

**NANO PARTİKÜLLÜ KOMPOZİT ÜRETİMİ
VE TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Fatih ŞANSVEREN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı
Prof. Dr. Mustafa YAMAN**

2015

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANO PARTİKÜLLÜ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve TİTREŞİM
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Fatih ŞANSVEREN

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı**

ERZURUM

2015

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

NANO PARTİKÜLLÜ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE TİTREŞİM
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Mustafa YAMAN danışmanlığında, Mehmet Fatih ŞANSVEREN tarafından hazırlanan bu çalışma 20/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı – Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ömer GÜNDOĞDU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Murat Demir AYDIN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mustafa YAMAN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 23/07/2015 tarih ve 29/1017 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO PARTİKÜLLÜ KOMPOZİT ÜRETİMİ ve TİTREŞİM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Fatih ŞANSVEREN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YAMAN

Günümüzde çok hızlı gelişen teknolojik değişimlerle birlikte bu değişimlere cevap verecek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda yüksek performanslı polimer matrisli kompozit malzemelerin yaygın şekilde kullanılması ile farklı katkı elemanları ilave edilerek ihtiyaçlara yönelik mekanik özelliklerinin daha da geliştirilmesi için çalışmalar hala devam etmektedir. Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler yüksek mukavemet özelliği sağlamaktadır. Bu malzemelerin mukavemet değerlerinden ödün vermeden ağırlıklarını azaltmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla, polimer matrisli yapıya mikro balon adı verilen mikron boyutundaki içi boş kürecikler katılmaktadır. Bu yapıların hafifletilmesinin yanında mekanik özelliklerini artırmak için karbon nano fiber partikülleri bu çalışmada kullanılmıştır. Karbon nano fiberli kompozit yapılar ile karbon nano fibersiz yapıların titreşim özellikleri deneysel olarak çalışılmıştır.

2015, 42 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mikro balon, nano partiküller, polimer matrisli kompozit, mekanik ve dinamik özellikler

ABSTRACT

Master Thesis

MANUFACTURING OF NANO PARTICULATE COMPOSITE AND INVESTIGATION OF VIBRATION PROPERTIES

Mehmet Fatih ŞANSVEREN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Machine Theory and Dynamics Department

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa YAMAN

Nowadays with the quickly developing technological changes, materials to respond to these changes are needed. With the widely use of high performance polymer matrix composite materials recently, studies have been conducted to develop the mechanical properties for the needs even further by adding different additives. Fiber-reinforced polymer composite materials provide high strength. Various studies have been conducted to decrease the weight of these materials without sacrificing their strength values. To this end, hollow beads in micron sizes called micro balloons are added into the polymer matrix structure. Besides of lightening this structure, carbon nano fiber particulates are used in this study to improve mechanical properties of structures. Vibrations characterizations are experimentally studied composite structure of with and without carbon nano fiber.

2015, 42 pages

Keywords: Micro balloon, nano particles, polymer matrix composite, mechanical and dynamical properties

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Nano Partiküllü Kompozit Üretimi ve Titreşim Özelliklerinin Araştırılması“ çalışması boyunca her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile yoluma ışık tutan, rehberliği, sabrı, değerli kişiliği ve arkadaşlığı ile danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa YAMAN’a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Değerli hocam Sayın Doç. Dr. Gürkan ŞAKAR’a verdiği destekler ve göstermiş olduğu ilgiden dolayı teşekkür ederim. Öneri ve yardımlarıyla desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Seracettin ARASAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım esnasında her türlü öneri, yardım ve destekleri ile beni yalnız bırakmayan değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Arş. Gör. Volkan ACAR, Sayın Arş. Gör. Erdoğan GÜNER, Sayın Arş. Gör. Galip KALTAKKIRAN, Sayın Hojjat GHAHRAMANZADEH ASL ve Sayın Arş. Gör. Filiz KARABUDAK’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

SEM analizlerinde yardımını esirgemeyen değerli mesai arkadaşım Sayın Arş. Gör. Selim ÇÖGENLİ’ye, sarf malzeme temininde karşılıklı fikir alışverişinde bulunduğum HUNTSMAN firması Türkiye Ticari Menajeri Sayın Pınar YELER’e, VESER Kimyevi Maddeler A.Ş çalışanları Sayın İbrahim AKGÜL ve Sayın Emre KIRCA’ya ve Grafen Kimyasal Endüstrileri Finans Direktörü Sayın Yasin KILIÇKAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Sadece eğitim-öğretim hayatım ile kalmayıp tüm hayatım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve hayata dair öğrendiğim her şey için dayanağım babam, kıymetli annem ve sevgili kardeşlerime vefa ve şükranla teşekkür ederim.

Mehmet Fatih ŞANSVEREN

Temmuz, 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1. Karbon Nano Fiberler.....	7
2.1.1. Karbon nano fiber üretim yöntemleri.....	8
2.1.1.a. Katalitik olarak buhar biriktirme büyüme yöntemi.....	8
2.1.1.b. Elektro lif çekim yöntemi (electrospinning).....	9
2.1.2. Karbon nano fiberlerin mekanik özellikleri ve nano kompozitler.....	10
2.2. Mikro Balonlar.....	12
2.3. Kabarcıklı Süngerler.....	12
2.4. Polimerler.....	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.2. Yöntem.....	18
3.3. Mekanik ve Dinamik Testler.....	20
3.3.1. Titreşim testi.....	21
3.3.2. Darbe testi.....	22
3.3.3. Çekme testi.....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	24
4.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi).....	24
4.2. Mekanik Test Bulguları.....	24
4.2.1. Titreşim testleri.....	24
4.2.2. Darbe testleri.....	33
4.2.3. Çekme testleri.....	37

5. SONUÇ	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

KF	Karbon Fiber
KNF	Karbon Nano Fiber
KNT	Karbon Nano Tüp
MB	Mikro Balon
PA	poli amids
PAN	Poliakrilonitril
PC	polikarbonat
PE	polietilen
PET	poliester
PP	polipropilen
PS	polistreyn
PVC	polivinil klorür
SAXS	Dar Açı Röntgen Saçılma
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
WAXD	Geniş Açı Röntgen Kırılma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Karbon nano fiber ile geleneksel karbon fiber arasındaki şematik görünüm farkı	7
Şekil 2.2. (a-c) konik KNF yapısı, (d) levhacık KNF yapısı	9
Şekil 3.1. Malzemelerin hassas tartım aşaması.....	17
Şekil 3.2. Mekanik karıştırma aşaması	19
Şekil 3.3. Titreşim numuneleri	21
Şekil 3.3. Test cihazları.....	22
Şekil 3.4. Darbe Numuneleri	22
Şekil 3.5. Çekme test cihazı.....	23
Şekil 4.1. a) karbon nano fiberli kabarcıklı sünger, b) karbon nano fiber içermeyen kabarcıklı sünger numunesi	24
Şekil 4.2. MB hacim oranına karşın doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB} = 120 \text{ kg/m}^3$)	25
Şekil 4.3. MB hacim oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$)	26
Şekil 4.4. Hacimce %0.25 KNF içeren numunelerin MB hacim oranına karşın doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$).....	26
Şekil 4.5. Hacimce %0.25 KNF içeren numunelerin MB hacim oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)	27
Şekil 4.6. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$)	28
Şekil 4.7. Farklı MB hacim oranına sahip numunelerin kalınlığa bağlı olarak frekans değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$).....	29
Şekil 4.8. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)	29
Şekil 4.9. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)	30

Şekil 4.10. Farklı MB hacim oranına sahip numunelerin kalınlığa bağlı olarak frekans değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)	31
Şekil 4.11. Farklı kalınlığa sahip numunelerin MB yoğunluğuna bağlı olarak frekanslarının değişimi.....	31
Şekil 4.12. Farklı kalınlığa sahip numunelerin MB yoğunluğuna bağlı olarak sönüm oranlarının değişimi.....	32
Şekil 4.13. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	33
Şekil 4.14. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	34
Şekil 4.15. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	34
Şekil 4.16. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	35
Şekil 4.17. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	35
Şekil 4.18. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi.....	36
Şekil 4.19. KNF oranlarına karşın gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Epoksi reçine Araldite GY 9513	15
Çizelge 3.2. Sertleştirici TETA (triethylenetetramine).....	16
Çizelge 3.3. Karbon Nano Fiber'e ait özellikler	16
Çizelge 3.4. Cam Mikro Balon'a ait özellikler	17
Çizelge 3.5. Üretilen kompozit tipleri ve hacimsel oranları (%)	20

1. GİRİŞ

Günümüzde çok hızlı gelişen teknolojik değişimlerle birlikte bu değişimlere cevap verecek malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilinen en eski kullanım alanı inşaat sektörü olan kompozit malzemeler bu ihtiyaçları gidermekte ve sürekli gelişim gösteren çeşitleri ile hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda yüksek performanslı polimer matrisli kompozit malzemelerin yaygın şekilde kullanılması ile farklı katkı elemanları ilave edilerek ihtiyaçlara yönelik mekanik özelliklerinin daha da geliştirilmesi için çalışmalar hala devam etmektedir. Fiber takviyeli polimer kompozit malzemeler yüksek mukavemet özelliği sağlamaktadır. Bu malzemelerin mukavemet değerlerinden ödün vermeden ağırlıklarını azaltmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla, polimer matrisli yapıya mikro balon adı verilen mikron boyutundaki içi boş kürecikler katılmaktadır. Polimer matris içerisine mikro balonların katılmasıyla oluşturulan yeni kompozit yapıya sentetik köpük (syntactic foam) ya da kabarcıklı sünger kompozit denilmektedir. Bu kompozitler hücreli-gözenekli yapılarından dolayı köpük olarak sınıflandırılmaktadırlar. Kabarcıklı süngerler yüksek performans, hafiflik, düşük nem emilimi, suda batmama, düşük ısı transferi ve düşük radar algılama vb. gibi yeteneklerinden dolayı geniş uygulama alanına sahiptir. Kompozit malzemelerin kullanımında istenen yüksek mukavemet-düşük ağırlık gibi çeşitli gereksinimler bilim insanlarını yeni arayışlara sürüklemektedir. Nano teknolojinin ilerlemesi, üretilen nano partiküllerin üstün mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı kompozit ürünlerde dolgu ya da takviye elemanları olarak kullanılmakta ve nano partiküllü kompozitler üretilmektedir.

Kabarcıklı süngerlerde içi boş mikro balonların kullanılması ağırlık kaybına sebep olurken mukavemeti düşürmektedir. Buna karşılık yapının mukavemetinin artırılması için ise ya mikro balon oranının azaltılması ya da cidar kalınlığı fazla olan mikro balonların kullanılması gerekir. Her iki durumun da gerçekleştirilmesi yeniden ağırlığın artmasına sebep olmaktadır. Ağırlığı artırmadan mukavemetin artırılması için ise nano partiküllü katkılar devreye girmektedir.

Kabarcıklı süngerler (syntactic foam) ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Fakat kabarcıklı süngerlerin titreşim ve darbe testleri ile ilgili çalışmalar sınırlı ya da mevcut değildir. Literatürde kabarcıklı süngerler ile ilgili yapılan çalışmalar kısaca özetlenecektir.

Zegeye and Woldesenbet (2012) yılında karbon nanotüp takviyeli kabarcıklı sünger üretmişlerdir. Basma ve dinamik gibi mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Dikey olarak hizalanmış karbon nanotüpler mikro balonların yüzeyi ile olgunlaştırılmış ve sonra epoksi sistemine ilave edilmiştir. Ağırlıkça %0-0,8 arasında değişen karbon nanotüp oranları kullanılmıştır. Karbon nanotüp içeren kabarcıklı süngerlerin özellikleri ile karbon nanotüp içermeyen ham kabarcıklı süngerlerin özellikleri karşılaştırılmıştır. Basma modülünde %35-41 oranında ve sönüm katsayısında %10-104 oranında sonuçlar gelişme göstermiştir. Birçok kompozitte basma mukavemeti, elastisite modülü ve camsı geçiş sıcaklığında değişme gözlenmemiştir.

Tagliavia *et al.* (2009) yılında kabarcıklı süngerlerin dinamik mekanik özelliklerini analiz etmişlerdir. Partikül hacim oranını içeren kompozit malzemenin dinamik mekanik davranışını belirlemek için bir teorik model geliştirilmiştir. Model yaklaşımı türevsel şemaya dayanmaktadır. Türevsel şema, boş partiküllerin (mikro balonların) sonsuz bir biçimde seyreltilmiş dağılım özelliklerine dayanarak yüksek katkılı hacim oranlarını belirler. Model mekanik titreşimlerin geniş bant aralıklarında depolama modülü ve kayıp tanjantını belirlemeye imkân tanımaktadır. Vinilester-cam mikro balon kabarcıklı süngerden oluşan 16 kompozit üzerinde yapılan deneysel sonuçlar ile teorik tahminler doğrulanmıştır. Mikro balon duvar kalınlığının ve hacim oranının kabarcıklı süngerin dinamik mekanik özelliklerine bağımlılığını belirlemek için titreşim testleri kullanılmıştır. Sonuçlar, mikro balon hacim oranı artarken kayıp tanjantının genellikle düştüğünü göstermektedir ve kayıp tanjantı mikro balon duvar kalınlığından etkilenmemiştir. Sonuçlara göre, depolama modülü mikro balon duvar kalınlığının artması ile artış göstermiştir. Böylece kayıp tanjantı ve depolama modülü mikro balon hacim oranı ve duvar kalınlığı yardımıyla uygun hale getirilebilir.

Gupta *et al.* (2007) yılında kil-epoksi nano kompozitlerin üretim metodu ile nano kil içeriğinin çekme, basma ve darbe özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Nano kompozitler mekanik karıştırma ve kesme karıştırma (shear mixing) olmak üzere 2 tip metotla sentezlenmiştir. Kil- epoksi nano kompozit üretiminde her iki metot da geçerlidir. Nano killerin mekanik olarak karıştırılan numunelerde pul pul döküldüğü x-ışını analizlerinde görülmüştür. Sonuçlar, nano kil içeriği artarken hem mekanik hem de kesme olarak karıştırılan numunelerde çekme modülünün arttığını ve basma modülünün büyük ölçüde değişmeden kaldığını göstermişlerdir. Darbe yükleri altında toplam enerji yutma miktarının mekanik olarak karıştırılan numunelerde kesme karıştırma ile üretilen numunelere oranla daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Cam kabarcıklı sünger kompozitler derin su sistemlerinde boruların ısı izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla kabarcıklı süngerlerin suya karşı davranışları ve kaplanmış oldukları yapıların hidrostatik basınç altındaki davranışları araştırmalara konu olmuştur. Yalıtım malzemesi amacıyla kullanmak için iç içe geçmiş boru sistemleri çok pahalı olmaları veya giydirmeye için çok ağır olmaları açısından dezavantajlara sahiptir. Bu gibi durumlar alternatif sistemler aramaya itmekte ve dış çelik borulara olan ihtiyacı kaldırmaya itmektedir. Bu noktada kabarcıklı sünger kompozit yapılar devreye girmektedirler ve çalışmalarda iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Grosjean *et al.* 2009).

