

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZGAH GÖVDESİ İÇİN MİNERAL KOMPOZİT
MALZEMESİNİN MEKANİK VE TİTREŞİM
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin Onur ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yaşar KAHRAMAN

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZGAH GÖVDESİ İÇİN MİNERAL KOMPOZİT
MALZEMESİNİN MEKANİK VE TİTREŞİM
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

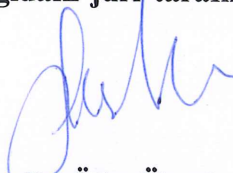
Hüseyin Onur ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

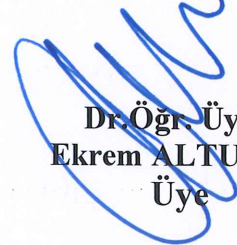
Bu tez 31.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Dr.Öğr. Üyesi
Yaşar KAHRAMAN
Jüri Başkanı



Dr.Öğr. Üyesi
Hüseyin DAL
Üye



Dr.Öğr. Üyesi
Ekrem ALTUNCU
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hüseyin Onur ÖZTÜRK

30/04/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yaşar KAHRAMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. İmdat TAYMAZ'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. CNC Takım Tezgahlarının Tarihi	2
1.2. Granüler Kompozitler	2
1.3. Epoksi Granit ve Mineral Döküm	3
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Malzeme Hazırlığı ve Kalıplama Yöntemi	10
3.1.1. Granüllerin hazırlanması	10
3.1.2. Cam elyaf özellikleri ve cam elyaf katkısının hazırlığı	12
3.1.3. Reçine ve reçinenin döküm ve serim işlemine hazırlığı	15
3.1.4. Kalıplama metodu	17

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	24
4.1. Çekme Testleri	24
4.1.1. Çekme testlerinden elde edilen veriler	26
4.1.2. Çekme testleri sonuç ve değerlendirmeleri	30
4.2. Titreşim Sönümlenme Testleri	32
4.2.1. Titreşim sönümlenme testleri sonuç ve değerlendirmeleri	39
4.3. Sertlik Testleri	44

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	53

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan test ve malzeme topluluğu
CCLD	: Sabit akımlı güç aktarımı
CMERI	: Merkezi makine mühendisliği araştırma enstitüsü
F	: Elyafı numune
FEA	: Sonlu elemanlar analizi
GG26	: Gri dökme demir
H (ω)	: Frekans tepki fonksiyonu
Hz	: Hertz
Mdf	: Orta yoğunluklu fiber levha
Q faktör	: Kalite faktörü
S	: Elyafsız numune
UNF	: Birleşik diş standardı
$\Delta\omega$: Frekans genliği
ω_f	: Pik nokta frekans değeri
ζ	: Sönüm oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Granüler kompozitlerde kübik hacimde örnek matriks malzeme ve granül dağılımları	3
Şekil 1.2. Epoksi granit beş eksenli işleme tezgahı	4
Şekil 1.3. Epoksi granit dik işleme merkezi	5
Şekil 1.4. Epoksi granit torna tezgahı gövdesi	5
Şekil 3.1. Yıkama işlemi öncesinde ve sonrasında bazalt granüller	11
Şekil 3.2. Granül fırınlama işlemi	12
Şekil 3.3. Çekme ve titreşim testleri numunelerinin karbondioksit lazer kesimleri ve numune görüntüleri	15
Şekil 3.4. Hava kabarcıkları bulunan ve hava kabarcıklarından arındırılmış matriks reçinesi	16
Şekil 3.5. Vakum pompası ve baloncuk arındırma haznesi	16
Şekil 3.6. Pasivize edilmiş st37 ve alüminyum 6060 çekme numunesi kalıpları..	17
Şekil 3.7. Mdf malzemeden üretilen titreşim testi ve çekme testi numune kalıpları	19
Şekil 3.8. Tez çalışması kapsamında geliştirilen titreşimli kalıplama makinesi ...	20
Şekil 3.9. Matriks malzeme olmadan granül ve cam elyaf tabakasının kalıp içerisine yerleşim görüntüsü	21
Şekil 3.10. Cam elyaf katkısı bulunmayan ideal kompozit yapısı	22
Şekil 3.11. Cam elyaf katkılı ideal kompozit yapısı	22
Şekil 3.12. İdeal izotropik kompozit yapısı	23
Şekil 4.1. Çekme cihazı ve çekme testi numunesi	24
Şekil 4.2. Çekme testi numuneleri	25
Şekil 4.3. Cam elyaf katkısı bulunmayan çekme testi numunelerine ait çekme testi grafiği	26
Şekil 4.4. Cam elyaf katkısı bulunmayan numunelerin kesit görünüşleri	27
Şekil 4.5. Cam elyaf takviyeli çekme testi numunelerine ait çekme testi grafiği ...	28

Şekil 4.6. Cam elyaf katkılı numunelerin kesit görünüşleri	29
Şekil 4.7. Cam elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyesi bulunmayan çekme testi numunelerine ait karşılaştırmalı çekme testi grafiği	31
Şekil 4.8. Titreşim sönümlenme testi numune örnekleri	32
Şekil 4.9. Brüel&Kjaer data toplama cihazı ve elde edilen verinin RT Photon Pro programı bilgisayar görüntüsü	32
Şekil 4.10. Brüel&Kjaer Type 8206-002 model darbe çekici	33
Şekil 4.11. Deney düzeneği görüntüsü	34
Şekil 4.12. Test metodları ile uygulanan farklı sensor ve darbe noktası konumları	34
Şekil 4.13. İvme sensörü	36
Şekil 4.14. Darbe çekici kuvvet grafiği	37
Şekil 4.15. İvme-frekans grafiği	37
Şekil 4.16. Yarım güç bant genişliği metodu grafiği	38
Şekil 4.17. Yarım güç bant genişliği metodunun grafik üzerinde gösterimi ve Photon+ program tarafından bu metod ile elde edilen değerler	39
Şekil 4.18. 12F numunesi ivme zaman grafiği	42
Şekil 4.19. 16F numunesi ivme zaman grafiği	43
Şekil 4.20. GG26 gri dökme demir ivme zaman grafiği	43
Şekil 4.21. 6060 alüminyum ivme zaman grafiği	44
Şekil 4.22. Sertlik test cihazı ve test numunesi	45
Şekil 4.23. Sertlik testi izaçar dijital mikroskop görüntüsü	46

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Çekme testi numuneleri hacimsel malzeme içeriği oranları	25
Tablo 4.2. Piezoelektrik ivme sensörünün özellikleri	35
Tablo 4.3. İlk test sonuçları	40
Tablo 4.4. İkinci test sonuçları	40
Tablo 4.5. Üçüncü test sonuçları	41
Tablo 4.6. Minimum titreşim sönümleme kabiliyetine sahip olan 12F numunesi ile GG26 ve alüminyum 6060 numunelerinin titreşim sönümleme testleri sonuçları karşılaştırma tablosu	42
Tablo 4.7. Sertlik testinden elde edilen veriler	46

ÖZET

Anahtar kelimeler: Epoksi granit, mineral döküm, granüler kompozit, makina konstrüksiyonu

Bu çalışmada, çeşitli bilimsel çalışmalarda ve makalelerde titreşim sönümlenme kabiliyetinin konvansiyonel metal malzemelere oranla daha yüksek olduğu tespit edilen epoksi reçine matriks malzemesi olarak kullanılarak bir kompozit yapı oluşturulmuştur. Kompozit yapıda esnek bir malzeme olan epoksi reçinenin rijitliğini arttırmak amacıyla bazalt granüller ve silis kumu tanecikleri kullanılmıştır. Rijitliğin sağlanması ile birlikte kırılma dayanımı artan yapının mukavemetini arttırmak ve lif yönü bulunan bir form oluşturmak amacıyla cam elyaf takviyesi ile kompozit yapı desteklenmiştir.

Kompozit yapıda kullanılan malzemelerin tedarik edildikten sonra doğrudan kullanılmaları çeşitli olumsuz durumlara yol açtığı için malzemelerin öncelikle bazı ön işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu nedenle kompozit yapının döküm ve serim işlemleri yapılmadan önce malzeme hazırlık prosesleri geliştirilerek bu prosesler malzeme hazırlığı sürecinde uygulanmıştır. Ayrıca döküm işlemi esnasında da birbirinden farklı karakteristiklerde malzemeler kullanıldığı için istenmeyen durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu sebepler dolayısıyla döküm işlemi için ayrı bir döküm prosesi geliştirilmiştir. Tüm proses geliştirmelerinde otomasyona uygunluk kriteri göz önünde bulundurulmuştur. Kalıplama işlemi için metal, ahşap ve polimer kalıp malzemeleri ile denemeler yapılarak en uygun kalıp malzemesi seri ve prototip üretimler için belirlenmiştir.

Farklı karışım oranlarına sahip numunelere titreşim sönümlenme ve çekme testleri uygulanmış ve malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan testler neticesinde endüstriyel kullanıma uygun ve ideal mekanik özelliklere en yakın sonuçlar elde etmemizi sağlayan malzeme bileşim oranları saptanmıştır. Kompozit yapıdaki malzeme katkılarının mekanik özelliklere olan etkileri irdelenerek pozitif ve negatif yönleri ortaya konulmuştur.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL AND VIBRATION PROPERTIES OF MINERAL COMPOSITE MATERIAL FOR MACHINE STRUCTURE

SUMMARY

Keywords: Epoxy granite, mineral casting, granular composite, machine frame

In this study, a composite structure was created using epoxy resin as the matrix material, which is reported in many studies to have a higher vibration damping capacity than conventional metal materials. To improve the rigidity of the normally flexible epoxy resin, basalt granules and silica sand particles were used in the composite structure, while to improve the strength of the structure, which became more fragile as the rigidity was increased, and to create a form with fibers, the composite structure was reinforced with glass fiber.

The materials to be used in a composite structure need to be pre-processed, as skipping this step and using them directly as supplied can lead to negative results. Accordingly, material preparation processes have been developed for application prior to the casting and laying of the materials for the composite structure. Undesirable situations may also arise during casting as materials with different characteristics are used, and so a separate casting process has been developed. The criteria of suitability for automation was taken into account in the development of all the processes. Tests were conducted with metal, wooden and polymer molding materials, and the most appropriate mold materials for prototype and mass production were identified.

Vibration damping and tensile tests were conducted on samples of different mixes, and the mechanical characteristics of the developed materials were identified. The tests made it possible to identify the material mixture ratios that best approximated the optimum mechanical characteristics, and identified those most suitable for industrial use. The effects of reinforcement materials on the mechanical characteristics of the composite structure were examined, and their strengths and drawbacks were identified.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde epoksi matrisli granüler kompozit malzemeler yüksek titreşim sönümlene kabiliyetleri nedeniyle hassas işlemler yapan özel CNC takım tezgahlarında kullanılmaktadır. Gövde malzemesi olarak konvansiyonel tezgahlarda kullanılmamasının sebebi ise gerekli mukavemet dayanımını sağlayabilmek için metal gövdelere oranla oldukça geniş kesitli kiriş ve kolonların üretilmesi gerekliliğidir. Bu durumda malzeme maliyetindeki artış nedeni ile kullanım alanı ve uygulama alanları oldukça sınırlı kalmaktadır. Granüler kompozit malzemelerde matriks malzemesi ile takviye malzemelerinin birlikte uygun bir arabirim oluşturmaları önem arz etmektedir. Bu nedenle granül malzemenin matriks içerisinde homojen dağılımı ve granüller arasındaki matriks malzemenin yeterli mekanik özellikleri gösterebileceği optimum oranda nüfuz etmesi gerekmektedir. Granüler kompozit malzemelerde temel bileşenler olan granüller ve matriks malzemesi arasında adhezyon bağı oluşacak şekilde bir birleşim söz konusudur ve matriks malzemenin katılması sürecinde adhezyon bağı gerçekleşmektedir. Geliştirmek istediğimiz kompozit malzemede matriks malzemesi epoksi reçine, granüler malzemeler ise bazalt granül ve silis kumu tanecikleridir. Bazalt ve silis taneciklerinin öz kütlesi çelik veya alüminyum gibi malzemeler ile kıyaslandığına oldukça düşüktür ve kompozit malzemede hafif ve rijit bir yapı oluşumunu sağlamaktadırlar. Ayrıca bazalt ve silis granüller doğada buldukları halleri ile herhangi bir kimyasal veya ısıl işlem uygulanmadan çeşitli mekanik işlemlerden geçirilerek üzerinde çalışılan kompozit yapıda kullanılabilir duruma gelmektedirler.

Bu çalışmada epoksi matrisli granüler kompozit malzemelere cam elyaf takviyesi eklenerek mevcut sistemlere oranla daha dar kesitli konstrüksüyonlarda iyileştirilmiş mukavemet değerlerine ulaşmak amaçlanmaktadır. En önemli özelliği titreşim sönümlene olan bu kompozit yapının cam elyaf katkısı ile birlikte titreşim sönümlene kabiliyetindeki değişimler incelenecektir.

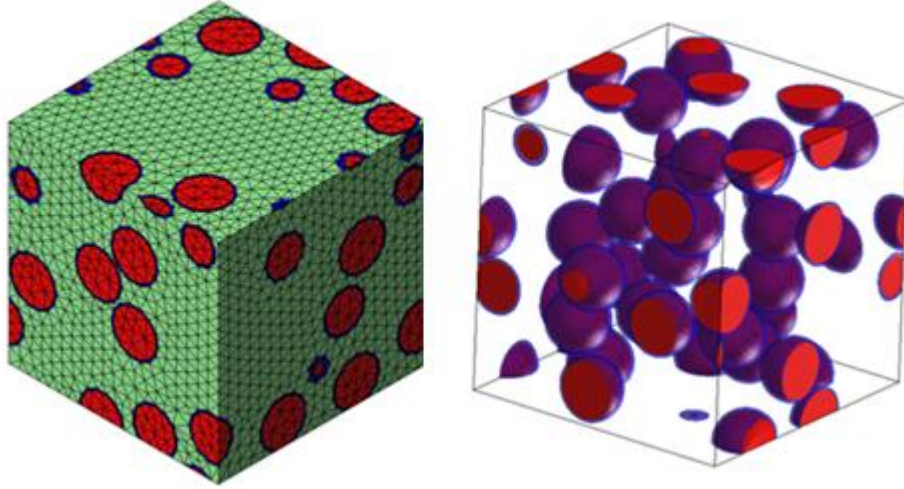
1.1. Cnc Takım Tezgahlarının Tarihi

Numerik kontrollü işleme tezgahları düşüncesi ikinci dünya savaşının son dönemlerinde ABD hava kuvvetleri tarafından ihtiyaç duyulan karmaşık geometrideki havacılık parçalarının üretilmesine gereksinim duyulması ile birlikte ortaya çıkmıştır. O dönemde karmaşık geometri parçaların mevcut olan işleme tezgahları ile üretilmesi mümkün değildi. Bu düşüncenin hayata geçirilebilmesi için PARSONS CORPORATION ve MIT(Massachusetts Institute of Technology) çeşitli ortak çalışmalar yürütmüştür. 1952 yılında CINCINNATI-HYRDOTEL freze tezgahı numerik kontrollü hale getirilerek bu alanda yapılan ilk başarılı çalışma hayata geçirilmiştir. Örnek teşkil eden bu çalışmadan sonra birçok takım tezgahı üreticisi bu alanda çalışmalar yaparak numerik kontrollü tezgahların üretimine başlamıştır. Seri üretimde devrim niteliğinde olan bu gelişim elektronik komponentlerin gelişimi ile paralel olarak ivme kazanmıştır. İlk zamanlarda numerik kontrollü tezgahlarda vakumlu tüpler, mekanik röleler ve kompleks kontrol arayüzleri kullanılmaktaydı ve mekanik olan bu tür elemanlar sürekli tamir ve bakım gerektirmekteydi. Transistörlerin gelişimi ile birlikte elektronik devreler ve kartlar kullanılarak kontrol sistemleri daha stabil ve sorunsuz çalışan sistemler haline getirilmiştir. Günümüzde numerik kontrollü tezgahlarda yüksek kapasiteli ve hassas entegre devre elemanları ve daha ucuz ve küçük boyutlu donanımlar kullanılmaktadır. Bellek ve kayıt sistemlerinin gelişimi ile birlikte işleme için oluşturulan programların hafızada saklanmaları mümkün hale gelmiştir. Tüm bu süreçler adım adım ilerleyerek CNC tezgahların hayata geçirilmesine katkıda bulunmuştur. CNC tezgahlar bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile günümüzde frezeleme ve tornalama işlemlerinin dışında, büküm, delik delme, taşlama gibi farklı işlemler yapan imalat yöntemlerine de entegre olmuşlardır.

