



**FARKLI MONOMER KARIŞIM ORANLARI İLE
ÜRETİLEN POLİÜRETANLARIN YÜZEY VE AKUSTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ECEM NUR KESKİN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI MONOMER KARIŞIM ORANLARI İLE ÜRETİLEN
POLİÜRETANLARIN YÜZEY VE AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

ECEM NUR KESKİN
Orcid No: 0000-0003-2056-1684

Prof.Dr. MEHMET ORHAN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
FARKLI MONOMER KARIŞIM ORANLARI İLE ÜRETİLEN
POLİÜRETANLARIN YÜZEY VE AKUSTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ecem Nur KESKİN
Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ORHAN

Bu tez çalışmasında araçların kaput altı, su kutusu ve motor bölgelerinde akustik amaçlı kullanılan düşük yoğunluklu poliüretan (L.PU) köpüklerin monomer oranlarının değiştirilmesinden ve mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı malzemesi ilave edilmesinden sonra yüzey, akustik ve güç tutuşurluk özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. PU üretiminde temel bileşenler olarak poliöl, izosiyanat (MDI), katalizör ve grafit ve katkı maddesi olarak ise mikro boyutlu içi boş kürecikler kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk adımında, temel üretim parametrelerini ve monomer oranlarını belirlemek amacıyla düşük yoğunluklu PU köpükler üretilmiştir. Daha sonra, bu üretime bağlı olarak poliöl ve izosiyanat oranları değiştirilerek PU köpükler elde edilmiştir. Son olarak üretim reçetesine farklı oranlarda mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı eklenerek PU köpükler üretilmiştir.

Toplamda 5 farklı reçete ile PU köpüklerin üretilebilirliği belirlendikten sonra, farklı monomer oranlarının ve farklı oranlardaki mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkıların yüzey üzerine etkileri SEM ile görsel olarak incelenmiştir. Her bir PU köpükteki fonksiyonel gruplar, FTIR spektrofotometresi ile tanımlanmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan Alfa kabin test cihazı ile PU köpüklerin akustik özellikleri ölçülmüştür. Son olarak yatay yanma test cihazında yüzeylere güç tutuşurluk testleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Poliüretan, otomotiv tekstiller, akustik, güç tutuşurluk.
2022, viii + 53 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis
INVESTIGATION THE SURFACE AND ACOUSTIC PROPERTIES OF
POLYURETHANES PRODUCED WITH DIFFERENT MONOMER MIXING
RATIOS

Ecem Nur KESKİN
Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ORHAN

In this thesis, after changing the monomer ratios of low-density polyurethane (L.PU) foams and adding micro-size spheres additives, the effects of them on surface, acoustic and fire-retardant properties were examined for acoustic purposes under the hood, in water boxes, and motor areas. In PU production, polyol, isocyanate (MDI), catalysts, and graphite were used as the main components in recipe, and micro-size spheres additives were used as additives.

In the first step of the study, PU foams were produced to determine basic production parameters and monomer ratios. Then, depending on this production, PU foams were obtained by changing polyol and isocyanate rates. Finally, PU foams with additives were produced by adding the micro-size spheres additives in the main production recipe.

The effects of different monomer ratios and additives of micro-size spheres on the surface were visually examined by SEM after determining the production of PU foams with 5 different recipes in total. Each functional group on the PU foam was tried to be defined by FTIR spectrophotometer. At the same time, the acoustic properties of PU foams were measured with the Alpha cabin test device, which is frequently used in the automotive industry. Finally, the fire-retardant properties of PU foams were performed by the horizontal burning test device.

Keywords: Polyurethane, automotive textiles, acoustic, fire retardant.
2022, viii + 53 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca desteğini esirgemeyen, bilgi birikimi ve tecrübesinden yararlandığım danışmanım Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a vermiş olduğu emekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, bana güvenen ve güç veren değerli babama, anneme ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarına olanak sağlayan Formfleks A.Ő ve Formfleks Ar & Ge Merkezi Yönetim Kuruluna, değerli yöneticim Cihan ÇİÇEK'e, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım İbrahim AYDIN'a, tüm kıymetli yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana her zaman destek olan değerli arkadaşlarım Merve ÖĞÜTGEN, Halim SEVİM ve Mustafa CEYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ecem Nur KESKİN
11/01/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Teknik Tekstiller.....	3
2.1.1. Taşımacılık Teknik Tekstilleri (Mobiltech).....	4
2.1.1.1. Otomotiv Tekstiller.....	5
2.2. Poliüretan Polimer Sentezi.....	9
2.3. Akustik Özellikler.....	12
2.3.1. Temel Ses Kavramları.....	12
2.3.2. Araç İçi Ses İletimi.....	13
2.3.3. Ses Yalıtımı ve Absorbsiyonu.....	16
2.3.4. Araçlarda Kullanılan Akustik Malzemeler.....	17
2.4. Ses Ölçüm Yöntemleri.....	20
2.4.1. Empedans Tüpü Ölçüm Yöntemi.....	20
2.4.2. Alfa Kabin ve Çınlama Odası Ölçümleri.....	20
2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal.....	26
3.2. Yöntem.....	26
3.2.1. Düşük Yoğunlukta Poliüretan Üretimi.....	26
3.2.2. Poliüretan Köpüklerin Yüzey Analizleri.....	29
3.2.3. Akustik Ölçümler.....	31
3.2.4. Güç Tutuşurluk Testleri.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Monomer Oranlarının Etkisi.....	34
4.1.1. SEM Yüzey Analizi.....	34
4.1.2. FTIR Analizi.....	35
4.1.3. Akustik Testleri.....	37
4.1.4. Güç Tutuşurluk Testleri.....	38
4.2. Katkı Maddesi Karışım Oranlarının Etkisi.....	39
4.2.1. SEM Yüzey Analizi.....	39
4.2.2. FTIR Analizi.....	41
4.2.3. Akustik Testleri.....	42
4.2.4. Güç Tutuşurluk Testleri.....	44
5. SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Celsius derece
dk	Dakika
g	Gram
Hz	Hertz
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mPa.s	Milipaskal saniye
µm	Mikrometre
rpm	Dönüş/devir sayısı
%	Yüzde

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
BTÜ	Bursa Teknik Üniversitesi
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HDI	1,6-hekzametilen diizosiyanat
HVAC	Isıtma soğutma havalandırma
IPDI	3-izosiyanatometil-3,5,5-trimetilsikloheksil izosiyanat
LOI	Limit oksijen indeksi
L.PU	Düşük Yoğunluklu Poliüretan
MDI	4,4- difenilmetan diizosiyanat
MERLAB	Merkezi Araştırma Laboratuvarı
NCO	İzosiyanat
NVH	Gürültü-Titreşim-Sertlik (Noise-Vibration-Harshness)
OEM	Orijinal Parça Üreticileri (Original Equipment Manufacture)
OH	Hidroksil
OICA	Uluslararası Motorlu Araç Üreticileri Organizasyonu (The Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles)
PE	Poliyeten
PES	Poliester
PET	Poliyeten tereflat
PO	Poliolenfin
PP	Polipropilen
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
PVDF	Polivinil florür
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SBR	Stiren bütadien kauçuk
SiO ₂	Silisyum dioksit
TDI	Toulen diizosiyanat
UIPAC	Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union of Pure and Applied Chemistry)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Global teknik tekstil pazarı (www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr).....	5
Şekil 2.2. Teknik tekstil pazarı (https://www.alliedmarketresearch.com).....	6
Şekil 2.3. Otomotivlerde kullanılan tekstiller (https://nonwoventechnology.com).....	6
Şekil 2.4. 2021 yılında ülkelere göre üretilen araç sayıları (www.oica.net).....	7
Şekil 2.5. PU polimerleşme tepkimesi (Gama ve ark. 2018).....	10
Şekil 2.6. Poliöl moleköl yapısı.....	10
Şekil 2.7. En çok tercih edilen izosiyanatların moleköl yapıları (Sharmin 2012).....	10
Şekil 2.8. Hava basıncında ve karşılık gelen dalga biçiminde oluşan değişimler (http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html).....	13
Şekil 2.9. Araçlar ses ve titreşim kaynakları (Gelen, 2016).....	13
Şekil 2.10. Araçlarda gürültü dağılımları (Goetchius, 2011).....	14
Şekil 2.11. Kaynak, iletim yolu ve alıcı arasındaki etkileşimler (Gelen, 2016).....	15
Şekil 2.12. Araçlarda gürültü kaynakları, ses ve titreşim frekansları (Gelen, 2016).....	15
Şekil 2.13. Ses yalıtımı ve absorpsiyonu (Kaya, 2016).....	16
Şekil 2.14. Akustik amaçlı kullanılan yüzeyler ve araç uygulamaları (Gelen, 2016).....	18
Şekil 2.15. Audi e-tron 55 Quattro akustik yalıtımı (www.lbtechreviews.com).....	19
Şekil 2.16. Tek (a) ve çift (b) empedans tüp örnekleri (www.proplan.com.tr).....	20
Şekil 2.17. Alfa kabin (Duval 2010, https://www.autoneum.com).....	21
Şekil 3.1. PU üretim hattı (www.sunkist-machinery.com).....	27
Şekil 3.2. Formfleks Otomotiv düşük yoğunluklu PU köpük üretim hattı.....	28
Şekil 3.3. İzosiyanat, poliöl, katalizör ve grafitin mikser ile karıştırılması.....	29
Şekil 3.4. Kasa içerisinde PU esaslı köpük üretimi.....	29
Şekil 3.5. Zeiss Gemini marka SEM.....	30
Şekil 3.6. Thermoscientific-Nicolet i50 marka FTIR spektrometresi.....	31
Şekil 3.7. Autoneum marka Alfa kabin.....	31
Şekil 3.8. Yatay yanma test kabini.....	32
Şekil 3.9. ISO 3795 standardına göre yanma testi için numune şablonu...	32
Şekil 4.1. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) SEM görüntüleri.....	34
Şekil 4.2. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) FTIR spektrumları.....	36
Şekil 4.3. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) akustik ölçümleri.....	37

Şekil 4.4.	Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) yatay yanma testleri.....	39
Şekil 4.5.	Numune 2 (b), Numune 4 (d) ve Numune 5 (e) SEM görüntüleri.....	40
Şekil 4.6.	Numune 4 (25x) (d), Numune 4 (150x) (f), Numune 5 (25x) (e) ve Numune 5 (150x) (g) SEM görüntüleri.....	40
Şekil 4.7.	Numune 2 (b), Numune 4 (d) ve Numune 5 (e) FTIR spektrumları.....	41
Şekil 4.8.	Numune 2 (b), Numune 4 (d) ve Numune 5 (e) akustik ölçümleri.....	43
Şekil 4.9.	Numune 2 (b), Numune 4 (d) ve Numune 5 (e) yatay yanma testleri.....	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Otomobillerde tekstil malzemelerinin kullanım yerlerine göre dağılımları (Mukhopadhyay ve Patridge, 1999).....	8
Çizelge 2.2. Araçlarda kullanılan tekstiller (Karahan, 2015).....	8
Çizelge 2.3. Akustik performansı etkileyen özellikler (Kaya ve Dalgar 2017).....	17
Çizelge 3.1. Numune içerikleri.....	27
Çizelge 4.1. Numunelerin gözenek boyutları.....	35
Çizelge 4.2. Numunelerin FTIR spektrumları.....	36
Çizelge 4.3. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) akustik ölçümleri.....	38
Çizelge 4.4. Numunelerin gözenek boyutları.....	40
Çizelge 4.5. Numunelerin FTIR spektrumları.....	42
Çizelge 4.6. Numune 2 (b), Numune 4 (d) ve Numune 5 (e) akustik ölçümleri.....	43

1. GİRİŞ

Günümüzde gürültü kirliliği, işitme kaybı ve stres gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açarak insanların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkiler hale gelmiştir. Otomotiv sektöründe de aracın akustik konforu, sürüş konforunu ve çevreyi çok fazla etkilediğinden araç kalitesi üzerinde önemli parametrelerden biridir. Sürüş konforunu sağlamak için yapısal ve hava kaynaklı gürültülerin azaltılması gerektiğinden ses sönümleme konforlu bir otomobilin tasarımında önemli bir bileşendir.

Son yıllarda elektrikli ve hibrit araçlara yönelik geliştirilen yeni yaklaşımlar ile müşterilerin akustik beklentilerindeki artış, malzeme seçimi ve parça tasarımında yeni ve inovatif çalışmaların yapılması gerektirmektedir. Kabin içi akustik konforun sağlanmasına yönelik çalışmaların yanında hafifletme yaklaşımları, malzeme özelinde tasarım ve akustik iyileştirme konusunda yenilikleri zorunlu kılmaktadır. Kabin içi akustik konforun sağlanmasında iki ana yaklaşım vardır. Bunlardan biri sesi kaynağında azaltmak, diğeri ise sesin motor ve kabin arasındaki geçiş yollarına izolasyon malzemeleri koyarak kabin içerisine ulaşacak sesin etkisini azaltmaktır.

Araç akustiğinin odak noktasında iç gürültünün azaltılması olmasına karşın, son yıllarda elektrikli araçların yaygınlaşması ile dış gürültünün de azaltılması ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu bağlamda, araç içi gürültüyü azaltmak ve yolcuların konforunu artırmak için uygun ses uygulamaları geliştirilmiştir. Gürültü ve titreşim problemlerini çözmek için temelde iki farklı yöntem vardır. Hava kaynaklı gürültü problemlerinde bariyer ve yutucular kullanılırken, yapı kaynaklı gürültü problemlerinde titreşim sönümleyiciler kullanılmaktadır.

Gözenekli yapıya sahip olan poliüretan (PU) polimerler, düşük yoğunlukları ve ısı iletkenlikleri nedeniyle mekanik ve akustik davranışı açısından avantaj sağladıklarından otomotiv endüstrisinde önemli yere sahiptirler. Otomotiv endüstrisinde kaput altı, su kutusu ve motor bölgesi, tavan ve oturma gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

PU köpükler, özellikle düşük frekans bölgesinde genellikle tatmin edici olmayan ses emme davranışı göstermektedirler. Ses emilimi, normalde hava molekülleri ve hücre duvarları arasındaki çarpışmalar veya numune sınırlarındaki mekanik sürtünmeler yoluyla ısı olarak ses enerjisi dağılımı yoluyla gerçekleştiğinden genel olarak ses emme katsayısı morfolojik özelliklerle ilişkilendirilir. Kullanılan formülasyonda küçük modifikasyonlar yapılarak çeşitli özelliklerde PU'lar elde edilebilir. Bunun yanı sıra, PU köpüklere çeşitli fonksiyonel gruplar eklemek, akustik özelliklerini geliştirmek için etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte, morfolojileri ve kimyasal yapıları nedeniyle bir alev kaynağıyla karşılaştıklarında, köpüklerin tutuşması kolaydır, hızlı alev yayılımı sergilerler ve yanma sırasında çok miktarda zehirli duman çıkarırlar. Bu nedenle, uygulamalarda malzemenin modifiye edilmesi gerekir.

Bu tez çalışmasının amacı, PU köpük oluşumunda farklı oranlarda monomerlerin ve katkı malzemesinin kullanımının yüzey özellikleri, ses emme performansı ve güç tutuşurluk özellikleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaçla monomerler ve katkı malzemesi farklı oranlarda kullanılarak düşük yoğunluklu PU köpükler üretilmiştir. Yüzey özellikleri FTIR ve SEM analizleri yapılarak, akustik davranışı Alfa kabinde ölçümler yapılarak ve güç tutuşurluk davranışı yatay yanma testi yapılarak incelenmiştir.

Tezin Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması bölümünde teknik tekstiller, otomotiv tekstilleri, PU sentezi, akustik temeller, araçlarda kullanılan akustik malzemeler, ses ölçüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmanın Materyal ve Yöntem bölümünde kullanılan malzemeler, cihazlar ve yöntemler belirtilmiştir. Tezin son bölümünde ise gerçekleştirilen deneylerin sonuçları verilmiş ve yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Teknik Tekstiller

Teknik tekstil terimi, görünüş ve estetik özelliklerinin ötesinde teknik özellikleri ve performansları için geliştirilen ve çeşitliliği her geçen gün artan ürünleri ve üretim teknikleri tanımlamaktadır (<https://tekstilsayfasi.blogspot.com>). Yaygın olarak kullanılan teknik tekstiller tanımı, farklı kaynaklarda “Estetik ve dekoratif karakteristiklerinden ziyade, öncelikli olarak teknik performans ve fonksiyonel özellikleri için üretilmiş tekstil materyalleri ve ürünleridir” veya “Yüksek teknik ve kalite gerekliliklerini karşılayan (mekaniksel, ısı, elektriksel, dayanıklılık vs.) ve teknik fonksiyonları olan materyallerdir” olduğu gibi farklı şekillerde tanımlanmıştır (<http://technica.net>).