Polimer bazlı kabarcıklı sünger kompozit yapıların denizcilik ve uzay sanayisinde sandviç yapıların çekirdek malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmasıyla mikro balonların sağladığı düşük nem emilimi (Sauvant-Moynot *et al.* 2006) ve yüksek kaldırma kuvveti (Technology and Limited 1991) gibi faydaları araştırmalara ilgi kaynağı olmaktadır. Nem emme etkisinin vinil ester matrisli-cam mikro balonlu kabarcıklı süngerlerin esneme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Mikro balonların duvar kalınlığının ve hacim oranının-nem emme ilişkisi iyonsuzlaştırılmış su ve deniz suyu ortamında araştırılmıştır (Tagliavia *et al.* 2012).

Fiberlerin bir takviye malzemesi olarak polimer kompozit dünyasına sağladığı faydaların kabarcıklı sünger mekaniğinde de katkı sağlayacağı düşünülerek fiber içeriği ve fiber boyunun etkisi kabarcıklı süngerlerin çekme, kırılma ve ısıl özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve fiberlerin katkı sağladığı ifade edilmiştir (Wouterson *et al.* 2007).

Üç fazlı kabarcıklı sünger kompozitler (matris malzemesi-mikro balon-yapı içerisindeki boşluklar) üzerinde fiber katkısının mekanik ve fiziksel özelliklere olan etkileri araştırılmıştır. Yapı içerisinde oluşan boşlukların fiber bulunup bulunmadığı durumlardaki işlem süreçleri deneysel olarak araştırılmıştır ve fiberlerin bu duruma katkı sağladığı ifade edilmiştir (Gupta *et al.* 1999).

Kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin bazı mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kauçuk ve nano kil partiküller kullanılmıştır. Düzlemsel kabarcıklı sünger, kauçuk katkılı kabarcıklı sünger ve nano kil katkılı kabarcıklı süngerlerin eğme özellikleri yapılan deneysel araştırmalarla karşılaştırılmıştır. Mikro balon mukavemetinin, oluşturulan düzlemsel kabarcıklı sünger ile oluşturulan hibrit kabarcıklı sünger kompozitlerin kırılma davranışında önemli bir rol oynadığı ortaya konmuştur (Maharsia *et al.* 2006).

Yüksek enerji emilimi ve darbe toleransı özelliklerine sahip kabarcıklı sünger kompozit elde etmek amacıyla yapıya nano kil katkısı yapılmıştır. Nano kil partiküllerin bulunduğu ve bulunmadığı kabarcıklı süngerler çekme testlerine tabi tutulmuştur. Nano kil partiküllerin çatlak başlamasını ve büyümesini geciktirmede önemli rol oynadığı ve böylece çekme dayanımını ve tokluğunu artırdığı ifade edilmiştir (Maharsia and Jerro 2007).

Yapılan bir diğer çalışmada kabarcıklı sünger kompozitlere nano boyutta ve mikro boyutta farklı katkı malzemesi katılmış bu kompozitlerin çekme ve çatlak özellikleri incelenmiştir. Nano boyutta nano kil malzemesi, mikro boyutta ise kısa karbon fiberler kullanılmıştır (Wouterson *et al.* 2007).

Cam mikro balon ve vinil esterden oluşan kabarcıklı süngerlerin eğilme özellikleri araştırılmıştır. Mikro balon duvar kalınlığının ve hacim oranının eğilme özellikleri üzerindeki etkileri 3 noktadan eğme testleri ile belirlenmiştir (Tagliavia *et al.* 2010).

Karbon nano fiber katkılı kabarcıklı süngerlerin visko elastik özelliklerinin -75 ile 200°C sıcaklık değerleri arasında nasıl değiştiği araştırılmıştır. Oluşturulan numunelerin maksimum kullanım sıcaklıkları ve camsı geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Karbon nano fiber ve mikro balon hacim oranlarının farklı olduğu kabarcıklı sünger konfigürasyonları ortaya konmuş, üretilen bu kompozitlerin depolama modülü, kayıp modülü ve sönüm parametreleri değerlendirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda gelişmiş kararlılık gösteren ve karbon nano fiber ile cam mikro balonların ilave edilmesi vasıtasıyla yeteneklerinin gelişmesi katkılı kabarcıklı sünger kompozitlerin uzay endüstrisinde kullanılması yönünden önem arz etmektedir (Poveda *et al.* 2014).

Uzay sistemleri yapılarının ısı şartlarının önemli olması ve bu şartların ortaya konması amacıyla kabarcıklı sünger kompozitlerin ısı özellikleri araştırılmıştır. Mikro balon duvar kalınlığının ve hacim oranının ısı iletkenlik üzerindeki etkileri deneysel ve oluşturulan teorik model ile incelenmiştir (Gupta and Pinisetty 2012).

Kabarcıklı süngerlerin hem deneysel hem de teorik model yoluyla karakterizasyonu incelenmiş ve elastik özellikleri araştırılmıştır. Polimerik yapı içerisinde olan mikro balon dolgusu ve polimer yapı içerisinde oluşan istenmeyen boşluklar hesaba katılarak bu durumların kabarcıklı sünger kompozitin mekanik özellikleri açısından önemi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar ile baz alınan teorik modelin uygunluk gösterdiği ifade edilmiştir (Bardella and Genna 2001).

Yapılan bir çalışmada tahmini bir model ile kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin elastik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Mikro balon hacim oranı ve duvar kalınlığının elastik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Porfiri and Gupta 2009).

Gerçekleştirilen diğler bir deneysel çalışmada farklı türden mikro balonlar (cam mikro balon ve fenollü mikro balon) farklı hacim oranlarında oluşturulmuştur. Oluşturulan kabarcıklı sünger kompozit yapıların özgül mukavemet özellikleri ve kırılma tokluğu özellikleri gerçekleştirilen çekme, basma, eğme ve kırılma testleri ile araştırılmıştır (Wouterson *et al.* 2005).

İşlevsel olarak nitelendirilmiş kabarcıklı sünger kompozitler üretilmiştir. İşlevsellik 2 tür kabarcıklı sünger kompoziti ifade eder. Bunlardan birincisinde hacim oranı tipi olarak diğeri ise duvar kalınlığı tipi olarak üretilmiştir. Hacim tipinde hacim oranları farklı olan kabarcıklı süngerler tabaka halinde oluşturulmuş ve bu kabarcıklı sünger kompozitlerin bir epoksi yapıştırıcı yardımı ile yapıştırılarak tabakalı kompozit oluşturulmuş ve basma testlerine tabi tutularak basma özellikleri belirlenmiştir. Duvar kalınlığı tipi ise aynı hacim oranına sahip farklı tipteki mikro balonlar ile kabarcıklı süngerler oluşturulmuş ve yine bir epoksi yapıştırıcı yardımıyla tabaka haline getirilerek basma testlerine tabi tutulmuştur (Gupta and Ricci 2006).

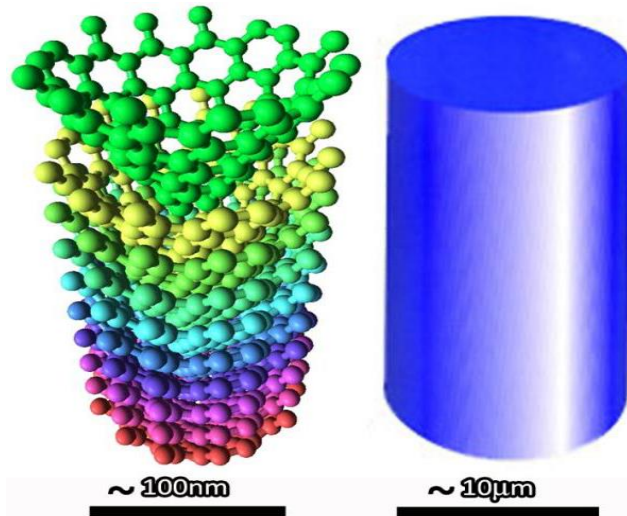
Araştırılan bir diğler çalışmada karbon mikro balon hacim oranı, karbon mikro balon yoğunluğu, arayer boşluğu ve köpük yoğunluğu gibi fiziksel özelliklerin değışiminin üç fazlı kabarcıklı süngerin mekanik özelliklerini nasıl etkilediğı, basma ve eğme deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır (Gladysz *et al.* 2006).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Karbon Nano Fiberler

Karbon nano fiberler, karbon fiber ailesinin en önemli üyelerinden biridir. KNF'ler enerji dönüşüm ve depolama, kompozit malzemelerde takviye malzemesi ve algılama cihazları gibi birçok alanda umut verici ve gelecek vadeden bir malzeme olarak kullanılmaktadır (Feng *et al.* 2014).

Geleneksel KF'ler ile KNF'ler arasında bazı farklar vardır. Bu farklardan birincisi ve en belirgin olanı, boyutlarıdır. KF'lerin çapları birkaç mikrometre iken KNF'lerin çapları 50-200 nanometre aralığında değişmektedir. Bir diğer fark ise yapıları ve üretim yöntemleridir. Tipik geleneksel KF'ler yüksek dayanımlı poliakrilonitril (PAN) veya orta faz zift (meso-phase pitch)'den üretilirler. Oksidasyon atmosferi, seçilen ham madde ve ısı işlem sıcaklıkları gibi çeşitli hazırlama şartları farklı özelliklere sahip KF'leri oluşturmaktadır. Fakat KNF'ler temel olarak 2 yolla hazırlanırlar: katalitik buhar biriktirme büyüme yöntemi (catalytically vapor deposition growth) ve elektro lif çekim yöntemi (electrospinning).



Şekil 2.1. Karbon nano fiber ile geleneksel karbon fiber arasındaki şematik görünüm farkı (Feng *et al.* 2014)

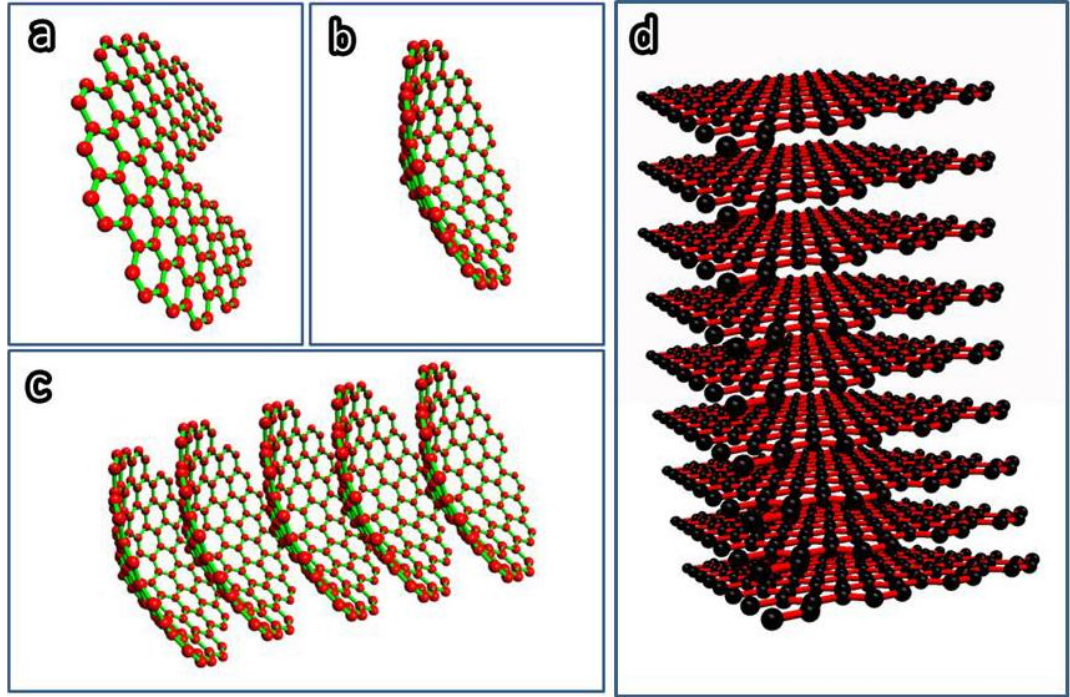
2.1.1. Karbon nano fiber üretim yöntemleri

2.1.1.a. Katalitik olarak buhar biriktirme büyüme yöntemi

Buhar büyütmeli KNF'ler, KNT'lerden daha önce keşfedilmelerine rağmen araştırma konularına daha az ilgi kaynağı olmuşlardır. Bunun nedeni tek duvarlı KNT'ler ile çok duvarlı KNT'lerin çaplarının ve yoğunluklarının buhar büyütmeli KNF'lere oranla çok daha küçük olmasına rağmen buhar büyütmeli KNF'lerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olmalarıdır. Fakat buhar büyütmeli KNF'lerin düşük maliyetli olmaları, KNT'lere karşı KNF'leri en önemli alternatif yapmaktadır (Al-Saleh and Sundararaj 2011).

Bu yöntem büyük ölçekli KNF üretimi için gelecek vadetmektedir. Diğer yöntemlere göre kontrolü kolay ve maliyet açısından daha elverişlidir (Endo *et al.* 2003). Bu yöntemde karbonu metal karbit formuna çözebilen demir, kobalt, nikel, krom ve vanadyum gibi metal ve alaşımları katalizör olarak kullanılırlar. Ayrıca molibden, metan, karbon monoksit, sentez gazı (H_2/CO), etin ya da eten 700 K ile 1200 K arasında değişen sıcaklıklarda karbon kaynağı olarak kullanılırlar. Büyüme mekanizması, hidro karbon birikiminin metal parçalarda çözülmesi ve hidro karbonların metal yüzeyinde grafit karbon olarak çökmesi olarak ispatlanmıştır (Feng *et al.* 2014).

Bu yöntemle üretilen yaygın olarak 2 tip KNF vardır: konik (stacked-cup) ve levhacık (platelet). Konik KNF'ler dış yüzeyinde açık kenarlarının büyük bir kısmını sergiler ve içteki boş çekirdek yüksek kimyasal reaktivite sağlar (Endo *et al.* 2003).



Şekil 2.2. (a-c) konik KNF yapısı, (d) levhacık KNF yapısı (Feng *et al.* 2014)

2.1.1.b. Elektro lif çekim yöntemi (electrospinning)

Elektro lif çekim yöntemi, KNF üretiminde yaygın olan diğer bir metottur. Bu metotta KNF'lerin öncülerinin hazırlanabilmesi için polimer nano fiberlere ihtiyaç duyulur. Polimer çözeltisi tipi ve işlem parametreleri nihai KNF özelliklerini etkilemektedir. Polimer nano fiberler önce hazırlanır daha sonra polimer nano fiberleri KNF'e dönüştürmek için bir ısı işlem uygulanarak karbonize edilir. Atmosfer ve sıcaklık gibi ısı işlem parametreleri değiştirilerek farklı biçimlerde, saflıkta, kristallikte, çapta ve gözeneklilikte KNF üretilebilir. Polimer nano fiberler üretildikten sonra özel bir ortamda polimer nano fiberlerin 1000°C kadar ısıtılması ile karbonize işlemi yapılır. Hacim ve ağırlık değişimleri karbonize işlemi sırasında ortaya çıkar ve KNF'lerin çaplarının küçülmesi ile sonuçlanır (Inagaki *et al.* 2012; Feng *et al.* 2014).

