çapları 59 mm ve uzunlukları ise 38 cm’dir. Avare silindirlerin çaplarının ve uzunluklarının bu değerlerle sınırlı olması, fazla ağırlaşmamaları ve rahatça dönebilmeleri ile açıklanabilmektedir. Bu durum da direkt olarak ipliğe iyi bir şekilde/düzgün yön verebilmelerini sağlayacaktır.

■ İplik Kılavuzları

İplik kılavuzları, filament ipliğin çekim ünitesinde düzgün olarak ilerleyebilmesi için godetler arasında yer almaktadır. Kılavuzlar “*Seramik*” malzemeli olup, dış kısımları ise darbeye dayanımlı olabilmeleri için “*Fosfat*” malzemesi ile kaplanmıştır. Bu özelliklere sahip olan iplik kılavuzu görseli aşağıdaki Şekil 4.20.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Makine imalatında kullanılan bir iplik kılavuzu

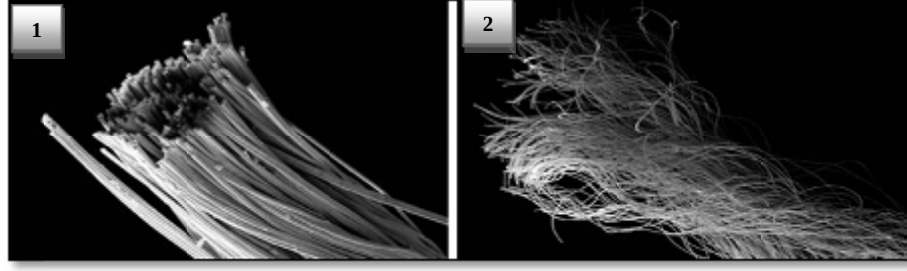
Şekil 4.21. ise, makinenin çekim ünitesinde bulunan avare silindirleri ve iplik kılavuzlarını göstermektedir.



Şekil 4.21. Çekim ünitesi elemanları olan godetler, avare silindirler ve iplik kılavuzları

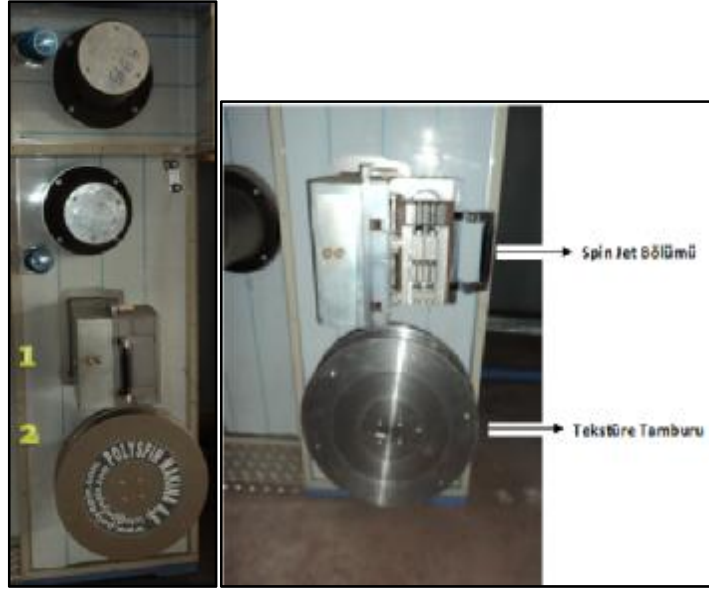
VI. Tekstüre İşlemi

Tekstüre işlemi, düz, hacimsiz ve oldukça parlak yapıdaki sentetik sürekli filament ipliklere uygulanmakta ve bu yapıların doğal liflerden elde edilmiş iplik görünümü ve tutumu kazanmasını sağlamaktadır. Tekstüre işlemi ile ipliğin sahip olduğu hacimlilik, elastikiyet ve uzama yeteneği, mukavemet, ısı ve nem alma yeteneği, hava geçirgenliği, yumuşaklığı, vb. özellikleri artmaktadır. Dolayısıyla, sürekli filament ipliklerin büyük bir çoğunluğu tekstüre edilerek kullanım alanına sunulmaktadır. Şekil 4.22.'de sırasıyla, tekstüre öncesi ve sonrası iplik yapıları gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Filament ve tekstüre iplik görüntüleri(MEGEP, 2010)
(1. Düz sürekli filament iplik, 2. Tekstüre iplik)

Tekstüre ünitesi, imalatı gerçekleştirilmiş olan filament iplik üretim makinesinin önemli ünitelerinden bir diğeridir ve makine, filament ipliğin istenilirse tekstüre edilerek üretilebilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sürekli filament iplik öncelikle tekstüre jetine yumuşama sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta girmektedir. Bu jet içinde iplik, sıcak gaz akışları ile daha da ısıtılmakta ve düzenli bir şekilde tekstüre fiske tamburuna yönlendirilmektedir. Sıcak hava jetinden ortam sıcaklığında olan tekstüre tamburu üzerine yığılan sürekli filamentler böylece fikse işlemine tabii tutulmaktadır. Söz konusu bu tekstüre ünitesi, “*Sıcak Hava Jetli ve Tekstüre Tamburlu Tekstüre Ünitesi*” olarak bilinen bir sistem olmakla birlikte, bu tip bir makinede üretim kolaylığı ve sürekliliği sağladığı için tercih edilmiştir. Şekil 4.23.’de, geliştirilen makinenin tekstüre ünitesi görselleri yer almaktadır.



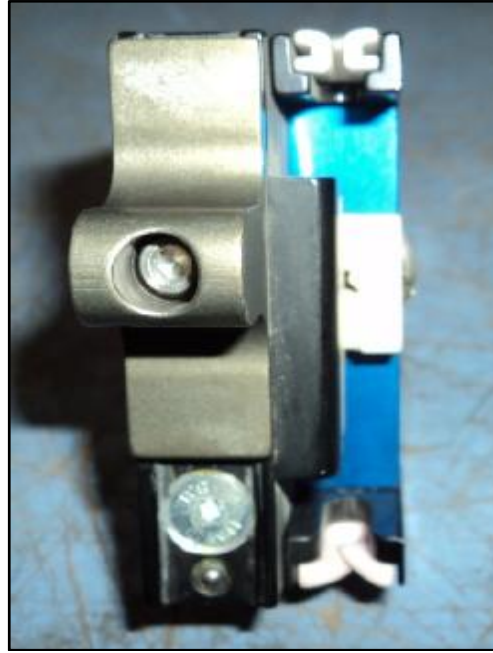
Şekil 4.23. Sıcak hava jetli ve tekstüre tamburlu tekstüre ünitesi
(1. Hava jeti kabini, 2. Tekstüre soğutma tamburu)

Sürekli filament iplik üretim makinesinde istenilirse puntalı iplik üretimi de gerçekleştirilebilmektedir. Bu üretim için makineye özel bir puntalama jeti montaj edilmiştir. Aşağıda hem bu proses hem de puntalama jeti özellikleriyle ilgili bilgiler yer almaktadır.

■ Puntalama İşlemi

Durağan ya da hareket halinde olan düz veya tekstüre edilmiş filamentlerden oluşan bir filament topluluğu aniden, ipliğe dik doğrultuda çarpan, türbülanslı ve soğuk olan bir hava jetinin etkisi altına girecek olursa, filamentler açılarak birbirinden olabildiğince ayrılır. Bu dağılan filamentler hava akımının kısmen azaldığı bölgelerde birbirine sarılır, karışır ve neticede karmaşık bir toplu yapı oluşur. İplik eksenine yönünde hareketli iken, hava jeti ise buna dik doğrultuda ve sabittir. Puntalama jeti, daha önce karışmış haldeki kısım önüne geldiğinde bu kısmı açmayı başaramadığından, açılan ve karışan bölümler birbirini takip etmektedir ve bu şekilde iplikteki filamentler bir araya getirilmektedir. Sonuçta, iplik boyunca soğuk hava akımıyla karıştırılmış aralıklı bölgeler gözlemlenir ve bu işleme “*Puntalama*” adı verilir.

Tekstüre edilerek gerekli hacmi ve yumuşaklığı kazanmış sürekli filament ipliklerin tam bir iplik formuna gelebilmesi için bir miktar büküm verilmelidir. İmalatı gerçekleştirilen laboratuvar tipi makinede bu büküm yerine verilecek puntalama ile filamentlere gerekli kohezyon kazandırılması amaçlanmıştır. Puntalamanın amacı, sürekli filament iplikleri belirli noktalarda birbirine dolamak ve bu şekilde toplu bir iplik yapısı elde etmektir. Özgün ürün geliştirme çalışmalarında kullanılacak olan Puntalama Jeti Şekil 4.24.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Makine imalatında kullanılan puntalama jeti

Puntalama işleminde,

- a.** Puntalama jetinin kesit şekli (round, trilobal, vb.),
- b.** Puntalama işlemindeki basınç (4-6 bar arası),
- c.** İplik hızı (800-1200 m/dk),
- d.** vb.,

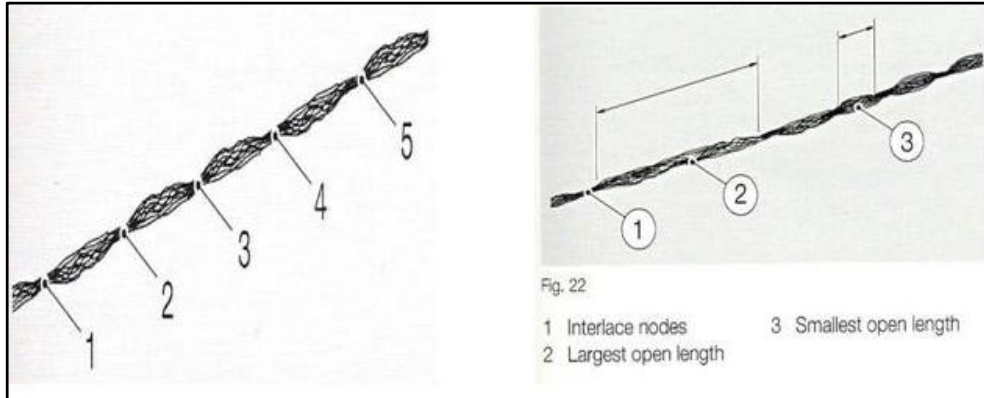
parametreler önem taşımaktadır.

Aynı zamanda bu parametreler beraberinde,

- a. Farklı punta yoğunluğu,
- b. Farklı punta düzgünlüğü,
- c. Farklı punta dayanıklılığı,
- d. vb.,

özelliklere sahip iplik oluşumlarına neden olabilmektedir.

Bu açılardan düşünüldüğünde puntalama işlemi iplik kalitesini direkt etkileyen oldukça önemli işlemlerden biridir. Şekil 4.25.'de puntalı bir iplik yapısı gösterilmiştir.

