

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KARBON ESASLI POLİPROPİLEN NANOKOMPOZİTLERİN
TİTREŞİMSSEL SÖNÜMLEME DAVRANIŞLARI**

Özge KAYA

**Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Dinçer BURAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



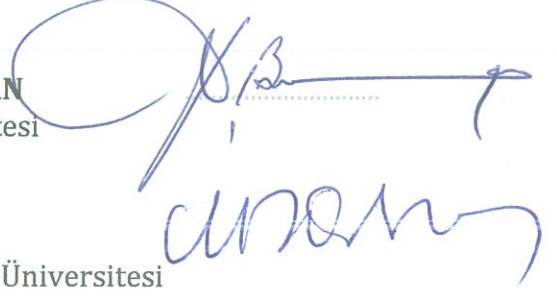
© 2019 [Özge KAYA]

TEZ ONAYI

Özge KAYA tarafından hazırlanan " Farklı Karbon esaslı Polipropilen Nanokompozitlerin Titreşimsel Sönümleme Davranışları " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Dinçer BURAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç.Dr.Murat KORU
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr.Öğr.Üyesi Necati ULUSOY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç.Dr.Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Özge KAYA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. KOMPOZİT MALZEMELER	10
3.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	12
3.1.1 Termoset polimerler.....	14
3.1.2. Termoplastik polimerler	14
3.1.3. Elastomer polimerler	17
3.2. Takviye Malzemeleri.....	17
3.2.1. Grafit	18
3.2.2. Grafen	19
3.2.3. Karbon Nanotüp	20
3.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	22
3.1.1. Açık kalıplama yöntemi	22
3.1.1.1. El yatırma yöntemi	22
3.1.1.2. Püskürtme yöntemi.....	23
3.1.1.3. Elyaf sarma yöntemi.....	23
3.1.1.4. Vakumla kalıplama yöntemi	23
3.1.1.5. Otoklav yöntemi.....	24
3.1.2. Kapalı Kalıplama Yöntemi	24
3.1.2.1. Reçine transfer yöntemi (RTM)	24
3.1.2.2. Pultrüzyon yöntemi.....	25
3.1.2.3. Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi	25
3.1.2.4. Hazır kalıplama yöntemleri (SMC/BMC)	25
3.1.2.5. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi	26
3.1.2.6. Savurma kalıplama yöntemi	27
4. MATERYAL VE YÖNTEM	28
4.1. Materyal.....	28
4.2. Metod.....	29
4.2.1. Öğütme.....	29
4.2.2. Ekstrüzyon.....	29
4.2.3. Plastik enjeksiyon	30
4.2.4. Sıcak presleme	32
4.3. Karakterizasyon İşlemleri	32
4.3.1. Titreşim sönümleme testi.....	32
4.3.2. Dinamik mekanik analiz.....	36
4.3.3. Akustik ölçüm testi.....	41
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	45
5.1. Yoğunluk ve Porozite.....	45
5.2. Titreşim Sönümleme Testi	48

5.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA).....	51
5.4. Akustik Ölçüm Testi.....	54
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI KARBON ESASLI POLİPROPİLEN NANOKOMPOZİTLERİN TİTREŞİMSSEL SÖNÜMLEME DAVRANIŞLARI

Özge KAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Dinçer BURAN

Bu çalışmada, karbon esaslı polipropilen (PP) kompozitlerin titreşim sönümleyici bileşen olarak otomotiv sektöründe kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu sebep ile, farklı karbon bileşiklerine sahip (% 1 ve % 0,1 grafit, %0,01 grafen ve % 0,1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT)) polipropilen (PP) kompozitlerin darbe sönümleme, dinamik mekanik analizleri ve akustik ölçüm testleri yapılarak saf PP'e göre karşılaştırılmıştır.

Polipropilen, içerisine katılan katkı maddeleri ile birlikte bilyalı öğütücüde 35 MFI'de öğütülmüş ve ekstrüzyon işlemiyle granül haline getirilmiştir. Elde edilen beş farklı granül kullanılarak plastik enjeksiyon ve sıcak presleme yoluyla yapılacak test standartlarına uygun deney numuneleri basılmış ve bu numuneler darbe sönümleme, dinamik mekanik analiz (DMA) ve akustik testlere tabi tutulmuştur. Hazırlanan kompozitlerin darbe sönümleme oranları, kuvvet iletebilirlikleri, depolama, kayıp modülleri, camı geçiş sıcaklığı, ses iletim ve ses yutma katsayıları hesaplanmıştır. Üretilen test numunelerin teorik yoğunlukları ile ölçülen yoğunlukları kıyaslandığında görülen yoğunluktaki azalma hazırlanan kompozitlerin içerisinde gözenek yapının varlığını ortaya koymuştur. Farklı gözenek yüzdelerine sahip kompozitlerin darbe sönümleme ve akustik ölçümlere olan etkisi de ayrıca incelenmiştir.

Yapılan analizler neticesinde, % 0,01 grafen katkılı numunenin diğer numunelere göre en iyi darbe sönümleme özelliğine sahip olduğu gözlenmiştir. % 0,01 Grafen katkısının saf polipropilene göre, kompozitin depolama ve kayıp modüllerini yükseltirken, camı geçiş sıcaklığını düşürdüğü böylelikle işletim parametrelerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca % 0,1 MWCNT katkısının ses iletim kaybını yükseltmesine karşılık % 0,01 grafen katkısının ses iletim kaybını düşürdüğü tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafen katkılı PP kompozitin alternatif bir titreşim sönümleyici bileşen olarak kullanılmasının yanı sıra MWCNT katkılı PP kompozitlerin yapısal farklılığı, düşük gözeneklilik ve PP kompozit içerisindeki katkı miktarı nedeni ile alternatif bir ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Grafen, grafit, çok duvarlı karbon nanotüp, titreşim sönümlleme, dinamik mekanik analiz, ses iletim kaybı, ses yutma katsayısı.

2019, 68 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

VIBRATIONAL DAMPING BEHAVIORS OF VARIOUS CARBON BASED POLYPROPYLENE NANOCOMPOSITES

Özge KAYA

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Dinçer BURAN

In this study, usability of carbon added polypropylene (PP) composites as a vibration damping component in the automotive sector was investigated. For this reason, vibration damping, dynamic mechanical analysis and acoustic performance of PP composites including carbon compounds such 1% and 0.1% graphite, 0.01% graphene and 0.1% multi-walled carbon nanotube (MWCNT) added samples were performed and compared each together against pure PP composite.

Carbon added PP was milled in ball mills at 35 MFI and mixed with selected carbon additives after that granulated by extrusion process, respectively. By using five different components as granules, test samples were formed according to the corresponding test standards. For instance, plastic injected samples are for impact damping, dynamic mechanical analysis (DMA) while hot pressed samples are for acoustic test purpose. Impact damping ratio, force transmissibility, storage-loss modules, glass transition temperature, sound transmission loss and sound absorption coefficients of the prepared composites were calculated. Once the theoretical density of the test specimens was compared with the measured density, the decrease in the density observed revealed that of the pore structure in the as-prepared composites. The effects of composites with different pore percentages on impact damping and acoustic measurements were also investigated.

As a result of analyzes, it was clearly observed that the 0.01% graphene added composites had the best impact damping properties compared to the others. It was concluded that the 0.01% graphene additive improves the operating parameters of the composite when increasing the storage and loss modules of the composite while decreasing the glass transition temperature. In addition, it was determined the graphene added PP composites decreased the sound transmission loss while the 0.1% MWCNT added PP composites increase of sound transmission loss. The results show that the graphene added PP composites can be used as an alternative vibration damping component as well as MWCNT added PP composites can be used as an alternative sound insulating material due to its morphology differences, low porosity and amount added into the PP composite.

Keywords: Graphene, graphite, multi walled carbon nanotube, vibration damping, dynamic mechanical analysis, sound transmission loss, sound absorption coefficients.

2019, 68 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, deneyimleri ve bilgisi ile karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr.Öğr.Üyesi Dinçer BURAN'a, tezi tamamlamamda yardımcı olan ve her aşamasında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı Arş. Gör. Dr. Mehmet Fahri SARAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın titreşim sönümleme testinde hertürlü destek ve yardımı sağlayan Arş.Gör.Abdullah Çakan (Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve Arş.Gör. Erdi Gülbahçe'ye (KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkürü borç bilirim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Özge KAYA
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. (a) Karbon fiber destekli polimer kompozit malzeme (CFRP), (b) %0.5 karbon nanotüp ve (c) %1 karbon içeren kompozitlerin titreşim genliği zaman grafikleri.....	4
Şekil 2.2. (a) Güçlendirilmiş NR/EPDM , (b) % 5 fonksiyonelleştirilmiş grafennanolevhalar (GNP) , (c) % 1 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevhalar (GNP) ,(d) % 5 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevhalar (GNP) (e) % 3 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevha kompozitlerinin titreşim genliği zaman grafikleri	5
Şekil 3.1. Polimer matrisli kompozitlerde tekrarlayan ünite ve zincir yapıları a) Polietilen (PE) b) Polivinil klorür (PVC) c) Polipropilen (PP) ...	12
Şekil 3.2. Polimer matrisli kompozitlerde zincir biçimlerinin gösterimi a) Doğrusal b) Dallanmış c) Çapraz bağlı d) Ağ yapısı	13
Şekil 3.3. Grafitin kimyasal yapısı.....	18
Şekil 3.4. Grafenin gösterimi	19
Şekil 3.5. Grafen levhadan oluşan karbon nanotüp gösterimi	20
Şekil 3.6. El yatırma yöntemi.....	22
Şekil 3.7. Vakumla kalıplama yöntemi.....	24
Şekil 3.8. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi	26
Şekil 4.1. Çift vidalı ekstruderde granül haline getirme işleminin şematik olarak gösterilmesi.....	30
Şekil 4.2. Granül haldeki 5 farklı bileşene sahip numuneler.....	30
Şekil 4.3. Boy 22A model plastik enjeksiyon cihazı.....	31
Şekil 4.4. Plastik enjeksiyondan çıkan numune	31
Şekil 4.5. Akustik performans testi için su jeti ile kesilmiş numune örneği .	32
Şekil 4.6. Titreşim sönümlleme testi deney düzeneği	34
Şekil 4.7. Logaritmik dekremantasyon yöntemi ile titreşim cevabı eğrisi.....	35
Şekil 4.8. Perkin Elmer DMA 8000 dinamik mekanik analiz test cihazı.....	37
Şekil 4.9. Sabit yük altında sinüzoidal salınım	38
Şekil 4.10. Viskoelastik bir malzemenin sıcaklık ile değişimi	40
Şekil 4.11. Akustik performans testi deney düzeneği	42
Şekil 4.12. Ses yutma katsayısı prensibinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.13. Ses iletim kaybı testine ait şematik gösterim	44
Şekil 5.1. Teorik v_w ölçülen yoğunluğun karşılaştırılması	45
Şekil 5.2. Katı malzeme konsantrasyonu-porozite grafiği	49
Şekil 5.3. Yer değiştirme-zaman grafikleri (a) Saf polipropilen, (b) PP + %0.1 gr MWCNT, (c) PP + %0,1 Grafit, (d) PP + %1 Grafit, (e) PP + %0,01 Grafit	49
Şekil 5.4. Sönümlleme oranlarının karşılaştırılması	45
Şekil 5.5. Titreşim kuvveti ile iletilebilirlik-frekans grafiği.....	50
Şekil 5.6. Depolama modülünün sıcaklığa bağlı değişimi	51
Şekil 5.7. Kayıp modülünün sıcaklığa bağlı değişimi	52
Şekil 5.8. $\tan \delta$ 'nın sıcaklığa bağlı değişimi	53
Şekil 5.9. Düşük frekansta ses iletim kaybı frekans ilişkisi.....	55
Şekil 5.10. Düşük frekansta saf PP'e göre ses iletim kaybı yüzdesel değişimi	56
Şekil 5.11. Yüksek frekansta ses iletim kaybı frekans ilişkisi.....	57

Şekil 5.12. Düşük frekansta saf PP'e göre ses iletim kaybı yüzdesel değişimi	58
Şekil 5.13. Yüksek frekansta ses iletim kaybı frekans ilişkisi.....	58



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Tamponlarda kullanılan çelik ve polimer esaslı kompozit malzeme özellikleri.....	8
Çizelge 3.1. Araçların Plastik Parçalar Üretiminde Kullanılan Başlıca Plastik Hammadde Türleri	11
Çizelge 3.2. Otomotiv plastik parça üretiminde kullanılan plastik hammadde oranı (%)	16
Çizelge 4.1. Numunelerin bileşim oranları ve bazı mekanik özellikleri	28
Çizelge 4.2. Kompozit bileşenlerinin teorik yoğunlukları	28
Çizelge 5.1. Titreşim sönümlleme testi sonucu elde edilen değerler	48
Çizelge 5.2. Karbon esaslı polipropilen kompozitlerin dinamik mekanik özellikleri	54
Çizelge 5.3. Numunelerin belirli frekanslardaki ses yutma katsayıları.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Akrilonitril bütadien stiren
ASA	Akronitril sitren akrilat
CFRP	Karbon fiber destekli polimer
DMA	Dinamik mekanik analiz
DMTA	Dinamik mekanik termal analiz
E_1	Depolama modülü
E_2	Kayıp modülü
F_0	Titreşim cevabının genliği (nakledilen)
F_t	Titreşim girişinin genliği
GNP	Grafen nano levha
n	Döngü sayısı
PA	Polyamid
PBT	Polivinil bütrat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen teraftalat
PMMA	Polimetil metakrilat
POM	Polioksimetilen
PP	Polipropilen
PUR	Poliüretan
PVC	Polivinil klorid
RTM	Reçine transfer yöntemi
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
TR	Kuvvet iletilebilirlik
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
ζ	Sönümlleme oranı
δ	Logaritmik azalma
w	Frekans
w_n	Doğal frekans
x	Yer değiştirme

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızlı gelişmesine paralel otomotiv sektöründe yaşanan yenilikler gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu ilgi daha yüksek performans, yüksek güvenilirlik, yakıt tasarrufu, düşük CO₂ salınımı vb gibi talepleri de beraberinde getirmektedir. Bir otomobilden istenen diğer bir öncelik ise konfordur. Konforu kötüleştiren ise taşıt üzerindeki farklı kaynaklar tarafından uyarılan titreşimler ve titreşim kaynaklı gürültüdür. Taşıt üzerinde hissedilen titreşimlerin temel kaynakları, taşıt motoru, aktarma organları, aerodinamik kuvvetler, tekerlek ve bağlı olduğu grubun statik dengesizlikleri ve en önemlisi de tekerleklerin düzensiz (bozuk, engebeli) yol yüzeyi ile olan etkileşimleridir. Gövdeye yansıyan titreşimlerin bastırılması, hem kullanıcı ve yolcuların sağlık ve güvenliklerini hem de yük ve taşıtın yapısını korumak için zorunludur. Taşıtlarda titreşim hareketlerini bastırmak amacıyla süspansiyon sistemleri kullanılsa da bu sistemler tek başına titreşimleri sönümleme konusunda yeterli değildir.

Titreşim sönümleme özelliğinin geliştirilmesi, araçlarda çarpışma esnasında yaşanabilecek olası tampon bölgelerindeki hasarların minimize edilmesi, çarpma enerjisinin sönümlenerek diğer gövde elemanlarına aktarılması, motordan, yoldan ya da aerodinamik kaynaklı titreşimlerin diğer gövde elemanlarına zarar vermeyecek ve kabin içerisindeki yolcuları rahatsız etmeyecek düzeye sönümlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle otomobil parçalarında titreşim sönümleme üzerine üretilen parçalarda ciddi anlamda araştırmalar yapıldığı da bilinmektedir. Bu parçalar genel olarak kompozit malzemelerden üretiliyor olup farklı metal, seramik veya polimer esaslı takviye edici malzemeler ile geliştirilmesi yapılmaktadır. Taşıt üzerinde polipropilen (PP) kompozit malzemeden üretilmiş pek çok parça hafiflik, korozyona karşı koruma, kolay şekillendirilebilme, dayanım v.b. özelliklerinin yanı sıra titreşim ve gürültü sönümleme amaçlı da kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzemeler matris elemanına göre 3 gruptan (metal, seramik ve polimer güçlendirici kompozitler) oluşur. Kompozit malzemelerin %90 a yakın kısmını polimer esaslı kompozitler oluşturmaktadır. Polimer kompozit

malzemelerin takviye elemanları genellikle farklı yapılarda şekil ve biçimleri bulunan fiber veya partiküllerdir. Günümüzde yaygın olarak nano-ölçekte veya karbon türevi takviye elemanları kullanılmaktadır. Polimer esaslı nanokompozitler de adı verilen bu tür malzemelerde matris ve takviye elemanı arası yüzey teması, nano boyutlu dolgunun sahip olduğu mekanik yük, elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve korozyon direnci gibi özellikler için önem arz etmektedir.

Çalışmada kullanılacak karbon esaslı PP kompozit malzemeler beş farklı grup halinde sınıflandırılmıştır; saf PP, %0.1 çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli PP, %0.01 grafen takviyeli PP ve %0.1 ile %1 oranlarında grafit takviyeli PP şeklindedir.

Karbon esaslı olarak belirlenen üç farklı karbon yapısı aslında birbirlerine farklı şekillerde bağlanmaları sonucu özellikleri birbirinden tamamen farklı yapılar gösterirler. Grafit yapı altıgen karbon atom halkalarından oluşmuş tabakalı bir yapı iken grafen tek bir karbon atomu kalınlığındaki grafit katmanlarına denilmektedir. Karbon atomlarının birbirlerine altıgen oluşturacak şekilde bağlı olduğu grafen katlandığında ise karbon nanotüplere dönüşür. Bu üç farklı yapı tamamen grafitin fiziksel ve kimyasal işlemler sonunda grafene ve karbon nanotüpe dönüştürülmesi ile elde edilir. Aynı yüzey alanına sahip farklı moleküler yapıları karbonlar ile farklı konsantrasyonlara sahip grafit yapıların titreşim sönümlemeye olan etkisi de incelenecektir.

Titreşim sönümleme karakterlerini belirlemek için, yapıya uygulanan kuvvet sonucunda malzemenin uygulanan bu kuvvet altında nasıl hareket ettiği incelenerek, modal analiz yöntemi ile sönümleme oranı ve doğal frekans değerleri bulunur.

Malzemenin deformasyon altında depolayabildiği ve harcadığı mekanik enerji Dinamik Mekanik Analiz (DMA) yöntemi ile ölçülmektedir. DMA ile malzeme, sabit kuvvet kontrolünde, salınımlı deformasyona maruz bırakılır ve oluşan

gerilmeler ölçülür. Bu analiz sonucunda 1 Hz frekanstaki tan delta'nın, depolama modülünün (E_1) ve kayıp modülünün (E_2) sıcaklıkla değişim grafikleri verilir.

Araç içlerinde oluşan sesler frekansları açısından 2 ye ayrılabilir. Bunlar düşük ve orta frekanstaki seslerdir. Düşük frekanstaki sesler 1-20 Hz arasında taşıtın aerodinamik yapısı ve bazı mekanik aksamalardan kaynaklanan seslerdir. Orta frekanstaki sesler ise 125 Hz ile 2000 Hz arasında değişmektedir. Bu sesler yol ile tekerlek arasındaki sürtünmeden kaynaklı ortaya çıkan seslerdir (Yıldırım vd., 2015).

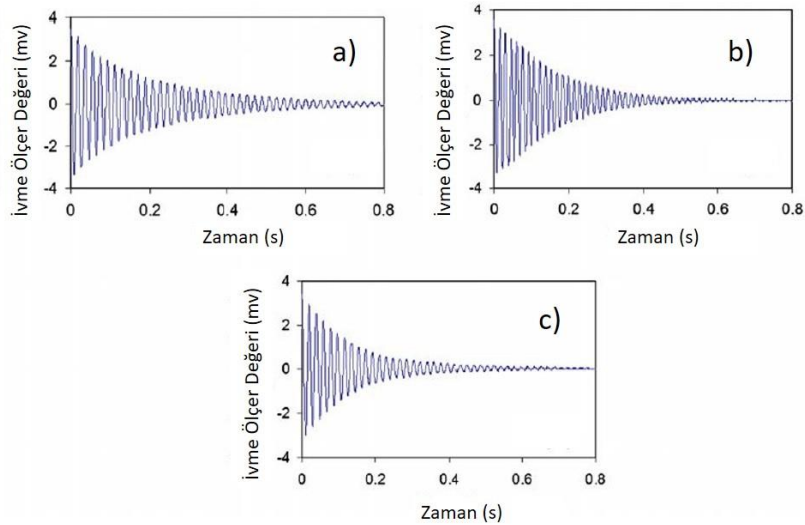
Titreşim kaynaklı gürültü faktörünü en aza indirmek adına akustik ölçümler yapılmaktadır. Yapılan bu ölçümlerde malzemelere ait ses iletim kaybı ve ses yutma katsayıları belirlenmektedir. Elde edilen bu değerlerden, malzemeye gelen ses dalgalarının ne kadarını karşı tarafa geçirip ve ne kadarını yutup geriye yansıttığı tespit edilir.