2.1.2. Karbon nano fiberlerin mekanik özellikleri ve nano kompozitler

KNF'ler, çapları tipik olarak 50-500nm ve boyları mikron cinsinden 10'nun birkaç katını bulabilen ve bu da yüksek boy-en oranı (boy/en oranı > 100) sağlaması ile eksen boyunca paralel ve homojen olarak dizilmiş nano ölçekli içi boş silindirik grafen tabakalarıdır. Sahip oldukları mekanik ve fiziksel (young modülü ~500 GPa, çekme mukavemeti ~3 GPa, elektrik iletkenliği ~ 10^3 S/cm, ısı iletkenliği ~1900 W/mK) özelliklerinden dolayı kompozit üretiminde gelecek vadeden nano dolgu malzemesi olmaları beklenilmektedir (Maruyama and Alam 2002).

Sahip oldukları bu özelliklerden dolayı KNF'ler polimer matrisleri mekanik, ısı ve elektriksel özelliklerini geliştirmek adına güçlendirici olarak kullanılırlar (Zeng *et al.* 2004). Polimerik nano kompoziti ticari amaçlı olarak ilk defa TOYOTA MOTOR otomobil sektöründe kullanmıştır. TOYOTA triger kayışı üretmek için kil-naylon-6 nano kompozitini kullanmıştır (Hussain *et al.* 2006).

Nano kompozitler; spor ve eğlence ekipmanlarında termal koruma, mikro elektronik ekipmanlarda elektro manyetik parazit giderme ve uygulamaları ile gürültü ve titreşim sönümlemenin önemli olduğu uçak yapısal elemanlarında kullanılabilirler (Yang *et al.* 2007).

Sun (2002) yılında karbon nano fiber kullanarak geleneksel havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan geleneksel karbon fiber destekli kompozitlerin termo mekanik özelliklerini zenginleştirmiştir. Oksitlenmiş nano fiberler epoksi bazlı kompozitlerde eğilme dayanımını ve Young modülünü geliştirmiştir (Lafdi and Matzek 2003; Hussain *et al.* 2006).

Naylon-11 kompozitinin mekanik özellikleri ile yanabilirliği (tutuşabilirlik) arasındaki ilişkiyi bulabilmek için KNF, kil levhacık ve silika nano partikülleri kullanmışlardır. Kil levhacık ve KNF'ler ile malzemelerin mekanik ve yanabilirlik özellikleri zenginleştirilmiştir. Analizlerinin sonucunda KNF bazlı nano kompozitler daha iyi

mekanik özellikler gösterirken kil bazlı nano kompozitler daha iyi yanabilirlik özellikleri göstermiştir (Lao *et al.* 2005; Hussain *et al.* 2006).

Partikül destekli nano kompozitlerin temel fiziksel ve kimyasal özelliklerini kavramak açısından tanımlama araçları çok büyük öneme sahiptir. Bu tanımlama araçları bazı yapısal özellikler hakkında bilgi sahibi olabilmek için görüntüleme malzemeleri üzerinde çalışmaya olanak sağlar. Tanımlama için çeşitli teknikler polimer nano kompozit araştırmalarında kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan geniş açı röntgen kırılma (WAXD), dar açı röntgen saçılma (SAXS), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) etkili tekniklerdir (Giannelis 1996; Alexandre and Dubois 2000).

SEM bir numunenin yüzey özellikleri ile alakalı görüntü sağlar. WAXD kolaylığı ve kullanılabilirliği dolayısıyla nano kompozit yapıları inceleyebilmek için en yaygın kullanılan yöntemdir (Reichert *et al.* 1998; Yano *et al.* 1997). TEM içyapıyı, çeşitli fazların hacimsel dağılımını nitelikli olarak anlamayı ve bazı durumlarda bireysel atomların direkt görüntüleme yoluyla kusurlu yapının görüntüsünü sağlar. Bu yüzden TEM, WAXD'yi tamamlar (Chen *et al.* 1999). SAXS 0° ya da $0.5^\circ - 5^\circ$ aralığında, tipik olarak 10Å tarzında ya da daha geniş yapıları gözlemlenmede kullanılırlar (Hussain *et al.* 2006).

Nano kompozitleri üretim ve işleme de bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Önemli hususlardan biri matris malzeme ile nano partikülün kimyasal uygunluğu ve nano partikülün matris malzeme içindeki dağılımıdır. Mevcut ya da geleneksel birleştirme teknikleri kullanılarak polimer içerisinde nano partiküllerin homojen dağılımını sağlamak küçük parçacıkların topaklanmaya olan kuvvetli eğiliminden dolayı oldukça zordur (Jana and Jain 2001). Bu tür malzemeler aynı zamanda yüke maruz kalıyorsa toplanmış nano partiküllerin bölünme ihtimali vardır ve bu da son ürün içerisinde zamansız arızalanmalara yol açabilir (Jana and Jain 2001). Gaz giderme nano kompozit işleme esnasında karşılaşılan önemli bir diğer problemdir. Kalıba yüksek viskoz malzemeyi dökerken sıkışan hava, düşük şekil değiştirme şartları altında malzemenin

çatlamasına ve kırılmasına veya başlatmasına neden olabilir (Jana and Jain 2001). Yine nano partiküllerin matris içerisindeki dizilişi kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişmesinde rol oynar (Zhang *et al.* 2006).

2.2. Mikro Balonlar

Mikro balonlar çapları 1 mikron ile 1000 mikron arasında değişen küresel mikro partiküllerdir. Mikro balonlar ayrıca mikro küre, mikro top ve mikro boncuk olarak da adlandırılmaktadır. Çıplak gözle ince toz gibi görünürler. Mikro balonlar cam, polimer, karbon, seramik ve metalden üretilebilmektedir. Bunların içerisinde en yaygın olanı cam mikro balonlardır. Diğer malzemelere göre daha hafif daha güçlü ve üretimi kolaydır. Mikro balonlar ayrıca fenollü plastiklerden de üretilebilirler. Cama göre daha hafiftirler ve polimer matris içerisinde daha iyi bağlantı yaparlar. Fakat bunlar cam mikro balonlara göre daha yumuşak ve daha zayıftır. Mikro balonlar trafik işaret yol boyası, otomotiv ve denizcilikte kullanılan macun ürünlerinde, hafif dolgu malzemesi, yapıştırıcılarda, özel kaplamalarda, kozmetikte, açık deniz ürünlerinde, özel sızdırmazlık ürünlerinde, plastik ve kompozit sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca dijital göstericilerde, tıp cihazlarında, güneş panellerinde, biyoteknolojide, tıpta ve diğer endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır.

Mikro balonlar kabarcıklı sünger gibi kompozit malzemelerde hafif dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Diğer malzemelere oranla hafiflik, düşük nem absorpsiyonu, gelişmiş boyutsal kararlılık, pürüzsüz yüzey, çok iyi termal yalıtım, kolay işlenebilirlik, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, daha hızlı döngü süresi, suda batmama ve düşük maliyet gibi daha birçok üstün özellikler kazandırmaktadırlar.

2.3. Kabarcıklı Süngerler

Ana katkı maddesi olarak içi boş küreciklerin (mikro balonların) polyester ya da epoksi gibi bağlayıcı malzeme grubu içerisinde yapılandırılmasıyla ortaya çıkan yeni malzeme kabarcıklı sünger olarak adlandırılmaktadır. Kabarcıklı sünger kompozitler köpük

sınıfında kategorize edilmektedir. Bunun nedeni; malzemenin kapalı hücreli-gözenekli doğasından kaynaklanmaktadır. Kabarcıklı süngerler yüksek performans, hafiflik, düşük nem emilimi, suda batmama, düşük ısı transferi ve yüzey pürüzlülüğü gibi yeteneklerinden dolayı geniş uygulama alanına sahiptir.

Kabarcıklı sünger ürünleri denizcilik ve deniz bilimleri alanlarında şamandıra, duba ve denizaltı araçlarında boşluk doldurucu olarak kullanılırlar. Suyu batmama özelliklerinden dolayı uzaktan kumandalı araçlarda, kendi kendini idare eden denizaltı araçlarında, derin sularda demirlemede, torpil hedeflerinde, sonar sistemlerde ve diğer bilimsel ekipmanlarda kullanılırlar. Ayrıca uzay, otomotiv vb. endüstrisinde sandviç yapılarda çekirdek malzemesi olarak veya var olan bal peteği çekirdekli sandviç yapıların onarımında ya da değişiminde kullanılırlar. Şeffaflık, emme, yansıma, ışık kırılması gibi akustik özellikler istenen su altı uygulamalarda kabarcıklı süngerler tercih edilmektedir. Genel endüstri kullanımında ise aletle işlemeye elverişlidir ve araçların ağırlığının azalmasına, yakıt tüketiminin düşmesine, yük kapasitesinin artmasına ve yüksek dayanım/yoğunluk oranının gerek duyulduğu durumlarda kullanıma olanak sağlar.

Diğer birkaç uygulama ve kullanım alanları şunlardır:

- Tıkaç destekli ısıl işleme (thermoforming plug assist)
- Radar şeffaflık malzemesi
- Akustik sönümlenme-zayıflatma malzemesi
- Patlama-patlatma hafifletme malzemesi
- Bowling topu, tenis raketi, futbol topu gibi spor ürünleri...

2.4. Polimerler

Kabarcıklı sünger kompozitler yaygın olarak polimer grupları ile üretilmektedir. Kompozit malzeme teknolojisinde kullanılan polimerlerin üç yaygın tipi mevcuttur. Bunlar termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir.

Termoplastikler; doğrusal ya da dallı, çapraz bağlanmamış, uzun moleküler zincirlerden oluşmuş polimerlerdir. Oda sıcaklığında katıdırlar ve eritilebilirler. Isıtılırsa yumuşar ve sıcaklığı arttıkça viskozitesi düşer. Bu da üretilen malzemelere hem ekonomi kazandırır hem de işleme kolaylığı ve kolay şekillendirme olanağı sağlar. Termoplastiklerin yaygın olarak kullanılanları polikarbonat (PC), polietilen (PE), poli amids (PA), poliester (PET), polivinil klorür (PVC), polistreyin (PS), Naylon 6.6, polipropilen (PP)'dir.

Termosetler; monomer olup oda sıcaklığında genellikle sıvıdırlar. Kürleştiklerinde sıkı çapraz bağlı polimer halini alırlar ve eritilemezler. Termosetler diğer polimer gruplara göre daha yaygındırlar. Daha kolay işlenebilirlik, kürleştiklerinde kimyasal olarak daha inert (durağan), daha rijit ve yüksek sıcaklıklarda kararlılık gibi sundukları özellikler yaygınlıklarında etkilidir. Kürleme işlemi esnasında moleküller çapraz bağlanma yaptıklarından dolayı kür edildikten sonra eritilemezler ve şekil verilemezler. Termosetlerin fiziksel ve mekanik özellikleri moleküllerin büyüklüğüne, çapraz bağlanma yoğunluğuna ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır. Sertleştiricisi sisteme ilave edildikten sonra oda sıcaklığında çalışma aralığının kısıtlı olması ve şekil aldıktan sonra yeniden şekillendirilememeleri dezavantajlarındandır. Yaygın bir şekilde kullanılan termoset reçineler; epoksi, poliester ve vinilesterdir.

Elastomerler; termoplastiklerin kolay işleme ve geri dönüşüm özellikleriyle, termosetlerin elastikiyet ve esneklik özelliklerini bir araya getiren malzeme grubudur. Çok düşük kuvvetler altında bile büyük elastik deformasyon gösterme özelliğine sahip olan polimer grubudur. Kauçuk yaygın şekilde kullanılan elastomerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında polimer matrisli nano partikül takviyeli kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda matris malzeme için epoksi sistemi, takviye malzemesi olarak da karbon nano fiberler seçilmiştir. Oluşturulmak istenen kompozit yapıların hafifletilmesi amacıyla mikro balon adı verilen mikron boyutundaki içi boş kürecikler yapıya katılacaktır. Bu kompozit yapıların oluşturulması için seçilen ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıda verilecektir.

Kompozitlerin matris kısmını oluşturan epoksi reçine ve bu epoksi reçinenin katılaştırmasını sağlayacak sertleştirici olarak HUNTSMAN firmasına ait Araldite® GY 9513 epoksi reçine / TETA sertleştirici ürünleri kullanılmıştır. Ürünlerin seçimi yapılacak olan çalışmaya uygunluğu açısından HUNTSMAN TÜRKİYE distribütörü ile karşılıklı fikir alış verişi ile belirlenmiştir. Ürünlerin karışma oranları, çalışma şartları ve ürünlere ait bilgi dokümanları sağlayıcı tarafından elde edilmiştir. Ürünlere ait başlıca özellikler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 3.1. Epoksi reçine Araldite GY 9513

Özellik	Değer
Görsel görünüm	Saydam
Renk (gardner skalası), mak.	1
Epoksi değeri, eq./kg	4.88-5.10
Epoksi eş değeri, g/eq.	196-205
Viskozite (25°C), mPa s	525-675
Yoğunluk (25°C), g/cm ³	1.09
Tutuşma sıcaklığı (kapalı kap), °C	>93

Çizelge 3.2. Sertleştirici TETA (triethylenetetramine)

Özellik	Değer
Yoğunluk (20°C), g/ml	0.981
Kaynama noktası, °C	260
Viskozite (20°C), cP	13.9
Tutuşma sıcaklığı (kapalı kap), °C	118
Donma noktası, °C	-35
Dielektrik sabiti, 25°C and 1 kHz	11.4
Elektrik iletkenliği, μ mhos/cm (24°C)	0.038
Amine değeri, mg KOH/g	1443

Bu çalışmanın amacını taşıyan nano partikül katkısı için karbon nano fiber seçilmiştir. Karbon nano fiberler sahip oldukları üstün mekanik özelliklerinden dolayı oluşturulan kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin mukavemet değerlerini artırmak için kullanılmıştır. Kullanılan karbon nano fiber Grafen Chemical Industries Cooperation (Türkiye) tarafından sağlanmıştır. Ürüne ait başlıca özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.3. Karbon Nano Fiber'e ait özellikler

Özellik	Değer
Safılık	> %99.9
Dış çap, nm (HRTEM, Raman)	200-600
Uzunluk, μ m (TEM)	5-50
SSA, m ² /g (BET)	> 18
Kül (ash), % ağırlıkça (TGA)	< 0.1
Renk	Siyah
Elektrik iletkenliği, s/cm	> 100
Sıkıştırılmış yoğunluk, g/cm ³	0.043
Gerçek yoğunluk, g/cm ³	2.1
Üretim yöntemi	CVD (2800 °C)

Kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin ana dolgu elemanı olan mikro balonlar yine Grafen Chemical Industries Cooperation (Türkiye) tarafından sağlanmıştır. Yoğunlukları 0.12 g/cm^3 ve 0.21 g/cm^3 olan iki mikro balon çeşidi kullanılmıştır. Farklı yoğunluğa sahip mikro balonların kullanılma amacı, oluşturulan kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde nasıl bir değişim oluşturmasıdır. Çalışmada kullanılan mikro balonlara ait özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.4. Cam Mikro Balon'a ait özellikler

Özellik	Değer
Malzeme	Cam
Görsel görünüm	İnce toz
Renk	Beyaz
Ortalama partikül boyutu, μm	65
Yoğunluk, g/cm^3	0.12