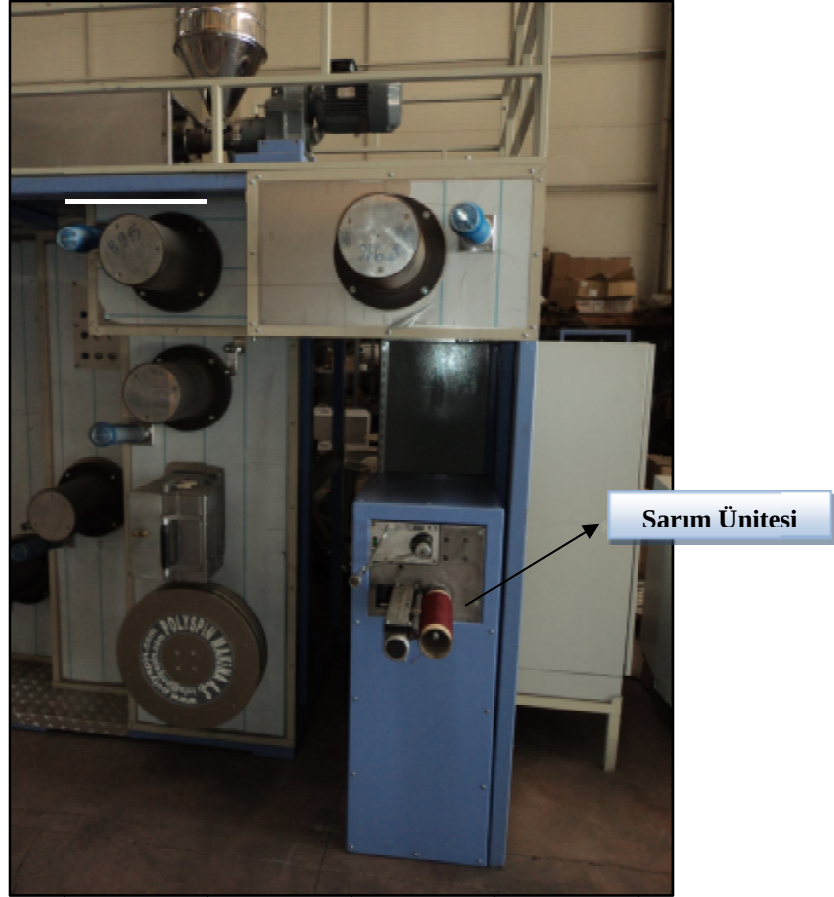


Şekil 4.25. Puntalı iplik yapısı (Uskaner, 2006)

Makineye montajı gerçekleştirilen Punta Jeti “*Seramik*” malzemeli olup, gövdesi ise “*Alüminyum*”dur. Makine iki düzeli üretim sistemine sahip olduğu için tek girişli bir jet yeterli görülmüştür, punta jetinin kesit şekli ise, uygulamada çok fazla tercih edilmesi ve iyi iplik özelliklerinin elde edilebilmesi açısından trilobal olarak belirlenmiştir. Ayrıca, jet basıncının genellikle 6 bar olması düşünülmektedir. Ürün geliştirme çalışmaları sırasında sürekli filament ipliğe metrede 25-30 punta verilebilecektir.

VII. Sarım

Filament iplik üretim makinesinin son üretim aşaması, iplik sarım işlemidir. İplik sarım işleminde, ipliğin tekstil özellikleri değişmeden mükemmel bir bobin oluşturulmalıdır. Makine imalatı için yarı-otomatik sarıcı satın alınmıştır. Bobin sarım şekli, kullanılan gezdiriciye (rehber) göre değişiklik göstermekte, sarım çapraz ya da sıralı (yan yana) gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, sarım gerginliğinin tüm sarım boyunca aynı olması gerektiğinden bu hususa da özellikle dikkat edilmiştir. Şekil 4.26.'da sürekli filament iplik üretim makinesi sarım ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Sarım ünitesi

Sarım işleminde dikkat edilmesi gereken bazı parametreler vardır.
Bunlar,

- a. Sarım hızı,
- b. Sarım gerginliği,
- c. Sarım şeklidir.

Sürekli filament iplik üretimi sırasında kullanılacak sarıcı yarı-otomatiktir. Bobinin içi “Çelik” malzemeli olup, dışı ise “Alüminyum”dur. Sarım bobininin çapı 8 cm’dir. Ayrıca, sarım hızının istenilen üretim özelliklerine göre 800 ile 2500 d/dk aralığında olacağı öngörülmektedir.

Söz konusu sarım ünitesinin temel özelliklerine Çizelge 4.2.’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.2. Makine imalatında kullanılan sarım ünitesi özellikleri

Sarım Ünitesi Özellikleri	Açıklama
Marka	BARMAG
Model	EKS-203 Spinnzwirn
Yükseklik	110 cm
Genişlik	42,5 cm
En	50 cm
Sarım Hızı	800-2500 dv/dk
Bobin İç Çapı	76 mm
Bobin Dış Çapı	81 mm
Sarım Tipi	Düz Sarım
Bobin Uzunluğu	25 cm
Traverse Uzunluğu	25 cm
Mil Uzunluğu	29 cm
Motor Gücü	0,75 kW

Teknik özellikleri yukarıda verilen sarım ünitesi, gerginlik ayarlayan bir mile sahiptir ve otomatik hız kontrollüdür.

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi, “*Elektrik-Elektronik Donanım ve Otomasyon Sistemi*”, “*Düze Yakma Fırını*”, “*Ultrasonik Temizleme Banyosu*” ve “*Kompresör*” ekipmanlarına da sahiptir. Söz konusu bu üniteler de aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

a. Elektrik-Elektronik Donanım ve Otomasyon Sistemi

Otomasyon en geniş tanımıyla, teknik proseslerin gerçekleştirilmesinde insanın bizzat üretim yapma görevini, otomatik üretim ve bunu kontrol etme ile izleme görevine dönüştüren bir kavramdır. Burada kontrol sözcüğü, teknik bir kavram olarak kumanda ve ayar gibi kavramları kapsamakta ve böyle bir işlem, içinde bilgisayar da ihtiva eden endüstriyel otomasyon cihazlarını ve sistemlerini kullanarak otomatik çalışmayı koordine etme ve yönlendirme anlamında kullanılmaktadır. Teknik prosesler en genel şekilde enerji üretiminden başlayarak, tüm temel diğer endüstrilerdeki üretimler ve endüstrilerde kullanılan makinelerin ve proseslerin çalışma şekilleridir.

Bu bölümde, makine imalat çalışmaları kapsamında makinenin elektrik-elektronik donanım ve otomasyon sistemini oluşturan elemanlar ve özellikleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Doktora tez çalışması kapsamında alımı gerçekleştirilen elektrik panolarına yine alımları gerçekleştirilen elektrik-elektronik donanımların montajları yapılmıştır.

Söz konusu bu elemanlar en genel haliyle,

- PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) Sistemi,
- AC Motor Hız Kontrol Üniteleri ve
- SSR (Solid State Relays),

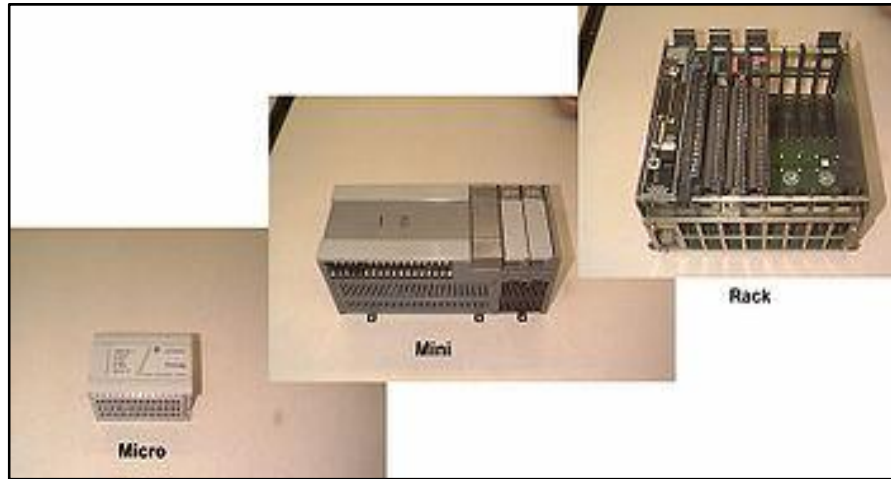
olarak sıralanabilmektedir.

Bu sistemlerle ilgili açıklamalar aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

■ PLC Ünitesi (Programmable Logic Controller)

PLC (Programmable Logic Controller-Programlanabilir Mantıksal Denetleyici), algılayıcılardan aldığı bilgiyi kendine verilen programa göre işleyen ve iş elemanlarına aktaran bir mikro işlemci tabanlı cihazdır. Bu cihazlar, fabrikalardaki imalat hatları veya makinelerin kontrolü gibi işleçlerin denetiminde kullanılmaktadırlar. PLC sistemleri, üretim hızı ve otomasyonu sağlaması açısından üretime büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu sistemler, sıra, hareket, süreç denetimi yapabilmekte ve çok çeşitli verilerin toplanmasında da kullanılabilir. PLC programları, giriş bilgilerini milisaniyeler mertebesinde hızla tarayarak buna uygun çıkış bilgilerini gerçek zamanlıya yakın, cevap verecek şekilde çalışmaktadırlar.

Şekil 4.27. çeşitli PLC cihazlarını göstermektedir.



Şekil 4.27. PLC cihazları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesine montajı gerçekleştirilen PLC ünitesi, yukarıda yer alan PLC çeşitlerinden de biri olan mini boyda seçilmiştir. Ayrıca sistem, yeterli bellek ve işlem hızındadır.

■ AC Motor Hız Kontrol Üniteleri

Sanayi kuruluşlarının en büyük giderlerinden birisi de elektrik enerji bedelidir. Çünkü sanayi de birçok elektrik motoru kullanılmaktadır. Genellikle, motorlar olması gerekenden biraz daha fazla güçte seçilmekte ve buna rağmen de % 100 performansta da kullanılmamaktadırlar. Bu nedenle de, çoğu zaman gereksiz enerji tüketimine yol açmaktadırlar. Motor veya sistemlerin gerektiği kadar enerji tüketmeleri için basit bir otomasyon sistemi kurulması halinde enerji tüketim miktarı azalacaktır. Enerji tasarrufu yapabilme şekillerinden biri, fan ve pompa sistemlerinin kontrolü için kullanılan klapelerin yerine, AC Sürücü kullanılmasıdır. Motor AC Hız Kontrol cihazları ile kontrol edildiğinde istenilen debideki hava, su veya elektrik devri ayarlanması sağlanacak ve gerektiği kadar bir enerji şebekeden çekilecektir. Dolayısıyla, devir düştüğünde şebekeden çekilen güç de azalacaktır. Devir sayısında olabilecek % 10 bir azalma, güç sistemine yaklaşık % 27 gibi bir azalma ile enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Doktora tez çalışması kapsamında, AC Motor Hız Kontrol Üniteleri satın alınmıştır. Bu motor hız kontrol ünitelerinin elektrik panosuna montajı sırasında oluşturulan görsel Şekil 4.28.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.28. Motor hız kontrol üniteleri

Ayrıca, makinede kullanılan AC motorlar ve özellikleri de Çizelge 4.3.’de, bir AC motor görseli de Şekil 4.29.’da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Makinede yer alan motorlar ve özellikleri

Motorun Yer Alacağı Ünite	Motor Gücü (kW) ve Hızı	Adet
Ekstrüder	4 kW (1400 dv/dk)	1
Metraj Pompası	2,2 kW (2400 dv/dk)	1
Karıştırıcı	0,25 kW (1400 dv/dk)	1
Çekim Ünitesi (Godetler)	2,2 kW (2850 dv/dk)	6
Tekstüre Ünitesi (Tambur)	0,75 kW (1400 dv/dk)	1
Fan (Emiş ve Soğutma Fanı)	3 kW (2800 dv/dk)	2
TOPLAM		12



Şekil 4.29. Makine imalatında kullanılan AC motor görselleri

■ SSR Üniteleri

İçerisinde mekanik parça bulunmayan ve elektronik malzemeler (yarı iletken komponent) kullanılarak yapılan anahtarlama cihazına “SSR-Solid State Relay” denilmektedir. Çalışma kapsamında alınan ve elektrik panolarına montajı gerçekleştirilen bir diğer malzemeler de SSR’lerdir ve bu



Şekil 4.31. Makinenin AC motor hız kontrol üniteleri

b. Çalışmada Kullanılacak Temizleme Cihazları-Düze Yakma Fırını ve Ultrasonik Temizleme Banyosu

Doktora tez çalışması dahilinde satın alımı gerçekleştirilen düze yakma fırınının ve ultrasonik temizleme banyosunun kullanım amacı düzelerin temizliğini sağlamaktır.

Söz konusu düze yakma fırınının sahip olduğu özellikler,

- 0,5 m³ iç hacim,
- 500⁰C'ye kadar çıkabilme,

- İzolasyonlu olma,
- Otomatik kontrol sistemi,

şeklinde sıralanabilmektedir.

Düzelerin ince temizliği için kullanılacak olan ultrasonik temizleme banyosu ise, küçük parçalar ve düşük kapasiteli uygulamalar için özel olarak imal edilmiş tek hazneli bir cihazdır. Kazan hacimleri 4-75 litre arasında değişebilmektedir. İçi ve dışı 304 kod numaralı paslanmaz çelikten yapılmakta ve kazan tabanındaki sandviç tip transdüserler saniyede 40.000 defa titreşerek kavitasyon sağlamaktadırlar. Sepet içerisinde ya da asılarak sıvı içerisinde daldırılan malzemeler zarar görmeden saniyeler içerisinde ve derinlemesine temizlenmektedirler. Çalışma süresi, cihaz üzerinde bulunan zamanlayıcı ile kontrol edilmekte ve banyo sıcaklığı termostat ile istenilen değere ayarlanabilmektedir (2-90°C). Sepetlere yerleştirilen malzemeler (düzeler) makineye daldırılarak sıcaklık ve zaman ayarı yapılmakta ve ayarlanan sürede yıkama işlemi sağlanmaktadır. Çeşitli boyutlarda ultrasonik temizleme banyoları ve düze yerleştirme sepet görsellerine Şekil 4.32.'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Ultrasonik temizleme banyoları ve temizleme sepeti

Şekil 4.33., alımı gerçekleştirilen ultrasonik temizleme banyosu görselini göstermektedir.