Bu tez çalışmasında, taşıtlardan ortaya çıkan titreşim kaynaklı gürültü ve titreşimleri minimum düzeye indirgeyebilmek amacıyla, karbon takviyeli polipropilen kompozitlerin hafifliklerinin yanısıra titreşim sönümleyici bileşen olarak da otomotiv veya ulaşım sektöründeki diğer taşıtlarda kullanılabilirliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Farklı karbon takviyeli PP kompozitlerin titreşimsel özellikleri incelenerek, bünyesinde takviye elemanı bulunmayan saf PP'nin titreşimsel davranışları ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Khan vd (2011), yaptıkları çalışmada, çok duvarlı karbon nanotüp içerikli karbon fiber destekli kompozit malzemelerin (CFRP) titreşim sönümleme davranışlarını incelemişlerdir. Malzemelere hem serbest hem de zorlanmış titreşim testleri uygulanarak sönümleme oranları ve doğal frekans açısından karakterize edilmiştir. Serbest titreşim testinde karbon nanotüp içeriğinin artması ile sönüm oranının arttığı görülmüştür.

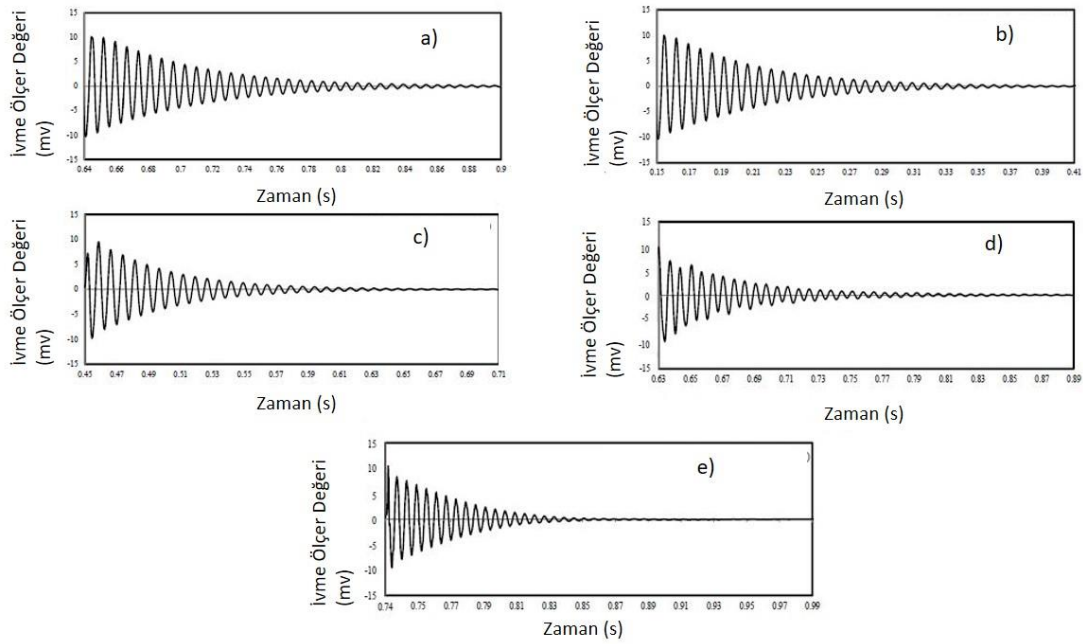
Şekil 2.1’de verilen grafiklerde, karbon nanotüplerin eklenmesiyle numunelerin sönümleme kapasitelerinin önemli ölçüde iyileştiği titreşim genliklerinin gittikçe daha hızlı bir şekilde azalmasından anlaşılabilmektedir. Bu çalışmada yazarlar, zorlanmış titreşim testi ile karbon nanotüplerin sönüm oranını iyileştirme üzerindeki etkisini doğrulamışlardır. Dinamik mekanik analiz yöntemi ile elde ettikleri sonuçlar da bu sonuçları desteklemiştir.



Şekil 2.1. (a) Karbon fiber destekli polimer kompozit malzeme (CFRP), (b) %0.5 karbon nanotüp ve (c) %1 karbon içeren kompozitlerin titreşim genliği zaman grafikleri (Khan vd, 2011)

Mohamad vd. (2017) ise çalışmalarında grafen nanolevhaların (GNP) güçlendirilmiş doğal kauçuk/etilen-propilen-dien (NR/EPDM), nanokompozitlerinin titreşimsel sönümleme davranışlarını incelemişlerdir.

(Şekil 2.2). Grafen nanolevhaların eklenmesinin, nanokompozitlerin sönüm oranı değerlerini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermektedir.



Şekil 2.2. (a) Güçlendirilmiş NR/EPDM , (b) % 5 fonksiyonelleştirilmiş grafennanolevhalar (GNP), (c) % 1 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevhalar (GNP), (d) % 5 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevhalar (GNP), (e) % 3 fonksiyonelleştirilmemiş grafen nanolevha kompozitlerinin titreşim genliği zaman grafikleri (Mohamad vd, 2017)

% 5 ve %3 grafen nanolevhalar (GNP) içeren (d ve e) fonksiyonelleştirilmemiş numuneler için titreşim genliğinin, kitosan fonksiyonelleştirilmiş numuneye (b) ve grafen nanolevha içeren numuneye göre (a) çok daha hızlı bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. 0.1 saniye sonra, d ve e örneklerinin genlikleri sırasıyla % 14.3 ve % 28.3 oranında azalmıştır. Log azaltma testi, sönüm oranının, GNP mevcudiyeti ile önemli ölçüde düzeldiğini ve artışın, ağırlıkça % 3 oranında fonksiyonel olmayan grafen nanolevhalar (e) içererek en yüksek olduğunu doğrulamıştır. Bu bulgular DMA ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizi ile termal ve morfolojik çalışmalar ile desteklenmiştir.

Yetkin vd. (2017), çalışmalarında polipropilen kompozitlere grafen oksit eklendiği zaman kompozit üzerindeki mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. %0.05 ile %0.5 aralığında 4 farklı oranda grafen oksit ile

takviyelendirilmiş PP polimer granüllerinin hazırlanmasında ikiz vidalı ekstruder kullanılmıştır. Grafen oksit / PP nanokompozitlerin üretilmesi için enjeksiyon kalıplama yöntemini kullanmışlardır. Saf PP'e yapılan grafen oksit ilavesi çekme dayanımını %42 oranında, elastikiyet modülünü ise %71 oranında arttırdığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda grafen oksit kopmadaki uzamayı saf PP'ne kıyasla %341 oranında azalttığını belirtmişlerdir.

Öner vd. (2017) çalışmalarında dokuma cam kumaş ve epoksiden oluşan kompozite karbon nanotüp ilave edilerek üretilen kompozitin çeki, eğilme ve termomekanik yükleme etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Karbon nanotüpün etkisini görebilmek için hem ağırlıkça değişik oranlarda (% 0,5 % 0,75; % 1 ve % 1,25) katkılı hem de karbon nanotüp katkısız numuneler üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, karbon nanotüp katkılı numunelerin çekme ve eğilme dayanımlarının, karbon nanotüp oranı %0,75'e kadar arttıkça iyileştiği görülmüştür. Ancak katkılı numunelerin bazı oranlarında, karbon nanotüpün epoksi reçine içerisine homojen dağılmaması yani topaklanmasından dolayı, çekme ve eğilme dayanımları katkısız numunelere kıyasla azaldığını belirtmişlerdir. Ağırlıkça % 0,5 ve 0,75 karbon nanotüp içeren numuneler, sırasıyla, çekme ve eğilme testleri(dayanım ve modül) açısından en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca, dinamik mekanik analizlerde, sıcaklık artışıyla birlikte depolanan modül miktarı tüm numunelerde düşmüştür. Yine, camsı geçiş sıcaklığında en fazla artış, ağırlıkça % 0,5 karbon nanotüp içeren numunelerde elde etmişlerdir.

Wang vd. (2015) ise otomobillerdeki ön tampon sisteminde kullanılan malzeme ve malzeme kalınlığının, düşük hızlarda gerçekleşen çarpışmalardaki önemini incelemişlerdir. Sonlu elemanlar analizi ile çarpışma simülasyonu gerçekleştirmiştir. Karbon fiber kompozitin, ağırlık bakımından çeliğe göre büyük avantajlara sahip olması sebebiyle, çeliğin karbon fiber kompozit ile değiştirilebilir olduğu tespit edilmiştir. Bu avantajlar aynı zamanda yakıt verimliliğinin iyileştirilmesi ve zararlı kirleticilerin emisyonunun azaltılmasında da etkilidir. Düşük hız etkisi altında, enerjinin çoğunun tampon sistemi tarafından emildiği belirtilmiştir.

John vd. (2014) çalışmalarında, literatür çalışmalarına dayanarak araç tamponlarında kullanılan kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere kıyasla daha fazla gelecek vaat ettiğini belirtmişlerdir. Elverişli özellikleri (örneğin, yüksek spesifik gerilme ve basınç dayanımı, kontrol edilebilir elektriksel iletkenlik, düşük termal genleşme katsayısı, iyi yorulma direnci ve karmaşık şekilli malzemelerinin üretimi için uygunluk) nedeniyle, güçlendirilmiş kompozitlerin çok yaygın olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Otomobil tamponları için optimize edilmiş bir kompozit bulmak için hem statik hem de dinamik çalışma yapılması gerektiğini yazmışlardır. Dinamik çalışma, etki analizi ve modal analizi içermektedir. Genelde, yüksek sertlik, kalıplanabilirlik ve yüksek darbe direncine sahip yüksek kompozitler, tampon malzemeler için tercih edilmiştir. Taşıtların tampon tasarımında yaygın olarak cam ve karbon takviyeli kompozit malzemelerin kullanıldığını belirtmişlerdir.

Nasiruddin vd. (2017) , ise tamponu etkileyen faktörlerle ilgili yaptıkları derlemede, enine kesit, kalınlık, malzeme, şekil gibi etkenlerin enerji emilimini etkilediği belirtilmiştir ve malzemenin enerji emilimine olan etkisine odaklanılmaktadır. Literatürlerde tamponda doğal elyaf polimer esaslı kompozit malzemeler kullanılmıştır. Araştırmacılar, çelik ve alüminyum gibi konvansiyonel malzemenin yerini almak için cam elyaf ile güçlendirilmiş kompozitlerin kullanımını önermişlerdir.

Suddin vd. (2004) çalışmalarında polimerik esaslı kompozit malzemeden yapılmış tampon kaplamasını katı modelleme yazılımı ile tasarlamışlardır. Polimerik esaslı bir kompozitin, düşük ağırlık, korozyondan arındırılmış, karmaşık şekillerin üretilmesi, yüksek özgül mukavemet ve yüksek özgül sertlik gibi avantajları onu tamponun ön fasyası için uygun bir malzeme haline getirildiği belirtilmiştir.

Sapuan vd. (2002) çalışmalarında araçlarda uygun tampon tasarımı ve malzeme seçimi üzerinde tartışmışlardır. Araç tamponlarında kullanılan farklı kompozit malzemeler (cam polyester takviyeli polipropilen, poliolefin, polibütilen tereftalat, vb) üzerinde duran çalışmaları incelemişlerdir. Tablo 1’de araç

tamponlarında kullanılan çelik ve kompozit malzemelerin karşılaştırması sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Tamponlarda kullanılan çelik ve polimer esaslı kompozit malzeme özellikleri

	Polimer matrisli kompozit malzemeler		Çelik	
	Avantaj	Dezavantaj	Avantaj	Dezavantaj
1.	Yüksek üretim oranı	Yüksek prototip maliyeti	Düşük malzeme maliyeti	Korozyonu önlemek için, ekstra korozyon önleyici kaplama gereksinimi
2.	İyi boyutsal kararlılık	Yüksek teçhizat maliyeti	Kanıtlanmış teknoloji	İşleme maliyeti yüksek
3.	Yüksek mukavemet-ağırlık oranı	Düşük sertlik	Yüksek sertlik	Bileşen ağırlıkları yüksek
4.	Düşük işçilik maliyeti	Proses kontrolü zor olabilir.	Malzeme tedariki kolay	Bileşenleri birleştirmek için kaynak gerekliliği
5.	Karmaşık şekillerin düşük maliyet ile üretilebilirliği	Anizotropik özellik oluşturabilir.		Yüksek ayarlanabilirlik için zaman gerekliliği
6.	Kolay kullanım, efektif maliyet	Gelişmiş kompozitler yüksek hammadde maliyetine sahiptir.		

Yıldırım vd. (2015) çalışmalarında araçlarda akustik yalıtımın iyileştirilmesi ve daha az malzeme kullanımını hedefleyerek nonwoven kumaşların akustik

performanslarını araştırmışlardır. Çalışmada kumaş üretiminde kullanılan liflerin kesit şekillerinin, kumaş kalınlıklarının, kumaş alansal yoğunluklarının (600 gr, 800 gr ve 1200 gr) ses yutma kayıplarına etkilerini incelemişlerdir. Ses yutum katsayıları ve ses iletim kayıpları empedans tüpü kullanılarak 400 ile 5000 Hz arasında ölçülmüştür. Yapılan alışma sonucunda altıgen kesitli liflerin kullanıldığı numunelerde, ses daha fazla yüzeyle karşılaştığı için ses iletim kaybı trilobal ve yuvarlak kesitli liflere göre daha yüksek çıkmıştır. Alansal yoğunluk veya kumaş ağırlığı arttıķa birim hacimdeki lif sayısı artacağından 1200 gr ağırlığındaki kumaşın ses iletim kaybı ve ses yutma katsayısı değeri diğerlerine göre yüksek çıkmıştır.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit takviye, matris ve katkı maddeleri olmak üzere iki veya daha fazla bileşenden oluşan, birbirisi içerisinde çözünmeyen yapı malzemelerine denir. Matris fazı sürekli ve takviye malzemelerini birarada tutar. Takviye fazı ise lif, elyaf, partikül veya pul formunda bulunabilir. İki veya daha fazla bileşenlerin birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit malzemelerin özellikleri kendini oluşturan bileşenlerin özelliklerinden daha iyidir (Kaw,2006).

Bir kompozit içerisindeki takviye fazının temel görevleri aşağıda verilmiştir.

1. Kompozit malzeme üzerine uygulanan kuvvetin yaklaşık %70-90'ını taşır.
2. Sertliği, mukavemet ve termal stabiliteyi sağlar.
3. Kullanılan takviyenin yapısına bağlı olarak elektrik iletkenliğini veya yalıtımı sağlar (Mazumdar,2002).

Kompoziti oluşturan diğer bir bileşen matris fazı kompozit içerisinde önemli bir yere sahiptir. Matris fazının işlevleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Matris malzemesi takviye elyaf veya lifleri birbirine bağlar yükü takviye elemanlarına dağıtır.
2. Takviye elemanlarını birarada tutar ve tek başına hareket etmesini engeller.
3. İyi bir yüzey kalitesi sağlar.
4. Matris, aşınma gibi mekanik hasarlara ve çeşitli kimyasal etkilere karşı fiberlere koruma sağlar.
5. Seçilen matris malzemesine bağlı olarak süneklik, darbe dayanımı, vb. özellikleri etkilenir. Daha sünek bir matris yapının tokluğunu arttıracaktır. Daha yüksek tokluk gereksinimleri için, termoplastik bazlı kompozitler seçilir (Mazumdar,2002).

Kompozit malzemelerin askeri alanda, uzay ve havacılık sanayisinde, otomotiv sektöründe günlük ve ticari hayatta bir çok kullanımı mevcuttur. Askeri alan da, ağır vasıtaların zırhlarında ve kişisel zırh üretiminde ve kurşun geçirmez yeleklerde kompozit kullanımı yaygındır. Otomotiv sektöründe kullanılan kompozit malzemelere otomobillerin kontrol panelleri, iç süslemeler, plastik ışıklandırmalar, tampon sistemleri, çamurluklar, frigorifik kasalarda iç ve dış kaplamalar örnek olarak verilebilir. Aşağıda Çizelge 3.1 de otomotiv sektöründe kullanılan başlıca kompozit malzemelerin taşıt içerisinde kullanıldığı yerlere göre dağılımı gösterilmiştir. Otomotiv sektöründe 10'un üzerinde değişik plastik hammadde kullanılmasına rağmen tüketilen hammaddelerin % 50'sinden fazlasını PP, PUR ve PA oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1. Araçların plastik parçalar üretiminde kullanılan başlıca plastik hammadde türleri (Pagev,2017)

Parçalar	Kullanılan Ana Plastik Maddeleri
İç Süslemeler	PP,ABS,PET,POM,PVC
Kontrol paneli	PP,ABS,PA,PC,PE
Koltuklar	PUR,PP,PVC,ABS,PA
Tamponlar	PP,ABS,PC
Kaput-altı parçalar	PP,PA,PBT
Döşemeler	PP,PVC,PUR,PE
Yakıt sistemleri	PP,PE,POM,PA
Elektrikli parçalar	PP,PE,PBT,PA,PVC
Karoser	PP,PPE,UP
Işıklıdırma	PP,PC,ABS,PMMA,UP
Dış süslemeler	PP,ABS,PA,PBE,ASA
Diğer depolar	PP,PE,PA

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca takviye (fiber) elamanları cam elyaf, bor elyaf, grafit elyaf, karbon elyaf, aramid elyaf ve alümine elyafıdır.

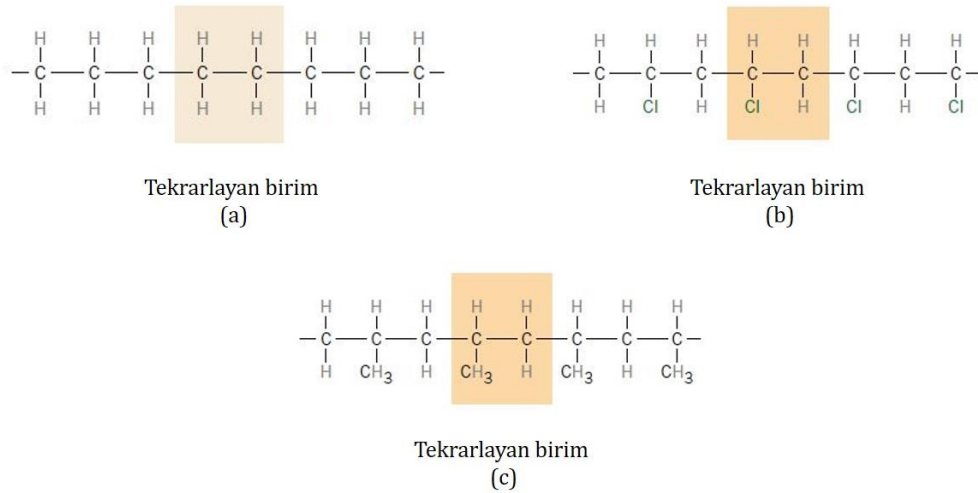
Kompozit malzemeler matris elemanına göre metal matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler ve polimer matrisli kompozitler olmak üzere 3

gruba ayrılır. Polimer matrisli kompozitlerde kendi içerisinde termosetler, termoplastikler ve elastomerler olmak üzere 3 e ayrılır.

Kompozit malzemeler arasında en yaygın gelişmiş olanı polimer matrisli kompozit malzemelerdir. En yaygın kompozit olma nedenleri arasında düşük maliyet, yüksek mukavemet ve basit üretim ilkeleri bulunur. Bu çalışmada polimer matrisli kompozit malzemelerden, farklı karbon takviyeli polipropilen kompozit malzemeler kullanılmıştır.

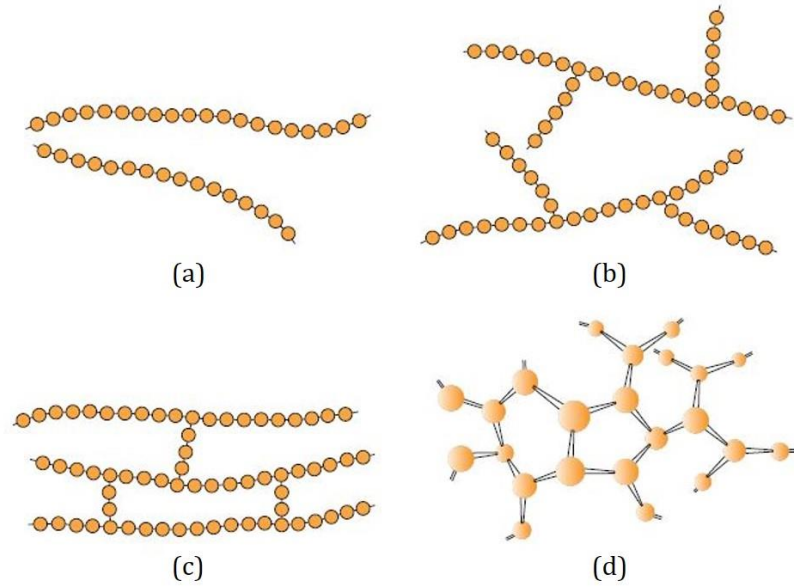
3.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer, monomer denilen küçük moleküllerin kimyasal bağ ile birbirine bağlanarak makromoleküler boyutta oluşturduğu malzemelere verilen genel addır. Polimer matrisli malzemelerde matris malzemesi olarak polimerler kullanılmaktadır. Polimer yunancada poli (çok) mer (tekrarlayan birim, meros kelimesinden gelir) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Monomerler de polimerlerin tekrarlar halinde birbirine eklenmesi ile oluşur. Şekil 3.1 de bazı polimerlerin zincir yapıları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Polimer matrisli kompozitlerde tekrarlayan ünite ve zincir yapıları a) Polietilen (PE) b) Polivinil klorür (PVC) c) Polipropilen (PP) (Callister ve Rethwish, 2009).

