



**PET ve PBT İPLİKLERİNİN HAVA-JETLİ TEKSTÜRE  
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Seren DURAN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PET ve PBT İPLİKLERİNİN HAVA-JETLİ TEKSTÜRE DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**Seren DURAN**  
<https://orcid.org/0000-0003-3670-3333>

Doç. Dr. Serpil KORAL KOÇ  
(Danışman)  
Araştırmacı ID: 157410

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Seren DURAN tarafından hazırlanan "PET ve PBT İpliklerinin Hava-Jetli Tekstüre Davranışlarının İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Serpil KORAL KOÇ

**Başkan :** Prof. Dr. Esra KARACA  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Araştırmacı ID: 157408

İmza  


**Üye :** Doç. Dr. Serpil KORAL KOÇ  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Araştırmacı ID: 157410

İmza  


**Üye :** Prof. Dr. Hasan Basri KOÇER  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi, Lif ve Polimer Mühendisliği  
Bölümü, Araştırmacı ID: 106535

İmza  


**Yukarıdaki sonucu onaylım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**

08/08/2019

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

08/08/2019



**Seren DURAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans

### PET ve PBT İPLİKLERİNİN HAVA-JETLİ TEKSTÜRE DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

**Seren DURAN**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Serpil KORAL KOÇ

Bu çalışmada iplik numaraları ve filament sayıları aynı olan, polietilen tereftalat (PET) ve polibütülen tereftalat (PBT) iplikler hava-jetli tekstüre işlemine tabii tutulmuştur. Tekstüre işlemi 3 farklı aşırı besleme (%20, %40 ve %60) ve 4 farklı mekanik germe oranı (%0, %2, %4, %6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fikse fırınının etkisi de fırının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda numuneler üretilerek incelenmiştir. Birbirlerinden farklı ham maddelerden üretilmiş olan bu iki ipliğin hava-jetli tekstüre davranışları; iplik numarası tayini, çekme deneyleri, optik mikroskop çalışmaları ve elastik toparlanma deneyleri yardımıyla incelenmiştir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan üretim parametrelerine bağlı olarak, hava-jetli tekstüre PET ve PBT iplikler, aynı aşırı besleme ve mekanik germe oranlarında farklı ilmek yapıları göstermiştir. Elde edilen farklı hava-jetli tekstüre iplik yapıları direkt olarak ham maddeden (polimer yapısından) kaynaklanmıştır. Ayrıca uygulanan mekanik germe oranı ipliğin ilmekli yapısını belirgin bir şekilde etkilemiştir. En fazla ilmeğe sahip yapı, her bir aşırı besleme oranı için farklı mekanik germe oranında elde edilmiştir. İlmekli yapının artışı ile birlikte genel olarak, iplik numarası, kopma uzaması ve kararsızlık değerleri artmış, kopma dayanımı ise azalmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava-jetli tekstüre, polietilen tereftalat, polibütülen tereftalat, mekanik germe, aşırı besleme, mekanik özellik.

**2019, vii + 71 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF AIR-JET TEXTURING BEHAVIOUR OF PET AND PBT YARNS

Seren DURAN

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Textile Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Serpil KORAL KOÇ

In this study, polyethylene terephthalate (PET) and polybutylene terephthalate (PBT) yarns with the same yarn count and filament number were subjected to air-jet texturing process. Texturing was carried out with 3 different overfeeds (20%, 40% and 60%) and 4 different mechanical stretch ratios (0%, 2%, 4%, 6%). In addition, the effect of the heat-setting was also analysed. The air-jet texturing behaviour of these two yarns, which are consist of different raw materials, was investigated with the help of yarn count determination, tensile tests, optical microscope analyses and elastic recovery tests. As a result, depending on the production parameters used in the study, air-jet textured PET, and PBT yarns gave different loop structures at the same overfeed and mechanical stretching ratios. The differences in their texturing behaviours were directly caused by their raw material (polymer structure). The mechanical stretch ratio significantly influenced the looped structure of the yarn. The most looped structure was obtained at different mechanical stretch ratios for each overfeed. In general, yarn count, elongation and instability values were increased, and the tensile strength was decreased with the increase in the looped structure.

**Keywords:** Air-jet texturing, polyethylene terephthalate, polybutylene terephthalate, mechanical stretching, overfeeding, mechanical property.

**2019, vii + 71 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez konusunun seçimi, düzenlenmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesinde her daim yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen ve tüm çalışmam boyunca yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, bilgi birikimi, tecrübesi, değerli zamanını ve sabrını benimle paylaşan danışmanım Sayın Doç. Dr. Serpil KORAL KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarında kullandığım ipliklerin tedariki için Polyteks Tekstil San. Araş. ve Eğt. A.Ş. ve Korteks Mensucat Sanayi ve Ticaret A.Ş yetkililerine, Sayın Nimet DOĞMUŞ YILMAZ ve Sayın Onur ÇELEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım boyunca teknik bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Sayın Yük. Müh. Mehmet TİRİTOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca her an yanımda olan, bugünlere gelmemi sağlayan, yüksek lisans eğitimim boyunca da sevgisini, yoğun sabrını, ilgisini ve desteğini benden esirgemeyen aileme, değerli babam Murat DURAN, annem Dilek DURAN ve kardeşim Buse DURAN'a çok teşekkür ederim.

Seren DURAN  
08/08/2019

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Poliester Lifleri.....	3
2.1.1. Polietilen tereftalat lifleri .....	3
2.1.2. PBT lifleri .....	7
2.1.3. PET ve PBT liflerinin kıyaslanması.....	10
2.2. Tekstüre İşlemi.....	12
2.2.1. Hava-jetli tekstüre işlemi .....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal .....	37
3.2. Yöntem.....	37
3.2.1. Hava-jetli tekstüre çalışmaları.....	37
3.2.2. İplik numarası tayini .....	40
3.2.3. Çekme deneyleri.....	41
3.2.4. Optik mikroskop deneyleri.....	42
3.2.5. Elastik toparlanma deneyleri.....	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
4.1. Optik mikroskop görüntüleri, iplik numarası tayini ve çekme deneyi sonuçları .....	46
4.2. Elastik toparlanma deneyi sonuçları .....	58
5. SONUÇ .....	64
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	71



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°C	Santigrat derece
mm	Milimetre
η	Viskozite
T <sub>m</sub>	Erime sıcaklığı
T <sub>g</sub>	Camlaşma sıcaklığı
MPa	MegaPascal
GPa	GigaPascal
°	Derece
N	Newton

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
PET	Polietilen tereftalat
PBT	Polibütilen tereftalat
DMT	Dimetil tereftalat
EG	Etilen glikol
PET	Polietilen tereftalat
POY	Ön/kısmen yönlenmiş iplik
TPA	Tereftalik asit
BHET	bis(hidroksietil tereftalat)
BDO	1,4-bütandiol
THF	Tetrahidrofuran
BCF	Hacimli sürekli filament
PES	Poliester
PA	Poliamid
PP	Polipropilen
PTFE	Politetrafloretillen

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. PET'in kimyasal formülü .....	4
Şekil 2.2. Tipik bir PET üretim prosesi.....	5
Şekil 2.3. PET lifinin makromolekül zincirleri arasında bulunan bağlar.....	6
Şekil 2.4. PBT polimerinin DMT ile üretimi .....	8
Şekil 2.5. PBT polimerinin TPA ile üretimi .....	9
Şekil 2.6. PBT polimerinin kimyasal formülü .....	9
Şekil 2.7. PET ve PBT'nin molekül zincirlerinin şematik gösterimi .....	11
Şekil 2.8. Çeşitli yöntemlerle tekstüre edilmiş filament iplikler.....	15
Şekil 2.9. Hava-jetli tekstüre işleminin şematik gösterimi .....	18
Şekil 2.10. Hava-jetli tekstüre makinesine iplik besleme seçenekleri .....	19
Şekil 2.11. Radyal ve silindirik hava-jeti kesiti .....	20
Şekil 2.12. Tekstüre kutusu .....	20
Şekil 2.13. Tipik bir hava-jetli tekstüre kanal dizaynı .....	21
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre makinesi .....	38
Şekil 3.2. Shimadzu Ag-X Plus çekme cihazı.....	41
Şekil 3.3. Toparlanma döngüsü ve terimlerin tanımı .....	44
Şekil 4.1. Hava-jetli tekstüre PET ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri .....	47
Şekil 4.2. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri.....	49
Şekil 4.3. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait iplik numarası tayini sonuçları.....	53
Şekil 4.4. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait iplik numarası tayini sonuçları .....	54
Şekil 4.5. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait kopma dayanımı değerleri .....	56
Şekil 4.6. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait kopma dayanımı değerleri .....	56
Şekil 4.7. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait kopma uzaması değerleri .....	57
Şekil 4.8. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait kopma uzaması değerleri .....	58
Şekil 4.9. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait elastik toparlanma eğrileri .....	62
Şekil 4.10. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait elastik toparlanma eğrileri .....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. PBT ve PET'in fiziksel özellikleri .....	11
Çizelge 2. 2. PBT ve PET liflerinin kıyaslaması .....	12
Çizelge 2.3. Tekstüre metotları .....	14
Çizelge 2.4. Tekstüre metotları, ipliklerin özellikleri ve kullanım durumları .....	16
Çizelge 2.5. Hava-jetli tekstüre iplik özellikleri ve kullanım alanları .....	30
Çizelge 3.1. Kullanılan ipliklerin özellikleri.....	37
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametreleri ve ipliklere verilen kodlar .....	39
Çizelge 4.1. Hava-jetli tekstüre ipliklere ait iplik numarası tayini ve çekme deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 4.2. Elastik toparlanma deneyi sonuçları .....	59

## 1. GİRİŞ

Hava-jetli tekstüre işleme, sentetik filamentlerin iplik yapısında bulunan düzenli konumlarını mekanik yolla değiştirerek, bu filamentleri birbirine karışmış, hacimli, doğal ipliklere benzer bir biçime dönüştürür. Bu teknikte, uygulanan aşırı beslemenin yardımıyla her çeşit filament tekstüre jetinden uygulanan süpersonik hava akımı tesiriyle karıştırılabilir. İşlem sonunda, hava-jetli tekstüre ipliklerde, doğal ipliklerin üzerindeki tüylere benzer küçük ilmekler görülür. (Hearle ve ark. 2001; Acar ve ark. 2009).

Aşırı beslemedeki artış, jet içerisinde bulunan filamentlerin daha kolay hareket etmesini sağladığı için, üretilen hava-jetli tekstüre ipliklerin daha ilmekli olmasına neden olur. Aşırı besleme oranı, elde edilen ipliğin mekanik özellik ve kararlılığını, ilmek yapısı ve miktarını en etkili ve kolay şekilde değiştiren hava-jetli tekstüre parametresidir. Bu nedenle hava-jetli tekstüre işleminde ideal aşırı besleme oranının belirlenmesi oldukça önemlidir (Demir 2006).

Hava-jetli tekstüre işleminde jetten ilmekli bir yapı kazanarak çıkan iplik, alım silindiri ile sevk silindiri arasındaki bölgede bir mekanik germeye tabii tutulur. Bu mekanik germenin amacı, tam olarak ilmek oluşturamamış filamentlerin çözülmesi ve ilmek oluşturabilmiş filamentlerin daha iyi kilitlenerek tekstüre ipliğin mekanik özelliklerini daha stabil hale getirmektir (Demir 2006).

Hava-jetli tekstüre ipliklerin yapısında bulunan ilmeklerin bir kısmının uygulanan kuvvetlerin etkisiyle ortadan kalkabildiği görülür. Uygulanan kuvvet sonunda iplik üzerinde kalan ilmeklerin sayısı bu ilmeklerin “kararlılığı” ile ilişkilidir (Koç ve ark. 2015). Bu nedenle iplik kararsızlığının incelenmesi kalite faktörü açısından büyük önem taşımaktadır.

Hava-jetli tekstüre, bütünüyle mekanik bir proses olduğu için, her çeşit sentetik iplik bu yöntemle tekstüre edilebilir. Kullanılan tüm iplikler arasında poliesterler %35 gibi yüksek bir kullanım alanına sahiptir. Poliester lifleri ana zincirlerinde ester bağları bulunduran sentetik liflerdir. Poliester lifleri sahip oldukları yüksek mukavemet, uzamaya ve deformasyona karşı iyi dayanım gibi özellikleri nedeniyle konvansiyonel ve endüstriyel alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Farklı poliester çeşitleri arasında, tekstüre işlemlerinde en yaygın kullanıma sahip olan poliesterler, polietilen tereftalat (PET) ve polibütülen tereftalat (PBT) lifleridir.

Bu çalışmada farklı polimerlerden üretilmiş olan PET ve PBT ipliklerinin hava-jetli tekstüre davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda aynı iplik numarası ve filament sayısına sahip olan PET ve PBT iplikler %20, %40, %60 aşırı besleme ve %0, %2, %4, %6 mekanik germe oranlarında tekstüre edilmiştir. Ayrıca fikse fırınının tekstüre iplik özelliklerine olan etkileri de incelenmiştir. Üretilen iplikler optik mikroskop analizleri, iplik numarası tespiti, çekme deneyleri ve elastik toparlanma testleri yardımıyla incelenmiş, elde edilen sonuçlar birbirleriyle ilişkilendirilerek yorumlanmıştır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

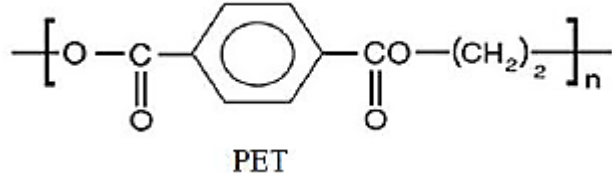
### **2.1. Poliester Lifleri**

Günümüzde ticari olarak en fazla üretilen tekstil hammaddelerinden biri olan poliesterin patenti 1941 yılında İngiliz bilim adamları J.R. Whinfield ve J.T. Dickson tarafından alınmıştır. Ardından aynı yıl içinde ilk poliester lifi W.K. Birtwhistle ve C.G. Ritchie ile birlikte, J.R. Whinfield ve J.T. Dickson tarafından, Imperial Chemical Industries'de (ICI) üretilmiştir (<http://www.whatispolyester.com/history.html>, 2018).

Poliester lifleri ana zincirlerinde ester bağları bulunduran sentetik liflerdir. Bu lifler pek çok olumlu özelliğe sahiptir. Bunlar yüksek mukavemet, düşük sürünme, uzamaya ve deformasyona karşı iyi dayanım, yüksek camsı geçiş sıcaklığı ve asitlere, yükseltgen maddelere karşı yüksek dayanım olarak özetlenebilir. Tüm bu olumlu özellikler nedeniyle poliester lifleri hem konvansiyonel hem de endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Hsieh 2001).

#### **2.1.1. Polietilen tereftalat lifleri**

Ticari açıdan en önemli aromatik poliester, polietilen tereftalat (PET)'dir. PET, polietilen glikol tereftalat, etilen tereftalat polimeri, poli(oksi-1,2-etandioksikarbonil-1,4-fenilen dikarbonil), tereftalik asit-etilen glikol poliester gibi çeşitli isimlerle de anılabilir. PET beyaz veya açık krem bir malzemedir, yüksek ısıl direnç ve kimyasal stabiliteye sahiptir ve asitlere, bazlara, bazı solventlere ve yağlara karşı oldukça dayanıklıdır. PET'in birim molekül ağırlığı 192'dir ve kimyasal yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir (Deopura ve ark. 2008).



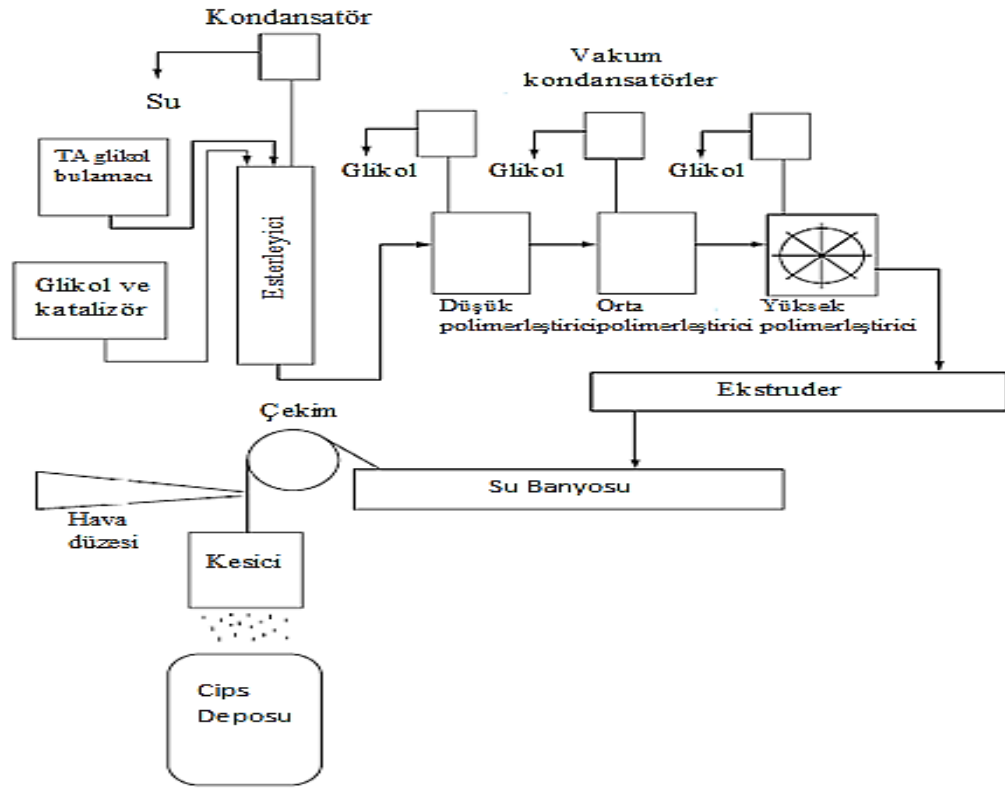
**Şekil 2.1.** PET'in kimyasal formülü

PET lifi iki tip monomerin polikondenzasyonu ile elde edilir. Bu monomerler, tereftalik asit (TPA) veya dimetiltereftalat (DMT) ile etilenglikol (EG)'dir. Polimerizasyon işlemi esterleşme ve polikondenzasyon olmak üzere iki adımda devam eder.

İlk aşamada, bis(hidroksietil tereftalat) (BHET) ve kısa zincirli oligomerler ve TPA veya DMT olarak kullanılan hammaddeye bağlı olarak, sırasıyla su veya metil alkol olarak ön polimerler üretilir (Lewin 2006).

Metil alkol veya suyun PET'i hidroliz etmemesi için ortamdan uzaklaştırılmaları gerekir. Polimerleşme sırasında, karışım yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığından oluşan su veya metanol uzaklaştırılabilir. Polimerleşmeyi sağlamak üzere reaksiyon ortamına uygun katalizörler eklenir (Başer 1998).

Gerçekte, ticari olarak üretilen PET her zaman, son ürün spesifikasyonları elde edilene kadar, polimerin sürekli olarak pompalandığı sürekli bir işlem ile yapılır. İşlem genellikle en az dört aşamayı, yani ilk polimerleştiriciyi takiben, her biri polimer molekül ağırlığını arttırmak için tasarlanmış bir dizi üç polimerleştirici içerir. Üretim bölgeleri arasındaki uyumu sağlamak, polimerin bozulabileceği ölü bölgeleri ortadan kaldırmak ve glikol veya su gibi yan ürünleri ortamdan uzaklaştırmak için aşırı özen gösterilmektedir (Lewin 2006). Tipik bir PET üretim prosesi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** Tipik bir PET üretim prosesi (Lewin 2006)

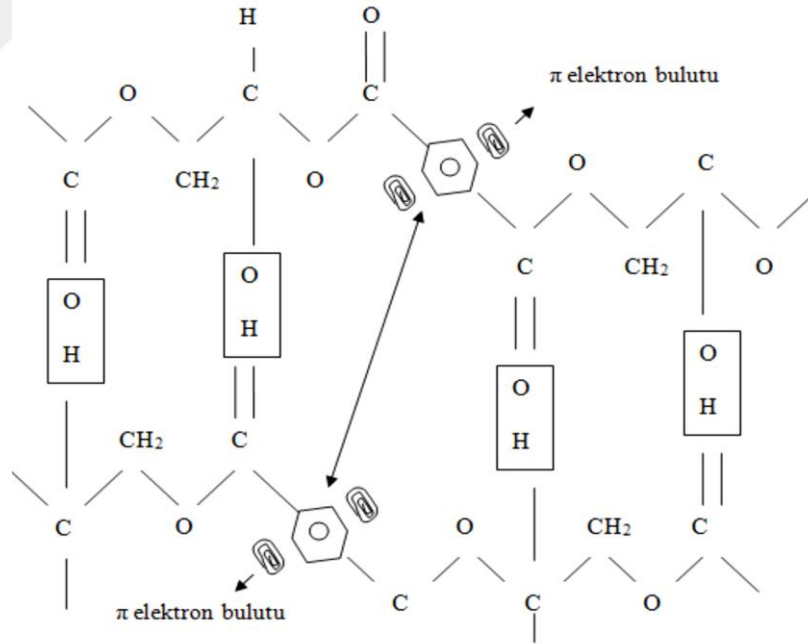
Eriyik çekimde doğrudan üretim ve kesikli üretim olarak iki yöntem vardır. Oluşan bir polimerin yeni oluştuğu anda yani henüz sıcak ve sıvı formdayken lif üretimine gönderilen şekli doğrudan üretimdir. Oluşan polimer cipse dönüştürülüp işleme ara verildiği, ardından cipsle başlayıp yeniden filament üretim aşamasına geçildiği yöntem ise kesikli üretimdir. Kesikli yöntemlerde lif üretimine başlanırken cips formundaki polimer sıvı hale getirilir. Bu işlem ekstrüderde gerçekleştirilir. Ekstrüzyon, basınç altında eritilmiş polimerin bir başlıktan akışa zorlanarak şekillendirilmesi işlemidir. Hava düzelerinde, oluşan filamentlerin soğutma işlemi gerçekleştirilir. Filamenti oluşturan polimer bu kısımda şekil alarak katılaşır. Katılaşma esnasında iç yapı oluşur. Tamamen amorf yapıya sahip bir polimerden yarı kristalin bir lif üretilir. Bunun gerçekleşebilmesi için lif çekim kanalı bölgesinde oryantasyonun gerçekleşmesi gerekmektedir. Çekim silindirin dönüşü ile oluşan kuvvetin etkisiyle hem incelmeye hem de makromolekül zincirlerinin yönlendirilmesiyle birlikte oryantasyon oluşur, ardından düze deliği sayısı kadar yarı kristalin filament üretilir (Lewin 2006).



Bobinlere sarılan kısmen yönlendirilmiş iplikler (POY), numara kontrolü ve ön kontrol işlemine tabi tutulur. POY iplikler tekstüre veya düz iplik formuna dönüştürülmek üzere tekstil makinelerine verilirler (ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/petrolkim/oik613.pdf, 2018).

PET lifi, çoğu aside karşı iyi bir dirence sahiptir, ancak konsantre sülfürik asit, PET’i kısmi ayrışma ile çözer. PET lifleri geleneksel ağartma maddelerine, temizleme çözücülerine ve yüzey aktif maddelere karşı mükemmel direnç gösterir ve kristalizasyon derecesi ve moleküler oryantasyon, direncin derecesini belirler. Güçlü alkaliler ise lif yüzeyinin çözünmesine neden olur. Amonyak ve metil amin gibi diğer organik bazlar ve zayıf bazlar, yapının kristalin olmayan bölgelerine nüfuz eder (Deopura ve ark. 2008).

PET lifinin makromolekül zincirleri arasında hangi bağların daha etkin olduğu tam olarak bilinmese de güçlü çekim kuvvetlerinin bulunduğu ve bunda da benzen halkalarının önemli rol oynadığı bilinmektedir.



Şekil 2.3. PET lifinin makromolekül zincirleri arasında bulunan bağlar (Başer 1998)

PET'in makromolekül zincirleri arasında bulunan bağlar;

1. Benzen halkaları arasında oluşabilen yoğun ve etkin dispersiyon çekim kuvvetleri
2. Ester gruplarının endüksiyon etkisi sonucu benzen halkalarında ortaya çıkan dipol momentleri
3. Benzen halkasıyla konjuge durumda olan ve trans-trans konformasyonuna sahip ester yapısının yüksek polaritesi nedeniyle polar çekim kuvvetleri
4. Hidrojen atomları ile karbonil grubundaki oksijen arasındaki bağ (hidrojen köprüsü) olarak sıralanabilir (Hockenberger 2004).