Şekil 3.1. Malzemelerin hassas tartım aşaması

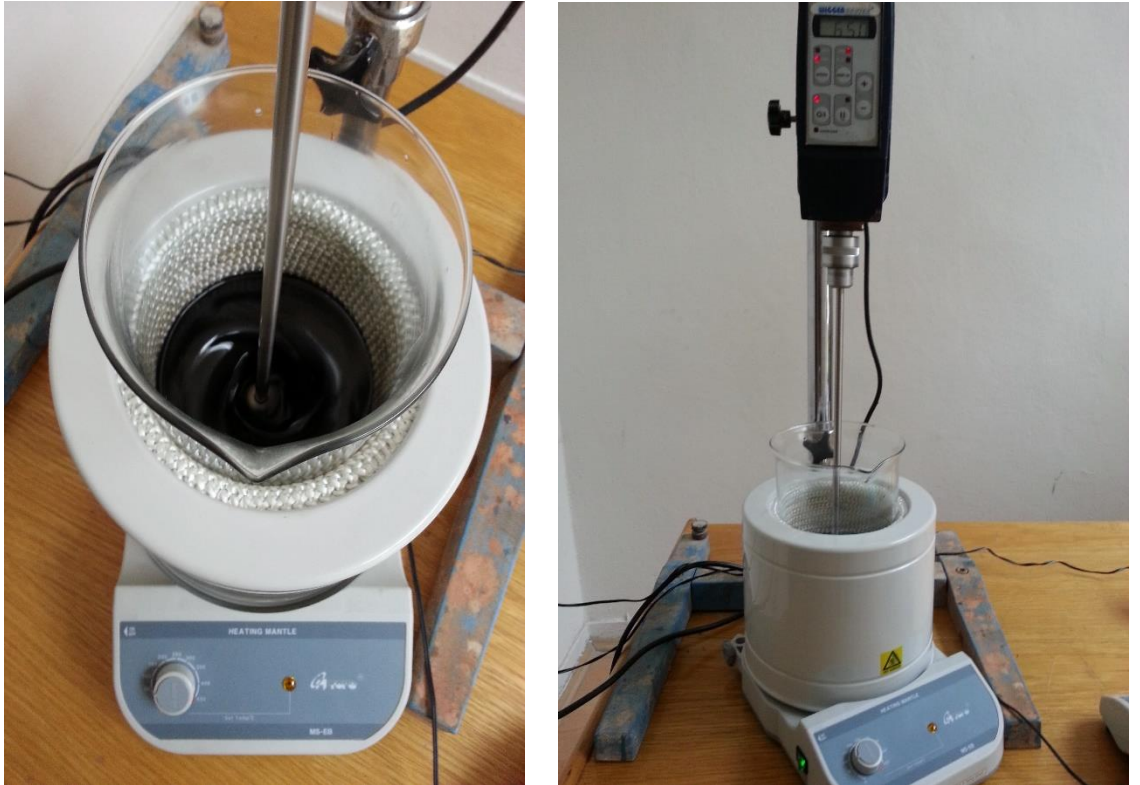
3.2. Yöntem

Farklı çeşit ve içeriklere göre oluşturulan kabarcıklı sünger kompozit malzemeler birbirleri arasında mekanik ve fiziksel özellikleri açısından kıyaslanmıştır. Daha şeffaf bir kıyaslama yapılabilmesi adına tüm malzeme gruplarına aynı üretim yöntemi uygulanmıştır.

*** Literatürde yapılan incelemeler doğrultusunda mekanik işlem metotlarının (mekanik karıştırma, kesme karıştırma (shear mixing) ve ultrasonik karıştırma) karşılaştırılması sonucu düşük maliyet, yeni altyapı oluşturma kolaylığı ve oluşturulan malzemelerin mekanik özellikleri açısından mekanik karıştırma yönteminin, üretim yöntemi açısından daha uygun olduğu tespit edilmiştir ve tezde bu üretim yöntemi tercih edilmiştir (Gupta *et al.* 2007).

Öncelikle miktarları belirlenen karbon nano fiberler epoksi reçine içerisine katılmıştır. Yüksek kesme-dağıtma ucu (high shear impeller) takılmış bir mekanik mikser yardımı ile yarım saat (30 dk) boyunca 650 dev/dk'lık bir hız ile karbon nano fiberler epoksi reçine içerisinde dağıtıldı. Seçilen hız, süre ve mikser ucu ile karbon nano fiberler arasındaki kovalent bağların kırılması hedeflenmiş ve reçine içerisinde nano partiküllerin ıslatılması ve emdirilmesi sağlanmıştır. Daha iyi bir ıslatılma ve emdirilme sağlanabilmesi ve karbon nano fiberlerin karışım içerisinde kümelenmesini veya topaklanmasını azaltmak-önlemek için karıştırma işlemi süresi boyunca karışım bir beher ısıtıcı yardımı ile 50°C'ye kadar ısıtılmıştır. (Karışım içerisindeki nano partikül miktarının hacimce %1'i geçmeyecek şekilde numuneler üretildi. Buradaki amaç nano partiküllerin yapı içerisinde topaklanma ve kümelenmesini önleyerek daha homojen bir yapı oluşturmaktır). Bu süreç tamamlandıktan sonra belirlenen miktarda mikro balon karışıma dâhil edildi ve karıştırma işlemi el yardımı ile 15 dk nazıkçe ve yavaş yavaş yapıldı. Karıştırma işleminin bir karıştırıcı teçhizat ile değil de el yardımı ile yapılmasının nedeni yapı içerisinde mikro balonların kırılmasını engellemektir. Aksi takdirde hem gözenekli yapı ortadan kalkacak hem de nihai ürünün mukavemet değerlerinin düşmesine neden olacaktır. Mikro balonlar karışıma dâhil edilerek düzgün

bir viskozite elde edildikten sonra karışım 10 dk dinlendirilerek gaz giderme işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem sonrası miktarı önceden belirlenmiş sertleştirici ürün TETA tepkimeyi başlatması için karışıma dâhil edildi ve 8 dk boyunca karıştırılmıştır. Bu işlem neticesinde oluşabilecek hava boşluklarını minimize etmek için yine el yardımı ile karıştırma işlemi gerçekleştirildi. Kürleşme reaksiyonlarının daha hızlı ve daha düzgün bir soğuma sağlanabilmesi açısından önceden dizayn edilmiş alüminyum kalıplara karışım dökülmüştür. Kalıplara dökülen karışım içerisinde daha fazla gaz giderme işlemi için kalıp bir titretilmeye (shaker) yerleştirilerek 5 dk bu işlem uygulanmıştır. Kompozit malzemeler kalıp içerisinde oda sıcaklığında 48 saat kürleşmeye bırakılmıştır. Daha ileri bir kürleşme için kalıplardan çıkarılan numuneler 100°C bir fırın ortamında 2 saat ilave kürlemeye tabi tutulmuştur. Nihai halini alan numuneler özelliklerinin belirlenmesi için mekanik ve dinamik testlere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.2. Mekanik karıştırma aşaması

Aşağıda verilen tabloda üretilen kompozit malzeme grupları ve bu malzemeleri oluşturan bileşenlerin karışım içerisindeki hacimce yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Üretilen kompozit tipleri ve hacimsel oranları (%)

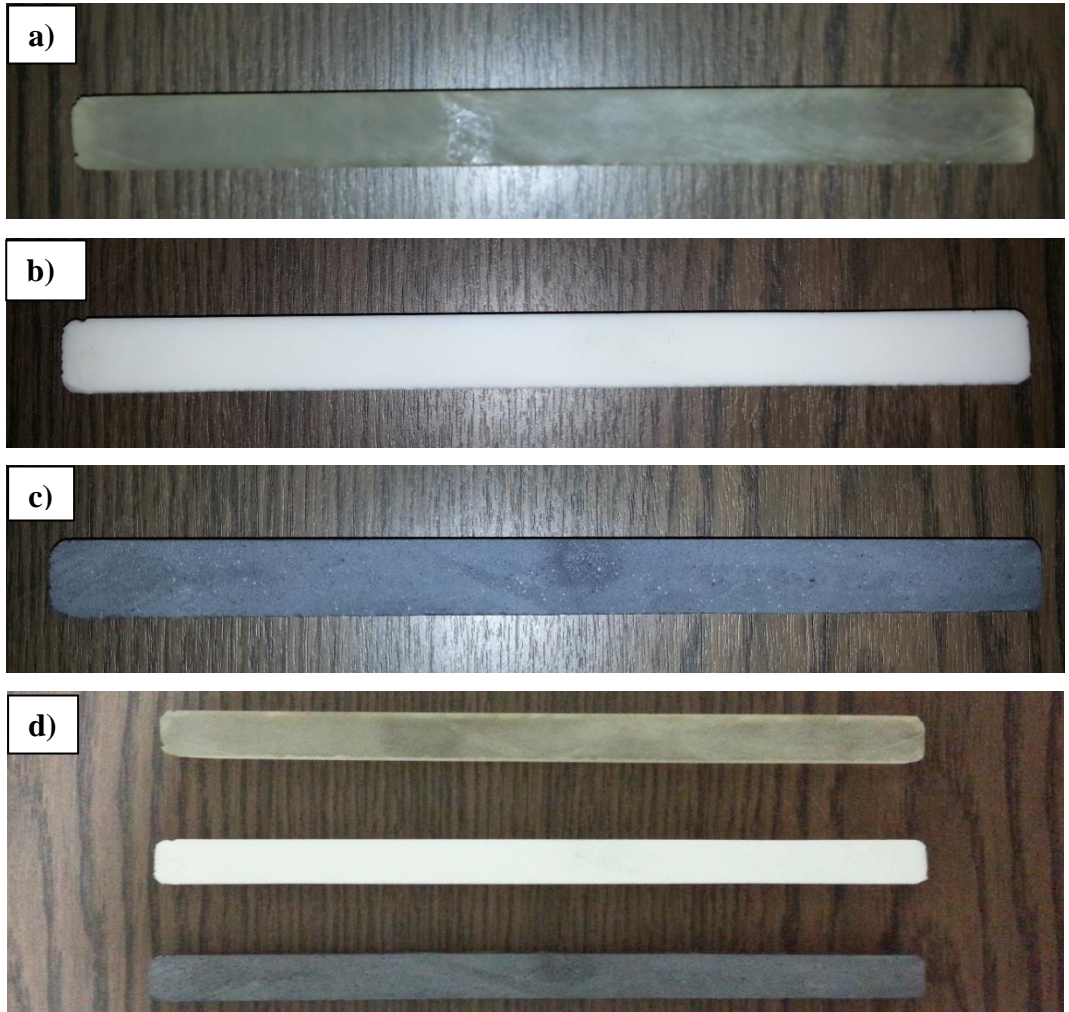
No	Karışım Türü	Epoksi	Sertleştirici	KNF	MB (120 kg/m ³)	MB (210 kg/m ³)
1	Ham Epoksi-Sertleştirici	88,25	11,75	-	-	-
2	MB-Epoksi-Sertleştirici	61,775	8,225	-	30	-
3	MB-Epoksi-Sertleştirici	61,775	8,225	-	-	30
4	MB-Epoksi-Sertleştirici	44,125	5,875	-	50	-
5	MB-Epoksi-Sertleştirici	44,125	5,875	-	-	50
6	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	61,555	8,195	0,25	30	-
7	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	61,555	8,195	0,25	-	30
8	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	61,34	8,16	0,50	30	-
9	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	61,34	8,16	0,50	-	30
10	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	43,9	5,85	0,25	50	-
11	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	43,9	5,85	0,25	-	50
12	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	43,68	5,82	0,50	50	-
13	MB-Epoksi-KNF-Sertleştirici	43,68	5,82	0,50	-	50

3.3. Mekanik ve Dinamik Testler

Hazırlanan test numuneleri standartlar ve literatürde bulunan ilgili teoriler göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında üretilen kompozit malzemeler üzerinde yürütülecek test çeşitleri aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Titreşim testi

Bu test aşamasında uygun ölçülerde dökülmüş kabarcıklı sünger kompozit numunelerinin titreşim karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan lazer vibrometer ve bilgisayar tabanlı çok kanallı bir analiz sistemi olan PULSE titreşim ölçüm sistemi kullanılmıştır. PULSE deney sistemi çeşitli veri toplama üniteleri ve yazılım opsiyonlarından oluşan bir yapıya sahiptir. Bu deney sistemi ile titreşime zorlanan deney numunelerinin yapısal analizleri (doğal frekansları ve sönüm oranları) belirlenmiştir.

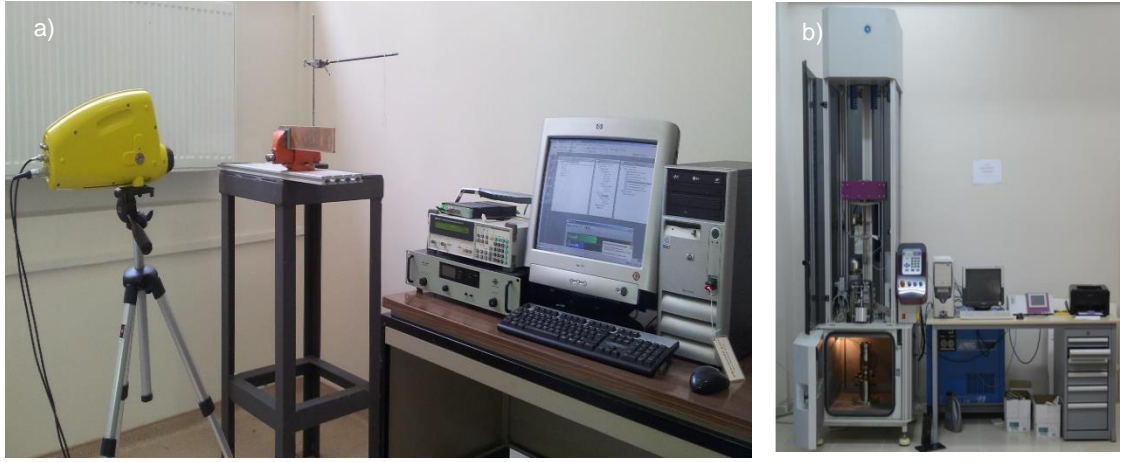


Şekil 3.3. Titreşim numuneleri

a) Ham epoksi b) KNF içermeyen kabarcıklı sünger c) KNF içeren kabarcıklı sünger d) a-b-c

3.3.2. Darbe testi

Darbe deneyleri için 100x100x6,5 mm boyutlarında hazırlanan test numuneleri DEÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan CEAST marka Fractovis Plus darbe (impact test) cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 3.3. Test cihazları

a) PULSE deney sistemi b) CEAST Fractovis Plus darbe test cihazı



Şekil 3.4. Darbe Numuneleri

3.3.3. Çekme testi

Çekme dayanımı kompozitlerin en önemli karakteristiklerinden biridir. Üretilen kompozitlerin tek eksenli çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin genişliği 15 mm, kalınlığı 6,5 mm ve gauge boyu 47 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneyler Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Universal çekme cihazı (Shimadzu) yardımıyla yapılmıştır. Prizmatik olarak hazırlan numuneler iki ucundan cihazın çenelerine tutturularak, standartlarda önerilen doğrultuda şekil değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen deneylerde şekil değiştirme oranı 0.05 mm/dak olarak ayarlanıp ve numune kırılıncaya kadar teste tabii tutulmuştur.