Bir polimerin fiziksel özellikleri sadece polimer moleküllerinin şekil ve ağırlıklarına bağlı değildir, aynı zamanda polimerlerin zincir yapısına da bağlıdır. Zincir yapıları doğrusal yapıda, dallanmış yapıda, ağ yapıda veya çapraz bağlı olabilirler. Çapraz bağ oranının sayıca çok olması ağ yapıli polimerlerin oluşumunu sağlar (Şekil 3.2). Polietilen, polivinil klorür, polistren, naylon doğrusal yapıda zincir yapısına verilebilecek örneklerdir. Kauçuk ise çapraz bağlı zincir kategorisine girer. Ağ yapıli zincir yapıları içinde epoksi ve poliüretan örnekleri verilebilir (Callister ve Rethwish, 2009).



Şekil 3.2. Polimer matrisli kompozitlerde zincir biçimlerinin gösterimi a) Doğrusal b) Dallanmış c) Çapraz bağlı d) Ağ yapılı (Callister ve Rethwish, 2009).

Bir polimerin yüksek sıcaklıklardaki mekanik kuvvetlere tepkisi moleküllerin zincir yapısı ile alakalıdır. Çapraz bağlı polimerler ısıtıldıklarında sert ve rijit halledirler ve tekrar şekillendirilip eski haline dönemezler. Doğrusal ve dallanmış yapıdaki polimerler zincirler arası bağları zayıf olduğu için ısıtıldığında zincirler kayma eğilimi gösterir ve yumuşar, soğuduğunda sertleşirler. Bu tamamen tersinir bir işlemdir. Zincir yapılarından dolayı polimer matrisli kompozitler termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere 3 gruba ayrılır (Sönmez, 2009; Callister ve Rethwish, 2009).

3.1.1 Termoset polimerler

Termoset polimerler belirli bir sıcaklığın üzerinde sertleşirler ve sertleştiğinde tekrar eritilemez veya yeniden şekillendirilemezler. Sertleşme sırasında polimerler arası çapraz bağlama adı verilen üç boyutlu moleküler zincirler oluştururlar. Bu çapraz bağlanmalar nedeniyle moleküller esnek değildir ve yeniden şekillendirilemezler. Bu bağlar polimer zincirlerin hareketlerini sınırlar. Çapraz bağlantıların sayısı arttıkça, malzeme daha sert ve rijit bir hal alacaktır. Kauçuklarda ve diğer elastomerlerde çapraz bağların yoğunlukları çok daha azdır ve bu nedenle esnektirler (Mazumdar,2002).

Termoset kompozitlerde kullanılan en yaygın reçine malzemeleri aşağıda verilmiştir.

- epoksi,
- polyester,
- vinilester,
- fenolikler,
- silikonlar,
- poliüretanlar
- siyanat esterler,
- bismaleimidler
- polimidlardır.

3.1.2. Termoplastik polimerler

Termoplastik malzemeler, genel olarak, termoset malzemelere göre daha sünek ve dayanıklıdır. Termoplastikler camsı geçiş sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, eritilebilir ve camsı geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta soğutularak katılaşabilir, bu da tekrar tekrar şekillendirme ve yeniden biçimlendirme yeteneğine sahip olduklarını gösterir. Bunun sebebi termoplastik malzemelerin polimerler arası çapraz bağlantı yapmamalarıdır. Tekrar şekillendirilebilme özelliği çevre sağlığını koruma açısından önemlidir. Düşük sertlik ve mukavemet değerleri, yapısal uygulamalar için dolguların ve takviyelerin kullanılmasını gerektirir (Mazumdar,2002).

Kompozit endüstrisinde yaygın olarak alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen , polivinil klorür kullanılan başlıca termoplastik polimerler aşağıda verilmiştir.

- Alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen
- Polipropilen
- Polivinil klorür
- Akrilonitril bütadien stiren (ABS)
- Poliasetal
- Poliamid
- Akrilik
- Polikarbonat
- Selülozikler
- Polistren
- Polimetil penten

3.1.2.1. Polipropilen

Polipropilen (PP), düşük maliyetli, düşük yoğunluklu, çok yönlü bir plastiktir. Tüm termoplastiklerin içinde en düşük yoğunluğa (0.9 g / cm^3) sahiptir ve yüksek sertlik, kimyasal direnç ve yorulma direnci sunar. Elektrik iletkenliği oldukça düşüktür. PP makine parçaları, otomobil parçaları (fanlar, pano panelleri vb.) ve diğer ev eşyaları için kullanılır ve ayrıca çeşitli takviyelerle donatılabilir. Ayrıca kalıplanabilirliğe sahip olduğundan, otomobillerde kullanılan tüm plastik malzemelerin yarısından fazlasını oluşturur (Mazumdar,2002).

2017 yılında yayınlanan Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör Raporu na göre 2010-2016 yılları arasında otomotiv sektöründe kullanılan plastik hammaddelerin toplam tüketim yüzdeleri Çizelge 3.2 de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi otomobillerde kullanılan tüm plastik malzemelerin içerisinde en fazla tercih edilen polipropilen malzemelerdir.

Çizelge 3.2. Otomotiv plastik parça üretiminde kullanılan plastik hammadde oranı (%) (Pagev,2017)

Plastik Hammadde	% Tüketim
Polipropilen	23,3
Poliüretan	17,0
Polyamid	12,3
Akrilonitril-Butadien-Stiren	7,9
Polivinil klorür	7,0
Polietilen	4,4
Polikarbonat	4,7
Polivinil butiral	2,0
Diğer mühendislik plastikleri	12,0
• Poliasetal	1,9
• PPE	3,8
• Termoplastik polyester	5,7
• Diğer mühendislik plastikleri	0,6
Diğer reçineler	9,5
• Akrilik	1,5
• Fenolik	3,1
• Doymamış polyester	3,8
• Diğerleri	1,1
Toplam plastik hammadde	100

Reçine esaslı otomotiv parçalarında, daha düşük ağırlık, daha iyi tasarım ve kalıplanabilirlik özelliği talep edilmektedir. Bu talebe karşılık olarak PP bileşiklerinin çeşitli uygulamaları geliştirilmiştir. Şimdiye kadar yapılan iyileştirmeler arasında sertlik, darbe dayanımı ve akışkanlığı arttırmaya yönelik çalışmalar yer almaktadır. İstenilen özellikleri karşılamak için polipropilenlere takviye edilen elastomer veya çeşitli inorganik dolgu maddeleri gibi katkı malzemeleri ile birleştirilmesinin yanı sıra üretim işlemlerinde de gelişmeler yapılmaktadır (Moritomi vd, 2010).

3.1.3. Elastomer polimerler

Elastomerler uygulanan kuvvet karşısında uzayan ve kuvvet kaldırıldığında tekrar eski haline dönen kauçuğumsu malzemelere denir. Eski hallerine dönme sebepleri polimerler arası düşük çapraz bağlardan kaynaklanır. Bir polimerin elastomerik olması için birkaç kritere sahip olması gerekir. Bunlar ;

1. Kolayca kristalleşmemelidir; elastomerik malzemeler amorf yapıdadır.
2. Zincir bağı rotasyonları, sarmal zincirlere uygulanan bir kuvvete kolayca yanıt vermesi için nispeten serbest olmalıdır.
3. Elastomerlerin nispeten büyük elastik deformasyonlar yaşamaması için plastik deformasyonun başlaması geciktirilmelidir. Çapraz bağlar zincirler arası hareketleri sınırlandırarak bu amaca hizmet eder. Çapraz bağlar, zincirler arasında bağlantı noktaları görevi görür ve zincir kaymasının meydana gelmesini önler.
4. Son olarak, malzemenin elastomer özellik gösterebilmesi için camsı geçiş sıcaklığının üstünde olmalıdır. Camsı geçiş sıcaklığının altında olduğu zaman malzeme kırılgan hale gelir (Callister ve Rethwish, 2009).

3.2. Takviye Malzemeleri

Polimer matrisli kompozitler metallere ve seramiklere daha kolay işlenebilir, ancak çok mukavim veya sert değildirler. Fakat polimerin mekanik özellikleri, takviye malzemeleri ile önemli ölçüde geliştirilebilir. Elde edilen takviyeli polimer matrisli kompozitler, mükemmel spesifik mekanik özelliklere sahip önemli bir yapı oluştururlar. Günümüzde takviye malzemeleri olarak çok çeşitli ürünler kullanılmaktadır. Matris malzemelerinin belli başlı kullanım şekli ve çeşitleri olsada takviye edici olarak kullanılan malzemelerde henüz arzu edilen eşik sınırına ulaşılamamıştır. Bu durum takviye malzemeleri konusunda araştırmaların devam edeceğini göstermektedir (Sönmez,2009; Wang ve Murthy, 2011).

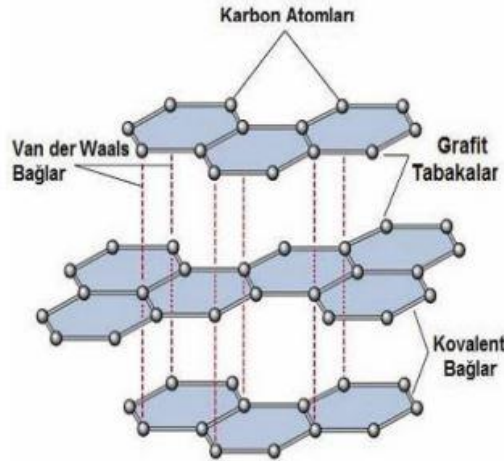
Günümüzde takviye elemanı olarak polimer kompozit malzemeler içerisinde grafit, grafen ve karbon nanotüp gibi karbon esaslı malzemeler kullanılabildiği

gibi sert seramikler olarak bilinen Al_2O_3 , SiC, B_4C vb. tozlar da kullanılmaktadır. Karbon esaslı takviye elemanlarını diğer seramik ve metal tozlarından ayıran en önemli özelliği birçok farklı fonksiyonel özellikleri aynı anda taşımasıdır. Karbon esaslı malzemelerin farklı en/boy oranı ve yüzey alanlarına sahip olması kompozitlerde elektrik, termal, mekanik, alev geciktirici özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağladığı bilinmektedir.

Bu çalışma da, karbon esaslı takviye elemanı olarak grafit, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır. Bu malzemelerin özellikleri ve günümüzde polimer kompozitler içerisindeki kullanım alanları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.2.1. Grafit

Karbon atomları farklı kristal konfigürasyonlarda düzenlenir. Bu konfigürasyonlardan birisi grafitir. En yaygın karbon şeklidir. Grafit yumuşak bir maddedir (kurşun kalemde kullanılır) ve altıgenler halinde düzenlenmiş karbon atomu tabakalarından oluşur. Altıgenleri bir arada tutan bağlar çok güçlüdür, ancak farklı düzlemlerde bulunan altıgenlerdeki karbonları bir arada tutan bağlar oldukça zayıftır, bu da grafiti yumuşak kılan sebeptir.



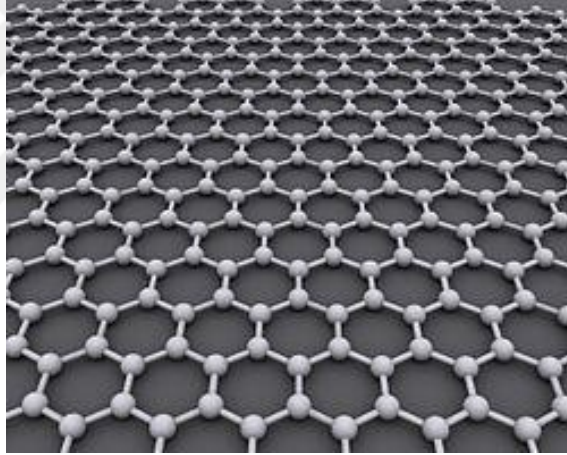
Şekil 3.3. Grafitin kimyasal yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018)

En saf grafit daha ziyade elektrik bataryalarında, kuru pillerde, çelik sanayi ve elektro metalurji sanayisinde, elektrik cihazlarındaki elektrotlarda, yumuşaklığı nedeni ile kalem yapımında ve atomik grafit olarak reaktörlerde

kullanılmaktadır. Daha düşük karbon içerikli-daha az saflıkta olan grafitler refrakter kaplamalarda ve fırınlarda refrakter macunları yapımında, kil ve kumla karıştırılmak suretiyle dökümcülükte, boyacılıkta, kayganlığı, yumuşaklığı ve makine parçaları üzerinde uzun müddet yapışabilmesi özelliği nedeni ile grafitli gres yağlarında ve daha bir çok alanda kullanılabilmektedir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

3.2.2. Grafen

Karbon atomunun allotroplarından biri olan grafitten tek tabakalı olarak bal peteği örgülü şeklinde oluşturulan yapıya grafen denilmektedir. Grafen güçlü atom bağları sebebiyle en sağlam malzemeler arasındadır. Grafene ait görüntü aşağıda Şekil 3.4 de paylaşılmıştır.



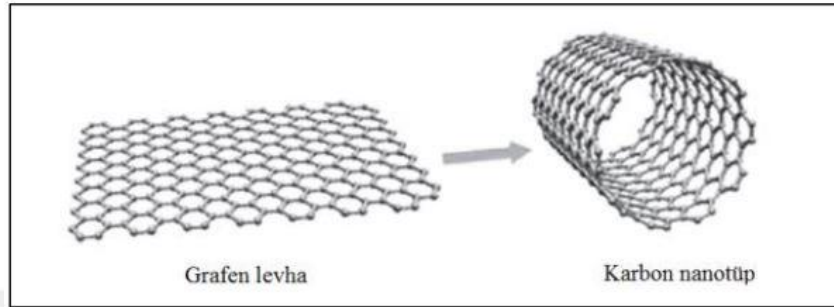
Şekil 3.4. Grafenin gösterimi (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018)

Grafen olağanüstü yüksek yüzey alanına, mekanik özelliklere, elektriksel iletkenliğe, termal iletkenliğe ve gaz bariyer performansına sahiptir. Bu da çok farklı uygulama alanlarına imkan sağlamaktadır.

Grafen gaz sensörleri, biyolojik sensörler, alan etkili transistörler, hidrojen depolama aygıtları, şeffaf dokunmatik ekranlar, ışık panelleri ve lityum iyon bataryaları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Grafen, esneklik ve iletkenlik özelliklerinden dolayı lif, iplik ve kumaş gibi esnek giyilebilir elektronik tekstil alanında da kullanılmaktadır (Tiyek vd., 2016).

3.2.3. Karbon Nanotüp

Karbon nanotüpler, tek bir grafit levha (grafen olarak bilinir) alınarak ve bir tüpe yuvarlanıp uçlarının küresel bir silindir kapağı şeklinde kapatılması ile oluşur. Şekil 3.5’de karbon nanotüplere ait görsel paylaşılmıştır.



Şekil 3.5. Grafen levhadan oluşan karbon nanotüp gösterimi (Özkan vd., 2018)

Karbon nanotüpler son derece güçlü bir yapıdır. Mikron boyutlu partiküller ve geleneksel kompozitlerde kullanılan kısa liflerin aksine, karbon nanotüpler (MWCNT) polimerlerin moleküler seviyede takviye edilmesine izin verir ve böylece mekanik özelliklerde önemli ölçüde daha fazla iyileşme sağlar. Bunun nedeni, takviyenin etkili olması için, liflerin yeterince uzun olması ve fiber ile matris arasındaki ara yüzün güçlü olması ve MWCNT’ler tarafından sağlanan özellikler olmasıdır (Williams, 2015).

Karbon nanotüplerin hafif olması, yüksek elastiklik modülüne sahip olması, ısıl iletkenliğinin yüksek olması başlıca önemli özelliklerindendir. Nanotakviyeli kompozitlerde en önemli noktalardan birisi de nano takviyesinin organik fazda iyi bir şekilde dağılmış olması yani topaklanma olmadan dağılmasıdır (Öner vd., 2017).

Nanotüpler duvar sayılarına göre tek duvarlı karbon nanotüp ve çok duvarlı karbon nanotüp olmak üzere 2 ye ayrılır. Tek duvarlı karbon nanotüpler tek bir grafen levhadan oluşurken çok duvarlı karbon nanotüpler birden fazla grafen yapısının eş merkezli olarak iç içe geçmesi ile oluşmuştur.

Polimer matrisli kompozit malzemelerde takviye elamanı olarak genelde fiber ve elyafların ilavesinin dışında nano büyüklükteki parçalar da çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilmektedirler. Parçalar nano boyutlarda olmalarından dolayı yüksek alan/hacim oranına sahiptirler. Nano boyuttaki bu parçalar ağırlığın azaltılmasına katkı sağlayarak yakıt kullanımını ve emisyon salınımını azaltmasının yanısıra üstün mekanik özelliklerinden dolayı da tercih edilebilmektedirler. Ancak bunların yüksek malzeme maliyetleri, yüksek üretim süreleri gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Polimer nanokompozitler kullanılmaya ilk olarak 1991 yılında Toyota Camry araçlarında, triger kayışı kapaklarında naylon 6/kil nano kompozit olarak başlamıştır. Daha sonralarında gösterge paneli, tampon sistemleri, hava emme manifoldu, frenler, yaprak yaylar vb. uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır (Gülmez, 2018).

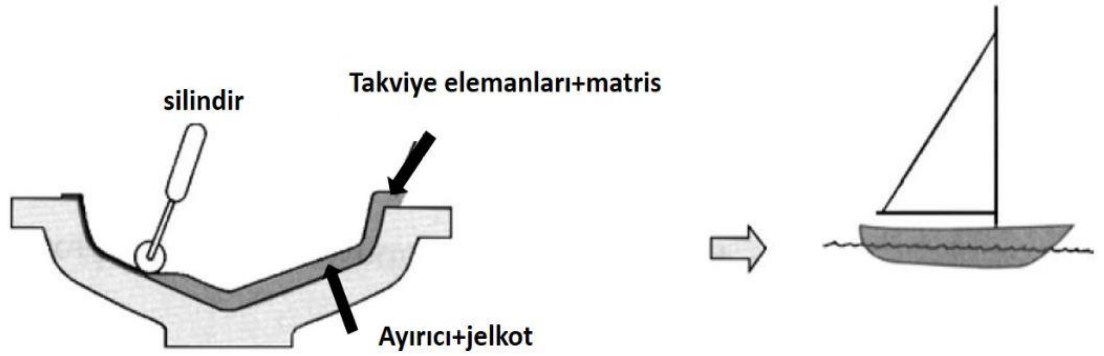
3.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Polimer matrisli kompozit üretiminde istenilen nihai sonuç için, uygun takviye malzemesi ve matrisin seçilmesi yeterli değildir. Malzeme seçiminin yanısıra üretim yöntemleri de önemli bir rol almaktadır. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi için bir çok yöntem vardır, bu yöntemler açık ve kapalı kalıplama olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır.

3.1.1. Açık kalıplama yöntemi

3.1.1.1. El yatırma yöntemi

El yatırma yöntemi termoset malzemelerin üretim yöntemlerinin başında gelir. Bu yöntemde öncelikle jelkot denilen malzeme sürülerek kalıp temizlenir daha sonra reçine emdirilmiş takviye malzemesi kalıp üzerine el ile serilir. Oluşabilecek hava kabarcıklarını engellemek için bir merdane ile takviye malzemelerinin üzerinde gezdirilerek sıkıştırılır. Bu yöntem daha çok boyut olarak büyük malzemelerin üretiminde tercih edilir. Maliyetinin düşük olması ve işlem esnasında müdahale şansının olması el yatırma yöntemini seçim yönünden avantajlı kılan özelliklerdendir. Uygulama yöntemine ait şematik olarak Şekil 3.6 da verilmiştir (Sönmez,2009 ve Gay vd., 2003).



Şekil 3.6. El yatırma yöntemi (Gay vd., 2003)

3.1.1.2. Püskürtme yöntemi

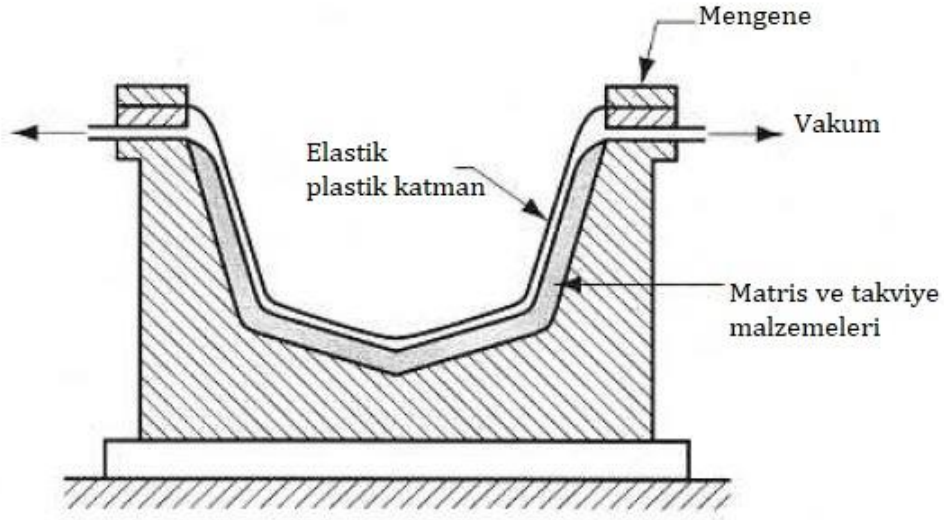
Püskürtme yöntemi el yatırma yönteminin makine ile yapılması işlemidir. Takviye elemanı ve matris bir tabanca yardımı ile püskürtülür. Takviye elemanının kırılması tabanca üzerin deki bağımsız kırıcı aracılığı ile gerçekleştirilir. Püskürtme tabancası gelen sürekli elyafları önceden belirlenmiş bir uzunluğa keser ve bunu reçine / katalizör karışımından geçirir.

