

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAPI SEKTÖRÜNDE KULLANILAN PLASTİKLERİN VE BİYOBAZLI  
ALTERNATİFLERİNİN MALZEME SEÇİM YÖNTEMLERİNE GÖRE  
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**ŞEBNEM DEMİR BİLİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: PROF. DR. NİLAY COŞGUN**

**EKİM 2024**

**T.C.**  
**GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAPI SEKTÖRÜNDE KULLANILAN PLASTİKLERİN VE BİYOBAZLI  
ALTERNATİFLERİNİN MALZEME SEÇİM YÖNTEMLERİNE GÖRE  
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**ŞEBNEM DEMİR BİLİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: PROF. DR. NİLAY COŞGUN**

**EKİM 2024**

**T.R.**  
**GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PLASTICS AND  
BIO-BASED ALTERNATIVES USED IN THE CONSTRUCTION SECTOR  
ACCORDING TO MATERIAL SELECTION METHODS**

**ŞEBNEM DEMİR BİLİCİ**

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

**ADVISOR: PROF. DR. NİLAY COŞGUN**

**OCTOBER 2024**

## YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 04.07.2024 tarih ve 2024/34 sayılı sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24.10.2023 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Şebnem DEMİR BİLİCİ'nin tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Nilay COŞGUN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Derya ÇAKIR AYDIN

ÜYE

: Doç. Dr. Hasan POLAT

### ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun  
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

## ÖZET

Yapı sektöründe kullanılan çeşitli malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirmeleri sonucunda çevreye verdikleri olumsuz etkilerin anlaşılması yeni malzeme arayışlarının başlamasına sebep olmuştur. Plastik yapı sektöründe sıklıkla kullanılan malzemelerden biridir. Üretilen ilk plastikler biyobazlı malzemelerden elde edilmiştir. Petrol bazlı plastiklerin keşfedilmesi doğal kökenli plastik alternatiflerini gölgede bırakmıştır. Petrol bazlı plastikler ucuz olmaları, hızlı üretilmeleri, kolayca şekillendirilmeleri, farklı alternatif plastik türlerine olanak sağlaması gibi sebeplerden dolayı tercih sebebi olmuştur. Plastik üretimi sırasında ortaya çıkan karbondioksit gazı salınımı, geri dönüştürülebilmesinin oldukça zor olması, yaşam döngüsünü tamamladığında mikro plastiklere dönüşerek uzun süreler boyunca insan ve çevre sağlığını tehdit etmesi çevre dostu plastik üretiminin araştırılmasına yol açmıştır. Çevre dostu alternatiflerin başında biyobazlı plastikler gelmektedir. Biyobazlı plastikler sentetik malzemelere ihtiyaç duymadan nişasta, mantar, jelatin gibi biyo bazlı hammaddeler ile üretilen plastiklerdir. Biyobazlı plastiklerin büyük çoğunluğu kompost yapılabilir, biyolojik olarak parçalanıp, doğada kısa sürede bozunabilirler özelliklere sahiptir. Yapı sektöründe kullanılan çeşitli biyobazlı plastik örnekleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada, biyobazlı plastiklerin yapı sektöründe kullanım örneklerine değinilirken yapı üretimi ve teknolojilerine katkısının değerlendirilmesi ve sektörde kullanım örneklerine yer verilmesi amaçlanır. Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan çeşitli plastik malzemeler ve bunlara alternatif olabilecek biyobazlı malzemelerin malzeme seçim yöntemleri bağlamında karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Yapı üretiminde malzeme seçimi tasarım sürecinde önemli bir yer tutmaktadır. Doğru malzemelerin seçimi yapının kullanımı aşamasında daha verimli ve konforlu olmasını sağlamaktadır. Malzeme seçimine yönelik pek çok model ve teknik bulunduğu gibi kullanım alanına ve ihtiyaçlara göre yeni malzeme seçim yöntemleri de oluşturulabilir. Çalışma kapsamında Arioğlu yönteminden faydalanılarak bir malzeme seçim yöntemi uygulanmıştır. Biyobazlı ve fosil bazlı ısı ve akustik yalıtım malzemeleri ele alınarak teknik ve çevresel etki performansları analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler: Biyoplastik, Biyobazlı Plastik, Yenilikçi Yapı Malzemeleri, Malzeme Seçim Yöntemleri**

## **ABSTRACT**

Understanding the negative effects of various materials used in the construction industry on the environment as a result of life cycle evaluations has led to the search for new materials. Plastic is one of the materials frequently used in the construction industry. The first plastics produced were obtained from biobased materials. The discovery of petroleum-based plastics has eclipsed natural-derived plastic alternatives. Petroleum-based plastics have been preferred for reasons such as being cheap, fast to produce, easy to shape, and allowing different alternative plastic types. The emission of carbon dioxide gas that occurs during plastic production and the fact that it is very difficult to recycle, and the fact that it turns into micro plastics when it completes its life cycle and threatens human and environmental health for a long time have led to the research of environmentally friendly plastic production. Biobased plastics are one of the most environmentally friendly alternatives. Biobased plastics are plastics produced with bio-based raw materials such as starch, mushroom and gelatin without the need for synthetic materials. The majority of biobased plastics are compostable, biodegradable and degradable in nature in a short time. There are various examples of biobased plastics used in the construction industry.

In this study, while mentioning the usage examples of biobased plastics in the construction sector, it is aimed to evaluate their contribution to building production and technologies and to include usage examples in the sector. It is aimed to compare various plastic materials commonly used in the construction industry and biobased materials that can be alternatives to them, in the context of material selection criteria.

Material selection has an important place in the design process. Choosing the right materials makes the structure more efficient both at the design and usage stages. While there are many models and techniques for material selection, new material selection methods can also be created according to the usage area and needs. Within the scope of the study, a material selection method was applied using the Arıoğlu method. Biobased and fossil-based thermal and acoustic insulation materials were discussed and their technical and environmental impact performances were analyzed and compared.

**Keywords: Bioplastic, Biobased Plastic, Innovative Building Materials, Material Selection Methods**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın danışmanlığını yapan ve tüm sürecin yürütülmesi sırasında desteğini asla esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Nilay COŞGUN'a,

Yüksek lisans eğitimime başladığım andan itibaren beni mesleğe hazırlayan, bana araştırmacı ve mimari bir kimlik kazandıran tüm saygıdeğer hocalarıma,

Her zaman bana destek olup bana inanan canım ailem, babam KEMAL DEMİR, annem FATMA DEMİR ve kardeşim CEREN DEMİR'e,

Her koşulda yanımda olup desteğini asla esirgemeyen canım eşim MUHAMMED TALHA BİLİCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                                              | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ÖZET                                                                                                         | v                   |
| ABSTRACT                                                                                                     | vi                  |
| TEŞEKKÜR                                                                                                     | vii                 |
| İÇİNDEKİLER                                                                                                  | viii                |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ                                                                               | x                   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                                                                                              | xi                  |
| TABLolar DİZİNİ                                                                                              | xii                 |
| <br>                                                                                                         |                     |
| 1. GİRİŞ                                                                                                     | 1                   |
| 2. YAPI SEKTÖRÜNDE PLASTİK KULLANIMI                                                                         | 4                   |
| 2.1. Plastiğin Tarihçesi                                                                                     | 4                   |
| 2.2. Plastik Çeşitleri ve Mimari’de Kullanım Örnekleri                                                       | 7                   |
| 2.3. Yapı Malzemesi Olarak Plastik Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri                                    | 9                   |
| 3.BİYOBAZLI PLASTİK MALZEMELER VE YAPIDA KULLANIM OLANAKLARI                                                 | 11                  |
| 3.1. Biyobazlı Plastiklerin Keşfi                                                                            | 13                  |
| 3.2.Biyobazlı Plastiklerin Hammaddelerine göre Sınıflandırmaları                                             | 15                  |
| 3.2.1. Nişasta Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri                                              | 15                  |
| 3.2.2. Selüloz Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri                                              | 16                  |
| 3.2.3. Mantar Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri                                               | 19                  |
| 3.2.4. Organik Atık Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri                                         | 23                  |
| 3.3. Biyobazlı Plastikler ile Üretilen Yapı Örnekleri                                                        | 25                  |
| 3.3.1. Arboskin Pavilion                                                                                     | 25                  |
| 3.3.2. Urban Cabin                                                                                           | 26                  |
| 3.3.3. Hollanda AB Binası Cephe                                                                              | 27                  |
| 3.3.4. Hy-Fi Tower                                                                                           | 27                  |
| 3.3.5. The Growing Pavilion                                                                                  | 28                  |
| 3.3.6. Conifera for Cos                                                                                      | 29                  |
| 3.3.7. The Exploded View                                                                                     | 29                  |
| 4. PLASTİK VE BİYOBAZLI ALTERNATİFLERİNİN MALZEME SEÇİM YÖNTEMLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İRDELENMESİ | 31                  |
| 4.1.Malzeme Seçiminde Kullanılan Yöntem ve Ölçütler                                                          | 31                  |
| 4.2.Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi                          | 38                  |
| 4.2.1.Biyobazlı Isı Yalıtım Malzemeleri                                                                      | 39                  |
| 4.2.2. Fosil Bazlı Isı Yalıtım Malzemeleri                                                                   | 43                  |
| 4.2.3. Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Ölçütleri                                                    | 47                  |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.4. Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine göre Karşılaştırmalı Analizi     | 54 |
| 4.3.Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi    | 59 |
| 4.3.1.Biyobazlı Akustik Yalıtım Malzemeleri                                                | 60 |
| 4.3.2. Fosil Bazlı Akustik Yalıtım Malzemeleri                                             | 64 |
| 4.3.3. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Ölçütleri                              | 68 |
| 4.3.4. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi | 75 |
| 5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME                                                                  | 80 |
| KAYNAKLAR                                                                                  | 83 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                   | 90 |
| TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR                                                  | 91 |

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

|                  |                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------|
| ADP              | : Abiotic Depletion Potential                    |
| AP               | : Acidification                                  |
| ÇYS              | : Çevre Yönetim Sistemi                          |
| dB               | : Desibel                                        |
| EN               | : Europeane Norm                                 |
| EP               | : Eutrophication                                 |
| EPD              | : Environmental Product Declaration              |
| GTÜ              | : Gebze Teknik Üniversitesi                      |
| GWP              | : Global Warming Potential                       |
| Hz               | : Hertz                                          |
| ISO              | : International Organization for Standardization |
| km               | : Kilometre                                      |
| MoMA             | : Museum of Modern Art                           |
| ODP              | : Ozone Depletion                                |
| POCP             | : Photochemical zone formation                   |
| TDK              | : Türk Dil Kurumu                                |
| TSE              | : Türk Standartları Enstitüsü                    |
| $\lambda$ (W/mK) | : Isıl iletkenlik katsayısı birimi               |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                              | <b><u>Sayfa</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Şekil 2.1:</b> a) Casa Mila dış görünüm                                                   | 5                   |
| <b>Şekil 2.1:</b> b) Casa Mila iç görünüm                                                    | 5                   |
| <b>Şekil 2.2:</b> Dymaxion konut makinesi                                                    | 6                   |
| <b>Şekil 2.3:</b> Spac House                                                                 | 6                   |
| <b>Şekil 2.4:</b> Serpentine Pavilion                                                        | 7                   |
| <b>Şekil 2.5:</b> a) Tavan penceresi detayı                                                  | 8                   |
| <b>Şekil 2.5:</b> b) 2020 Dubai Expo Hollanda pavyonu iç mekan görünümü                      | 8                   |
| <b>Şekil 2.6:</b> Bulot+Collins mimarlık firması tarafından tasarlanan yüzer dalış platformu | 8                   |
| <b>Şekil 2.7:</b> Pretty Plastic kaplama malzemesi                                           | 9                   |
| <b>Şekil 2.8:</b> Yedinci kıta                                                               | 10                  |
| <b>Şekil 3.1:</b> Biyobazlı plastiklerin Sınıflandırılması                                   | 12                  |
| <b>Şekil 3.2:</b> 2023 pazar segmentlerine göre küresel biyoplastik üretim kapasitesi        | 13                  |
| <b>Şekil 3.3:</b> Küresel biyoplastik üretim kapasitesi                                      | 14                  |
| <b>Şekil 3.4:</b> Miselyum'un kısımları                                                      | 19                  |
| <b>Şekil 3.5:</b> Arboskin Pavilion                                                          | 26                  |
| <b>Şekil 3.6:</b> Urban Cabin                                                                | 26                  |
| <b>Şekil 3.7:</b> Hollanda AB binası cephe tasarımı                                          | 27                  |
| <b>Şekil 3.8:</b> Hy-Fi Tower                                                                | 28                  |
| <b>Şekil 3.9:</b> Growing Pavilion                                                           | 28                  |
| <b>Şekil 3.10:</b> Milano tasarım haftası için tasarlanan Conifera for COS                   | 29                  |
| <b>Şekil 3.11:</b> The Exploded View                                                         | 30                  |
| <b>Şekil 4.1:</b> Saman balyası ısı yalıtım malzemesi                                        | 39                  |
| <b>Şekil 4.2:</b> Kenevir ısı yalıtım malzemesi                                              | 40                  |
| <b>Şekil 4.3:</b> Ağaç mantarı ısı yalıtım malzemesi                                         | 41                  |
| <b>Şekil 4.4:</b> Koyun yünü ısı yalıtım malzemesi                                           | 42                  |
| <b>Şekil 4.5:</b> Taş yünü ısı yalıtım malzemesi                                             | 43                  |
| <b>Şekil 4.6:</b> Cam yünü ısı yalıtım malzemesi                                             | 44                  |
| <b>Şekil 4.7:</b> XPS ısı yalıtım malzemesi                                                  | 45                  |
| <b>Şekil 4.8:</b> EPS ısı yalıtım malzemesi                                                  | 46                  |
| <b>Şekil 4.9:</b> Yosun akustik yalıtım malzemesi                                            | 60                  |
| <b>Şekil 4.10:</b> Çimento katkılı ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi                       | 61                  |
| <b>Şekil 4.11:</b> Ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi                                       | 62                  |
| <b>Şekil 4.12:</b> Nişasta bazlı akustik yalıtım malzemesi                                   | 63                  |
| <b>Şekil 4.13:</b> Geri dönüştürülmüş polyester akustik yalıtım malzemesi                    | 64                  |
| <b>Şekil 4.14:</b> Taş yünü akustik yalıtım malzemesi                                        | 65                  |
| <b>Şekil 4.15:</b> Geri dönüştürülmüş pet akustik yalıtım malzemesi                          | 66                  |
| <b>Şekil 4.16:</b> Cam yünü akustik yalıtım malzemesi                                        | 67                  |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                    | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Tablo 3.1:</b> Nişasta bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri                               | 16           |
| <b>Tablo 3.2:</b> Selüloz bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri                               | 17           |
| <b>Tablo 3.3:</b> Mantar bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri                                | 21           |
| <b>Tablo 3.4:</b> Organik atık bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri                          | 24           |
| <b>Tablo 4.1:</b> Saman balyası ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                  | 40           |
| <b>Tablo 4.2:</b> Kenevir ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                        | 41           |
| <b>Tablo 4.3:</b> Ağaç mantarı ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                   | 42           |
| <b>Tablo 4.4:</b> Koyun yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                     | 43           |
| <b>Tablo 4.5:</b> Taş yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                       | 44           |
| <b>Tablo 4.6:</b> Cam yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                       | 45           |
| <b>Tablo 4.7:</b> XPS ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                            | 46           |
| <b>Tablo 4.8:</b> EPS ısı yalıtım malzemesi özellikleri                                            | 47           |
| <b>Tablo 4.9:</b> Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik ölçüt tablosu                          | 48           |
| <b>Tablo 4.10:</b> Isı yalıtım malzemelerinin yoğunluk ölçüt tablosu                               | 49           |
| <b>Tablo 4.11:</b> Isı yalıtım malzemelerinin yangın dayanımı ölçüt tablosu                        | 49           |
| <b>Tablo 4.12:</b> Isı yalıtım malzemelerinin nakliye/menşei ölçüt tablosu                         | 50           |
| <b>Tablo 4.13:</b> Isı yalıtım malzemelerinin hammadde ölçüt tablosu                               | 51           |
| <b>Tablo 4.14:</b> Isı yalıtım malzemelerinin küresel ısınma potansiyesi ölçüt tablosu             | 52           |
| <b>Tablo 4.15:</b> Isı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenebilir) ölçüt tablosu          | 52           |
| <b>Tablo 4.16:</b> Isı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenemez) ölçüt tablosu            | 53           |
| <b>Tablo 4.17:</b> Isı yalıtım malzemelerinin geri dönüşüm ölçüt tablosu                           | 54           |
| <b>Tablo 4.18:</b> Isı yalıtım malzemelerinin malzeme seçim yöntemine göre karşılaştırmalı analizi | 58           |
| <b>Tablo 4.19:</b> Yosun akustik yalıtım malzemesi özellikleri                                     | 61           |
| <b>Tablo 4.20:</b> Çimento katkılı ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri                 | 62           |
| <b>Tablo 4.21:</b> Ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri                                 | 63           |
| <b>Tablo 4.22:</b> Nişasta bazlı akustik yalıtım malzemesi özellikleri                             | 64           |
| <b>Tablo 4.23:</b> Geri dönüştürülmüş polyester akustik yalıtım malzemesi özellikleri              | 65           |
| <b>Tablo 4.24:</b> Taş yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri                                  | 66           |
| <b>Tablo 4.25:</b> Geri dönüştürülmüş pet akustik yalıtım malzemesi özellikleri                    | 67           |
| <b>Tablo 4.26:</b> Cam yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri                                  | 68           |
| <b>Tablo 4.27:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin ses emicilik ölçüt tablosu                       | 69           |
| <b>Tablo 4.28:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin yoğunluk ölçüt tablosu                           | 69           |
| <b>Tablo 4.29:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin yangın dayanımı ölçüt tablosu                    | 70           |
| <b>Tablo 4.30:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin nakliye/menşei ölçüt tablosu                     | 71           |
| <b>Tablo 4.31:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin hammadde ölçüt tablosu                           | 72           |
| <b>Tablo 4.32:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin küresel ısınma potansiyeli ölçüt tablosu         | 73           |
| <b>Tablo 4.33:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenebilir) ölçüt tablosu      | 73           |
| <b>Tablo 4.34:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenemez) ölçüt tablosu        | 74           |