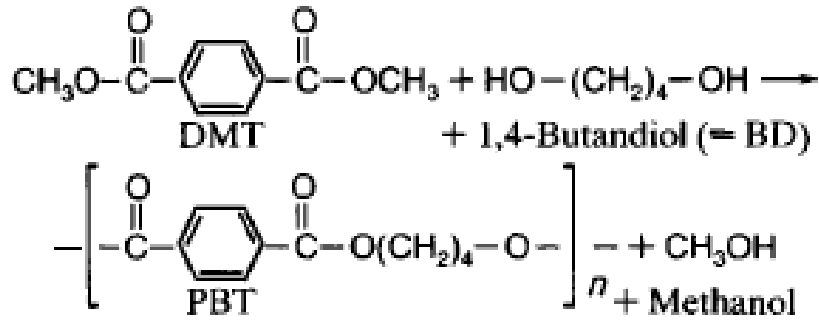
PET lifleri yüksek mukavemet, düşük sürtünme, uzamaya ve deformasyona karşı iyi derecede dayanım, yüksek camsı geçiş sıcaklığı ve asitlere, yükseltgen maddelere karşı yüksek dayanım gösterdikleri için konvansiyonel ve endüstriyel alanda özellikle tercih edilmektedir (Hsieh 2001).

### **2.1.2. PBT lifleri**

Poli(bütülen tereftalat) (PBT) aromatik poliesterler ailesine aittir (Deopura ve ark. 2008). Poliester liflerinin iyi performans özellikleri ve ekonomik olmaları, bu lifleri tıp, giyim, spor ve çeşitli endüstriyel alanlarda en önemli materyallerden biri haline getirmektedir. Yüksek performanslı fiziksel ve kimyasal olarak modifiye edilmiş poliester liflerinin rekabet güçleri ve avantajları standart liflerinkinden daha iyidir. Bu liflerden biri de PBT lifleridir (Yıldırım ve ark. 2012).

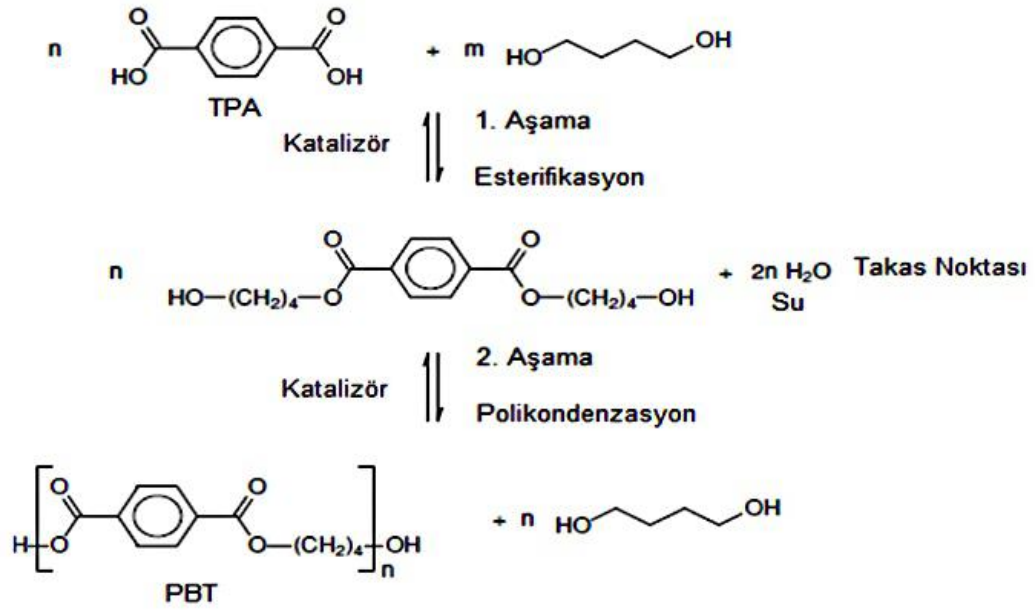
PBT lifleri 1968'de piyasaya sürüldüğünden beri, üretimi her geçen yıl artmıştır. Bu lifler günümüzde Celanex, Crastin, Novaduran, Raditer, Ultradur, Valox gibi ticari isimlerle üretilmektedir (Faurne 1999 ve Deopura ve ark. 2008).

Bu termoplastik poliester, 1,4-bütandiolün (BDO) TPA (veya) DMT ile polikondenzasyonu ile üretilir. Tekrar biriminin molekül ağırlığı 220'dir (Deopura ve ark. 2008). BDO üretmenin çeşitli yolları bulunmaktadır. Reppe, ARCO, Mitsubishi (Devroede 2007), Eastman ve bioesaslı BDO üretme yolu (Shen ve ark. 2009) ile BDO hammaddesi sentezlenebilmektedir (Yıldırım ve ark. 2012). PBT polimerinin sentezlenmesi PET polimerinin sentezlenmesine benzemektedir (Deopura ve ark. 2008).



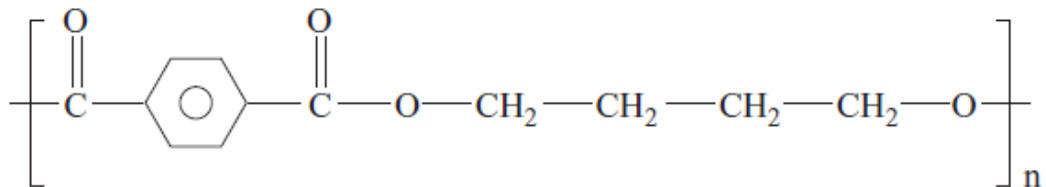
**Şekil 2.4.** PBT polimerinin DMT ile üretimi (Faurne 1999)

PBT lifinin DMT ile üretiminde, başlangıçta monomerler erimiş DMT ve BDO karışımının katalizör ile birlikte iki aşamalı polimerizasyon sürecinde tepkimeye girmektedir. Bu aşamada işlem sırasında genellikle katalizör olarak tetra-alkoksi titanlar kullanılmaktadır (Devroede 2007). İlk aşamanın sonunda bihidroksilbütil tereftalat ile birlikte hidrosil terminal grubu taşıyan PBT oligomerleri oluşur. İkinci reaksiyon aşamasında polimer zincirlerinin moleküler ağırlıkları nedeniyle eriyiğin viskozitesi önemli derecede artmaktadır. Endüstride kullanılan bu yığın polimerizasyon süreçleri devamlı polimerizasyon süreçleri ile yer değiştirmektedir (Devroede 2007).



Şekil 2.5. PBT polimerinin TPA ile üretimi (Devroede 2007)

PBT en çok saflaştırılmış TPA kullanılarak üretilmektedir. PBT polimerinin üretilmesinde kullanılan her iki yol neticesinde de birçok yan ürün oluşmaktadır. Bu yan ürünler tetrahidrofuran (THF) ve 1,3-bütadien'dir (Deopuro ve ark. 2008). PBT'nin sentezlenmesi aşamasında oluşan en büyük yan ürün THF'dir ve bu ürün toksiktir (Devroede 2007). THF oluşumu TPA ve BDO'ya su veya katalizatör eklenmesi, TPA'nın yavaş eklenmesi, ilerleyen aşamalarında bir miktar BDO eklenmesi, TPA tükenmeden polikondenzasyonun gerçekleştirilmesi gibi yöntemlerle azaltılabilmektedir (Devroede 2007, Deopuro ve ark. 2008, Yıldırım ve ark. 2012).



Şekil 2.6. PBT polimerinin kimyasal formülü (Deopura ve ark. 2008)

PBT kimyasal olarak zayıf asitlere, bazlara, deterjanlara, alifatik hidrokarbonlara, yağlara, ester, alkol, keton ve glikollere oda sıcaklığında dayanıklıdır. Kuvvetli bazlara karşı iyi bir dayanım göstermemektedir. Aynı zamanda mükemmel derecede aşınma mukavemetine sahiptir. Yüksek sertlik ve darbe mukavemeti, iyi derecede sürünme özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte iyi derecede mukavemet özellikleri sergilemektedir. PBT'nin nem alma kabiliyeti ise düşüktür. Yüksek boyutsal kararlılık ve iyi işlenebilirlik özellikleri vardır (Kurtuluş 2010). PBT'nin amorf bölge yoğunluğu 1,265–1,268 g/cm<sup>3</sup> aralığındadır ve kristalin bölge yoğunluğu ise 1.395g/cm<sup>3</sup>'dür (Deopura ve ark. 2008).

PBT'nin kristal yapısı mekanik gerilim uygulandığında değişebilen üç eksenli  $\alpha$ -form ve  $\beta$ -form olarak iki formdan oluşmaktadır. Polimerin gevşek olan  $\alpha$ -formunda bulunan C<sub>4</sub> glikol birimindeki üç C-C bağının (tetrametilen parça konformasyonu) trans-gauche-trans sıralaması gösterdiği, gergin  $\beta$ -formunun sahip olduğu aynı üç bağın ise tümünün trans sıralaması gösterdiği düşünülmektedir (McIntyre 2005).

PBT lifleri, dış fırçası kılları, halı ipliği ve spor giyim, giyim eşyası, iç çamaşır ve çorap olarak kullanılır. Ayrıca, yüksek mukavemete, stabiliteye ve kloro karşı iyi bir dirence sahip olduğu için mayo ve bikinilerde de kullanılabilir. PBT, boyutsal kararlılık, gerilme mukavemeti, arttırılmış esneklik ve hızlı kristallenme oranı kombinasyonu nedeniyle tercihen mühendislik plastikleri üretimi için de kullanılabilir (Deopura ve ark. 2008).

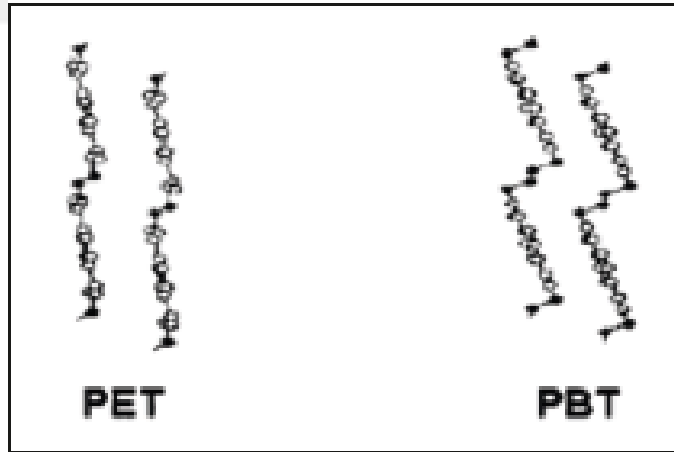
### **2.1.3. PET ve PBT liflerinin kıyaslanması**

PET ve PBT liflerinin fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır. PET'in her bir tereftalat birimi arasında iki metilen birimi bulunurken PBT'nin dört metilen birimi bulunmaktadır. Bu metilen birimleri polimerlerin fiziksel ve kimyasal yapısını etkilemektedir (Houck 2001).

**Çizelge 2.1.** PBT ve PET'in fiziksel özellikleri (Kurtuluş 2010)

<b>Fiziksel ve mekanik özellikler</b>	<b>PBT</b>	<b>PET</b>
Erime noktası (°C)	224	260
Camlaşma sıcaklığı (°C)	20-40	70-80
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,33	1,3-1,4
Kopma uzaması (%)	250	25
Izod darbe dayanımı (J/m)	60	13-35
Sertlik	M70	M94-101
Çekme modülü (MPa)	2000	2000-4000
Çekme dayanımı (MPa)	50	80-260
Eğilme modülü (GPa)	2,5	2,9

PBT lifinin PET'e göre daha cazip özellikleri vardır. Daha düşük sıcaklıklarda eriyik haline getirilebilir ve polimer kimyasına bağlı olarak rengi PET'den daha beyazdır (Lewin 2006).



**Şekil 2.7.** PET ve PBT'nin molekül zincirlerinin şematik gösterimi (<http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/pedro/WebSite/Contenidos/Bibliografiacompleta/Acr60.tmp.pdf>, 2018)

PET polimerinin büyük molekül zinciri, gerilimli bir yapıya sebep olup gerilim bütünüyle yayılmaktadır (Zheng ve ark. 2009). Bu nedenle PBT, bir lif olarak çok daha elastik ve mükemmel esneklik özelliği ile küçük deformasyonlar karşısında daha iyi

toparlanma göstermektedir. PBT lifleri sahip oldukları daha düşük erime sıcaklıkları nedeniyle, PET gibi basınç altında boyanmaya gerek kalmadan, dispers boyalarla kolayca boyanabilmektedir (Lewin 2006).

**Çizelge 2.2.** PBT ve PET liflerinin kıyaslaması (Yıldırım ve ark. 2012)

Filament Özellikleri	PBT	PET
Mukavemet	+	++
Boyanabilirlik	++	+
Kıvrımlılık	++	+
Boyutsal Stabilitite/Çekme	+	++
Elastikiyet, Kuru	++	+
Elastikiyet, Yaş	++	+
Elastiki Geri Dönme	++	+
Klor Dayanımı	++	+
Isıl İşlenebilirlik	-	++
Sıcak Alkalilere Dayanım	-	++

++ iyi/güçlü ; + vasat ; - kötü/zayıf

PBT lifinin tekstilde PET lifinin başarısını yakalayamamasının nedeni BDO'nun EG'den önemli ölçüde daha pahalı olmasıdır. Naylon ile rekabet etmesine rağmen esnekliği ve kolay boyanmasının avantajını sağlayarak halı lifleri olarak kullanılmaktadır (Lewin 2006).

## 2.2. Tekstüre İşlemi

Tekstüre, düzgün filamentlerin sürekli yapısını bozmayarak, rastgele ve düzensiz bir yapıya sahip olmaları için kalıcı bükümlü, kıvrıkcık, dolaşık veya ilmekli yapı formunun, ipliğe kazandırılması işlemidir (Demir 2006 ve Denton 1968).

Tekstüre işleminin amacı, doğal liflerden eğrilmiş ipliklerde bulunan sıcaklık hissi, tutum ve doğal görünüm gibi özellikleri, bu özelliklere sahip olmayan sentetik ipliklere

kazandırmaktır. Tekstüre, herhangi bir yüzeyin özelliklerini, insanın görsel (parlaklık) ve dokunsal (tuşe, hacimlilik, örtme, ısı yalıtımı) özellikleri ile algılanmasını ifade eden bir terimdir. Bir başka deyişle, yüzeyin pürüzlü ya da pürüzsüz, mat ya da parlak, rijit ya da esnek olması gibi özellikleri yüzeyin tekstüresiyle ifade edilmektedir (Demir 2006 ve Canbolat 2006).

Sentetik filament ipliklerde tekstüre; ipliğin parlaklık, sertlik, yüzeyinin pürüzlülüğü, dokunuşta insana verdiği sıcaklık, soğukluk hissi gibi kavramsal algılamaların toplamıdır (Canpolat 2006). Tekstüre işleminin son ürünü ise hacimli, kıvrırcıklı veya dalgalı filamentlerin oluşturduğu tekstüre ipliklerdir (Denton 1984).

Tekstüre ipliklerden üretilmiş kumaşlar, tekstüresiz ipliklerden üretilmiş kumaşlara oranla daha iyi derecede şekil koruma özelliğine sahiptirler. Bunun en önemli nedeni filamentler arasında artan sürtünme kuvvetidir. Esneklik, tekstil ipliklerinde ve kumaşlarda bulunması istenen önemli bir özelliktir. Bu özellik dış yüzeydeki filamentlerin kolay şekilde deforme olabilme yeteneğine bağlıdır. Düz bir filament kıvrımlı bir filamentle mukayese edilirse düz filamentin esnekliğinin daha az olduğu görülür. Tekstüre iplikte, filamentler her geometrik konfigürasyon formunda yerleşir ve gevşek bir yapı oluşturur. Böylece filamentler, her bir filamentin sahip olduğu göreceli hareketlerine engel olmazlar. Bu, ipliğe ve kumaşa daha iyi bir esneme ve uzama yeteneği getirir. Tekstüre işlemi daha yumuşak ipliklerin üretilmesini de sağlar. Bütün diğer faktörler eşit tutulmak şartıyla, iplik yumuşadıkça, iplik örtme faktörü de aynı oranda artar. Yüksek örtme kabiliyeti ise artan iplik hacimliliğinin fonksiyonudur (Özkan 2008).

Tekstüre işlemi görmüş ipliklerden üretilmiş kumaşlarda kazanılan ilave özellikler ise; yüksek hacimlilik, yüksek uzama kabiliyeti, dolgun ve yumuşak bir tutum, form sabitliği ve ısı muhafaza kabiliyeti, iyi bir örtücülük, daha az boncuklanmadır (Karakaş 2001).

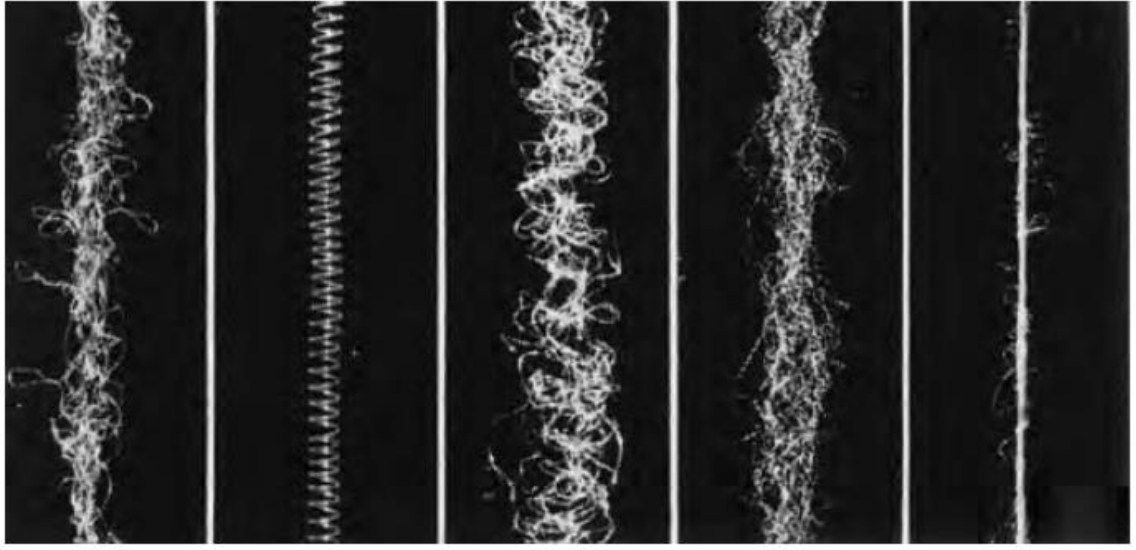


Tekstüre yöntemlerinin çoğunluğu termoplastik sürekli filamentlerin mekanik deformasyonuna dayanır. Bu deformasyon filamentlerin yarı-plastik bir duruma kadar ısıtılarak bu filamentlere kalıcı kıvrım ve açık bir yapı kazandırma suretiyle gerçekleştirilir (Acar 1984).

**Çizelge 2.3.** Tekstüre metotları (Demir 2006)

<b><u>Termomekanik Tekstüre</u></b>
Yalancı Büküm Tekstüre
Yığma Kutusu Yöntemi ile Tekstüre
Örme-Sökme Yöntemi ile Tekstüre
Dişli Çark Yöntemi ile Tekstüre
Bıçak Sırtı Yöntemi ile Tekstüre
<b><u>Mekanik Tekstüre</u></b>
Hava-jeti ile Tekstüre
<b><u>Diğer Yöntemler</u></b>
Bikomponent Tekniği
Bikonstituent Yöntemi
Monokomponent Tekniği

Yalancı büküm, yığma kutusu, bıçak sırtı, dişli çark ve örme-sökme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen tekstüre işlemleri termo-mekanik tekstüre teknikleridir. Bu yöntemler arasında yer alan yalancı büküm ile tekstüre tekniği tüm tekstüre teknikleri içinde %85'lik bir kısmı kapsamaktadır (Demir 2006).



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

**Şekil 2.8.** Çeşitli yöntemlerle tekstüre edilmiş filament iplikler (Hearle ve ark. 2001)

(a)Yalancı Büküm Tekniği, (b)Kenar Tekniği (monofilament iplik), (c)Kenar Tekniği (multifilament iplik), (d)Yığma Kutusu Tekniği, (e)Hava-Jetli Tekstüre Tekniği (Hearle ve ark. 2001).

Tekstüre metotlarının geliştirilmesi ile ilgili olarak son yıllarda çok önemli çalışmalar bulunmaktadır. Öznergiz ve arkadaşları hava-jetli tekstüre ve büküm işlemlerinin aynı anda gerçekleşmesini sağlayan bir makine geliştirmişlerdir. Bu makine kesikli ve filament iplikleri aynı anda tekstüre edebilmektedir. Aynı zamanda çift ısıtmalı kasnak çekim sistemi de ilave edilerek POY ipliklerinin de kullanılması sağlanmıştır (Öznergiz ve ark. 2009).

**Çizelge 2.4.** Tekstüre metotları, ipliklerin özellikleri ve kullanım durumları (Hearle ve ark. 2001)

<b>Termo-mekanik teknikler</b>		
<b>Metot</b>	<b>İplik yapısı</b>	<b>Günümüzdeki durumu</b>
Tek ısıtıcı, yalancı büküm	Yüksek elastikiyet	Naylonun ana kullanım alanı
Modifiye edilmiş yalancı büküm	Yüksek hacimlilik, orta derecede elastikiyet	Naylon için artık bu teknik kullanılmamaktadır
Sabitlenmiş, iki ısıtıcı yalancı büküm	Yüksek hacimlilik, düşük elastikiyet	Poliesterin ana kullanım alanı
Yığma kutusu	Yüksek hacimlilik, orta derecede elastikiyet	Önemini yitirmiştir
Örme-sökme	Kıvrımlı iplik	Az kullanıma sahiptir
Bıçak sırtı	Yüksek hacimlilik, orta derecede elastikiyet	Önemini yitirmiştir
<b>Mekanik teknikler</b>		
<b>Metot</b>	<b>İplik yapısı</b>	<b>Günümüzdeki durumu</b>
Hava-jetli tekstüre	İlmekli yapı	Önemli kullanıma sahiptir
<b>Diğer teknikler</b>		
<b>Metot</b>	<b>İplik yapısı</b>	<b>Günümüzdeki durumu</b>
Bikomponent	Kıvrımlı lif yapısı	Yeniden ilgi görmeye başlamıştır.
Farklı büzüşme kabiliyeti ile tekstüre	Yüksek hacimlilik, düşük elastikiyet	Sadece kesikli liflerden elde edilmiş iplikler için kullanılır

Isının gerekli olmadığı yegâne tekstüre işlemi, hava-jeti ile tekstüre işlemidir ve bu işlem her türden filament ipliğe uygulanabilir. Hava-jetli tekstüre ipliklerin esnekliğinin düşük olması nedeniyle, bu ipliklerin dokuma kumaşlar için diğer tekstüre ipliklere nazaran daha uygun olduğu söylenebilir (Demir 2006). Hava-jeti ile tekstüre işlemi termoplastik olmayan iplikleri tekstüre etmenin tek yolu olduğundan, yeni teknolojiler sayesinde iplikler birleştirilip teknik tekstil alanında kullanılacak kompozit iplikler oluşturulabilmektedir.

