

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Geri Dönüşüm Tekstil Lifleri ve Ahşap Talaşı Katkılı
Kompozit Malzeme Tasarımı ve Geliştirilmesi**

Sait YILÖNÜ

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

**Geri Dönüşüm Tekstil Lifleri ve Ahşap Talaşı Katkılı
Kompozit Malzeme Tasarımı ve Geliştirilmesi**

Sait YILÖNÜ

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu Doktora Tezi 16/09/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL (Danışman)
: Prof. Dr. Emel Ceyhun SABIR
: Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI
: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
: Doç. Dr. Halil ÖZDEMİR

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

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç. Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2018-10558

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

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemeler	3
1.1.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihi.....	3
1.1.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	3
1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	4
1.1.4. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	10
1.1.5. Kompozit Malzemeler Uygulanan Başlıca Test Yöntemleri.....	15
1.2. Ses ve Ses İletimi.....	16
1.2.1. Akustik ve Ses.....	18
1.2.2. Sesin Fiziksel Özellikleri	18
1.2.3. Ses Yutumu Sağlayan Malzeme Uygulamaları.....	23
1.2.4. Ses Yutum Katsayısı ve Ölçüm Metotları	24
1.3. Isı ve Isı İletimi	26
1.3.1. Isı İletim Katsayısı (λ , W/m.K)	26
1.3.2. Isı Geçirgenlik Katsayısı (U, W/m ² .K).....	27
1.3.3. Isı İletim Katsayısı Ölçüm Metotları.....	27
1.4. Polyester Lifleri ve Geri Dönüşüm Lif Eldesi	28
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	35
3. MATERYAL VE METOD	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Geri Dönüşüm Polyester Elyaf Temini	45
3.1.2. Kızılçam Talaş Temini	45
3.1.3. Bambu Talaşı için Bambu Çubukların Temini.....	46
3.1.4. Reçine ve Sarf Malzeme Temini	46
3.2. Metod	47
3.2.1. Geri Dönüşüm Polyester Liflerin Paralel Hale Getirilmesi İşlemi.....	47
3.2.2. Bambu Çubukların Talaş Haline Getirilmesi İşlemi	49
3.2.3. Katmanlı Hibrit Kompozitlerin Üretimi İçin Kalıpların Hazırlanması	50
3.2.4. Talaş ve Lif Kompozit Plaka Üretim Denemelerinin Gerçekleştirilmesi.....	52

3.2.5. Kızılçam ve Bambu Talaşlara Uygulanacak Ön İşlemler	52
3.2.6. Bambu ve Kızılçam Kompozit Plaka Üretimlerinin Gerçekleştirilmesi	55
3.2.7. Lif Kompozit Plakaların Üretilmesi	59
3.2.8. Lif ve Talaş Plakalarının Kesilerek Lif ve Talaş Levha Formuna Getirilmesi	61
3.2.9. Katmanlı Hibrit Kompozit Üretimleri	62
3.2.10. Hibrit Kompozit Üretimi İçin Birim (1 m ²) Hammadde Maliyet Hesabı.....	65
3.2.11. Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	66
3.2.12. Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	73
4.1. Geri Dönüşüm Lif ve Talaş Katkılı Kompozit Malzeme Üretilebilirliğinin Araştırılması...	73
4.1.1. Öncül Deneme Üretimleri	74
4.2. Mekanik Test Sonuçları	79
4.2.1. Çarpmaya Karşı Eğilme Mukavemetinin Tayini.....	79
4.2.2. Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini	83
4.2.3. Eğilme Dayanımı ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini	86
4.3. Fiziksel Test Sonuçları.....	91
4.3.1. Isı İletim Katsayısı Tayini	91
4.3.2. Ses Yutum ve Ses İletim Kaybı Tayini	94
4.4. Hibrit Kompozit Üretimi İçin Birim (1 m ²) Hammadde Maliyet Hesabı	102
4.5. Numunelerde Farklı Parametrelerin Özelliklere Etkisinin İkili Karşılaştırılması.....	104
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
5.1.Sonuçlar	115
5.2.Öneriler	119
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	125

Geri Dönüşüm Tekstil Lifleri ve Ahşap Talaşı Katkılı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Geliştirilmesi

Sait YILÖNÜ

Danışman: Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Tekstil sektörü ısı yalıtımı, ses yalıtımı, elektromanyetik kalkanlama, dekoratif görüntü vb. birden fazla işlevin aynı zamanda karşılanması için kullanılan malzemelerin bulunduğu büyük bir sektördür. Araştırmanın amacı, takviye malzemesi olarak ahşap talaşı ve geri dönüşüm tekstil lifleri, matris malzemesi olarak ise poliüretan ve üre formaldehit reçine kullanılarak kompozit yapılar üretilmesi ve optimizasyonudur. Bu malzemelerin özelliklerinin yapıya katma değer kazandıracağı, bu sayede farklı alanlarda kullanıma uygun kompozit malzeme üretilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde geri dönüşüm liflerle birlikte ahşap talaşının aynı yapıda kullanım olanaklarını araştırmak için farklı reçine türleri ve üretim yöntemleri ile ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalardan elde edilen verilerle takviye malzemesi olarak 2 farklı ahşap talaşı (bambu ve kızılçam), 3 farklı (3 denye, 6 denye, 15 denye) kalınlıkta geri dönüşüm polyester lifi tercih edilmiş ve matris malzemesi olarak üre formaldehit, poliüretan reçineler farklı aşamalarda hibrit kompozit yapısında kullanılmıştır. İkinci bölümde ayrı ayrı talaşlar ve lifler takviye malzemesi, üre formaldehit reçinesi matris malzemesi olarak sıcak presleme yöntemiyle lifli ve talaşlı plakalar üretilmiştir. Son bölümde plakalar 2 mm kalınlıklarda kesilerek 2x50 cm boyutlarında levhalar elde edilmiştir. Bu levhalar (takviye elemanı olarak) ile poliüretan reçine (matris) farklı parametrelerde bir araya getirilmiş ve açık kalıplama yöntemi ile 18 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu numunelere, eğilme dayanımı, çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini, yüzeye dik çekme dayanımı gibi mekanik testlerin yanında ısı yalıtımı ve ses yalıtımı testleri uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Genel olarak yapıda lif levha kullanımının numunelerin çarpmaya karşı dayanımını arttırdığı görülmektedir. Ayrıca lif levhalarla talaş levhaların aynı yapıda kullanılması eğilmeye karşı direnci artırmaktadır. Yüzeye dik çekme direncine talaş türü veya lif kalınlığının direk olarak önemli bir etkisinin olmadığı, reçinenin yapıya yerleşme şekli ve katmanlar arası yapışma özelliklerinin daha etkili olduğu söylenebilmektedir. Isı yalıtım özelliklerinin talaş levha kullanılan numunelerde daha iyi olduğu görülmektedir. Ses yutumu ve ses iletim kaybında farklı frekanslarda olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm lif ve talaş, Isı yalıtımı, Ses yalıtımı, Kompozit yapılar, Sürdürülebilirlik

Design and Development of Composite Materials Based on Recycled Textile Fibers and Sawdust

Sait YILÖNÜ

Advisor: Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL

Department of Textile Engineering

ABSTRACT

The textile sector is a large sector where materials are used to meet multiple functions at the same time, such as heat insulation, sound insulation, electromagnetic shielding, decorative appearance, etc. The aim of the research is to produce and optimize composite structures using wood shavings and recycled textile fibers as reinforcement materials, and polyurethane and urea formaldehyde resin as matrix materials. It is thought that the properties of these materials will add value to the structure, and thus composite materials suitable for use in different areas can be produced. In the first part of the study, preliminary studies were carried out with different resin types and production methods to investigate the possibilities of using wood shavings together with recycled fibers in the same structure. With the data obtained from the preliminary studies, 2 different wood shavings (bamboo and red pine) and 3 different (3 denier, 6 denier, 15 denier) thickness recycled polyester fibers were preferred as reinforcement materials, and urea formaldehyde and polyurethane resins were used in the hybrid composite structure at different stages as matrix materials. In the second section, fiber and sawdust plates were produced by hot pressing method as reinforcement material and urea formaldehyde resin matrix material. In the last section, plates were cut in 2 mm thickness and 2x50 cm sized plates were obtained. These plates (as reinforcement element) and polyurethane resin (matrix) were brought together in different parameters and 18 different composite materials were produced by open molding method. In addition to mechanical tests such as bending strength, determination of bending strength against impact, tensile strength perpendicular to the surface, heat insulation and sound insulation tests were applied to these samples and the results were evaluated. In general, it is seen that the use of fiberboard in the structure increases the resistance of the samples against impact. In addition, using fiberboards and sawdust plates in the same structure increases the resistance against bending. It can be said that the type of sawdust or fiber thickness does not have a significant direct effect on the tensile strength perpendicular to the surface, the way the resin is placed in the structure and the adhesion properties between the layers are more effective. It is seen that the thermal insulation properties are better in the samples using sawdust board. Positive results were obtained in sound absorption and sound transmission loss at different frequencies.

Keywords: Recycled fiber and sawdust, Thermal insulation, Sound insulation, Composite structures, Sustainability

TEŞEKKÜR

Öncelikle Doktora tez çalışmasının her aşamasında maddi/manevi bilgi ve desteğini benden hiç esirgemeyen ve bana yol gösteren, motive eden, çok sabırlı, özverili değerli danışmanım Prof. Dr. Belkıs ZERVENT ÜNAL'a, sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez izleme komitemde bulunarak çalışmam süresince destek olan, yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Emel Ceyhun SABİR'a ve Sayın Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun çalışmaları arasında değerli zamanlarını ayırıp tez jürimde yer almayı kabul eden sayın Doç. Dr. Halil ÖZDEMİR'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam süresince kendi öğrencilerinden biri gibi gören, bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren aynı zamanda tez jürimde yer almayı kabul eden Sayın Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na, üretim ve test aşamalarında tecrübeleriyle her zaman yardımcı olan güler yüzlü, değerli arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi İLKAY ATAR'a, Dr. Öğr. Üyesi Ayşenur KILIÇ AK'a, Büşra Avcı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmam da bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm başkanı Sayın R. Tuğrul OĞULATA'ya, zor zamanlarımda yanımda olan saygıdeğer bölümümüz hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasında FDK-2018-10558 no'lu proje kapsamında maddi destekte bulunan için Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen testlerde yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Erhan SANCAK ve Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin üre formaldehit temininde yardımlarını esirgemeyen Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. A.Ş. nezdinde Yunus YALÇIN'a Geri dönüşüm elyaf temininde yardımcı olan Yılmaz Elyaf Ambalaj Atıkları Geri Dönüşüm San. ve Tic. Ltd. Şti. adına Sadık KAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu sürecin büyük bir bölümünde maddi manevi yanımda yer almış olan 6 Şubat 2023'te meydana gelen Kahramanmaraş depreminde ebediyete uğurladığım. Kıymetli ablalarım Sayın Hatice YILDIZLI, Rukiye YILÖNÜ, sevgili yeğenlerim İsrail YILDIZLI, Fahri Alem YILDIZLI, Mehmet Ali ARI ve eniştemiz Hasan ARI'ya sonsuz sevgi ve minnettarlıklarımı sunarım. Büyük bir sabır ve destekleri için Sevgili Annem, Babam, Kardeşlerim, Eşim'e, kızlarım İpek Zeynep ve doğacak olan Rukiye Ayla'ya

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kompozit malzeme kullanım alanları	10
Çizelge 1.2. Sesin kalınlık - inceliği	19
Çizelge 1.3. Frekans ve ses ilişkisi.....	20
Çizelge 1.4. Değişik ortamlarda sesin hızı	20
Çizelge 1.5. Yalıtım malzemesi olarak tercih edilen bazı malzemelere ait ses yutum katsayıları...	25
Çizelge 1.6. Polyester liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Doğal kızılçam bitkisine ait ortalama özellikler	44
Çizelge 3.2. Doğal bambu bitkisine ait ortalama özellikler	44
Çizelge 3.3. Temin edilen geri dönüşüm polyester liflerin özellikleri.....	45
Çizelge 3.4. Farklı ölçülerde üretilen kalıplar ve üretim yapılabilecek varyasyonları.....	51
Çizelge 3.5. Talaşların partikül boyutları % değeri	53
Çizelge 4.1. Ön çalışmalarda kullanılan malzeme türleri	73
Çizelge 4.2. KD1 nolu deneme üretim parametreleri.....	75
Çizelge 4.3. KD2 nolu deneme üretim parametreleri.....	75
Çizelge 4.4. KD3 nolu deneme üretim parametreleri.....	76
Çizelge 4.5. KD4 nolu deneme üretim parametreleri.....	76
Çizelge 4.6. KD5 nolu deneme üretim parametreleri.....	77
Çizelge 4.7. KD6 nolu deneme üretim parametreleri.....	77
Çizelge 4.8. Numunelerin Kodlanması	79
Çizelge 4.9. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini.....	80
Çizelge 4.10. Yüzeye dik çekme dayanımı ölçüm sonuçları	83
Çizelge 4.11. Eğilme dayanımı (Ef) ve elastikiyet modülü (σ_M) ölçüm sonuçları	87
Çizelge 4.12. Isı iletimi testi ölçüm sonuçları.....	91
Çizelge 4.13. Bazı kompozit malzemeler ve normal malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri	91
Çizelge 4.14. Ses yutum testi sonuçları (6 denye)	95
Çizelge 4.15. Ses yutum ölçüm sonuçları (3 ve 15 denye)	97
Çizelge 4.16. Farklı malzeme ait bazı frekanslardaki ses yutum değerleri	99
Çizelge 4.17. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (6 denye).....	100
Çizelge 4.18. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (3 ve 15 denye)	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kompozitlerin sınıflandırılması	4
Şekil 1.2. Tabakalandırmada kullanılan tabakalar için örnek bir diziliş	6
Şekil 1.3. Dokunmuş yapı ve tek yönlü elyafların gösterimi	6
Şekil 1.4. Tabakalarda yönlendirme şekilleri.....	6
Şekil 1.5. Çok yönlü cam elyaf dokuma kumaşların iplik açılarından örnekler	7
Şekil 1.6. Polimer matrisli kompozitler.	8
Şekil 1.7. Metal matrisli kompozitler.....	8
Şekil 1.8. Seramik matrisli kompozitler	9
Şekil 1.9. Karbon-karbon kompozit	9
Şekil 1.10. Nano kompozitler	10
Şekil 1.11. Polimer matrisli kompozit üretim yöntemleri	12
Şekil 1.12. Liflerin kalıp üzerine sarım şekilleri.....	13
Şekil 1.13. Otoklav yöntemi üretim şeması	14
Şekil 1.14. Bir engelle karşılaşılan ses dalgasının davranışı	18
Şekil 1.15. Havada ses yayılması olayında dalga boyu ile frekans ilişkisi	18
Şekil 1.16. Dalga boyu	19
Şekil 1.17. Farklı kaynaklarda meydana gelen sesin ortalama desibel değeri	21
Şekil 1.18. Cisme çarpan sesin enerjilere ayrılması.....	24
Şekil 1.19. Pet şişelerin geri kazanım döngüsü.....	30
Şekil 1.20. Örnek bir PET geri dönüşüm hattı	31
Şekil 1.21. Kimyasal Geri Dönüşüm (depolimerizasyon).....	33
Şekil 3.1. Kızılçam talaşının temin edilmesi.....	46
Şekil 3.2. Farklı en ve boylarda bambu çubuklar.....	46
Şekil 3.3. Temin edilen ham haldeki lifler (üstte) ve paralelleştirme işlemi sonrası görüntüleri (altta)..	47
Şekil 3.4. Geri dönüşüm liflerin tartma işlemi.....	48
Şekil 3.5. Basınçlı hava ile ön açma işlemi.....	48
Şekil 3.6. Ön açma işlemi uygulanmış ve paralel hale getirilmiş lifler.....	48
Şekil 3.7. Paralel hale getirilmiş liflerin paketlenmesi ve vakumlanması.....	49
Şekil 3.8. Şerit testere yardımıyla kesilmiş bambular	49
Şekil 3.9. Kesilen bambuların küçük parçalar haline getirilmesi işlemi	49
Şekil 3.10. Küçük parçaların talaş haline getirilmesi işlemi	50
Şekil 3.11. Kalıp üretim şeması (genel ve iç kısımları görünüşü)	50
Şekil 3.12. Kalıp hazırlama çalışması	51
Şekil 3.13. Üretimi tamamlanmış kalıp parçaları.....	51
Şekil 3.14. Numune üretim makinası (sıcak pres) ve yapılan deneme üretimleri.....	52

Şekil 3.15 Kızılçam ve bambu talaşının kaba elekten geçirilmesi	52
Şekil 3.16. Talaşların çok katmanlı elek ile partikül boyutlarının % miktarının belirlenmesi	53
Şekil 3.17. Rutubet ölçüm cihazı	54
Şekil 3.18. Talaşların etüvde kurutulması işlemi	55
Şekil 3.19. Üre formaldehit reçinesi hazırlama aşaması	55
Şekil 3.20. Talaşın karıştırıcıda reçinelenmesi işlemi.....	56
Şekil 3.21. Metal plakaların masaya yerleştirilmesi ve ön presleme işlemine hazırlanması	57
Şekil 3.22. Ön presleme işlemi için reçinelenmiş talaşın serilmesi	57
Şekil 3.23. Ön presleme işlemi ve numune kalınlık ayarı için metal çubukların yerleştirilmesi	58
Şekil 3.24. Kalıbın sıcak pres makinasına yerleştirilmesi ve süre, sıcaklık ve basınç ayarı	58
Şekil 3.25. Presleme işlemi sonrası bambu ve kızılçam plakalar.....	59
Şekil 3.26. Lifli kompozit plaka üretim aşamaları	60
Şekil 3.27. Sıcak pres işlemi sonucu üretilmiş lifli kompozit plakalar	61
Şekil 3.28. 2 mm kalınlıkta kesilmiş levhalar	62
Şekil 3.29. Üretilmesi planlanan numune şematik gösterimi.....	62
Şekil 3.30. Titreşimli kompozit numune üretim masası ve deneme üretimi	63
Şekil 3.31. Kalıbın birleştirilmesi, streç film ile kaplanması ve alt tabaka lif serim işlemi.....	64
Şekil 3.32. Serim işleminin tamamlanması ve reçinenin kalıba dökülmesi işlemi	64
Şekil 3.33. Kompozit malzemenin kalıptan çıkarılması ve kesim işlemi	65
Şekil 3.34. Numunelerin mikroskop altında kesit görüntüleri	65
Şekil 3.35. Eğilme dayanımı testi örnekleri.....	66
Şekil 3.36. Eğilme dayanımı test cihazı	67
Şekil 3.37. Yüzeye dik çekme testi	69
Şekil 3.38. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini.....	70
Şekil 3.39. Isıl iletkenlik katsayısı ölçümü	71
Şekil 3.40. Empedans tüpü ses yutum ölçüm düzeneği	71
Şekil 3.41. Empedans tüpü ses iletim kaybı test düzeneği.....	72
Şekil 3.42. Ses yutum katsayısı ölçümü numuneleri.....	72
Şekil 4.1. Öncül üretimler için kullanılan malzemeler.....	73
Şekil 4.2. Yardımcı malzemeler.....	74
Şekil 4.3. KD1 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	75
Şekil 4.4. KD2 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	75
Şekil 4.5. KD3 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	76
Şekil 4.6. KD4 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	76
Şekil 4.7. KD5 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	77
Şekil 4.8. KD6 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası.....	77
Şekil 4.9. Öncül çalışmalar sonucunda başarılı kabul edilen bazı denemelerin örnekleri	78

Şekil 4.10. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (tüm numuneler)	80
Şekil 4.11. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (6 Denye)	82
Şekil 4.12. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (3 Denye)	82
Şekil 4.13. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (15 Denye)	83
Şekil 4.14. Yüzeye dik çekme direnci ölçüm sonuçları (tüm numuneler)	84
Şekil 4.15. Yüzeye dik çekme ölçüm sonuçları (6 Denye)	85
Şekil 4.16. Yüzeye dik çekme ölçüm sonuçları (3 Denye)	86
Şekil 4.17. Yüzeye dik çekme ölçüm sonuçları (15 Denye)	86
Şekil 4.18. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (tüm numuneler).....	87
Şekil 4.19. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (6 Denye)	89
Şekil 4.20. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (3 Denye)	89
Şekil 4.21. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (15 Denye)	90
Şekil 4.22. Eğilmede elastikiyet modülü ölçüm sonuçları (tüm numuneler)	90
Şekil 4.23. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (tüm numuneler).....	92
Şekil 4.24. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (6 Denye).....	93
Şekil 4.25. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (3Denye).....	93
Şekil 4.26. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (15 Denye).....	94
Şekil 4.27. Ses yutumu ölçüm sonuçları (6 Denye)	96
Şekil 4.28. Ses yutumu ölçüm sonuçları (3 Denye)	98
Şekil 4.29. Ses yutumu ölçüm sonuçları (15 Denye)	98
Şekil 4.30. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (6 Denye)	101
Şekil 4.31. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (3 Denye)	101
Şekil 4.32. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (15 Denye)	102

SİMGELER VE KISALTMALAR

MHz	: Mega Hertz
GHz	: Giga Hertz
RTM	: Reçine Transfer Kalıplama
SMC	: Sheet Moulding Compound
BMC	: Bulk Moulding Compound
Hz	: Hertz
C	: Sesin Hızı
F	: Frekans
Pa	: Paskal
MPa	: Mega Paskal
dB	: Desibel
α	: Ses Yutum Katsayısı
NRC	: Gürültüyü Azaltma Katsayısı
λ	: Isı İletim Katsayısı
W	: Watt
K	: Kelvin
GHP	: Guarded Hot Plate
TPS	: Temporary Plane Source
PET	: Polietilen Tereftalat
rPET	: Geri Dönüşüm Polietilen Tereftalat
MDF	: Medium Density Fiberboard
PU	: Poliüretan
UF	: Üre Formaldehit
PES	: Polyester
Co	: Pamuk
PSAC-TMM	: Prediction Of Sound Absorption Coefficient Using The Transfer Matrix Method
MAPP	: Maleatlı Polipropilen
PP	: Polipropilen
TDI	: Tolüen Diizosiyanat
MDI	: Difenilmetan Diizosiyanat
TL	: Tranmission Loss
D	: Denye

1. GİRİŞ

Tekstil sektörü giyim, ev tekstili gibi kullanım alanları dışında ısı yalıtımı, ses yalıtımı, elektromanyetik kalkanlama, dekoratif görüntü ve benzeri bir veya birden fazla işlevin aynı zamanda karşılanması için kullanılan hammaddeleri kapsayan bir sektördür. Bu sektörün hammaddesi olan lifler, inşaat gibi önde gelen sektörlerle beraber birçok alanda kullanılmakta ve bu sektörlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Tekstil lifleri günümüzde bina cephelerinde yalıtım malzemesi gibi farklı amaçlarla kullanılmasına rağmen, ahşap ve türevleri ile birlikte kompozit olarak kullanılmasına geleneksel yöntemler arasında çok fazla rastlanmamaktadır. Kompozit malzemelerin üretimi son yıllarda önemli ölçüde artmakta ve çeşitli sektörlerde ve teknolojilerde kullanılmaktadır (Özgür ve ark. 2023). Kompozit üretimler için doğal, sürdürülebilir ve ekolojik bir malzeme olan ahşabı ve birçok katma değer olanağı bulunan tekstil liflerini bir arada kullanmak mümkün görünmektedir. Bunun yanı sıra, ahşap ve türevi malzemelerin tekstil lifleri ile ortak kullanımı, uyumluluğu ve ortak kullanımı durumundaki performans özellikleri konusunda literatürde daha derin araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

İçinde bulunduğumuz teknoloji çağı insanlığa faydalı birçok ürününün keşfini gerçekleştirmiştir. Günlük hayatta işlerimizi büyük oranda kolaylaştıran bu ürünlerin çalışmasını sağlayan elektrik enerjisi sadece evde değil birçok alanda kullanılmaktadır. Teknolojik cihazların artması ile birlikte dünya genelinde kişi başına düşen enerji tüketimi sürekli artış göstermektedir. Bu sebeple son yıllarda enerjinin verimli kullanılması, enerji tasarrufu, gibi konular sürekli gündemde tutulmaktadır. Artan dünya nüfusuyla birlikte artan enerji ihtiyacının giderilmesi için sadece üretim miktarının artırılması değil enerjiyi tasarruf edecek sistemlerin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması üzerinde durulmaktadır. Üretilen enerjiyi verimli kullanmanın birçok yöntemi bulunmaktadır. Bunlar arasında yaşam alanlarında ısı dengenin sağlanması amacıyla kullanılan ısı yalıtım ürünleri önemli bir yer tutmaktadır. Yalıtım, enerjinin verimli kullanılmasının en etkin ve ekonomik çözümleri arasındadır.

Ülkemizdeki binalardaki toplam enerji tüketiminin %82'si ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanında binalarda ısıtmada kullanılan enerji, ülkemizde harcanan toplam enerji miktarının %26'sını oluşturmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacının %70'i ithal enerji ile karşılanmaktadır. Enerji kullanımının çok fazla olması nedeniyle tasarrufun binalardan başlanması, özellikle binalarda ısıtma amaçlı tüketilen enerjinin azaltılması yönünde çalışmalar yapılması öncelikli konuların başındadır. Binalarda yapılacak ısı yalıtımı uygulamaları enerji verimliliği (soğutma ve ısıtma işlemlerinde) konusunda en etkin yöntemler arasında yer almaktadır (<https://evcedruzgar.enerji.gov.tr>).

Yalıtımın binanın bütünü için gerekli bir uygulama olduğunu bölgesel yapılan uygulamaların etkin bir yalıtım sağlamayacağını bilmek gereklidir. Binaların dış cephelerinin ısı yalıtım malzemeleri ile kaplama işlemi sonrasında (mantolama) binalarda ortalama %50 enerji tasarrufu elde etmek mümkündür (<https://evcedruzgar.enerji.gov.tr>).

Isı yalıtımı, 2000 yılında yasal olarak ülkemizde de zorunlu bir uygulama halini almıştır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nde belirtilen, binanın konumu, bulunduğu iklim kuşağı vb. faktörlere bakılarak her binanın ısınma için harcayacağı toplam enerji miktarının hesaplanmasında kullanılan bir yöntem geliştirilmiştir. “Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi” uygulamasına göre binayı yapan kişi ya da kuruluşun, yapılan projeye göre binanın ısınması için harcanması gereken toplam enerji miktarını hesaplaması ve binanın görünür yerine asması zorunludur (<https://evcedruzgar.enerji.gov.tr>). İstatistiklere göre aynı iklim koşullarında ve kullanım alanına sahip ülkemizdeki bir konutun enerji tüketimi Fransa, Almanya, İngiltere, İsveç gibi ülkelere göre 2–3 kat fazla görünmektedir. Bu değerlere göre ülkemizde ısı yalıtımına gereken önemin verilmediği söylenebilmektedir.

Isı yalıtımı sorunun yanında yaşadığımız çevrenin sürekli kalabalıklaşması, nüfusun hızlı artışı gürültü gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Yüksek binalar ve kalabalıklaşan ortamlar, artan gürültü kaynakları, binalarda kullanılan malzeme ve yapı sistemleri, bireysel konfor şartları ses yalıtımı ihtiyacını artırmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde mimarlar için binaların akustik kalitelerinin artırılması yönündeki tasarımlar önem kazanmaktadır (Baççioğlu, 2017).

Bu hususlar göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında, sürdürülebilir kaynaklara dayalı (ahşap talaşı ve geri dönüşüm tekstil lifleri), çevreye duyarlı, düşük maliyetli, yapıda kullanılacak malzemelerin katma değer sağlayacak özelliklerini maksimum fayda ile yapıya kazandırarak farklı alanlarda kullanıma uygun (yer döşemesi, panel duvar, yapı elemanları, dekoratif görünüm vb.) kompozit ürünlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Kullanılan malzemelerin ekolojik yapı tarzına daha uygun olması, hızlı ve düşük enerji sarfiyatlı teknikler ile imal edilebilmesi, istenilen ölçü ve çeşitlilikte üretilebilmesi çalışma kapsamında hedeflenen kompozit ürünlerin değerini daha da arttırmaktadır. Hedeflenen kompozit malzemelerin üretimi için çalışma kapsamında yenilikçi bir yöntem geliştirilmiş ve farklı hammaddelerle farklı kombinasyonlarda numuneler elde edilebilmiştir. Daha sonra üretilen numunelerin seçilmiş fiziksel ve mekanik özellikleri standart test yöntemleriyle tespit edilerek karakterizasyon çalışması yapılmış ve ürün özelliklerine uygun olarak kullanım alanı alternatifleri önerilmiştir.

Üretimlere başlanmadan önce kullanılacak deney planını oluşturmak için ahşap yapı malzemeleri, kompozit üretiminde kullanılan reçine türleri, çalışmada kullanılması düşünülen tekstil lifleri incelenmiştir. Bunun yanında kompozit üretim yöntemleri ve bu yöntemlerle gerçekleştirilmiş olan malzemelerin ısı yalıtımı, ses yalıtımı özellikleri, poliüretan reçinelerle üretilmiş kompozit malzemelerin mekanik özellikleri gibi konularda literatür taraması yapılmıştır.

1.1. Kompozit Malzemeler

1.1.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı ve Tarihi

Kompozit malzeme, kullanılacak alan için tek başına gerekli niteliklere sahip olmayan iki veya daha fazla malzemenin belirli şartlarda ve oranda bir araya getirilmesiyle elde edilen yeni malzeme olarak adlandırılmaktadır. (Sevencan, 2011).

Günümüzde gemi imalatından, bina yapımına, ev aletleri üretiminden uzay teknolojisine kadar her alanda çok yaygın kullanılan kompozit malzemeler üretim açısından genel olarak 19. yüzyılın başlarından itibaren keşfedilmiş gibi görünse de ilk örneklerinin antik çağlara uzandığı varsayılmaktadır. “Kompozit Malzeme” kavramının ortaya atılması ve mühendislik konusu olarak değerlendirilmesi 1940’larda başlamıştır.

İlk çağlarda insanlar kırılğan özellik gösteren malzemenin içerisine hayvansal veya bitkisel kaynaklı lifler karıştırarak kırılğanlık özelliğini iyileştirmeye çalışmışlardır. Bu alanda en önemli örnek olarak kerpiç gösterilebilmektedir (Yöney, 2007).

Kompozit malzeme üretiminde bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi 1940’lı yıllarda cam takviyeli plastiklerin kullanımına dayanmaktadır. Cam lifi takviyeli ilk plastik tekne 1942’de yapılmış, ilk elyaf sarma patenti ABD’de 1946’da alınmıştır (Yöney, 2007). Ülkemizde “fiberglas” adıyla adını duyuran bu malzeme 1960’ların başından beri ülkemizde sıvı depolama alanları, çatılarda kullanılan levhalar ve sürat teknelerinin üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar arasında en nadide örnek, ülkemizde seri üretimi gerçekleştirilmiş ilk yerli otomobilimiz Anadol’un kaporta kısmı bu malzeme ile üretilmiştir (Yöney, 2007).

1.1.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Uygulama alanı olarak, kompozit malzeme üretimi aşağıda verilen özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu özellikler ile kompozit malzemenin;

- ✓ Ağırlığı
- ✓ Akustik iletkenliği veya yalıtkanlığı
- ✓ Aşınma direnci
- ✓ Basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı
- ✓ Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci
- ✓ Isı iletkenliği veya ısıl direnci
- ✓ Kırılma tokluğu
- ✓ Korozyon direnci
- ✓ Mekanik dayanım
- ✓ Rijitlik
- ✓ Ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu
- ✓ Yorulma dayanımı

- ✓ Yüksek sıcaklığa dayanıklılık
- ✓ Maliyet gibi özellikleri değiştirilebilir hale gelmektedir (Uçar, 2012).

1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler birçok farklı şekilde üretilmekte ve sayısız alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemeler farklı özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

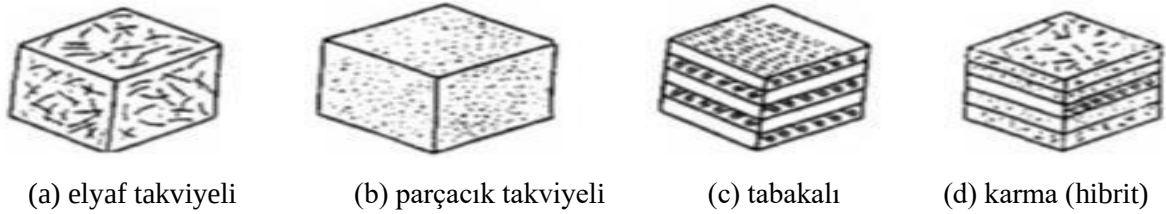
a) Takviye Elemanlarının Şekline Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler takviye elemanının şekline göre;

- ✓ Elyaf takviyeli kompozitler
- ✓ Parçacık takviyeli kompozitler
- ✓ Tabakalı kompozitler
- ✓ Hibrit kompozitler (karma)

olarak sınıflandırılmaktadır (Şen, 2020).

Kompozitlerin takviye elemanı şekline göre sınıflandırılması Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kompozitlerin sınıflandırılması (Şen, 2020)

- Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozit yapının temel elemanı matris malzeme ile birlikte kullanılan elyaf takviyelerdir. Üstün mekanik özellikleri dolayısıyla en önemli takviye malzemelerdir. Yüksek elastisite modülü, korozyon direnci, düşük yoğunluk, sertlik ve dayanım başlıca özellikleri arasındadır. Matris içerisinde elyafların yerleşim şekli kompozit malzemenin mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Birbirine paralel konumda olan elyaflar malzeme mukavemetini artırır iken, birbirine dik konumda olan elyaflar mukavemeti azaltmaktadır. İki yönde de mukavemet elde edebilmek için matris içerisinde elyaflar iki yönlü olarak yerleştirilmelidir (Bulut, 2014). Elyaf takviyeli kompozit üretiminde en çok kullanılan liflerden bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Cam lifleri: Cam lifleri veya diğer bir deyişle cam elyafı kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan takviye malzemelerindendir. Üstün özelliklerinin yanı sıra, ekonomik bir takviye türü olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır (Bulut, 2014).

Asbest lifleri: Asbest, lifli yapısı olan doğal bir mineraldir. Esası magnezyum silikat olan, yanmazlık özelliğine sahip bu maddenin birçok türü vardır. Asbest lifleri kimyasal direnci, özellikle alkali ortama dayanımları, kompozitlerde çok başarılı bir biçimde kullanılabilmesini sağlamıştır (Bulut, 2014).

Çelik teller: Çelik teller özellikle beton ve harçların takviyelendirilmesinde kullanılabilmektedir (Bulut, 2014).

Karbon lifleri: 1960'lı yılların ortasından itibaren kullanılmaya başlanan karbon lifleri son dönemlerde en çok kullanılan lif türüdür. Bu lifler düşük yoğunluğuna rağmen çekme dayanımı ve elastisite modülü yüksek bir lif türüdür (Bulut, 2014).

Aramid lifler: Aramid "aromatik polyamid" in kısaltılmış adıdır. İki farklı tipi vardır. Bunlar Kevlar 29 ve Kevlar 49'dur. Camdan daha hafif ve daha rijit olan bu malzeme, fiyat açısından birçok lif türünden daha ucuzdur. Yüksek sıcaklığa ve korozyona oldukça dayanıklıdır (Bulut, 2014).

Bor lifleri: 1960'lı yıllarda üretilmeye başlanan bir malzemedir. Yüksek dayanımlı ve pahalı bir malzeme olan bor lifleri, günümüzde özellikle metal esaslı kompozitlerde kullanılmaktadırlar. Maliyetinin çok fazla olması sebebiyle yerini karbon elyaflara bırakmıştır (Bulut, 2014).

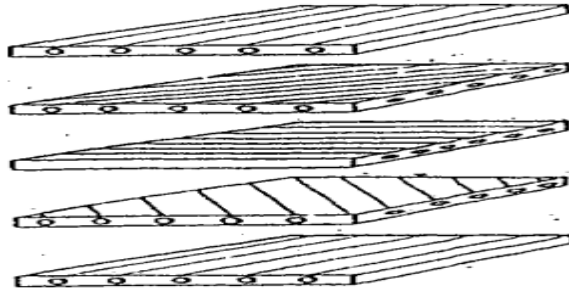
Silisyum karbür lifleri: Yüksek sıcaklıkta bor liflerinden daha dayanıklıdır. Silisyum karbür elyaflar 1370 °C'de mukavemetinin sadece %30'unu kaybeder. Bu elyaflar genellikle Titanyum esaslı kompozit yapılarda kullanılırlar. Jet motor parçalarında, alüminyum, vanadyum ve titanyum ana malzemenin takviyesinde kullanılırlar (Bulut, 2014).

- **Parçacık Takviyeli Kompozitler**

İzotrop yapılı malzemelerin parçacıklar halinde matris malzeme içerisinde bulunması ile elde edilen kompozit malzemelere denir. Parçacıkların sertliğine bağlı olarak kompozit yapının mukavemeti artmaktadır. Isıl ve elektriksel iletkenliği iyi olan metal parçacıklar yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Şen, 2020).

- **Tabakalı Kompozitler**

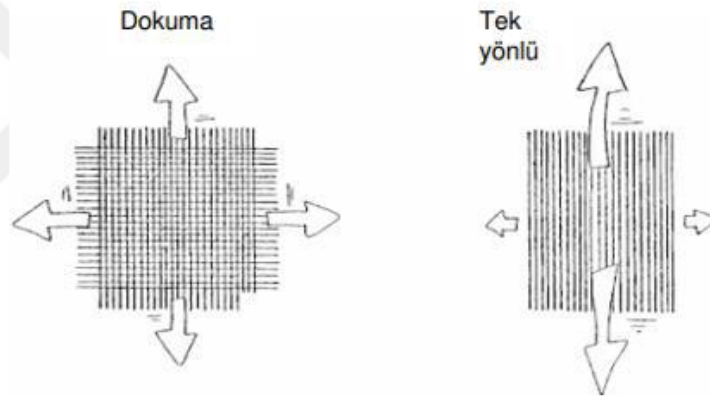
Farklı elyaf yönlenmesine sahip tabakaların birleşimiyle üretilen kompozit malzemelerdir. Tabakalı kompozitlerin, mukavemet değerleri yüksek, ısıya ve neme dayanıklıdır. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler, sandviç yapılar ve uçak parçalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Tabakalandırmada kullanılan tabakalar için örnek bir diziliş Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Şen, 2020).



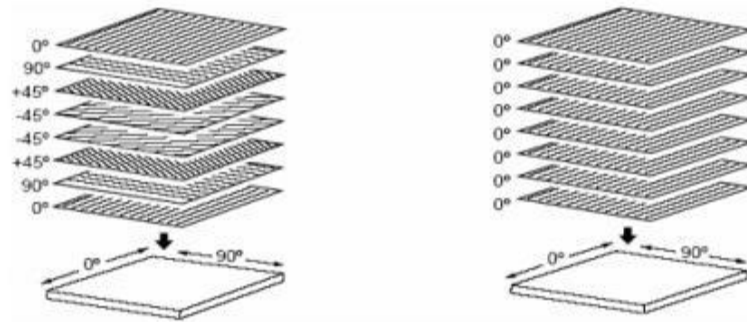
Şekil 1.2. Tabakalandırmada kullanılan tabakalar için örnek bir diziliş (Şen, 2020)

Tekstil takviyeli tabakalı kompozitlerde sadece lif kullanılan tek yönlü kompozit malzemeler, dokunmuş kumaş gibi çok yönlü kompozit yapılara göre daha üstün mekanik özelliklere sahiptirler (Şekil 1.3).

İzotropik malzemeler bütün doğrultularda benzer özellikler gösterir. Tabakalarda yönlendirme şekilleri Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Çok yönlü cam elyaf dokuma kumaşların iplik açılarından örnekleri Şekil 1.5’de gösterilmiştir (Şen, 2020).

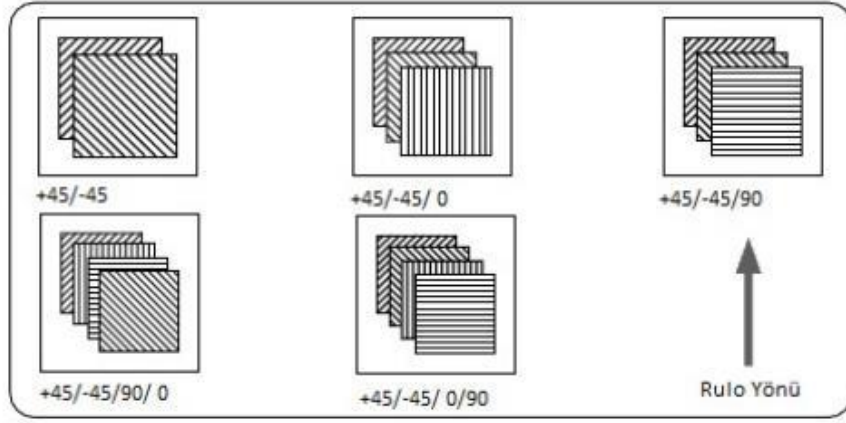


Şekil 1.3. Dokunmuş yapı ve tek yönlü elyafların gösterimi (Şen, 2020)



a) Yarı-izotropik yönlendirme b) Tek yönlü yönlendirme

Şekil 1.4. Tabakalarda yönlendirme şekilleri (Şen, 2020)



Şekil 1.5. Çok yönlü cam elyaf dokuma kumaşların iplik açılarından örnekler (Şen, 2020)

- **Karma (Hibrit) Kompozitler**

Hibrit kompozitler genel olarak bir organik polimer ve nanometre veya moleküler düzeyde bir veya daha fazla inorganik takviye elemanından oluşan kompozitler olarak tanımlanmaktadır.

b) Matris Türüne Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesinin cinsine göre;

- ✓ Seramik matrisli kompozitler
- ✓ Metal matrisli kompozitler
- ✓ Polimer matrisli kompozitler
- ✓ Karbon/karbon matrisli kompozitler
- ✓ Nano kompozitler

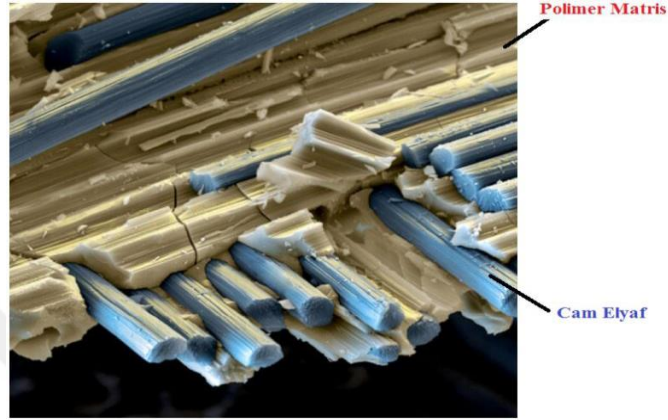
olarak beş ana gruba ayrılmaktadırlar (Sarıkaya, 2019).

- **Polimer Matrisli Kompozitler**

Kompozitler için en yaygın olarak kullanılan matris malzemesi polimerlerdir. Bunun iki nedeni vardır. Polimerler üstün mekanik özelliklere sahip malzemeler değildir. Birçok yapısal uygulama için mekanik özellikleri yetersiz kalmaktadır. Mukavemet ve rijitlikleri metaller ve seramiklere göre düşüktür. Polimerleri takviye ederek özelliklerini iyileştirmek uygulama alanında önemli katkı sağlamaktadır. Polimerlerin matris malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmalarının ikinci nedeni, kompozit üretimi esnasında çok yüksek sıcaklık ve çok yüksek basınç gerektirmemeleridir. Bu iki sebepten ötürü polimerlerin kompozit malzemelerde kullanımı çok yaygınlaşmıştır (Sarıkaya, 2019).