Teknik tekstiller, ilk olarak uluslararası teknik tekstiller fuarı Techtex Frankfurt’u düzenleyen Messe Frankfurt tarafından uygulama alanlarına göre 12 sınıf altında toplanmıştır. Ancak bu sınıflandırmaya göre bazı ürünler, kullanım amacı açısından birden fazla alanda yer alabilir ve kesin sınırlar çizilemeyebilir. Genel olarak bu sınıflandırmalar ve kısa açıklamaları aşağıdaki gibi yapılabilir:

1. Medtech: Tıbbi ve hijyenik tekstiller.
2. Mobiltech: Her türlü kara, deniz, hava taşıtları ile uzay sanayiinde kullanılan tekstiller.
4. Buildtech: İnşaat ve yapı tekstilleri.
5. Indutech: Filtrasyon, taşıma ve diğer endüstriyel amaçlı tekstiller.
6. Geotech: Toprakaltı inşaat mühendisliği ve peyzaj mimarlığında kullanılan tekstiller.
7. Agrotech: Ziraat, su ürünleri, bahçecilik ve ormancılıkta kullanılan tekstiller.
8. Sportech: Spor ve serbest zaman tekstiller.
9. Homotech: Mobilya, ev tekstilleri ve yer döşemelerinin teknik bileşenleri.
10. Clothtech: Ayakkabı ve giysilerin teknik bileşenleri.
11. Packtech: Ambalaj tekstilleri.
12. Oekotech: Ekolojik ve çevre amaçlı tekstiller (Horrocks, 2003).

Yukarıda sayılan on iki kategori altında yüzlerce teknik tekstil ürünü ve uygulaması yer almaktadır. Ürün ve uygulama alanlarının bazıları gelenekseldir. Bazıları konvansiyonel malzeme ve tekniklerle yer değiştirerek yapılmakta, bazıları ise başlı başına özellikleri için yeniden yaratılmaktadır.

2.1.1.Taşımacılık Teknik Tekstilleri (Mobiltech)

Mobiltech kara, deniz, hava taşıma araçlarında ve uzay sanayiinde kullanılan teknik tekstillerdir. Kara taşıtlarında en çok döşemeliklerde, koltuk kılıflarında, emniyet kemerlerinde, otomobil örtülerinde ve lastiklerin kord bezlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadırlar. Aracın çeşitli parçalarının izolasyonu için ısı dayanımlı ve ses geçirmeyen tekstil ürünleri kullanılmaktadır. Yağ, benzin filtreleri, havayı temizlemekte kullanılan filtrelerin yapımında da önemli bir yer tutmaktadırlar. Otomobillerde en çok kullanılan tekstil ürünlerinden bir diğeri ise hava yastıklarıdır (Emek, 2004; Horrocks, 2003).

Deniz taşıtlarında kullanılan yapıyı güçlendirecek ancak hafif olan kompozit malzemeler, yelken bezleri, gemileri, tekneleri bağlayacak halatlar, iç dekorasyon malzemeleri, can kurtarma yelekleri, kurtarma botları teknik tekstil örnekleridir. Bu alanda kullanılan tekstil materyallerinin fonksiyonelliği çok önemlidir. Hava taşıtlarında ise iç dekorasyonda, yapıyı güçlendirecek lif takviyeli kompozit malzemelerde, paraşütlerde, emniyet kemerlerinde, can kurtarma yeleklerinde, lastiklerde teknik tekstil malzemeleri kullanılmakta olup, ağırlığı azaltacak ve güvenliği tehdit etmeyecek özellikte olmaları zorunludur. Uçakların manevra kabiliyetlerini artırmak için yeni modellerde, hafifliklerinden ve fonksiyonelliklerinden dolayı tekstil malzemelerinin oranı artmaktadır. Örneğin Airbus 310 uçaklarının yeni modellerinde, uçağın toplam ağırlığının %10'u tekstil malzemelerinden oluşmaktadır (Emek, 2004).

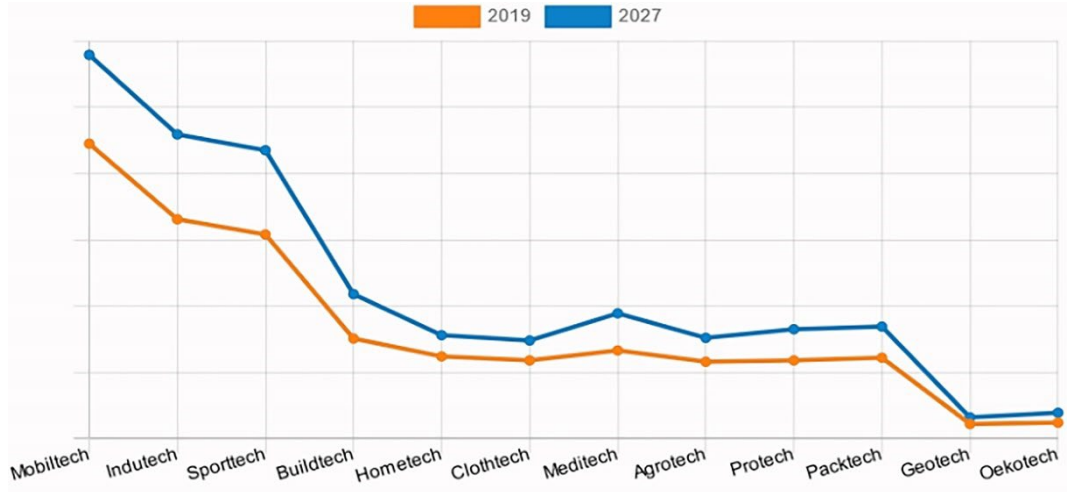
2.1.1.1. Otomotiv Tekstiller

Otomobil, otobüs, kamyon, kamyonet, minibüs ve traktör gibi ulaştırma araçlarında kullanılan tekstil malzemelerine otomotiv tekstilleri denir. Teknik tekstiller içerisinde yer alan otomotiv tekstilleri bu grup içerisinde %21'lik paya sahip olarak maddi değer ve üretim miktarı bakımından birinci sırada yer almaktadır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Orijinal Parça Üreticileri (Original Equipment Manufacture-OEM) müşteri beklentileri ve otomotiv trendlerini takip ederek yeni otomotiv projelerindeki malzeme seçimlerine bu verilere göre karar vermektedir. Günümüzde, otomobilde kullanılan malzemelerde yüksek mukavemet, uzun dayanım süresi, hafif, çevre dostu ve ekonomik kullanıma yönelik baskılar artmaktadır. Tekstil malzemelerinin kullanım kolaylıkları, estetik görünümleri ve konforlarının yanı sıra, hafif olmaları, ekolojik ve geri kazanılabilir olmaları, çevre ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağladığı için otomotiv sektöründe kullanımı günden güne artış göstermektedir (www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr).

Yıllık bileşik büyüme oranı **~5%** (2019-2029)

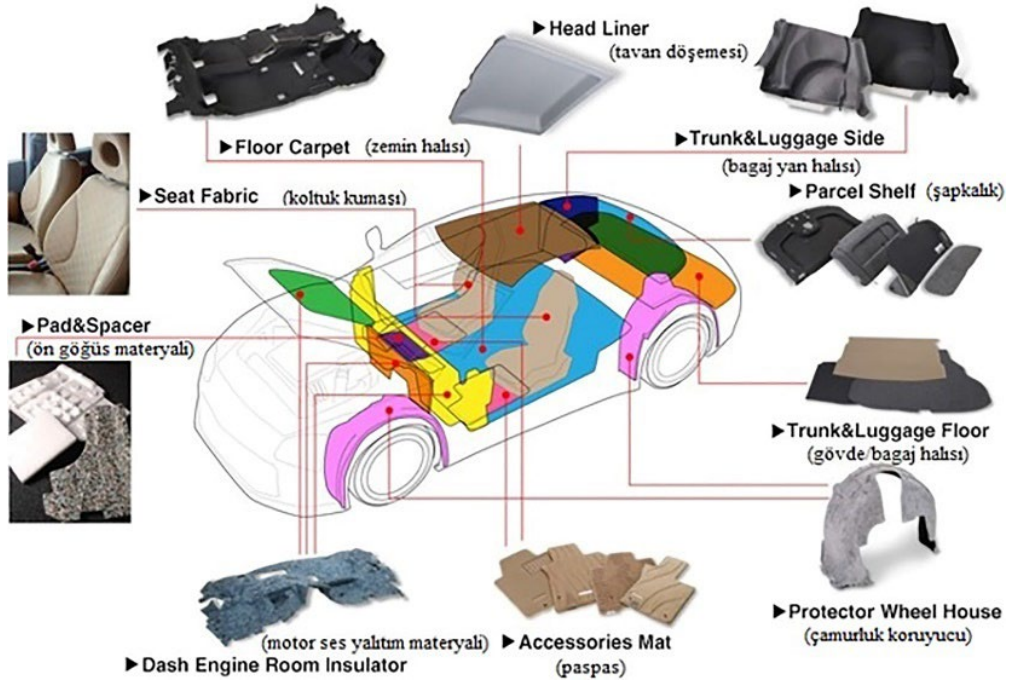


Şekil 2.1. Global teknik tekstil pazarı (www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr)



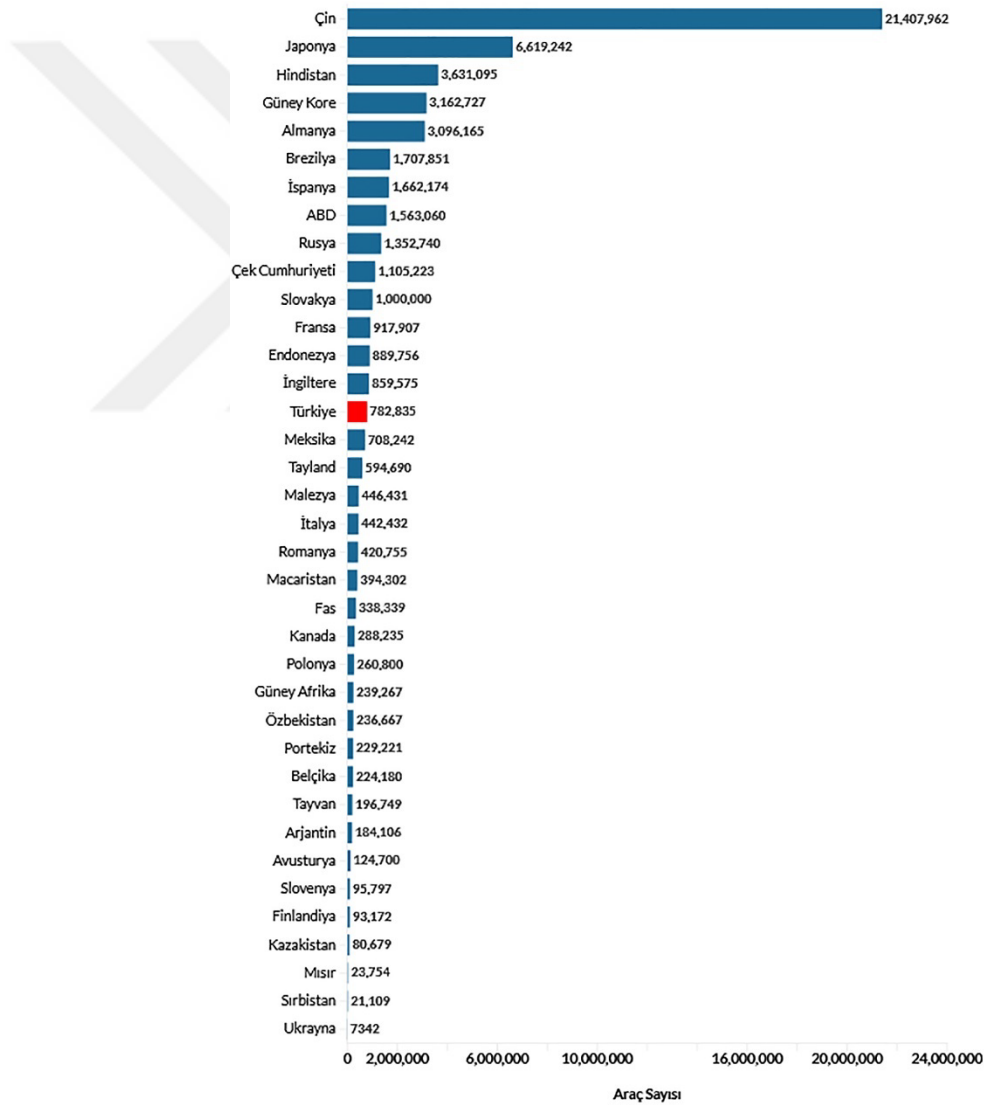
Şekil 2.2. Teknik tekstil pazarı (<https://www.alliedmarketresearch.com>)

Tekstil materyalleri, araçların birçok bölgesinde farklı amaçlara hizmet edecek şekilde kullanılmaktadır (Şekil 2.3). Araçlarda emniyet kemeleri, hava yastıkları, iç giydirmeye ürünleri, otomobil kılıfları, koltuk kılıfları, filtreler, titreşim ve ses sönümleyiciler, halı, kord bezi, kompozit takviyeleri, hortum ve kayış takviyeleri, dişliler, kalorifer boruları, akü separatörleri, fren ve debriyaj balataları, süspansiyon, motor koruma gibi bölgelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (<https://nonwoventechnology.com>).



Şekil 2.3. Otomotivlerde kullanılan tekstiller (<https://nonwoventechnology.com>)

Uluslararası Motorlu Araç Üreticileri Organizasyonu (The Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, OICA)'nın verilerine göre, 2021 yılında dünyada 57 milyonu aşkın araç üretilmiştir (Şekil 2.4). Her bir otomobilde, yaklaşık 20 kg tekstil materyali kullanılmaktadır. Bunların yaklaşık olarak 3,5 kg koltuk kılıfları, 4,5 kg halılar, 6 kg diğer iç kısımlar ve lastikler ve 6 kg cam elyaf içeren kompozit malzemeler oluşturur. Ek olarak, tekstil malzemeleri zırhlı araç yapımında da oldukça fazla kullanılmaktadır. Otomobillerde tekstil malzemelerinin kullanım bölgelerine göre ağırlıkça yüzdesel dağılımları, Çizelge 2.1'de özetlenmiştir. Çizelge 2.2'de araçların farklı bölgelerinde kullanılan tekstil malzemeleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. 2021 yılında ülkelere göre üretilen araç sayıları (www.oica.net)

Çizelge 2.1. Otomobillerde tekstil malzemelerinin kullanım yerlerine göre dağılımları (Mukhopadhyay ve Patridge, 1999)

Malzeme Tipi	Oran (%)
Halılar (paspaslarla birlikte)	33,3
Döşemeler (koltuk kumaşı)	18,0
İç bileşenler	14,0
Lastikler	12,8
Emniyet kemerleri	8,8
Hava yastıkları	3,7
Diğerleri	9,4
Toplam	100,0

Çizelge 2.2. Araçlarda kullanılan tekstiller (Karahan, 2015)

Komponent	Dekoratif Kaplama Malzemeleri	Orta Kısım veya Dolgu Malzemeleri	Taşıyıcı veya Rijit Yapı
Koltuklar	Poliester (PES) kumaş, yün ve yün/PES karışımı kumaş, deri	PU köpük, PES dokusuz yüzey	PU köpük yastıklar, metal gövde
Kapı Panelleri	PES kumaş, PVC, PVC/ABS film, TPO film, PU film, deri	PU köpük, PES dokusuz yüzey, Poliolefin (PO) köpük, Polipropilen (PP) köpük	Selülozik lifler, PO/selüloz lifleri, PP/cam lifleri, PP/toz karışımı, PU/cam lifleri, PU/doğal lifler
Araç İçi Tavan Döşemesi	PES dokusuz yüzey, Naylon/PES örgü kumaş, PVC film	PU köpük, PES dokusuz yüzey, PO köpük, PP	Yarı rijit PU köpük/cam lifi, reçine emdirilmiş lifler, karton
Bagaj Kapatma Rafi	PES ve PP dokusuz yüzey	---	Reçine emdirilmiş lifler, ahşap malzemeler, PP, PU/cam
Güneşlik	PES kumaş, PVC film	PU köpük, PES dokusuz yüzey, PO köpük	Yarı rijit PU köpük, karton, metal gövde
Halı	Naylon ve PP lifleri	---	PES dokusuz yüzey/SBR lateks yapıştırıcı, Polietilen, (PE) akustik bariyer için etilen-bütadien köpük, reçine emdirilmiş lifler/PU köpük, PU köpük
Göster Paneli	PVC/ABS, PVC, TPO, PU film	Genleşmiş PVC köpük, PP köpük	PVC, PVC/ABS, PU, PU/cam lifleri, PP, metal
Gövde İzolasyon Astarı	PES dokusuz yüzey	---	---
Kaput İzolasyon Astarı	PES dokusuz yüzey, PP dokusuz yüzey	PU köpük, PP köpük, PES dokusuz yüzey	PP, PVC/ABS
Hava yastıkları	Poliamid 6 ve Poliamid 6.6 dokuma kumaş	---	---
Emniyet kemerleri	PES dokuma	---	---

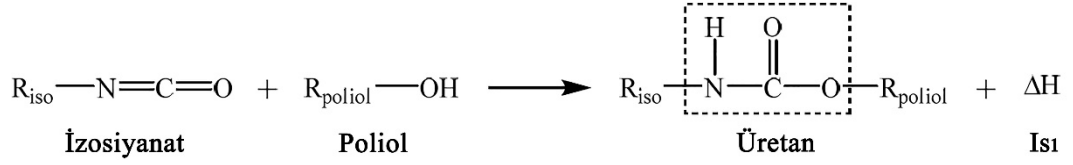
Çizelgelerden de görüldüğü üzere, araçların farklı bölgelerinde tekstil lifleri ve dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan tekstil liflerinin PES ve PP olduğu görülürken, PU köpüğün dolgu malzemesi, taşıyıcı ve rijit yüzey gibi birçok farklı amaçla kullanıldığı görülmektedir.

