

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tufting Halı Üretiminde Geri Dönüşüm Elyaf Kullanımı ve
Halı Performansına Etkilerinin Araştırılması**

İbrahim Halil ÇAKTU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**Tufting Halı Üretiminde Geri Dönüşüm Elyaf Kullanımı ve
Halı Performansına Etkilerinin Araştırılması**

İbrahim Halil ÇAKTU

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 18/10/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri: Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL (Danışman)

: Prof. Dr. Ebru ÇORUH

: Doç. Dr. Füsun DOBA KADEM

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VI
1. GİRİŞ	1
1.1. Polipropilen Lif Üretimi ve Elyaf Özellikleri	1
1.2. Polyester Lif Üretimi ve Elyaf Özellikleri	4
1.3. Geri Dönüşüm Lif Üretim Yöntemleri ve Önemi	6
1.3.1. Geri Dönüşüm Yöntemleri	9
1.4. Halı Üretim Yöntemleri	10
1.5. Halı Sektörü İhracatı	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. BCF Polyester ve Polipropilen İplik Üretimi	23
3.1.2. Needle Punch (NDL) Halı Tabanı Üretimi	24
3.1.3. Tufting Halı Üretimi	26
3.2. Metot	31
3.2.1. Halı Numunelerine Uygulanacak Testler	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. Halı Test Sonuçları	37
4.1.1. Statik Yük Altında Kalınlık Kaybı Test Sonuçları	37
4.1.2. Dinamik Yük Altında Kalınlık Kaybı Test Sonuçları	39
4.1.3. Halı Aşındırma Testi Sonuçları	42
4.1.4. Heksapod Testi (Görünüm Muhafaza Etme Derecesi) Sonuçları	44
4.1.5. Hav İlme Çekme Kuvvetinin Belirlenmesi Testi Sonuçları	45
4.1.6. Numune Halıların Maliyet Açısından Karşılaştırılması	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1. Halı Numunelerinin Performansı Açısından Sonuçların Değerlendirilmesi	49
5.2. Genel Değerlendirme	50
5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

Tufting Halı Üretiminde Geri Dönüşüm Elyaf Kullanımı ve Halı Performansına Etkilerinin Araştırılması

İbrahim Halil ÇAKTU

Danışman: Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Geri dönüşüm; tüm sektörlerde olduğu gibi tekstil sektöründe de giderek önem kazanan bir kavramdır. Özellikle doğada kaybolma süresi çok uzun olan sentetik liflerin geri dönüştürülerek yeniden kullanımı dünya geleceği için zorunlu hale gelmiştir. Çalışma kapsamında geri dönüşüm polyester (PES) ve polipropilen (PP) liflerin, tufting halı üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Hav ipliği olarak 1700x2 dtex geri dönüşüm ve orijinal PP ve PES iplikler, taban halısı olarak ise yine geri dönüşüm PES liflerinden üretilmiş bir yapı kullanılarak aynı konstrüksiyonda tufting halı numuneleri üretilmiştir. Ardından numunelerin statik yük altında kalınlık kaybı ve numunenin rezilyans davranışı, dinamik yük altında kalınlık kaybı, aşınma dayanımı, görünümü muhafaza etme derecesi veilmek çekme dayanımı özellikleri standart yöntemler ile test edilmiştir. Sonuç olarak geri dönüşüm PES ve PP liflerinin tufting halı üretiminde kullanılabileceği, performans parametrelerinin de önemli ölçüde bir değişim gözlenmediği tespit edilmiştir. Geri dönüşüm PES ve orijinal PES ipliklerinden üretilen halılar birbirine yakın performans sergilerken PP ipliklerde geri dönüşüm işleminin iplik özelliklerinde bir miktar değişikliğe neden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tufting halı, Geri dönüşüm polipropilen, Geri dönüşüm polyester, Performans özellikleri

Investigation of the Use of Recycled Fibers in Tufting Carpet Production and Their Effects on Carpet Performance

İbrahim Halil ÇAKTU

Advisor: Prof. Dr. Belkis ZERVENT ÜNAL

Department of Textile Engineering

ABSTRACT

Recycling is a concept that is gaining importance in the textile sector as in all sectors. Especially the recycling and reuse of synthetic fibres, which have a very long time to disappear in nature, has become mandatory for the future of the world. Within the scope of the study, it was aimed to investigate the possibilities of using recycled polyester (PES) and polypropylene (PP) fibres in tufted carpet production. Tufting carpet samples were produced in construction by using 1700x2 dtex recycled and original PP and PES yarns as pile yarn and a structure made of recycled PES fibres as base carpet. The thickness loss and resilience behaviour of the specimens under static load, thickness loss under dynamic load, abrasion resistance, degree of appearance retention and loop tensile strength properties of the specimens were then tested by standard methods. As a result, it was determined that recycled PES and PP fibres can be used in tufted carpet production and no significant change was observed in performance parameters. While the carpets produced from recycled PES and original PES yarns exhibited similar performance, it was determined that the recycling process in PP yarns caused some change in yarn properties.

Keywords: Tufting carpet, Recycling polypropylene, Recycling polyester, Performance properties

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen, Yüksek Lisans tezimin hazırlık aşamasından son halini alana kadar kıymetli önerileri ile yol gösterip, sabırla ve hoşgörü ile her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Belkıs ZERVENT ÜNAL'a teşekkürlerimi en içten duygularımı sunuyorum.

Değerli jüri üyelerim olan ve bu görevi üstlenen sayın Prof. Dr. Ebru ÇORUH hocama ve Lisans eğitimimden Yüksek Lisans eğitimime kadar beni her konuda destekleyen ve değerli bir öğrenci olduğumu hissettiren sayın Doç. Dr. Füsun DOBA KADEM hocama sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın hazırlık sürecinden numuneleri temin ettiğim Tümer Halı çalışanlarına ve numunelerin test işlemlerini yaptığım Merinos Halı çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Son olarak her şeyden değerli aileme ve yüksek lisans aşamasında beni her zaman motive eden ve bu yolda ilerlememe destek veren değerli eşim Sümeyye ÇAKTU 'ya, teşekkür ederim. Yüksek Lisans tezimi değerli kızlarım Ceylin Erva ve Alya'ya ithaf ediyorum.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Polipropilen liflerinin fiziksel özellikleri	4
Çizelge 1.2. Polyester liflerinin fiziksel özellikleri.....	6
Çizelge 1.3. Genel ihracat performansı içinde halı sektörü ihracatının payı	14
Çizelge 1.4. Ürün grubu bazında halı ihracatı.....	15
Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan hav iplik özellikleri	24
Çizelge 3.2. Halı numuneleri üretim parametreleri.....	30
Çizelge 3.3. Numune halılara uygulanan testler ve standartları	31
Çizelge 3.4. CRI-4 ölçeğinin açıklanması.....	34
Çizelge 4.1. Numunelerin statik yükleme sonrası (%) kalınlık kaybı ve (%) rezilyans değerleri	37
Çizelge 4.2. Numunelerin dinamik yükleme sonrası (%) kalınlık kaybı değerleri	40
Çizelge 4.3. Numunelerin aşındırma testi sonrasında % ağırlık kaybı değerleri	42
Çizelge 4.4. Tufting halı numunelerinin heksapod görünüm değerlendirme sonuçları	44
Çizelge 4.5. Tufting halı numunelerinin ilmek çekme kuvvetinin sonuçları	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Polipropilenin Yapısı	2
Şekil 1.2. Polipropilen Elyaf Çekim Hattı	3
Şekil 1.3. Polipropilen İplik Üretim Aşamaları	3
Şekil 1.4. Polyester Yapısı	5
Şekil 1.5. Dünyada Üretilen Tüm Elyaf Gruplarının Yıllar İçerisindeki Değişimi.....	7
Şekil 1.6. Küresel Elyaf Pazarı 2021	8
Şekil 1.7. Tekstil Atıklarının Geri Dönüşüm Olanakları.	9
Şekil 1.8. Halıların Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması	10
Şekil 1.9. İlmek oluşumu	13
Şekil 1.10. Türkiye'nin Ülkeler Bazında Tufting Halı İhracatı Payları	15
Şekil 3.1. BCF Makinesi	23
Şekil 3.2. İğneleme Hareketi	24
Şekil 3.3. İğneleme ile Bağlama Yöntemi.....	25
Şekil 3.4. NDL Halı Tabanı Üretim Hattı	25
Şekil 3.5. NDL Halı Tabanı İğneleme Ve Kalender Kısmı	26
Şekil 3.6. NDL Halı Tabanı Sarıcı Kısmı	26
Şekil 3.7. Tufting Halı Makinesi.....	27
Şekil 3.8. Tufting Halı Makinesi İğne Ekipmanları	27
Şekil 3.9. Orijinal Polyester Halı Numuneleri	28
Şekil 3.10. Geri Dönüştürülmüş Polyester Halı Numuneleri	28
Şekil 3.11. Orijinal Polipropilen Halı Numuneleri	29
Şekil 3.12. Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Halı Numuneleri	29
Şekil 3.13. Tufting Sonrası Bitim Prosesi	34
Şekil 3.14. Heksapod Testi Değerlendirme Skala Örneği.....	35
Şekil 3.15. İlmek Çekme Kuvveti Test Görseli	35
Şekil 4.1. Statik Yükleme Sonrası % Kalınlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması	38
Şekil 4.2. Statik Yük altında Rezilyans Grafiği	38
Şekil 4.3. Dinamik Yükleme Sonrası % Kalınlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması	41
Şekil 4.4. Aşındırma Testi Sonrası % Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.5. Heksapod Görünüm Tutuculuğu Değerlendirmeleri Grafiği	44
Şekil 4.6. İlmek Çekme Kuvveti Ölçümlerinin Grafikselsel Gösterimi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

PP	: Polipropilen
PES	: Polyester
V-PES	: Orijinal Polyester
R-PES	: Geri Dönüşüm Polyester
V-PP	: Orijinal Dönüşüm Polipropilen
R-PP	: Geri Dönüşüm Polipropilen
T	: Tufting halı
MD	: Makine Yönü
CD	: Çapraz Yönü
CRI	: Renksel Geri Verim İndeksi
NDL	: Neddle Punch (Mekanik İğneleme Yöntemi)
BCF	: Bulked Continuous Filament (Hacimlendirilmiş Sonsuz Filament)

1. GİRİŞ

Tüketim ve çevre sorunları dünya nüfusu ile beraber artmaktadır. Artan çevre sorunları ve atıklar noktasında birçok kuruluş endüstriyel ve toplumsal çalışmalar yürütmektedir. Birçok malzeme türünden oluşan zararlı atıkları azaltmak ve daha sürdürülebilir bir yaşam sürmek oldukça önem arz etmektedir. Tekstil, geri dönüşüm noktasında önemli bir sektördür. Bu noktada geri dönüşümün desteklenmesi ve tekstil endüstrisinin buna uyum sağlaması oldukça önemlidir.

Geçtiğimiz on yıllar boyunca, dünya çapındaki büyük nüfus artışı ve insanların daha iyi yaşam koşullarını benimseme ihtiyacı, polimerlerin (özellikle plastiklerin) tüketiminde çarpıcı bir artışa yol açmıştır. Malzemeler tüketim toplumumuzla iç içe geçmiştir; bugün ev aletleri, ambalaj, inşaat, tıp, elektronik, otomotiv ve havacılık bileşenleri gibi çok çeşitli alanlarda sayısız kullanım alanı bulan plastikler olmadan modern bir toplum hayal etmek zor olacaktır. Bahsettiğimiz sektörlerin küresel çapta 1 trilyon dolarlık bir bütçesi vardır.(Hamad, ve ark., 2013).Bu sektörlerde kullanılan hammaddelerin geri dönüşümü hammadde ihtiyacını ve tüketimini azaltacaktır. Tekstil endüstrisi, kaynaklarından memnun olmama konusunda uzun bir geçmişe sahiptir ve her yıl önemli miktarda atık üretilmektedir. Ticari olarak, lif üretimi dünya çapında üretimi yılda 80 milyon tonun üzerindedir. Tekstil ve hazır giyim üretiminde çevresel koşulların iyileştirilmesi ve tekstil endüstrisinin iyi performans göstermesi önemlidir (Eser, ve ark.,2016).

Polyester ve polipropilen tekstil endüstrisinde (hazır giyim, halı, yer döşeme, otomotiv ve dokusuz yüzey ürünlerinde) kullanılmaktadır. Haliyle tüketimin fazla olması sebebiyle atık miktarı önemli ölçüde artmaktadır. Polipropilen ise halı sektöründe yaygın kullanılmaktadır. Son yıllarda makine halısının dışında dokuma olmayan tufting halı sektörünün üretiminde artış olduğundan bu elyafında kullanımı her geçen gün artmakta buna bağlı olarak atıkları da bu ölçüde fazla olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, geri dönüşüm polyester (PES) ve polipropilen (PP) elyaflardan elde edilen hav ipliklerinin tufting halı üretiminde kullanılabilirliği ve üretilen, halı numunelerinin statik yükleme altında kalınlık kaybı, dinamik yükleme altında kalınlık kaybı, aşınma testi, heksapod cihazı ile görünümü muhafaza etme özelliği, ilmek çekme kuvveti gibi performans özelliklerine etki şekilleri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

1.1. Polipropilen Lif Üretimi ve Elyaf Özellikleri

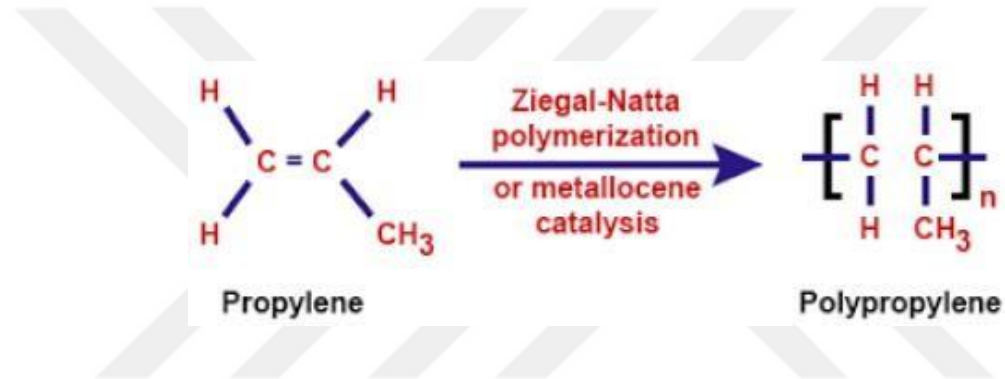
Polipropilen (PP) liflerinin sentetik lifler içerisindeki grubu poliolefindir. Doymamış hidrokarbonların açık zincirli bileşiklerinden oluşan poliolefinler, içinde polietilen ve polipropilen lif üretiminde önem kazanan ve tekstilde yer edinmiş polimerlerdir. 1954 yılında G. Natta tarafından polipropilen ilk olarak Propilenin polimerizasyonu esnasında metal alkil/metal tuzları tipi katalizörlerin bir stereospesifik etkisi olduğunu keşfetmesiyle bulunmuştur (http://plastiquarian.com/?page_id=14275, 20.05.2024).

Propilenin yapısında bulunan CH₃ grubu, molekülün asimetrik bir yapıda oluşmasını sağlamakta ve polarizasyonda olan yapısal farklılıklar değişik özelliklerde polipropilenler oluşmasını sağlamaktadır.

Polipropilen, üç farklı izomer yapısında olmaktadır.

- Ataktik Polipropilen
- İzotaktik Polipropilen
- Sindiotaktik Polipropilen

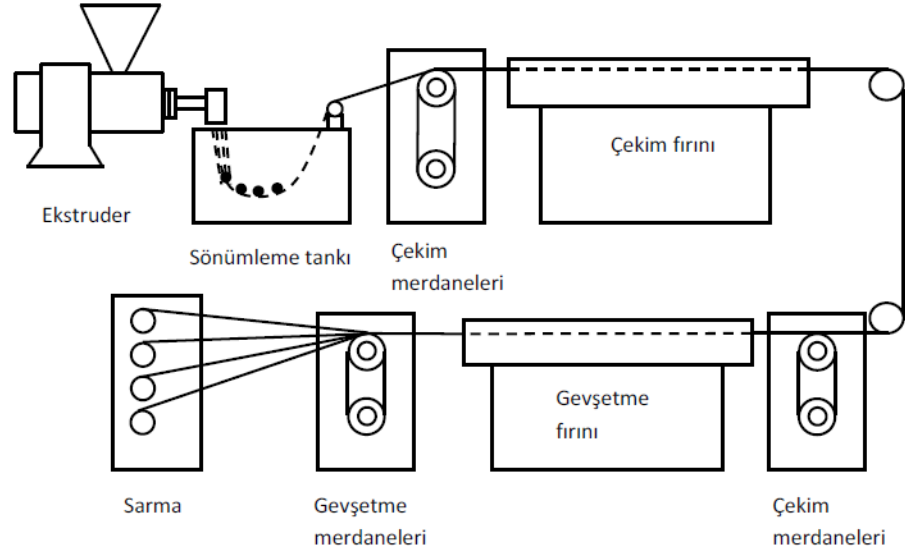
Bu üç farklı izomer yapıda olan polipropilen içerisinde sadece tekstil lifi olarak izotaktik polipropilen kullanılmaktadır (<https://www.Academia.Edu> 25.05.2024). Şekil 1.1’de polipropilenin polimer yapısı görülmektedir.



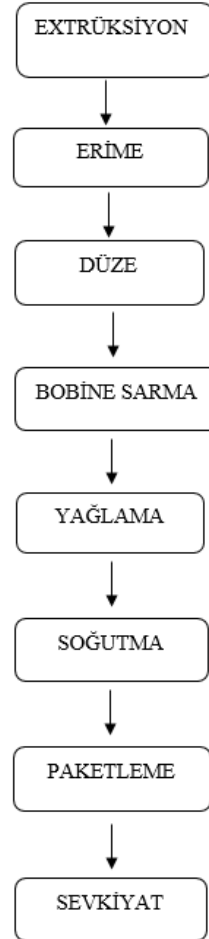
Şekil 1.1. Polipropilenin Yapısı (<https://images.tutorvista.com/cms/images/44/preparation-ofpolypropylene>) (25.05.2024)

Polipropilen lifler, PP granüllerinden eriyik ekstrüzyonla üretilmektedir. Ekstrüderde yaklaşık 200-240 °C sıcaklıklarda eritilen granül PP polimerler, bir vidalı pompa sistemi vasıtasıyla çekim bölgesine taşınır. Çekim bölgesinden eritilerek iletilen polimer, istenilen nozullardan çekilir. Soğutma ünitesinde kristalize olan filamentler bu aşamada mukavemet kazandırılır ve çekme silindirleri vasıtasıyla eğirme düzesinin her gözeneğinden çekilen filamentler birlikte işlenir. Son aşamada, PP filamanlara esneklik ve mukavemet kazandırmak için germe-çekme işlemi uygulanmaktadır. PP ipliğin ekstrüzyon aşaması, istenilen iplik tipine ve ipliğin uygulama alanına göre değişir. Multifilament iplik, monofilament iplik, kesikli iplik, şerit ve nonwoven üretimi için farklı prosesler vardır (Çelik, 2018).