Polimer matrisli kompozitler; termoplastik, kauçuk ve termoset olarak üçe ayrılırlar. Polimer matrisler arasında polyester ve epoksi reçineler yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kullanılan takviye

malzemelerinin başlıcaları ise, kevlar lifi, bor lifi, karbon lifi ve cam lifleridir. Polimer matrisli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan üretim yöntemleri ise; sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, ekstrüzyon enjeksiyon kalıplama, tel sarma, pultrüzyon ve elle sıvama yöntemleridir. Polimer matrisli kompozit malzemeler korozyon dirençleri nedeniyle denizcilik alanında, hafif olmaları nedeniyle otomotiv, taşımacılık ve spor sektörlerinde kullanıma sahiptirler. Şekil 1.6'da polimer matrisli bir kompozit malzeme görülmektedir (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.6. Polimer matrisli kompozitler (Sarıkaya, 2019).

- ***Metal Matrisli Kompozitler***

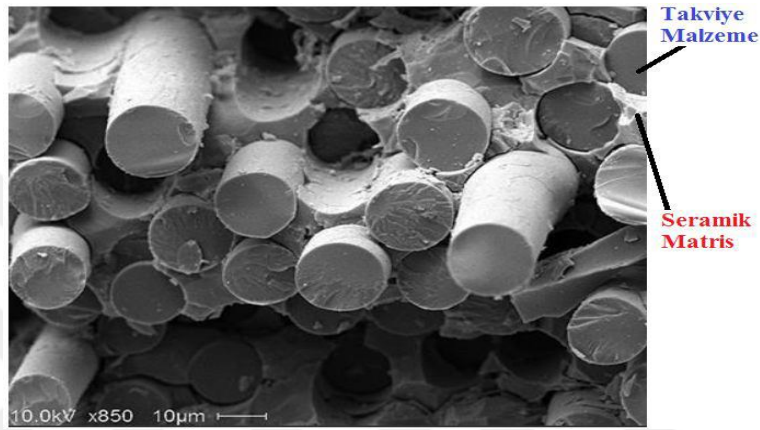
Boron ve silikon karbür liflerinin 1970'lerin başında üretilmeye başlanmaları, hafif metallerin takviye olarak kullanımları konusunun detaylı incelenmeye başlanmasını sağlamıştır (Sarıkaya, 2019). Metal matrisli kompozitler (Şekil 1.7), polimer matrisli kompozitlerle kıyaslandığında üstün mekanik özelliklere, üstün rijitliğe, yüksek kayma ve basma dayanımına ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde, çok özel parça ve komponentlerde kullanılmaya başlanmışlardır (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.7. Metal matrisli kompozitler (Miracle, 2005)

- **Seramik Matrisli Kompozitler**

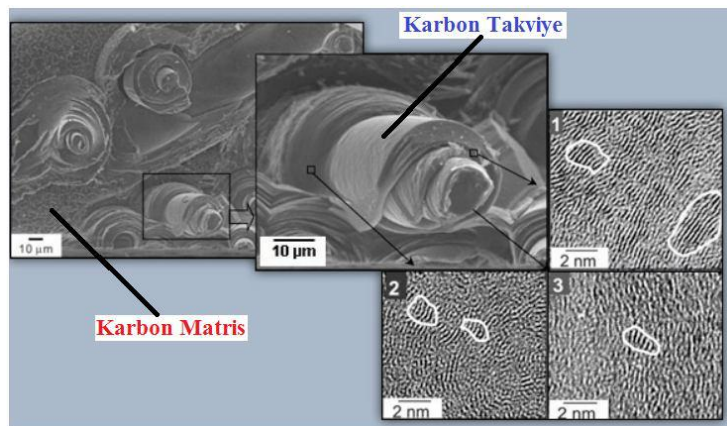
Seramikler görece yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptirler, fakat gevrektiler. Seramik matrisli kompozitler çoğunlukla gaz türbini bıçakları, otomotiv motoru parçaları gibi yüksek sıcaklığın olduğu sistemlerde kullanılırlar. Şekil 1.8’de seramik matrisli kompozit örneği görülmektedir (Sarıkaya, 2019). Seramik matrisli kompozitlerin diğer kullanım alanları askeri ekipmanlar, uzay araçları ve zırhlardır. Seramik matrise eklenen takviyeler; cam, seramik ve karbondur. Seramik matrisin seramik fiber ile takviye edildiği malzemelerde gevreklik azalmakta, mukavemeti yüksek ve tok bir malzeme ortaya çıkmaktadır (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.8. Seramik matrisli kompozitler (Sarıkaya, 2019)

- **Karbon-Karbon Kompozitler**

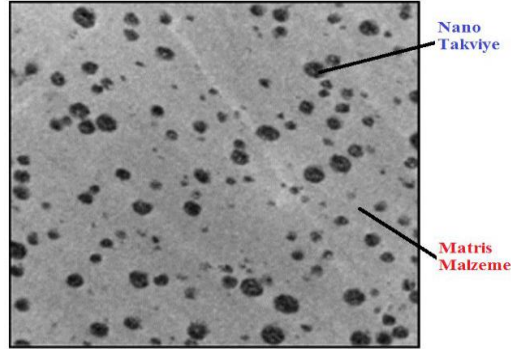
Karbon-karbon kompozitler, karbon fiber ve karbon matristen oluşan malzemelerdir. Bu malzemeler toksik olmayan ortamda yaklaşık 3000 °C’ye kadar stabildirler. Fakat bir yüzey kaplama işlemine tabi değillerse ya da kimyasal olarak modifiye edilmedilerse, oksijenin bulunduğu ortamda 400-500 °C’de bozunurlar. Şekil 1.9’da karbon-karbon kompoziti görülmektedir. Karbon-karbon kompozitler roket başlıklarında, ekstrüzyon nozullarında, fren disklerinde, uzay araçlarının kanatlarında kullanılmaktadır (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.9. Karbon-karbon kompozit

- *Nano Kompozitler*

Nano kompozitlerde boyutları 0,1 mikrondan küçük olan parçacıklar kullanılır. Bir matris içerisinde kullanılan parçacıkların boyutları nanometre mertebelerinde ise bu tür kompozitlere nano kompozitler (Şekil 1.10) denir (Sarıkaya, 2019).



Şekil 1.10. Nano kompozitler (Sarıkaya, 2019)

c) *Kullanım Alanlarına Göre Kompozitlerin Sınıflandırılması*

Kompozit malzemeler ilk ortaya çıkmasından bugüne kadar sürekli olarak değişim ve gelişim göstermektedir. Bu doğrultuda yeni üretim yöntemleri, yeni tür reçineler, farklı malzemelerin kullanımı gibi parametrelerin artması kompozit malzeme çeşitliliğini de artırmaktadır. Bu malzemeler günlük hayatta birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde önemli olanlardan bazıları Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kompozit malzeme kullanım alanları (Yüksek, 2011)

Otomotiv	Kaporta, otomobil iç donanım ekipmanları, hızlı tren vagonları, otobüs körükleri vb.
İnşaat	Dış ve iç cephe elemanları, yazlıklar, teraslar, güneşlik sistemleri, yalıtım gereken hava depoları vb.
Tarım	Su taşıma sistemleri, kanal elemanları, mısır, buğday silosu, sera örtüleri vb.
Ev gereçleri	Televizyon üniteleri, nakış makineleri, ev gereçleri için parça üretimi vb.
Elektrik/Elektronik	İzolasyon ve dayanım gereken alanlar vb.
Şehircilik	Çöp tenekeleri, bank, heykeller vb.
Havacılık	Uzay, sivil havacılık sektörleri vb.
Mobilya	Masa, koltuk, sandalye, kütüphane ekipmanları vb.

1.1.4. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

a) *Metal Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri*

- *Sıcak Presleme Yöntemi*

Bu yöntemde metal folyo arasına yerleştirilen elyafın sabit durması sağlanır, ardından belirlenen sıcaklıkta pres uygulanır. Presleme esnasında bağlayıcı özelliği bulunan malzeme uygulanır. Uygulanması gereken basınç değerleri 0.5-15 MPa aralığında, sıcaklık değerleri ise 80-170°C aralığında olmalıdır. Genelde Mg, Ti, Al ve alaşımlar matris malzemesi olarak tercih edilmektedir.

- ***Toz Metalürjisi Yöntemi***

Matris tozları ile (seramik, metal) kristalit ve kırık elyafın harmanlanarak karıştırılması esasına göre hazırlanan karışıma sıcak veya soğuk pres yardımıyla pres işlemi uygulanır ve bitirme işlemi ile sonuçlandırılır (Eti, 2017).

- ***Sıvı Metal Emdirme Yöntemi***

Üretim işlemi düşük erime noktasına sahip olan magnezyum, bakır, gümüş, gibi metallerin vakum veya basınç ile elyafa emdirme işlemi gerçekleştirme esasına dayanır (Eti, 2017).

- ***Elektroliz Yöntemi***

Elektrolitik kaplama sisteminde, kaplama metali olarak kullanılan anot ve üzerine kaplama yapılacak bir metalden katot olmak üzere iki elektrot mevcuttur. Sisteme bir elektrik akımı uygulandığında, katot üzerini kaplayan elyaf ve türevi malzemelere, pozitif kutupdaki anottan çözünen metal parçacıkları yapışmakta ve ardından presleme ile nihai ürün elde edilmektedir (Eti, 2017).

- ***Buhar Çökeltme Yöntemi***

Buhar formundaki Ni, Al gibi matrislerin elyaf yüzeyine çökeltme işlemi uygulanması ve son işlemde pres yapılması esasına dayanır (Eti, 2017).

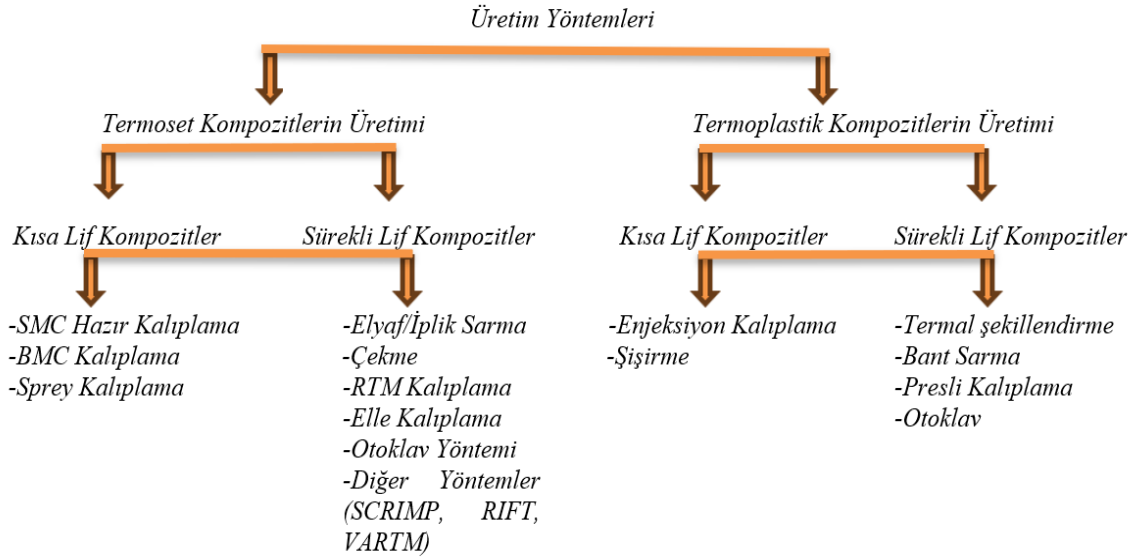
- ***Haddeleme Yöntemi***

Folyo ile elyafın merdane sistemi arasından iletilerek basıncın da yardımıyla birleştirilmesi işlemidir.

- ***Yüksek Performanslı Kompozit Üretimi***

Üretim aşamaları; üst kalıp alt kalıp üzerine oturtulur ve soğuk akışkan gönderilir. Isıl işlem sıcaklığında olan reçine 10-30 dk uygulanır. Soğutma işlemi sonrası parça kalıptan çıkartılır (Eti, 2017).

b) Polimer Matrisli Kompozit Üretim Yöntemleri



Şekil 1.11. Polimer matrisli kompozit üretim yöntemleri

Şekil 1.11’de belirtilen üretim yöntemlerinden ziyade burada polimer matrisli kompozitlerin (PMC) üretiminde sıklıkla kullanılan yöntemler ele alınacaktır.

- Termoset Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Termoset malzemeler, yüksek darbe dayanımı aranan ortamlardaki uygulamalar için ideal kompozit malzemelerdir. Isıya ilk maruziyetten sonra fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmediğinden, üst derecede dayanıklılık, yapısal bütünlük sunarlar ve birçok ortamda metal malzemelerden daha iyi performans gösterebilirler. Birçok üretim yöntemi mevcut olup, yaygın kullanılanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Hazır Kalıplama-Pres Kalıplama Metodu

Cam-Polyester dolgu ve katkı malzemeleri şeklinde hazırlanmış olan pestil veya hamur haldeki karışımın 50-120 kgf/cm² basınç altında ve 150-170°C sıcaklıkta çelik kalıplarla şekillendirilmesi yöntemidir. Kalıplama süresi 3-6 dakika gibi kısa olup hızlı ve seri kompozit üretimi sağlar (Eti, 2017).

SMC (Sheet Moulding Compound) Hazır Kalıplama Hamuru: Takviye olarak kullanılan kırılmış lif ile dolgu malzemesi ihtiva eden reçinenin önceden birleştirilmesi ile pestil malzemesi elde edilir. Sürekli filament 25-50 mm uzunluğunda kırılarak kesikli hale getirilmiştir. Takviye malzemesi kullanım miktarı %25-30 oranındadır.

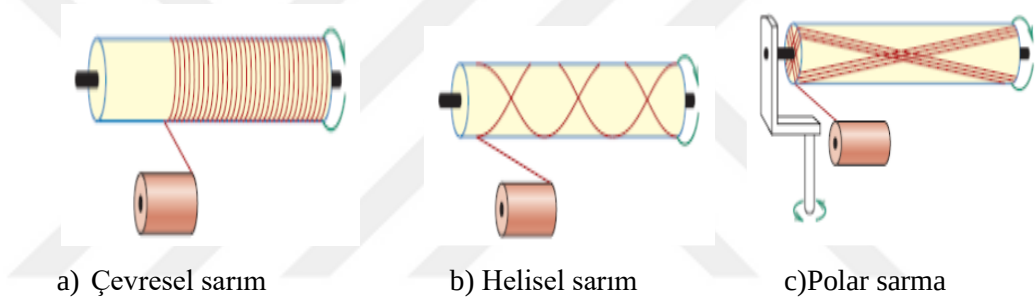
BMC (Bulk Moulding Compound) Hazır Kalıplama Hamuru: SMC de olduğu gibi takviye olarak kullanılacak kırılmış elyaf ve dolgu maddesi içeren karışımın önceden birleştirilmesi ile hazırlanan hamur biçiminde malzemedir.

Sprey Kalıplama (Spray Up)/ Püskürtme

Islak kalıplama yönteminin uygulanmasında kullanılan bir tekniktir. Kırpılmış elyafın içeren kalıp yüzeyine, içerisinde sertleştirici bulunan reçinenin elle yatırma yönteminden farklı olarak bir aletle yani özel bir tabanca ile püskürtülmesi sonucu kompozit malzeme elde edilir. Elyafın kırılması tabanca üzerindeki kırpıcı ile gerçekleştirilir. İşlem sonrası yüzey rulo ile düzeltilir. Bu yöntem ile daha fazla ürün elde edilir. Püskürtme yüzeye dik yapılmadığı takdirde malzeme israfı gerçekleşir (Eti, 2017).

Elyaf/ İplik Sarma

Sürekli liflerin reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaradan çekilerek dönen bir kalıp üzerine sarılmasıdır. Liflerin farklı açılarla kalıba sarılmasıyla oluşturulan üründe elde edilen mekanik özellikler değişiklik gösterir. Bu yöntem ile elde edilen ürünlerin yüksek kalite ve mukavemette olması için sürekli lifler kalıp üzerine farklı şekillerde (Şekil 1.12) ve düzenlerde sarılabilir (Eti, 2017).



Şekil 1.12. Liflerin kalıp üzerine sarım şekilleri (Eti, 2017).

Çevresel sarımda fitiller mandrelle dik bir açıyla (90°) sarılmaktadır. Helisel sarımda mandrelin sabit hızla hareketi esnasında elyaf yönlendiricisi mandrelle paralel şekilde helisel açıyı vererek hareketini gerçekleştirir. Polar sarma yöntemi genellikle basınçlı kapların uçtan uca sarılmasında kullanılır.

Çekme (Pultrusion)

Sürekli takviye elyaf reçine banyosunda işlem görüp $120-150^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleştirilir. Takviye elemanının sürekli elyaf olması nedeniyle takviye yönünde çok yüksek mekanik mukavemet elde edilir.

Reçine Transfer Kalıplama (RTM)/ Reçine Enjeksiyonu

Bu yöntemde dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılır. İki kalıp kullanılması sonucunda iki yüzü düzgün ürün elde edilir. Takviye edilecek elyaf işlem öncesinde kalıp içerisine boşluğu dolduracak şekilde yerleştirilerek kalıp kapatılır. Elyafın kalıp içerisinde sürüklenmesini engellemek

üzere matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak reçine basınç ile kalıba pompalanır. İçerideki havanın dışarı çıkarılarak reçinenin elyafa daha iyi nüfuz etmesi için vakum kullanılabilir (Eti, 2017).

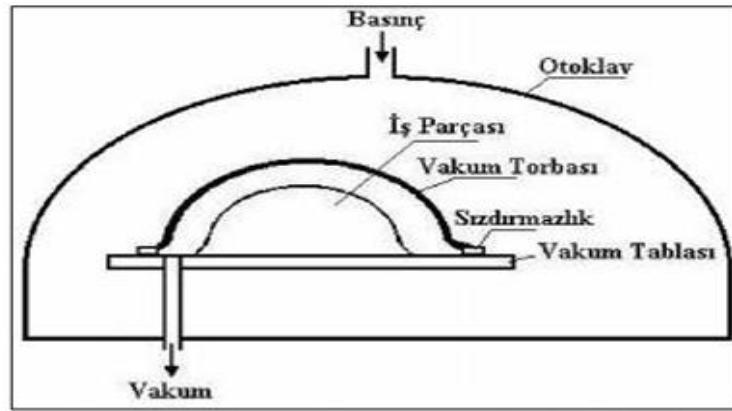
Elle Tabakalama/ El Yatırma (Hand Lay Up)

Elle yatırma yöntemi; bir kalıba veya pürüzsüz yüzeye elle yerleştirilen elyaf veya dokunmuş yapı üzerine dökülen reçinenin bir rulo veya fırça yardımıyla emdirilmesi işlemi sonucunda kürleşmesi, kürleşme sonrasında kalıptan veya yüzeyden malzemenin ayrılması işlemidir.

Otoklav Yöntemi

Malzeme içerisinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen yok etmek amacıyla sızdırmaz torba ile elyaf-reçine karışımına uygulanan basınç ek olarak dışarıdan sıkıştırılmış gazın yani dışsal basıncın malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesi şeklinde uygulanan yöntemdir (Eti, 2017).

Otoklav vakum torbalama prensibiyle çalışan fakat üretimin basınçlı bir kap içerisinde gerçekleştirilmesiyle vakum torbalamadan ayrılan bir yöntemdir (Şekil 1.3). Üst parçada basınç azot gazıyla gerçekleştirilmekte ve parçanın sertleşmesi fırın içerisinde sıcaklıkla sağlanmaktadır (Arabacılar, 2021).



Şekil 1.13. Otoklav yöntemi üretim şeması (Arabacılar, 2021)

- Termoplastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

- ✓ Enjeksiyon Kalıplama
- ✓ Presli Kalıplama
- ✓ Termal Şekillendirme (Thermoforming-Vakum)
- ✓ Şişirme (Blow Molding)

Enjeksiyon Kalıplama

Plastik matrisli kompozitler; takviye elemanı olan granüllerin besleme bölümünden direkt ilave edilmesi veya matris elemanı olarak plastik granüllerin ve takviye elemanı olarak elyaf malzemenin ayrı ayrı besleme ünitesinde birleştirilmesi ile üretilmektedir (Eti, 2017).

Presli Kalıplama

Sıcak ekstrüderden çıkan yumuşak haldeki termoplastik levha üzerine elyafların takviye edilmesi ve lif katmanı oluşturulması sonrasında bu katman üzerine yine yumuşak haldeki termoplastik levhanın serilmesi işleminden sonra yapının soğuk silindirler arasından geçirilmesi ile kompozit malzeme elde edilir (Eti, 2017).

Termal Şekillendirme (Thermoforming-Vakum)

Levha formundaki termoplastik malzemelerin şekillendirilmesi işleminde levha yumuşama noktasına kadar ısıtıldıktan sonra erimeden vakum yardımıyla malzemeye istenilen şeklin verilmesi esasına göre üretim yapılmaktadır. Bu yöntemde kalıp boşluğunda bulunan hava emilir ve ısıtılmış levha kalıbın şeklini almaktadır. Termoplastik malzeme sertleştikten sonra vakumlama işlemi sonlandırılarak kompozit malzeme kalıptan çıkartılır (Eti, 2017).

Şişirme (Blow Molding)

Şişirme ile kalıplama plastiğin eritildiği ve içi boş bir tüpe, bir forma veya kalıba ekstrüde edildiği bir üretim sürecidir. Eriyik metal kalıpta tutulur ve kapatılır. Metal kalıba daha sonra hava üflenir ve böylece istenen şişe veya kap şekline getirilir. Plastik soğuduktan sonra kalıp açılır ve parça boşaltılır (Eti, 2017).

1.1.5. Kompozit Malzemeler Uygulanan Başlıca Test Yöntemleri

Kompozit malzemeler birçok farklı üretim yöntemiyle üretilmekte ve çok çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir. Üretilen kompozit malzemelerin kullanım alanına uygunluğunu belirlemek amacıyla kompozit malzemelere üretim yöntemi veya kullanılan matris veya takviye malzemesi türüne göre testler uygulanmaktadır. Bu testler yöntem olarak birbirlerinden farklı olmakta birlikte kompozit malzemenin farklı özelliklerini belirlemek amacıyla belirli standartlara uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Bu testlerden mekanik özellikleri belirlemek amacıyla kullanılanlardan başlıcaları;

- Yüzeye dik çekme mukavemeti
- Akma mukavemeti
- Kopma mukavemeti
- Basma mukavemeti

- Eğme mukavemeti
- Yorulma mukavemeti
- Darbe dayanımı
- Sürünme dayanımı
- Kırılma tokluğu
- Elastisite modülü
- Poisson oranı
- Rezilyans modülü
- Kayma modülü
- Tokluk
- Sertlik
- Aşınma dayanımı
- Sürtünme katsayısı
- Süneklik ve gevreklik
- Isı iletkenlik katsayısı
- Ses yutum özellikleri
- Elektromanyetik kalkanlama

şeklinde sıralanabilmektedir (<https://malzemebilimi.net>).

1.2. Ses ve Ses İletimi

Maddeleri oluşturan moleküllerin herhangi bir nedenden dolayı titreşmesi ve bu titreşimlerin atmosfere yayılması sonrasında oluşan periyodik basınç değişimlerinin insan kulağı tarafından algılanmasına ses adı verilmektedir. Moleküllerin oluşturduğu titreşimlerle ses dalgaları kaynağından enerji taşımaktadır. Ses dalgalarının yayılabilmesi için maddesel ortama ihtiyaç duyulmaktadır. Maddenin katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarında iletim gerçekleşirken boşlukta ses iletimi gerçekleşmez. Yani ses dalgalarının hareketini bulunduğu ortam belirler, hareket eden ortam değil hareket enerjisidir (<https://diyot.net>).

Günümüzde ses dalgalarından işitme işi dışında da pek çok alanda yararlanılmaktadır.

Tarımsal alanlarda;

- Ultrason yöntemiyle meyve ve sebzelerin besin değerlerini koruyarak, düşük maliyetli, hızlı ve kaliteli bir şekilde kurutularak saklanması işlemlerinde kullanılmaktadır.
- Sütün sterilize edilmesi işlemlerinde kullanılmaktadır.

Tıp alanında;

- Yüz gençleştirme
- Cilt sıkılaştırma, gerdirme işlemlerinde
- Vücutta oluşan böbrek taşlarının kırılması işlemlerinde
- İstenmeyen yağların yok edilmesi ve zayıflama işlemlerinde
- Gebeliklerde anne karnında bebeğin görüntülenme işlemlerinde
- Teşhis amaçlı kullanılan puls-eko ve Doppler kayması yöntemi esasına göre çalışan ultrason cihazlarında
- Ultrason metoduyla yumuşak doku olan karaciğer, dalak, pankreas, böbreklerin incelenmesinde kullanılmaktadır (<https://diyot.net>).

Yer tespiti işlemlerinde;

- Maddelerin yerini tespit etme teknolojisinde ses ve basınç dalgaları kullanılmaktadır. Bu teknoloji 20. yüzyılda savaşta kullanılmak amacıyla geliştirilmiş olsa da günümüzde batık gemileri belirleme, deniz tabanı haritalarının çıkarılması gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır (<https://diyot.net>).

Endüstri ve Sanayi alanlarında;

- Üretilen ürünlerin kalite kontrol işlemlerinde
- Metallerin ince toz haline getirilmesi işlemlerinde
- Özel metal alaşımları oluşturma işlemlerinde
- Gaz karışımlarından gazları ayırma işlemlerinde
- Sert maddeleri delme ve işleme işlemlerinde
- Hız ölçümleri işlemlerinde kullanılmaktadır.

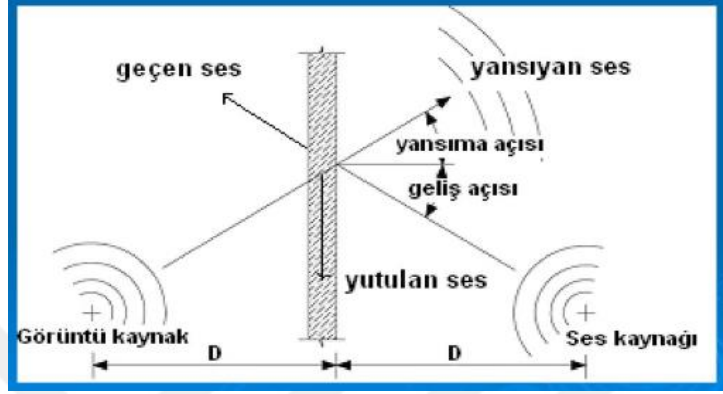
Temizlikte;

- Fabrikaların kirli gaz ve suları içerisinde bulunan maddeleri (süspansiyon halindeki) çöktürme işlemlerinde
- Fabrika bacalarından çıkan gazları temizleme işlemlerinde kullanılmaktadır (<https://diyot.net>).

1.2.1. Akustik ve Ses

Akustik, sesin oluşumu, yayılması ve duyulması gibi konularla ilgilenen bir bilim dalıdır. Akustik kelimesi yunan kökenli duymak kelimesinden gelmektedir (Yumşak, 2010).

Havada ilerleyen ses ve enerjisi (ses titreşimi) bir yüzeye ulaştığında enerjinin bir kısmı yansiyabilir veya absorbe edilebilir, bir kısmı ise yüzeyi geçerek yoluna devam edebilir (Şekil 1.14).



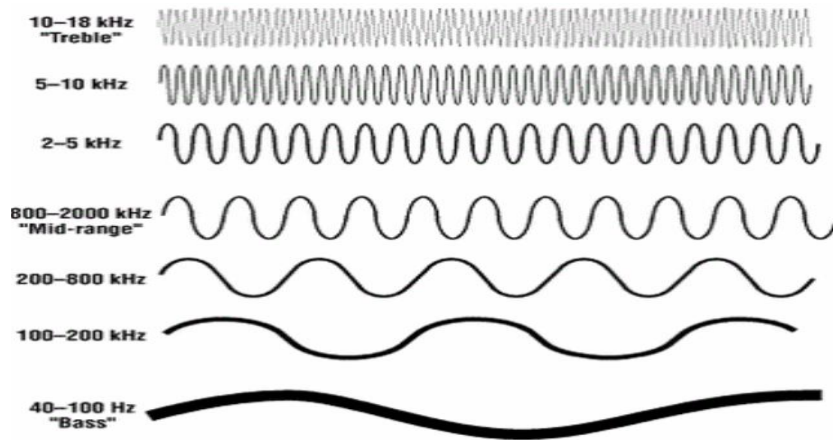
Şekil 1.14. Bir engelle karşılaşan ses dalgasının davranışı

Dünya genelinde pek çok ülkede özellikle endüstri ve inşaat sektörlerinde oluşabilecek gürültü miktarlarını sınırlayıcı kanunlar hayata geçirilmiştir. Bu uygulamaların temel amacı, gürültüye uzun süre maruz kalma sonucu oluşabilecek duyma bozuklukları gibi olumsuzlukları azaltmaktır (Yumşak, 2010).

1.2.2. Sesin Fiziksel Özellikleri

Frekans

Sesi oluşturan titreşimlerin, saniye başına tamamlanan dalgalanma (veya devir) sayısı frekans olarak tanımlanmaktadır. Frekansın uluslararası birimi Hertz (Hz) ve boyutu s^{-1} 'dir.



Şekil 1.15. Havada ses yayılması olayında dalga boyu ile frekans ilişkisi (Dalbudak, 2018)

İnsan kulağı 20 Hz - 20000 Hz aralığındaki frekansı işitebilmekte olup bu değer yaş ve kulak hassasiyetine göre farklılaşmaktadır. İşitme alanının özellikle üst sınırı sapsmalar gösterebilmektedir. Makinalarda gürültü ile mücadele genellikle 50 ile 10000 Hz alan arasında yapılmaktadır. Hacim akustiği ile ilgili sorunlar 63 ile 8000 Hz arasında ele alınmaktadır. Yapı elemanlarının ses yalıtımı konusunda ise 100 Hz ile 3150 Hz'in sınırlandırıldığı frekans alanı önem kazanmaktadır.

Ses frekansının değişimi, işitmede sesin incilmesi ve kalınlaşması şeklinde algılanmaktadır. Seslerin kulak tarafından ayırt edilmesinin en önemli unsuru frekansdır (Yumşak, 2010). Frekans aralığına göre sesin kalınlık - inceliği tanımı Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Frekans aralığına göre sesin kalınlık - incelik tanımı

Frekans Aralığı	Sesin Adlandırılması
16 Hz'in altındaki titreşimler	Ses altı (subsonik)
16 – 100 Hz	Çok kalın ses
100 – 400 Hz	Kalın ses
400 – 1600 Hz	Orta kalın ses
1600 – 3150 Hz	İnce ses
3150 – 16000 Hz	Çok ince ses
20000 Hz üzeri	Ses üstü (ultrasonik)

Dalga Boyu

Titreşen bir objenin aynı noktadan aynı yönde art-arda iki geçişi ile tamamlanan olayın süresine periyot denir. Dalga boyu, yayılan bir titreşim etkisinin, bir devir süresi içinde geçtiği yolun boyu olup, hız ve frekansla bağlantılı olarak;

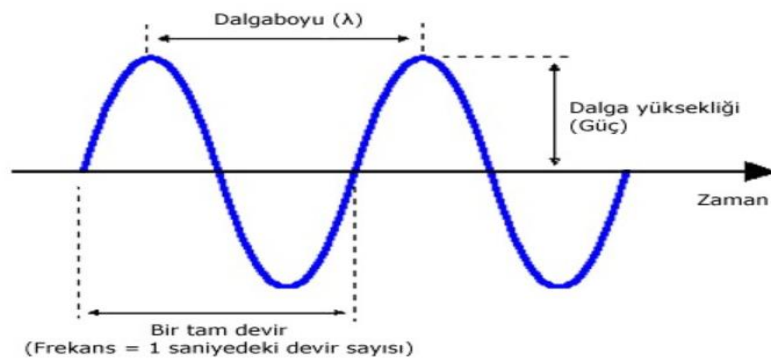
$$\lambda = c/f$$

λ : Dalga boyu (ft),

c: Sesin hızı (ft/s),

f: Frekans (Hz)

şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 1.16) (Yumşak, 2010). Frekans ve sesin dalga boyu arasındaki ilişki ise Çizelge 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.16. Dalga boyu

Çizelge 1.3. Frekans ve sesin dalga boyu arasındaki ilişki (<https://www.mevzuat.gov.tr/>)

Adı	Frekans Aralığı	Kısaltması	Dalga Boyu
Çok Düşük Frekans	10-30 kHz	VLF	300 - 10 km
Düşük Frekans	30-300 kHz	LF	10 - 1 km
Orta Frekans	0.3-3.0 Mhz	MF	1000 - 100 m
Yüksek Frekans	3-30 MHz	HF	100 - 10 m
Çok Yüksek Frekans	30-300 MHz	VHF	10 - 1 m
Ultra Yüksek Frekans	300-3,000 MHz	UHF	1 – 0,1 m
Süper Yüksek Frekans	3-30 GHz	SHF	100 - 10 cm
Son Derece Yüksek Frekans	30-300 GHz	EHF	10 - 1 cm
Kızılötesi ışık	300GHz-400THz	IR	1mm - 0,0008mm

Sesin Hızı

Sesin yayılma hızı ortamın özellikleri ile ilgilidir. Yapı akustiğinde ses hava aracılığıyla yayıldığından en önemli parametre sesin ilerlediği ortamın şartlarıdır. Hava içinde meydana gelen sesin iletilmesi veya herhangi bir yapı elemanının içinde meydana gelen sesin iletilmesi bakımından da katı cisimlerdeki ses olayları önem kazanmaktadır (Yumşak, 2010). Farklı ortamlarda sesin yayılma hızı ile ilgili bazı bilgiler Çizelge 1.4’te görülmektedir.

Çizelge 1.4. Değişik ortamlarda sesin hızı (Karaağaçlıoğlu,2012)

ORTAM	Yayılma Hızı (m/sn)
Hava (0 °C’ta)	331
Hava (21 °C’ta)	344
Mantar	500
Kurşun	1200 – 2400
Su	1450
Sert Kauçuk	1400 – 2400
Beton	3200 – 3600
Tahta	3300 – 4300
Tuğla	3600
Dökme Demir	3500 – 5600
Mermer	3800
Cam	4000 – 5600
Pirinç	4700
Demir	5100 – 6000
Bakır	3600 – 4760
Çelik	5800 – 6000
Alüminyum	5100 – 6400

Genlik ve Ses Titreşim Hızı

Bir titreşim hareketinde ortam elementlerinin, titreşim hareketleri ile gidip geldikleri uzaklığa titreşimin genliği adı verilmektedir. Bir ses titreşiminde genliğin azlığı veya çokluğu, ses şiddetinin azlığı veya çokluğu anlamına gelmektedir. Örneğin, bir piyano tuşuna daha hızlı vurmakla o tuş ile ilgili tel daha fazla titreşmekte, yani genliği artmakta ve ses daha kuvvetli çıkmaktadır (Yumşak, 2010).

Desibel

Desibel (dB), algılanan ses düzeyi ya da gürültü düzeyidir. Ses basınç seviyesi, ses kaynağından verilen yoğunluktur, niceliği desibeldir ve kolaylıkla ölçülebilmektedir (Yumşak, 2010).



Şekil 1.17. Farklı kaynaklarda meydana gelen sesin ortalama desibel değeri (<https://shoptr4.senourrir.net>)

Ses Basıncı ve Ses Basınç Seviyesi

Ses basıncı kulakta ses duyumunu oluşturur, ses basıncı atmosferdeki hava basıncına karışan, ses kaynağının meydana getirdiği hava basıncının zaman içindeki değişimidir. Havadaki ses dalgası, atmosfer basıncının altındaki ve üstündeki farklı basınç değerlerinde olabilir. Ses basıncı Paskal (Pa) ile ölçülmektedir. İnsan kulağı geniş çeşitlikteki ses basınçları karşısında tepkiler vermektedir (Yumşak, 2010).

Ses basınç seviyesi (L_p);

$$L_p = 10 \log(P/P_{ref})^2 = 20 \log(P/P_{ref})$$

formülü ile ifade edilmektedir. Karesi alınan p/p_{ref} oranı enerji veya yoğunluğun niceliksel oranını vermektedir. Havadaki ses basınç seviyesi için referans basınç p_{ref} ise $20 \mu Pa$ 'dır (Yumşak, 2010).

Ses Yoğunluğu ve Ses Yoğunluk Seviyesi

Ses yoğunluğu, belirlenen yöndeki noktadan, birim alan boyunca ses enerjisinin akış oranıdır. Birim alan, belirlenen yöne diktir ve yoğunluğun birimi W/m^2 'dir. Ses yoğunluğu seviyesi LI, desibel (dB) ölçeğinde ifade edilmektedir ve referans niceliği $10^{-12} W/m^2$ 'dir (Yumşak, 2010).

Sesin Yansıması

Bir ortamda yayılan ses, karşısına herhangi bir madde çıktığı zaman bu maddeye çarpmakta, çarpan ses enerjisinin bir kısmı maddeyi geçmekte, bir kısmı madde tarafından yutulmakta ve geri kalanda bilinen yansıma kurallarına göre yansımaktadır. Ses enerjisinin geçme, yutulma ve yansıma oranları; maddenin cinsi, niteliği, geometrik şekli ve yüzeyinin durumu ile ilgilidir (Yumşak, 2010).

Ses yansımasının insanda duyulması bazı durumlarda yankı ve ses uzaması şeklinde belirlemektedir. Genellikle her şeyde olduğu gibi insan kulağında da atalet vardır. Ses izlerinin kulak zarında belirli bir süre kalıcılığı vardır (Yumşak, 2010).

Sesin Kırınması

Sesin kırınması, ses dalgasının bir engel dolayısıyla yön değiştirmesi olayıdır. Işıқта olduğu gibi seste de kırınmanın şartı, bir aralıktan geçme veya bir yüzeyde ışıının dalgasının rastladığı aralık, kenar, köşe veya çeşitli engellerin boyutlarının gelen ışıının dalga boyundan ufak olmasıdır. Akustikte ses kırınması olayına ses dalga boylarının büyük olması sebebiyle (20 metreye kadar) oldukça rastlanmaktadır (Yumşak, 2010).

Sesin Yutulması

Ses yutumu, yüzeye iletilen sesin bir bölümünün, birbiriyle bağlantılı boşluklar içerisine iletilmesi veya yayılması olayıdır. Yüzeye gelen ses yoğunluğunun yutulmasının belirlenmesinde ses yutum katsayısı kullanılmaktadır. Ses yutum katsayısı (α) aşağıdaki formül kullanılarak ifade edilebilmektedir:

$$\alpha = I_{\text{abs}} / I_{\text{inc}}$$

I_{abs} : Yutulan ses yoğunluğu (W/m^2)

I_{inc} : Gelen ses yoğunluğu (W/m^2)

Ses yutumu, ses enerjisinin ısıya dönüşümünün sonucunda meydana gelir. Ses, gözenekli malzemelere girdiğinde; ses basıncından dolayı, hava molekülleri, ses dalgasının oluşturduğu frekansla (ses kaynağının saniyedeki titreşim sayısı) birlikte gözenekli malzemelerin boşluğunda dalgalanır. Bu dalgalanma sürtünme kaybı ile sonuçlanır. Ses dalgasının akış yönünün değişimi, düzensiz gözenekler boyunca akışın genişlemesi ve daralması olgusuna ilaveten hızın azalmasının sonucudur. Ses varlığında gözenek içerisindeki hava molekülleri periyodik basınca ve gevşemeye

maruz kalırlar. Bunun sonucunda da sıcaklık değişimi meydana gelir. Ses, yutucu (absorplayıcı) malzeme içerisinden geçtiğinde bütün bu nedenlerden dolayı (sürtünme kaybı, hız kaybı, sıcaklık dalgalanması) ses enerjisi kaybı olur (Yumşak, 2010).

1.2.3. Ses Yutumu Sağlayan Malzeme Uygulamaları

Ses enerjisinin azaltılması yöntemi olan yutum olayı ile ses dalgasının malzeme içerisinden geçmesiyle, malzemenin sesi yuttuğu (absorpladığı) ifade edilmektedir. Genellikle bu malzemeler yansıtılan ses dalgasını azaltarak kapalı ortam akustiğini yumuşatmak için kullanılmaktadırlar.

Etkili bir şekilde sesi yutan malzemede, malzemeye çarpan ses enerjisinin diğer bir formdaki enerjiye dönüşmesi (genellikle ısı enerjisi) gerekmektedir. Gözenekli yapıdaki yutucu malzemeler bilinen en iyi ses yutan malzemelerdir. Bunlar genellikle havlı malzemeler, lifli malzemeler veya yumuşak kauçuk malzemelerdir. Sesi yutan malzemeler, koruma amacıyla, akustik olarak geçirgen malzemelerle (örneğin dokuma kumaşlar veya ince filmler) kaplanabilmektedir (Yumşak, 2010).

Köpükler, çok yönlü olarak kullanılabilen sesi yutan malzemelerdir. Üretim prosesinde uygun değişikliklerin yapılmasıyla, akustik özellikleri yeniden oluşturulabilmekte ve kolaylıkla denetlenebilmektedir. Yaygın olarak polyester ve polietil biçimleri kullanılmaktadır. Ancak öncelikli olarak ağısı yapılarına ve hücre boyutları özelliklerine önem verilmektedir. Hücre boyutları, her santimetrede 5 ile 50 gözenek arasında değişebilmektedir. Ayrıca bu malzemelerin kalınlık ve yoğunlukları rahatlıkla ayarlanabilmektedir (Yumşak, 2010).

Ses yutumunda kullanılan lifli malzemeler, genellikle cam liflerinden ve mineral yünlerinden oluşmaktadır. Bu malzemelerin akustik özellikleri lif çapları, hacimsel yoğunlukları ve ürün kalınlıkları değiştirilerek ayarlanabilmektedir.

Malzemelerin özellikleri, ses yutum verimini etkilemektedir. Bu özellikler önem sırasına göre kalınlık, yoğunluk, gözenekli yapı, elastikiyet katsayısı ve akustik empedanstır. Sesi yutan malzemelerin çoğunda, kalınlık özelliği ses yutum performansında belirleyici faktördür. Cam ve mineral lifli malzemeler ile gözenekli plastik malzemelerde diğer özelliklere göre kalınlık özelliğinin artmasıyla yaklaşık olarak 10 kez daha etkili sesi yutma kabiliyeti görülmektedir. İkinci önemli özellik ise akış direncidir. Sesi yutan malzemelerin iç kısmı boya veya film katmanı gibi materyallerle engellenirse ses yutum değerleri önemli ölçüde azalabilmektedir (Yumşak, 2010).

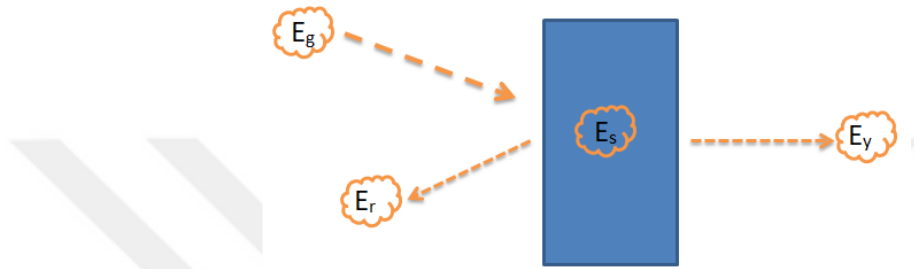
Günümüzde, ticari uygulamaların çoğunda, tavan ve duvar kaplamalarında sesi yutan malzeme olarak cam lifi, mineral lifi veya plastik köpüklerden oluşan ürünler uygulanmaktadır. Bu kullanılan malzemelerin hepsinde ses yutumu, ses dalgasının aktif hareketi ile liflerin çevresindeki hava boşlukları veya gözeneklerde meydana gelmektedir (Yumşak, 2010).