### 2.2.1. Hava-jetli tekstüre işlemi

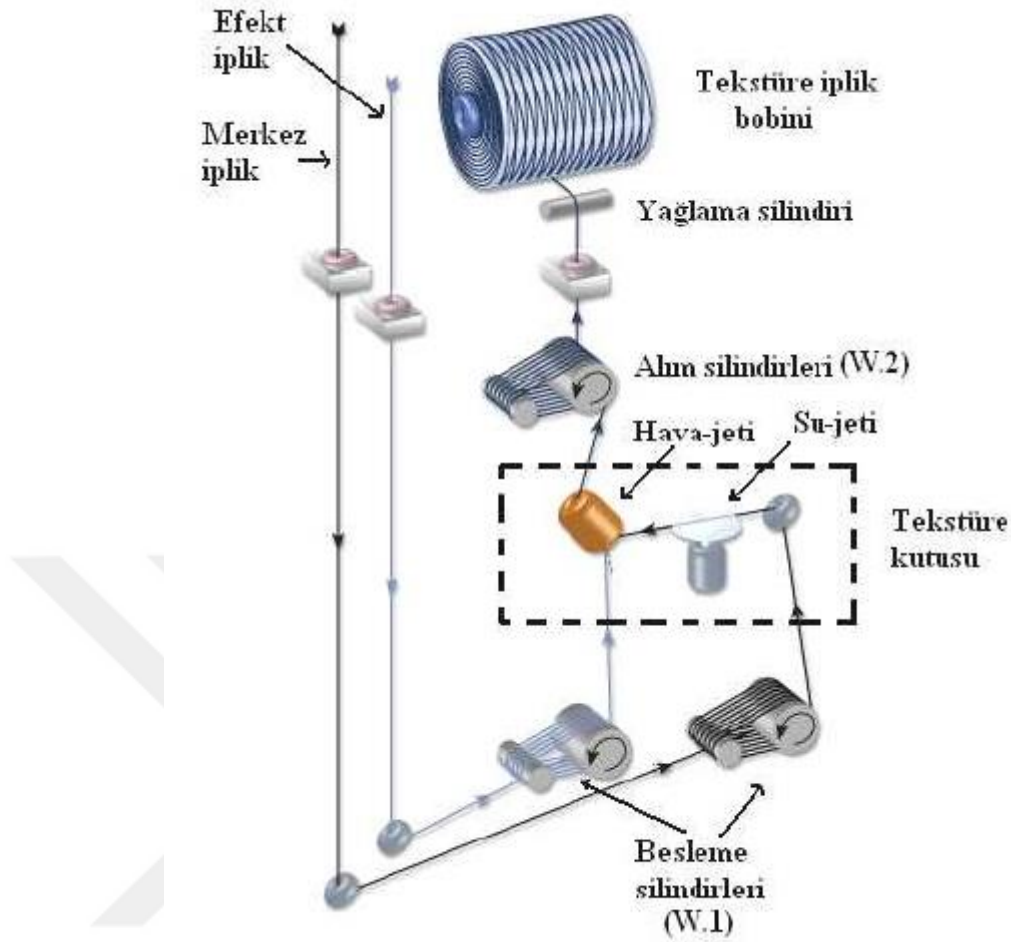
Hava-jeti ile tekstüre işlemi, sentetik sürekli multifilament ipliklerin düzenli yerleşimini değiştirerek, mekanik yöntemle birbirine karışmış, hacimli, kesikli liflerden eğrilmiş

ipliklere benzer bir forma dönüştürür. Bu teknikte multifilament iplikler bir tekstüre jetinden gelen süpersonik hava akımı yardımıyla karıştırılır. İşlem sonrasında tekstüre iplik üzerinde, kesikli liflerden eğrilmiş iplikler üzerinde bulunan tüycüklere benzer küçük ilmekler görülür. Hava-jetli tekstüre işlemi, işlem esnasında termoplastik olmayan iplikler de dâhil olmak üzere tüm farklı filament iplikleri harmanlayabilme kabiliyetine sahip olduğu için, cam lifi gibi termoplastik olmayan liflerin tekstüresine de olanak verdiği gibi, doğal liflerden eğrilmiş ipliklere benzer yapı ve özelliklerde iplikler oluşturabilmesi neticesinde bugüne kadar bilinen en çok amaçlı tekstüre yöntemidir. Sistem temelde çağlık, besleme silindiri, hava-jeti ve sarım ünitesinden oluşmaktadır (Hearle ve ark. 2001, Acar ve ark. 2006).

Hava-jetli tekstüre işleminin çalışma prensibi:

Hava-jetli tekstüre makinesi basitçe, besleme ipliği, ilave bir çift besleme silindirli iplik sevk sistemi bulunan uygun bir sarım kafası ve hava-jetinden oluşur. Beslenen ve elde edilmek istenen iplik özelliklerine göre makine ilave tertibatlarla (ısıtılabilen besleme silindirleri, ısıl fiske fırını vb.) donatılabilir (Hearle ve ark. 2001).

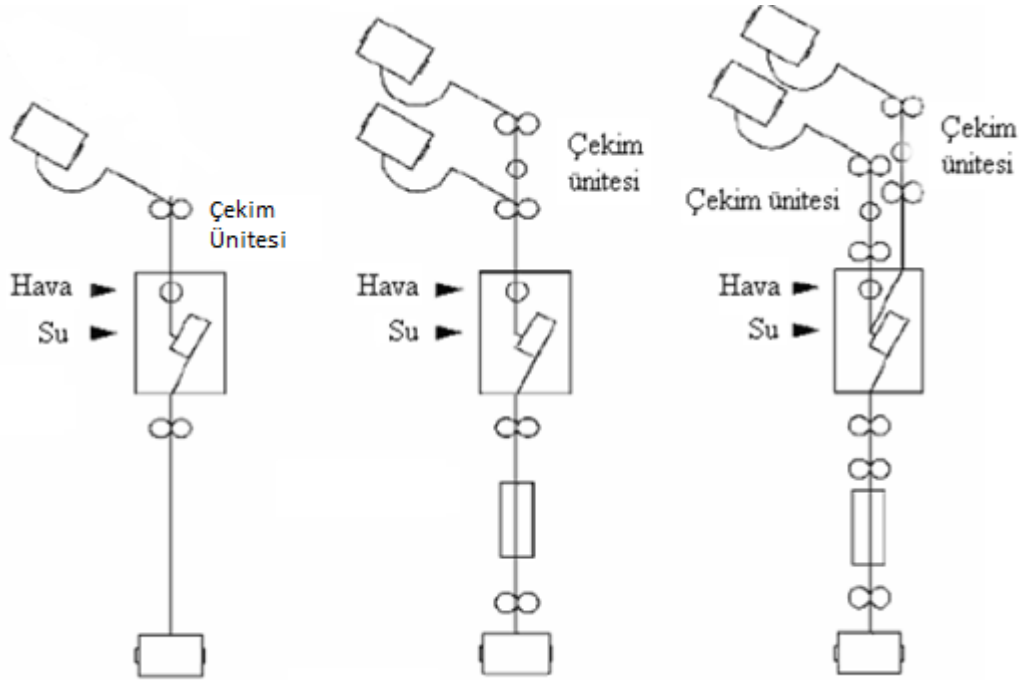
İşlem; tekstüre kutusuna girecek olan besleme ipliği hızının, jetten çıkış hızından daha yüksek olması (aşırı besleme) prensibini içermektedir. Bu aşırı besleme alım ve çıkış silindirleri arasındaki hız farkından doğar (Acar 1984).



**Şekil 2.9.** Hava-jetli tekstüre işleminin şematik gösterimi (<http://www.ssm.ch>, 2019)

Aşırı beslenen filamentler tekstüre jetinin içine girdiğinde jet boyunca taşınırlar ve jet sonundan dışarı fırlatılırlar, bu esnada tekstüre olmuş bir iplik yapısı oluşturmak için süpersonik ve türbülanslı hava akımının tesiriyle iplik yapısında karışıklıklar oluşturulur. Beslenen hava akımı ile filamentin çarpışmasının  $45^\circ$  olması en yaygındır (Canbolat 2006).

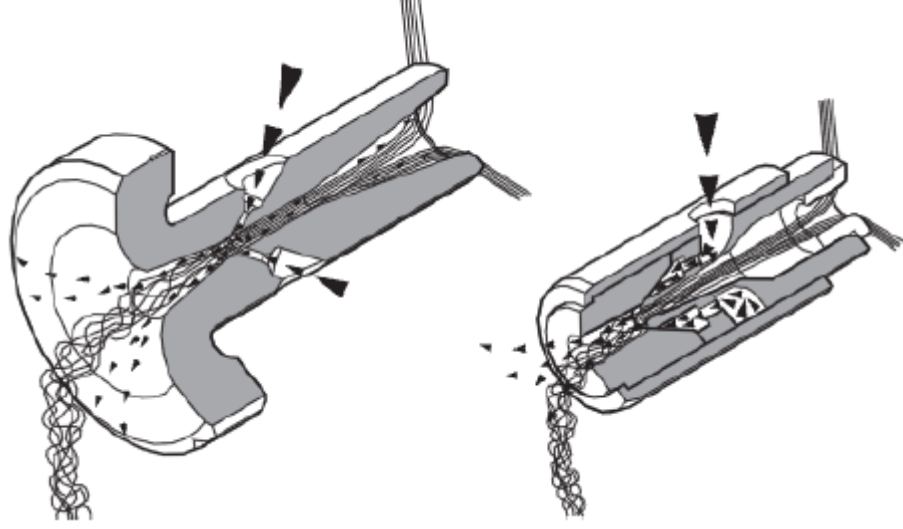
Tekstüre edilen iplik ısıtıcıdan geçirilerek ısıl fiksaj uygulanabilir. Daha sonra yağlama yapılarak sarım işlemi uygulanır (Acar 1984). Hava-jetli tekstürede üç tipte işlem ile iplik tekstüresi mümkündür. Tek uç tekstürede bir iplik beslenir ve çıkışta tekstüre olmuş iplik sarılır. Paralel tekstürede, aynı besleme hızıyla farklı iki ya da daha fazla iplik sisteme beslenir, fantezi tekstürede (merkez-efekt, core-effect), değişik besleme hızlarında iplikler sisteme beslenir (Demir 2006).



**Şekil 2.10.** Hava-jetli tekstüre makinesine iplik besleme seçenekleri  
a) Tek uç besleme, b) Paralel besleme, c) Merkez-efekt besleme (Hearle ve ark. 2001)

Jetler hava-jetli tekstüre sürecinin kalbidir. Yıllar boyunca hava-jetli tekstüre üretim hızlarındaki artış, daha yeni ve daha etkili jet tasarımlarının geliştirilmesi ile gerçekleşmiştir. Bu yeni tasarımlar ayrıca daha kararlı ve düzgün iplik yapılarının üretimine de yol açmıştır (Dani 2004).

Jetler metal bir jet gövdesine yerleştirildikten sonra kapalı bir bölüme yerleştirilir. Beslenen ipliğin jete girmeden önce ıslatılmasını sağlayan su-jeti de bu bölümde bulunur. Bu bölüm sayesinde hava-jetinin gürültüsü azaltılmış ve kullanılan su ve ipliğin üzerinden uzaklaşan eğirme yağları da toplanmış olur (Acar 1984).



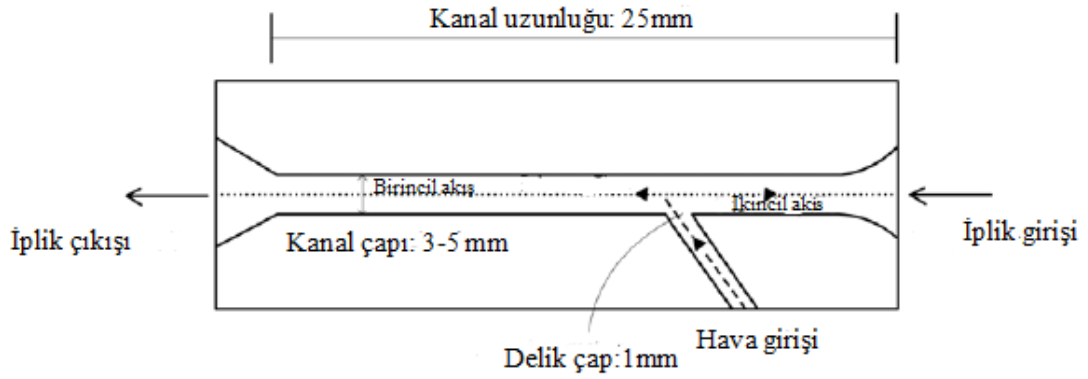
**Şekil 2.11.** Radyal ve silindirik hava-jeti kesiti (Hearle ve ark. 2001)

Jet çekirdekleri genellikle yüksek dereceli seramik veya tungsten karbür olan sinterlenmiş malzemedir (Hearle ve ark. 2001). Literatürde, jet materyalinin tekstüre iplik kalitesi üzerindeki etkisini açıklayan herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.



**Şekil 2.12.** Tekstüre kutusu (Muthusami 2011)

Tekstüre jetleri genellikle bir kutucuk içerisine alınmıştır. Bunun amacı sadece hava jetinden yayılan gürültüyü azaltmak değil aynı zamanda ısıtma ünitesinden dışarıya sıçrayan suyu ve iplikten uzaklaşan spin-finish yağını da toplamaktır (Demir 2006).



**Şekil 2.13.**Tipik bir hava-jetli tekstüre kanal dizaynı (Rwei ve ark. 2001)

Şekil 2.13’de tipik hava-jet kanal dizaynı gösterilmiştir. Ticari tekstüre jetleri, içinde bir giriş deliğinin veya daha küçük çaplı üç giriş deliğinin eğik olarak açıldığı silindirik bir ana kanaldan oluşur. Sıkışan hava, iplik kanalda düzgün bir yol izlerken bu giriş delikleri boyunca ana kanal içerisine alınır. Silindirik kanalın iplik giriş kısmı ikincil akış kesimi olarak adlandırılır ve kanalın diğer ucu genellikle trompet şekilli bir farklı çıkışa sahip birincil akış kesimidir. Silindirik tekstüre jetlerinin iki önemli ortak özelliğinden birisi her zaman hava besleme deliklerinin alanları toplamının ana kanal alanından küçük olmasıdır ve hava besleme deliklerinin ana eksen ile yaptıkları açı hep aynıdır (Acar 1984).

Hava-jetli tekstüre işleminde ilmek oluşum mekanizması:

Hava-jetli tekstüre işleminde ilmek oluşumu, jet içerisindeki süpersonik, türbülanslı, az miktarda asimetric ve düzgün olmayan bir hız dağılımının filamentleri taşıyıcı etkisiyle gerçekleşmektedir. Akıştaki asimetric, kanal içerisinde hava giriş deliklerine yaklaştıkça artarken, hava çıkış kesimine doğru azalır. Bu yoğun türbülans, filamentleri tüm kanal içerisinde ayrıştırıcı ve yanal olarak bir noktadan diğerine taşıyıcı etkiye sahiptir (Demir 2006).

Jet içinde süpersonik ve türbülanslı hava akımı alanı üretilmesinin yanı sıra, jetin bir başka fonksiyonu, ipliği jet kanalından yüksek hızlarda itmektir. Bu nedenle, iplik aşırı

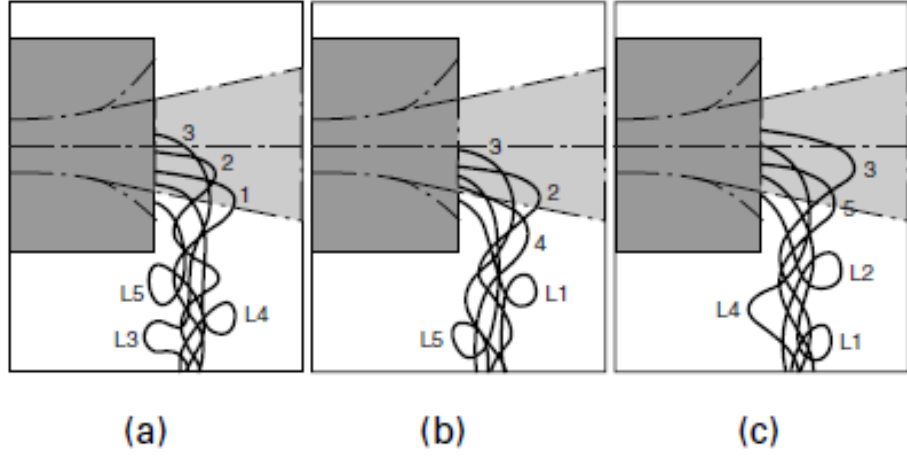


besleme etkisinin gerekleŖtiđine inanılan hava giriŖ düzlemine kadar gerginlik altındadır (Dani 2004). Jet kanalı içerisindeki türbülanslı hava akıŖından ve filamentler üzerine akıŖkan tarafından uygulanan kuvvetler lokal akıŖkan hızının bir fonksiyonu olduğundan, filamentlere farklı kuvvetler uygulanır ve filamentler kanal içerisinde ayrıŖıp farklı hızlarla farklı miktarlarda kanal boyunca hareket ederler (Acar 1984).

Hava-jetli tekstüre iŖleminde baŖlangıta Taslan olarak tanıtılan hava-jetli tekstüre prensibinde iplik bir jetin içine yığılır ve filamanların fazla uzun olan kısımları çıkıntı yapan ilmekler olarak görünür. Orijinal iŖleminde, ilmeklerin kilitlenmesi için iplik çekme sırasında bklmŖtr ve bükümlü ipliklerle iŖlem yapılmıŖtır. Daha sonraki alıŖmalarda iki ilke açıklığa kavuŖmuŖtur. İlk olarak, iplik jetten çıktıkça dik açılı bir kıvrım yapmaktadır. Bu, ilmeklerin ipliğin ana gövdesinden çıktığı noktadır. İkincisi, karıŖmıŖ filamentler jet içerisinde, ilmeklerin ipliğe kilitlenmesini sağlayabilir, bu yüzden önceden büküm yapmak gereksizdir. Eğer iki iplik beslendiyse, daha dŖk beslemeli olanı merkez ipliği için daha önemli olacak, daha yüksek aŖırı beslemeli olanı ise ilmekler için daha önemli olacaktır (Hearle ve ark. 2001).

Acar ve arkadaşlarının (1986) ilmek oluŖum mekanizmalarına göre, her bir filamentin üzerine etkiyen akıŖkan kuvvetleri farklı olduğundan, herhangi bir anda bu filamentler farklı hızlarda hareket ederler.

AŖırı besleme, filamentlere hareket serbestliği verdiğinden dolayı, daha hızlı hareket eden filamentler daha yavaŖ hareket edenlere oranla daha ileriye fırlayacaktır. Bu ileri fırlamanın miktarı, filamente o anda etkiyen sürükleme kuvveti, filamentler arası sürtünme kuvveti ve aŖırı besleme miktarı tarafından belirlenecektir (Demir 2006).



**Şekil 2.14.** Hava-jetli tekstüre işleminde ilmek oluşum mekanizması (Acar ve ark. 1986)

Tekstüre iplik, tekstüre işlemi hızında, jet eksenine dik açıda jetten çekilir. Filamentler birbirine dolanmış ve ilmekler halinde oluşturulduğundan, elde edilen tekstüre ipliğin boyu kısalır ve tekstüre etkinliğinin belirlediği bir büyüklükte bir gerilim oluşur. Böylece, bir yandan ortaya çıkan filamentler, tekstüre hızından çok daha büyük hızlarda, hava akımının yönü boyunca jetten dışarı üflenir; bir yandan da iplikte meydana getirilen gerilim, ortaya çıkan filamentlerin "önde gelen uçlarını" iplik alım yönünde (aşağı doğru) çeker. Filamentlerin arka uçları, çok daha yavaş hareket eden tekstüre iplik (ön uç) merkez içinde tutulurken, jet çıkış düzlemine oldukça yakın tutulup aşağı doğru çekilir. Bu nedenle ortaya çıkan filamentler, üzerlerine etki eden akışkan kuvvetleri tarafından ilmek veya köprü oluşturmaya zorlanırlar. Bunlar daha sonra, tekstüre ipliğin içinde sabit kararlı ilmekler halinde oluşturulan diğer gelişmekte olan filamentler ile dolaştırılır. İlmek oluşumu ve müteakip kıvrımdan kaynaklanan artan gerginlik, ilmek oluşturan filamentlerin, jetin alt kısmına geçmesine neden olur, çünkü bunlar "arka" ve "ön uçlar" arasında mümkün olan en kısa yoldur. Bu nedenle jetteki filamentler pozisyonlarını değiştirirler (Acar ve ark. 1986).

Şekil 2.14(a)'da 1 numaralı filament diğerlerine göre daha hızlı hareket etmektedir ve en büyük uzunlamasına hareketini oluşturarak jetin çıkış kısmından en uzak mesafeye püskürerek gevşek bir yay oluşturur.

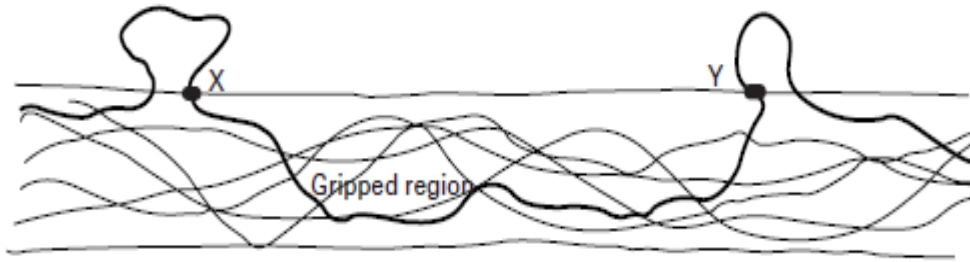
Hemen ardından, Şekil 2.14(b)'de diğer filamentlerin yanal ve uzunlamasına hareketi dolayısıyla, ipliğe sıkıca bağlanmış bir L1 ilmeğine dönüşür. L1 ilmeği, 1 numaralı ilmeğin gerginliğini artırır ve bu artış ipliğin toplam gerginliğinin artmasını da sağlamış olur ve neticede de filamentin aşağıya doğru ve jet gövdesinin yakınına doğru çekilmesini sağlar.

Bu esnada, 2 numaralı filament, türbülanslı hava akımı ve filamentlerin hareketi neticesinde pozisyonunu değiştirip en yüksek hızlı hava akımının etkisi altına girerek en hızlı hareket eden filament haline gelir ve jetten ileriye püsküren filament olur, tıpkı 1 numaralı filamentin önceden yaptığı gibi gevşek bir yay oluşturur. Ardından Şekil 2.14(c)'deki 2 numaralı filament L1 ilmeğinin mekanizması ile aynı olarak L2 ilmeğini oluşturur. 3 numaralı filament de benzer şekilde ilmek oluşturmaya devam eder (Demir 2006).

İplik yüzeyinde ilmek olarak görünmeyen diğer filamentler de aslında ipliğin özünde sıkıca karışmış ve dolaşmış olarak yüzey ilmeklerinin kitlenmesine katkıda bulunur. İzah edilen bu ilmek oluşum mekanizması, tasarımları ne kadar farklı olursa olsun tüm tekstüre jetleri için geçerlidir (Demir 2006).

Hava-jetli tekstüre iplikler için kritik bir konu, ilmeklerin ipliğe kilitlenip kilitlenmediği veya gerilim uygulandığında çekilip çekilmeyeceğidir. Bu, ipliklerin gerinim-gerilim tepkisinin tahmini ile ilgilidir. Yapısal detaylar hakkındaki belirsizlikler ve karmaşıklıkların modellenmesindeki zorluklar, kesin bir analiz yapılmadığı anlamına gelir. Ancak, takip eden benzer deneyler, önemli ilkeleri ortaya çıkarmaktadır. Analizler, tekstüre edilmiş ipliklerin mekanik işlemlerini takip eder. Çıkıntı yapan ilmekler serbest iplik uçları ile aynı şekilde hareket eder. Tek fark, ilmeklerin sadece merkez ipliğin yüzeyinde meydana gelmesidir, diğer taraftan iplik uçları, ipliklerin dış veya iç kısımlarında olabilir ve eğer tam bir kayma varsa, iplik kopmak yerine, nihayetinde güçlü, sürekli filamentli bir iplik gibi davranır. Esas benzerlik, her iki iplik ucunda gerilimin sıfır olması ve liflerin iplikler içinde kavranmasıyla oluşmasıdır (Hearle ve ark. 2001).

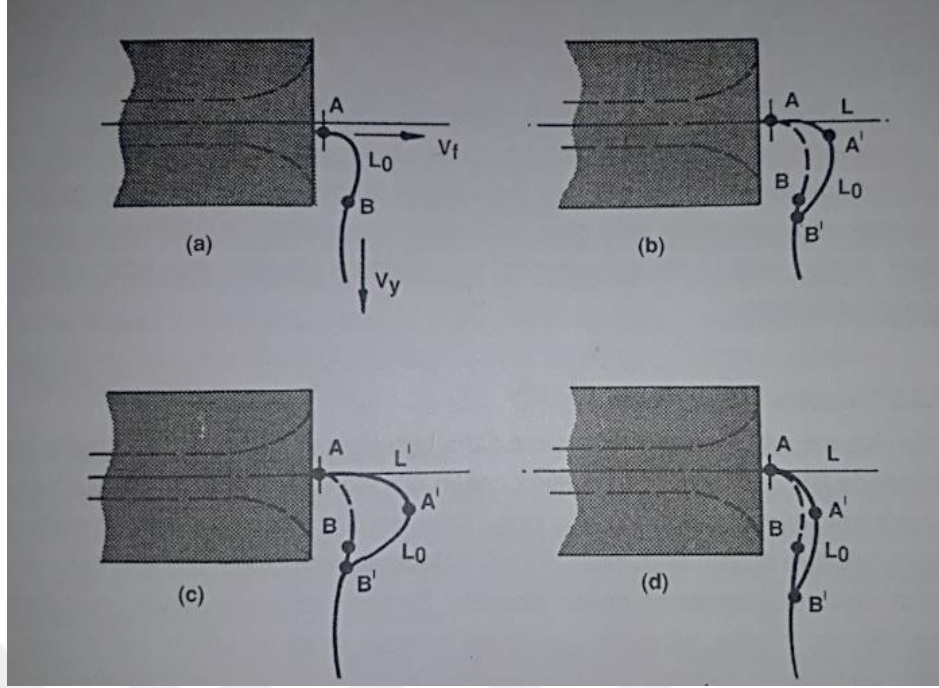
Kayma, en çok ilgi çeken faktördür. Şekil 2.15’de gösterildiği gibi bir ipliği ele alırsak, kayma ipliğin ilmek haline geldiği X ve Y noktalarından başlayacaktır. Bu noktalarda lif gerilimi sıfırdır. Merkez ipliğin içinde, komşu ipliklerden enine kuvvetler tarafından kavranır ve sonuç olarak kaymaya karşı sürtünme direnci oluşmuş olur (Hearle ve ark. 2001).