Şekil 1.2’de polipropilenin eriyikten lif çekim yöntemi ile elde ediliş yöntemi şematik olarak verilmiştir. Polipropilen iplik üretim aşamaları ise Şekil 1.3’te görülmektedir.



Şekil 1.2. Polipropilen Elyaf Çekim Hattı (Çelik, 2018)



Şekil 1.3. Polipropilen İplik Üretim Aşamaları (<https://www.Academia.Edu> 25.05.2024).

Polipropilen lifler; mukavemet ve ısı özellikler bakımından mükemmel seviyededir. Hidrofob karaktere sahip olması nedeniyle de yaş ve kuru mekanik özellikleri değişkenlik

göstermemektedir (Öznur, 2021). Tekstil alanında kullanılan PP liflerinin fiziksel özellikleri Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Polipropilen liflerinin fiziksel özellikleri (Mandal, 2013)

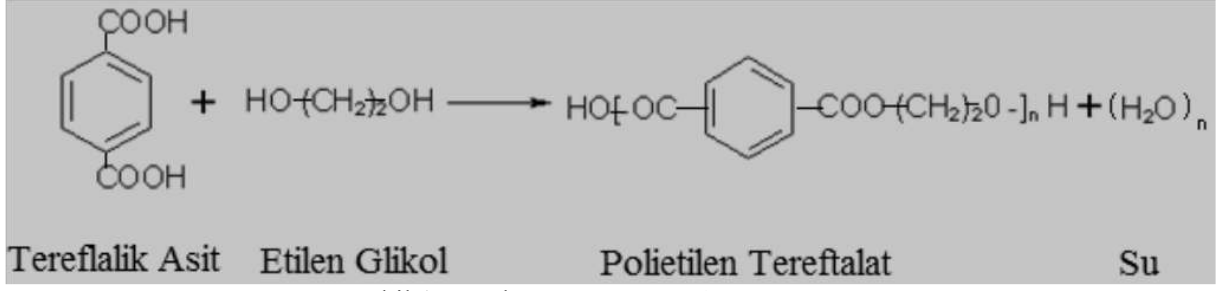
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	DEĞERİ
Çekme dayanımı (g/denye)	3,5-5,5
Uzama (%)	40-100
Aşınma dayanımı	İyi
Nem çekme (%)	0-0,05
Yumuşama noktası (°C)	140
Erime noktası (°C)	165
Kimyasal direnç	Genellikle Mükemmel
Yoğunluk g/cm ³	0,91
Elektrik yalıtımı (megaohm)	>1016
Küf ve güve direnci	Mükemmel

1.2. Polyester Lif Üretimi ve Elyaf Özellikleri

Polyesterlerin üretiminin, 1920’lerde W.H. Carothers’ın yüksek polimerler üzerine yürütülen çalışmanın bir parçası olarak araştırılmaya başlandığı bilinmektedir. 1931’de Carothers ve J.W. Hill tarafından yapılan ilk sentetik man-made lif polyesterdir. Sebakkik asit ve etilen glikolden üretilmiştir. Whinfield ve Dickson 1939-1941 yılları arasında tereftalik asit ve etilen glikolün polikondenzasyonu sonucunda polietilen tereftalatı bulmuşlar ve polyester lifini üretmişlerdir. 1948’de ticari polyester lifi olan Dacron’u piyasaya süren Amerika’da bulunan DuPont firmasıdır. Daha sonra Terylene ticari ismiyle I.C.I isimli İngiltere firması polyesteri üretmiştir. 1960’lı yıllardan sonra yapılan çoğu çalışmalar, polyesterin boyanması için gerekli boyarmadde, yeni boyama teknikleri, yardımcı kimyasal maddeler ve yeni modifiye polyester lifleri bulmak için yoğunlaştırılmıştır (Akcan, 2018). Günümüzde en çok üretilen polyester lifi; tereftalik asit ve etilen glikol reaksiyonu sonucu eriyikten lif çekme yöntemi ile üretilen polietilen tereftalat (PET) lifleridir (Şekil 1.4). Ayrıca aşağıdaki polyester üretimleri de yapılmaktadır.

- Polytrimethylene terephthalate (PTT)
- Polybutylene terephthalate (PBT)
- Polyethylene-2,6-naphthalate (PEN)

Polyesterler uzun zincirli polimerler olup zincir yapısı Şekil 1.4’te görülmektedir. Bu uzun zincirde ester (-CO-O-) grupları çok sayıda tekrar etmektedir (Akcan, 2018).



Şekil 1.4. Polyester Yapısı (Akcan,2018)

Polyester lifler, granüllerden eriyik ekstrüzyonla üretilmektedir. Granül haldeki hammadde vakum sistemi ile besleme bölümüne aktarılır. Dozajlama ünitesi tarafından istenilen miktar ve oranda ekstrüdere verilir. Ekstrüder polyester iplik üretiminin en önemli kısmıdır. Ekstruder huniye gelen granül hammadde vidanın dönmesiyle düzeye doğru itilir. Burada eritilen granül daha sonra fanlar vasıtasıyla bir miktar soğutulularak sıcaklık ile viskosite ayarlanır ve polimerin düzelerden geçebilecek viskositeye ulaşması sağlanır. Düzelerle gelmeden önce filtrasyon işlemine tabi tutularak polimer içerisindeki yabancı madde, jel ve cips parçacıklarından ayrıştırılır. Eriyik haldeki polimer düzelerden geçirilerek belirli sıcaklık ve basınçla püskürtülerek katılaşması sağlanır. Burada düze şekilleri her ürüne ve iplik yapısına göre değişiklik gösterebilmektedir. Düzelerden belirli bir sıcaklık ve basınçla püskürtülen polyester polimeri filament hale gelmiştir. Filamentlere germe çekme ünitesinde esneklik ve mukavemet özellikleri kazandırılmaktadır. Polyester ipliğin, polipropilen iplik üretimindeki gibi uygulama alanına göre ayrılması sağlanır.

Üretim hızına bağlı olarak farklı yapı ve özellikteki iplikler aşağıda verilmiştir.

- LOY(Low Oriented Yarn) 1000-2000 m/dk
- MOY (Medium oriented Yarn) 2000-3000 m/dk
- POY (Partially Oriented Yarn) 3000-4000 m/dk
- HOY (highly Oriented Yarn) 4000-6500 m/dk
- FOY (Fully Oriented Yarn) 6500 m/dk ve üzeri hızlarda üretilmektedirler

(https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Filament,2024).

Polyester elyafın genel fiziksel özellikleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Polyester liflerinin fiziksel özellikleri (Akcan,2018)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	DEĞERİ
Çekme dayanımı (g/denye)	4-5
Uzama (%)	15-25
Aşınma dayanımı	İyi
Nem çekme (%)	0-0,04
Yumuşama noktası (°C)	125
Erime noktası (°C)	255-260
Kimyasal direnç	Genellikle Mükemmel
Yoğunluk (g/m ³)	1,36-1,45
Elektrik yalıtımı(megaohm)	>10 ⁶
Küf ve güve direnci	Mükemmel

1.3. Geri Dönüşüm Lif Üretim Yöntemleri ve Önemi

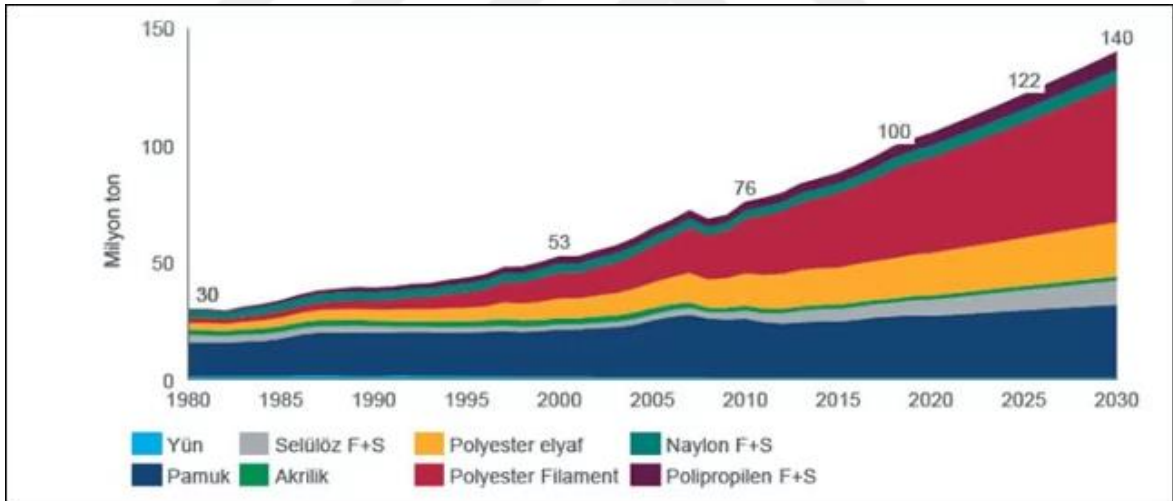
1970’li yıllarda başlamış olan çevre hareketi ile tanıtılan geri dönüşüm kavramının geçmişine bakıldığında binlerce yıl öncesinde başlamış olduğu görülebilmektedir. Antik çağlarda geri dönüşüme örnek gösterecek olursak o tarihte kullanılan kılıç, tencere ve farklı metal malzemelerin eritilerek sikkeler, heykeller ve diğer ev eşyası olarak kullanılacak yeni malzemeler yapıldığı bilinmektedir. Geçmiş tarihlerde savaşlar sebebiyle oluşan kısıtlı kaynak ve hammadde geri dönüşümün öneminin ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Özellikle büyük devletler, 2. Dünya Savaşı esnasında ülke çapında geri dönüşüm konusunda kampanyalar başlatmış ve metal ile lifli maddelerin toplanmasını teşvik etmişlerdir. Atık depolama alanlarının kullanılmasıyla birlikte, plastik şişeler gibi malzemelerin doğada bozulmasının çok uzun yıllar alacağı görülmüş ve kullanım dışı kalan ürünlerin uzağa atılması çok popüler olmuştur. Ancak çöp alanları çevre ve halk sağlığı için tehdit oluşturdukları gibi, depolanan çöplerin içinde oluşan gaz birikimleri de tehlike oluşturmuştur. Ülkemizde, Çevre Bakanlığı’nca 1991’de yayınlanan ‘Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ geri kazanımı yasal zorunluluk haline getirmiştir.

Sınırlı olan kaynakların zamanla tükeneceği kaygısı ve buna bağlı olarak geri dönüşümün öneminin gittikçe artması tekstil sektörünü de etkilemiştir. Yaşam standartlarının gelişmesi ve küresel nüfus artışı sonucu lif talep ve tüketimi sürekli artarak üretim 2014 yılında 95,3 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Mather, 2015).

Lif üretiminin büyük bir kısmı örneğin; tek kullanımlık gibi kısa dönemli kullanımdan, giysi, halı, otomotiv içi gibi orta dönemli kullanıma kadar olmakta ve bunların kullanım ömrü birkaç yılla sınırlı kalmaktadır. Tekstil ürünlerinde ekonomik yaşam döngüsü özellikle kıyafet ve bazı ev tekstil ürünlerinde çok kısadır.

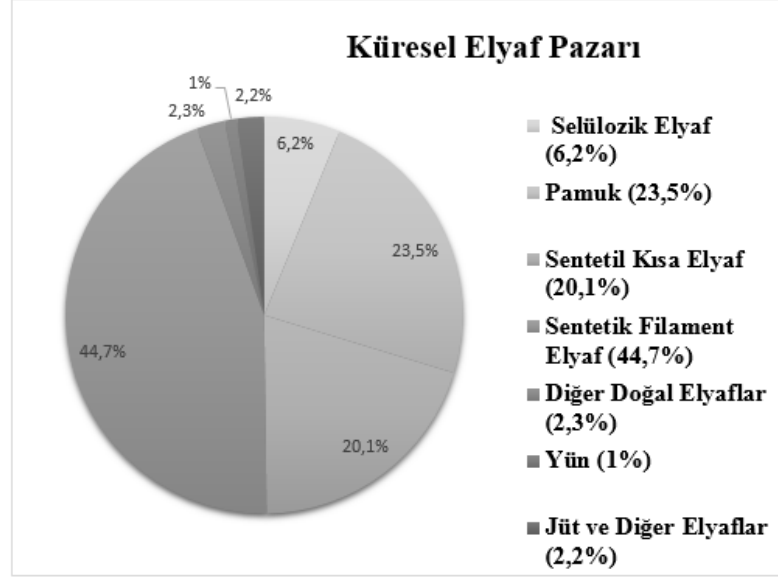
Atık yönetimi alanında, çoğu atık üretimi ve yönetiminin sosyo-demografik ve psikolojik yönlerine odaklanan birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bulguları farklı çevre politikalarına ilham vermiştir. Dünyadaki birçok atık yönetimi stratejisinin tasarımını başlatan yasal çerçeveler dâhildir. Buna göre, plastik atıklar için ISO 15270: 2008 ve geri dönüşüm uygulamalarının çevre yönetimi kontrolü için ISO 14001: 2004 gibi, geri dönüşüm için birkaç ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü) standardı bulunmaktadır (Sözcü,2019).

Dünya nüfus artışı ve insanların yaşamlarındaki standartların yükselmesi, son yıllarda tekstil üretimi ve tüketiminde önemli bir artış olmasına sebep olmuştur. Şekil 1.5’de dünya genelinde elyaf üretiminin yıllar bazında değişimi ve geleceğe ilişkin artış trendi görülmektedir. Günümüzde yaklaşık talep 100 milyon ton olup, bu hızlı artış devam ederse 2030 yılında elyaf üretiminin 140 milyon tona ulaşması mümkündür. 2018 yılında kullanılan 100 milyon tonluk elyafın içerisinde 55 milyon ton ile polyester en fazla kullanılan elyaf çeşidi olmuştur. Polyester elyafı 26 milyon ton ile pamuk, 6 milyon ton ile selülozik elyaflar, 5 milyon ton ile naylon, 2 milyon ton ile akrilik ve 1 milyon ton ile yün kaynaklı elyaflar izlemektedir. Polyester üretimindeki geri dönüştürülmüş polyesterin payı ise 20-30 bin ton civarındadır. Yakın zamanda ise geri dönüşüm polyesterin orijinal polyester ile yarışabileceği öngörülmektedir (Filofibra 2021).



Şekil 1.5. Dünyada Üretilen Tüm Elyaf Gruplarının Yıllar İçerisindeki Değişimi (Filofibra 2021).

2021 yılında dünyada elyaf tüketimi yaklaşık 89,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Tüketilen elyafın büyük bir kısmı sentetik elyaflardan oluşmuştur. 2021 yılı küresel elyaf pazarında elyafların oransal dağılımını gösteren bilgiler Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6. Küresel Elyaf Pazarı 2021 (<https://textile-network.com/en/Technical-Textiles/Fasern-Garne/Forecast-world-fibre-production> (28.05.2024))

Dünya pazarına bakıldığında en fazla üretilen ve tüketilen elyaf grubunda sentetik elyaf olarak polyester doğal elyaf olarak ise pamuk elyafı olduğu görülmektedir. 2021 yılı itibarıyla dünya elyaf üretiminin % 65'i sentetik elyafıdır. Sentetik elyaflar içerisinde % 82'si ise polyester elyafıdır. Pamuk ikinci en önemli elyafıdır ve tüm elyaflar içinde selülozik esaslı liflerin % 29'luk bir orana sahip olduğu görülmektedir (Hamad ve ark., 2013). Polyester talebi son yıllarda ikiye katlanmış ve uzun yıllardır en yaygın kullanılan elyaf olan pamuğun yerini almıştır. Dünya lif üretimine bakıldığında güncel polyester üretimi, pamuk üretiminin yaklaşık 2,5 katı civarında olduğu görülmüştür (Küresel Elyaf Pazarı 2021 (<https://textile-network.com/en/Technical-Textiles/Fasern-Garne/Forecast-world-fibre-production> (28.05.2024)).

Sentetik polimerlerin hammadde kaynağı petroldür. Pamuk gibi yenilenebilir doğal liflerin üretiminde yenilenemeyen kaynaklara dayalı enerji ve kimyasallara da ihtiyaç duyulmaktadır. Hangi tip lifin daha çevre dostu olduğunu söylemek çok zordur çünkü her bir lifin kendi çevresel yükü vardır. Bazı lifler, lif üretimi sırasında, bazıları da tekstil üretim süreçlerinde yüksek doğal kaynak tüketimine neden olur. Bazı lifler yenilebilir kaynaklardan elde edilse de geri kazanılamazlar; bazı lifler yenilenemeyen kaynaklardan üretilir ancak kolaylıkla yüksek kaliteli ürünlere dönüştürülebilir (Niinimaki, 2013).

BM tarafından yayımlanan 2024 Küresel Kaynak Görünümü Raporu, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için acil eylem çağrısında bulunmuştur. Raporda, doğal kaynakların üretilmesinin 2060'a kadar yüzde 60 artabileceği ve bu durumun iklim hedeflerini ve ekonomik refahı tehdit edebileceği belirtilmekte olup, enerji, gıda, ulaşım ve barınma alanlarında radikal değişiklikler yapılması çağrısında bulunulmuştur.

Aynı rapora göre, son 50 yılda özellikle zengin ülkelerde altyapı, enerji talebi ve bireysel tüketimdeki büyük artış, dünya genelinde malzeme kullanımının üç katına çıkmasına neden olmuştur. Ek olarak, gıdadan fosil yakıtlara kadar doğal kaynaklara olan talebin yılda ortalama yüzde 2,3'ün üzerinde artmaya devam ettiğini ortaya koymaktadır (<https://dunyaenerji.org.tr/> 19.09.2024)

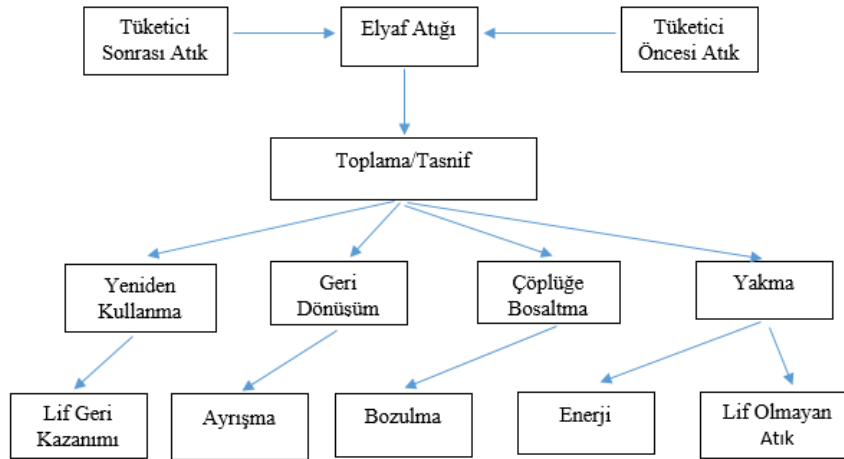
Dünyanın en kirletici sektörlerinden biri olan tekstil sektöründe bu sorunun çözümü için sürdürülebilir malzeme ve üretim yöntemlerinin kullanılması önemlidir. Bu amaçla, geleneksel doğrusal malzeme akışı yerine, döngüsel malzeme akışı benimsenmeli ve geri dönüştürülmüş liflerin kullanımı yönlendirilmelidir (Vadicherla, 2014).