Şekil 4.33. Satın alınan ultrasonik temizleme banyosu

Alımı gerçekleştirilen ultrasonik temizleme banyosu, Mini-18 modelindedir. Bu cihaza ve diğer modellere ait teknik özellikler de Çizelge 4.4.'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Farklı teknik özelliklere sahip ultrasonik temizleme banyo özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLER				
MINİSONİK	Mini 4	Mini 12	Mini 18	Mini 28
Yıkama Hacmi (lt)	4 litre	12 litre	18 litre	28 litre
a x b x h (iç hazne) (mm)	240x140x150	300x240x200	330x300x200	505x300x200
a x b x h (dış boyut) (mm)	260x160x320	320x260x400	350x320x500	530x320x500
Güç (W)	150 W	250 W	500 W	500 W
Ultrasonik frekans	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz
MİDİSONİK	Midi 40	Midi 50	Midi 60	Midi 80
Yıkama Hacmi (lt)	40 litre	50 litre	60 litre	80 litre
a x b x h iç hazne (mm)	400x300x300	400x300x400	400x400x400	500x400x400
a x b x h dış boyut (mm)				
Güç (W)	500 W	500 W	750 W	1000 W
Ultrasonik frekans	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz	25 - 40 kHz

c. Vidalı Kompresör

Kompresör, bir akışkanı gereken basınca göre sıkıştırmaya yarayan alettir. Dolayısıyla kompresör ile amaçlanan üretimde kullanılacak akışkanlar için gerekli basıncın sağlanmasıdır. Üretim çalışmalarında kullanılmak üzere alınan vidalı kompresör için alım öncesi optimum özellikler belirlenmiştir. Satın alınan kompresör, 4 m³/dk debiye ve 10 bar basınca sahiptir.

Vidalı kompresörler çalıştıkları sürede aşınmazlar, verimleri ve birim miktar hava üretmek için harcadıkları enerji her zaman aynıdır. Örneğin, pistonlu kompresörler zamanla aşınmakta, birim miktar hava üretmek için harcadıkları enerji artmakta ve verimleri düşmektedir. Bu durumda beraberinde, daha fazla elektrik tüketmek anlamına gelmektedir. Sonuçta, makine imalat çalışmaları kapsamında “*Vidalı Kompresör*” satın alınması uygun bulunmuştur. Söz konusu vidalı kompresörün teknik özellikleri Çizelge 4.5.’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Vidalı kompresör teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Açıklama
Serbest hava verimi	4.2 m ³ /dk.
Maksimum çalışma basıncı	10 bar
Minimum çalışma basıncı	5 bar
Öngörülen çalışma basıncı	10 bar
Nominal motor gücü/maksimum devamlı motor gücü (F izolasyonlu)	30 kW
Motor korunması/izolasyon sınıfı	IP54/F
Nominal motor devri	3000 dv/dk
Çevre sıcaklığı	+1/+40°C
Soğutma hava debisi	100 m ³ /dk
Müstakil havalandırma fan motor gücü	1,1 kW
Basıncılı havada kalan yağ miktarı	3/5 mg/m ³
Gürültü seviyesi	70 dB (A)
Bağlantı	DN 40
Debi/basınç testi	Cagi Pneurop PN2CPTC2-ISO 1217
Gürültü	Cagi Pneurop PN8NTC2
Kalite	ISO 9001
Boyutlar(Boy/En/Yükseklik)	1400 / 890 /1115 mm
Ağırlık	500 kg

Ayrıca, satın alınan kompresör görselleri Şekil 4.34.'de ve kompresörün laboratuvarındaki yerleşimi ise, Şekil 4.35.'de gösterilmiştir.



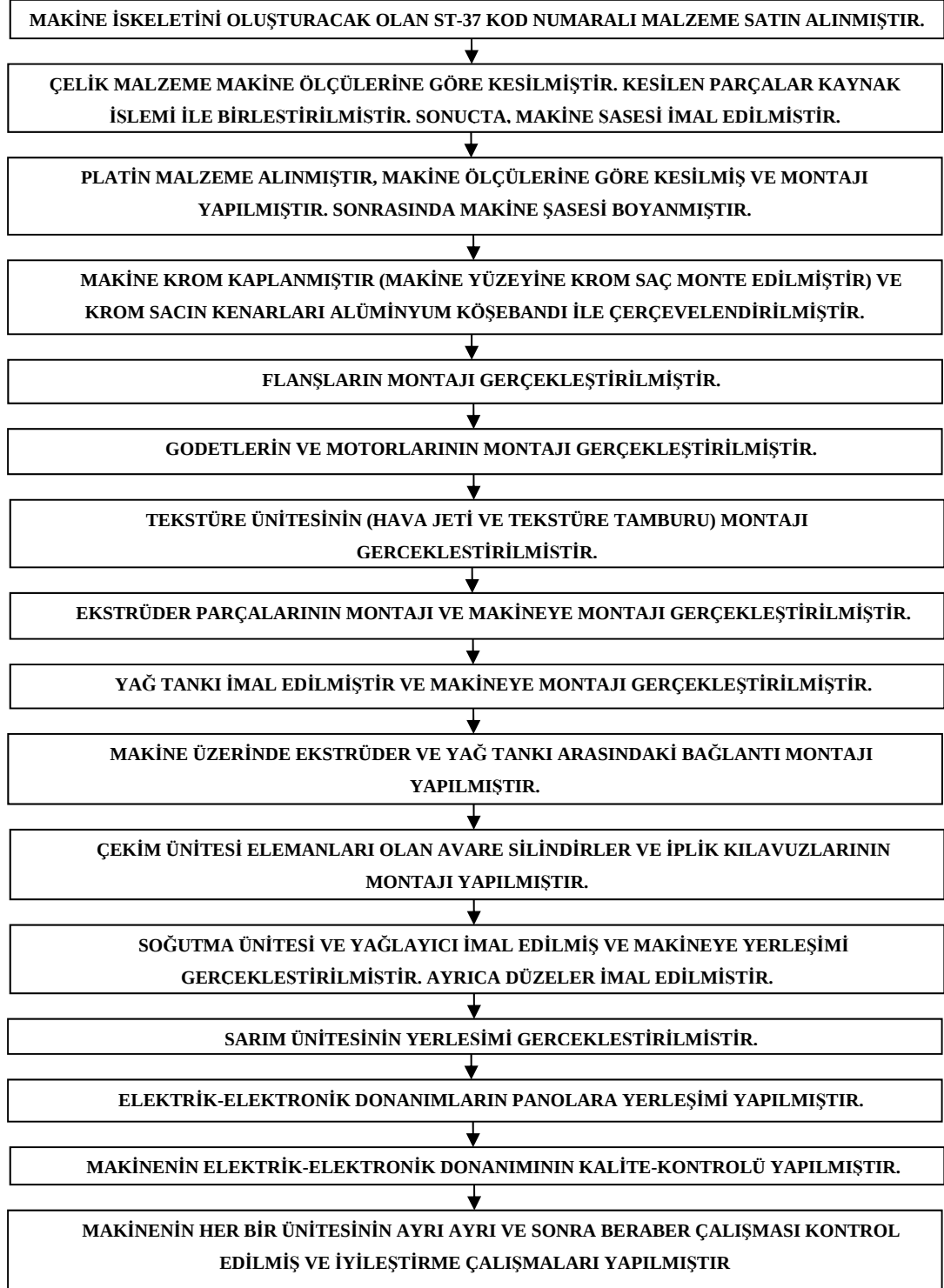
Şekil 4.34. Vidalı kompresör



Şekil 4.35. Sürekli filament iplik üretim laboratuvarında kompresör yerleşimi

4.2. Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesi İmalat Aşamaları

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalat aşamaları aşağıda yer alan şemada sırasıyla gösterilmektedir.



Yukarıdaki akış şeması “Laboratuvar Tipi Filament İplik Üretim Makinesi”nin temel imalat aşamalarını göstermektedir. Bu aşamaların tamamlanmasının ardından, deneme iplik üretimleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında da doktora tez çalışmasına yönelik üretim çalışmalarına başlanmış ve bu çalışmalar da başarıyla tamamlanmıştır.

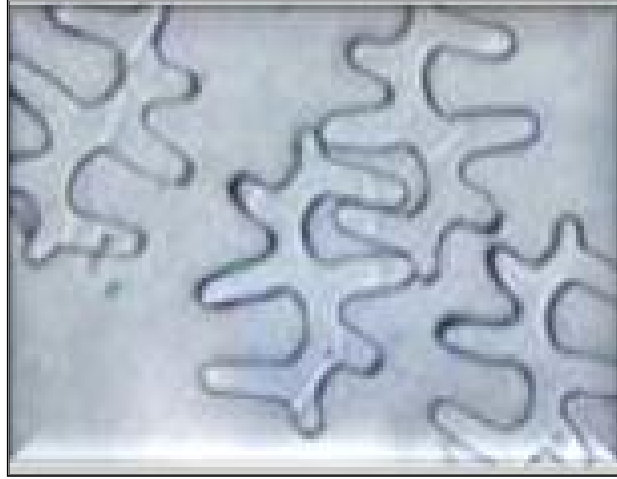
Aşağıda makine üzerinde gerçekleştirilebilecek özgün ürün geliştirme çalışmalarına yönelik genel bilgiler yer almaktadır.

4.3. Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları

Filament iplik üretimi esnasında seçilen üretim parametrelerinin iplik yapı ve özelliklerine etkisi büyüktür. Bu açıdan gerek iplik yapısını belirleyen parametrelerin (kesit şekli, doğrusal yoğunluk, filament sayısı, v.b.) gerekse iplik üretim parametrelerinin (Godet hızı, sarım hızı, soğutma kabini özellikleri, v.b.) değiştirilmesiyle farklı/yeni özellikte filament iplikler elde edilebilmektedir. Özellikle son yıllarda bu konu ile ilgili çalışmalar detaylandırılarak hız kazanmıştır. Örneğin, Varshney ve arkadaşları, 2010 yılında konuyla ilgili kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, lif doğrusal yoğunluk artışının ve kesit şeklinin dairesel olmamasının (trilobal ve tetrakellion) kumaş gözenekliliğini ve kalınlığını arttırdığı görülmüştür. Doğrusal yoğunluk değerinin artışı ve kesit şeklinin trilobal ve tetrakellion oluşu, ısıl iletkenlik özelliğini azaltmıştır. Ayrıca, doğrusal yoğunluk değerinin artışının ve dairesel olmayan kesit şekillerinin kumaşların hava geçirgenliğini arttırdığı sonucuna da ulaşılmıştır. Scalloped oval kesit şeklinde ise daha kendine özgü etkiler görülmüştür. Yine, Varshney ve arkadaşları 2011 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada ise, lif inceliği ve kesit şekli faktörlerinin iplik ve dokuma kumaş özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada hammadde olarak poliester ve viskon lifleri kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, circular, trilobal, terakellion ve scalloped oval olmak üzere dört farklı kesit şekli ve çeşitli lif incelikleri kullanılmıştır. Artan lif inceliğinin, sıkıştırılabilirlik özelliği daha yüksek kumaş oluşumunu sağladığı, dairesel olmayan kesit şekillerinin ise daha düşük sıkıştırılabilirlik ve daha ince kumaş oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Trilobal

ve tetrakelion iplikler şekillenebilirliği yüksek kumaş oluşumunu sağlamıştır. Scalloped oval kesit şekline sahip ipliklerden elde edilen kumaşların ise düşük rijitliğe ve şekillenebilirliğe ancak yüksek esneme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Bunlarla birlikte, yüksek doğrusal yoğunluklu ve trilobal, tetrakelion kesitli ipliklerden dokunan kumaşların eğilme dayanımının scalloped oval kesitli kumaşlardan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

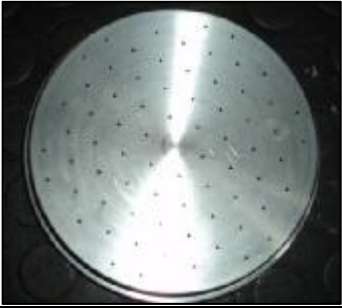
Filament iplik üretiminde yukarıda bahsedildiği gibi, farklı iplik yapısal özelliklerinin etkisi incelenebileceği gibi, üretimde farklı/yeni özellikler de oluşturulabilir. Özellikle kesit şekliyle ilgili bu konudaki çalışmalar yoğun şekilde sürdürülmektedir. Örneğin, bir tekstil ürününün daha fazla nemi mümkün olduğunca hızlı şekilde bünyesine alabilmesi için bir kesit şekli tasarlanmıştır. Bu kesit şekli derin kanallardan oluşmuştur ve yapılan çalışmalar sonucu, diğer bazı kesit şekillerine göre (round, trilobal, v.b.) çok daha verimli şekilde bünyesine nem aldığı görülmüştür (Şekil 4.36.).