1.2. Granüler Kompozitler

Granüler kompozitler literatürde parçacıklı kompozitler sınıfında bulunmaktadır. Yapı itibariyle izotrop yapıdadırlar, tüm eksen yönlerinde aynı özellikleri gösterirler. Bilinen en yaygın granüler kompozite beton örnek verilebilir. Betonun yapısındaki

çimento matriks malzemesi, çakıl taşları ise granüllerdir. Granüler kompozitlerde sertlik granüllerin sertliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Granüller ile matriks malzeme birbirleri içinde çözünmez ve adhezyon bağı oluştururlar (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Granüler kompozitlerde kübik hacimde örnek matriks malzeme ve granül dağılımları [1]

Çekme mukavemeti için matriks malzemenin bağlayıcılığı, basma mukavemetinde ise granüllerin mukavemeti öne çıkmaktadır. Granüller ideal küre olarak kabul edildiklerinde matriks malzemenin oluşturduğu adhezyon bağı her bir granül tanesinde küre çapı boyutunda bir alana etki etmektedir. Granüler kompozitlerde çekme mukavemeti granül sertliği matriks malzemenin sertliğinden düşük değerlerde olmadığı sürece her zaman basma mukavemetine göre daha düşük değerlerdedir. Granüler kompozitlerde granül sertliğinin matriks malzeme sertliğinden daha yüksek olarak tercih edilmesinin birincil sebebi rijitliğin artırılmasıdır. Genellikle endüstride kullanılan polimer malzemeler olan matriks malzeme reçineleri sıvı halden katı hale geçtiklerinde dahi rijit olmamaları sebebiyle sertliği yüksek granüller kullanılarak rijit bir kompozit yapı elde edilebilmektedir.

1.3. Epoksi Granit ve Mineral Döküm

Mineral dökümün sunduğu teknolojik, ekonomik ve ekolojik avantajlar çelik, gri dökme demir veya demir dökümün önüne geçmektedir. Mükemmel titreşim sönümleme kabiliyeti, kimyasal direnci, korozyona uğramaması ve termal etkilere

karşı stabilitesi geleneksel tezgah gövde malzemelerinin yerini almasında önemli etkenlerdir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi ve çok eksenli sistemlerde uygulanabilirliği yüksektir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Epoksi granit beş eksenli işleme tezgahı [2]

Mevcut sistemlerde termal etkiler dolayısıyla oluşan genleşme, büzülme gibi fiziksel davranışlar üretimde tekrar edilebilirlik konusunda olumsuzluklar oluşturmaktadır. Geleneksel dik işleme tezgahları epoksi granit malzemesi ile üretildiğinde, geometri içerisinde oluşturulabilen kanallar neticesinde kablo, yağ, soğutma sıvısı kanalları gövde içerisinde saklanarak kısa mesafelerde ve mevcut sistemlere göre daha uzun ömürlü bağlantılar yapılabilmektedir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Epoksi granit dik işleme merkezi [3]

Epoksi granit malzeme ile üretilen torna tezgahı gövdeleri ve diğer talaşlı imalat tezgahı gövdeleri yüksek titreşim sönümleme kabiliyetleri neticesinde mükemmel yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip parçaların üretilmesine olanak tanımaktadır (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. Epoksi granit torna tezgahı gövdesi [4]

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Epoksi granit kompozitlerin en önemli özelliklerinden biri, mekanik titreşimleri sönümlene kapasitesinin dökme demirinkinden dahi yüksek olmasıdır. Bu sebeple bu malzemeler, takım tezgâhı gövdesi ve hassas alet imalatında kullanılacak şekilde kullanılabilir [5].

Epoksi granitin sönümlene faktörünün ve testlerde elde edilen logaritmik düşüş değerlerinin, parçacık büyüklüğü sırasıyla 0,5 mm ve 8 mm olan polyster ve silisyum granül ağırlığının %20 olduğu kompozitlere ilişkin değerlere yakın olduğu görülmüştür. Genellikle, epoksi reçinesi polyster reçinesinden daha pahalıdır fakat bu çalışmanın sonuçları, titreşim sönümlene kapasitesi açısından değerlendirme yapabilmek için epoksi matrisinin kullanılmasının uygun olacağını göstermiştir [6].

Titreşim ve termal deformasyon, başta hassas işleme tezgâhları olmak üzere takım tezgâhı yapılarının sorunsuz işlenmesini engellemekte ve geleneksel olmayan malzemelere yönelik bir talep artışı ortaya çıkmaktadır. Modern takım tezgâhlarının sürekli artan kesme hızını desteklemek amacıyla, takım tezgâhı üreticileri, geleneksel mühendislik malzemelerine alternatif bulma konusunda sürekli bir arayış içindedir. Çünkü gri dökme demir, yumuşak çelik, vb. gibi geleneksel mühendislik malzemeleri, yapıları gereği birtakım dezavantajlara sahiptir. İmalat hazırlık süresinin uzun olması, sönümlene kapasitesinin düşük olması, paslanma eğilimi ve yüksek maliyet bu dezavantajlardan bazılarıdır. Bugüne kadar incelenmiş olan alternatif malzemeler arasında granit, polimer betonu, sentetik granit, ferro çimento, elyaf takviyeli çimento kompozitleri ve seramik reçine betonu sayılabilir. Bu malzemelerin her birinde belirli oranda bir başarı elde edilmiş olsa da, hala bazı sorunlar mevcuttur. Bu durum göz önünde bulundurularak Hindistan'ın Durgapur şehrinde faaliyet gösteren makine mühendisliği araştırma enstitüsünde (CMERI) gerçekleştirilen kapsamlı araştırma ve

geliştirme çalışmaları neticesinde epoksi granit adı verilen geleneksel olmayan bir malzeme geliştirilmiş olup bu malzeme yüzey taşlama makinesi, hassas silindirik taşlama makinesi gibi hassas takım tezgahı yapılarında etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Epoksi granit, reaktif bir epoksi reçine sertleştirici sistemin (bağlayıcı madde) ve gradasyonlu bir agrega sisteminin (dolgu maddesi) soğukla sertleşen ve kalıba dökülüp kompaksiyon (sıkıştırma) amacıyla birkaç dakika titreşime tabi tutulmasıyla oluşan karışım olarak tanımlanır. Bu süreç, kalıp tamamen dolana kadar tekrar edilir. Daha sonra karışım, sertleşmesi için 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilir ve kalıptan çıkarıldığında dökme demire veya çeliğe bir alternatif olacak sertlikte bir katı hal alır. Yüksek hassasiyetli takım tezgahı yapılarının üretiminde belirli bir kalitede epoksi granit kompozit kullanılması gerekmektedir. Epoksi granitin sahip olması gereken özellikler arasında yüksek mekanik dayanım ve esneklik katsayısı, düşük büzüşme özelliği, yüksek sönümleme kapasitesi, düşük nem emilimi ve yüksek kimyasal dayanım sayılabilir. Epoksi granitten yapılmış takım tezgahı yapıları genellikle çimento betonu yapıları gibi güçlendirilmiş değildir. Mekanik dayanım kriterlerini yerine getirebilmek için, malzemenin çekme dayanımı yüksek olmalıdır [7].

Elyaf kompozit malzemenin arasına parçacıklı kompozit tabakaları eklenerek, diğer güçlendirilmiş kompozitlere kıyasla esneklik artışı sağlanmıştır. Yüksek yoğunluklu elyaf, sertlik ve yüksek yük taşıma özelliklerini sağlar, düşük yoğunluklu parçacıklar ise kompozitin hasarları daha iyi tolere edebilmesini ve malzeme maliyetinin düşük olmasını sağlar. Yüksek yoğunluklu elyaf ayrıca, dayanımdan ödün vermeden ağırlığı azaltmaya yardımcı olur ve kompozit malzemenin elektriksel ve termal özelliklerini iyileştirir. Elyaf ve granülden oluşan hibrit kompozitin mekanik özellikleri hacim oranının ve farklı elyaf katlarının istif dizisinin değiştirilmesi suretiyle değiştirilebilir. Elyaf takviyeli kompozitlerde görülen başlıca sorunlardan olan katmanlara ayrılma problemi, parçacıklı kompozit tabakalar eklenerek azaltılabilmektedir. Bu tabakaların eklenmesiyle, kompozitin ardışık katmanları arasındaki yapışma kuvveti artmaktadır [8].

Epoksi granit, belirli büyüklükte taneciklere sahip ve epoksi reçinesinde iyi dağılım gösteren silika mineralleri gibi, metalik olmayan dolgu maddelerinden oluşan bir kompozit malzemedir. Mineral dolgu maddelerinin tanecik büyüklüğü 0,25 mm ile 32 mm arasında değişmektedir. Mekanik özellikler, mineral taneciklerinin birbiriyle doğrudan temas halinde olduğu, yüksek yoğunluklu matriks malzeme açısından kaynaklıdır. Epoksi granitin çok dikkatli bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Dolgu maddesinin düzgünce kurutulması şarttır. Ölçüsel olarak sınıflandırılmış mineral dolgu maddeleri değişik tane boyutlarında, reçine ve katkı maddeleri ile karıştırılır. Burada amaç, mineral dolgu maddelerinin reçine tarafından tamamen ıslanmasını ve yüksek kalıplama yoğunluğunu sağlamaktır. Mineral dökümde hava kabarcıklarını önlemek için, epoksi granit vakumlu odalarda karıştırılabilir veya kalıp ısıtılabilir. Mineral döküm parçaların imalatında kullanılan teknoloji, demir döküm teknolojisine benzemektedir fakat burada sertleştirme işlemi soğutma yoluyla değil reçinenin kürlenmesi yoluyla yapılmaktadır. Uygun bir kalıba döküm yapılırken, döküm ömrü olarak adlandırılan kullanım süresine dikkat edilmelidir. Kalıbın karmaşıklık derecesine bağlı olarak bu işlem iki ila altı saat sürebilmektedir. Ölçüm işlemlerini veya alt sistemlerin kullanımını desteklemek dışındaki alt fonksiyonları da mineral döküm kalıbı içerisine entegre etmek mümkündür. Ağırlığı azaltmaya yarayan içi hava dolu küreler, elektrik iletim kanalları, soğutma sıvısı boruları, mineral döküm kalıp çerçevesinin içerisine kolaylıkla entegre edilebilmektedir. Hassas mühendislik uygulamaları ve daha iyi bir güç dağılımı elde edebilmek için uçtan uca ön germeli ankrajlar kullanılmaktadır. İşlevsel yüzeylerin ve kılavuzların monolitik entegrasyonu işleme sonrasındaki işlemlere olan ihtiyacı ortadan kaldırır ya da en aza indirir. 10 µm'ye kadar düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip işlevsel yüzeyler oluşturmak mümkündür. Mineral dökümü karakterize etmenin pek çok zorluğu vardır, farklı dolgu faktörleri, tanecik büyüklüğü dağılımları ve tanecik malzemeleri, kullanılan reçineler ve katkı maddeleri ve doğal ürünlerin dağılımı, sonuçta ortaya çıkacak olan bileşiğin özelliklerini etkilemektedir. Farklı maliyetlere sahip ancak rakiplerine benzer kalitedeki malzemeleri elde etmenin tek yolu, uygulanan teknolojiye ilişkin olarak, malzemelerin hazırlanmasından soğutma aşamasına kadarki sürece ilişkin proses kontrolü yapmaktır. Yine de, mineral dökümün özellikleri ancak değer aralıkları ile ifade edilebilir [9].

Endüstride mevcutta üretilen bir masa üstü takım tezgâhı yapısı üzerinde çalışılmış, yapı tekrar tasarlanmış ve yapıda karbon-epoksi prepreg kullanılarak yapı üretilmiştir. Bu çalışmayla, yapının ağırlığının azaltılması ve yapısal sertliğin yanı sıra sönümlenme kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, yeniden tasarlanmış olan yapının %36,8 oranında daha hafif olduğunu, yapısal sertliğin %16 oranında artırıldığını ve sönümlenme oranının %2,82 ila %3,64 arasında bir oranda arttığını göstermiştir. Gerek hibrit gerekse geleneksel malzeme için doğal frekansı belirlemek üzere sonlu elemanlar analizi (FEA) yapılmıştır. Analiz sonucunda, hibrit malzemenin doğal frekansının (396 Hz), geleneksel malzemeninkinden (342 Hz) %16 daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada ayrıca, deneysel yolla elde edilen sonuçların analiz sonuçları ile uyumlu olup olmadığını anlamak için yapılar kıyaslanmıştır [10].

Kaynak araştırmasından elde edilen bilgilerden de görüldüğü üzere epoksi granit veya diğer bir adıyla mineral döküm malzemeler pasif titreşim sönümlenme konusunda oldukça başarılılar. Farklı granül boyutları ve farklı matriks malzemeleri ile elde edilen sonuçlar ve hali hazırda çeşitli üreticilerin bu malzemeler ile ürettikleri takım tezgahları başarılı örnekler sunmaktadır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Malzeme Hazırlığı ve Kalıplama Yöntemi

Döküm işleminde kullanılacak malzemelerin tamamen döküme hazır hale getirilebilmeleri için öncelikle çeşitli ön işlemlerden geçirilmeleri gerekmektedir. Kullanılacak olan granüllerin üstünde bulunan tozların temizlenmesi, cam elyaf katkının kalıpların geometrik ölçülerine uygun olarak kesilmeleri, karışım yapılan iki komponentli epoksi matriks malzemesinin uygun oranlarda karışımının yapılması ve oluşan kabarcıklardan arındırılması gerekmektedir. Diğer bir yandan kalıplar döküm işlemi için uygun kalıp ayırıcı ile kaplanmalıdır.

Tüm hazırlık süreçleri, kalıplama sonucu elde edilecek nihai ürün için hedeflenen dayanım ve diğer fiziksel özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle kalıplama esnasında olduğu gibi malzeme hazırlık süreçlerinde de malzemelerin çeşitli özelliklerine ve kondüsyonlarına dikkat edilmelidir.

3.1.1. Granüllerin hazırlanması

Epoksi granit malzemeler içerisinde genellikle iki tip granül çeşidi kullanılmaktadır. Bunlar bazalt granüller ve silis kumu granülleridir. Bazalt granüllerin yoğunluğu $2,8 \text{ gr/cm}^3$ ve silis kumunun yoğunluğu $2,32 \text{ gr/cm}^3$ tür. Kullanılan her iki malzemenin doğada kolay bulunabilirliği, endüstride hali hazırda çeşitli alanlarda standart olarak kullanılmaları ve diğer malzemelerden görece daha düşük maliyetli olmaları bu alanda kullanılmaları için en genel sebepler olarak karşımıza çıkmaktadır. Silis kumları piyasada hazır yıkanmış ve fırınlanmış olarak paketler halinde temin edilebilmektedir ve bu şekilde döküm işlemine uygun haldedir. Fakat bazalt granüller üzerinde kırım işleminden ve depolamadan kalan toz zerrecikleri bulunmaktadır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Yıkama işlemi öncesinde ve sonrasında bazalt granüller

Granüller üzerinde bulunan toz zerrecikleri, granüller temizlenmediği takdirde granül ile matriks malzeme arasında bir sınır tabakası oluşturarak, granül ile matriks malzemenin adhezyon bağı oluşturmasını engelleyecektir. Malzeme döküm işlemi yapıldıktan sonra görsel olarak herhangi bir sorun gözlenmemektedir. Fakat malzeme herhangi bir şekilde zorlandığında, kolaylıkla toz katmanının bulunduğu noktalardan ayrışmalar ve kırılmalar gözlenebilmektedir. Bu nedenle bazalt granüllerin oldukça iyi temizlenebilmeleri için yıkama işleminin yapılması gerekmektedir. Granül yıkama işlemi kolaylıkla makineler ile yapılabilecek bir prosestir. Seri üretim durumunda granüller yüksek basınçlı su yardımıyla veya çeşitli tamburlu yıkayıcı makineler ile yıkanabilecektir. Yıkama işlemi yapıldıktan sonra granüllerin kendi kendilerine kurumaları oldukça uzun süreler almaktadır. Ayrıca yıkanan granüller yığın halinde depolandıklarında sürekli olarak yığının en alt katmanı ıslak kalmaktadır. Bir diğer süreksizlik sebebi olabilecek durum ise nemli olmaları durumunda granüllerin matriks malzeme ile adhezyon bağı oluşturmayacak veya nispeten zayıf bir bağ oluşturacak olmalarıdır. Yapılan denemeler sonucunda nem sorununun ortadan kaldırılması için granüllerin 150°C sıcaklıkta fırınlanmaları, fırınlanan malzemenin miktarı nispetinde kısa sürelerde gerçekleşmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Granül fırınlama işlemi

Fırınlama işleminin hızlıca yapılması için konveyörlü bir fırın ile kurutma ve nem alma işlemi yapılması proses sürelerini oldukça kısaltacaktır.