2.2. Poliüretan Polimer Sentezi

Polimer kelimesi Yunanca'da çok anlamına gelen 'poly' ve parçalar anlamına gelen 'meres' kelimelerinden türetilmiştir. Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union of Pure and Applied Chemistry, UIPAC)'in tanımlamasına göre polimer bir veya birden fazla monomer biriminin tekrarı ile oluşan molekülleri içeren yapılara denir. Monomerlerin birleşerek polimer oluşturmasına polimerleşme, bu tür tepkimelere ise polimerizasyon tepkimeleri denir. Polimerizasyon, üç ana kısımdan oluşur. Bunlar; başlama, çoğalma ve sonlanma adımlarıdır. Polimer sentezinde kullanılan yöntemler, genel olarak kondenzasyon (basamaklı) ve katılma (zincir) polimerizasyonu olmak üzere ikiye ayrılır.

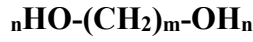
İlk üretan, 1849 yılında Wurtz tarafından ve ilk PU ise 1937 yılında poliester diol ve diizosiyanat monomerleri kullanılarak Otto Bayer tarafından sentezlenmiştir. PU'ların kullanımı, ilk kez Almanya'da 1947 yılında başlamıştır. Otto Bayer'in 1952 yılında esnek PU köpüğü geliştirmesi sonrası, yapı malzemeleri ve araba endüstrisinde yalıtım amaçlı kullanımı ile PU'lar hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Pişkin, 1999; Saçak, 1998).

PU üretiminde poliöl, izosiyanat ve su olmak üzere 3 ana hammadde kullanılır (Şekil 2.5). Ayrıca, tepkimeyi desteklemek amacıyla katalizör, stabilizör ve diğer yardımcı kimyasallar kullanılabilir. Spesifik özellikler elde etmek için boya ve güç tutuşurluk gibi katkı maddeleri de formülasyona ilave edilebilir. Diizosiyanatın bir kısmı poliöl ile bir kısmı da su ile tepkimeye girerek gözenekli PU yapıyı meydana getirir. Olgunlaşma (kürlenme) süresi, 24-72 saat aralığındadır. Bu tepkime, ekzotermiktir (Gama ve diğerleri, 2018).



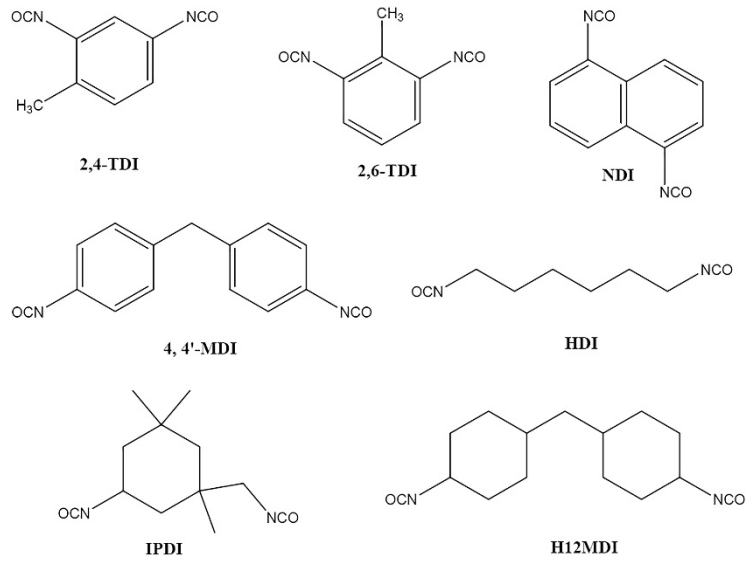
Şekil 2.5. PU polimerleşme tepkimesi (Gama ve ark. 2018)

Polioller polieter veya poliester bazlı poliollerle, bunların içerisinde uygun oranlarda konulan katalist, silikon, renklendirici, kabartıcı kimyasal ve diğer kimyasalların oluşturduğu bir karışımdır (Şekil 2.6). Bu karışımlar, bünyelerinde serbest hidroksil (OH) taşırlar.



Şekil 2.6. Polioliol molekül yapısı

İzosiyanatlar, polioliol sistemle karıştırıldığında onunla ekzotermik tepkimeye giren ve bünyesinde serbest NCO taşıyan kimyasallardır. PU sentezinde alifatik ve aromatik izosiyanatlar kullanılır (Şekil 2.7). En çok tercih edilen alifatik izosiyanat, 1,6-hekzametilen diizosiyanat (HDI) ve 3-izosiyanatometil-3,5,5-trimetilsikloheksil izosiyanat (IPDI)'tır. En çok tercih edilen aromatik izosiyanatlar ise, toluen diizosiyanat (TDI) ve 4,4'-difenilmetan diizosiyanat (MDI)'tır (Kaya, 2017; Sharmin 2012; Yücedağ, 2006).



Şekil 2.7. En çok tercih edilen izosiyanatların molekül yapıları (Sharmin 2012)

Katalizörler, poliöl ve izosiyanat tepkimesini teşvik etmek, hızlandırmak ve yan tepkimeleri kontrol etmek için kullanılır.

Morfolojileri ve kimyasal yapıları (erime sıcaklıkları 300-500 °C) nedeniyle bir alev kaynağıyla karşılaştıklarında PU köpüklerin tutuşması kolaydır, hızlı alev yayılımı sergilerler ve yanma sırasında çok miktarda zehirli gaz ve duman çıkarırlar (Liu ve diğerleri, 2018; Xu ve diğerleri, 2019). PU köpükler tehlikeli maddeler olarak kabul edilir ve bu nedenle uygulamalarda malzemenin modifiye edilmesi gerekir. Çok çeşitli alanlarda kullanımlarından dolayı farklı alev geciktirici yaklaşımların uygulanması gerekir. Genellikle halojen, fosfor ve/veya nitrojen bileşikleri veya inorganik dolgu maddelerinin kullanılması, yanıcı PU köpüklerin tutuşmasını önlemede etkilidir.

Kullanılan formülasyonda değişiklikler yapılarak çeşitli özelliklerde PU'lar elde edilebilir. PU'ların özelliklerini kontrol edebilmek için poliöl, izosiyanat, katalizör ve katkı maddelerinin tipi ve içeriği değiştirilebilir. Bunların yanı sıra üretim sırasında dakikadaki devir sayısını değiştirmek de PU'ların morfolojisini etkilemektedir.

PU köpükler sert, esnek, yarı sert, elastomerler, sprey PU köpükler olmak üzere yapısal olarak farklı çeşitlerde olabilir. İçerisinde yer alan OH ve NCO oranları oluşan köpüğün sert, yarı-sert veya yumuşak olmasını sağlar (Eroğlu, 2008). Esnek PU köpükler, iki veya daha fazla -NCO grubu içeren diizosiyanatlar ve üretan gruplarıyla birbirine bağlı iki veya daha fazla -OH grubu içeren polioller ile oluşturulan açık hücreli köpüklerdir. Esnek PU'lar hafif, dayanıklı ve konforlu olmaları nedeniyle yatak, mobilya, otomotiv başta olmak üzere birçok sektörde farklı amaçlar doğrultusunda kullanılır. Sert PU'lar, kapalı hücre yapılarına sahiptir. Isıl yalıtımları diğer ahşap, taş yünü ve polistiren gibi malzemelere göre yüksektir (<https://kimpur.com>).

PU'lar farklı üretim teknolojileri ve sistemleri kullanılarak üretilmektedir. Genel olarak sıkıştırma kalıplama, açık döküm kalıplama, spin döküm, enjeksiyon kalıplama, blok döküm kullanılmaktadır. PU köpük üretiminin başlangıcında, tepkimeye giren hammaddeler büyük, paslanmaz çelik tanklarda sıvı olarak tutulur. Uygun miktarda reaktif malzemenin dışarı

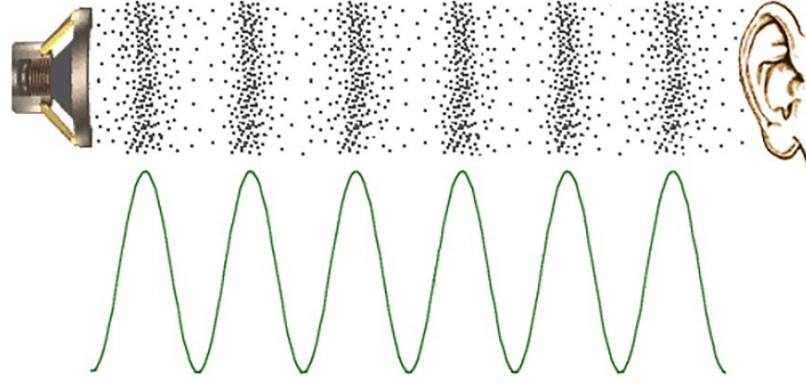
pompalanabilmesi için tanklarda bir ölçüm cihazı bulunmalıdır. Tepkimede poliölün diizosiyanata oranı genellikle 1:2'dir. Bileşen malzemelerin oranı, değişen özelliklere sahip polimerler ürettiğinden, sıkı bir şekilde kontrol edilir. Tepkimeye giren/girecek olan maddelerin ısını ayarlayıp uygun seviyeye getirecek uygulamalar/eşanjörler kullanılır. Enjeksiyon dökümde polimerizasyon sıvısı borunun ucuna geldiğinde PU zaten oluşmuştur ve bir dağıtma kafası yardımıyla kalıp içerisine dağıtılır. Blok dökümde, hammaddeler dozajlama ünitesi ile karıştırıcı olan bir haznenin içerisine dökülür. Tüm hammaddeler, karıştırıcı içerisinde homojen bir karışım elde edildikten sonra tepkime oluşmaya başlar. PU üretimi, ekzotermik bir tepkimedir ve tepkime oluşurken gaz açığa çıkar.

PU'lar, benzer polimerlerle karşılaştırıldığında avantajlı özellikleri, düşük maliyetleri, düşük yoğunlukları, iyi ses sönümlenmeleri, termal yalıtkanlıkları ve yapısal konforlarından dolayı otomotiv, tekstil, yapı ve izolasyon, ısıtma ve soğutma, mobilya, boya, tıbbi ve medikal ürünler, uçak sanayi, savunma sanayi, ambalaj teknolojisi, denizcilik gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Kaya, 2017; Sharmin 2012; Yücedağ, 2006).

2.3. Akustik Özellikler

2.3.1. Temel Ses Kavramları

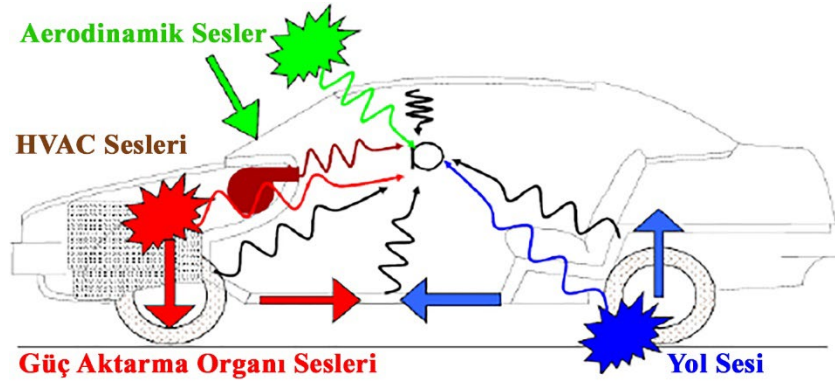
Ses, işitme organları tarafından algılanan periyodik basınç değişimidir (<https://tr.wikipedia.org/wiki/ses>). Bir enerji olarak açıklanan ses ortamın özgül ağırlığına, esnekliğine ve koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Erol; 2006). Ses titreşimle oluşur. Titreşim enerjiye dönüşür ve dalgalar halinde yayılır. Ses dalgalarına akustik dalgalar da denmektedir. Ses dalgaları mekanik ve boyuna dalgalardır (Şekil 2.8). Bir saniyede oluşan ses dalgası sayısına, frekans denir. Frekansı birimi, Hertz (Hz)'tir. Bu birim, Alman fizikçi Henrik Hertz'in onuruna verilmiştir. Sesler, insanların duyabildiği ve duyamadığı sesler olarak ikiye ayrılır. İnsanın duyabildiği seslerin frekans aralığı 20-20.000 Hz'tir ve bu aralık dışında kalan sesleri duyamazlar. İşitme üzerine yoğunlaşan, gürültüyü kontrol etmek ve gürültü kaynağını engellemek üzerine araştırmalar yapan bilim dalına akustik denir.



Şekil 2.8. Hava basıncında ve karşılık gelen dalga biçiminde oluşan değişimler (<http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html>)

2.3.2. Araç İçi Ses İletimi

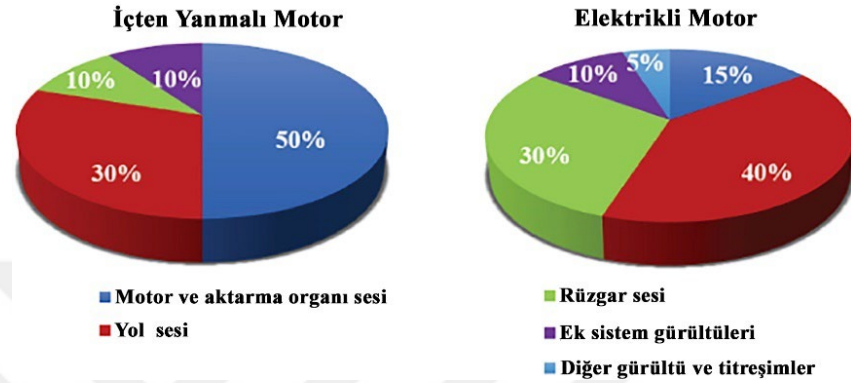
İstenmeyen, uyumsuz, düzensiz biçimde olan rahatsız edici seslere gürültü denir. Gürültü kirliliği, insanların yaşam kalitesini önemli ölçüde etkiler. Aynı zamanda, işitme kaybı ve stres gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi araçlarda motor ve güç aktarma organlarından, süspansiyon sisteminden, lastik ve yol sesinden, aerodinamik kaynaklardan ve diğer ses ve titreşim kaynaklarından dolayı gürültü ortaya çıkar (Gelen; 2016).



Şekil 2.9. Araçlar ses ve titreşim kaynakları (Gelen, 2016)

İçten yanmalı motorlu araçlardan elektrikli araçlara geçildiğinde farklı gürültü ve titreşim kaynakları ön plana çıkmıştır. Var olan ancak içten yanmalı motor sesi tarafından maskelenen gürültü kaynakları, elektrikli araçlarda daha baskın hale gelmektedir (Şekil 2.10). İçten yanmalı motorlu araçlarda, motor ana gürültü ve titreşim kaynağı olup klima

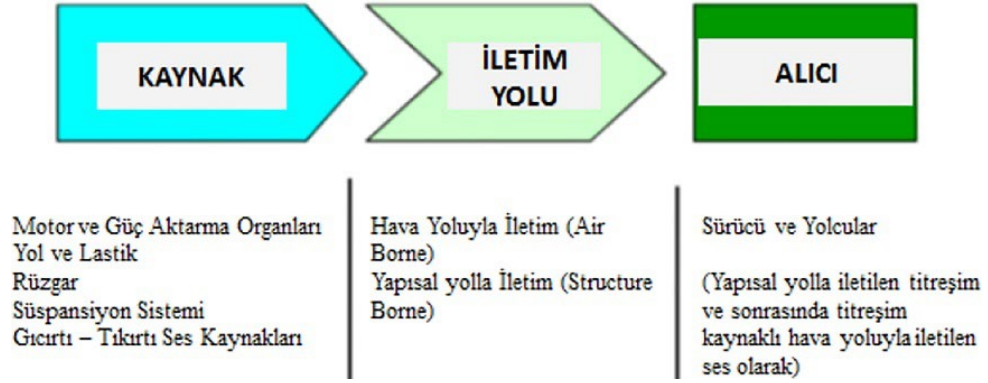
kompresörü, HVAC (ısıtma, soğutma, havalandırma), şanzıman, hava emiş, egzoz, yol ve rüzgar sesi gibi gürültü kaynaklarını maskeleymektedir. Elektrikli araçlarda ise içten yanmalı motorun sesi ortadan kalktığı için bahsedilen gürültü kaynakları daha baskın hale gelmektedir (Goetchius, 2011; Tosun ve diğerleri, 2019; Wolschendorf ve diğerleri, 2010).