Şekil 4.36. Derin kanallı kesit şekli

Yukarıda yapılan açıklamalara istinaden, makinede gerçekleştirilebilecek özgün ürün geliştirme çalışmaları kapsamında kullanılabilecek kesit şekilleri round, hollow, delta ve trilobal olarak sıralanabilmektedir. Ayrıca, bu düzelerden farklı filament sayılarına sahip olanlar da bulunmaktadır. Dolayısıyla söz konusu düzelerle ilgili ürün geliştirme çalışmaları da makine üzerinde yapılabilecektir. Çizelge 4.6.'da çalışma kapsamında imal edilen bazı düzeler ve özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Çalışmada kullanılabilecek bazı düzeler ve özellikleri

Düze Delik Şekli	Filament Sayısı/Adet
Round	72*2
	
Trilobal	90*2
	
Modified Hollow-1	72*2
	
Modified Hollow-2	72*2
	

Filament kesit şeklinde veya diğer yapısal parametrelerinde gerçekleştirilebilecek bu çalışmaların yanında makinenin üretim parametrelerinde oluşturulabilecek değişikliklerle de filament iplik özellikleri değiştirilebilmektedir. Özellikle, ipliklere verilen çekim miktarı, godet hızları veya sarım hızındaki değişikliklerin iplik özelliklerini önemli derecede etkilediği bilinmektedir. Örneğin, sarım hızında meydana gelen artışın, iplik mukavemetini belirli bir seviyeye kadar arttırdığı, bu belirli seviyeden sonra ise iplik mukavemetinin hızla düştüğü yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Benzer şekilde, iplik kopma uzaması da sarım hızındaki aşırı artış ile hızla düşüş göstermiştir. Bu çalışmaların detaylandırılarak gerçekleştirilmesindeki bir amaç da, her bir filament iplik için optimum özellikleri sağlayacak değerleri elde etmektir şeklinde açıklanabilmektedir.

Geliştirilen laboratuvar tipi filament iplik makinesinin önemli ünitelerinden biri de tekstüre ünitesidir. Tekstüre işlemi, düz, hacimsiz ve oldukça parlak yapıdaki sentetik sürekli filamentlere uygulanmakta ve bu yapıların doğal liflerden elde edilmiş iplik görünümü ve tutumu kazanmasını sağlamaktadır. Tekstüre işlemi ile ipliğin sahip olduğu hacimlilik, elastikiyet ve uzama yeteneği, mukavemet, ısı ve nem alma yeteneği, hava geçirgenliği, yumuşaklığı, vb. özellikleri artmaktadır. Dolayısıyla, sürekli filament ipliklerin büyük bir çoğunluğu tekstüre edilerek kullanım alanına sunulmaktadır. Sonuçta, büyük önem taşıyan bu ünite ile yapılabilecek geliştirme çalışmaları da iplik özelliklerine direkt olumlu yönde etki edebilecektir. Örneğin, tekstüre ünitesinde yer alan jetin basıncında ve sıcaklığında yapılabilecek değişiklikler bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Makinede yer alan bir diğer önemli ünite ise Puntalama Ünitesidir. Günümüzde, söz konusu ünite ile ilgili çeşitli bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle punta jeti üreticileri ve bilim insanlarının birlikteliği ile punta jetinin profilinde (jet uzunluğu, kesit şekli, genişliği, vb.) meydana getirilen değişimler ile farklı özellikte iplikler üretilebilmektedir. Dolayısıyla, projenin özgün ürün geliştirme çalışmalarında kullanılabilecek farklı jetler ile üretilen ipliklerin özellikleri incelenebilir ve hatta bu özellikler değerlendirilerek yeni bir *“Puntalama Jeti”* tasarımı yapılabilir.

Yukarıda açıklanan ve Özgün Ürün Geliştirme Çalışmalarına ışık tutacak nitelikte olan çalışmalardan bir diğeri ise, farklı katkı maddelerinin (nanopartikül ya da masterbatch boyutunda) cipse eklenmesiyle elde edilen filament ipliklerin özelliklerinin incelenmesi şeklindedir. Örneğin, Erdem ve arkadaşları, “Nano-Kompozit Polipropilen Filamentlerin Üretimi ve Özellikleri” başlıklı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, nano-partikül katkılı filamentlerin üretim yöntemleri hakkında bilgi verilerek, çeşitli nano-partiküllerin polipropilen filamentleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçta, polipropilen nano-kompozit filamentlerin fonksiyonlarının nanopartiküllerin mevcudiyetinde geliştiği görülmüştür. Kimyasal lif endüstrisi, polimer teknolojisi ve nanomalzemelerdeki gelişmeler ile yapılan önceki çalışmalar dikkate alınarak, bu çalışmada tekstil malzemelerine yönelik ilave fonksiyonel özelliklere sahip filamentler elde edebilmek için PP ve çeşitli nano-partiküller kullanılarak laboratuvar tipi lif çekim makinesi ile nano-kompozit filamentler üretilmiştir. Araştırma sonuçları genel olarak ele alındığında, %0,3 %1 ve %3 oranlarında nano-partikül içeren nano-kompozit PP filamentlerin morfolojik ve yapısal özelliklerinde çok büyük değişiklikler olmadığı saptanmıştır. Öte yandan PP/nano-SiO filamentlerin limit oksijen indeksleri kademeli olarak artmış ve %1 ile %3'lük nano SiO mevcudiyetinde lifler yavaş yanan malzemeler sınırına ulaşmıştır. PP/nano-TiO liflerin UV koruma ve UV geçirgenlik özellikleri katkısız PP liflerine göre gelişmiştir. PP/ nano-C liflerinde ise istenilen iletkenlik artışı elde edilememiştir. Sonuç olarak çalışmada, farklı özelliklere sahip kimyasal liflerin laboratuvar koşullarında üretim olanakları araştırılmış ve çeşitli ilave fonksiyonlara sahip PP/nano-kompozit filamentlerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, elde edilen bu nano-kompozit liflerin sağladıkları UV koruma ve yavaş yanma özellikleri ile bu amaçla kullanılacak tekstil malzemelerinin tasarımında alternatif birer hammadde olabilecekleri vurgulanmıştır (Erdem, 2011). Dolayısıyla, çalışmalar kapsamında kullanılabilecek farklı polimerlere (PES, PP ve PA), farklı özellikte nano-partiküller eklenerek elde edilen cipslerle özellikli filament iplikler üretilebilir ve sonrasında da bu ipliklerin katma değer yaratabilecek özellikleri incelenebilir.

Özgün ürün geliştirme çalışmalarına yönelik yapılan ve yukarıda sıralanan araştırmalardan da görüleceği üzere, laboratuvar tipi filament iplik makinesi üzerinde birçok bilimsel çalışma tasarlanarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmalar, mevcut üretim sistemini geliştirmeye yönelik olabileceği gibi, farklı/yeni özellikte iplik üretimine yönelik de olabilmektedir.

Yumuşak çekim prensibi ile filament iplik üretme makinesindeki önemli değişkenler, genel olarak aşağıda sıralanmıştır.

Bu parametreler,

- Ekstrüder Sıcaklığı,
- Her Bir Düzeye Gönderilen Polimer Debisi,
- Godetlerin ve Sarım Bobininin Hızı,
- İplik Oluşumu İçin Soğutucu Hava Şartları,
- Düzeye Deliklerinin Şekli, Boyutu ve Aralık Uzunluğu,
- İplik Oluşum Hattının Uzunluğu,
- vb.'dir

Ayrıca, geliştirilen laboratuvar tipi filament iplik makinesinde bunlara ek olarak,

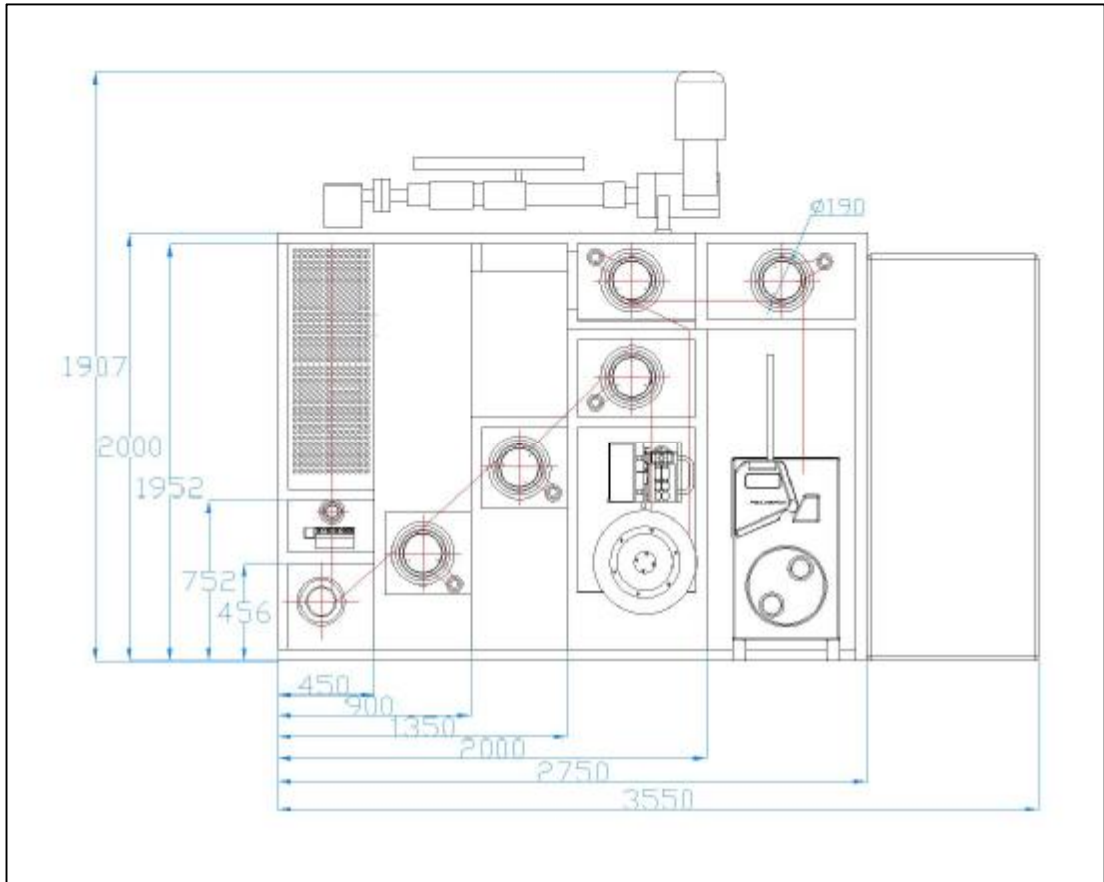
- Puntalama Sıklığı,
- Puntalama Jetinin Delik Şekli,
- Tekstüre Ünitesi Parametreleri,
- Farklı Nano-Partikül ya da Masterbatch Maddeler Eklenmesiyle Yapılabilecek Üretimler,
- vb.,

parametreler de bulunmaktadır.