Şekil 2.15. İplik içindeki ilmekler arasındaki lif (Hearle ve ark. 2001)

Hava-jetli tekstüre işleminde ilmek oluşumunu etkileyen parametreler:

İlmeğin oluşumunu etkileyen parametreleri analiz edebilmek için Acar (1984) Şekil 2.16’da gösterildiği gibi jetten dışarı püskürtülen bir filamentin göz önüne almıştır (Demir 2006). Şekilde A noktası takip eden uçtur, B noktası ise önde giden uçtur. A ve B noktaları sırayla A<sup>1</sup> ve B<sup>1</sup> noktalarına erişirler. Birim zamanda jetten dışarı fırlayan filamentin uzunluğu L, A ve B noktaları arasındaki uzunluk ise L<sub>0</sub>’dır (Acar 1984).



Şekil 2.16. Tekstüre jetinden çıkan filamentler (Demir 2006)

1.Hava basıncının etkisi: Hava basıncını arttırarak daha etkili tekstüre elde edilmesi muhtemeldir. Hava basıncı arttıkça, hava akışı daha hızlı ve daha güçlü bir girişe dönüşecek, filamentin hızı arttırılacak ve dışarı püskürtülen filamentin serbest uzunluğunun süresi de kısalmaktadır. Bu, ilmek oluşumunun sıklığında ve dolaşıklık sürecinin verimliliğinde bir artışa neden olacaktır. Filamentler üzerinde etkili olan kuvvetler arasındaki farklar da artacak ve daha büyük nispi uzunlamasına yer değiştirmelere neden olacaktır (Zhu 2016). İlmek oluşumu ani ve fasıllı bir işlem olduğu için, filament hızının artışı ilmek oluşum frekansını da arttıracaktır. Bu nedenlerden dolayı, yüksek hava basınçlarında daha etkin tekstüre etkisi elde edilecektir (Demir 2006).

2.Besleme ipliği özelliklerinin etkisi: Besleme ipliği içerisindeki filament adedi arttıkça filamentlerin birbirine dolaşma ihtimali de artacaktır ki bu sonuçta daha etkin bir tekstüre işlemi ve daha iyi tekstüre olmuş bir iplik anlamına gelecektir. İnce filamentlerde eğilme rijitlikleri daha düşüktür ve bundan dolayı bu filamentler daha

kolay ilmek ve dolaşıklık oluşturacaktır. Kesit şekilleri de ilmek oluşumunda etkilidir. Örneğin ince elips kesitli iplik daha az rijitlik vardır (Demir 2006).

3. Aşırı beslemenin etkisi: Aşırı besleme oranındaki artış, belirli bir zaman aralığında jetten dışarı üflenen filamentin uzunluğunu arttırdığı için, ilmek büyüklüğünde ve ilmek frekansında bir artışa neden olur. Bununla birlikte, iplik gerildiğinde, daha az kararsız olacaktır (Zhu 2016). Tekstüre hızı değiştirilmediğinden dolayı, Şekil 2.16(c)'da gösterildiği gibi, B noktası daha ileriye gitmeyecek ve A ile B' noktaları arasındaki daha uzun filament birim zamanda ya daha büyük ilmekler ya da birkaç tane ilmek oluşturacaktır (Acar 1984). Daha fazla dolaştırılmış ilmekler daha yüksek ilmeklerin çıkarılma olasılığını doğuracaktır ve böylece iplik numarasında artış meydana gelecektir. Böylece tekstüre işleminin sonucu olarak yüzeyde oluşan ilmek sayısı ve büyüklüğü artacaktır. (Baştürk 2013). Aşırı besleme oranı, aşırı yüksek olduğunda ilmek oluşmaz çünkü çok daha uzun serbest filamentler jetten dışarı üflenecek ve iplik gerginliğinin düşmesinden dolayı ipliğin ilmek oluşturma işlemi başarısız olacaktır (Zhu 2016).

4. Tekstüre hızının etkisi: Tekstüre hızının artması, verilen filament uzunluğunun hava akışına maruz kalma süresini azaltmaktadır. Başka bir deyişle, filamentlerin sahip olduğu zaman veya hava ile olan etkileşimi, stabil ilmekler oluşturabilmeleri için yeterli olmayabilir. Bu koşullar altında oluşan ilmekler, daha sonraki gerilmeler altında kolaylıkla çözülebilir ve bu da düşük kaliteli hava-jetli tekstüre ipliklerin elde edilmesiyle sonuçlanabilir (Zhu 2016). Şekil 2.16(d)'da gösterildiği gibi, hızın artması ile birlikte B noktası daha hızlı hareket edecek ve BB' mesafesi artacaktır. L uzunluğu değişmediğinden, hızın artması A ve B' noktaları arasındaki filamentin düze yakın yaylar oluşturmaya sebep olacaktır (Demir 2006). Tekstüre hızının azaltılması ile daha fazla dolaşıklık ve karmaşıklık oluşturulabilmenin yanında ilmek sıklığı da artacaktır. İlmek sıklığı arttıkça, iplik tekstüre özelliklerini üzerinde daha belirgin taşıyacaktır. Böylece sentetik iplik, doğal ipliklere daha fazla benzemiş olacaktır. Tüm bu olumlu sonuçların yanında, hız azaltıldığında üretim miktarının da azalması, beklenen verim için uygun olmayacağından, optimum değer uygulanması görüşü önemle dikkate alınmalıdır (Baştürk 2013).

5.Çekim oranının etkisi: Çekim oranı; iplik, tekstüre bölgesine girmeden önce gerildiği miktardır (Hearle ve ark. 2001). Çekim, ipliklerin üzerlerine sarıldığı sıcak galemler arasında meydana gelir. Bu bölgedeki gerginlik, tekstüre işleminin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Bir diğer çekim ise tekstüre çıkış noktası ile alım silindirleri arasında gerçekleşir. Mekanik germe oranı denilen bu bölgede uygulanan çekim sayesinde tam olarak ilmek oluşturamamış lifler çözülür, ilmek oluşturabilmiş liflerin daha iyi kilitlemesi sağlanır. Böylece tekstüre ipliğın kararlılığının artırılması amaçlanır (Baştürk 2013). Mekanik germe oranları genellikle %2-6 seviyelerindedir. Daha yüksek çekimler filamentlere zarar verebilir hatta iplik kopuşlarına sebep olabilir. Mekanik germe oranı arttırıldıkça iplik kararsızlığının azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, iplik merkezinde sıkıca bağlanmış ilmeklerin artan mekanik germe oranları ile yok edilmeleridir. Yüksek çekim oranlarında filament kopuşları gerçekleşmektedir. Bu nedenle, mekanik germe oranının kopuşa neden olacak kadar yüksek olmaması tavsiye edilmektedir. Mekanik germe oranı artışı ile iplik inceliğinde artış meydana geldiği görülmektedir. Yüksek mekanik germe oranlarında, uygulanan gerginliklere iplik ve ilmekler karşı koyacaklar hatta elastik olarak deforme olmaları nedeniyle kuvvet ortadan kalktığında geri toparlayacaklardır (Demir 2006).

6.Jet tipinin etkisi: Jet tipi seçiminde yapılması gereken ilk seçenek, bir aksel veya radyal jetin hangisinin üretilmek istenen ipliğın özelliklerine uygun olacağına karar vermektir. Radyal jetler orijinal aksel jetlere nazaran daha ince iplikler için kullanılmasına rağmen (çoğunlukla daha az hava tüketecek şekilde tasarlandıkları için ekonomiktir), her iki tipte jet kullanılarak üretilebilen çok sayıda iplik bulunmaktadır. Bu aralık 500-5000 denye arasındadır. Aksel jet, çok daha yüksek aşırı besleme ile çalıştırılabilir. Uygulama, tekstüre ipliğe stabilite kazandırmak için %4–20 aralığında merkez aşırı beslemelerin kullanılmasıdır. Bu, ipliğın bazı durumlarda %100'ün üzerinde aşırı beslenmesini sağlar. Dnye artışının ortalama aşırı besleme ile orantılı olması nedeniyle, aksel jet kullanılarak üretilen ipliklerin genellikle iri ve hacimli oldukları anlaşılabilir. Radyal jetler, daha düşük toplam aşırı beslemenin gerekli olduğu ve yüksek işlem hızlarının arzu edildiği yerlerde kullanılır. Toplam denye 700'den az olduğunda veya küçük düzenli ilmeklere sahip düzgün bir ipliğın gerekli olduğu durumlarda, giriş ve son ipliklerin denye bakımından daha yakın olduğu durumlarda

kullanılabilir. Radyal tipteki jet üzerinden toplam aşırı besleme sadece %40'ın altında tutulmamalı, aynı zamanda merkez ve sonuç aşırı besleme arasındaki fark %30'u geçmemelidir (Hearle ve ark. 2001).

7. Isıtıcı galetlerin etkisi: Hava-jetli tekstüre işlemi temelde ısı gerektirmeyen bir süreç olmakla beraber iplik özelliklerinin optimizasyonunu sağlayabilmek amacıyla, genellikle poliester iplik üretiminde ısıtıcı galetler kullanılabilir (Baştürk 2013). Galetler, ilk iki silindir arasında yer alır ve sabit bir çekme noktası ve POY'u, camsı geçiş sıcaklığının (Tg) üzerine ısıtmak için kullanılır. Galetlerin tipik sıcaklıkları 135–160°C arasındadır. Bu, Tg'yi aşmak için gerekenden daha yüksektir. Bununla birlikte, hava-jetli tekstüre temel olarak ısı gerektirmeyen bir işlemdir. Bazen galet tek ısı kaynağıdır ve bu yüzden tekstürel poliester ipliğin artık büzülmesini azaltmak için normalin üstünde bir sıcaklıkta çalışılır (Hearle ve ark. 2001). Galetler yardımıyla ısı uygulaması daha çok filamentler ile ilgilidir. Tekstüre yapısı oluşmadan ipliklere uygulandığı için iplikten ziyade filament içindeki moleküllerin hareketliliğinin ve yerleşme çabasının öncülüğünü yaparlar (Baştürk 2013).

Hava-jetli tekstüre işleminde kullanılan lifler ve kullanım alanları:

Hava-jetli tekstüre iplikleri üretmek için çeşitli lifler kullanılabilir. Bu liflerin kullanım oranları aşağıdaki gibidir (Heberlein 1999);

Poliester (35%),  
Poliamid (33%),  
Polipropilen (22%),  
Cam (2%),  
Viskoz (0,5%),  
ve diğerleri (7,5%).

Hava-jetli tekstüre iplikler konvansiyonel ve teknik alanda birçok uygulamada tercih edilmektedirler. Bu kullanım alanlarına üst giyim, döşemelikler, dikiş iplikleri, taşıma



bantları gibi pek çok örnek verilebilir (Acar 1989). Çizelge 2.5’de hava-jetli tekstüre ipliklerin özellikleri ve uygulama alanları belirtilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Hava-jetli tekstüre iplik özellikleri ve kullanım alanları (Coşkunsel 1986, Hearle ve ark. 2001)

Kullanım yeri	Besleme ipliği	Özellik	Açıklama	İplik yapısı
Dikiş ipliği	PES, PA	Düşük sürtünme	Daha az ısman iğne, daha düşük iğne sürtünmesi, iyi örtücülük	C/E ve tekspun
Spor giysileri, spor iç çamaşırları, ceket, pantolon, gömlek, bluz, palto, iş tulumu, yağmurluk, otomobil koltuk kaplaması, otomobil iç döşemelikleri,	PA/PES PES, PA, PP Düşük ve Ultra Düşük DPF	Kesikli liflerden oluşan iplik benzeri yapı	Daha çok naylon ve polyester kullanılır, polyester POY ipliklerden yapılır, mikrofilamentler, çift katlı kumaşlar üretilir.	C/E(tek+paralel) Tek+ C/E tekspun
Kayak kıyafetleri, masa örtüleri, yatak örtüleri, kemer, kayışlar, bavul, sırt çantası	PES, PA	Yüksek sürtünme özelliği	Kaymaya karşı dayanıklı	C/E(tek+paralel)
Endüstriyel iplikler, branda, kaplanmış kumaşlar, lastiğin topuk bölgesinde kullanılan kumaş, baskılı kablolar	PES, PA	Boyutsal kararlılık		C/E(tek+paralel)
Perdeler, ev tekstili, duvar kaplamaları, dekoratif kumaşlar	PP, PES, Cam lifi	Yapısal etkiler	Çok değişik yapılarda olabilir, güç tutuşur vb.	C/E(tek+paralel)

### **2.3 PET ve PBT İpliklerinin Hava-jetli Tekstüre İşleminde Kullanılmasına Yönelik Literatür Araştırması**

Literatürde hava-jetli tekstüre işleminin ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Wray, Acar, Demir ve Bilgin tarafından yapılan çalışmalar, besleme ipliği ve çalışma parametreleri etkilerinin analizleriyle hava-jetli tekstüre konusunda temel kaynakları oluşturmaktadır. Demir, Acar ve Wray (1988) yaptıkları ortak çalışmada uygun jet ve koşullar altında, optimum filament inceliği ve sayısında etkili bir şekilde tekstüre işlemi olacağı sonucuna varmış, Acar ve Bilgin (2006) su, eğirme yağı ve sürtünmenin ilmek oluşumu üzerindeki etkilerini incelemiş, Demir ve Bilgin jet tasarımlarının hava-jetli tekstüre işlem performansı üzerine olan etkilerini inceleyen çalışmalar yapmışlardır (Bilgin ve ark. 1996; Demir 2006).

PET ve PBT ipliklerinin hava-jetli tekstüre davranışlarının incelenmesi amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Geçmişte yapılan temel çalışmalar, güncel teknik lif kullanımları, otomotiv tekstilleri ve iplik kararsızlığı konularında yapılan çalışmalar kronolojik sırayla listelenmiştir. Ayrıca PBT ipliklerinin yalancı büküm yöntemi ile tekstüre edilmesi konusunda yapılan çalışmalara da yer verilmiştir.

Kothari ve ark. (1991) yaptıkları çalışmada, farklı sürtünme özelliklerine sahip olan poliester besleme iplikleri kullanarak hava-jetli tekstürede suyun rolünü araştırmışlardır. Farklı sürtünme özelliklerine sahip poliester multifilament iplikler hem kuru hem de ıslak tekstüre koşullarında hava-jetli tekstüre edilmiştir. Islak tekstürelili iplikler daha stabil ve daha fazla hacme sahip olmuştur ve bu ipliklerin yüzey yapısı, benzer sürtünme özelliklerine sahip olan besleme iplikleri ile kıyaslandığında daha fazla ilmek sıklığı, daha düşük ilmek yüksekliği, daha yüksek bir çıkıntı yüzdesi ve kapalı ve çapraz ilmekler göstermiştir.

Kothari ve diğ. (2001) tarafından tekstüre ipliğinin kararsızlığı üzerine işlem parametrelerinin etkisinin araştırıldığı çalışmada, kararsızlık ölçme yöntemlerinden DuPont yöntemi kullanılmıştır. Aşırı besleme oranının artmasıyla kararsızlık değişiminin, tekstüre hızının artmasıyla oluşan değişimden daha fazla olduğu, yüksek

hava basıncı şartlarında ise tekstüre hızı arttıkça kararsızlığın azaldığı, tekstüre hızı düştükçe kararsızlığın arttığı belirlenmiştir.

Kothari ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, poliester/yün karışımı hava-jetli tekstüre ipliklerin ve bunlardan yapılan kumaşların özelliklerini incelemiştir. Poliester/yün karışımı bükülmüş ipliğin hava-jetli tekstüre işlemi gerçekleştirilmiş ve dokuma ve örme kumaşlar bükümlü ve tekstüre iplik kullanılarak üretilmiştir. Bükümlü ve tekstüre ipliklerin ve bükümlü ve tekstüre iplikler kullanılarak üretilen kumaşların özellikleri karşılaştırılmıştır.

Rengasamy ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, PET hava-jetli tekstüre ipliklerin gerilme-gerinim karakterlerini incelemiştir. Hava-jetli tekstüre ipliğin gerilme-gerinim özellikleri, aşırı besleme ve merkez besleme iplik özellikleri dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenir. Tekstüre işleminden sonra, iplik mukavemetinde ve iplik modül değerlerinde önemli bir azalma görülmüştür.

Jonaitiene ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, PES/PTFE hava-jetli tekstüre dikiş ipliklerinin özelliklerini incelemiştir. Bu iplikler çeşitli giysileri dikmek için tasarlanmıştır ve Kaunas Teknoloji Üniversitesi Tekstil Teknolojisi Bölümü tarafından üretilmiştir. Hava-jetli tekstüre sırasında, hava basıncı, efekt ve merkez ipliklerin aşırı beslenmesini içeren üretim parametreleri değiştirilmiştir.

Rengasamy ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada, poliester hava-jetli tekstüre ipliklerin dinamik sürtünme özelliklerini incelemiştir. Bir sürtünme ölçme aparatı kullanılarak, ipliklerin metale ve ipliğin-ipliğe sürtünme modları altında ipliklerin dinamik sürtünme kuvvetleri ölçülmüştür. Çalışmada aşırı besleme, hava basıncı, kuru/ıslak üretim gibi hava-jetli tekstüre işlem parametrelerinin ipliklerin dinamik sürtünme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Kim ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, otomobil döşemelik kumaşları için PET hava-jetli tekstüre ipliklerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Tekstüre hızı ve aşırı

besleme gibi iki farklı parametre ile hava-jetli tekstüre koşullarının iplik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile yüksek performanslı otomobil koltuk kumaşlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Rengasamy ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, hava-jetli tekstüre poliester iplikli ve pamuklu kumaşların termo-fizyolojik konfor özelliklerini incelemişlerdir. Hava-jetli poliester iplikler, filament inceliğinde ve filament sayısında farklılık gösteren iki besleme ipliği kullanılarak üretilmiştir. Hava-jetli tekstüre parametrelerinin kumaşın termo fizyolojik konfor özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için, dokuma kumaşlar kalınlık, termal özellikler ve hava geçirgenliği açısından test edilmiştir. Kumaşların enine hava geçirgenliğinin, tekstüre ipliklerin merkezinde bulunan kılcal damarların boyutuna, sürekliliğine ve hizalanmasına bağlı olduğu görülmüştür.

Manish ve Punj (2009) yaptıkları çalışmada, poliester/viskoz karışımı ipliklerin hava-jetli tekstüre optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada 2 tip FOY, 80/75 dtex poliester, 80/24 dtex viskoz üretilmiştir. Tekstüre hızındaki artış ipliğin fiziksel hacminde düşüşe, kararsızlığında ve mukavemetinde ise artışa neden olmuştur. Hava basıncındaki ya da aşırı beslemedeki artış ile fiziksel hacim ve kararsızlık artmış, buna karşılık mukavemet düşmüştür.

Koç ve Hockenberger (2010) yaptıkları çalışmada, teknik poliester ipliklerin hava-jetli tekstüre davranışlarını incelemişlerdir. Filamentlerin yüzeyleri elektron tarama mikroskobu (SEM) çalışmaları ile incelenmiştir. Sonuçlar hava-jetli tekstüre sonucunda daha pürüzlü filament yüzeylerinin elde edildiğini göstermiştir. Aşırı besleme oranındaki artış, yüzeyde daha ilmekli bir yapının elde edilmesine yol açmıştır. Ayrıca liflerin esneklik rijitlikleri hesaplanmış ve yüksek esneklik rijitliğine sahip olan liflerin açık ilmek, düşük esneklik rijitliğine sahip olanların ise kapalı ilmek oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Mahish ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, poliester/viskon karışımı hava-jetli tekstüre iplikli kumaşların konfor ve ilgili özelliklerini incelemişler bu kumaşları ve benzer

doğrusal yoğunluktaki poliesterviskon ring iplik atkılarında yapılan kumaşlarla karşılaştırılmıştır. Karışımındaki poliester içeriğinin artmasıyla, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliğinin azaldığı, buna karşın hem eğrilmiş ipliklerde hem de tekstüre iplikli kumaşlarda ısı direnç, enine fitilleme ve kesme mukavemetinin artması ile tekstüre iplikli kumaşlarda bükülme sertliğinin arttığı gözlenmiştir.

Mamood ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, lamine cam dokuma kumaş kompozitlerin yapışma mukavemetini arttırmak için hava-jetli tekstüre cam iplikler geliştirmişlerdir. Hava basıncının, iplik aşırı besleme oranının, iplik doğrusal yoğunluğunun ve merkez/efekt oranının etkileri incelenmiştir. Cam ipliklerin dayanımı, tekstüre işleminden sonra önemli ölçüde azalmıştır. Azalma, daha yüksek doğrusal yoğunluğa sahip merkez iplikler için daha düşük çıkmıştır. Hava basıncının mukavemet üzerindeki etkileri ise önemsiz bulunmuştur.

Canoğlu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, çekim oranı, galet sıcaklığı ve aşırı besleme oranının, hava-jetli tekstüre PET ipliklerin renk değerlerine olan etkilerini incelemiştir. Değişen çekim oranı, galet sıcaklığı ve aşırı besleme oranı, hava-jetli tekstüre ipliklerin renk değerleri sonuçlarını etkilemiştir. Aşırı beslemenin, hava-jetli tekstüre ipliğin renk değerlerini en çok etkileyen parametre olduğu görülmüştür.

Baldua ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, besleme ipliği parametrelerinin hava-jetli tekstüre ipliğinin performansına olan etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, filament inceliğinin, filament enine kesit şeklinin ve iplik numarasının, hava-jetli tekstüre ipliklerin kalınlığı, kararsızlığı ve mukavemetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Javidpanaha ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, ısı işlem görmüş modifiye poliester hav ipliği ile üretilen kesik havlı halının kalınlık kaybı üzerine dinamik yükleme testlerini yapmışlardır. Bulgular, frize ve ısı fikse süreçlerinin, dinamik yükten sonra halının dinamik geri kazanımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir.

Koç ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, üç farklı poliester filament ipliği, (PET, PBT ve Vectran) kullanarak, hava-jetli tekstüre ipliklerin kararsızlığının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Hava-jetli ipliklerin kararsızlık davranışları hem Demir (2006)'in kararsızlık ölçüm test yöntemi hem de elastik toparlanma deneyleri kullanılarak incelenmiştir. Demir'in yönteminin, aynı hammaddeden üretilen hava-jetli tekstüre ipliklerin kararsızlıklarını karşılaştırmak için pratik ve güvenilir bir yol olduğu görülmüştür. Farklı materyalleri karşılaştırmak için ise elastik toparlanma deneylerinin daha yararlı olduğu görülmüştür.

Canoğlu ve Yükseloğlu (2016) yaptıkları çalışmada, besleme ipliğine ait filamentlerin enine kesit şekillerinin hava-jetli tekstüre iplik özellikleri üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Üç farklı jet tipinde ve üç farklı merkez iplik beslemesinde iki farklı lif kesitiyle iplikler türü üretilmiştir. Üretilen ipliklerin mekanik özellikleri ve yapıları incelenmiştir. Genel sonuçlar, yuvarlak enine kesit ile daha kaba hava-jetli ipliklerin, trilobal enine kesit ile ise daha yüksek kopma mukavemetine, kopma uzamasına ve kopma işine sahip hava-jetli tekstüre ipliklerin üretildiğini göstermiştir.

Wickramasinghe ve Foster (2016) yaptıkları çalışmada, hava-jetli tekstüre işleminde kullanılan basınçlı havaya alternatif olarak buharın kullanıldığı bir sistemde, merkez iplik çekim oranı ve merkez iplik ısıl fiksesinin tekstüre performansına olan etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar, merkez iplik çekim oranı arttığında merkez iplik ve tekstüre iplik geriliminin arttığını ve ilmek kararsızlığının azaldığını göstermiştir.