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 4.35:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin geri dönüşüm ölçüt tablosu                           | 75 |
| <b>Tablo 4.36:</b> Akustik yalıtım malzemelerinin malzeme seçim yöntemine göre karşılaştırmalı analizi | 79 |

# 1. GİRİŞ

Yapı sektörü çok çeşitli girdilere sahip olduğundan pek çok ülkede lokomotif işlevi görmektedir. “Yapı, kullanıcının gereksinmelerini gidermek üzere tasarlanmış ve üretilmiş bir yapma çevredir. Kullanıcının temel gereksinmesi; ‘yaşamını sağlıklı sürdürme’, yapının asal amacı ise ‘sağlıklı bir yaşam sunmadır’”. Yapı malzemelerinin yapının çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin temellerini oluşturduğu bilinmektedir. Yapı tasarımında kullanılan malzemeler yapının türü, işlevi, kullanıcı gereksinimleri gibi çeşitli etmenler sebebi ile değişiklik gösterebilmektedir. Bu malzemelerin doğru seçimi doğal ve yapma çevrenin ve dolayısı ile insan sağlığının korunması için önemli bir yer tutmaktadır **(Balanlı ve Taygun, 2005)**.

Endüstrileşme ile yeni üretim metotlarının geliştirilmesi sonucunda malzeme çeşitliliği artış göstermiştir ve bunun sonucunda üretim ve tüketim alışkanlıkları değişmeye başlamıştır. Plastik malzemelerin yapıda kullanılmaya başlanması ile birçok sektör gibi yapı sektöründe de plastik kullanımı hızlı bir biçimde yaygınlaşmıştır. Bu artışın nedenlerinin başında plastiklerin hafif, esnek, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, yalıtkan ve ekonomik malzemeler olması gelmektedir. Plastiklerin yapı sektöründe kullanımının enerji tasarrufu sağladığı, maliyetleri azalttığı, yaşam kalitesini artırdığı bilinmektedir. Plastik uygulamaların kurulum ve montaj kolaylığı ve minimum düzeyde bakım gerektirmesi gibi nedenler sayesinde yapı sektöründe yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Çok fazla çeşidi olduğundan yapı sektörüne sunabileceği farklı ürünler mevcuttur. Plastikler yapıda hava koşullarına dayanıklı dış cephe kaplamaları, yalıtım malzemeleri, pencere doğramaları, borulama ve kablolama sistemleri, aydınlatma, mobilyalar, peyzaj uygulamaları gibi çeşitli yerlerde kullanılır.

Plastik malzemelerin çeşitli avantajlarının yanında, fosil yakıtların çıkarılması, üretilmesi, plastik malzemelere dönüştürülmesi, kullanımı, geri dönüşümü ve imhası gibi yaşam döngülerinin her aşamasında hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde bazı olumsuz etkileri olduğu belirlenmiştir **(Filiciotto ve Rothenberg, 2020)**.

Plastik kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerindeki çeşitli zararlı etkileri araştırmacıları ve üreticileri çevreye zarar vermeyecek yenilikçi malzeme arayışına

yönlendirmiştir. Biyobazlı plastikler petrol bazlı plastiklere bir alternatif olarak görülmekte ve her geçen gün çeşitlilik ve üretim kapasitesinde artış görülmektedir. Yapı sektöründe biyobazlı plastiklerin kullanımı yaşam döngüsünü tamamlayan yapıların, yapı elemanlarının ve/veya yapısal ürünlerin biyolojik olarak parçalanarak atık üretmemesi ile birlikte çevresel etkilerinin azalmasını sağlayabileceği öngörülmektedir **(Özdamar ve Ateş, 2018)**.

Tarihte üretilen ilk plastikler biyobazlı hammaddelerden elde edilmiştir. İlk insan yapımı plastik Parkesine selüloz bazlı bir plastiktir. Bilinen ilk biyobazlı plastik Polihidroksibütirat (PHB) 1926 yılında Lemoigne Bacillus megaterium bakterisi üzerine çalışan Maurice Lemoigne tarafından keşfedilmiştir. 1930'lu yıllarda Henry Ford bazı araba parçalarını soya bazlı plastik kullanarak üretmiştir. 1975'te naylonu parçalayabilen Flavobacterium'un keşfedilmesi biyobozunur plastiklerin temelini oluşturmuştur.

Biyobozunur özelliklerinden dolayı biyobazlı plastik çalışmaları daha çok tek kullanımlık plastikler üzerine yoğunlaşmakla birlikte yapıda kullanılan biyobazlı plastik alternatifi çalışmaları da mevcuttur. 2017'de Namık Kemal Üniversitesinde yapılan bir çalışma nişasta bazlı biyoplastiğin mimarlıkta ve iç mekanda yapı malzemesi olarak üretiminin araştırılması üzerine deneysel bir yöntemle araştırma yapmıştır. Elde edilen malzeme numunelerinin iç mekanlarda bölücü yüzeylerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Endüstriyel bir tasarım objesi olarak aydınlatma elemanı gibi çeşitli dekoratif objelerde kullanıma uygunluk göstermiştir **(Özdamar vd., 2017)**.

2020 yılında gerçekleştirilen bir çalışma miselyum kompozit malzemelerin inşaat sektöründe kullanımını irdelemektedir. Çalışma, miselyum bazlı kompozit malzemelerin alçıpanların, ısı ve akustik yalıtım malzemelerinin yerini alma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Miselyum bazlı malzemelerin alçak yapılar için yük taşıyıcı elemanların yapımında da kullanılabileceği öne sürülmüştür **(Javadian vd., 2020)**.

2020 yılında yapılan bir derleme çalışması, fosil bazlı ve biyobazlı plastikleri yaşam döngüsü değerlendirmelerine göre karşılaştırmıştır. 50 adet biyobazlı polimer ve 39 fosil bazlı polimer değerlendirilmiş, aynı polimerlerin farklı çalışmalarda farklı

sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple fosil bazlı ve biyobazlı değerleri net bir şekilde kıyaslayabilmek mümkün olmamıştır **(Walker ve Rothman, 2020)**.

Biyobazlı plastiklerin yapı sektöründe yalıtım malzemesi, döşeme, mobilya ve dekoratif ürünlerde kullanım örnekleri bulunmaktadır. Araştırma çalışmalarına ek olarak endüstriyel çalışma örneklerine dünya genelinde biyobazlı plastikler yardımı ile üretim yapan kuruluşlara da rastlanmaktadır.

Türkiye’de de biyobazlı plastik alanında yapılan araştırma ve ürün geliştirme çalışmaları mevcuttur. Bu alanda çalışan firmalar, organik atıkları akustik kaplamalardan, fayanslara, mobilyalardan ambalajlara kadar geniş yelpazede ürünlere dönüştürülmesini sağlayarak yeni bir pazar oluşturmaktadır.

Ulusal Tez Merkezindeki “biyoplastik” konulu çalışmalar incelendiğinde 15 adet yüksek lisans ve iki adet doktora tezi çalışmasına rastlanmaktadır. Bu çalışmalardan yalnızca biri mimarlık alanındadır. Biyobazlı plastik alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde malzemelerin çevresel performanslarını karşılaştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasında biyobazlı plastiklerin yapı sektöründe kullanım örneklerine değinilmesi, yapı üretimi ve teknolojilerine katkısının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapı sektöründe yaygın olarak kullanılan çeşitli plastik malzemeler ve bunlara alternatif olabilecek biyobazlı malzemelerin malzeme seçim yöntemleri bağlamında karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan endüstriyel yalıtım malzemeleri ile biyobazlı alternatifleri ele alınmış ve seçilen malzemelerin teknik performansları ve çevresel etkileri karşılaştırılmıştır. Seçilen malzemelerin doğru biçimde kıyaslanabilmesi için malzeme seçim yöntemlerinden faydalanılmıştır. Malzeme seçim yöntemleri belirlenen ölçütler doğrultusunda malzemelerin karşılaştırılmasına ve böylece en uygun malzemenin seçilmesine olanak sağlar. Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan ısı ve akustik yalıtım malzemeleri ile biyobazlı alternatifleri malzeme seçim yöntemi yardımı ile teknik performansları ve evre üzerindeki etkileri bağlamında karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

## 2. YAPI SEKTÖRÜNDE PLASTİK KULLANIMI

Türk Dil Kurumuna göre plastik sözcüğü “Isı ve basınç etkisiyle biçim verilen, organik veya sentetik olarak yapılan madde” anlamına gelmektedir. Plastikler karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik veya inorganik elementlerin bir araya gelmesi ile oluşur ve polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya sahiptir. Polimerler tüm plastik ve kauçukların yapı taşlarıdır. Plastiklerin genel özellikleri polimer zincirlerinin boyutu, şekli ve birbirleri ile nasıl etkileşime geçtikleri ile tanımlanır (Howes ve Laughlin, 2012).

### 2.1. Plastiğin Tarihçesi

İlk sentetik polimer 1862 yılında Alexander Parkes tarafından patentlenmiştir. Üretilen bu ilk plastik 1869’da fildişinin yerini alabilecek bir malzeme arayışı ile John Wesley Hyatt tarafından ele alınmış ve geliştirilmiştir. İlk plastik örneklerinden bir diğeri ise bilardo topu yapımında kullanılacak selüloit isimli malzemedir. Pamuk elyafından elde edilen selülozu kafurla işleyerek çeşitli şekillerde işlenebilen ve kaplumbağa kabuğu, boynuz, keten ve fildişi gibi doğal maddeleri taklit eden bir malzeme elde edilmiştir (Joseph, 1946).

1907 yılında ise Leo Baekeland ilk tamamen sentetik malzemelerden oluşan plastik örneği olan bakalit’i icat etmiştir. Doğal bir elektrik yalıtkanı olan gomalak yerine bir alternatif olarak tasarlansa da bakalit iyi bir yalıtkan olmanın yanında, dayanıklı, kolayca şekillendirilebilen ve kalıplanabilmenin yanında ve seri üretim için ideal bir malzeme örneği sunmuştur (Joseph, 1946).

İkinci Dünya Savaşı ile plastik endüstrisi büyük bir ivme kazanmıştır. Doğal kaynakların artan talep ve azalan kaynakların korunması ihtiyacı ile sentetik alternatiflerin üretimi bir öncelik haline gelmiştir. Sentetik ipek olarak icat edilen naylon, savaş sırasında paraşüt, halat, vücut zırhı, kask astarları gibi ürünlerin yapımında kullanılmıştır. Pleksiglas uçak pencereleri için cama bir alternatif oluşturmuştur. Savaş ile birlikte Amerika Birleşik Devletleri’ndeki plastik üretimi %300 artmıştır. Savaş sonrası plastik üretimindeki artış devam etmiştir ve plastiğin ucuz, güvenli, hijyenik ve kolay şekillendirilebilen bir malzeme olması sebebiyle bir çok pahalı malzeme yerini plastiğe bırakmıştır (Joseph, 1946).

Hafifliğı, sağlamlığı, Őeffaflıđı, ısı yalıtım kapasitesi, ıŐık geğerirgenliğı ve yđk taşıma özellikleri gibi avantajları plastik malzemenin tasarımcıların cesut ve fütüristik hedeflerini gerđerleŐtirmesine yardımcı olmuştur (**Basel, 2008**). 1905 yılında Gaudi Casa Mila yapısı ile plastik kullanımını getiren ilk mimar olmuştur (** elik, 2000**). Gaudi Casa Mila'nın asma tavanlarındaki spiral tasarımlarda plastik kullanmıŐtır (**Şekil 2.1**).



a)

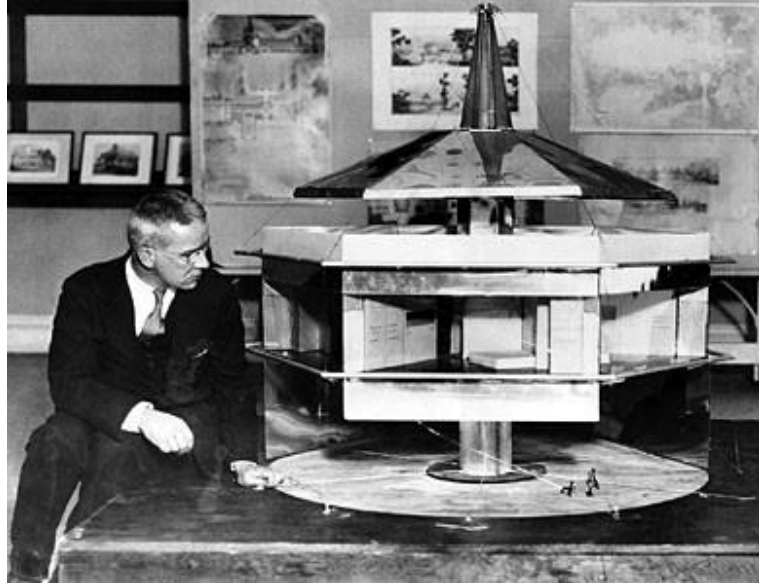


b)

**Şekil 2.1:** a) Casa Mila dış görünüm b) Casa Mila iç mekan (**Web 1, 2024**).

Plastik kullanımının hızlı ilerlemesi 1920'lerin sonlarında üretimdeki patlama ile başlamıştır. Plastik malzemeler Richard Bukminister Fuller ve Frederic Kiesler gibi yaratıcı tasarımcılara mimari  topya tasarımlarında destek olmuştur. Fuller 1927'de "Dymaxion Konut Makinesi" tasarlanmıştır, bu tasarım tek parça halinde, taŐınabilen ve birkaç saat içerisinde kurulabilen, oldukça hafif bir seyyar ev tasarımıdır (**Şekil 2.2**). Otomotiv ve uçak üretimlerinden ilham alan Fuller endüstriyel prefabrik binaların seri üretimini mimarının geleceği olarak görmüŐtür (** elik, 2000**).

1933'te Frederick Kies zaman mekan mimarisi teorisi ile organik kıvrımlı plastik ev tasarlamıŐtır. Spac House duvarların, zeminin ve tavanın tamamen plastik ile kaplandığı bu yapı hareketli bölmeler aracılığı ile modüler bir tasarıma sahiptir (** elik A., 2000**) (**Şekil 2.3**).



**Şekil 2.2:** Dymaxion konut makinesi (Web 2, 2016)



**Şekil 2.3:** Spac House (Web 3, 2020)

1930'ların sonlarından itibaren mimaride yeni malzemelerin kullanımı için ilk girişimler gerçekleşmiştir ancak İkinci Dünya Savaşı'nda yaşanan ticari duraksamalar plastik üretimini de olumsuz etkilemiştir (**Basel, 2008**). Plastikler 1980'lere kadar yapı sektöründe çok rağbet görmemiştir. Ancak 21. yüzyıl itibariyle plastiklerin gelişmesi ile plastik en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri haline gelmiştir (**Hegger vd., 2007**).