1.2.4. Ses Yutum Katsayısı ve Ölçüm Metotları

Ses enerjisi bir cisme çarparak 3 farklı enerjiye ayrılmaktadır. Gelen ses enerjisi (E_g), yansıma ses enerjisi (E_r), soğurulan ses enerjisi (E_s) ve yayılan ses enerjisi (E_y)'dir. Gelen enerji bu 3 enerjiye dönüşmektedir. Yutma katsayısı (α) soğurulan ve yayılan enerjilerin toplamlarını yani yansımadan geriye kalan enerjinin oranını vermektedir (Şifa, 2019).

$$E_g = E_r + E_s + E_y$$

$$\alpha = (E_g - E_r) / E_g = (E_s + E_y) / E_g$$



Şekil 1.18. Cisme çarpan sesin enerjilere ayrılması

Ses yutma katsayısı, ölçülen frekanslar aralığında 0 ile 1 arasında değişen değerler alabilmektedir. 0'dan 1'e doğru gidildikçe ses yutum performansı iyileşmektedir. Yani bir maddenin ses yutum katsayısı 0 ise bütün ses enerjisi yansıtılıyor, 1 ise bütün enerji soğuruluyor demektir. Bir malzeme kaynaktan gelen enerjinin %35'ini yutuyor %65'ini yansıtıyor ise bu malzemenin ses yutum katsayısı 0,35 değerini almaktadır. İnsan kulağının hassas olduğu frekanslar göz önüne alındığında malzemeler için bir NRC katsayısı belirlenmektedir (Çizelge 1.5). NRC katsayısı 'gürültüyü azaltma katsayısı' anlamına gelmektedir. Gürültüyü azaltma katsayısı malzemelerin 4 farklı frekanstaki (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) ses yutma katsayıları ortalaması ile belirlenmektedir (Şifa, 2019).

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4$$

Yalıtım malzemesi olarak tercih edilen bazı malzemelere ait ses yutum katsayıları Çizelge 1.5'te verilmiştir. Çizelgede farklı türdeki malzemelere ait bu belirli değerdeki bu frekanslar ile malzemelerin NRC değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1.5. Yalıtım malzemesi olarak tercih edilen bazı malzemelere ait ses yutum katsayıları

Malzeme	Ses Yutum Katsayısı (α)					
	(Kg/m ²)	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	NRC
Alçıpan tavan (12 mm)	*	0.10	0.06	0.05	0.04	0.062
Cam Yünü (50 mm)	50.0	0.45	0.65	0.75	0.80	0.663
Taş Yünü (50 mm)	80.0	0.29	0.52	0.83	0.91	0.638
Polistren levha (50 mm)	28.0	0.22	0.42	0.78	0.65	0.518
Poliüretan levha (50 mm)	30.0	0.30	0.68	0.89	0.79	0.665
Polietilen levha (50 mm)	32.0	0.25	1.00	0.40	0.70	0.588
Polyester levha (45 mm)	20.0	0.56	0.85	0.98	0.95	0.835
Kenaf elyaf (50 mm)	50.0	0.48	0.74	0.91	0.86	0.748
Halı (Beton üzerinde)	*	0.06	0.14	0.37	0.60	0.292
Halı (kauçuk köpük üzerinde)	*	0.24	0.57	0.69	0.71	0.382
Kontrplak levha (1 cm)	138.0	0.22	0.17	0.09	0.10	0.347
Hemp elyaf (50 mm)	40.0	0.59	0.60	0.56	0.52	0.568
Parke kaplama (10 mm)	120.0	0.04	0.07	0.06	0.06	0.057
Flax (35 mm)	43.0	0.66	0.84	0.79	0.53	0.705
Hindistancevizi lifi (35 mm)	70.0	0.28	0.40	0.64	0.74	0.515
Tahta blok (50 mm)	145.0	0.05	0.05	0.04	0.04	0.045
Yün elyaf (60 mm)	25.0	0.24	0.38	0.62	0.84	0.520
Tahta tavan kaplaması (20 mm)	145.0	0.19	0.14	0.08	0.13	0.135
Selüloz elyaf (50 mm)	28.0	0.60	0.90	0.75	0.53	0.695
Tuğla	*	0.03	0.03	0.04	0.05	0.037
Lastik granül levha (5 mm)	1400	0.20	0.82	0.50	0.56	0.520

Ses yutum katsayısı ölçüm metotlarından yaygın olarak kullanılanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

a) Empedans Tüpü

Empedans tüpü malzemelerin akustik özelliklerini belirlemede kullanılır. Bu yöntemde sızdırmaz, düzgün ve rijit bir tüpün içine numune yerleştirilir. Tüpün içerisinde ses kaynağı ve mikrofonlar da mevcuttur. Ses kaynağı ve numuneler tüpün karşılıklı uçlarında, mikrofonlar da aralarında bulunmaktadır. Düzlemsel dalgalar bu hoparlörler tarafından gönderilir ve tüpün içerisinde oluşacak olan ses basıncı değeri [Pa] malzeme tarafına yakın olan mikrofonlar vasıtasıyla ölçülür. İki mikrofonun elde ettiği değerler bilgisayara gönderilerek yansıma değeri, empedans değeri ve ses yutma katsayısı yazılımlarla ölçülmektedir. Ölçüm yapılabilecek frekans aralığı empedans tüpünün çapı ve mikrofonlar arasında olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. ISO 10534 ve ASTM E1050-98 standartları kullanılmaktadır (Şifa, 2019).

b) Çınlama Odası

Yankılanma odaları akustik enerjinin düzgün dağılımı ve rastgele bir ses yönü ile dağınık bir insidans ses alanı yaratmak için tasarlanmıştır. Bu odalar mobil ses kaynaklarının ses gücü seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmakta, ayrıca ASTM C423 ve ISO 354 standartlarına göre ses emme katsayısı da ölçülebilmektedir.

c) Anekoik Oda

Anekoik oda içerisindeki duvarların ses yutucu materyallerle kaplandığı yankısız yani duvardan gelebilecek ses yansımalarının ortadan kaldırıldığı bir odadır. Bu odalar birçok ölçüme elverişlidir çünkü açık hava akustiği ve kapalı ortam ses yalıtımını aynı alanda toplarlar. Anekoik odalar her frekans aralığında çalışmazlar, dolayısıyla ölçüm yapılacak cismin boyutlarına ve frekanslarına göre tasarlanması gerekmektedir (Şifa, 2019).

1.3. Isı ve Isı İletimi

Isı; madde veya cisimlerin kütlesi içerisinde sahip olduğu toplam enerji miktarıdır. Isı, cisimler aralarındaki sıcaklık farkı nedeni ile birinden diğerine iletim yoluyla geçebilmektedir.

Isı iletimi: Maddelerde ısı akışının üç temel şekli vardır. Bunlar iletim, taşınım ve ışınlama ısı akışlarıdır. Isı iletimi ise şu şekilde tanımlanabilir; herhangi bir katı malzeme veya durağan akışkan içerisindeki sıcak alanda barınan enerjinin daha soğuk alana doğru geçmesi yani ısıyı aktarmasıdır. Bir katı madde içerisinde sıcaklık farkları mevcutsa yüksek sıcaklık alanından düşük sıcaklık alanına ısı geçişi iletim yolu ile olmaktadır. İletim ile ısı transferi deneysel çıkarımlara bağlı Fourier kanunu vasıtasıyla belirlenmektedir. Fourier kanunda herhangi bir yönde transfer edilen ısı toplamı, o yöndeki sıcaklık değişim miktarı (dT/dx) ve ısı transfer yönüne göre dik alan (A) ile orantılı olmaktadır. Fourier kanununu matematiksel olarak ifade etmek gerekirse; $Q_x = -kA \cdot (dT/dx)$ [W] şeklinde olmaktadır. Bu denklemde; Q_x , x doğrultusunda ve bu x doğrultusuna dik A alanından transfer edilen ısı toplamıdır. k sabiti ise, ısı iletim katsayısı olarak tanımlanmakta olup maddelerin kendi özellikleridir (Şifa, 2019).

1.3.1. Isı İletim Katsayısı (λ , W/m.K)

Bir metre kalınlığındaki homojen bir malzemenin birbirine paralel iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda ve sabit kaldığında birim zamanda geçen ısı enerjisi miktarı ısı iletkenlik olarak tanımlanmaktadır.

Ağaç malzemenin ısı iletkenlik katsayısı; yoğunluğu, rutubeti ve lif yönüne göre değişmekte olup radyal yönde teğet yöndekinden %5-10 daha büyüktür. Lifler yönünde ise %6-15 rutubetlerde iken enine doğrultuya göre 2,25-2,75 kat daha fazladır (Öcal, 2016). Her malzemenin kendine has ısı iletim katsayısı (λ) değeri mevcuttur. Bu değer k sabiti olarak adlandırılır ve λ (W/m.K), (Watt/metre-Kelvin) birimi olarak gösterilir. Bir malzemenin W/m.K değerinin '1' e eşit olduğu farz

edilirse bu şu anlama gelmektedir; 1 m³'lük homojen bir malzemenin sıcaklığının 1°C arttırılması ile karşılıklı yüzeyler arasından 1 Watt'lık bir ısı transferi olmaktadır. Bu değer ne kadar az ise ısı geçişi de o kadar az olmaktadır (Şifa, 2019).

1.3.2. Isı Geçirgenlik Katsayısı (U, W/m².K)

Isıl geçirgenlik katsayısı (W/m² K); kalınlığı d (m) olan malzemenin paralel iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda 1 saatte 1 m yüzeyden dik bir şekilde iletilen ısı miktarıdır. U, ısı iletim katsayısı (λ) ve malzemelerin ısı geçiş yönündeki kalınlığına göre değişir. U değeri küçüldükçe ısı kaybı daha az olacağından malzemenin yalıtım özelliği artar.

$$U = (\lambda / d)$$

d: Levha kalınlığı (m)

λ : Isı iletim katsayısı (W/m.K)

1.3.3. Isı İletim Katsayısı Ölçüm Metotları

Korumalı Sıcak Plaka

GHP (Guarded Hot Plate) olarak bilinen korumalı sıcak plaka ile ölçüm metodunda belirli boyutlardaki numune iki plaka arasına yerleştirilmektedir. Plakalardan biri soğuk iken diğer sıcaktır ve aralarına koyulan numune iki plakanın ortalama sıcaklığına erişmektedir. Ortalama sıcaklığa erişirken geçen süreye bağlı olarak elde edilen ısı transferi malzemenin ısı iletim katsayısını belirlemektedir. Bu metot ile ısı iletkenlik katsayıları çok düşük değerlerde (0.01 W/m.K) olan vakumlu izolasyon paneli gibi malzemeler kolaylıkla ölçülebilmekte fakat ölçüm süreleri çok uzun olmaktadır. Sıvılar ve yüksek ısı iletkenlikleri olan malzemeler bu yöntem için uygun değildir. Ölçüm aralığı 0-2 W/m.K ve -100°C ile 250°C arasındadır (Şifa, 2019).

Lazer Parlama Metodu

Lazer parlama metodu havacılık sektöründe çok yüksek sıcaklıklar altında çalışacak malzemeler için geliştirilmiş bir metottur. Ölçüm cihazları yüksek maliyetli ve komplekstir. Ölçüm yapılırken numune istenen boyutlarda disk şeklinde işlenmiş olmalıdır. Cihaz üzerinde bulunan lazer bir atış yapmaktadır ve numunenin arkasındaki kızılötesi sensör sıcaklık artışının zamana bağlı grafiğini çıkarmaktadır. Termal yayınlılık değeri malzemenin yoğunluğu ve özgül ısısı sayesinde ısı iletkenlik katsayısını vermektedir. Bu yöntem sıvılar için uygun değildir. Ölçüm aralığı 0-500 W/m.K ve -150°C ile 2800°C arasındadır (Şifa, 2019).

Geçici Düzlem Kaynak

TPS (Temporary Plane Source) olarak bilinen geçici düzlem kaynak metodu farklı tip malzemeleri ölçmek için geliştirilmiştir. Üzerinde kapton bant olan düz yüzeyli nikel bir sensör iki

aynı numune arasına yerleştirilmektedir. Ardından sensöre verilen elektrik akımı ile sensörün sıcaklık artışının zamana göre grafiği elde edilmektedir. Bu eşitlikten de ısı iletkenlik katsayısı belirlenmektedir. Fakat bu metodun kullanılabilmesi için operatörün deneyimli olması gerekmektedir. Farklı malzemeler için farklı boyutlarda sensörler seçilmeli aksi takdirde alınacak sonuçlar hatalı olabilmektedir. Ölçüm aralığı 0-100 W/m.K ve -100°C ile 500°C arasındadır (Şifa, 2019).

Modifiye Edilmiş Geçici Düzlem Kaynak

Modifiye edilmiş geçici düzlem kaynak metodu TPS yöntemindeki zorluklarının aşılması için geliştirilmiştir. TPS yöntemindekine benzer şekilde ısıtma elemanın arkası izole edilmiştir. Sensörün çevresi de koruma halkasıyla çevrilidir ve bu durum ısı akışının tek yönlü olmasını sağlamaktadır. Basit şekilde bu yöntemin TPS yönteminden farkı bir adet numune ve bir yüzeyin yeterli olmasıdır. Elektrik akımı ısıtıcıya gönderildiğinde cismin sıcaklığı artar ve üzerinde bulunan sensör tarafından mV-zaman grafiği çizilir. Bu yöntem ile korumalı sıcak plaka kadar kesin sonuçlar elde edilebilmektedir. Birçok numuneyi hızlı ve numuneye zarar vermeden ölçebilmektedir. Ölçüm aralığı 0-500 W/m.K ve -50°C ile 500°C arasındadır (Şifa, 2019).

1.4. Polyester Lifleri ve Geri Dönüşüm Lif Eldesi

İngiliz bilim adamları Whinfield ve Dickson 1941 yılında polietilen tereftalat (PET) polimerlerinden lif çekerek polyester lif üretimini keşfetmişlerdir. İkinci Dünya Savaşı sonrasında ticari önemini artıran polyester lifi Amerika ve İngiltere gibi büyük devletlerin ilgisini çekmiş ve polyester lif üretim yöntemleri geliştirmesine zemin hazırlamıştır.

Dünyadan farklı olarak PET polyester lifi ülkemizde filament iplik olarak 1968 yılında üretilmeye başlanmıştır. Doğal kaynaklı olmayan sentetik elyaflar kimyasal işlemler sonucunda üretilen, kimyasal elementler ve bileşikler içeren polimerden oluşan ürünlerdir. Bu polimerler çeşitli polimerleşme reaksiyonları sonucunda elde edilmektedir. Sentetik bir elyaf türü olan polyester bu polimerleşme reaksiyonlarının polikondenzasyonu neticesinde meydana gelmektedir. Dikarboksilik asit ve dialkolün birer adedinin reaksiyona girmesiyle kondenzasyon işlemi sonucu uzun zincirli polimerler meydana gelir, bu uzun zincirli polimerlere polyester adı verilmektedir. Polyesterin tekstil sektöründe kullanılabilirliği için erime sıcaklığının çok düşük olmaması gerekmektedir (Karadağ, 2022).

Polyester Liflerinin Elde Edilmesi

Kimyasal lif üretiminde önde gelen üretim yöntemleri;

- Eriyikten lif çekimi metodu,
- Kuru lif çekimi metodu,
- Yaş lif çekimi metodu

şeklinde sıralanabilmektedir. Polyester, poliamid, polipropilen gibi liflerin lif çekimi, eriyikten lif çekimi metoduna göre yapılmaktadır. Eriyikten lif çekme metodu, uygulanabilirlik açısından en basit yöntem olması ve ekonomik şekilde lif üretimine olanak sağlaması açısından günümüzde en yaygın biçimde kullanılan lif üretim tekniğidir. Eriyikten lif çekim yönteminde termoplastik özelliği olan polimerlerden lif üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Karadağ, 2022).

Polyester Liflerinin Fiziksel Özellikleri

Enine kesit görünüşleri çoğunlukla yuvarlaktır. Cam çubuklara benzerler ve üst yüzeyleri pürüzsüzdür. Mikroskop altında içerdikleri pigmentlerden dolayı benekli ve lekeli görünümündedirler. Polyester liflerinin yoğunlukları doğal liflere ve bazı yapay liflere oranla yüksektir. Polimerizasyon derecesi 115 - 140 arasındadır. Bunun dışında polyester liflerine ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 1.6. Polyester liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Karadağ, 2022).

Özellik	Açıklama
İncelik	Bütün sentetik liflerde incelik düze deliklerinin çapına ve uygulanan çekim işlemlerine bağlı olarak değişir.
Uzunluk	Kullanım yerine bağlı olarak kesikli halde ya da filament halinde üretilebilir. Burada lif uzunluğu kullanım yerine göre değişebilir. Makaslar veya bıçaklar yardımıyla ya da kopartma yöntemleriyle istenilen uzunluklarda lif elde edilebilir.
Mukavemet	İyi ve mükemmel derecededir. Polyester lifinde mukavemet 47-56 cN/Tex arasında değişir. Yaş mukavemeti ile kuru mukavemeti arasında fazla fark yoktur.
Uzama yeteneği	Orta ve iyi derecededir. Üretim şekillerine göre çok değişken uzama yetenekleri vardır.
Nem alma kabiliyeti	Standart şartlarda %0,4 oranında nem içerir.
Sıcaklığın etkisi	Yumuşama ve yapışma sıcaklığı 230°C'dir.
Yoğunluk	1,38 g/cm ³ tür.
Enine ve boyuna kesit görünüşü	Pürüzsüz, düz bir çubuğa benzeyen görünümü vardır. Enine kesiti çoğunlukla yuvarlaktır. Değişik kesitlerde de olabilir.
Parlaklık	Pigmentler yardımıyla matlaştırılmadıysa parlaktır.
Renk	Beyaz renkli olarak üretilirler.
Yayılma yeteneği	En yüksek rezilyans özelliği olan liftir. Bu da kullanım kolaylığı sağlar.
Piling (boncuklanma)	Bütün lifler içinde en çok nope sorunu olan liftir.
Statik elektriklenme	Nem içeriğinin düşük olması ve yapıda elektriği iletecek polar grupların aktif olmaması nedeniyle statik elektriklenme sorunu yaşanır.
Alev alma yeteneği	Yavaş yavaş yanar. Damlamalar olur.
Boyama Şartları	Dispers boyarmaddeler ile boyanır.
Suyun Etkisi	Hidrofob bir liftir. Soğuk sudan etkilenmez. Kaynar sudan ve buhardan süreye bağlı olarak zarar görebilir.
Işık ve Atmosfer Şartları	Gün ışığına karşı dayanımları çok iyidir. Orlondan sonra güneşe en dayanıklı liftir.
Asitler	Leke çıkarmada kullanılan asitler dahil kuvvetli asitlerden bile kolay kolay etkilenmez. Ancak süre ve konsantrasyona bağlı olarak dayanımı azalır.
Alkaliler	Leke çıkarmada kullanılan bazlar lifi etkilemez. Zayıf alkali ortamlardan zarar görmez. Bazların lifi sabunlaştırma özelliğinden yararlanarak kostikleme prosesi geliştirilmiştir.
Organik Çözücüler	Kuru temizleme maddelerine karşı dayanımları oldukça iyidir.
Ağartma Maddeleri	Ağartma maddesi olarak sodyum klorit idealdir.
Küf ve Mantar	Küflere karşı dayanımları iyidir.

PET Esaslı Malzemelerin Geri Dönüşümü

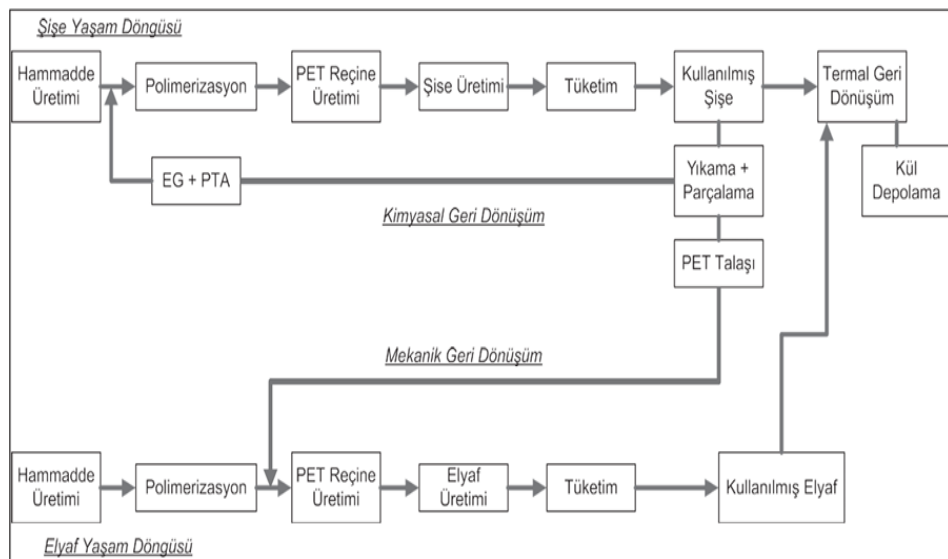
Geri dönüşüm terimi, kullanım sonrası atık olarak görülen (şişe, ambalaj ve plastik) geri dönüştürülebilir malzemelerin farklı geri dönüşüm yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılması işlemidir.

Ortaya çıkan çevre kirliliği ve mevcut doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı değerlendirilebilir atıkların özellikle de PET ambalaj atıklarının geri kazanımını zorunlu kılmaktadır. Dünyada açığa çıkan CO₂ salınımının büyük kısmı fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle mümkün olduğu kadar polyester üretiminde de verimliliğin sağlanması ve geri dönüşüm malzemelerin kullanılması çevresel açıdan büyük önem arz etmektedir (Karadağ, 2022).

PET, mukavemeti, termal stabilitesi, şeffaflığı ve hafifliği nedeniyle gıda, meşrubat, su, meyve suyu, fıstık ezmesi, kozmetik, yağ ve salata sosları ambalajlamada en çok kullanılan malzemedir. Ortalama olarak, PET şişelerin toprakta bozulması 400- 450 yıl sürer. Bundan dolayı, PET şişeleri saklamak veya yakmak yerine, tekstil endüstrisinde kullanılabilecek hammaddelere dönüştürmek çevre kirliliğini azaltacak bir işlemdir. Plastikler geri kazanılıp tekrar kullanıldığında;

- Plastiklerin hammadde kaynakları korunur.
- Plastik üretiminde enerji tüketimi azalır.
- Depolama alanlarının ömrü uzar.
- Yeni iş alanları oluşur.
- Atıkların enerjiye dönüşümü artar (Karadağ, 2022).

Atık PET'lerin geri dönüşüm yöntemlerini mekanik ve kimyasal geri dönüşüm olarak iki başlık altında incelemek mümkündür. Şekil 1.19'da PET şişelerin kimyasal ve mekaniksel geri kazanım döngüsü verilmiştir.

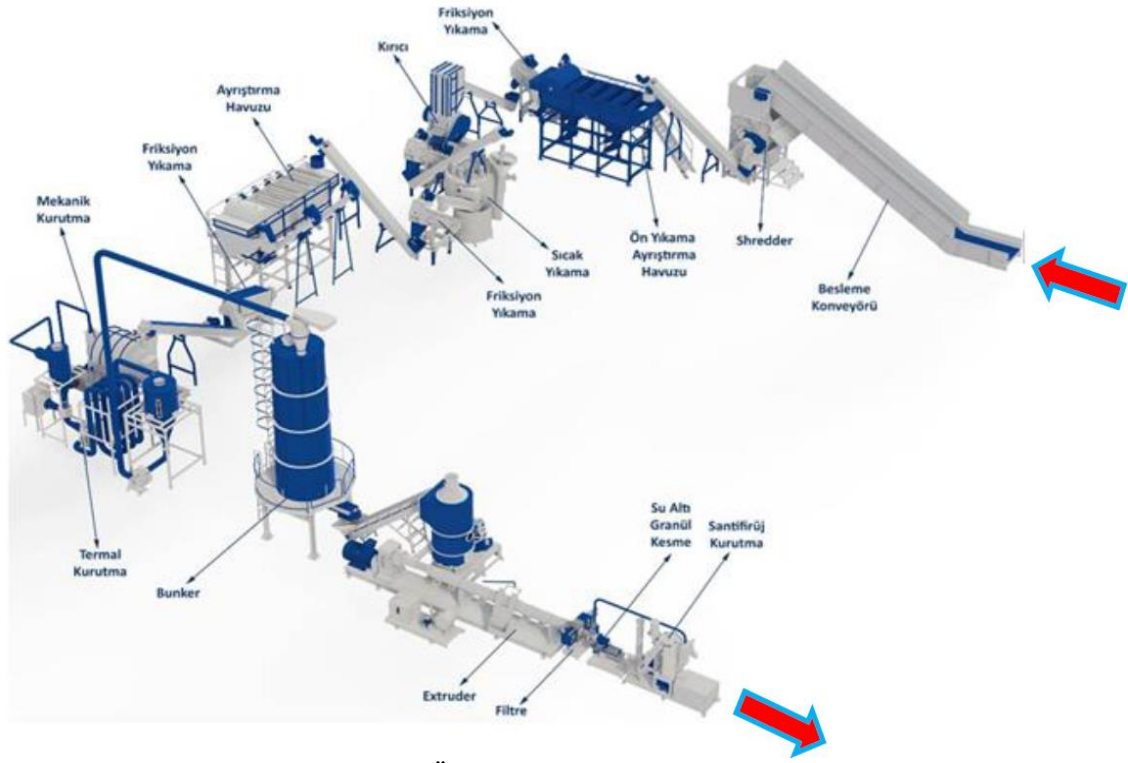


Şekil 1.19. Pet şişelerin geri kazanım döngüsü (Karadağ, 2022)

- Mekanik geri dönüşüm

Geri dönüşüm tesisinde malzemeler önce titreşimli elekten geçirilerek gevşek toprak, çamur gibi istenmeyen maddelerden temizlenmektedir. Konveyör bant sonunda malzemeler elektromanyetik alandan geçirilerek çelik ve teneke malzemelerden ayrıştırılmaktadır. Konveyör bant sonuna yerleştirilen manyetik çubuklar ile de alüminyum malzemeler plastiklerden ayrılmaktadır. Daha sonra atık plastikler balyalanarak ayrıştırılacakları tesise yönlendirilmektedir (Karadağ, 2022).

PET geri dönüşüm hatları geri dönüşüme uygun malzemelerin çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra tekrar kullanıma uygun malzemeler haline getirilmesini sağlayan hatlardır. Farklı özellikteki makinalardan oluşan bu hatlarda makine dizilimleri de farklılık gösterebilmekte geri dönüşüm tesisinin kapasitesine göre makinalar eklenip çıkartılabilmektedir (<https://www.inanplastics.com>). Şekil 1.20’de PET geri dönüşümüne uygun örnek makine parkı görülmektedir.



Şekil 1.20. Örnek bir PET geri dönüşüm hattı

PET ve benzeri geri dönüşüm hatlarında birden çok makine kullanılmaktadır. Makine dizilimleri hammaddeye veya yapılan işe göre farklılık gösterse de genellikle benzer makinalar kullanılmaktadır. Bunlar;

Besleme ve transfer konveyörü: Makinelerin hammadde girişinden çıkışına kadar uzanmakta ve bütün üretim hattı boyunca plastik atıkların taşınmasını sağlamaktadır.

Balya açıcı: PET yıkama hattında bulunan PET şişelerin sıkıştırılmış formdaki balyalarını rutin hızlarla ayırma işlemini gerçekleştirilmektedir. PET geri dönüşümü için en gerekli ekipmanlardan biridir.

Ön yıkama ünitesi: PET şişelerinin yüzeyinde yer alan kum, toprak gibi kirlerden, kapak ve etiketlerden arındırılması için tasarlanmıştır. Aynı zamanda geri dönüşüm hattı içerisinde yer alan kırma makinası, sıcak yıkama ve friksiyon yıkama gibi makineler PET çapaklarını kapasite bazında arttırma işlevselliği ile ön plana çıkmaktadır korunmasını sağlayan bir ünedir.

Bunker: Malzemeleri stoklama amacı ile kullanılan haznelerdir. Aynı zamanda doğru akışı ve kırıcı-elek kapasiteleri arasında gerekli düzen-regülasyonu sağlarlar. Üretim hattındaki tıkanmaları önlemektedir.

Friksiyon yıkama ünitesi: İleri teknoloji rotor ve rotor kanatları sayesinde yatay santrifüj kirli malzemeleri yüksek devir altında su ile yıkamaktadır. Bu sayede oluşan friksiyon ile yüksek düzeyde derinlemesine temizlik sağlamaktadır.

Yüzdürme batırma tank ünitesi: Malzemelere yoğunluk yönetimi etkin bir ayırıştırma ve son derece etkili temizleme işlemi gerçekleştirmektedir.

Dik santrifüj sıkma ünitesi: PET parçacıkları nem oranını azaltarak, yüksek devir altında çapak malzemelerin sudan arındırılma işlemini gerçekleştirmektedir.

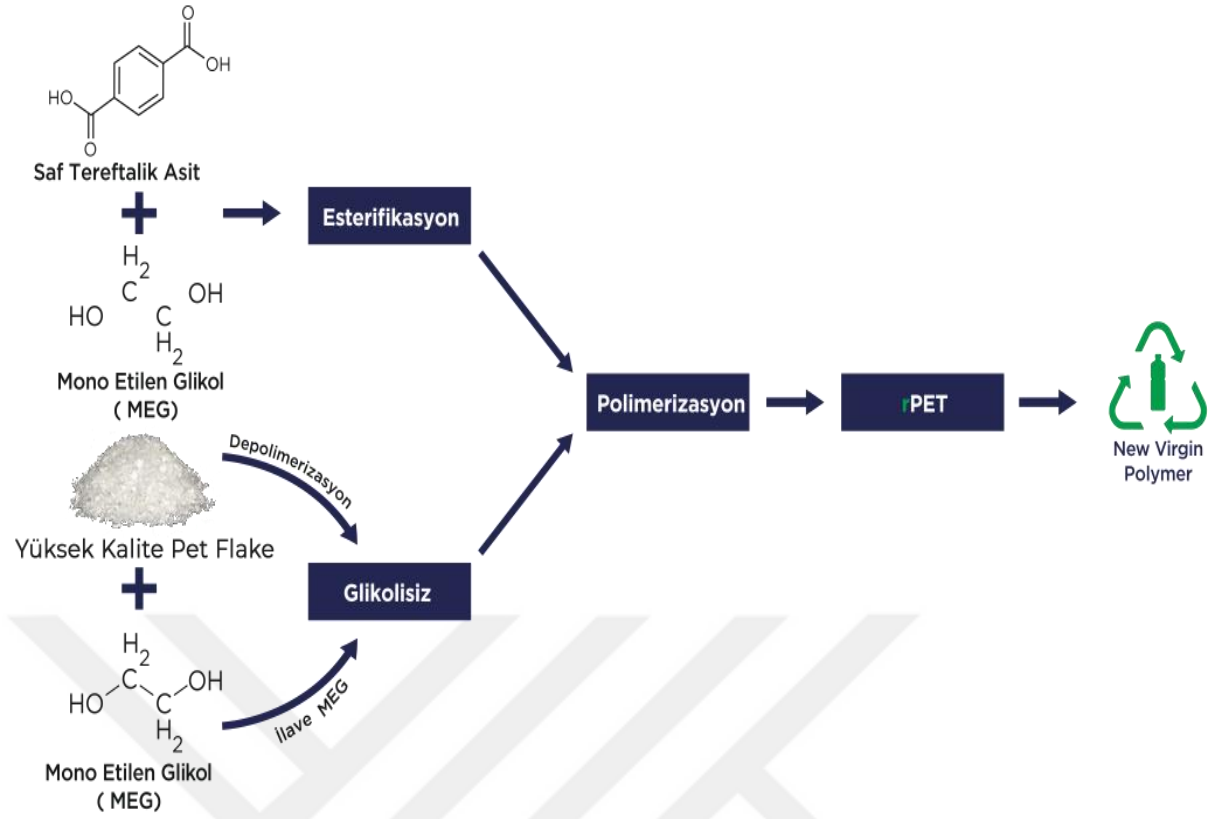
Kurutma ünitesi: Dik santrifüjden çıkan PET çapakların son derece etkili bir şekilde kurtulmasını sağlamaktadır. Ortam havasını emerek gerekli sıcaklığa kadar ısıtma işlevselliği ile kullanılmaktadır. Nemin azaltılması ve sıcak hava akımı içerisinde buharlaştırılmasını sağlamaktadır.

Etiket ve Toz Ayırıştırma Ünitesi: Kurutulması sağlanmış PET parçacıkları içindeki etiketlerin ve tozların hava yöntemiyle ayırıştırmasını temin etmektedir.

Çift İstasyonlu Big Bag Çuval Dolum Ünitesi: Pistonlu çuval silkeleme yöntemi ile dolum ağırlığını arttırma ve dolan Big Bag çuvallarını otomatik tartma işlemini gerçekleştirmektedir (<https://www.inanplastics.com>).

- Kimyasal Geri Dönüşüm (Depolimerizasyon)

PET polimerinin glikolisiz yöntemiyle polimer zincirinin en küçük parçası olan monomerlerine dönüştürülmesi işlemidir. Kullanılmış PET şişelerin yabancı, kirletici maddelerden uzaklaştırılmış ve renkleri ayıklanmış, sıcak yıkama ile dezenfekte edilmiş PET kırıkları işletmeye getirilir. PET kırığı yüksek kalitede olmasına rağmen, doğrudan depolimerizasyon işlemine alınmadan PVC ve diğer plastikler ayrıştırılarak depolimerizasyon yöntemine uygun hale getirilmektedir. Sınıflandırma ve şartlandırma işleminden sonra PET kırıklarından depolimerizasyon yöntemi (Kimyasal Geri Dönüşüm) ile dönüştürülen oligomer-monomer (en küçük polimer parçası) belli oranlarda orijinal hammaddelerle polimerizasyonun tamamlanmasıyla tekrar rPET reçinesi haline getirilmiş olunur (<https://www.meltemkimya.com.tr>) (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Kimyasal Geri Dönüşüm (depolimerizasyon) (<https://www.meltemkimya.com.tr>)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan literatür taraması sonucunda kompozit malzeme üretimi, kompozit malzeme üretiminde kullanılan reçineler ve elde edilen ürünlerin performansları üzerine birçok çalışmanın gerçekleştirildiği görülmüştür. Doktora tez çalışması ile ilgili olan yayınlardan seçilmiş olanlar aşağıda özetlenmiştir.

Tiuc ve arkadaşları, tekstil atıklarını farklı oranlarla sert poliüretan köpükle karıştırarak 40 mm kalınlığında kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde ettikleri bu malzemelerin ses emme (akustik) özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla homojen ve kullanımı kolay bir malzeme üretmek için %10 - %50 (10, 12, 20, 25, 30, 40, 50) arasında farklı oranlarda tekstil atığı kullanmışlardır. Bu tekstil atıklarının %15 poliamid (naylon), %40 poliakril ve %45 modal içerdiğini ve kullanılan tekstil liflerinin yoğunluğunun yapı içerisinde 0,051 g/cm³ olduğunu vurgulamışlardır. Kullandıkları matris malzeme iki bileşenli (poliol ve izosiyanat) sert poliüretan köpükten oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin ses emilim katsayısını empedans tüpü yöntemi ile ölçmüşlerdir. Sonuç olarak elde edilen kompozit malzemelerin, sert poliüretan köpüğe kıyasla daha iyi ses emilim özelliklerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Burada %40 tekstil atığı ve %60 sert poliüretan köpük içeren kompozit malzemenin gürültü azaltma katsayısı, %100 sert poliüretan malzemeye göre iki kat daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. %60 oranında rijit poliüretan köpük kullanılan malzemenin, analiz edilen tüm frekans aralıklarında minimum 0,4 ses emme katsayısı değerine ulaşarak gürültüyü emme konusunda en iyi kapasiteye sahip olduğunu ve geliştirilen malzemelerin hem dış hem de iç ortamlarda kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır (Tiuc ve ark., 2016).

İğci yapmış olduğu tez çalışmasında, poliüretan esaslı levhaların mobilya sektöründe kullanılabilirliği üzerinde durmuştur. Çalışmasında takviye elemanı olarak mobilya fabrikasından elde ettiği MDF (Medium Density Fiberboard) tozunu ağırlıkça farklı oranlarda (0, 2.25 g, 4.5 g, 6.75 g) poliüretan reçine ile karıştırarak levhalar elde etmiştir. Poliüretan (PU) esaslı levhaların üretiminde silikon kalıp yöntemini kullanmıştır. Üretilen levhaların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme direnci, eğilme direnci ve darbe direnci testlerini uygulamıştır. Sonuç olarak eklenen MDF tozu oranındaki artışın çekme direncini çok küçük oranlarda değiştirdiği, eğilme direncini ve eğilmede elastikiyet modülünü ise önemli oranlarda etkilemediğini vurgulamıştır (İğci, 2015).

Dönmez doktora çalışmasında, iplik fabrikasından temin edilen telef formundaki geri dönüşümü yapılmayan tekstil atıklarını (%100 PAN ve %80 CO / %20 PES) kullanarak kompozit malzemeler üretmiş ve bu malzemeleri elektromanyetik kalkanlama, ısı izolasyonu ve ses yalıtımı gibi özellikler bakımından incelemiştir. Çalışmanın genel amacının tekstil sektörünün gelişmiş olduğu organize sanayi bölgelerinde bertaraf edilmesi zor olan, doğada birikerek çevre kirliliğine sebep olan ve tekstil malzemelerinin üretiminde tekrar kullanılamayan farklı büyüklüklerdeki lif atıklarının geri dönüşümü olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda UOSB' den elde ettiği geri

dönüştürülemeyen tekstil liflerinden geleneksel olmayan yöntemlerle, hammadde, bağlayıcı madde miktarı ve yoğunluk gibi parametreleri değiştirerek ve alüminyum folyo ilavesi ile kompozit malzemeler üretmiştir. Numune yoğunluğunun artmasının %100 PAN ve %80 PES / %20 PES hammaddesinden üretilen numunelerde ısı iletim katsayısını artırdığını (ısı yalıtımını azalttığını) tespit etmiştir. Ses iletiminde kütlenin artmasının ses yalıtımını artırdığını belirtmiştir. Numunelerde hammadde faktörünün ısı iletiminde ve ses yalıtımında önemli derecede bir fark oluşturmadığı vurgulanmıştır. Bağlayıcı malzeme miktarındaki artışında ses ve ısı yalıtımında önemli bir değişikliğe neden olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca numunelere alüminyum folyo ilavesi, ısı yalıtım performansı anlamında herhangi bir katkı sağlamamıştır (Dönmez, 2017).

Özkan Buzğan, iplik işletmelerinde oluşan klima atıklarını kompozit malzeme üretiminde değerlendirmiştir. Mevcut durumda belediyelerin belirlediği alanlara dökülen veya yakma yöntemiyle bertaraf edilen klima tozu atıklarının poliüretan köpüğe % 10, % 25, % 40 oranlarında (ağırlıkça) eklenerek 1, 3, 5 cm kalınlıklarında kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmiştir. Yalıtım malzemesi olarak uygunluğunu araştırmak amacıyla numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görüntüleri alınmış, ses yutumu, termal iletkenlik ve 3 nokta eğilme dayanımı testlerini uygulamıştır. Kompozitlerin ısı iletkenlik sonuçlarına göre, % 40 toz katkılı PU sert köpük kompozitin ısı iletkenliği, katkısız (% 0), % 10 ve % 25 toz katkılı kompozitlerden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Ses yalıtım özellikleri değerlendirildiğinde, tekstil klima atık toz katkısının PU sert köpük kompozitlerin ses yalıtım özelliklerini artırdığını belirtmekte olup %40 toz katkılı PU sert köpük kompozitin en yüksek gürültü azaltma katsayısına sahip olduğunu vurgulamaktadır. PU sert köpük kompozitlerin 5 cm kalınlığındaki ısı iletkenliğinin, 3 cm ve 1 cm kalınlığındakilerden bir miktar daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. PU sert köpük kompozit numunelerin 3 nokta eğme test sonuçları incelendiğinde katkısız PU sert köpük kompozitlerin, gerilim-gerinim eğrilerinin toz katkılı kompozitlerden daha sert bir davranış ortaya koyduğu sonucuna ulaşmıştır. Sonuçlara göre üretilen kompozit numunelerin ses yutucu bir malzeme olmadığı ama ses yalıtımı açısından önemli bir malzeme olduğu görülmektedir. Numunelerde klima atık toz katkısının saf poliüretanın ses ve termal yalıtım özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmiştir. Üretilen kompozit numunelerin binaların dış cephelerinde, iç mekân uygulamalarında ve akustik tablo olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur (Özkan Buzğan, 2022).

Vasile ve Bugaru, çok katmanlı panellerde kalınlığın akustik özellikler üzerine etkisini deneysel ve sayısal hesaplama ile araştırmışlardır. Çalışmada delikli saçtan oluşan ön panel, polietilen köpük folyo, iki farklı kalınlıkta bazalt yünü ve deliksiz sacdan yapılmış bir arka panel olmak üzere dört katmanlı bir yapı üretilmiştir. Numunelerin akustik özellikleri EN ISO 10534-2'ye göre empedans tüpü deneyi ile 100–3200 Hz frekans aralığında değerlendirilmiştir. Ses emilim katsayısını tahmin etmek için ise bir yöntem geliştirmişlerdir, bu yöntemde transfer matrisi yöntemini (PSAC-TMM (prediction of sound absorption coefficient using the transfer matrix method)) kullanarak ses emilim katsayısının tahminlemiştir. Deneysel veriler ile tahmini sonuçlar arasında

karşılaştırmalı analizler gerçekleştirmişler ve tahmin gücünün yüksek olduğu sonucuna varmışlardır (Vasile ve Bugaru, 2023).

Bhingare ve Prakash, poliüretan reçine ile hindistan cevizi lifinin akustik performansa etkisi üzerinde durmuşlardır. Hindistan cevizi lifleri ile ağırlıkça 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 arasında değişen oranlarda poliüretan reçinesi karıştırılarak numuneler elde edilmiştir. Numuneleri 10, 20, 30, 40 mm kalınlıklarında üretmişlerdir. Numunelere 100–5000 Hz frekans aralığında ISO 10534–2 ve ASTM E1050-98 standartlarına göre empedans tüpü yöntemi ile akustik performans testleri uygulanmıştır. 3200 Hz yüksek frekansta hava boşluğu olmaksızın %70 elyaf ve %30 reçine bileşimi ile 40 mm kalınlık için 0,95'lik emilim katsayısı elde etmişlerdir. Aynı numunede düşük ve orta frekans bölgesi için 0,4 (100–500 Hz) ve 0,81 (500–1900 Hz) ses emilim katsayısı elde edilmiş olup diğer numuneler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç gösterdiğini belirtmişlerdir. Son olarak, 0 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 30 mm'lik hava boşluğunun ses emilim katsayısı üzerindeki etkisine de bakmışlardır. Hindistan cevizi lifi ve poliüretan reçineden yapılmış panelin, 0,7-0,95 aralığında yüksek frekansta (2700 Hz ile 4500 Hz) olumlu ses emilimi özelliklerine sahip olduğu vurgulanmıştır. 60:40 oranındaki numune bileşimi yüksek yoğunluklu olmasına rağmen, ses dalgalarının malzemeye nüfuz etmesine direnç sağlayarak gözenekliliği ve ses emilimini azalttığı ortaya konulmuştur. Çalışmada hava boşluğu arttıkça ses emilim katsayısının pik yaptığı ve tüm numuneler için orta ila düşük frekans yönüne doğru hareket ettiği tespit edilmiştir (Bhingare ve Prakash, 2022).

Çelik çalışmasında motorlu testere kullanımında ortaya çıkan talaşı yonga levha üretiminde değerlendirmiştir. Çalışmasında sahil çamı, kayın ve dişbudak odunlarından motorlu testere talaşı ile endüstriyel odun yongalarını kullanmıştır. Numuneleri üre formaldehit reçinesi ile 3 tabakalı olarak üretmiştir. Ürettiği numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini standart yonga levha özellikleriyle karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre fiziksel ve mekanik özelliklerin genel amaçlı kullanımlar için gerekli özellikleri sağladığını belirtmiştir. Sonuç olarak motorlu testere talaşı ile yonga levha üretilebileceği ve kullanım yeri olarak genel amaçlı kullanımlar ile mobilya üretiminde fazla mukavemet gerektirmeyen kısımlarda değerlendirilmesinin daha uygun olacağını belirtmiştir (Çelik, 2017).