1.3.1. Geri Dönüşüm Yöntemleri

Tekstil ürünlerinin birbirinden farklı ve oldukça uzun üretim süreçleri vardır. Üretim süreçlerinin her birinde birbirinden farklı hammadde, ara mamul veya kullanılan kimyasal madde, enerji kaynağı çeşidi, makine parkı gibi girdiler vardır. Yapay lifler kullanılarak elde edilen tekstil ürünü ile doğal lifler kullanılarak elde edilen tekstil ürünü veya dokusuz yüzey yöntemi ile oluşturulan üzeri renkli baskılı bir tekstil ürünü ile üzerinde nakış bulunan bir dokuma kumaşın üretim süreçleri birbirinden çok farklıdır. Üretim sırasında kullanılan hammadde, makine parkı, enerji çeşitleri ve maliyetleri, süreçlerde ortaya çıkan çevresel etkileşimler ve ürünlerin geri dönüşüm potansiyelleri aynı olmadığından tekstil ürünlerinde geri dönüşüm oldukça karmaşık bir konudur (Güngör, 2009).

PET, PE (polietilen), PP, PA (poliamid) (genellikle bu gruptaki tüm tekstil sentetik elyafları) gibi termoplastik atıkların geri dönüşümü için birçok farklı yöntem uygulanmasına rağmen, temelde üç ana yaklaşım vardır (Voncina, 2016).

- Mekanik geri dönüşüm
- Kimyasal geri dönüşüm
- Enerji geri kazanımı



Şekil 1.7. Tekstil Atıklarının Geri Dönüşüm Olanakları (Eser ve ark.,2016)

-Mekanik Geri Dönüşüm

Mekanik geri dönüşüm, termoplastik atıkların toplanıp aynı polimer ailesinden oluşan granüllerin elde edildiği bir geri dönüşüm yöntemidir. Bu yöntem; yıkama, ezme, yeniden ekstrüzyon (plastığın eritilerek yeniden granüle edildiği ekstrüzyon yoluyla atık dönüşümü) ve granül oluşturma adımlarını içermektedir. Ardından elde edilen granüller, ana polimerin yapısı değişmeden geri dönüştürülmüş hammadde veya ikincil hammadde olarak kullanılabilir (Konuk,2024).

- Kimyasal Geri Dönüşüm

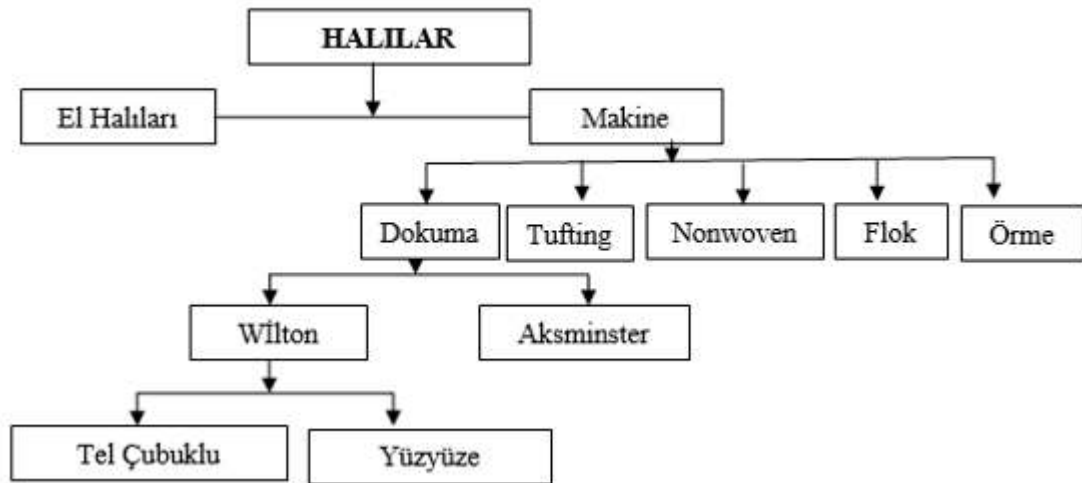
Kimyasal geri dönüşümde polimerler oligomerlerine veya monomerlerine indirgenerek elde edilmektedir. Böylelikle geri dönüşüm ürünleri yeniden polimer veya lif elde edilecek şekilde polimerizasyona tabi tutularak farklı uygulamalarda kullanılabilir. Ancak bu işlem yüksek sıcaklık, basınç ve uzun işlem süreleri gerektirmektedir (Gminder, 2006).

- Enerji Geri Kazanımı

Bir enerji geri kazanım yöntemi olan yakma da bir geri dönüşüm yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Yakma veya dörtlü geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve atık hacminin azaltılması için popüler bir yöntem olmaya devam etmektedir. Özellikle Avrupa'da atık plastik kullanmanın en yaygın yöntemidir. Yöntem, özellikle geri dönüştürülemeyen karışık ve çok kirli atıkların arıtılmasında diğer yöntemler kadar kolay ve ekonomik olarak kullanılmaktadır. Enerji yoğun atıkların yakılması, doğrudan teknolojik süreçlerde veya binaların ısıtılmasında kullanılabilen ısı, elektrik veya diğer enerji türlerini oluşturabilmektedir (Grigore, 2017).

1.4. Halı Üretim Yöntemleri

Halı üretimi el halıcılığı ve makine halıcılığı olarak iki grupta incelenmektedir. Şekil 1.8'de halı üretim yöntemlerinin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 1.8. Halıların Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırılması (Tekin, 2002)

Makine halıları, el halılarına benzer bir yapının halı dokuma makineleri vasıtasıyla üretilmesiyle elde edilmektedir. Makine halılarında ilmekler düğüm biçiminde değil de, genellikle atkı iplikleri arasına sıkıştırılmış ‘U’ veya ‘V’ şeklindeki iplik parçaları şeklinde olmaktadır. Makine halısı dokumasında görevleri farklı olan üç ayrı çözgü ipliği ve bir atkı ipliği kullanılmaktadır. Bu iplikler halının yapısı, kullanımı ve desen özelliklerine göre farklı hammadde ve numarada olabilmektedirler. Makine halılarında kumaşı sağlamlaştırmak ve halının yerde düzgün durmasını sağlamak için ayrıca jüt, keten ve pamuk gibi dolgu iplikleri de kullanılmaktadır (Fidan, 2022).

Makine halısı üretimi farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden yüz yüze wilton ve tufting tipi en çok kullanılan halı üretim yöntemlerindendir.

a) Axminster Halı Dokuma Tekniği

Önceden belirlenen sıraya göre birbirini takip eden renkli ilmek ipliklerinin oluşturduğu axminster tekniği ile havlı halı üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle üretilen halıların desen çeşitliliği çok fazladır. Ölü hav yoktur ve bütün hav iplikleri ilmek konumundadır. Tıgılı (gripper), makaralı (spool), tıgılı makaralı ve şönil (chenille) axminster olmak üzere dört farklı üretim şekli vardır. Axminster halı üretim yönteminde halı arka tabanı ile hav üretimi aynı anda gerçekleşmekte, bu nedenden dolayı tufting ve wilton tiplerinde üretim sonrası yapılan lark işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak üretim hızı, yüz yüze wilton ve tufting halı üretim yöntemlerine göre çok daha düşüktür (Fidan, 2022).

b) Wilton Halı Dokuma Tekniği

Dokuma türü makine halıları içinde en çok kullanılan wilton yapısı ve dokuma yöntemidir. Wilton tipi halı, hav ipliklerinin halı içinde dokumanın bir parçası olarak devam ettiği sırada, bu ipliklerin tel veya kanca ile halı yüzeyine çıkarılarak hav oluşturulan makine halılarıdır. Kesik havlı (velur), ilmek halkası (bukle) veya ikisinin karışımından oluşan halılar elde edilmektedir. Bu yöntemle çok ağır hav ağırlıklarında ve hav yoğunluğu yüksek halılar üretilebilmektedir (Dalcı, 2006). Wilton tipi halılar, tel çubuklu ve yüz yüze olmak üzere iki farklı teknik ile üretilebilmektedir (Fidan, 2022).

-Tel Çubuklu Wilton Sistemi

Tel çubuklu Wilton tipi halı üretim yönteminde, hav yüzeyini oluşturacak ilmek çözgüleri ağızlık içerisine atkı ipliği gibi atılan tel çubuklar üzerinde bağlantı yapmaktadır. Tel çubukların kalınlıkları, çözgü yönünde ilmek sıklığını etkileyen önemli bir faktör olmaktadır. Üzerinde ilmek bağlantıları oluşturulan tel çubuklar ağızlık içinden hızla geri çekilirken uç kısımlarındaki kesici bıçak ilmekleri keserek hav yüzeyini oluşturmaktadır (Tekin, 2002). Kullanılan telin düz olması durumunda bukle halı, bıçaklı olması durumunda velur halı üretimi yapılmaktadır.

-Yüz Yüze (Facetoface) Wilton Sistemi

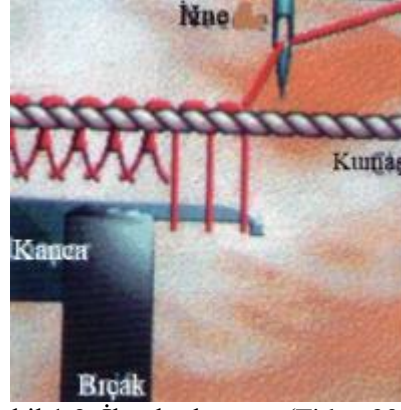
Face to face (yüz yüze) makine halısında kesik havlı halılar (velur tipi) dokunur. Kesik havlı halılar en çok bilinen ve üretimi yaygın olan halı tipidir. Yüz yüze dokuma sistemleri, dokuma makine halı üretimleri içinde mümkün olan en hızlı üretim hızına sahip sistemdir. Yüz yüze wilton ile kesiksiz-ilmekli halılar üretmek mümkün değildir dolayısıyla, bukle ilmek görünüşlü halı üretememek bu sistemin en büyük eksikliğidir, bu sistemin en büyük dezavantajıdır (Fidan, 2022).

Wilton tipi yüz-yüze (çift şişli) dokuma tekniği üretim kapasitesinin yüksek olması sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir. Wilton yüz-yüze dokuma halı yapısında temel olarak 4 iplik grubu bulunur Bunlar; hav çözgü iplikleri, atkı, zemin çözgü iplikleri ve dolgu çözgü iplikleridir Hav iplikleri halı yüzeyindeki ipliklerdir. Hav ipliği olarak genellikle yün, akrilik, poliamid ve polipropilen lifler kullanılmaktadır. Atkı ise halının zeminini oluşturan ve jütün yaygın olarak kullanıldığı ipliklerdir (Uskaner F.ve Sarioğlu E.(2014)

c) Tufting Halı Dokuma Tekniği

Tufting, oldukça basit, hızlı ve pahalı olmayan bir yöntemdir. Tufting prosesi, hav ipliğinin önceden temin edilen bir zemin kumaş içerisinde belirli bir plana göre bir kanca ve/veya kesme mekanizması ile geçirilerek hav oluşturma prensibine dayanır. Hav ipliklerinin olduğu bir çalgık sistemi bulunmaktadır. Delikli destek tablası üzerinde zemin dokusu taşınmaktadır. Kumaş genişliğinde aşağı yukarı hareket edebilen bir tabla üzerine yerleştirilmiş hav ipliğini taşıyan iğneler zemin kumaşın içine dalarak delikli tablayı geçmekte ve sonra geri çıkarak dokuyu oluşturmaktadır. Zemin kumaşın altına dalan iğnenin taşıdığı hav ipliğini, ilmek tutucular belli hav yüksekliğinde tutarak ilmek oluşumunu sağlarlar. Bu yöntemle velür veya bukle halı üretimi mümkün olabilmektedir (Dalcı, 2006).

Tufting makinesinde bir çubuk üzerine dizilmiş yüzlerce iğne bulunmaktadır. Gözünden iplik geçirilen bu iğneler, zemin içine dalıp çıkarak ilmek oluşturmaktadır. İplikler çalgıdaki bobinlerden sağılarak, borular içerisinde taşınmak suretiyle her biri bir iğneye deliğinden geçirilmektedir. İlmek havlı bir tufting halı üretilmesi için, iğne zemin kumaşa batırılmakta, iğnenin beraberinde götürdüğü iplik, kumaşın altındaki kanca vasıtasıyla alınmaktadır. İğne kumaştan geri çıktıktan sonra, ipliği tutan kanca, ilmeği yani havı oluşturmaktadır. Bu işlem sürekli tekrarlanmaktadır. İğne ikinci defa daldığında kanca ilmeği geri atmakta ve kumaş ilerlemeye devam etmektedir. Şekil 1.19’da ilmek oluşumunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.9. İlmek oluşumu (Fidan,2022)

Kesik havlı halı üretimi için, ilmek oluştuktan sonra bıçak yardımıyla kesilmektedir. Kesik havlı tufting için her pozisyonda bir kanca ve bir bıçak bulunmaktadır. Kumaş tufting makinesini terk ettikten sonra, ilmeklerin kaçmaması için önce latex ile ardından kumaşa tokluk vermek adına ikinci bir yüzey ile kaplanmaktadır. Tufting halı kalitesini, hav ve zemin kumaşın lif özelliği, ilmek sıklığı, ilmek yüksekliği ve ipliğin numarası gibi parametreler etkilemektedir (Fidan,2022).

d) Nonwoven Halı Dokuma Tekniği

Nonwoven halı yapısı, tarak makinesinde tülbent haline getirilen liflerin, üst üste konmasıyla meydana gelen lif tabakasının, daha önceden üretilmiş bir taban dokusunun üzerine serilip, iğne yardımıyla mekanik olarak taban dokuya sıkıştırılmasıyla oluşmaktadır. Liflerin birbiri içine girerek sabitlenmesi iğne dalışı sayesinde gerçekleştirilmektedir. Dokunun kuvvetlendirilmesi, lif içeriğine göre ısı muamelesiyle ve reçine emdirilerek yapılmaktadır. Yer döşeme üretiminde genelde polipropilen, poliamid ve polyester lifler tercih edilmektedir. Türkiye’de bu yöntem halıfleks ve yer döşeme olarak bilinmektedir (Dalcı,2006).

e) Örme Halılar

Örme halılar, çözgülü örme metoduyla oluşturulmaktadır. Bu yöntemde zemin kumaş ile hav iplikleri örme yöntemiyle birleştirilir. Boyutsal stabiliteyi ve mukavemeti artırmak için lateks kaplama ve ikinci bir zemin kumaş kullanılır. 2 şekilde üretim yapılmaktadır.

- Raschel örme halı tekniği
- Tülbent raschel örme halı tekniği

f) Flok Halı

Flok halılar, belli uzunluklarda kesilmiş olan liflerin elektriksel olarak yüklenecek yapışkanlı zemin dokusuna yapışmasıyla elde edilmektedir. 2 mm ile 4 mm uzunluğunda kesilen liflerin bulunduğu haznenin artı, yapıştırıcı sürülmüş zemin tabakanın olduğu metal levhanın eksi kutup

olarak yüksek gerilimle yüklenme sonucu havların zemin tabakasına yönlenmiş olarak yapışmasıyla üretilmektedir.

Yapışmayan lifler vakumla alınmakta ve yapışkanın sertleşmesi için kurutma fırınından geçirilmektedir. Halının kalınlığını ve esnekliğini arttırmak için sırt kısmı gözeneksiz uygun köpük tabakasıyla kaplanmaktadır (Dalcı, 2006).

1.5. Halı Sektörü İhracatı

Sektör bazında baktığımızda Türkiye genel ihracatı 2023 Mayıs ayı itibarıyla 90 milyar dolar civarında ve bu ihracat rakamının 1 milyar 58 milyon doları halı ihracatından oluştuğu görülmektedir. Mayıs 2023 yılına bakıldığında Mayıs 2022 yılına göre % 48,5 artış görülmüştür. Ancak bir yıllık ihracat değerlerine bakıldığında halı ihracatı %6,31 civarında azaldığı görülmüştür. Sektör olarak ise genel ihracatın yaklaşık %2 sini halı ihracatı oluşturmaktadır. Halı sektörünün genel ihracat içerisindeki payı Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3. Genel ihracat performansı içinde halı sektörü ihracatının payı

(<https://www.gaib.org.tr/tr/duyurular/ocak-haziran-2023-donemi-hali-ihracat-rakamlari-5563.html> 25.05.2024)

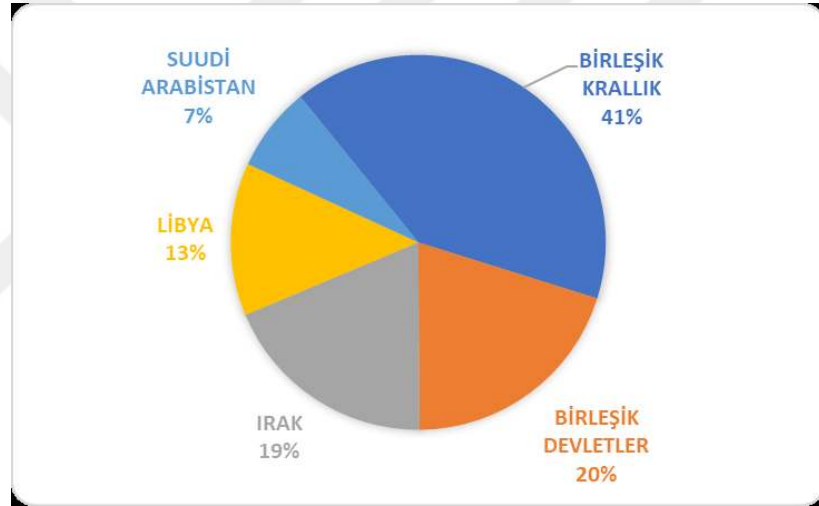
Birim 1000 USD	2022 Mayıs	2023 Mayıs	Değişim (%)	2022 Ocak- Mayıs	2023 Ocak- Mayıs	Değişim (%)
Türkiye Genel İhracatı	16.986.507	18.844.376	10,94	93.081.012	89.894.102	-3,42
Toplam Halı Sektörü İhracatı	157.792	234.317	48,50%	1.128.680	1.057.466	-6,31%

Çizelge 1.4’e bakıldığında, ürün grubu bazında toplam halı ihracatı yıllık baz da düşüş yaşanırken ve bu düşüş makine halısı ihracatında yaklaşık %8,6 değerlerinde olduğu görülmüştür. Ancak yıllık baz da baktığımızda tufting halı ihracatında 2022 yılına göre yaklaşık %5,8 artışla ve 175 milyon 871 bin dolar ihracat gerçekleştirilmiştir. Tufting üretiminin ihracatı her geçen gün artarak devam etmesi beklenmektedir.