3.1.1.3. Elyaf sarma yöntemi

Elyaf sargısı, reçine emdirilmiş elyaf liflerin, istenen açıda dönen bir makara üzerine sarıldığı bir işlemdir. Taşıma biriminin ve milin hareketini kontrol ederek, istenen elyaf açısı üretilir. İşlem boru şeklindeki parçaların yapılması için çok uygundur. İşlem, yüksek hacimli parçaları uygun maliyetli bir şekilde yapmak için otomatikleştirilebilir. Elyaf sarımı, basınçlı kaplar gibi bazı özel yapıların yapılmasına uygun tek imalat tekniğidir. Ayrıca araba şaftları, uçak su tankları, kayak direkleri, kürekler bu yöntemle üretilir.

3.1.1.4. Vakumla kalıplama yöntemi

Reçine emdirilmiş takviyelerin yerleştirildiği açık bir kalıp üzerine sızdırmazlık için yumuşak bir plastik levha kullanılır. Vakumla plastik parçanın altından hava çekilir. Parça daha sonra atmosferik basıncın etkisiyle sıkıştırılır ve hava kabarcıkları çıkartılır. Malzemenin tamamı bir fırın , basınç altında bir otoklavla veya ısı ile polimerize edilir. Vakumla kalıplama yöntemine ait gösterim Şekil 3.7 de gösterilmiştir (Gay vd., 2003).



Şekil 3.7. Vakumla kalıplama yöntemi (Sönmez, 2009)

3.1.1.5. Otoklav yöntemi

Otoklav kalıplama yöntemi hem vakumla kalıplamaya hemde basınçlı kalıplama yöntemine benzerdir. Bu yöntemde, kompozit parça basınç, ısı ve emiş gücü kontrol edilebilen büyükçe bir bölmeye yerleştirilir. Basınç uygulanırken aynı anda ısı tatbikiyle matrisin polimerizasyonu sağlanmış olur. Genellikle büyük boyutlu parçaların üretiminde tercih edilmektedir, maliyeti yüksek bir yöntemdir (Sönmez, 2009).

3.1.2. Kapalı Kalıplama Yöntemi

3.1.2.1. Reçine transfer yöntemi (RTM)

Reçine transfer yöntemi (RTM) bir sıvı transfer kalıplama işlemi olarak da bilinir. Her ne kadar enjeksiyonlu kalıplama ve sıkıştırma kalıplama işlemleri, yüksek hacimli üretim yöntemleri olarak popülerlik kazanmış olsa da, kullanımları çoğunlukla, kalıplama bileşiklerinin (kısa elyafli kompozitler) kullanımı nedeniyle yapısal olmayan uygulamalarla sınırlıdır. Bu kalıplama işlemlerinin aksine, RTM işlemi düşük maliyetli kalıplama kullanarak orta hacimli miktarlarda düşük maliyetli yapısal parçaların üretimini sunmaktadır. Sürekli lifler genellikle RTM işleminde kullanılır.

RTM işleminde, kalıp boşluğuna takviye malzemeleri yerleştirilir. Bu boşluğu kapatacak ikinci kalıp, birinci kalıp ile eşleştirilir ve birbirine kenetlenir. Daha sonra, enjeksiyon ile reçine kalıp içine pompalanır. Reçine daha sonra sertleşir ve parça kalıptan çıkarılır.

RTM yöntemi otomotiv, havacılık, spor malzemeleri ve tüketici ürünleri uygulamalarında kullanılır. Genellikle yapılan yapılar ise kask, kapı, hokey sopaları, bisiklet çerçeveleri, yel değirmeni bıçakları, spor araba gövdeleri, otomotiv panelleri ve uçak parçalarıdır (Mazumdar, 2002).

3.1.2.2. Pultrüzyon yöntemi

Pultrüzyon işlemi, reçine emdirilmiş elyafların istenilen parçayı yapmak için bir kalıp içinden çekildiği düşük maliyetli, yüksek hacimli bir imalat işlemidir. İşlem, metal ekstrüzyon işlemine benzer, farkı ekstrüzyon işleminde kalıptan içeri itilmek yerine, kalıp içinden çekilmesidir. Pultrüzyon, sabit kesit ve sürekli uzunluktaki parçalar oluşturur. Pultrüzyon, basit, düşük maliyetli, sürekli ve otomatik bir işlemdir. Kompozit malzeme kalıptan pişmiş veya kısmen pişmiş olarak çıkar. Pultrüzyon yöntemi, genellikle işlem sonrası ilave bir işlem gerektirmeyen bitmiş parçalar verir. Takviye yönüne dik yükleri karşılayabilmek için özel dokumalar da kullanılmaktadır (Mazumdar, 2002).

3.1.2.3. Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi

Genellikle termoplastik malzemelerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Termoplastik malzeme ısıtılarak akıcı bir kıvama getirilir. Sonrasında istenilen şekildeki kalıptan basınç ile geçirilerek biçimlendirilen bir yöntemdir. Ucuz ve sürekli bir üretim yöntemidir (Gülmez, 2018).

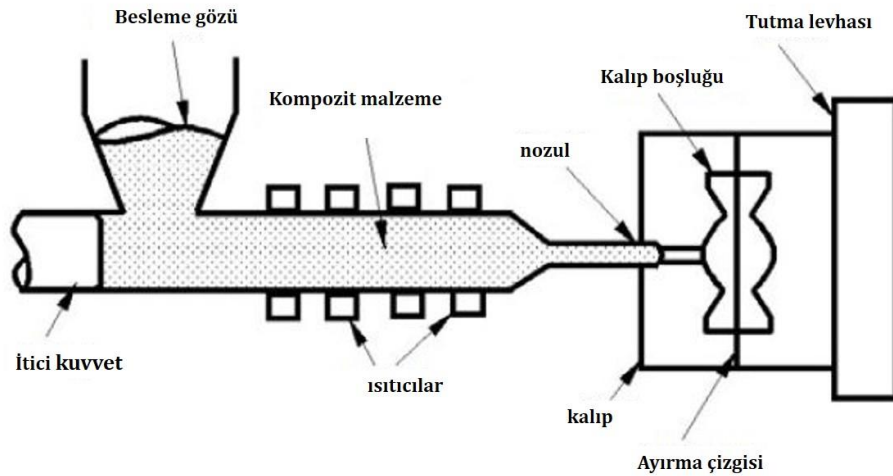
3.1.2.4. Hazır kalıplama yöntemleri (SMC/BMC)

Kompozit malzemelerin sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesi yöntemidir. Hazır kalıplama otomotiv endüstrisinde yüksek hacimli kabiliyetleri nedeniyle

çok popülerdir. Bu işlem büyük otomotiv panellerinin kalıplanmasında kullanılır. Sac kalıplama bileşikleri (SMC'ler) ve dökme kalıplama bileşikleri (BMC'ler) olmak üzere 2 tür kalıplama bileşimi vardır. Sıkıştırma kalıplama aynı zamanda prepregs ve maça malzemeleri kullanılarak yapısal paneller yapmak için kullanılır. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir (Mazumdar, 2002 ve Gülmez, 2018).

3.1.2.5. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi

Enjeksiyon kalıplama, termoplastik endüstrisinde daha yaygın olmakla birlikte, termoset endüstrisinde de başarıyla kullanılmaktadır. Yüksek hacimli bir üretim sürecidir ve tüketici, otomotiv ve rekreasyon uygulamaları için uygundur. Enjeksiyon kalıplamada, ısıtılmış kalıp boşluklarına sabit bir miktarda malzeme enjekte edilir. Çapraz bağlamanın tamamlanmasından sonra, kalıp açılır ve parça bir alıcı bölmesine bırakılır. Tipik olarak, tüm işlem yaklaşık 30 ila 60 saniye sürer. Enjeksiyon kalıplama, diğer kalıplama işlemlerine kıyasla en kısa işlem döngüsü süresine sahiptir ve bu nedenle en yüksek üretim hızına sahiptir. Üretim hızı, çok oyuklu bir kalıba sahip olmak suretiyle daha da arttırılabilir. Enjeksiyon kalıplama, küçük boyutlu parçalar yapmak için yaygın olarak kullanılır, ancak aynı zamanda büyük yapılar yapmak için de kullanılabilir. Otomobil tamponları uygulama alanlarına örnektir (Mazumdar, 2002).



Şekil 3.8. Enjeksiyonla kalıplama yöntemi (Mazumdar, 2002)

3.1.2.6. Savurma kalıplama yöntemi

Bu yöntemde, savurma makinası içerisindeki kumun bir eksen etrafında yüksek hızla savrulmasıyla sıkıştırma sağlanır. Başlangıçta savurma hızı düşük tutulur, kum model üzerine yığıldıkça hız artırılarak yükseltilir. Merkezkaç kuvvetlerinin oluşturduğu basınç, malzemenin kalıp cidarına homojen olarak dağılmasını, parçanın dışının kalıbın iç şeklini almasını sağlar. Bu yöntemle kalıbın boyutlarına bağlı olmadan sıkıştırma yapılabilir ve dolayısıyla büyük döküm parçaları bu yöntemle kalıplanabilir. Savurma yönteminde diğer yöntemlere nazaran daha iyi ve daha sert bir sıkıştırma sağlanabilir. Bu yöntem boru üretiminde yaygın olarak kullanılır (Saffet Gülmez, 2018).



4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Materyal

Bu çalışmada titreşim testi, dinamik mekanik analiz ve akustik ölçüm testine tabi tutulmak üzere 5 farklı bileşende (katkısız, çok duvarlı karbon nanotüp, grafit (iki farklı konsantrasyonda) ve grafen katkılı) polimer matrisli numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra yukarıda belirtilen analiz ve test standartlarına uygun bir şekilde malzemelere ait tozlardan istenen boyutlarda deney numunesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin bileşim oranları ve bazı mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de, kompozit yapı içerisindeki temel bileşenlerin teorik yoğunlukları ise Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelerin bileşim oranları ve bazı mekanik özellikleri

Kullanılan Malzeme	Elastisite Modülü (Mpa)	Çekme Dayanımı(Mpa)	Yüzde Uzama (%)
Saf PP	543	30,5	52,15
PP + % 1 Grafit	322	25,7	235,66
PP + %0,1 Grafit	609	31,1	12,42
PP + %0,01 Grafen	616	28,8	192,8
PP + %0,1 gr MWCNT	373	28,6	96,93

Çizelge 4.2. Kompozit bileşenlerinin teorik yoğunlukları (US Research Nanomaterials, 2019)

Malzeme	PP	Grafit	MWCNT	Grafen
Teorik Yoğunluk (kg/m ³)	946	2266	2100	2266

4.2. Metod

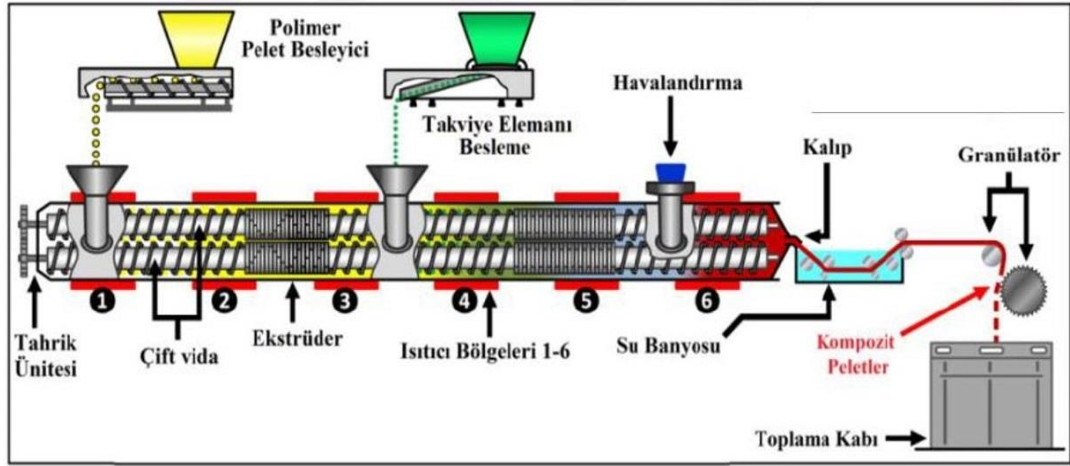
4.2.1. Öğütme

Öğütme işlemi, bir öğütücü yardımı ile matris ve takviye elemanlarının (grafit, grafen ve çok duvarlı karbon nanotüp) öğütücü ortamında bilyalar yardımı ile istenilen boyuta ve yapıya getirilmesi işlemidir. Bu çalışmada 1 kg polipropilen (PP) içerisine belirlenen ağırlık oranlarında (%0.1 , %1, %0.01 gr) takviye elemanları ilave edilerek 35 MFI da öğütülmüştür. Öğütme işlemi Gaziantep te bulunan Mono Plastik firmasında gerçekleştirilmiştir.

4.2.2. Ekstrüzyon

Üretimin ikinci adımında ekstrüzyon işlemi bulunmaktadır. Öğütme işlemi ile toz haline getirilen kompozitler ekstrüzyon işlemi ile granül hale getirilmektedir. Ekstrüzyon işlemi de öğütme gibi Mono Plastik firmasında yaptırılmıştır.

Karbon esaslı toz halindeki kompozit malzemeler çift vidalı ekstruderde huni bölmesinden beslenir. Toz halindeki numuneler cihazın ekstrüder adı verilen kısmından çubuk formunda çıkarak soğutulur. Soğutulan çubuklar daha sonra granülatör içerisindeki bıçaklarla doğranarak toplama haznesine birikmesi sağlanmıştır. Çift vidalı bir ekstruderdeki granül haline getirme işlemine ait reşim Şekil 4.1’de verilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonrasında elde edilen granüllere ait görüntü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çift vidalı ekstruderde granül haline getirme işleminin şematik olarak gösterilmesi (Seyhan,2018)



Şekil 4.2. Granül haldeki 5 farklı bileşene sahip numuneler

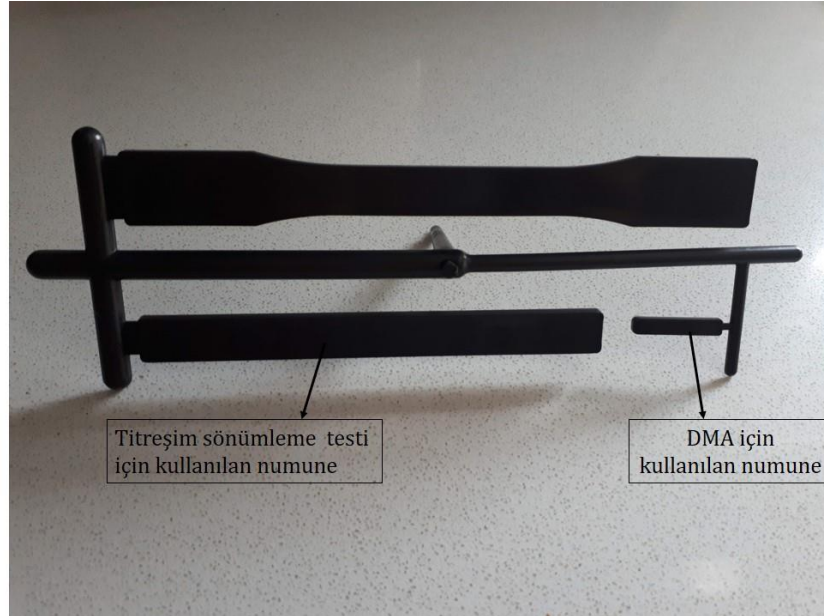
4.2.3. Plastik enjeksiyon

Polimer matrisli, grafen, grafit ve çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin üretimi Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Merkezi Polimer Laboratuvarında Boy 22A model 220 kN kapama gücüne sahip enjeksiyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz, kapama, enjeksiyon ve kalıp ünitesi olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Ayrıca üzerinde proses ayarlarının kontrolü için bir ekran bulunmaktadır. Cihaza ait resim Şekil 4.3 de verilmiştir. Bu cihazda çekme, eğme ve dinamik mekanik analiz testleri için

gerekli standart ölçülerde Şekil 4.4 de gösterilen numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. DMA için basılan numunelerin ölçüleri 24x5x2 mm dir. Titreşim testi için 124x12x3 mm ebatlarında numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.3. Boy 22A model plastik enjeksiyon cihazı (Bartın Üniversitesi, 2019)



Şekil 4.4. Plastik enjeksiyondan çıkan numune

4.2.4. Sıcak presleme

Akustik performans testi için ekstrüzyon sonucu granül olarak elde edilen malzemelerden $\varnothing 99.5$ ve $\varnothing 29.5$ mm ölçülerinde ve 3 mm kalınlığında numuneler kullanılmıştır. Bu numuneleri elde etmek için Yalova Üniversitesi Polimer İşleme Laboratuvarı'nda sıcak basınçlı kalıplama yöntemi ile 110x110x3 mm ebatlarında 5 farklı numuneden 2'şer adet kompozit plaka basımı gerçekleştirilmiştir. Numunelere 210 sn boyunca 190 °C sıcaklıkta 100 bar basınç altında sıcak presleme ve sonrasında 1 dakika boyunca soğuk presleme uygulanmıştır. Basımı gerçekleştirilen bu numunelerden su jeti ile yukarıda belirtilen ölçülerde empedans tüpü için test numuneleri kesilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Akustik performans testi için su jeti ile kesilmiş numune örneği

4.3. Karakterizasyon İşlemleri

4.3.1. Titreşim sönümlleme testi

Titreşim analizi bir sistemin doğal frekans , mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik karakterlerini belirlemede yardımcı olan bir yöntemdir. Belirlenen mod şekilleri ve titreşimler sistemin daha iyi tasarlanmasına yardımcı olur. Ayrıca rezonansın tanımlanmasına ve sisteme uygulanan kuvvet sonucunda sistemin tepkisinin nasıl olacağının bilinmesine katkı sağlar. Her bir rezonans frekansında, sistemin dinamik olarak nasıl davranacağının bilinmesi, yapısal zayıflıkların

bulunmasına yardımcı olur ve aynı zamanda gürültü problemlerinin de çözülmesine imkan sağlar.

Yukarıda bahsi geçen titreşim analizi için yapılan deneysel ve teorik çalışmaların irdelenmesine modal analiz yöntemi denir. Deneysel modal analiz yönteminde , yapıya bir kuvvet uygulanır ve yapının bu kuvvete tepkisi ölçülür. Titreşim salınımlı hareket olarak tanımlandığından, konum değişikliği veya yer değiştirmeyi içerir. Şekil 4.6 da beş farklı grupta hazırlanan karbon esaslı (katkısız, çok duvarlı karbon nanotüp, grafit (iki farklı konsantrasyonda) ve grafen katkılı) PP kompozit malzemeler için titreşim sönümleme testi deney düzeneği görüntüsü verilmiştir.

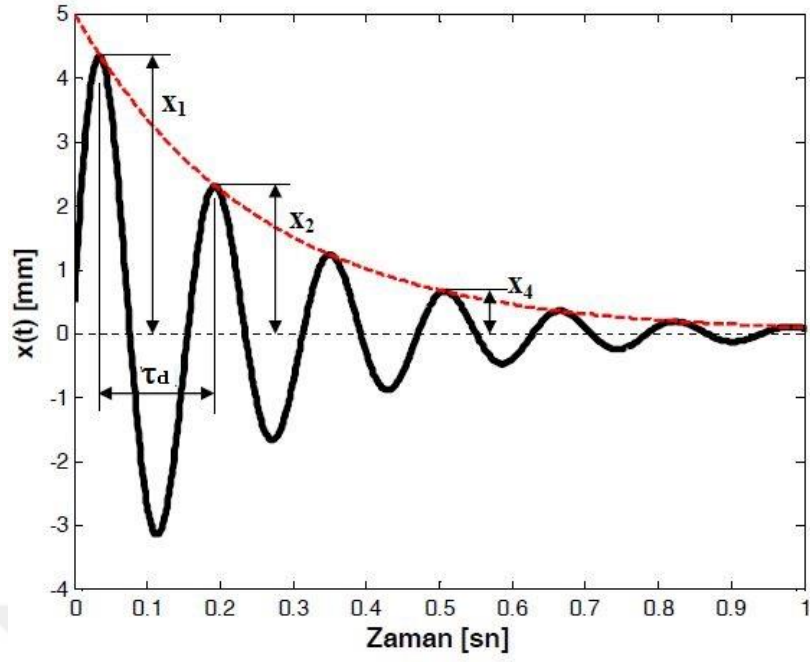
Bu deneyde yapının tepkisini ölçmek için ivmeölçer, numuneler üzerine bağlanmış ancak ivmeölçerin ağırlığından dolayı numune üzerinde bir eğim tespit edilmiştir. Bu eğimin deney sonuçlarını, olumsuz etkileyeceği düşünülerek yapının tepki karşısında oluşan yerdeğişimini ölçmek için lazer cihazı kullanılmıştır. Oluşan titreşimin modellenmesinde ise trigonometrik fonksiyonlar önemli rol oynar. Trigonometrik fonksiyonların modellemede kullanılması genel olarak Fourier Dönüşümü diye adlandırılır (Karagöz, 2007). Titreşim analizi ve sinyal işlemede yaygın olarak Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılır.