Yumşak, tez çalışmasında farklı fiziksel özelliklere sahip dokusuz yüzey kumaşların ses yutum özelliklerini incelemiş ve farklı liflerin kullanıldığı 8 farklı yapıda kumaş tercih etmiştir. Farklı kombinasyonlarla üretilen kumaşlarla 6 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak numune kalınlığının arttığı ve hava geçirgenliğinin azaldığı durumlarda ses yutum özelliğinin arttığını, %70 pamuk %30 polyester karışımından oluşan numunenin orta ve yüksek frekans aralıklarında, ses yutumunda %100 performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Aynı kalınlıktaki numunelerden birim alana düşen lif sayısı daha fazla olan numunenin ses yutumunun daha iyi olduğu belirtilmiştir. Dokusuz yüzeylerde ses yutum performansını belirlemede; lif cinsi, lif

inceliği, kalınlık, lif karışım oranları, birim alan kütlesi ve malzeme karışım oranları gibi özelliklerin iyi belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır (Yumşak, 2010).

Gumanova ve arkadaşları, geleneksel yalıtım malzemeleri ve doğal liflerin ses emme performanslarının karşılaştırılması ile ilgili deneysel araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, doğal liflerin akustik özelliklerini incelemişler ve binalarda kullanılan ses yalıtım malzemelerinin akustik özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Bu amaçla doğal lif olarak mantar, kenevir ve fiber levha tercih edilirken, geleneksel malzemeler grubunda mineral yün, propilat ve poliüretan köpük bulunmaktadır. Numuneleri 20, 40, 60, 80 ve 100 mm kalınlıklarda hazırlamışlardır. Ses emme katsayısı değerlerini belirlemek amacıyla, numuneler ISO 10534-2 standardına göre empedans tüpü ve iki mikrofon yöntemine göre test edilmiştir. Sonuç olarak en yüksek ses emilimi, 2000 Hz (0,99) frekansında ve 20 mm kalınlığında kenevir numunesinde ölçülmüştür. Kenevirin tüm frekans aralıklarında ve kalınlıklarda diğerlerinden daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymuşlardır. Geleneksel yalıtım malzemeleri arasında mineral yün en iyi sonuçları verirken, en düşük değerler, 1600 ila 2500 Hz arasındaki frekanslarda, propilatta ölçüldüğünü belirtmişlerdir (Gumanová ve ark., 2022).

Aly ve arkadaşları, binalarda yalıtım amaçlı sürdürülebilir, elyaf takviyeli termoplastik kompozit paneller tasarlamışlardır. Döşeme sistemlerinde kullanılması düşünülen bu malzemelerin akustik ve termal performanslarını ölçmüşlerdir. Numuneler için takviye elemanı olarak üç tip (jüt, poliester ve hibrid jüt - poliester (%80:20)) geri dönüştürülmüş dokumasız kumaş, matris elemanı için polipropilen tercih etmişlerdir. Farklı oranlarda takviye ve matris kullanılan kompozit panellerde, sıkıştırılmalı kalıplama tekniğini tercih etmişlerdir. Sandviç kompozitlere akustik yalıtım, darbe ses yalıtımı testleri ile birlikte termal iletkenlik, termal yalıtım davranışı (kızılötesi termografi) testleri uygulamışlardır. Sonuç olarak tüm kompozit numunelerinde darbe sesinin artırılması ile birlikte frekanslarda azalmanın meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Poliester kompozitler, 60 dakikadan sonra jüt ve hibrit jüt-poliester kompozitlere kıyasla en yüksek ısı iletim özelliğini sahip olduğunu vurgulamışlardır. En düşük ısı iletiminin jüt-polyester örneğinde olduğunu belirtmişlerdir (Aly ve ark., 2021).

Solak yaptığı çalışmada lif ve mineral takviyeli melamin matrisli kompozit malzemeler üreterek bunların ısı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla melamin malzemeyi hacimsel olarak %10'u geçmeyecek şekilde cam elyaf tozu ile karıştırmış ve bağlanabilirlik oranını artırabilmek için kaolen kili takviyesi yapmıştır. Hacimsel olarak farklı oranlarda (%3, %5, %7 ve %10) cam elyaf tozu ve kaolen kil kullanarak cam elyaf tozu/melamin ve cam elyaf tozu/kaolen kil/melamin içeren numuneler elde etmiştir. Bu numunelere eğilme dayanımı, ısı iletkenlik, darbe dayanımı, özgül ağırlık ve kopma dayanımı testleri uygulamıştır. Sonuç olarak melamin miktarının azaltılması ile kaolen ilave edilebilen ve %3 cam lif tozu takviyeli melamin kompozit yapıların çekme ve darbe dayanımına ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmasına (dekoratif duvar kaplamalarında) uygun olduğunu vurgulamıştır (Solak, 2012).

Ovalı bazalt lifleri ve dolgu malzemesi takviyeli termoplastik esaslı kompozit yapıların ısı ve ses yalıtım özelliklerini araştırmıştır. Çalışmada tekstil takviyesi olarak, 400 tex bazalt filamentleri kullanılarak çok eksenli (multiaxial) kumaş üretim tekniği ile 30 x 30 cm boyutlarında üretilmiş 21 adet kumaş kullanmıştır. Matris olarak polipropilen, ara yüzeylere üç farklı boyutta (0-1mm, 1-2.5mm ve 2.5-4mm) pomza (ponza) taşı (dolgu malzemesi olarak) ilave etmiştir. Üretilen numunelere mekanik, ısı geçirgenlik, ses yutum testlere uygulamıştır. Pomza taşı kullanılmadan üretilen referans numunenin ısı geçirgenliği ve ses yutum özelliği pomza kullanılan diğer numunelerden daha iyi değerlerde olduğunu belirtmiştir. Pomza taşı kullanımının kompozit malzemelerin gerilme dayanımı, elastikiyet modülü ve uzama özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini vurgulamıştır. En yüksek elastikiyet modülü ve gerilme dayanımı değerlerini pomza boyutu 1-25 mm olan numunede elde etmiştir (Ovalı, 2015).

Baccouch ve arkadaşları vakum infüzyon tekniği ile 3 farklı geri dönüşüm dokusuz atık (Pamuk, polyester ve pamuk/polyester) ve epoksi reçine kullanarak kompozit panel üretimi gerçekleştirmişlerdir. Kompozitlere mekanik, termal ve akustik testler uygulamışlardır. Dokumasız numunelerin uzamasının liflerin çekme kuvveti yönüne yönünde daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Tüm numunelerin saf epoksi numunesine benzer veya daha yüksek özgül Young modülü, özgül çekme mukavemeti ve darbe direnci değerini gösterdiğini belirtmişlerdir. Termal analiz sonuçları ile atık takviye kumaşların ham madde özelliklerini temsil etmesine rağmen, kompozit malzemelerin reçinenin termal davranışı ile aynı özellikleri gösterdiği yönünde fikir beyan etmişlerdir. Ses emilim testleri sonucunda üretilen dokunmamış kumaşların, bazı örnekleri için 2000 ile 4000 Hz aralığında ortalama 0,96 ses emilim katsayısına ulaşarak umut verici akustik performanslar gösterdiğini savunmuşlardır (Baccouch ve ark., 2022).

Dönmez ve Türker tekstil atıkları kullanılarak üretilmiş olan malzemeler üzerine geniş kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda malzemelerin elektromanyetik kalkanlama, ses ve ısı izolasyonu özellikleri üzerinde durmuşlardır. Düşük maliyetli ve ısı, ses ve kalkanlama özelliği olan ürünlerin tasarımında ve üretiminde ileride yapılabilecek çalışmalara öncelik etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada atık tekstil liflerini kompozit malzemelerin dış yüzeyinden çok yardımcı malzeme olarak kullanmışlardır. Bu sebeple tekstil atıklarının kompozit malzeme üretiminde geri dönüşümü esas alarak yapılmış çalışmaların sınırlı sayıda olduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmaları ses, ısı yalıtımı ve elektromanyetik kalkanlama özellikleri açısından incelendiklerinde, performans gerektiren özel alanlar için yeterli değerlere sahip numuneler elde edilemediğini belirtmişlerdir. Öneri olarak; ileride kompozit malzemelerin, düşük bir maliyet ile birlikte atık tekstil esaslı olarak üretilebilmesinin yolları aramalarını, elde edilen kompozitlerin tüm gelir seviyesine inerek kullanım alanının yaygınlaşması enerji ve hammadde tasarrufunun artırılmasının hedeflenmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır (Dönmez ve Türker, 2017).

Jaturonlux ve Ratanawilai doğal lifli ahşap kompozitlerin yapı malzemesi olarak ses emici özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada farklı doğal liflerin (Kauçuk ağacı,

hindistan cevizi lifi ve yağ palmyesi boş meyve salkımları) ses emilim özellikleri üzerinde durmuşlardır. Numune üretiminde üç farklı lif boyutunda üç farklı doğal lif ve iki farklı yapıştırıcı kullanmışlardır. Yapılan testler sonucunda numunelerin gözeneklilik değerleri %4,58-8,84 aralığında değişiklik göstermekte ve en düşük su emme değeri %57,62- %127,83 aralığında kauçuk ağacı lifli numuneye ait olduğunu belirtmişlerdir. Ses yutum testinde ISO 10534-2'ye göre empedans tüpü yöntemini uygulamışlardır. Sonuç olarak doğal liflerde lif uzunlunun numunelerde iyi bir performansa sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Uzun lif kullanılan numunelerin, kısa lif kullanılanlara göre daha iyi ses emme performansına sahip olduğunu vurgulamışlardır. Test ettikleri tüm lif levhaların 3,5 kHz'nin üzerinde %50 ses emme performansına sahip olduğunu, yağ palmyesi lifi ise %95'te ve en yüksek emme özelliğine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Reçine türünün küçük lif boyutundaki (80 mesh) örnekteki ses emme katsayısını büyük lif boyutundakinden (40 mesh) daha fazla etkilediğini ve atık bitki liflerinin ses emici yapı malzemeleri geliştirmede kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Jaturonlux ve Ratanawilai, 2022).

Kılıç ve arkadaşları mobilya fabrikasında ortaya çıkan atık ahşap talaşının, ahşap-plastik kompozit üretiminde kullanım olanaklarını araştırmış ve mobilya destek ayağı prototip numune üretimi gerçekleştirmişlerdir. Test numunelerinin üretiminde, ağırlıkça %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranında talaş ve %0 veya %3 maleatlı polipropilen (MAPP) kullanarak tek vidalı ekstrüder ve enjeksiyon kalıplama makinesi ile üretimleri gerçekleştirmişlerdir. Üretilen numunelerin seçilmiş mekanik ve fiziksel özellikleri belirlemişlerdir. Sonuç olarak talaş ve MAPP'nin yapı içerisinde kullanımı, saf PP'ye kıyasla yapının mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır. Daha yüksek talaş miktarının yapının eğilme mukavemetini, eğilme modülünü, çekme modülünü, darbe direnci ve yoğunluğu gibi değerlerini artırdığını belirlemişlerdir. Optimizasyon çalışmaları neticesinde %20 dolgu ve %3 MAPP içeren karışımın prototip mobilya ayakları üretimi için en uygun oranlar olduğu sonucuna varmışlardır (Kılıç ve ark., 2023).

Çalışma kapsamında yapılan detaylı literatür taraması sonucunda; atık geri kazanımı/değerlendirmesi, geri dönüşüm lif kullanımı gibi sürdürülebilir kaynaklarla ilgili yapılmış birçok çalışma olduğu görülmüştür.

Kürleşme süresinin kısa olmasından kaynaklı bir reçine türü olan rijit poliüretanla çalışılmış ve başarılı şekilde kompozit numuneler üretilenmiştir.

Literatürden farklı olarak çalışmada geri dönüşüm liflerle odun talaşının birlikte kullanımıyla farklı parametrelerde kompozit malzeme üretimlerinin yenilikçi bir üretim yöntemiyle gerçekleştirilebilmesi amaçlanmaktadır. Bunun yanında kürleşme süresinin kısa olması nedeni ile kompozit malzeme üretiminde kısıtlı kullanıma sahip poliüretan reçinenin geliştirilen yöntemle farklı malzemeler ile kullanıma uygun hale geleceği düşünülmektedir. Ayrıca üretilen bu kompozit malzemeler çevreye duyarlı, düşük maliyetli, yapıda kullanılan malzemelerin katma değer sağlayan özelliklerini maksimum fayda ile yapıya kazandırarak farklı alanlarda kullanıma uygun (yer döşemesi, panel duvar, yapı elemanları, dekoratif görünüm vb.) olmaları nedeniyle diğer çalışmalardan ayrıldığı görülmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında; PET şişelerin geri dönüştürülmesi ile elde edilen r-Pet lifler ve atık halindeki bambu ile kızılçam talaşlarının bir araya getirilmesiyle ısı ve ses yalıtım özellikleri iyi, geri dönüşüm lifler kullanıldığı için çevreye duyarlı, düşük maliyetli, benzeri ürünlerden farklı özelliklere sahip, dezavantajları karşılayacak alternatif kompozit malzemelerin üretilebilirliği araştırılmıştır. Elde edilen bu ürünlerin seçilmiş performans parametreleri test edilerek olası kullanım alanları saptanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, kompozit malzeme üretim yöntemleri, kullanılan malzeme türleri, üretilecek malzemenin kullanım alanları gibi birçok konuda literatür taraması yapılmış ve bu çalışmalardan elde edinilen bilgi birikimiyle üretim öncesi birçok ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalar sonucunda, kullanılacak olan temel malzeme ve reçine türlerine karar verilmiş ve ana numuneler üretilerek çeşitli testlerle sahip oldukları özellikler belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, geri dönüşüm lif ile reçine kullanılarak üretilen kompozitler “lif plaka”, talaş ve reçine ile üretilen kompozitler “talaş plaka” olarak ifade edilmiştir. Elde edilen bu plakaların 2 mm kalınlığında kesilmesiyle elde edilen yapılar ise “lif levha” veya “talaş levha” olarak adlandırılmıştır. Bunun yanı sıra elde edilen lif ve/veya talaş levhalar ile reçinenin kullanılmasıyla elde edilen nihai ürünler ise “katmanlı hibrit kompozit” olarak tanımlanmıştır.

3.1. Materyal

Çalışmada üretilen ürün için yapıya istenilen özelliğin kazandırılması amacıyla çeşitli formlarda materyaller kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak; ahşap talaşı ve farklı kalınlıklarda aynı uzunlukta kesilmiş geri dönüşüm polyester lifleri, matris malzeme olarak ise (%55 yoğunlukta üre formaldehit reçine, poliüretan reçine (Poliol (bileşen A) ve İzosiyanat (bileşen B)) tercih edilmiştir. Aşağıda çalışma kapsamında kullanılan üre formaldehit ve poliüretan reçineleri ile bambu ve kızılçam bitkileri hakkında bilgi verilmiştir.

Üre formaldehit reçinesi en ucuz reçine türü olmasından dolayı tercih edilmiş olup aminoresin reçineler sınıfında en önemli reçinelerden birisidir. ÜF reçinesi, üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu oluşan bir kondenzasyon ürünüdür.

Formaldehitin ürede bulunan amin gruplarına bağlanarak tepkimeye girmesi sonucu değişik sayıda metilol grupları içeren türevler (-mono, -di, -tri metiol üre) elde edilir. Suda çözünebilen metiloller, asidik ortam ve yüksek sıcaklıklarla (105 – 210°C) metilen veya eter köprüleri üzerinden çapraz bağlanarak üre formaldehit reçinesini oluştururlar.

Dünya’da MDF ve benzeri ürünlerde yaklaşık %90 veya daha yüksek oranda üre formaldehit reçinesi kullanılmaktadır. Üre formaldehit reçinesinin odun veya ahşap kökenli levha üretiminde kullanılmasının birçok avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır. Avantajları;

- ✓ Kullanımının kolay olması
- ✓ Sıcak presleme işlemi ile sertleşme süresinin kısa olması
- ✓ Fiyatının ucuz olması
- ✓ Bu reçineden üretilen levha kalitesinin mevcut kullanım yerleri açısından yeterli özelliklere sahip olması
- ✓ Beyaz veya renksiz olması
- ✓ İç ortamlarda kullanılabilmesi

şeklinde sıralanabilmektedir. Üre formaldehit reçinesinin sahip olduğu bu avantajların yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Aminometil bağların bozulmasından dolayı neme bağlı olarak suya karşı dirençlerinin az olması
- ✓ Sıcaklık, pH, üre ile formaldehitin molar oranı, reaksiyon süresi gibi özelliklerin üre formaldehit reçinesini etkilemesi
- ✓ Üre formaldehit tutkalının sertleşmesi için asitli kimyasal gerekmesi
- ✓ Bazı çevreler tarafından salınımının sağlığa zararlı kabul edilmesi
- ✓ Ürenin formaldehite göre mol oranının azaltılmasının sertleşme süresinin uzamasına neden olması

olarak özetlenebilmektedir (Boran, 2010).

Üre formaldehit matrisi ile oluşturulan lifli ve talaşlı levhalara uygulanan kesme işleminden sonra elde edilen levhalar 2. aşama kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu aşamada matris malzemesi olarak poliüretan reçine (Poliol (bileşen A) ve İzosiyanat (bileşen B)) tercih edilmiştir.

Poliüretan reçineler OH grubuna sahip polioller ile NCO grubuna ait izosiyanatların reaksiyona girmesi ile meydana gelen polimerlere verilen isimdir. Plastiklerin bir alt grubu olan poliüretanlar tamamen bir polimerizasyon reaksiyonudur. İzosiyanatlar, NCO adlandırılması yapıdaki yüzdesi, fonksiyonu bir moleküldeki NCO sayısına göre yapılmaktadır. En çok bilinenlerden iki tanesi TDI (tolüen diizosiyanat ve- NCO (%48,2)) MDI (difenilmetan diizosiyanat - NCO (%31,5))'dır. Poliesterler ve polieterler olmak üzere türü vardır (Tuzcu, 2010).

Başka bir ifadeyle poliüretan reçineler, polieter veya polyester bazlı poliollerle, bunlarla uygun oranlarda karıştırılan renklendirici, silikon, katalist, kabartıcı ajan gibi kimyasallardan oluşan bir karışımdır. Bu karışımlar bünyelerinde serbest hidroksil (OH) taşırlar. İzosiyanat, polioller ile karıştırıldığında onunla ekzotermik reaksiyona girer.

Bileşenlerde meydana gelen OH ve NCO yüzdeleri oluşan köpüğün sert (rijit), yarı-sert (semi-rigid) veya yumuşak (flexible) olmasına olanak sağlar. Çalışmada kullanılan poliüretan reçine;

Poliol (bileşen A) ve İzosiyanat'ın (bileşen B) ağırlıkça 1:1 oranında karıştırılması sonucunda elde edilen sert (semi-rigid) poliüretan reçinedir.

Poliüretan, 1937 yılında Otto Bayer tarafından kauçuk benzeri ürün keşfetme çalışmaları neticesinde bulunmuştur. İlk kez 1940 yılında sert poliüretan uçak sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır. Sahip olduğu yapışkanlık özelliği poliüretanı cam, metal vb. malzemeleri birbirine bağlamak için sanayide en çok tercih edilen malzemeler arasına sokmuştur. 1948'de daha çok yalıtım malzemesi olarak, 1950'li yıllarda esnek sünger endüstrisinde, sonrasında ise ucuz maliyetli poliollerin keşfiyle birlikte otomotiv sanayisinde büyük oranda kullanımını artırmıştır. 1960'da sandviç panellerin yapımında, 1966'da ayakkabı sanayisinde, 1979'dan sonra ise binaların ısı yalıtımında poliüretan köpükler kullanılmaya başlanmış ve günümüze kadar birçok alanda (otomotiv sektörü, transport, ısı yalıtımı vb.) yaygın olarak poliüretan malzemelerin kullanımı görülmektedir (Tuzcu, 2010).

Poliüretan üretimi dünyada her yıl yaklaşık %5 civarında artmakta olup gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de bu oran %7-8'e ulaşmış durumdadır. Enerji maliyetinin arttığı her geçen gün, poliüretan türü yalıtım malzemelerinin değeri de artmakta ve birçok alanda kullanılmaya başlanmaktadır. Taşımacılıkta (tren, gemi, taşıt, uçak), elektrik-elektronik alanında yalıtımda, ısı yalıtımında, medikal alanda vb. sanayi kollarında kullanımı hızla artan polimerlerin en önemlilerinden biridir.

Poliüretan esaslı malzemelerin en önemli özellikleri arasında; düşük maliyetli olmaları, parça üretimi ve montajına imkân sağlaması, darbelere dayanıklı ve hafif olmaları, ihtiyaç duyulan alana göre farklı özelliklerde üretimlerinin yapılabilmesi, esneme gibi özellikler sayılabilmektedir. Ayrıca sert poliüretan malzemelerin bazıları geniş sıcaklık aralıklarında ısı yalıtım malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Sert poliüretan malzemelerin ısı iletim katsayısı ($\sim 0,023$ W/mK) diğer ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısına oranla daha düşük olabilmektedir.

Kompozit malzeme üretimlerinde parametreler, kullanılacak olan hammadde türü ve özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu parametreler, kompozit malzemelerin kalitesini kullanılacak alana göre ürün performansını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple kompozit malzeme üretiminde çalışılan hammaddeye en uygun üretim parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir.

Ahşap talaşı; mobilya sektöründe, odun, ahşap işleme tesislerinde ve daha birçok yerde atık malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Belirli boyutlarda olmayan bu atıklar en çok kışın ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Çalışmadaki talaş türlerinden kızılçam, ülkemizde en çok yetişen ağaç türü olması, hammadde açısından ucuz ve kolay ulaşılabilir olmasından dolayı tercih edilmiştir. Bambu bitkisinin tercih sebebi ise dünyada en hızlı büyüyen bitki olması ve uzak doğuda çok fazla yetişiyor olmasından dolayıdır.

Kızılçam en çok Doğu Akdeniz havzasında yetişen uzunluğu 25 metreye ulaşabilen bir çam türüdür. Kurak koşullara son derece dayanıklıdır. Ortalama ömürleri 80-90 yıl olan kızılçam 1300-1650 metre yükseltilerde bile yetiştirme özelliğine sahiptir. Türk ormancılığında yaygın kullanımını

yanı sıra yabancı kaynaklarda da Türk çamı olarak adlandırılmaktadır. Genel özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Doğal kızılçam bitkisine ait ortalama özellikler (Bektaş, 1997)

Yapısal Özellik	Yüzde	Fiziksel Özellik	Değer	Mekanik Özellikler	Değer
Holoselüloz	66,43	Hava Kuru Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	0,560	Basınç Direnci (N/mm ²)	44,92
Lignin	27,18	Tamkuru Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	0,500	Eğilme Direnci (N/mm ²)	60,13
Pentozan	10,29	Hacim Ağırlık Değeri (g/Cm ³)	0,440	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	8732
Kül	0,5	Radyal Daralma (%)	3,9	Dinamik Eğilme Direnci (N/mm ²)	0,56
Alfaseluloz	43,92	Teğet Daralma (%)	7,1	Çekme Direnci Dik (N/mm ²)	3,23
Sıcak Suda Çözünürlük	3,65	Hacmen Daralma (%)	11,0		
Eterde Çözünürlük	4,59	Isıl iletkenlik katsayısı	0.108 W/m-K		

Bambu bitkisini 3 temel materyal oluşturmaktadır. Bunlar; yüksek polimer olan selüloz, lignin ve hemiselülozdur (Çizelge 3.2). Tümü dekstroz olan bu materyaller, bambu liflerinin kuru ağırlığının % 90'ını meydana getirmektedir. Geri kalan bileşenler; yağ, meyve özü protein ve renkli maddelerdir. Bambu lifi doğal olarak günümüzde eugenic (arı ırk) bambudan üretilmektedir. Bambu bitkisinin en önemli niteliklerinden birisi, “Bambu Kun” olarak adlandırılan doğal antimikrobiyel bir madde ihtiva etmesidir.

Çizelge 3.2. Doğal bambu bitkisine ait ortalama özellikler (Li ve ark., 2002)

Yapısal Özellikler	Doğal Bambu	Fiziksel Özellik (Türlere göre değişkenlik göstermektedir)	Doğal Bambu	Mekanik Özellikler	Doğal Bambu
Kuru halde selüloz	%47.2	Yoğunluk (g/cm ³)- fırında kurutulmuş	0,51-0,67	Lif hacim oranı	%29,2
Kuru halde hemiselüloz	%23.9	Nem oranı %	7 - 11	Büzülme katsayısı	0,663
Kuru halde klason lignin	%23.8	Ortalama çap (mm)	83 - 147	Yoğunluk	0,66 g/cm ³
Asitte çözünen lignin	%1,5	Ortalama kalınlık (mm)	9,7 – 23,7	Çekme dayanımı	206,2 MPa
Kül	%1,4	Ortalama yükseklik (m)	10-35	Çekme modülü	20,1 GPa
pH	5,05-5,33	Isıl iletkenlik katsayısı	0,55-0,59 W/m.K	Eğilme dayanımı	210,3 MPa
				Eğilme modülü	13,1 GPa
				Basınç dayanımı	78,7 MPa

Geri dönüşüm polyesterler genellikle iplik üretimi vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Geri dönüşüm liflerinin kullanılma amacı hem ucuz olması hem de doğada uzun sürede bozunması sebebi ile kullanım ömrü fazla olan, doğaya dönüşü geciktirilmiş bir yapı elde etmektir.

3.1.1. Geri Dönüşüm Polyester Elyaf Temini

Yapının ısı ve ses yalıtım özelliklerini etkileyeceği düşünülen geri dönüşüm polyester elyafının temini Adana’da faaliyet gösteren ve atık PET şişe gibi ürünlerden geri dönüşüm elyaf üretimi gerçekleştiren Yılmaz Ambalaj Atıkları Geri Dönüşüm San. ve Tic. Ltd. Şti ’den Çizelge 3.3’de belirtilmiş özelliklere göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Temin edilen geri dönüşüm polyester liflerin özellikleri

Hammadde Türü	Temin Edilen Miktar	Lif Uzunluğu	Lif İnceliği	Görüntü
%100 Geri Dönüşüm Polyester	20 kg	64 mm	3 denye	
%100 Geri Dönüşüm Polyester	20 kg	64 mm	6 denye	
%100 Geri Dönüşüm Polyester	20 kg	64 mm	15 denye	

3.1.2. Kızılçam Talaş Temini

Kahramanmaraş’ta faaliyet gösteren “Doruk Orman işletmeleri” ile gerekli görüşmeler yapılmıştır. Bu doğrultuda kızılçam talaşının başka ağaç türlerine ait talaşlar ile karışmaması için sadece kızılçam odunu kesimi yapılacağı bir gün belirlenmiş, testere altı ve çevresi temizlenmiştir. Kızılçam kesim işlemlerinden sonra testere altı ve çevresinden toplam 80 kg kızılçam talaşı (Şekil 3.1) temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Kızılçam talaşının temin edilmesi

3.1.3. Bambu Talaşı için Bambu Çubukların Temini

İstanbul'da faaliyet gösteren bir firmadan farklı boylarda ve çaplarda (150-200 cm boy 2-9 cm çap) toplam 220 kg ağırlığında 350 adet bambu çubuk temin edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Farklı en ve boylarda bambu çubuklar

3.1.4. Reçine ve Sarf Malzeme Temini

Plakaların üretiminde reçine olarak kullanılacak olan üre formaldehitin temini için Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren, Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. ile yapılan görüşmeler sonucunda 75 kg, sıvı halde %55 yoğunlukta üre formaldehit reçinesi temin edilmiştir. Ayrıca toz formunda 25 kg paketler halinde 50 kg üre formaldehit temin edilmiştir.

Katmanlı hibrit kompozit üretiminde kullanılacak olan poliüretan reçine için ise, 5'er kg'lık paketler halinde 60 kg poliöl (bileşen A) ve 60 kg izosiyonat (bileşen B) temin edilmiştir.

Ayrıca üretim için gerekli olan yağlı kâğıt, reçineleme kabı, sıkma işlemi için matkap, eldiven gibi diğer sarf malzemelerde temin edilmiştir.

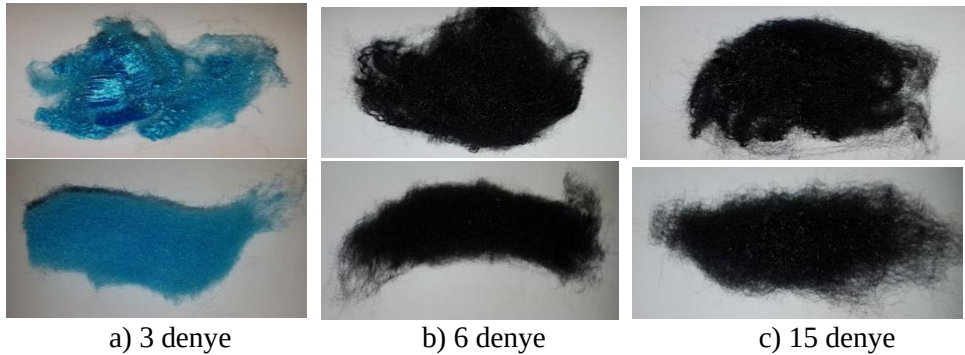
3.2. Metod

Çalışma kapsamında izlenen metodoloji aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- Bambu çubukları, kızılçam talaşları ve geri dönüşüm polyester liflerin temini
- Çubuk formunda temin edilen bambuların 3 aşamada talaş haline getirilmesi
- Homojen yapıda olmayan geri dönüşüm polyester liflere homojen dağılım ve yönlendirme amacı ile lif paralelleştirme işlemi uygulanması
- Üretim kalıplarının tasarımı ve üretimi
- Üre formaldehit ve poliüretan reçine temini
- Deneme üretimlerinin gerçekleştirilmesi
- Titreşimli kompozit üretim masası tasarımı ve üretimi
- Lif ve talaş plakaların üretimi
- Lif ve talaş levhaların kesilmesi
- Tabakalı hibrit kompozit numunelerin üretimi
- Numunelerin seçilmiş fiziksel ve mekanik özelliklerinin test edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi

3.2.1. Geri Dönüşüm Polyester Liflerin Paralel Hale Getirilmesi İşlemi

Aynı elyaf boyunda (64 mm) 3 farklı incelikte (3 Denye, 6 Denye 15 Denye) temin edilen geri dönüşüm polyester lifleri üretim ve kesim işlemi sırasında statik elektriklenme vb. nedenlerle birbirine yapışmış ve bu nedenle yapı içerisinde homojen olarak dağılmadıkları görülmüştür (Şekil 3.3). Liflerin birbirine paralel uzanması halinde reçineleme işleminde reçinenin yapıda daha homojen dağılacağı düşünüldüğünden, lif demetlerini açmak amacıyla Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde bulunan USTER MDTA Trash Analyzer cihazı ile liflere paralelleştirme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Temin edilen ham haldeki lifler (üstte) ve paralelleştirme işlemi sonrası görüntüleri (altta)

Paralleleştirme işlemine başlamadan önce 2. aşama üretimde alt ve üst katmanda kullanılacak liflerin homojen ve eşit miktarda olması açısından lifler 40 gramlık numuneler halinde tartılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Geri dönüşüm liflerin tartma işlemi

Bunun yanında lif çekim işlemi sırasında liflerin topaklanmasına bağlı olarak bazı bölgelerde liflerin parçalandığı görülmüştür. Hem parçalama işleminin önüne geçmek hem de liflerin daha rahat paralelleştirilmesini sağlamak amacıyla plastik bir kabın içerisinde basınçlı hava ile ön açma işlemi (Şekil 3.5) uygulanmıştır. Ön açma işlemi sonrası paralelleştirilen numuneler Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.5. Basınçlı hava ile ön açma işlemi



Şekil 3.6. Ön açma işlemi uygulanmış ve paralel hale getirilmiş lifler

Paralel hale getirilen numuneler paralel formunu koruması amacıyla işlemten sonra Şekil 3.7’de görüldüğü gibi plastik torbalarda muhafaza edilmiştir. Ayrıca olası karışmaları önlemek amacıyla üzerlerine bilgi etiketi yapıştırılmış, lif demetlerinin tekrar açılmasını önlemek amacıyla torbalar vakumlanmıştır.



Şekil 3.7. Paralel hale getirilmiş liflerin paketlenmesi ve vakumlanması

3.2.2. Bambu Çubukların Talaş Haline Getirilmesi İşlemi

Temin edilen bambu çubukları çalışma kapsamında 3 aşamada talaş haline getirilmiştir.

1. Kesim; bambu çubuklar yerel bir marangoz işletmesinde kırıcıya sığabilmesi için Şekil 3.8’de olduğu gibi 2-4 cm uzunluğunda kesilmiştir.



Şekil 3.8. Şerit testere yardımıyla kesilmiş bambular

2. Kırma; kesilen parçalar Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Laboratuvarında kırıcıda ufalanarak daha küçük parçalar haline getirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kesilen bambuların küçük parçalar haline getirilmesi işlemi

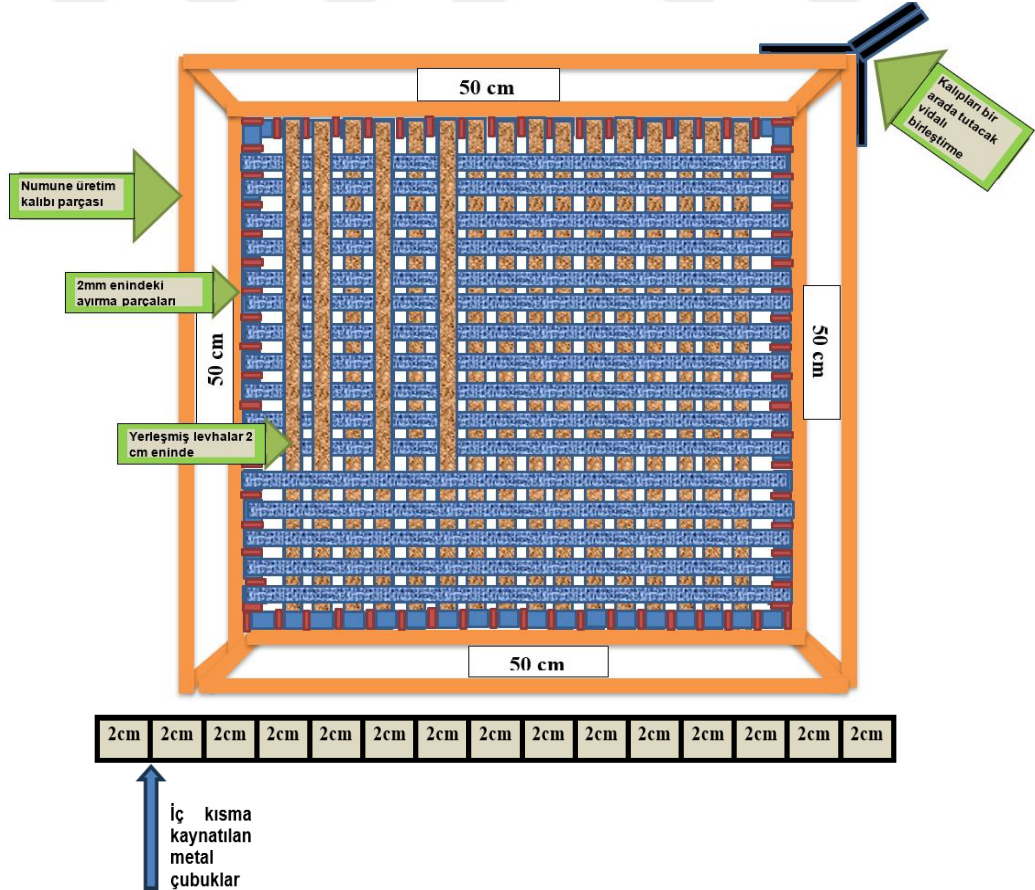
3. **Talaş Haline Getirme;** kırılmış parçalar talaş makinasında talaş haline getirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Küçük parçaların talaş haline getirilmesi işlemi

3.2.3. Katmanlı Hibrit Kompozitlerin Üretimi İçin Kalıpların Hazırlanması

Teknik çizimi yapılmış olan (Şekil 3.11) kalıp şemasından yola çıkılarak kalıp üretimi işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıpların ana iskeleti için kesiti 4x4 cm boyutlarında olan 20, 30, 40, 45 cm uzunluklarda profil demirler kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Kalıp üretim şeması (genel ve iç kısımları görünüşü)

Lif ve talaş levhaların hibrit kompozit üretimi esnasında düzgün yerleştirilebilmesi ve kaymaması için kalıbın kenarlarını oluşturacak profil demirler üzerine, 2'şer cm aralıklarla ince metal çubuklar kaynatılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Kalıp hazırlama çalışması

Farklı uzunluklardaki profil demirler Çizelge 3.4'de verilen kompozisyonlara uygun şekilde bir araya getirilerek farklı alan ölçülerinde kalıplar elde edilmiştir. Profil demirlerin köşelerine birleştirme elemanları eklenmiştir. Tercih edilen ölçülerde kalıp hazırlanırken bu elemanlar üzerinde bulunan boşluklardan geçirilen vida-somun elemanları ile birleştirme işlemi yapılabilmektedir.

Çizelge 3.4. Farklı ölçülerde üretilen kalıplar ve üretim yapılabilecek varyasyonları.

Kalıp uzunluğu	Kalıp derinliği	Kalıp sayısı	Üretim yapılabilecek varyasyonlar (En x Boy)
45 cm	4 cm	2 adet	45 x 40 45 x 30 45 x 20
40 cm	4 cm	4 adet	40 x 40 40 x 30 40 x 20
30 cm	4 cm	4 adet	30 x 30 30 x 20
20 cm	4 cm	4 adet	20 x 20



Şekil 3.13. Üretimi tamamlanmış kalıp parçaları

3.2.4. Talaş ve Lif Kompozit Plaka Üretim Denemelerinin Gerçekleştirilmesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Laboratuvarında gerçekleştirilecek olan kompozit plaka üretimlerine başlamadan önce deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede gereksiz malzeme israfının önüne geçilmiştir. Ana ürünlerin üretimine başlamadan önce reçine miktarını belirlenmesi, kalınlık ayarlanması, numune boyutları, sıcaklık ve basınç ayarı vb. durumlar için toplam 17 adet ön deneme gerçekleştirilmiştir. Ön deneme sonuçlarından seçilmiş olanlar “Bulgular ve Tartışma” bölümünde verilecektir.



Şekil 3.14. Numune üretim makinası (sıcak pres) ve yapılan deneme üretimleri

3.2.5. Kızılçam ve Bambu Talaşlara Uygulanacak Ön İşlemler

Ön Eleme (Kaba Eleme)

Kompozit plaka üretiminde kullanılacak olan kızılçam ve bambu talaşlarının içerisinde bulunan büyük parçaları ayırmak ve maksimum talaş büyüklüğünü ayarlamak amacıyla yüksek mesh aralığına sahip bir elek yardımıyla tüm talaşlar ön elemeden geçirilmiştir.



Şekil 3.15 Kızılçam ve bambu talaşının kaba elekten geçirilmesi

Talaşların partikül boyutlarının tayini işlemi

Bu işlemde belirli bir miktarda talaşın çok katmanlı elek yardımıyla en üst elekten (20 mesh) alta doğru talaşların boyutlarına göre elenmesi işlemine dayanır. Eleme işleminden önce cihazda bulunan farklı mesh aralıklarına sahip (20 mesh, 40 mesh, 80 mesh, 100 mesh, 150 mesh, 200 mesh) tüm elekler boş olarak tartılır ve ağırlıkları kayıt edilir. Tartılan elekler gözenek boyutuna göre en büyükten en küçüğü doğru sıralı olarak (20 mesh, 40 mesh, 80 mesh, 100 mesh, 150 mesh, 200 mesh) üst üste konulur ve yanlarda bulunan aparatlarla sabitleştirme işlemi yapılır. Altı elekten oluşan eleğin en üst katmanında bulunan 20 mesh boyutundaki eleğe belirli miktar talaş konulur. Titreşim hareketi ile eleme yapan cihaz çalıştırılır, 10 dakika süresince en üstten altta doğru daha küçük olan talaş partikülleri bir alt eleğe dökülür (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Talaşların çok katmanlı elek ile partikül boyutlarının % miktarının belirlenmesi

Süre sonunda cihazdan elekler sökülerek tekrar tartma işlemi uygulanır. Elde edilen değerlerden eleklerin boş durumdaki ağırlıkları çıkarılarak eleklerdeki talaş miktarları belirlenir. Bu değerler ilk aşamada eleğe dökülen talaş miktarına oranlanarak talaş içerisindeki partiküllerin miktarı yüzde olarak hesaplanır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Talaşların partikül boyutları % değeri

Elek Mesh Aralıkları Boyutu	Kızılçam Talaşı Boyutları % Değeri	Bambu Talaşı Boyutları % Değeri
20 mesh	28,7	30,5
40 mesh	42,0	22,2
80 mesh	22,5	23,8
100 mesh	5,3	10,1
150 mesh	1,4	1,9
200 mesh	0,2	9,6
200 mesh'den küçük	0,0	1,8

Rutubetin Belirlenmesi

Talaşlarda bulunan nem miktarı laboratuvarda bulunan ve Şekil 3.17’de görülen rutubet ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. Cihaz üzerindeki kaba yerleştirilen 2 g ağırlığındaki talaşın içerisindeki nem, kapak kısmında bulunan rezistanslardan verilen sıcaklık etkisiyle uzaklaşmakta ve talaşın ağırlığında değişimler meydana gelmektedir. Talaşın ağırlığındaki değişim sabitlenene kadar işlem devam etmektedir. Ağırlık sabitleşince cihaz testi durdurmakta ve ekranda görülen değer talaşın nem miktarını belirlemektedir. Rutubet %5 ve üzeri olursa talaşın reçine ile birleşmesinde olumsuzluk yaşanabilmesi nedeniyle genel olarak rutubetin %5 in altında olması istenmektedir.



Şekil 3.17. Rutubet ölçüm cihazı

Talaşların Kurutulması

Üretime geçmeden önce talaşların nem miktarının %5 in altında olması istenmektedir. Bu sebeple talaşlar laboratuvarda bulunan alüminyum kaplara konularak etüve yerleştirilmiş (Şekil 3.18) ve 70-100 °C arasında sıcaklıkta kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işlemi tamamlandığında etüvde bulunan farklı kaplardan alınan talaşlar nem miktarını belirlemek için tekrar test edilmiştir. Nem miktarı %5 altında ise numune üretimine geçilebilir, aksi takdirde kurutma işlemine devam edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.18. Talaşların etüvde kurutulması işlemi

3.2.6. Bambu ve Kızılçam Kompozit Plaka Üretimlerinin Gerçekleştirilmesi

Talaş ve Reçine Miktarlarının Ayarlanması

Öncelikle toz haldeki üre formaldehit reçinesinin hazırlanması aşamasında kullanılacak oran kararlaştırılmıştır. Yonga levha, MDF üretiminde genel olarak kullanılan %55 ve %65'lik reçine oranlarından %55'lik üre formaldehit oranı tercih edilmiştir. Yonga levha üretiminde kullanılan orta yoğunluklu lif levha üretim parametreleri esas alınmıştır. Bu oranda reçine hazırlanırken 1 kg reçine için 550 g toz üre formaldehit 450 g su kullanılmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Üre formaldehit reçinesi hazırlama aşaması

Genel olarak etüvden çıkarılan talaşların nem miktarları % 5'in altında olmasına dikkat edilmiştir. Tartım esnasında talaş miktarı belirlenirken talaşın nemsiz yani kuru ağırlığı dikkate alınmıştır.