Şekil 2.10. Araçlarda gürültü dağılımları (Goetchius, 2011)

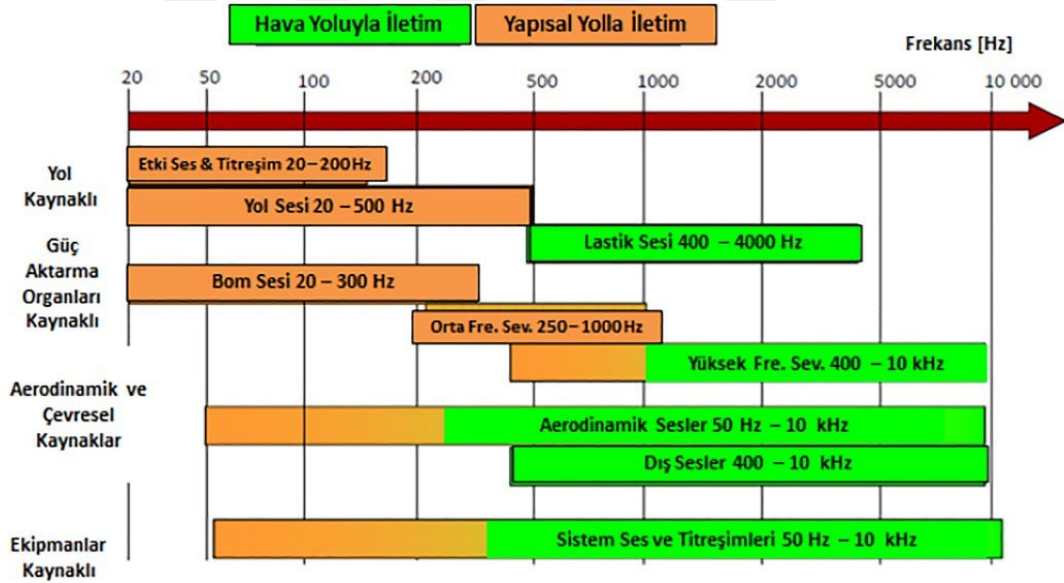
Araçlarda gürültüler, genel olarak hava ve yapı kaynaklı olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 2.11). Hava kaynaklı gürültü, havada doğan ve hava yoluyla kişiye ulaşan gürültüdür (Kaya ve Dalgıç, 2017). Yapı kaynaklı gürültü ise, yapıya uygulanan kuvvet sonucu oluşan ve yapısal aksamlardan yayılan gürültüdür. Araç kabin içi sesi, sadece akustik ve titreşim kaynaklarından oluşmayıp aynı zamanda sesin kaynak ile alıcı (sürücü ve yolcuların kulakları gibi) arasındaki farklı iletim yollarıyla etkisi değişebilmektedir.

Hava yoluyla ses iletimi, motor çalışır durumda iken motor sesinin hava yoluyla gövde üzerinde bulunan deliklerden ve gövde panelleri arasındaki boşluklardan iletilmesidir. Yapısal yolla ses iletimi ise sesin kabini çevreleyen paneller tarafından kabin içerisine yayılması şeklinde iletilmesidir. Motor, piston ve krank milinin aksenel ve dönel hareketleriyle oluşan titreşimler gövdeye iletilir. Gövdeye aktarılan bu titreşimler, paneller vasıtasıyla sürücü ve yolcunun bulunduğu iç kabin etrafındaki tüm alana yayılır. Panellerdeki bu titreşimler, enerjiyi kabin içerisindeki hava boşluğuna ses ve titreşim olarak iletir (Gelen, 2016).



Şekil 2.11. Kaynak, iletim yolu ve alıcı arasındaki etkileşimler (Gelen, 2016)

Binek araçlarda sesin yapısal iletimi düşük frekanslarda (<200 Hz) gerçekleşirken hava yoluyla taşınan sesin frekansı 500 Hz'den fazladır. Orta frekanslarda ses, her iki iletim yolu da iletilir ve aynı derecede öneme sahiptir (Şekil 2.12). Otomotiv endüstrisinde ses ve titreşimin hava yollu ve yapısal yollu iletimine bağlı olarak farklı akustik çözüm önerileri geliştirilmektedir (Gelen, 2016).

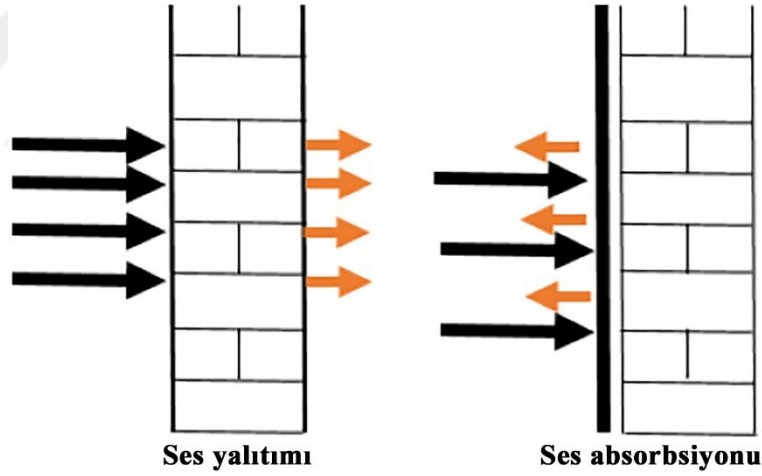


Şekil 2.12. Araçlarda gürültü kaynakları, ses ve titreşim frekansları (Gelen, 2016)

İşitme üzerine yoğunlaşan, gürültüyü kontrol etmek ve gürültü kaynağını engellemek üzerine araştırmalar yapan bilim dalına akustik denir. Otomotiv endüstrisinde ses ve titreşimin hava yollu ve yapısal yollu iletimine bağlı olarak farklı akustik çözüm önerileri geliştirilmektedir.

2.3.3. Ses Yalıtımı ve Absorbsiyonu

Sesin yayılması sırasında, dalgalar ortam tarafından yansıtılabilir, kırılabilir veya zayıflatılabilir (Wahlberg ve Larsen, 2017). Esas olarak, ses yalıtımı ve ses absorpsiyonu (emilmesi, yutulması) olmak üzere sesten iki yolla korunulur (Şekil 13). Bu iki kavram, çoğu kez birbiriyle karıştırılır. Ses yalıtımında, ses dalgaları içinde yol aldıkları ortamda farklı yoğunluk veya esneklikte bir engelle karşılaşırsa enerjisinin bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da ısı enerjisine dönüşerek soğurulur, kalan kısmı da geçişini tamamlar. Bina dış kabuğunu oluşturan yalıtım malzemeleri de yapısı ve tasarımına bağlı olarak dış kaynaklı gürültünün bina içerisine geçişini az veya çok önlerler. Ses absorpsiyonunda ise, hava parçacıkları yalıtım malzemesi içinde sürtünerek sesin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürürler. Böylece sesin enerjisi azalır. Ses absorpsiyonu deyimi, ses kaynağından çıkan sesin ne kadarının kaynağın bulunduğu ortamda yutulduğunu belirtir (Kaya, 2016; Schmidt ve diğerleri, 2004).



Şekil 2.13. Ses yalıtımı ve absorpsiyonu (Kaya, 2016)

Ses emilimi, genel olarak hava molekülleri ve hücre duvarları arasındaki çarpışmalar veya mekanik sürtünmeler yoluyla ısı olarak gerçekleştiğinden ses emme katsayısı morfolojik özelliklerle ilişkilendirilir (Doutres ve diğerleri, 2011; Gayathri ve diğerleri, 2013; Otaru, 2019). Çizelge 2.3'te malzemelerin akustik performansını etkileyen özellikler verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi, bir malzemenin akustik performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Akustik performansı etkileyen özellikler (Kaya ve Dalgar 2017)

Özellik	Açıklama
Malzemenin Fazı	Malzemenin katı, sıvı ve gaz fazında olması yapısında bulunan atomların birbirine olan mesafe ve sürtünme katsayıları akustik özellik açısından etkilidir.
Yoğunluk	Yoğunluk arttıkça ses enerjisinin yüzeyde yansıma oranı artar. Yumuşak malzemeler ses enerjisini emerler ve akustik performansa katkı sağlarlar.
Kalınlık	Kalınlık artışı ile ses enerjisinin kat ettiği yol artar ve dolayısıyla artan sürtünmeyle birlikte enerji kaybı oluşur.
Elastikiyet	Elastik ve plastik davranış ile bükülebilen malzemelerin akustik performansı diğerlerine göre daha yüksektir. Bu özellikteki malzemelerin darbe sönümleme kabiliyetleri yüksektir.
Difüzyon Yüzey Geometrisi	Ses enerjisinin yayılması yüzey yapısı ile ilişkilidir. Enerjinin geçişi ortamın yoğunluğu ve yüzeyde oluşturduğu fiziksel etkiye bağlıdır.
Porozite	Malzemenin gözenekli yapıda olması ses enerjisinin yansıma, emilmesi ve geçişi açısından önemlidir. Yüzeyin açık gözenekli, kapalı gözenekli, gözenek derinliği gibi farklı yapılar da olması, ses enerjisinin hareketi ve yalıtım açısından değerlendirilmesi gereken fiziksel özelliktir.
Kütle- Yay- Kütle İlişkisi	Ses yalıtımında özellikle kompozit malzemelerin etkili olmasında önemli bir kriterdir. Ses enerjisinin azaltılarak ve aynı zamanda akustik performans parametresinde değerlendirilerek ideal bir ses yalıtım malzemesinin seçiminde dikkate alınması gereken önemli bir özelliktir.
Hava Akış Direnci	Malzemelerin gözenek yoğunluk gibi fiziksel parametreleri ile değerlendirildiğinde, hava hareketi ve yüzey yapısı ilişkisi ses yalıtımında ölçülmesi gereken kriterdir.

2.3.4. Araçlarda Kullanılan Akustik Malzemeler

Bir aracın akustik konforu, sürüş konforunu ve çevreyi önemli ölçüde etkiler. Ses sönümleme, konforlu bir otomobilin tasarımında çok önemli bir bileşendir. Küresel rekabet, OEM'ini bir araçta yüksek akustik performansları sağlayan ve düşük maliyetli malzemeleri kullanmaya yönlendirmiştir. Araç akustiğinin, asıl odak noktası iç gürültü olmasına karşın elektrikli araçların yaygınlaşması ile dış gürültü ön plana çıkmaya başlamıştır. Motor gürültüsü (1.600-4.000 Hz), aktarma organları gürültüsü (30-500 Hz), yol gürültüsü ve rüzgar gürültüsü (500-8.000 Hz) birincil uyarı kaynaklarıdır. Bu nedenle, son yıllarda birçok otomobil üreticisi motor bölmesinden yolcu kabine kadar gürültü ve

titreşim kontrolü sağlayabilen malzemeler ve teknolojiler geliştirmeye odaklanmıştır. Araçlarda titreşim ve gürültü kontrolünü sağlayan parçalar, NVH (Gürültü-Titreşim-Sertlik (Noise-Vibration-Harshness)) olarak adlandırılır.

Hava kaynaklı gürültü problemlerinde, bariyer ve yutucular kullanılırken yapı kaynaklı gürültü problemlerinde ise titreşim söndürücüler kullanılmaktadır. Ses gözenekli bir yapıya girdiğinde sürtünmeden dolayı ısıya dönüşür ve bu sayede enerjisini kaybeder (Zhou ve diğerleri, 2006).

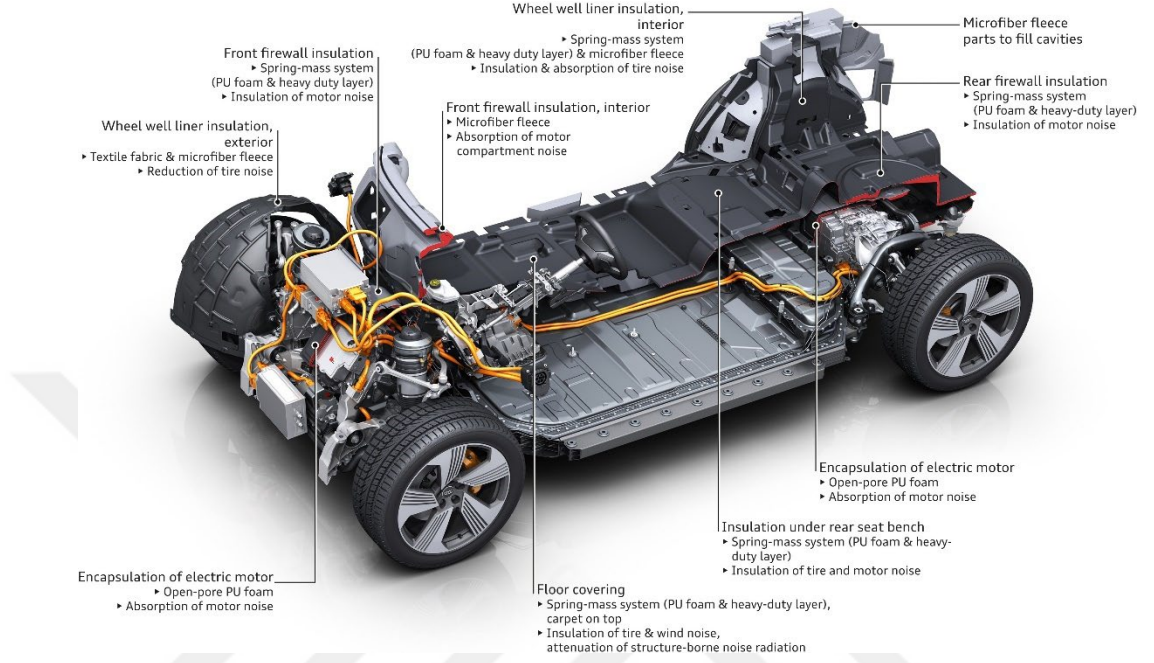
Otomotiv endüstrisinde akustik amaçlı daha çok lifler, mikro lifler ve türevleri ve çok katmanlı kompozit yapılar kullanılmaktadır. Gövde üzerinden yapısal olarak iletilen ses ve titreşimleri engelleyebilmek için bu malzemelerle birlikte gövde üzerine kauçuk, epoksi ve PVC gibi polimerler sönüm malzemesi olarak uygulanmaktadır (Zent ve Long, 2007; Gelen, 2016). Araçlarda akustik amaçlı yaygın olarak polietilentereflat (PET) esaslı yüzeyler de kullanılmaktadır (Şekil 2.14). PET esaslı yüzeyler, kolay uygulanabilme ve sesi ve titreşimi çok iyi sönümleme özelliğine sahip oldukları için araçların özellikle trim kaplamaları altlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Gelen, 2016).



Şekil 2.14. Akustik amaçlı kullanılan yüzeyler ve araç uygulamaları (Gelen, 2016)

PU, poliakrilik ester, polistiren ve polivinil klorür gibi gözenekli polimerler çoğunlukla köpük şeklinde ses emici olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler ses emiliminde faydalı olmasına karşın ses özelliklerini iyileştirmek için yapılarının değiştirilmesi gerekir (Otaru, 2019). Gözenekli malzemelerden biri olan PU köpükler düşük yoğunlukları, maliyetleri, kolay form almaları, kompozit yapılar içerisinde

kullanım kolaylıkları gibi avantajlı özelliklerinden dolayı ses emmek ve gürültü azaltmak için sıklıkla kullanılır. Şekil 2.15'te, araç içi ses emici uygulamalar ayrıntılı şekilde görülmektedir.



Şekil 2.15. Audi e-tron 55 Quattro akustik yalıtımı (www.lbtechreviews.com)

PU'nun akustik özelliği, morfolojisi ve gözenek yapısı ile ilişkilidir. PU köpüklerin akustik özellikleri, kullanılan monomerlerin oranlarının değiştirilmesi ve/veya fonksiyonel katkı maddelerinin eklenmesi ile geliştirilebilir.

2.4. Ses Ölçüm Yöntemleri

2.4.1. Empedans Tüpü Ölçüm Yöntemi

Empedans tüpleri, düşük ve yüksek frekansın ölçülmesi amacıyla kullanılan bir donanımdır. Empedans tüpü içerisine yerleştirilen 30-100 mm boyutlarındaki numunenin ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı değerleri numune üzerine yerleştirilen mikrofonlar yardımıyla ölçülür (Doğru, 2020). Bu donanıma, Kundt tüpü denir ve bir gaz veya bir katı çubuktaki ses hızının ölçülmesi için Alman fizikçi August Kundt tarafından icat edilmiştir (Kundt, 1866). Şekil 2.16’da 29 ve 100 mm’lik empedans tüpleri gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Tek (a) ve çift (b) empedans tüp örnekleri (www.proplan.com.tr)

2.4.2. Alfa Kabin ve Çınlama Odası Ölçümleri

Şekil 2.17’de gösterilen Alfa kabin, küçük çınlama odaları olarak tanımlanabilir. Her bir duvarı birbirine asimetrik olan Alfa kabin, 400-10.000 Hz frekans aralığında ölçümler yapmaya olanak sağlar. Üç adet ses kaynağı ve kabin içerisine yerleştirilen 5 adet mikrofon yardımıyla ses yutum katsayısı hesaplamasında kullanılan geri çınlama süresi verileri elde edilir.