## 2.2. Plastik Çeşitleri ve Mimaride Kullanım Örnekleri

Plastikler çeşitli türlere dönüşebilmesi ile avantaj sunmaktadır. Plastikler ve özellikle fiberle güçlendirilmiş plastikler belirli bir uygulama için malzemenin şekillendirilmesini mümkün kılar. Malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi ve optimizasyonu mevcut malzemelerin daha da geliştirilmesine ve bunların kompozit malzemeler haline getirilmesini sağlamıştır. Yüksek performanslı kompozit malzemelerin tasarımı 1940’larda polyester reçinenin endüstriyel ölçekte cam elyaf üretimi ile birlikte geliştirilmesi ile başlamıştır. Kompozit malzemeler birçok farklı endüstriyel alanda olduğu gibi inşaat sektöründe de hızla kendine yer edinmiştir. Cam takviyeli plastik olarak tanımlanabilecek olan fiberglass malzemeler çelikten daha hafif ve güçlü bir malzeme sunarken karbon fiber malzemelerden daha ucuz ve esnektir (**Engelsmann vd., 2010**). 2016 yılında BIG ve Neri Oxman ortaklığında tasarlanan Serpentine Pavilion’un yapımında fiberglass malzemelerden yararlanılmıştır (**Şekil 2.4.**) (**Web 4, 2024**).



**Şekil 2.4:** Serpentine Pavilion (**Web 4, 2024**)

Farklı alanlarda kullanılan plastiklerin geri dönüşümü ile yapı sektöründe kullanım örneklerine rastlanmaktadır. Marjan van Aubel 2020 Dubai Expo’daki Hollanda pavyonu için geri dönüştürülmüş pet malzemeden tavan pencereleri üretmiştir (**Şekil 2.5.**) (**Web 4, 2024**). Bulot+Collins isimli mimarlık ofisi HDPE atıklarını geri dönüştürerek yüzen bir dalış platformu geliştirmiştir (**Şekil 2.6.**) (**Web 4, 2024**).



a)



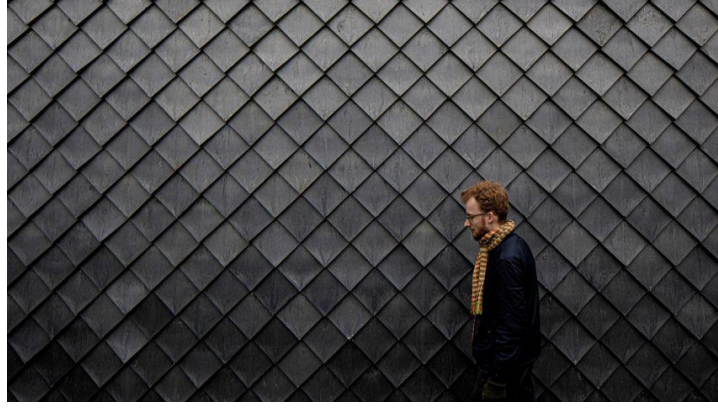
b)

**Şekil 2.5:** a) Tavan penceresi detayı b) 2020 Dubai Expo Hollanda pavyonu iç mekan görünümü (Web 4, 2024).



**Şekil 2.6:** Bulot+Collins mimarlık firması tarafından tasarlanan yüzer dalış platformu (Web 4, 2024).

Pvc (Poli Vinil Clorür) sert ve katı bir plastik çeşididir. Gıda dışı şişeler, borular, pencerelerde kullanılır. Overtreders W ve Bureau SLA tarafından tasarlanan başta pvc olmak üzere tamamen geri dönüştürülmüş malzemelerden elde edilen ilk kaplama malzemesi Hollanda'da bir okulun müzik pavyonunda kullanılmıştır (Şekil 2.7.) (Web 5, 2024).



Şekil 2.7: Pretty Plastic kaplama malzemesi (Web 5, 2024)

### 2.3. Yapı Malzemesi olarak Plastik Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Plastikler kimyasal avantajları sayesinde çok fazla çeşide sahiptir ve her çeşitten farklı plastik çeşitlerinin üretilmesini sağlar. Farklı katkı malzemeleri eklenerek plastiklere yeni özellikler eklenebilir ve özellikleri geliştirilebilir. Esnekliğin veya mukavemetin artırılması, dış etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesi, kırılabilirliğinin azaltılması gibi dezavantajları katkı maddeleri yardımı ile giderilebilir. Ucuz ve üretimi kolay bir malzeme olması, çok yönlülüğü, renklendirilebilmesi, hafifliği, yalıtkanlığı gibi özellikleri ile inşaat sektöründe avantajlı bir kullanım sunar (Demirarslan, 2004).

Plastiğin yaygınlaşması ve her alanda kendine yer bulması ile çok sayıda plastik atık ortaya çıkmıştır. 1950-1970 yılları arasında az miktarda plastik üretildiğinden atık yönetimi yapmak mümkünken, 1970-1990 yılları arasına plastik üretimi 3 kattan fazla artış göstermiştir. 2000’li yılların başında üretilen plastik atık miktarı son 40 yılda olduğundan daha fazla artış göstermiştir. Günümüzde ise her yıl yaklaşık 400 milyon ton plastik atık üretildiği tahmin edilmektedir (Pilapitiya ve Ratnayake, 2024).

Plastiklerin yeniden kullanılması ve geri dönüşümü hem atık miktarını azaltacağından hem de yeni plastik üretme ihtiyacını azaltacağından oldukça önem verilen bir konudur ancak üretilen plastiklerin yalnızca %9’unun geri dönüştürülebildiği ifade edilmektedir (Zhao vd., 2022). Geri dönüştürülen plastikler kalite kaybettiğinden aşağı döngü (downcycle) olarak tanımlanmaktadır. Plastik kirliliğinin en somut örneklerinden biri ise Yedinci Kıta adıyla bildiğimiz Pasifik

Okyanusu'nun ortasında bulunan 3,4 milyon kilometre genişliğinde, 7 milyon ton ağırlığında devasa plastik atık yığınıdır (Şekil 2.8) (Web 6, 2023).



Şekil 2.8: Yedinci kıta (Web 6, 2023)

Geri dönüşüm kalite kaybı olmaksızın dönüşme şeklinde ele alındığında plastiklerin yalnızca küçük bir kısmı bu şekilde dönüştürülebilmektedir (Zhao vd., 2022). Geri kalanı ise uygun koşullarda yakılmakta, gömülmekte veya doğaya bırakılmaktadır. Geri dönüştürülemeyen plastikler doğayı ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Geri dönüşüm oranları plastik türleri arasında değişiklik göstermektedir.

Geri dönüşümün dezavantajları:

- Ham petrolün ucuz olduğu durumlarda geri dönüşüm her zaman uygun maliyetli olmayabilir.
- Geri dönüştürülmüş plastikler işlenmemiş plastikler kadar iyi performans göstermeyebilir.
- Geri dönüşüm sahaları, daha az güvenli ve daha az hijyenik olabilir ve sızıntılar su kütlelerini kirlitebilir.
- Geri dönüşüm işlenmemiş üretim kadar yaygın değildir.
- Yeni geri dönüşüm tesislerinin kurulması yüksek maliyet gerektirmektedir (Biron, 2016).

Geri dönüşümün dezavantajları yeterince çevre dostu bir çözüm olmadığını göstermektedir. Bu sebeple araştırmacılar doğada bozunabilen veya kolayca geri dönüştürülebilen alternatif arayışlarına yönelmektedir.

### 3. BİYOBAZLI PLASTİK MALZEMELER VE YAPIDA KULLANIM OLANAKLARI

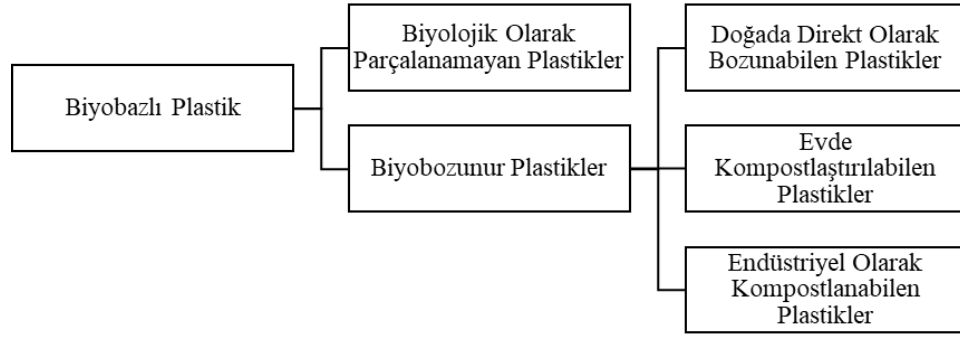
Biyobazlı plastikler, tamamen veya kısmen biyolojik hammaddelerden üretilen plastiklerdir. Basit bir biyoplastik oluşturma denklemi aşağıdaki şekildedir:

“Biyopolimerler + plastikleştiriciler + diğer katkı maddeleri = BİYOPLASTİK”  
(Özdamar vd., 2018).

Plastikleştiriciler plastiklere esneklik kazandırmak, kırılgenliğini ve kristallliğini azaltmak, işlenebilirliğini ve dayanıklılığını geliştirmek, erime sıcaklığını düşürmek gibi malzemenin özelliklerini iyileştirmeye yönelik olarak kullanılan organik moleküllerdir (Shrirakshaya vd., 2020). Plastikleştiriciler iç ve dış olarak tanımlanabilir. Dış plastikleştiriciler polimerlere eklenen düşük ucucu maddelerdir, polimer zincirlere kimyasal olarak bağlanmazlar böylece buharlaşma, yer değıştirme veya ekstraksiyon yoluyla yok olabilirler. İç plastikleştiriciler ise polimer molekülleri ile reaksiyona girerek polimerlerin doğal parçası haline gelir (Veiera vd., 2011).

Çeşitli sentetik plastikleştiricilere alternatif olabilecek düşük toksisiteye sahip doğal reçineler, kauçuk ve elastomerler bulunmaktadır. Glikol, sorbitol, klisitol, bütandiol, glikol çeşitleri, fruktoz, sakaroz, mannoz, miristat veya palmitat gibi yağ asitleri plastikleştiriciler biyobazlı plastik yapımında kullanılabilir (Shrirakshaya vd., 2020).

İçerisinde bulunan hammadde ve plastikleştiricilere bağlı olarak biyobazlı plastikler biyolojik olarak parçalanabilir özellik gösterebilmektedir. Biyobazlı plastikler biyobozunur olanlar ve biyolojik olarak parçalanamayanlar şeklinde ikiye ayrılır. Biyobozunur plastikler ise kendi içerisinde doğada bozunabilen, endüstriyel olarak kompostlaştırılabilen ve evde kompostlaştırılabilen plastikler olarak incelenebilir (Şekil 3.1.) (European Environment Agency, 2020).



**Şekil 3.1:** Biyobazlı plastiklerin sınıflandırılması

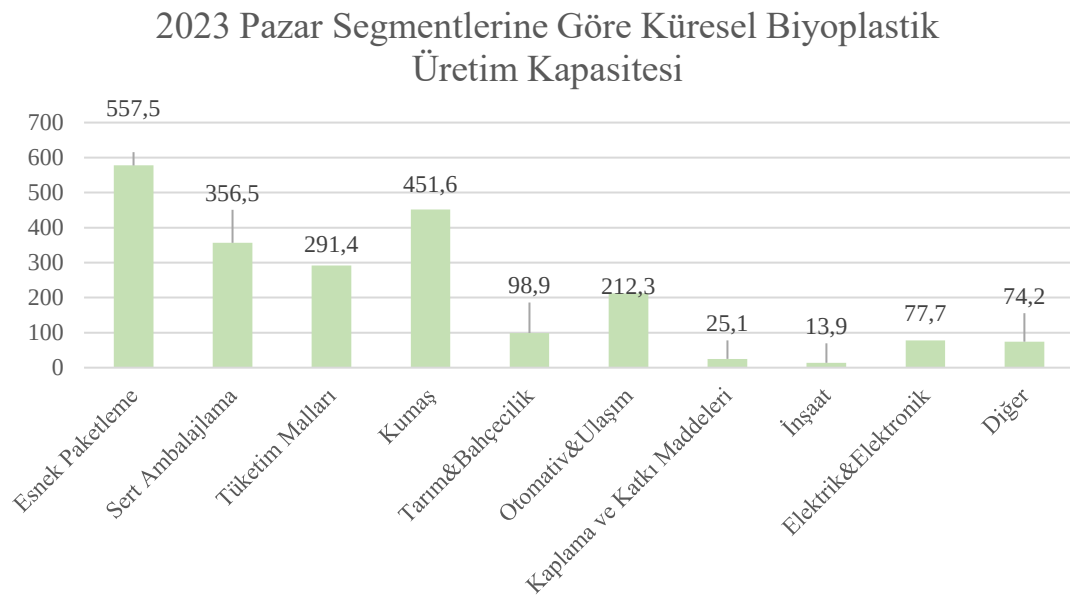
Endüstriyel olarak kompostlanabilen plastikler, kompostlama tesisi veya endüstriyel anaerobik sindirim tesisi koşullarında parçalanabilen plastiklerdir. EN 13432 (Ambalaj) veya EN 14995 (Plastikler) Avrupa Standartları ile biyobazlı plastiklerin kompostlanabilirliğine dair teknik özellikler belirlenmiştir **(TS EN 13432, 2003)**.

Evde kompostlanabilen plastikler, endüstriyel kompostlama tesislerine göre daha düşük sıcaklıklarda bir ev kompostlama makinesi koşullarında parçalanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bunların büyük çoğunluğu endüstriyel kompostlama tesislerinde de biyolojik olarak parçalanabilir. Ev tipi kompostlama veya doğal ortamda bozulma koşulları endüstriyel kompostlama tesislerine kıyasla çok farklı olduğundan bozulma oranı ve kapsamı değişkenlik gösterebilmektedir **(European Environment Agency, 2020)**. Biyolojik olarak parçalanamayan plastikler, doğada uzun süre dayanır ve daha küçük parçacıklara ayrılarak mikroplastikleri oluşturabilmektedir.

Biyobazlı plastiklerin yaygınlaşabilmesi için endüstriyel olarak üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Ürünlerin endüstrileştirilebilmesi için çeşitli standartlara uyması gerekmektedir. Standartlar endüstriyel ürün ve hizmetleri tanımlamaya yardımcı olmaktadır. Standartların kullanımı isteğe bağlıdır, ancak standartlara uygunluk çeşitli testlerle denetlenmektedir. Standartlar bir malzemenin ölçümlerinin nasıl yapılması ve hangi ölçütlerin karşılanması gerektiğini belirtir. Biyoplastik pazarının büyümesine ve gelişmesine olanak sağlamak için çalışan European Bioplastics kuruluştur, ürünlerin bağımsız kuruluşlar tarafından sertifika ve etiketlerle standartlara uygunluğunun doğrulanmasını tavsiye etmektedir **(Web 7, 2023)**. EN 13432 ve EN 14995 sertifikasyonları kimyasal test, kontrollü kompostlama koşullarında biyobozunurluk, parçalanabilirlik, ekotoksisite testleri ile doğrulanmaktadır. Sertifika kazanımı için

tüm testlerin doğrulanması gerekmektedir. Sertifikalar yalnızca plastiğin değil aynı zamanda ürünün boya, etiketler, yapıştırıcılar ve ambalaj da dahil tüm bileşenlerinin gübrelenebilir olduğunu garanti eder. Sertifikasyonlar etiketler yardımı ile ürünün güvenilirliğini ifade eder, ürünün tüketici için daha şeffaf ve anlaşılabilir olmasına olanak tanır (Web 7, 2024).

Biyobazlı plastik çalışmaları tek kullanımlık plastikler özellikle paketlenme üzerine yoğunlaşsa da çeşitli sektörlerde kullanım örneklerine rastlanmaktadır. 2023 yılında yayınlanan grafiğe göre biyoplastik üretiminin %1,39'u yapı sektörüne yöneliktir (Şekil 3.2.) (Web 7, 2024).



**Şekil 3.2:** 2023 pazar segmentlerine göre küresel biyoplastik üretim kapasitesi (Web 7, 2024)

### 3.1. Biyoplastiklerin Keşfi

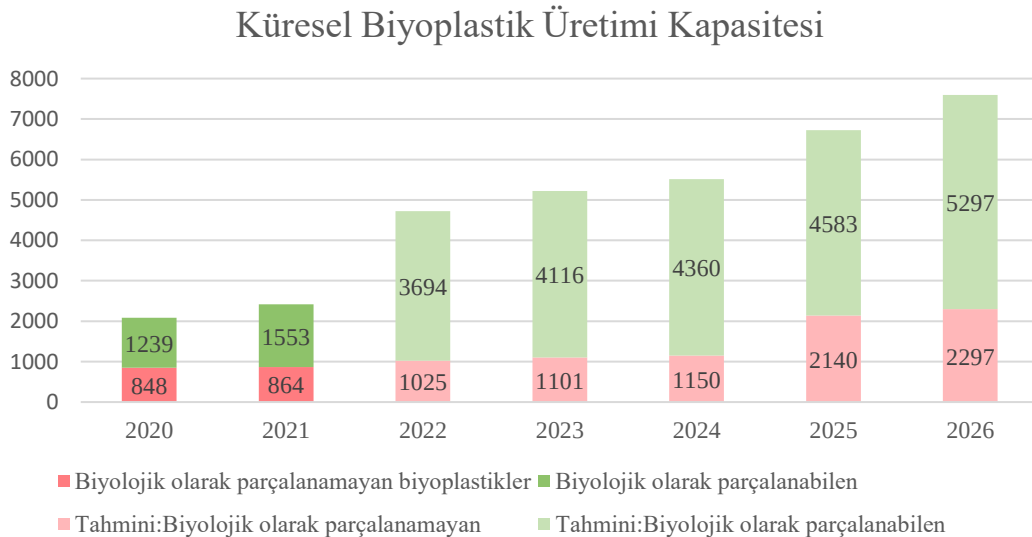
Fosil bazlı plastiklerin keşfinden önce üretilen tüm plastikler doğal kökenlidir. İlk insan yapımı plastik olan Parkesine selüloz bazlı bir biyoplastik örneğidir. 1907'de üretilen Bakalit ise ilk sentetik plastik olarak kabul edilir (Klun, 2022). Bu örnekle birlikte petrol bazlı plastikler hızla yaygınlaşmıştır.