Bu düzenekte deney numuneleri tek taraftan sabitlenmiş ve ölçümler sırasında deney numunesinin yaptığı yerdeğişikliğini ölçmek için Micro Epsilon marka Opto NCDT 1302 model lazer cihazı kullanılmıştır. Test numunesine hafif bir kuvvet uygulanmış ve lazer cihazı yardımıyla titreşim sinyali elektrik sinyaline dönüştürülerek ampermetreye aktarılmıştır. Bilgisayardaki program ile zaman-cevap sinyali yerdeğişim-cevap sinyaline dönüştürülmüştür. Bir, matlab programı yardımı ile Fourier dönüşümü kullanılarak 5 farklı polipropilen malzemenin frekans değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.6. Titreşim sönümlleme testi deney düzeneği

Titreşim testlerinden sonra 5 farklı numunenin yerdeğişim-zaman eğrileri kaydedilmiştir. Titreşim verileri, logaritmik azalma (dekreman) yöntemine göre, sönümlleme oranını (ζ) belirlemek için titreşim verileri değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Logaritmik azalma sönümlü titreşim genliğinin hangi oranda azaldığının bir ölçüsüdür. Yerdeğişim-zaman eğrilerinde seçilen döngü sayısına (n) göre eğrilerin tepe noktalarından okunan değerler ($x(t)$) aşağıdaki Şekil 4.7 de verilen grafikten yola çıkılarak çözülmüş ve logaritmik dekreman yöntemi ile herbirinin sönümlleme oranları bulunmuştur.



Şekil 4.7. Logaritmik dekrement yöntemi ile titreşim cevabı eğrisi (Zeki Kırıl, 2019)

Bu sistemde titreşim genliği zaman içerisinde zamanla katlanarak azalır, salınımlı titreşim cevabı üzerinde herhangi iki tepe noktasının birbirine oranının logaritmasını (doğal logaritma) Logaritmik Dekrement (Logarithmic Decrement) olarak tanımlayıp aralarında n adet tam salınım bulunan tepe noktaları kullanılarak da elde edilebilir. n serbest titreşim döngü sayısıdır. Aşağıdaki denklemden yola çıkarak ilk eşitlikten seçilen döngü karşısında yapılan yer değişimleri bulunarak önce logaritmik dekrementi bulunur. Bulunan sonuç ikinci eşitlikten sönümlleme oranının çekilmesine yardımcı olur. Burada $n=10$ alınmıştır.

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{x(t)}{x(t + n\tau_d)} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.1)$$

Burada n döngü sayısını, x yerdeğiştirmeyi, δ logaritmik azalmayı, τ_d periyodu, ζ ise sönümlleme oranını ifade etmektedir.

Sönümlleme olayını doğru inceleyebilmek için sönümlleme oranının dışında doğal frekans ve kuvvet iletilebilirlik kavramlarını da anlamak gerekmektedir.

İletilebilirlik, titreşim yönetimi özellikleri için malzemelerin sınıflandırılmasında kullanılan bir ölçümdür. Bir sistemde ölçülen titreşim kuvvetinin sisteme giren titreşim kuvvetine oranıdır. Denklem 4.2 de verilen eşitlikten yola çıkılarak numunelere ait titreşim kuvveti iletilebilirlik grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden doğal frekans, sönümleme oranı ve izolasyon dahil olmak üzere malzemenin titreşimleri ile ilgili özellikleri hakkında bilgiler çıkarılabilmektedir.

$$TR = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta \frac{\omega}{\omega_n})^2}}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2 + (2\zeta \frac{\omega}{\omega_n})^2}} = \frac{F_0}{F_t} \quad (4.2)$$

TR: Kuvvet iletilebilirlik

F₀ : Titreşim cevabının genliği (nakledilen)

F_t : Titreşim girişinin genliği

ζ : Sönümleme oranı

w : Frekans

w_n: Doğal frekans

4.3.2. Dinamik mekanik analiz

Bu çalışmada hazırlanan 5 farklı polimer matrisli kompozit malzemelerin, deformasyon altında depolayabildiği ve harcadığı mekanik enerjiyi öğrenebilmek için Dinamik Mekanik Analiz yöntemine başvurulmuştur. DMA ile malzeme, ayarlanmış bir frekansta, salınımlı deformasyona maruz bırakılır, sertlik ve sönümlemedeki değişiklikler rapor edilir. Gerilim, sıkıştırma, çift konsol bükme, üç noktadan bükme ve kesme olarak farklı deformasyon modları kullanılarak ölçüm yapılır. Bu çalışmada, polimer kompozitlerde en yaygın olarak kullanılan 3 noktadan bükme modu kullanılmıştır.

Dinamik Mekanik Analiz (DMA) / Dinamik Mekanik Termal Analiz (DMTA) bir malzemenin sıcaklığa bağlı visko-elastik özelliklerini kaydeder. Bu testler, Şekil 4.8 de gösterilen Perkin Elmer marka DMA 8000 model (TA Instruments) cihazı kullanılarak ASTM D7028 standardına göre yapılmıştır. DMA testleri azot

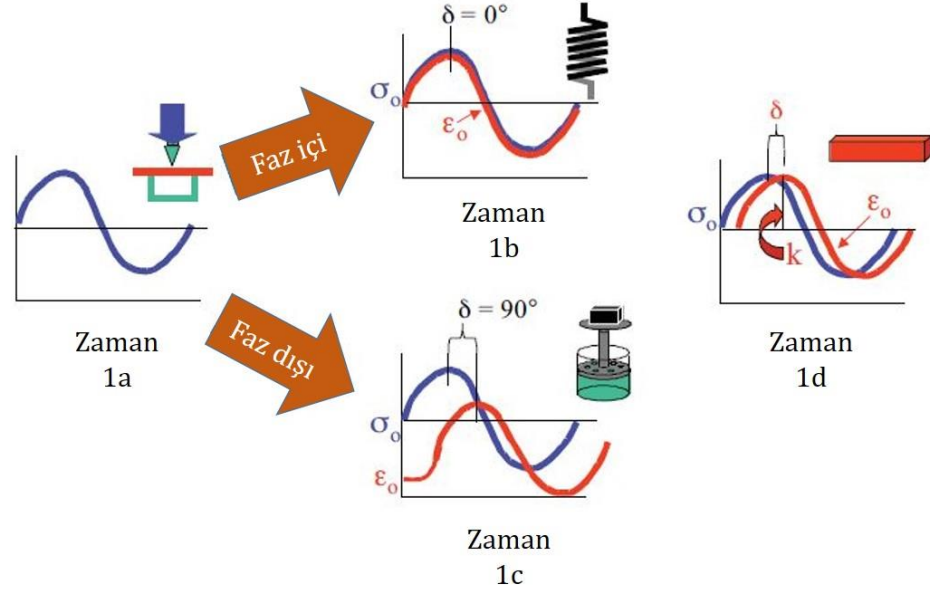
ortamında 1 Hz titreşim frekanslı olarak -80 ile 150°C sıcaklık aralığı ve 3°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8. Perkin Elmer DMA 8000 dinamik mekanik analiz test cihazı (Perkin Elmer, 2019)

Şekil 4.9 da belirtildiği gibi numuneye sünizoidal bir kuvvet uygulanırsa malzeme elastik sınırlar içerisinde kalma şartı ile benzer bir gerilim dalgasında yanıt verir. Ortaya çıkan gerilme dalga şekli, numunenin ne kadar viskoz, elastik veya viskoelastik davranış gösterdiğine bağlıdır. Sinüzoidal bir kuvvet uygulandığı için, modül faz içi ve faz dışı bileşen olarak ifade edilebilir. Burada faz içi bileşen depolama modülü, faz dışı bir bileşen ise kayıp modülü olarak gösterilebilir.

Gerilme ve gerinme ilişkisi, polimer tepkisinin gerinme girişinin gerisinde ne kadar gerilediğinin bir fonksiyonu olan faz açısına bağlıdır. (Dunson, 2017)



Şekil 4.9. Sabit yük altında sinüzoidal salınım (Perkin elmer, 2019)

- Eğer faz gecikmesi (δ) sıfır ise malzeme elastik davranış göstermiştir.
- Eğer faz gecikmesi (δ) 90° ise malzeme viskoz davranış göstermiştir.
- Eğer faz gecikmesi (δ) $0-90^\circ$ arasında ise malzeme viskoelastik davranış göstermiştir.

Polimer malzemelerin ısı karşısındaki davranışları bu malzemelerin yapıları ile alakalıdır. Kullanılan geniş sıcaklık ve frekans aralığında polimer malzemeler farklı durumlarda bulunurlar, bunlar genellikle camsı, geçiş, kauçuk ve akış bölgeleri olarak adlandırılır (Şekil 4.10). Burada camsı geçiş sıcaklığı kritik bir noktadır. Polimerler üretilirken amorf, kristal veya yarı-kristal bir yapı oluştururlar. Polipropilen kompozitler ise üretiminde yarı-kristal bir yapı oluşturur, yani hem amorf hemde kristal yapıdadırlar. Yarı kristal yapıdaki polipropilen malzeme aldığı ısı karşısında camsı, kırılman özelliklerini kaybedip esnek termoplastik yapıya geçtiği sıcaklık, camsı geçiş sıcaklığı (T_g) olarak adlandırılır. Camsı geçiş sıcaklığı bilgisi, üretim parametrelerini ve ürünlerin özelliklerini optimize etmek için önemlidir. Ek olarak, camsı geçiş sıcaklığı malzemeleri tanımlamak ve karşılaştırmak için kullanılabilir ve bu nedenle kalite güvencesi ve arıza analizi için de önemlidir. Polimerler T_g nin altında kırılman, üzerinde elastik tam geçiş sıcaklığı üzerinde ise viskoelastik bir davranış gösterir.

DMA analizi ile camsı geçiş sıcaklıklarının belirlenmesi esnasında kayıp modüllerinin en yüksek değere geldiği sıcaklık, kompozitin camsı geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

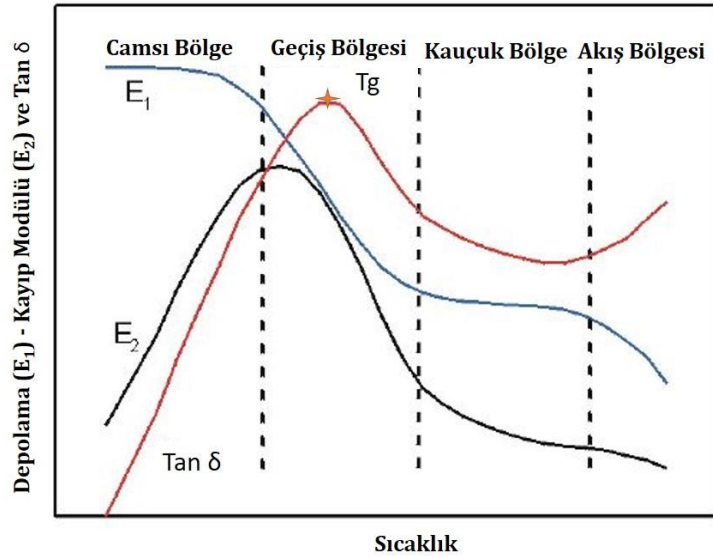
Depolama modülü (E_1) malzemenin elastik davranışının bir ölçüsüdür ve bir çevrim boyunca malzemede depolanan deformasyon enerjisi ile orantılıdır. Analiz sırasında malzemeye uygulanan yüklemede depolanan enerji, yük iptal edildiğinde geri dönüyorsa elastik malzeme, eğer depolanan enerji geri dönemiyor ve malzeme gecikmeli şekil değişimine gidiyorsa viskoz davranış gösterir. Kısaca DMA analizlerinde eğer depolama modülü (E_1) > kayıp modülü (E_2) ise kompozit elastik özellik gösterir.

Modül değeri sıcaklıkla değişir ve malzemede ki geçişler depolama modülünde (E_1) ya da $\tan \delta$ eğrilerindeki değişimlerle gözlemlenebilir. Bu geçişler sadece camsı geçiş sıcaklığını değil aynı zamanda kauçuk ve akış bölgesindeki diğer değişimlerde gösterir (Perkin Elmer , 2019).

Depolama modülü elastik davranışının bir ölçüsü olduğu belirtilmişti, bu aynı zamanda sertliği de ifade eder. Depolama modülü (E_1), sertlik bu bölgedeki malzeme için en yüksek seviyededir ve sönümleme seviyeleri tipik olarak düşüktür. Bir malzemenin camsı geçiş sıcaklığı, T_g , depolama modülü (E_1) eğrisinin camsı bölgeden geçiş bölgesine girerken ki azalmaya başladığı kısımdır (Macioce, 2003).

Geçiş bölgesi, malzeme camsı bölgeden kauçuk bölgeye geçmekte olduğu için adlandırılmıştır. Viskoelastik malzemenin sertliğinin (E_1) en hızlı değişim gösterdiği ve en yüksek sönümleme performansına sahip olduğu alandır. Bir malzemenin referans sıcaklığı T_0 , kayıp faktörü eğrisinin tepe noktasını tanımlamak için kullanılır. Bu bölgede, polimerin uzun moleküler zincirleri yarı-sert ve yarı-akış halindedir ve bitişik zincirlere sürtünebilir. Bu sürtünme etkileri viskoelastik malzemelerin mekanik sönümleme özelliğine neden olur (Macioce, 2003). Depolama modülünün aynı zamanda sıcaklıkla ters orantılı bir ilişkisi olduğu da Şekil 4.10 da görölmektedir. Sıcaklık camsı geçiş sıcaklık civarında iken

molekül zincirlerinin hareketliliği ve meydana gelen termal genleşme artmakta ve kayıp modülü ile $\tan \delta$ eğrilerinde pikler görülmeye başlanacaktır.



Şekil 4.10. Viskoelastik bir malzemenin sıcaklık ile değişimi (Macioce, 2003)

Viskoz davranışın bir ölçütü olan kayıp modülü (E_2) malzemenin sıcaklığa bağlı olarak enerji dağıtma kabiliyetini tanımlar. Camsı geçiş sıcaklığı kayıp modülünün tepe noktası olarak tanımlanır. Polimer kompozitlerde, kayıp faktörü sıcaklığa göre değişir ve T_g 'de maksimum olur, çünkü içsel sönümleri polimer matrisinin viskoelastisitesinden kaynaklanır (Khan vd., 2011). Kayıp modülü piklerinin genişliğinin artmasıyla malzemenin daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu sonucu çıkarılabilmektedir. Örneğin kayıp modüllerinin takviye edici bir malzemenin polimer matrise ilavesi ile arttığı ve sıcaklık ile azaldığı söylenebilir. Çünkü kayıp modülü pikleri, konsantrasyon arttıkça daha yüksek sıcaklıklarda genleşmekte ve pikler düzleşmektedir.

$\tan \delta$ pikleri (E_2 / E_1) Kayıp modülün depolama modülüne oranlanmasıyla elde edilir. Bir malzemenin makromoleküler viskoelastisitesini ve o malzemenin sönümleme kapasitesini sunar, aynı zamanda elastik ve viskoz faz arasındaki dengeyi gösterir. $\tan \delta$ pikinin maksimum değerinin göstermiş olduğu sıcaklık değeri, malzemenin T_g değerini verir. Camsı geçiş bölgesinden önceki ve sonraki depolama modülleri arasındaki fark ($\Delta E'$), malzemenin çapraz bağlanma yoğunluğu ile ilgili bilgi verir. Daha küçük $\Delta E'$, çapraz bağlanma yoğunluğunun

daha fazla olduğunu gösterir (Yücedağ, 2006). Buradan yola çıkarak Tanδ piklerinin keskin olması çapraz bağlanmalarının daha homojen olup mobilitesinin daha yüksek olduğunu göstererek mekanik dayanım ve rijitliğinin yüksek olduğu anlamı çıkarılabilmektedir. Tam tersi tanδ piklerinin geniş ve yüksekliğinin az olması polimerlerin çapraz bağlanma yoğunluğunun az olduğunu gösterir.

Farklı karbon esaslı PP kompozitler ile saf PP'nin depolama modülü, kayıp modülü ve tanδ değerlerinin belirlenmesi eklenen karbon malzemenin bileşenin ve konsantrasyonun polimer matris içerisinde moleküler etkileşimin mekanik özelliklere olan ilişkisini daha belirgin olarak ortaya koyacaktır.

4.3.3. Akustik ölçüm testi

Gürültü faktörü otomotiv ve yan sanayi sektöründe önemli bir paya sahiptir. Gürültünün yoğunluğunda ki artış, akustik konfor üzerinde olumsuz yönde etkilere sebep olabilmektedir. Bu etkilerden en önemlisi sesin algılanabilirliğinin bile yitirilmesine kadar gitmektedir. Bu sebepten akustik konforda iyileştirmelerin yapılması insan sağlığı açısından da önemlidir.

Araçların hareketi esnasında titreşim ve farklı sebeplerden (rüzgar, yol ile teker arasındaki sürtünmeden doğan sesler, yolcu, ses sistemi, motor, güç iletim sistemi elemanları ..vb) dolayı ortaya çıkan istenmeyen 2 farklı tipte gürültü mevcuttur (Yıldırım vd., 2015).

Gürültüyü en aza indirmek adına farklı yalıtım malzemeleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değeri ile doğrudan ilişkilidir. Ses yutma katsayısı ve ses iletim kaybı değerlerinin doğru belirlenmesinde , elastisite modülü, gözeneklerin şekline göre sürtünme ve termal kayıplar ile oluşan enerji yutumu, kayıp faktörü, ve yoğunluk parametreleri çok önemlidir. Bu parametreler doğrultusunda seçilen doğru yalıtım malzemesi, yanlış seçimler sonucu oluşabilecek yüksek maliyetleri

engelleyerek, otomotiv sektöründe kabin içi gürültünün azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Malzemelerin akustik performansları için yankı odaları ve empedans tüpleri olmak üzere farklı 2 yöntem ile ölçülebilmektedir. Yankı odalarında seslerin rastgele geliş açısına göre ölçüm yapılmakta ve iyi sonuçlar elde edilebilmektedir, fakat bu odaların oluşturulması pahalı bir yöntem olduğu için empedans tüpü yöntemi daha çok tercih edilmektedir (Seçgin vd., 2017). Bu çalışma da beş farklı karbon takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin akustik performanslarını değerlendirmek için empendas tüpleri ile ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Akustik testler Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda ISO 10534-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test düzeneğine ait resim Şekil 4.11'de verilmiştir.



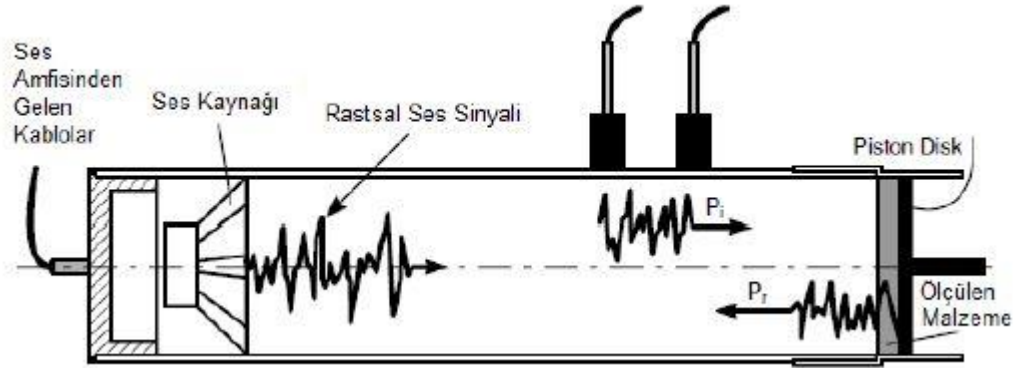
Şekil 4.11. Akustik performans testi deney düzeneği

Ses yutma katsayısı ölçümü, ses kaynağı tarafından gönderilen rastsal sesin malzeme üzerine iletdikten sonra malzemenin ne kadarını yutup ne kadarını yansıttığı ilkesine dayanarak yapılmaktadır. Yansıyan ses bileşeni malzemenin özelliklerine göre değişmektedir. Tüp içerisinde farklı eksenel konumlarında 2 adet mikrofona bulunmaktadır, mikrofonlar ile ölçülen frekans cevap fonksiyonları yardımı ile ses yutma katsayısı belirlenir. Deney numuneleri 99.5 mm ve 29.5 mm olmak üzere 2 farklı çapta, büyük ve küçük tüplerde kullanılmak üzere kesilmiştir. Kesilen numunelerin etrafı tüp ile numune arasında herhangi

bir boşluk kalmayacak şekilde izolasyon bantı ile kapatılmıştır. Numuneler tüp eksenine dik gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Ses yutma katsayısı ölçümünün şematik çalışma prensibi aşağıda Şekil 4.12’de verilmiştir.