Alfa kabin test cihazında ölçüm, iki aşamadan oluşur. İlk aşamada Alfa kabin içerisine konumlandırılan çerçeve boş iken ölçüm yapılır. Daha sonra Alfa kabin numuneleri çerçeve içerisine konularak ikinci ölçüm gerçekleştirilir. Her iki aşamada da farklı frekans bantlarında geri çınlama süreleri ölçülür. Geri çınlama süresi, bir ses kaynağı ani olarak

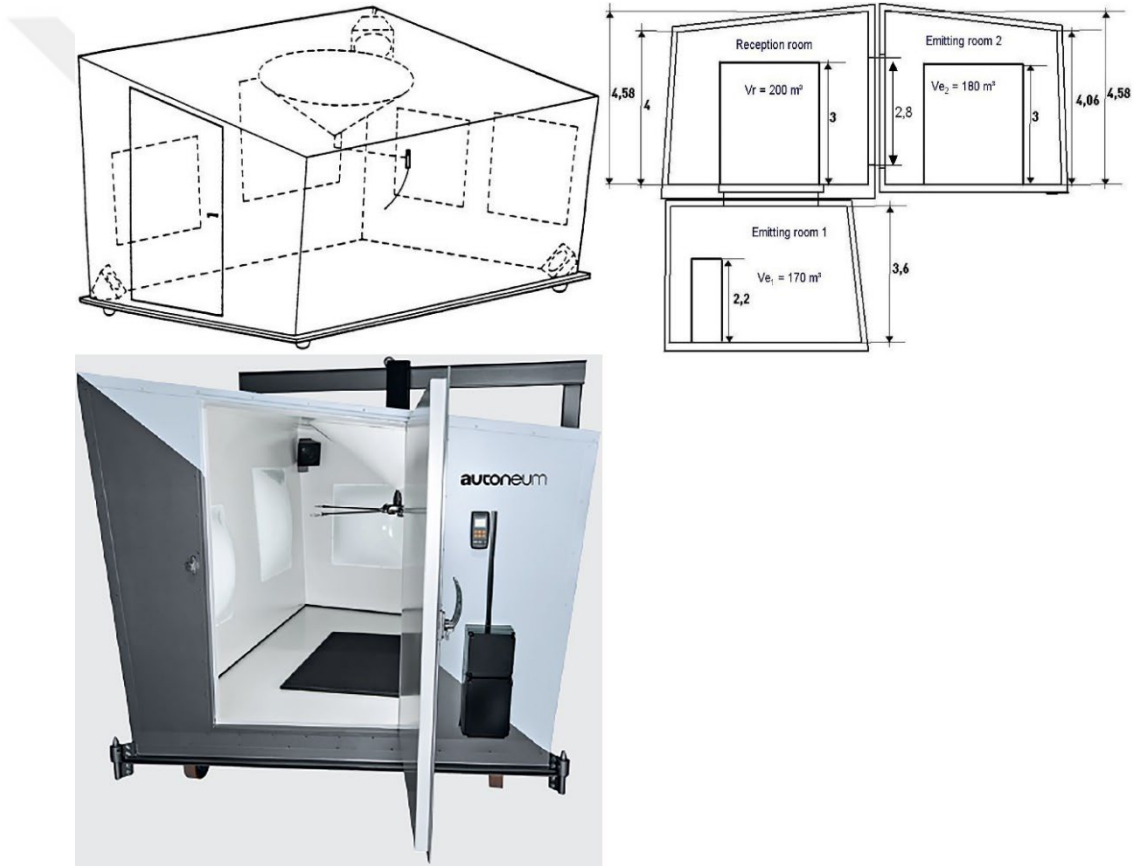
kapatıldığında, sesin genellikle 60 dB olarak alınan belirli bir dinamik aralıkta azalması için gereken süre olarak tanımlanabilir. Elde edilen veriler ile Denklem-1’de verilen Sabine formülü kullanılarak ses yutum katsayısı hesaplanır.

$$\alpha \cong \frac{0.161V}{S_a} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right] \quad \text{Denklem-1}$$

α : Ses yutum katsayısı, V : Alfa kabin hacmi (m^3), S_a : Numune yüzey alanı (m^2)

T_0 : Geri çınlanım süresi (saniye) (Referans ölçüm)

T_1 : Geri çınlanım süresi (saniye) (Numune ölçüm) olarak ifade edilir.



Şekil 2.17. Alfa kabin (Duval 2010, <https://www.autoneum.com>)

2.5. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde, literatürde yapılan PU köpüklere dair çalışmalardan bahsedilmiştir.

Akdoğan (2011) yaptığı çalışmada, farklı katkı maddelerinin PU köpüklerin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Yanma direncini iyileştirebilen farklı alev geciktiricileri ve dolgu maddelerini sert PU köpük üretiminde kullanmış ve bunların mekanik ve ısı özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Sert PU köpüklerde, yoğunluk arttıkça basma dayanımı artmıştır. Bununla birlikte yoğunluk artınca, ısı iletim katsayısının da kayda değer şekilde arttığı görülmüştür. Alev geciktiricinin ilavesi ile PU köpüğün güç tutuşurluk özelliği iyileşmiştir (Akdoğan, 2011).

Gayathri ve diğerleri (2013) yaptıkları çalışmada, poliöl ve diizosiyanatın nano silika, kırıntı kauçuk ve nano kil gibi dolgu maddelerinin varlığında PU esaslı gözenekli kompozitler sentezlemiş ve çeşitli konsantrasyonlardaki bu dolgu maddelerinin ses emme özellikleri, ısı kararlılık ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ses emme katsayısı, duran dalga ses empedansı tüp yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. SEM kullanılarak köpük hücre yapısı ve boyutu ve bunun çeşitli özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, dolgu içeriğindeki artışın köpürme sürecini ve köpüğün hücre yapısını etkilediğini ve her üç dolgu maddesinin de %1,4 ağırlık konsantrasyonunda %80'lik maksimum ses emme katsayısı ve iyileştirilmiş termal özellikler elde edildiğini göstermiştir. Dolgu maddelerinin eklenmesiyle mekanik özelliklerde önemli bir iyileşmeler olmuştur. Bu çalışma ile PU köpüğün, termal ve mekanik özelliklerindeki iyileşmelerine ek olarak 100-200 Hz daha düşük frekans aralığında akustik özelliği iyileştirebileceği belirtilmiştir (Gayathri ve diğerleri, 2013).

Aydoğan ve Usta (2015), nanokalsit ve amonyum polifosfat/pentaeritritolden oluşan güç tutuşur katkılı rijit PU köpüklerin ısı iletkenlik, ısı bozulma ve yanma direnci incelenmiştir. Sonuç olarak, nanokalsit ilavesinin köpük malzemenin ısı iletim katsayısı ve ısı bozunmaya karşı direnci üzerinde olumlu etkisi olmakla birlikte, malzemenin yanma direncini azalttığı tespit edilmiştir. Bu durumda, kalsitin tek başına dolgu malzemesi olarak kullanılmasının yanma direnci noktasından sakıncalı olduğu

belirlenmiştir. Ayrıca, nanokalsitin, halojen içermeyen amonyum polifosfat ve pentaeritritolden oluşan güç tutuşur ile birlikte kullanılmasının ısı iletim katsayısı ve ısı bozunma direncinde olumsuz bir durum oluşturmadan, yanma direncinde de artışa sebep olduğu belirlenmiştir (Aydoğan ve Usta, 2015).

Tiuc ve diğerleri (2015), yaptıkları çalışmada, matrise çeşitli oranlarda tekstil atıkları katarak sert PU köpüğün akustik özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Mısır koçanı, pamuk, kenevir, jüt, Hindistan cevizi, selüloz, çay yaprağı ve kenaf gibi liflerin atıkları farklı oranlarda matris yapıya eklenerek rijit PU kompozit malzeme elde edilmiştir. Kompozit malzemelerin akustik analizleri, empedans tüpünde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, elde edilen kompozit malzemelerin sert PU köpüğe göre daha iyi ses emme özelliğine sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen malzemelerin özellikleri, mevcut malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha iyi fiziksel, mekanik ve ısı özelliklere sahip yeni malzemelerin geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır (Tiuc ve diğerleri, 2015).

Asadi Khanouki ve Ohadi (2018) yaptığı çalışmada, akustik sönümlenme performansını iyileştirmek için esnek yarı açık hücreli PU köpüklerde nano dolgu maddeleri olarak SiO₂ nanoparçacıkları eklemiş, akustik ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu araştırmada, ağırlıkça %0,05 nanoparçacık içeren PU köpük numunesi, geleneksel köpüklerin ses emiliminden yaklaşık %90 daha fazla olan ses emme kabiliyeti göstermiştir. Bununla birlikte nanoparçacıkların yüklenme fraksiyonunu artırmak, akustik sönümlenmeyi azalırken, elastik tepkinin iyileşmesine neden olduğu saptanmıştır (Asadi Khanouki ve Ohadi, 2018).

Chen ve Jiang (2018) yaptıkları çalışmada, biyolojik olarak parçalanabilen ve kolay atılabilir doğal bambu yaprağı parçacıkları (bambu yongaları ve bambu sapları) ile üretilen PU köpüklerin akustik özelliklerini incelemiştir. PU köpüklerin akustik özelliklerini iyileştirmek için farklı oranlarda bambu yongaları veya bambu sapları eklenerek üretim gerçekleştirilmiştir. Ses emme katsayısı ve ses iletim kaybı gibi akustik özellikleri, iki mikrofon empedans tüpü ve dört mikrofon empedans tüpü kullanılarak

ölçülmüştür. PU köpük kompozitlerinin mikro yapıları, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiş ve hava akışı öz direnci de ölçülmüştür. Sonuçlar, PU köpüklerin akustik davranışının, bambu yongaları ve gövdelerinin eklenmesinden önemli ölçüde etkilendiğini, katkılar sonrası ses emilimi ve ses iletimi kaybının iyileştiği rapor edilmiştir. Elde edilen malzemelerin, gelecekte düşük frekanslı akustik malzemelerin tasarımında kullanılabileceği öne sürülmüştür (Chen ve Jiang, 2018).

Erdem ve diğerleri (2018), farklı kütle oranlarında yumurta kabuğu tozu içeren sert PU köpük kompozitler üretilmiş ve termal iletkenlik, basma mukavemeti ve güç tutuşurluk davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak, katkı varlığı hücre boyutu ile termal iletkenlikte azalışa neden olmuştur. LOI ve yanma performans indeksi birlikte değerlendirildiğinde, yumurta kabuğu tozu ciddi anlamda bir performans ortaya koyamamıştır. Bu çalışmada yumurta kabuğu tozunun diğer alev geciktirici katkılar varlığında sinerjistik etki oluşturacak bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Erdem ve diğerleri, 2018).

Sun ve diğerleri (2018), yüksek moleküler ağırlıklı kopolimer polioller polieter polioller zincirleri üzerine stiren-akrilonitril ile esnek PU köpükler üretilmişler ve ses emme özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, ağırlıkça %20 kopolimer polioller içeren PU köpüklerin ses yutma katsayısı artarken, bu noktanın ötesinde azalma eğilimi gözlenmiştir. Ses yutma özelliğinin, boşluk boyutundan değil kapalı gözenek oranından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ses emme özelliklerini geliştirmek için yüksek moleküler ağırlıklı polioller kullanılması önerilmiştir (Sun ve diğerleri, 2018).

Wang ve diğerleri (2018) yaptıkları çalışmada farklı polioller ve modifiye MDI oranlarının PU absorpsiyon katsayısı ve akustik parametreleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen numunelerin akustik analizleri, empedans tüpünde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, polioller ve modifiye MDI oranının artmasıyla akış direncinin arttığı, akış direnci arttıkça PU'nun yüksek frekanslı ses yutma özelliğinin kötüleştiğini göstermiştir. Polioller ve MDI oranlarının, PU'nun ses emme performansı üzerinde önemli etkiye sahip oldukları belirlenmiştir (Wang ve diğerleri, 2018).

Hajizadeh ve diğerleri (2019) yaptıkları çalışmada, esnek PU absorpsiyon özelliklerini nanokil, poliakrilonitril (PAN) nanolifler ve polivinil florür (PVDF) nanolifler ile iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Akustik lmler, empedans tüpünde gerçekleştirilmiştir. Bu alışma nanokil, PAN ve PVDF nanolif kullanımının esnek PU köpüğün emme katsayısını orta frekanslarda iki kattan fazla ve düşük frekanslarda %30'dan fazla arttırabileceğini göstermiştir (Hajizadeh ve diğerleri 2019).

Navidfar ve Trabzon (2019) yaptığı çalışmada, çok duvarlı karbon nanotüpler ve grafen nano yüzeyler içeren PU nanokompozit köpüklerin mekanik ve akustik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, hibrit nanokompozitlerin nano doldurucuların tekli dahil edilmesine göre daha iyi mekanik ve akustik özellikler sergilemiş ve nano doldurucular arasında sinerjistik bir etki görülmüştür (Navidfar ve Trabzon 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Formfleks Otomotiv Yan Sanayi ve Tic A.Ş firmasında bulunan PU üretim hattında düşük yoğunluklu PU köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kontrollü sonuçlar elde edebilmek için PU üretim hattının kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra, referans reçete ve temel üretim parametreleri belirlenmesi amacıyla 15 ± 4 kg/m³ yoğunlukta üretim yapılmıştır. Ardından, monomer oranları sırasıyla referans reçete baz alınarak arttırılmış ve son olarak poliöl oranı %10 arttırılmış reçeteye iki farklı oranda mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı eklenmiştir. Toplamda 5 farklı reçete ile PU esaslı köpükler üretilmiştir.

3.1. Materyal

Düşük yoğunluklu PU esaslı köpüklerin üretiminde temel monomerler olarak poliöl (1,07g/cm³ yoğunlukta, 657 mPa.s vizkozitede) ve MDI (1,22 g/cm³ yoğunlukta, 45 mPa.s vizkozitede) kullanılmıştır. Tepkimeyi hızlandırmak için polietilen glikol (%90)-etilen hekzanoat (%10) esaslı katalizör (1,13 g/ml yoğunlukta, 67 mPa.s vizkozitede) ve güç tutuşur özellik kazandırmak için grafit (pH 5-9, partikül boyutu 300 µm) kullanılmıştır. Bu kimyasalların yanı sıra akustik özelliği geliştirmek amacıyla mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Düşük Yoğunlukta Poliüretan Üretimi

Çalışmada hazırlanan 5 farklı reçeteye ait içerikler, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Numune 1’in Hazırlanması: İzosiyonat, poliöl, katalizör ve grafit hammaddeleri belirli oranlarda karıştırılarak PU esaslı köpükler elde edilmiştir.

Numune 2’nin Hazırlanması: Referans reçete baz alınarak yalnızca poliöl oranı %10 oranında arttırılarak PU esaslı köpükler elde edilmiştir.

Numune 3'ün Hazırlanması: Referans reçete baz alınarak yalnızca %10 izosiyanat arttırılarak PU esaslı köpükler elde edilmiştir.

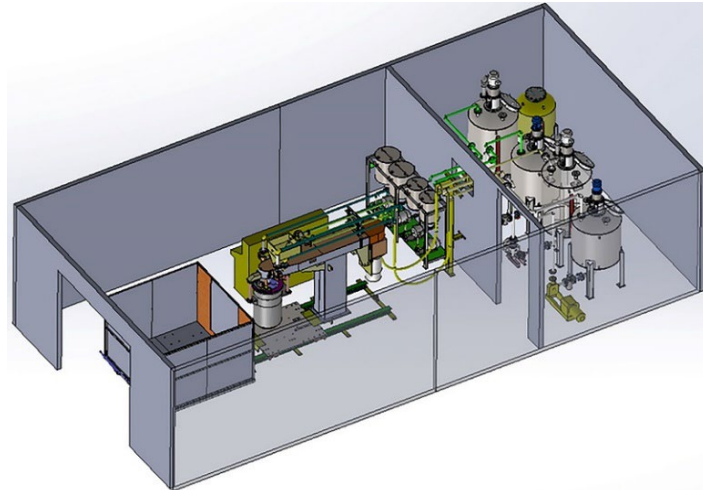
Numune 4'ün Hazırlanması: Numune 2 içeriğine %1 oranında mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı eklenerek PU esaslı köpükler elde edilmiştir.