Bilinen ilk biyobazlı plastik Polihidroksibütirat (PHB) 1926 yılında Maurice Lemoigne tarafından Lemoigne Bacillus Megaterium bakterisi üzerine çalışırken keşfedilmiştir. O yıllarda petrol bazlı plastiklerin zararları yeterince görülmediği ve

petrol krizi henüz başlamadığı için çalışmanın önemi anlaşılamamıştır (Web 7, 2020). 1930lu yıllarda Henry Ford bazı araba parçaları için soya yağından üretilen biyoplastikler kullanmış, ancak sentetik plastiklerin yaygınlaşmasıyla kullanmayı bırakmıştır. 1970’lerde petrol krizi yaşanmasıyla biyoplastiklere ilgi artış göstermiştir. 1975’te naylonu parçalayabilen Flavobacterium bakterisi Japon bilim adamları tarafından keşfedilmiş ve bu biyobozunur plastiklerin prensibini oluşturmuştur. 1990 yılında finanse edilen Novamont şirketi Mater-bi projesi biyoplastikler konusunda öne çıkmaktadır. Proje kapsamında üretilen nişasta, selüloz ve çeşitli bitkisel yağlardan elde edilen biyoplastikler tarım, ambalajlama, otomotiv gibi çeşitli sektörlerde kendisine yer bulmaktadır (Johnson vd, 2003).

Zamanla biyoplastikler üzerine çalışma yapan laboratuvar ve şirketlerin sayısı artmıştır. Çeşitli bitkiler, mısır, fil otu, deniz yosunu gibi biyokütleler biyoplastik örneklerinin yapımında kullanılmıştır (Kıyga, 2022).

Günümüzde biyoplastiklerin plastik üretiminin yüzde birden az bir kısmını oluşturduğu, ancak biyoplastik sektörünün gün geçtikçe gelişim gösterdiği ifade edilmektedir. Küresel biyoplastik üretiminin 2026 yılında 7,5 milyon tona ulaşarak 3 kattan fazla artması beklenmektedir. Avrupa Biyoplastikler Başkanı François de Bie “2026’dan önce, biyoplastiklerin toplam küresel plastik üretimindeki payı ilk kez yüzde ikiye geçecek” şeklinde öngörülerini belirtmiştir (Şekil 3.3.) (Web 7, 2024).



**Şekil 3.3: Küresel biyoplastik üretim kapasitesi (Web 7, 2024)**

### 3.2. Biyoplastiklerin Hammaddelerine Göre Sınıflandırılması

Birçok sektörde olduğu gibi biyobazlı plastikler yapı sektöründe de hızla kendine yer edinmiştir. Isı ve ses yalıtımı, akustik duvar kaplamaları, döşeme ve çeşitli mobilyalarda biyobazlı plastik örneklerine rastlanmaktadır. Çalışma kapsamında yapı sektöründe kullanılan biyobazlı plastik malzeme örnekleri ele alınmıştır. Ele alınan yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan hammaddelere göre nişasta bazlı, selüloz bazlı, mantar bazlı ve organik atık bazlı biyoplastikler olmak üzere gruplandırılmıştır.

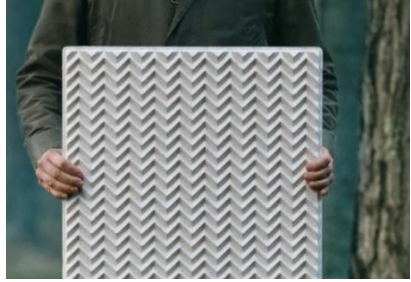
#### 3.2.1. Nişasta Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri

Nişasta, biyobazlı plastik yapımında en yaygın kullanılan polimerdir. %80 pazar payına sahiptir. Nişasta mısır, patates, buğday, muz kabuğu, bezelye, pirinç gibi kaynaklardan elde edilebilir. Temel formülü  $C_6H_{10}O_5$  olan nişasta öncelikle gıda endüstrisinde, kağıt ve karton üretiminde, ilaç endüstrisinde bağlayıcı olarak ve tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır (Shrirakshaya vd., 2020). Nişasta çeşitli mikroorganizmalar tarafından besin maddesi olarak kullanıldığı için mikroorganizmalar plastiği enzimler yardımıyla parçalayarak plastik içindeki nişastaya ulaşırlar. Böylece nişasta bazlı biyoplastikler doğada kolaylıkla parçalanabilmektedir (Gümüşderelioglu, 2012).

Nişastanın bağlayıcı ve yapışkan özelliği vardır, dolayısıyla plastik üretiminde bağlayıcı ve yapışkan özelliği olan kimyasallara ihtiyaç duyulmaz. Bununla birlikte, nişasta bazlı biyoplastik malzemeler çok yumuşaktır ve düşük direnç ve mukavemete sahiptir. Bu nedenle çeşitli katkı maddeleri veya takviye edici lifli biyomalzemeler ile birlikte kullanılmaktadır (Özdamar ve Ateş, 2018).

Nişasta biyoplastik yapımında oldukça sık kullanılmakla birlikte yapı sektöründe kullanımına diğer kategorilere göre daha az rastlanmaktadır. Akustik yalıtım, duvar paneli ve dekoratif duvar kaplaması örneklerine yer verilmiştir (Tablo 3.1.).

**Tablo 3.1:** Nişasta bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri (Web 17,18,19)

| Kategori               | Menşei   | Hammadde                                                                                                        | Görsel                                                                              |
|------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Akustik Yalıtım        | İsveç    | Patates nişastası,<br>Köknar ve çam ağaçları, Su,<br>Buğday kepeği,<br>Bitkisel balmumu,<br>Narenciye kabukları |   |
| Duvar Paneli (Alçıpan) | Almanya  | Doğal elyaf lifleri,<br>Mısır,<br>Mısır nişastası                                                               |   |
| Duvar Kaplaması        | Hollanda | Mısır Koçanı                                                                                                    |  |

### 3.2.2. Selüloz Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri

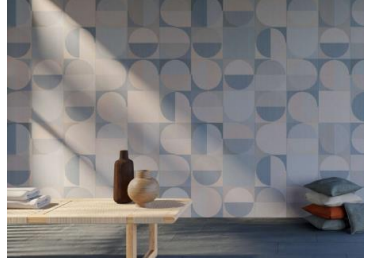
Selüloz, yeryüzünde en bol bulunan doğal polimerdir. Selüloz, ağaç, keten, bambu ve pamuk gibi çeşitli bitkilerin hücre duvarında bulunur. Bitki kaynaklı selüloz genellikle lignin, hemiselüloz, pektin ve diğer maddelerin bir karışımı ile bulunur. Selüloz yapısındaki güçlü hidrojen bağları nedeniyle erimez veya yumuşamaz (**Shrirakshaya vd., 2020**). Selüloz elyaf yapısı ile daha dayanıklı ve güçlü biyoplastikler oluşturulabilmesi ile avantaj sağlarken, selüloz liflerinin suda çözünmemesi ve saf selüloz elde etmek için yüksek sıcaklıkta sodyum klorür ve konsantre asitlerle işlem görmeye gereksinim duyması selüloz bazlı biyoplastikler için bir dezavantaj sunmaktadır (**Ganster ve Fink, 2013**).

Selüloz bazlı yapı biyoplastiklerinin ısı ve akustik yalıtım, duvar kaplaması, döşeme ve duvar kaplaması örneklerine rastlanmıştır (**Tablo 3.2.**).

**Tablo 3.2:** Selüloz bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri (**Web 20,21,22,23**)

| Kategori        | Menşei    | Hammadde     | Görsel                                                                                |
|-----------------|-----------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Isı Yalıtımı    | Hollanda  | Kenevir      |    |
| Akustik Yalıtım | Danimarka | Yılan Otu    |   |
| Akustik Yalıtım | Danimarka | Ağaç Lifleri |  |
| Akustik Yalıtım | Hollanda  | Yosun        |  |
| Akustik Yalıtım | Avusturya | Kenevir      |  |

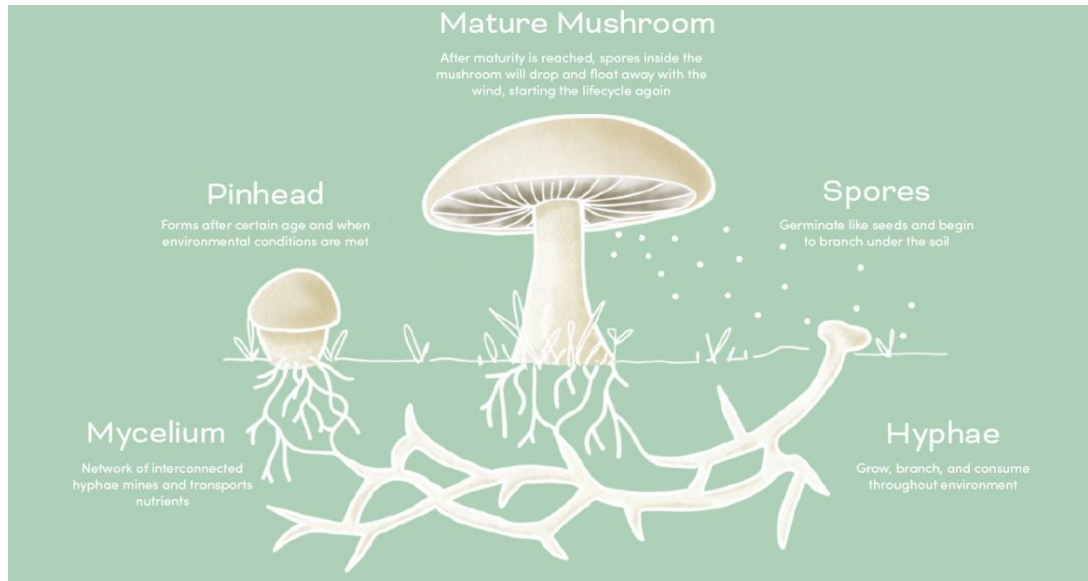
**Tablo 3.2: (Devamı) (Web 24,25,26,27,28)**

|                    |           |              |                                                                                      |
|--------------------|-----------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Duvar<br>Kaplaması | Portekiz  | Ağaç Mantarı |    |
| Döşeme             | Portekiz  | Ağaç Mantarı |    |
| Döşeme             | Portekiz  | Ağaç Mantarı |   |
| Mobilya            | İngiltere | Ağaç Lifleri |  |
| Mobilya            | Almanya   | Yılan Otu    |  |

### 3.2.3. Mantar Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri

Mantar çok yönlü bir malzemedir ve biyoplastik yapımına oldukça uygunluk gösteren çeşitli avantajlara sahiptir. Mantar kullanılarak elde edilen malzemeler oldukça dayanıklıdır, kolayca kalıplanıp şekil verilebilir ve düşük maliyetlidirler. Çevre dostu ve doğada çözünebilen biyobozunur malzemelerdir (**Web 8, 2024**). Mantar, bitki ve hayvanlarla ortak özellikler barındırsalar da tamamen ayrı bir türdür. Ekosistemdeki yaşam döngüsünün önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Keşfedilmiş 1.5 milyon türü bulunmaktadır (**Web 9, 2022**).

Miselyum mantarların yerin altında bulunan ‘hif’ adı verilen ince ağ benzeri dallanan yapılardan oluşan kökleridir (**Şekil 3.4.**). Mantarlar metabolik faaliyetlerinin büyük bir kısmını hifler yardımıyla gerçekleştirirler. Yiyecek bulma amacıyla yeni hifler üretip büyür ve genişlerler (**Web 9, 2022**).



**Şekil 3.4:** Miselyum'un kısımları (**Web 9, 2022**)

Miselyumlar çok geniş bölgelere yayılabildiğinden dünyadaki en büyük canlı organizma olarak tanımlanmışlardır. Oregon'da Mavi Dağlarda bulunan miselyum 10 kilometrelik bir alana yayılmıştır. Miselyum kitin, selüloz, protein gibi doğal polimerlerden oluşur, kompozit lifli bir malzemedir (**Haneef vd., 2017**).

Miselyumlar sadece mantarlar arasına değil ormandaki diğer bitkiler arasında da iletişim ağı kurarlar. Bu nedenle doğanın interneti olarak anılmaktadırlar. Canlı ve ölü organizmaların döngüsüne yardımcı olurlar (**Web 9, 2022**). Misel ağları birbirinden

olabildiğince farklı ve eşsizlerdir. İnceliklerine rağmen oldukça güçlü ve dayanıklıdırlar. Suya, çürümeye, iç ve dış basınçlara karşı dirençlidirler. Miselyumlar bu dallanan yapıları sayesinde minimum enerji ile maksimum taşıma kapasitesine sahip yapı formları oluşturabilirler **(Web 9, 2023)**.

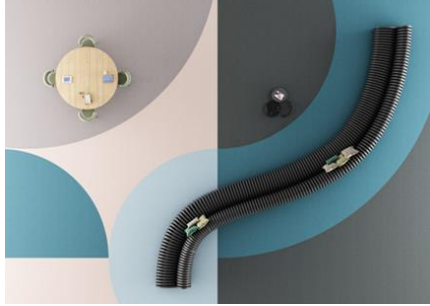
Son yapılan çalışmalara göre mantarların pestisitler, petrol ve plastik gibi toksik maddeleri parçalayabilecekleri bulunmuştur **(Web 10, 2022)**. Bu veriler iç mekanda kullanımı ile ilgili avantajlı etkiler sunmaktadır.

Miselyum yapı malzemelerinin başlıca avantajları; düşük maliyet, hafiflik, düşük enerji ile üretilbilme, çevre dostu olmaları, düşük karbon ayak izi ve biyobozunur olmalarıdır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve anti-alerjenlerdir **(Jiang vd., 2014)**. Tüm bu avantajlarının yanında mantar bazlı biyoplastik yapı malzemeleri çeşitli sınırlamalara sahiptir, en büyük dezavantajlarından biri ise fazla ağırlık taşıyamamalarıdır. Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılmaları önerilmektedir **(Web 8, 2024)**.

Mantar bazlı biyoplastiklerin inşaat sektöründe kullanılmasının sınırlılıklarından bir diğeri ise yüksek su absorpsiyonudur. Neme maruz kalmak miselyum bazlı yapı malzemelerinin performanslarını etkileyebilir; çekme ve basınca mukavemetlerinin azalmasına neden olabilir **(Javadian vd., 2020)**. Ancak 2019'de yayınlanan bir çalışma miselyum bazlı malzemelerin mekanik özelliklerinin ve yüksek su absorpsiyonunun, değişen üretim yöntemleri, çeşitli mantar türleri ve substratlar aracılığı ile düzenlenebileceğini göstermiştir **(Karana vd., 2018)**.

Mantar bazlı biyoplastiklere yapı sektöründe oldukça yoğun bir ilgi olduğu görülmektedir. Isı ve akustik yalıtım, döşeme ve aydınlatma elamanı örneklerine rastlanmıştır **(Tablo 3.3)**.

**Tablo 3.3:** Mantar bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri (Web 30,31, 32,33,34)

| Kategori        | Menşei    | Hammadde                                                                                                               | Görsel                                                                               |
|-----------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Isı Yalıtımı    | İngiltere | Miselyum                                                                                                               |    |
| Isı Yalıtımı    | Hollanda  | Miselyum                                                                                                               |   |
| Isı Yalıtımı    | ABD       | Miselyum                                                                                                               |   |
| Akustik Yalıtım | İtalya    | Miselyum                                                                                                               |  |
| Döşeme          | İtalya    | Miselyum,<br>Biyokütle: Mısır ekinleri,<br>Pirinç samanı,<br>Kahve telvesi,<br>Deniz yosunu,<br>Deniz tarağı kabukları |  |

**Tablo 3.3: (Devamı) (Web,35,36,37,38)**

|            |           |                                |                                                                                       |
|------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Döşeme     | İtalya    | Miselyum ,<br>Tekstil atıkları |    |
| Aydınlatma | İngiltere | Miselyum                       |    |
| Aydınlatma | ABD       | Miselyum                       |   |
| Aydınlatma | Hollanda  | Miselyum                       |  |

### 3.2.4. Organik Atık Bazlı Biyoplastikler ve Yapı Malzemesi Örnekleri

Organik atık bazlı plastikler atık malzemelerin kullanımı ile elde edilen biyoplastik çeşididir. Bu kategorideki plastikler nişasta, selüloz ve mantar atıkları kullanılarak elde edilen plastikleri de içerdiğinden ürün çeşitliliği fazladır.