Çizelge 1.4.Ürün grubu bazında halı ihracatı (<https://www.gaib.org.tr/tr/duyurular/ocak-haziran-2023-donemi-hali-ihracat-rakamlari-5563.html> 25.05.2024)

(Birim: 1000 USD)	2022 Mayıs	2023 Mayıs	Değişim (%)	2022 Ocak-mayıs	2023 Ocak-Mayıs	Değişim (%)	Pay (%)
1 Makine Halısı	128.414	190.175	48,1	944.333	862.683	-8,6	81,6
2 Tufting Halı	25.704	39.802	54,8	166.265	175.871	5,8	16,6
3 El Halısı	3.675	4.340	18,1	18.082	18.912	4,6	1,8
Toplam	157.792	234.317	48,5	1.128.680	1.057.466	-6,3	100

Türkiye'nin ülkeler bazında tufting halı ihracatı incelendiğinde en büyük pay %41 oranında Birleşik Krallık olarak gösterilmektedir. Onu takip eden ülke %20 oranında Amerika Birleşik Devletleri'dir.



Şekil 1.10. Türkiye'nin Ülkeler Bazında Tufting Halı İhracatı Payları
(<https://www.gaib.org.tr/tr/duyurular/ocak-haziran-2023-donemi-hali-ihracat-rakamlari-5563.html> 2024)



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında detaylı bir literatür taraması yapılmış ve konuyla ilgili olduğu düşünülen çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Nohut ve arkadaşlarının 2018 yılında yapmış oldukları deneysel çalışmada, Ne 30/1 numarada farklı karışım oranlarına sahip (%70/30 ve %50/50)pamuk/r-PET ve viskon/r-PET iplikler ring eğirme sistemiyle üretilmiştir. Buna ilaveten orijinal polyester (PET) lif karışımı pamuk/PET ve viskon/PET iplikleri aynı üretim parametrelerinde üretilmiştir. Çalışma sonucunda, lif tipinin iplik mukavemeti, uzama, düzgünsüzlük, hata indeksi ve tüylülük özellikleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Telli ve Babaarslan'ın 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada, pamuk liflerinden (CO), iplik atıklarından elde edilen geri dönüştürülmüş pamuk liflerinden (r-CO) ve geri dönüştürülmüş PET şişelerden üretilen liflerden (r-PET) iplikler üretilmiştir. Üretilen ipliklere kopma mukavemeti, kopma uzaması, düzgünsüzlük ve tüylülük performans testleri uygulanmıştır. Çalışmada geri dönüşüm pamuk ve polyester lifleriyle open-end iplik eğirme sisteminde çalışırken oluşan olumsuz özelliklerin elimine etmek amaçlanmıştır.

Tayyar ve Üstün (2009) çalışmalarında, atık PET şişelerin geri dönüşüm teknolojisini ve uygulamalarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, PET geri kazanımının en fazla kullanıldığı alanların kompozit malzeme üretimi ve plastik endüstrisi olduğu belirtilmiştir. Tekstil sektöründe ise geri dönüştürülmüş PET(r-PET)kullanılarak çeşitli ürünlerin üretilebileceği ifade edilmiştir.

Atakan, 2014 yılında yapmış olduğu deneysel çalışmasında, hafif gramajlı, en katı spesifikasyonu karşılayabilecek derecede yüksek kaliteli otomobil halısı üretiminin, hem çevresel faktörler gereği hem de maliyet avantajı sunması nedeniyle geri dönüştürülmüş PET elyafı kullanarak geliştirilmesini incelemiştir. Farklı üreticilerden tedarik edilen işlenmemiş ve geri dönüştürülmüş PET liflerin özellikleri test edilmiş ve halı üretimi için farklı oranlarda elyaf karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımlardan kalıplanmış otomobil halıları geliştirilmiştir.

Telli ve arkadaşlarının 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada, PET talaşlarının tekstil sektöründe kullanımı irdelenmiş, Türkiye'deki PET talaş ve bu talaşlardan lif üreten işletmelerin durumu hakkında bilgi verilmiştir. Yapılan araştırma mevcut üretim sistemlerinde temizleme verimliliğinin artırılması, lif özelliklerinin geliştirilmesi ve kaliteli ürünlerde düşük oranlarda r-PET kullanımı ile yurtdışı pazarlarda hem farklılık hem de katma değer oluşturacağını göstermektedir. Bahsedilen strateji değişikliklerine ilişkin projelere verilecek desteklerin, atıklardan elde edilen malzemelerin kullanım alanlarını ve miktarlarını genişleterek çevresel ve ekonomik bakımdan fayda sağlayacağı görülmüştür.

Wang ve arkadaşlarının 2011 yılında yapmış olduğu deneysel çalışmalarında, tüketim sonrası halı atıklarının düşük maliyetli, yüksek hacimli bir uygulama için kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışmada, % 20'ye varan lif/çimento ağırlık oranlarında halı ipliklerinden geri dönüştürülmüş

liflerle takviye edilmiş hafif çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. Hafif çimento esaslı kompozitlerin eğilme, tokluk ve darbe özellikleri karakterize edilmiştir. Lif içeriğinin artmasıyla kompozitlerin yoğunluğu azalmıştır. Üç noktalı eğilme testinde, hafif çimento esaslı kompozitler sünek bir davranış sergilemiştir. Ayrıca kompozitlerin yoğunluğu arttıkça eğilme mukavemetinin de arttığı görülmüştür. Düşen ağırlık darbe testi ile ölçülen enerji absorpsiyonunun, darbe enerjisinin numuneler tarafından absorpsiyonu nedeniyle malzeme parametrelerine çok duyarlı olmadığı tespit edilmiştir. Hafif kompozitlerin yoğunluğu, tipik beton yoğunluğunun yaklaşık yüzde 30-40'ı olan 0,7 ila 1,0 g/cm³ arasında değişmektedir. Neme ve termitlere karşı dayanıklı olmanın yanı sıra, hafif kompozitler oldukça sağlam yapılardır. Binalar için olduğu kadar dış mekân yapıları için altlık ve duvar panelleri gibi uygulamalar için uygundur.

Shinshu Üniversitesi'nden araştırmacılar Lin ve Bao 2020 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, plastiğin geri dönüştürülmesi esnasında karşılaşılan çeşitli zorluklardan bahsetmişlerdir. Söz konusu zorluklardan biri, farklı türdeki plastiklerin birlikte geri dönüştürülmesidir, çünkü her biri buna göre ele alınması gereken farklı özelliklere sahiptir. Her bir plastiğin ayrıştırılması ve işlenmesi, plastiğin çevredeki geri döndürülemez ve zararlı biyolojik maliyetine rağmen, geri dönüşüm plastiğinin maliyetine katkıda bulunmaktadır. Çalışmada termoplastik malzemelerin geri dönüştürülebilirliği, sürdürülebilir gelişimi ve malzeme özellikleri de incelenmiştir. Termoplastik poliüretan ve polipropilen, 145 C° ve 165 C°'de önemli ölçüde farklı erime noktalarına sahip olduğundan, geri dönüşüm amaçlı birlikte eritilmesi oldukça zordur. Bu sorunu çözmek için Lin ve Bao, plastikler için çözücü görevi gören uygun bir kimyasal ekleyerek, aynı anda birlikte işlenmelerini başarılı bir şekilde sağlamışlardır. Plastiğin kalitesi bozulmamıştır. Araştırmacılar, eriyik ekstrüzyon prosesi ve enjeksiyonlu kalıplama prosesini kullanarak termoplastik karışımları verimli bir şekilde üretebilmişlerdir. Bunu yapmak için sadece küçük bir miktar bağdaştırıcı, polipropilen eklenmiş maleik anhidrit (kaplama polimer) gerekmektedir.

Sharma ve Goel'in 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada, geri dönüştürülmüş pamuk ve polyester liflerinden dokunmamış kumaş geliştirmeyi ele almaktadır. Tekstil atıklarının geri dönüşümüne vurgu yaparak, geri dönüştürülmüş pamuk ve polyester karışımından iğneleme yöntemi ile üç farklı oranda (%30/70, %50/50, %70/30) dokunmamış kumaşlar üretmiştir. Çalışmada, geri dönüştürülmüş kumaşların fiziksel özellikleri (ağırlık, kalınlık, aşınma direnci, çekme mukavemeti, uzama ve bükülme uzunluğu) incelenmiştir. Sonuçlara göre, %30/70 pamuk-polyester karışımı en iyi fiziksel özelliklere sahip olup, bu oran en uygun çevre dostu kumaş olarak belirlenmiştir.

Myungwan ve arkadaşlarının 2012 yılında yapmış olduğu deneysel çalışmada, poli (etilen tereftalat) atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik en son teknolojiler gözden geçirilmiştir. Geniş uygulama alanına sahip olması ve PET 'in biyolojik olarak parçalanamaması, büyük miktarlarda atık ve bertaraf oluşturarak çevresel bir soruna yol açtığını belirtmişlerdir. Kimyasal geri dönüşümün, atıkları dönüştürerek bu sorunlarla başa çıkmak için umut verici bir teknoloji olabileceğini belirtmişlerdir. Polietilen tereftalatın kimyasal geri dönüşümü, PET polimer zinciri, glikolize neden

olan glikolün (MEG), metanolize neden olan metanolün etkisiyle yok edilmektedir. Hidrolize neden olan su yoğun saflaştırmadan sonra polyester oligomerler veya monomerler MEG, dimetil teleftalat (DMT) veya saflaştırılmış tereftalik asit (PTA) alınmakta ve bunlar polyester ürünleri üretmek için yeniden kullanılmaktadır.

Kuyucak 2020 yılında yapmış olduğu çalışmasında, open-end geri dönüşüm akrilik iplikten üretilen kazakların performans özelliklerini orijinal akrilik iplikten üretilen benzer kazaklar ile elastik PBT ve gipe ipliklerin etkisini de göz önüne alarak incelemiştir. Deneysel sonuçlardan geri dönüşüm ve orijinal akrilik lif tiplerinin kumaşların performans özellikleri üzerindeki etkisi incelendiğinde; geri dönüşüm akrilik kumaşlar orijinal akrilik kumaşlardan daha yüksek kalınlık, ısı direnç, aşınma dayanımı, boncuklanma eğilimi ve sıra yönü uzama sonuçları, buna karşın daha düşük patlama mukavemeti sonuçları gösterdiği tespit edilmiştir. Diğer performans özelliklerinde ise geri dönüşüm ve akrilik kumaşlar elastik ipliksiz ve elastik iplik ilaveli kumaşlarda farklı eğilimde davranış sergilemiştir. Tüm deneysel sonuçlar orijinal akrilik iplikler kadar geri dönüşüm akrilik ipliklerinin de kabul edilebilir kalitedeki kazakların üretiminde kullanılabileceğini ve geri dönüşüm ipliklerin gipe ve PBT elastik iplikler ile birlikte kullanılması ile kazakların kalitesi ve performans özelliklerinin artırılabilceğini ve kazaklara bazı avantajlı özelliklerin kazandırılabilceğini göstermiştir.

Turgut'un 2023 yılında yapmış olduğu çalışmasında, tekstil sektöründe değişen moda ile beraber her yıl yüklü oranlarda tekstil ürünü üretimi yapıldığını belirtmiştir. Üretimin fazla olduğu bu sektörde üretim arttıkça hammadde tüketimi, enerji tüketimi, su tüketimi ve bunun gibi doğal kaynakların tüketiminin de doğru orantılı olarak arttığı ifade edilmiştir. Tekstil ürünleri üretilirken her aşamada telefler oluşmakta ve bu oluşan teleflerin tekrar kullanılabilmesi geri dönüşüm adı altında sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda geri dönüşüm elyaf üretiminin ve ürünlerin içeriğinde geri dönüşüm elyaf bulundurmanın tekstil sektörü için oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada özlü iplikler üzerinde geri dönüşüm polyester ve akrilik elyafların ve konvansiyonel elyafların farklı kombinasyonlarıyla Nm 7,5 inceliğinde numuneler elde edilmiş, bu numuneler örme kumaşa dönüştürülmüştür. Ürünlerde kullanılan geri dönüşüm lif oranının numunelerin kalitesine olan etkileri incelenmiştir.

Esi'nin 2020 yılında yapmış olduğu çalışmada, r-PET ve standart PES hammaddeli kesik elyaf ve filament iplikler şönil yapısında bağ ve hav ipliklerinde kullanılarak 0,8 ve 1,2 mm hav yüksekliklerine sahip Nm 3,6-4 numaralarda ve yaklaşık 900 t/m büküm değerlerine sahip, 8 ayrı tip grubunda 32 farklı şönil iplik üretimi gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Şönil ipliklerde bağ ipliğinde Nm 68/2 ve Nm 47/1; hav ipliğinde 150 denye, 300 denye ve Nm 68/1 numaralarda iplikler kullanılmıştır. Tüm ipliklere iplik testleri (numara, büküm, kopma mukavemeti ve uzaması ve iplik aşınma dayanımı) uygulandıktan sonra şönil ipliklerin atkıda kullanıldığı döşemelik kumaş üretimleri gerçekleştirilmiş ve bu şekilde 32 adet, 5/5 çözgü ripsi örgü tipinde kumaş numunesinin üretimi tamamlanmıştır. Kumaşlarda çözgü iplikleri (150 denye poliester iplik) ve sıklıkları sabit

tutulmuştur. Testler sonucunda, genel olarak bağ iplik yapısında r-PET kullanılan kumaş tiplerinde atkı yönlerinde kopma ve yırtılma dayanımlarının düştüğü, kopma uzamalarının ise bağda standart PES kullanılan kumaşlara göre daha fazla olduğu görüldüğü belirtilmiştir. Bağ ipliği olarak daha ince olan Nm 47/1 iplik kullanılan kumaşlarda, Nm 68/2 iplik kullanılan kumaşlara göre atkı numunelerinde kopma ve yırtılma mukavemetlerinin daha düşük olduğu, bununla birlikte hav ipliği olarak filament kullanılan tiplerde sürtünme ile kütle kaybı değerlerinin, kesik elyaf kullanılan tiplere göre daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Kırış'ın 2020 yılında yapmış olduğu çalışmasında, PET ve geri dönüşüm PET (rPET) polimerinden yuvarlak, artı kesit ve farklı filament sayılarında POY ve tekstüre ipliklerin elde edilmesi ve ipliklerin fiziksel özellikleri yanında bu ipliklerden üretilmiş kumaşların su ve su buharı emiciliği ve kuruma davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan test ve analizler sonucunda; filament sayısının artmasıyla filament inceliğinin ve iplik düzgünsüzlüğünün arttığı tespit edilmiştir. Artı kesitli r-PET ipliklerle üretilen örme kumaşların yuvarlak kesitli r-PET ipliklerle üretilen örme kumaşlara göre su ve su buharı emiciliklerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kuruma hızlarına bakıldığında artı kesitli kumaşların kuruma hızlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Türkoğlu'nun 2022 yılında yapmış olduğu çalışmasında, mekanik olarak geri dönüştürülmüş pamuk ve kimyasal olarak geri dönüştürülmüş polyester liflerinden elde edilen ipliklerle üretilmiş otomotiv koltuk kılıfı kumaşlarının performans özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla; hem çözgü hem de atkı da geri dönüştürülmüş iplikler kullanılarak 6 adet, çözgüde konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş polyester atkı da ise geri dönüştürülmüş iplikler kullanılarak 6 adet olmak üzere toplamda 12 adet kumaş üretilmiştir. Üretilen tüm kumaşlar belirtilen otomotiv standartlarına göre test edilmiştir ve karşılaştırılmıştır. Testler sonucunda geliştirilen otomotiv koltuk kılıfı kumaşlarının performanslarının otomotiv standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

Karagöl'ün 2023 yılında yapmış olduğu tez çalışmasında, çeşitli geri dönüşüm liflerin (pamuk, polyester, elastan) farklı oranlarda (%80-70-60-50-40) kullanıldığı, modifiye bir ring iplikçilik ve konvansiyonel ring iplikçilik sistemleri ile iplikler ve bunlardan denim kumaşlar üretilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda farklı karışım oranlarında pamuk, geri dönüşüm pamuk ve geri dönüşüm polyester içeren iplikler kullanılarak denim kumaşlar üretilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan pamuk lifinin ve üretilen ipliğin karakterizasyon testleri yapılmıştır. Üretilen tüm kumaşlara testler öncesinde standart terbiye işlemleri uygulanmıştır. Denim kumaşların fiziksel özellikleri, kopma ve yırtılma mukavemeti ve bazı konfor özellikleri test edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında geri dönüşümün kumaş performans özelliklerine etkileri belirlenmiş ve yaşam döngü analizi ölçümleri yapılmıştır.

Litaratür incelendiğinde, geri dönüşüm kavramıyla ilgili olarak birçok çalışma yapıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmaların genellikle iplik üretimi, düz dokunmuş veya örülmüş kumaş üretimi ve plastik sektörü gibi sektörlerde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Tez kapsamında yapılmış olan tufting halılarda geri dönüşüm elyafının kullanımı ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Tufting halıların kullanım ömrünün dokuma halılara göre daha az olduğunu ancak üretim yönteminin daha basit ve uygulanabilir olmasından dolayı kullanımının arttığı söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra tufting halılarda geri dönüştürülmüş elyafların kullanılmaya başlanması, bu üretim sektörünün büyümesi ve her geçen gün tanınmasıyla birlikte daha da geliştirilebilir bir alan olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Dünyada ve ülkemizde tüketimin artması ve moda trendinin sürekli değişmesinden dolayı tufting halıya olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı tez çalışması kapsamında; geri dönüşüm liflerden üretilen ipliklerin tufting halı üretiminde kullanılabilirliği ve bu ipliklerin halı performansına etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.