Numune 5'in Hazırlanması: Numune 2 içeriğine %1,5 oranında mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı eklenerek PU esaslı köpükler elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Numune içerikleri

Numune Numarası	İzosiyanat	Poliol	Katalizör	Grafit	Mikro partikül
1	Referans Reçete	Referans Reçete	Referans Reçete	Referans Reçete	---
2		%10			---
3	%10				---
4		%10			%1
5		%10			%1,5

PU esaslı köpükler, Formfleks Otomotiv Yan Sanayi ve Tic. A.Ş. firmasında bulunan PU üretim hattında ortalama 1,50x1,50x1,50 m boyutunda kasaların içerisinde döküm yapılarak üretilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. PU üretim hattı (www.sunkist-machinery.com)

PU köpük üretiminin başlangıcında, tepkimeye giren monomerler, büyük tanklarda sıvı halde bekletilmiştir (Şekil 3.2). Bu tanklarda uygun miktarda reaktif malzemenin dışarı pompalanabilmesi için ölçüm cihazları bulunmaktadır. Tank sıcaklıkları, 22-25°C arasında sabit tutulmuştur.



Şekil 3.2. Formfleks Otomotiv düşük yoğunluklu PU köpük üretim hattı

İzosiyanat, polioliol, katalizör ve grafit belirlenen miktarlarda ve sırasıyla dairesel kazan içerisine eklenmiş ve homojen bir karışım oluncaya kadar tüm kimyasallar mikser ile karıştırılmıştır (Şekil 3.3). Mikro boyutlu partiküller ise son karıştırma yapılmadan hemen önce eklenmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, kimyasal tepkimenin oluşması için kasa hava çekicilerin olduğu bölgeye alınmıştır. Tepkime oluşurken, döküm küpü sabit tutulmuş ve kimyasal tepkime sonucu ortaya çıkan gazlar hava çeken sistemler yardımıyla tahliye edilmiştir. PU, istenilen hacme ulaştığında, kürleşmenin tamamlanması için 24 saat bekletilmiştir. PU esaslı köpük, 24 saatin sonunda kasadan çıkartılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. İzosiyanat, poliöl, katalizör ve grafitin mikser ile karıştırılması



Şekil 3.4. Kasa içerisinde PU esaslı köpük üretimi

3.2.2.Poliüretan Köpüklerin Yüzey Analizleri

Farklı monomer ve mikro partikül oranları ile elde edilen PU esaslı köpükler, Bursa Teknik Üniversitesi'nde (BTÜ) Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda (MERLAB) bulunan Zeiss Gemini 300 marka SEM kullanılarak incelenmiştir (Şekil 3.5). Her bir numune, altın-paladyum kaplama yapılarak iletken hale getirilmiş ve yüzey görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.5. Zeiss Gemini marka SEM

Farklı monomer ve mikro partikül oranları ile elde edilen PU esaslı köpüklerdeki kimyasal bağların ve fonksiyonel grupların varlığı, BTÜ MERLAB’da bulunan Thermoscientific-Nicolet i50 marka Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektrometresi kullanılarak araştırılmıştır (Şekil 3.6). Her bir ölçüm, $600-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında ve 4 cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Thermoscientific-Nicolet i50 marka FTIR spektrometresi

3.2.3. Akustik Ölçümler

PU köpüklerin akustik ölçümleri, ISO 354 standardına göre Formfleks R&D Merkezi'nde bulunan Autoneum marka Alfa kabin test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). İlk olarak Alfa kabin içerisindeki çerçeve boş olarak konumlandırılmış ve ölçülmüştür. PU köpük numuneler, 1,00x1,20x0,02 m boyutlarında hazırlanmıştır. Her bir PU numunesi için 5 adet ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.7. Autoneum marka Alfa kabin

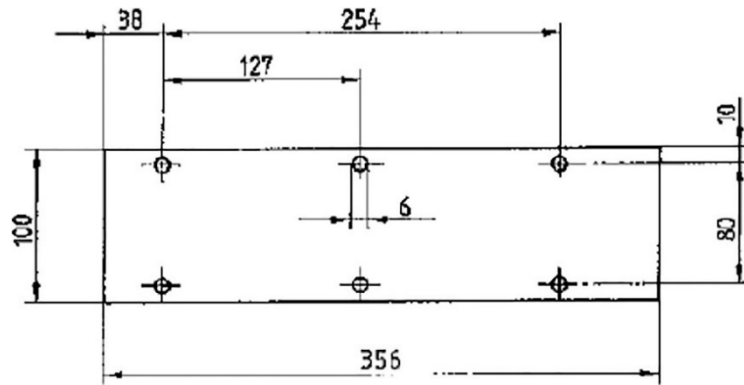
3.2.4. Güç Tutuşurluk Testleri

PU köpüklerin güç tutuşurluk testleri, ISO 3795 standardına göre Formfleks R&D Merkezi'nde bulunan yatay yanma kabini yapılmıştır (Şekil 3.8). Yatay yanma test kabini, standardına uygun olarak yaptırılmıştır. Deney için genişliği 100 mm, uzunluğu 356 mm ve kalınlığı en fazla 13 mm olan numuneler hazırlanmıştır. Test edilen numuneler, 23 ± 1 °C'de ve 50 ± 5 bağıl nemde en az 24 saat ve en fazla 7 gün boyunca şartlandırılmıştır. Yatay yanma deney düzeneği, şematik olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Numuneler üzerinde uçtan itibaren 38 mm ve 292 mm aralık olacak şekilde 2 adet çizgi çizilir. Alev bekinde 38 ± 2 mm yüksekliğinde mavi alev elde edebilmek için kalibrasyon yapılmalıdır. Alev bekinin ucuna standarda uygun bir yayıcı takılarak 15 s süre ile numune alev maruz bırakılır. Daha sonra alev beki numunedan uzaklaştırılır. Yanma süresinin ölçümü, alev ilk ölçüm noktasını geçtiği anda başlar. Diğer taraftan da

alevin yüzey üzerinde yayılışı gözlemlenir. Yanma süresinin ölçümü, alevin son ölçüm noktasını geçtiği anda veya alevin son ölçüm noktasına gelmeden önce söndüğü anda sona erer. Alevin son ölçüm noktasına ulaşmaması durumunda, alevin söndüğü noktaya kadar yanan mesafe ölçülür. Malzeme yanmadığı sürece, alev beki numuneden uzaklaştırıldıktan sonra yanmaya devam etmediği sürece veya alev ilk ölçüm noktasına ulaşmadan önce sönerse; böylelikle ölçülen bir yanma süresi olmaz, yanma oranı 0 mm/dk olarak verilmelidir. Elde edilen veriler ile Denklem-2'deki formül kullanılarak PU köpüklerin yanma oranı hesaplanır.



Şekil 3.8. Yatay yanma test kabini



Şekil 3.9. ISO 3795 standardına göre yanma testi için numune şablonu

$$B = \frac{s}{t} \times 60$$

Denklem-2

Bu formülde;

B: Yanma oranı (mm/dakika),

s: Yanma mesafesi (mm)

t: Yanma süresi (saniye) olarak ifade edilir.



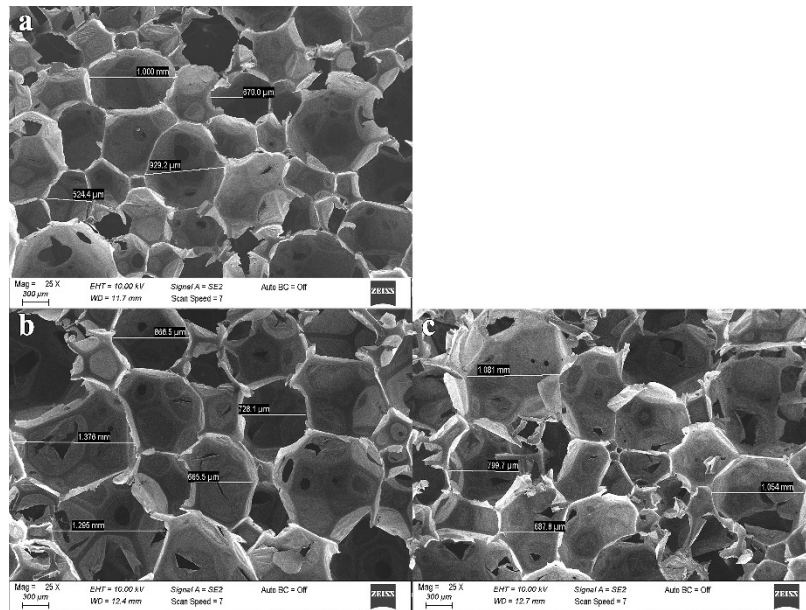
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Monomer Oranlarının Etkisi

PU köpükler, polioller ve izosiyanat monomerlerinin tepkimesi sonucu elde edilir. Bu tez çalışmasında Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi farklı oranlarda monomer kullanılarak PU esaslı köpükler elde edilmiştir. Monomer karışım oranlarının etkisi, SEM ve FTIR analizleri ve akustik ve güç tutuşurluk testleri ile incelenmiştir.

4.1.1. SEM Yüzey Analizi

Referans (Numune 1), polioller oranı artırılmış (Numune 2) ve izosiyanat oranı artırılmış (Numune 3) numunelerin SEM kullanılarak elde edilen görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir. SEM görüntülerinde Numune 1 ve 2’de görünür yoğunluğa sahip ağların (birbiri ile bağlantılı gözenekli hücrelerin) olduğu, hücre boyutlarının ve çeperlerinin orantılı ve düzgün olduğu gözükmemektedir (Çizelge 4.1). Hücre şekillerinin küresel formda olduğu açıkça görülmektedir (Thirumal ve diğerleri, 2008; Wang ve diğerleri, 2018). Numune 3’te ise artan izosiyanat miktarı ile hücresel yapıda bozulmalar, hücre çeperleri, konumları ve boyutlarında düzensizlikler, hücre hacminde artış ve hücre duvarlarda yırtılmalar saptanmıştır (Cornille ve diğerleri, 2015; Thirumal ve diğerleri, 2008).



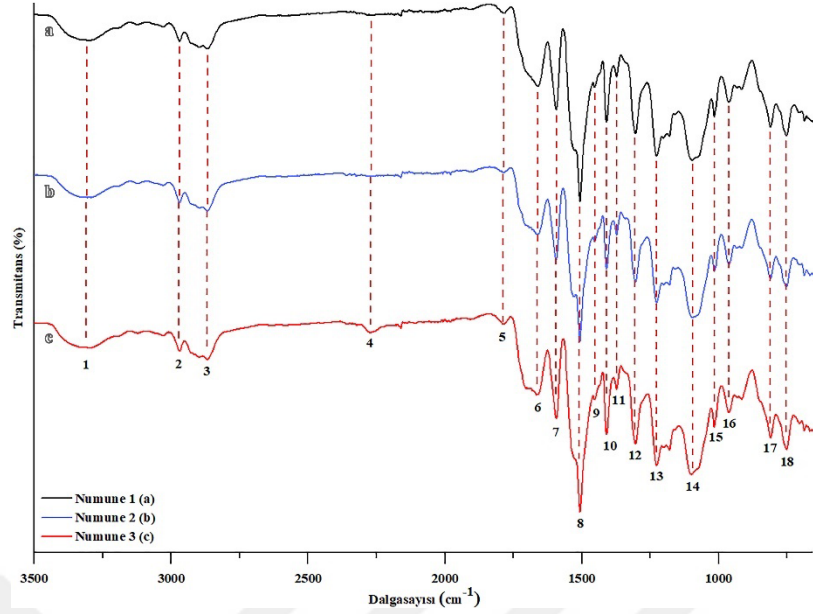
Şekil 4.1. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) SEM görüntüleri

Çizelge 4.1. Numunelerin gözenek boyutları

Numune	Hücre Çapı (μm)
Numune 1	524, 670, 929, 1000
Numune 2	666, 728, 866, 1295
Numune 3	687, 799, 1054, 1081

4.1.2. FTIR Analizi

Referans (Numune 1), poliöl oranı arttırılmış (Numune 2) ve izosiyanat oranı arttırılmış (Numune 3) numunelere ait FTIR spektrumları Şekil 4.2 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Numune 1 ve 2’de $2270\text{-}2260\text{ cm}^{-1}$ ’de izosiyonata ait herhangi bir pikin varlığı saptanmamıştır. Bu bölgedeki ($2200\text{-}2280$) olası bir pik, PU sentezinde temel monomer olarak kullanılan diizosiyanatlardan kaynaklanmaktadır. Bu pikin spektrumda görülmemesi, her iki monomerin de tamamen tepkimeye girdiği ve tepkimenin tamamlandığı anlamına gelmektedir (Akdemir ve diğerleri, 2020; Kantarcıoğlu, 2017). Numune 3’te ise 2270 cm^{-1} ’de ortaya çıkan pik, tepkime sonrası izosiyanat kalıntısına işaret etmektedir. 3298 cm^{-1} ’de görülen pik, N-H grubundan kaynaklanmaktadır. Diğer karakteristik pik ise $2850\text{-}2970\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen alifatik C-H gerilme titreşimleridir. Bu pikler, alifatik karakterli izosiyonat yapısından kaynaklanmaktadır. PU yapısının oluştuğunu ispatlayan diğer bir bulgu ise ürean bağındaki karbonil karbonil gerilme titreşimlerinin $1700\text{-}1660\text{ cm}^{-1}$ ’de görülmesidir. Ürean bağındaki N-H gerilme titreşimi $1507\text{-}1594\text{ cm}^{-1}$ ’de, C-N gerilme titreşimi ise 1410 cm^{-1} oldukça belirgindir. Bu gruplar, yapıda ürean bağının varlığını göstermektedir. Sonuç olarak, N-H ($3298, 1594$ ve 1507 cm^{-1}), CH_2 ve CH_3 (2970 ve 2870 cm^{-1}) ve C=O (1784 ve 1661 cm^{-1}) gerilmelerinden kaynaklanan absorpsiyon pikleri, tipik PU pikleri olarak değerlendirilebilir (Akdemir ve diğerleri, 2020; Gharieh ve Pourghasem, 2022; Hatchett ve diğerleri, 2005; Jiao ve diğerleri, 2013; Kantarcıoğlu, 2017; Liu ve diğerleri, 2013).



Şekil 4.2. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) FTIR spektrumları

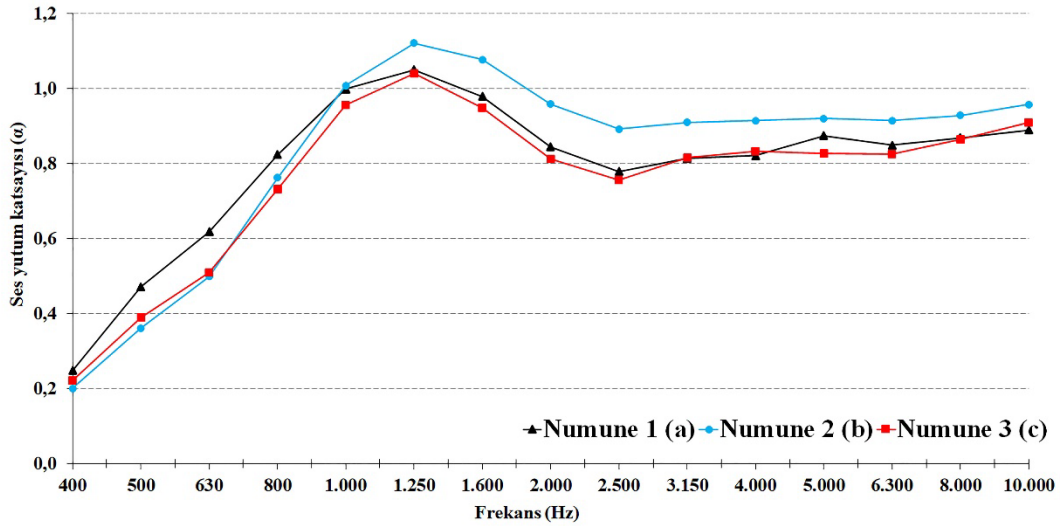
Çizelge 4.2. Numunelerin FTIR spektrumları

Pik No	Dalga Boyu (cm ⁻¹)	Kimyasal bağ
1	3298	Simetrik ve asimetrik N-H gerilme
2	2970	Alifatik C-H gerilmesi
3	2870	Alifatik C-H gerilmesi
4	2261	İzosiyanat kaynaklı
5	1784	C-O-C gerilme titreşimi
6	1661	Ester C=O gerilme titreşimi
7	1594	N-CO-O'dan gelen C-O gerilme titreşimi
8	1507	N-H düzlem içi eğilme
9	1455	N-H düzlem içi eğilme
10	1410	
11	1373	CH ₃ simetrik titreşimi
12	1305	
13	1228	C-O-C eter bağı gerilmesi
14	1099	C-N, C-C ve C-O gerilmesi
15	1017	C-N, C-C ve C-O gerilmesi
16	964	N-CO-O simetrik gerilmesi
17	811	C-H düzlem dışı bükülme
18	753	C-H düzlem dışı bükülme

4.1.3. Akustik Testleri

Referans (Numune 1), poliöl oranı arttırılmış (Numune 2) ve izosiyanat oranı arttırılmış (Numune 3) numunelere ait ISO 354 standardına göre yapılan akustik ölçüm sonuçları Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. PU köpük numuneler, 15 ± 4 kg/m³ yoğunlukta üretilerek test için 1,00x1,20x0,02 m boyutlarında hazırlanmıştır.