Biyobazlı plastikler için hammadde üretimi, özellikle arazi kullanımı ve enerji gibi kategorilerde yaşam döngüsü değerlendirmesinde yüksek değerlere neden olur. Yakın tarihli bir istatistiksel çalışma, tahıl üreten tarım arazilerinin neredeyse dörtte birinin biyoyakıt ve biyoplastik üretmek için kullanıldığını göstermiştir (**Raschka vd., 2013**).

Birincil biyokütleden plastik üretimi doğrudan veya dolaylı olarak arazi kullanımı değişikliğine yol açabileceğinden biyoçeşitlilik kaybı, ormansızlaşma ve su kıtlığı gibi olumsuzluklara yol açabileceği veya gıda için kullanılabilecek alanların plastik üretimi için kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda biyokütle üretimi toprak ve su gibi doğal kaynakların gübre ve böcek ilacı gibi kimyasalların kullanımını da gerektirebilmektedir (**European Commision Report, 2022**).

Organik atık bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri diğer kategorilere ait ürünlerin atıklarını da içerdiğinden çok sayıda örneğe rastlanmaktadır. Döşeme kaplamaları, akustik yalıtım, aydınlatma ve mobilya örneklerine yer verilmiştir (**Tablo 3.4**).

**Tablo 3.4:** Organik atık bazlı biyoplastik yapı malzemesi örnekleri  
(Web 40,41,42,43,44,45)

|                     |                    |                                   |                                                                                       |
|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Döşeme<br>Kaplaması | Belçika            | Kahve Telvesi                     |    |
| Fayans              | İngiltere          | Kahve Telvesi                     |    |
| Aydınlatma          | İngiltere          | Kahve,<br>Portakal                |   |
| Aydınlatma          | İtalya             | Portakal Kabuğu                   |  |
| Mobilya             | Çek<br>Cumhuriyeti | Kurumuş Yaprak                    |  |
| Mobilya             | Hollanda           | Çalı,<br>Kakao,<br>Patates Kabuğu |  |

**Tablo 3.4:** (Devamı) (Web 39)

| Kategori           | Menşei   | Hammadde         | Görsel                                                                             |
|--------------------|----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Akustik<br>Yalıtım | Hollanda | Jüt Kahve Çuvalı |  |

### 3.3. Biyobazlı Plastikler ile Üretilen Yapı Örnekleri

Biyobazlı plastikler yaşam döngüsünü tamamladığında doğada çözünebilme özellikleri sayesinde çoğunlukla geçici yapılarda örneklerine rastlanmaktadır.

#### 3.3.1. Arboskin Pavilion

Pavilion projesi 2023 yılında Almanya’da Stuttgart üniversitesi ve Tecnaro iş birliği ile üretilmiştir. Geçici olarak tasarlanan yapıda kullanılan cephe panelleri nişasta ve selüloz bazlı biyoplastiklere örnek verilebilir. Arboblend isimli paneller ahşap hamurunun yan ürünü olan lignin nişasta ve selüloz gibi biyobazlı liflerin güçlendirilmesinden elde edilen biyoplastik bir yapı ürünüdür. Arboblend paneller kolayca işlenebilmektedir; delinmeye, lamine edilmeye, lazerle kesime ve ısı ile şekillendirilmeye uygunluk gösterir. Biyobazlı hammaddelerden elde edildiğinden paneller kompost edilebilir yani biyobozunur özellik gösterir (Şekil 3.5.) (Web 24, 2024).



**Şekil 3.5: Arboskin Pavilion (Web 24, 2024)**

### **3.3.2. Urban Cabin**

Urban Cabin 2016 yılında Hollanda’da Dus Architect tarafından tasarlanmıştır. 8 m<sup>2</sup>’lik kabin, geçici barınma ve afet yardımı gibi konulara çözüm bulma amacıyla tasarlanmıştır ve selüloz bazlı biyoplastiklere örnek verilebilmektedir. Keten tohumu yağından oluşan biyoplastik paneller yapısal stabiliteyi arttırmak için üç boyutlu köşeli biçimlerde üretilmiştir. Yapı kullanım ömrünü tamamladığında tüm malzemeler yeniden kullanılabilir veya kompost edilerek doğada bozunabilir şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.6.) (Web 11, 2023).



**Şekil 3.6: Urban Cabin (Web 11, 2023)**

### 3.3.3. Hollanda AB Binası Cephe Tasarımı

2016 yılında Hollanda’da Dus Architect tarafından tasarlanmıştır. 3D baskılı biyoplastik cephe geçici yapı örneğidir, AB konseyinin 6 ay boyunca toplantılara ev sahipliği yapacağı yapıya entegre edilmiştir. Geri dönüştürülebilir cephe keten tohumundan elde edilmiştir, selüloz bazlı biyoplastiklere örnektir (**Şekil 3.7.) (Web 12, 2023).**



**Şekil 3.7:** AB binası cephe tasarımı (**Web 12, 2023**)

### 3.3.4. Hy-Fi Tower

Hy-Fi Tower 2014 yılında Amerika’da David Benjamin ve Ecovative Design işbirliği ile tasarlanmıştır. New York Modern Sanat Müzesi (MoMA) avlusunda Warm Up müzik festivali için geçici olarak tasarlanan yapı miselyum yapı malzemeleri üzerine yapılan önemli bir çalışmadır. 12 metre yüksekliği aşan kulede 10.000’den fazla miselyum bazlı tuğla kullanılmıştır (**Şekil 3.8.**). Tuğlalar geleneksel tuğla kadar güçlü değildirler; geleneksel tuğlalar 28MPa basınç dayanımına sahipken, mantar tuğlalar sadece 0,2 MPa dayanıma sahiptir. Ancak geleneksel tuğladan 60 kat daha hafiftir, bu sayede kule 12 m yüksekliğe sahip olabilmıştır (**Web 13, 2024).**



**Şekil 3.8: Hy-Fi Tower (Web 13, 2024)**

### 3.3.5. The Growing Pavilion

Pavilion yapısı, 2019 yılında Hollanda’da Pascal Leboucq ve Biobased Creation iş birliği ile tasarlanmıştır. Geçici bir sergi mekanı olarak üretilen yapı miselyum bazlı plastiklere örnektir. Pavilion tamamıyla biyobazlı malzemelerden tasarlanmıştır. Kullanılan 5 temel malzeme ahşap, miselyum, tarım atıkları, sazlık ve pamuk gibi doğal malzemelerdir. Dış paneller miselyumdan üretilmiştir (**Şekil 3.9.**). Paneller ahşap bir çerçeve yardımı ile birleştirilmiştir, miselyum bazlı paneller gerektiğinde çıkarılabilir ve başka amaçlarla kullanılabilir. Yapı kullanım sürecini tamamladığında sonra tekrar kullanılabilir veya kompost edilebilir özelliğe sahiptir (**Web 14, 2023**).



**Şekil 3.9: Growing Pavilion (Web 14, 2023)**

### 3.3.6. Conifera for COS

Yapı 2019 yılında İtalya’da Arthur Mamou tarafından tasarlanmıştır. Geçici bir sergi mekanı için üretilen yapıda 700 adet PLA(Polilaktik Asit) biyoplastik tuğla kullanılmıştır. Milano’da Palazzo Isimbardi’nin avlusunda sergilenmekte olan yapı üç renkten oluşmaktadır (**Şekil 3.10**). Kahverengi tonlar için karışıma odun hamuru eklenerek elde edilmiştir. Tasarım ismi çam kozalaklarından esinlenilmiştir, avlusunda bulunduğu tarihi yapının elmas motifleri ve balıksırtı desenlerinden ilham almıştır (**Web 15, 2023**).



**Şekil 3.10:** Milano tasarım haftası için tasarlanan Conifera for Cos (**Web 15, 2023**)

### 3.3.7. The Exploded View

2021 yılında Hollanda’da Biodesign Creation tarafından tasarlanmıştır. Hollanda tasarım haftası için tasarlanan yapı 100 çeşit bitki bazlı ürünü de sergilemiştir (**Şekil 3.11.**). Modüler yapı metal vidalar ve pencere camları dışında biyobazlı olmayan hiçbir malzeme içermemektedir. Kullanılan biyomalzemeler ise 7 ana kategoride ele alınmıştır: Mantar ve bakteriler, yaşayan malzemeler, yiyecek, su, kanalizasyon, toprak ve bitki (**Web 16, 2021**).



**Şekil 3.11: The Exploded View (Web 16, 2021)**

## **4. PLASTİK VE BİYOBAZLI ALTERNATİFLERİNİN MALZEME SEÇİM YÖNTEMİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İRDELENMESİ**

Yapı malzemesi çeşitliliğinin artış göstermesi ile yapıda malzeme seçimi oldukça karmaşık bir hale gelmiştir. Henry Wooton “Element of Architecture” çalışmasında malzeme seçimini Vitruvius’un mimarlık kuramlarına dayandırarak ele alır. Malzeme seçimini dayanıklılık, uygunluk ve güzellik kavramları ile ilişkilendirir. Dayanıklılık, mekanın kullanım amacı ile uyumlu olması ile ilişkilendirilebilir ve genellikle objektif bir ifadedir. Ancak uygunluk ve güzellik kavramları subjektiftir. Vitruvius’un mimarlık kuramında etkili temel gereksinimlere göre dayanıklı, uygun ve güzel olan malzemeyi seçmek için dayanıklı, uygun ve güzel olanı belirlemek gerekmektedir. İşlevsel, teknik ve estetik beklentileri optimum düzeyde karşılaması beklenir. Bu doğrultuda yapıda malzeme seçimi işlev, tasarım kriterleri, kullanıcı faktörü, bütçe gibi pek çok kriteri içerir (Dinçay, 2018).

### **4.1. Malzeme Seçiminde Kullanılan Yöntem ve Ölçütler**

Yapı malzemesi seçilirken malzemelerin çevresel etkileri, teknik performansları değerlendirildiği gibi yapının niteliği, kullanıcı profili, kullanım alanı gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece kullanıcı ihtiyacına uygun bir yapı tasarlanması sağlanabilir. Yapı ürünü seçiminde yapıların işlev, tasarım, yapım tekniği, yapım ve kullanım süresi gibi çeşitli açılar ele alınması ile birlikte karar vericilerin değişkenliğine, karardaki etkinliklerine, amaçlarına, iç ve dış çevre koşullarına, ürün bilgilerine, ekonomik ve teknolojik olanaklara da bağlıdır (Arioğlu, 1993).

Çeşitli mesleki yayınlar, satış firması broşürleri, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Sanayi Bakanlığı yayınları, Yapı Kataloğu gibi kaynaklar yapı malzemesi seçiminde karar vericilere yardımcı olabilir ancak bu kaynaklar farklı amaçlarla oluşturulmuştur. Hem sınırlı sayıda kaynak bulunması hem de bu kaynakların tek bir platformda toplanmaması malzeme seçimini zorlaştırmaktadır (Taygun ve Balanlı, 2005). Malzeme seçimini daha sistematik ve efektif hale getirmeyi sağlayan çeşitli malzeme

seçim yöntemleri bulunmaktadır. Tez alışma kapsamında çeşitli malzeme seçim yöntemleri incelenmiş, Nihal Arıoğlu'nun doktora tezi kapsamında geliştirdiği malzeme seçim yöntemi üzerine yoğunlaşılmıştır.

Arıoğlu bu yöntemi aşağıdaki gibi özetlemiştir (**Arıoğlu, 1993**):

*"Bu yöntemin amacı, tasarım aşamasında, kullanıcının eylemlerini genel ve öznel değerlendirmelere göre konfor içinde sürdürebilmesi için gereksindiği yapıyı oluşturacak malzemelerin rasyonel olarak seçiminde göz önüne alınması gereken parametrelerin, süreçlerin saptanarak düzenlenmesi ve en uygun seçeneğin seçilmesinde sistematik bir yolun belirlenebilmesidir"*

Yöntemin adımları aşağıda kısaca sıralanmıştır:

ADIM 1- Sistem Açılım Düzeyinin Belirlenmesi: Yapı, mekan, eleman, bileşen, parça, gereç düzeylerinde ayrı ayrı olarak malzeme seçimi söz konusudur. Yöntemin ilk adımı olarak ilgili düzey belirlenmelidir.

ADIM 2- evresel Etmenlerin Belirlenmesi: Malzeme seçiminde sınırlandırıcı, boyutlandırıcı, yönlendirici olan etmenlerin analiz ve sentezini kapsar.

ADIM 3- İşlevsel Gereksinimlerin Belirlenmesi: Kullanıcı gereksinimlerinin üründen beklentilere dönüştürülmesi işlemidir.

ADIM 4- Amaç ve Zorunlulukların Belirlenmesi: Malzemeden beklentiler ile çevresel sınırlamaların analiz edilmesi ile sonuçların belirlenmesidir. Amaçlar çevrenin gerektirdiği ve kullanıcı amaçlarına bağlı olarak belirlenir. Zorunluluklar ise amaçlar ve malzeme özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir.

ADIM 5- rn zelliklerinin Belirlenmesi: Amaçlarını yerine getirebilmek için malzemenin sahip olması gereken özelliklerin belirlenmesidir.

ADIM 6- ltlerin Belirlenmesi: Beklenen zelliklerin alt ve st sınırlarını ifade eden değerlerin belirlenmesidir. ltler üç temel amaca yöneliktir: Sağlık ve güvenlik, ekonomiklik, uygunluk veya kullanışlılık.

ADIM 7- rn Bilgilerinin Düzenlenmesi: Değerlendirilmeye alınan ürünlerin bilgileri sınıflandırılır ve bu sınıflandırma çerçevesinde karar vermeyi kolaylaştırmak amacıyla ‘‘bilgi yaprakları’’ düzenlenebilir.

ADIM 8- Seçeneklerin Belirlenmesi: rnlerin seçilebilmesi için analiz ve sentez işlemlerini içerir.

ADIM 9- Seçeneklerin Değerlendirilmesi: Belirlenen malzeme seçeneklerinin beklentileri ve özelliklere ait değerleri yeterli oranda içerip içermediğinin kontrol edilmesidir.

ADIM 10- Seçeneklerinin Karşılaştırılması ve Seçimi: Seçeneklerin birbirlerine karşı avantajları incelenerek en uygun alternatifin seçilmesi kararıdır.

ADIM 11: Uygunluk Kontrolü: Seçim sonucunun uygunluğunun ve seçim yönteminin kullanılabilirliğinin saptanmasını kapsar.

Tez çalışması malzeme seçiminden ziyade fosil bazlı plastik yalıtım malzemelerinin biyo bazlı yalıtım malzemesi alternatifleri ile karşılaştırılmasına yönelik olduğundan malzeme seçim yöntemi buna elverişli olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda Arıoğlu yöntemi Adım 6 ve Adım 10 aralığı kullanılarak yöntem sadeleştirilmiş bir şekilde uygulanmıştır.

İlk adım olarak ısı ve akustik yalıtım malzemeleri için gerekli ölçütler belirlenmiştir. Ölçütler belirlenirken çalışmaya yönelik biçimde ağırlıklı olarak çevresel etmenlere yer verilmiştir. Yoğunluk, yangın dayanımı, malzemenin menşei (nakliye), hammadde, küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji değerleri, geri dönüşüm ve ısı yalıtım malzemeleri için ısı iletkenlik katsayısı, akustik yalıtım malzemeleri için ise ses emicilik katsayısı değerleri ölçüt olarak kararlaştırılmıştır. Her bir ölçüt için önem ağırlığı toplam değerleri 1,00 olacak şekilde belirlenmiştir (*Adım 6*).

İkinci adım olarak tez çalışma kapsamına dahil edilebilecek ısı ve akustik yalıtım ürünleri seçilmiştir. Her iki kategoride de 4 adet biyobazlı 4 adet fosil bazlı ürün değerlendirmeye alınmıştır (*Adım 7*).

Üçüncü adım seçilen tüm malzemelerin ölçütlere göre sahip oldukları değerlerin tablolaştırılarak analiz edilmesini içermektedir. (*Adım 8*).