3.1.2. Cam elyaf özellikleri ve cam elyaf katkısının hazırlığı

Birçok alt türleri bulunan cam elyafları göreceli olmak üzere düşük maliyetleri, yüksek mukavemetleri, kimyevi dayanıklılıkları ve kolay temin edilebilmeleri ile karma malzeme üretiminde diğer elyaf çeşitlerinden çok daha geniş bir yelpazede kullanım alanlarına sahiptirler. Antik mısırdaki ısı yardımı ile yumuşatılan camdan, kaba elyaf şeritler elde ederek kapların üretildiğine dair bulgular mevcuttur. Günümüzde kullanılan şekli ile sürekli cam elyafının ilk üretim tarihi ise 1935 yılında Amerika Birleşik Devletlerindedir. Yüksek sıcaklık bulunan ortam koşullarındaki elektrik uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen bu elyafa çeşidine E camı ismi verilmiştir. 1942 yılında hafif ve mukavim olmaları dolayısıyla cam elyaf takviyesi bulunan kompozitler ilk defa hava araçlarının yapısal parçalarında kullanılmaya başlanmıştır. 1960 'lı yılların başında daha yüksek mukavemetli yeni bir cam elyafı türü olan S camı geliştirilmiştir. 2000 yılı verilerine göre ise dünya genelinde cam elyafı pazarı 2,6

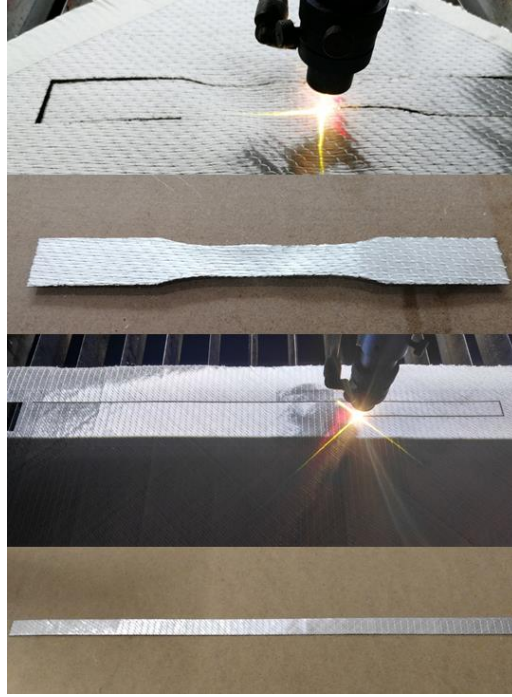
milyon tonluk bir büyüklüğe ulaşmıştır. Kum, soda, kil, kireç taşı, borik asit ve çeşitli metal oksitlerinin belirli oranlarda karıştırılarak 1600°C civarında fırında eritilmesi ve elde edilen sıcak cam karışım hamurunun platin ve rodyum gibi alaşımlardan üretilmiş zıvanalardan geçirildikten sonra çapları 0,75 mm ile 2 mm arasında değişiklik gösteren ağızlardan ortalama 60 m/s hızla çekilerek hava ile temasına izin verilmeden soğutulmasıyla 3 - 35 µm çaplarında cam lifleri elde edilir. Soğutma esnasında cam lifleri kimyevi bir astar malzeme ile kaplanır. Kaplanan astar malzemenin görevi sürtünmelerden kaynaklanabilecek aşınmayı önleyebilmek içindir. Astar ile kaplanan liflerden genellikle 102 veya 104 lifin bir araya getirilmesi ile cam elyafı elde edilir. Kaplama yapılan astar malzemesi aynı zamanda kullanılacak reçinenin elyaf ile bağ oluşturmalarını iyileştiren bir malzemedir. Kullanılacak bağlayıcı reçinenin, astar malzemesi ile uyumlu olması elyaftan üretilecek son ürünün niteliği açısından oldukça önemlidir.

Cam elyafların avantajları

1. Cam elyafı yüksek boyutsal kararlılığa sahip bir malzemedir. Çok yüksek ya da çok düşük sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra genişmez veya büzülmez. Azami kopma uzaması E camı için %4,8 olup kırılma noktasının çok yakınına kadar gerildikten sonra yük kaldırıldığında %100 elastik geri dönüş gerçekleşir.
2. Aramidlerden farklı olarak bünyesine su almaz ve suya maruz kaldığında fiziki ve kimyevi olarak değişime uğramaz.
3. İnorganik bir madde olan cam elyafı yanmaz ve yanmayı desteklemez. 537°C'de mukavemetinin yaklaşık %25'ini koruyabilir.
4. Kimyasalların çoğunun cam elyafı üzerinde ya hiç etkisi yoktur ya da çok az etkisi vardır. Küflenmez, çürümez, bozulmaz. Ancak hidroflorik ve sıcak fosforik asitlerden ve güçlü alkali maddelerden etkilenir.
5. Elektrik yalıtımı için mükemmel bir malzemedir.
6. Düşük ısıl genişleme katsayısı yüksek ısıl iletkenlik özellikleriyle boyutsal kararlılığa sahip olan cam elyafı asbest ve organik elyaflarla karşılaştırılabilir derecede iyi bir şekilde ısıyı dağıtır.

7. Yüksek sıcaklıklarda dayanımını sürdürebilme, korozyon ve yangın direnci, kullanım ve uygulama kolaylığıyla cam elyafı önemli bir ısı yalıtım malzemesidir. Bu sebeple pek çok sektör tarafından yüksek sıcaklıktaki parçaları yalıtım için kullanılırlar [11].

Bu çalışmada cam elyaf takviyesi olarak S cam elyaf kullanılmıştır. Kesici aletler ile yapılan kesim denemelerinde parça geometrisi karmaşıklaştığında ve özellikle eğrilere sahip geometrilerde sorunlar oluşmakta ve elyaf örgü yapısı bozulmaktadır. Bu nedenle öncelikle çeşitli karmaşık şekillerde numuneler kesilerek ölçümler yapılmıştır. Karbondioksit lazer kesim tezgahında lens yükseklikleri değiştirilerek kesim numunelerinde sorunsuz kesim derinliği elde edilmiştir. Kesim derinliği cam elyaf numunelerinin kumaştan bozulmadan ayrılması için büyük önem arz etmektedir. Ayrıca cam elyaf katkı tabakasının ölçüsel hassasiyeti de lens ayarı ile iyileştirilebilmektedir. Denemeler sonucunda 300mm ölçüsünde 0.3 mm lik ölçüsel hassasiyete ulaşılmıştır. Kalıp içerisine katkı tabakalarının yerleştirilmesi noktasında ölçüsel hassasiyet uniform serim yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Diğer bir yandan lazer ışığının temas ettiği noktalarda yüksek sıcaklık elyaf uç noktalarında topak oluşumuna neden olabilmektedir. Topaklanmanın olduğu noktalarda lazer ışığının temas süresi minimum seviyeye düşürülmelidir. Bu topaklanmanın engellenebilmesi için karbondioksit lazer tezgahında ilerleme hızının optimum seviyelere ayarlanması gerekmektedir. İlerleme hızının fazla olması durumunda ise lazer ışığının kesme derinliği azalarak tekrar bir katkı parçasının kumaş üzerinden ayrılamaması problemi ortaya çıkacaktır. İdeal katkı parçalarının elde edilebilmesi için tüm bu belirtilen parametrelerin optimum seviyelerde tutularak parçalar elde edilmelidir. Cam elyaf tabakalarından ölçüsel olarak uygun parçalar karbondioksit kesimi ile elde edilerek her bir katmana reçine döküm işleminden sonra serim yapılmıştır (Şekil 3.3.).

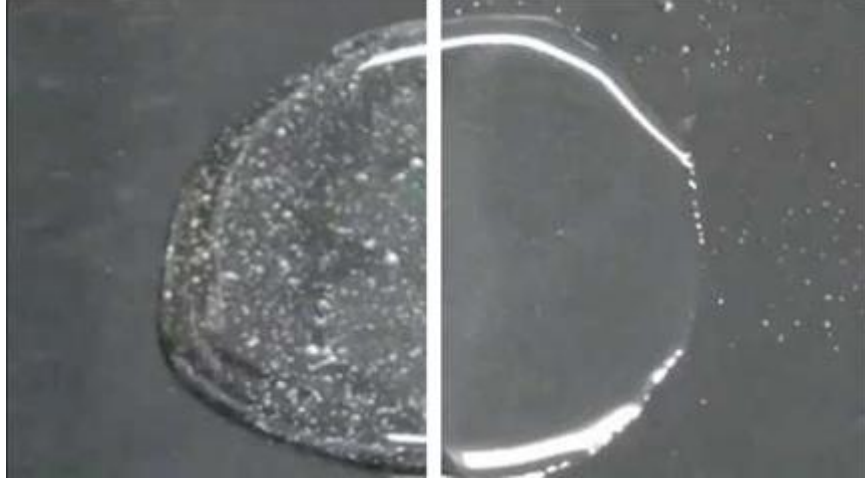


Şekil 3.3. Çekme ve titreşim testleri numunelerinin karbondioksit lazer kesimleri ve numune görüntüleri

Serim işleminden sonra tüm cam elyaf tabakasının yeterli ölçüde matriks malzeme ile ıslanıp ıslanmadığı kontrol edilmiştir. Serimi yapılan cam elyaf tabakalarının her katmanda kalıp alt yüzeyine paralel olmaları doğru sonuçlar elde edilebilmesi için önemlidir. Her bir katman seriminden sonra cam elyaf tabakanın kısım kısım yüksekliği kontrol edilmiştir.

3.1.3. Reçine ve reçinenin döküm ve serim işlemine hazırlığı

Bisephanol A epoksi matriks malzemesi, reçine ve aktivatör olmak üzere iki ayrı komponentten oluşmaktadır. İdeal kürlenme için üreticinin tavsiye ettiği uygun karışım oranı sağlanmalıdır. Karışımın tam olarak sağlanması için iki komponentin karıştırılması esnasında matriks malzeme bütününde hava kabarcıkları oluşmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Hava kabarcıkları bulunan ve hava kabarcıklarından arındırılmış matris reçinesi.

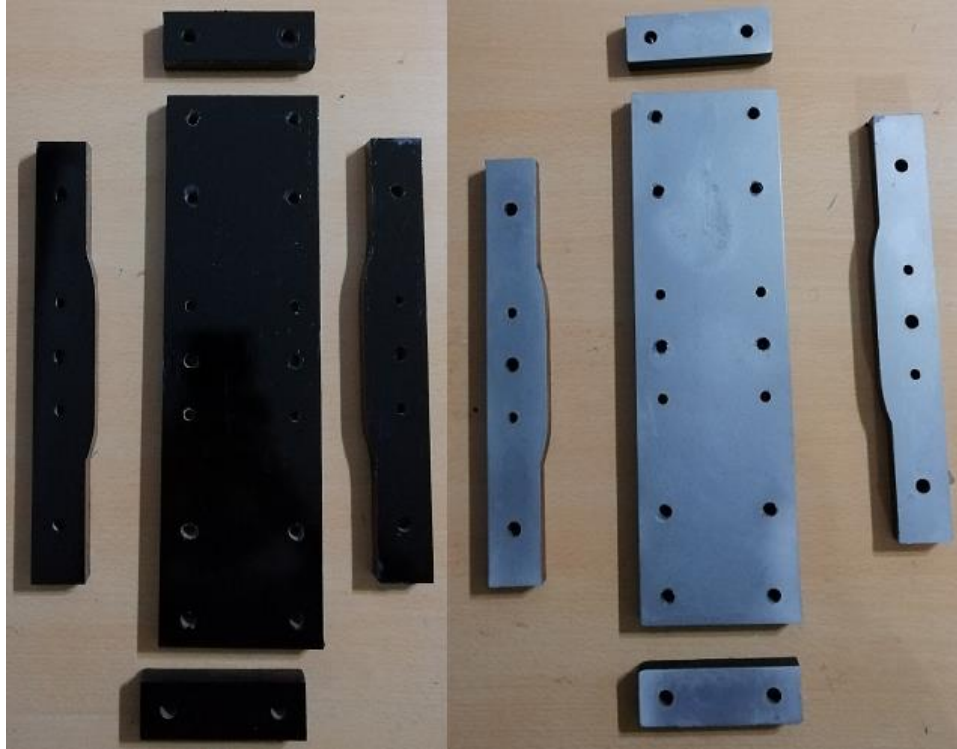
Oluşan hava kabarcıkları matris malzemenin uzaklaştırılmadığı takdirde, kürlenme esnasında açığa çıkan 60° ısı nedeniyle kabarcıklar içerisinde bulunan hava genişerek kabarcıkların büyümesine ve kompozit yapıda hava boşluklarının oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan bu hava boşlukları kompozit yapıda dayanımın düşmesine ve birleşik malzeme üzerinde süreksizliklerin oluşumuna sebebiyet vermektedir. Kürlenme prosesinden önce oluşan hava kabarcıkları vakum yöntemi ile matris malzemenin arındırılarak oluşabilecek tüm zararlı etkiler engellenmelidir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Vakum pompası ve baloncuk arındırma haznesi

3.1.4. Kalıplama metodu

Kalıp tasarımında öncelikli kriterler, hedeflenen ölçüsel toleranslar dahilinde numune üretilebilmesi ve Biesphanol A bazlı epoksi reçinenin kurlenmesi esnasında ekzotermik reaksiyon ile açığa çıkan 60 °C sıcaklığın kalıpta herhangi bir deformasyon oluşturmamasıdır. Numune maliyeti faktörü de göz önüne alınarak mdf malzeme CNC dik işleme tezgahında işlenerek 0,05 mm hassasiyetinde kalıp parçaları üretilmiştir.



Şekil 3.6. Pasivize edilmiş st37 ve alüminyum 6060 çekme numunesi kalıpları

Kalıp malzemesi olarak mdf, alüminyum 6060 ve st37 çelik malzemeleri ile denemeler yapılmıştır (Şekil 3.6.). Çekme testi numuneleri için yapılan kalıplarda mdf, st37 ve alüminyum 6060 birbirlerine eş sonuçlar vermiştir. Numune boyutlarının küçük olması ve makine parçalarının üretimi söz konusu olduğunda boyut olarak daha büyük kalıplara ihtiyaç doğacağı için, her tür ebatta parça için mdf kalıp sisteminin kullanılması mümkün görülmektedir. Denemeler yapılan kalıplama malzemelerinin çeşitli avantaj ve dez avantajları bulunmaktadır.

Mdf malzemenin avantajları.

- 1- Kolay işlenebilir.
- 2- İşleme ücretleri düşüktür.
- 3- Pvc kaplama yöntemleri ile ömrü uzatılabilir.
- 4- Doğa dostudur, doğada bozunabilir.
- 5- Ucuzdur.
- 6- Kalıp ayırıcı malzemeler pvc kaplı yüzeylerde iyi bir film tabakası oluşturur.

Mdf malzemenin dezavantajları.

- 1- Su ve nemden etkilenebilir.
- 2- Organik bir malzemedir, çevre koşullarından etkilenebilir.
- 3- Kısa ömürlüdür.
- 4- Büyük hacimli geometrilere esneyebilir ve yeterli hassasiyet sağlanamaz.
- 5- Kalıp parçaları arasındaki bağlantılar için metal bağlantı elemanları kullanılmalıdır.