Huang ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, Naylon 6 ve PET filamentleri ile karıştırılmış merkez/efekt hava-jetli tekstüre ipliklerin hazırlanması ve özellikleri üzerine çalışmışlardır. Aşırı besleme oranının, filament kombinasyonunun etkisi ve hazırlanan tekstüre ipliğin yapısı ve özellikleri üzerinde çalışılmıştır. Sonuçlar, tekstüre ipliğin mukavemeti ve dengesizliğinin, aşırı besleme oranının artmasıyla azaldığını gösterirken, tekstüre ipliğin numarasının, kararsızlığının ve ilmek oranının, aşırı besleme oranındaki artışla arttığını göstermiştir.

Koç ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, filament enine kesitinin otomotiv döşemelik kumaşlarının performansına olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan enine kesitler arasında W-kanalın en farklı hava-jetli tekstüre iplik yapısını verdiği gözlenmiştir. Tüm enine kesit türleri için, ilmekli yapıdaki artış, daha yüksek kalıcı uzama değerlerine yol açmıştır. Çalışmada kullanılan tüm kesit tipleri, kumaşlarda ışık haslığı ve aşınma direnci testleri için tatmin edici sonuçlar vermiştir. Değişen filament kesitinin en önemli etkisinin hava geçirgenliğı üzerinde olduğu sonucuna varılmıştır. W-kanal en düşük hava geçirgenliğini verirken, oktlobal en yüksek olanı vermiştir.

Baldia ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, besleme ipliğı filament inceliğı ve bazı hava-jetli tekstüre işlem parametrelerinin kumaşın bası özellikleri üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Analizler, kumaşın bası özelliklerini belirleyen en önemli faktörün aşırı besleme oranı, rezilyans davranışını belirleyen en önemli faktörün ise filament inceliğı olduğunu göstermiştir.

Çelik ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, yalancı büküm yöntemine göre farklı parametrelerde üretilen PBT ipliklerden örülen kumaşların patlama dayanımını incelemişlerdir. Sonuçta tekstüre parametreleri ile örme kumaşların patlama dayanımlarını ilişkilendirmişlerdir.

Yapılan literatür taramalarına göre hava-jetli tekstüre konusunda PET lifi başta olmak üzere birçok lif çeşidi kullanılarak çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Fakat PET ve PBT ipliklerinin hava-jetli tekstüre davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelendiğı sistematik bir çalışmaya rastlanmamıştır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada iplik numaraları ve filament sayıları aynı olan, PET (POY) ve PBT (POY) iplikler hava-jetli tekstüre işlemine tabii tutulmuştur. Tekstüre işlemi 3 farklı aşırı besleme (%20, %40 ve %60) ve 4 farklı mekanik germe oranı (%0, %2, %4, %6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fikse fırınının etkisi de fırının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda numuneler üretilerek incelenmiştir. Bu bölümde kullanılan materyaller, cihazlar ve yöntemler ayrıntıyla açıklanmıştır.

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan PET Korteks Firması'ndan, PBT ise Polyteks Firması'ndan temin edilmiştir. Her iki iplik de POY formunda kullanılmıştır. İplik özellikleri Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan ipliklerin özellikleri

İplik tipi	İplik numarası (dtex)	Filament sayısı	Kopma dayanımı (N/tex)	Kopma uzaması (%)	Kopma yükü (N)	İlk Modül (N/tex)
PET	167	36	0,336	108,68	5,60	3,12
PBT	167	36	0,272	124,35	4,53	0,18

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Hava-jetli tekstüre çalışmaları

Hava-jetli tekstüre çalışmaları Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan SSM Stähle RM3-T marka hava-jetli tekstüre makinesinde gerçekleştirilmiştir. Makineye iplik tek merkez ipliği olarak beslenmiştir. Çalışmada hava



basıncı 8 bar, üretim hızı 250 m/dk, jet tipi ise Hemajet A317 olarak kullanılmıştır. Şekil 3.1’de çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre makinesi görülmektedir.



**Şekil 3.1.** Çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre makinesi

PET ve PBT, POY formunda makineye beslendikleri için, ilk önce besleme silindirleri arasında bir çekime tabii tutulmuşlardır. Kullanılan çekim oranı ve silindir sıcaklıkları, iplik özellikleri ve daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmalar göz önüne alınarak belirlenmiştir (Koç 2008, Koç ve ark. 2015).

PBT ipliğinde %1,58 çekim oranı, 44°C alt galet sıcaklığı, 70°C üst galet sıcaklığı ve 150°C fırın sıcaklığı kullanılırken, PET ipliğinde %1,66 çekim oranı, 80°C alt galet sıcaklığı, 127°C üst galet sıcaklığı ve 180°C fırın sıcaklığı kullanılmıştır.

Hava-jetli tekstüre işleminde kullanılan mekanik germe oranı, üretilen ipliklerin kararsızlık davranışlarını direkt olarak etkilemektedir. Çalışmada kullanılan mekanik germe oranları bir dizi ön çalışma sonucunda tespit edilmiştir. Yapılan bu ön çalışmalarda %6'nın üzerindeki mekanik germe oranlarında oluşan ilmeklerin tamamen kaybolup, hava-jetli tekstüre iplik yapısının deforme olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle

çalışmada en yüksek mekanik germe oranı %6 olarak belirlenmiştir. Mekanik germe oranının iplik özellikleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için %0-2-4 ve 6 olmak üzere 4 farklı mekanik germe oranında çalışılmıştır.

Fikse fırının iplik özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyebilmek amacıyla fırının çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda da numuneler üretilmiştir.

Çizelge 3.2’de kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametreleri ve ipliklere verilen kodlar gösterilmektedir. İplik kodları kullanılan aşırı besleme oranları, mekanik germe değerleri ve fırın çalışma durumu dikkate alınarak oluşturulmuştur. Kodlardaki ilk sayı aşırı besleme oranını, ikinci sayı mekanik germe oranını, son sayı ise fırının çalışma durumunu ifade etmektedir. Örneğin “PBT 20.0.0” kodu aşırı beslemenin %20, mekanik germenin %0 ve fırının çalışmadığı anlamına gelirken, “PET 40.2.1” kodu aşırı beslemenin %40, mekanik germenin %2 ve fırının çalıştığı anlamına gelmektedir.

**Çizelge 3.2.** Çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametreleri ve ipliklere verilen kodlar

Beslenen iplik	Aşırı besleme oranı (%)	Mekanik germe oranı (%)	Fırın sıcaklığı (°C)	İplik kodu
PET (POY)	20	0	0	PET 20.0.0
		0	180	PET 20.0.1
		2	180	PET 20.2.1
		4	180	PET 20.4.1
		6	180	PET 20.6.1
	40	0	0	PET 40.0.0
		0	180	PET 40.0.1
		2	180	PET 40.2.1
		4	180	PET 40.4.1
		6	180	PET 40.6.1
	60	0	0	PET 60.0.0
		0	180	PET 60.0.1
		2	180	PET 60.2.1
		4	180	PET 60.4.1
		6	180	PET 60.6.1
PBT (POY)	20	0	0	PBT 20.0.0
		0	150	PBT 20.0.1
		2	150	PBT 20.2.1
		4	150	PBT 20.4.1
		6	150	PBT 20.6.1

**Çizelge 3.3.** Çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametreleri ve ipliklere verilen kodlar (Devam)

	40	0	0	PBT 40.0.0
		0	150	PBT 40.0.1
		2	150	PBT 40.2.1
		4	150	PBT 40.4.1
		6	150	PBT 40.6.1
	60	0	0	PBT 60.0.0
		0	150	PBT 60.0.1
		2	150	PBT 60.2.1
		4	150	PBT 60.4.1
		6	150	PBT 60.6.1

### 3.2.2. İplik numarası tayini

Hava-jetli tekstüre işlemi sonucunda oluşan ilmekli yapı nedeniyle iplik numarasında bir artış gözlenir. Belirli bir aşırı besleme oranında, şartların değişmesiyle ipliğin numarasındaki artış, tekstüre işleminde iyileşme olarak yorumlanabilir (Demir 2006). Bu nedenle, hava-jetli tekstüre ipliklerin numaralarının değişiminin incelenmesi de büyük önem taşır.

Bu çalışmada üretilen ipliklerin numaraları Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan iplik çıkırığında, TS 244 EN ISO 2060 standardında çile metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.3. Çekme deneyleri

Çekme deneyleri çalışmada kullanılan ve üretilen ipliklerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.2.** Shimadzu Ag-X Plus çekme cihazı

İplikler çekme deneyi öncesinde  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ve  $65\pm 4$  bağıl nem koşullarında 24 saat kondüsyonlanmıştır. Deneyler, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan Shimadzu Ag-X plus marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Çeneler arası mesafe 250 mm, çene hareket hızı ise 300 mm/dk olarak kullanılmıştır.

### **3.2.4. Optik mikroskop deneyleri**

Optik mikroskop deneyleri hava-jetli tekstüre işlemleri sonrasında filamentlerin iplik içindeki yerleşimlerini ve ilmek yapılarını inceleyebilmek amacıyla Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları'nda bulunan Mshot MS60 model bir optik mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.2.5. Elastik toparlanma deneyleri**

Hava-jetli tekstüre ipliklerde bulunan ilmeklerin bir kısmının dışarıdan uygulanan kuvvetlerin etkisiyle yok edilebildiği görülür. Kuvvet ortadan kalktıktan sonra ipliğin üzerinde kalan ilmeklerin sayısı bu ipliğin “kararlılığı” ile ilişkilidir. Hava-jetli tekstüre ipliklerin kararlılıkları; malzeme, filament inceliği, kesit şekli, sürtünme özellikleri gibi besleme ipliklerinin özelliklerinden ve aşırı besleme, jet tipi ve hava basıncı gibi proses parametrelerinden etkilenir (Koç ve ark. 2015). İplik kararsızlığının belirlenmesi için birçok çalışma mevcuttur fakat hiçbiri standart bir yöntem olarak kullanılmamaktadır.

DuPont yönteminde, ipliğin sabitlenmesi için kullanılan bir kısıpça ile test cihazı kullanılır. Bu yöntem, belirli bir yükün 30 saniye süreyle tek bir ipliğin uç kısmında asılı tutulup, yük kaldırıldığı anda iplikte oluşan kalıcı uzama miktarının ölçülmesi prensibine dayanmaktadır (Demir 2006).

Heberlein yöntemi, DuPont yöntemi gibi ağırlık asma tekniğine dayalıdır; ancak yük ve yükleme süresi farklıdır. Ayrıca tek iplik yerine, iplik çilesi kullanılır. Heberlein Kararsızlık I, belirli bir yük altında ipliğin uzama yüzdesini ölçerken, Heberlein Kararsızlık II ise yük kaldırıldıktan sonraki kalıcı uzamayı ölçmektedir (Heberlein 1980).

Wray yöntemi, ipliğin kuvvet-uzama diyagramını sabit uzama prensibine göre veren bir çekme cihazı kullanılmasını önermektedir. Bu yöntemde, besleme ipliğinin kalıcı uzama miktarından, hava-jetli tekstüre ipliğin kalıcı uzama miktarını çıkararak kararsızlık değeri tespit edilmektedir (Wray 1969).

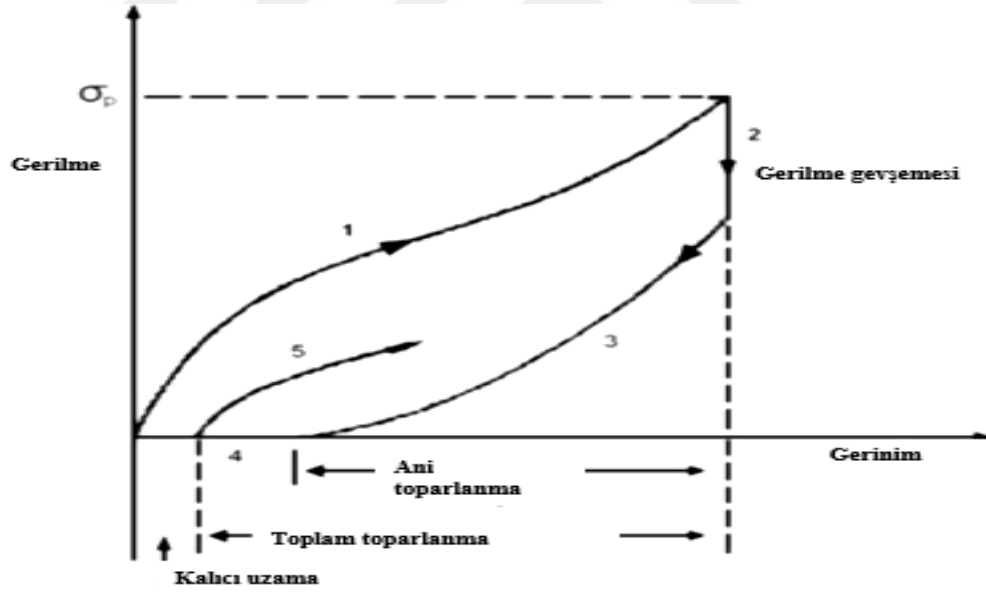
Acar yöntemi, yine bir çekme cihazı kullanılarak kararsızlık değeri ölçülmesini tavsiye eder. 0.01 gf/dtex ve 0.5 gf/dtex'lik kuvvetler altındaki uzamaların ölçülmesiyle kararsızlık değeri belirlenir (Acar ve ark. 1983).

Demir, Acar ve Wray (1986), kararsızlık belirleme test yöntemlerini ayrıntıyla incelemişlerdir. İplik uzunluğunun, test süresinin ve test şeklinin etkilerini araştırmışlar ve standart bir kararsızlık testi olarak gelişmiş bir test yöntemi önermişlerdir. Testler için bir çekme test cihazı kullanılmasını önermişler ve elde edilen yük-uzama grafiğinden kararsızlığı hesaplamışlardır.

Kararsızlık ölçme yöntemleri temel olarak hava-jetli tekstüre ipliğe belirli bir kuvvet uygulanması ve kuvvetin etkisiyle iplikte meydana gelen uzama değerinin ölçülmesini kapsar. Ancak tekstil iplikleri çoğunlukla kuvvet ortadan kalktığında toparlanma davranışı sergiler. Gösterdikleri bu toparlanma davranışı iplik ve lif özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle hava-jetli tekstüre ipliklerin kararlılık davranışlarını incelerken sadece kuvvet etkisiyle olan uzama davranışı değil, yük kaldırıldıktan sonra oluşan toparlanma davranışı da dikkate alınmalıdır. Koç ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada hava-jetli tekstüre ipliklerin kararsızlık davranışlarını elastik toparlanma deneyleri ile incelemişlerdir. Bu yöntemde yük kaldırıldıktan sonra iplikte meydana gelen toparlanma da göz önüne alınmaktadır. Koç ve ark. (2015) özellikle farklı hammaddelerden elde edilen hava-jetli tekstüre ipliklerin kararsızlık davranışlarını incelemeye elastik toparlanma deneylerinin çok daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada da ipliklerin kararsızlık davranışlarını incelemek için elastik toparlanma deneyleri tercih edilmiştir.

Elastik toparlanma deneyleri uygun yazılıma sahip bir çekme cihazında gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada deneyler, Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu Ag-X plus marka çekme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çene arası mesafe 300 mm, çene hareket hızı 20 mm/dk olarak kullanılmıştır (Koç ve ark. 2015).

Deneilerde kullanılan test prosedürü Şekil 3.3'te şematik olarak gösterilmiştir. Bu prosedüre göre çeneler arasına yerleştirilen iplik daha önce belirlenen bir değere kadar uzatılır (Bölge 1) (bu çalışmada her bir numune kendi kopma uzamasının %30'una kadar uzatılmıştır.), iplik bu konumda 2 dk bekletilir (Bölge 2), bu süre zarfında iplikte gerilme gevşemesi gerçekleşebilir, daha sonra çeneler ilk konumlarına geri döndürülür (Bölge 3), bu durumda 5 dk beklenildikten sonra (Bölge 4) iplik yeniden uzatılır (Bölge 5) (Ward ve ark. 1976).



Şekil 3.3. Toparlanma döngüsü ve terimlerin tanımı (Ward ve ark. 1976)

Elde edilen kuvvet-uzama eğrisi üzerinden numunelere ait ani toparlanma, ikincil toparlanma, toplam toparlanma ve kalıcı uzama değerleri belirlenir. Ani toparlanma 3. aşamada geri kazanılan uzama değeridir, toplam uygulanan uzamanın yüzdesi olarak ifade edilir. Toplam toparlanma, tam döngüden sonra geri kazanılan toplam uzamadır, yine toplam uygulanan uzamanın yüzdesi olarak ifade edilir. İkincil toparlanma, toplam

toparlanma ile ani toparlanma arasındaki farktır. Kalıcı uzama, 5 dakikalık bekleme süresinden sonra numunede kalan uzama değeridir (Koç ve ark. 2015).





## **4. BULGULAR ve TARTIŞMA**

Çalışmada aynı iplik numarası ve filament sayısına sahip PET ve PBT iplikler hava-jetli tekstüre işlemine tabii tutulmuştur. Birbirlerinden farklı polimerlerden meydana gelen bu iki ipliğin hava-jetli tekstüre mekanizmaları; iplik numarası tayini, çekme deneyleri, optik mikroskop çalışmaları ve iplik kararsızlığı testleri yardımıyla incelenmiştir.

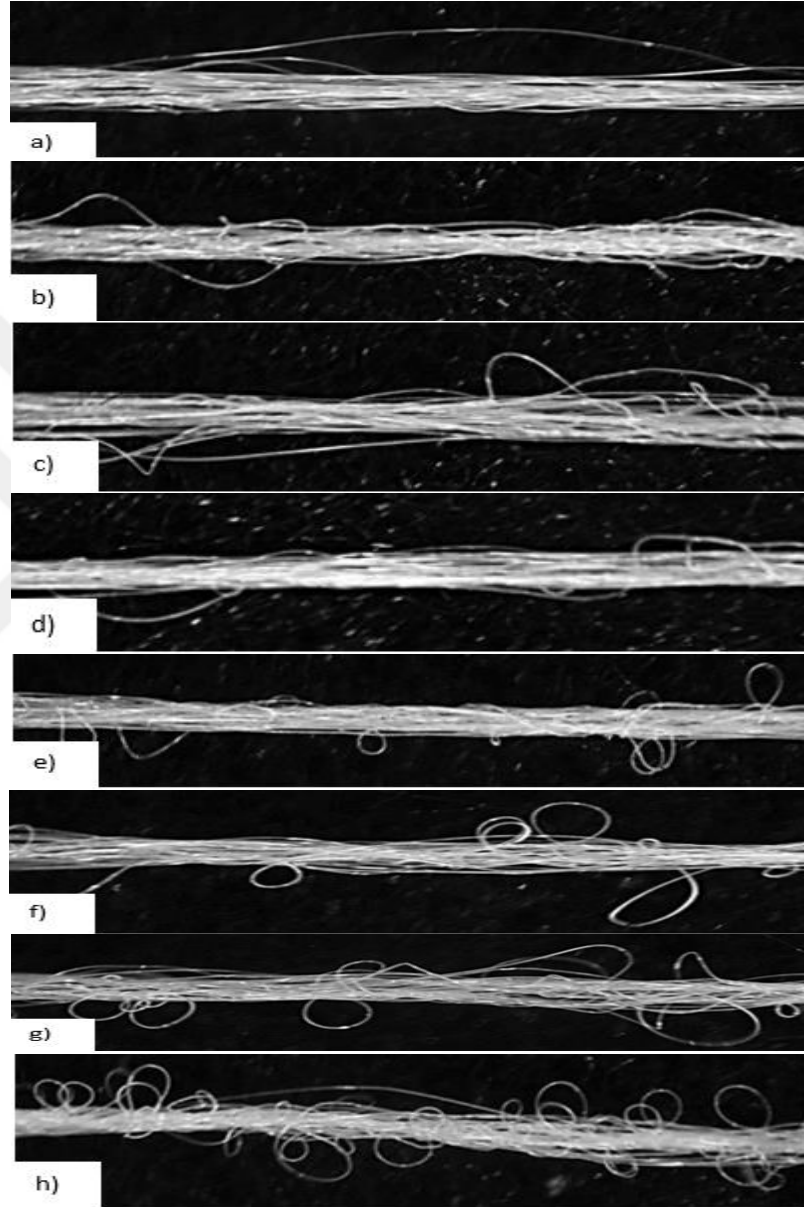
### **4.1. Optik mikroskop görüntüleri, iplik numarası tayini ve çekme deneyi sonuçları**

Hava-jetli tekstüre ipliklerin özellikleri bu iplikleri meydana getiren filamentlerin özellikleri ve iplik içerisindeki yerleşimleri tarafından belirlenir. Bu çalışmada filamentlerin iplik içerisindeki yerleşimleri optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm deneyler de optik mikroskop görüntülerinin desteği ile açıklanmıştır.

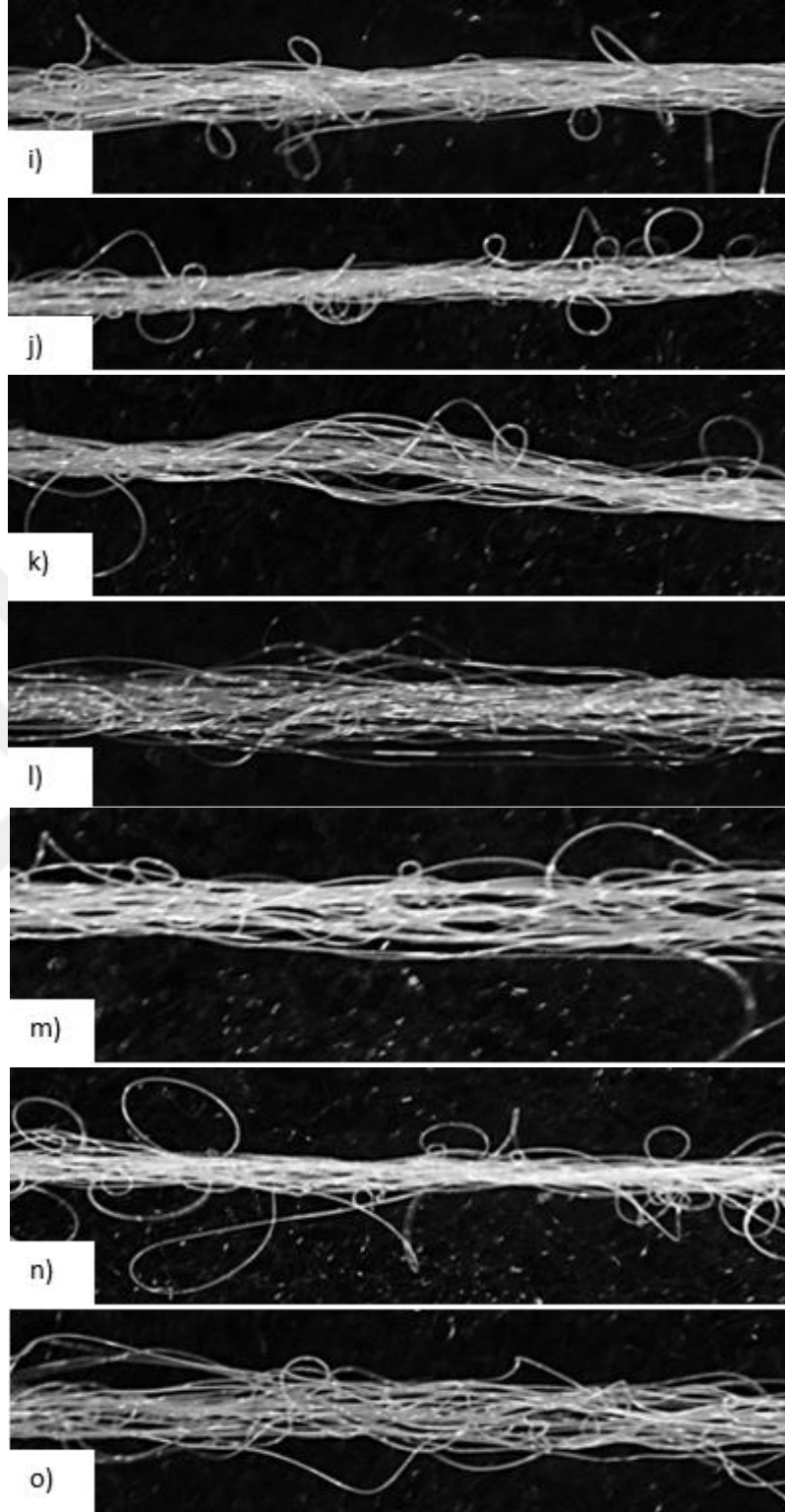
Optik mikroskop görüntüleri filamentlerin iplik içindeki düzenli yerleşimlerinin hava-jetli tekstüre işlemi sonrasında bozulduğunu göstermektedir (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Bu durum üretilen tüm numuneler için geçerlidir. Ancak oluşan yapının ipliğin hammaddesi ve kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametrelerine bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir.

Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde en az ilmekli yapının, %20 aşırı besleme oranında, en ilmekli yapının ise %40 aşırı besleme oranı ile üretilen numunelerde olduğu gözlenmiştir. Hava-jetli tekstüre işleminde aşırı besleme, filamentlerin jet içinde serbest bir şekilde ötelenerek jet çıkışında (ilmek oluşumunun gerçekleştiği noktada) daha çok ilmeğin oluşmasına olanak verir. Bu nedenle artan aşırı besleme oranı ile ilmekli yapının artması beklenir. Ancak çok yüksek aşırı besleme oranlarında filamentlerin jetin içindeki hareket kabiliyetleri azalarak iyi tekstüre olamamış iplikler ya da iplik kopuşları meydana gelebilir. Bu çalışmada %60 aşırı besleme oranında üretilen PET numunelerde filamentlerin çoğunun, iplik

ekseninde gevşek halde kenetlenmiş geniş yaylar oluşturduğu, istenilen ilmekli yapının elde edilemediği görülmüştür. Bu durum, kullanılan hava-jeti tipi ve üretim parametreleri için, %60 aşırı besleme oranının uygun olmadığını, çok fazla geldiğini göstermektedir (Şekil 4.1).

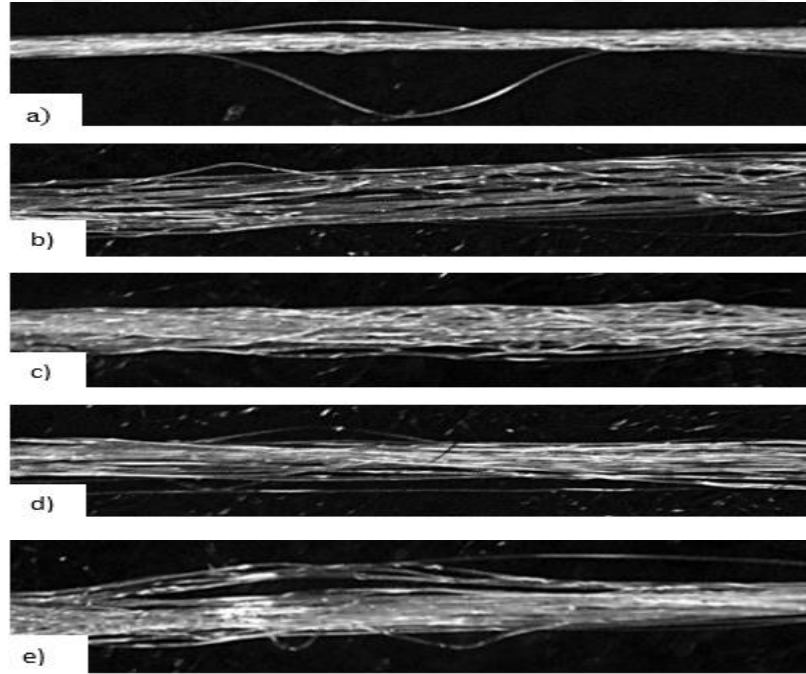


**Şekil 4.1.** Hava-jetli tekstüre PET ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri  
a)PET20.0.0 b)PET20.0.1 c)PET20.2.1 d)PET20.4.1 e)PET20.6.1 f)PET40.0.0 g)PET40.0.1  
h)PET40.2.1

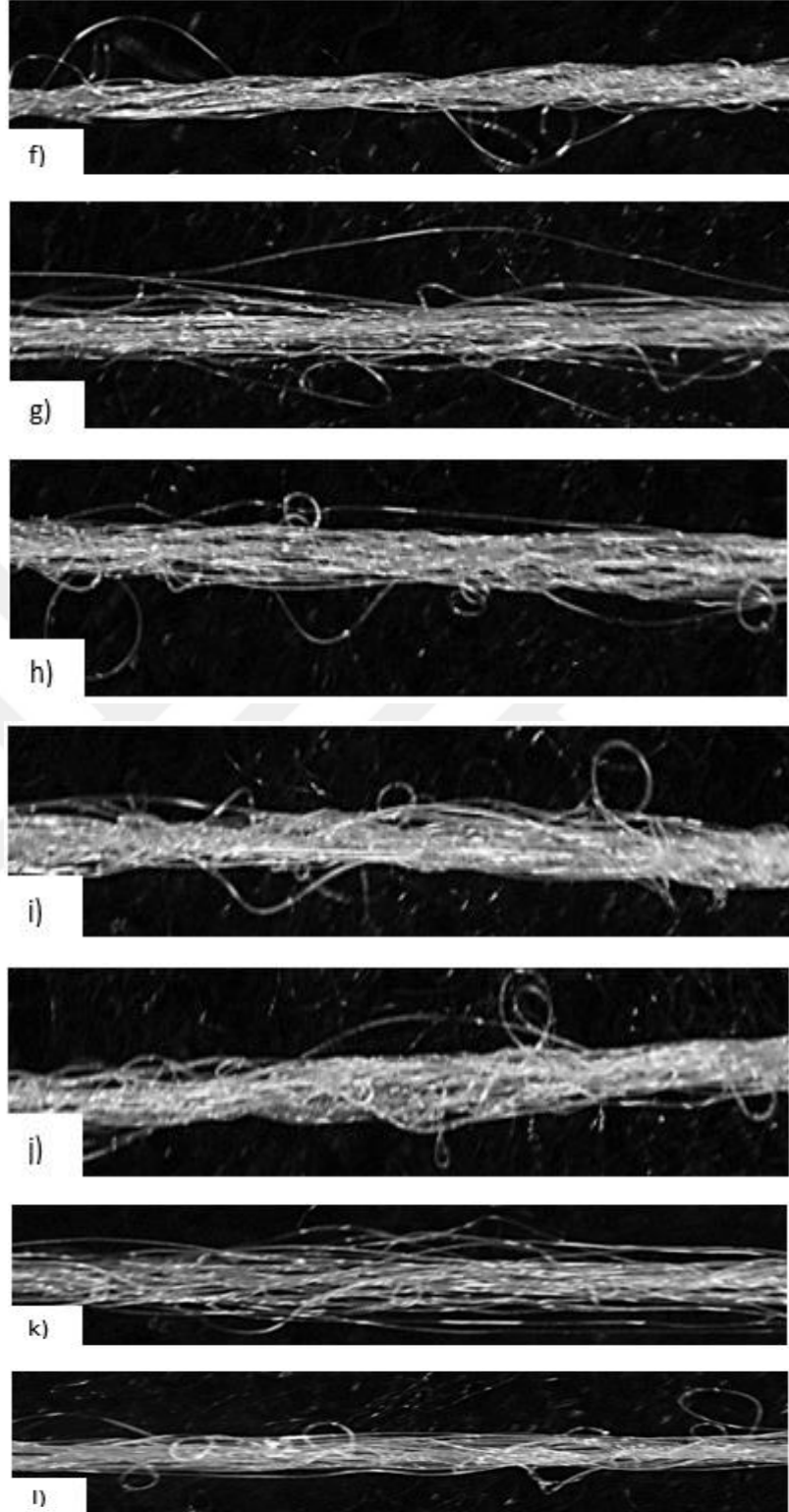


**Şekil 4.1.** Hava-jetli tekstüre PET ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri  
i)PET40.4.1 j)PET40.6.1 k)PET60.0.0 l)PET60.0.1 m)PET60.2.1 n)PET60.4.1 o)PET60.6.1  
(Devam)

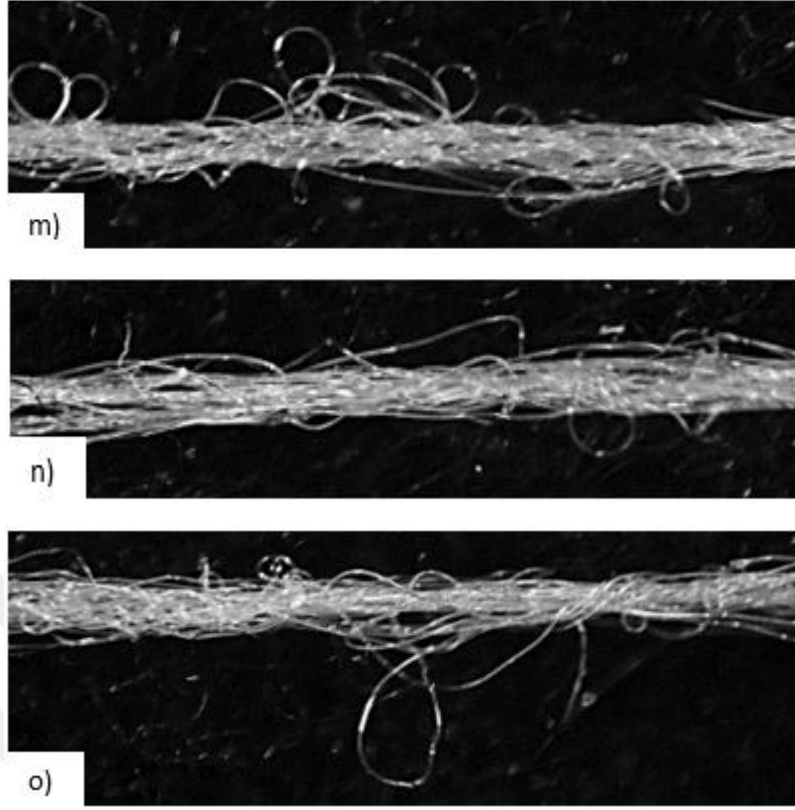
Aşırı besleme oranındaki değişimin PBT iplikler üzerindeki etkisinin PET ipliklere oranla daha farklı olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.2). Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerde en ilmekli yapının %60 aşırı besleme ile üretilen iplik grubunda olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan PET ve PBT ipliklerin incelikleri ve filament sayıları aynıdır. Dolayısı ile tekstüre iplik yapılarında meydana gelen farklılık direkt olarak hammadde farkından (polimer yapısından) ileri gelmektedir. Hava-jetli tekstüre işleminde en etkili parametre, filamentlerin eğilme davranışlarını belirlediği için, ipliğe ya da filamentte ait ilk modül değeridir. PBT, PET'e göre daha düşük ilk modül değerine sahiptir. Bu nedenle daha kolay eğilebilir. Ayrıca PBT molekül yapısı nedeniyle PET'e göre daha iyi toparlanma davranışı da gösterir. Bu çalışmada PBT'nin sahip olduğu düşük ilk modül nedeniyle, PET'e göre daha kolay ve fazla sayıda ilmek oluşturması beklenmiştir. Ancak optik mikroskop görüntüleri bu beklentiye doğrulamamıştır. Bu noktada PBT'nin sahip olduğu esnek yapı nedeniyle oluşan ilmeklerin iplik merkezine sabitlenmeden açıldığı dolayısı ile PET'e göre daha az ilmek oluşumunun meydana geldiği düşünülmektedir. PBT için %60 aşırı besleme daha iyi ilmek oluşumuna neden olmuştur.



**Şekil 4.2.** Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri  
a)PBT20.0.0 b)PBT20.0.1 c)PBT20.2.1 d)PBT20.4.1 e)PBT20.6.1



**Şekil 4.2.** Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri  
f)PBT40.0.0 g)PBT40.0.1 h)PBT40.2.1 i)PBT40.4.1 j)PBT40.6.1 k)PBT60.0.0 l)PBT60.0.1  
(Devam)



**Şekil 4.2.** Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerinin optik mikroskop görüntüleri  
m)PBT60.2.1 n)PBT60.4.1 o)PBT60.6.1(Devam)

Hava-jetli tekstüre işleminde mekanik germe, jetten tekstüre olarak çıkan ipliğin yapısında bulunan, tam ilmek oluşturamamış filamentlerin ortadan kaldırılmasını, geniş yaylar oluşturan filamentlerin ise çekilerek, iplik özüne kenetlenmiş ilmeklerin oluşmasını sağlar. Dolayısı ile ancak doğru seçilen bir mekanik germe oranı hava-jetli tekstüre ipliklerde aranılan ilmekli yapının oluşmasına olanak verir.

PET ipliklere ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde en düşük aşırı besleme oranında (%20) ve mekanik germe uygulanmadan üretilen PET20.0.0 kodlu numunede, neredeyse hiç ilmek oluşumunun meydana gelmediği ve filamentlerin iplik eksenine paralel yerleşiminin çok değişmediği görülmüştür. Bunun yanı sıra aynı besleme oranında artan mekanik germe miktarına bağlı olarak ilmekli yapıda bir artış tespit edilmiştir. Dolayısı ile %20 aşırı besleme oranı için en iyi ilmek oluşumu, en yüksek mekanik germe ile üretilen PET20.6.1 kodlu numunede gözlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan hava-jetli tekstüre parametreleri için %40 aşırı besleme oranında tüm

mekanik germe oranlarında (mekanik germe uygulanmadığı durum dâhil olmak üzere), ilmek oluşumunun meydana geldiği görülmüştür. Ancak yine de numuneler arasında farklılıklar görülmüş ve en ilmekli yapı %2 mekanik germe oranında üretilen PET40.2.1 kodlu numunede gözlenmiştir. %60 aşırı besleme oranında üretilen numunelerde sadece %4 mekanik germe ile üretilen PET60.4.1'de hava-jetli tekstüre ipliklerden beklenen ilmekli yapı tespit edilmiştir. %4'ten düşük mekanik germe oranlarında geniş yaylar oluşturan filamentler, yüksek mekanik germe oranlarında ise deforme olmuş bir tekstüre iplik yapısı gözlenmiştir.

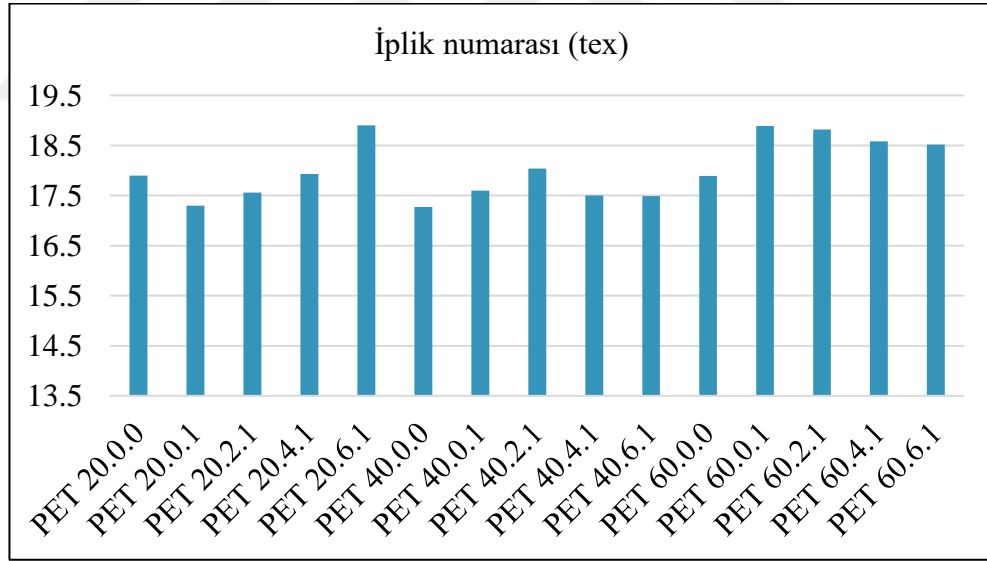
PBT hava-jetli tekstüre iplik yapıları incelendiğinde %20 aşırı beslemede belirgin bir ilmekli yapı gözlenmediği için uygulanan mekanik germenin etkisi de gözlenmemiştir. %40 ve %60 aşırı besleme oranlarında ise mekanik germenin ilmek oluşumunu olumlu etkilediği tespit edilmiştir. PET'in aksine PBT'de %6 mekanik germe oranı tekstüre iplik yapısını deforme etmeye yetmemiştir. Bu farklılığın PBT'nin esnek yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Optik mikroskop görüntüleri hava-jetli tekstüre iplik üretiminde mekanik germe oranının ipliğin ilmekli yapısını belirgin bir şekilde etkilediğini göstermiştir. Buna ilave olarak hava-jetli tekstüre ipliklerden beklenen ilmekli iplik yapısı her bir aşırı besleme için farklı mekanik germe oranlarında elde edilmiştir. Bu durum, kullanılacak mekanik germe oranının farklı her üretim için yeniden belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

İplik numarası tayini sonuçları Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3, 4.4'te verilmiştir. Hava-jetli tekstüre ipliklerde ilmekli yapıdaki artış, iplik numarasının da artmasına sebep olmaktadır. Optik mikroskop analizlerinde her ne kadar tekstüre ipliğin genel görüntüsünü temsil eden görüntüler elde edilmeye çalışılsa da her iplik, farklı ilmek sıklığı ve tipine sahip bölgeler içermektedir. İplik numarası ölçümleri ipliğin daha büyük bir uzunluğu hakkında bilgi verdiği için, bu değerdeki artış, ilmekli yapıdaki artış olarak, dolayısı ile tekstüre işleminde iyileşme olarak kabul edilebilir.

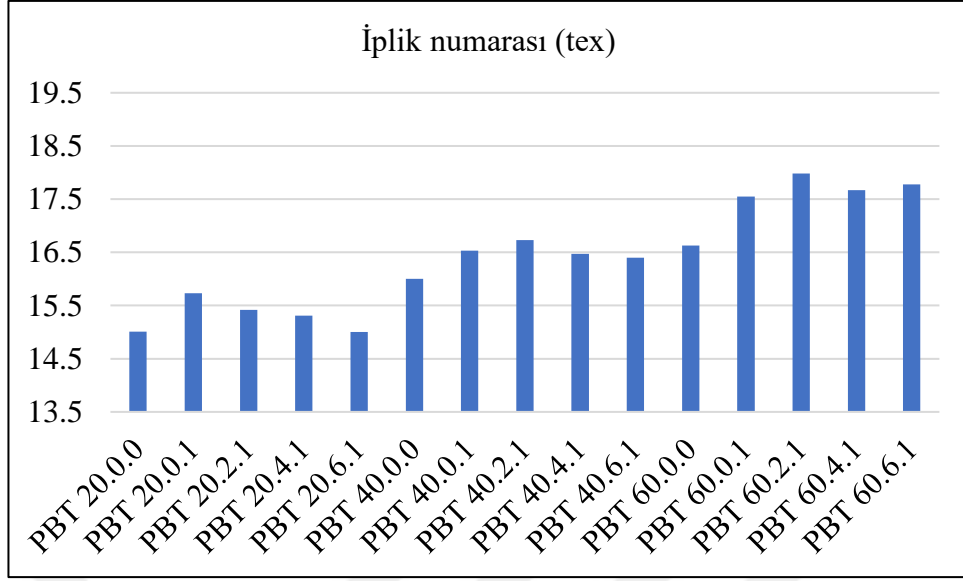
Üretilen PET numuneler incelendiğinde elde edilen iplik numaralarının 17,27-18,90 tex aralığında değiştiği görülmüştür. Hava-jetli tekstüre işleminde aşırı besleme oranındaki değişim, ilmekli yapının oluşumu, dolayısı ile iplik numarasındaki değişim üzerindeki en önemli parametrelerdendir. Ancak bu çalışmada iplik numaralarında aşırı besleme oranına paralel olarak belirgin bir değişim gözlenmemiştir. %20 ve %40 aşırı besleme oranlarında üretilen iplikler arasında en iyi ilmek oluşumunun gözlemlendiği PET20.6.1 ve PET40.2.1 kodlu numunelerin, kendi grupları içinde en yüksek iplik numaralarını vermeleri, kullanılan mekanik germe oranının elde edilen ilmek miktarı üzerindeki etkisini bir kez daha ispatlamaktadır.

PBT tekstüre iplik numaralarının ise 15,00-17,98 tex aralığında değiştiği gözlenmiştir. PBT ipliklerde aşırı besleme oranındaki artışın iplik numaralarında az da olsa bir artışa neden olduğu görülmüştür. Bu iplik grubu için de optik mikroskop görüntülerinde tespit edilen ilmekli yapıdaki artışın iplik numarasındaki artış ile paralel olduğu söylenebilir.



Şekil 4.3. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait iplik numarası tayini sonuçları





Şekil 4.4. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait iplik numarası tayini sonuçları

Çekme deneylerine ait sonuçlar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.5-4.8’de verilmiştir. Hava-jetli tekstüre ipliği meydana getiren filamentler iplik eksenine göre ne kadar paralel yerleşirse, ipliğe uygulanan yükün taşınmasına o kadar katkıda bulunurlar. Bu da o ipliklerin nispeten daha yüksek kopma dayanımı göstermesine neden olur. Hava-jetli tekstüre işleminde filamentlerin iplik eksenine olan paralel konumlanmalarının bozularak ilmek oluşturmaları beklenir. Bu durum da hava-jetli ipliklerin kopma dayanımlarının azalmasına neden olur. Bu çalışmada genel olarak en yüksek kopma dayanımını en düşük aşırı besleme (%20) ile üretilen PET iplikler göstermiştir. Bu durum, %40 ve %60 aşırı besleme oranlarında üretilen PET iplikler ile kıyaslandığında, %20 aşırı besleme oranında, filamentlerin iplik eksenine göre nispeten daha paralel kalarak yükün taşınmasına destek olduklarını göstermektedir (Şekil 4.5).

Hava-jetli tekstüre PBT iplikler ise tüm aşırı besleme oranları için PET tekstüre ipliklere oranla daha düşük kopma dayanımı değerleri vermiştir. Bu durumda ipliklerin ilmekli yapısından ziyade ipliğin üretildiği polimerin yapısı ön plana çıkmaktadır. PBT, PET’e göre daha düşük kopma dayanımına sahiptir. Bu, hava-jetli tekstüre PBT ipliklerinin hepsinin kopma dayanımlarının tekstüre PET ipliklere göre düşük olmasına neden olmaktadır. PBT iplikler kendi aralarında incelendiğinde kopma dayanımlarının 0,26-0,22 N/tex aralığında değiştiği ve en düşük dayanım değerlerini en iyi ilmek

oluşumunun gözlemlendiği %60 aşırı besleme oranında üretilen iplik grubunun verdiği görülmektedir (Şekil 4.6).

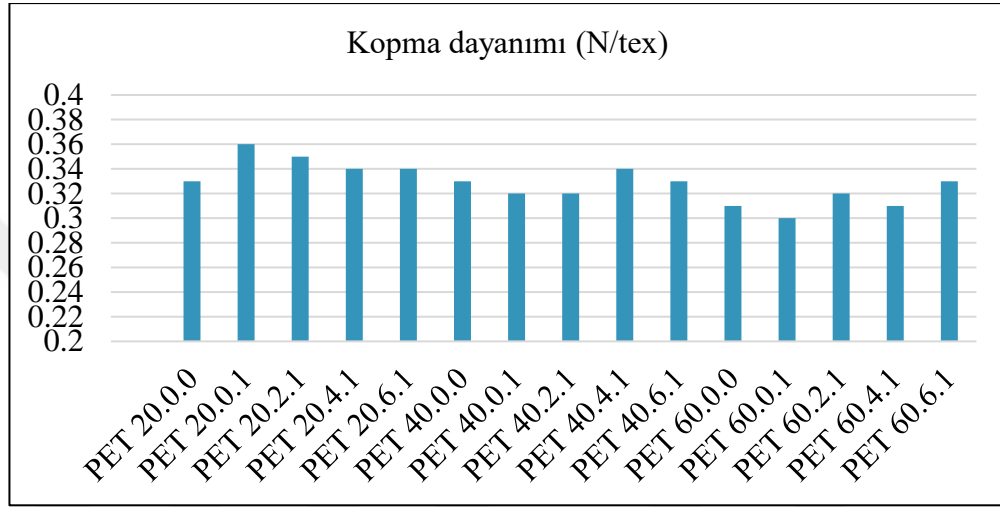
Hava-jetli tekstüre ipliklere uygulanan çekme deneylerinden elde edilen kopma uzaması değerleri, her bir filamentin kendi uzama davranışı ve bu filamentlerin tekstüre işlemi sonrasında oluşturdukları ilmeklerin yapı ve kararlılıklarının bütünüdür. İlmekler, iplik merkezine sıkıca bağlanmış ve filamentlerin uzamalarını kısıtlıyor ise tekstüre ipliğin kopma uzamasında bir azalma gözlenir. İlmeklerin uygulanan kuvvetin etkisiyle kolay açıldığı durumlar ise kopma uzaması değerlerinde artışa neden olur. Uygulanan aşırı besleme ve mekanik germe oranları, hava-jetli tekstüre ipliğin ilmekli yapısını değiştirerek bu ipliklerin kopma uzaması değerlerini etkilemektedir.