Dördüncü adım olarak her bir ölçüt için tüm malzemelerin hangi oranda beklentiyi karşıladığını belirlemek amacı ile 1-5 aralığında puanlar belirlenerek ölçüt tabloları oluşturulmuştur. (*Adım 9*).

Beşinci ve son adım olarak dördüncü adımda hazırlanan ölçüt tablolarından alınan ölçüt puanları ve birinci adımda elde edilen önem katsayıları çarpılarak her bir ölçüt bağlamında malzemelerin elde ettiği puanlar toplanarak malzemenin nihai puanı belirlenir.

$$\text{Ölçüt Değeri 1} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \text{Ölçüt Değeri 2} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \dots = \text{Malzeme Puanı}$$

Her bir malzemenin puanı belirlenerek ürünlerin somut olarak karşılaştırılması sağlanmıştır (*Adım 10*).

Çeşitli malzeme seçim yöntemleri bulunduğu gibi malzeme seçim yöntemleri içerisinde kullanılan ölçütler de çeşitlilik göstermektedir. Malzemenin kullanılacağı yapının işlev, tasarım ve yapım tekniği, yapının inşa ve kullanım süresi gibi yapı temelli etmenlerle birlikte kullanıcı temelli etmenler de malzeme seçiminde önemli rol oynamaktadır.

Bilimsel çalışmalarda malzeme seçim ölçütleri farklı biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Sezgin ve Çelebi (2011), malzeme seçim ölçütlerini fiziksel, mekanik, termal, teknolojik, akustik ve optik özellikler, ekonomik değerler ve kullanıcı faktörleri olarak ele almaktadır. Evcı ve Civaroğlu (2015), malzeme seçim ölçütlerini malzemenin insan sağlığına etkisi, geri dönüşüm potansiyeli, maliyet analizi, yaşam döngüsü değerlendirilmesi, yaşlanma ve bozulma evrelerinin analizi, deprem ve doğal afetlerin etkisi, yeşil ürün standartları, çevredeki kullanılan ürünlerle uyumu, kullanıcıların sosyo-ekonomik durumu, bina fonksiyonu, iklim faktörü, kullanıcı konforu gibi geniş bir pencerede ele almaktadır. Malzeme seçim ölçütleri belirlenirken dikkat edilmesi gereken temel hususlar; yapı niteliği, kullanıcı profili, malzemenin kullanım alanı, teknik özellikleri, ekonomik değeri, elde edilebilirliği, sürdürülebilirliği, kullanılabilirliği – kullanım süresi, bakım ve onarım periodu şeklinde sıralanmaktadır (**Bozkurt, 2018**).

Yapı malzemeleri yaşam döngüsü boyunca çeşitli olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Üretim aşamasında, kullanım aşamasında veya yaşam döngüsünü tamamladığında farklı çevresel etkiler oluşturabilirler. Bu etkilerin saptanabilmesi için yapı malzemelerine ait verilerin hazırlanması ve değerlendirilmesi için ISO 14000 Çevre Yönetim Sistemi (ÇYS) Standartları serisi benimsenmektedir. Böylece malzeme üreticileri ve malzeme seçimini gerçekleştiren tasarımcılar ve yapı inşa ediciler arasında küresel bir dil oluşturulması hedeflenmektedir (**Sezgin vd., 2015**).

Malzemelerin çevre üzerindeki etkilerini belirten çeşitli teknik analizler bulunmaktadır. Yaşam döngüsü analizi, küresel ısınma potansiyeli değerlendirilmesi, gömülü enerji hesaplanması gibi çalışmalar ile malzemenin çevre üzerindeki etkisi somut sayısal değerler aracılığı ile ortaya konur. Yaşam döngüsü değerlendirmesi, küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji gibi değerler buna örnek verilebilir.

Environmental Product Declaration (EPD) (Çevresel Ürün Beyanı)), çevresel ürün beyanı ürün veya malzemelerin üretiminden kullanım ömrü sonuna kadar çevresel performansını ve etkisini ifade eden şeffaf ve tarafsız bir belgedir **(Gelowitz ve McArthur, 2017)**. Bu belgeler yapı sektöründe malzeme seçimini kolaylaştırır, en sürdürülebilir seçeneği seçmek için malzemeleri karşılaştırabilmeye olanak tanır. EPD belgeleri yaşam döngüsü değerlendirmesi temel alınarak oluşturulur. Malzemeler beşikten kapıya veya beşikten mezara şekilde incelenebilir. EPD belgeleri LEED, BREAM gibi sertifikaların alınmasına yardımcı olur. Yapı sektöründeki EPD'ler ISO 14040/14044, ISO 15025, EN 15804, ISO 21930 gibi çeşitli standartlara dayanmaktadır.

EPD belgelerinde küresel ısınma potansiyeli (GWP (Global Warming Potential)), stratosferik ozon tabakasının tükenme potansiyeli (ODP (Ozone Depletion)), toprağın ve suyun asitlenme potansiyeli (AP(Acidification Potential)), ötrofikasyon potansiyeli (EP(Eutrophication Potential)), troposferik fotokimyasal oksidanların oluşum potansiyeli (POCP (Photochemical ozone creation)), fosil olmayan kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADPE (Abiotic Depletion Potential for non-fossil resources)), fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli (ADPF(Abiotic Depletion Potentiaş for fossil resources)) gibi çok sayıda çevresel etkiye yer verilmektedir. Tez çalışmasında EPD belgelerinden alınan küresel ısınma potansiyeli değerleri karşılaştırılmaya dahil edilmiştir.

Çalışma kapsamında ısı yalıtım malzemeleri için ısıl iletkenlik katsayısı temel karşılaştırma faktörü olarak ele alınırken, akustik yalıtım malzemeleri için ses geçirme katsayısı değerleri incelenmiştir.

Isıl İletkenlik Katsayısı ( $\lambda$  (W/mK)): Malzemenin yapısal özellikleri ile ilişkili olarak ısıyı ne kadar ilettiğini belirtir. Sıcaklık farkı 1m metre mesafedeki 1 m<sup>2</sup>'lik yüzeyi arasından, sıcaklık farkı 1°C olduğunda iletilen ısı miktarını ifade eder. Isıl iletkenlik değeri düşük ısı yalıtım malzemeleri seçilmelidir **(Uygunoğlu vd., 2016)**.

Akustik Yalıtım malzemeleri için ısıl iletkenlik katsayısı yerine ses geçirme katsayısı değerlendirmeye dahil edilmiştir.

Ses emilimi bir malzemenin sesi emerek yansıtmaması özelliğini ifade etmektedir. Ses emili katsayısı değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0 değeri sesin tamamen yansımamasını ifade ederken 1 değeri ise sesin tamamen yutulması anlamına gelir. ISO

11654 standartları göre ses emilim katsayıları sınıflandırılmıştır. 0,90 ve daha yüksek ses emilim katsayısına sahip ürünler A sınıfı, 0,80-0,85 arası ürünler B sınıfı, 0,60-0,75 arası ürünler C sınıfı, 0,30-0,55 arası ürünler D sınıfı ve 0,15- 0,25 aralığındaki ses emilim katsayısına sahip ürünler E sınıfı olarak değerlendirilir **(Kim ve Lee S., 2017)**.

Yangın dayanımı malzemelerin karşılaştırılması için ele alınan bir diğer ölçüt değeridir. Yangın dayanımı sınıflarına göre malzemeler puanlandırılmıştır.

Yangın Dayanım Sınıfı: Malzemenin yangına nasıl katkıda bulunacağını belirtir.

A 1 – Yanıcı değildir

A2 – Yanıcı değildir

B – Çok sınırlı yanıcılık

C – Sınırlı yanıcılık

D – Orta düzeyde yanıcılık

E – Üst düzeyde yanıcılık

F – Kolayca alev alabilen malzeme **(TS EN 13501-2)**.

Bir diğer ölçüt olan yoğunluk yalıtım malzemeleri için oldukça önem arz etmektedir. Yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun düşük olması beklenmektedir, yalıtımı sağlayan malzemenin içinde bulunan hava boşluklarıdır **(Aydın Şahin, 2009)**. Buna göre seçilen malzemelerin yoğunluk değerleri ele alınmış ve kendi içlerinde sıralandırılarak puanlandırılmıştır.

Malzemelerin menşei ölçüt olarak ele alınmıştır çünkü malzemenin üretim yeri ve kullanılacağı yer arasında taşınması sırasında harcanan enerjiler çevresel performanslar üzerinde oldukça etkilidir. Seçilen malzemenin yerel olması nakliye için harcanan enerjiyi azaltacağından çevre sağlığı için oldukça önemlidir. Gebze merkez alınarak malzemelerin üretim merkezlerinin uzaklığı belirlenmiş olup buna göre ölçüt puanları belirlenmiştir.

Malzemelerin üretimde kullanılan hammaddeler malzemelerin çevresel performansları açısından önem arz eden bir diğer ölçüt değeridir. Malzemeler içerdikleri hammaddelere göre ölçüt puanları verilerek karşılaştırılmıştır. %100 doğal

hammadde içeriğine sahip ürünler en yüksek puanları alırken, doğal hammaddelere ek olarak plastikleştirici ve katkı maddeleri içerenler, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammadde içerenler, geri dönüştürülebilme potansiyeline sahip fosil bazlı hammadde içerenler, geri dönüştürülemeyen fosil bazlı hammadde içeren ürünler şeklinde sıralandırılarak ağırlık puanları belirlenmiştir

Geri dönüşüm potansiyeli, malzemelerin karşılaştırılmasında kullanılan bir diğer ölçüt değeridir. Yalıtım malzemelerinin doğal, geri dönüştürülmüş veya atık hammaddelerden elde edilmesi ve/veya kullanım ömrünü tamamladığında tekrar geri dönüştürülebilmesi malzemenin çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaktadır. Geri dönüştürülmüş ve yaşam döngüsünü tamamladığında kompostlanabilir malzemeler, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddeler içerenler ve tekrar geri dönüştürülebilenler, geri dönüştürülme potansiyeline sahip ürünler, geri dönüştürülmüş hammaddeler içeren ancak tekrar geri dönüştürülemeyen ürünler ve geri dönüştürülemeyen ürünler şeklinde sıralandırılarak puanlandırılmıştır.

Malzemelerin çevresel performanslarını karşılaştırmak adına teknik özelliklerine ek olarak EPD belgeleri incelenerek küresel ısınma potansiyeli ve gömülü enerji performanslarına da malzeme seçim ölçütleri arasında yer verilmiştir. Biyobazlı malzemeler çevresel avantajları ile öne çıktığından küresel ısınma potansiyeli ve gömülü enerji değerlerinin karşılaştırılması çalışması açısından oldukça önemlidir. Seçilen malzemelerin değerleri ele alınarak kendi içinde sıralanıp puanlandırılmıştır.

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP - Global Warming Potantial): Sera etkisine neden olan tüm maddelerinin etkisinin kg CO<sub>2</sub> eq/FU cinsinde ifade edilmesidir. Genellikle 100 yıl üzerinden hesaplanır. EN 15804 standardına göre hem fosil hemde biyo gazlı karbon emisyonlarını içermektedir (**Grazieschi vd., 2021**).

Gömülü Enerji (EE - Embodied Energy): Malzemenin ve malzemenin üretimi için gerekli hammadde ve diğer kaynakların üretilmesinde kullanılan enerjilerin bütünüdür. Bir ürünün kaynaklarının elde edilmesi, nakliyesi, imalatı, montajı, demontajı ve kullanım ömrünün sonunda yok edilmesi için gerekli olan enerjilerin hepsini içermektedir (**Abraham, 2017**).

Gömülü Enerji ve Küresel Isınma Potansiyelleri, Yaşam Döngüsü Değerlendirmelerinde olduğu gibi Beşikten Kapiya (Cradle to Gate) veya Beşikten Mezara (Cradle to Grave) şeklinde hesaplanabilmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan karşılaştırma sırasında beşikten kapıya yaklaşımlara yer verilmiştir. Beşikten kapıya dahil edilen aşamalar:

1. Hammaddenin çıkarılması (A1)
2. Hammaddelerin üretim sahasına taşınması (A2)
3. Malzemenin ticari ürüne dönüştürülmesini içerir (A3) (**Grazieschi vd., 2021**).

Malzeme seçim ölçütleri belirlenmiş ve tanımlanmıştır. Her bir ölçüt için önem ağırlığı belirlenmiştir. Yalıtım malzemelerinden maksimum verimi elde edebilmek için şart olan ısı iletkenlik veya ses emicilik katsayısı değerleri temel ölçütler olduğundan katsayı olarak 0,20 verilmiştir. Yangın dayanımı, yoğunluk, malzemenin yerelliği, çevresel etkiler, küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji değerleri ve geri dönüşüm oranlarının eşit derecede önemli olduğu varsayılarak katsayı değeri 0,10 olarak belirlenmiştir.

## **4.2. Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi**

19. yüzyılın sonlarında sanayi devrimi ile birlikte yaşanan enerji krizinin bir sonucu olarak endüstriyel yalıtım malzemeleri üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de 1967’de dünyadan yaklaşık 200 yıl sonra başlayan ısı yalıtım malzemesi üretimi ile birlikte 1989 yılında ısı yalıtımı ile ilgili ilk düzenlemeler oluşturulmuştur. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartları 2000 yılında zorunlu hale gelmiştir (**Özgürler ve Özer, 2018**).

Isıtma ve soğutma küresel enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Yapı kaynaklı enerji tüketimini azaltmanın en iyi yollarından biri ısı yalıtım uygulamalarıdır. Doğru ve efektif malzeme seçimi ile enerji tasarrufu sağlanabilir.

Yalıtım malzemeleri yapıları olumsuz dış etkenlerden koruyarak mekansal konfor ve kalitenin artmasını sağlar. Bununla birlikte seçilecek yalıtım malzemelerinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Geleneksel olarak kullanılan yalıtım malzemelerinin büyük çoğunluğunu fosil bazlı hammaddelerden elde edilen alternatifler oluşturmaktadır. Bu malzemeler hem üretim aşamasında çevreye zarar vermekte hem de kullanım aşamasında zararlı kimyasallar salarak iç mekan hava kalitesini düşürmekte olup kullanıcıların sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir

(Özdamar ve Ateş, 2018). Yaşam döngüsünü tamamlayan malzemeler ise doğada çözünmemektedir. Geleneksel yalıtım malzemelerinin dezavantajlarının anlaşılmasıyla birlikte yeni malzeme arayışları başlamıştır. Biyo bazlı plastikler bu yeni malzeme arayışlarının başında gelmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan malzemeler biyobazlı ısı yalıtım (BI) ve fosilbazlı ısı yalıtım (FI1) şeklinde kodlandırılmıştır.

#### 4.2.1. Biyobazlı Isı Yalıtım Malzemeleri (BI)

Seçilen 4 adet biyobazlı ısı yalıtım malzemesi BI1, BI2, BI3, BI4 şeklinde kodlandırılarak çalışmaya dahil edilmiştir.

- Saman Balyası Isı Yalıtım Malzemesi (BI1)

Saman balyalarından üretilen yalıtım malzemeleri tarım atığı olan saman balyalarının değerlendirilmesini sağlayan ekolojik bir yapı malzemesidir. Ürün buğday ve çavdar samanlarından oluşur, organik ve konvansiyonel tarımdan elde edilen atıklar kullanılır (Şekil 4.1.).

Malzeme duvar yalıtımlarında kullanılmaya uygundur, basınca dayanıklı değildir. Yüksek ısı yalıtımı sağlar ancak ürünlerin suya dayanımı oldukça düşüktür. Ürünün ideal kullanım süresi 50 senedir. Kompost edilerek doğada çözünmeye uygundur (Tablo 4.1.) (BAU-EPD-FASBA-2019-01-GABI, 2019).



**Şekil 4.1:** Saman balyası ısı yalıtım malzemesi örneği (BAU-EPD-FASBA-2019-01-GABI, 2019).

**Tablo 4.1:** Saman balyası ısı yalıtım malzemesi özellikleri (BAU-EPD-FASBA-2019-01-GABI, 2019).

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri            |
|-------------------------------|------------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,049 W/(m*K)*               |
| Yoğunluk                      | 100 ± 15 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | E Sınıfı                     |
| Nakliye(Menşei)               | Almanya                      |
| Hammadde                      | Saman Balyası                |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | -1,27E+02                    |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1,65E+03                     |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 6,28E+01                     |
| Geri Dönüşüm                  | +                            |

- Kenevir Isı Yalıtım Malzemesi (BI2)

Malzeme Kenevir liflerinden elde edilir. %85 kenevir lifleri, %12 iki bileşenli elyaflar (geri dönüştürülmüş polietilen ve polipropilen), %3 kostik sodadan oluştur (Şekil 4.2.). Lifli yapısından dolayı yüksek çekme dayanımına sahiptir. Duvar, çatı ve zemin yalıtımlarında kullanılmaya uygundur. Çok iyi ısı ve ses yalıtım özelliklerine sahiptir. Kenevir yetiştirilme sırasında CO<sub>2</sub> bağlayıcı olarak görev yapar. Malzeme düşük gömülü enerjiye sahiptir. İdeal kullanım ömrü 50-75 yıl aralığındadır. %100 geri dönüştürülebilir ve yenilenebilir üründür (Tablo 4.2.) (EPD S-P-10546, 2023).