Ses yutma kaybı tüpleri şu bileşenlerden oluşmaktadır :

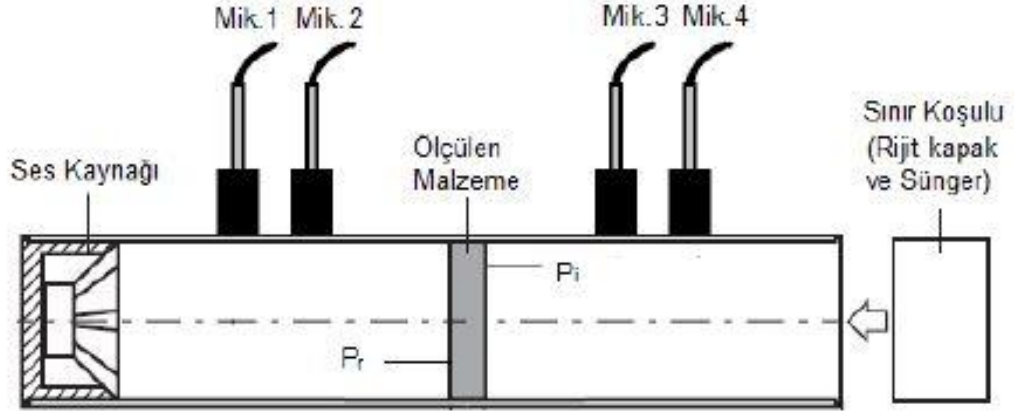
- Ön bölüm: Ses üretimini sağlar, hoparlör ünitesini içerir ve hem büyük hem de küçük çaplı tüpe monte edilebilir.
- Büyük çaplı ölçüm tüpü (düşük frekans) : İki adet mikrofon tutucusuna sahiptir.
- Kayar pistonlu malzeme tutucu: Büyük çaplı tüp için malzemenin yerleştirilmesini sağlar.
- Küçük çaplı ölçüm tüpü (yüksek frekans) : İki adet mikrofon tutucusuna sahiptir.
- Kayar pistonlu malzeme tutucu : Küçük çaplı tüp için malzemenin yerleştirilmesini sağlar (Bias Mühendislik, 2019).



Şekil 4.12. Ses yutma katsayısı prensibinin şematik gösterimi (Bias Mühendislik, 2019)

Ses iletim kaybı ölçümünde, ses kaynağı tarafından gönderilen rastsal sesin malzeme üzerine iletdikten sonra sesin malzemenin diğer tarafına ne kadar aktarıldığının tespit edildiği bir yöntemdir. Yansıyan ses bileşeni malzemenin özelliklerine göre değişmektedir. Ses yutma katsayısının belirlendiği testte kullanılan numuneler bu test içinde kullanılmıştır. Ses yutma katsayısının ölçüm testine kıyasla bu testte ekstradan 2 adet daha mikrofon bulunmaktadır. Numune iki tüp arasına bağlanır. Ses yutma katsayısına kıyasla fazla olan diğer 2

mikrofonun bulunduğu tüp ile bağlantıyı yapmak için arada 1 tane daha malzeme tutucu aparat kullanılır. Ses iletim kaybı ölçümüne ait şematik çalışma prensibi Şekil 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Ses iletim kaybı testine ait şematik gösterim (Bias Mühendislik, 2019)

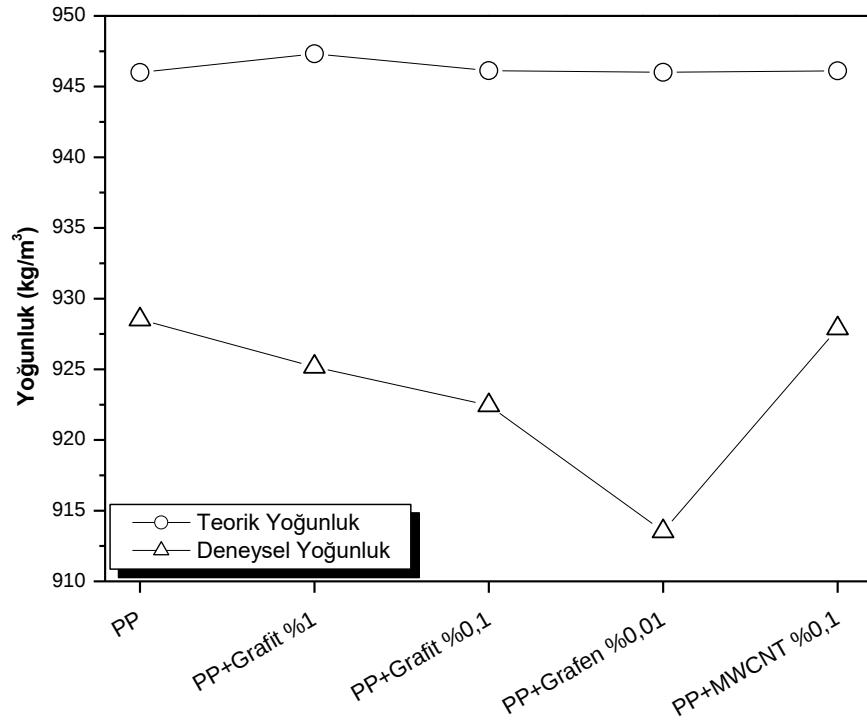
Ses yutum katsayısı ve ses iletim kaybı ölçüm sistemlerinde, tüp bileşenleri hariç 1 adet veri toplama ve sinyal üretimi kartı ve 1 adet ses yükseltici bulunmaktadır. NI4431 kodlu veri toplama-sinyal üretimi kartı, gerekli elektriksel beslemeyi bilgisayara bağlandığı USB kablo üzerinden almaktadır. Ses yükseltici ise sistem ile birlikte verilen 14V DC güç kaynağı ile beslenmektedir (Bias Mühendislik, 2019).

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Yoğunluk ve Porozite

Yoğunluk, kompozit malzemelerin en önemli özelliklerinden birisidir. Kompozit yapısında sürekli bir ana faz (matris) ile ana faz içerisinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazı (takviye) bulunduğundan, matris yoğunluğu kompozit yoğunluğunu belirleyici bir etkiye sahiptir. Kompozit yapı içerisindeki takviye parçacıklarının büyüklüğü, parçacıklar arası mesafe, homojen dağılım, matris ve takviye parçacıklarının diğer özellikleri, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde porozite (gözeneklilik) vb. hataların artmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle kompozit yapı içerisinde var olabilecek gözeneklilik durumunu ortaya çıkarmak amacıyla teorik ve deneysel yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

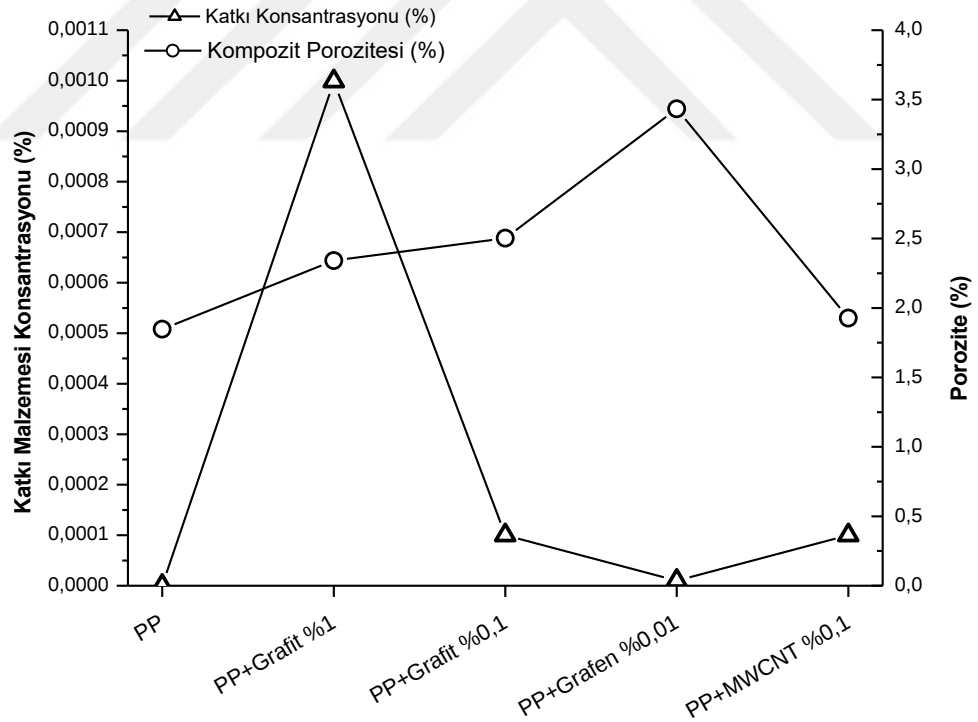
Takviyesiz matris malzemesinin (PP) ve kompozit malzemelerin (grafit, grafen ve MWCNT) karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik yoğunlukları, numunelerin kütle ve hacimlerinin ölçümü sonucu elde edilen deneysel yoğunlukları Şekil 5.1’de, bu yoğunluklar kullanılarak hesaplanan porozite oranları ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Teorik ve ölçülen yoğunluğun karşılaştırılması

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi polipropilen içerisine katılan takviye elemanları kompozitin teorik yoğunluğunu maksimum %0,14 oranında arttırırken, deneysel olarak ölçülen yoğunlukta farklılıklar gözlenmiştir. Ağırlıkça %0,01 oranında PP’ne katılan grafen, kompozit yoğunluğunda yaklaşık %3,43 ‘e varan azalmaya sebep olmuştur. Kompozit yoğunluğundaki en küçük azalma ağırlıkça %0,1 MWCNT katkılı numunede yaklaşık %1,93 oranında olduğu tespit edilmiştir. Deneysel ve teorik yoğunluklar arasındaki farklılıklar yapı içerisinde gözenekliliğin varlığına işaret etmektedir. Bu çalışmada tespit edilen yoğunluklar arası farklılıklar ve porozitenin varlığı literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür (Öztop B, 2017 ve Gürbüz M, 2018).

Kompozit içerisindeki katkı konsantrasyonu azaldıkça, grafit ve grafen katkılı kompozit yapı içerisinde gözeneklilik artış gösterirken MWCNT katkılı kompozit yapı içerisindeki porozitenin en düşük seviyede olduğu görülmüştür (Şekil 5.2)



Şekil 5.2 Katı malzeme konsantrasyonu-porozite grafiği

Takviyesiz matris malzemesinin ve üretilen kompozit malzemelerin deneysel yoğunluk ölçümleri, numunelerin düzgün geometriye sahip olmaları nedeniyle ölçülen hacim ve kütleleri kullanarak yapılmıştır. Teorik yoğunluklar ise karışımlar kuralına göre aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\rho_{\text{teorik}} = (\rho_{\text{matris}} \times \emptyset_{\text{matris}}) + (\rho_{\text{takviye}} \times \emptyset_{\text{takviye}}) \quad (5.1)$$

Burada :

$$\emptyset_{\text{matris}} = \frac{w_{\text{matris}}}{w_{\text{kompozit}}}$$

$\emptyset_{\text{matris}}$: matrisin ağırlık oranı

w_{matris} : matris ağırlığı

w_{kompozit} : toplam kompozit ağırlığı

Kompozitlerin teorik ve deneysel yoğunlukları kullanarak içerdikleri porozite oranları ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\% \text{Porozite} = \frac{\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}}{\rho_{\text{teorik}}} \quad (5.2)$$

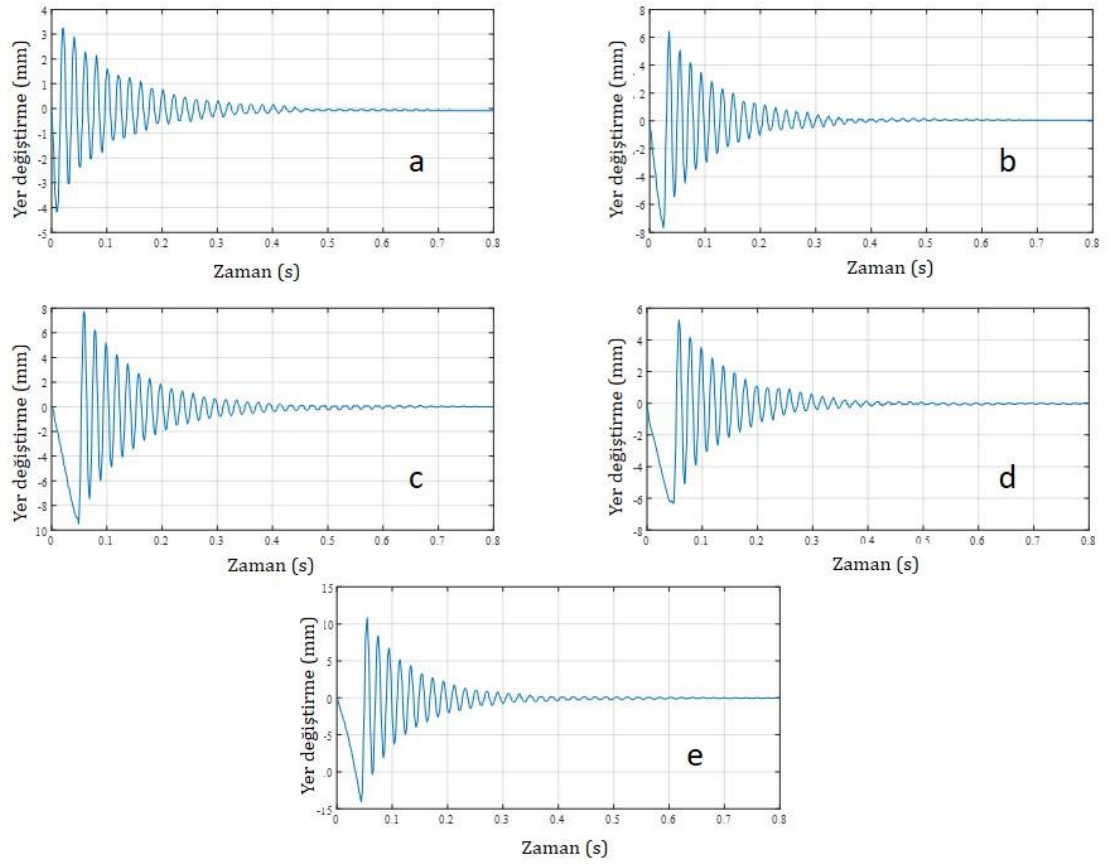
5.2. Titreşim Sönümlleme Testi

Titreşim sönümlleme testine sokulan aynı uzunluk ve yüzey alanına sahip, farklı yapıdaki 5 adet numunenin zamanla gösterdiği yerdeğişim miktarlarına bağlı olarak hesaplanan sönümlleme oranları, logaritmik azalma ve frekans değerleri Çizelge 5.1’de herbir numuneye ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 5.3 ve sönümlleme oranları ise Şekil 5.4’te gösterilmiştir.

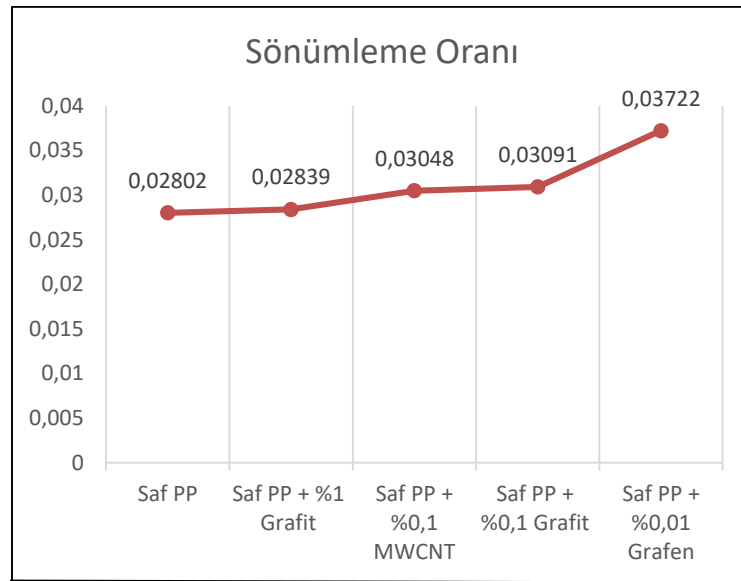
Çizelge 5.1. Titreşim sönümlleme testi sonucu elde edilen değerler

No	Malzeme Adı	Log Azalma	Sönümlleme Oranı	Doğal Frekans
A	Saf Polipropilen	0,1761	0,02802	49,99 Hz
B	PP + %0.1 Grafit	0,1943	0,03091	50,72 Hz
C	PP + %1 Grafit	0,1785	0,02839	50,18 Hz
D	PP + %0.01 Grafen	0,234	0,03722	50,9 Hz
E	PP + %0.1 MWCNT	0,1916	0,03048	52 Hz

Çizelge 5.1 de görüldüğü gibi saf PP e yapılan tüm takviyeler malzemenin sönümlleme oranını ve doğal frekansını arttırmıştır. Grafen katkılı polipropilen malzemenin yerdeğişim miktarının zamana bağlı olarak diğer numunelere göre daha hızlı denge konumuna ulaştığı görülmektedir. Başka bir deyişle sönümlleme oranı değerini en fazla arttıran grafen katkısı olmuştur. Grafenin sahip olduğu büyük yüzey alanı sayesinde kompozitin enerji dağıtım kapasitesini arttırdığı ve titreşim sönümlleme özelliğini geliştirdiği anlaşılmaktadır. Saf polipropilen numunede, uygulanan kuvvet neticesinde doğan titreşimin etkisinden daha geç çıktığı Şekil 5.3’de verilen grafiklerde ortaya çıkmaktadır. Sönümlleme oranı en düşük olan saf PP dir. Bu analizde aynı zamanda grafit katkılı polipropilen malzemenin 2 farklı konsatrasyonda karşılaştırılması da yapılmıştır. Saf PP’e eklenen grafit miktarı arttıkça denge konumuna ulaşma süresinin uzadığı sönümlleme oranının azaldığı görülmüştür.

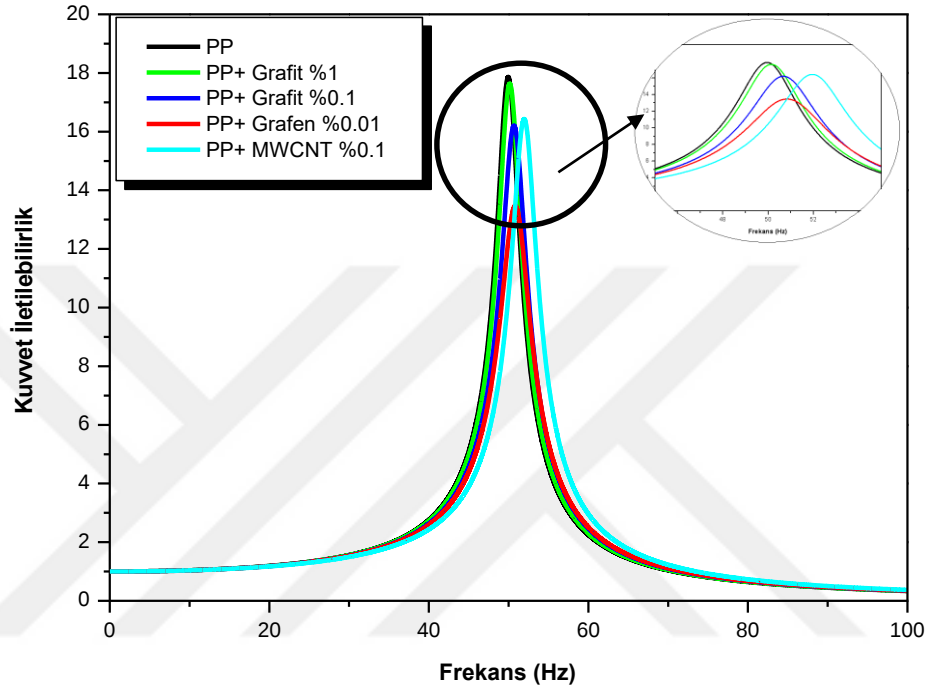


şekil 5.3. Yer değiştirme-zaman grafikleri (a) Saf polipropilen, (b) PP + %0.1 MWCNT, (c) PP + %0.1 Grafit, (d) PP + %1 Grafit, (e) PP + %0.01 Grafen



şekil 5.4. Sönümlleme oranlarının karşılaştırılması

Titreşim deneyinden elde edilen yerdeğişim-zaman eğrisinden yararlanılarak doğal titreşim frekansları da elde edilmiştir. Doğal titreşim frekanslarına ulaşmak için FRF dönüşümünden yararlanılmıştır. Elde edilen doğal frekanslardan yola çıkılarak Şekil 5.5’de farklı frekanslarda denklem 4.2 kullanılarak hesaplanmış olan titreşim kuvveti iletilebilirlik değerleri gösterilmiştir.