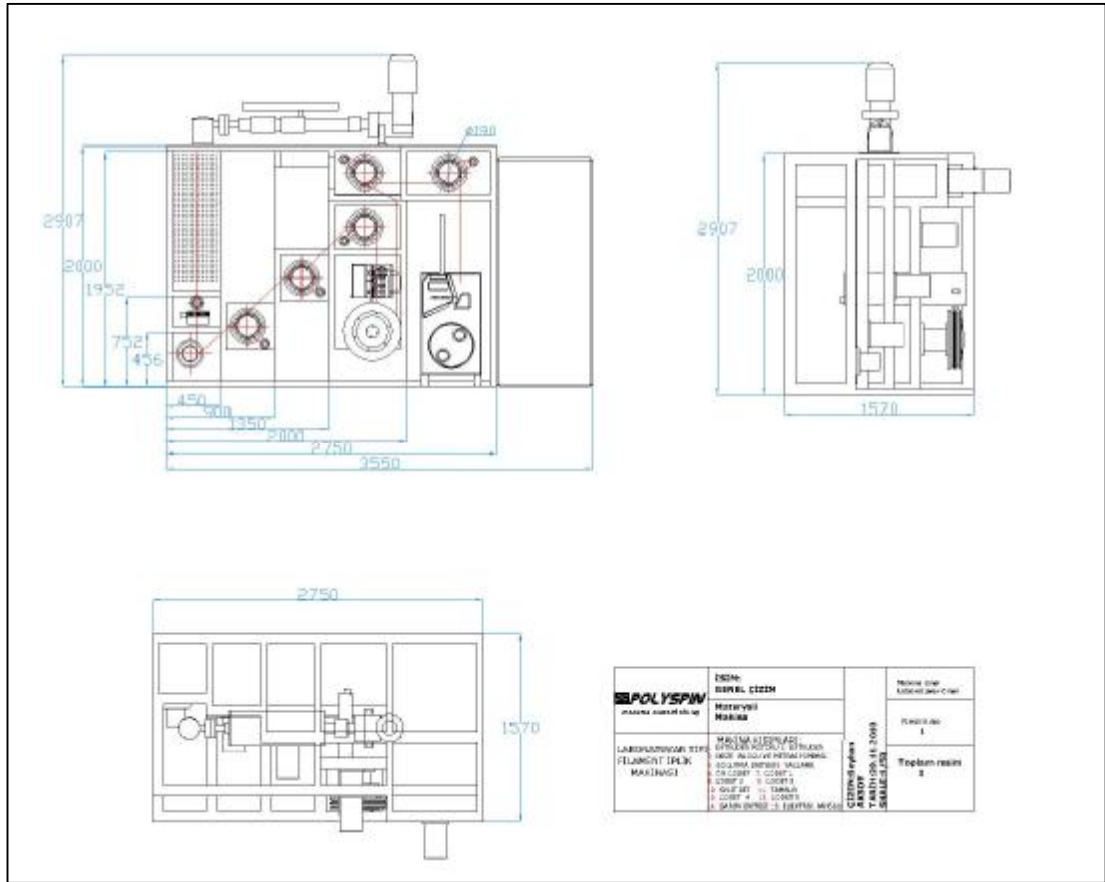
Yukarıda sıralanan tüm bu parametrelerin, iplik özellikleri üzerinde büyük etkisi olduğu için, tüm bu parametrelerle ilgili yapılabilecek çalışmaların bilime katkısı olacağı düşünülmektedir.

EK-2: LABORATUVAR TİPİ FİLAMENT İPLİK ÜRETİM MAKİNESİ TEKNİK ÇİZİMLERİ

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin tasarım çalışmaları süresince çeşitli teknik çizim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu çizimler bu bölümde yer almaktadır.

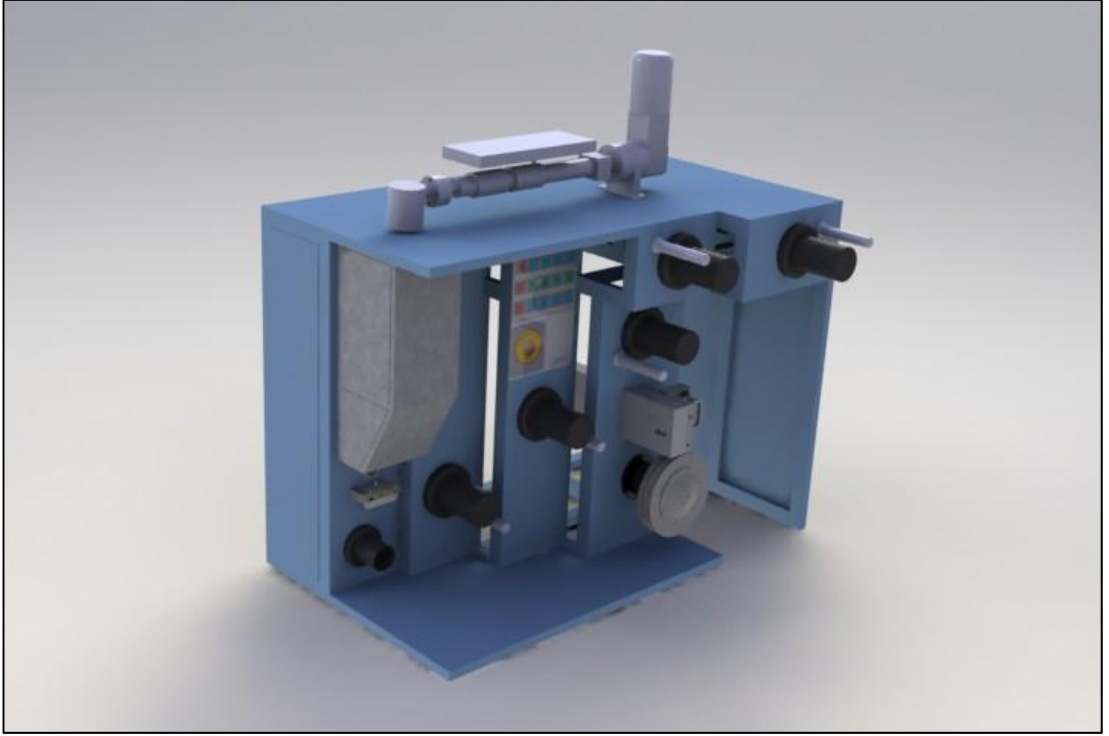


Şekil 2.1. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi önden genel görünümünün AutoCad çizimi

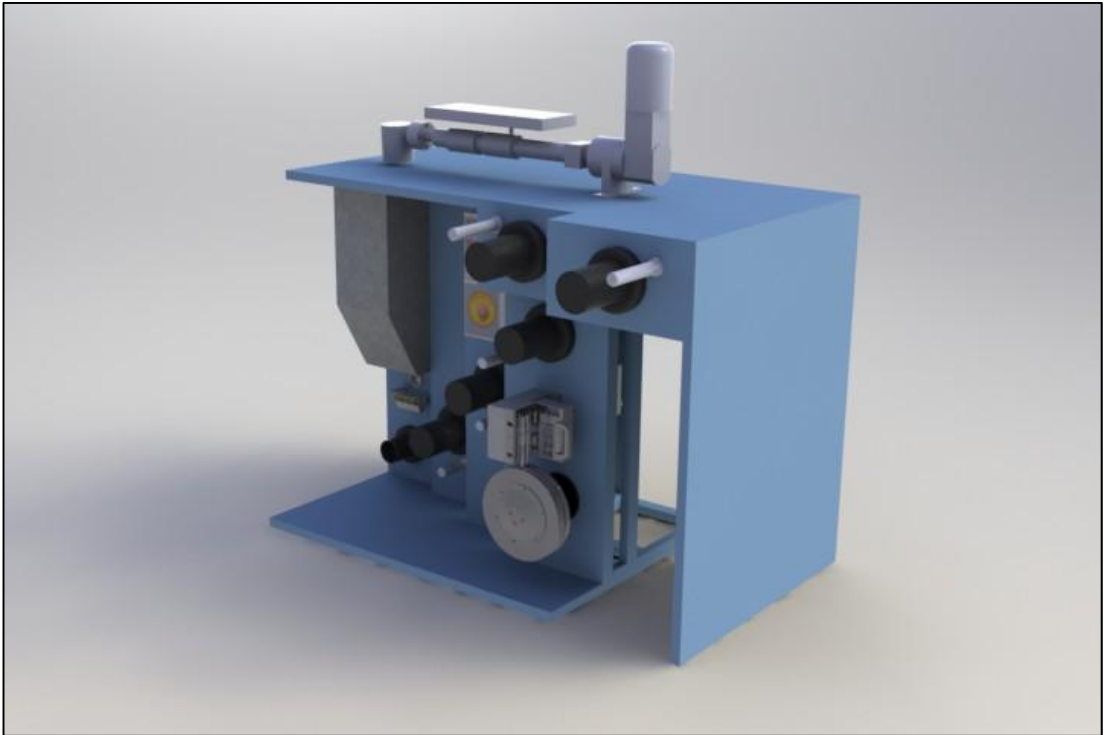


Şekil 2.2. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin iki boyutlu AutoCad çizimi