Örneğin 2700 gramlık numune için nem miktarı % 2,1 olan bir talaştan $(2700 \times 100 / 97,9)$ 2758 g talaş kullanılmıştır. Yapılan denemeler neticesinde kızılçam ve bambuda ağırlıkça % 20

oranında üre formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Numune için gerekli talaş ve üre formaldehitin karıştırıcıda daha iyi karışabilmesi açısından tartım esnasında 3 parçaya bölünmüştür.

Talaş ve Reçine Birleştirme İşlemi

Tartılan reçine ve talaşlar karıştırıcıda karıştırılmak üzere alınmaktadır. Tartım esnasında üç eşit parçaya ayrılan talaş ve reçineler karıştırma işlemi sırasında da üçe ayrılarak sırasıyla talaş-reçine-talaş-reçine olacak şekilde karıştırıcıya dökülmüştür. Cihazın kapağı kapatıldıktan sonra cihaz çalıştırılmaktadır.

Cihaz çalışırken karıştırıcının kazanı dik konumdan eğik konuma sonra tekrar dik konuma getirilerek bu hareket 10 defa (40-60 s) tekrar etmiştir. Bu işlem ile reçine ve talaşın homojen olarak karışması sağlanmaktadır. İşlem tamamlanınca karıştırıcının kapağı açılıp ve içerisindeki malzeme kovaya alınmıştır. Bu işlem 3 parça içinde tekrarlanmış ve tüm talaş-reçine karışımı tek kovada toplanıp ve kalıba yerleştirilme işlemine hazır hale getirilmiştir (Şekil.3.20).



Şekil 3.20. Talaşın karıştırıcıda reçineleneşmesi işlemi

Kalıbın Hazırlanması ve Ön Presin Uygulanması

Kompozit plaka üretiminde malzemenin dağılmasını engellemek, kalınlığı ayarlamak vs. için 50x50 cm ebatlarındaki 2 adet metal plakadan birisi ön presleme için masaya yerleştirilmiştir.

Talaşın yapışmasını engellemek ve pürüzsüz bir yüzey elde etmek amacıyla üzerine yağlı kâğıt serilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Metal plakaların masaya yerleştirilmesi ve ön presleme işlemine hazırlanması

Bu işlemden sonra ön presleme kalıbı metal yüzeyin üzerine konulmuş ve reçinelenen talaşlar el ile homojen bir biçimde serilmeye başlanmıştır. Serme işlemi bittikten sonra reçinelenmiş talaşların üst kısmı metal kalıp yardımıyla düzlenmiş ve üzerine ön pres gerçekleştirmek üzere ağırlık kalıbı konulmuştur. Bu işlemin ardından kalıp içerisinde talaşın şeklini korumak amacıyla kalıp 2 kişi ile birlikte yukarı kaldırılmaktadır. Kalınlığı ayarlamak için kullanılan 2 cm kalınlığındaki metal çubuklar sağ ve sol kısma yerleştirilmektedir (Şekil 3.23). Malzemenin üzerine yağlı kâğıt serildikten sonra diğer metal plaka üzerine konularak sıcak pres cihazına yerleştirilmektedir.



Şekil 3.22. Ön presleme işlemi için reçinelenmiş talaşın serilmesi



Şekil 3.23. Ön presleme işlemi ve numune kalınlık ayarı için metal çubukların yerleştirilmesi

Sıcak Presleme İşlemi

Reçineleme ve ön pres işlemlerinin ardından sıcak pres cihazına yerleştirilen numune için alt ve üst pres sıcaklığı 120-125 °C, en yüksek basınç 120 bar en düşük basınç 90 bar, işlem süresi 10 dk. olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Kalıbın sıcak pres makinasına yerleştirilmesi ve süre, sıcaklık ve basınç ayarı

Presleme işlemi bittikten sonra cihazdan çıkarılan plakalar soğuması ve eğilmemesi için dik bir şekilde yerleştirilmektedir. Soğuma işleminden sonra kenarları zayıf olan numunelerin kenar düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiş ve numuneler uygun bir yerde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Presleme işlemi sonrası bambu ve kızılçam plakalar

3.2.7. Lif Kompozit Plakaların Üretilmesi

Reçine Hazırlanması ve Kullanılacak Reçine Miktarının Belirlenmesi

Deneme üretimlerinin ardından lif kompozit plakalar için reçine miktarı ve her plaka için kullanılacak lif miktarı belirlenmiştir.

Liflerin Reçinelenmesi

Paralel hale getirilmiş geri dönüşüm polyester liflerinin reçinelenmesi işlemi için karıştırıcı kullanımında paralel haldeki liflerin yönünün bozulacağı ve liflerin hidrofob yapısı sebebiyle reçineyi yapısına almayacağı göz önünde bulundurularak lifler reçine havuzuna yatırılarak reçinelenmiştir. Reçine havuzuna yatırılan lifler reçinelendikten sonra hazırlanan bir düzeneğin yardımıyla sıkılarak üzerindeki fazla reçine uzaklaştırılmıştır (Şekil 3.26 (a)).



a) Sıkma işlemi



b) Sıkılmış lif numuneler



c) Tekrar açılmış numuneler



d) Üretim kalıbı içerisine yerleştirilmiş numuneler



e) Numunelerin cihaza yerleştirilmesi



f) Sıcak presleme işlemi

Şekil 3.26. Lifli kompozit plaka üretim aşamaları

Sıkma işlemi ile alınamayan reçineler ise pres işlemi esnasında özel üretilmiş olan metal kalıbın yardımıyla başka bir kaba aktarılmıştır (Şekil 3.26 (f)).

Reçinelenmiş lifler için ön pres uygulamasına gerek duyulmamıştır. Her plaka için 2000 gram geri dönüşüm polyester lif kullanılmıştır. Kullanılan reçine miktarı reçine havuzuna dökülen reçine miktarından kalan reçine miktarı ve sıcak pres cihazında presleme esnasında kapta biriken reçine miktarlarının toplamı çıkarılarak hesaplanmıştır.

$$KRM = HDRM - (HKRM + PSRM)$$

- ✓ KRM: Kullanılan reçine miktarı
- ✓ HDRM: Havuza dökülen reçine miktarı

- ✓ HKRM: Havuzda kalan reçine miktarı
- ✓ PSRM: Presleme sırasında kapta biriken reçine miktarı

Her lif türü için yukarıda verilmiş olan hesaplama yöntemi ile hesaplamalar yapılmış her plakada 2000 g lık lif için 1400 g üre formaldehit reçinesi kullanılmıştır.

Sıcak Presleme İşlemi

Talaşlardan üretilen kompozit plakalardan farklı olarak lifler arasında buhar odacıkları oluşmasına engel olmak amacıyla pres sıcaklığı düşürülüp presleme süresi arttırılmıştır. 70-75 °C sıcaklıkta en yüksek basınç 120 bar en düşük basınç 90 bar olacak şekilde 150 dk preslenmiştir. İşlem sonunda plakalar cihazdan çıkarılıp soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.27. Sıcak pres işlemi sonucu üretilmiş lifli kompozit plakalar

Presleme süresi sonrasında numuneler makinadan çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır. Üretimler sonucunda 50x50 boyutlarında, 2 cm kalınlıkta, 3 denye olan liflerden 8 adet, 6 denye olan liflerden 8 adet, 15 denye olan liflerden 8 adet toplamda 24 adet lif plaka üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.8. Lif ve Talaş Plakalarının Kesilerek Lif ve Talaş Levha Formuna Getirilmesi

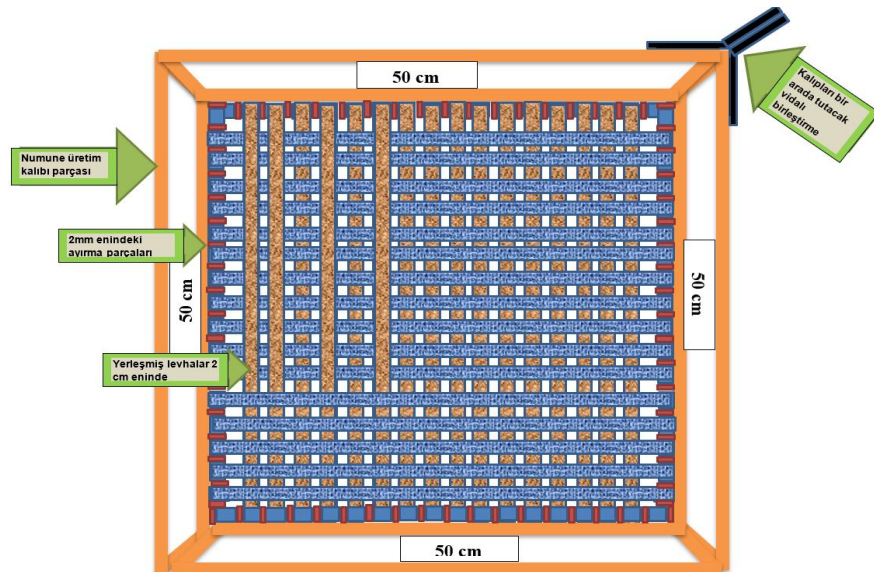
Planlanan üretim yönteminin 1. aşamasında üre formaldehit reçinesi kullanılarak üretilen numunelerin 2 cm kalınlık, 50 cm en ve 50 cm boyda kalıp plakalar olarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu plakalar 2 mm'lik kalınlıkta olacak şekilde şerit testere ile kesilerek, 50 cm uzunluk 2 cm en 2 mm kalınlıkta “lif levhalar” ve “talaş levhalar” elde edilmiştir.



Şekil 3.28. 2 mm kalınlıkta kesilmiş levhalar

3.2.9. Katmanlı Hibrit Kompozit Üretimleri

Lif ve/veya talaş levhaların farklı oranlarda kullanılması ile elde edilecek katmanlı hibrit kompozit üretimi için “titreşimli kompozit masası” olarak tanımlanan bir sistem geliştirilmiştir ve deneme üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu üretim masasında diğer yöntemlerden farklı olarak reçinenin yapıda daha hızlı yerleşmesini sağlamak amacıyla titreşim hareketinden faydalanılmıştır. Masa üzerine monte edilen bir cihaz yardımıyla farklı seviyelerde titreşim hareketi sağlamaktadır.



Şekil 3.29. Üretilmesi planlanan numune şematik gösterimi



Şekil 3.30. Titreşimli kompozit numune üretim masası ve deneme üretimi

Planlanan üretim yönteminde Şekil 3.29’de verilmiş olan şematik tasarıma göre üretimler gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında malzemenin metal kalıptan ve zemin yüzeyinden kolay ayrılması için streç film veya yağlı kâğıt tabakası serilmiştir. Alt katmanı oluşturacak olan ve önceden paralel hale getirilmiş lifler homojen olacak şekilde yüzeye serilmiştir (Şekil 3.31 (b)).



a)



b)

Şekil 3.31. Kalıbın birleştirilmesi, streç film ile kaplanması ve alt tabaka lif serim işlemi

Şematik gösterimde (Şekil 3.29) görüldüğü gibi 2 mm kalınlık 2 cm ende kesilmiş levhalar 2 mm aralıklarla alt katman olarak serilen lifler üzerine yan yana dizilmiştir. Daha sonra 2. katmanı oluşturacak levhalar 1. katmana 90 derecelik açı yapacak şekilde kalıba yerleştirilerek tüm katmanlar tamamlanana kadar işleme devam edilmiştir (Şekil 3.32).



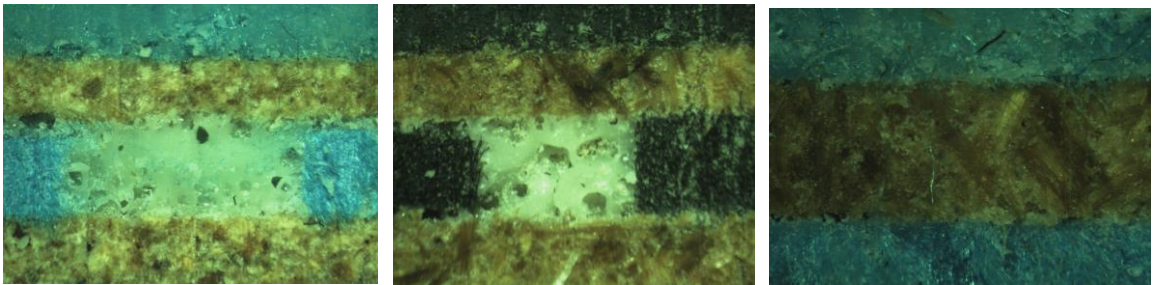
Şekil 3.32. Serim işleminin tamamlanması ve reçinenin kalıba dökülmesi işlemi

Bu işlemden sonra üst katmanı oluşturacak şekilde en üste lif serim işlemi gerçekleştirilmiştir. Serim işlemi tamamlandıktan sonra titreşim cihazı çalıştırılmıştır. Bileşen A ve bileşen B kimyasalları 1x1 oranında karıştırılarak hazırlanan poliüretan reçinenin kalıp içerisine döküm işlemi yapılmıştır. Kalıp içerisine tam oturacak şekilde daha önceden hazırlanmış olan kapak numune üzerine kapatılmış ve üzerine 50 kg ağırlık konulmuştur. Reçinenin tamamen kürleşmesi için 30 dk beklenmiştir. Kürleşen numune kalıp vidaları söküldükten sonra kalıptan çıkarılmıştır.



Şekil 3.33. Kompozit malzemenin kalıptan çıkarılması ve kesim işlemi

Üretim işlemi tamamlanan numunelerin katmanları arasındaki birleşme yüzeyleri Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarında Stereo mikroskop / Novel marka / NSZ 808 model mikroskop yardımıyla 10 ve 20 kat büyütülerek görüntülenmiş ve bu görüntülerden seçilmiş olanlar Şekil 3.34’te verilmiştir.



Şekil 3.34. Numunelerin mikroskop altında kesit görüntüleri

3.2.10. Hibrit Kompozit Üretimi İçin Birim (1 m²) Hammadde Maliyet Hesabı

Çalışma kapsamında üretimleri tamamlanan 40x40 cm boyutlarında hibrit kompozit numuneler için üretim esnasında kullanılan malzeme miktarları matematiksel olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler baz alınarak 1 metrekare ölçülerindeki bir ürünün üretilmesi için gerekli malzeme miktarlarına göre toplam maliyetleri belirlenmiştir.

3.2.11. Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışmanın öncül amacı olan lif ve talaş takviyeli kompozitlerin üretilebilirliği sağlandıktan sonra elde edilen ürünlerin karakterizasyonu ve seçilmiş parametrelerin malzeme özelliklerine etkisini değerlendirmek amacıyla mekanik ve fiziksel özellik testleri uygulanmıştır.

Üretilen kompozit numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testleri yapılmıştır.

Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini test numunelerinin kesme işlemleri yapılırken, hibrit kompozit yapı içerisine paralel halde yerleştirilen 2 cm'lik talaş ve/veya lif levhaların bütün halini içerecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir.

- *Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü*

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde TS EN 310 standardı esas alınmıştır. Bu standarda göre numuneler 20×20×300 mm ölçülerinde kesilmiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Eğilme dayanımı testi örnekleri

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri aynı örnekler üzerinden belirlenmiştir. Dayanak noktaları arasındaki açıklık 250 mm'dir. Test hızı 5 mm/dk olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.36. Eğilme dayanımı test cihazı

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri aşağı verilmiş olan formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_{ED} = \frac{3F_{max} \cdot L}{2bh^2}$$

Burada;

σ_D : eğilme direnci (MPa),

F_{max} : kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (N),

L: dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm),

b: numune genişliği (mm),

h: numune kalınlığı (mm)

olarak tanımlanmaktadır.

$$\sigma_{EM} = \frac{L^3(F_2 - F_1)}{4bh^3(a_2 - a_1)}$$

Burada;

σ_{EM} : elastikiyet modülü (MPa),

L: dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm),

$F_2 - F_1$: Yük deformasyon diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (N) (F_1 : yaklaşık olarak en büyük kuvvetin %10'u, F_2 : maksimum yükün %40'ı olmalıdır),

b: numune genişliği (mm),

h: numune kalınlığı (mm),

$a_2 - a_1$: ' $F_2 - F_1$ ' kuvvet artışı nedeniyle deney parçasının uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır (Kılıç Ak, 2023).

Yüzeye Dik Çekme Direnci

Çekme direncinin belirlenmesinde TS EN 319 standardında verilen esaslara uyulmuştur. Numuneler 50×50 mm ölçülerinde kesilmiştir. Testten önce deney parçasının uzunluk ve genişliği 0,01 mm duyarlılıkta kumpas ile ölçülmüştür. Boyutları alınan örnekler ahşap takozlara hızlı yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Hazırlanan test örnekleri test makinasının çeneleri arasına yerleştirilmiş ve çekme kuvveti uygulanmıştır. Deney hızı, 60±30 saniyede deney parçasını koparacak maksimum kuvvete ulaşacak şekilde 3 mm/dk olarak ayarlanmıştır (Kılıç Ak, 2023).

Numunelerin yüzeye dik çekme direnci, kopma anındaki maksimum kuvvet kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{3F_{\text{max}}}{A}$$

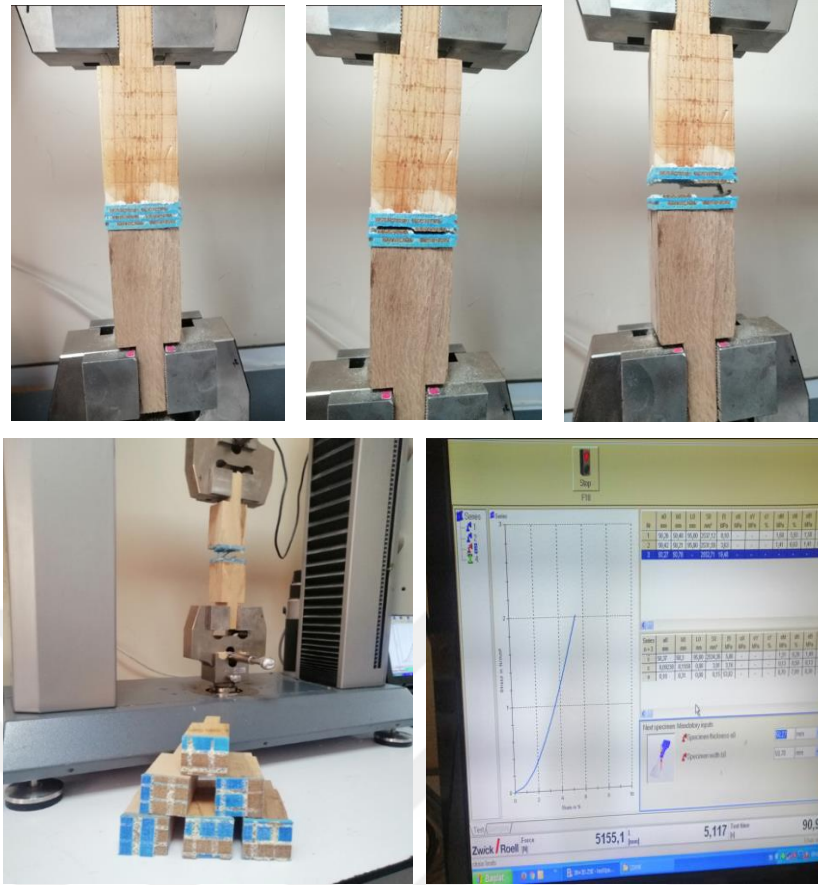
Burada;

$\sigma_{\text{ç}}$: en büyük çekme kuvveti (MPa),

F_{max} : kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (N),

A: numunenin en kesit alanı (mm²)

şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 3.37. Yüzeye dik çekme testi

- *Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini*

Denemeler TS ISO 13061-10 Bölüm 10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini numaralı standarda göre yapılmıştır. Bu standarda göre, deney parçaları, en kesiti 20x20 mm ve lif doğrultusunda boyu 300 mm olan kare dik prizma biçiminde her grup için 5 adet test örneği olacak şekilde hazırlanmıştır. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi; destekler arasına yerleştirilen numunenin metal bir çekiç başlığının serbest halde bırakılmasıyla test numunesine ani bir şekilde çarpması esasına dayanmaktadır (Şekil 3.38). Kompozit yapılara sıklıkla uygulanan İzod darbe dayanımı testinde standartlara göre numunelere çentik açma işlemi yapılırken, bu çalışmada kullanılan TS ISO 13061-10 Bölüm 10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testinde numunelere çentik açma işlemi uygulanmamaktadır.



Şekil 3.38. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini

3.2.12. Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretimi gerçekleştirilen kompozit numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla; ısı iletim katsayısının tespiti ve empedans tüpü metodu ile ses yutum ve ses kaybı değerinin tespiti standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

- *Isı İletim Katsayısı Tespiti*

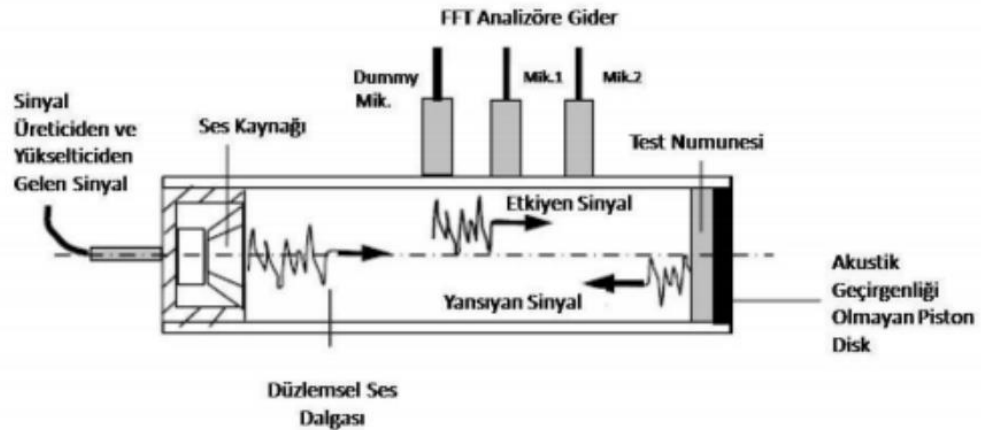
Kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları ASTM C518-17 standardına göre ölçülmüştür. Numuneler test için 30×30 cm ölçülerinde kesilerek hazır hale getirilmiştir. Numunelerin ısı iletkenliğini belirlemek için Lasercomp-Fox 314 Heat Flow Meter (Şekil 3.39) marka test cihazı kullanılmıştır. Cihazda standarda uygun olarak ortalama sıcaklık 30°C olacak şekilde ayarlamalar yapılmıştır. Numune cihaza yerleştirildikten sonra cihaz otomatik olarak numune kalınlığını ölçmekte ve test başlamaktadır. Ölçüm işlemi tamamlandığı anda test otomatik olarak sonlanmakta ve ısı iletkenlik katsayısı kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.39. Isıl iletkenlik katsayısı ölçümü

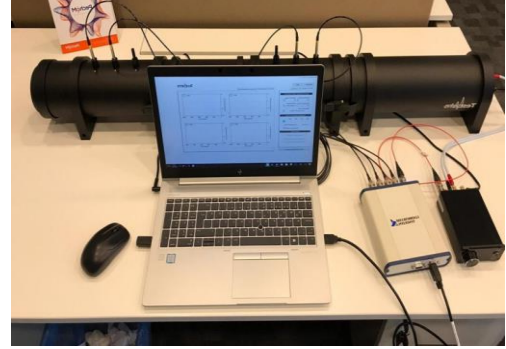
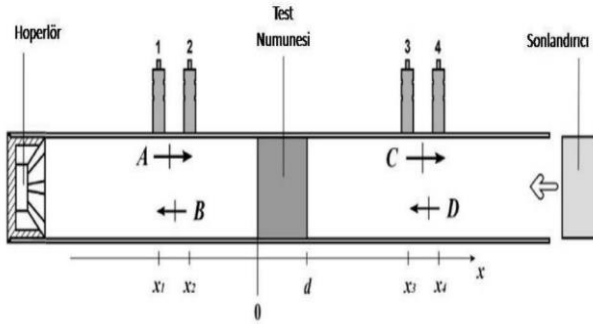
- Ses Yutum Katsayısı ve Ses İletim Kaybının Tespiti

Ses yutum katsayısının belirlenmesi: Günümüzde ses yutma katsayısının ölçümünde iki mikrofona yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. İki mikrofona ile yapılan ses yutma katsayısı ölçümü “TS EN ISO 10534-2 Akustik - Empedans Tüplerinde Akustik Özelliklerin Belirlenmesi” standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Empedans tüpü yöntemiyle test edilecek numunelerin her birisi CNC tezgahında dairesel olarak çapları 29 mm ve 100 mm olacak şekilde kesilmiştir. Test için 100-1000 Hz arası ölçümler için 100 mm çapında numuneler kullanılırken, 1000-20000 Hz arasındaki ölçümler için ise 29 mm çapındaki numuneler kullanılmaktadır. Uygulanan test yönteminde belirtilen boyutlarda kesilmiş numuneler tüpün uç kısmına hava boşluğu oluşmayacak şekilde yerleştirilir. Hoparlöre bağlanan sinyal jeneratörü gürültü sinyali verir. Mikrofonlardan ses basıncı frekans cevap fonksiyonu ölçülür kayıt işlemi yapılır. Mikrofonların konumu değiştirilerek bir önceki adım tekrar uygulanır. Ölçüm sonucu elde edilen değerle malzemenin frekansa bağlı olarak ses yutum katsayısı elde edilmektedir (<https://makina.deu.edu.tr>).



Şekil 3.40. Empedans tüpü ses yutum ölçüm düzeneği (<https://uludag.edu.tr>)

Ses iletim kaybının belirlenmesi: (Transmission Loss: TL [dB]) Ses iletim kaybının ölçülebilmesi için empedans tüpüne ek aparatların eklenmesi gerekmektedir. Şekil 3.40'da görüldüğü gibi test numunesi tüplerin arasına 2 adet ölçüm ortamı oluşturacak şekilde yerleştirilmektedir. Frekans aralığı 63-6300 Hz aralığındadır (<https://uludag.edu.tr>).



Şekil 3.41. Empedans tüpü ses iletim kaybı test düzeneği (<https://uludag.edu.tr>)

Malzemelerin sahip olduğu ses yalıtımı özelliği değerlendirilmek istendiğinde, ses iletim katsayısının olabildiğince az seviyede olması istenir. Bunun doğal bir sonucu olarak da ses iletim kaybı yüksek seviyelerde olacaktır. Bir malzemenin sahip olduğu ses iletim kaybı değeri, malzeme özelliklerine ve malzemenin yüzey şekillerine göre farklılıklar göstermektedir.



Şekil 3.42. Ses yutum katsayısı ölçümü numuneleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Geri Dönüşüm Lif ve Talaş Katkılı Kompozit Malzeme Üretilebilirliğinin Araştırılması

Ahşap talaşı ve tekstil lifleri birçok farklı şekilde kullanılmaktadır. Literatür taramasında bu malzemelerin aynı yapıda kullanılabilirliğine dair bazı çalışmalar yer almaktadır, fakat geniş kapsamlı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu kapsamda ana üretim gerçekleştirilmeden önce geri dönüşüm liflerle birlikte ahşap talaşının aynı yapıda kullanım olanaklarını araştırmak için farklı reçine türleri ve üretim yöntemleri ile bazı ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple Çizelge 4.1.'de belirtilmiş olan parametrelerle öncül denemeler için numuneler tasarlanmış ve üretimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kompozit malzemelere farklı testler uygulanmıştır.

Ön çalışmalardan elde edilen verilerle takviye malzemesi olarak 2 farklı ahşap talaşı (bambu ve kızılçam), 3 farklı (3 denye, 6 denye, 15 denye) kalınlıkta geri dönüşüm polyester lifi tercih edilmiş ve matris malzemesi olarak üre formaldehit, poliüretan reçineler farklı aşamalarda hibrit kompozit yapısında kullanılmıştır. Yine bu verilerle öncül üretimler esnasında ortaya çıkan problemler ışığında kompozit üretiminin iki aşamalı olarak yapılmasına karar verilmiş ve üretimler buna göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Ön çalışmalarda kullanılan malzeme türleri

Numune Kodu	Matris	Takviye Malzemesi
KD1	Epoksi	Talaş+ Polyester Non-Woven + Çelik Tel
KD2	Poliüretan (Sert)	Talaş+Polyester Lif+ Alimünyum Tel+ Polietilen Non-Woven
KD3	Poliüretan (Yumuşak)	Talaş+Polyester Lif+ Alimünyum Tel+ Polietilen Non-Woven
KD4	Poliüretan (Sert)	Alimünyum Tel+ Polietilen Non-Woven
KD5	Epoksi	Talaş+Polyester Lif
KD6	Poliüretan (Yumuşak)	İnce talaş +Polyester Lif

Çizelge 4.1.'de öncül üretimler için kullanılan malzemeler ve özellikleri verilmiştir. Öncül üretimlerde kullanılan polietilen dokusuz yüzeyin gramajı (polietilen nonwoven) 60 g/m² dir.



(a) Orta boyutta talaş



(b) Üretim kalıbı



(c) Dokusuz yüzey

Şekil 4.1. Öncül üretimler için kullanılan malzemeler

Öncül üretimler için orta partikül boyutunda kızılçam odun talaşı (Şekil 4.1.a), 20x20 cm boyutlarında numune üretim kalıbı (Şekil 4.1.b) ve dokusuz yüzey (Şekil 4.1.c) kullanılmıştır.



(a) Çelik tel makası



(b) Streç film



(c) Talaş eleği



(d) Plastik rulo



(e) Çelik spatula

Şekil 4.2. Yardımcı malzemeler

Öncül üretimlerde kullanılmış yardımcı malzemeler Şekil 4.2’de verilmiştir. Yardımcı aletlerin kullanım yerleri aşağıda sıralanmıştır:

- a) Çelik tel makası: Dokuma çelik yapıdan numune kesme işleminde kullanılmıştır.
- b) Streç film: Numunenin zemininde yüzeye yapışmasını engellemek amacı ile ve kalıbın kenarlarını kaplayarak numunenin kalıptan daha kolay çıkması için kullanılmıştır.
- c) Talaş eleği: Talaş serme işleminde talaşın yüzeye homojen olarak dağılımını sağlamak amacı ile kullanılmıştır.
- d) Plastik rulo: Serme işlemleri sonrasında baskı uygulamak ve reçinenin eşit ve homojen dağılımı sağlamak amacıyla kullanılmıştır.
- e) Çelik Spatula: Numuneni kalıptan çıkarılması işleminde ve diğer işlemlerde kullanılmıştır.

4.1.1. Öncül Deneme Üretimleri

Deneme 1 (KD1)

“KD” kompozit deneme olarak kodlanmış sonrasındaki sayı deneme numarasını ifade etmektedir. KD1 numaralı denemede diğer denemelerden farklı olarak talaş, polyester lifleri ile karıştırılmamış, katman halinde serilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Serme işlemleri tamamlandıktan sonra vakum infüzyon ile reçine emdirilmiş ve 24 saat serbest halde kurumaya bırakılan malzeme bu süre sonunda kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan kesilmiştir. Kompozit malzemeye ait kesit görüntüsü Çizelge 4.2’de verilmiştir. Denemeye ait katman sayısı ve sırası Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. KD1 nolu deneme üretim parametreleri

Üretim yöntemi	Matris Malzeme	Takviye malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	Ürün (Kesit Görüntüsü)
Vakum İnfüzyon	Epoksi	Talaş- Çelik Tel Non-Woven Polyester	10 mm	1 Gün	

KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)
ODUN TALAŞI
NONWOVEN
ODUN TALAŞI
DOKUNMUŞ ÇELİK TEL
ODUN TALAŞI
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ÇELİK TEL
ODUN TALAŞI
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ÇELİK TEL
ODUN TALAŞI
NONWOVEN
ODUN TALAŞI
KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)

Şekil 4.3. KD1 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası

Deneme 2 (KD2)

KD2 nolu deneme için Şekil 4.4’deki düzene göre serme işlemleri tamamlandıktan sonra reçine emdirilmiş ve numune kurumaya bırakılmıştır. 10 dakika serbest halde kurumaya bırakılan numuneye bu süre sonunda kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan kesme işlemi uygulanmıştır. Numuneye ait kesit görüntüsü ve üretim parametreleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. KD2 nolu deneme üretim parametreleri

Üretim yöntemi	Matris Malzeme	Takviye malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	
Elle Yatırma	Poliüretan (Sert)	Talaş+Polyester Lif Alimünyum Tel Polietien Non-Woven	35 mm	10 dk	

KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)

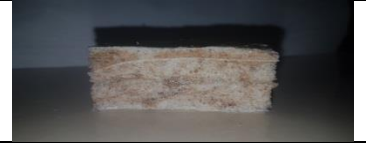
Şekil 4.4. KD2 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası

Deneme 3 (KD3)

KD3 nolu deneme için Şekil 4.5’deki düzene göre serme işlemi gerçekleştirilmiştir. Serme işleminden sonra reçine emdirilen malzeme 2 saat serbest halde kurumaya bırakılmıştır. Kurumaya bırakılan kompozit malzeme bu süre sonunda kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan

kesilmiştir. Kompozit malzemeye ait kesit görüntüsü ve üretim parametreleri Çizelge 4.4’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. KD3 nolu deneme üretim parametreleri

Üretim yöntemi	Matris Malzeme	Takviye malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	
Elle Yatırma	Poliüretan (Yumuşak)	Talaş+Polyester Lif Alimünyum Tel Polietilen Non-Woven	25 mm	2 Saat	

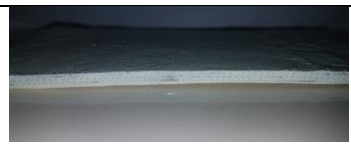
KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ
KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)

Şekil 4.5. KD3 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası

Deneme 4 (KD4)

KD4 nolu deneme için Şekil 4.6’daki düzene göre serme işlemi gerçekleştirilmiştir. Serme işleminden sonra reçine emdirilen malzeme 10 dk serbest halde kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işlemi tamamlandıktan sonra kompozit malzeme kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan kesilmiştir. Malzemeye ait kesit görüntüsü ve üretim parametreleri Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Çizelge 4.5. KD4 nolu deneme üretim parametreleri

Üretim yöntemi	Matris Malzeme	Takviye malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	
Elle Yatırma	Poliüretan (Sert)	Alimünyum Tel Polietilen Non-Woven	5 mm	10 Dakika	

KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
NONWOVEN
DOKUNMUŞ ALİMÜNYUM TEL
NONWOVEN
KAPLAMA ÜST YÜZEY (NONWOVEN)

Şekil 4.6. KD4 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası

Deneme 5 (KD5)

KD5 nolu numune üretimi için talaş ve polyester liflerinin karıştırılması ile oluşturulmuş malzeme serim masasına homojen bir şekilde serilmiştir. Serme işlemleri tamamlandıktan sonra numuneye vakum infüzyon yöntemi ile reçine emdirilmiştir. 24 saat serbest halde kurumaya bırakılan numune bu süre sonunda sökülerek kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan kesilmiştir. Numuneye ait üretim parametreleri ve kesit görüntüsü Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6. KD5 nolu deneme üretim parametreleri

Üretim yöntemi	Matris Malzeme	Takviye Malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	
Vakum İnfüzyon	Epoksi	Talaş Polyester Lif	7.5 mm	1 Gün	

ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ

Şekil 4.7. KD5 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası

Deneme 6 (KD6)

KD6 nolu deneme için önceden hazırlanmış talaş ve polyester liflerinin karışımından oluşan malzeme kalıp içerisine homojen bir şekilde serilmiştir. Serme işlemleri tamamlandıktan sonra malzemeye reçine emdirilerek ve 2 saat serbest halde kurumaya bırakılmıştır. Bu denemede kullanılan polüretan reçinenin talaşla birleşmesi sonucu köpürerek hacminin arttığı, serilen malzemenin homojenliğinin bozulduğu görülmüştür. Malzeme bu süre sonunda sökülerek kesit görüntüsü alınabilmesi için dikey yönde ortadan kesilmiştir. Bu sebeple elde edilen malzemenin kesit görüntüleri incelendiğinde düzensiz birçok boşluğun olduğu görülmüş ve deneme üretiminin başarısız olduğu düşünüldüğü için malzemeye herhangi bir test yöntemi uygulanmamıştır. Denemeye ait üretim parametreleri ve kesit görüntüsü Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. KD6 nolu deneme üretim parametreleri

Yapılan Çalışmalar	Matris	Takviye Malzemesi	Numune Kalınlık	Üretim Süresi	
Elle yatırma	Poliüretan (Yumuşak)	İnce Talaş Polyester Lif	45 mm	2 Saat	

ODUN TALAŞI + POLYESTER LİFLERİ

Şekil 4.8. KD6 nolu kompozit denemenin katman sayı ve sırası



Şekil 4.9. Öncül çalışmalar sonucunda başarılı kabul edilen bazı denemelerin örnekleri

Ön çalışmalar kapsamında 3 farklı reçine kullanılmıştır. Bu reçinelerden epoksi, talaş, polyester non-woven ve metal telin tek bir kompozit numunesinde kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Aynı şekilde sert poliüretan reçinesi hem elle yatırmaya hem de tez kapsamında kullanılması düşünülen malzemelerle uyum içinde kullanılabilir. Kürleşme süresinin çok düşük olmasından dolayı kompozit üretimi çok iyi planlanmalıdır. Esnek poliüretan reçinenin ise elle yatırmaya uygun olmadığı görülmüştür. Akışkanlığından dolayı vakum infüzyon yöntemine de uygun olmadığı görülmüştür. Fakat doğru bir üretim yöntemi ile elde edilen numunenin esnekliği ve hafifliği sayesinde birçok kullanım alanının olabileceği öngörülmektedir. Numunelerde kullanılan talaş, ıslanma deneyinde sadece KD3 nolu numunede olumsuzluk oluşturmuştur.

Gerçekleştirilmiş olan öncül çalışmaların neticesinde belirlenmiş olan malzemelerle ayrı ayrı talaşlar ve lifler takviye malzemesi, üre formaldehit reçinesi matris malzemesi olarak sıcak presleme yöntemiyle lifli ve talaşlı plakalar üretilmiştir. Bu plakalar 2 mm eninde kesilerek 2x50 cm boyutlarında levhalar elde edilmiştir. Bu levhalar (takviye elemanı olarak) ile poliüretan reçine (matris) farklı parametrelerde bir araya getirilmiş ve açık kalıplama yöntemi ile iki aşamalı olarak 18 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu numunelere, eğilme dayanımı, çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini, yüzeye dik çekme dayanımı gibi mekanik testlerin yanında ısı yalıtımı ve ses yalıtımı testleri uygulanmıştır.

İleriki bölümlerde daha kolay ifade edebilmek amacı ile numuneler Çizelge 4.8'deki gibi kodlanmıştır. Tüm numunelerin üretimleri aynı katman sayısında (5 katmanlı) gerçekleştirilmiştir. Her katmanda sadece üre formaldehit reçinesi ile üretilmiş olan plakalardan kesilmiş lif ve/veya talaş levhalar kullanılmıştır. Beş katmanlı olarak üretilen numunelerin Çizelge 4.8'deki kodlamalarında parantez içerisindeki ifadeler (3D, 6D, 15D) kompozit numunenin dış katmanlarında (alt ve üst) ve yapı içerisinde kullanılan liflerin (L) inceliğini belirtmektedir. Kodlamadaki diğer kısımlar yapı içerisinde kullanılan (5 katman) talaş veya liflerin katman sayısını ifade etmektedir. Kodlama ile ilgili ayrıntılı bilgiler Çizelge 4.8'deki numune açıklama kısmında yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Numunelerin kodlanması

Numune Kodu	Numune Açıklama
5L(3D)	5 Kat 3 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 3 Denye lif
1B+4L(3D)	1 Kat Bambu levha, 4 Kat 3 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 3 Denye lif
3B+2L(3D)	3 Kat Bambu levha, 2 Kat 3 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 3 Denye lif
1KÇ+4L(3D)	1 Kat Kızılçam levha, 4 Kat 3 Denye lif levha, Dış Katmanlar 40 g 3 Denye lif
3KÇ+2L(3D)	3 Kat Kızılçam levha, 2 Kat 3 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 3 Denye lif
5L(6D)	5 Kat 6 Denye lif levha, Dış katmanlar 40 g 6 Denye lif
1B+4L(6D)	1 Kat Bambu levha, 4 Kat 6 Denye lif levha, Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
3B+2L(6D)	3 Kat Bambu levha, 2 Kat 6 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
1KÇ+4L(6D)	1 Kat Kızılçam levha, 4 Kat 6 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
3KÇ+2L (6D)	3 Kat Kızılçam levha, 2 Kat 6 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
5KÇ(6D)	5 Kat Kızılçam levha, Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
5B(6D)	5 Kat Bambu levha, Dış Katmanlar 40 g 6 Denye lif
5B (6D-80)	5 Kat Bambu levha, Dış Katmanlar 80 g 6 Denye lif
5L(15D)	5 Kat 15 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 15 Denye lif
1B+4L(15D)	1 Kat Bambu levha, 4 Kat 15 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 15 Denye lif
3B+2L(15D)	3 Kat Bambu levha, 2 Kat 15 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 15 Denye lif
1KÇ+4L(15D)	1 Kat Kızılçam levha, 4 Kat 15 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 15 Denye lif
3KÇ+2L(15D)	3 Kat Kızılçam levha, 2 Kat 15 Denye lif levha Dış Katmanlar 40 g 15 Denye lif

4.2. Mekanik Test Sonuçları

Yapılan üretimler sonucunda elde edilen numunelerin mekanik özellikleri belirlemek amacıyla numunelere çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini, yüzeye dik çekme dayanımı, eğilme dayanımı testleri uygulanmış ve sonuçlar çizelge ve grafiksel olarak verilmiştir.