PU esaslı köpükleri oluşturan poliöl ve izosiyanat monomerlerinin oranı, ses emme performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Wang ve diğerleri, 2018; Sung ve diğerleri, 2018). Alfa kabin ölçüm sonuçlarına göre poliöl monomerinin %10 arttırılması (Numune 2), düşük frekanslarda ses yutum katsayısı üzerinde azalmaya, yüksek frekanslarda ise artışa neden olmuştur. PU esaslı köpüklerde hücre yapısındaki homojenliğin akustik enerjinin sönümlenmesi üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Allard ve Atalla 2009; Asadi ve diğerleri, 2015). Şekil 4.1'de verilen SEM görüntülerinden açıkça görüleceği üzere, izosiyanat oranının %10 arttırılması (Numune 3), hücre yapısında bozulmalara ve düzensizliğe neden olduğundan düşük frekanslarda ses yutum katsayısı üzerinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 4.3. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) akustik ölçümleri

Çizelge 4.3. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) akustik ölçümleri

Frekans (Hz)	Ses yutum katsayısı (α)		
	Numune 1	Numune 2	Numune 3
400	0,248	0,200	0,221
500	0,471	0,361	0,389
630	0,618	0,498	0,509
800	0,824	0,762	0,732
1.000	0,999	1,008	0,956
1.250	1,050	1,121	1,040
1.600	0,979	1,077	0,949
2000	0,844	0,959	0,811
2500	0,779	0,892	0,756
3150	0,814	0,910	0,816
4000	0,821	0,915	0,832
5000	0,874	0,920	0,828
6300	0,849	0,915	0,825
8000	0,868	0,928	0,865
10000	0,889	0,957	0,909

4.1.4. Güç Tutuşurluk Testleri

Referans (Numune 1), polioli oranı arttırılmış (Numune 2) ve izosiyanat oranı arttırılmış (Numune 3) numunelere ait ISO 3795 standardına göre yapılan güç tutuşurluk test sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Test için genişliği 100 mm, uzunluğu 356 mm ve kalınlığı 13 mm olan numuneler hazırlanmıştır.

PU köpüklerin morfolojisi ve kimyasal yapısı nedeniyle tutuşması kolaydır. Bu nedenle yanmayı geciktirmek amacıyla polimer içerisine grafit eklenmesi, yapıya güç tutuşurluk özelliği kazandırır. Her iki monomer oranlarındaki %10'luk artış ile birlikte güç tutuşurluk özelliğinde herhangi bir olumsuz etki gözlenmemiştir (Huang ve diğerleri, 2019; Liu ve diğerleri, 2018; Xu ve diğerleri 2019). Farklı monomer oranına sahip üç numune de yanmayı sönmülemiş (kendiliğinden sönmüş) ve her biri için test sonucu 0 mm/dk olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4.4. Numune 1 (a), Numune 2 (b) ve Numune 3 (c) yatay yanma testleri

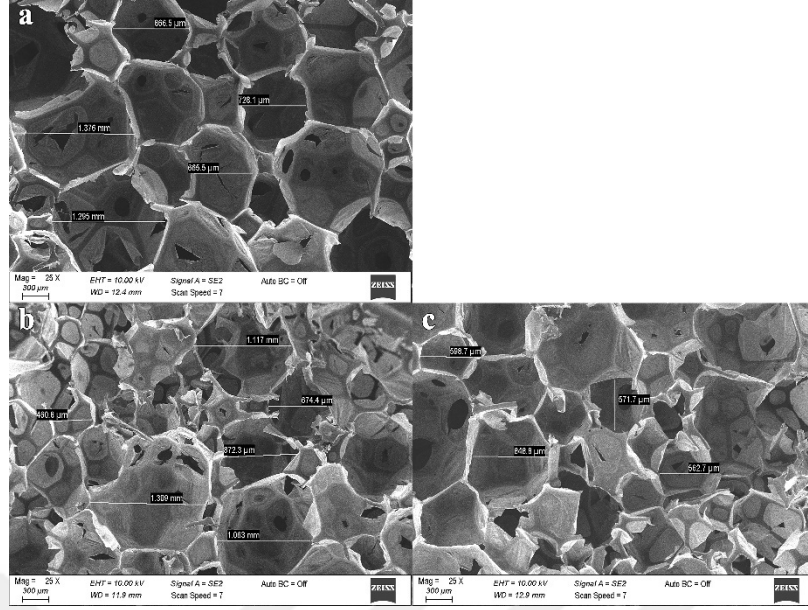
4.2. Katkı Maddesi Karışım Oranlarının Etkisi

Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi katkı maddesi olarak farklı oranlarda mikro boyutlu içi boş kürecik kullanılarak PU esaslı köpükler elde edilmiştir. Karışım oranlarının etkisi, SEM ve FTIR analizleri ve akustik ve güç tutuşurluk testleri ile incelenmiştir.

4.2.1. SEM Yüzey Analizi

Numune 2, %1 katkılı (Numune 4) ve %1,5 katkılı (Numune 5) PU esaslı köpük numunelerin SEM kullanılarak elde edilen görüntüleri ve gözenek boyutları Şekil 4.5 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.

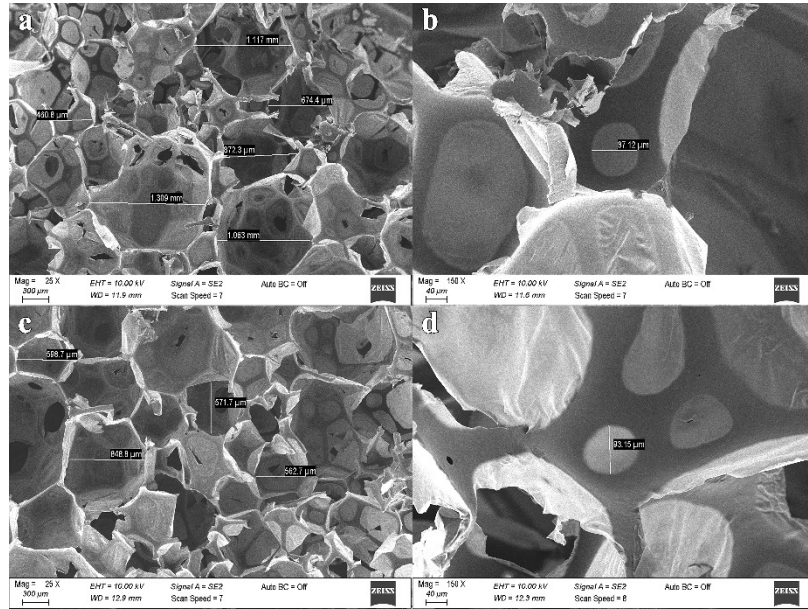
PU esaslı köpüklere %1 ve 1,5 oranında mikro boyutlu içi boş kürecik partikül eklenmesi, hücresel yapıda bozulmalara, duvarlarında yırtılmalara, konumları ve boyutlarında düzensizliklere neden olmuştur. Bu durum, literatürdeki çalışmalarla uyumlu görülmektedir (Cornille ve diğerleri, 2015; Thirumal ve diğerleri, 2008; Verdejo ve diğerleri, 2009). İlginç şekilde, %1 oranında katkı maddesi eklenmesi, hücre boyutlarının büyümesine, %1,5 oranında katkı maddesinin eklenmesi ise hücre boyutlarının küçülmesine ve dolayısıyla birim hacim başına düşen hücre sayısını artmasına neden olmuştur (Büyükkahraman, 2014; Gayathri ve diğerleri, 2013; Asadi Khanouki ve Ohadi, 2018). Şekil 4.6’da 150x görüntülemeye, mikro boyutlu içi boş küreciklerin PU yapı içerisine dahil oldukları belirgin şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5. Numune 2 (a), Numune 4 (b) ve Numune 5 (c) SEM görüntüleri

Çizelge 4.4. Numunelerin gözenek boyutları

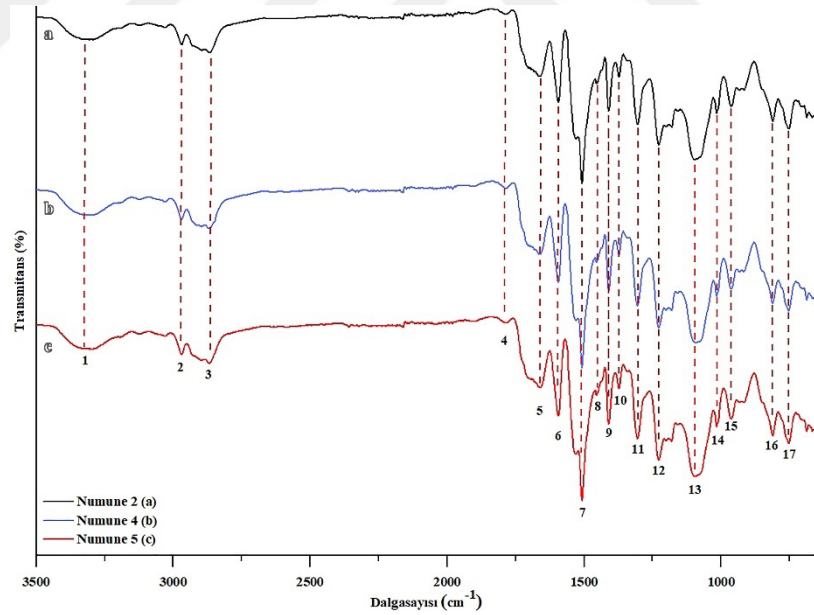
Numune	Hücre Çapı (μm)
Numune 2	666, 728, 866, 1295
Numune 4	460, 872, 1063, 1309
Numune 5	562, 571, 598, 8488



Şekil 4.6. Numune 4 (25x) (a), Numune 4 (150x) (b), Numune 5 (25x) (c) ve Numune 5 (150x) (d) SEM görüntüleri

4.2.2. FTIR Analizi

Numune 2, %1 katkı (Numune 4) ve %1,5 katkı (Numune 5) PU esaslı köpük numunelere ait FTIR spektrumları Şekil 4.7 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. Si-O-Si ve silanol gruplarının gerilmelerinden kaynaklanan absorpsiyon piklerinin sırasıyla 1100 cm^{-1} ve $3400\text{-}3450\text{ cm}^{-1}$ bölgelerinde olduğu bilinmektedir (Gharieh ve Pourghasem, 2022). Numune 4 ve 5'te $2260\text{-}2270\text{ cm}^{-1}$ herhangi bir izosiyanat pikinin bulunmaması, tepkimenin tamamlandığını ve yapıda monomer kalıntısı bulunmadığını, 3330 cm^{-1} 'de görülen pik N-H grubunun olduğunu, üretanın oluştuğunu, $2850\text{-}2970\text{ cm}^{-1}$ 'de ise alifatik C-H gerilme titreşimlerinin olduğunu göstermektedir (Akdemir ve diğerleri, 2020; Gharieh ve Pourghasem, 2022; Kantarcıoğlu, 2017). Tüm numunelerin FTIR spektrumları karşılaştırıldığında, mikro boyutlu silika katkı maddesi karakteristik piklerde konumlarında kayma ve yeni pik oluşturmamıştır. Bu durum, silika ve PU piklerinin üst üste bindiği şekilde yorumlanmıştır. Katkı maddesinin PU matrisin kimyasal yapısını etkilemediği gözlemlenmiştir (Strankowski, 2018).



Şekil 4.7. Numune 2 (a), Numune 4 (b) ve Numune 5 (c) FTIR spektrumları

Çizelge 4.5. Numunelerin FTIR spektrumları

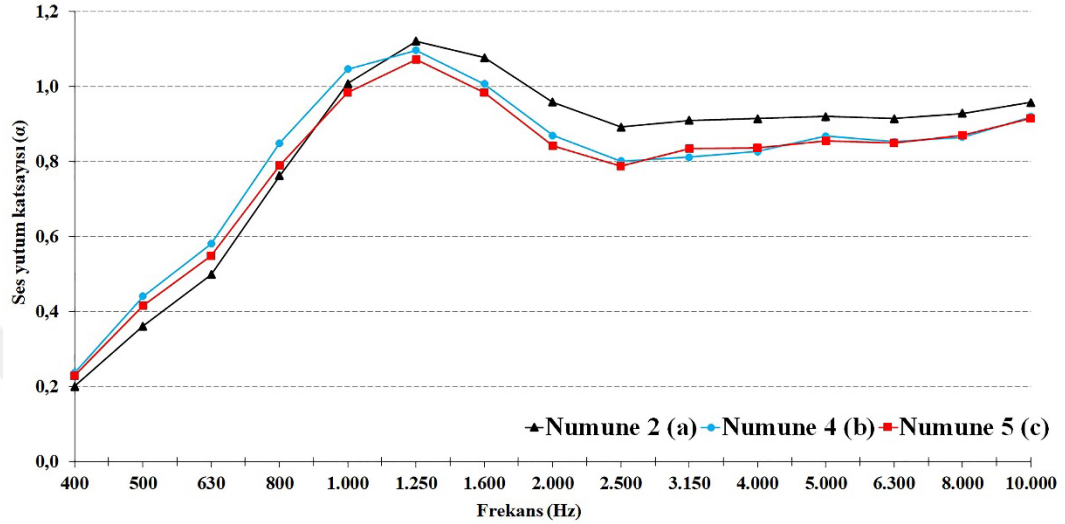
Pik No	Dalga Boyu (cm⁻¹)	Kimyasal bağ
1	3330	Simetrik ve asimetric N-H gerilme
2	2970	Alifatik C-H gerilmesi
3	2870	Alifatik C-H gerilmesi
4	1661	C-N ve N-H gerilmesi
5	1594	N-H düzlem içi eğilme
6	1507	N-H düzlem içi eğilme
7	1410	
8	1373	CH ₃ simetrik titreşimi
9	1305	
10	1228	C-O-C eter bağı gerilmesi
11	1099	C-N, C-C ve C-O gerilmesi
12	1017	C-N, C-C ve C-O gerilmesi
13	964	N-CO-O simetrik gerilmesi
14	812	C-H düzlem dışı bükülme
15	753	C-H düzlem dışı bükülme

4.2.3. Akustik Testleri

Numune 2, %1 katkı (Numune 4) ve %1,5 katkı (Numune 5) PU esaslı köpük numunelere ait ISO 354 standardına göre yapılan akustik ölçüm sonuçları Şekil 4.8 ve Çizelge 4.6’te verilmiştir. PU köpük numuneler, 15±4 kg/m³ yoğunlukta üretilerek test için 1,00x1,20x0,02 m boyutlarında hazırlanmıştır.

Şekil 4.8’deki Alfa kabin ölçüm sonuçlarında görüldüğü gibi, katkı maddesi ilavesinin düşük frekanslarda ses yutum katsayısında artış gözlemlenmektedir. Düşük frekanslarda PU esaslı köpük, ısı alışverişinin neden olduğu enerji kaybıyla sesi emer. Emilen akustik enerji, hava ile sürtünme yoluyla harekete devam eder. Ses dalgası, içinden geçtiği malzemenin gözenekleri ve hava tanecikleri arasındaki sürtünme ile enerjisini kaybeder ve sürtünme nedeniyle ısıya dönüşür. Mikro boyutlu içi boş kürecik katkı PU esaslı köpüklerin hücre yapısındaki gözenek artışı, düşük frekanslarda ses yutum katsayısı üzerinde artışa neden olmuştur (Gayathri, 2013). Katkı maddesi oranındaki artış ise, yüksek frekanslarda azalmaya neden olmuştur. Ses yutumundaki bozulma, PU köpük morfolojisindeki yapısal düzensizliklerden kaynaklanabilir (Asadi ve Ohadi, 2015).

Grafik incelendiğinde, Numune 4 ve 5'teki mikro boyutlu içi boş kürecik takviyesi, özellikle düşük frekanslarda birim hacme düşün hücre sayısı arttığı için ses yutum katsayısı üzerinde iyileşme sağlarken yüksek frekanslarda PU köpüklerdeki yapısal bozukluklar olumsuz etki yaratmıştır.



Şekil 4.8. Numune 2 (a), Numune 4 (b) ve Numune 5 (c) akustik ölçümleri

Çizelge 4.6. Numune 2 (a), Numune 4 (b) ve Numune 5 (c) akustik ölçümleri

Frekans (Hz)	Ses yutum katsayısı (α)		
	Numune 2	Numune 4	Numune 5
400	0,200	0,236	0,228
500	0,361	0,440	0,415
630	0,498	0,580	0,549
800	0,762	0,848	0,790
1.000	1,008	1,046	0,985
1.250	1,121	1,096	1,072
1.600	1,077	1,007	0,984
2000	0,959	0,870	0,842
2500	0,892	0,801	0,788
3150	0,910	0,811	0,835
4000	0,915	0,827	0,837
5000	0,920	0,868	0,855
6300	0,915	0,852	0,850
8000	0,928	0,865	0,870
10000	0,957	0,919	0,914

4.2.4. Güç Tutuşurluk Testleri

Numune 2, %1 katkı (Numune 4) ve %1,5 katkı (Numune 5) PU esaslı köpük numunelere ait ISO 3795 standardına göre yapılan güç tutuşurluk test sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir. Test için genişliği 100 mm, uzunluğu 356 mm ve kalınlığı 13 mm olan numuneler hazırlanmıştır.