**Çizelge 4.1.** Hava-jetli tekstüre ipliklere ait iplik numarası tayini ve çekme deneyi sonuçları

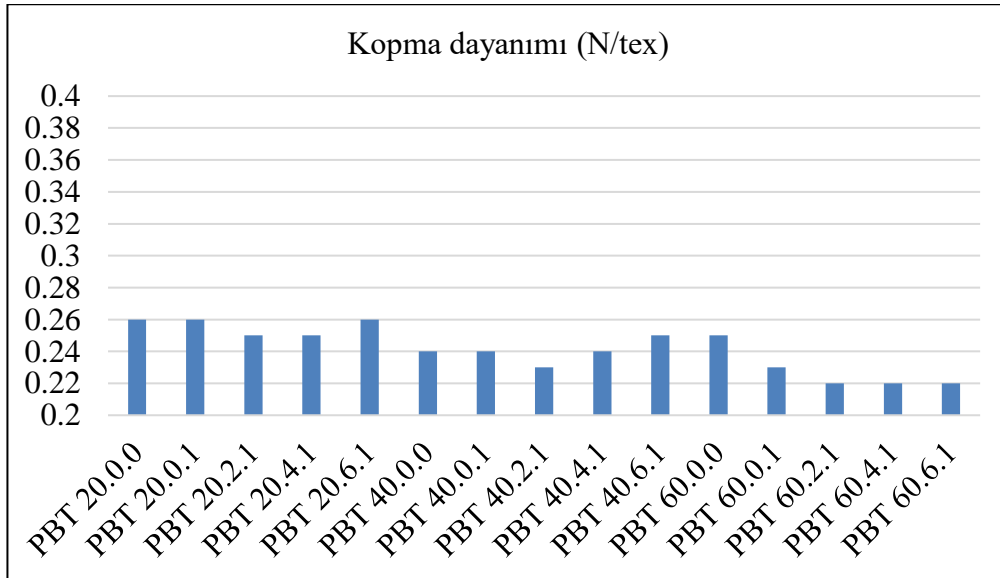
İplik Kodu	Kopma yükü (N)	Kopma dayanımı (N/tex)	Kopma uzaması (mm)	Kopma uzaması (%)	İplik numarası (tex)
PET 20.0.0	6,24	0,33	82,47	32,98	17,90
PET 20.0.1	6,27	0,36	98,31	39,32	17,30
PET 20.2.1	6,23	0,35	88,27	35,31	17,56
PET 20.4.1	6,14	0,34	83,26	33,30	17,93
PET 20.6.1	6,04	0,34	76,14	30,45	18,90
PET 40.0.0	5,75	0,33	107,17	42,87	17,27
PET 40.0.1	5,64	0,32	131,73	52,69	17,60
PET 40.2.1	5,86	0,32	126,99	52,81	18,04
PET 40.4.1	5,96	0,34	130,13	52,05	17,50
PET 40.6.1	5,81	0,33	123,82	49,52	17,49
PET 60.0.0	5,24	0,31	93,77	37,51	17,89
PET 60.0.1	5,60	0,30	98,27	39,30	18,89
PET 60.2.1	5,75	0,32	100,45	40,18	18,82
PET 60.4.1	5,65	0,31	111,81	44,72	18,58
PET 60.6.1	5,94	0,33	101,24	40,49	18,52
PBT 20.0.0	4,00	0,26	97,46	38,98	15,01
PBT 20.0.1	3,96	0,26	79,15	32,02	15,73
PBT 20.2.1	4,08	0,25	78,99	31,59	15,42
PBT 20.4.1	3,92	0,25	67,44	26,97	15,31
PBT 20.6.1	4,04	0,26	68,65	27,46	15
PBT 40.0.0	3,98	0,24	117,09	46,83	16
PBT 40.0.1	3,98	0,24	121,62	48,65	16,53
PBT 40.2.1	4,05	0,23	121,90	48,76	16,73

**Çizelge 4.1.** Hava-jetli tekstüre ipliklere ait iplik numarası tayini ve çekme deneyi sonuçları (Devam)

PBT 40.4.1	3,97	0,24	115,82	46,32	16,47
PBT 40.6.1	4,17	0,25	117,08	46,83	16,4
PBT 60.0.0	4,18	0,25	122,32	48,92	16,63
PBT 60.0.1	4,16	0,23	137,24	54,89	17,55
PBT 60.2.1	4,10	0,22	148,85	59,54	17,98
PBT 60.4.1	4,12	0,22	135,63	51,31	17,67
PBT 60.6.1	4,04	0,22	128,27	54,25	17,78



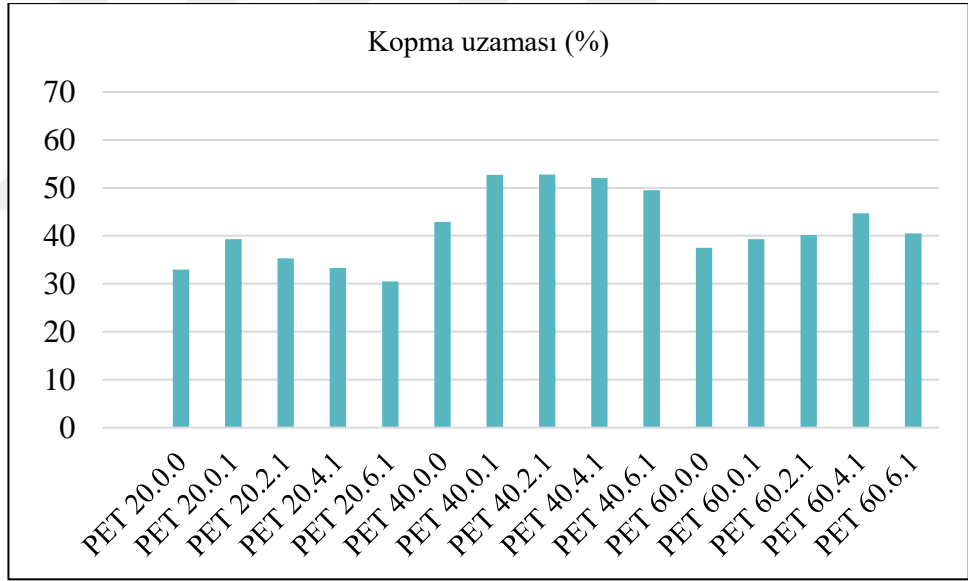
**Şekil 4.5.** Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait kopma dayanımı değerleri



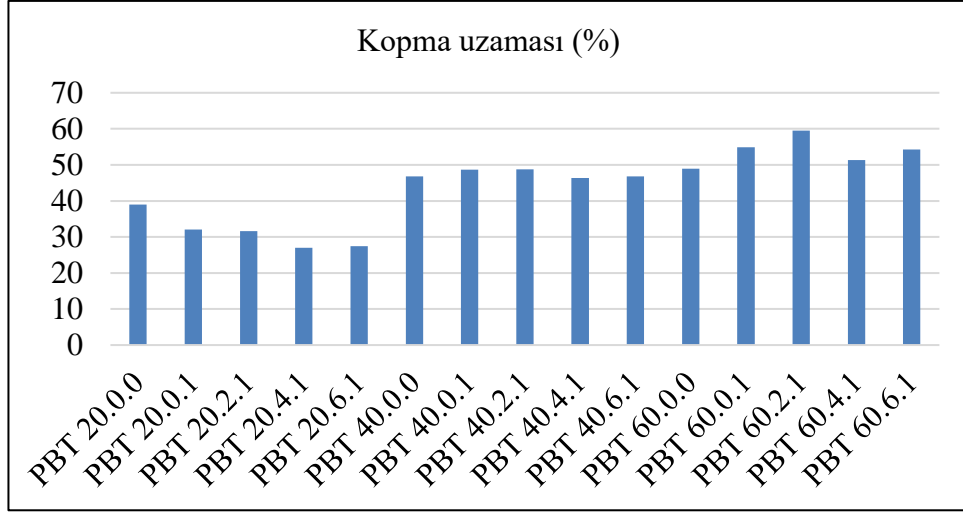
**Şekil 4.6.** Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait kopma dayanımı değerleri

Hava-jetli tekstüre PET iplikler kendi aralarında kıyaslandığında genel olarak en yüksek kopma uzaması değerlerini, en ilmekli yapıya sahip olan %40 aşırı besleme ile üretilmiş numune grubunun verdiği görülmüştür. Bu durum, uygulanan kuvvetin etkisi altında ilmeklerin açılarak daha yüksek kopma uzaması değerleri vermesi ile açıklanabilir (Şekil 4.7).

Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerin kopma uzaması değerleri incelendiğinde aşırı besleme oranındaki artışa bağlı olarak kopma uzaması değerlerinin arttığı gözlenmiştir. PBT ipliklerde en ilmekli yapı %60 aşırı besleme ile üretilen grupta tespit edilmiştir. En yüksek kopma uzaması değerlerini de bu grubun verdiği göz önüne alınırsa tekstüre PET iplikler gibi PBT ipliklerde de ilmekli yapının açılarak kopma uzamasında artışa neden olduğu söylenebilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait kopma uzaması değerleri



**Şekil 4.8.** Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait kopma uzaması değerleri

Fikse fırını kullanımının hava-jetli tekstüre iplik özellikleri üzerindeki etkisi de çalışma kapsamında incelenmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde fırın kullanımının iplik yapısını biraz açtığı gözlenmiştir. Fikse fırını kullanımının iplik numarası ve kopma dayanımı üzerinde çok az bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Fikse fırınının, en fazla ipliklerin kopma uzaması değerleri üzerinde, çoğunlukla bu değerleri arttırıcı yönde etkili olduğu görülmüştür.

#### 4.2. Elastik toparlanma deneyi sonuçları

İpliklerin kararsızlık deneylerinden elde edilen sayısal veriler Çizelge 4.2’de, eğriler ise Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir.

PET ipliklere ait sonuçlar incelendiğinde, genel olarak en yüksek kalıcı uzama değerlerinin %40 aşırı besleme ile üretilen ipliklerde olduğu gözlenmiştir. Yüksek kalıcı uzama değeri, ipliğin toparlanma davranışının daha kötü olduğu dolayısı ile iplik kararsızlığının daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. %40 aşırı besleme ile üretilen bu numuneler aynı zamanda en ilmekli yapıya sahip olan gruptur. Bu durum, bu ipliklerin ilmeklerinin deney esnasında uygulanan kuvvetlerin etkisiyle açıldıklarını işaret etmektedir. Ayrıca, %6 gibi yüksek mekanik germe oranında iplik yapısında

bulunan geniş yaylar ve gevşek ilmekler nispeten iplik eksenine paralel hale gelmiştir. Bu durum da %6 mekanik germe ile üretilen ipliklerin düşük kararsızlık değeri vermelerine neden olmuştur (Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** Elastik toparlanma deneyi sonuçları

İplik kodu	Ani toparlanma (%)	İkincil toparlanma (%)	Kalıcı uzama (%)
PET 20.0.0	18,77	7,73	73,50
PET 20.0.1	24,69	9,89	65,42
PET 20.2.1	29,17	12,36	58,47
PET 20.4.1	29,09	10,57	60,34
PET 20.6.1	34,29	12,29	53,42
PET 40.0.0	21,19	6,89	71,92
PET 40.0.1	14,76	9,24	76
PET 40.2.1	14,17	8,43	77,40
PET 40.4.1	14,99	9,32	75,69
PET 40.6.1	19,86	9,42	70,72
PET 60.0.0	12,19	8,89	78,92
PET 60.0.1	19,31	27,89	52,80
PET 60.2.1	23,84	15,14	61,02
PET 60.4.1	16,77	16,29	66,94
PET 60.6.1	25,87	18,16	55,97
PBT 20.0.0	64,56	16,77	18,70
PBT 20.0.1	83,67	16,33	0
PBT 20.2.1	88,83	11,17	0
PBT 20.4.1	88,44	11,56	0
PBT 20.6.1	95,80	4,20	0
PBT 40.0.0	36,57	19,89	43,54
PBT 40.0.1	48,86	20,75	30,39
PBT 40.2.1	51,25	16,64	32,09
PBT 40.4.1	58,16	16,30	25,54
PBT 40.6.1	60,48	16,07	23,45
PBT 60.0.0	23,18	8,18	68,64
PBT 60.0.1	17,50	17,65	64,85
PBT 60.2.1	28,62	23,42	47,96
PBT 60.4.1	39,85	13,07	47,08
PBT 60.6.1	30,46	10,39	59,15

Hava-jetli tekstüre ipliklerde ilmek miktarındaki artış çoğunlukla ipliklerin kararsızlık davranışlarında da artışa sebep olur. Bu durum hem PET hem de PBT ipliklerin elastik toparlanma sonuçlarında gözlenmiştir. İlmek oluşumunun neredeyse hiç gözlenmediği %20 aşırı besleme ile tekstüre edilen PBT ipliklerde filamentler iplik eksenine olan paralelliklerini korumuşlardır. Dolayısı ile %20 aşırı besleme oranı ve fırın kullanılarak üretilen iplik grubunda, PBT molekül zincirlerinin sahip olduğu iyi toparlanma özelliği sayesinde, tamamen geri toparlanmanın meydana geldiği görülmüştür. Aşırı besleme oranındaki artışla birlikte ilmekli yapısı artan PBT ipliklerin kararsızlık davranışlarında da artış gözlenmiştir.

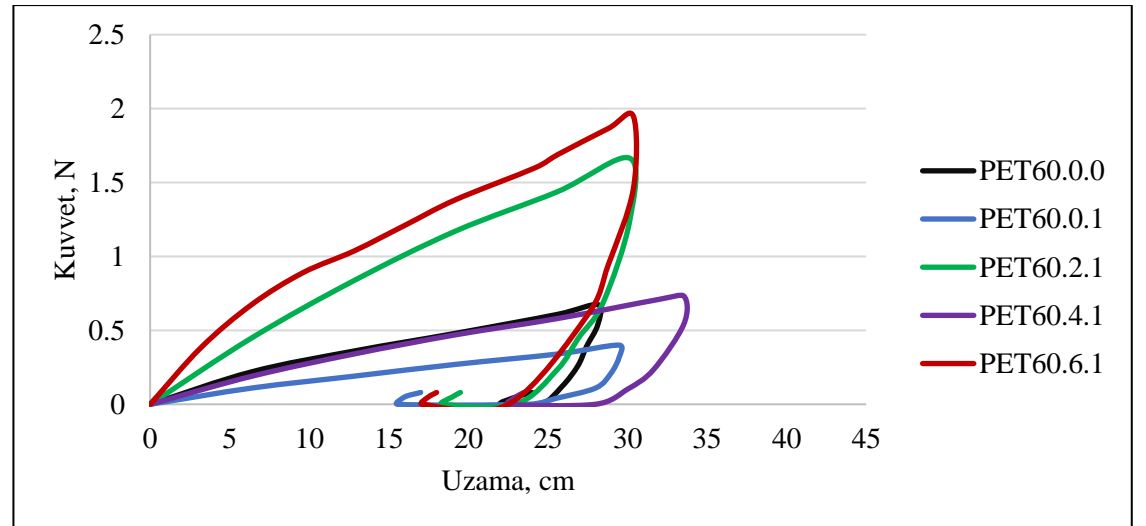
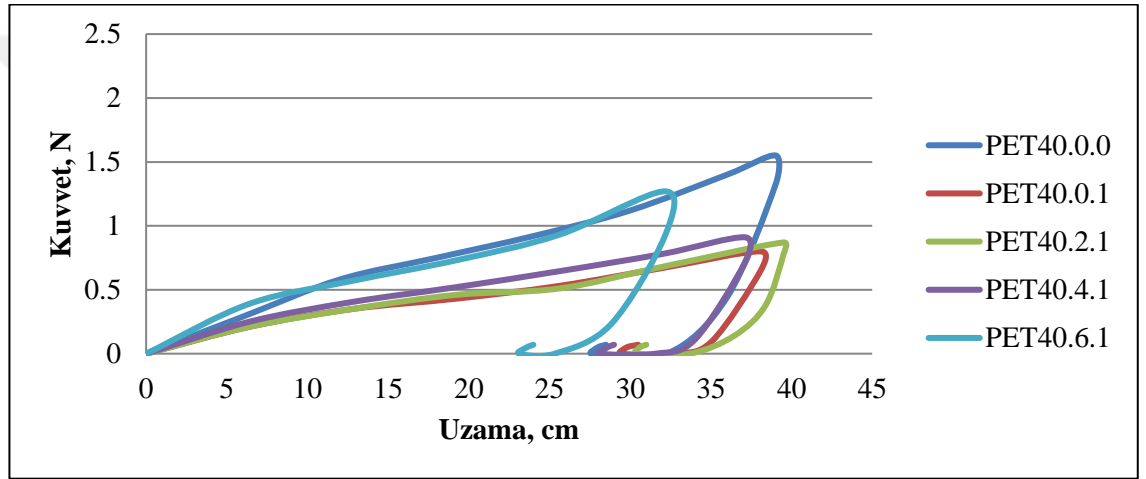
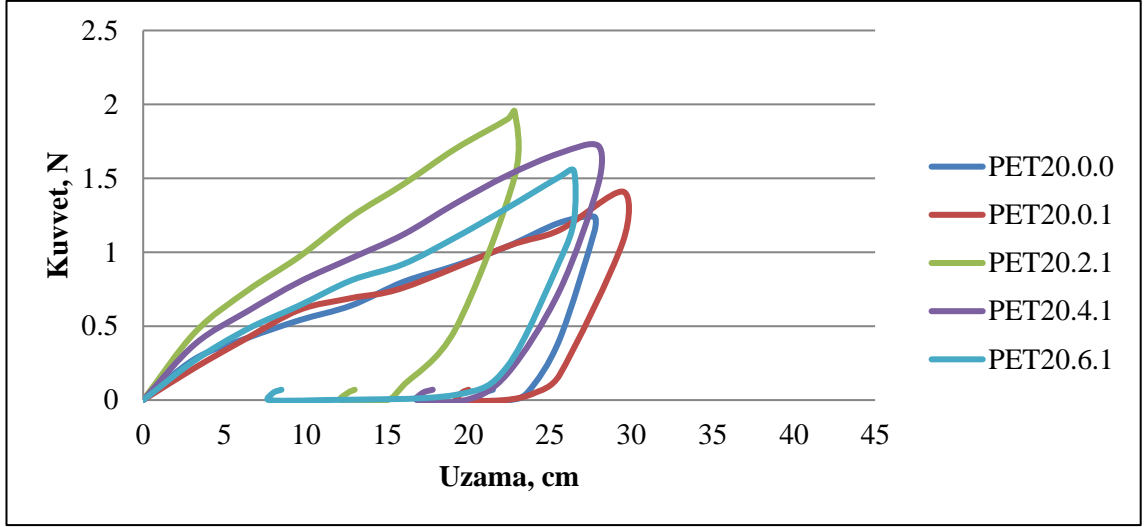
Hava-jetli tekstüre ipliklerin verdikleri kararsızlık değerlerine, üretim sırasında fikse fırının kullanımının genellikle bu değerleri azalıcı yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Elastik toparlanma deneylerinden elde edilen eğrilerin (histerezis döngülerinin) analizleri de numunelerin toparlanma davranışları hakkında yararlı bilgiler vermektedir. Gidiş eğrisinin dönüş eğrisi ile çakışmadığı bir döngü oluşturan grafiklere histerezis denilmektedir. Eğer ipliğe uygulanan kuvvet ile birlikte oluşan mekanik enerjinin tamamı iplik üzerinde depolanabilseydi, uygulanan yük ortadan kalktığında, iplik depoladığı bu enerjiyi ilk boyuna dönmek için kullanabilirdi. Bu durumda, kalıcı uzamanın meydana gelmediği tamamen toparlanma durumu gözlenirdi. Ancak uygulanan kuvvet ile ipliğe aktarılan bu enerjinin bir kısmı, moleküler seviyedeki iç sürtünmeler, bir kısmı ise filamentler birbiri üzerinden kayarken meydana gelen sürtünmeler nedeniyle ısı enerjisi olarak kaybolmaktadır. Bu kayıptan dolayı kuvvet ortadan kalktığı zaman iplik eski konumuna geri dönemeyecektir. Hava-jetli tekstüre ipliklerde filamentler iplik eksenine boyunca gergin bir vaziyette bulunmamaktadır. Dolayısı ile filamentler arasındaki sürtünme nedeniyle meydana gelen enerji kaybı daha fazla ön plana çıkmaktadır. Elastik toparlanma deneylerinde elde edilen histerezis döngüsünün alanı çevreye yayılan enerjinin ölçüsüdür. Mekanik enerjinin iyi depolanabildiği durumlarda iplik daha iyi bir toparlanma davranışı göstermekte ve histerezis döngüsünün alanı daha küçük olmaktadır (Hearle ve ark. 2008).