**Şekil 4.2:** Kenevir ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-10546, 2023)

**Tablo 4.2:** Kenevir ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-10546, 2023)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri      |
|-------------------------------|------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,040 W/(m*K)*         |
| Yoğunluk                      | 35 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | D Sınıfı               |
| Nakliye(Menşei)               | İsveç                  |
| Hammadde                      | Kenevir                |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 2.18E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 2,18E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 2,50E+00               |
| Geri Dönüşüm                  | +                      |

- Ağaç Mantarı Isı Yalıtım Malzemesi (BI3)

Ağaç mantarları mantar meşesi ağacının dış kabuk kısmıdır, mantar dokuz yılda bir ağaç kesilmeden kabuk kaldırılarak elde edilir. Ağaç mantarı yalıtım, döşeme, mobilya gibi ürünlerde hammadde olarak kullanılmaktadır (**Şekil 4.3.**).

Tamamen doğal hammaddelerden üretilen malzeme duvar, çatı, döşeme yalıtımlarında kullanılmaya uygundur. Karbon negatiftir ve düşük gömülü enerjiye sahiptir. Yüksek ısı yalıtım özelliklerinin yanında akustik yalıtım da sağlamaktadır. İç mekan hava kalitesini olumsuz etkilemez. %100 olarak geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir (**Tablo 4.3.**) (EPD HUB, HUB-0281, 2023).



**Şekil 4.3:** Ağaç mantarı ısı yalıtım malzemesi (EPD HUB, HUB-0281, 2023)

**Tablo 4.3:** Ağaç mantarı ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD HUB, HUB-0281, 2023)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri       |
|-------------------------------|-------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,040 W/(m*K)*          |
| Yoğunluk                      | 115 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | E Sınıfı                |
| Nakliye(Menşei)               | Portekiz                |
| Hammadde                      | Ağaç Mantarı            |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | -1,98E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | -1,98E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 9,80E+02                |
| Geri Dönüşüm                  | +                       |

- Koyun Yünü Isı Yalıtım Malzemesi (BI4)

Koyun yünlerinden elde edilen yalıtım malzemesi çok yönlü performans sağlar. %75 İngiliz koyun yünü %25 geri dönüştürülmüş polyester içerir (Şekil 4.4.). Polyester kullanımı ürünün performansını arttırmaktadır. Sıkıştırılarak paketlenir ve taşıma için kolaylık sağlar, ambalajdan çıkarıldığında orijinal kalınlığını geri kazanır (Tablo 4.4.) (EPD S-P-04468, 2021).



**Şekil 4.4:** Koyun yünü ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-04468, 2021).

**Tablo 4.4:** Koyun yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-04468, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri      |
|-------------------------------|------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,039 W/(m*K)*         |
| Yoğunluk                      | 18 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | E Sınıfı               |
| Nakliye(Menşei)               | Danimarka              |
| Hammadde                      | Koyun Yünü             |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 5,00E-02               |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 5,00E-02               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 2,09E+01               |
| Geri Dönüşüm                  | +                      |

#### 4.2.2. Fosil Bazlı Isı Yalıtım Malzemeleri (FI)

Seçilen 4 adet fosil bazlı ısı yalıtım malzemesi FI1, FI2, FI3, FI4 şeklinde kodlandırılarak çalışmaya dahil edilmiştir.

- Taş Yünü (FI1)

Taş yünü bazalt kayaların yüksek sıcaklıklarda eritilerek elyaf haline getirilmesiyle elde edilir. Bazalt, dolomit kalker cüruf gibi hammaddeler kullanılır (Şekil 4.5.). Duvarda kullanılmaya yönelik olarak üretilmektedir. Döşeme ve çatı için ayrı çeşitleri bulunmaktadır (Tablo 4.5) (EPD S-P-04824, 2022).



**Şekil 4.5:** Taş yünü ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-04824, 2022)

**Tablo 4.5:** Taş yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-04824, 2022)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri      |
|-------------------------------|------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,035 W/(m*K)*         |
| Yoğunluk                      | 70 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | A1 Sınıfı              |
| Nakliye(Menşei)               | Elazığ                 |
| Hammadde                      | Fosil bazlı hammadde   |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 2,87E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1,86E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 3,35E+01               |
| Geri Dönüşüm                  | +                      |

- Cam Yünü Isı Yalıtım Malzemesi (FI2)

Cam Yünü ürünü iç ve dış duvarlarda ısı ve ses yalıtımında kullanılabilir (Şekil 4.6.). Kum, Feldspat, Kireç taşı ve soda külü, boraks, sodyum sülfat, geri dönüştürülmüş cam, reçine ve bağlayıcı katkı maddeleri içerir (Tablo 4.6.) (EPD S-P-03932, 2021).



**Şekil 4.6:** Cam yünü ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-03932, 2021)

**Tablo 4.6:** Cam yünü ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-03932, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri      |
|-------------------------------|------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,037 W/(m*K)*         |
| Yoğunluk                      | 70 kg / m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | A1 Sınıfı              |
| Nakliye(Menşei)               | Tekirdağ               |
| Hammadde                      | Fosil Bazlı Hammadde   |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 1,38E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 7,80E+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 1,27E+01               |
| Geri Dönüşüm                  | +                      |

- XPS (Ekstrüde Polistiren) Isı Yalıtım Malzemesi (FI3)

XPS ürünü basma mukavemeti ve ısı iletkenlik katsayılarına göre 2 farklı grupta üretilmektedir. Döşeme ve çatılar için düz; duvar, kolon ve kirişlerin yalıtımı için kanallı ve baklava desenli çeşitleri bulunmaktadır (**Şekil 4.7.**). -50 °C ile +75 °C arasında kullanım sıcaklığına sahiptir. Her çeşit kesici aletle kesilebilir, ufalanmadığından fire vermez, kullanımı ve uygulaması kolaydır (**Tablo 4.7.) (EPD S-P-03943, 2021).**



**Şekil 4.7:** XPS (ekstrüde polistiren) ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-03943, 2021)

**Tablo 4.7:** XPS (ekstrüde polistiren) ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-03943, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri    |
|-------------------------------|----------------------|
| Yoğunluk                      | 24kg/m <sup>3</sup>  |
| Yangın Dayanımı               | E                    |
| Nakliye(Menşei)               | Tekirdağ             |
| Hammadde                      | Fosil Bazlı Hammadde |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 3.44E+00             |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1.54+00              |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 6.88E+01             |
| Geri Dönüşüm                  | +                    |

- EPS (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük) Isı Yalıtım Malzemesi (FI4)

Çimento esaslı ve EPS tanecikler içeren bir ısı yalıtım ürünüdür (**Şekil 4.8.**). Yüksek oranda ısı yalıtım özelliğine sahiptir. Makine ile uygulanır, dübel ve kaba sıva gibi yapıştırıcılara ihtiyaç duymaz. Levha olmadığı için arada boşluk kalmaz ve ısı kaçışlarını engeller (**Tablo 4.8.**) (EPD S-P-06750, 2023).



**Şekil 4.8:** EPS (genleştirilmiş polistiren sert köpük) ısı yalıtım malzemesi (EPD S-P-06750, 2023)

**Tablo 4.8:** EPS (genleştirilmiş polistiren sert köpük) ısı yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-06750, 2023)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri          |
|-------------------------------|----------------------------|
| Isıl İletkenlik               | 0,043 W/(m*K)*             |
| Yoğunluk                      | 110±16,5 kg/m <sup>3</sup> |
| Yangın Dayanımı               | A2                         |
| Nakliye(Menşei)               | İzmir                      |
| Hammadde                      | Fosil Bazlı Hammadde       |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 1.27E+00                   |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 0,75E+00                   |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 12,4E+00                   |
| Geri Dönüşüm                  | -                          |

#### 4.2.3. Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Ölçütleri

Seçilen malzemelerin belirlenen ölçütler üzerindeki performanslarını daha detaylı ve açıklayıcı olarak görebilmek amacıyla her ölçüt için bir ölçüt tablosu oluşturulmuştur. Gerekli ölçütleri hangi oranda içerdiği belirlenerek 1-5 arasında puanlandırılmıştır. Ölçüt tabloları sonucunda her malzemenin belirtilen ölçüt üzerinde ölçüt puanı belirlenmiş ve karşılaştırma tablosunda kullanılmıştır.

- Isıl İletkenlik

Isı yalıtım malzemeleri için ısıl iletkenlik değerinin düşük olması daha verimli olmaktadır. Belirlenen malzemelerin ısıl iletkenlik performanslarına göre ölçüt puanları belirlenmiştir. Isıl iletkenlik değerleri 0,35 ve 0,49 aralığında değişkenlik göstermektedir. Seçilen malzemelerin değerleri göz önünde bulundurularak ısıl iletkenliği 0,35-0,37 arasında olan ürünler “5” puan, 0,38-0,40 arasında olanlar “4” puan, 0,41-0,43 arasında olanlar “3” puan, 0,44-0,47 arasında olanlar “2”, 0,47-0,49 arasında olanlar ise “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.9.**).

En başarılı performansı sergileyen ürünler “5” puan üzerinden değerlendirilmektedir. Fosil bazlı ürün örneği olan taş yünü, cam yünü ve XPS ısı yalıtım malzemelerinin 0,35-0,37 W/mK ısıl iletkenlik değeriyle en yüksek ölçüt puanı (5) grubunda olduğu görülmektedir. En fazla ısıl iletkenlik katsayısına sahip BII (Saman Balyası ısı yalıtım malzemesi) ürünün en düşük ölçüt puanıyla (1) başarısız performansa sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.9:** Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı              | 1      | 2         | 3         | 4                 | 5                 |
|--------------------------|--------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| Isıl İletkenlik W/(m*K)* | > 0,47 | 0,44-0,47 | 0,41-0,43 | 0,38-0,40         | 0,35-0,37         |
| Isı Yalıtım Malzemeleri  | BI1    |           | FI4       | BI2<br>BI3<br>BI4 | FI1<br>FI2<br>FI3 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Yoğunluk

Isı yalıtım ürünleri için yoğunluk değerinin düşük olması daha avantajlı olmaktadır. Belirlenen ürünlerin yoğunlukları üzerinden ağırlık puanları yoğunlukları düşükten yükseğe olacak şekilde belirlenmiştir. 0-24 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip ürünler “5” puan, 25-49 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip ürünler “4” puan, 50-74 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olanlar “3” puan, 75-99 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olanlar “2” puan, 100 kg/m<sup>3</sup> ve üstü yoğunluğa sahip olan ürünler ise “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.10**).

Yalıtım malzemenin içinde bulunan hava boşlukları sağladığından düşük yoğunluğa sahip yalıtım malzemelerini tercih etmek daha avantajlıdır. Tablo değerlendirildiğinde fosil bazlı malzemeler ve biyobazlı alternatifleri arasında net bir ayrım görülmemektedir. En iyi performansı “BI4” (Koyun yünü yalıtım) biyobazlı bir alternatiftir ve ardından fosil bazlı hammaddelerden elde edilen FI3 (XPS Yalıtım) ürünü gelir ve bu ürünler en yüksek puan grubunda değerlendirilir. Yoğunluk ölçütü bağlamında da BI1 (Saman Balyası ısı yalıtım malzemesi) ürünün en düşük ölçüt puanı grubundadır.

**Tablo 4.10:** Isı yalıtım malzemelerinin yoğunluk ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                            | 1                 | 2     | 3          | 4     | 5          |
|----------------------------------------|-------------------|-------|------------|-------|------------|
| <b>Yoğunluk<br/>kg/m<sup>3</sup></b>   | $\geq 100$        | 75-99 | 50-74      | 25-49 | 0-24       |
| <b>Isı<br/>Yalıtım<br/>Malzemeleri</b> | BI1<br>BI3<br>FI4 |       | FI1<br>FI2 | BI2   | BI4<br>FI3 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Yangın Dayanımı

Belirlenen ısı yalıtım malzemeleri yangın dayanımı sınıflarına göre puanlandırılmıştır. A sınıfı yangına karşı en dayanıklı olduğundan “5” puan, B sınıfı “4” puan, C sınıfı “3” puan, D sınıfı “2” ve E sınıfı “1” puan olarak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (Tablo 4.11.).

A Sınıfı yangın dayanımına sahip ürünler yangına karşı en dayanıklı olduğundan 5 puan ile değerlendirilmektedir. Değerlendirmeye katılan ürünlerde fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FI1” (Saman Balyası Yalıtım) ve “FI2” (Cam Yünü Yalıtım) malzemeleri en başarılı yangın dayanımı performansını göstermektedir. “FI3” (XPS Yalıtım) ürünü diğer türdeşlerinin aksine daha olumsuz sonuçlar sergileyerek 1 puan üzerinden değerlendirilir. Biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürün gruplarının yangın dayanımlarının geliştirilmesi gerektiği görülmektedir.

**Tablo 4.11:** Isı Yalıtım Malzemelerinin Yangın Dayanımı Ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                            | 1                        | 2               | 3               | 4               | 5                 |
|----------------------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| <b>Yangın<br/>Dayanımı</b>             | <i>E Sınıfı</i>          | <i>D Sınıfı</i> | <i>C Sınıfı</i> | <i>B Sınıfı</i> | <i>A Sınıfı</i>   |
| <b>Isı<br/>Yalıtım<br/>Malzemeleri</b> | BI1<br>BI3<br>BI4<br>FI3 | BI2             |                 |                 | FI1<br>FI2<br>FI4 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Nakliye (Menşei)

Ürünlerin yerel malzemeler arasından seçilmesi nakliye için harcanan enerjiyi azaltacağından mesafelerine göre puanlandırılmıştır. Gebze merkez alınarak 1000 km ve altı mesafedeki ürünler “5” puan, 1000-1500 aralığındaki ürünler “4” puan, 1500-2500 aralığındaki ürünler “3” puan, 2500-3500 km aralığındaki ürünler “2” puan, 3500 km ve üstü mesafeye sahip ürünler ise “1” puan alacak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (**Tablo 4.12**).

Karşılaştırılacak malzemelerin seçiminde özellikle biyobazlı malzemelere alternatif olarak yerelde elde edebileceğimiz en yaygın ürünler seçilmiştir. Bu sebeple fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünler yerel olduğundan ve taşınması sırasında daha az enerji tüketileceğinden daha yüksek puanlar elde etmiştir.

**Tablo 4.12:** Nakliye / menşei ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                | 1                       | 2                        | 3                        | 4                        | 5                          |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Nakliye/<br/>Menşei</b> | <i>&gt; 3500<br/>km</i> | <i>2500-<br/>3500 km</i> | <i>1500-<br/>2500 km</i> | <i>1000-<br/>1500 km</i> | <i>1000 km<br/>ve altı</i> |
| <b>Isı</b>                 |                         | BI2                      |                          |                          | FI1                        |
| <b>Yalıtım</b>             |                         | BI3                      | BI1                      |                          | FI2                        |
| <b>Malzemeleri</b>         |                         | BI4                      |                          |                          | FI3                        |
|                            |                         |                          |                          |                          | FI4                        |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Hammadde

Belirlenen ürünler hammadde içeriklerine göre puanlandırılmıştır. %100 doğal hammadde içeriğine sahip ürünler “5” puan, doğal hammaddelere ek olarak plastikleştirici ve katkı maddeleri içerenler “4” puan, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammadde içerenler “3” puan, geri dönüştürülebilme potansiyeline sahip fosil bazlı hammadde içerenler “2” puan, geri dönüştürülemeyen fosil bazlı hammadde içeren ürünler ise “1” puan alacak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (**Tablo 4.13**).