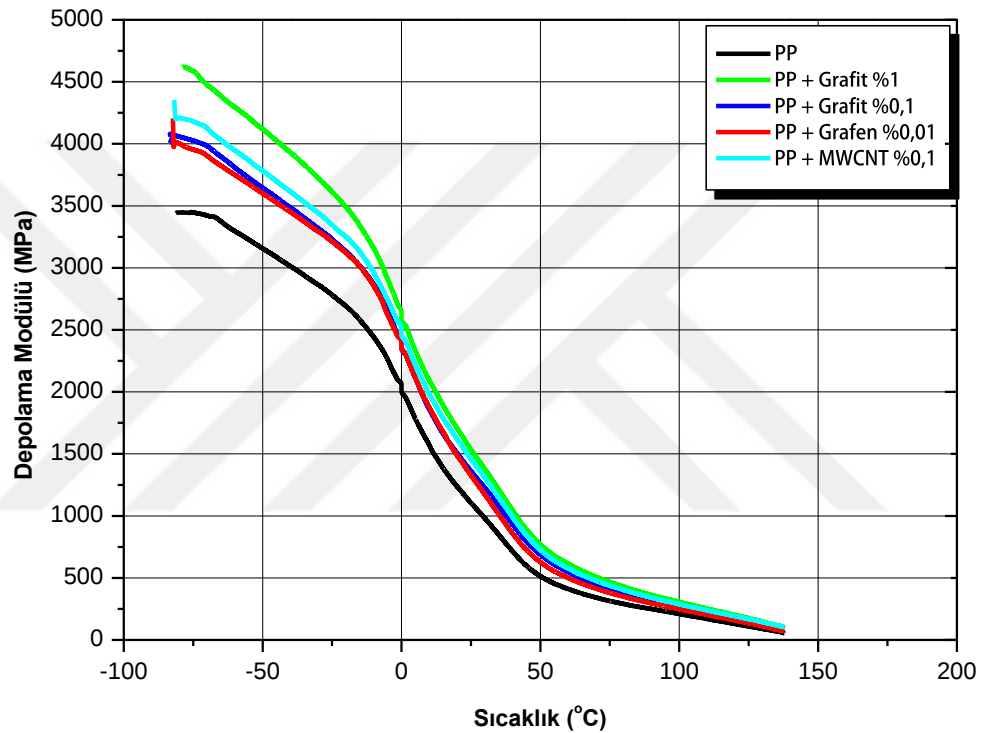
Şekil 5.5. Titreşim kuvveti iletilebilirlik -frekans grafiği

Yukarıda ki grafikte (Şekil 5.5) eğri nin maksimum tepe noktasına ulaştığı frekans değerleri , malzemelerin doğal frekanslarını verir. Çizelge 5.1 de verilen doğal frekans değerleri dikkate alındığı zaman malzemeler belirtilen doğal frekanslarda maksimum genliğe girecektir. Grafikte de görüldüğü gibi doğal frekansa kadar kuvvet iletilebilirlik artmaktadır, bu da titreşimlerden iletilen enerji miktarının arttığını göstermektedir. Bu yüzden rezonanstan kaçınmak için verilen bu değerlerin aşağısında ya da yukarısında kalınması gerekmektedir. Buradan yola çıkılarak grafen katkılı poliproilen kompozit malzemenin en yüksek doğal frekansta rezonansa girdiği görülmektedir, yani uygulanan frekans değerlerinde saf polipropilene eklenen tüm takviyeler malzemenin rezonansa girmesini geciktirmiştir.

5.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

DMA analizinden elde edilen sonuçlar kullanılarak 1 Hz frekanstaki depolama modülünün (E_1), kayıp modülünün (E_2) ve $\tan \delta$ 'nın sıcaklığa bağlı değişim grafikleri elde edilmiştir.

Şekil 5.6'da saf PP, grafen, çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) ve 2 farklı konstrasyondaki grafitte ait depolama modülü-sıcaklık grafiği verilmiştir.

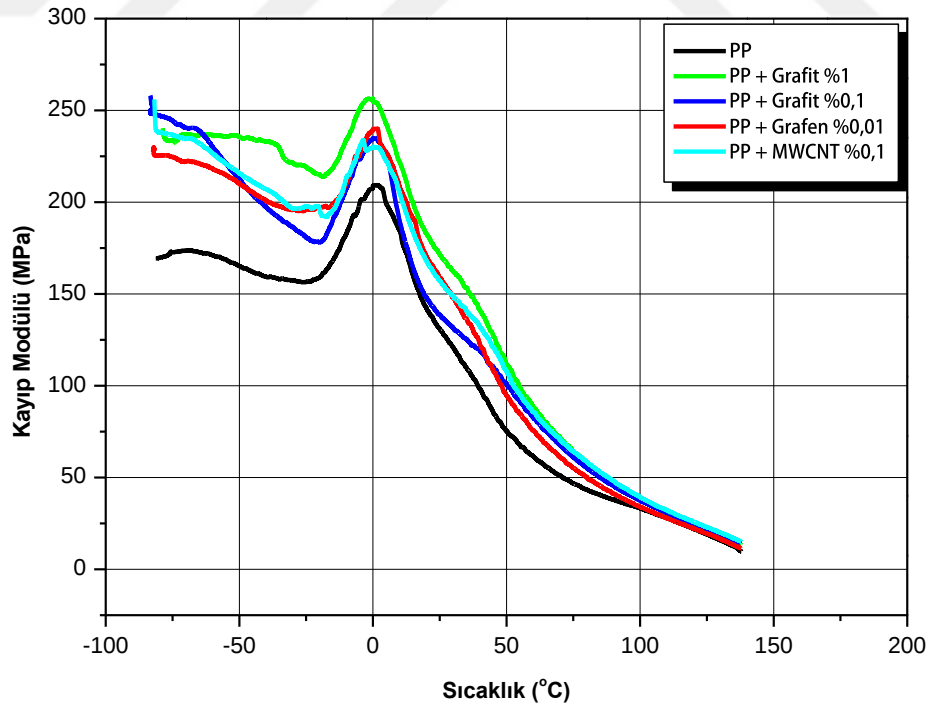


Şekil 5.6. Depolama modülünün sıcaklığa bağlı değişimi

Depolama modülü malzemeye uygulanan sinüzoidal kuvvet sonucu depolanan enerji ile birlikte sertliği de ifade eder. Grafikte artan sıcaklıkla beraber depolama modülünün zamanla azaldığı görülmektedir, bu da zamanla moleküller arası bağların sıcaklıkla beraber zayıfladığını, malzemenin camsı bölgeden esnek termoplastik bölgeye doğru kaydığını göstermektedir. Kauçuk bölgede, %1 grafit takviyeli kompozitin en yüksek depolama modülü değerine sahip olduğu görülmektedir. E_1 değeri, takviye ve matris arasındaki yapışma ile doğrudan orantılıdır (Gupta, 2018). Bu, %1 grafit takviyeli kompozitin diğer kompozitlere kıyasla daha iyi bir arayüz bağına sahip olduğunu göstermektedir. Grafikte de

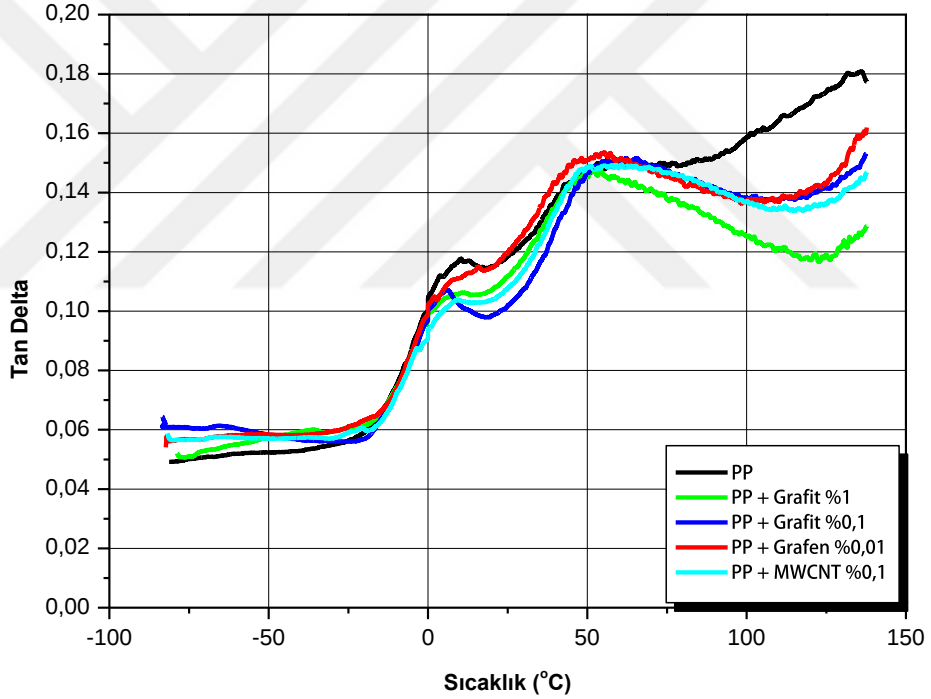
görüldüğü gibi kauçuk bölgede ağırlıkça aynı oranda ilave edilen (%0,1) grafit ve çok duvarlı karbon nanotüp karşılaştırıldığında, en yüksek depolama modülüne sahip malzeme çok duvarlı karbon nanotüp iken takviye edilen grafit miktarının ağırlıkça %1'e çıkarılması ile, eklenen grafit miktarının depolama modülü üzerindeki etkisini camsı geçiş bölgesinde pozitif yönde arttırdığı görülmektedir.

Malzemenin elastik davranışının dışında viskoz davranışını da değerlendirmek için kayıp modülü incelenmektedir. Kayıp modülü polimerik moleküllerin kompozitler içindeki hareketine bağlı olan malzemelerin viskoz tepkisini gösterir (Gupta, 2018). DMA sonucu elde edilen kayıp modüllerinin sıcaklık ile değişimi Şekil 5.7'de verilmiştir. Grafen katkı miktarının diğer takviyelere kıyasla daha az olmasına rağmen kayıp modülü değeri yüksektir. Kayıp modüllerinin takviye edici bir malzemenin polimer matrise ilavesi ile arttığı söylenebilir, aşağıdaki grafikte de görüldüğü gibi kompozit içerisindeki grafit miktarı arttıkça kayıp modül değerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Kayıp modülünün sıcaklığa bağlı değişimi

Kayıp modülünün (E_2) depolama modülüne (E_1) oranı malzemelerin sönümleme özelliğini belirten $\tan \delta$ değerini verir. Sönümleme takviye elemanı ile matris arasında ki tutunuma yani birleşimine bağlıdır. Güçlü takviye elemanı-matris birleşimi, polimer zincirlerinin hareketlerini kısıtlayarak sönümlmeyi azaltacağı için, daha yüksek sönümleme özelliği için zayıf takviye elemanı-matris birleşimi gerekmektedir (Gupta, 2018). $\tan \delta$ değerinin sıcaklıkla değişimi şekil 5.8’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi $\tan \delta$ eğrisi en yüksek pik değerine grafen takviyesi ile ulaşmıştır. $\tan \delta$ eğrisinin maksimum tepe noktasına ulaştığı sıcaklık camısı geçiş sıcaklığını vermektedir. $\tan \delta$ grafiğinden elde edilen camısı geçiş sıcaklıkları, bu sıcaklıklarda ulaştıkları $\tan \delta$ değerleri ile depolama ve kayıp modülünden elde edilen değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.8. $\tan \delta$ 'nın sıcaklığa bağlı değişimi

Çizelge 5.2. Karbon esaslı polipropilen kompozitlerin dinamik mekanik özellikleri

Malzeme	Depolama Modülü (Mpa)	Kayıp Modülü (Mpa)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (T _g)	Tanδ modülü pik yüksekliği
Saf Polipropilen	3469.01	209.45	60.37 °C	0.148
PP + %0,01 Grafen	4204.98	240.10	57.44 °C	0.150
PP + %0,1 NWCNT	4354.29	218.79	62.71 °C	0.147
PP + %0,1 Grafit	4180.02	217.33	67.39 °C	0.148
PP + %1 Grafit	4793.96	242.37	52.76 °C	0.143

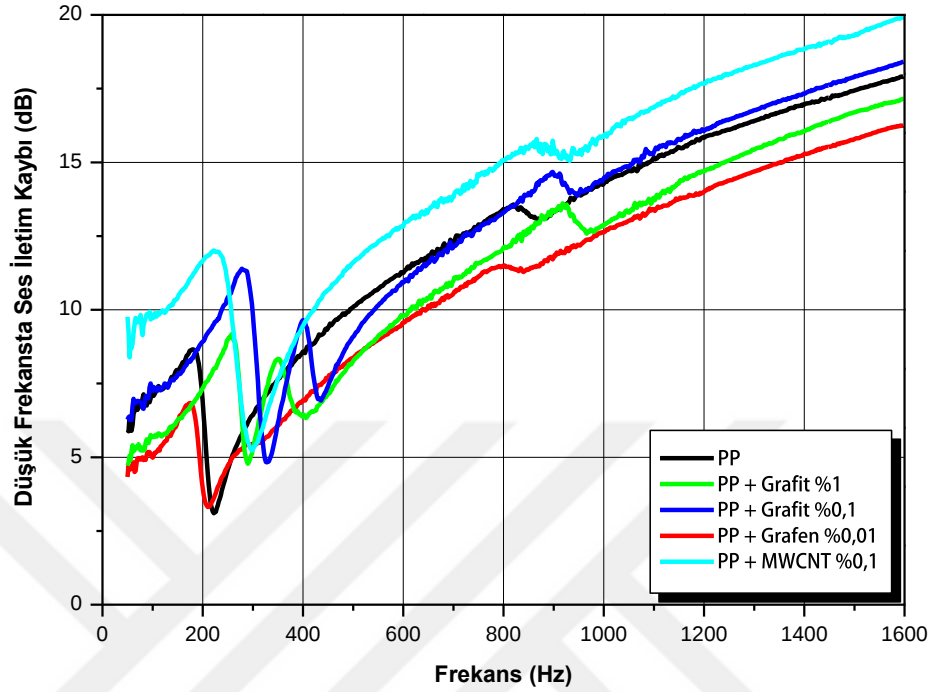
Ağırlıkça %1 grafit takviyeli kompozit, saf PP'in camsı geçiş sıcaklığını 52.76 °C'ye düşürürken , takviye edilen grafit miktarının azaltılması ile camsı geçiş sıcaklığını daha yüksek (67.39°C) bir sıcaklığa kaydırmıştır. Mekanik enerjiyi ısıya dönüştürme yeteneğinin bir ölçüsü olan sönümleme değerinde, tan δ eğrisinde en fazla pik yüksekliğine ulaşan %0,01 grafen takviyeli kompozit, en düşük oranda enerjiyi depolayarak (4204.98 MPa), yüksek oranda ki (240.10) ısıya dönüştürdüğü görülmektedir. Bunun sonucunda grafen katkısının diğer takviyelere göre daha iyi sönümleme gösterdiği görülmüştür.

5.4. Akustik Ölçüm Testi

Akustik performans testleri Ø99.5 ve Ø29.5 mm çaplarında kesilmiş deney numuneleri kullanılarak empedans tüpü ölçüm yöntemi ile düşük (50-1600 Hz) ve yüksek (200- 6400 Hz) frekanslarda her bir numune için 3 er kez ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak yüksek ve düşük frekansta ses iletim kaybı, yüksek ve düşük frekansta ses yutma katsayısı grafikleri elde edilmiştir.

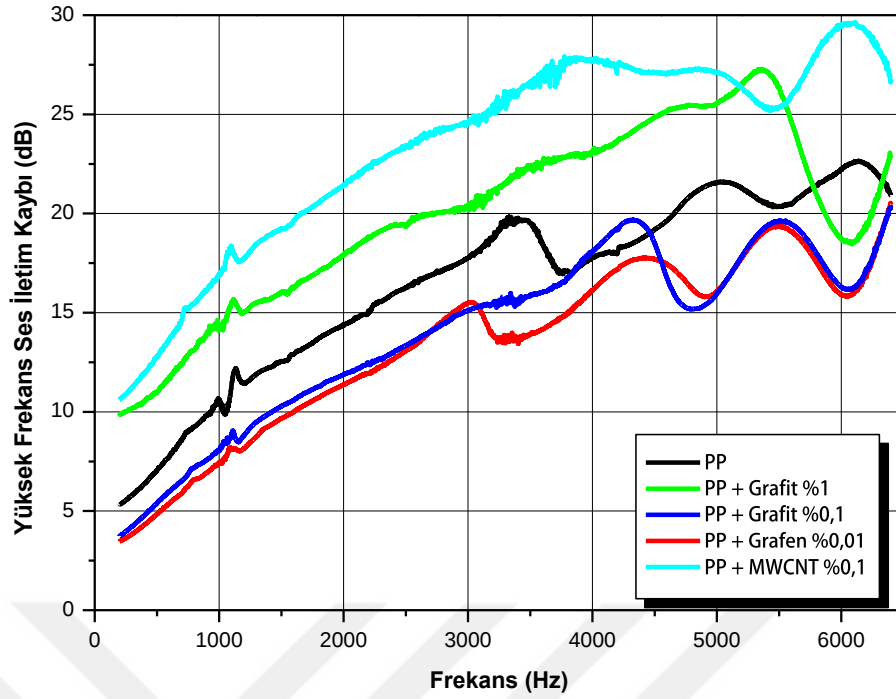
Ses iletim kaybı testi, sesin karşı tarafa ne kadar iletilebilirliğinin bir ölçüsüdür. Kullanılan yalıtım malzemelerinde karşı tarafa sesin minimum seviyede ulaşması için ses iletim kaybının fazla olması beklenir. Şekil 5.9'da, bu çalışmada

hazırlanan beş farklı kompozit malzemeden empedans tüpünde düşük frekanslarda ölçülen ses iletim kaybı ortalama değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Düksek frekansta ses iletim kaybı frekans ilişkisi

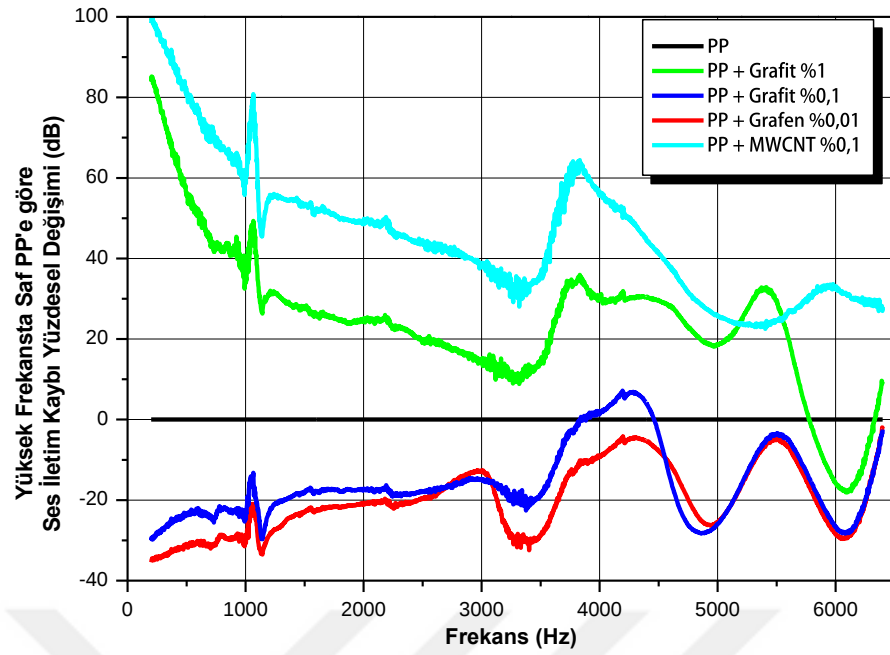
Tüm numunelerden ölçülen ses iletim kaybı değerlerinin artan frekansla birlikte arttığı , %0,1 MWCNT katkılı kompozit için ses iletim kaybının ölçülen tüm frekans aralığında en yüksek değere sahip olduğu, ancak %0,01 grafen katkılı kompozit numunede ise en düşük ses iletim kaybı değerinin ölçüldüğü görülmektedir. Saf PP'nin ses iletim kaybı ölçümleriyle, kompozitlerin ses iletim kayıplarını karşılaştırabilmek amacıyla, Şekil 5.9'daki veriler kullanılarak Saf PP'ne göre ses iletim kaybı yüzdesel değişimleri hesaplanmış ve düşük frekanslar için elde edilen sonuçlar Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Buna göre 50-200 Hz aralığındaki frekanslarda ağırlıkça %0,1 MWCNT katkısı, Saf PP'in ses izolasyon özelliğini yaklaşık %30-40 aralığında iyileştirirken, 50-1600 Hz aralığında PP'in ses yalıtımı özelliğinde %12-15 iyileşme sağlamıştır. Öte yandan ağırlıkça %0,01 grafen katkısının saf PP'in ses yalıtım özelliğini %15-25 düzeyinde kötüleştirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.11. Yüksek frekansta ses iletim kaybı frekans ilişkisi

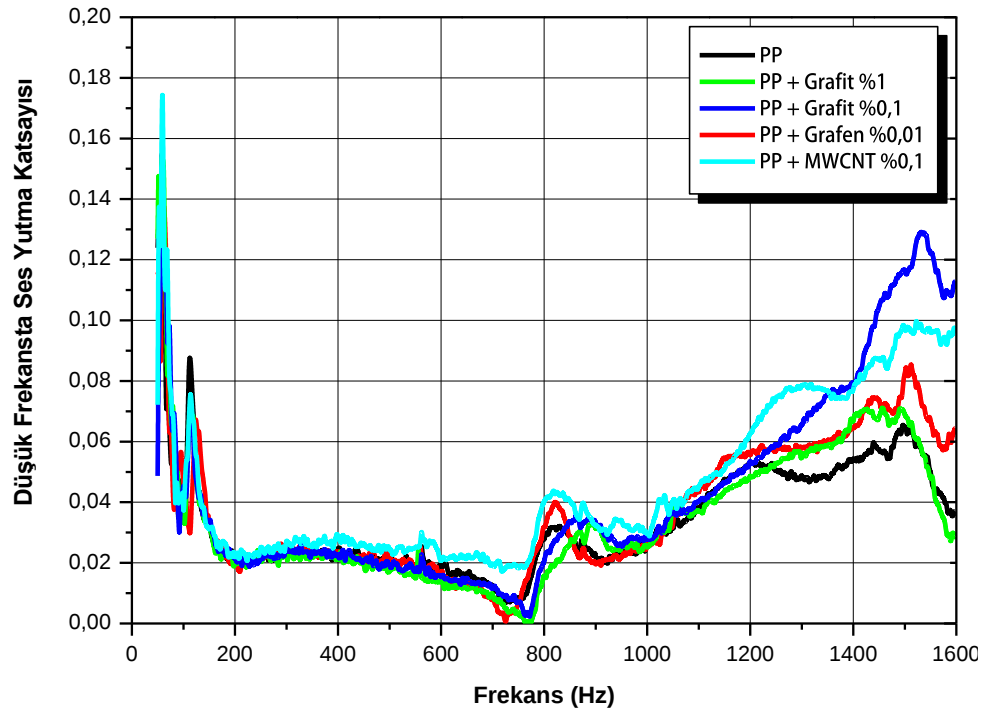
Yüksek frekansta yapılan ölçümlerde düşük frekanstaki gibi artan frekansa bağlı olarak genel anlamda ses iletim kaybının arttığı gözlenmiştir (Şekil 5.11). 3000 Hz'e kadar tüm numunelere ait ses iletim kaybı değerlerinde kararlı bir artış gözlenirken, 3000 ile 4000 Hz aralığında düzensiz değişimler izlenmiştir. Düşük frekanslı ses iletim kaybı ölçüm sonuçlarına benzer şekilde MWCNT takviyeli kompozit malzeme en yüksek ses iletim kaybı değerine (6000 Hz'de 29,63 dB) ulaşırken grafen katkılı kompozit malzemede en düşük ses iletim kaybı değeri ölçülmüştür.