3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında geri dönüşüm polyester ve polipropilen liflerinin tufting halı üretiminde kullanılabilirliği ve performans özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Literatürde tufting halıcılığında yaygın olarak kullanılan polyester ve polipropilen hav iplikleri ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Ancak geri dönüşüm polipropilen ve polyester liflerinin hav ipliği olarak kullanılmaya başlanması ve bu konudaki çalışmaların sınırlı olması nedeniyle bu çalışma yapılmıştır. Numune halıların taban malzemesi de geri dönüşüm polyesterden üretilmiş olup hav ipliği olarak hem orijinal hem de geri dönüşüm BCF (Bulked Continuous Filament) polipropilen (BCF PP) ve BCF polyester (BCF PES) iplikler kullanılmıştır. Ardından söz konusu iplikler havda kullanılarak seçilmiş üretim parametrelerinde halı üretimleri gerçekleştirilmiş ve performans özellikleri test edilerek irdelenmiştir.

3.1.1. BCF Polyester ve Polipropilen İplik Üretimi

BCF iplik üretimi, granül halindeki polyester ve polipropilen hammaddesinin vakumlama sistemi vasıtasıyla makinanın besleme kısmına aktarılmasıyla başlamaktadır. Dozajlama ünitesi tarafından her iplik grubu için istenilen miktarda ve oranlarda masterbatch ile karışım yapılarak ekstrüder kısmına verilmektedir. Ekstrüder kısmında ısıtma ve friksiyon ile istenen sıcaklık ve basınçlarda erimiş polimerler elde edilmektedir. Genel anlamda BCF iplik üretim sistemi;

- Besleme ve dozajlama
- Ekstrüzyon
- Filtrasyon
- Metraj ve pompalama
- Düzelerle eğirme
- Şişirme
- Puntalama ve sarım aşamalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.1. BCF Makinesi (Fidan,2022)

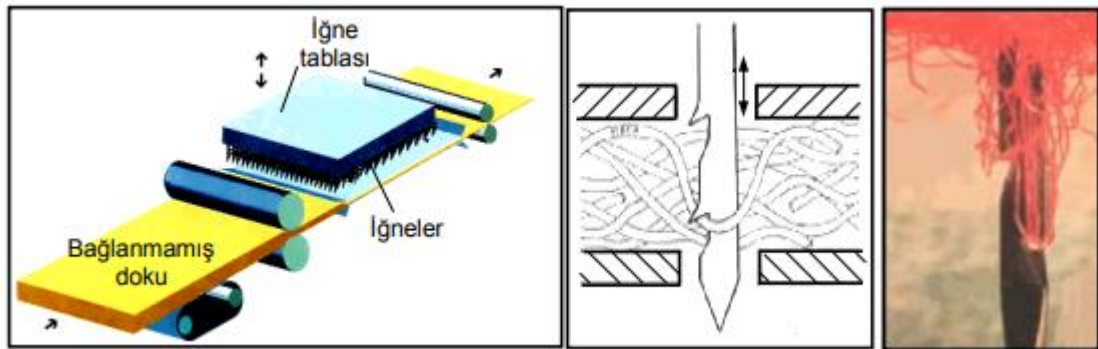
Çalışma kapsamında yukarıda anlatılan yöntem ile üretilen 4 farklı iplik hav materyali olarak kullanılmış olup ipliklerin temel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan hav iplik özellikleri

İplik Kodu	Hammadde	İplik Numarası (Denye)	Mukavemet (cN/tex)	Büküm	Ölçülen İplik Numarası (Denye)	Filament Sayısı
V-PES	%100 Orijinal PES	1700x2	9991	195/S	3280	144
R-PES	%100 Geri Dönüştürülmüş PES	1700x2	8404	195/S	3367	144
V-PP	%100 Orijinal PP	1700x2	7751	195/S	3207	144
R-PP	%100 Geri Dönüştürülmüş PP	1700x2	7226	195/S	3378	144

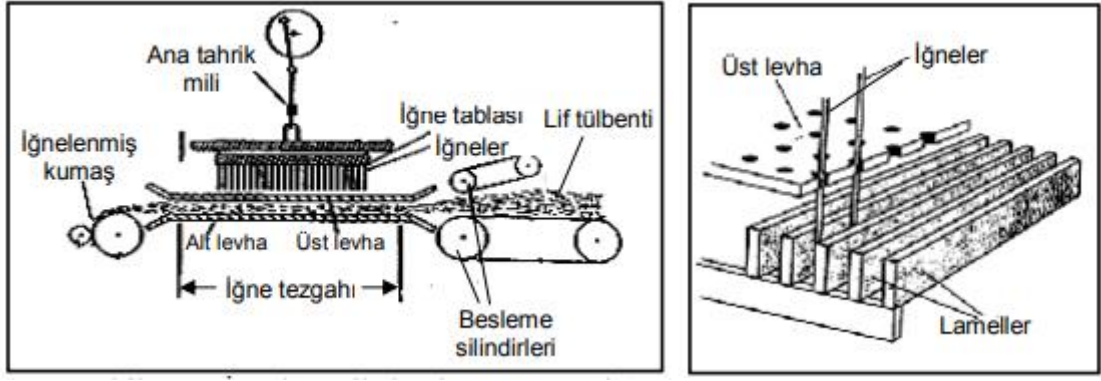
3.1.2. Neddle Punch (NDL) Halı Tabanı Üretimi

Tüm elyaf çeşitleri için uygun olan bu üretim yöntemi, bütün yüzey oluşturma yöntemleri ile elde edilmiş dokuların bağlanmasında kullanılabilir. Çalışma prensibi Şekil 3.2’de verilen, iğnelerin hareketinin görüldüğü bu iğneleme tekniği, özel dizayn edilen ve üzerinde her ürün grubu için farklı kullanılabilen çentikler bulunan iğnelerin doku üzerine dikey olarak indirilmesi ve çekilmesi esasına göre üretim gerçekleştirmektedir. İğnelerin yapıya dikey olarak girip çıkmasıyla yapıdaki lifler iğnelerin çentikleri sayesinde birbirlerinin içerisinden girip çıkmakta ve tülbent sabitlenmektedir (Çinçik, 2010).



Şekil 3.2. İğneleme hareketi (Çinçik, 2010)

Şekil 3.3’te bir iğneleme makinası ve ana elemanları gösterilmektedir. Üzerinde iğne geçişi için delikler bulunan üst levha ile üzerinde lameller bulunan alt levha, sabitlenmek istenen tülbentte ve iğnelere kılavuzluk görevi yapmaktadır. Her dalışta iğneler belirli sayıda lifi yakalayarak dokunun içinden çekmekte, liflerin birbirine dolaşarak bağlanması sağlanmaktadır. İğneler geri çekildiğinde, bağlanan dokusuz yüzey sevk bandı ile hareket ettirilmekte ve oluşan kumaş sarılmaktadır (Çinçik, 2010).



Şekil 3.3. İğneleme ile Bağlama Yöntemi

Üretilen ürünlere sonraki aşama olan tufting halı üretiminde kullanılması adına belirli testler yapılmaktadır. Üretilen halı tabanlarına uygulanan test işlemleri genellikle şu şekildedir:

- Kalınlık,
- Gramaj,
- Kopma mukavemeti,
- Kopma uzaması,
- Sıcakta çekme.

Sıcakta çekme işlemi halı tabanında oldukça önemlidir. Halı tabanının tufting halı üretiminde çekmemesi ve stabil olması gerekmektedir. Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da NDL hat prosesine ait resimler görülmektedir.



Şekil 3.4. NDL Halı Tabanı Üretim Hattı



Şekil 3.5. NDL Halı Tabanı İğneleme ve Kalender Kısım



Şekil 3.6. NDL Halı Tabanı Sarıcı Kısım

3.1.3. Tufting Halı Üretimi

Tufting yöntemi, ipliğin basit bir prosesle düz halıya dönüştürülmesinde hızlı ve ekonomik bir metottur. Tufting dokumanın en önemli farkı, hav ipliğinin nonwoven bir taban kumaşı ile birleştirilmesidir. Bu halı astarı tufting halıya yeterli bir boyutsal stabilite kazandıramamaktadır. Bu sebepten dolayı, halıya bitim işlemi uygulanırken, astara ağır bir lateks kaplama, ikinci bir astar ya da köpüklü sırt materyali eklenmektedir. Şekil 3.7’de tufting halı makinesi görülmektedir. Tufting halı makinesine ait yardımcı ekipman ve iğne görselleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Tufting Halı Makinesi (<http://carpet-machinery.web.tr/4-carpet-tufting-machine.html> 27.09.2024)



Şekil 3.8. Tufting Halı Makinesi İğne Ekipmanları (<http://carpet-machinery.web.tr/4-carpet-tufting-machine.html> 27.09.2024)

Tufting makinelerinde kesik hav, ilmek hav ve kesik ilmek hav üretilebilmektedir. İlmek yoğunluğu; makina ayarları, halı eni boyunca ilmek sayısı ve iğnenin batma sayısı veya uzunluk boyunca ilmek sırasıyla belirlenmektedir. Tufting halı üretimi üç aşamada incelenmektedir;

- Halı tabanının hazırlanması
- İplikler ile tuft işlemi
- Bitim işlemi

Tufting halı üretimi oldukça basit bir yöntemdir. Gergin durumdaki halı ipliğini taşıyan bir iğne, halı tabanını delerek alt kısma geçmektedir. Halı tabanının altında hareket eden bir ilmek yapıcı metal dil ipliği tutmaktadır. İğne tekrar geriye üst ölü noktaya yükselirken alta tutulan iplik, ilmek şeklini almaktadır. Tufting de iki çeşit üretim mevcuttur. Bunlar bukleli tufting ve kesik tuftingdir. Bukleli tufting de ilmek yapıcı, ipliği iğnenin sağ tarafından tuttuğu için iplik büküm yönü 's' büküm olmalıdır. Kesikli tufting üretiminde ise sol taraftan tuttuğu için 'Z' bükümlü iplik kullanılmaktadır.

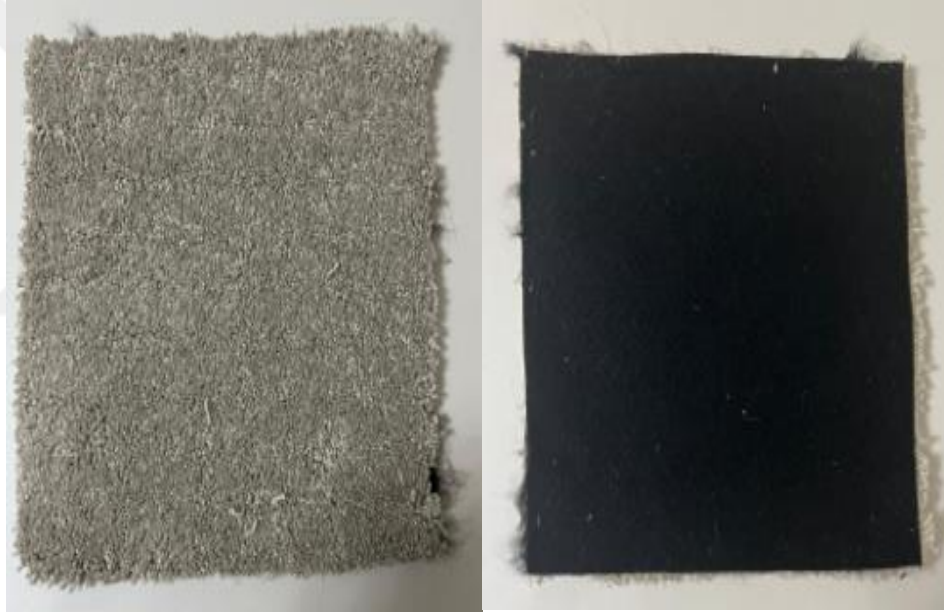
Çalışma kapsamında üretilen tufting halı numuneleri Şekil 3.9 - 3.12'de gösterilmektedir.



Ön yüz

Arka yüz

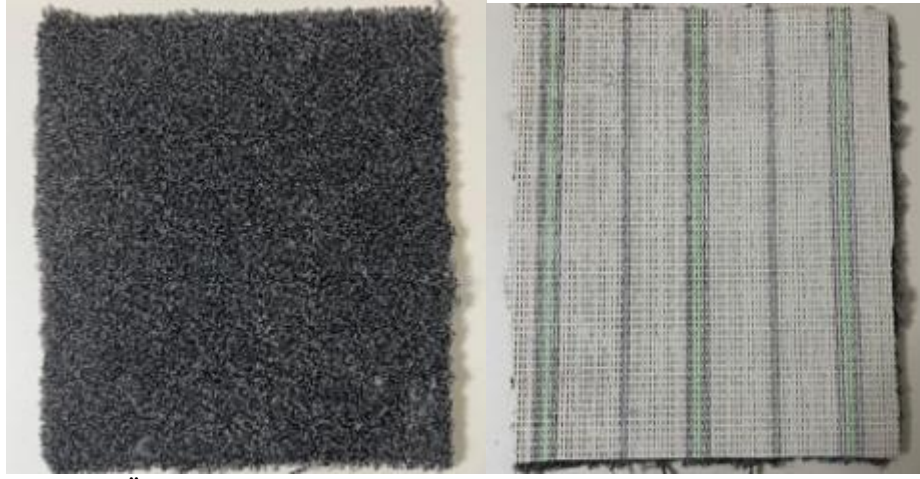
Şekil 3.9. Orijinal Polyester Halı Numuneleri



Ön yüz

Arka yüz

Şekil 3.10. Geri Dönüştürülmüş Polyester Halı Numuneleri



Ön yüz

Arka yüz

Şekil 3.11. Orijinal Polipropilen Halı Numuneleri



Ön yüz

Arka yüz

Şekil 3.12. Geri Dönüştürülmüş Polipropilen Halı Numuneleri

Tufting işleminden sonra bitirme, apre, isteğe ve ürün çeşidine göre boyama işlemleri uygulanmaktadır. Tufting halılara yaygın olarak uygulanan art işlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Tıraşlama
- Kontinü boyama
- Basma
- Kenarların bastırılması
- İstenilen boyutlarda hazırlama
- Buharlama, lateks ve sekonder kaplama

Bu proseslerden en önem arz eden uygulama lateks kaplama prosesidir. Ürünün tabanında stabilizasyonu arttırarak daha düzgün bir ürün ortaya koymaktadır. Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13. Tufting Sonrası Bitim Prosesi

Çalışma kapsamında, yukarıda açıklanan halı üretim yöntemi ile orijinal ve geri dönüşüm PP ve PES elyafları kullanılarak elde edilmiş ipliklerden tufting halı numuneleri üretilmiştir. Numuneler seçilmiş entegre bir tekstil işletmesinde (Tümer Halı– Gaziantep) bulunan tufting halı makinesinde üretilmiştir. Farklı özelliklerdeki hav ipliklerinin halı performansı üzerine etkilerinin anlaşılabilmesi için halı üretim parametreleri sabit tutulmuştur. Tufting halının seçilmesinin sebebi hem sektör olarak büyümekte olması, hem de kullanımı ve kurulumu basit bir üretim yöntemi türü olmasıdır. Üretimde hem orijinal (Virgin) hem de geri dönüştürülmüş PP ve PES ipliklerden %100 oranında kullanılarak halı numuneleri elde edilmiştir. Çizelge 3.2’de halı numunelerinin üretim parametreleri görülmektedir.

Çizelge 3.2. Halı numuneleri üretim parametreleri

Numune Kodu	Hav iplikleri elyaf kompozisyonu	Halı tabanı hammaddesi	Hav ipliği numarası (denye)	İplik kat Sayısı	İlmek sıklığı (ilmek/m ²)	Halı taban gramajı (g/m ²)	Hav yüksekliği (mm)
V-PES	%100 Orijinal PES	%100 Geri Dönüşüm PES	1700	2	288000	180	12
R-PES	% 100 Geri Dönüşüm PES						
V-PP	%100 Orijinal PP						
R-PP	%100 Geri Dönüşüm PP						

3.2. Metot

Deneyisel çalışma kapsamında üretilen halıların seçilmiş performans özellikleri (dinamik ve statik yükleme altında kalınlık kaybı, ilmek çekme mukavemeti, aşınma dayanımı, görünümü muhafaza etme derecesi) TUBİTAK BUTAL Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı ve Merinos Halı laboratuvarında standart yöntemlerle test edilmiştir. Tüm halı numuneleri, testler öncesinde TS EN ISO 139 standardı doğrultusunda, 24 saat standart laboratuvar koşullarında ($20 \pm 2^\circ \text{C}$ ve $\% 65 \pm 4$ bağıl nem) kondisyonlanmıştır.

3.2.1. Halı Numunelerine Uygulanacak Testler

Kullanılan lif çeşitleri, iplik numarası, hav yüksekliği gibi parametreler tufting halıların farklı performans özellikleri göstermesine neden olmaktadır. Kullanım esnasında halı yüzeyleri birçok deformasyona maruz kalmaktadır. Halının ilk haline geri dönme davranışı, kalınlık kaybı, ilmek çekilmesi gibi kullanım sonrasında ortaya çıkacak problemlerin önceden saptanması ve istenilen kalitede üretim yapılması amacıyla halı testleri uygulanmaktadır.