Alüminyum malzemenin avantajları

- 1- Kolay işlenebilir
- 2- Kaplama gerektirmez.
- 3- Çevresel koşullardan çabuk etkilenmez
- 4- Geri dönüşümlü bir malzemedir.
- 5- Büyük hacimli parça üretiminde yeterli geometrik stabiliteyi sağlayabilir

Alüminyum malzemenin dezavantajları

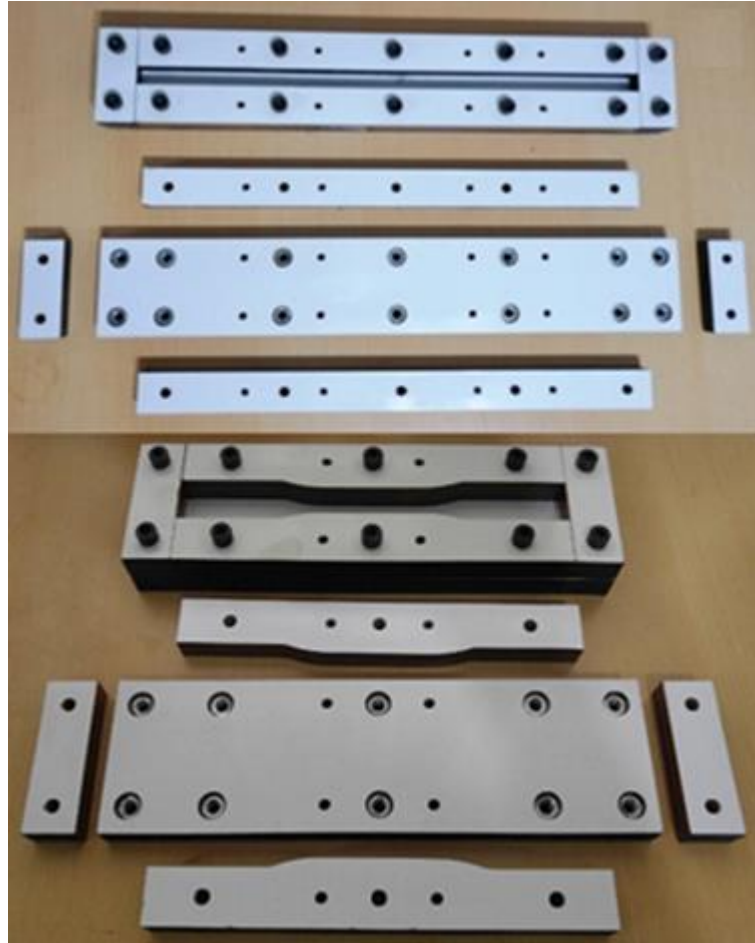
- 1- Pahalıdır.
- 2- Kalıp parçalarında alüminyum-alüminyum temasında uzun sürede aşınma görülebilir.
- 3- Büyük ebatlı geometrilerin üretiminde destek parçalarının kaynaklanması gerekebilir, alüminyum kaynağı zorlu ve maliyetlidir.
- 4- İşlenmesi maliyetlidir.

St37 çelik malzemenin avantajları

- 1- Büyük hacimli dökümlerde güçlü bir dayanım sağlar.
- 2- Uzun ömürlüdür.
- 3- Tekrar döküm işlemine hızlıca hazırlanabilir.
- 4- Ucuzdur.
- 5- Dayanım ve stabilite gereken dökümler için kolayca kaynaklı destekler eklenebilir.
- 6- Geri dönüşümlü bir malzemedir.

St37 çelik malzemenin dezavantajları

- 1- Korozyona uğrayabilir
- 2- Pasivize edilerek korozyondan korunmalıdır.
- 3- İşlenmesi maliyetlidir.



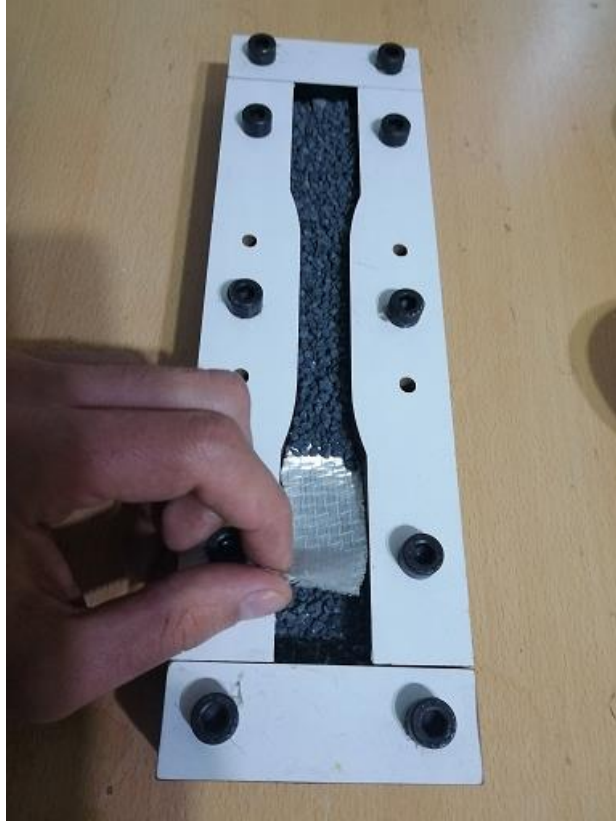
Şekil 3.7. Mdf malzemenen üretilen titreşim testi ve çekme testi numune kalıpları

Test numunelerinin üretiminde, düşük maliyetli olması ve kolay işlenebilirlik özellikleri nedeniyle mdf kalıplar üretilerek kullanılmıştır (Şekil 3.7.). Kalıpların yüzeylerinde kalıp ayırıcı olarak poli vinil alkol malzeme kullanılmıştır. Poli vinil alkolün en büyük avantajı suda çözünebilmesi ve kalıp yüzeylerinden, kalıplama işlemi bitirildiğinde, yıkama ve ıslak bez ile silme gibi yöntemler ile kolaylıkla ayrılabilmesidir. Mdf kalıpların pvc olmayan yüzeylerinde jelkot ile kaplama yapılarak kalıp mazlemesine silme işleminde suyun temas ederek malzemeyi bozması engellenmiştir. Ayrıca jelkot ile düzgün bir yüzey elde edilerek numunelerin düzgün yüzeylere sahip olması sağlanmıştır.



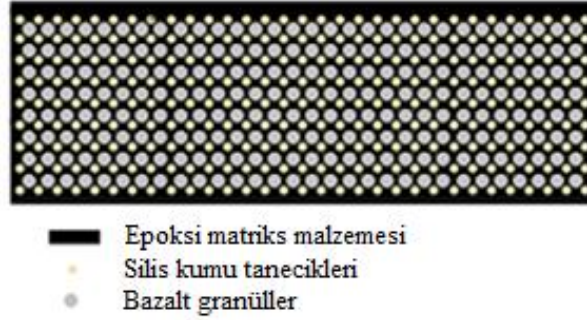
Şekil 3.8. Tez çalışması kapsamında geliştirilen titreşimli kalıplama makinesi.

Kalıplama esnasında granüllerin yapı içerisinde yerleşimi ve epoksi maktriiks malzemesinin tüm boşluklara nüfuz edebilmesi için yerçekiminin etkisi tek başına yeterli gelmemektedir. Bazalt granüllerin titreşim etkisi ile döküm esnasında küçük hareketler yapması sağlanarak epoksi reçinenin granüller arasındaki boşlukları doldurması sağlanmaktadır. Titreşimli kalıplama makinesi 50 kg ağırlığına kadar bir kütleyi üretmek üzere tasarlanmıştır (Şekil 3.8.). Kalıplara uygulanacak titreşim frekansı 0 – 400 hertz aralığında değiştirilebilmektedir. Deneysel metod ile bazalt ve silis kumu taneciklerinin matriiks malzeme içerisindeki hareketleri, çeşitli frekans değerlerinde gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel gözlem ile taneciklerin kalıp içerisinde hacimlerine uygun olan noktalara yerleşebilmeleri için en uygun bulunan frekans değeri seçilmiştir. Kalıplama metodu olarak 3 tarafı kapalı kalıplama sistemi geliştirilmiştir (Şekil 3.9.). Bir tarafı açık olan kalıplarda elyaf serimi ve katman kalınlığı kontrolü döküm işlemi sırasında sürekli olarak yapılabilmektedir.

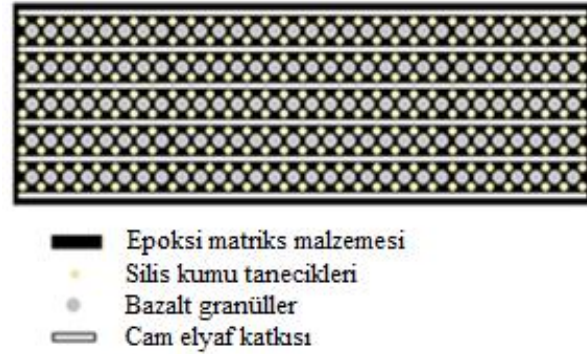


Şekil 3.9. Matriiks malzeme olmadan granül ve cam elyaf tabakasının kalıp içerisine yerleşim görüntüsü

İzotropik yapıda parçaların elde edilebilmesi için de üç tarafı kapalı kalıplama avantajlıdır. Yatay cam elyaf kumaş eksenine dik olarak izotropik yapıyı oluşturacak cam elyaf liflerinin yerleştirilebilmesi bu şekilde mümkün olacaktır. Son işlem olarak parçanın istenilen ölçülerde olabilmesi için sadece açık olan kalıp tarafında son işleme işlemi olarak frezeleme veya tornalama yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

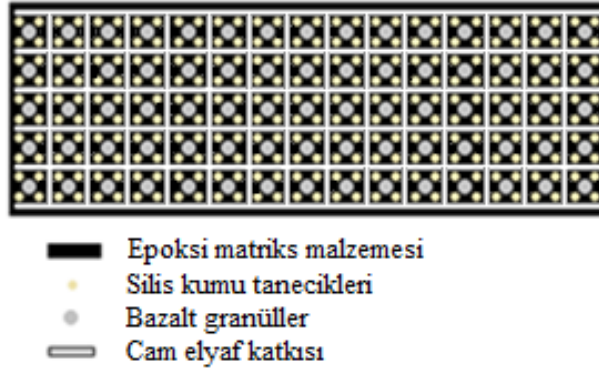


Şekil 3.10. Cam elyaf katkısı bulunmayan ideal kompozit yapısı



Şekil 3.11. Cam elyaf katkılı ideal kompozit yapısı

Çekme testi ve titreşim sönümlenme testi numunelerinin hazırlığında cam elyaf katkılı ve cam elyaf katkısız olmak üzere iki ideal yapı ve granül, silis kumu, cam elyaf dizilimleri görülmektedir (Şekil 3.10.). Çekme testi ve titreşim testi numunelerinde kullanılan yapılar anizotropik yapılardır (Şekil 3.11.). Kullanılan test standartlarında belirtilen numune ölçüleri, cam elyaf katkısının çekme eksenine dik olarak yerleştirilmesi için gerekli mesafeleri sağlamamaktadır. Bu nedenle numuneler anizotropik olarak hazırlanmıştır. İdeal izotropik kompozit yapısında döküm eksenine dik olarak cam elyaf lifleri bulunmalıdır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. İdeal izotropik kompozit yapısı

Dik cam elyaf liflerinin kalıp içerisinde sabitlenebilmesi için kalıp alt yüzeyinde delikler bulunması ve her katmanın serimi esnasında döküm eksenine dik olan bu cam elyaf liflerinin hareket ettirilerek aralarının granül ve matriks malzeme ile doldurulabilmesi gerekmektedir. Mdf kalıplarda kalıbın alt kısmında açılacak delikler ve buradan cam elyaf liflerinin geçişi sonrasında epoksi matriks malzeme ile dolacak deliklerin daha sonra tekrar açılması sırasında mdf malzeme zarar göreceği için mümkün görülmemektedir. Ön görülen alüminyum 6060 ve st 37 kalıplarda ise delik açıldıktan sonra dış açılarak sökülüp takılabilir bir cam elyaf tutucu parçası yapılması mümkündür. Bu şekilde kalıplama işleminden sonra kürlenme süreci bittiğinde elyaf tutucu parçalar sökülerek parçanın kalıptan sökülmesi kolayca sağlanabilecektir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çekme Testleri

Çekme testi için 250 KN kapasiteli DARTEC çekme cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Çekme cihazı ve çekme testi numunesi

Cihazda çekme testi için ASTM D638 standardı ve çekme testi numunelerinin boyutsal tanımlamaları yapılarak standartta belirtildiği üzere 1.5 mm/dk hızında çekme testleri uygulanmıştır. Çekme testlerinde, hazırlanan eş özelliklerde 5 adetlik numune grupları olmak üzere toplamda 50 adet çekme numunesine çekme testi uygulanmıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Çekme testi numuneleri

Çekme testi numuneleri test esnasında ve sonrasında içerdikleri malzeme oranlarının bilinmesi ve test ile elde edilen verilerin yorumlanabilmesi için içeriklerine uygun olarak numaralandırılmışlardır (Tablo 4.1.).

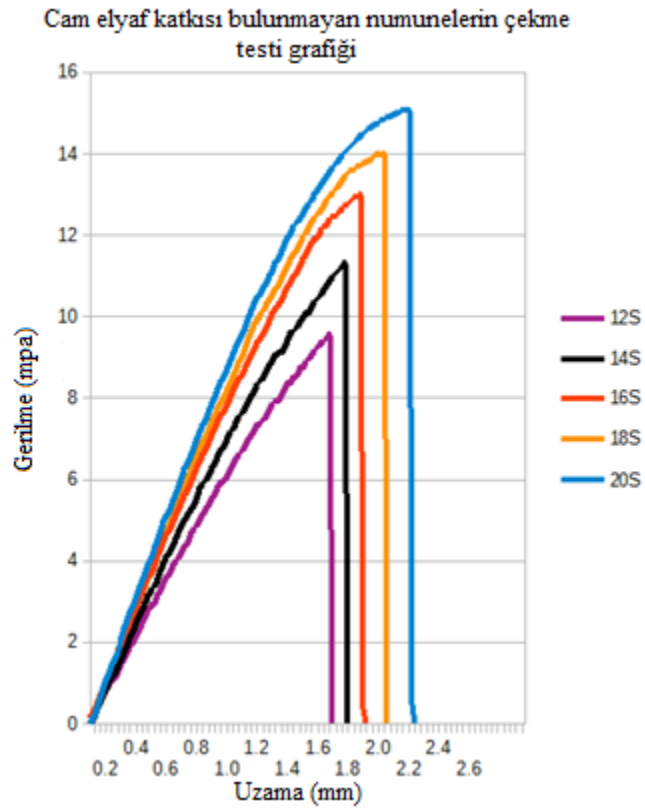
Tablo 4.1. Çekme testi numuneleri hacimsel malzeme içeriği oranları

Numune kodu	Epoksi reçine oranı	Bazalt ve kuvarz granül oranı	Cam Elyaf oranı
12S	%12	%88	X
14S	%14	%86	X
16S	%16	%84	X
18S	%18	%82	X
20S	%20	%80	X
12F	%12	%78	%10
14F	%14	%76	%10
16F	%16	%74	%10
18F	%18	%72	%10
20F	%20	%70	%10

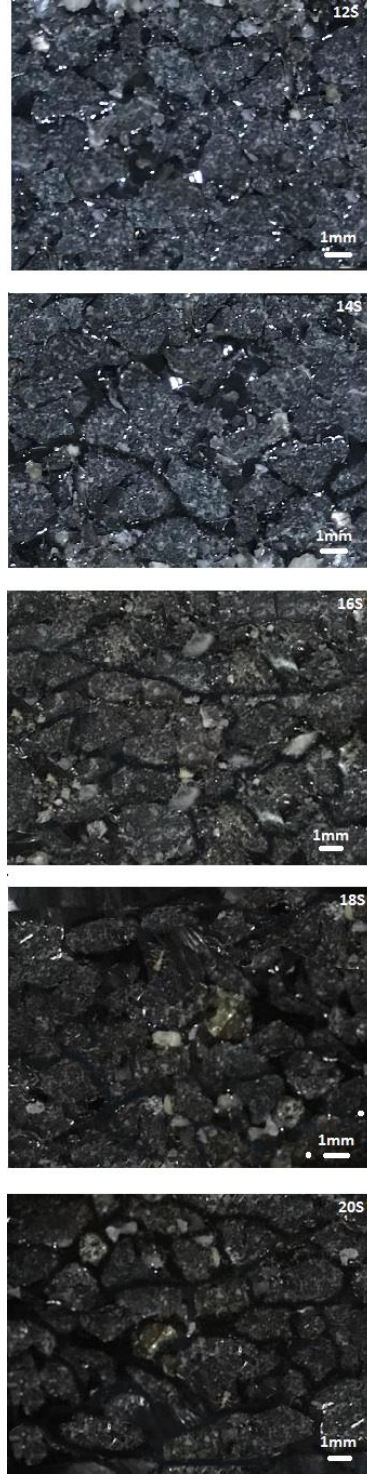
Numunelerde bulunan S ve F harfleri çekme testi numunelerinin cam elyaf takviyesi içeriğini ifade etmektedirler. S harfi bulunan çekme testi numunelerinde cam elyaf takviyesi bulunmamaktadır. Üzerlerinde F harfi bulunan numuneler ise cam elyaf takviyesi içermektedirler. S ve F harflerinden önce bulunan iki basamaklı sayılar çekme numunelerinin içerdiği hacimce epoksi matriks malzemesinin yüzdesel olarak toplam numune hacminde bulunduğu miktarı belirtmektedirler.