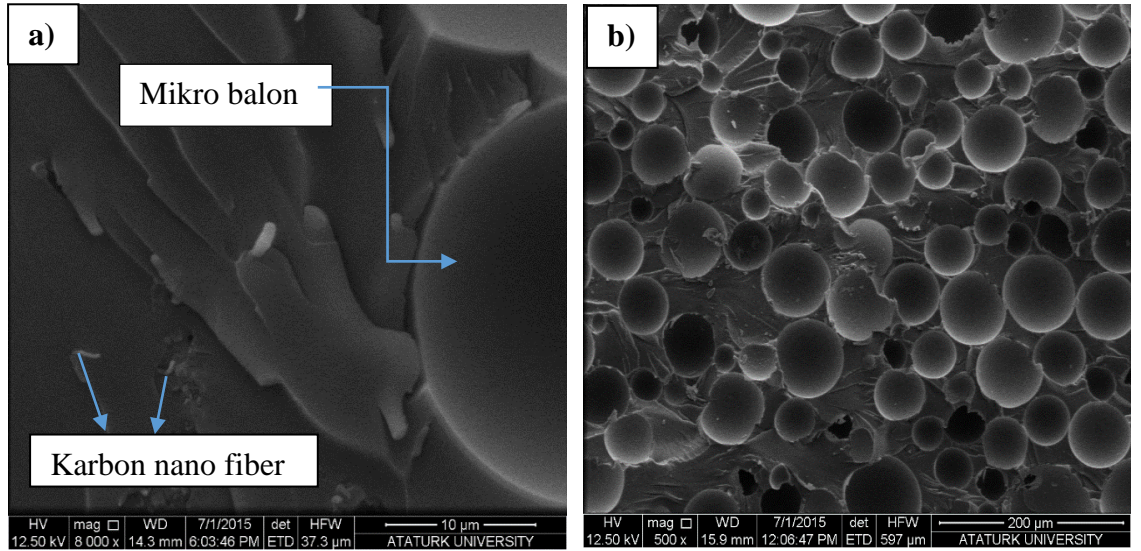


Şekil 3.5. Çekme test cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu)

Şekil 4.1’de karbon nano fibere sahip kabarcıklı sünger kompozit numunesi ile karbon nano fiber içermeyen kabarcıklı sünger numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM analizleri Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümünde yapılmıştır.

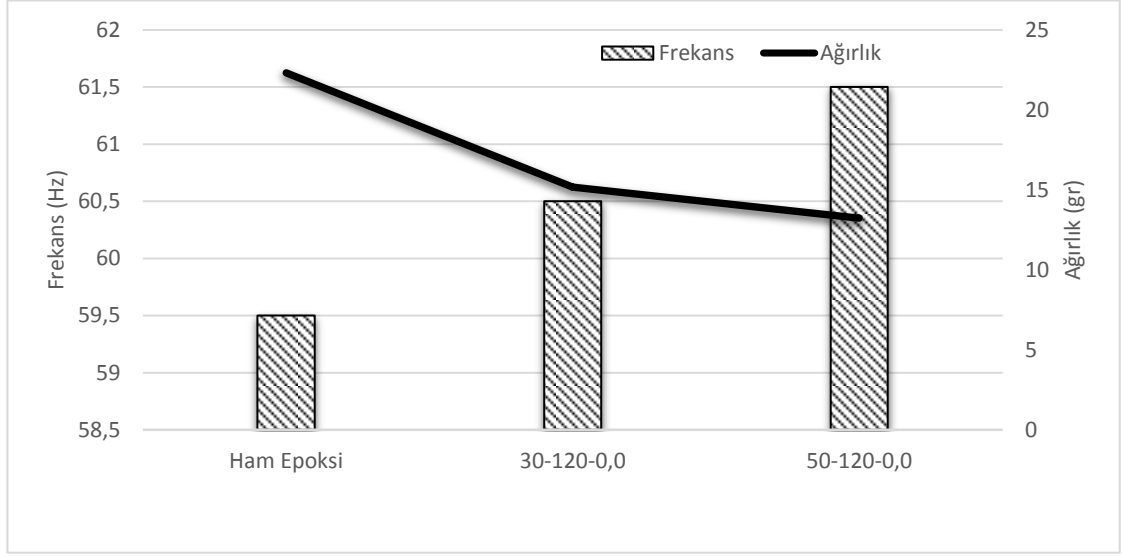


Şekil 4.1. a) karbon nano fiberli kabarcıklı sünger, b) karbon nano fiber içermeyen kabarcıklı sünger numunesi

4.2. Mekanik Test Bulguları

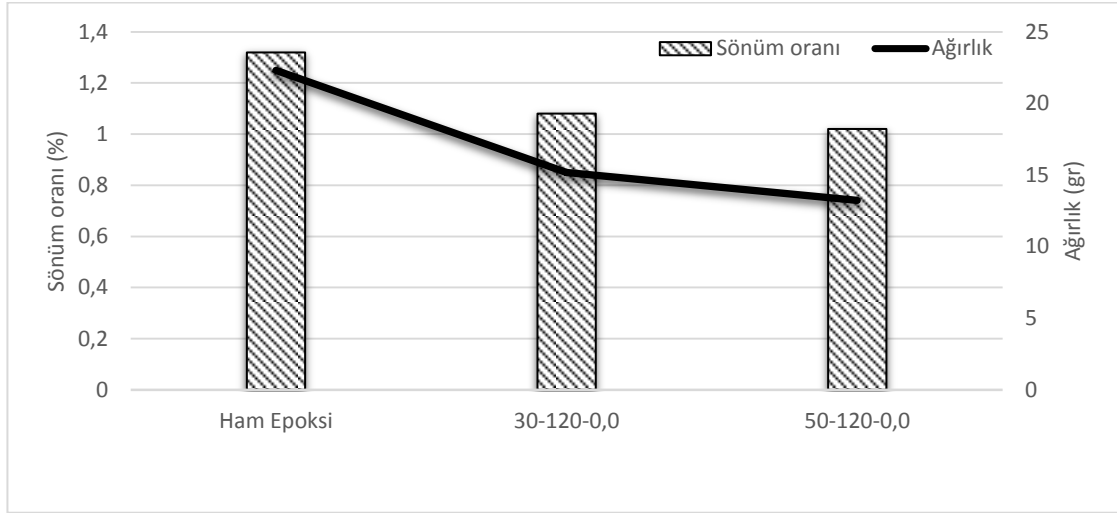
4.2.1. Titreşim testleri

Titreşim testleri boyutları 200x15x6.5 mm, 200x15x8.5 mm ve 200x15x11,5 mm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin boyu 170 mm olacak şekilde ankastre olarak mesnetlenmiştir. Numuneler içeriklerine göre kodlanarak grafiklerde belirtilmiştir. Örneğin; 30-120-0,25 ifadesinde 30 MB hacim oranını (%), 120 kullanılan MB yoğunluğunu (kg/m^3) ve 0,25 KNF oranını (%) temsil eder.



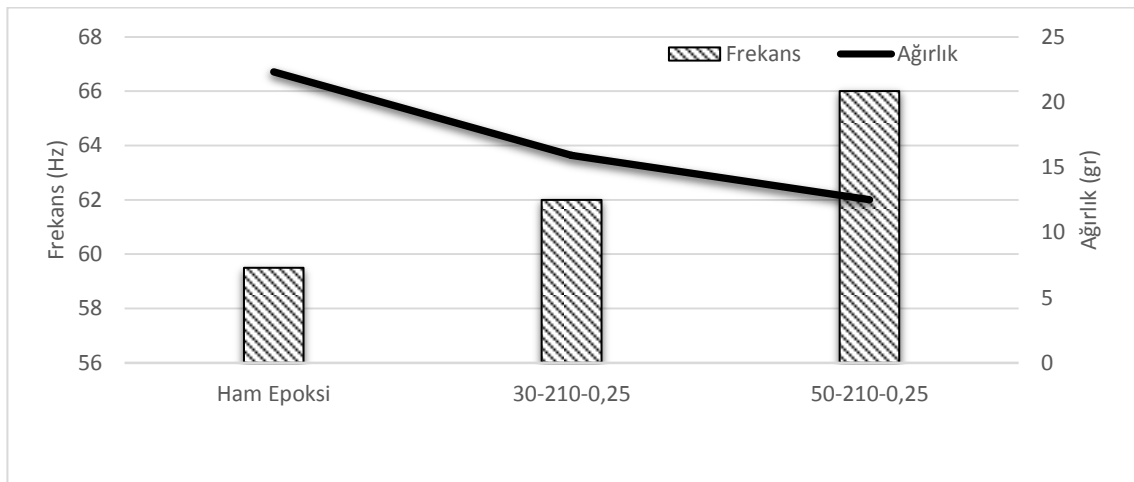
Şekil 4.2. MB hacim oranına karşı doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB} = 120 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.2’de 200x15x6,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile MB yoğunluğu 120 kg/m^3 olan hacimce %30 ve %50 MB oranına sahip olan numunelerin doğal frekans ve numunelerin ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Bu numune grubu nano partikül içermemektedir. Grafik incelendiğinde MB hacim oranı arttıkça doğal frekans değerinin arttığı görülmektedir. Bunun yanında MB hacim oranının artması ile numune ağırlığı aşağıya çekilerek, hafif tür kompozit yapıların üretilebildiği gösterilmektedir. Ham epoksiden oluşan numunenin ağırlığı 22.31 gr iken %50 MB hacim oranında bir katkı yapıldığında, ağırlığının 13.23 gr civarına düştüğü gözlemlenmektedir. Böylelikle polimer matrisli bir yapı yaklaşık %41 oranında hafiflemiştir.



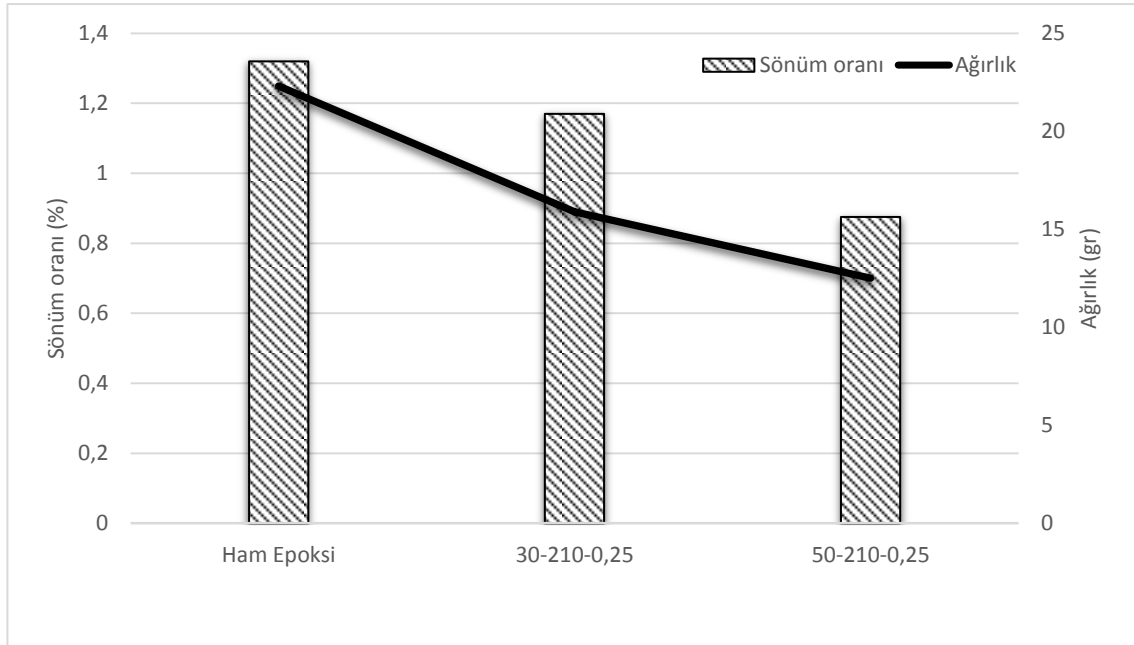
Şekil 4.3. MB hacim oranına karşı sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.3’de 200x15x6,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi, MB yoğunluğu 120 kg/m^3 olan hacimce %30 ve %50 MB oranına sahip numunelerin doğal frekans ve numune ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Bu numune grubu nano partikül içermemektedir. Sönüm oranının MB hacim oranının artmasına bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Yine ağırlıktaki azalma MB hacim oranının artmasına bağlı olarak bu grafikte de görülmektedir.



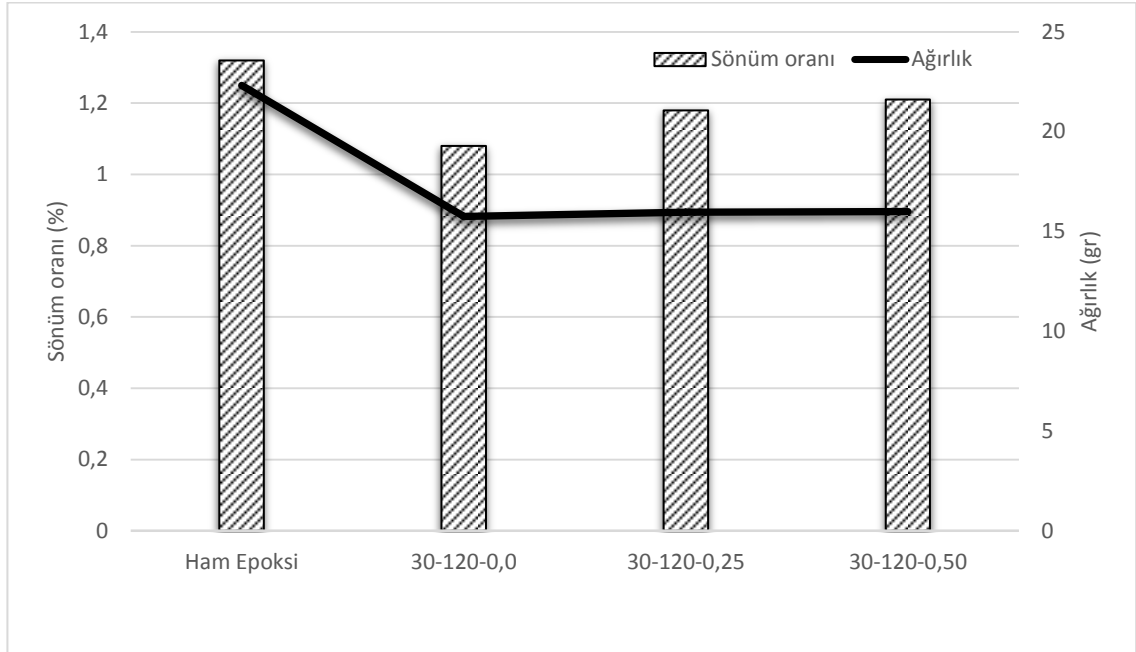
Şekil 4.4. Hacimce %0.25 KNF içeren numunelerin MB hacim oranına karşı doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.4'de 200x15x6,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile hacimce %0.25 KNF içeren ve MB yoğunluğu 210 kg/ m³ olan hacimce %30 ve %50 MB hacim oranına sahip olan numunelerin doğal frekans ve numune ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Burada MB yoğunluğu ve KNF oranı sabit tutularak üretilen numunelerin MB hacim oranının artışına bağlı olarak doğal frekans ve ağırlık değerleri incelenmiştir. MB hacim oranının artması ile birlikte ağırlıkta azalma ve doğal frekans değerlerinde artış elde edilmiştir.