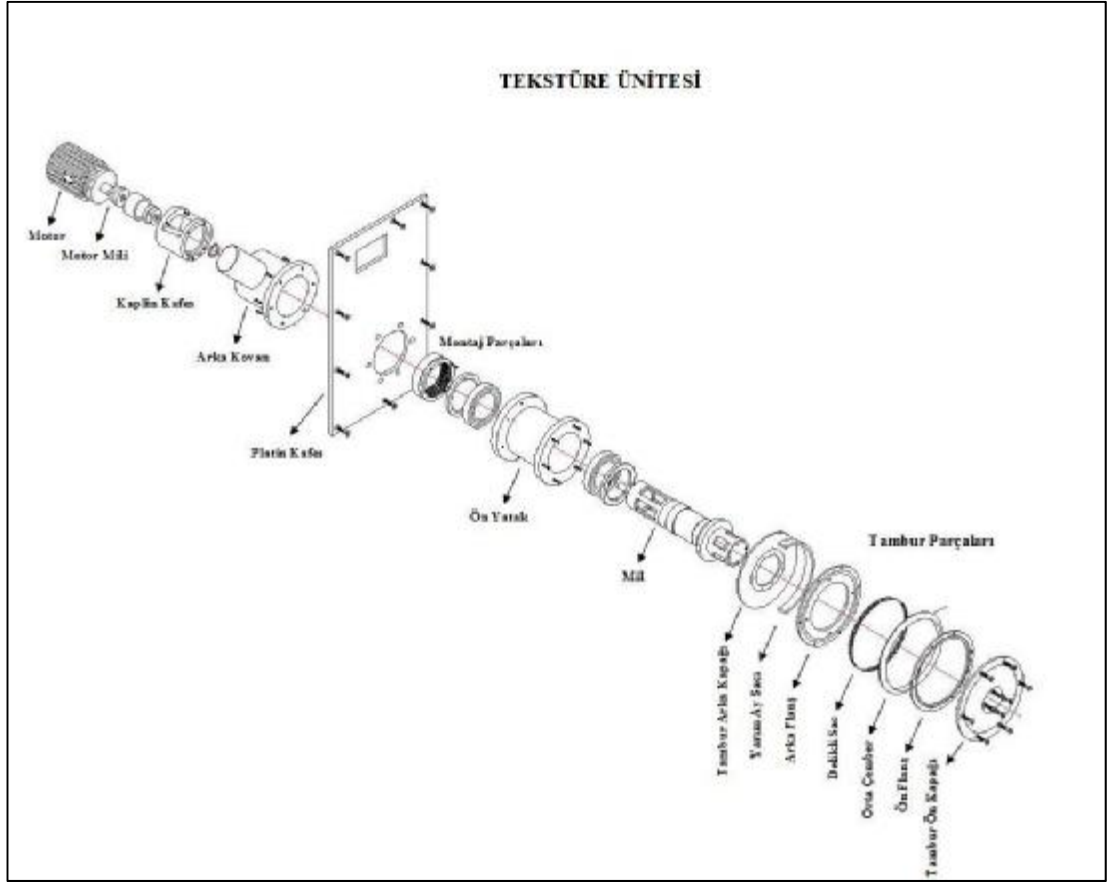




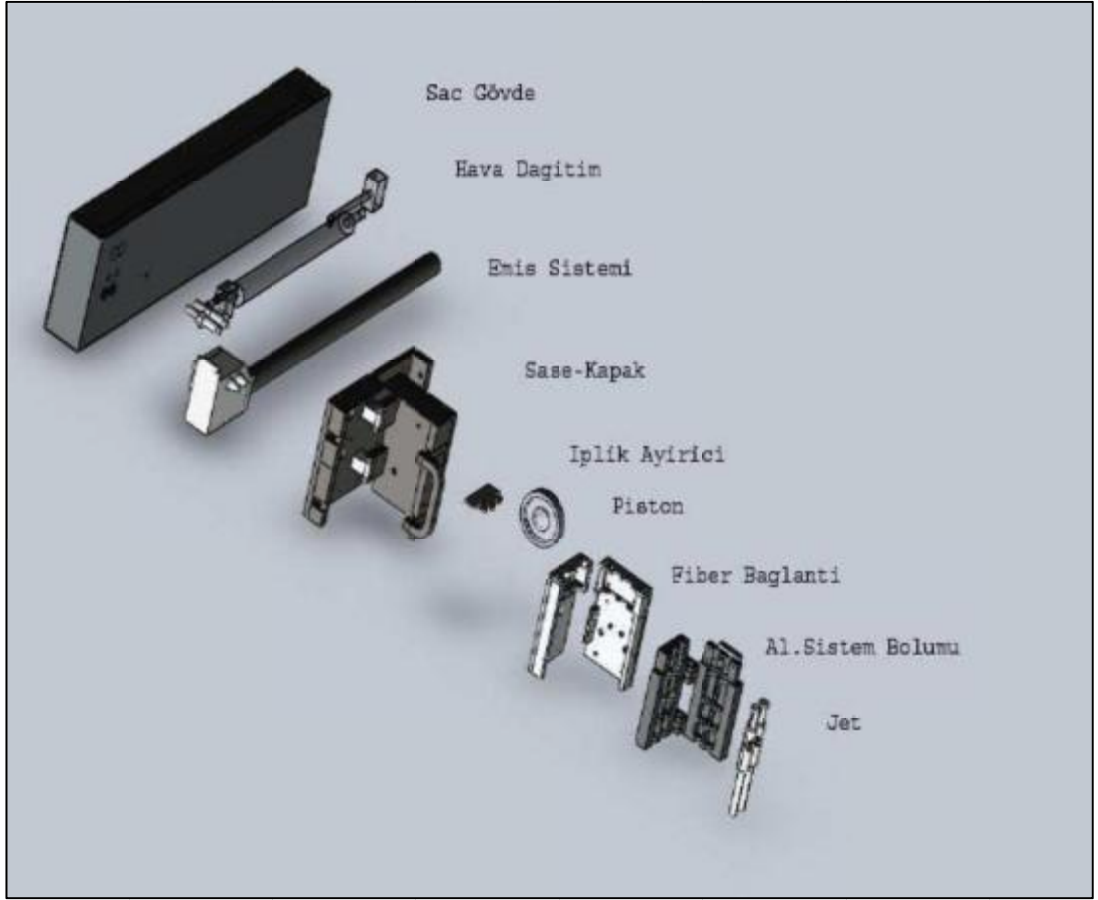
Şekil 2.4. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin SolidWorks programı ile çizimi-Önden görünüş



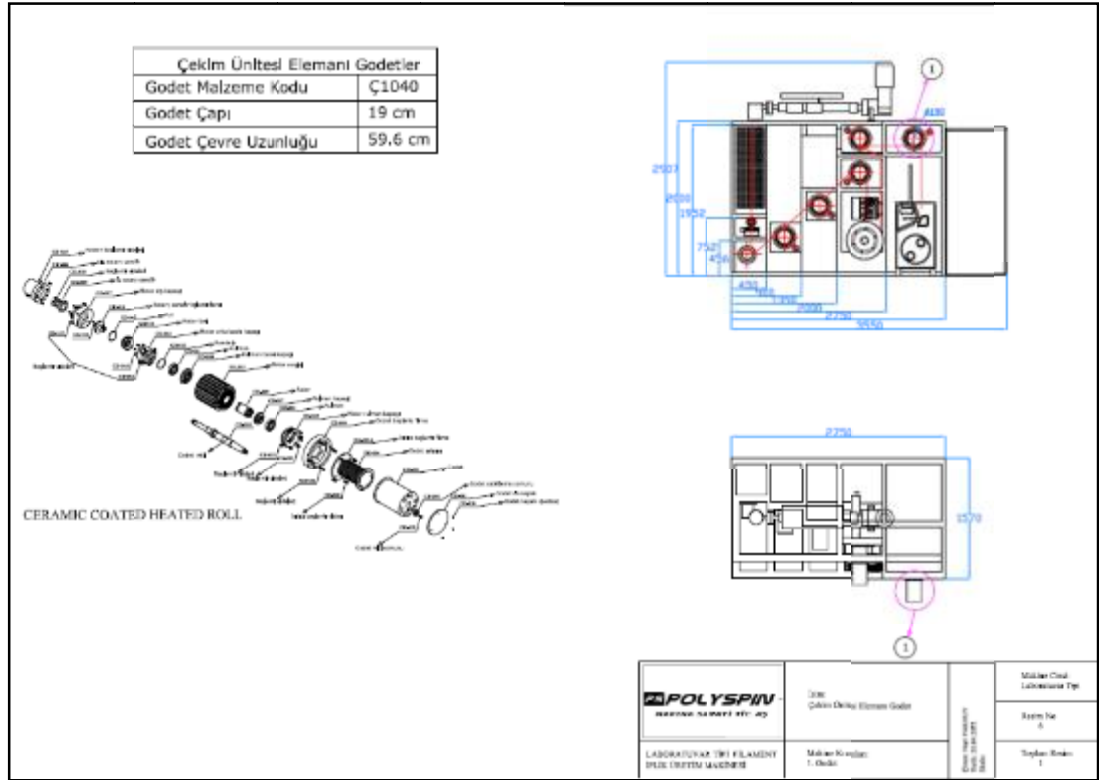
Şekil 2.5. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin SolidWorks programı ile çizimi-Yandan görünüş



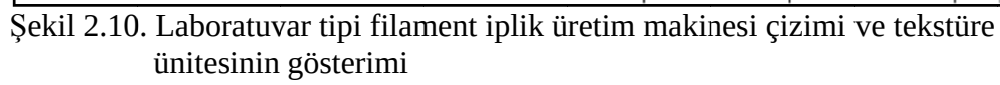
Şekil 2.7. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi tekstüre tamburu teknik çizimi

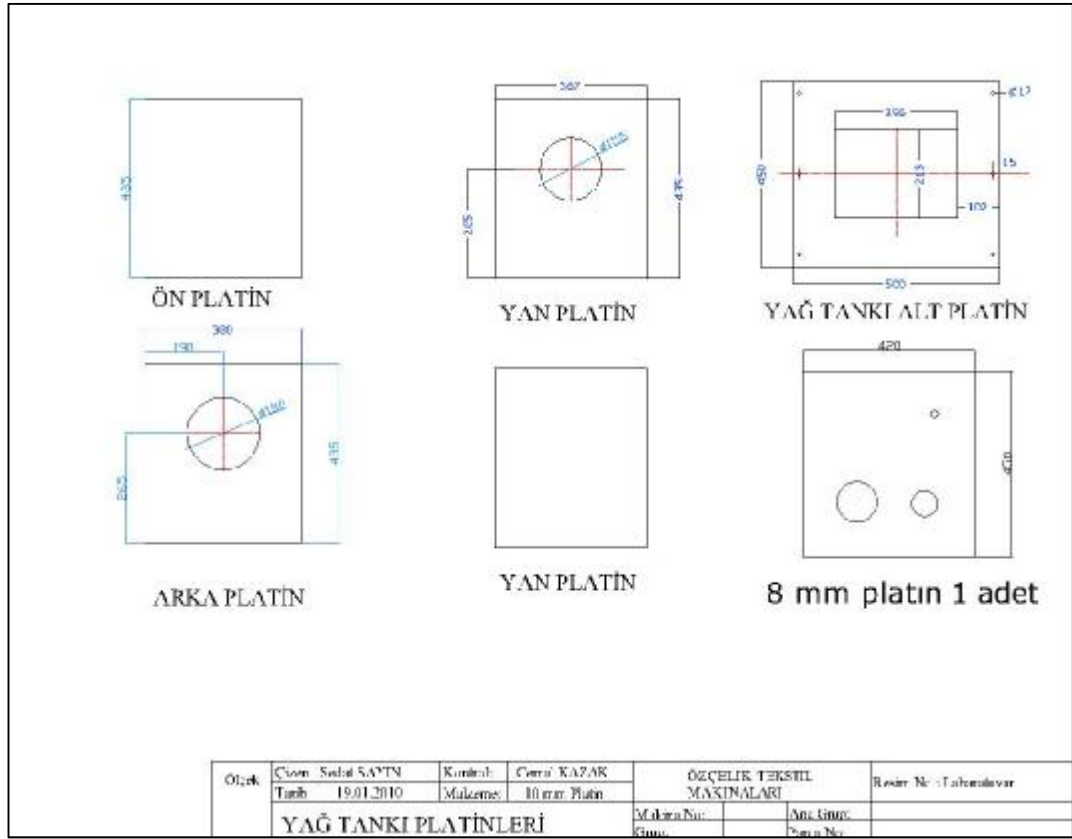


Şekil 2.8. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi tekstüre jeti teknik çizimi

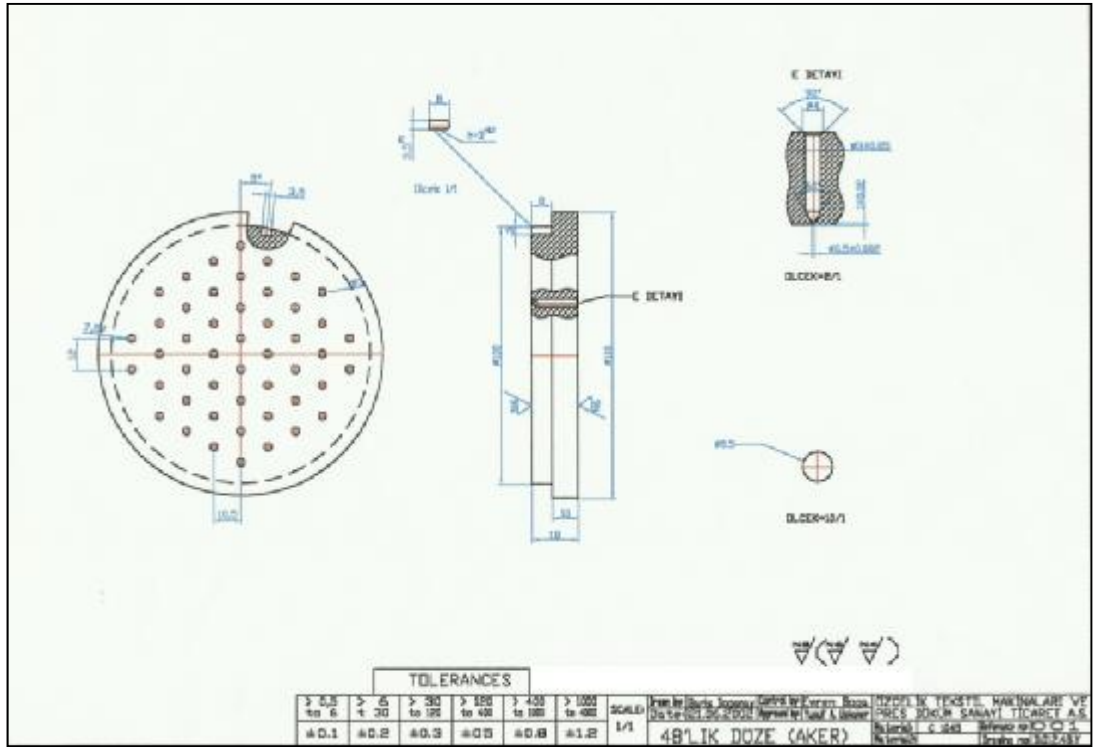


Şekil 2.9. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi çizimi ve godet elemanı gösterimi