4.1.1. Çekme testlerinden elde edilen veriler

Çekme testleri sonucunda elde edilen verilerden Libreoffice açık kaynak kodlu programında cam elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyesiz çekme testi numunelerine ait değerlerin ayrıntılı olarak gözlemlenebildiği grafikler oluşturulmuştur. Cam elyaf katkısı bulunmayan numunelerde epoksi matriks malzemesinin artışı malzeme sünekliğinin ve çekme dayanımının artmasını sağlamıştır (Şekil 4.3.).



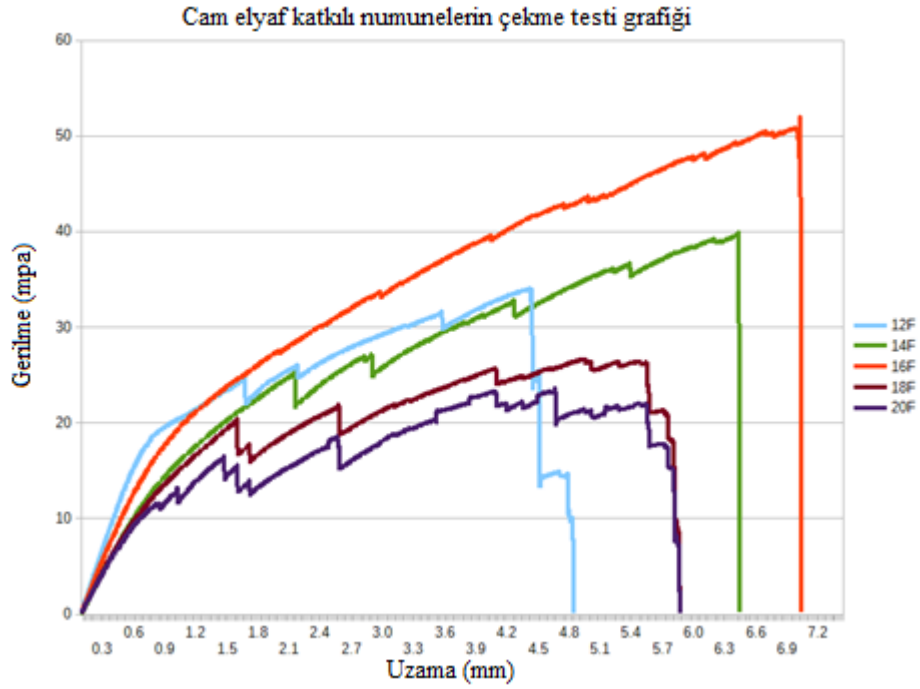
Şekil 4.3. Cam elyaf katkısı bulunmayan çekme testi numunelerine ait çekme testi grafiği



Şekil 4.4. Cam elyaf katkısı bulunmayan numunelerin kesit görünüşleri

Matriks içerisine eklenen granüller rijit yapıları nedeni ile kompozit yapının da rijitliğini ve aynı zamanda kırılgenliğini arttırmaktadırlar. Matriks malzemesi oranının artışı ile birlikte granüller arasında bulunan matriks malzemesi miktarı artarak

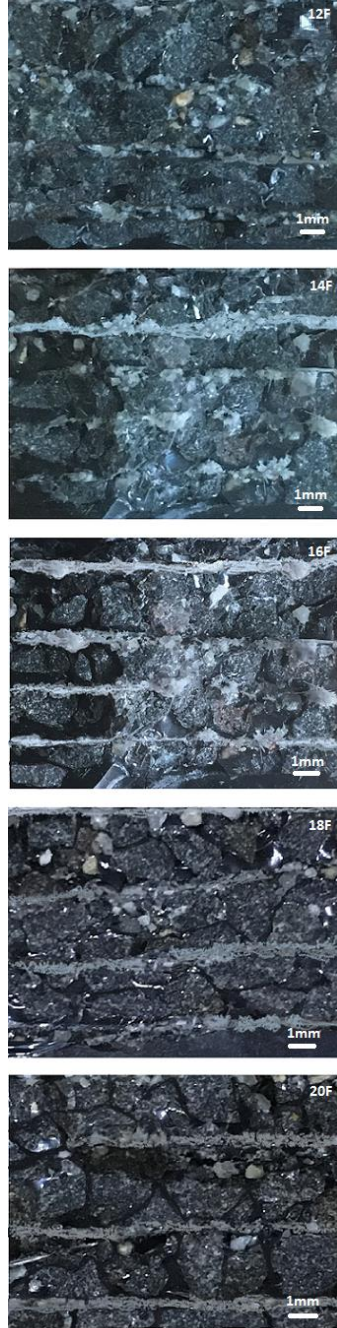
kompozit yapısını sünek hale getirmektedirler (Şekil 4.4.). Granüller arasında bulunan mesafenin artışı ile birlikte çatlak oluşumu ve çatlak ilerleme hızı yavaşlamaktadır. Granüller ile matriks malzemenin yalnız adezyon bağı oluşturmaları ve ayrıca %20 lik matriks malzeme oranından yüksek değerlerde, kalıp içerisinde bulunan matriks malzemenin, kompozit yapıdan ayrılarak üst yüzeyde birikimi sebebi ile sürekli matriks malzeme oranı artışının mukavemet açısından pozitif bir etkisi bulunmamaktadır. %20 olarak belirtilen üst sınır elyaf takviyesi bulunmayan numuneler için maksimum mukavemet değerinin elde edilebildiği matriks malzemenin toplam numune hacminde kapladığı hacmin yüzde olarak belirtilmesidir. Cam elyaf takviyesi bulunan numunelerde elyaf katkısının etkileri ile birlikte malzeme davranışları, cam elyaf takviyesi bulunmayan numuneler ile karşılaştırıldığında büyük değişimler göstermiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Cam elyaf katkılı çekme testi numunelerine ait çekme testi grafiği

Cam elyaf takviyesi ile birlikte matriks malzeme oranı eşit olan takviyeli numuneler ve elyaf takviyesi bulunmayan numuneler karşılaştırıldığında 4 kat mukavemet artışları elde edilebilmiştir. Elyaf numunelerin grafiğinde oluşan kesikli yapı, liflerde gerçekleşen kopmalar neticesinde meydana gelmektedirler. Elyaf katkısı katmanlar

halinde olduğu için iki elyaf tabakası arasında bulunan granüller arasına yerleşen matriks malzemesi miktarı mukavemet artışı için daha fazla önem arz etmektedir (Şekil 4.6.).

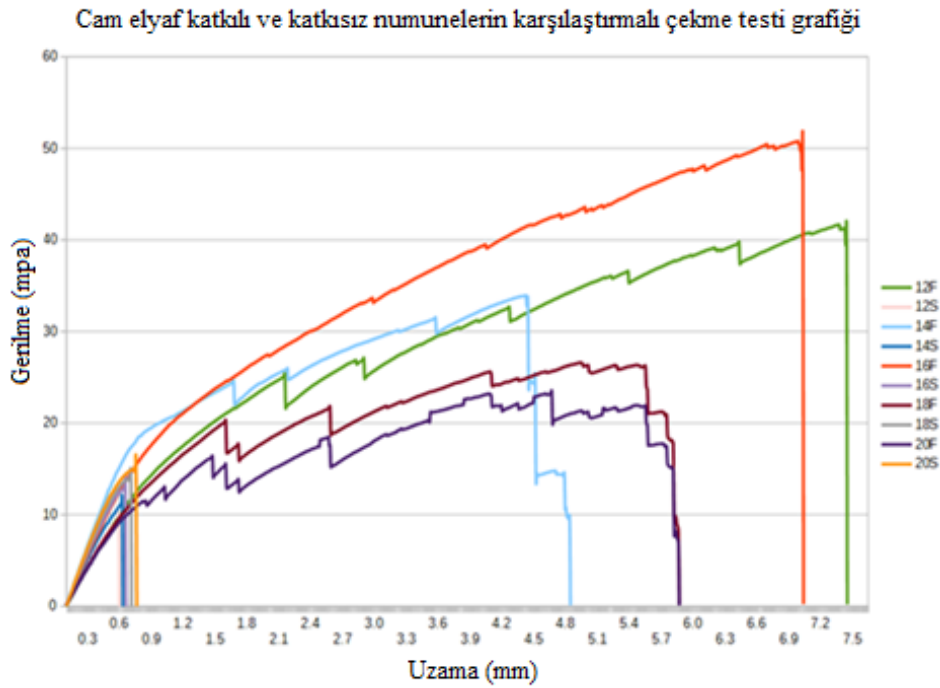


Şekil 4.6. Cam elyaf katkılı numunelerin kesit görüntüşleri

Mukavemetin 16F numunelerinde maksimum seviyeye ulaşması etkin adezyon bağı oluşturan yüzeylerin dağılımının 16F numunelerinde ideal yapıya en uygun hali alması ile gerçekleşmektedir. 12F ve 14F numunelerinde matriks malzeme dağılımı yeterli adezyon bağı oluşturacak miktardan düşük seviyede kalmaktadır. Çekme testi esnasında malzemeler gevrek ayrılma sesleri oluşturarak deforme olmaktadır. 18F ve 20F numunelerinde ise granüller arasında bulunan matriks malzeme miktar artmış durumdadır. Çekme testi esnasında oluşan sesler azalmakta ve daha çok polimer esaslı malzemelerin çekme testlerinde görülen kopma anında oluşan yumuşak sesler ile benzerlik göstermektedir. Bu durumda numunelerin sünek davranışlarının artması beklenirken granüller ayrışarak sünek davranışın ilerlemesini engellemektedirler. Bazalt granüllerin yapısı nedeniyle numunelerin kesit kesimlerinde, bazalt granüller yapıdan ayrıştığı için başarılı görsel kesit fotoğrafi sonuçları elde edilememiştir.

4.1.2. Çekme testleri sonuç ve değerlendirmeleri

Çalışma kapsamında cam elyaf takviyeli çekme testi numuneleri ve cam elyaf bulunmayan çekme testi numunelerine 1.5 mm/dk hızında çekme testi uygulanmıştır. Elyaf takviyeli numunelerde elyaf bulunmayan numunelere oranla 4 kata kadar mukavemet artışı gözlenmiştir (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Cam elyaf takviyeli ve cam elyaf takviyesi bulunmayan çekme testi numunelerine ait karşılaştırmalı çekme testi grafiği

Elyaf takviyeli numuneler sünek davranış gösterirlerken elyaf takviyesi bulunmayan numunelerde yüksek rijitlik oluşmuş ve kopma uzamasının gerçekleşmediği, numunelerin neredeyse uzamadan koptukları gözlenmiştir. Çekme testi esnasında gerilmeler neticesinde öncelikle cam elyaf liflerinde kopmalar meydana gelmiştir ve matris malzeme ile cam elyaf liflerinin uzamaları ve matris malzemenin cam elyaf liflerine bütünüyle nüfuz etmesi neticesinde kompozit malzemenin birim uzama miktarı artmıştır. Geliştirilen kompozit yapı herhangi bir kesme işlemine verimli olarak tabi tutulamayacaktır. Ancak kalıplama işleminden sonra matris malzeme için işleme payı verilerek yüzeyden talaş kaldırma işlemleri yapılabilecektir. Granüller tarafından oluşturulan rijit yapı elyaf takviyesi ile desteklenerek cam elyaf takviyesinin tezgah gövdelerinde daha ince kiriş ve kolon yapılarının üretilmesine olanak tanıyacağı, dolayısıyla daha hafif ve mukavemeti yüksek tezgah gövdesi parçalarının elde edilebileceği mümkün görülmektedir.

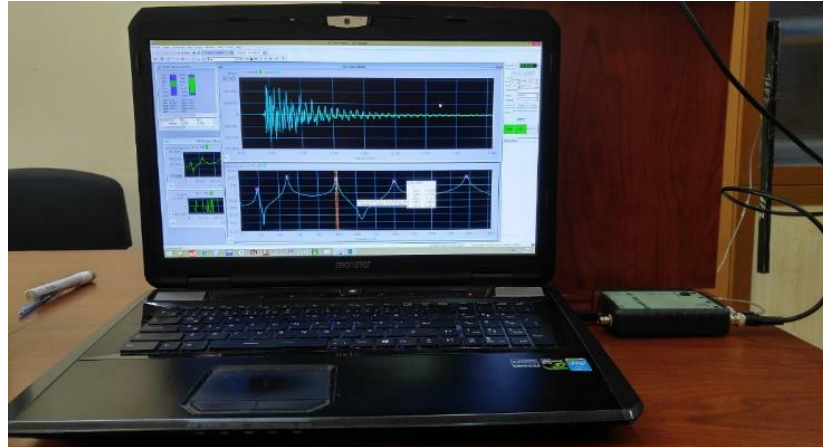
4.2. Titreşim sönümlenme testleri

Titreşim sönümlenme testleri 50 adet numuneye her numuneden 5 örnek olacak şekilde uygulanmıştır. 25 adet numune cam elyaf takviyesiz ve 25 adet numune cam elyaf takviyeli olmak üzere karşılaştırılmışlardır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Titreşim sönümlenme testi numune örnekleri

Titreşim sönümlenme test numuneleri çekme testi numuneleri ile aynı hacimsel malzeme içeriği oranlarında hazırlanmış olup titreşim sönümlenme test numunelerinde de aynı numune kodları kullanılmıştır (Tablo 4.1.).



Şekil 4.9. Bruel&Kjaer data toplama cihazı ve elde edilen verinin RT Photon PRO programı bilgisayar görüntüsü

Titreşim testleri ile elde edilen dataların yorumlanması için RT Photon PRO programı ve dataların toplanması için Brüel&Kjaer Photon+ Dynamic Signal Analyzer cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.9.). Darbe çekicinin sistemdeki görevi data toplama işleminin başlaması için bir anahtar görevi görerek sensör taramasını başlatması ve uygulanan darbe kuvvetini hassas bir şekilde ölçmektir (Şekil 4.10.).



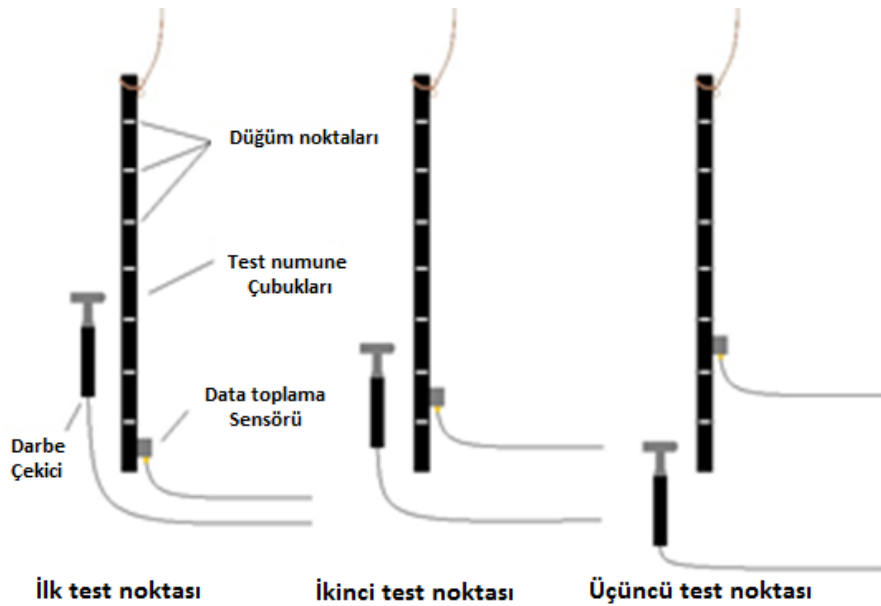
Şekil 4.10. Brüel&Kjaer Type 8206-002 model darbe çekici

Deney düzeneğinde, test numuneleri tek noktadan pamuk ipliği ile asılarak serbest halde hareket etmeleri ve çekiç ile darbe verildiğinde salınımın numune tarafından sönümlenmesi ve salınım esnasında ivme sensörünün ve sensör kablosunun sonuçları etkilemeyecek şekilde serbest halde konumlandırılması sağlanmıştır (Şekil 4.11.). İvme sensörü numuneler üzerine balmumu ile sabitlenmiştir.