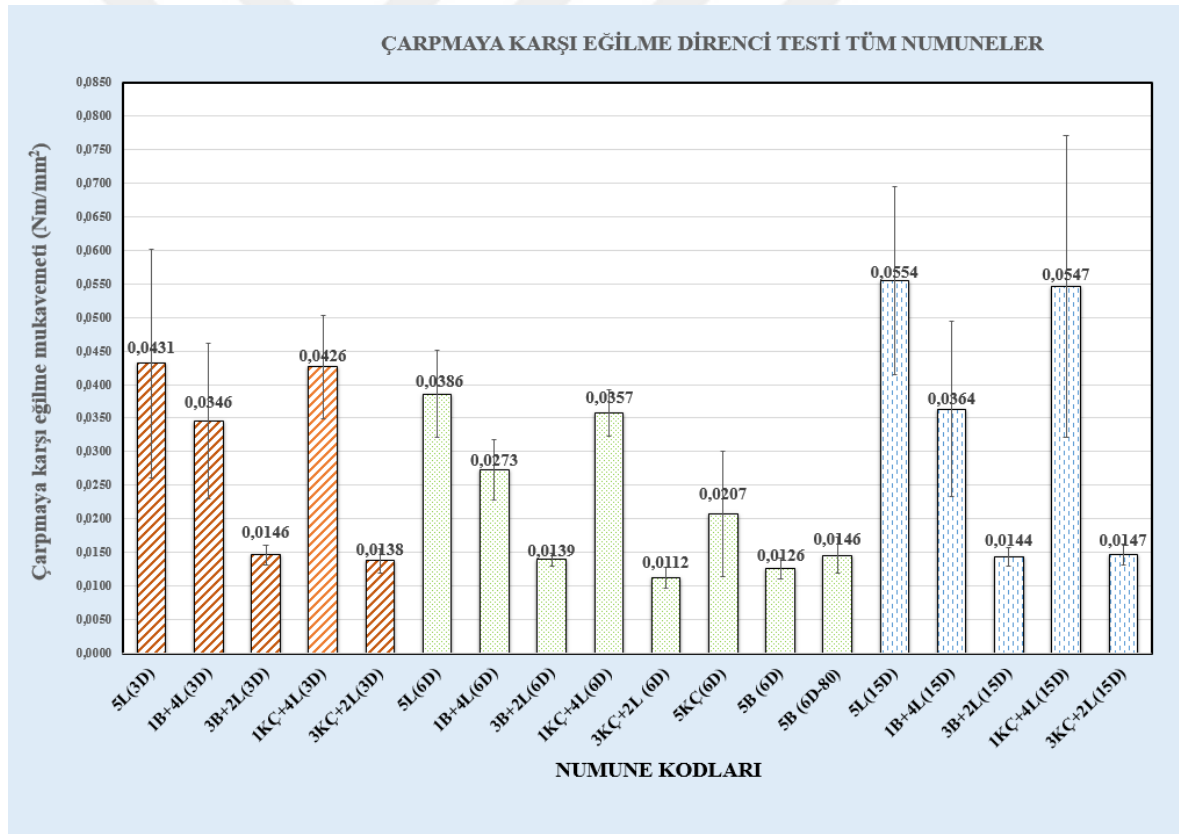
4.2.1. Çarpmaya Karşı Eğilme Mukavemetinin Tayini

Uygulanan mekanik testlerden ilki olan çarpmaya karşı eğilme dayanımı tayini testi “TS ISO 13061-10 Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri-Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney

yöntemleri - Bölüm 10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini” standardı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu teste ait sonuçlar Çizelge 4.9’da ve Şekil 4.10’da toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini

Numune Kodu	Çarpmaya karşı eğilme mukavemeti (Nm/mm ²)	Numune Kodu	Çarpmaya karşı eğilme mukavemeti (Nm/mm ²)	Numune Kodu	Çarpmaya karşı eğilme mukavemeti (Nm/mm ²)
5L(3D)	0,0431	5L(6D)	0,0386	5L(15D)	0,0554
1B+4L(3D)	0,0346	1B+4L(6D)	0,0273	1B+4L(15D)	0,0364
3B+2L(3D)	0,0146	3B+2L(6D)	0,0139	3B+2L(15D)	0,0144
1KÇ+4L(3D)	0,0426	1KÇ+4L(6D)	0,0357	1KÇ+4L(15D)	0,0547
3KÇ+2L(3D)	0,0138	3KÇ+2L (6D)	0,0112	3KÇ+2L(15D)	0,0147
		5KÇ(6D)	0,0207		
		5B(6D)	0,0126		
		5B (6D-80)	0,0146		



Şekil 4.10. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (tüm numuneler)

Genel olarak Şekil 4.10’da 15 denye lif levha kullanılan numunelerin çarpmaya karşı eğilme dayanımının 3 ve 6 denye lif levha kullanılan numunelere göre daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. 3 denye lif levha kullanılan numunelerde çarpmaya karşı eğilme direnç özelliklerinin ise genel olarak 6 denye lif levha kullanılanlara göre yüksek olduğu görülmektedir. Geri dönüşüm lif levhaların çarpmaya karşı eğilme dayanımı özelliklerinin talaş ile birlikte

kullanıldığında farklı oranlarda azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun liflerin aynı yönlü ve belirli bir uzunlukta olması sebebiyle darbeye karşı daha yüksek bir dayanım sağlamasından, talaşların ise tanecikli yapısı dolayısıyla lifler kadar dayanım sağlayamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Büyük 2023 yılındaki tez çalışmasında, ağaç talaşı dolgulu geri dönüşüm polipropilen kompozitleri üreterek mekanik özelliklerini incelemiş ve numunelerde talaş miktarındaki artışın darbe dayanımını azalttığı yönünde benzer şekilde sonuç elde etmiştir (Büyük, 2023).

Ayrıca numunelerin çarpmaya karşı dayanımlarının artan veya azalan şekilde 3-6-15 denye gibi periyodik olarak gitmesi beklenirken sıralamanın 15 denye>3 denye>6 denye olmasının nedeninin, 15 denyenin 3 ve 6 denyeye göre oldukça kalın lifler olmasından ve bu sebeple darbe sönümlemede iyi performans sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak diğer liflerin incelikleri arasındaki fark daha düşük olduğu için çarpmaya karşı eğilme dayanımı değerleri arasında sistematik bir ilişki tespit edilemediği söylenebilmektedir.

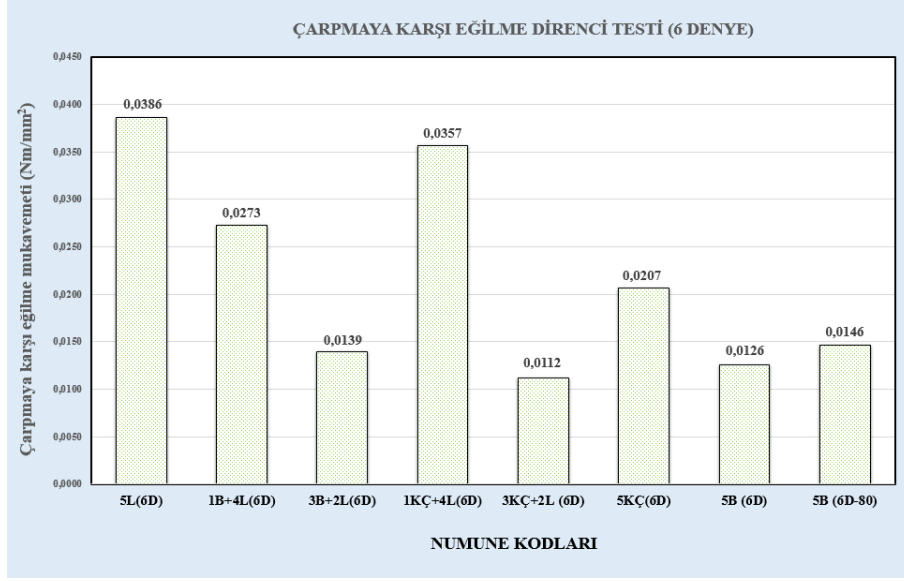
Grafikte görüldüğü üzere (Şekil 4.10) hiç talaş olmayan veya tek kat talaş levha olan numunelerin çarpmaya karşı eğilme dayanımları genel olarak talaş levha oranı fazla olan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. 6 denye lif levhaların bambu levhalarla birlikte kullanıldığı numunelerde bambu talaş katman sayısı arttıkça mukavemetin azaldığı (0>1>3>5) kızılçam talaşında ise sıralamanın 0>1>5>3 şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Ayrıca 3KÇ+2L(6D) numunesi haricinde 6 denyelik levhalarla kızılçam talaşından üretilen levhaların kullanımı bambuya göre daha yüksek çarpmaya karşı eğilme dayanımı sağlamaktadır. Kızılçam talaşının tanecik boyutunun bambuya göre büyük olmasından dolayı (Çizelge 3.5) yapıyı gelen darbelere karşı daha dayanıklı hale getirdiği düşünülmektedir. Uzeagu ve arkadaşlarının farklı boyutlarda talaşlar kullanarak ürettikleri numunelere uyguladıkları testler neticesinde en büyük boyutlu talaşlardan üretilen numunenin en yüksek darbe dayanımına sahip olduğunu tespit etmeleri belirtilen durumu destekler niteliktedir (Uzeagu ve ark., 2022).

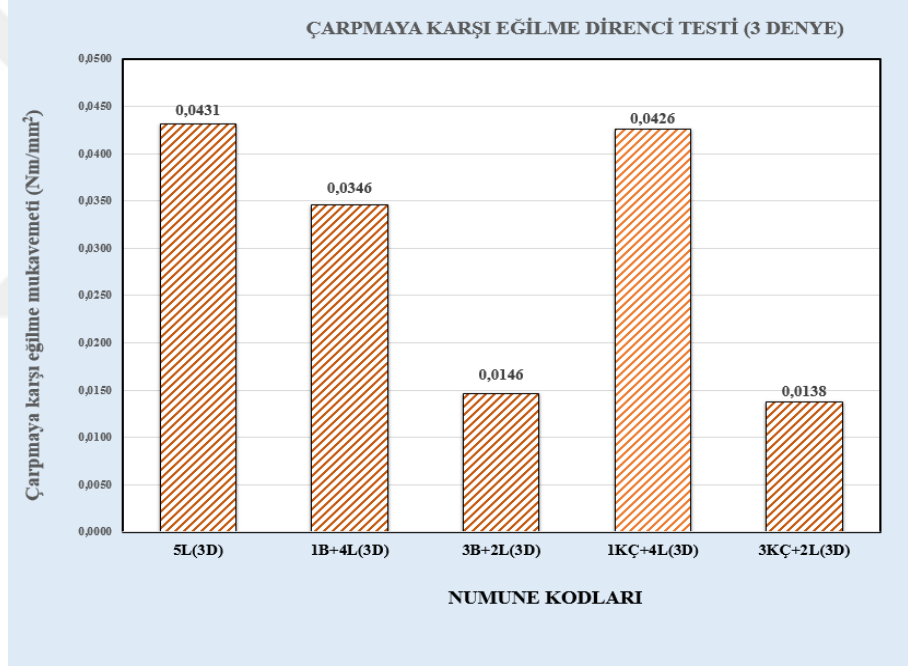
Bununla birlikte dış katmanda 40 g yerine 80 g lif kullanımının darbeye karşı dayanımı artırdığı tespit edilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi 3 denye lif levha kullanılan numunelerde de 6 denye lif kullanılan numunelere benzer şekilde kızılçam ve bambu talaş levha kullanımının benzer oranlarda çarpmaya karşı eğilme dayanımını azalttığı söylenebilmektedir.

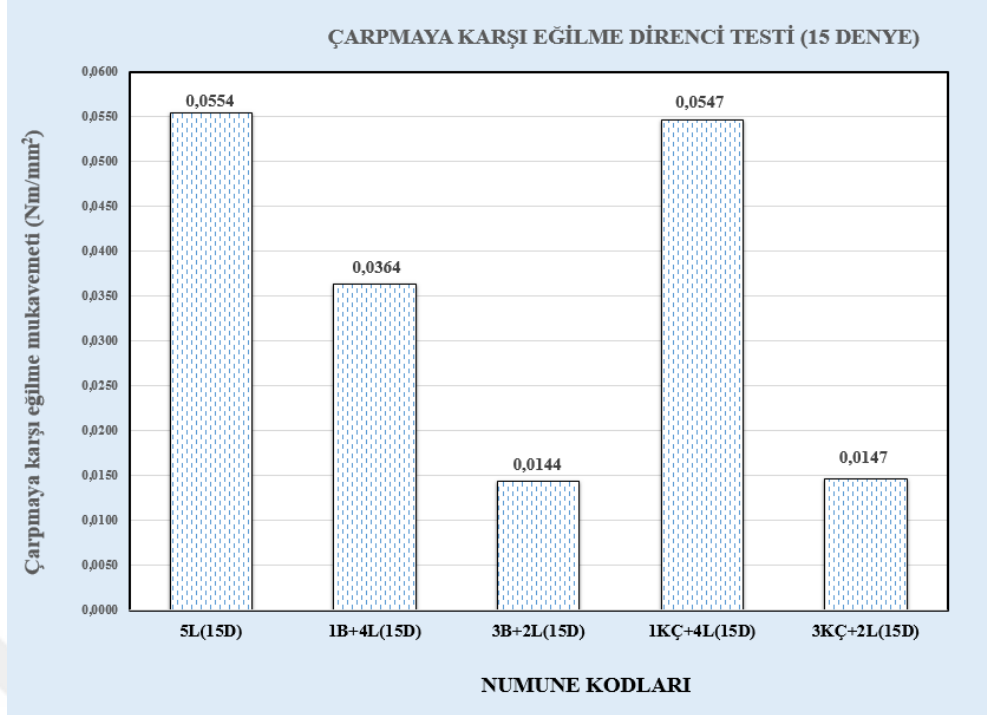
Toplu değerlendirmenin yanı sıra Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de çarpmaya karşı eğilme dayanımı sonuçları her lif inceliği için ayrı ayrı olacak şekilde grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (6 Denye)



Şekil 4.12. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (3 Denye)



Şekil 4.13. Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini testi sonuçları (15 Denye)

4.2.2. Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini

Üretilen numunelerin katmanlı yapıda olmasından dolayı katlar arasındaki tutunma davranışını irdelemek amacıyla numunelere “TS EN 319 Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini” standardı esas alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Çizelge 4.10’da ve Şekil 4.14’de toplu olarak verilmiştir.

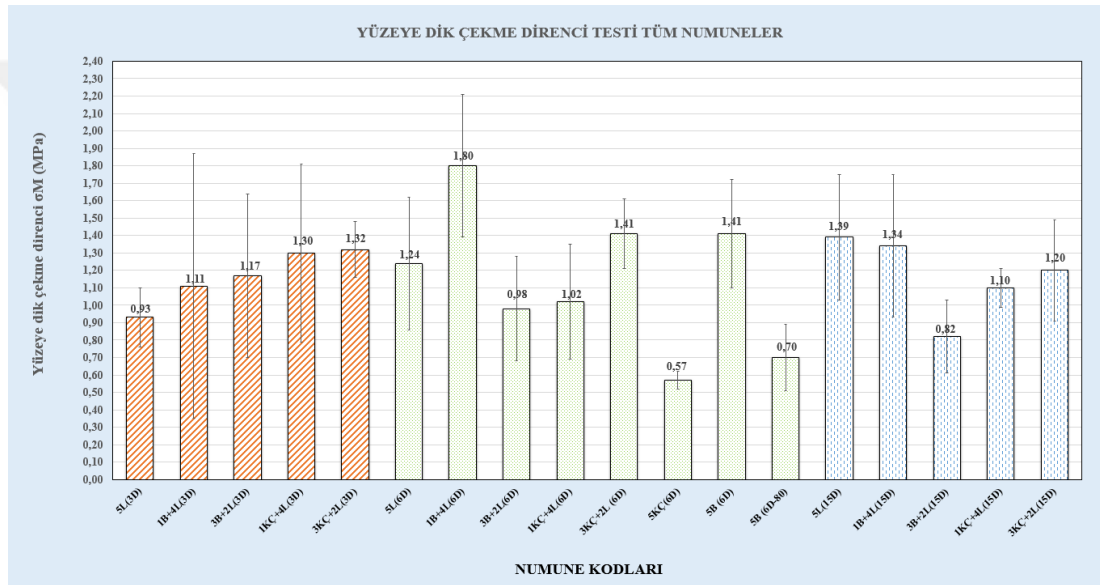
Çizelge 4.10. Yüzeye dik çekme dayanımı ölçüm sonuçları

Numune Kodu	σ_M (MPa)	Numune Kodu	σ_M (MPa)	Numune Kodu	σ_M (MPa)
5L(3D)	0,93	5L(6D)	1,24	5L(15D)	1,39
1B+4L(3D)	1,11	1B+4L(6D)	1,80	1B+4L(15D)	1,34
3B+2L(3D)	1,17	3B+2L(6D)	0,98	3B+2L(15D)	0,82
1KÇ+4L(3D)	1,30	1KÇ+4L(6D)	1,02	1KÇ+4L(15D)	1,10
3KÇ+2L(3D)	1,32	3KÇ+2L (6D)	1,41	3KÇ+2L(15D)	1,20
		5KÇ(6D)	0,57		
		5B(6D)	1,41		
		5B (6D-80)	0,70		

Çizelgeden görüldüğü üzere, sadece geri dönüşüm lif kullanılan kompozitlerde lif kalınlığı arttıkça yüzeye dik çekme dayanımlarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun lif kalınlığından dolayı lifler arası boşluklara yerleşen poliüretan reçinenin katlar arasına daha sıkı tutunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ancak talaşlı levha ve lif levhaların birlikte kullanıldığı numunelerde farklı oran ve şekillerde değişimler meydana gelmiştir. Örneğin 3D grubunda talaş levha ilavesi dayanımı artırırken, 6D ve 15D gruplarında farklı davranışlar görülmüştür.

Sadece talaş kullanılarak üretilen numunelerde ise bambu ve kızılçam talaşlarında farklı davranışlar tespit edilmiştir. 5 kat bambu levha kullanılan numunenin yüzeye dik çekme dayanımı sadece geri dönüşüm lif kullanılan numuneden bir miktar yüksek çıkarken 5 kat kızılçam levha kullanılan numunenin değeri ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. Bu durumun talaşların tanecik boyutunun farklı olmasından kaynaklanabileceği, kızılçam talaşının tanecik boyutlarının bambuya göre büyük olmasından dolayı yüzeyler arasındaki tutunmanın daha zayıf olabileceği düşünülmektedir (Çizelge 3.5).



Şekil 4.14. Yüzeye dik çekme direnci ölçüm sonuçları (tüm numuneler)

Şekilde görülen değerlere göre tüm numunelerin yüzeyi dik çekme dirençleri Gündüz ve Yılmaz'ın 2005 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada 16 farklı yerde üretilen yonga levhalara uyguladıkları test sonuçlarına göre (1 numune haricinde) tüm numunelerden yüksek olduğu görülmektedir (Gündüz ve Yılmaz, 2005; Kılıç Ak, 2023). Ayrıca "TS EN 312 - Yonga Levhalar – Özellikler" standardında, iç yapışma olarak ifade edilen özelliğin değerlendirildiği "TS EN 319 Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini" standardına atıfta bulunulmuş olup, test sonuçları dikkate alındığında tüm numunelerin standartta belirtilmiş olan levhaların tüm tipleri için bu özelliği sağladığı görülmektedir.

Grafik genel olarak incelendiğinde sadece bambu levha kullanılan numunelerin kızılçam levha kullanılanlara göre dik çekme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bambu bilindiği üzere hidrofil yapıda bir bitki türüdür ve kızılçama göre yapısına daha fazla poliüretan reçineyi dâhil etmesinden dolayı dik çekme kuvvetini yüksek oranlarda artırdığı düşünülmektedir. Ancak talaş ve lif levhalarının birlikte kullanıldığı numuneler arasında sistematik bir ilişki tespit

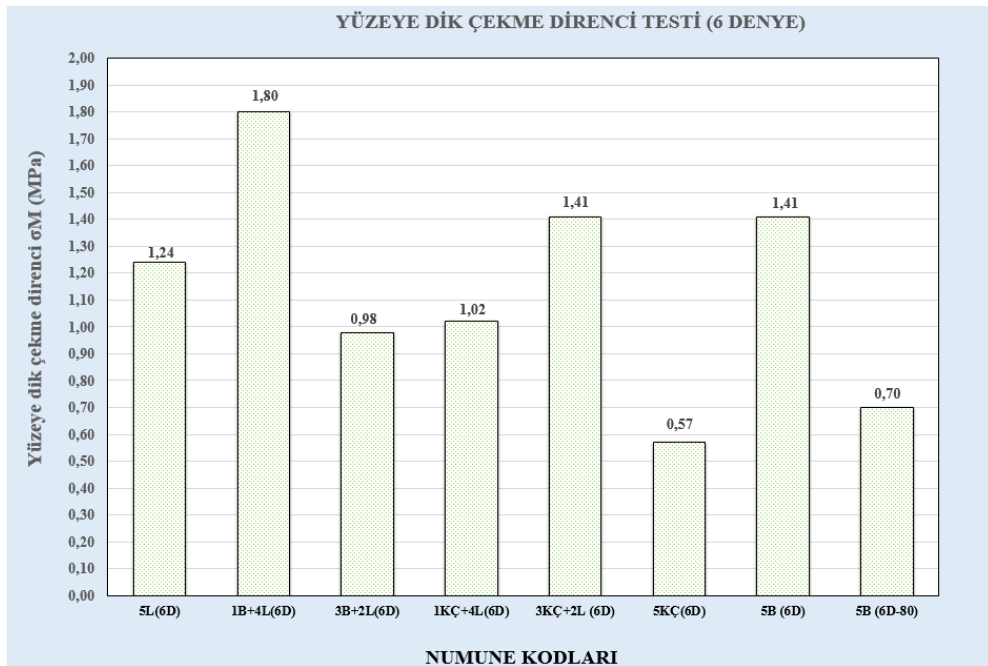
edilememiştir. Yüzeye dik çekme kuvvetinin, yapıdaki lif ve/veya talaş varlığından ziyade üretim sırasında reçinenin katmanlar arasına yerleşme şeklinden daha fazla etkilendiği düşünülmektedir.

Sadece liflerden üretilen numunelerde, 3 denye lif levha kullanılan numunelerin, 6 denye lif levha kullanılanlara göre daha az mukavemet gösterdiği söylenebilmektedir. 3 denye lif levha kullanılan numunelerde talaş levha kullanımının ise dik çekme kuvvetini artırdığı görülmektedir. Ancak diğer lif inceliği gruplarında benzer bir eğilim tespit edilemediği için elde edilen bu sonucun tesadüfi bir sonuç olabileceği düşünülmektedir.

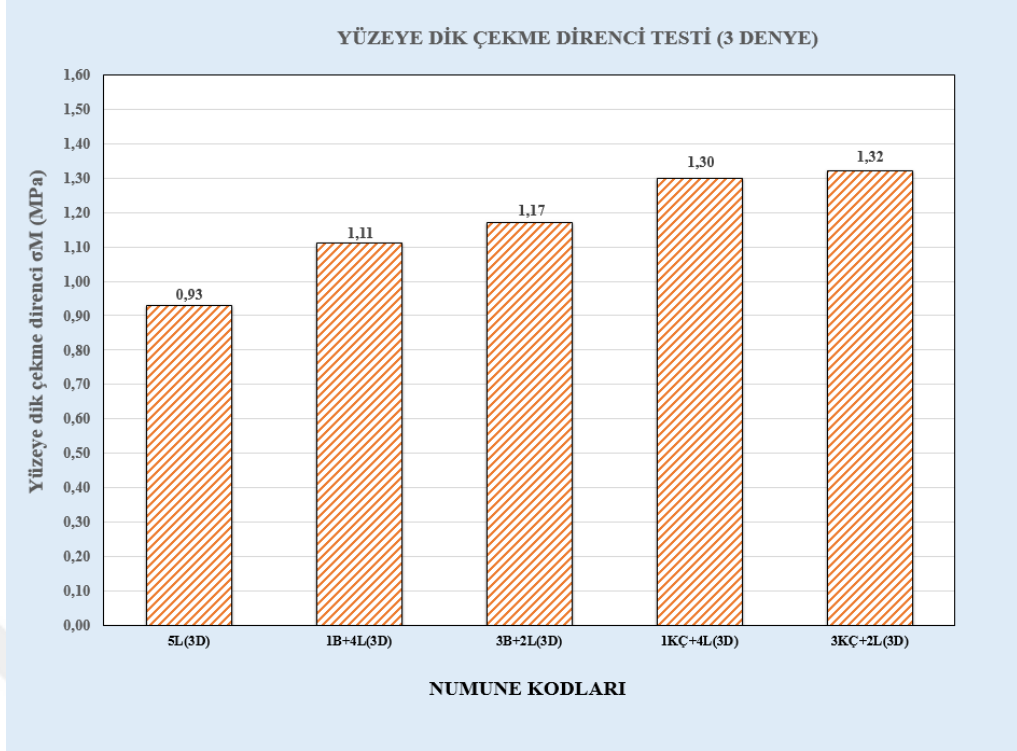
Genel olarak aynı konstrüksiyonda üretilen numuneler birbirleriyle karşılaştırıldığında, 3 ve 6 denye kullanılan numunelerin 15 denye lif levha kullanılan numunelere göre dik çekme kuvvetleri daha düşük çıkmıştır. Dik çekme kuvvetinde en önemli parametrenin reçinenin yapıya yerleşme şekli olduğu öngörülebilmektedir.

Talaş levha oranı fazla olan bazı numunelerde yüzeye dik çekme direncinde artış olduğu gözlenmektedir. Bunun selülozik yapıdaki bambu ve kızılçamın reçineyi yapısına dahil edebiliyor olması ile ilgisinin olduğu düşünülmektedir. Geri dönüşüm lif levhaların ise hidrofob yapıda olmasından dolayı yapısına reçine alamamasından kaynaklı dik çekme değerleri daha düşük olmaktadır. Lif levhaların kendi içlerindeki farklılıkların sebebi ise lifler arasındaki boşluklara reçinenin yerleşme biçimi ve oranından kaynaklandığı savunulabilmektedir. Benzer olarak Widiastuti ve arkadaşları bambu liflerinin hidrofilitik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada bambunun hidrofilitik yapısında iyileştirmeler yaptıklarında hidrofobik reçinelerle de daha iyi yapışma özellikleri meydana geldiğini belirtmişlerdir (Widiastuti, 2018).

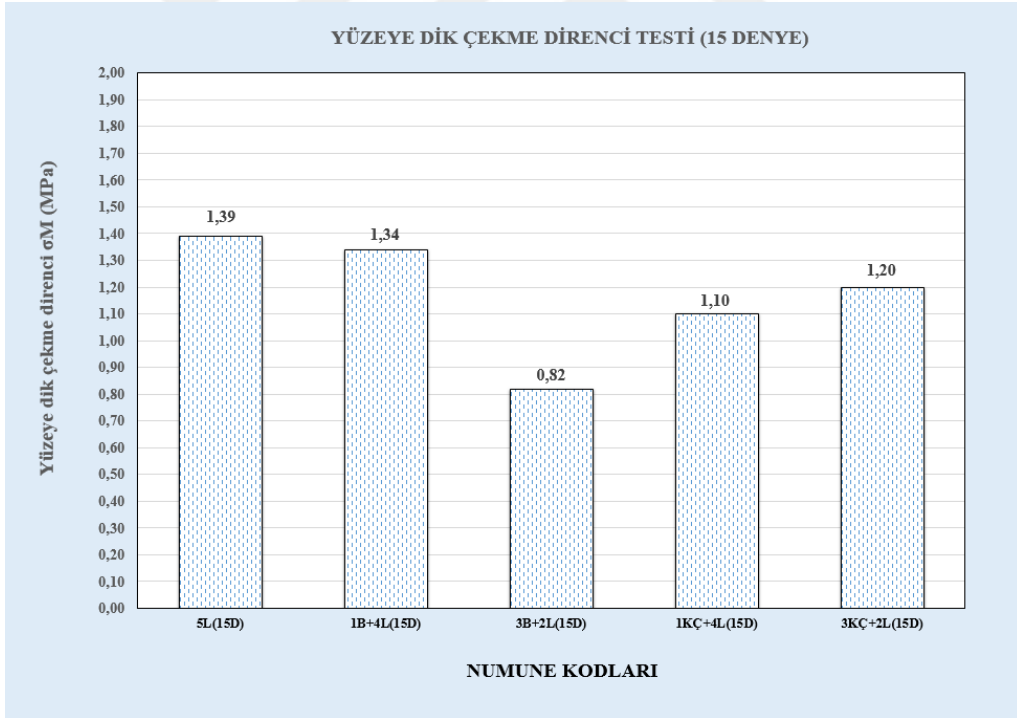
Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de yüzeye dik çekme direnci sonuçları her lif inceliği için ayrı ayrı olacak şekilde grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.15. Yüzeye dik çekme direnci ölçüm sonuçları (6 Denye)



Şekil 4.16. Yüzeye dik çekme direnci ölçüm sonuçları (3 Denye)



Şekil 4.17. Yüzeye dik çekme direnci ölçüm sonuçları (15 Denye)

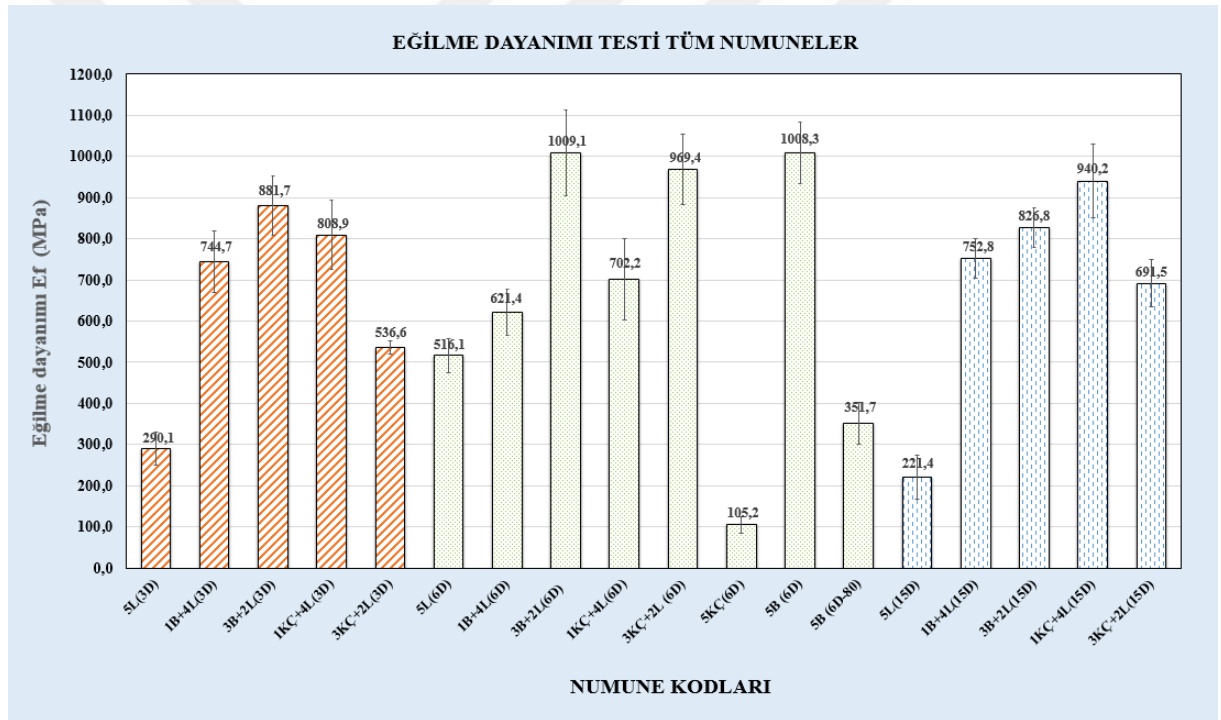
4.2.3. Eğilme Dayanımı ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini

Numunelere eğilme dayanımı ve elastikiyet modülü değerlerini belirlemek amacıyla “TS EN 310 Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini” standardı esas

alınarak testler uygulanmıştır. Tüm kompozit numunelerinin eğilme dayanımı (Ef) ve elastikiyet modülü ($\sigma_f M$) ölçüm sonuçları Çizelge 4.11 ve Şekil 4.18’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.11. Eğilme dayanımı (Ef) ve elastikiyet modülü ($\sigma_f M$) ölçüm sonuçları

Numune Kodu	Ef (MPa)	$\sigma_f M$ (MPa)	Numune Kodu	Ef (MPa)	$\sigma_f M$ (MPa)	Numune Kodu	Ef (MPa)	$\sigma_f M$ (MPa)
5L(3D)	290,1	12,5	5L(6D)	516,1	16,5	5L(15D)	221,4	10,9
1B+4L(3D)	744,7	21,7	1B+4L(6D)	621,4	22,1	1B+4L(15D)	752,8	22,3
3B+2L(3D)	881,7	17,8	3B+2L(6D)	1009,1	19,2	3B+2L(15D)	826,8	12,5
1KÇ+4L(3D)	808,9	24,1	1KÇ+4L(6D)	702,2	18,3	1KÇ+4L(15D)	940,2	21,4
3KÇ+2L(3D)	536,6	14,6	3KÇ+2L (6D)	969,4	17,2	3KÇ+2L(15D)	691,5	14,3
			5KÇ(6D)	105,2	6,0			
			5B(6D)	1008,3	18,3			
			5B (6D-80)	351,7	13,8			



Şekil 4.18. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (tüm numuneler)

Şekilden görüldüğü gibi tüm lif inceliği gruplarında, farklı oranlarda bambu veya kızılçam levha ilavesinin yapının eğilme dayanımını sadece lif içeren kompozit numunelerine göre oldukça önemli oranda arttırdığı tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle sadece geri dönüşüm liflerden elde edilmiş lif levhaların kullanımı yerine, lif levhaların talaş levhalarla beraber kullanımının yapının eğilme dayanımını artırdığı söylenebilmektedir. Polyester gibi lifler sentetik yapıda olmalarından dolayı esnek bir yapıya sahiptirler. Herhangi bir yapıda kısmen veya tamamen kullanılmaları durumunda yapıya esneklik sağlarken eğilmeye karşı dayanımı azaltacağı öngörülen bir durumdur. 5B(6D) ve 5B(6D-80g) numuneleri karşılaştırıldığında, dış katmandaki lif oranının artırılmasının

eğilme dayanımını düşürdüğü görülmekte olup, bu sonuç yukarıda bahsedilen durumu destekler niteliktedir. Eğilme dayanımı testi uygulanırken numunelerde ilk gerilmeye maruz kalan kısımlar numunenin alt ve üst kısmı olup orta kısmı diğerlerine oranla daha az kuvvete maruz kalmaktadır. Bu nedenle alt ve üst katmandaki lif miktarı artışı bir etki yaratmış olabilir.

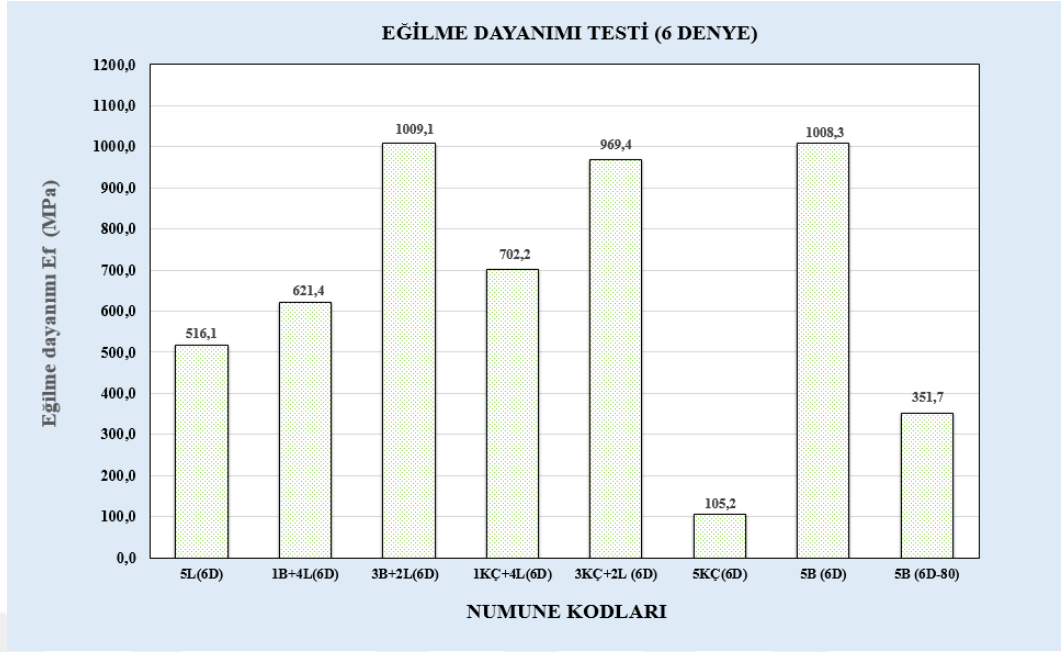
Talaş ve lif levhaların birlikte kullanıldığı numunelerden 3 kat bambu levha içerenler 1 kat bambu levha içerenlerden, 1 kat kızılçam levha içerenler ise genel olarak 3 kat kızılçam levha içerenlerden daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Başka bir ifadeyle talaş türüne bağlı olarak kat sayısının değişiminin farklı davranışlar sergilediği görülmektedir. Eğilme dayanımı sonuçları değerlendirilirken üretim yönteminden dolayı 5 katlı numune de test sırasında eğilmeye maruz kalan kat sayısı 3 tür.

Sadece lif içeren ve lifin yanı sıra 3 kat talaş içeren numunelerde en yüksek eğilme dayanımı değerleri 6D grubunda başka bir ifadeyle 6 denye inceliğinde liflerin kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir.

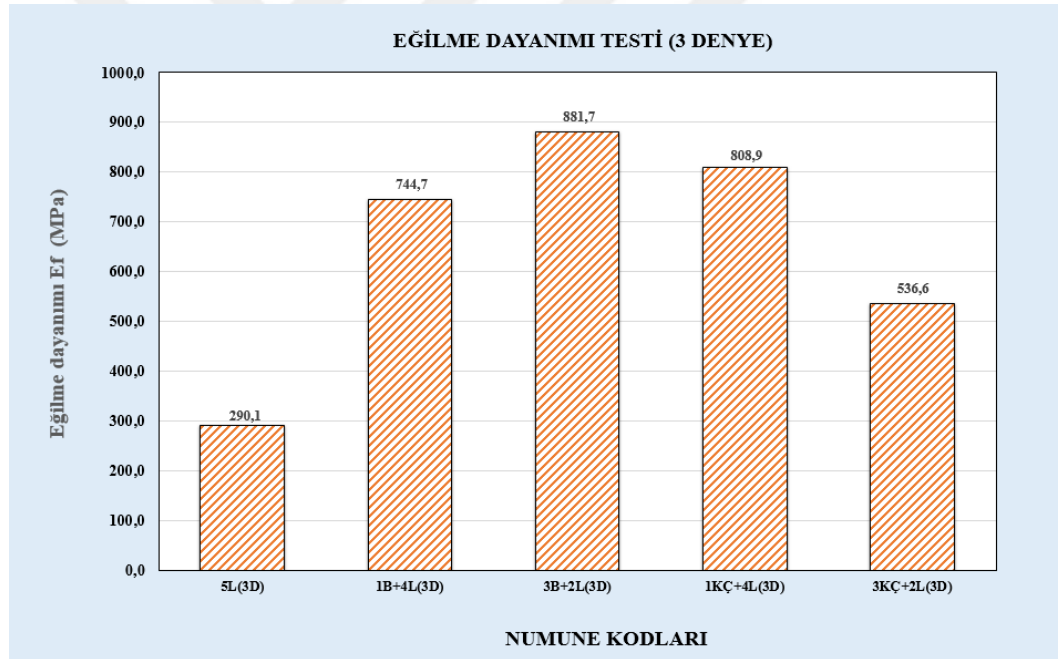
Tüm numuneler arasında 5 kat kızılçam kullanılan numunenin eğilme dayanımı değeri diğerlerine göre çok düşük çıkmıştır. Bu durumda bu numunenin dış katmanının elastik yapısından dolayı eğilmeye meyilli olması iç katmanları oluşturan kızılçamın partikül büyüklüğü ve yuvarlak yapıda olması sebebiyle partiküllerin birbirine iyi tutunmaması ve uygulanan kuvvetin etkisiyle hızlı bir şekilde kırılmaya maruz kalmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Çizelge 3.5).

Genel olarak 6 denye lif levhaların eğilme dayanımının 3 ve 15 denyelik lif levhalarından daha yüksek olduğu görülmektedir. 15 denyelik lif levhaların içerisindeki lif yoğunluğu diğerlerinden az olduğundan dolayı reçine ile liflerin birbirlerine tutunma oranlarının, buna bağlı olarak eğilme dayanımını daha düşük olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 3 denyelik lif levhalarda reçine tutunma oranı fazla olsa da liflerin ince yapıda olmasının eğilme dayanımına katkısını düşürdüğü söylenebilmektedir.

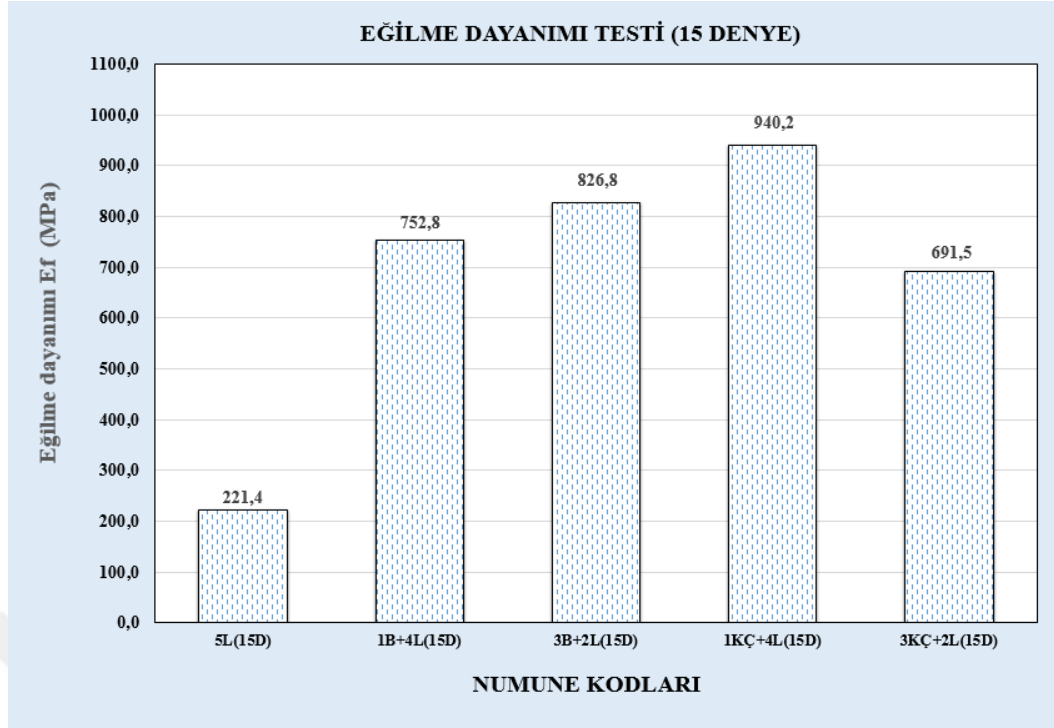
Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de eğilme dayanımı sonuçları her lif inceliği için ayrı ayrı olacak şekilde grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.19. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (6 Denye)

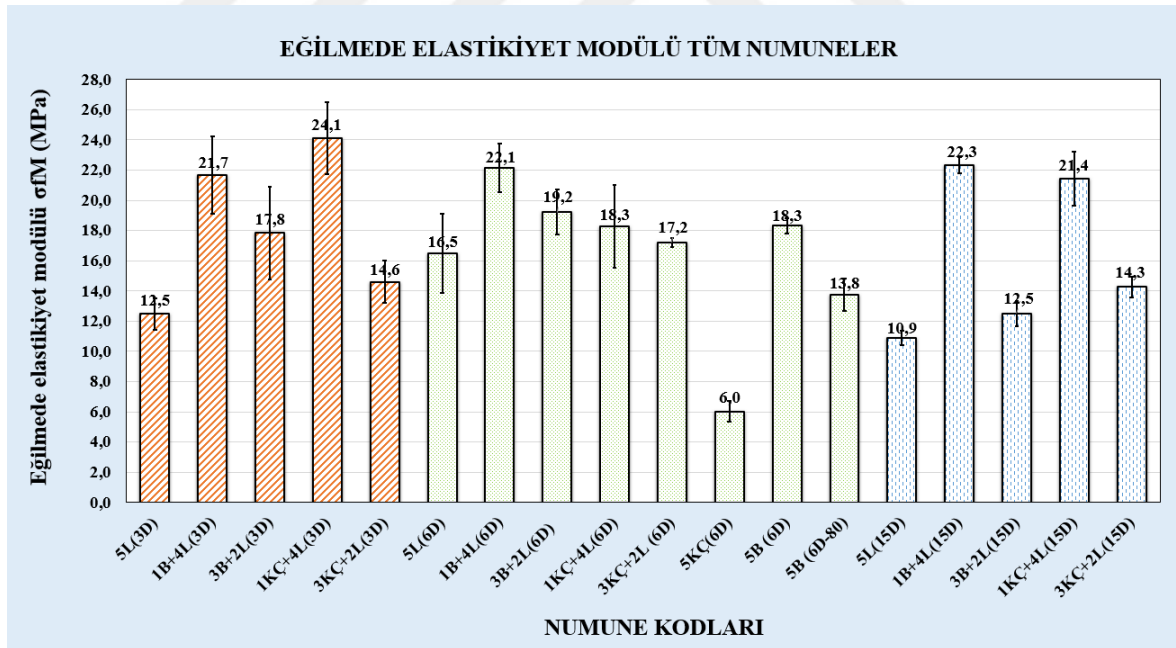


Şekil 4.200. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (3 Denye)



Şekil 4.21. Eğilme dayanımı ölçüm sonuçları (15 Denye)

Şekil 4.22’de eğilmede elastikiyet modülü ölçüm sonuçları tüm numuneler için verilmiştir.