Çalışma kapsamında halı numunelerine uygulanan testler, standart numaraları ve kullanılan cihazların görselleri Çizelge 3.3’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 3.3. Numune halılara uygulanan testler ve standartları (<https://aygenteks.com/> 2024)

Test No	Uygulanan Test Adı ve Standart Numarası	Test Cihazı
1	Statik Yükleme Altında Kalınlık Kaybı Testi (TS 3378 Tekstil yer döşemeleri- Makina yapısı-Orta ölçüde, kısa süreli statik yüklemekten sonra kalınlık azalması tayini)	
2	Dinamik Yükleme Altında Kalınlık Kaybı Testi (TS 3375 ISO 2094 Tekstil yer döşemeleri- Dinamik yük altında kalınlık kaybının tayini)	

3	Halı Aşındırma Testi (BS EN 1813:1998 Halı aşındırma testi tayini)	
4	Heksapod Testi (Görünümü muhafaza etme derecesinin tespiti) (TS ISO 10361 Tekstil yer döşemeleri-Vettermann tambur ve hexapod devrilme deney cihazı kullanılarak görünüşteki değişikliğin değerlendirilmesi)	
5	Hav İlmek Çekme Kuvvetinin Belirlenmesi Testi (TS ISO 4919 Halılarda, ilmek çıkarma kuvveti tayini)	

- Statik Yük Altında Kalınlık Kaybı Testi

Statik yükleme testi, durgun eşya veya sandalye ayağı gibi ürünlerin sabit basınçta yükleme sonrası halıda oluşabilecek kalınlık kaybının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. 25 cm x 25 cm boyutlarında en az 5 adet numune test edilir. Standart basınç altındaki ilk kalınlık, 220 kPa basınçlık yükleme altındaki kalınlık değeri ve yapılan işlem sonrası, 15-30-60 dakika dinlendirmeden sonraki

ayrı ayrı kalınlık değerleri ölçülür. Her bir süre sonundaki kalınlık kaybı belirlenir ve beş deney örneğinin aritmetik ortalaması alınır.

k₁: İlk kalınlık (mm)

k₂: 2 saat süre ile 220 kPa basınç sonrası kalınlık (mm)

$$\text{Kalınlık Kaybı Yüzdesi} = \frac{k_1 - k_2}{k_1} \times 100 \text{ formülüyle bulunmaktadır.} \quad (3.1)$$

Rezilyans %: Söz konusu test sonuçları kullanılarak halıların rezilyans değerleri (%) de aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir. Değerlendirme 200 kPa basınç altında 2 saat yükleme sonundaki kalınlık kaybı yüzdesi ve bekleme sonrası kalınlık kaybı değerleri kullanılarak bulunmaktadır. % rezilyans değeri ne kadar yüksek ise numunenin rezilyans değeri o kadar iyi anlamına gelmektedir.

$$\% \text{ rezilyans} = \frac{\text{Yükleme sonrası kalınlık \%} - (15,30,60 \text{ dk bekleme sonrası kalınlık \%})}{\text{Yükleme sonrası kalınlık \%}} \quad (3.2)$$

- Dinamik Yük Altında Kalınlık Kaybı Testi

Halının dinamik yük altında kalınlık kaybı testinde, yürüme gibi etkiler sonrası oluşabilecek kalınlık azalmasının tespiti sağlanmaktadır. 12,5 cm x 12,5 cm boyutlarında 2 adet numune test edilir. Cihazın altında iki çelik ayağı bulunan ağırlık parçası bulunmaktadır. Bu ağırlık parçası 1279 ± 13 gram ağırlığındadır. Ağırlık parçası numunenin üzerine birbiri arkasına 4,3 saniyede bir 63 mm' den serbest bırakılarak periyodik bir şekilde darbe uygulamaktadır. Numuneye uygulanan dik şekilde gelen kuvveti yaymak için numune yavaş bir şekilde ileri geri hareket ettirilmektedir. 50 darbe, 100 darbe, 200 darbe, 500 darbe ve 1000 darbe sonrası numunelerde kalınlık kaybı test edilmektedir (WIRA, 2000).

Halı numunelerinin dinamik yük altında gösterdiği kalınlık kaybı, alınan ölçümlerin ortalamaları kullanılarak aşağıda verilen formül doğrultusunda hesaplanabilmektedir.

d₁: İlk kalınlık (mm)

d₂: 100, 200, 500 ve 1000 darbe sonrası ölçülen kalınlık (mm)

$$\text{Kalınlık Kaybı Yüzdesi} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad (3.3)$$

- Halı Aşındırma Testi

Aşınma testi ile halı numunelerinin dışarıdan gelen aşındırıcı etkiler karşısındaki dayanımı test edilmektedir. 21 mm x 50 mm boyutlarında 2 adet numune ile 5000 devirde gerçekleştirilmektedir. Test öncesi numune ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülerek kaydedilir. Numunelere uygulanan kuvvet sonucunda numunedeki ağırlık kaybı gözlemlenmektedir. Aşındırıcı etki sonucunda numune tekrar tartılarak değer kaydedilir. Kullanım açısından aşınan kısımdaki ağırlık kaybı % olarak hesaplanarak bulunmaktadır.

Halı numunelerinin halı aşınma testi sonrası ağırlık kaybı, alınan ölçümlerin ortalamaları kullanılarak aşağıda verilen formül doğrultusunda hesaplanabilmektedir.

a₁: Test öncesi ağırlık (g)

a₂: Test sonrası (5000 devir) ağırlık (g)

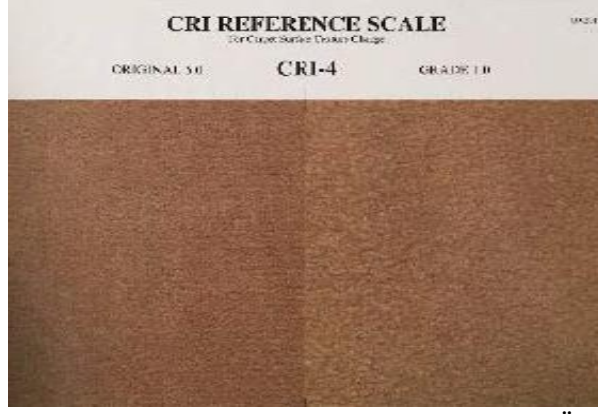
$$\text{Ağırlık Kaybı Yüzdesi} = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \times 100 \quad (3.4)$$

-Heksapod Testi (Görünüm Tutuculuğunun Değerlendirilmesi) Testi

Heksapod testi, halı numunelerinin mekanik etkiler karşısında dayanımının önceden saptanması için yapılan bir testtir. 94 cm x 20 cm boyutlarında kesilen numune, çift taraflı bantla esnek bir malzeme üzerine yapıştırıldıktan sonra, heksapod cihazının dönen tamburu içerisine hav ilmeği içe gelecek şekilde yerleştirilir. Heksapod testinde halı numuneleri 4000 devirle hafif aşındırmaya ve uzun süreli kullanıma benzer sonuçlar elde edebilmek için 12000 devirle ağır aşındırmaya maruz bırakabilmektedir. Görüntülerin değerlendirilmesi 3 kişi tarafından, BS ISO 9405:2015 standardı doğrultusunda CRI referans dijital görüntülerine (Şekil 3.14) bakılarak, 1 ve 5 arasında gözle yapılmaktadır. Gerektiğinde de ara değerler verilmektedir (<https://aygenteks.com/> 2024).

Çizelge 3.4. CRI-4 ölçeğinin açıklanması

Görünüm Derecesi	Görünüm Derecesi Tanımı
1	Görünümde çok fazla değişim var
2	Görünümde çok değişme var
3	Görünümde orta derecede değişme var
4	Görünümde az değişme var
5	Görünümde değişiklik yok



Şekil 3.14. Heksapod Testi Değerlendirme Skala Örneği

- Hav İlme Çekme Kuvvetinin Belirlenmesi Testi

İlme çekme kuvvetinin belirlenmesi testi, özellikle tufting halılardaki hav formundaki tek bir ilme ve püskülün zemin dokudan ayrılması için uygulaması gereken kuvvetin tespiti amacıyla yapılan bir test yöntemidir. Tufting halılar hav ve taban olarak iki parçadan oluştuğu için ilme çekme değeri bu yöntemle elde edilen halılarda oldukça önem arz etmektedir. Her numune için baş, orta ve son kısımdan ilme çekme işlemi yapılmakta ve aritmetik ortalaması alınmaktadır. Ortalama değerler g/f cinsinden kaydedilmektedir. Elde edilen değer artması halı numunesindeki ilmeğin tabana daha sağlam bağlandığı ve mukavemetli olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3.15. İlme Çekme Kuvveti Test Görşeli



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

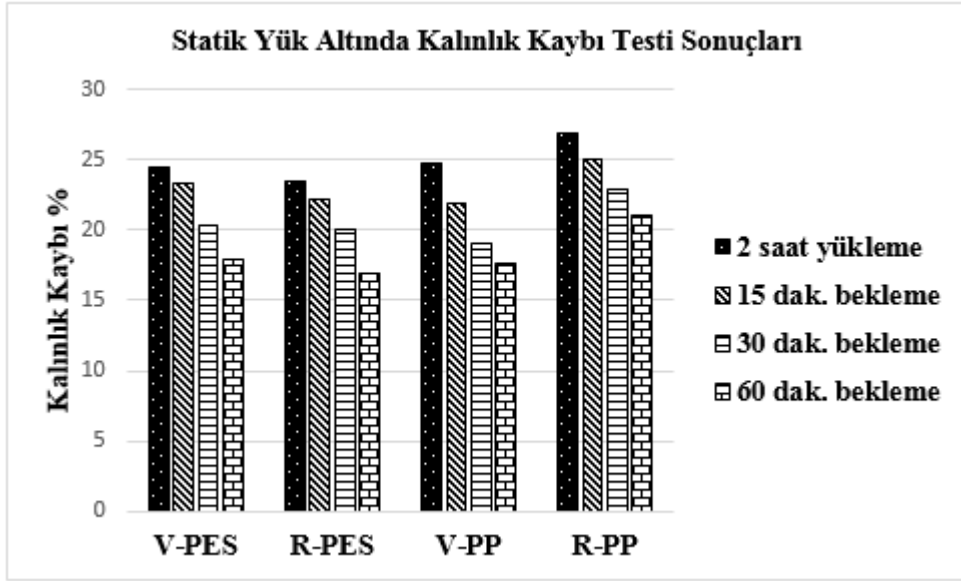
4.1. Halı Test Sonuçları

4.1.1. Statik Yük Altında Kalınlık Kaybı Test Sonuçları

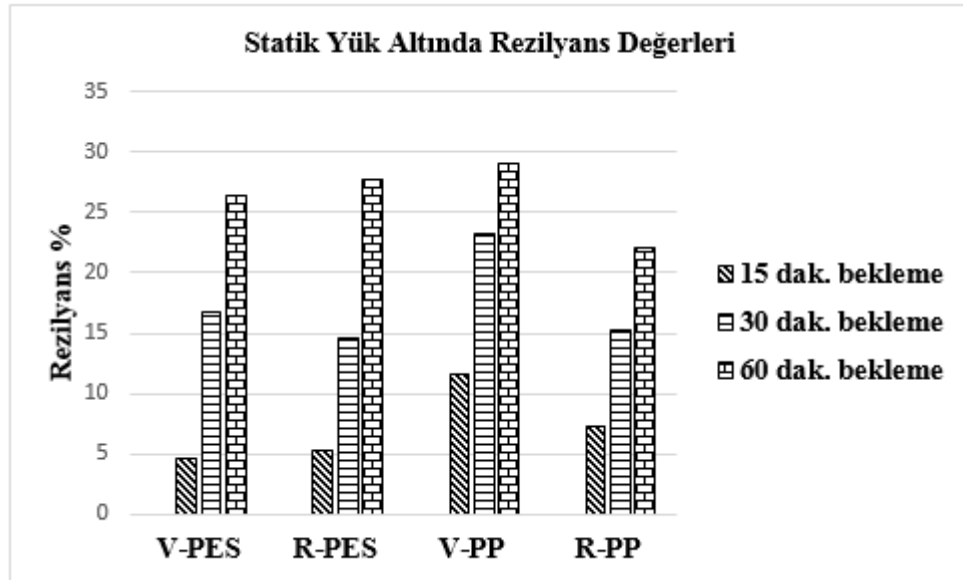
Statik yükleme testi özellikle ağır eşyalar olan koltuk, kanep ve yemek masası gibi eşyaların halı yüzeyinde oluşturabileceği görüntü bozukluklarının tespiti amacıyla uygulanan bir test yöntemidir. Kalınlık ölçüm cihazı yardımıyla ilk kalınlıkları ölçülen numuneler 220 kPa basınç altında 2 saat bekletildikten sonra yük altından çıkarılmakta ve tekrar kalınlık ölçümü yapılarak statik yükleme sonrası kalınlık kaybı değerleri % cinsinden hesaplanmaktadır. Bunun yanı sıra numunelerin 15 dk.,30 dk.,60 dk. bekletildikten sonra kalınlıkları ölçülerek rezilyans değerleri tespit edilmektedir. Halılarda rezilyans değerinin artması sabit yüke maruz kalan hav ipliklerinin daha yavaş ve uzun sürede ilk haline dönmesi anlamına gelmektedir. Halı numunelerinin statik yükleme testi sonrası % kalınlık kaybı değerleri Çizelge 4.1’de ve Şekil 4.1’de, rezilyans değerleri grafiği ise Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Numunelerin statik yükleme sonrası kalınlık kaybı (%) ve rezilyans değerleri (%)

Numune Kodu	Kalınlık Ölçüm Zamanı	Kalınlık (mm)	Kalınlık Kaybı (%)	Rezilyans (%)
V-PES	İlk kalınlık	12,80	-	-
	2 saat yükleme sonrası kalınlık	9,67	24,40	-
	15 dak bekleme sonrası kalınlık	9,82	23,28	4,59
	30 dak bekleme sonrası kalınlık	10,20	20,31	16,76
	60 dak bekleme sonrası kalınlık	10,50	17,96	26,39
R-PES	İlk kalınlık	12,40	-	-
	2 saat yükleme sonrası kalınlık	9,49	23,40	-
	15 dak bekleme sonrası kalınlık	9,65	22,17	5,25
	30 dak bekleme sonrası kalınlık	9,92	20,00	14,52
	60 dak bekleme sonrası kalınlık	10,30	16,93	27,64
V-PP	İlk kalınlık	13,20	-	-
	2 saat yükleme sonrası kalınlık	9,93	24,77	-
	15 dak bekleme sonrası kalınlık	10,31	21,89	11,62
	30 dak bekleme sonrası kalınlık	10,69	19,01	23,25
	60 dak bekleme sonrası kalınlık	10,88	17,57	29,06
R-PP	İlk kalınlık	13,10	-	-
	2 saat yükleme sonrası kalınlık	9,57	26,94	-
	15 dak bekleme sonrası kalınlık	9,83	24,96	7,34
	30 dak bekleme sonrası kalınlık	10,11	22,82	15,29
	60 dak bekleme sonrası kalınlık	10,35	20,99	22,08



Şekil 4.1. Statik Yükleme Sonrası % Kalınlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 4.2. Statik Yük altında Rezilyans Grafiği

Test esnasında halı numunesine uygulanan statik yükleme, hav ipliklerinin üzerinde ağırlıktan kaynaklı olarak bir enerji yüklemesine neden olmaktadır. Ağırlık kaldırıldıktan sonra hav ipliklerinin başlangıç konumuna dönme eğiliminde olması beklenmektedir. Bu amaçla ağırlık kaldırıldıktan sonra 15, 30 ve 60 dakika bekletildikten sonra da halı numunelerinin kalınlığı ölçülmekte ve ilk kalınlığa göre % kalınlık kaybı değerleri hesaplanmaktadır. Bekleme süresi arttıkça kalınlık kaybı yüzdelерinin azalması istenmekte olup bu değerin düşük olması halının ilk haline daha çok yaklaşması anlamına gelmektedir.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi statik yükleme sonucu kalınlık kaybı değeri en yüksek olan numune R-PP (geri dönüştürülmüş PP) hav ipliklerine sahip numune olmuştur. Benzer durum

bekleme süreleri sonrasında ölçülen değerlerde de görülmüş olup statik yükleme etkisinde kaldığında en fazla deformasyonun R-PP numunesinde gerçekleştiği söylenebilmektedir.

Tüm numunelerde, bekleme süresi arttıkça havların bir miktar yükseldiği ve kalınlık kaybının yakın oranlarda düştüğü görülmektedir.

Orijinal PES numunesinin kalınlık kaybı davranışının, geri dönüşüm PES numuneyle PP numunelere oranla daha benzer davranış gösterdiği (kalınlık kaybı değerlerinin birbirine daha yakın olduğu) görülmektedir. Ancak yine de R-PES hav ipliklerinin kalınlık kaybının V-PES ipliklerden az da olsa daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PP liflerde ise bunun tersi bir durum söz konusu olup geri dönüşüm liflerde daha fazla kalınlık kaybı olmuş, başka bir ifadeyle deformasyon daha fazla gerçekleşmiştir.

Orijinal PES ve PP lifleri içeren numuneler karşılaştırıldığında 2 saat yükleme sonrası aynı oranda kalınlık kaybı gerçekleşirken bekleme süreleri sonunda PP liflerin daha düşük kalınlık kaybına sahip olduğu başka bir ifadeyle rezilyans özelliklerinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir (V-PP numunesinin rezilyans değerleri V-PES numunesinden daha yüksek çıkmıştır). Geri dönüşüm liflerin kullanıldığı numunelerde ise hem yükleme sonrası hem de bekleme süreleri sonunda PES lifli numunenin kalınlık kaybı daha düşük olmuştur.

Genel olarak rezilyans değerlerine bakılacak olursa; 60 dakika bekleme sonrası rezilyans değeri en yüksek numunenin V-PP, en düşük numunenin ise R-PP olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm bekleme sürelerinde de en düşük rezilyans değeri R-PP (geri dönüştürülmüş PP) numunesinde elde edilmiştir. Bu durumda PP rezilyans özelliğinin geri dönüştürülmesiyle bir miktar azaldığı söylenebilmektedir.

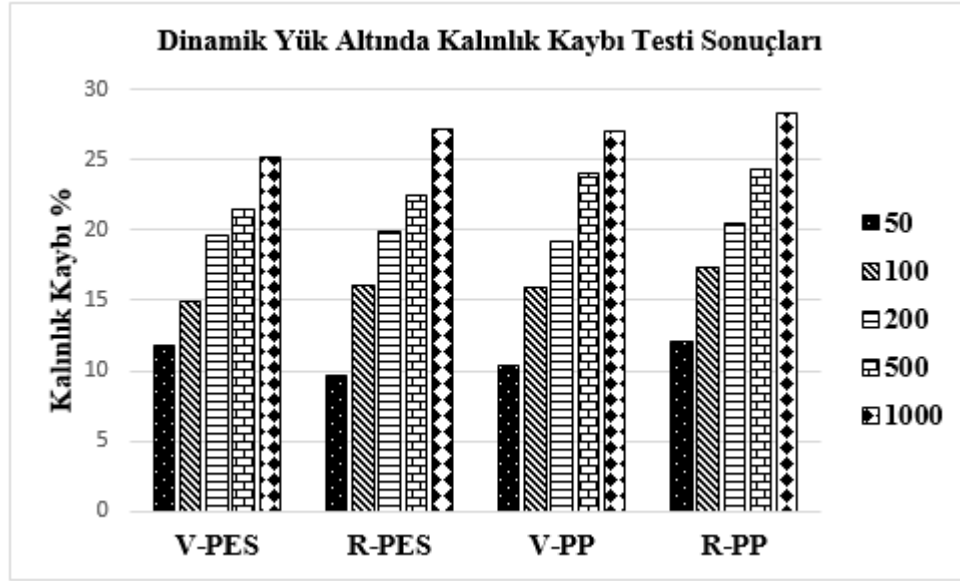
Polyester liflerinden üretilen halılar daha yüksek esneklik ve dayanıklılık göstermiştir. Bu lifler uzun süreli basınca maruz kaldığında bile şeklini PP'ye göre daha iyi korumaktadır. (<https://carpetsmatter.com/polyester-carpet-vs-polypropylene> 13.10.2024).