Şekil 4.11. Deney düzeneği görüntüsü

Test numuneleri 3 farklı şekilde test edilmişlerdir. Her bir test numunesi için ilk olarak ivme sensörü numunenin en uç noktasında, düğüm noktasının yer almadığı bir konuma yerleştirilmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Test metodları ile uygulanan farklı sensör ve darbe noktası konumları

Daha sonra her bir numunede numunenin orta noktasına yakın fakat düğüm noktasının bulunmadığı ve aynı zamanda sensörün yer almadığı bir başka konumdan darbe çekici ile kuvvet uygulanarak veriler toplanmıştır. İkincil test uygulamasında ivme sensörü test numunesinin toplam uzunluğunun dörtte biri olan noktaya sabitlenmiştir ve yine aynı şekilde sensörün numunenin herhangi bir düğüm noktasında yer almamasına özen gösterilerek darbe çekici ile numunenin sensör bulunmayan noktasından kuvvet uygulanarak veriler toplanmıştır. Son test uygulamasında ivme sensörü test numunesinin orta noktasına yakın bir bölgede düğüm noktası ile aynı nokta üzerinde olmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Darbe çekici ile sensörün bulunmadığı tarafta düğüm noktasında yer almayan en uç noktadan darbe uygulanarak test verileri data toplama cihazı ile elde edilmiştir. Çeşitli varyasyonlarda yaptığımız bu test yönteminin kullanılmasındaki amaç, farklı modlarda ki doğal frekans değerlerinin elde edilebilmesinin sağlanmasıdır. Numune çubuklarının farklı titreşim modlarında mod şekillerinin değişmesi nedeni ile cihazın tek bir mod şeklinde algılayamadığı doğal frekanslar olabilecektir, fakat farklı noktalardan data toplanması ve farklı noktalardan darbelerin uygulanması neticesinde geniş bir frekans skalasında veriler elde edilerek farklı mod şekillerinde oluşan doğal frekans değerleri data toplama cihazı ile elde edilmiştir. Bu yöntem testlerin güvenilirliği için önem arz etmektedir. İvme sensörü elde edeceğimiz frekans değerlerine ve yeterli hassasiyet ve çözünürlük değerleri göz önüne alınarak seçilmiştir (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. Piezoelektrik ivme sensörünün özellikleri

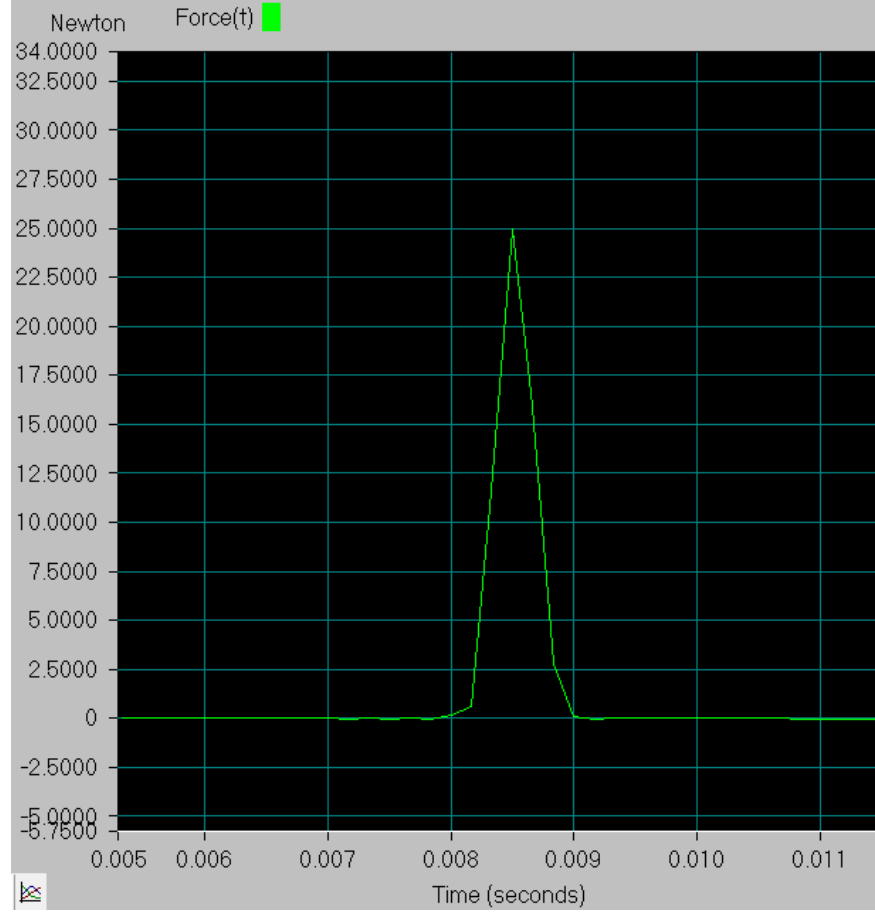
Frekans aralığı	0.3 – 6000 Hz
Sıcaklık	-54 – 121 C
Ağırlık	4.8 gram
Hassasiyet	10 mV/ms ⁻²
Elektrik bağlantısı	10-32 UNF
Bağlantı tipi	Dış civata dışı
Dahili aksesuar	Opsiyonel AO 1419
Tutucu/iç civata dışı/dış civata dışı	Tutucu
Çıkış	CCLD
Üç eksenli	Hayır
Uygulamalar	Modal, Titreşim Testi
Çıkış birimi	mV
Rezonans frekansı	18 kHz
Maksimum şok seviyesi (\pm pik)	5000 g

Testlerde Bruel&Kjaer 4507 model piezo elektrik ivme sensörü kullanılmıştır (Şekil 4.13.).



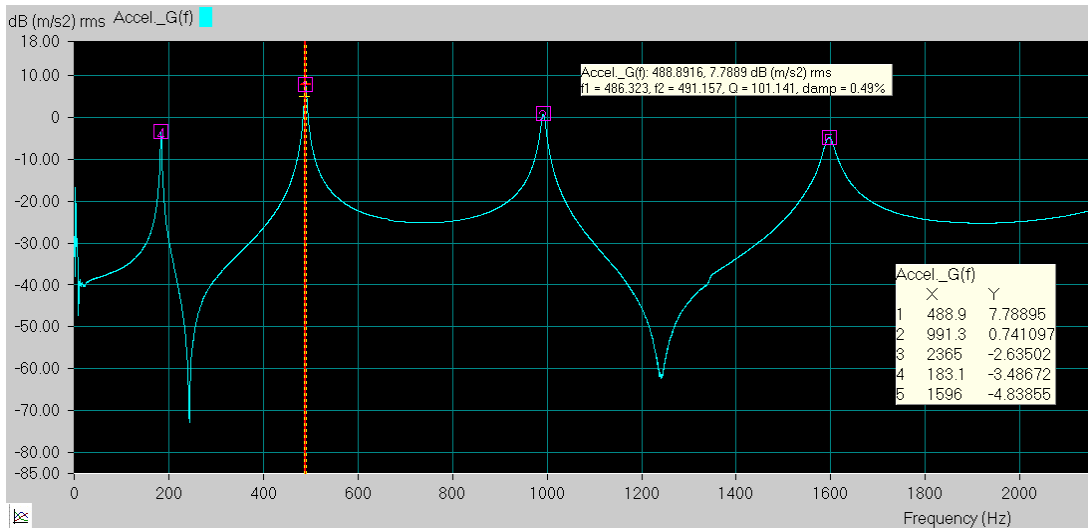
Şekil 4.13. İvme sensörü

Testin uygulanması esnasında testi zorlaştıran en büyük etken darbe çekici ile numuneye uygulanan darbenin tek bir darbe olması ve darbe esnasında uygulanan kuvvetin her bir numuneye eşit miktarda uygulanmasıdır. Testlerde her bir numuneye $25 \pm 1N$ eşit büyüklükte kuvvet ile darbe uygulanmıştır. Kuvvetlerin bu değerden büyük veya küçük olması durumunda testler tekrarlanmıştır. Ayrıca darbe büyüklüğünün grafişte tek bir düzgün pik olması ve oluşan $25 \pm 1N$ luk pik etrafında numuneye uygulanan darbeden sonra numunenin tekrar çekice teması neticesinde oluşabilecek düşük kuvvetteki pik noktalarının olmamasına özen gösterilmiştir (Şekil 4.14.).



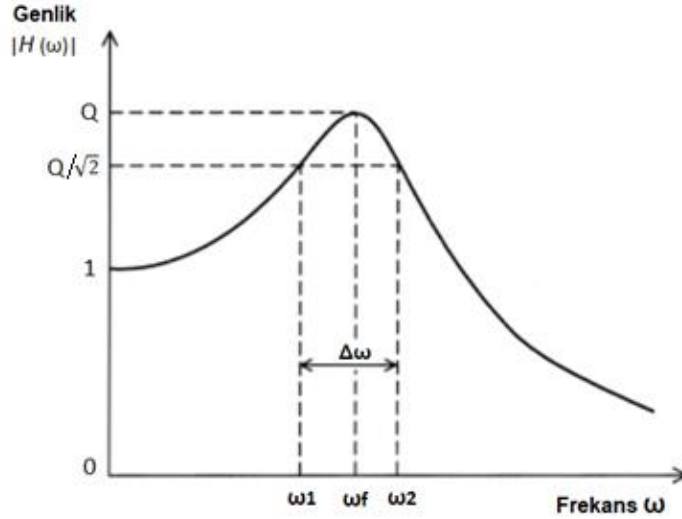
Şekil 4.14. Darbe çekici kuvvet grafiği

Darbe çekici ile darbe verildikten sonra ivme sensörü tarafından frekans-ivme grafiği elde edilir (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. İvme-frekans grafiği

Program imleç yakalama bölümünden pik noktaların yakalanması seçeneği seçilerek pik noktalar kare magenta belirteçler ile program tarafından otomatik olarak belirlenir (Şekil 4.15.). Titreşim sönümlenme oranları ve Q faktör değerleri hesaplamalarında yarım güç bant genişliği metodu kullanılmıştır (Şekil 4.16.). Bu metod frekans cevap fonksiyonunun genlik eğrisini temel almaktadır.

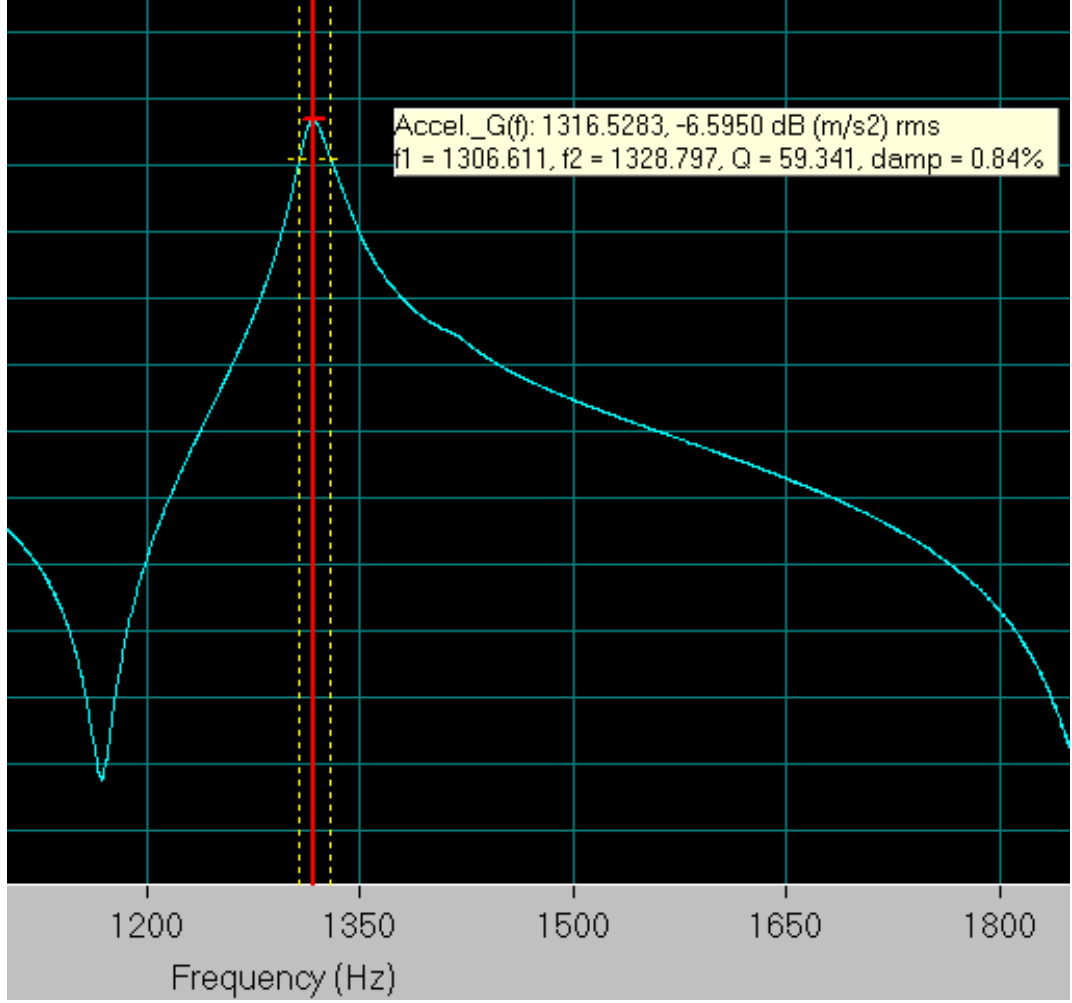


Şekil 4.16. Yarım güç bant genişliği metodu grafiği [12]

Frekans genişliği ($\Delta\omega$), frekans cevap eğrisi üzerinde genliğin pik değerinin $\frac{1}{\sqrt{2}}$ katı olduğu noktadaki genişliktir. (ω_f) pik noktanın frekans değeridir. ω_1 ve ω_2 değerleri grafik üzerindeki genliğin $\frac{1}{\sqrt{2}}$ katına denk gelen negatif ve pozitif yöndeki frekans değerleridir. (ζ) sönüm oranını ifade etmektedir.