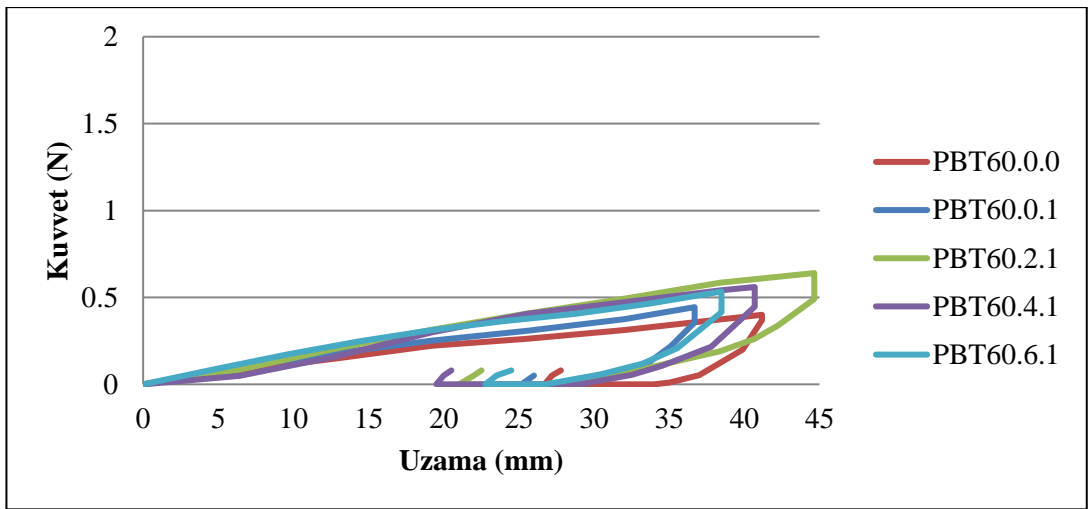
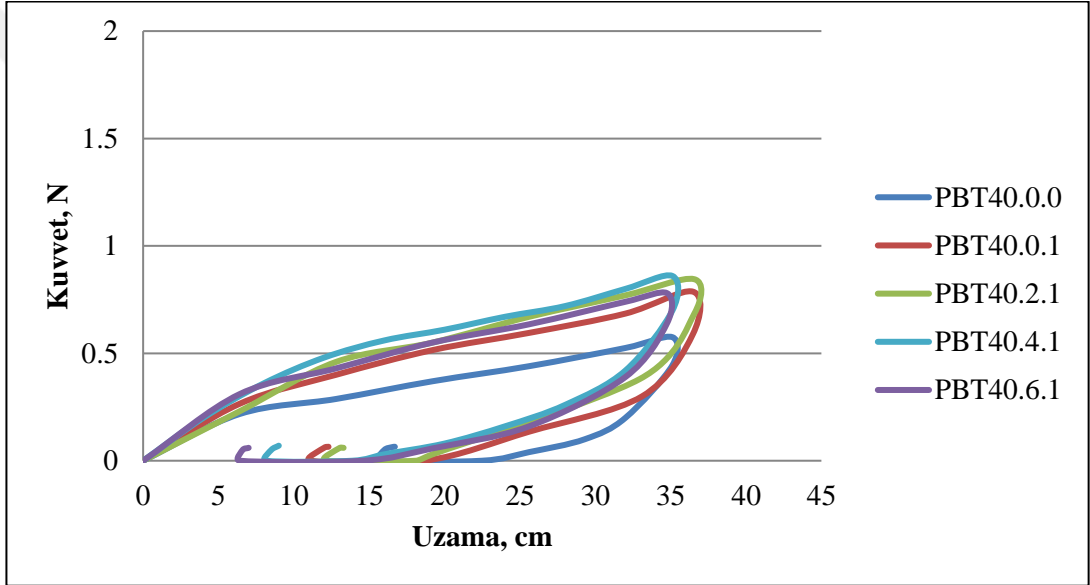
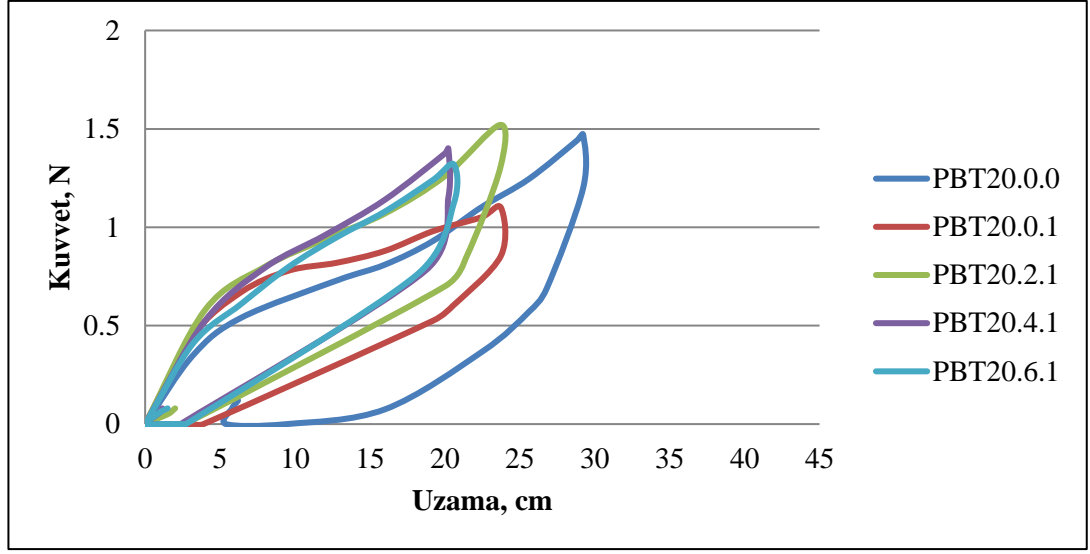
PET ipliklere ait elastik toparlanma grafikleri incelendiğinde en geniş histerezis döngüsü alanı %20 aşırı besleme ile üretilen ipliklerde gözlenmektedir. Bu iplik grubu diğer ipliklere göre en az ilmekli yapıya sahip olan gruptur. Bu az ilmekli yapı filamentlerin daha kolay hareket etmesine sebep olmakta, dolayısı ile filamentler arası sürtünmeler nedeniyle ısı enerjisine dönüşüp çevreye yayılan enerji miktarı da daha fazla olmaktadır. En belirgin ilmek oluşumunun meydana geldiği %40 aşırı besleme oranı ile üretilen iplik grubunda ise nispeten daha dar histerezis alanı görülmektedir. Bu iplik grubunda filament hareketini kısıtlayan ilmek miktarının daha fazla olması filament/filament sürtünmeleri nedeniyle kaybolan enerji miktarını azaltmaktadır. Ancak uygulanan kuvvet etkisi ile ilmekli yapının açılması bu grubun göstermiş olduğu kararsızlık değerlerinin daha yüksek olması sonucunu doğurmuştur (Şekil 4.9).

PBT ipliklere ait elastik toparlanma grafiklerinde en dar histerezis döngü alanının %60 aşırı besleme ile üretilen ipliklerde olduğu gözlenmiştir. Bu iplik grubu PBT iplikler içinde en düşük kararlılık değerlerine sahip olan gruptur. Bu durum, eğri ile çizelge değerleri arasında tutarsızlık gibi görünmektedir. Ancak bu ipliklerin ikincil toparlanma değerleri incelendiğinde, bu değerlerin oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum, PBT molekül zincirlerinin kalıcı uzamanın azaltılması konusunda önemli bir rol oynadığını, iplikte kalan kalıcı uzama değerinin büyük bir kısmının tekstüre iplikte bulunan ilmekli yapının açılmasından kaynaklandığını göstermektedir (Şekil 4.10).





Şekil 4.9. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait elastik toparlanma eğrileri



Şekil 4.10. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklere ait elastik toparlanma eğrileri

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada iplik numaraları ve filament sayıları aynı olan, PET (POY) ve PBT (POY) iplikler hava-jetli tekstüre işlemine tabii tutulmuştur. Tekstüre işlemi 3 farklı aşırı besleme (%20, %40 ve %60) ve 4 farklı mekanik germe oranı (%0, %2, %4, %6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fikse fırınının etkisi de fırının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda numuneler üretilerek incelenmiştir. Birbirlerinden farklı polimerlerden oluşan bu iki ipliğin hava-jetli tekstüre davranışları; iplik numarası tayini, çekme deneyleri, optik mikroskop çalışmaları ve elastik toparlanma deneyleri yardımıyla incelenmiştir.

Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, üretilen her numune için, ipliğin hammaddesi ve kullanılan hava-jetli tekstüre işlem parametrelerine bağlı olarak filamentlerin iplik içindeki düzenli yerleşimlerinin tekstüre işlemi sonrasında bozulduğu görülmektedir. Hava-jetli tekstüre PET ipliklere ait optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, en az ilmekli yapının %20, en fazla ilmekli yapının ise %40 aşırı besleme oranında elde edildiği gözlenmiştir. %60 aşırı besleme oranında üretilen PET numunelerin iplik merkezine gevşek halde kenetlenmiş geniş yaylar oluşturduğu görülmüştür. Buna ilave olarak %20 aşırı besleme oranında, mekanik germe oranının artmasıyla ilmekli yapının arttığı, %40 aşırı besleme oranında ise tüm mekanik germe oranlarında ilmek oluşumunun meydana geldiği gözlenmiştir. %60 aşırı besleme oranında sadece %4 mekanik germenin uygulandığı ipliklerde ilmekli yapı tespit edilmiştir. %4'ten düşük mekanik germe oranında ilmek oluşumunun meydana gelmediği, yüksek mekanik germe oranında ise tekstüre iplik yapısının deformasyona uğradığı görülmüştür.

PBT, PET'e göre daha düşük ilk modül değerine sahip olduğu için, hava-jetli tekstüre işlemi sonrasında bu iplikte daha fazla ilmeğin meydana gelmesi beklenmektedir. Fakat çalışmada elde edilen optik mikroskop görüntüleri bu beklentiye doğrulamamıştır. PBT'nin esnek yapısının ilmeklerin iplik merkezine kenetlenmeden açılmasına neden olduğu, bu nedenle hava-jetli tekstüre PBT ipliklerdeki ilmek oluşumunun hava-jetli

tekstüre PET ipliklerine göre daha az olduğu düşünülmektedir. Buna ilave olarak çalışmada kullanılan üretim parametreleri için, her iki iplik tipinin farklı aşırı besleme oranlarında en ilmekli yapıyı verdiği gözlenmiştir.

Hava-jetli tekstüre PET ipliklerin iplik numaraları incelendiğinde, iplik numaralarında aşırı besleme oranına paralel olarak belirgin bir değişim gözlenmemiştir. En iyi ilmek oluşumunun gözlendiği PET20.6.1 ve PET40.2.1 kodlu numuneler, mekanik germe oranının ilmek miktarı üzerindeki etkisini göstermektedir.

PBT'de ise optik mikroskop görüntülerinde tespit edilen ilmekli yapıdaki artışın iplik numarasındaki artış ile paralel olduğu söylenebilir.

Hava-jetli tekstüre ipliklerin kopma dayanımı sonuçları incelendiğinde, filamentlerin iplik eksenine göre nispeten daha paralel kalarak yükün taşınmasına destek oldukları %20 aşırı besleme oranında üretilen PET ipliklerin en yüksek kopma dayanımı değerini verdikleri görülmüştür. Burada da hammaddenin etkisi ortaya çıkmış ve hava-jetli tekstüre PBT iplikler, polimer yapısı nedeniyle aynı parametrelerde üretilen PET ipliklere göre daha düşük kopma dayanımı değerleri göstermiştir.

Hava-jetli tekstüre PET ipliklerde en yüksek kopma uzaması değerlerini, en ilmekli yapıya sahip olan %40 aşırı besleme ile üretilmiş numune grubunun verdiği görülmüştür. Hava-jetli tekstüre PBT ipliklerin ise aşırı besleme oranındaki artışa bağlı olarak kopma uzaması değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Hem PET hem de PBT tekstüre ipliklerin ilmek yapılarının, uygulanan kuvvetin etkisi altında açılarak daha yüksek kopma uzaması değerleri verdikleri tespit edilmiştir.

Elastik toparlanma deneylerinde, yüksek kalıcı uzama değerleri, ipliğin toparlanma davranışının daha kötü olduğunu ve kararsızlığın daha yüksek olduğunu göstermektedir. Hava-jetli tekstüre PET ipliklerde genel olarak en yüksek kalıcı uzama değerlerinin en ilmekli yapıya sahip olan %40 aşırı besleme ile üretilen ipliklerde olduğu gözlenmiştir. Bu durum, bu ipliklerin ilmeklerinin deney esnasında uygulanan kuvvetlerin etkisiyle

açıldıklarını işaret etmektedir. %20 aşırı besleme ve fikse fırınının kullanımıyla üretilen PBT ipliklerde tamamen geri toparlanmanın meydana geldiği gözlenmiştir. Bu ipliklerde filamentler iplik eksenine olan paralelliklerini korumuştur. Bu durumda, hava-jetli tekstüre iplik yapısından ziyade filamentleri meydana getiren molekül zincirlerinin özellikleri ön plana çıkmıştır. PBT molekül zincirlerinin sahip olduğu iyi toparlanma özelliği sayesinde hava-jetli tekstüre PBT ipliklerde de iyi toparlanma elde edilmiştir. Aşırı besleme oranındaki artışla birlikte ilmekli yapısı artan PBT ipliklerinin kararsızlık davranışlarında da artış gözlenmiştir.

Fikse fırınının kullanımının iplik yapısını biraz açtığı, iplik numarası ve kopma dayanımı üzerinde ise çok az bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Fırın kullanımının en fazla, ipliklerin kopma uzaması değerleri üzerinde, çoğunlukla bu değerleri arttırıcı yönde etkili olduğu görülmüştür. Hava-jetli tekstüre ipliklerin kararsızlık davranışlarında ise fikse fırınının kullanımının genellikle bu değerleri azalıcı yönde etki ettiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, aynı parametrelerde hava-jetli tekstüre işlemine tabii tutulan PET ve PBT ipliklerinin farklı tekstüre davranışları gösterdikleri dolayısı ile birbirlerinden farklı iplik yapıları oluşturdukları gözlenmiştir. Bu farklılık direkt olarak ham maddeden (polimer yapısından) kaynaklanmaktadır. Kullanılan mekanik germe oranının da tekstüre ipliğin ilmekli yapısını belirgin bir şekilde etkilediği görülmüştür. Hava-jetli tekstüre ipliklerden beklenen ilmekli yapının her bir aşırı besleme değeri için farklı mekanik germe oranlarında elde edilebildiği tespit edilmiştir. PET iplikler gibi yüksek miktarda ilmekli yapıya sahip hava-jetli tekstüre PBT iplikler elde edebilmek için, daha yüksek filament sayısına sahip PBT ipliklerin tercih edilmesi ve/veya daha yüksek aşırı besleme oranlarının kullanılması önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- Acar, M., Alexander, A. J., Turton, R. K., ve Wray, G. R. 1983.** The Mechanism of the Air-jet Texturing Process, *Texturing Today*, Manchester: 207-230.
- Acar, M. 1984.** Analysis of the air-jet texturing process and development of improved nozzles. *Ph.D. Thesis*, Loughborough University of Technology, UK.
- Acar, M. 1989.** Trends in Air-jet Texturing. Proceedings of Air-jet Texturing and Mingling/Interlacing. *Second International Conference*. Loughborough. pp: 217-226.
- Acar, M., Bilgin S., Versteeg, H.K., Dani, N., Oenham W. 2006.** The Mechanism of the Air-jet Texturing: The Role of Wetting, Spin Finish and Friction in Forming and Fixing Loops, *Textile Res. J.*, 76:116-125.
- Acar, M., Turton R.K., Wray G.R. 1986.** An analysis of the air-jet yarn texturing process, part VI: the mechanism of loop formation. *Journal of Textile Institute*, 77(6): 371-376.
- Anonim, 2018.** History of Polyester. <http://www.whatispolyester.com/history.html>. (Erişim Tarihi: 10.07.2018).
- Anonim, 2008.** Air Texturing-SSM-Schärer Schweiter Mettler AG. [https://www.ssm.ch/eng/air-texturing\\_32805.shtml](https://www.ssm.ch/eng/air-texturing_32805.shtml) (Erişim Tarihi: 11.07.2019).
- Baldua, R.K., Rengasamy, R.S., Kathari, V.K. 2014.** Effect of feed filament fineness and process parameters on air-jet textured yarns properties. *The Journal of The Textile Institute*, 105(11): 1186–1192.
- Baldua, R.K., Rengasamy, R.S., Kathari, V.K. 2017.** Effect of linear density of feed yarn filaments and air-jet texturing process variables on compressional properties of fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 42(1): 9-16.
- Başer, İ. 1998.** Tekstil Teknolojisi, M.Ü. Yayınları, İstanbul, Türkiye, s: 213- 216
- Baştürk, F. 2013.** Hava jetli tekstüre tekniğinde standart üretim parametrelerinin değiştirilmesiyle üretilen ipliklerin çeşitli özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Besci S. 2010.** Hava-jet tekstüre sistemi ile üretilen polyester/polyester ve polyester/teflon dikiş ipliklerini özelliklerinin analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uşak.
- Bilgin, S., Versteeg, H.K., ve Acar, M. 1996.** Effect of Nozzle Geometry on Air-Jet Texturing Performance, *Textile Research Journal*, 66(2): 83-90.
- Canbolat, M.F. 2006.** Monokomponent liflerde kendiliğinden kıvrım eldesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canoğlu, S., Baştürk, F., Süvari, F. 2014.** Investigating the effects of draw ratio, hot-pin temperature, and overfeeding on the color values of air-jet textured polyester yarns. *The Journal of The Textile Institute*, 105(5): 547–552.
- Canoğlu, S., Yükseloğlu, S.M. 2016.** Effect of poliester POY fibre cross section on the yarn properties of air-jet texturing. *Annals of the University of Oradea Fascicle of Textiles, Leatherwork*: 25-30.
- Coşkunsel, U. 1986.** Hava Jetli Yöntemi İle Tekstüre İşlemi. *Bitirme Tezi*, U.Ü. Mühendislik Fakültesi, Bursa.
- Çelik, H.İ., Sarıoğlu, E., Kaynak, H.K. 2018.** Bursting Strength of Knitted Fabrics Produced from of Polybutylene Terephthalate (PBT) Yarns with Different False-Twist Texturing Parameters. II. International Conference on Engineering Technology and Innovation, March 07-11 2018, Budapest, Hungary.

- Dani, N. 2004.** Fundamentals of Air-jet Texturing. *Ph.D. Thesis*, North Caroline University, 153 pp.
- Demir, A. 2006.** Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri. İstanbul, 455s.
- Demir, A., Acar, M., Wray, G.R. 1986.** Instability tests for air-jet textured yarns, *Textile Research Journal*, 56(3): 191-202.
- Demir, A., Acar, M. ve Wray, G. R. 1988.** Air-Jet Textured Yarns: The Effects of Process and Supply Yarn Parameters on the Properties of Textured Yarns, *Textile Research Journal*, 58(6): 318-328.
- Denton M.J. 1968.** The development of false-twist in bulking. *Journal of Textile Institute.*, 59: 344-350.
- Deopura, B.L., Alagirusamy R., Joshi, M., Gupta, B. 2008.** Polyesters: Polyesters and Polyamides, Editörler: Krishnan, P.S.G. and Kulkarni, S.T., *CRC Press*, England, 314-318.
- Devroede, J. 2007.** Study of the THF formation during the TPA-based synthesis of PBT. *Ph.D. Thesis*, Research Programme of the Dutch Polymer Institute, Eindhoven University, Eindhoven.
- DuPont, Sorona, Polymer Technical Information, 2006.** A unique molecular structure. [http://www.engpolymer.co.kr/product/sorona/SORONA\\_Tech\\_inform.pdf](http://www.engpolymer.co.kr/product/sorona/SORONA_Tech_inform.pdf). (Erişim Tarihi: 11.07.2018).
- Faurne, F. 1999.** Synthetic Textiles, Hanser/Gardner Publications, Germany, pp: 111-116.
- Hearle, J.W.S., Hollick, L., Wilson, D.K. 2001.** Yarn Texturing Technology. Woodhead Publishing Limited. England, 300 pp.
- Hearle, J.W.S. ve Morton, W.E. 2008.** Physical Properties of Textile Fibres. Woodhead Publishing Series in Textiles 4th Edition, England.
- Heberlein Yarn Technical Centre 1980** Description of Test Methods for Air-jet Textured Filament Yarns: 6110.
- Heberlein Fiber Technology Inc. 1999.** Heberlein ATY documentation. Information brochure.
- Hockenberger, A. 2004.** Tekstil Fiziği, Alfa Yayınları, Bursa, Türkiye, s: 43-74.
- Houck M.M., Menold R.E.II, Huff R.A. 2001.** PTT New Type of Polyester Fibre. *Problems of Forensic Sciences.*, 46: 217-221.
- Hsieh, Y. 2001.** Surface Characteristics of Polyester Fibers: Surface Characteristics of Fibers and Textiles, Editörler: Pastore, M. and Kiekens, P., In:C., Markel Dekker Inc.,
- Huang, L.Q., Wang, X.L., Chen, F., Zhang, R.Y., Yu, J.Y. 2016.** Preparation and properties of core and effect air-jet textured yarns blended by Nylon6 and Poly(ethylene Terephthalate) filaments. *Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings*, 1(2): 814-879.
- Javidpanah, M., Najar, S.S., Dayiary, M. 2014.** Study on thickness loss of cut-pile carpet produced with heat process modified polyester pile yarn. Part II: dynamic loading. *The Journal of The Textile Institute*, 106(3): 236-241.
- Jonaitiene, V., Stanys, S. 2005.** The analysis of the seam strenght characteristics of the PES-PTFE air jet textured sewing threads. *Journal of Clothing Science and Technology*, 17(3-4): 264-271.
- Karakaş, H. 2001.** Elyaf Bilgisi Ders Notları, İTÜ.

- Kim, S.J., Chai, W.H., Chae, C.S., Kim, S.R. 2007.** The mechanical properties of PET ATY for car-seat fabrics. *Research and Progresses of Modern Technology on Silk, Textile and Mechanicals I*: 204-206.
- Koç, S.K. 2008.** Kauçuk Kompozitlerde Poliester Lif Takviyesinin Kauçuğa Yapışma Özelliklerinin Geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Koç, S.K., Düzyer, Ş., Hockenberger, A. 2015.** A New Approach to Determination of the Instability of Air-jet Textured Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 10(1): 152-157.
- Koç, S.K., Hockenberger A. 2010.** Investigation of air-jet texturing of technical polyester yarns. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4: 299-305.
- Koç, S.K., Mecit, D., Boyacı, B., Örnek, M., Hockenberger, A. 2016.** Effects of filament cross section on the performance of automotive upholstery fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 46(3): 756-770.
- Kollu T. 1982.** Structure and properties of air-jet textured yarns. *Yüksek Lisans Tezi*, UMIST, Manchester.
- Kothari, V.K., Bari, S.K. 2002.** Properties of polyester/woll parent and air jet textured yarns and their fabrics. *Journal of Fibre & Textile Research*, 27(2): 156-160.
- Kothari, V.K., Sengupta, A.K., Rengasamy, R.S. 1991.** Role of water in air jet texturing. 1. Polyester filament feeder yarns with different frictional characteristics. *Textile Research Journal*, 61(9): 495-502.
- Kurtuluş, E. 2010.** Bazı termoplastik kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.
- Lewin, M. 2006.** PET History: Handbook of Fiber Chemistry, Editörler: Lewin, M. and Mark, H.F., CRC Press, New York, pp: 3-31.
- Mahish, S.S., Punj, S.K., Kathari, V.K. 2010.** Optimization of process parameters in air-jet texturing of polyester/viscose blended yarns. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 35(3): 213-221.
- Mahmood, A. H., Gong, R. H., ve Porat, I. 2013.** Development of air textured core-and-effect glass yarns for improving the bonding strength of laminated composites. *Fibers and Polymers*, 14(2): 271-276.
- Manish, S.S., Punj, S.K. 2009.** Optimization of process parameters in air-jet texturing of polyester/viscose blended yarns. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 35: 213-221.
- McIntyre J.E. 2005.** 3. Polyester Fibres: Synthetic Fibres: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyofin, CRC Press, UK, pp: 95-166.
- Muthusami, R.P. 2011.** Impact of Process Parameters and Nozzle Design on The Tensile Properties of Air Jet Textured Yarns. *M.Sc. Thesis*, North Carolina State University, Raleigh, U.S.A.
- Özkan, S. 2008.** Filament Kesit Şeklinin, Sayısının ve Lineer Yoğunluğunun POY ve Tekstüre İplikler Üzerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öznergiz, E., Demir, A., Turguter, U., Kurumahmut, E., Kutlu, A., Gülşen, S., Kıyak, Y.E. 2009.** Hava jet ile tekstüre yapan büküm teknolojisi (AT<sup>2</sup>). TÜBİTAK 105 M 134 nolu Proje Kesin Raporu, İstanbul.
- Rengasamy, R. S., Das, B.R., Patil, Y.B. 2009.** Thermo-physiological comfort characteristics of polyester air-jet-textured and cotton-yarn fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 100(6): 507-511.



- Rengasamy, R.S., Guruprasad, R., Asis, P. 2005.** Dynamic Friction of Polyester Air-jet Textured Yarns. *Fibers and Polymers*, 16(2): 146-150.
- Rengasamy, R.S., Kathari, V.K., Patnaik, A. 2004.** Stress strain characteristics of air jet textured polyester yarns. *Journal of Fibre & Textile Research*, 29(3): 283-289.
- Rwei, P, Pai, H. 2002.** Fluid simulation of airflow in texturing jets. *Textile Research Journal* 72(6): 520-525
- TC. Devlet Planlama Teşkilatı, 2001.** Sentetik Elyaf ve İplik Sanayii Alt Komisyonu Raporu. [ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/petrolkim/oik613.pdf](http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/petrolkim/oik613.pdf). (Erişim Tarihi 11.07.2018).
- Turguter, U. 2008.** Hava jeti ile tekstüre yapan bir tekstil makinesinin tasarımı ve prototip imalatı. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Ward, I.M., Wilding, M.A., Brody, H. 1976.** The mechanical properties and structure of poly(m-methylene terephthalate) fibers. *Journal of Polymer Science*, 14: 263–274.
- Wickramasinghe, G. L. D., Foster, P. W. 2016.** Steam as an alternative fluid for air in spun-like texturing: effect of core-yarn draw and core-yarn heat setting on texturing performance. *The Journal of The Textile Institute*, 108(7): 1211–1218.
- Wray, G.R. 1969.** The Properties of Air-textured Continuous Filament Yarns, *J. Textile Inst.* 60 (3): 102-126.
- Yıldırım, F.F., Yavaş, A., Avinç, O.O. 2012.** Polibütülen Tereftalat Liflerine Genel Bakış. *Tekstil ve Mühendis*, 19(87): 29-42.
- Zheng Y., Li J., Li R. 2009.** Study on the Tensile Performance of PTT Fiber. *Modern applied Science*, 3(1): 135-138.
- Zhu, M. 2016.** Influence of Processing Parameters and Jet Design on the Tensile Properties of Air-jet Textured Yarns. *M.Sc. Thesis*, Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: : Seren DURAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi, Bursa, 23.05.1993  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şht.Jan.Ast.Zeki Burak Okay Lisesi (2008-2011)  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Tekstil Mühendisliği (2011-2016)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
(2016-2019)

İletişim : serenduran19@gmail.com  
Yayımları :

**Duran, S., Koç, S.K. 2019.** Hava-Jetli Tekstüre İşleminde Mekanik Germe Oranının Polietilen Tereftalat (Pet) İplik Özellikleri Üzerine Etkisi. 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 14 – 17 Şubat 2019, Yalova Üniversitesi, Yalova.