Şekil 4.22. Eğilmede elastikiyet modülü ölçüm sonuçları (tüm numuneler)

Lif ve talaş levhaların beraber kullanıldığı numunelerde lif oranı fazla olan numunelerin talaş oranı fazla olan numunelere göre eğilmede elastikiyet modülleri yüksek çıkmıştır. Liflerin elastik yapıda olmalarından kaynaklı beklenen bir durum olduğu söylenebilmektedir. Kızılçam veya bambu levhaların yapıya üç kat olarak dahil edilmesi tek kat olarak kullanılmasına oranla elastikiyete pozitif yönde katkı sağlamaktadır.

4.3. Fiziksel Test Sonuçları

4.3.1. Isı İletim Katsayısı Tayini

Kompozit numunelerin ısı iletim katsayıları ASTM C518-17 standardına göre ölçülmüştür. Numuneler test için 30×30 cm ölçülerinde kesilerek hazır hale getirilmiştir. Numunelerin ısı iletkenliğini belirlemek için Lasercomp-Fox 314 Heat Flow Meter marka test cihazı kullanılmıştır. Numuneler test öncesinde standartlara uygun olarak kondisyonlanmıştır.

Test sonucu elde edilen ısı iletim katsayısı değerinin artması malzemenin ısı yalıtım özelliğinin azalması anlamına gelmektedir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.23'te kompozit numunelere ait ısı iletim katsayısı değerleri görülmektedir. Çizelge 4.13'de ise bazı kompozit ve normal malzemelere ait ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.12. Isı iletimi testi ölçüm sonuçları

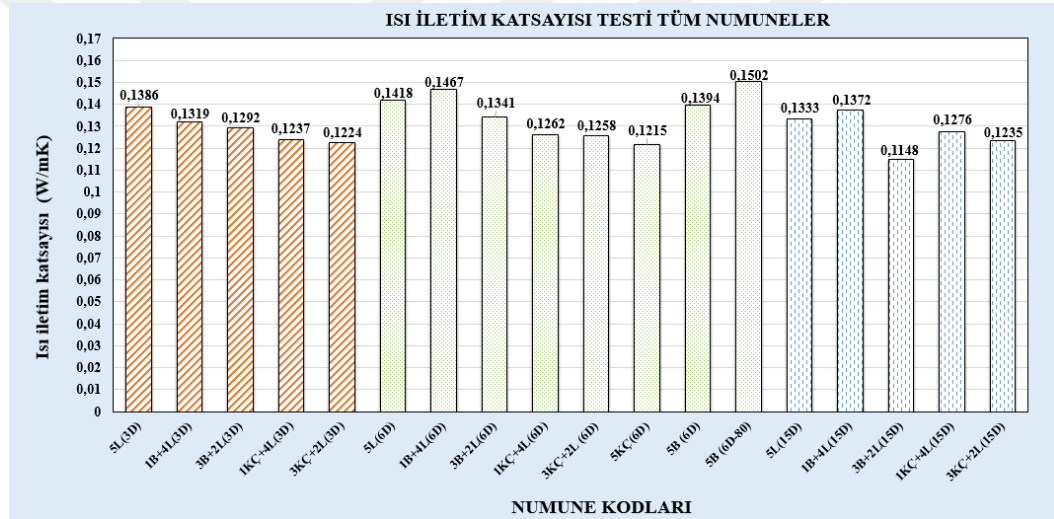
Numune Kodu	Isı iletimi katsayısı (W/mK)	Numune Kodu	Isı iletimi katsayısı (W/mK)	Numune Kodu	Isı iletimi katsayısı (W/mK)
5L(3D)	0,1386	5L(6D)	0,1418	5L(15D)	0,1333
1B+4L(3D)	0,1319	1B+4L(6D)	0,1467	1B+4L(15D)	0,1372
3B+2L(3D)	0,1292	3B+2L(6D)	0,1341	3B+2L(15D)	0,1148
1KÇ+4L(3D)	0,1237	1KÇ+4L(6D)	0,1262	1KÇ+4L(15D)	0,1276
3KÇ+2L(3D)	0,1224	3KÇ+2L (6D)	0,1258	3KÇ+2L(15D)	0,1235
		5KÇ(6D)	0,1215		
		5B(6D)	0,1394		
		5B (6D-80)	0,1502		

Çizelge 4.13. Bazı kompozit malzemeler ve normal malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri (<https://www.izoder.org.tr>)

Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi (kg/m ³)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/mK)
Ahşap testere veya plânya talaşı betonu	600	0,19
Hafif betondan duvar plâkaları	800	0,29
İğne yapraklı ağaçlardan elde edilmiş olanlar	600	0,13
Kayın, meşe, dişbudak	800	0,20
Kontrplâk (TS 46), kontrtabla (TS 1047)	800	0,13
Dik yongalı levhalar (TS 3482)	700	0,17
Sert ve orta sert odun lifi levhalar (TS 64)	800	0,15
Hafif odun lifi levhalar	300	0,058
Döşeme kaplamaları	1200	0,17
Sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC)	1500	0,23
Reçine - formaldehit köpüğü (UF) – (DIN 18159-2'ye uygun)	10	0,035
Ekstrüde polistiren köpüğü -TS 11989 EN 13164'e uygun	30	0,035
Poliüretan sert köpük TS 2193, TS 10981 ve TS EN	30	0,030 - 0,035 - 0,040
Ahşap lifli ısı yalıtım levhaları - TS EN 13168'e uygun Isıl iletkenlik grupları	110-450	0,035-0,070

Çizelge 4.13’de verilen bilgilere göre çalışma kapsamında üretilen kompozit numunelerin poliüretan köpük gibi ısı yalıtım malzemeleri yerine kullanıma uygun olmasa da kontrplâk (TS 46), kontrtabla (TS 1047), dik yongalı levhalar (TS 3482), sert ve orta sert odun lifi levhalar (TS 64), hafif odun lifi levhalar, döşeme kaplamaları, sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC) gibi birçok malzemeden daha yalıtkan olduğu görülmektedir.

Şekil 4.23’ten görüldüğü gibi genel olarak numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Sadece lif kullanılan 5L(6D) kodlu numunenin ısı iletim katsayısının sadece talaş kullanılan numunelerden bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak talaş ilavesinin ısı iletim katsayısını bir miktar azalttığı (yalıtım özelliğini iyileştirdiği) söylenebilmektedir. Benzer şekilde Mounika ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, bambu elyaf takviyeli polyester kompozitin ısı iletkenlikleri incelenmiş ve bambu takviye oranının artırılmasının ısı yalıtım özelliğini iyileştirdiği vurgulanmıştır (Mounika ve ark., 2012).



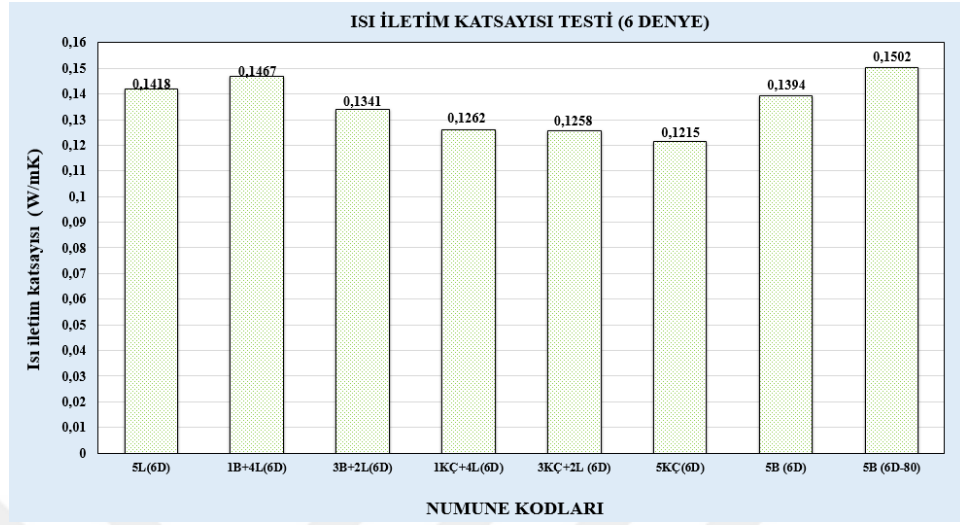
Şekil 4.23. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (tüm numuneler)

Ayrıca genel olarak kızılçam levha kullanılan yapıların ısı yalıtım özelliğinin bambu levha kullanılan yapılara göre daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Bu durumun Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi kızılçam talaşlarının yoğunluğunun düşük olmasından dolayı ısının karşıya geçmesini zorlaştırdığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca sadece bambu talaş levha kullanılan numunelerin dış katmanlarındaki lif miktarının artmasının da ısı iletim katsayısını azda olsa yükselttiği görülmektedir.

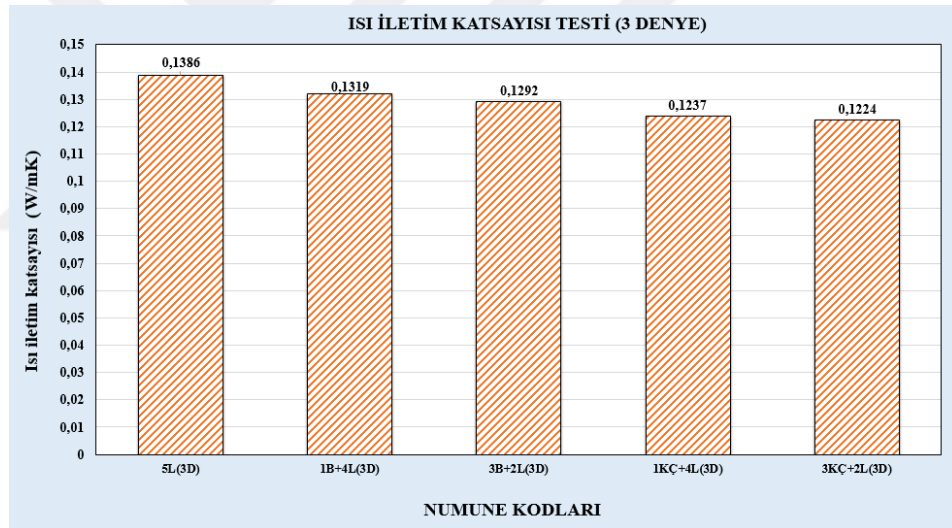
Kullanılan lif kalınlığı 6 denye olan numunelere benzer şekilde, 3 denye lif kullanılan numunelerde de kızılçam talaş levha kullanılan numunelerin ısı iletkenlikleri hem lif levhalara göre hem de bambu talaş-lif levhalara göre daha düşük değerdedir.

Genel olarak ısı iletim katsayısı en düşük başka bir ifadeyle ısı yalıtımı açısından en iyi özelliğe sahip numunenin 15 denye lif levha kullanılan 3B+2L (15D) numunesi olduğu görülebilmektedir.

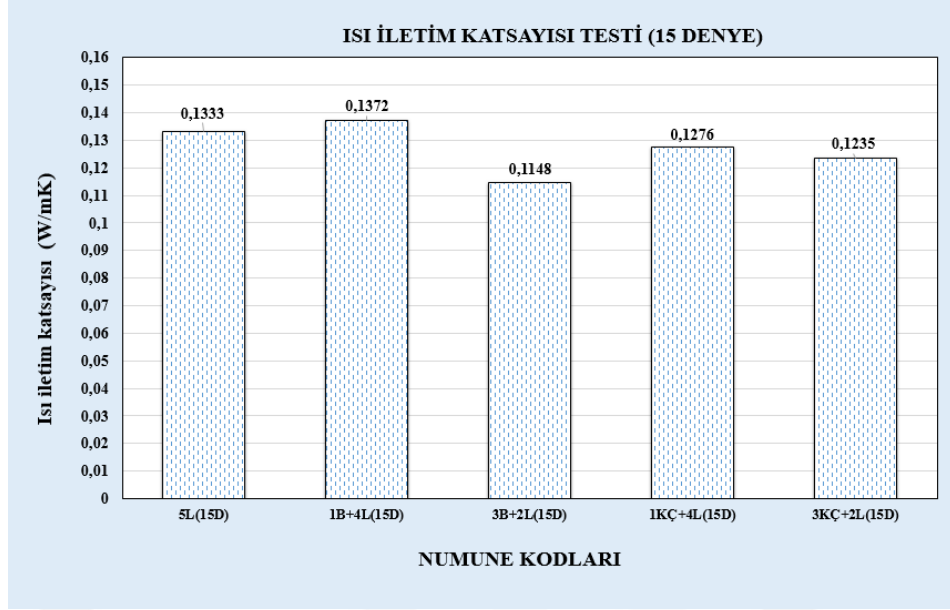
Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da eğilme dayanımı sonuçları her lif inceliği için ayrı ayrı olacak şekilde grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.24. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (6 Denye)



Şekil 4.25. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (3Denye)



Şekil 4.26. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçları (15 Denye)

4.3.2. Ses Yutum ve Ses İletim Kaybı Tayini

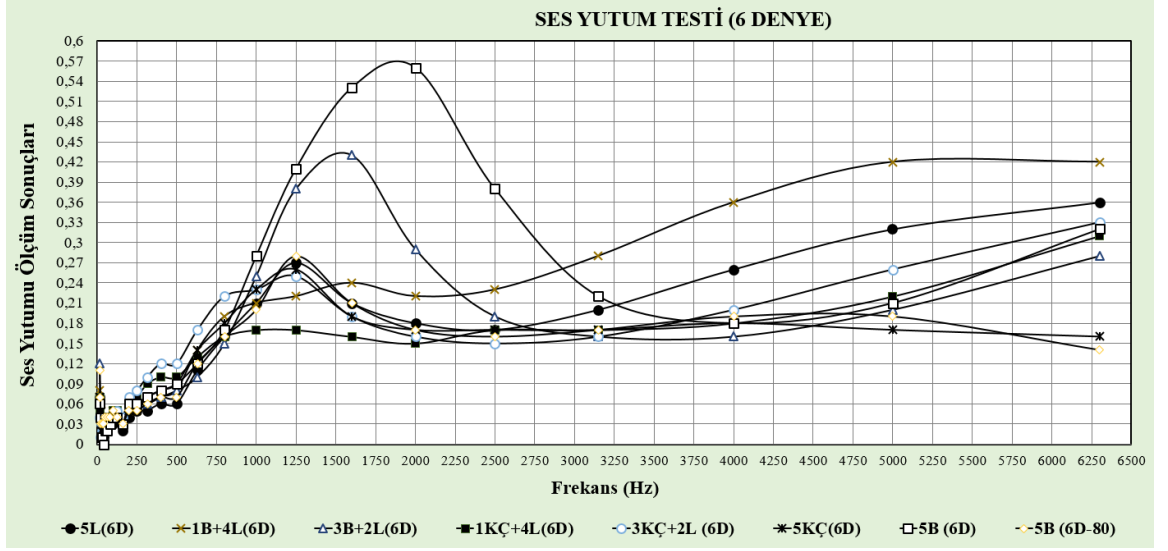
Ses yutum değerlerinin ölçümleri

Ses yutum katsayılarının belirlenmesinde “TS EN ISO 10534-2 Akustik - Empedans tüplerinde akustik özelliklerin belirlenmesi - Bölüm 2: Normal ses emme katsayısı ve normal yüzey empedansı için iki mikrofona tekniği” kullanılmıştır. Bu teste ait sonuçlar, 6 denye inceliğinde liflerin kullanıldığı numuneler için Çizelge 4.14 ve 3 ile 15 denye inceliğinde liflerin kullanıldığı numuneler için ise Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Ses yutum testi sonuçları (α) (6 denye)

Frekans (Hz)	5L(6D)	1B+4L(6D)	3B+2L(6D)	1KÇ+4L (6D)	3KÇ+2L (6D)	5KÇ(6D)	5B (6D)	5B (6D-80)
16	0,07	0,08	0,12	0,07	0,04	0,07	0,06	0,11
20	0,04	0,04	0,07	0,05	0,01	0,05	0,04	0,07
25	0,02	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03
31,5	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
40	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0	0,03
50	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04
63	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04
80	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04
100	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05
125	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
160	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
200	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,05
250	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06	0,05
315	0,05	0,06	0,06	0,09	0,1	0,07	0,07	0,06
400	0,06	0,07	0,07	0,1	0,12	0,08	0,08	0,07
500	0,06	0,08	0,08	0,1	0,12	0,09	0,09	0,07
630	0,11	0,14	0,1	0,13	0,17	0,14	0,12	0,12
800	0,16	0,19	0,15	0,16	0,22	0,18	0,17	0,16
1000	0,21	0,21	0,25	0,17	0,23	0,23	0,28	0,2
1250	0,27	0,22	0,38	0,17	0,25	0,26	0,41	0,28
1600	0,21	0,24	0,43	0,16	0,19	0,19	0,53	0,21
2000	0,18	0,22	0,29	0,15	0,16	0,17	0,56	0,17
2500	0,17	0,23	0,19	0,17	0,15	0,17	0,38	0,16
3150	0,2	0,28	0,16	0,17	0,16	0,17	0,22	0,17
4000	0,26	0,36	0,16	0,18	0,2	0,18	0,18	0,19
5000	0,32	0,42	0,2	0,22	0,26	0,17	0,21	0,19
6300	0,36	0,42	0,28	0,31	0,33	0,16	0,32	0,14

Çizelge 4.16’de verilmiş olan farklı malzeme türlerine ait bazı frekanslardaki ses yutum değerleri ile Çizelge 4.14’de verilen değerler beraber incelendiğinde 6 denye lif kullanılan tüm numunelerde 500 Hz sonrasında ses yutum özelliğinin beton zemin, parke oda zemini, plastik yer karosu gibi malzemelerden daha iyi performans gösterdiği söylenebilmektedir.



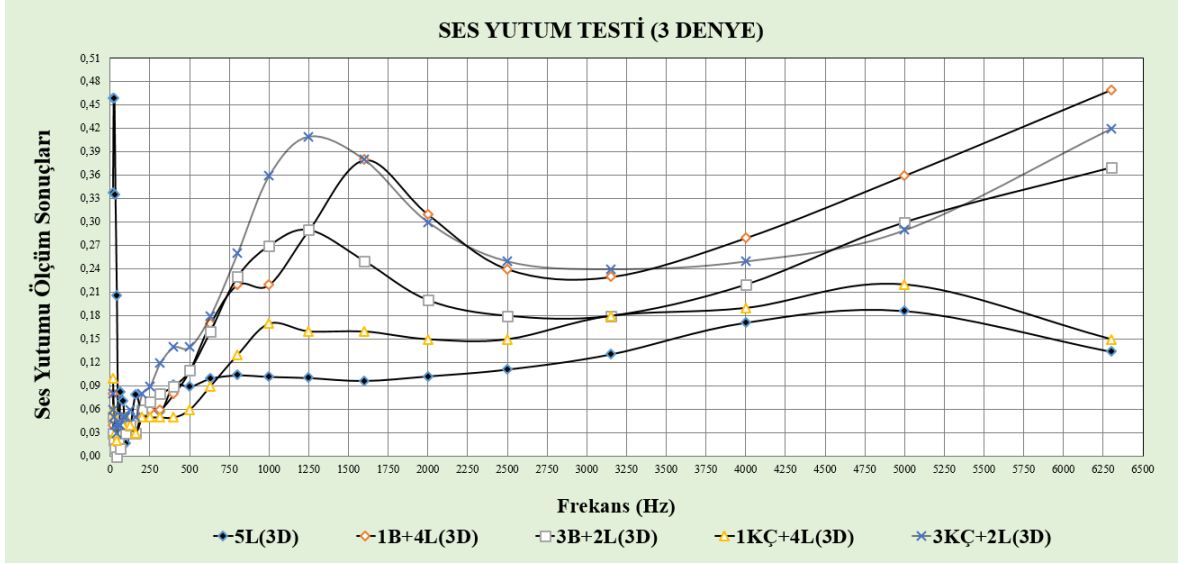
Şekil 4.27. Ses yutumu ölçüm sonuçları (6 Denye)

Şekilden görüldüğü gibi 3 kat talaş levha ile 6 denye lif levhanın birlikte kullanıldığı numunelerin 500 ile 1750 Hz arasında ses yutum özelliklerinde artış olduğu gözlenmektedir. Talaş levhaların küçük tanecikli yapılarından dolayı liflerle birlikte kullanıldığında ses yutumuna katkı sağladığı söylenebilmektedir (Çizelge 3.5). 250-750 Hz arasında tüm numunelerin ses yutum özelliklerinin iyileştiği görülmektedir.

Çizelge 4.15. Ses yutum ölçüm sonuçları (α) (3 ve 15 denye)

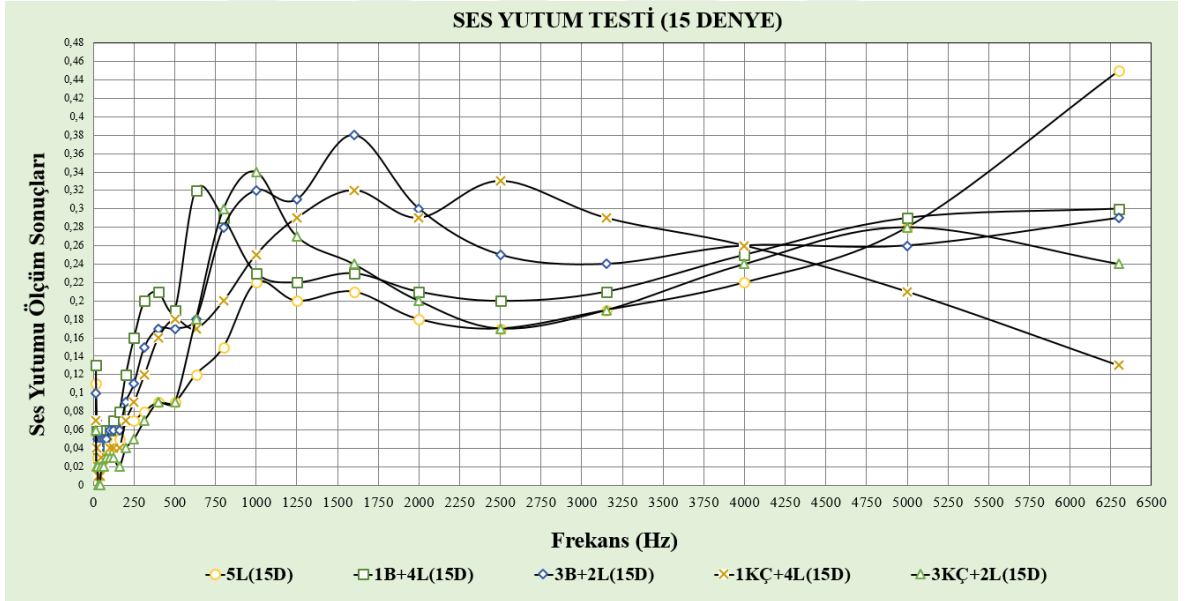
Frekans (Hz)	5L(3D)	1B+4L(3D)	3B+2L(3D)	1KÇ+4L(3D)	3KÇ+2L(3D)	5L(15D)	1B+4L(15D)	3B+2L(15D)	1KÇ+4L(15D)	3KÇ+2L(15D)
16	0,34	0,08	0	0,1	0,1	0,11	0,13	0,1	0,07	0,06
20	0,46	0,04	0,1	0,06	0,1	0,04	0,06	0,07	0,04	0,02
25	0,46	0,02	0	0,05	0,1	0,03	0,06	0,05	0,02	0,02
31,5	0,34	0,01	0	0,03	0	0,02	0,04	0,04	0,01	0
40	0,21	0,01	0	0,02	0	0,03	0,03	0,04	0,01	0
50	0,02	0,03	0	0,04	0	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02
63	0,08	0,03	0	0,04	0	0,04	0,05	0,05	0,02	0,02
80	0,07	0,04	0	0,04	0,1	0,05	0,06	0,05	0,03	0,03
100	0,02	0,04	0	0,05	0,1	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03
125	0,04	0,04	0	0,04	0,1	0,06	0,07	0,06	0,04	0,03
160	0,08	0,03	0	0,03	0,1	0,05	0,08	0,06	0,04	0,02
200	0,05	0,05	0,1	0,05	0,1	0,07	0,12	0,09	0,07	0,04
250	0,07	0,06	0,1	0,05	0,1	0,07	0,16	0,11	0,09	0,05
315	0,06	0,06	0,1	0,05	0,1	0,08	0,2	0,15	0,12	0,07
400	0,09	0,08	0,1	0,05	0,1	0,09	0,21	0,17	0,16	0,09
500	0,09	0,11	0,1	0,06	0,1	0,09	0,19	0,17	0,18	0,09
630	0,10	0,17	0,2	0,09	0,2	0,12	0,32	0,18	0,17	0,18
800	0,10	0,22	0,2	0,13	0,3	0,15	0,29	0,28	0,2	0,3
1000	0,10	0,22	0,3	0,17	0,4	0,22	0,23	0,32	0,25	0,34
1250	0,10	0,29	0,3	0,16	0,4	0,2	0,22	0,31	0,29	0,27
1600	0,10	0,38	0,3	0,16	0,4	0,21	0,23	0,38	0,32	0,24
2000	0,10	0,31	0,2	0,15	0,3	0,18	0,21	0,3	0,29	0,2
2500	0,11	0,24	0,2	0,15	0,3	0,17	0,2	0,25	0,33	0,17
3150	0,13	0,23	0,2	0,18	0,2	0,19	0,21	0,24	0,29	0,19
4000	0,17	0,28	0,2	0,19	0,3	0,22	0,25	0,26	0,26	0,24
5000	0,19	0,36	0,3	0,22	0,3	0,28	0,29	0,26	0,21	0,28
6300	0,13	0,47	0,4	0,15	0,4	0,45	0,3	0,29	0,13	0,24

Lif inceliği açısından ses yutum özelliklerini değerlendirildiğinde, düşük frekanslarda ince lif kullanımının, yüksek frekanslara çıkıldıkça kalın lif kullanımının ses yutumunu iyileştirdiği görülmektedir. 3D grubu numunelerin ses yutumu 16-50 Hz arasında daha etkinken 6D ve 15D grubu numunelerin etkinlik seviyesi 600-6300 Hz arasında daha etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.28. Ses yutumu ölçüm sonuçları (3 Denye)

En düşük ses yutumu 5 kat 3 denye lif kullanılan numunede görülmektedir. Yapının rijit halde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tek kat talaş ile 3 denye lif levha kullanılan numunelerde bambu kullanımı kızılçama göre ses yutumunu arttırmıştır.



Şekil 4.29. Ses yutumu ölçüm sonuçları (15 Denye)

Genel olarak 15 denye lif levha kullanılan numunelerde 16 Hz – 1000 Hz arasında ses yutum özellikleri artmış ve artan frekans değerlerinde farklı özellikler göstermişlerdir.

Oktavlar insanların frekanslar arasında ayırma yapmasını sağlayan birimlerdir. Oktav bantları insanların sesler arasında ayırma yapmasını sağlamaktadır. Çizelge 4.16’da farklı malzemelere ait bazı frekanslardaki ses yutum değerleri verilmektedir. Buradaki değerler ile numunelere ait ses yutum değerleri karşılaştırılabilirliği açısından yararlı olacağı düşünülmüştür.

Çizelge 4.16. Farklı malzeme ait bazı frekanslardaki ses yutum değerleri (Dalbudak, 2018)

Malzeme	Oktav Bandı Merkez Frekansı(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alçıpan Tavan (12 mm kalınlıkta)	0,29	0,10	0,06	0,05	0,04	0,04
Beton Blok(pürüzlü)	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Beton Blok(boyalı)	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Beton Oda Zemini	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Beton Üzerinde Plastik Yer Karosu Zemini	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Cam(Pencere Camı)	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Cam(Kalın Plaka)	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Cam Yünü Levha(4 cm kalınlıkta)	0,86	0,91	0,80	0,89	0,62	0,47
Halı (kauçuk köpük üzerinde)	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Kontrplak Levha(1 cm kalınlıkta)	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
Mermer Yer Karosu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Parke Oda Zemini	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Sıva(kaba)	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
Sıva	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Tahta Kapı	0,10	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04
Tahta Tavan Kaplaması(geçmeli)	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Tahta Zemin	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Tuğla	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Tuğla (boyalı)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03

Ses İletim Kaybı Değerlerinin Ölçümü

Ses dalgasının katı ortamlarda davranışı, malzemenin türüne ve frekansına göre farklı özellikler göstermektedir. Düşük frekanslarda ses dalgalarının yapıda oluşturduğu hareketleri yapının malzeme boyutu, yüzeyin yoğunluğu ve malzeme sertliği belirlemektedir. Orta frekanslarda yapının kütlesi ses iletim kaybını etkilemektedir. Malzemenin kütlesinin artırılması iletim kaybını azaltacaktır. Yapının sertliği ses iletim katsayısında azaltmaya neden olmaktadır. Yüksek frekanslarda ses iletim kaybı yapının sönümleme özelliği ile iyileştirilebilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen ses iletim kaybı ölçüm sonuçları Çizelge 4.17 (6D numuneleri için) ve Çizelge 4.18 (3D ve 15D numuneleri için)’de verilmiştir.

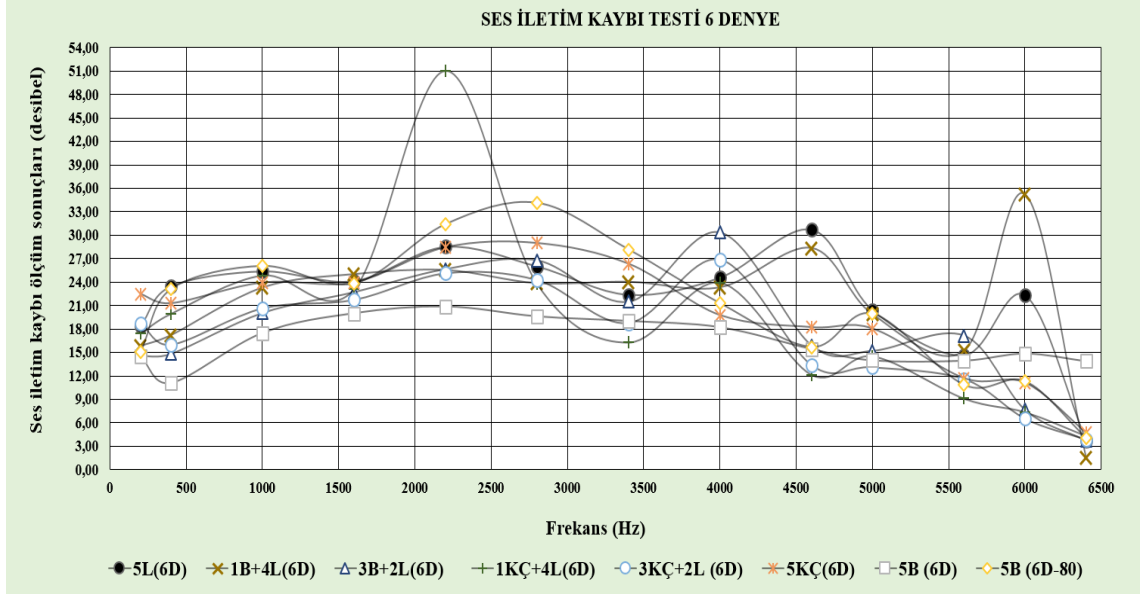
Çizelge 4.17. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (Desibel) (6 denye)

Frekans (Hz)	5L(6D)	1B+4L(6D)	3B+2L(6D)	1KÇ+4L(6D)	3KÇ+2L(6D)	5KÇ(6D)	5B(6D)	5B(6D-80)
200	18,40	15,84	14,57	17,42	18,72	22,46	14,48	15,01
400	23,49	17,22	14,83	19,97	15,99	21,28	11,15	23,11
1000	25,39	23,30	20,05	24,87	20,65	23,94	17,50	26,06
1600	24,15	25,00	22,70	23,08	21,72	23,96	19,99	23,81
2200	28,52	25,52	25,65	51,01	25,12	28,45	20,85	31,41
2800	26,02	23,84	26,78	23,75	24,25	28,99	19,58	34,12
3400	22,38	24,03	21,48	16,29	18,75	26,33	19,01	28,15
4000	24,60	23,32	30,33	23,93	26,87	19,75	18,21	21,27
4600	30,73	28,34	15,89	12,15	13,35	18,22	15,44	15,68
5000	20,39	19,86	15,21	14,53	13,10	18,04	14,00	19,95
5600	14,65	15,23	17,15	9,12	11,59	11,69	13,97	10,82
6000	22,30	35,19	7,65	7,38	6,51	11,11	14,87	11,29
6400	3,74	1,46	3,75	4,34	3,83	4,72	13,89	4,03

Çizelge 4.18. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (Desibel) (3 ve 15 denye)

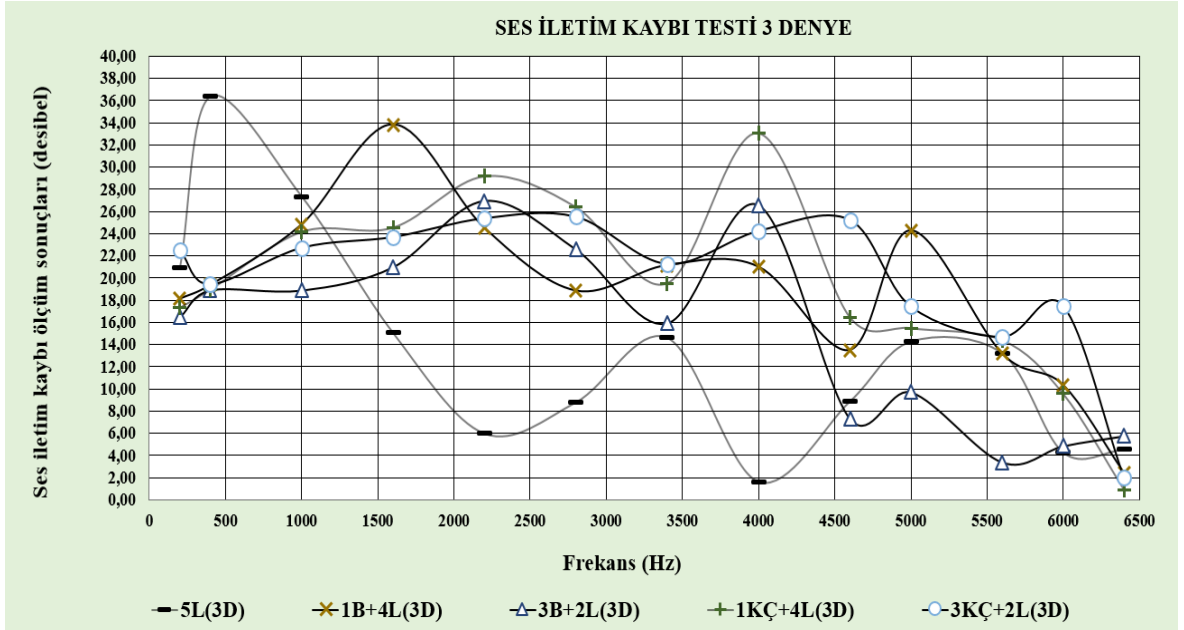
Frekans (Hz)	5L(3D)	1B+4L(3D)	3B+2L(3D)	1KÇ+4L(3D)	3KÇ+2L(3D)		5L(15D)	1B+4L(15D)	3B+2L(15D)	1KÇ+4L(15D)	3KÇ+2L(15D)
200	20,97	18,12	16,46	17,32	22,48		2,38	16,20	14,01	20,29	17,41
400	36,38	19,36	18,88	18,95	19,44		31,04	17,24	19,66	21,95	17,79
1000	27,36	24,83	18,86	24,17	22,73		31,96	20,95	24,05	26,15	22,46
1600	15,06	33,83	20,96	24,55	23,69		30,59	23,61	24,06	27,58	23,09
2200	5,98	24,49	26,94	29,18	25,38		28,96	26,99	28,06	27,84	25,48
2800	8,80	18,84	22,56	26,40	25,52		12,78	26,65	26,61	29,47	25,45
3400	14,62	21,14	15,90	19,52	21,26		2,69	24,31	25,24	31,82	22,12
4000	1,63	20,99	26,55	33,08	24,23		12,17	23,21	21,84	29,09	23,82
4600	8,87	13,49	7,33	16,45	25,23		6,77	27,02	13,31	17,47	13,53
5000	14,28	24,27	9,71	15,47	17,44		5,66	18,92	12,29	18,42	16,58
5600	13,23	13,17	3,39	14,39	14,69		2,69	18,56	6,73	13,09	24,03
6000	4,29	10,35	4,84	9,56	17,49		5,06	18,35	8,48	8,99	13,05
6400	4,52	2,43	5,75	0,90	2,02		11,22	7,65	6,40	2,13	16,87

Ses iletim kaybı testinde ölçülen değerlerin mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Tüm numuneler için 6000 Hz-6400 Hz’de ses iletim kaybının en iyi değerde olduğu söylenebilmektedir.

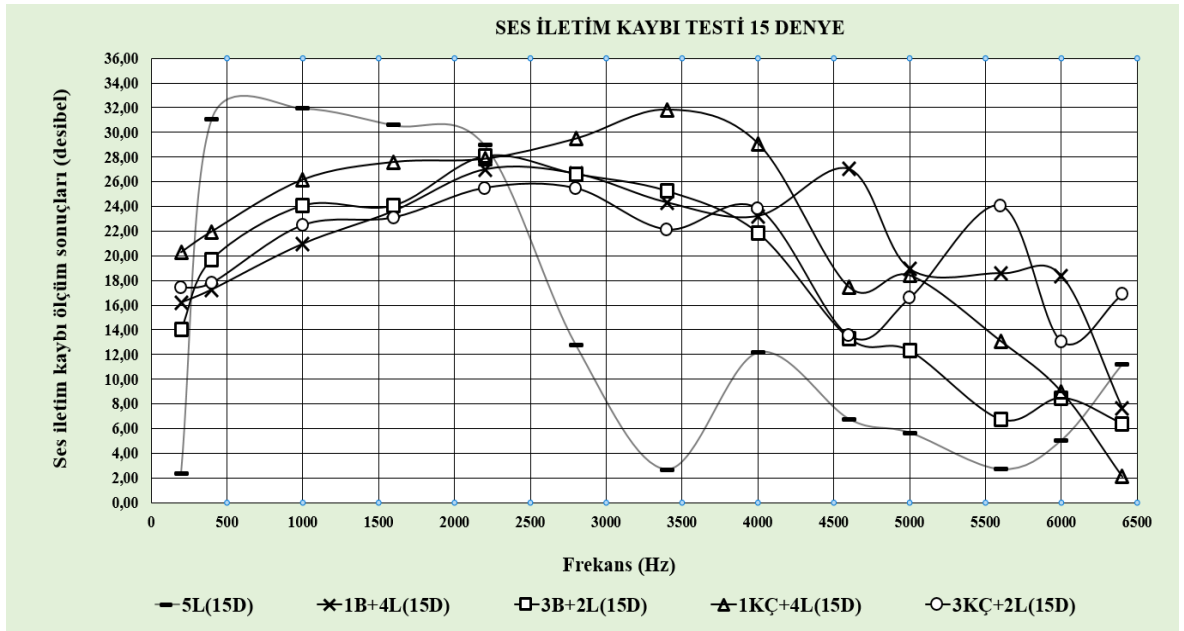


Şekil 4.30. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (6 Denye)

Lif inceliği 6 denye olan numunelerin ses iletim kaybı değerleri 2500Hz-3000 Hz bölgesine kadar artarken bu bölgeden sonra azalan hareket ortaya koymuştur. Tüm numunelerin sert yapıda olmasının belirli bir frekanstan sonra ses kaybı değerlerinde iyileşmesi sağladığı düşünülmektedir. Genellikle yapıdaki lif kalınlığının veya talaş tipinin ses iletim kaybında önemli bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Ses iletim kaybında 6 denye lif kullanılan numunelerin ses iletim kayıpları 3 denye ye göre artan frekanslarda daha az değişim göstermiştir.



Şekil 4.31. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (3 Denye)



Şekil 4.32. Ses iletim kaybı ölçüm sonuçları (15 Denye)

15 denye lif levha kullanılan numunelerde genellikle düşük veya yüksek frekanslarda ses iletim kaybı az olurken orta frekanslarda (400-4000 Hz arasında) diğer frekanslara oranla daha yüksek ses kaybı görülmektedir.

4.4. Hibrit Kompozit Üretimi İçin Birim (1 m²) Hammadde Maliyet Hesabı

Çalışma kapsamında üretimleri gerçekleştirilen 40x40x2 cm boyutlarındaki katmanlı hibrit kompozit numunelerin birim hammadde maliyetini hesaplamak amacıyla öncelikle yapıdaki her bir malzemenin tüketim miktarları tespit edilmiş ve buradan birim (1 m²) üretim için kullanılan malzeme miktarları hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplama katmanların tamamı lif levhadan oluşan 5L kodlu numuneler için yapılmıştır. Ardından malzemelerin birim fiyatından yararlanılarak maliyet hesabı yapılmıştır.

Üretilen katmanlı hibrit kompozit numuneler 5 iç katman ve 2 dış katmandan olmak üzere toplam 7 katmandan meydana gelmektedir. İç katmanlarda (5 kat) üre formaldehit reçinesi ile oluşturulmuş 40 cm uzunluğunda 2 cm eninde ve 2 mm kalınlığında levhalar (talaş veya lif) ve dış katmanlarda ise poliüretan reçine ve lifler kullanılmıştır.

Üretimi gerçekleştirilen 18 farklı numunede sarf malzeme olarak bambu talaşı, kızılçam talaşı, geri dönüşüm polyester lif (3 denye, 6 denye, 15 denye), poliüretan reçine, üre formaldehit reçine kullanılmıştır.

Birim alandaki geri dönüşüm polyester lif miktarının belirlenmesi (5L kodlu numune için);

Çalışmanın 1. aşamasını oluşturan lif plakaların boyutları 50x50x2 cm olup bu plakalarda kullanılan lif miktarı 2 kg'dır. Bu durumda 5000 cm³ hacimdeki plakalarda 2 kg lif kullanılmıştır.

Bu plakalardan 40x2x0,2 cm lik levhalar kesilmiştir. Her bir levhadaki lif miktarının hesabı aşağıda özetlenmiştir.

$$1 \text{ levha hacmi} = 40 \times 2 \times 0,2 = 16 \text{ cm}^3$$

5000 cm³'te 2000 g lif varsa 16 cm³'te 6,4g lif kullanılmıştır.

Hibrit kompozit numunenin her bir katmanında kullanılan levha sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$(\text{Tam genişlik} / (\text{levha} + \text{boşluk genişliği})) = (40 / (2 + 0,2)) = 18 \text{ levha}$$

Her bir lif katmanındaki geri dönüşüm lif miktarı

$$18 \times 6,4 = 115,2 \text{ gram}$$

5L kodlu numunede (5 kat lif levha kullanılan (5L)) kullanılan lif miktarı ise $5 \times 115,2 = 576 \text{ g}$ olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Alt ve üst tabakada kullanılan lif miktarı } 40 \text{ g} \times 2 = 80 \text{ g}$$

40x40 boyutlarındaki (0,16 m²) katmanlı hibrit kompozit numunesinde kullanılan lif miktarı $576 + 80 = 656 \text{ g}$ olduğuna göre 1 m²'lik numune için bu miktar ise 4100 g olarak hesaplanmıştır.

Üre formaldehit (UF) reçine miktarının belirlenmesi (5L kodlu numune için):

Numune boyutları 50x50x2 cm olan lif plakalar için kullanılan üre formaldehit miktarı; 2kg geri dönüşüm lif için (ağırlıkça %70 üre formaldehit) 1,4 kg'dır. Reçine %55'lik hazırlandığı için kullanılan toz üre formaldehit miktarı $1,4 \times 0,55 = 0,77 \text{ kg} = 770 \text{ g}$ olarak hesaplanmıştır.