Şekil 5.10'a benzer şekilde, saf PP'e göre yüksek frekans ses iletim kaybı yüzdesel değişimleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Düşük frekanslı ölçümlerde olduğu gibi 200-6400 Hz aralığında %0,1 MWCNT katkısının %30-%100 aralığında değişmekle birlikte ortalama yaklaşık %40 düzeyinde saf PP'nin ses izolasyon özelliğini iyileştirdiği anlaşılmaktadır. %0,01 grafen ve %0,1 grafit katkılarının ise saf PP'in ses izolasyon özelliğini yaklaşık %20 düzeyinde kötüleştirdiği görülmektedir. Bu grafikte görülen ayrışmalarından büyük oranda kompozit yoğunluğu ve porozitesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



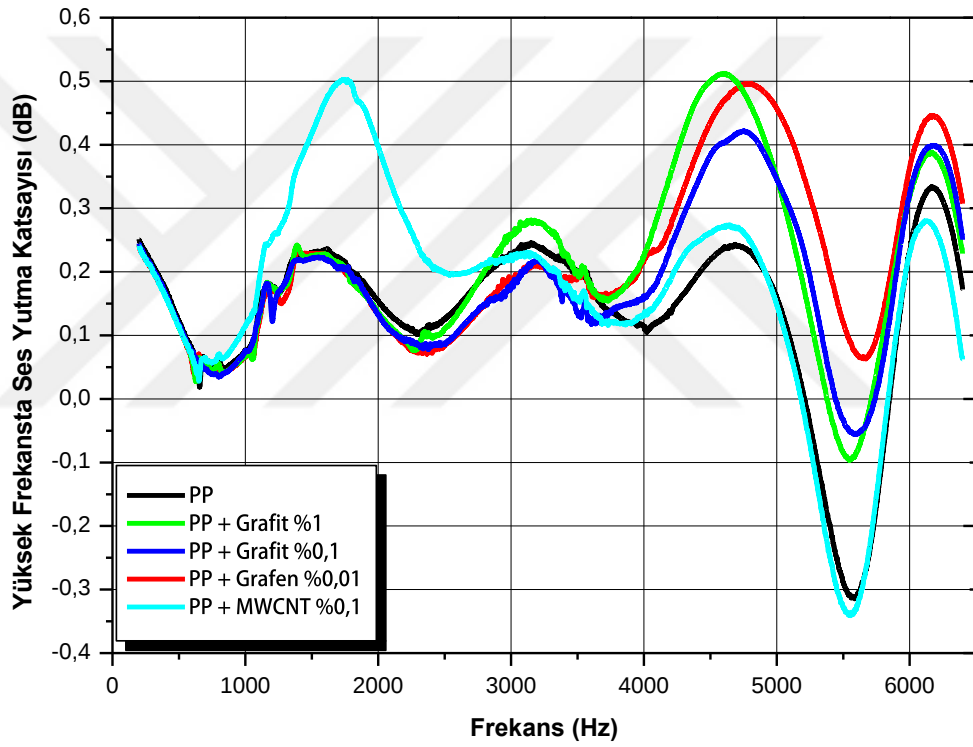
Şekil 5.12. Yüksek frekansta saf PP'e göre ses iletim kaybı yüzdesel değişimi

Ses yutma katsayısı bir yüzey tarafından yutulan ses enerjisinin o yüzeye gelen toplam ses enerjisine oranı olarak tarif edilmektedir. Ses yutma katsayısı 0 ile 1 arasında değişen değerler alabilir. Ses yutma katsayısının sıfıra doğru yaklaşması, yansıtma özelliğine sahip yüzeyleri, bire doğru yaklaşması ise yutma özelliğine sahip yüzeyleri gösterir.



Şekil 5.13. Düşük frekansta ses yutma katsayısı frekans ilişkisi

Düşük frekansta ki ses yutma katsayısı ölçümünde 0-200 Hz aralığında 0,18 dB ile MWCNT en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 200 ile 600 Hz aralığında tüm numunelerde anlık değişimler gözlenmiştir. 600- 800 Hz aralığında çok duvarlı karbon nanotüp haricinde ki diğer numunelerde düşük miktarlarda düşmeler olmuştur, çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli kompozit malzeme ise kararlılığını korumuştur. 800 den 1400 Hz'e kadar doğrusal olarak ses yutma katsayıları tüm malzemelere artış göstermiştir. 1400-1600 Hz aralığında ise % 0,1 gr grafit takviyeli polimer matrisli kompozit malzeme ani bir artışla 0,071 dB e ulaşmıştır.



Şekil 5.14. Yüksek frekansta ses yutma katsayısı frekans ilişkisi

Yüksek frekansta yapılan ses yutma katsayısı ölçümünden elde edilen sonuçlar Şekil 5.14 te gösterilmiştir. Bu grafikte 1000-3500 Hz frekans bandından, %0,1 MWCNT katkılı kompozit numune haricindeki tüm numunelere ait ses yutma katsayıları (~15) ile frekans ilişkisi benzerlik gösterirken, özellikle 1500 Hz frekans bölgesinde MWCNT katkılı numunenin ses yutma katsayısının 0,5 değerlerine yükselerek diğer numunelerden farklı bir karakteristik özellik sergilediği anlaşılmaktadır. Yani 1500 Hz bölgesinde, PP' e katılan çok duvarlı

karbon nanotüp malzemenin ses yutma kabiliyetini önemli miktarda iyileştirmiştir. Ancak 3500-6400 Hz yüksek frekans bölgesinde bu özelliğin tamamen yön değiştirerek MWCNT katkısının malzemeyi incelenen kompozitler içerisinde en kötü ses yutma özelliğine sahip malzeme olarak değiştirdiği tespit edilmiştir. 3500-6400 Hz bandındaki dağılımın kompozit yapı içerisindeki gözeneklilik derecesine bağlı bir dağılıma dönüştüğü anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle yüksek gözenekli yapı malzemenin ses yutma katsayısının artmasına sebep olmuştur.

Belirli frekans değerlerinde, bu çalışmada göz önüne alınan beş farklı kompozit numuneye ait ses yutma katsayıları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu çizelgenin, belirli bir frekanstaki gürültü kaynağını izole etmek için kullanılabilecek malzemenin seçimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 5.3. Numunelerin belirli frekanslardaki ses yutma katsayıları

Frekans (Hz)	PP	PP +%0,01 Grafen	PP + %1 Grafit	PP + %0,1 Grafit	PP + %0,1 MWCNT
125	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06
250	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22
500	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12
1000	0,08	0,07	0,07	0,08	0,11
2000	0,15	0,13	0,14	0,13	0,4
4000	0,11	0,22	0,23	0,16	0,13
6200	0,33	0,44	0,38	0,40	0,26

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ile birlikte, otomotiv sektöründe sürüş konforu ve bu yöndeki müşteri beklentilerini karşılayabilmek, aynı zamanda maliyetleri ve çevresel etkileri azaltabilmek amacıyla oldukça ciddi araştırmalar ve Ar-Ge yatırımları yapılmaktadır. Sürüş konforu açısından, motor, hareket iletim sistemleri, süspansiyon sistemi, aerodinamik, lastik, yol vb. kaynaklı ses ve titreşim etkilerini taşıt kullanıcılarını rahatsız etmeyecek düzeye indirgeyecek ses ve titreşim sönümleme özelliği olan malzemelerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada otomotiv sektöründe kullanılan tüm plastik malzemeler içerisinde en fazla tercih edilen polipropilen malzemelere farklı karbon bileşikleri takviyesiyle elde edilen kompozitlerin ses ve titreşim sönümleyici olarak otomotiv sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla saf polipropilenle birlikte beş farklı karbon bileşiklerine sahip kompozitlerin titreşimsel sönümleme davranışları incelenmiştir. Kompozitler, polipropilen içerisine ağırlıkça %1 ve %0,1 grafit, %0,01 grafen ve %0,1 çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) katılarak elde edilmiştir. Polipropilen içerisine katılan katkı maddeleri ile birlikte bilyalı öğütücüde öğütüldükten sonra granül haline getirilmiştir. Bu granüller daha sonra plastik enjeksiyon ve sıcak presleme yoluyla standartlara uygun test numuneleri şeklinde basılmışlardır.

Hazırlanan test numunelerinin titreşimsel sönümleme davranışlarını incelemek amacıyla, bu numuneler darbe sönümleme, dinamik mekanik analiz (DMA) ve akustik performans testlerine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneyler neticesinde her bir numuneye ait sönümleme oranı, kuvvet iletilebilirlik, depolama ve kayıp modülleri, camı geçiş sıcaklığı, ses iletim kaybı ve ses yutma katsayıları hesaplanmış, kompozitlere ait veriler saf polipropilen için ölçülen parametrelerle karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde aşağıdaki temel bulgulara ulaşılmıştır.

Tireşim sönümleme testi:

- Saf PP'e yapılan tüm takviyelerin kompozitin sönümleme oranını ve doğal frekansını arttırdığı tespit edilmiştir.
- %0,01 grafen katkısının saf polipropilenin sönümleme oranını yaklaşık %33 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Kompozit içerisindeki grafit miktarı arttıkça sönümleme ve kuvvet iletim oranının azaldığı; aynı zamanda yapı içerisindeki gözeneklilik miktarı arttıkça sönümlemenin iyileştiği, kuvvet iletilebilirliğin azaldığı görülmüştür.

Dinamik mekanik analiz (DMA):

- Artan sıcaklıkla birlikte depolama modülünün azaldığı, moleküller arası bağların zayıfladığı ve kompozit yapının camsı bölgeden kauçuk bölgeye doğru kaydığı anlaşılmaktadır.
- Kompozit içerisindeki artan grafit miktarının depolanabilen enerji miktarını arttırdığı, içerisinde aynı miktarda grafit bulunmasına rağmen %0,1 MWCNT katkılı kompozitin %0,1 grafit katkılıya göre daha düşük poroziteye sahip olması, dolayısıyla matris ve takviye arasındaki yapışmanın da depolama modülünün artışına sebep olduğu düşünülmektedir.
- Polipropilen içerisine katılan tüm takviye bileşenlerinin depolama modülünde olduğu gibi verilen sıcaklık değerinde kayıp modülünü de arttırdığı görülmüştür.
- Kompozit içerisindeki takviyeler, aynı zamanda sönümleme hakkında bilgi veren $\tan \delta$ modülü pik yüksekliğini arttırarak camsı geçiş sıcaklığını düşürmüştür. Bu da saf PP'e kıyasla malzemenin kauçuk bölgeye geçmesi için gerekli enerjiyi aşağıya çekmiştir.

Akustik performans testi :

- Ölçümü gerçekleştirilen tüm numunelere ait ses iletim kaybı değerlerinin frekansla birlikte arttığı, teste tabi tutulan numuneler içerisinde en düşük ses iletim kaybının %0,01 grafen katkılı numunede, en yüksek ses iletim kaybı değerinin ise %0,1 MWCNT katkılı numunede ölçüldüğü görülmüştür.
- Düşük frekanslı ölçümlerde olduğu gibi yüksek frekanslarda da (200-6400 Hz) polipropilen içerisine eklenen ağırlıkça %0,1 MWCNT takviyesinin %30-%100 aralığında değişmekle birlikte, ortalama %40 düzeyinde saf PP'nin ses yalıtılma özelliğini iyileştirdiği, %0,01 grafen ve %0,1 grafit katkılarının ise ortalama %20 düzeyinde kötüleştirdiği tespit edilmiştir.

Yapılan titreşim, dinamik mekanik analiz ve akustik performans ölçüm testlerinin neticesinde, ağırlıkça %0,01 grafen katkılı kompozit malzemenin, otomotiv sektöründe taşıt motoru, aktarma organları, aerodinamik kuvvetler ve tekerlekten kaynaklı oluşabilecek titreşimleri sönümleme amaçlı kullanılabileceği, 200-3500 Hz aralığında titreşim kaynaklı ve diğer (yolcu,rüzgar vb.) sebeplerden dolayı oluşabilecek gürültüyü hem kabin içi hemde kabin dışına geçmesini minimuma indirgeyebilmek için %0,1 MWCNT katkılı PP malzemelerin, 3500-6400 Hz aralığında ise %0,01 grafen katkılı polipropilen kompozitlerin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında, katkı konsantrasyonunun kompozitin titreşimsel özellikleri üzerindeki etkileri konusundaki sonuçları daha güvenilir hale getirebilmek için, daha fazla sayıda ve farklı katkı konsantrasyonuna sahip numunelerle çalışmaların yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada teorik olarak hesaplanan kompozitlerdeki porozite yüzdesinin deneysel olarak da teyit edilmesi gerektiği kanaatine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı. 2019. Plastik Enjeksiyon Cihazı,Erişim tarihi: 02.04.2019. <http://bumlab.bartın.edu.tr/cihazlar/plastik-enjeksiyon-cihazı.html>
- Bias Mühendislik, 2019. Ses Yutum Katsayısı/Ses İletim Kaybı Tüpleri Kullanım Klavuzu, İstanbul
- Callister,W.D.,Jr.,Rethwisch D.G.,2009. Materials Science and Engineering. Wiley,994p,USA.
- Çuhadaroğlu, A.D., Kara,E., 2018. Grafit: Bir Genel Değerlendirme.SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 8, 15-33.
- Dunson,D.,2017. Characterization of Polymers using Dynamic Mechanical Analysis (DMA).EAG Laboratories, Material Sciences.
- Gay,D., Hoa,S., Tsai, S.W., 2003.Composite Materials Design and Applications.CRC Press,520p,USA.
- Gupta,M.K,2018. Effect of Variation in Frequencies on Dynamic Mechanical Properties of Jute Fibre Reinforced Epoxy Composites. Journal of Materials and Enviromental Sciences, 9(1),100-106.
- Gülmez, S.,2018. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler.Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, Denizli.
- Karagöz,İ.,2007. Sayısal Analiz ve Mühendislik Uygulamaları. Nobel Yayın Dağıtım, 486s, Bursa.
- Kıral, Z., ?. Mekanik Titreşimler Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi. Erişim tarihi:02.04.2019.http://kisi.deu.edu.tr/zeki.kiral/Mekanik_Titresimler_Ders_Notlar%C4%B1_Zeki_K%C4%B1ral.pdf
- Kaw,A.K.,2006.Mechanics of Composite Materials.CRC Press,457p,USA.
- Khan S., Chi Yin Li, Naveed A. Siddiqui, Kim J., 2011. Vibration Damping Characteristics of Carbon Fiber-reinforced Composites Containing Multi-Walled Carbon Nanotubes, Composites Science and Technology 71, 1486–1494.
- John A., Alex S., 2014. A Review on the Composite Materials used for Automotive Bumper in Passenger Vehicles, International Journal of Engineering and Management Research, Vol.4, 98-101.

- Mazumdar,S.K.,2002.Composite Manufacturing: Product, Materials and Process Engineering.CRC Press,392p,USA.
- Macioce,P., 2003. Viscoelastic damping 101.Roush Industries, Sound&Vibration, 37.
- Mohamad N., J. Yaakub, H.E. Ab Maulod , A.R. Jeefferie, M.Y. Yuhazri, K. T. Lau, Q. Ahsan, M.I. Shueb and R. Othman , 2017. Vibrational Damping Behaviors of Graphene Nanoplatelets Reinforced NR/EPDM Nanocomposites, Journal of Mechanical Engineering and Sciences , Volume 11, Issue 4, 3274-3287.
- Moritomi,S., Watanabe,T., Kanzaki,S., 2010. Polypropylene Compounds for Automotive Applications. Sumitomo Kagaku. vol. 2010-I, 16s
- Öner, G., Ünal, H.Y., Pekbey, Y., 2017. Karbon nanotüp katkılı camlı-epoksi kompozitlerin termal ve eğilme özelliklerinin araştırılması, Mühendislik Dergisi, 8, 805-816.
- Özkan, A., Yapıcı, Ece., Günkaya, Z., Banar, M., 2018. Plastik Atıklardan Karbon Nanotüp (CNT) Üretimi Üzerine Bir Değerlendirme. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler, 6, 98-107.
- Öztop, B., Gürbüz, M., 2017. Atık Alüminyumdan Elde Edilen Matrise Grafen Takviyesiyle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies. 1, 4-8.
- Öztop, B., Gürbüz, M., 2018. Si₃N₄ Takviyesiyle Atık Alüminyumdan Üretilmiş Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi, Technological Applied Sciences. 13(1):57-66.
- Pagev.2017.Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör İzleme Raporu.24s.
- Perkin Elmer, 2019. A Beginner's Guide. Dynamic Mechanical Analysis (DMA). Erişimtarihi:23.01.2019.
https://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/4474546GDE_IntroductionToDMA.pdf
- Perkin Elmer, 2019. Dynamic Mechanical Analysis Basics: Part 1 How DMA Works.Erişimtarihi:15.01.2019.
https://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/4474546GDE_IntroductionToDMA.pdf
- Sapuan S.M., N. Suddin and M. A. Maleque, 2002. A Critical Review of Polymer-based Composite Automotive Bumper Systems, Engineering Review, Vol. 10, No. 8, 627-636

- Seçgin A., Kara, M., İhtiyaroğlu, Y., Ozankan, A., 2017. Empedans Tüpü ile Malzemelerin Farklı Geliş Açılarındaki Ses Yutma Katsayısının Belirlenmesi. 18. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, 5-7 Temmuz 2017, Trabzon, 308-316.
- Seyhan,İ.,2018. Polyamid 6 ve Polipropilen Matrisli Kompozitlerin Farklı Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi.Erciyes Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi,58s,Kayseri.
- Sönmez,M.,2009. Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği: Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme .İstanbul Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi,183s,İstanbul.
- Suddin N., Sapuan Salit M.,Ismail N., Maleque M.A., and Zainuddin S., 2005. Total Design of Polymer Composite Automotive Bumper Fascia, Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 12 No. 1, 39-45
- Tiyek İ., Dönmez U., Yıldırım B., Alma, M.H., Ersoy, M.S., Karataş, Ş., Yazıcı, M., 2016. Kimyasal Yöntem ile İndirgenmiş Grafen Oksit Sentezi ve Karakterizasyonu. SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 20, 349-357.
- Us Research Nanomaterials,Inc., 2019. Erişim tarihi : 01.05.2019. <https://www.us-nano.com.tr>
- Yetkin S.H., Karadeniz B., Yıldırım B., Güleşen,M., 2017. Investigation of The Mechanical and Thermal Properties of Graphene Oxide Filled Polypropylene Composites. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4, 34-40.
- Yıldırım, A., Taşcan, M., Girginer, B., Yerleşen, U., Öztoksoy, M., Gündüz, S., Öztürk, T., 2015. Otomotiv Sektöründe Akustik Yalıtım Geliştirmeye Yönelik Yenilikçi Nonwoven Kumaş Teknolojilerinin Geliştirilmesi. II. Ulusal Akustik Kongresi ve Sergisi, İstanbul Teknik Üniversitesi,Taşkışla,İstanbul, 19-20 Ekim 2015.
- Yücedağ, F.,2006.Anti-bakteriyel Poliüretan Film Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 38s, İstanbul.
- Wang T., Li Y., 2015. Design and Analysis of Automotive Carbon Fiber Composite Bumper Beam Based on Finite Element Analysis, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 7(6), 1–12.
- Wang W., Murthy N.S., 2011. Carbon Nanotubes - Polymer Nanocomposites. Yellampalli,S.,(Ed.) Characterization of Nanotube Reinforced Polymer Composites (155-172).Intech,396p,Hırvatistan.

Williams, J., 2015. The science and technology of composite materials. Erişim tarihi : 28.03.2019. <https://www.science.org.au/curious/technology-future/composite-materials>.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özge KAYA

Doğum Yeri ve Yılı : Antalya , 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ozgekaya__@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Atatürk Anadolu Lisesi, 2010

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği,2014

Mesleki Deneyim

Hastrailer 2014-2019