Matris yapıda grafit malzemesinin yeterli oranda olması ve katkı maddesinin eklenmesi güç tutuşurluk performansında herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamıştır (Huang ve diğerleri, 2019; Liu ve diğerleri, 2018; Yu ve diğerleri, 2019). Numune 4 ve 5, yanmayı sönmülemiş (kendiliğinden sönmüş) ve test sonucu 0 mm/dk olarak rapor edilmiştir.



Şekil 4.9. Numune 2 (a), Numune 4 (b) ve Numune 5 (c) yatay yanma testleri

5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe NVH paketinde kullanılmak üzere farklı oranlarda monomerler ve mikro boyutlu içi boş kürecik yardımıyla düşük yoğunluklu PU esaslı köpükler üretmek, bu parametrelerin yüzey, akustik ve güç tutuşurluk özellikleri üzerine etkilerini incelemektir.

Yapılan diğer analizlerle birlikte tüm sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- SEM görüntüleri incelendiğinde, farklı oranlarda monomerlerin ve katkı malzemesinin kullanımı ile düşük yoğunluklu PU köpük üretilebileceği gözlemlenmiştir. Artan poliöl oranına bağlı olarak PU hücre morfolojisi daha düzenli hale gelmiştir. Bununla birlikte, artan izosiyanat oranına bağlı olarak PU hücre morfolojisinde ve yapısında düzensizlikler olduğu saptanmıştır. Mikro boyutlu içi boş kürecik eklenmesi ve kürecik konsantrasyon artışı, hücre çaplarında küçülmelere ve bozulmalara neden olmuştur.

- FTIR sonuçları incelendiğinde, poliöl ve izosiyanat monomerlerinin tepkimeye girdiği ve PU köpüğün olduğu söylenebilir. Mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı maddesi kullanımının yapıda bir değişime (yeni bir bağ oluşumu) neden olmadığı ve spektrumda temel PU pikleri gözlemlenmiştir.

- Akustik ölçümleri incelendiğinde, poliöl monomer miktarının artırılması (%10), düşük frekanslarda ses yutumu katsayısı üzerinde azalmaya, yüksek frekanslarda ise artışa neden olmuştur. Bununla birlikte, izosiyanat monomer miktarının artırılması (%10), düşük frekanslarda ses yutumu katsayısı üzerinde azalmaya neden olmuştur. Mikro boyutlu içi boş kürecik esaslı katkı maddesinin eklenmesi ise, özellikle düşük frekanslarda ses yutumu katsayısı üzerinde artışa, yüksek frekanslarda ise azalmaya neden olmuştur.

- Güç tutuşurluk sonuçları incelendiğinde, farklı oranlarda monomerlerin ve katkı malzemesinin kullanımı ile birlikte güç tutuşurluk özelliğinde herhangi bir olumsuz etki gözlenmemiştir. Bu durum, PU köpük yapısında güç tutuşurluk özelliği için yeterli miktarda grafitin bulunduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, içten yanmalı ve elektrikli motorların gürültü kaynakları ve öne çıkan sesler dikkate alındığında elde edilen PU köpükler araçların farklı bölgelerinde akustik amaçlı olarak kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Akdemir, Ö., Hacirecepoğlu, A., Çakır, Ö. A., Sarıkanat, M., Sever, K. , & Yoldaş, S. E. K. İ. (2020). Poliüretanın ısı yalıtım özelliklerinin silika esaslı partiküllerle iyileştirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64), 147-153.
- Akdoğan, E. (2011). Farklı katkı maddelerinin poliüretan malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli).
- Allard, J., & Atalla, N. (2009). *Propagation of sound in porous media: modelling sound absorbing materials 2e*. John Wiley & Sons.
- Asadi, M., & Ohadi, A. (2015, July). Improving sound absorption of polyurethane foams by the incorporation of nano-particles. In *The 22nd International Congress on Sound and Vibration*, Florence, Italy.
- Asadi Khanouki, M., & Ohadi, A. (2018). Improved acoustic damping in polyurethane foams by the inclusion of silicon dioxide nanoparticles. *Advances in Polymer Technology*, 37(8), 2799-2810. <https://doi.org/10.1002/adv.21952>.
- Aydoğan, B., & Nazım, Usta. (2015). Nanokil ve kabaran alev geciktirici ilavesinin rijit poliüretan köpük malzemelerin ısıl bozunma ve yanma davranışlarına etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1).
- Büyükkahraman, B. (2014). Investigation of physical and mechanical properties of polyurethane nanocomposites prepared using different types of nano additives (M. Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, Turkey, 2014. Google Scholar).
- Chen, S., & Jiang, Y. (2018). The acoustic property study of polyurethane foam with addition of bamboo leaves particles. *Polymer composites*, 39(4), 1370-1381. <https://doi.org/10.1002/pc.24078>.
- Cornille, A., Dworakowska, S., Bogdal, D., Boutevin, B., & Caillol, S. (2015). A new way of creating cellular polyurethane materials: NIPU foams. *European Polymer Journal*, 66, 129-138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.01.034>.
- Doğru, T. (2020) Otomotiv iç trim malzemelerinde akustik özelliklerin ısı iletimi ile ilişkisinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa).
- Doutres, O., Atalla, N., & Dong, K. (2011). Effect of the microstructure closed pore content on the acoustic behavior of polyurethane foams. *Journal of Applied Physics*, 110(6), 064901. <https://doi.org/10.1063/1.3631021>.

Duval, A., Rondeau, J. F., Dejeager, L., Sgard, F., & Atalla, N. (2010, April). Diffuse field absorption coefficient simulation of porous materials in small reverberant rooms: finite size and diffusivity issues. In 10ème Congrès Français d'Acoustique.

Emek, A. (2004). Teknik tekstiller dünya pazarı, Türkiye'nin üretim ve ihrac imkanları. Uzmanlık Tezi. Ankara: T.C. Başbakanlık Dış Ticareti Geliştirme Etüd Merkezi.

Erdem, M., Akdoğan, E., Üreyen, M., Uysal, O., Metin, Kaya., & Irmak, C. (2018). Yumurta kabuğu tozu katkılanmış sert poliüretan köpükler: termal iletkenlik, basma mukavemeti ve yanma davranışlarının incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38(1), 83-93.

Erol, H. B. (2006). İç mekanda malzeme kullanımında akustik performans kriterleri (Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Eroğlu, A. R. (2008). Yüzey koruyucu kaplamalarda akrilik poliüretan reçinelerin kullanılması (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Gama, N. V., Silva, R., Mohseni, F., Davarpanah, A., Amaral, V. S., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Enhancement of physical and reaction to fire properties of crude glycerol polyurethane foams filled with expanded graphite. *Polymer Testing*, 69, 199-207. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.012>.

Gayathri, R. (2013). Studies on polyurethane and its hybrid foams with micro and nano fillers for low frequency sound absorption. Master's thesis, BS Abdur Rahman Institute of Science & Technology.

Gayathri, R., Vasanthakumari, R., & Padmanabhan, C. (2013). Sound Absorption, thermal and mechanical behavior of polyurethane foam modified with nano silica, nano clay and crumb rubber fillers. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 4(5), 301-308.

Gelen, M. (2016). Otomotiv endüstrisinde kullanılan akustik malzemeler ve malzeme özelliklerinin akustik parametrelere etkisinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Gharieh, A., & Pourghasem, M. (2022). Eco-friendly UV-curable polyurethane-silica superhydrophobic coating with superb mechanical durability. *Polymers for Advanced Technologies*, 33(10), 3312-3322. <https://doi.org/10.1002/pat.5782>.

Goetchius, G. (2011). Leading the charge-the future of electric vehicle noise control. *Sound & Vibration*, 45(4), 5-8.

Hajizadeh, R., Khavanin, A., Barmar, M., Jafari, A. J., & Dehghan, S. F. (2019). Improving the sound absorption properties of flexible polyurethane (PU) foam using nanofibers and nanoparticles. *Sound Vib*, 53, 207-222. <https://doi.org/10.32604/sv.2019.06523>.

Hatchett, D. W., Kodippili, G., Kinyanjui, J. M., Benincasa, F., & Sapochak, L. (2005). FTIR analysis of thermally processed PU foam. *Polymer Degradation and Stability*, 87(3), 555-561. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.10.012>.

Horrocks, A. R. ve Anands, C. (2003). Teknik tekstiller el kitabı (Technical Textiles Handbook). The Textile Institute, Türk Tekstil Vakfı.

Huang, N. J., Cao, C. F., Li, Y., Zhao, L., Zhang, G. D., Gao, J. F., ... & Tang, L. C. (2019). Silane grafted graphene oxide papers for improved flame resistance and fast fire alarm response. *Composites Part B: Engineering*, 168, 413-420.

<https://kimpur.com/tr/poliuretan-nedir>, Erişim Tarihi: 28.12.2022. KONU: Poliüretan üretimi.

<https://nonwoventechnology.com/otomotiv-ic-mekanlarinda-kullanilan-dogal-elyaf-takviyeli-ignelenmis-dokunmamis-kumaslarin-ses-yutum-ozellikleri>. Erişim Tarihi: 05.12.2022. KONU: Otomotiv tekstilleri.

http://technica.net/tessilitecnici/re_120011107/Nemoz.pdf, Erişim Tarihi: 10.12.2022. KONU: Teknik tekstiller.

<https://tekstilsayfasi.blogspot.com>, Erişim Tarihi: 05.01.2023. KONU: Teknik tekstiller.

<https://tr.wikipedia.org/wiki/ses>, Erişim Tarihi: 12.12.2022. KONU: Ses kavramları.

<https://www.alliedmarketresearch.com/technical-textile-market>, Erişim Tarihi: 01.10.2022. KONU: Teknik tekstil pazarı.

https://www.autoneum.com/wp-content/uploads/2017/09/Alpha_Cabin_Flyer.pdf, Erişim Tarihi: 07.12.2022. KONU: Alfa kabin.

<https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/dokuman/tr33-bolgesi-teknik-tekstil-uretim-yol-haritasi/2171>. Erişim Tarihi:03.01.2023. KONU: Teknik tekstil pazarı.

<https://www.lbtechreviews.com/test/auto/audi-e-tron-with-bang-olufsen-premium-sound-system>. Erişim Tarihi: 15.12.2022. KONU: Akustik yalıtım.

<http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html>, Erişim Tarihi: 23.11.2022. KONU: Ses kavramları.

<https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics>, Erişim Tarihi: 26.12.2022. KONU: Araç üretim bilgileri.

<https://www.proplan.com.tr/Uzmanliklar/muhendislik-uygulamalari/akustik-uygulamalari/akustik-malzeme-testleri>. Erişim Tarihi: 08.01.2023. KONU: Empedans tüp örnekleri.

<https://www.sunkist-machinery.com/aboutus/news/polyurethane-foam-plant-planning-the-most-important-dimension>. Erişim Tarihi: 08.01.2023. KONU: PU üretim hattı.

Jiao, L., Xiao, H., Wang, Q., & Sun, J. (2013). Thermal degradation characteristics of rigid polyurethane foam and the volatile products analysis with TG-FTIR-MS. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2687-2696.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.032>.

Kantarcioğlu, M. (2017). Dekstrin temelli polimerlerin sentezi, yüzey modifikasyonu ve biyomedikal uygulamaları (Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Karahan, M., (2015). Taşıt tekstilleri (mobiltech). Teknik tekstil 2015 Frankfurt fuarı butekom teknolojik değerlendirme raporu (s. 80-94), Bursa: Dekupe Yayıncılık.

Kaya, T. (2017). Poliüretan ve nanoboyutlu silika partikülleri kullanılarak süperhidrofobik yüzey eldesi ve karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze).

Kaya, A. İ., & Dalgı, T. (2017). Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı 1*, 25-37.

Kundt, A. (1868). III. Acoustic experiments. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 35(234), 41-48.

Liu, H. D., Liu, Z. Y., Yang, M. B., & He, Q. (2013). Surperhydrophobic polyurethane foam modified by graphene oxide. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(5), 3530-3536. <https://doi.org/10.1002/app.39406>.

Liu, P., Chen, W., Bai, S., Liu, Y., & Wang, Q. (2018). Fabrication of an ultralight flame-induced high conductivity hybrid sponge based on poly (vinyl alcohol)/silver nitrate composite. *Materials & Design*, 139, 96-103.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.10.075>.

Mukhopadhyay, S. K., & Partridge, J. F. (1999). Automotive textiles. *Textile Progress*, 29(1-2), 1-125. <https://doi.org/10.1080/00405169908688876>.

Navidfar, A., & Trabzon, L. (2019). Graphene type dependence of carbon nanotubes/graphene nanoplatelets polyurethane hybrid nanocomposites: Micromechanical modeling and mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*, 176, 107337. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107337>.

Otaru, A. J. (2019). Enhancing the sound absorption performance of porous metals using tomography images. *Applied Acoustics*, 143, 183-189.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.09.007>.

Pişkin, E. (1999). *Polimerler II, mühendislik polimerleri*. İstanbul: Pagev Yayınları.

Saçak, M. (1998). Polimer kimyası giriş. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, (50).

Sharmin, E., & Zafar, F. (2012). Polyurethane: an introduction. polyurethane, 3-16. <https://doi.org/10.5772/51663>.

Schmidt, A. C., Jensen, A. A., Clausen, A. U., Kamstrup, O., & Postlethwaite, D. (2004). A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(1), 53-66.

Strankowski, M. (2018). Effect of variation of hard segment content and graphene-based nanofiller concentration on morphological, thermal, and mechanical properties of polyurethane nanocomposites. *International Journal of Polymer Science*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1090753>.

Sung, G., Kim, J. S., & Kim, J. H. (2018). Sound absorption behavior of flexible polyurethane foams including high molecular-weight copolymer polyol. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(2), 852-859. <https://doi.org/10.1002/pat.4195>.

Tiuc, A. E., Vermeşan, H., Gabor, T., & Vasile, O. (2016). Improved sound absorption properties of polyurethane foam mixed with textile waste. *Energy Procedia*, 85, 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.245>.

Thirumal, M., Khastgir, D., Singha, N. K., Manjunath, B. S., & Naik, Y. P. (2008). Effect of expandable graphite on the properties of intumescent flame-retardant polyurethane foam. *Journal of Applied Polymer Science*, 110(5), 2586-2594. <https://doi.org/10.1002/app.28763>.

Tosun, M., Ağırman, A., & Ayhaner M. (2019). Elektrikli araçlarda müşteri beklentilerini karşılamaya yönelik geliştirilen NVH teknoloji trendleri, *Mühendis ve Makina*, Ocak:25, 50-55.

Verdejo, R., Stämpfli, R., Alvarez-Lainez, M., Mourad, S., Rodriguez-Perez, M. A., Brühwiler, P. A., & Shaffer, M. (2009). Enhanced acoustic damping in flexible polyurethane foams filled with carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 69(10), 1564-1569. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.07.003>.

Wahlberg, M., & Larsen, O. N. (2017). Propagation of sound. comparative bioacoustics: an overview, 61-120.

Wang, Y., Liu, Z., Wu, H., Zhang, C., Yu, H., Ren, L., & Ichchou, M. (2018, May). Influences of the ratio of polyol and MDI on the acoustic parameters of polyurethane. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 362, No. 1, p. 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/362/1/012016>.

Wolschendorf, J., Rzemien, K., & Gian, D. J. (2010). Development of electric and range-extended electric vehicles through collaboration partnerships. In Proceedings of the 2010 SAE World Congress. Detroit, USA (pp. 2010-01).
<https://doi.org/10.4271/2010-01-2344>, 2010.

Xu, H., Li, Y., Huang, N. J., Yu, Z. R., Wang, P. H., Zhang, Z. H., & Tang, L. C. (2019). Temperature-triggered sensitive resistance transition of graphene oxide wide-ribbons wrapped sponge for fire ultrafast detecting and early warning. *Journal of Hazardous Materials*, 363, 286-294. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.082>.

Yu, Z. R., Li, S. N., Zang, J., Zhang, M., Gong, L. X., Song, P., ... & Tang, L. C. (2019). Enhanced mechanical property and flame resistance of graphene oxide nanocomposite paper modified with functionalized silica nanoparticles. *Composites Part B: Engineering*, 177, 107347. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107347>.

Yücedağ, F. (2006). Anti-bakteriyel poliüretan film üretimi ve karakterizasyonu (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).

Zent, A., & Long, J. T. (2007). Automotive sound absorbing material survey results. *SAE Int*, 25, 1-7. <https://doi.org/10.4271/2007-01-2186>.

Zhou, H., Li, B., & Huang, G. (2006). Sound absorption characteristics of polymer microparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(4), 2675-2679.
<https://doi.org/10.1002/app.23911>.