4.1.2. Dinamik Yük Altında Kalınlık Kaybı Test Sonuçları

Dinamik yükleme sonrası halı kalınlık kaybının gerçekleşmesi, insanların ve diğer canlıların yürümesi ve bunun sonucunda oluşabilecek kalınlık kayıplarının tespiti amacıyla uygulanan bir test yöntemidir. Kalınlık ölçüm cihazıyla 2 kPa basınç altında ilk ölçümleri yapılan numuneler bu test için geliştirilmiş cihaz üzerinde, sırasıyla 50,100,200,500 ve 1000 darbe uygulamasına maruz bırakılmakta, ardından tekrar kalınlık ölçümü yapılmakta ve halı numunelerindeki ilk numune kalınlıklarına göre kalınlık kayıpları % cinsinden hesaplanmaktadır. Halılarda kalınlık kaybı %'sinin artması dinamik yüke maruz kalan hav ipliklerinin kalınlık kayıplarının başka bir ifadeyle halılardaki deformasyonun daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Halı numunelerinin dinamik yükleme sonrası % kalınlık kaybı değerleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Numunelerin dinamik yükleme sonrası kalınlık kaybı değerleri (%)

Numune Kodu	Darbe Sayısı	Kalınlık (mm)	Kalınlık Kaybı (%)
V-PES	Test öncesi	12,7	-
	50	11,2	11,81
	100	10,8	14,96
	200	10,2	19,68
	500	9,98	21,41
	1000	9,5	25,19
R-PES	Test öncesi	12,5	-
	50	11,3	9,6
	100	10,5	16
	200	10,01	19,92
	500	9,7	22,4
	1000	9,1	27,2
V-PP	Test öncesi	13,05	-
	50	11,7	10,34
	100	10,97	15,93
	200	10,55	19,15
	500	9,91	24,06
	1000	9,52	27,04
R-PP	Test öncesi	12,98	-
	50	11,42	12,01
	100	10,72	17,41
	200	10,32	20,49
	500	9,83	24,26
	1000	9,31	28,27



Şekil 4.3. Dinamik Yükleme Sonrası % Kalınlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi tüm darbe oranlarında dinamik yükleme sonucu kalınlık kaybı değeri en yüksek olan numune R-PP (geri dönüştürülmüş PP) hav ipliklerine sahip numune olmuştur. Bu durumda dinamik yükleme darbeleri etkisinde kaldığında en fazla deformasyonun R-PP numunesinde gerçekleştiği söylenebilmektedir.

Tüm numunelerde, uygulanan darbe sayısı arttıkça beklenen şekilde kalınlık kayıplarının arttığı görülmektedir. 50 darbe sonrası kalınlık kayıplarında V-PES numunesinde ölçülen kalınlık kaybı diğerlerinden yüksekken darbe sayısı arttıkça diğer numunelerde meydana gelen kalınlık kaybı değerleri daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda dinamik yüklemenin süresi arttıkça diğer numunelerin daha fazla kalınlık kaybına uğradığı söylenebilmektedir.

Orijinal PES numunesinin kalınlık kaybı değerinin ilk 50 darbe sonunda geri dönüşüm PES numuneye oranla daha yüksek olduğu ancak darbe sayısının artmasıyla R-PES numunedeki kalınlık kaybının daha yüksek hale geldiği görülmektedir. PP numunelerinde ise tüm darbe sayılarında geri dönüşüm liflerden üretilen halılarda daha fazla deformasyon meydana gelmiştir. Bu durumda geri dönüşüm işleminin PES ve PP liflerinde dinamik yükleme sonrası kalınlık kaybını, başka bir ifadeyle değişken yükleme sonrası deformasyon olasılığını bir miktar olumsuz etkilediği söylenebilmektedir.

Orijinal PES ve PP lifleri içeren numuneler karşılaştırıldığında dinamik yükleme ile uygulanan darbeler sonrasında V-PES lifleri içeren numunede genel olarak V-PP lifleri içeren numuneye göre daha düşük kalınlık kaybı olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum geri dönüşüm PES ve PP elyaflarının havda kullanıldığı numuneler arasında da görülmüştür. Genel olarak PES numunelerinin PP içeren numunelere göre dinamik yüklemelere karşı görünüm açısından daha çok direnç gösterdiği söylenebilmektedir. Ayrıca kalınlık kaybı değerlerine bakılacak olursa; 1000 darbe sonrası kalınlık kaybı değeri en yüksek numunenin R-PP en düşük numunenin ise V-PES olduğu görülmektedir.

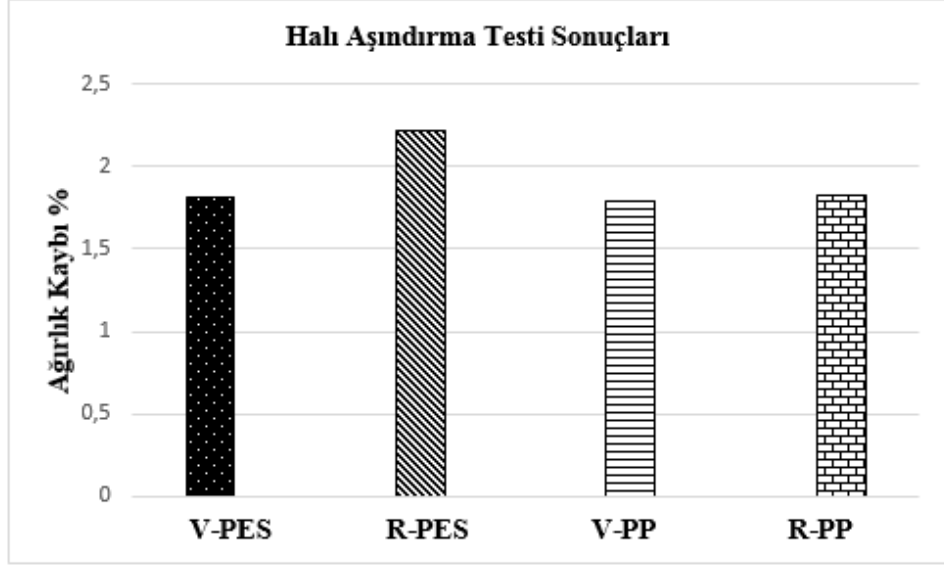
Polyesterin dinamik yük altında şeklini daha iyi koruduğu literatürdeki açıklama ile de desteklenmektedir. Polyester, dinamik yük altında daha iyi performans göstermektedir, çünkü lif yapısı elastikiyeti artıran daha güçlü kimyasal bağlara sahiptir. Dinamik yük altında sürekli esnemeler ve ani baskılar olduğunda, PES'in bu şoklara karşı daha dayanıklı olduğu ve şeklini geri kazanma kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. PES'in, halı gibi zemin kaplamalarında yoğun ayak trafiği veya ani ağırlık değişimleri gibi dinamik koşullarda üstün performans sergilediği gösterilmiştir (<https://www.fabricfits.com/polyester-vs-polypropylene-rug/> 13.10.2024).

4.1.3. Halı Aşındırma Testi Sonuçları

Halı aşındırma testi, kullanıma bağlı olarak hav ipliklerinin kısmen veya tamamen halı yüzeyinden uzaklaşarak deformasyona ve ağırlık kaybına uğrama davranışını test etmek amacıyla uygulanan bir yöntemidir. Hassas terazi yardımıyla ilk ağırlıkları ölçülen 21x50 mm boyutlarındaki numuneler 5000 devirde aşınmaya maruz bırakılmakta, ardından tekrar ağırlık ölçümü yapılarak aşındırma sonrası ağırlık kaybı değerleri % cinsinden hesaplanmaktadır. Halı numunelerindeki ilk ağırlığa göre ağırlık kaybının fazla olması aşınmanın fazla olduğu ve numunenin kullanımında daha fazla deformasyon olacağı anlamına gelmektedir. Halı numunelerine uygulanan aşındırma testi sonrası % ağırlık kaybı değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. Numunelerin aşındırma testi sonrasında % ağırlık kaybı değerleri

Numune Kodu	Test Öncesi (g)	Test Sonrası (5000 devir) (g)	Ağırlık kaybı (%)
V-PES	3,31	3,25	1,81
R-PES	3,15	3,08	2,22
V-PP	3,35	3,29	1,79
R-PP	3,28	3,22	1,82



Şekil 4.4. Aşındırma Testi Sonrası % Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında halı numunelerine uygulanan aşındırma testinde mekanik etki sonucu halı tabanı ve hav ipliklerinde meydana gelen ağırlık kaybı ölçülmektedir. Sabit devirde aşındırma işlemi yapılan numunelerde ağırlık kaybı değerinin mümkün olduğunda düşük olması istenmekte olup bu değer düşük olması halı da mekanik etki sonrası daha az deformasyon olduğu anlamına gelmektedir.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi aşındırma testi sonucu ağırlık kaybı değeri en yüksek olan numune R-PES (geri dönüştürülmüş PES) hav ipliklerine sahip numune olmuştur. Diğer numunelerde ölçülen kalınlık kaybı değerleri ise birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Orijinal PES numunenin ağırlık kaybı değerinin geri dönüştürülmüş PES içerikli numuneye göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Orijinal ve geri dönüşüm PP liflerinden üretilen numunelerin aşınma testi sonucu ağırlık kaybı değerlerinin ise birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durumda geri dönüşüm işleminin, PES liflerinde aşınma özelliğinde bir miktar kötüleşmeye neden olurken PP liflerinde herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı söylenebilmektedir.

Genel olarak polyesterin, daha güçlü kimyasal bağlara ve daha sıkı bir yapıya sahip olduğundan, özellikle yoğun ayak trafiği altında aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu belirtilmektedir. PES halılar, bu nedenle uzun süreli kullanımda daha az lif kaybı ve bozulma göstermektedir. PP lifleri, ekonomik ve hafif bir malzeme olmasına rağmen, yoğun kullanımda lifler daha kolay aşınmakta ve zayıflamaktadır. PP halılar, özellikle yüksek trafiğe sahip alanlarda veya sürekli sürtünme altında lif kaybı yaşamaktadır (<https://www.fabricfits.com/polyester-vs-polypropylene-rug/> 13.10.2024).

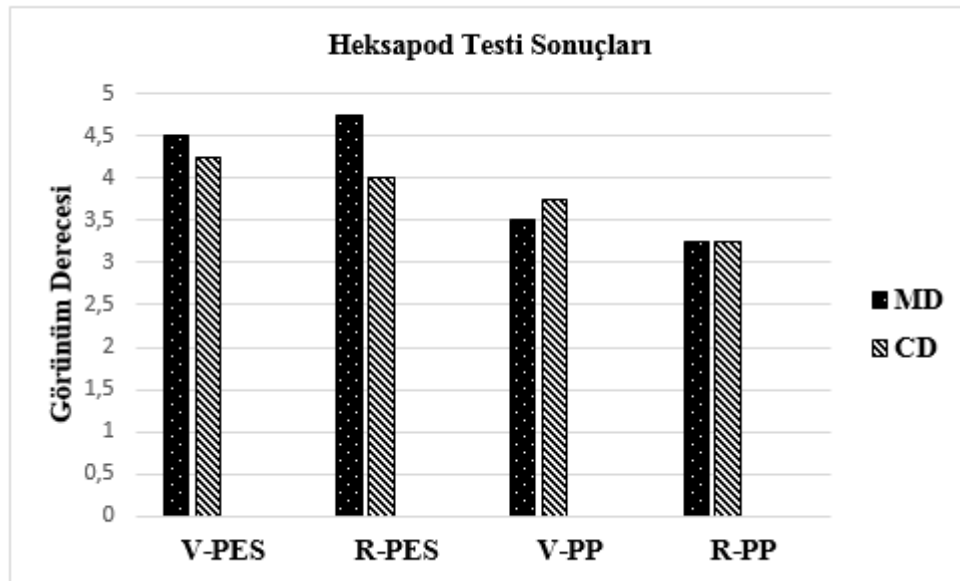
4.1.4. Heksapod Testi (Görünüm Muhafaza Etme Derecesi) Sonuçları

Heksapod testi, tufting halı numunelerinin mekanik etkilere maruz kalması durumunda görünümünde meydana gelen değişim miktarının ölçülmesi amacıyla uygulanan bir test yöntemidir. Halı numuneleri 4000 devirde hafif aşınma ve 12000 devirde ağır aşınma etkisine maruz bırakılmaktadır. Bu amaçla MD (makine yönü) ve CD (çapraz yön) doğrultularında hazırlanan numuneler test cihazı yardımıyla mekanik etkiye maruz bırakılmakta ve belirlenen devir sonrası numunelerde meydana gelen görünüm değişimi standart fotoğraflarla karşılaştırılarak, 1 ve 5 arasında değerlendirilmekte ve gerektiğinde de ara değerler verilebilmektedir. Halı numunelerinin MD ve CD yönünde heksapod görünümü muhafaza etme derecesi testi sonrası elde edilen değerler Çizelge 4.4 ve Şekil 4.5'te görülmektedir.

Heksapod testi yapılan halı numuneleri önce 4000 devirde hafif aşınmaya, numunelerde önemli bir aşınma görülmediğinden daha sonra 12000 devirde ağır aşınma etkisine maruz bırakılmıştır.

Çizelge 4.4. Tufting halı numunelerinin heksapod görünüm değerlendirme sonuçları

Numune Kodu	Hafif Aşınma (Devir)	MD (Makine Yönü)	CD (Çapraz Yön)	Ağır Aşınma (Devir)	MD (Makine Yönü)	CD (Çapraz Yön)
V-PES	4000	5	5	12000	4-5 (4,50)	4-5 (4,25)
R-PES		5	5		4-5 (4,75)	4-5(4)
V-PP		4,75	5		3-4 (3,50)	3-4 (3,75)
R-PP		4,75	4,75		3-4 (3,25)	3-4 (3,25)



Şekil 4.5. Heksapod Görünüm Tutuculuğu Değerlendirmeleri Grafiği

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi görünümü muhafaza etme derecesi testi sonucu MD ve CD yönünde görünüm olarak birbirleriyle aynı değerlerde olduğu tespit edilmiştir. PES liflerinin PP liflerine göre daha iyi görünümü muhafaza etme değerine sahip olduğu söylenebilmektedir. MD ve CD yönünde geri dönüşüm işleminin görünümü muhafaza etme dereceleri üzerinde olumsuz etkisi olmadığı görülmektedir.

Tüm numuneler 4000 devir hafif aşındırmaya maruz bırakıldığında görünümünde önemli bir değişiklik olmadığı söylenebilmektedir. Ancak 12000 devir ağır aşınmaya maruz bırakıldığında görünüm değişiklikleri olduğu görülmektedir.

Genel olarak baktığımızda, en iyi görünümü muhafaza eden numune R-PES numunesi olurken en kötü değer olarak V-PP ve R-PP numunelerinin olduğu görülmektedir.

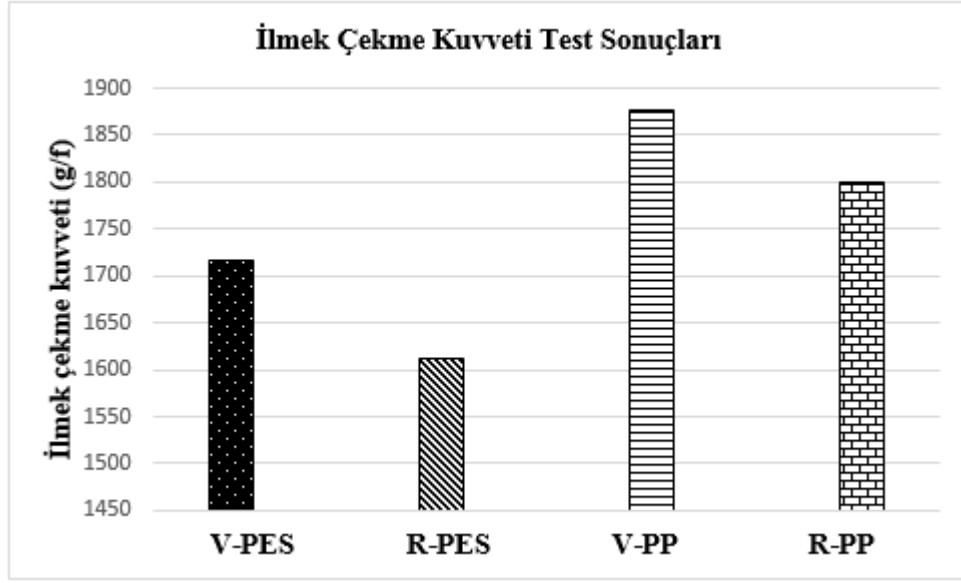
Polyester lifler sıkı bir yapıya sahip olduğu için aşınmaya karşı daha iyi direnç göstermekte ve halı, test süresince formunu ve dokusunu daha uzun süre korumaktadır. Renk dayanıklılığı açısından UV ışınlarına ve kimyasallara karşı daha dayanıklı olduğundan, test süresince renk kaybı ve solma daha az yaşanmaktadır. Aşındırma testleri, PES halıların genellikle uzun süre parlak ve canlı renkler koruduğunu göstermektedir. Özellikle yoğun trafik veya ağır mekanik baskılara maruz kaldığında PP elyafları, daha hızlı aşınma ve şekil bozulması göstermektedir. Bu, halının daha kısa sürede deforme olmasına neden olmaktadır (<https://www.fabricfits.com/polyester-vs-polypropylene-rug/> 13.10.2024).

4.1.5. Hav İlmeği Çekme Kuvvetinin Belirlenmesi Testi Sonuçları

Hav ilmeği çekme kuvveti testi, hav ipliklerinin kuvvete maruz bırakılarak çekilmesi esnasında gösterdiği direncin tespiti amacıyla uygulanan bir test yöntemidir. İlmeği çekme kuvvetinin belirlenmesi için test cihazına yerleştirilen halı numunesi üzerindeki ilmeğe makasa benzer bir aparat yardımıyla kuvvet uygulanarak ilmek halı tabanından çıkmaya zorlanmakta ve bu işlem 3 farklı bölgede tekrar edilerek değerler g/f cinsinden kaydedilmektedir. Ölçülen değerlerin düşük olması daha az bir kuvvetle ilmeğin çekilebildiği ve bu nedenle yapıdan daha kolay uzaklaşabileceği anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle deformasyon daha kolay gerçekleşmektedir. Halı numunelerinin ilmek çekme kuvveti testi sonrası ölçülen değerleri Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Tufting halı numunelerinin ilmek çekme kuvvetinin sonuçları

Numune Kodu	İlmeği Çekme Kuvveti (g/f)
V-PES	1716,18
R-PES	1611,15
V-PP	1876,27
R-PP	1800,81



Şekil 4.6. İlmek Çekme Kuvveti Ölçümlerinin Grafikselsel Gösterimi

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi ilmek çekme kuvveti en düşük olan numune R-PES, en yüksek olan numune ise V-PP numunesi olmuştur. Genel olarak PP numunelerin ilmek çekme dayanımları PES numunelerinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca her iki hammadde grubunda da geri dönüşüm liflerden üretilen ilmeklerin çekmeye karşı gösterdikleri direnç orijinal liflerden üretilen numunelere göre daha düşük olmuştur. Bu durumda geri dönüşüm işleminin PP ve PES liflerinde ilmek çekme mukavemetini olumsuz etkilediği söylenebilmektedir.