$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{\Delta\omega}{\omega_f} \quad (4.1)$$

Buna bağlı olarak sönüm oranı frekans genişliğinden genlik frekans grafiği ile yukarıdaki eşitlik (Denklem 4.1) kullanılarak elde edilebilir. Titreşim sönümlenme oranı ve Q faktör değerleri Photon+ programına hesaplatılmıştır ve grafikler üzerinden elde edilmiştir (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. Yarım güç bant genişliği metodunun grafik üzerinde gösterimi ve Photon+ programı tarafından bu metod ile elde edilen değerler

4.2.1. Titreşim sönümlenme testleri sonuç ve değerlendirmeleri

Elde edilen frekans cevap fonksiyonu grafikleri ve grafikler üzerinden elde edilen veriler analiz edilmiştir. Üç farklı konum senaryosu ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar tablolar üzerinde karşılaştırılmıştır. Tablolar da her beşli numune setinden birine ait verilere yer verilmiştir. Öngörüldüğü üzere gerçekleştirilen test senaryolarında aynı anda tüm mod frekansları elde edilememiştir ve öngörülen bu durum test sonuçlarında da tespit edilmiştir. Yapılan ilk test senaryosunda cam elyaf içeren numunelere ait mod 5 frekanslarına ait veriler elde edilememiştir (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. İlk test sonuçları

Numune kodu	ζ	Q Faktör	MOD 1	ζ	Q Faktör	MOD 2	ζ	Q Faktör	MOD 3	ζ	Q Faktör	MOD 4	ζ	Q Faktör	MOD 5
12S	0,63%	78,7	184	0,56%	88	501	0,60%	82,7	1005	0,89%	51,63	1653	0,82%	60,6	2264
14S	0,64%	77,9	182	0,57%	87,2	499	0,61%	82,6	973	0,89%	56,4	1583	0,88%	56,8	2216
16S	0,65%	76,4	179	0,58%	86,2	491	0,62%	80,5	924	0,92%	56	1575	0,93%	54,2	2176
18S	0,69%	72	175	0,60%	84	456	0,65%	76,3	888	0,93%	54,3	1467	0,97%	51,4	2081
20S	0,70%	71,3	151	0,68%	73,1	410	0,69%	72,3	844	0,97%	53,8	1360	0,98%	51	2000
12F	0,49%	106	224	0,49%	101,1	609	0,52%	96,82	1210	0,74%	67,2	1948	X	X	X
14F	0,52%	95,3	216	0,51%	98,2	591	0,52%	95,8	1184	0,74%	67,1	1920	X	X	X
16F	0,57%	87,2	194	0,53%	93,5	531	0,56%	89,2	1055	0,82%	61	1673	X	X	X
18F	0,63%	79,5	191	0,58%	86	522	0,56%	89	1041	0,91%	54,8	1668	X	X	X
20F	0,65%	77,2	183	0,59%	84,7	488	0,64%	78,5	991	1,03%	48,56	1595	X	X	X

Cam elyaf katkısı bulunmayan numunelerde epoksi matris malzemesi oranının artışı ile birlikte sönüm oranı artış göstermektedir. Polimer malzemelerin titreşim sönümlenme kabiliyetlerinin yüksek olması sebebiyle kompozit yapıda yararlanmak istediğimiz bu özelliğin numunelerde pozitif etkisi görülmektedir. 12S numunelerinden 20S numunelerine gidildikçe matris malzemenin numune içerisindeki hacim oranının artışı ile birlikte numunenin titreşim sönümlenme kabiliyeti de artmaktadır. İkinci test senaryosunda cam elyaf takviyeli numunelerde mod 4'te bulunan frekans değerleri ve dolayısıyla diğer veriler elde edilememiştir (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. İkinci test sonuçları

Numune kodu	ζ	Q Faktör	MOD 1	ζ	Q Faktör	MOD 2	ζ	Q Faktör	MOD 3	ζ	Q Faktör	MOD 4	ζ	Q Faktör	MOD 5
12S	0,62%	81,1	199	0,62%	80,6	507,5	0,65%	77,2	824	0,80%	62,81	1376	1,02%	49,1	2262
14S	0,63%	78,98	180	0,63%	79,6	501	0,69%	72,2	982	0,84%	59,72	1676	1,04%	47,9	2161
16S	0,64%	78,6	174	0,68%	74	452,2	0,70%	71,25	976,3	0,87%	57,15	1610	1,07%	46,6	2117
18S	0,67%	74,5	172	0,67%	73,1	444	0,77%	62,9	886,2	0,91%	54,8	1472	1,08%	44,84	2084
20S	0,71%	70	168	0,68%	72	413	0,79%	65,2	865	0,96%	52,3	1462	1,11%	43,2	2014
12F	0,46%	89,96	246	0,51%	82,75	671	0,58%	68,57	1300	X	X	X	0,92%	43,22	2159
14F	0,47%	102	231	0,55%	84,1	605	0,64%	74,5	1185	X	X	X	0,95%	41,86	1956
16F	0,48%	103	225	0,58%	84,53	593	0,65%	74,9	1173	X	X	X	0,98%	40,5	1940
18F	0,49%	104,5	223	0,59%	90,7	590	0,67%	78,4	1160	X	X	X	0,99%	40,2	1903
20F	0,56%	106,2	214	0,60%	98,56	576	0,73%	86	1139	X	X	X	1,03%	38,6	1881

Elde edilen verilerde görüldüğü üzere, epoksi matris malzemesi oranının cam elyaf katkılı numunelerde de artışı ile birlikte titreşim sönümlenme özelliğinde de elyafsız

numunelerde olduğu gibi iyileşmeler görülmektedir. Üçüncü test senaryosunda mod 2 ve mod 3 frekans değerleri testler sonucunda elde edilememiştir (Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. Üçüncü test sonuçları

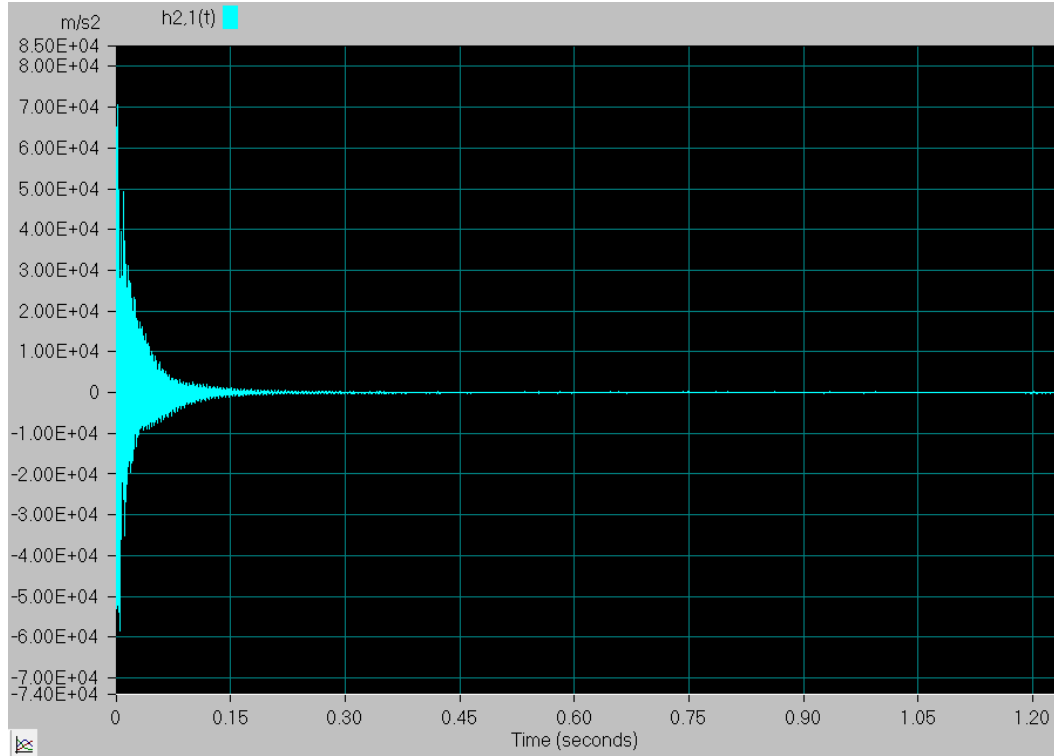
Numune kodu	ζ	Q Faktör	MOD 1	ζ	Q Faktör	MOD 4	ζ	Q Faktör	MOD 5
12S	0,58%	85	186	0,83%	59,9	1653	0,86%	57,3	2449
14S	0,61%	81,9	179	0,84%	59,34	1634	0,88%	57,13	2400
16S	0,63%	80,55	177	0,85%	59	1576	0,96%	52,24	2339
18S	0,63%	78,9	171	87,00%	56	1511	0,98%	51,08	2226
20S	0,71%	70	150	89,00%	54	1380	1,03%	48	2019
12F	0,53%	92.1	234	0,68%	73,41	1658	0,84%	59	2458
14F	0,53%	103	221	0,68%	73	1580	0,92%	54,64	2364
16F	0,54%	93,91	214	0,75%	66,92	1260	0,93%	53,57	2035
18F	0,59%	93,7	192	0,79%	63	1200	0,94%	53,3	1948
20F	0,67%	75	180	0,96%	52,31	1171	1,09%	45	1911

Her üç test sonucunda da mod frekans değerlerinin sönüm oranı artan numunelerde sönüm oranı daha düşük olan numunelere göre azaldığı gözlenmiştir. Cam elyaf takviyeli numunelerde modlara karşılık gelen frekans değerleri takviyesiz numunelere göre daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Ayrıca iki mod arasında kalan frekans değeri aralığı cam elyaf takviyeli numunelerde artarken cam elyaf katkısı bulunmayan numunelerde görece daha düşük seviyelerdedir. Cam elyaf katkısının titreşim sönümleme kabiliyetine olan etkileri olumsuz olarak tespit edilmiştir. Bu durumun temel sebebi cam elyaf katkısının içerisinde yer alan liflerin yapıdaki esas sönümleyici etkisi bulunan epoksi matriks malzemesini sınırlaması ve sönümleyici malzeme hacimlerini birbirlerinden ayırmasıdır. Diğer yapısal konstrüksiyon malzemeleri olan GG26 gri dökme demir ve alüminyum 6060 tan hazırlanmış test numuneleri ile karşılaştırıldığında en düşük sönüm kabiliyetine sahip olan 12F numune serisi en düşük sönüm kabiliyetine sahip olduğu doğal frekans değerlerinde GG26 malzemeye göre iki kattan daha fazla Alüminyum 6060 malzemeye göre ise dört kattan daha fazla sönümleme kabiliyetine sahiptir (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Minimum titreşim sönümlene kabiliyetine sahip olan 12F numunesi ile GG26 ve alüminyum 6060 numunelerinin titreşim sönümlene testleri sonuçları karşılaştırma tablosu

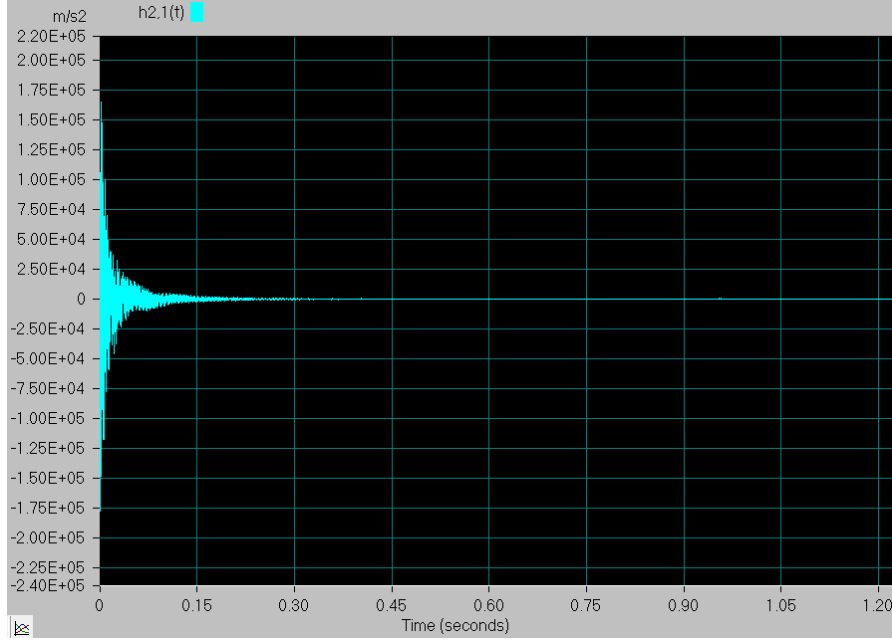
Numune kodu	ζ	Q Faktör	MOD 1	ζ	Q Faktör	MOD 2	ζ	Q Faktör	MOD 3	ζ	Q Faktör	MOD 4	ζ	Q Faktör	MOD 5
12F	0,63%	78,7	184	0,56%	88	501	0,52%	96,82	1210	0,74%	67,2	1948	0,84%	59	2458
AL 6060	0,14%	347,6	333	0,07%	738	895	0,05%	915	1781	0,04%	1143	2873	0,03%	1722	4218
GG26	0,27%	177,9	348	0,15%	355,6	889	0,11%	497	1750	0,09%	607	2863	0,04%	1200	4196

Hazırlanan numuneler ve yapılan testler sonucunda elde edilen verilerden epoksi matris malzemesinin hacimce numune içerisindeki artışı titreşim sönümlene özelliklerini iyileştirmektedir. En düşük sönüm kabiliyetine sahip numune serisi olan 12F numuneleri ile diğer yapısal malzemeler karşılaştırıldığında cam elyaf katkısının olumsuz etkilerine rağmen titreşim sönümlene kabiliyeti daha yüksek değerlerdedir. Titreşim sönümlene süreleri karşılaştırıldığında grafiklerden metal malzemelerin tam sönümlene durumuna ulaştıkları süre ile 12F numunelerinin tam sönümlene durumuna ulaştıkları süreler arasında üç katlık bir fark olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.18.).

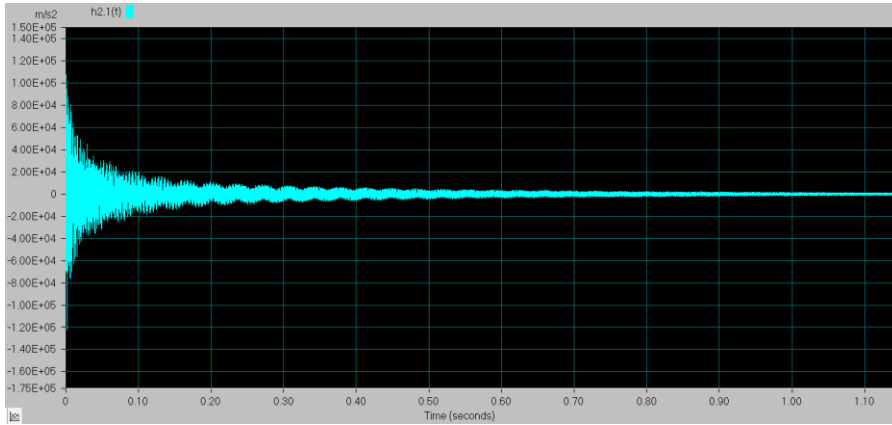


Şekil 4.18. 12F numunesi ivme zaman grafiği

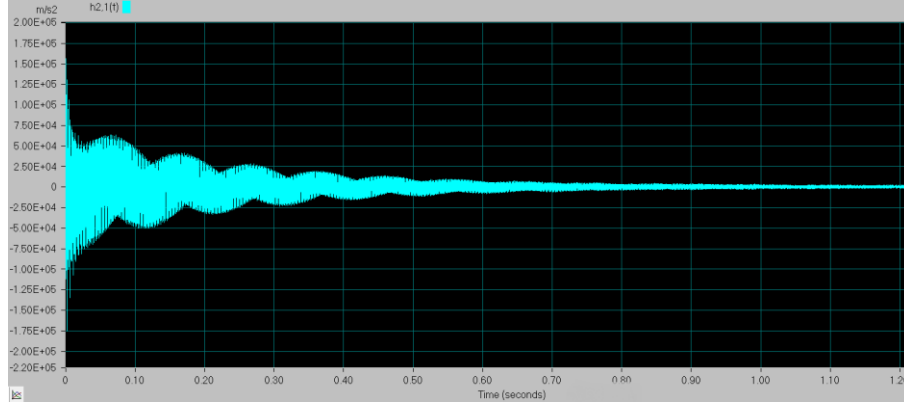
16F numune setinin 12F numune seti ile arasındaki titreşim sönüm sürelerinden 16F numunelerinin daha iyi sönümlenme kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.19.). GG 26 ve 16F numuneleri karşılaştırıldığında iki malzeme arasındaki tam sönüm süresi farkı yaklaşık 3 kat kadardır (Şekil 4.20.). Grafiklerden görüldüğü üzere en kötü sönümlenme kabiliyeti 6060 alüminyum malzemesine aittir (Şekil 4.21.).



Şekil 4.19. 16F numunesi ivme zaman grafiği



Şekil 4.20. GG26 gri dökme demir ivme zaman grafiği



Şekil 4.21. 6060 alüminyum ivme zaman grafiği

Ayrıca tam sönüm durumuna ulaşma süresince metal malzemeler yüksek salınımlarına devam ederken kompozit malzemenin salınımı hızlı bir şekilde azalmaktadır. Cam elyaf katkısının olumsuz etkilerine rağmen 12F kodlu sönüm kabiliyeti en düşük olan numune seti metal malzemelerden daha iyi bir sönüm kabiliyetine sahiptir. 16F kodlu çekme mukavemeti en yüksek değerde olan numune seti ise epoksi matrisli malzemenin oranının artması ile birlikte 12F numune setine oranla daha iyi bir titreşim sönümlenme kabiliyetine ulaşmıştır. Epoksi matrisli cam elyaf katkılı granüler kompozit malzemeler titreşim sönümlenme ihtiyacının yüksek olduğu uygulamalarda kullanılabilirlerdir. Bu malzemenin kullanımı endüstride takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, enerji verimliliği ve makinelerdeki ölçüsel tekrarlanabilirlik açısından birçok fayda sağlayacaktır.