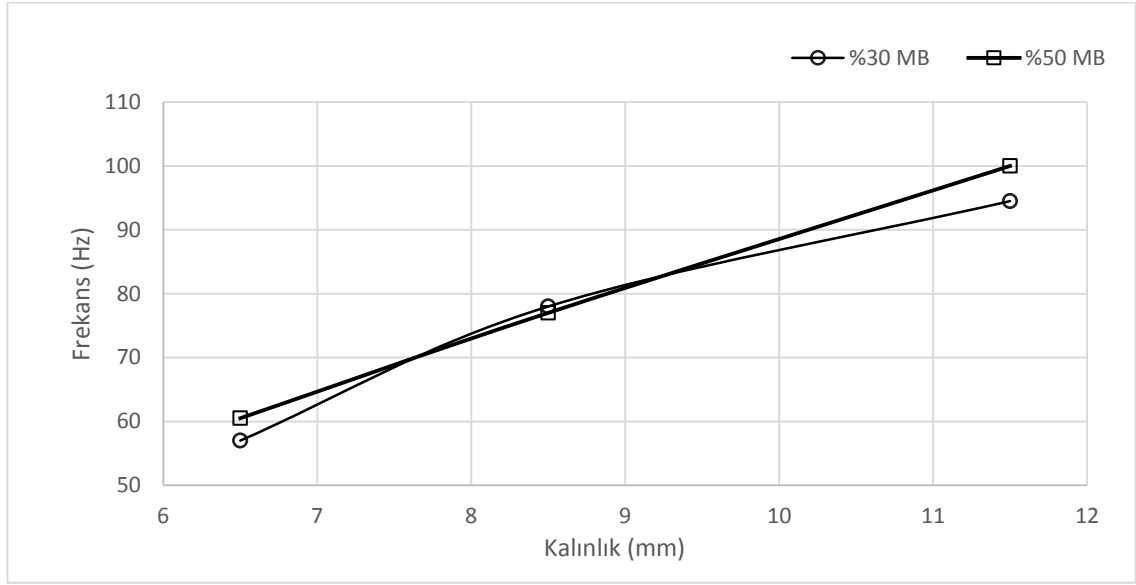
Şekil 4.5. Hacimce %0.25 KNF içeren numunelerin MB hacim oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.5'de 200x15x6,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile hacimce %0.25 KNF içeren ve MB yoğunluğu 210 kg/m³ olan hacimce %30 ve %50 MB oranına sahip numunelerin doğal frekans ve numune ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Burada aynı MB yoğunluğu ve KNF oranı sabit tutularak elde edilen numunelerin MB hacim oranının artışına bağlı olarak sönüm oranı ve ağırlık değerleri incelenmiştir. MB hacim oranının artması ile birlikte sönüm oranı ve ağırlıkta değerlerinde azalma görülmüştür.



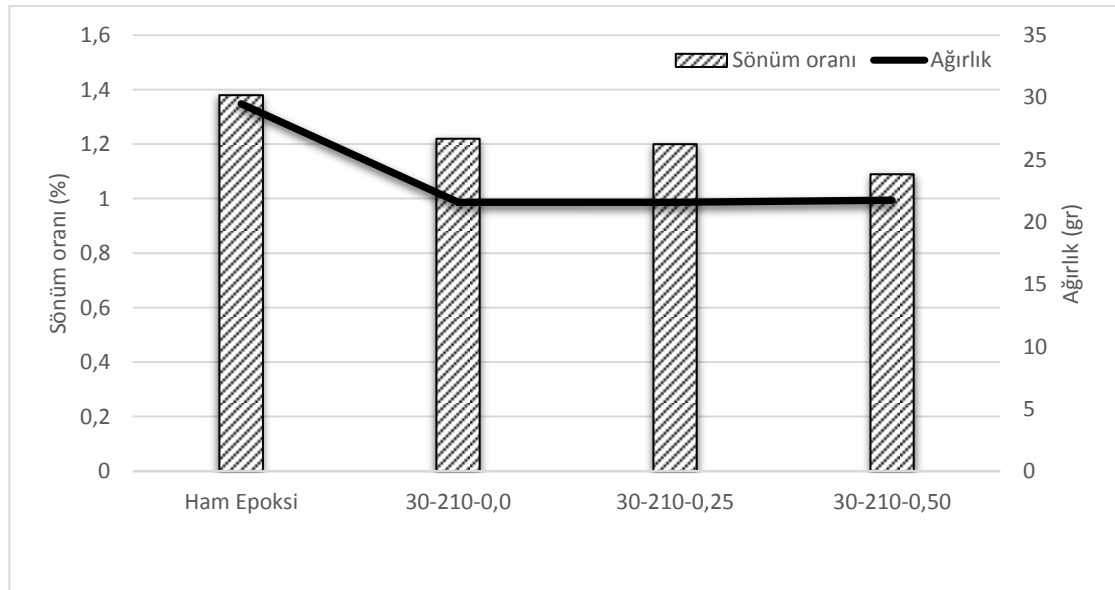
Şekil 4.6. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.6’de 200x15x6,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile hacimce %30 MB içeren ve MB yoğunluğu 120 kg/ m^3 olan hacimce %0, %0.25 ve %0.50 KNF oranına sahip numunelerin sönüm oranı ve numune ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Grafikte MB hacim oranı ve yoğunluğu sabit tutularak KNF katkısının etkisi belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde KNF oranı arttıkça sönüm oranlarının arttığı gözlenmektedir.



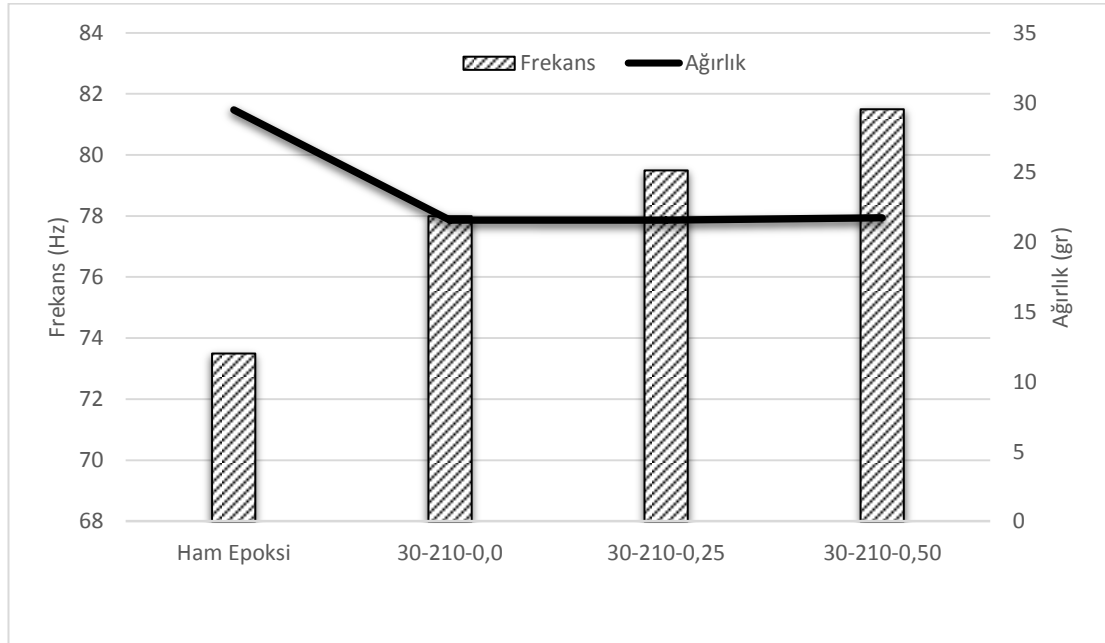
Şekil 4.7. Farklı MB hacim oranına sahip numunelerin kalınlığa bağlı olarak frekans değişimi ($\rho_{MB}=120 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.7’de yüzde farklı MB hacim oranına sahip numunelerin numune kalınlığına bağlı olarak frekans değerlerinin değiştiğini göstermektedir. Görüleceği üzere kalınlık arttıkça her iki durumda da frekansların arttığı gözlenmektedir.



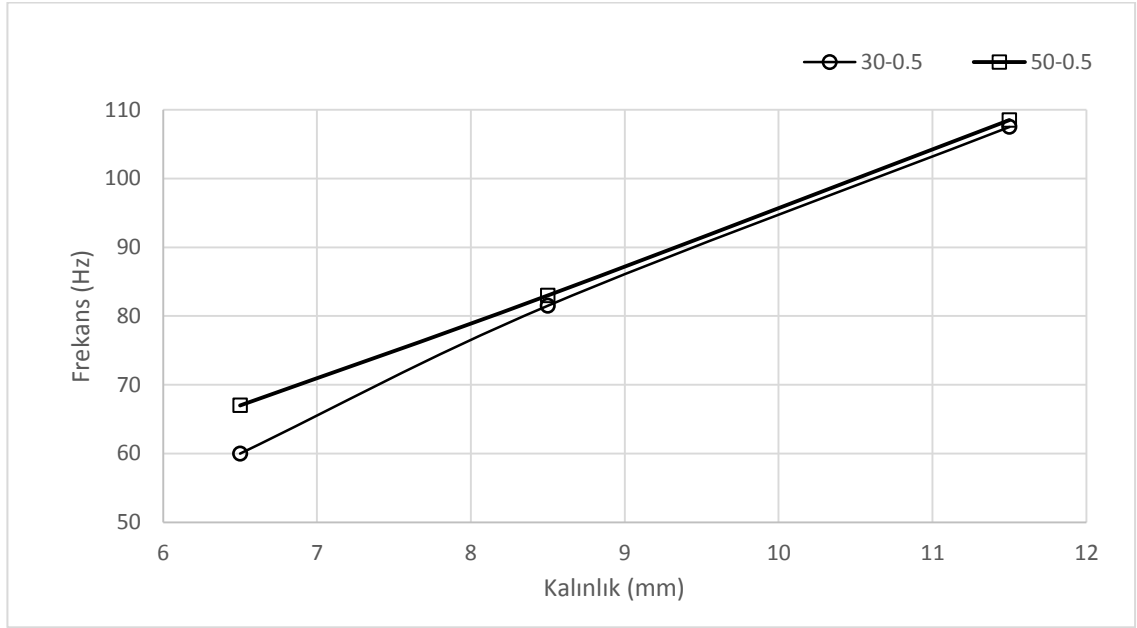
Şekil 4.8. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın sönüm oranı ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.8’de 200x15x8,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile hacimce %30 MB içeren ve MB yoğunluğu 210 kg/ m³ olan hacimce %0, %0.25 ve %0.50 KNF oranına sahip numunelerin sönüm oranı ve numune ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Grafikte MB hacim oranı ve yoğunluğu sabit tutularak KNF katkısının etkisi belirlenmiştir. KNF oranının artması ile birlikte sönüm oranlarında azalma eğilimi görülmektedir.



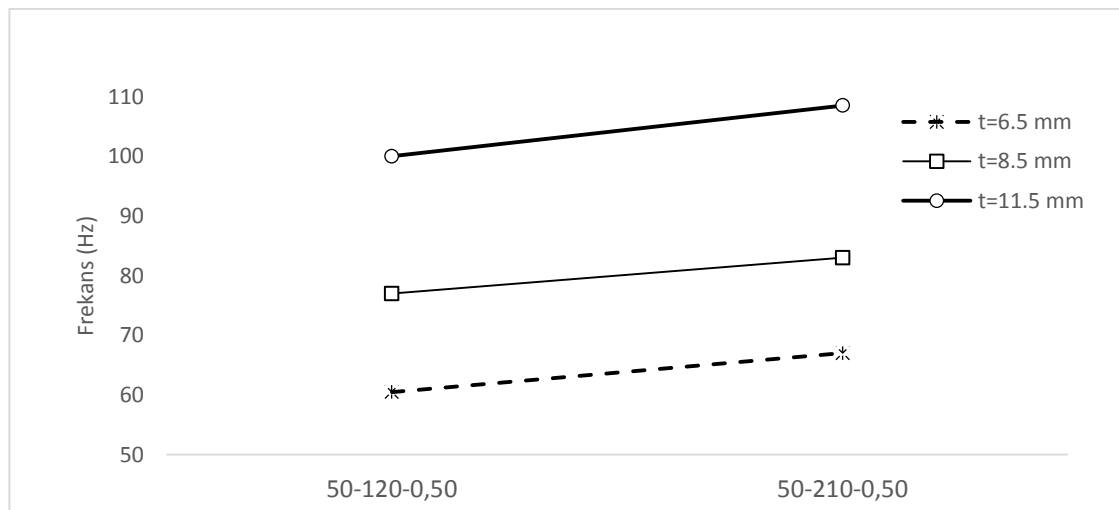
Şekil 4.9. Hacimce %30 MB içeren numunelerin KNF oranına karşın doğal frekans ve numune ağırlığının değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.9’de 200x15x8,5 mm boyutlarına sahip ham epoksi ile hacimce %30 MB içeren ve MB yoğunluğu 210 kg/ m³ olan hacimce %0, %0.25 ve %0.50 KNF oranına sahip numunelerin doğal frekans ve numunelerin ağırlıklarının değişimi verilmiştir. Grafikte MB hacim oranı ve yoğunluğu sabit tutularak KNF katkısının etkisi belirlenmiştir. KNF katkısının artması ile birlikte doğal frekansların arttığı gözlenmektedir.