Toplam hacim: $50 \times 50 \times 2 = 5000 \text{ cm}^3$ te 770 g UF kullanıldığına göre

1 adet levha hacmi: $40 \times 2 \times 0,2 = 16 \text{ cm}^3$ te 2,47 g UF kullanılmıştır.

5 kat lif levhadan oluşan numunede (her katta 18 ahşap levha kullanıldığı için)

$$18 \times 2,47 = 222 \text{ g UF kullanılmıştır.}$$

40x40 boyutlarındaki (0,16 m²) katmanlı hibrit kompozit numunesinde kullanılan UF miktarı 222 g olduğuna göre 1 m²'lik numune için bu miktar ise 1388 g olarak hesaplanmıştır.

Üre formaldehit (UF) reçine miktarının belirlenmesi (5B veya 5KÇ kodlu numuneler için):

Numune boyutları 50x50x2 cm olan talaş plakalar için kullanılan üre formaldehit miktarı; 2kg talaş için (ağırlıkça %20 üre formaldehit) 0,4 kg'dır. Reçine %55'lik hazırlandığı için kullanılan toz üre formaldehit miktarı $0,4 \times 0,55 = 0,22 \text{ kg} = 220 \text{ g}$ olarak hesaplanmıştır.

Toplam hacim: $50 \times 50 \times 2 = 5000 \text{ cm}^3$ te 220 g UF kullanıldığına göre doğru orantıdan

1 adet levha hacmi: $40 \times 2 \times 0,2 = 16 \text{ cm}^3$ te 0,7 g UF kullanılmıştır.

5 kat talaş levhadan oluşan numunede

$$18 \times 0,7 = 12,6 \text{ g UF kullanılmıştır.}$$

40x40 boyutlarındaki (0,16 m²) katmanlı hibrit kompozit numunesinde kullanılan UF miktarı 12,6 g'dır 1 m²'lik numune için ise 396 g olarak hesaplanmıştır.

Poliüretan reçine (PU) (poliol+izosiyonat) miktarının belirlenmesi:

Poliüretan reçinesi katmanlı hibrit kompozit üretiminde levhaların birleştirilmesi işleminde son aşamada kullanılmaktadır. Yapıda, alt ve üst katmanlarda ve levhaların yerleştirme işleminden sonra meydana gelen kanallarda bulunmaktadır.

Kanallara yerleşen reçine miktarı: Levhalar kalıba dizildikten sonra yapıda 0,2x0,2x40 cm boyutlarında kanallar meydana gelmektedir.

40x40'lık numunede 1 katmandaki kanal sayısı (tam genişlik / (levha + boşluk genişliği))
=40/(2+0,2)=18 olmaktadır.

Katman sayısı = 5 olup 1 kanalın hacminden yola çıkarak yapıdaki toplam kanallara yerleşen reçine miktarı; (0,2*0,2*40)*18*5=144 cm³ olarak bulunmaktadır.

Alt ve üst kanalları oluşturan lifler arasında yer alan reçine miktarı, katmanların toplam hacminden lif hacminin (d=m/v) çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

PES lifinin (1,38= 40/v) hacmi 29 cm³ olarak bulunmuştur.

Alt ve üst katmanda kullanılan toplam lif miktarı 29x2= 58 cm³'tür

Alt ve üst katmanın toplam hacmi ise (0,2x40x40)x2= 640 cm³ olarak hesaplanmıştır.

Buna göre hibrit kompozitlerin alt ve üst katmanlarında kullanılan poliüretan reçine miktarı 640-58=582 cm³ olarak bulunmuştur.

Toplam reçine (kanallar + alt ve üst katman)= 144+582 cm³ =726 cm³ tür

40x40 boyutlarındaki (0,16 m²) katmanlı hibrit kompozit numunesinde kullanılan (PU) miktarı 726 cm³ olduğuna göre 1 m²'lik numune için bu değer 4537 cm³ olarak hesaplanmıştır.

4537 cm³ PU reçine + 1388 g UF + 4100 g geri dönüşüm lif

Poliüretan reçine (PU): 1,765 dolar (1kg)

Geri dönüşüm polyester (rPET): 0,8 dolar (1kg)

Üre formaldehit (UF) reçine: 0,18 dolar (1kg)

Toplam maliyet (1 m²'lik numune için): 1,765 x PU + 0,8 x rPET + 0,18 x UF

(4,5x1,765) + (0,8x4,1)+(0,18x1,388) = 11,53 dolar

4.5. Numunelerde Farklı Parametrelerin Özelliklere Etkisinin İkili Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında 18 farklı konstrüksiyonda numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Belirlenen deney planına uygun olarak hazırlanan numuneler, sadece bir parametrenin değiştirildiği ikili gruplar halinde eşleştirilerek deneysel olarak tespit edilen tüm özellikler göz önünde bulundurulmak suretiyle aşağıda karşılaştırılmıştır. Her numuneye ait katman sayı ve sırası görsel olarak hazırlanmış olup numuneye uygulanan testlere ait sonuçlar da birlikte verilmiştir.

Dış Katman (6 Denye Lif 80 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0146	Nm/mm ²
Bambu Levha (BT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,70	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	351,7	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1502	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,16	α
Dış Katman (6 Denye Lif 80 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	23,11-21,27	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0126	Nm/mm ²
Bambu Levha (BT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1008,3	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1394	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,38	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	11,15-18,21	Desibel

Dış katmanlarda kullanılan lif oranı artıkça eğilme dayanımı azalmaktadır.

Dış katmanda daha az lif kullanımının yüksek frekanslarda ses yutum ve ses iletim kaybını iyileştirdiği söylenebilmektedir.

Dik çekme kuvvetinin 40g lif kullanılan numunede 2 kat daha yüksek olduğu görülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0273	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,80	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	621,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1467	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,23	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,22-23,32	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0139	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,98	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1009,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1341	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,19	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	14,83-30,33	Desibel

Tek kat bambu ve 3 kat bambu kullanımında bambu oranının az olmasının çarpmaya karşı eğilme dayanımını artırdığı görülmektedir. Tek kat bambu kullanılan numunenin eğilme dayanımının diğerine göre düşük olmasının yapıdaki lif levha sayısının dolayısıyla lif miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tek kat bambunun yüzeye dik çekme kuvveti 3 kat bambu kullanılan numuneden yüksek çıkmıştır.

Farklı oranlarda bambu kullanımının ses yutum ve ses iletim kaybında çok fazla fark oluşturmadağı görülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0273	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,80	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	621,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1467	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,23	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,22-23,32	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0126	Nm/mm ²
Bambu Levha (BT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1008,3	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1394	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,38	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	11,15-18,21	Desibel

Lif kullanımının ısı iletkenlik katsayısını artırdığı yani ısı yalıtımını azalttığı söylenebilmektedir. Bu durumun, plastik yapıya sahip lif ve reçinenin ısı iletim katsayısının odun veya türevlerinden az olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0386	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,24	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	516,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletim Katsayısı	0,1418	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	23,49- 24,60	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0139	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,98	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1009,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1341	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,19	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	14,83-30,33	Desibel

Lif kullanımının (plastik yapıya sahip olması nedeniyle) ısı iletkenlik katsayısını artırdığı yani ısı yalıtımını azalttığı söylenebilmektedir. Bambu levha kullanılan numunenin ısı yalıtım özelliği sadece liflerden üretilen numuneden daha iyi durumdadır.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0386	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,24	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	516,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletim Katsayısı	0,1418	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	23,49- 24,60	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0273	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,80	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	621,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1467	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,23	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,22-23,32	Desibel

Liflerin elastik yapısı nedeniyle yapıda kullanımı eğilme dayanımı düşürmekte ama çarpmaya karşı eğilme dayanımını artırmaktadır. Tek kat bambu levha kullanımının sadece lif kullanımına göre ısı iletimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir. Bambunun tanecikli yapısı nedeniyle ses iletim kaybını azalttığı söylenebilmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0386	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,24	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	516,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletim Katsayısı	0,1418	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	23,49- 24,60	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0126	Nm/mm ²
Bambu Levha (BT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1008,3	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1394	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,38	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	11,15-18,21	Desibel

5 kat bambu veya polyester lif levha kullanılan numune özelliklerine bakıldığında polyester lif kullanılan numunenin en belirgin özelliğinin, liflerin paralel halde dizilmesinden dolayı daha yüksek çarpmaya karşı eğilme dayanımı olduğu görülmektedir. Diğer bütün değerlerde bambu levha kullanımının numuneyi daha üstün duruma getirdiği görülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0273	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,80	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	621,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1467	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,23	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,22-23,32	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0139	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,98	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1009,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1341	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,19	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	14,83-30,33	Desibel

Bambu talaş levhanın tanecikli yapısından kaynaklı yapıda yüksek oranda kullanılması daha iyi ısı yalıtımı ve daha iyi eğilme dayanımı sağlamaktadır.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0357	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,02	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	702,2	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1262	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,97-23,93	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0112	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	969,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1258	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,08-0,15	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	15,99-26,87	Desibel

Yapıda kullanılan kızılçam talaşı katman sayısının değiştiği numunelerde ses yutum ve ses iletim kaybı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Kızılçam talaşının numunelerin fiziksel özellikleri üzerinde çok fazla fark meydana getirmediği söylenebilmektedir. Liflerin paralel halde olmasından kaynaklı çarpmaya karşı eğilme dayanımı yüksek çıkmıştır.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0357	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,02	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	702,2	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1262	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,97-23,93	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0207	Nm/mm ²
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,57	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	105,2	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1215	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,28-19,75	Desibel

Kızılçam talaşının iri tanecikli yapısı ve yuvarlağa benzer şeklinden dolayı 6 denyelik liflerle beraber kullanımı numunelerin mekanik özellikleri üzerine pozitif katkıya neden olmamıştır.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0112	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	969,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1258	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,08-0,15	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	15,99-26,87	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0207	Nm/mm ²
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,57	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	105,2	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1215	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,28-19,75	Desibel

Kızılçam talaşının içyapıda tek başına kullanımı yerine 6 denye lif levhalarla kullanımının numunenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0273	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,80	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	621,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1467	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,23	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,22-23,32	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0357	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,02	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	702,2	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1262	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,97-23,93	Desibel

Kızılçam kullanımının bambu talaş levha kullanımına göre yapıda ısı yalıtım özelliğini artırdığı söylenebilmektedir. Bu duruma kızılçam talaşı tanecik boyutunun büyük, yoğunluğunun düşük olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0139	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,98	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1009,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1341	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,19	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	14,83-30,33	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0112	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	969,4	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1258	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,08-0,15	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	15,99-26,87	Desibel

Yapıda 3 kat bambu talaş levha kullanımı ile 3 kat kızılçam talaş levha kullanımı arasında mekanik ve fiziksel özellikler açısından anlamlı bir değişiklik meydana gelmediği görülmektedir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0126	Nm/mm ²
Bambu Levha (BT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,41	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	1008,3	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1394	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,38	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	11,15-18,21	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0207	Nm/mm ²
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,57	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	105,2	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1215	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,28-19,75	Desibel

5 kat bambu talaşı ile 5 kat kızılçam talaşı levhası kullanılan yapılarda kızılçamın çarpmaya karşı eğilme dayanımı haricinde mekanik olarak olumlu bir etki gösterdiği söylenememektedir. Bu durumun kızılçam talaşların yüksek hacim ve düşük yoğunluğunun darbeyi daha fazla sönümlemesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Diğer tüm özelliklerde bambu levha kullanılan numune daha iyi performans göstermiştir.

Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0386	Nm/mm ²
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,24	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	516,1	MPa
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletim Katsayısı	0,1418	W/Mk
6 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	23,49- 24,60	Desibel
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0207	Nm/mm ²
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,57	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	105,2	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1215	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (6 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,28-19,75	Desibel

5 kat 6 denye lif kullanımı elastik yapısından ve paralel halde üretilmesinden kaynaklı yapıya mekaniksel olarak mukavemet kazandırır da fiziksel olarak büyük bir katkısının olduğu söylenememektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0431	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,93	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	290,1	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1386	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,11	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	36,38-1,63	Desibel
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0346	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,11	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	744,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1319	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,24	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,36-20,99	Desibel

Tek kat bambu levha kullanımının, sadece 3 denye lif levha kullanılan numuneye göre çarpmaya karşı eğilme dayanımı hariç diğer özelliklere pozitif yönde katkı sağladığı görülmektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0431	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,93	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	290,1	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1386	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,11	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	36,38-1,63	Desibel

Bambu levhanın tanecikli yapısı sayesinde, lif levhaların yanı sıra bambu levha kullanımının yüzeye dik çekme, ısı iletkenlik, ses yutum gibi özelliklere pozitif yönde katkısının olduğu söylenebilmektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0146	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,17	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	881,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1292	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,20	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,88-26,55	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0346	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,11	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	744,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1319	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,24	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,36-20,99	Desibel

Bambu kullanım oranının artırılmasının, eğilme dayanımı, ses yutumu, ses iletim kaybı, yüzeye dik çekme gibi özelliklere olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilmektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0146	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,17	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	881,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1292	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,20	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,88-26,55	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0431	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,93	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	290,1	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1386	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,11	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	36,38-1,63	Desibel

Tek kat kızılçam levha kullanımı, sadece 3 denyelik lif levha kullanılan numunelerde yüzeye dik çekme, eğilme dayanımı, ısı yalıtımı, ses iletim kaybı gibi özellikleri olumlu yönde etkilemiştir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0426	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,30	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	808,9	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1237	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,15	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,95-33,08	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0431	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,93	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	290,1	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1386	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,11	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	36,38-1,63	Desibel

Kızılçamın büyük ama düşük yoğunluklu tanecikli yapısından dolayı kat sayısının artırılmasının yüzeye dik çekme, eğilme dayanımı, ısı yalıtımı özelliklerine pozitif yönde katkı sağladığı söylenebilmektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0138	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,32	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	536,6	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1224	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,30	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,44-24,23	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0426	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,30	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	808,9	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1237	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,15	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,95-33,08	Desibel

Kızılçamın tek veya 3 kat olarak kullanılmasının ısı iletkenlik katsayısına çok fazla etki etmediği görülmektedir. Ancak konstrüksiyondaki bu değişim ses yalıtımı özelliğini artırdığı söylenebilmektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0138	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,32	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	536,6	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1224	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,30	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,44-24,23	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0346	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,11	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	744,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1319	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,06-0,24	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,36-20,99	Desibel

Tek kat bambu veya tek kat kızılçam kullanımının yapıda çok önemli sayılabilecek bir değişikliğe sebep olduğu söylenememektedir.

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0426	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,30	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	808,9	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1237	W/Mk
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,15	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,95-33,08	Desibel

Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0146	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,17	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	881,7	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1292	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,20	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	18,88-26,55	Desibel
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0138	Nm/mm ²
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,32	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	536,6	MPa
3 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1224	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,10-0,30	α
Dış Katman (3 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,44-24,23	Desibel

3 kat bambu veya 3 kat kızılçam kullanımının yapıda çok önemli sayılabilecek bir değişikliğe sebep olduğu söylenememektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0554	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,39	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	221,4	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1333	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	31,04-12,17	Desibel
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0364	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,34	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	752,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1372	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,16-0,20	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,24-23,21	Desibel

5 kat 15 denye lif levha ile oluşturulmuş yapı ile 4 kat lif levha 1 kat bambu ile oluşturulmuş yapı incelendiğinde tek kat bambu kullanımının yapıya fiziksel ve mekaniksel olarak pozitif yönde etkilerinin olduğu söylenebilmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0554	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,39	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	221,4	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1333	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	31,04-12,17	Desibel
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0144	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,82	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	826,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1148	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,11-0,25	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,6621,84	Desibel

Yapılar incelendiğinde bambu miktarındaki artışın yapının fiziksel ve mekaniksel özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0364	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,34	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	752,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1372	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,16-0,20	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,24-23,21	Desibel
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0144	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,82	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	826,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1148	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,11-0,25	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,6621,84	Desibel

15 D grubundaki iki numunenin sonuçlarına bakıldığında, bambu miktarındaki artışın yapının fiziksel ve mekaniksel özelliklerini iyileştirdiği söylenebilmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0554	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,39	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	221,4	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1333	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	31,04-12,17	Desibel
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0547	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,10	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	940,2	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1276	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,09-0,33	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,95-29,09	Desibel

Tek kat kızılçam kullanımı kızılçam plakalarının üretiminde kullanılan talaşın tanecikli yapısından kaynaklı ısı yalıtım özelliğini ve eğilme dayanımını artırmaktadır.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0554	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,39	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Eğilme Dayanımı	221,4	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1333	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,07-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	31,04-12,17	Desibel
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0147	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,20	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	691,5	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1235	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutumu (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,79-23,82	Desibel

Kızılçam 3 kat olarak kullanımı yapının ısı yalıtım özelliğini artırmaktadır. Eğilme dayanımını artırmaktadır. Darbe dayanımı azaltmaktadır. Bu etkilerin, kızılçam plakalarının üretiminde kullanılan talaşın tanecikli ve yuvarlağa yakın yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0547	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,10	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	940,2	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1276	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,09-0,33	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,95-29,09	Desibel

3 kat veya 1 kat kızılçam kullanımının çarpmaya karşı eğilme dayanımı hariç yapıda çok önemli sayılabilecek bir değişikliğe sebep olmadığı söylenebilmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0147	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,20	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	691,5	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1235	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,79-23,82	Desibel

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0364	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,34	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	752,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1372	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,16-0,20	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,24-23,21	Desibel

Tek kat kızılçam kullanımının numunenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini (ses iletim kaybı ve yüzeye dik çekme hariç), kızılçam levhanın yoğunluğu ve düşük tanecikli yapısından kaynaklı, tek kat bambu kullanılan numuneye göre önemli ölçüde artırdığı görülmektedir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0547	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,10	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	940,2	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1276	W/Mk
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,09-0,33	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	21,95-29,09	Desibel

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Bambu Levha (BT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0144	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	0,82	MPa
Bambu Levha (BT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	826,8	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1148	W/Mk
Bambu Levha (BT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,11-0,25	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	19,6621,84	Desibel

3 kat kızılçam kullanımı ile 3 kat bambu kullanımı arasında ısı iletkenlik ve yüzeye dik çekme hariç yapıda diğer özellikler açısından önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Uygulanan Test	Test Değeri	Birimi
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Çarpmaya Karşı E.D.	0,0147	Nm/mm ²
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Yüzeye Dik Çekme	1,20	MPa
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Eğilme Dayanımı	691,5	MPa
15 Denye Polyester Levha (GDP+ÜF)	Isı İletkenlik Katsayısı	0,1235	W/Mk
Kızılçam Levha (KÇT+ÜF)	Ses Yutum (250-2500 Hz)	0,05-0,17	α
Dış Katman (15 Denye Lif 40 gr+PÜ)	Ses İletim Kaybı 400-4000 Hz	17,79-23,82	Desibel

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma üç bölümden meydana gelmektedir:

- İlk bölümde geri dönüşüm liflerle birlikte ahşap talaşının aynı yapıda kullanım olanaklarını araştırmak için farklı reçine türleri ve üretim yöntemleri ile ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalardan elde edilen verilerle takviye malzemesi olarak 2 farklı ahşap talaşı (bambu ve kızılçam), 3 farklı kalınlıkta (3 denye, 6 denye, 15 denye) geri dönüşüm polyester lifi tercih edilmiş ve matris malzemesi olarak üre formaldehit, poliüretan reçineler farklı aşamalarda hibrit kopozit yapısında kullanılmıştır.
- İkinci bölümde ayrı ayrı talaşlar ve lifler takviye malzemesi, üre formaldehit reçinesi matris malzemesi olarak kullanılarak sıcak presleme yöntemiyle lifli ve talaşlı plakalar üretilmiştir.
- Üçüncü bölümde 2 mm kalınlıklarda kesilen levhalar (takviye elemanı olarak) ile poliüretan reçine (matris) farklı parametrelerde bir araya getirilmiş ve açık kalıplama yöntemi ile 18 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen bu numunelere, eğilme dayanımı, çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini, yüzeye dik çekme dayanımı gibi mekanik testlerin yanı sıra ısı yalıtımı ve ses yalıtımı testleri uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1.Sonuçlar

Sonuç olarak geri dönüşüm liflerle odun talaşının birlikte kullanımıyla farklı parametrelerde kompozit malzeme üretimleri, geliştirilen yenilikçi bir üretim yöntemiyle başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Numunelerden elde edilen test sonuçlarına göre her numunenin farklı karakteristik özelliklere sahip olduğu gerek mekanik gerekse fiziksel özelliklerine göre farklı kullanım alanına göre şekillendirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kürleşme süresinin kısa olmasından kaynaklı kompozit malzeme üretiminde kısıtlı kullanıma sahip bir reçine türü olan rijit poliüretanla çalışılmış ve başarılı şekilde kompozit numuneler üretilenmiştir.

Uygulanan deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlardan seçilmiş olanlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Çarpmaya karşı eğilme dayanımları sonuçlarına göre;

- ❖ Genel olarak 15 denye lif levha kullanılan numunelerin çarpmaya karşı eğilme dayanımının 3 ve 6 denye lif levha kullanılan numunelere göre daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. 3 denye lif levha kullanılan numunelerde çarpmaya karşı eğilme

direnç özelliklerinin ise genel olarak 6 denye lif levha kullanılanlara göre yüksek olduğu görülmektedir.

- ❖ Geri dönüşüm lif levhaların çarpmaya karşı eğilme dayanımı özelliklerinin talaş ile birlikte kullanıldığında farklı oranlarda azaldığı tespit edilmiştir.
- ❖ Ayrıca numunelerin çarpmaya karşı dayanımlarının artan şekilde 15 denye>3 denye>6 denye olduğu görülmektedir.
- ❖ Hiç talaş olmayan veya tek kat talaş levha olan numunelerin çarpmaya karşı eğilme dayanımları genel olarak talaş levha oranı fazla olan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. 6 denye lif levhaların bambu levhalarla birlikte kullanıldığı numunelerde bambu talaş katman sayısı arttıkça mukavemetin azaldığı (0>1>3>5) kızılçam talaşında ise sıralamanın 0>1>5>3 şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir.
- ❖ 3KÇ+2L(6D) numunesi haricinde 6 denyelik levhalarla kızılçam talaşından üretilen levhaların kullanımı bambuya göre daha yüksek çarpmaya karşı eğilme dayanımı sağlamaktadır.
- ❖ Bununla birlikte dış katmanda 40 g yerine 80 g lif kullanımının darbeye karşı dayanımı artırdığı tespit edilmiştir.
- ❖ 3 denye lif levha kullanılan numunelerde de 6 denye lif kullanılan numunelere benzer şekilde kızılçam ve bambu talaş levha kullanımının benzer oranlarda çarpmaya karşı eğilme dayanımını azalttığı söylenebilmektedir.

Levha yüzeyine dik çekme dayanımı test sonuçlarına göre;

- ❖ Sadece geri dönüşüm lif kullanılan kompozitlerde lif kalınlığı arttıkça yüzeye dik çekme dayanımlarında da artış olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Ancak talaşlı levha ve lif levhaların birlikte kullanıldığı numunelerde farklı oran ve şekillerde değişimler meydana gelmiştir. Örneğin 3D grubunda talaş levha ilavesi dayanımı arttırırken, 6D ve 15D gruplarında farklı davranışlar görülmüştür.
- ❖ Sadece talaş kullanılarak üretilen numunelerde bambu ve kızılçam talaşlarında farklı davranışlar tespit edilmiştir. 5 kat bambu levha kullanılan numunenin yüzeye dik çekme dayanımı sadece geri dönüşüm lif kullanılan numuneden bir miktar yüksek çıkarken 5 kat kızılçam levha kullanılan numunenin değeri ise daha düşük olarak tespit edilmiştir.
- ❖ Tüm numunelerin yüzeyi dik çekme dirençleri; “TS EN 312 - Yonga Levhalar – Özellikler” standardında, iç yapışma olarak ifade edilen özelliğin değerlendirildiği “TS EN 319 Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini” standardına atıfta bulunulmuş olup, test sonuçları dikkate alındığında tüm numunelerin standartta belirtilmiş olan levhaların tüm tipleri için bu özelliği sağladığı görülmüştür.

- ❖ Sadece bambu levha kullanılan numunelerin kızılçam levha kullanılanlara göre dik çekme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Talaş ve lif levhalarının birlikte kullanıldığı numuneler arasında yüzeye dik çekme kuvvetleri arasında sistematik bir ilişki tespit edilememiştir.
- ❖ Sadece liflerden üretilen numunelerde, 3 denye lif levha kullanılan numunelerin, 6 denye lif levha kullanılanlara göre daha az mukavemet gösterdiği söylenebilmektedir. 3 denye lif levha kullanılan numunelerde talaş levha kullanımının ise dik çekme kuvvetini artırdığı görülmektedir.
- ❖ Genel olarak aynı konstrüksiyonda üretilen numuneler birbirleriyle karşılaştırıldığında, 3 ve 6 denye kullanılan numunelerin 15 denye lif levha kullanılan numunelere göre dik çekme kuvvetleri daha düşük çıkmıştır.
- ❖ Talaş levha oranı fazla olan bazı numunelerde yüzeye dik çekme direncinde artış olduğu gözlenmektedir.

Eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülünün tayini sonuçlarına göre;

- ❖ Tüm lif inceliği gruplarında, farklı oranlarda bambu veya kızılçam levha ilavesinin yapının eğilme dayanımını sadece lif içeren kompozit numunelerine göre oldukça önemli oranda artırdığı tespit edilmiştir. Lif levhaların talaş levhalarla beraber kullanımının yapının eğilme dayanımını artırdığı söylenebilmektedir.
- ❖ 5B(6D) ve 5B(6D-80g) numuneleri karşılaştırıldığında, dış katmandaki lif oranının artırılmasının eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir.
- ❖ Talaş ve lif levhaların birlikte kullanıldığı numunelerden 3 kat bambu levha içerenler 1 kat bambu levha içerenlerden, 1 kat kızılçam levha içerenler ise genel olarak 3 kat kızılçam levha içerenlerden daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Başka bir ifadeyle talaş türüne bağlı olarak kat sayısının değişiminin farklı davranışlar sergilediği görülmektedir. Eğilme dayanımı sonuçları değerlendirilirken üretim yönteminden dolayı 5 katlı numune de test sırasında eğilmeye maruz kalan kat sayısı 3 tür.
- ❖ Sadece lif içeren ve lifin yanı sıra 3 kat talaş içeren numunelerde en yüksek eğilme dayanımı değerleri 6D grubunda başka bir ifadeyle 6 denye inceliğinde liflerin kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir.
- ❖ Tüm numuneler arasında 5 kat kızılçam kullanılan numunenin eğilme dayanımı değeri diğerlerine göre çok düşük çıkmıştır.
- ❖ Genel olarak 6 denye lif levhaların eğilme dayanımının 3 ve 15 denyelik lif levhalarından daha yüksek olduğu görülmektedir.
- ❖ Lif ve talaş levhaların beraber kullanıldığı numunelerde lif oranı fazla olan numunelerin talaş oranı fazla olan numunelere göre eğilmede elastikiyet modülleri yüksek çıkmıştır.

- ❖ Kızılçam veya bambu levhaların yapıya üç kat olarak dahil edilmesi tek kat olarak kullanılmasına oranla elastikiyete pozitif yönde katkı sağlamaktadır.

Isı iletim katsayısı tayini sonuçlarına göre;

- ❖ Çalışma kapsamında üretilen kompozit numunelerin poliüretan köpük gibi ısı yalıtım malzemeleri yerine kullanıma uygun olmasa da kontrplâk (TS 46), kontrtabla (TS 1047), dik yongalı levhalar (TS 3482), sert ve orta sert odun lifi levhalar (TS 64), hafif odun lifi levhalar, döşeme kaplamaları, sentetik malzemeden kaplamalar (örneğin PVC) gibi birçok malzemeden daha yalıtkan olduğu görülmektedir.
- ❖ Genel olarak numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Sadece lif kullanılan 5L(6D) kodlu numunenin ısı iletim katsayısının sadece talaş kullanılan numunelerden bir miktar yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak talaş ilavesinin ısı iletim katsayısını bir miktar azalttığı (yalıtım özelliğini iyileştirdiği) söylenebilmektedir.
- ❖ Genel olarak kızılçam levha kullanılan yapıların ısı yalıtım özelliğinin bambu levha kullanılan yapılara göre daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca sadece bambu talaş levha kullanılan numunelerin dış katmanlarındaki lif miktarının artmasının da ısı iletim katsayısını azda olsa yükselttiği görülmektedir.
- ❖ Kullanılan lif kalınlığı 6 denye olan numunelere benzer şekilde, 3 denye lif kullanılan numunelerde de kızılçam talaş levha kullanılan numunelerin ısı iletkenlikleri hem lif levhalara göre hem de bambu talaş-lif levhalara göre daha düşük değerdedir.
- ❖ Genel olarak ısı iletim katsayısı en düşük başka bir ifadeyle ısı yalıtımı açısından en iyi özelliğe sahip numunenin 15 denye lif levha kullanılan 3B+2L (15D) numunesi olduğu görülebilmektedir.

Ses yutum ve ses iletim kaybı testi sonuçlarına göre;

- ❖ Farklı malzeme türlerine ait bazı frekanslardaki ses yutum değerleri ile 6 denye lif kullanılan tüm numunelerde 500 Hz sonrasında ses yutum özelliğinin beton zemin, parke oda zemini, plastik yer karosu gibi malzemelerden daha iyi performans gösterdiği söylenebilmektedir.
- ❖ 3 kat talaş levha ile 6 denye lif levhanın birlikte kullanıldığı numunelerin 500 ile 1750 Hz arasında ses yutum özelliklerinde artış olduğu gözlenmektedir. 250-750 Hz arasında tüm numunelerin ses yutum özelliklerinin iyileştiği görülmektedir.

- ❖ Lif inceliği açısından ses yutum özelliklerini değerlendirildiğinde, 3D grubu numunelerin ses yutumu 16-50 Hz arasında daha etkinken 6D ve 15D grubu numunelerin etkinlik seviyesi 600-6300 Hz arasında daha etkin olduğu görülmektedir.
- ❖ En düşük ses yutumu 5 kat 3 denye lif kullanılan numunede görülmektedir. Tek kat talaş ile 3 denye lif levha kullanılan numunelerde bambu kullanımı kızılçama göre ses yutumunu arttırmıştır.
- ❖ Genel olarak 15 denye lif levha kullanılan numunelerde 16 Hz – 1000 Hz arasında ses yutum özellikleri artmış ve artan frekans değerlerinde farklı özellikler göstermişlerdir.
- ❖ Ses iletim kaybı testinde ölçülen değerlerin mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir. Tüm numuneler için 6000 Hz-6400 Hz’de ses iletim kaybının en iyi değerde olduğu söylenebilmektedir.
- ❖ Lif inceliği 6 denye olan numunelerin ses iletim kaybı değerleri 2500Hz-3000 Hz bölgesine kadar artarken bu bölgeden sonra azalan hareket ortaya koymuştur.
- ❖ Genellikle yapıdaki lif kalınlığının veya talaş tipinin ses iletim kaybında önemli bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Ses iletim kaybında 6 denye lif kullanılan numunelerin ses iletim kayıpları 3 denye ye göre artan frekanslarda daha az değişim göstermiştir.
- ❖ 15 denye lif levha kullanılan numunelerde genellikle düşük veya yüksek frekanslarda ses iletim kaybı az olurken orta frekanslarda (400-4000 Hz arasında) diğer frekanslara oranla daha yüksek ses kaybı görülmektedir.

5.2.Öneriler

Çalışmada; ön çalışmalardan elde edilen verilerle takviye malzemesi olarak 2 farklı ahşap talaşı (bambu ve kızılçam), 3 farklı (3 denye, 6 denye, 15 denye) kalınlıkta geri dönüşüm polyester lifi tercih edilmiş ve matris malzemesi olarak üre formaldehit, poliüretan reçineler farklı aşamalarda hibrit kopozit yapısında kullanılarak, yeni geliştirilen bir üretim tekniği ile 18 farklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir:

- ❖ Çalışma farklı uzunluktaki (daha uzun veya daha kısa) veya kalınlıktaki liflerle tekrarlanabilir.
- ❖ Geliştirilen yeni üretim yöntemi, farklı reçine türü veya malzemelerin kullanımına olanak sağlamaktadır. Üretim yöntemi optimize edilerek farklı tiplerde malzemeler ile tekrarlanabilir.
- ❖ Üretim yöntemi optimize edilerek daha hızlı ve daha profesyonel üretimler gerçekleştirilebilir.
- ❖ Sürdürülebilirlik açısından bazı alanlarda değerlendirilmesi mümkün olmayan veya değerlendirilmesi daha maliyetli olan ürün grupları ile çalışılabilir.



KAYNAKLAR

- Aly, N. M., Seddeq, H. S., Elnagar, K., Hamouda, T., 2021. Acoustic and Thermal Performance of Sustainable Fiber Reinforced Thermoplastic Composite Panels for Insulation in Buildings. *Journal of Building Engineering*, 40, 1-12 <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102747>
- Arabacılar, Z., 2021. Kuş Tüyü Materyalinden Biyokompozit Yapıların Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 153 s.
- ASTM C518-17 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- Baccouch, W., Ghith, A., Yalçın Eniş, İ., Sezgin, H., Miled, W., Legrand, X., Faten, F., 2022. Investigation of the Mechanical, Thermal, and Acoustical Behaviors of Cotton, Polyester, and Cotton/Polyester Nonwoven Wastes Reinforced Epoxy Composites. *Journal of Industrial Textiles*, 51(6):876-899. Doi:10.1177/1528083720901864
- Baççioğlu, C., 2017. Odalar Arasında Hava Doğuşlu Ses Yalıtımının Yanal İletimler Dahil Edilerek Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 168s.
- Bektaş, İ., 1997. Kızılçam (Pinus Brutia Ten.) Odununun Teknolojik Özellikleri ve Yörelere Göre Değişimi. Doktora Tezi, İstanbul Ünivesitesi, İstanbul, 239 s.
- Bhingare H. N., Prakash S. 2022. Effect of Polyurethane Resin Addition on Acoustic Performance of Natural Coconut Coir Fiber. *Journal of Natural Fibers*, Vol:19: No:8, 2902-2913.
- Boran, S., 2010. Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretiminde Kullanılan Ürefoomaldehit Tutkalına Farklı Kimyasal Maddeler İlave Edilerek Serbest Formaldehit İçeriğinin Azaltılması. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 182s.
- Bulut, M., 2014. Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 95 s.
- Büyük, B., 2023. Ağaç Talaşı Dolgulu Geri Dönüşüm Polipropilen Kompozitlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 69 s.
- Chen, J., Yu, Z., Jin, H., 2022. Nondestructive Testing and Evaluation Techniques of Defects in Fiber-Reinforced Polymer Composites: A review. *Front Materials*, 9:986645, 1-29, doi: 10.3389/fmats.2022.986645.
- Çelik, S., 2017. Motorlu Testere Talaşının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 69 s.
- Dalbudak, U. B., 2018. Ağır Katmanların Akustik Performanslarının İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 87s.
- Dönmez, E. T., 2017. Geri Dönüşümü Yapılmayan Tekstil Atıklarının Kullanılarak Elektromanyetik Kalkanlama, Isı İzolasyonu ve Ses Yalıtımı Sağlayan Yüzeylerin Eldesi. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak, 142 s

- Dönmez, E. T., Türker, E., 2017. Tekstil Atıkları İçeren Yüzeylerin Sahip Olduğu Elektromanyetik Kalkanlama, Ses ve Isı İzolasyonu Özellikleri ile İlgili Literatür İncelemesi. Tekstil ve Mühendis, 24(106), 124-135.
- Eti, Ö., 2017. Alkali, Asidik ve Enzimatik Yüzey İşlemlerinin Sisal Lifi Takviyeli Termoplastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Bartın, 97 s.
- Ezeagu, A. C., Uzodinma, F. C., Chukwuneke, P. T., 2022. Effect of Grain Orientation on the Structural Characteristics of Sawdust Laminates. Nigerian Journal of Engineering, Vol. 29, No. 2, 60-65.
- Gumanová, V., Sobotová, L., Dzuro, T., Badida, M., Moravec, M., 2022. Experimental Survey of the Sound Absorption Performance of Natural Fibres in Comparison with Conventional Insulating Materials. Sustainability, 14, 42-58. <https://doi.org/10.3390/Su14074258>
- Gündüz, G., ve Yılmaz, Z. A., 2005. Türkiye’de 16 Farklı Tesiste Üretilen Yonga Levhaların Teknolojik Özellikleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 7(8), 49-57.
- <https://diyot.net/ses-dalgaları/> (Erişim tarihi: 25.08.2024)
- https://evcedruzgar.enerji.gov.tr/Verimlilik/B_En_Ver_B_2.aspx (Erişim Tarihi:05.05.2024)
- [https://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/12Sesytma .pdf](https://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/12Sesytma.pdf) (Erişim tarihi: 02.09.2024)
- <https://malzemebilimi.net/malzemelere-uygulanan-mekanik-testler.html> (Erişim tarihi: 02.09.2024)
- <https://shoptr4.senourrir.net/content?c=100+desibel+ses&id=9> (Erişim tarihi: 04.09.2024)
- <https://theory.labster.com/sound-speed-table-dbs/> (Erişim tarihi: 25.08.2024)
- https://uludag.edu.tr/dosyalar/otomuh/Laboratuvarlar/2019-2020%20g%C3%BCz/pechom_empedans_tupu_testi.pdf (Erişim tarihi: 04.09.2024)
- <https://www.inanplastics.com/geri-donusum-hatlari> (Erişim tarihi: 25.08.2024)
- <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/hesapdegerleri.pdf> (Erişim Tarihi: 15.09.2024)
- <https://www.meltemkimya.com.tr/rpet-resin/> (Erişim tarihi: 25.08.2024)
- <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13181&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 15.09.2024)
- İğci, A., 2015. Mobilya Sektöründe Kullanılabilecek Poliüretan Esaslı Levhaların Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 64 s.
- Jaturonlux, N., Ratanawilai, T., 2022. Performance of Wood Composites with Natural Fiber as Sound Absorber of Building Materials. Uranaree Journal of Science and Technology, 30(2) 1-10.
- Karaağaçlıoğlu, İ.,A., 2012. Bor ve Mineral Katkılı Selülozik Yalıtım Malzemesi Üretimi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 310 s.
- Karadağ, S., 2022. Geri Dönüşüm Polyester İpliklerden Elde Edilen Dokuma Kumaşların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 102s.

- Kılıç Ak, A., 2023. Sandviç Panel Üretiminde Kenevir Tabanlı Poliüretan Köpük ve Yongalevha Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 174s.
- Kılıç, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., Mengeloğlu, F., 2023. Using Furniture Factory Waste Sawdust in Wood-plastic Composite Production and Prototype Sample Production. *BioResources* 18 (4)
- Li, Z., Liu, C., Yu, T. X., 2002. Laminate of Reformed Bamboo and Extruded Fiber-Reinforced Cementitious Plate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14:5~359-365, DOI: 10.1061/~ASCE10899-1561
- Miracle, D. B., 2005. Metal Matrix Composites - From Science to Technological Significance *Compos. Sci. Technol.*, 65 (2005), pp. 2526-2540
- Mounika, M., Ramaniah, K., Ratna Prasad, A.V., Mohana Rao K., Hema Chandra Reddy K. 2012. Thermal Conductivity Characterization of Bamboo Fiber Reinforced Polyester Composite. *Journal of Materials and Environmental Science*, 3 (6), 1109-1116.
- Muslu M.S., 2022. İç Mekânda Kullanılan Bazı Ahşap Esaslı Kompozit Levha Türlerinde Ses Yutma Katsayısının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1553-1560.
- Ovalı, S., 2015. Bazalt Lifi ve Dolgu Malzemesi Takviyeli Termoplastik Esaslı Kompozit Yapıların Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 90 s.
- Öcal, M., 2016. Ahşap Esaslı Döşeme Kaplama Malzemelerinin Isı İletkenlik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 55 s.
- Özgür, E., Sabır, E. C., Sarpkaya, Ç., 2023. Multi-objective Optimization of Thermal and Sound Insulation Properties of Basalt and Carbon Fabric Reinforced Composites Using the Taguchi Grey Relations Analysis. *Journal of Natural Fibers*, vol.20, no.1, 1-14.
- Özkan Buzğan, E. B., 2022. Tekstilde Sürdürülebilirlik: İplik İşletmelerinde Klima Atıklarının Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 87 s
- Sarıkaya, E., 2019. Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Tespiti. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 100 s.
- Sevencan, G., 2011. 1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon ve Cam Elyafından Elde Edilen Hibrit Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak, 122 s.
- Solak, H. H., 2012. Lif ve Mineral Takviyeli Melamin Matrisli Kompozit Malzemelerin Isıl ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 100 s.
- Şen, T., 2020. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sektöründe Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 99 s.

- Şifa, N., 2019. Muz Lifi Takviyeli Kompozit Malzemenin Üretimi ve Termal Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 132 s.
- Tiuc, A.E., Vermeşan, H., Gabor, T., Vasile, O., 2016. Improved Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam Mixed with Textile Waste. Energy Procedia, 85, 559-565.
- TS EN 310 Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini
- TS EN 312 Yonga levhalar – Özellikler
- TS EN 319 Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini
- TS EN ISO 10534-2 Akustik - Empedans tüplerinde akustik özelliklerin belirlenmesi - Bölüm 2: Normal ses emme katsayısı ve normal yüzey empedansı için iki mikrofon tekniği.
- TS ISO 13061-10 Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini
- Tuzcu, H., 2010. Isı Yalıtımı ve Otomotiv Endüstrilerinde Kullanılan Yanmaya Dirençli Poliüretan Esaslı Malzemelerin Tutuşma ve Yanma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 104 s.
- Uçar, A. C., 2012. Karbon Teleflerinden İmal Edilmiş Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Uşak, 139 s.
- Vasile, O., Bugaru, M., 2023. Experimental vs. Numerical Computation of Acoustic Analyses on the Thickness Influence of the Multilayer Panel. Computation, 11, 2-15, <https://doi.org/10.3390/Computation11010001>.
- Widiastuti, I., Solikhun, M., Cahyo, D. N., Pratiwi Y.R., Juwanton, H., 2018. Treatment of Bamboo Fibres in Improving Mechanical Performance of Polymer Composites. AIP Conf. Proc. 1977, 030046-1–030046-7; <https://doi.org/10.1063/1.5042966>.
- Yöney, H., 2007. El Yatırma Yöntemi ile Elyaf Takviyeli Kompozit Yapıların Üretilmesi ve Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 195 s.
- Yumşak, M., 2010. Farklı Fiziksel Özelliklere Sahip Dokusuz Kumaşların Ses Yutum Kabiliyetlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kahramanmaraş, 81 s.
- Yüksek, M., 2011. Cam Lifi Esaslı Poliester Reçineli Çok Eksenli Çözümlü Örme Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 208 s.

ÖZGEÇMİŞ

Sait YILÖNÜ, ilköğrenimini Çağlayancerit ilköğretim okulunda tamamladıktan sonra orta öğrenimini Kahramanmaraş Sütçü İmam Lisesi'nde okudu. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'nde başladığı Lisans eğitimini 2013 yılında tamamladı. Ayrıca Anadolu Üniversitesi Ön Lisans Dış Ticaret bölümünden 2013 yılında, Anadolu Üniversitesi İşletme Lisans bölümünden 2015 yılında, Atatürk Üniversitesi Ön Lisans Adalet bölümünden 2016 yılında, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tekstil Mühendisliği bölümünden 2016 yılında, Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans İş Sağlığı ve Güvenliği bölümünden 2021 yılında, İstanbul Üniversitesi Lisans İş Sağlığı ve Güvenliği bölümünden 2023 yılında, başarı ile mezun oldu. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. 2016 yılında Doktora eğitimine başladı.