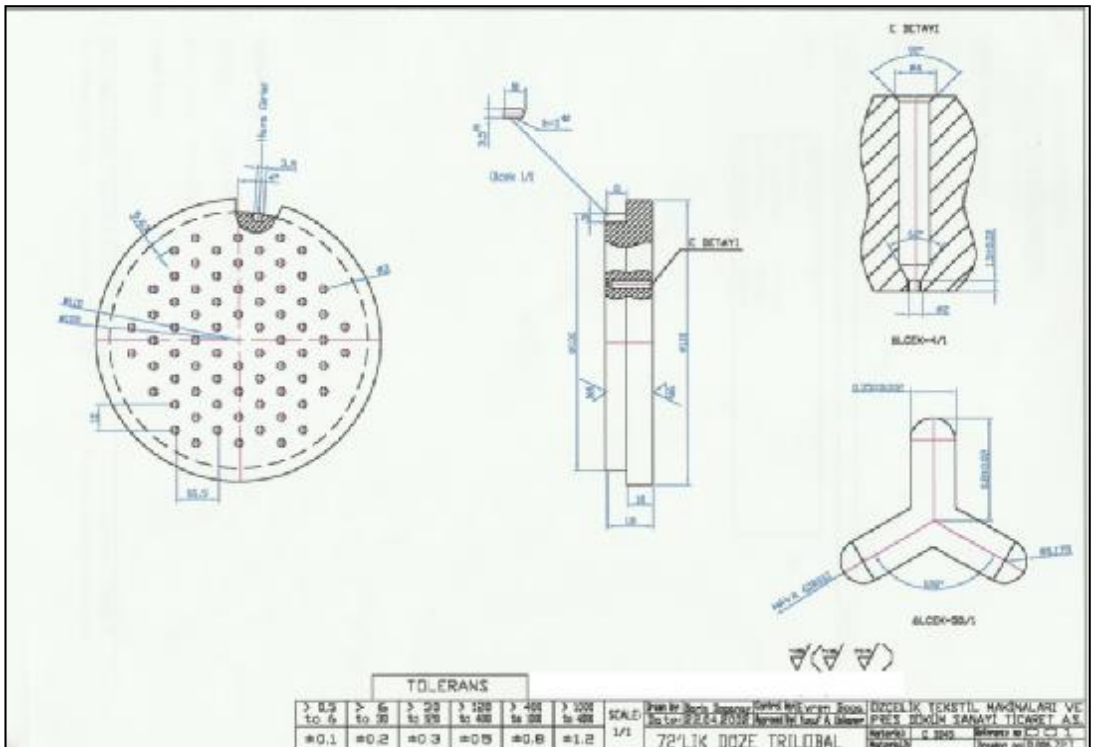




Şekil 2.11. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin yağ tankı malzemesinin teknik çizimi



Şekil 2.12. Round kesit şekline sahip düze malzemesinin teknik çizimi



Şekil 2.13. Trilobal kesit şekline sahip düze malzemesinin teknik çizimi

EK-3: LABORATUVAR TİPİ FİLAMENT İPLİK ÜRETİM MAKİNESİ GÖRSELLERİ

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin imalat çalışmaları süresince çeşitli makine görselleri oluşturulmuştur. Söz konusu bu görsellerden bazılarına bu bölümde yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makine şasesi görseli



Şekil 3.2. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makine boyanmış şase görseli



Şekil 3.3. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi şasesi yan görseli



Şekil 3.4. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesine godet yuvalarının açılması ve bağlantı elemanlarının montajı



Şekil 3.5. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi godet ve tekstüre ünitesi montajlarının tamamlanması



Şekil 3.6. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin besleme hunisi, ekstrüder, yağ tankı ve sarım ünitesi montajlarının tamamlanması



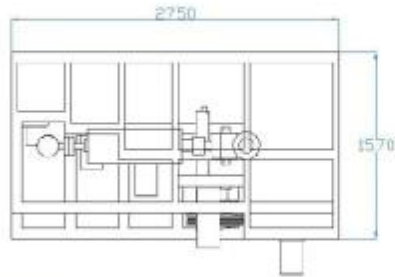
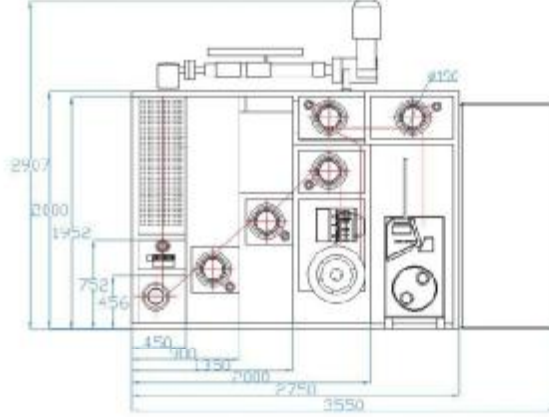
Şekil 3.7. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin arkadan görünüşü



Şekil 3.8. İmalatı tamamlanmış laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi



LABORATUVAR TİPİ FİLAMANT İPLİK MAKİNESİNİN TASARIMI, İMALATI VE ÖZGÜN ÜRÜN GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI



Şekil 3.9. Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesinin teknik çizimi ve genel görünümü

EK-4. SÜREKLİ FİLAMENT İPLİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN ÜRÜN BİLGİ FORMLARI

Laboratuvar tipi filament iplik üretim makinesi üzerinde gerçekleştirilen “Özgün Ürün Geliştirme Çalışmaları” kapsamında kullanılan polipropilen cips, güç tutuşurluk katkı maddesi ve yağlayıcı maddeye ait ürün bilgi formları bu bölümde yer almaktadır.



PP 518P PP Homopolymer for fiber applications

Product Description
PP 518P is a homopolymer with broad molecular weight distribution intended for fiber extrusion applications.
PP 518P has following features:

- Consistent processability
- Good thread line stability
- Good gas fading resistance

Typical Applications
PP 518P is particularly suitable for producing bulk continuous filament (BCF), continuous filament (CF) and staple fiber yarns for carpet pile and upholstery.

Typical data

Properties	Unit	Value ⁽¹⁾	ASTM Method
Resin Properties			
Melt Flow Rate @ 230°C & 2.16 kg load	g/10 min.	24	D 1238
Density @ 23°C	kg/m ³	905	D 792
Mechanical Properties ⁽²⁾			
Tensile Strength @ Yield	MPa	32	D 638
Tensile Elongation @ Yield	%	12	D 638
Flexural Modulus (1% Secant)	MPa	1550	D 790A
Notched Izod Impact Strength @ 23°C	J/m	30	D 256
Rockwell Hardness, R-Scale	-	100	D 785
Thermal Properties ⁽²⁾			
Vicat Softening Point	°C	152	D 1525B
Heat Deflection Temperature @ 455 KPa	°C	118	D 648

(1) Typical values; not to be construed as specification limits.
(2) Based on injection molded specimens.

Processing Conditions
Average extrusion temperature range may be kept at 210 - 250°C. Lower processing temperature are possible with this material and will result in better long term heat aging.

Food Regulation
PP 518P is suitable for Food contact application. Detailed information is provided in relevant Material Safety Datasheet and for additional specific information please contact SABIC local representative for certificate.

Şekil 4.1. Polipropilen cipse ait ürün bilgi formu

Safety Data Sheet according to
Directive 91/155/EC and National
Notification on Safety Data Sheet
Preparation Procedures and Principles
(26.12.2008 - No: 27092)

CLARIANT 

CESA-flam CFR1

Page 1(10)

Substance key: 000000185265	Revision Date: 05.02.2013
Version : 1 - 6 / TR	Date of printing : 18.03.2013

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

Trade name

CESA-flam CFR1

Material number: PPAHUD12020

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses of the substance or mixture

Industry sector : Plastic processing industry.

Type of use : Additive for plastic material processing

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Identification of the company

Clariant (Türkiye) Boya ve Kimyevi Mad.

San. ve Tic. A.Ş.

GOSB İhsan Dede cad. No 143 Gebze

41480 Kocaeli / TURKEY

Telephone no. : +90 262 673 73 73

Information about the substance/mixture

BU Masterbatches

Product Stewardship: +90 262 673 73 73

e-mail: PS.ClariantTurkey@clariant.com

1.4. Emergency telephone number

00800-5121 5121 (24 h)

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification according EC Directive (67/548/EEC or 1999/45/EC, as amended)

hazard warning labelling not compulsory

The product is not classified as dangerous according to EC directives/the relevant national laws.

2.2. Label elements

Labelling in accordance with EC-Directives (67/548/EEC or 1999/45/EC, as amended)

The product does not require a hazard warning label in accordance with EC directives/the relevant national laws.

Safety Data Sheet according to
Directive 91/155/EC and National
Notification on Safety Data Sheet
Preparation Procedures and Principles
(26.12.2008 - No: 27092)

CLARIANT 

CESA-flam CFR1

Page 2(10)

Substance key: 000000185265	Revision Date: 05.02.2013
Version : 1 - 6 / TR	Date of printing : 18.03.2013

2.3. Other hazards

Spilled granules give rise to a slipping hazard. Clean up immediately.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.2. Mixtures

Chemical characterization

Additive preparation
Class of additive: Flame retardant
Carrier: PP

Hazardous ingredients

calcium diethyl bis[[[3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxyphenyl]methyl]phosphonate]

Concentration : 0,25 - 0,5 %
CAS number : 65140-91-2
EC number: 265-512-0

Classification hazard substance EC

Xi	Irritant	R 37
----	----------	------

GHS classification EC

Specific target organ toxicity - Single exposure	Category 3	H335
---	------------	------

The text of the R-phrases is shown in section 16.
The text of the H-phrases is shown in section 16.

Şekil 4.2. Güç tutuşurluk katkı maddesine ait ürün bilgi formu

POLYMAST MKL

(Spin Finish for Polypropylene)

CHEMICAL COMPOSITION : A synergetic mixture of synthetic lubricants, cohesive substances, antistatic substances and emulsifiers. 60 % polyethylen glycol
5% antistatics and synthetic lubricants
35% water Syntetic lubricants, cohesion material, antistatic material and mixture of synergetic emulsifiers not more ppm metal drop on applied textile material. Product Fluorine, Chlorine, Bromine and Iodine does not include.

SPECIFICATIONS

Appearance : Transparent liquid
Ionic nature : Non-ionic, weak anionic
Solubility : Soluble with water easily in all proportions

APPLICATION PROPERTIES: POLYMAST MKL is an excellent spin finish developed especially for being used in the fiber spinning line of continuous (CF-BCF) and staple polypropylene fiber. It can be applied to yarn directly. It forms a homogeneous film layer on fiber surface due to its high wetting ability. It prevents to static electricity during spinning due to its antistatic property. It also prevents yarn breakages by lowering the friction coefficient between fiber/metal and fiber/porcelain. It minimizes dust emission and does not cause to accumulation on godes.

APPLICATIONS

: Direct application is recommended. Amount of remaining lubricant on fiber is suggested between 0,8% and 1,8%.

STORAGE

: 1 year under normal storage conditions. It must be protected against freezing and extreme hot environment.

Şekil 4.3. Yağlayıcı maddeye ait ürün bilgi formu

EK-5: ÖRME KUMAŞ GÜÇ TUTUŞURLUK TEST SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK ÇOKLU SONUÇ KARŞILAŞTIRMA ÇİZELGELERİ

Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel analiz çalışmasında, polipropilen örme kumaşın yanma özellikleri üzerinde güç tutuşurluk katkı maddesi miktarının etkileri incelenmiştir. Dolayısıyla, güç tutuşurluk katkı maddesi oranı, istatistiksel çalışmanın “*Faktör Etkisi*”ni oluşturmaktadır. Bu bölümde, söz konusu bu faktör etkisinin istatistiksel olarak karşılaştırılmalı analizleri yer almaktadır. Çizelgelerde yer alan “Mean difference” değerlerinde “*” işareti bulunan değerler arasındaki fark anlamlıdır. Başka bir deyişle significant değeri, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinden küçük olan değerler kendi arasında istatistiksel olarak anlamlılık göstermektedir.