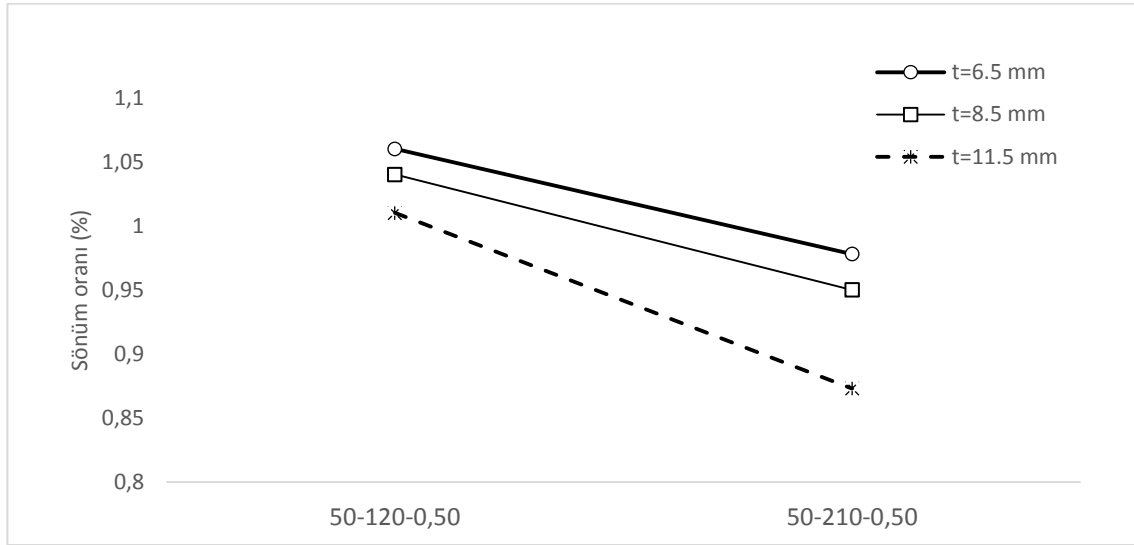
Şekil 4.10. Farklı MB hacim oranına sahip numunelerin kalınlığa bağlı olarak frekans değişimi ($\rho_{MB}=210 \text{ kg/m}^3$)

Şekil 4.10'de yüzdece farklı MB hacim oranına sahip numunelerin kalınlığa bağlı olarak frekans değerlerinin değiştiğini göstermektedir. Görüleceği üzere kalınlık arttıkça her iki MB hacim oranında frekansların arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.11. Farklı kalınlığa sahip numunelerin MB yoğunluğuna bağlı olarak frekanslarının değişimi

Şekil 4.11'de MB hacim oranı %50 ve KNF oranı %0.50 olarak sabit tutulan numunelerin kullanılan MB yoğunluğuna bağlı olarak farklı kalınlıklardaki frekans değişimi verilmiştir. Görüleceği üzere kullanılan MB'nun yoğunluğu frekans değerlerini değiştirmektedir. Yapı içerisine yoğunluğu yüksek olan MB katılması, frekans değerlerini artırdığı görülmektedir

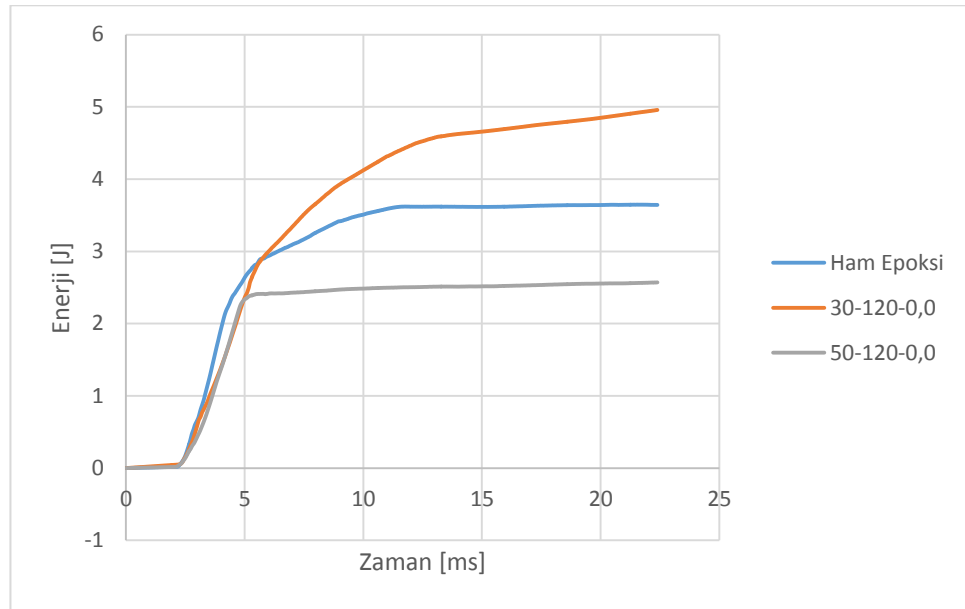


Şekil 4.12. Farklı kalınlığa sahip numunelerin MB yoğunluğuna bağlı olarak sönüm oranlarının değişimi

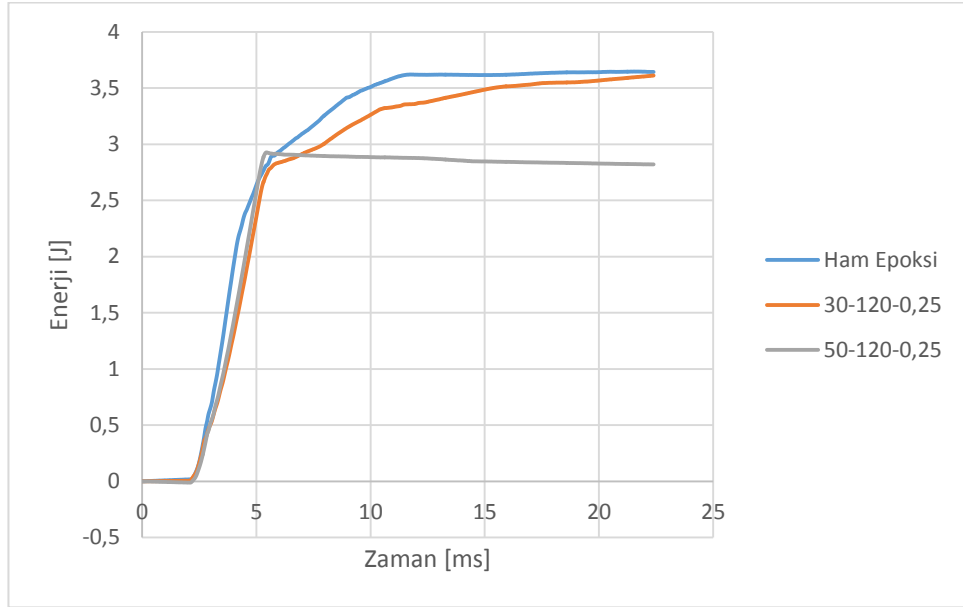
Şekil 4.12'de MB hacim oranı %50 ve KNF oranı %0.50 olarak sabit tutulan numunelerin kullanılan MB yoğunluğuna bağlı olarak farklı kalınlıklardaki sönüm oranlarının değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde aynı şartlar altında farklı yoğunluklara sahip MB kullanılması sönüm oranlarını değiştirmektedir. Kullanılan MB yoğunluğunun artması sönüm oranlarını düşürmektedir. Ayrıca daha kalın numunelerin sönüm oranlarının diğer kalınlıklara oranla daha düşük olduğu görülmektedir.

4.2.2. Darbe testleri

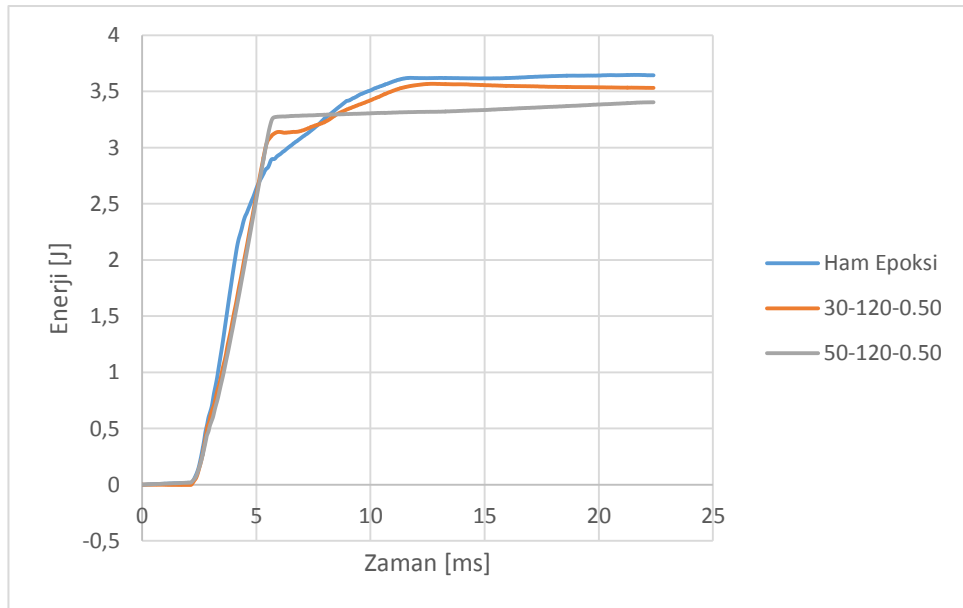
Düşük hızda gerçekleştirilen darbe testleri ile üretilen farklı kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin darbe dayanımları belirlenmiştir. Tüm numunelere 5 J'lük bir enerji ile darbe uygulanmıştır. Bu testler sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır. Numuneler içeriklerine göre kodlanarak grafiklerde belirtilmiştir. Örneğin; 30-120-0,25 ifadesinde 30 MB hacim oranını (%), 120 kullanılan MB yoğunluğunu (kg/m^3) ve 0,25 KNF oranını (%) temsil eder.



Şekil 4.13. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi



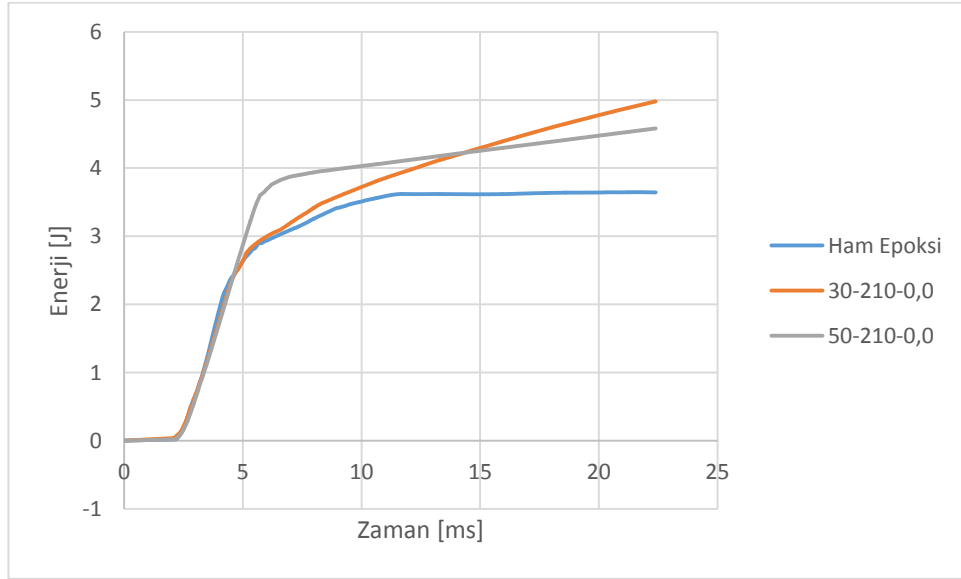
Şekil 4.14. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi



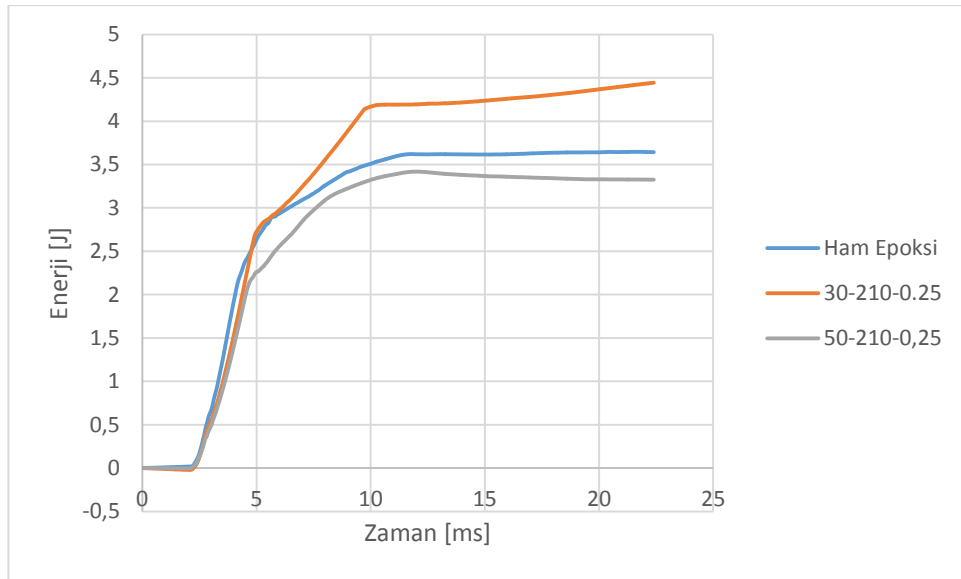
Şekil 4.15. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi

Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' de sırasıyla KNF içeriği %0, %0,25 ve %0,50 olan kabarcıklı sünger kompozitlere ait enerji-zaman grafikleri verilmiştir. Numuneler tam penetrasyona uğramıştır. KNF katkısının artması ile birlikte MB hacim oranı %50 olan numunelerde enerji seviyesini yukarı çektiği gözlenmektedir. Diğer bir ifade ile 5 J'lük

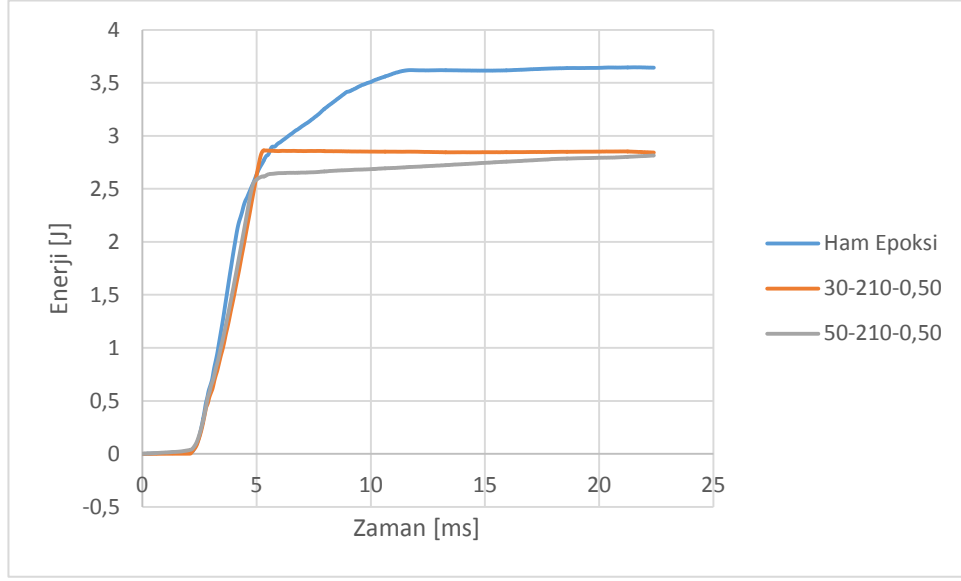
bir darbe enerjisi altında yapının absorbe edebildiği enerji miktarı KNF artışı ile artmıştır. Fakat MB hacim oranı %30 olan numunelerde KNF artışının enerji seviyesini aşağı doğru çektiği görülmektedir. Buradaki neden MB hacim oranının KNF katkısına oranla daha baskın olmasıdır.