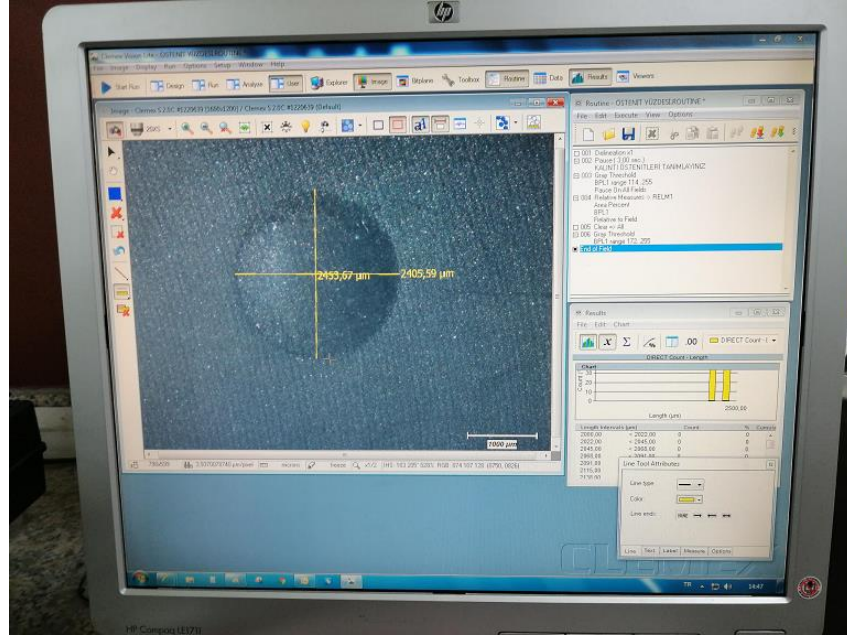
4.3. Sertlik Testleri

Sertlik testlerinde ASTM D 785 test standardı referans alınarak testler yapılmıştır. ASTM D 785 standardı, plastik ve elektrik yalıtım malzemelerinin sertliklerinin tespitinde kullanılan bir standarttır. Sertlik testleri için hazırlanan numuneler rockwell E standardına uygun olarak test edilmişlerdir (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Sertlik test cihazı ve test numunesi

Rockwell E standardı alüminyum gibi yumuşak metallerin sertlik testlerinde de kullanılan bir rockwell sıkalasıdır. Rockwell E standardında minör yük 10 kg ve majör yük ise 100 kg dır. Standartta test için bilye tipinde izaçar kullanılması uygun görülmektedir ve izaçar bilyenin çapı $3,175\pm 0,0025$ olarak verilmektedir. Sertlik testleri için hazırlanan numunelerin içerik kompozisyonu çekme testleri ve titreşim testleri ile aynı oranlarda üretilmiştir, ayrıca numunelerin isimlendirilmesine ve numaralandırmasında da aynı metod izlenmiştir. (Tablo 4.1.). Sertlik testleri mikroskop ve diamet bilgisayar programı yardımıyla görüntülenerek yorumlanmıştır (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Sertlik testi izaçar dijital mikroskop görüntüsü

Testler esnasında karşılaşılan durum öncelikle izaçarın bazalt granüllere temas ettiği noktalarda herhangi bir yeterli seviyede iz oluşumu görülemediği. Granüller arasında yer alan ve cam elyaf bulunan noktalarda ise program ekran görüntüsünde görüldüğü şekli ile sağlıklı bir sonuç elde edilebilmiş ve saptanan değerler karşılaştırılmıştır (Tablo 4.7.).

Tablo 4.7. Sertlik testinden elde edilen veriler

Numune kodu	Rockwell E	Numune kodu	Rockwell E	Numune kodu	Rockwell E	Numune kodu	Rockwell E	Numune kodu	Rockwell E
12S1	77	12F1	91	16S1	69	16F1	83	20S1	58
12S2	74	12F2	89	16S2	65	16F2	84	20S2	55
12S3	78	12F3	90	16S3	64	16F3	80	20S3	57
12S4	77	12F4	87	16S4	67	16F4	81	20S4	57
12S5	75	12F5	87	16S5	68	16F5	82	20S5	54
14S1	72	14F1	85	18S1	60	18F1	80	20F1	76
14S2	68	14F2	86	18S2	62	18F2	77	20F2	75
14S3	70	14F3	83	18S3	64	18F3	79	20F3	74
14S4	71	14F4	84	18S4	62	18F4	74	20F4	75
14S5	73	14F5	84	18S5	60	18F5	76	20F5	75

Sertlik testlerinde epoksi matriks malzemesi ve cam elyaf katkısının etkileri açıkça görülebilmektedir. Matriks malzeme oranı düşük olan 12F ve 12S numunelerinde granül miktarı ve granüller arasında bulunan matriks malzeme daha düşük seviyelerdedir. Bu durumun neticesinde sertlik testine tabi tutulduklarında oluşan bilye derinliği matriks malzeme hareketi granüller tarafından kısıtlandığı için diğer numunelere oranla daha azdır. Bu sebeple sertlik değerleri matriks malzemenin daha az olduğu numunelerde daha yüksek olarak elde edilmiştir. Matriks malzeme, yapıda bulunan diğer materyallere oranla daha yumuşak bir yapıda olduğu için oranının artışı ile sertlik değeri ters orantılıdır. Cam elyaf katkısının etkilerini ele aldığımızda, Cam elyaf katkısı yüzeylerde bulunan matriks malzemesinin hareketlerini sınırlandırmaktadır. Epoksi matriks malzemeye oranla daha sert olan cam elyaf lifleri matriks malzemenin hareketini sınırlayarak test neticesinde oluşacak izaçar izinin daha küçük olmasına neden olmuştur. Dolayısıyla cam elyaf bulunmayan numunelere oranla sertlik değerleri cam elyaflı numunelerde daha yüksek olarak elde edilmiştir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada eş içeriklere sahip beşli numune setleri beş farklı içerik sınıfında hazırlanmışlardır. Epoksi matriks malzemesinin hacimce yüzdesel oran olarak %12 ve %20 olarak sınırlanmasının sebepleri şunlardır. %12 matriks malzeme oranından düşük yüzdelerde matriks malzeme numune hacimlerinin tamamını dolduramamaktadır, diğer bir yandan matriks malzemenin temas etmediği granül yapıları gözlenmiştir. Bu durumda sağlıklı sonuçlar alınamayacağı için alt sınır olarak %12 matriks malzeme içeriği belirlenmiştir. Üst sınır olarak %20 lik epoksi matriks malzeme sınırının belirlenmesinde esas neden matriks malzemenin kalıp derinliğini aşarak, homojen olmayan bir yapıya sebebiyet vermesidir. %20 lik sınırın üzerinde tümünden matriks malzemedan oluşan bir katman çekme durumunda farklı davranışlar göstererek testlerde yanılmalara neden olacaktır.

Cam elyaf katkısının gözlenen belirgin faydaları ilk olarak çekme testlerinde tespit edilmiştir. Çekme mukavemeti düşük olan elyafsız numunelere göre elyafli numunelerde 4 kata kadar bir iyileşme gözlenmiştir. GG 26 makine konstrüksiyon malzemesinin 300 N/mm^2 olan çekme mukavemeti karşısında 50 N/mm^2 çekme mukavemetine sahip 16F kodlu çekme numuneleri birebir mukavemet karşılığı verememektedir. Fakat cam elyaf bulunmayan numunelerin en yüksek çekme mukavemeti olan 15 N/mm^2 değeri göz önüne alındığında kayda değer bir iyileştirme sağlanmıştır.

Titreşim sönümlenme testlerinde, literatür incelemelerinde de belirtildiği üzere standart epoksi granit malzemenin yüksek oranda olan sönüm kabiliyeti doğrulanmıştır. Cam elyaf katkısının ilavesi ile birlikte titreşim sönümlenme kabiliyetinin ilk olarak hazırlanan 12F kodlu en düşük epoksi matriks malzeme içeren numunelerde hızlı bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Daha sonra cam elyaf katkılı numunelerde, temel sönümlenme unsuru olan epoksi matriks malzemesinin artışı ile birlikte sönüm

kabiliyetinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Çekme mukavemetinin en yüksek değerde olduğu 16F kodlu numuneler epoksi matriks malzemenin oranındaki artış ile birlikte titreşim sönümlenme noktasında da iyi sonuçlar vermiştir. GG26 kır dökme demir ile karşılaştırıldığında 3 kat daha fazla titreşim sönümlenme kabiliyetine sahiptir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça epoksi granit malzemenin titreşim sönümlenme kabiliyeti stabilitesini korurken GG26 malzemenin titreşim sönümlenme kabiliyeti azalmaktadır.

Sertlik testleri karşılaştırıldığında, sertliği Rockwell E olarak ölçülen epoksi granit malzemelerin sertlikleri GG26 malzemesinden düşük seviyededir. Tezgah gövde malzemeleri hareketli elemanlar ile temas halinde olmadığı için ve hareketler kızaklar yardımı ile gerçekleştiği için sertlik değerinin düşük olması bir sorun oluşturmamaktadır. Epoksi granit malzemeleri yapılan testler neticesinde karşılaştığımızda bazalt granüllerin yoğun olduğu numunelerde granüllerin üst üste binmeleri sonucunda sertlik değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Epoksi matriks malzemenin oranının artışı ile birlikte sertlik değeri azalmaktadır. Cam elyaf katkısı ise sertlik değerini arttırıcı bir unsur olarak tespit edilmiştir. Epoksi matriks malzemenin cam elyaflara nüfuziyeti sonucunda, sertlik değeri epoksi matriks malzemedeki yüksek olan cam elyaf lifleri matriks malzemeyi bir arada tutarak sertlik test cihazının iğnesinin batmasını engellemektedir. Dolayısıyla cam elyaf katkısı sertlik özelliğine pozitif olarak etkimektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.e-xstream.com/products/tools/digimat-fe>, Erişim Tarihi: 05.01.2019.
- [2] https://www.knuth-machinetools.com/de_en/5x-400-180665, Erişim Tarihi: 07.01.2019.
- [3] <https://www.rampf-group.com/en/products-solutions/engineering/machine-beds-components/>, Erişim Tarihi: 07.01.2019.
- [4] https://www.rampf-group.com/fileadmin/rampf-gruppe.de/media/machine_systems/downloads/Mineral-casting-EPUMENT-EN.pdf, Erişim Tarihi: 07.01.2019.
- [5] Piratelli-Filho, A., Levy-Neto, F., Behavior of granite-epoxy composite beams subjected to mechanical vibrations, *Materials Research*, 13(4): 497-503, 2010.
- [6] Piratelli-Filho, A., Shimabukuro, F., Characterization of compression strength of granite-epoxy composites using design of experiments, *Materials Research*. 11(4): 399-404, 2008.
- [7] Roysarkar, K., Banerjee, M., Designing Machine Tool Structures With Epoxy Concrete, *Rapid Prototyping & Tooling Group Central Mechanical Engineering Research Institute, Durgapur*, 713-209, 2003.
- [8] Chaudhari, N.J., Rao, A.S., Patil, V., Finite Element Analysis of Particulate composite embedded in Fibrous Composite Layer, *02(04): 2395-0056*, 2015.
- [9] Erbe, T., Krol, J., Theska, R., Mineral Casting as Material for Machine Base Frames of Precision Machines, *23th Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering and 12th ICPE, Portland, Oregon*, 292-295, 2008.
- [10] Cho, S.K., Kim, H.J., Chang, S.H., The application of polymer composites to the table-top machine tool components for higher stiffness and reduced weight, *Composite Structures*, 93(2): 492-501, 2011.
- [11] <http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/cam-elyaflar%C4%B1.html> Erişim Tarihi: 02.02.2019.

- [12] Singh, B., Nanda, B. K., Estimation of damping in layered welded structures with unequal thickness, *Shock and Vibration*, 19(6): 1463-1475, 2012.
- [13] Kaw, A. K., *Mechanics of composite materials*, Taylor & Francis, Boca Raton, 2006.
- [14] Butcher, R., Rousseau, C. E., Tippur, H., A functionally graded particulate composite preparation, measurements and failure analysis, *Acta Materialia*, 47(1): 259-268, 1998.
- [15] Suh, J. D., Lee, D. G., Design and manufacture of hybrid polymer concrete bed for high-speed CNC milling machine, *International Journal of Mechanical Material Design*, 4: 113-121, 2008.
- [16] Krishna, H. V. R., Priya S. P., Rai, S. K., Rajulu A. V., Tensile, Impact, and Chemical Resistance Properties of Granite Powder–Epoxy Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 24: 451-460, 2005.
- [17] McKeown P. A., Morgan G. H., Epoxy granite: a structural material for precision machines, *Precision Engineering*, 1(4): 227–229, 1979.
- [18] Lin, W. P., Hu, H. T., Parametric Study on the Failure of Fiber-Reinforced Composite Laminates under Biaxial Tensile Load, *Journal of Composite Materials*, 36(12): 1481-1503, 2002.
- [19] Roysarkar, K., Banerjee, M., Synthetic Composite: A Non-Conventional Material for Machine Tool Structures., *Procs. of the 20th AIMTDR Conference*, BIT, Ranchi, 117-124, 2002.
- [20] Bai, W., Study on vibration alleviating properties of glass fiber reinforced polymer concrete through orthogonal tests, *Journal of Materials and Design*, 30: 1417-1421, 2009.
- [21] Mani, P., Gupta, A. K., Krishnamoorthy S., Comparative study of epoxy and polyester resin-based polymer concretes, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 7(3): 157–163, 1987.
- [22] Akash, D. A., Thyagaraj, N. R., Sudev, L. J., Experimental Study of Dynamic Behavior of Hybrid Jute/Sisal Fibre Reinforced Polyester Composites, *International Journal of Science and Engineering Applications*, 2(8):170-172, 2013.

- [23] Mokhtar, I., Yahya, M. Y., Kadir M. R. A., Mechanical Characterization of Basalt/HDPE Composite under In-Vitro Condition, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52: 1007–1015, 2013.
- [24] Kari, S., Berger, H., Gabbert, U., Numerical evaluation of effective material properties of randomly distributed short cylindrical fiber composites, *Computational Material Science*, 39: 198–204, 2007.
- [25] Hashin Z., Thin interphase imperfect interface in elasticity with application to coated fiber composites, *Journal of Mech. Phys. Solids*, 50: 2509-2537, 2002.
- [26] Ramos, R. R., Sabina F. J., Diaz, R. G., Castellero, J. B. Closed-form expressions for the effective coefficients of fiber reinforced composite with transversely isotropic constituents, *Mech. Mater.*, 33: 223-235, 2001.
- [27] Steffen, V., Rade, J. D. A., Inman, D. J., Using passive techniques for vibration damping in mechanical systems, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 22(3): 411-421, 2000.
- [28] Chen, T.C., Chen, Y. J., Hung, M.H., Hung, J. P., Design Analysis of Machine Tool Structure with Artificial Granite Material.” *Advances in Mechanical Engineering*, 8(7): 1-14, 2016.
- [29] Cortes, F., Castillo, G., Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron for machine tool applications, *Material Design*, 28: 1461–1466, 2007.
- [30] Rahman, M., Mansur, A., Karim, B., Non-conventional materials for machine tool structures. *JSME Int. J. C. Mech. Sy.*, 44: 1–11, 2001.
- [31] Rajesh, M., Pitchaimani, J., Dynamic mechanical analysis and free vibration behaviour of intra-ply woven natural fibre hybrid polymer composite, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 35(3): 228–242, 2016.
- [32] Kumar, K. S., Siva, I., Jeyaraj, P., Jappes J. T. W., Amico, S. C., Rajini, N., Synergy of fibre length and content on free vibration and damping behaviour of natural fibre reinforced polyester composite beams, *Materials and Design*, 56: 379-386, 2014.
- [33] Lee, I. W., Kim, D. O., Jung, G. H., Natural frequency and mode shape sensitivities of damped systems: Part II multiple natural frequencies, *Journal of Sound and Vibration* 223(3): 413-424, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Onur Öztürk, 13.02.1989'da Tekirdağ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tekirdağ'da tamamladı. 2007 yılında Çorlu Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012 yılında Türmak Tür Makine Mühendislik Ltd. şirketinde iş hayatına başladı. 2014 yılında Sanayi Bakanlığı Teknogirişim Sermayesi Desteği ile 3D yazıcı sistemleri ve ekstrüzyon sarf malzemeleri üreten makinelerin geliştirilmesi sürecinde yer aldı. 2016 yılında başladığı Hema Endüstri A.Ş. araştırma ve geliştirme bölümündeki tasarım mühendisliği görevini halen sürdürmektedir.