Literatürde, polyester ipliklerin hav ilmek çekme kuvvetinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu, liflerin sağlam yapısından ve iyi iplik oluşturma özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Polyester liflerin ortalama hav ilmek çekme kuvveti değeri, yaklaşık 15-25 N civarındadır. Bu değer, ipliklerin kalınlığına, lifin tipine (örneğin düşük erime noktalı Polyester veya PET) ve iplik yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Polipropilen ipliklerin hav ilmek çekme kuvveti daha düşük değerler göstermekte olup genellikle 10-20 N aralığında olduğu belirtilmektedir. Bu durum, polipropilenin daha düşük yoğunluk ve mukavemet özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ancak, liflerin yapılandırılma şekline ve uygulama alanına göre bu değerler değişebilmektedir (<https://www.fabricfits.com/polyester-vs-polypropylene-rug/> 13.10.2024).

4.1.6. Numune Halıların Maliyet Açısından Karşılaştırılması

Tufting halının maliyetini hesaplamak için aşağıdaki verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

1. İplik tüketimi(kg/m²)
2. İplik maliyeti (USD/kg)
3. Üretim maliyeti (işçilik, enerji, amortisman)
4. Diğer maliyetler (taban malzemesi, destekleyici malzemeler)

Ortalama 1 m² tufting halı üretiminde, 12 mm hav yüksekliği ve 1700x2 denye iplik kullanımında 1,8 kg iplik tüketimi yapılmaktadır. Üretim maliyeti ve diğer maliyetler sabit tutulmaktadır.

%100 orijinal polyester toplam maliyet hesabı

Ekim 2024 itibariyle ortalama iplik fiyatı 5 USD/kg'dır.

- İplik maliyeti= $1,8 \times 5 = 9 \text{ USD/m}^2$
- Üretim maliyeti= 2,5 USD
- Diğer maliyetler= 1,5 USD

Toplam maliyet= $9 + 2,5 + 1,5 = 13 \text{ USD/m}^2$

%100 geri dönüşüm polyester toplam maliyet hesabı

Ekim 2024 itibariyle ortalama iplik fiyatı 4 USD/kg'dır.

- İplik maliyeti= $1,8 \times 4 = 7,2 \text{ USD/m}^2$
- Üretim maliyeti= 2,5 USD
- Diğer maliyetler= 1,5 USD

Toplam maliyet= $7,2 + 2,5 + 1,5 = 11,2 \text{ USD/m}^2$

%100 orijinal polipropilen toplam maliyet hesabı

Ekim 2024 itibariyle ortalama iplik fiyatı 3,25 USD/kg'dır.

- İplik maliyeti= $1,8 \times 3,25 = 5,85 \text{ USD/m}^2$
- Üretim maliyeti= 2,5 USD
- Diğer maliyetler= 1,5 USD

Toplam maliyet= $5,85 + 2,5 + 1,5 = 9,85 \text{ USD/m}^2$

%100 geri dönüşüm polipropilen toplam maliyet hesabı

Ekim 2024 itibariyle ortalama iplik fiyatı 2,75 USD/kg'dır.

- İplik maliyeti= $1,8 \times 2,75 = 4,95 \text{ USD/m}^2$
- Üretim maliyeti= 2,5 USD
- Diğer maliyetler= 1,5 USD

Toplam maliyet= $4,95 + 2,5 + 1,5 = 8,95 \text{ USD/m}^2$

Maliyet açısından değerlendirildiğinde, maliyetin en büyük kısmını iplik ve üretim maliyeti oluşturmaktadır. Üretim ve diğer maliyetler sabit tutulduğunda iplik giderlerinin geri dönüşüm hav ipliği kullanıldığında beklenen şekilde PES ipliklerde %13.8, PP ipliklerde ise %9,1 oranında daha uygun olduğu görülmektedir.

PES ve PP hav ipliklerinin maliyeti karşılaştırıldığında, PP içerikli ipliklerin daha düşük maliyetli olduğu görülmüş olmasına rağmen bu ipliklerden üretilen tufting halıların kullanım yerine göre değerlendirilmesi daha uygun olmaktadır. Her elyaf grubu kullanım yeri açısından farklılık göstermektedir. Örneğin; PES içerikli ürünlerin daha çok ev halısı olarak kullanılması ve tercih edilmesi, PES içerikli hav ipliğinin pahalı olmasına rağmen tercih edildiğinden daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında, % 100 V-PES, R-PES, V-PP, R-PP hav ipliklerden üretilmiş halı numunelerinin seçilmiş performans özellikleri karşılaştırılarak geri dönüşüm ipliklerin tufting halı üretiminde havda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

5.1. Halı Numunelerinin Performansı Açısından Sonuçların Değerlendirilmesi

Statik yükleme altında kalınlık kaybı sonuçları:

- Statik yükleme sonucu kalınlık kaybı değeri en yüksek olan numune R-PP hav ipliklerine sahip numune olmuştur. Bekleme süresinin tamamında da benzer bir durum söz konusu olmuştur.
- Tüm numunelerde bekleme süresi arttıkça beklenen şekilde havların eski haline dönme eğilimi gösterdiği ve kalınlık kaybının bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.
- Orijinal ve geri dönüşüm PES liflerinden üretilen halıların statik yükleme sonrası kalınlık kaybı değerlerinin birbirine yakın çıktığı tespit edilmiştir. PP liflerde ise geri dönüşüm liflerden üretilen halılarda kalınlık kaybı daha fazla çıkmıştır.
- Orijinal PES ve PP ipliklerden üretilen halıların 2 saat yükleme sonrası kalınlık kaybı birbirine yakinken bekleme süreleri sonunda PP liflerinin kalınlık kaybı daha düşük olmuştur.
- En fazla bekleme süresinin sonunda rezilyans değeri en yüksek numune V-PP, en düşük numune ise R-PP olduğu görülmektedir.

Dinamik yükleme altında kalınlık kaybı sonuçları:

- Tüm darbe oranlarında en yüksek kalınlık kaybı R-PP numunesinde gerçekleşmiştir. –
- Tüm numunelerde beklenen şekilde darbe sayısı arttıkça kalınlık kayıplarının arttığı görülmüştür.
- Orijinal PES numunesinin kalınlık değerinin ilk 50 darbe sonunda R-PES'ten yüksek olduğu ancak darbe sayısının artmasıyla R-PES'te kalınlık kaybının daha yüksek oranda gerçekleştiği tespit edilmiştir.
- Genel olarak V-PES numunelerinde PP lifleri içeren numunelerden daha düşük kalınlık kaybı gerçekleştiği görülmüştür. Benzer durum geri dönüşüm liflerden üretilen numunelerde de gerçekleşmiştir.

- 1000 darbe sonunda kalınlık kaybı en yüksek numune R-PP en düşük numune V-PES olmuştur.

Aşındırma testi sonuçları:

- Genel olarak orijinal liflerden üretilen numunelerin 5000 devir sonrası ağırlık kaybı değerleri birbirine oldukça yakın olmuştur.
- Geri dönüşüm liflerden üretilen hav iplikleri kullanılan numunelerinde orijinal liflerden üretilenlere yakın ağırlık kaybı değerleri gerçekleşmiştir.
- En yüksek ağırlık kaybı R-PES numunelerinde meydana gelmiştir.

Görünümü muhafaza etme derecesi testi sonuçları:

- Tüm numunelerde MD ve CD yönünde sonuçlar birbirleriyle aynı çıkmıştır. PES liflerinin PP liflerinden daha yüksek dayanım gösterdiği tespit edilmiştir.
- Geri dönüşüm işleminin ipliklerinin görünüm muhafaza etme dereceleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı söylenebilmektedir.
- Tüm numuneler 4000 devirde hafif aşınmaya oldukça iyi dayanım gösterirken 12000 devir olan test işleminde görünümünde bir miktar değişim olduğu söylenebilmektedir.

İlmek çekme dayanımı testi sonuçları:

- Tüm numunelerde ilmek çekme kuvvetinin, numune grubu özelinde birbirine yakın olduğu söylenebilmektedir.
- Geri dönüşüm işlemlerinin hav ipliklerinde ilmek çekme kuvvetine olumsuz etkisinin olduğu görülmektedir.
- İlmek çekme kuvvetine maruz bırakılan numunelerde en yüksek değer V-PP numunesinde ölçülürken en düşük değer ise R-PES numunesinde elde edilmiştir.
- Genel olarak PP lifleri içeren numunelerin PES içeren numunelere göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

5.2. Genel Değerlendirme

Tez çalışmasında kullanılan geri dönüşüm elyaflardan üretilen %100 oranında PP ve PES hav ipliklerinin performans özelliklerine bakıldığında tufting halı sektöründe kullanımı maliyet ve çevre ekolojisi bakımından sektöre ve topluma avantaj sağlamıştır.

Tüm halı numuneleri incelendiğinde ölçülen değerlerin performans açısından karşılaştırıldığında her iki elyaf grubunda kendi aralarında yüksek değerlerde bir fark

gözlemlenmemiştir. PES ve PP elyaf grubu halı numuneleri karşılaştırıldığında en düşük kalınlık kaybı R-PES halı numunelerinde görülmüştür. PP halı numuneleri, dinamik yükleme sonrasında yüksek kalınlık kayıplarına sahip olmasına rağmen yeterli bekleme süresi sonunda diğer halı numunelerine göre daha iyi rezilyans davranışı göstermektedir. Aşındırma testi sonrasında ağırlık kaybı incelendiğinde orijinal elyaflardan üretilmiş halı numunelerinde daha az ağırlık kaybı yaşanmıştır. Heksapod (görünüm tutuculuğu değerlendirmesi) testinde ise PES elyaf grubu halı numunelerinde daha az görünüm değişikliği olduğu tespit edilmiş, daha iyi performans göstermiştir. İlmek çekme kuvvetinin belirlenmesi testinde ise PP elyaf grubunun PES elyaf grubuna göre daha iyi performans göstermiş olduğu tespit edilmiştir.

5.3. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

Tufting halılarda iplik numarası ve hav ipliklerinin hammadde ve hammadde karışım oranlarının değiştirilerek konfor özelliklerini test edildiği deneysel çalışma yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Akcan, M., 2018. Polyester Liflerin Genel Özellikleri ve Isıl İşlemlerdeki Davranışları, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Seminer, Denizli.
- Atakan, R., 2014. İğneleme Yöntemi ile Üretilmiş Otomotiv Halılarında Geri Dönüştürülmüş Polyester Lifi Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Çelik, E., 2018. Polipropilen Liflerinin Dokuma Kumaş Yapılarındaki Fiziksel Performansının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Çinçik, E., 2010. İğneleme Yöntemiyle Üretilen Polyester/Viskon Karışımli Dokusuz Yüzey Özelliklerinin Deneysel ve İstatistiksel Analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Dalcı, S., 2006. Makine Halısı Üretim Parametrelerinin Halı Performansına Olan Etkilerinin Araştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Discover Natural Fibres Initiative-DNFI. "Forecast World Fibre Production" <https://textile-network.com/en/TechnicalTextiles/Fasern-Garne/Forecast-world-fibre> production 20.05.2024.
- Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D., 2016. Sustainability and Recycling Opportunities in the Textile and Apparel Sector, Journal of Textiles and Engineer, 23 (101), 43-60.
- Esi, B., 2020. R-Pet İpliklerin Şönil Döşemelik Kumaşlarda Kullanılabilirliği ve Üretim Maliyetinin Optimizasyonu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- Fidan, G., 2022. Halı Üretiminde Kullanılması Amacıyla Pes Liflerinin Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kahramanmaraş.
- Gminder, C.U., 2006. Nachhaltigkeitsstrategien System isch Umsetzen: Exploration der Organisation aufstellungals Management methode, PhD Thesis, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG), Universität St Gallen, St Gallen.
- Grigore, E., 2017. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. Journal Recycling, 2(4), 24.
- Güngör, A., Palamutçu, S., İkiz, Y., 2009. Pamuklu Tekstiller ve Çevre: Bir Bornozun Yaşam Döngü Değerlendirmesi", Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 197-205.
- Hamad, K., Kaseem, M., Deri, F., 2013. Recycling of Waste from Polymer Materials: An Over View of the Recent Works, Polymer Degradation and Stability. 98, 2801-2802.
- <http://carpet-machinery.web.tr/4-carpet-tufting-machine.html> 27.09.2024.
- <https://dunyaenerji.org.tr/> 19.09.2024.

- https://www.Academia.Edu/48965154/Pol%C4%B0prop%C4%B0len_L%C4%B0f%C4%B0_Ve_Pol%C4%B0prop%C4%B0len_L%C4%B0f%C4%B0n%C4%B0n_Mak%C4%B0ne_Halisında_Kullanımı 25.05.2024
- http://plastiquarian.com/?page_id=14275, 20.05.2024.
- <https://images.tutorvista.com/cms/images/44/preparation-of-polypropylene.png>, 20.05.2024.
- https://www.Academia.Edu/48965154/Pol%C4%B0prop%C4%B0len_L%C4%B0f%C4%B0_Ve_Pol%C4%B0prop%C4%B0len_L%C4%B0f%C4%B0n%C4%B0n_Mak%C4%B0ne_Halisında_Kullanımı 25.05.2024
- http://plastiquarian.com/?page_id=14275, 20.05.2024.
- <https://images.tutorvista.com/cms/images/44/preparation-of-polypropylene.png>, 20.05.2024.
- https://www.researchgate.net/publication/350418011_Recycling_of_textiles_and_its_economic_aspects 25.05.2024
- <https://www.gaib.org.tr/tr/duyurular/ocak-haziran-2023-donemi-hali-ihracat-rakamlari-5563.html> 25.05.2024.
- <https://aygenteks.com/> 01.07.2024
- <https://filofibra.com.tr/tr/blog/tekstil-ve-hazirgiyim-sektor-raporu-ve-dogal-ve-suni-elyaflar-2021>, 28.05.2024.
- https://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Filament 23.05.2024.
- <https://carpetsmatter.com/polyester-carpet-vs-polypropylene> 13.10.2024.
- <https://www.fabricfits.com/polyester-vs-polypropylene-rug/> 13.10.2024.
- Karagöl, H., 2023. Denim Dokuma Kumaşlarda Geri Dönüşüm Pamuk Oranlarının İyileştirilmesinin Kumaş Konfor ve Performans Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Kuyucak, C., 2020. Open End Geri Dönüşüm Akrilik İplikten Elde Edilen kazakların Performans Özelliklerinin PBT ve Gipe İpliklerin İlavesinin Etkisi ile Birlikte İncelenmesi, Uşak Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Uşak.
- Kırış, G., 2020. Farklı Filament İnceliği ve Filament Kesit Formu Kullanılarak Geri Dönüşüm Pet Polimerinden (R pet) POY ve Tekstüre (DTY) Polyester İpliklerin Eldesi ve Örmeye ve Dokuma Kumaşların Çeşitli Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Konuk, A., 2024. Mekanik Geri Dönüştürme Yöntemi ile Elde Edilen Granüllerin Polietilen Film Üretiminde Tekrar Kullanılması ve Kalitesinin Değerlendirilmesi, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 7(1): 36-48 (2024)
- Küresel Elyaf Pazarı 2021(<https://textile-network.com/en/Technical-Textiles/Fasern-Garne/Forecast-world-fibre-production>) 28.05.2024.

- Lin, T., Bao, L., 2020. Polypropylene/thermoplastic polyurethane Eblends: Mechanical Characterizations, Recyclability and Sustainable Development of Thermoplastic Materials, Shinshu University. 25.05.2024.
- Mandal, J., 2013. Polypropylene Fiber and its Manufacturing Process, Properties, Advantages, Disadvantages and Applications of Polypropylene Fiber.
- Mather, R., 2015. Synthetic Textile Fibres: Polyolefin, Elastomeric and Acrylic Fibres. Textiles and Fashion, Wood Head Publishing Series in Textiles, 115–138.
- Myungwan, H., Kyungsuk, G., Jaekyung, S., 2012. Chemical Recycling Technology from Polyester Wastes, Elastomers and Composites, 47.2 /96-103 (15.05.2024).
- Niinimäki, K., 2013. Tenets of Sustainable Fashion in Sustainable Fashion: New Approaches, Aalto University Publication Series, Helsinki, Finland, 12- 29.
- Nohut, S., Sarioğlu, E., Yayla, O., Kaynak, İ., Vuruşkan, D., 2018. Ring Eğirme Yöntemi ile Üretilen Geri Dönüşüm Polyester (r-PET) Karışım İpliklerin Karakterizasyonu, International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018) Çukurova University, Congress Center, 971-975.
- Sharma, R., Goel, A., 2017. Development of Nonwoven Fabric from Recycled Fibers, Journal of Textile Science & Engineering ,10.4172/2165-8064.1000289, 25.05.2024.
- Sözcü, Ş., 2019. The Production of BCF Yarn and Machine Carpet From Recycled Polypropylene Pellets, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.
- Tayyar, A., Üstün, S., 2009. Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 16(1), 53-62. 25.05.2024.
- Tekin, M., 2002. Yüz Yüze Halı Dokumacılığı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Telli, A., Özdil, N., Babaarslan, O., 2012. PET Şişe Atıklarının Tekstil Endüstrisinde Değerlendirilmesi ve Sürdürülebilirliğe Katkısı, Tekstil ve Mühendis, 19: 86, 49-55. 25.05.2024.
- Telli, A., Babaarslan, O., 2017. Sürdürülebilir Kısa Lif İplik Teknolojisi İçin Geri Dönüşüm Pamuk ve Polyester Liflerinin Kullanımı, Tekstil ve Konfeksiyon 27(3), 224-233. (25.05.2024)
- Turgut, E., 2023. Geri Dönüştürülmüş Polyester ve Akrilik Özlü İpliklerden Sürdürülebilir Süprem Kumaşların Performansı, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep.
- Türkoğlu, Ö., 2022. Geri Dönüştürülmüş İpliklerle Üretilen Kumaşların Otomotiv Koltuk Kılıflarında Kullanımının İncelenmesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Uskaner, F., Sarioğlu, E., 2014. Halı Üretim Aşamalarının Çözümlü İpliklerinin Mukavemetine Etkisi, Tekstil ve Mühendis, 67, (17-22).

- Vadicherla, T., Saravanan, D., 2014. Textiles and Apparel Development Using Recycled and Reclaimed Fibers, Road map to Sustainable Textiles and Clothing, 139–160.
- Voncina, B., 2016. Recycling of Textile Materials, 2bfunte xMultidisciplinary Teams (MDTs), 1-37.



ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Halil ÇAKTU, ilk ve ortaokul eğitimini Mütercim Asım İlköğretim Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Hacı Sani Konukoğlu Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun oldu. Şu anda Gaziantep'te ikamet etmekte Akınal Nonwovens firmasında Kalite Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 çocuk babasıdır.