Şekil 4.16. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi



Şekil 4.17. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi



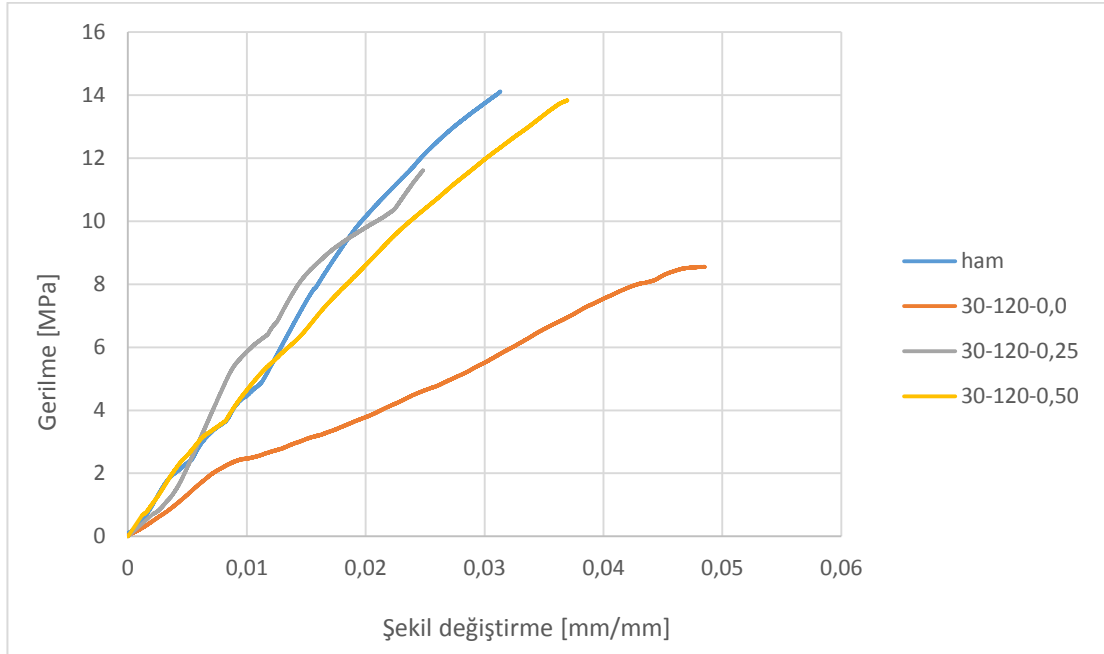
Şekil 4.18. MB hacim oranlarına karşın enerji-zaman değişimi

Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’ de sırasıyla KNF içeriği %0, %0,25 ve %0,50 olan kabarcıklı sünger kompozitlere ait enerji-zaman grafikleri verilmiştir. Bu numunelerde yoğunluğu 210 kg/m^3 olan MB’lar kullanılmıştır. Yine bu test işlemlerinde numuneler tam penetrastona uğramıştır. Grafikler incelendiğinde KNF katkısı bulunmayan numunelerde enerji absorbe edebilme kapasitesinin daha iyi olduğu gözükmele birlikte KNF katkısının artması ile numunelerin enerji absorbe kapasitesinin düştüğü görülmektedir.

Grafikler incelendiğinde MB hacim oranının ayrıca darbe karakteristiği üzerinde etkili olduğu gözlenmektedir. Hacimce %30 MB içeren numunelerin absorbe ettiği enerjinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Kabarcıklı sünger kompozit malzemelerin darbe özelliklerini etkileyen faktörlerden biri de kullanılan MB’nun yoğunluğudur. MB yoğunluğu 120 kg/m^3 olan numunelerin, yoğunluğu 210 kg/m^3 olan numunelere oranla daha düşük enerji absorbe ettiği gözlenmektedir. Özellikle %50 MB hacim oranına sahip numunelerde bu durum bariz bir şekilde görülmektedir.

4.2.3. Çekme testleri



Şekil 4.19. KNF oranlarına karşı gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 4.19'da sırasıyla KNF içeriği %0, %0,25 ve %0,50 olan kabarcıklı sünger kompozitler ile ham epoksiye ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Kabarcıklı sünger kompozitlerde MB hacim oranı %30 ve kullanılan MB malzemesinin yoğunluğu 120 kg/m^3 sabit tutularak bu malzemeler üzerinde KNF etkisi incelenmiştir. Grafikten görüleceği üzere ham epoksinin çekme mukavemetinin diğer numunelere oranla daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Ham epoksi malzemeye %30 oranında MB katılmasıyla meydana gelen 30-120-0,0 (KNF içermeyen) numunenin çekme dayanımının düştüğü görülmektedir. Fakat bu numunelere KNF ilavesi ile çekme dayanımlarının arttığı kanıtlanmıştır. %0,50 oranında KNF içeren kabarcıklı sünger malzemesinin çekme dayanımının ham epoksinin çekme dayanımına ulaştığı belirlenmiştir. Sonuçlar literatür ile de uyumlu bulunmuştur (Dimchev *et al.* 2010; Colloca *et al.* 2013).

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında polimer matrisli kompozit malzemelerin hafifletilmesi ve aynı zamanda da mekanik özelliklerinden ödün verilmemesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda birinci aşamada ham epoksi numunesi üretilmiştir. İkinci aşamada ise bu numunelere MB adı verilen mikron boyutundaki balonlar katılarak malzemelerin hafifletilmesi sağlanmıştır. Üçüncü aşamada ise mekanik özellikleri iyileştirebilmek için bu yapılara ilave olarak karbon nano fiberler eklenmiştir. Üretilen kompozit malzemeler üzerinde titreşim testleri gerçekleştirilmiştir. Testler ile malzemelerin doğal frekansları ve sönüm oranları belirlenmiştir. Buna göre;

- ✓ Herhangi bir katkı malzemesi bulunmayan ham epoksi numuneleri ile MB katkısı yapılmış epoksi numuneleri (kabarcıklı sünger kompozit) ağırlıkça karşılaştırılmıştır. MB katkısı bulunan numuneler ham epoksi numunelerine oranla %41 civarında hafiflediği görülmüştür. KNF içeren numunelerde de aynı hafifleme oranları geçerlidir.
- ✓ MB hacim oranının artması ile tüm numunelerin doğal frekans değerlerinde artış görülmektedir. Fakat Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 incelendiğinde numunelerin ağırlığı MB hacim oranına bağlı olarak fark edilir düzeyde düşmesine rağmen doğal frekans değerlerinde artış büyük ölçüde olmamıştır. Titreşim teorisine göre doğal frekans değerlerinin de bariz ölçüde artması beklenmektedir. Bu bariz artışın olmamasının nedeni aynı zamanda üretilen malzemelerin rijitliğinin de artmasıdır. Bu veriler doğrultusunda tezin amaçları arasında olan malzemelerin hafifletilmesi ile mekanik özelliklerinin de aynı zamanda geliştirildiğinin göstergesidir.
- ✓ Sönüm oranlarında ise genel olarak MB hacim oranının ve KNF hacim oranının artması ile düştüğü gözlemlenmiştir. Fakat Şekil 4.6'da sönüm oranının arttığı görülmektedir. Aynı şartlarda Şekil 4.8'de ise sönüm oranının azaldığı görülmektedir. Bu davranışın ortaya çıkmasının nedeni daha düşük yoğunluktaki MB kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

- ✓ Aynı MB hacim oranı ve KNF hacim oranına sahip fakat kullanılan MB yoğunluğuna bağlı olarak, kullanılan MB yoğunluğunun artması ile doğal frekans değerlerinin arttığı ve sönüm oranlarının düştüğü belirlenmiştir.

- ✓ Genel olarak numunelerin tümünde kalınlık arttıka doğal frekans değerlerinin arttığı görölmüştür.

KAYNAKLAR

- Alexandre, M. and Dubois, P., 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: Preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 28(1–2), 1-63.
- Al-Saleh, M.H. and Sundararaj, U., 2011. Review of the mechanical properties of carbon nanofiber/polymer composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(12), 2126-2142.
- Bardella, L. and Genna, F., 2001. On the elastic behavior of syntactic foams. *International Journal of Solids and Structures*, 38(40–41), 7235-7260.
- Chen, T.K., Tien, Y.I. and Wei, K.H., 1999. Synthesis and characterization of novel segmented polyurethane/clay nanocomposite via poly(ϵ -caprolactone)/clay. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 37(13), 2225-2233.
- Colloca, M., Gupta, N. and Porfiri, M., 2013. Tensile properties of carbon nanofiber reinforced multiscale syntactic foams. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 584-591.
- Dimchev, M., Caeti, R. and Gupta, N., 2010. Effect of carbon nanofibers on tensile and compressive characteristics of hollow particle filled composites. *Materials & Design*, 31(3), 1332-1337.
- Endo, M., Kim, Y.A., Hayashi, T., Yanagisawa, T., Muramatsu, H., Ezaka, M., Terrones, H., Terrones, M. and Dresselhaus, M.S., 2003. Microstructural changes induced in “stacked cup” carbon nanofibers by heat treatment. *Carbon*, 41(10), 1941-1947.
- Feng, L., Xie, N. and Zhong, J., 2014. Carbon nanofibers and their composites: A review of synthesizing, properties and applications. *Materials*, 7(5), 3919.
- Giannelis, E.P., 1996. Polymer layered silicate nanocomposites. *Advanced Materials*, 8(1), 29-35.
- Gladysz, G.M., Perry, B., McEachen, G. and Lula, J., 2006. Three-phase syntactic foams: Structure-property relationships. *Journal of Materials Science*, 41(13), 4085-4092.
- Grosjean, F., Bouchonneau, N., Choqueuse, D. and Sauvart-Moynot, V., 2009. Comprehensive analyses of syntactic foam behaviour in deepwater environment. *Journal of Materials Science*, 44(6), 1462-1468.
- Gupta, N. and Pinisetty, D., 2012. A review of thermal conductivity of polymer matrix syntactic foams—effect of hollow particle wall thickness and volume fraction. *Jom*, 65(2), 234-245.
- Gupta, N. and Ricci, W., 2006. Comparison of compressive properties of layered syntactic foams having gradient in microballoon volume fraction and wall thickness. *Materials Science and Engineering: A*, 427(1-2), 331-342.
- Gupta, N., Karthikeyan, C.S., Sankaran, S. and Kishore, 1999. Correlation of processing methodology to the physical and mechanical properties of syntactic foams with and without fibers. *Materials Characterization*, 43(4), 271-277.
- Gupta, N., Lin, T. and Shapiro, M., 2007. Clay-epoxy nanocomposites: Processing and properties. *Jom*, 59(3), 61-65.

- Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M. and Gorga, R.E., 2006. Review article: Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: An overview. *Journal of Composite Materials*, 40(17), 1511-1575.
- Inagaki, M., Yang, Y. and Kang, F., 2012. Carbon nanofibers prepared via electrospinning. *Advanced Materials*, 24(19), 2547-2566.
- Jana, S.C. and Jain, S., 2001. Dispersion of nanofillers in high performance polymers using reactive solvents as processing aids. *Polymer*, 42(16), 6897-6905.
- Lafdi, K. and Matzek, M., 2003. Effect of nanofiber surface functionalization in carbon nano-fiber based nanocomposites systems. In *Proceedings of 35th international SAMPE technical conference, Carbon nanomaterials session*. pp: 1-1.
- Lao, S., Ho, W., Ngyuen, K. and Koo, J., 2005. Micro structural analysis of nylon 11 nanocomposites. In *presenting at the 37 th International SAMPE Technical Conference, Seattle, WA, Oct.*
- Maharsia, R., Gupta, N. and Jerro, H.D., 2006. Investigation of flexural strength properties of rubber and nanoclay reinforced hybrid syntactic foams. *Materials Science and Engineering: A*, 417(1-2), 249-258.
- Maharsia, R.R. and Jerro, H.D., 2007. Enhancing tensile strength and toughness in syntactic foams through nanoclay reinforcement. *Materials Science and Engineering: A*, 454-455, 416-422.
- Maruyama, B. and Alam, K., 2002. Carbon nanotubes and nanofibers in composite materials. *Sampe*, pp., Covina, CA, Etats-Unis.
- Porfiri, M. and Gupta, N., 2009. Effect of volume fraction and wall thickness on the elastic properties of hollow particle filled composites. *Composites Part B: Engineering*, 40(2), 166-173.
- Poveda, R.L., Achar, S. and Gupta, N., 2014. Viscoelastic properties of carbon nanofiber reinforced multiscale syntactic foam. *Composites Part B: Engineering*, 58, 208-216.
- Reichert, P., Kressler, J., Thomann, R., Müllhaupt, R. and Stöppelmann, G., 1998. Nanocomposites based on a synthetic layer silicate and polyamide-12. *Acta Polymerica*, 49(2-3), 116-123.
- Sauvant-Moynot, V., Gimenez, N. and Sautereau, H., 2006. Hydrolytic ageing of syntactic foams for thermal insulation in deep water: Degradation mechanisms and water uptake model. *Journal of Materials Science*, 41(13), 4047-4054.
- Sun, C.T., 2002. *Proceedings of the american society for composites, seventeenth technical conference*. Taylor & Francis, pp.
- Tagliavia, G., Porfiri, M. and Gupta, N., 2009. Vinyl ester--glass hollow particle composites: Dynamic mechanical properties at high inclusion volume fraction. *Journal of Composite Materials*, 43(5), 561-582.
- Tagliavia, G., Porfiri, M. and Gupta, N., 2010. Analysis of flexural properties of hollow-particle filled composites. *Composites Part B: Engineering*, 41(1), 86-93.
- Tagliavia, G., Porfiri, M. and Gupta, N., 2012. Influence of moisture absorption on flexural properties of syntactic foams. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 115-123.
- Technology, R. and Limited, R.T., 1991. *Cellular polymers*. iSmithers Rapra Publishing, pp.

- Wouterson, E.M., Boey, F.Y.C., Hu, X. and Wong, S.-C., 2005. Specific properties and fracture toughness of syntactic foam: Effect of foam microstructures. *Composites Science and Technology*, 65(11-12), 1840-1850.
- Wouterson, E.M., Boey, F.Y.C., Hu, X. and Wong, S.-C., 2007. Effect of fiber reinforcement on the tensile, fracture and thermal properties of syntactic foam. *Polymer*, 48(11), 3183-3191.
- Wouterson, E.M., Boey, F.Y.C., Wong, S.C., Chen, L. and Hu, X., 2007. Nano-toughening versus micro-toughening of polymer syntactic foams. *Composites Science and Technology*, 67(14), 2924-2933.
- Yang, S., Taha-Tijerina, J., Serrato-Diaz, V., Hernandez, K. and Lozano, K., 2007. Dynamic mechanical and thermal analysis of aligned vapor grown carbon nanofiber reinforced polyethylene. *Composites Part B: Engineering*, 38(2), 228-235.
- Yano, K., Usuki, A. and Okada, A., 1997. Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid films. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 35(11), 2289-2294.
- Zegeye, E.F. and Woldeesenbet, E., 2012. Processing and mechanical characterization of carbon nanotube reinforced syntactic foams. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(15), 1045-1052.
- Zeng, J., Saltysiak, B., Johnson, W.S., Schiraldi, D.A. and Kumar, S., 2004. Processing and properties of poly(methyl methacrylate)/carbon nano fiber composites. *Composites Part B: Engineering*, 35(2), 173-178.
- Zhang, B., Xie, C., Hu, J., Wang, H. and Gui, Y., 2006. Novel 1–3 metal nanoparticle/polymer composites induced by hybrid external fields. *Composites Science and Technology*, 66(11–12), 1558-1563.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Denizli’de doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Bitlis’te tamamladı. 2006 yılında yükseköğrenim hayatına Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde başladı ve 2010 yılında mezun oldu. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 2011 yılında yüksek lisans eğitimine İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nde başladı ve burada bir yıl İngilizce hazırlık eğitimini başarıyla tamamladı. Hem yüksek lisans eğitimine devam ederken hem de 2012 yılında Aydemir Isıtma-Soğutma-Yalıtım Sistemleri İnşaat-Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şirketinde Makine Mühendisi olarak Denizli’de 775 MW üretim kapasiteli doğalgaz kombine çevrim santrali projesinde görev yaptı. 2013 yılı ocak ayında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Dinamiği Bilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak atandı ve görevine burada devam etmektedir.