Çizelge 5.1. F.R. katkılı örme kumaşların yanma süresi değerlerinin çoklu istatistiksel karşılaştırılması

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Yanma Süresi (+12 sn)

Tukey HSD

(I) Katkı Maddesi Oranı (%)	(J) Katkı Maddesi Oranı (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
%100 PP	%1 F.R.	36,3778*	3,4097	,000	25,473	47,282
	%2 F.R.	42,2444*	3,4097	,000	31,340	53,149
	%3 F.R.	43,4333*	3,4097	,000	32,529	54,338
	%4 F.R.	44,1556*	3,4097	,000	33,251	55,060
	%5 F.R.	45,4111*	3,4097	,000	34,507	56,316
	%6 F.R.	45,4889*	3,4097	,000	34,584	56,393
	%7 F.R.	44,9000*	3,4097	,000	33,996	55,804
	%8 F.R.	45,0222*	3,4097	,000	34,118	55,927
%1 F.R.	%100 PP	-36,3778*	3,4097	,000	-47,282	-25,473
	%2 F.R.	5,8667	3,4097	,732	-5,038	16,771
	%3 F.R.	7,0556	3,4097	,502	-3,849	17,960
	%4 F.R.	7,7778	3,4097	,367	-3,127	18,682
	%5 F.R.	9,0333	3,4097	,185	-1,871	19,938
	%6 F.R.	9,1111	3,4097	,177	-1,793	20,016
	%7 F.R.	8,5222	3,4097	,250	-2,382	19,427
	%8 F.R.	8,6444	3,4097	,233	-2,260	19,549
%2 F.R.	%100 PP	-42,2444*	3,4097	,000	-53,149	-31,340
	%1 F.R.	-5,8667	3,4097	,732	-16,771	5,038
	%3 F.R.	1,1889	3,4097	1,000	-9,716	12,093
	%4 F.R.	1,9111	3,4097	1,000	-8,993	12,816
	%5 F.R.	3,1667	3,4097	,991	-7,738	14,071
	%6 F.R.	3,2444	3,4097	,989	-7,660	14,149
	%7 F.R.	2,6556	3,4097	,997	-8,249	13,560
	%8 F.R.	2,7778	3,4097	,996	-8,127	13,682
%3 F.R.	%100 PP	-43,4333*	3,4097	,000	-54,338	-32,529
	%1 F.R.	-7,0556	3,4097	,502	-17,960	3,849
	%2 F.R.	-1,1889	3,4097	1,000	-12,093	9,716
	%4 F.R.	,7222	3,4097	1,000	-10,182	11,627
	%5 F.R.	1,9778	3,4097	1,000	-8,927	12,882
	%6 F.R.	2,0556	3,4097	1,000	-8,849	12,960
	%7 F.R.	1,4667	3,4097	1,000	-9,438	12,371
	%8 F.R.	1,5889	3,4097	1,000	-9,316	12,493
%4 F.R.	%100 PP	-44,1556*	3,4097	,000	-55,060	-33,251
	%1 F.R.	-7,7778	3,4097	,367	-18,682	3,127
	%2 F.R.	-1,9111	3,4097	1,000	-12,816	8,993
	%3 F.R.	-,7222	3,4097	1,000	-11,627	10,182
	%5 F.R.	1,2556	3,4097	1,000	-9,649	12,160
	%6 F.R.	1,3333	3,4097	1,000	-9,571	12,238
	%7 F.R.	,7444	3,4097	1,000	-10,160	11,649
	%8 F.R.	,8667	3,4097	1,000	-10,038	11,771
%5 F.R.	%100 PP	-45,4111*	3,4097	,000	-56,316	-34,507
	%1 F.R.	-9,0333	3,4097	,185	-19,938	1,871
	%2 F.R.	-3,1667	3,4097	,991	-14,071	7,738
	%3 F.R.	-1,9778	3,4097	1,000	-12,882	8,927
	%4 F.R.	-1,2556	3,4097	1,000	-12,160	9,649
	%6 F.R.	,0778	3,4097	1,000	-10,827	10,982
	%7 F.R.	-,5111	3,4097	1,000	-11,416	10,393
	%8 F.R.	-,3889	3,4097	1,000	-11,293	10,516
%6 F.R.	%100 PP	-45,4889*	3,4097	,000	-56,393	-34,584
	%1 F.R.	-9,1111	3,4097	,177	-20,016	1,793
	%2 F.R.	-3,2444	3,4097	,989	-14,149	7,660
	%3 F.R.	-2,0556	3,4097	1,000	-12,960	8,849
	%4 F.R.	-1,3333	3,4097	1,000	-12,238	9,571
	%5 F.R.	-,0778	3,4097	1,000	-10,982	10,827
	%7 F.R.	-,5889	3,4097	1,000	-11,493	10,316
	%8 F.R.	-,4667	3,4097	1,000	-11,371	10,438
%7 F.R.	%100 PP	-44,9000*	3,4097	,000	-55,804	-33,996
	%1 F.R.	-8,5222	3,4097	,250	-19,427	2,382
	%2 F.R.	-2,6556	3,4097	,997	-13,560	8,249
	%3 F.R.	-1,4667	3,4097	1,000	-12,371	9,438
	%4 F.R.	-,7444	3,4097	1,000	-11,649	10,160
	%5 F.R.	,5111	3,4097	1,000	-10,393	11,416
	%6 F.R.	,5889	3,4097	1,000	-10,316	11,493
	%8 F.R.	,1222	3,4097	1,000	-10,782	11,027
%8 F.R.	%100 PP	-45,0222*	3,4097	,000	-55,927	-34,118
	%1 F.R.	-8,6444	3,4097	,233	-19,549	2,260
	%2 F.R.	-2,7778	3,4097	,996	-13,682	8,127
	%3 F.R.	-1,5889	3,4097	1,000	-12,493	9,316
	%4 F.R.	-,8667	3,4097	1,000	-11,771	10,038
	%5 F.R.	,3889	3,4097	1,000	-10,516	11,293
	%6 F.R.	,4667	3,4097	1,000	-10,438	11,371
	%7 F.R.	-,1222	3,4097	1,000	-11,027	10,782

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Çizelge 5.1., filament ipliklerden üretilen örme kumaş yapılarının yanma süresi değerlerinin çoklu olarak istatistiksel karşılaştırılmasını göstermektedir. Çizelge incelendiğinde $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, sadece katkısız PP örme kumaşın F.R. katkılı diğer tüm kumaşlarla arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. F.R. katkılı örme kumaşların yanma uzunluğu değerlerinin çoklu istatistiksel karşılaştırılması

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: Yanma Uzunluğu (mm)						
Tukey HSD						
(I) Katkı Maddesi Oranı (%)	(J) Katkı Maddesi Oranı (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
%100 PP	%1 F.R.	53,3333*	8,4198	,000	26,406	80,260
	%2 F.R.	55,6667*	8,4198	,000	28,740	82,594
	%3 F.R.	61,7778*	8,4198	,000	34,851	88,705
	%4 F.R.	64,1111*	8,4198	,000	37,184	91,038
	%5 F.R.	63,1111*	8,4198	,000	36,184	90,038
	%6 F.R.	61,2222*	8,4198	,000	34,295	88,149
	%7 F.R.	76,4444*	8,4198	,000	49,518	103,371
	%8 F.R.	93,2222*	8,4198	,000	66,295	120,149
%1 F.R.	%100 PP	-53,3333*	8,4198	,000	-80,260	-26,406
	%2 F.R.	2,3333	8,4198	1,000	-24,594	29,260
	%3 F.R.	8,4444	8,4198	,984	-18,482	35,371
	%4 F.R.	10,7778	8,4198	,934	-16,149	37,705
	%5 F.R.	9,7778	8,4198	,962	-17,149	36,705
	%6 F.R.	7,8889	8,4198	,990	-19,038	34,816
	%7 F.R.	23,1111	8,4198	,151	-3,816	50,038
	%8 F.R.	39,8889*	8,4198	,000	12,962	66,816
%2 F.R.	%100 PP	-55,6667*	8,4198	,000	-82,594	-28,740
	%1 F.R.	-2,3333	8,4198	1,000	-29,260	24,594
	%3 F.R.	6,1111	8,4198	,998	-20,816	33,038
	%4 F.R.	8,4444	8,4198	,984	-18,482	35,371
	%5 F.R.	7,4444	8,4198	,993	-19,482	34,371
	%6 F.R.	5,5556	8,4198	,999	-21,371	32,482
	%7 F.R.	20,7778	8,4198	,265	-6,149	47,705
	%8 F.R.	37,5556*	8,4198	,001	10,629	64,482
%3 F.R.	%100 PP	-61,7778*	8,4198	,000	-88,705	-34,851
	%1 F.R.	-8,4444	8,4198	,984	-35,371	18,482
	%2 F.R.	-6,1111	8,4198	,998	-33,038	20,816
	%4 F.R.	2,3333	8,4198	1,000	-24,594	29,260
	%5 F.R.	1,3333	8,4198	1,000	-25,594	28,260
	%6 F.R.	-,5556	8,4198	1,000	-27,482	26,371
	%7 F.R.	14,6667	8,4198	,719	-12,260	41,594
	%8 F.R.	31,4444*	8,4198	,011	4,518	58,371
%4 F.R.	%100 PP	-64,1111*	8,4198	,000	-91,038	-37,184
	%1 F.R.	-10,7778	8,4198	,934	-37,705	16,149
	%2 F.R.	-8,4444	8,4198	,984	-35,371	18,482
	%3 F.R.	-2,3333	8,4198	1,000	-29,260	24,594
	%5 F.R.	-1,0000	8,4198	1,000	-27,927	25,927
	%6 F.R.	-2,8889	8,4198	1,000	-29,816	24,038
	%7 F.R.	12,3333	8,4198	,868	-14,594	39,260
	%8 F.R.	29,1111*	8,4198	,024	2,184	56,038
%5 F.R.	%100 PP	-63,1111*	8,4198	,000	-90,038	-36,184
	%1 F.R.	-9,7778	8,4198	,962	-36,705	17,149
	%2 F.R.	-7,4444	8,4198	,993	-34,371	19,482
	%3 F.R.	-1,3333	8,4198	1,000	-28,260	25,594
	%4 F.R.	1,0000	8,4198	1,000	-25,927	27,927
	%6 F.R.	-1,8889	8,4198	1,000	-28,816	25,038
	%7 F.R.	13,3333	8,4198	,810	-13,594	40,260
	%8 F.R.	30,1111*	8,4198	,017	3,184	57,038
%6 F.R.	%100 PP	-61,2222*	8,4198	,000	-88,149	-34,295
	%1 F.R.	-7,8889	8,4198	,990	-34,816	19,038
	%2 F.R.	-5,5556	8,4198	,999	-32,482	21,371
	%3 F.R.	-,5556	8,4198	1,000	-26,371	27,482
	%4 F.R.	2,8889	8,4198	1,000	-24,038	29,816
	%5 F.R.	1,8889	8,4198	1,000	-25,038	28,816
	%7 F.R.	15,2222	8,4198	,677	-11,705	42,149
	%8 F.R.	32,0000*	8,4198	,009	5,073	58,927
%7 F.R.	%100 PP	-76,4444*	8,4198	,000	-103,371	-49,518
	%1 F.R.	-23,1111	8,4198	,151	-50,038	3,816
	%2 F.R.	-20,7778	8,4198	,265	-47,705	6,149
	%3 F.R.	-14,6667	8,4198	,719	-41,594	12,260
	%4 F.R.	-12,3333	8,4198	,868	-39,260	14,594
	%5 F.R.	-13,3333	8,4198	,810	-40,260	13,594
	%6 F.R.	-15,2222	8,4198	,677	-42,149	11,705
	%8 F.R.	16,7778	8,4198	,553	-10,149	43,705
%8 F.R.	%100 PP	-93,2222*	8,4198	,000	-120,149	-66,295
	%1 F.R.	-39,8889*	8,4198	,000	-66,816	-12,962
	%2 F.R.	-37,5556*	8,4198	,001	-64,482	-10,629
	%3 F.R.	-31,4444*	8,4198	,011	-58,371	-4,518
	%4 F.R.	-29,1111*	8,4198	,024	-56,038	-2,184
	%5 F.R.	-30,1111*	8,4198	,017	-57,038	-3,184
	%6 F.R.	-32,0000*	8,4198	,009	-58,927	-5,073
	%7 F.R.	-16,7778	8,4198	,553	-43,705	10,149

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Çizelge 5.2., filament ipliklerden üretilen örme kumaş yapılarının yanma uzunluğu değerlerinin çoklu olarak istatistiksel karşılaştırılmasını göstermektedir. Çizelge incelendiğinde $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, katkısız PP örme kumaşın F.R. katkılı diğer tüm kumaşlarla arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, %1 F.R.-%8 F.R., %2 F.R.-%8 F.R., %3 F.R.-%8 F.R., %4 F.R.-%8 F.R. ve %6 F.R.-%8 F.R. arasındaki fark da çoklu istatistiksel karşılaştırmaya göre anlamlıdır.