Hammadde ölçüt tablosu ele alındığında en başarılı sonuçları %100 doğal hammaddelerden elde edildiğinden “BI3” (Ağaç Mantarı Yalıtım) göstermektedir ve 5 puan ile en yüksek puan grubunda değerlendirilmiştir. “BI1” (Saman Balyası Yalıtım) ürünü tamamen doğal hammaddelerden elde edilir ancak monte edilirken plastik bağlayıcılara ihtiyaç duyar. “BI2” (Kenevir Yalıtım) ürünü ise geri

dönüştürülmüş plastik malzemelerle birlikte üretilmektedir. Aynı şekilde “BI4” (Koyun Yünü Yalıtım) %75 koyun yünü ve %25 geri dönüştürülmüş polyesterden elde edilir. “FI2” (Cam Yünü Yalıtım) yapımında geri dönüştürülmüş cam kullanıldığından türdeşlerinden öne geçmektedir ve 3 puan ile değerlendirilir. “FI4” (EPS Yalıtım) ise geri dönüştürülmüş hammadde içermediğinden ve yaşam sonucunda geri dönüştürülebileceğine dair bir bilgiye ulaşamadığından 1 puan ile en düşük grupta değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.13:** Isı yalıtım malzemelerinin hammadde ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı             | 1                                                 | 2                                                   | 3                                                | 4                                           | 5                          |
|-------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Ham madde               | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülemez)</i> | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülebilir)</i> | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülmüş)</i> | <i>Doğal Hammadde + Plastikleştiriciler</i> | <i>%100 Doğal Hammadde</i> |
| Isı Yalıtım Malzemeleri | FI4                                               | FI1<br>FI3                                          | FI2                                              | BI1<br>BI2<br>BI4                           | BI3                        |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Küresel Isınma Potansiyeli

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin EPD belgeleri üzerinden küresel ısınma potansiyeli değerleri incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0'dan küçük değere sahip ürünler “5” puan, 0-1 arasındaki ürünler “4” puan, 1-3 arasındaki ürünler “3” puan 3-5 arasındaki ürünler “2” puan ve 5'ten büyük küresel ısınma potansiyeli değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.14.**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek küresel ısınma potansiyeli değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. Biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürünler fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünlere göre daha başarılı sonuçlar sergilediği net olarak görülebilmektedir.

**Tablo 4.14:** Isı yalıtım malzemelerinin küresel ısınma potansiyeli ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                       | 1     | 2   | 3                        | 4   | 5          |
|-----------------------------------|-------|-----|--------------------------|-----|------------|
| <b>Küresel Isınma Potansiyeli</b> | $> 5$ | 3-5 | 1-3                      | 0-1 | $< 0$      |
| <b>Isı Yalıtım Malzemeleri</b>    |       | FI3 | BI2<br>FI1<br>FI2<br>FI4 | BI4 | BI1<br>BI3 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Gömülü Enerji (Yenilenebilir) Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji değerleri EPD belgeleri üzerinden incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0-1 arasında değerlere sahip ürünler “5” puan, 1-10 arasındakiler “4” puan, 10-50 arasındakiler “3” puan, 50-100 arasındakiler “2” puan ve 100 ve üstü gömülü enerji değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.15**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek EE (Yenilenebilir) değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. Gömülü enerji (yenilenebilir) kapsamında fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünler çoğunlukla biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürünlere göre daha başarılı sonuçlar sergilediği görülmektedir.

**Tablo 4.15:** Isı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenebilir) ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                          | 1          | 2      | 3          | 4                 | 5   |
|--------------------------------------|------------|--------|------------|-------------------|-----|
| <b>Gömülü Enerji (Yenilenebilir)</b> | $> 100$    | 50-100 | 10-50      | 1-10              | 0-1 |
| <b>Isı Yalıtım Malzemeleri</b>       | BI1<br>BI3 |        | BI2<br>BI4 | FI1<br>FI2<br>FI3 | FI4 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Gömülü Enerji (Yenilenemez) Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji değerleri EPD belgeleri üzerinden incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0-1 arasında değerlere sahip ürünler “5” puan, 1-10 arasındakiler “4” puan, 10-50 arasındakiler “3” puan, 50-100 arasındakiler “2” puan ve 100 ve üstü gömülü enerji değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.16**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek EE (Yenilenemez) değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. Tablo incelendiğinde biyobazlı ve fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünler arasında net bir ayrım gözlenmemektedir.

**Tablo 4.16:** Isı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenemez) ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                        | 1               | 2             | 3                 | 4           | 5          |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|-------------|------------|
| <b>Gömülü Enerji (Yenilenemez)</b> | <i>&gt; 100</i> | <i>50-100</i> | <i>10-50</i>      | <i>1-10</i> | <i>0-1</i> |
| <b>Isı Yalıtım Malzemeleri</b>     |                 | BI1<br>FI3    | BI2<br>BI4<br>FI4 | FI1<br>FI2  | BI3        |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

- Geri Dönüşüm

Belirlenen ısı yalıtım malzemeleri geri dönüşüm potansiyelleri üzerinden puanlandırılmıştır. Geri dönüştürülmüş ve yaşam döngüsünü tamamladığında kompostlanabilir malzemeler “5” puan, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddeler içerenler ve tekrar geri dönüştürülebilen “4” puan, geri dönüştürülme potansiyeline sahip ürünler “3” puan, geri dönüştürülmüş hammaddeler içeren ancak tekrar geri dönüştürülemeyen ürünler “2” puan ve geri dönüştürülemeyen ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.17**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek geri dönüşüm potansiyelleri bağlamında puanlandırılmıştır. Geri dönüştürülebilen biyobazlı hammaddeler içerdiğinden biyobazlı ürünler öne çıkarken, geri dönüştürülmüş cam içerdiğinden “FI2” (Cam Yünü Yalıtım) türdeşlerinin önüne geçmiştir. Sıkıştırılmış saman balyalarından elde edilen “BI1” (Saman Balyası Yalıtım) ve fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FI4” (EPS Yalıtım) için geri dönüşüme dair veriye

rastlanmadığından en olumsuz sonucu göstererek 1 puan ile en düşük grupta değerlendirilmektedir.

**Tablo 4.17:** Geri dönüşüm ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                    | 1          | 2      | 3          | 4     | 5                 |
|--------------------------------|------------|--------|------------|-------|-------------------|
| <b>Geri Dönüşüm</b>            | %0-20      | %20-40 | %40-60     | 60-80 | %80-100           |
| <b>Isı Yalıtım Malzemeleri</b> | BI1<br>FI4 |        | FI1<br>FI3 | FI2   | BI2<br>BI3<br>BI4 |

(B1: Saman Balyası, B2: Kenevir, B3: Ağaç Mantarı, B4: Koyun Yünü, F1: Taş Yünü, F2: Cam Yünü, F3: XPS, F4: EPS)

#### 4.2.4. Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi

Tez kapsamında 4 tanesi biyobazlı (BI) hammaddelerden 4 tanesi ise fosil bazlı (FI) hammaddelerden elde edilmiş toplam 8 adet ürün karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İnceleme kapsamında malzemelerin ısı iletkenlik, yangın dayanımı, nakliye/menşei, hammadde, küresel ısınma potansiyeli değerleri, yenilenebilir ve yenilenemez gömülü enerji değerleri ve geri dönüşüm potansiyelleri ele alınmıştır.

Oluşturulan tabloda ilk adımda her bir ölçüt için belirlenen önem ağırlıklarına yer verilmiştir. İkinci adımda belirlenen 4 adet biyobazlı ve 4 adet fosil bazlı ısı yalıtım ürünü için üçüncü adımda tablolar aracılığı ile belirlenen ölçüt puanları ve ölçütlerin önem ağırlıkları çarpılarak her bir ölçütten alınan puanlar belirlenmiştir. Tüm ölçütlerden elde edilen puanlar toplanmış ve her malzemenin toplam puanları belirlenerek somut biçimde karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır (**Tablo 4.18**).

$$\text{Ölçüt Değeri 1} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \text{Ölçüt Değeri 2} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \dots = \text{Malzeme Puanı}$$

Bu denkleme göre BI1 malzemesi için örnek çözümlemeye aşağıda yer verilmiştir.

$$\text{Isıl İletkenlik Ölçüt Değeri} = 1 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,20 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,20$$

$$\text{Yangın Dayanımı Ölçüt Değeri} = 1 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,10$$

$$\text{Yoğunluk Ölçüt Değeri} = 1 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,10$$

$$\text{Nakliye/Menşei Ölçüt Değeri} = 3 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,30$$

$$\text{Çevresel Etki (Hammadde) Ölçüt Değeri} = 4 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,40$$

$$\text{Küresel Isınma Potansiyeli Ölçüt Değeri} = 5 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,50$$

$$\text{Gömülü Enerji (Yenilenebilir) Ölçüt Değeri} = 2 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,20$$

$$\text{Gömülü Enerji (Yenilenemez) Ölçüt Değeri} = 2 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,20$$

$$\text{Geri Dönüşüm Ölçüt Değeri} = 1 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,10$$

*BI1 Malzeme Puanı:*

$$0,20 + 0,10 + 0,10 + 0,30 + 0,40 + 0,50 + 0,10 + 0,20 + 0,10 = 2,00 \text{ şeklinde hesaplanmıştır.}$$

“BI1” (Saman Balyası) ürününü değerlendirdiğimizde küresel ısınma potansiyeli bağlamında en yüksek puan grubunda yer alırken, nakliye/menşei ve hammadde kategorilerinde orta düzeyde performans sergilemektedir. Isıl iletkenlik (1), yangın dayanımı (1), yoğunluk (1), gömülü enerji (1) ve geri dönüşüm (1) açısından oldukça zayıf kalmaktadır.

“BI2” (Kenevir) ürünü geri dönüşüm ölçütü açısından en başarılı puan grubunda yer alır. Yoğunluk ve hammadde kategorilerinde 4 puan ile değerlendirilirken küresel ısınma potansiyeli ve gömülü enerji (yenilenemez) grubunda orta düzey performans sergiler. Yangın dayanımı, nakliye/menşei, gömülü enerji(yenilenebilir) kategorilerinde 2 puan üzerinden değerlendirilmektedir ve bu kategorilerde geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır.

“BI3” (Ağaç mantarı) ürünü hammadde, küresel ısınma potansiyeli, yenilenebilir gömülü enerji ve geri dönüşüm ölçütlerinde oldukça güçlü performans sergileyerek en yüksek puan grubunda yer almaktadır. Isıl iletkenlik bağlamında 4 puan ile orta üstü

düzeyde yer alırken menşei/nakliye kategorisinde ise 2 puan üzerinden değerlendirilir. Yangın dayanımı, yoğunluk,gömülü enerji (yenilenemez) kategorilerde en düşük puan grubunda yer almaktadır.

“BI4”(Koyun yünü) yoğunluk ve geri dönüşüm performansı başarısı ile öne çıkmaktadır. Isıl iletkenlik, hammadde ve küresel ısınma potansiyeli ile 4 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Gömülü enerji performansları orta düzeydedir. Nakliye/menşei 2 puan, yangın dayanımı ise 1 puan ile geliştirilmesi gereken değerler arasındadır.

“FI1” (Taş Yünü) ısı iletkenlik, yangın dayanımı, nakliye/menşei ürünlerinde güçlü performansları ile en yüksek puan grubundadır. Gömülü enerji performansları 4 puan ile başarılı bir sonuç vermektedir. Yoğunluk ve küresel ısınma potansiyeli değerleri orta düzeyde yer alır. Hammadde ölçütü bağlamında 2 puan elde etmiştir.

“FI2” (Cam Yünü) ısı iletkenlik, yangın dayanımı ve nakliye/menşei ürünlerinde 5 puan elde etmiştir. Gömülü enerji değerleri 4 puan grubunda yer alırken yoğunluk, hammadde ve küresel ısınma potansiyelleri bağlamında orta düzey performans sergilemektedir.

“FI3” (XPS) ısı iletkenlik, yoğunluk, nakliye/menşei ölçütleri bağlamında güçlü performansları ile öne çıkmaktadır. Gömülü enerji (yenilenebilir) ölçütünde 4 puan, geri dönüşüm ölçütünde 3 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Hammadde, küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji (yenilenemez) kategorileri 2 puan ve yangın dayanımı 1 puan ile geliştirilmesi gereken özellikler arasında yer alır.

“FI4” (EPS) yangın dayanımı, nakliye/menşei, gömülü enerji (yenilenebilir) performansları ile en yüksek puan grubunda yer almaktadır. Isıl iletkenlik, küresel ısınma potansiyeli gömülü enerji (yenilenemez) performansları orta düzeyde değerlendirilirken yoğunluk, hammadde ve geri dönüşüm özellikleri ile en düşük puan grubunda yer almaktadır.

Elde edilen malzeme verilerine göre kıyaslamalar yapıldığında en olumlu sonuçları fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FI2” (Cam Yünü) ve “FI1” (Taş Yünü) ürünleri göstermektedir. “FI2” (Cam Yünü) geri dönüştürülmüş camlardan elde edildiğinden öne geçmektedir. 3. Sırada ise “BI4” (Koyun Yünü) ürünü yer almaktadır. Türdeşlerinin aksine “FI4” (EPS) ürünü daha zayıf özellikler sergilemektedir.

Yalnızca biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürünleri ele alındığında ise en olumlu sonuçları koyun yününden elde edilen “BI4” (Koyun Yünü) ürünüde görmekteyiz.

En düşük değeri ise sıkıştırılmış saman balyalarından elde edilen “BI1”(Saman Balyası) ürününde görülmektedir. Karşılaştırmalar ısı yalıtım malzemesi bağlamında biyobazlı ürünlerin çeşitli özelliklerinin geliştirilmeleri gerektiğini göstermektedir. Biyobazlı ürünlerin geneli değerlendirildiğinde özellikle yangın dayanımı konusunda fosil bazlı ürünlerden geri kaldıkları gözlenmektedir.

**Tablo 4.18:** Isı yalıtım malzemelerinin malzeme seçim yöntemine göre karşılaştırmalı analizi

| Ölçütler                      | Önem Katsayısı | BI1            |      | BI2                        |      | BI3            |      | BI4            |      | FI1                  |      | FI2                  |      | FI3                  |      | FI4                  |      |
|-------------------------------|----------------|----------------|------|----------------------------|------|----------------|------|----------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|
|                               |                | Ölçüt Puanı    |      | Ölçüt Puanı                |      | Ölçüt Puanı    |      | Ölçüt Puanı    |      | Ölçüt Puanı          |      | Ölçüt Puanı          |      | Ölçüt Puanı          |      | Ölçüt Puanı          |      |
| Isıl İletkenlik               | 0,20           | 0,049 W/(m*K)* |      | 0,040 W/(m*K)*             |      | 0,040 W/(m*K)* |      | 0.039 W/(m*K)* |      | 0,035 W/(m*K)*       |      | 0,037 W/(m*K)*       |      | 0,035-0,038 W/(m*K)* |      | 0,043 W/(m*K)*       |      |
|                               |                | 1              | 0,20 | 4                          | 0,80 | 4              | 0,80 | 4              | 0,80 | 5                    | 1,00 | 5                    | 1,00 | 5                    | 1,00 | 3                    | 0,60 |
| Yangın Dayanımı               | 0,10           | E Sınıfı       |      | D sınıfı                   |      | E sınıfı       |      | E sınıfı       |      | A1 Sınıfı            |      | A1 Sınıfı            |      | E Sınıfı             |      | A2 Sınıfı            |      |
|                               |                | 1              | 0,10 | 2                          | 0,20 | 1              | 0,10 | 1              | 0,10 | 5                    | 0,50 | 5                    | 0,50 | 1                    | 0,10 | 5                    | 0,50 |
| Yoğunluk                      | 0,10           | 100            |      | 35                         |      | 115            |      | 18             |      | 70                   |      | 70                   |      | 24                   |      | 110+16,5             |      |
|                               |                | 1              | 0,10 | 4                          | 0,40 | 1              | 0,10 | 5              | 0,50 | 3                    | 0,30 | 3                    | 0,30 | 5                    | 0,50 | 1                    | 0,10 |
| Nakliye / Menşei              | 0,10           | Almanya        |      | İsveç                      |      | Portekiz       |      | Danimarka      |      | Türkiye/Elazığ       |      | Türkiye/Tekirdağ     |      | Türkiye/Tekirdağ     |      | Türkiye/İzmir        |      |
|                               |                | 3              | 0,30 | 2                          | 0,20 | 2              | 0,20 | 2              | 0,20 | 5                    | 0,50 | 5                    | 0,50 | 5                    | 0,50 | 5                    | 0,50 |
| Çevresel Etki(Hammadde)       | 0,10           | Saman Balyası  |      | Geri Dönüştürülmüş Kenevir |      | Mantar(Cork)   |      | Yün            |      | Fosil Bazlı Hammadde |      | Fosil Bazlı Hammadde |      | Fosil Bazlı Hammadde |      | Fosil Bazlı Hammadde |      |
|                               |                | 4              | 0,40 | 4                          | 0,40 | 5              | 0,50 | 4              | 0,40 | 2                    | 0,20 | 3                    | 0,30 | 2                    | 0,20 | 1                    | 0,10 |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 0,10           | -1,27E+02      |      | 2.18E+00                   |      | -1,98E+02      |      | 5.00E-02       |      | 2,87E+00             |      | 1,38E+00             |      | 3,44E+00             |      | 1,27E+00             |      |
|                               |                | 5              | 0,50 | 3                          | 0,30 | 5              | 0,50 | 4              | 0,40 | 3                    | 0,30 | 3                    | 0,30 | 2                    | 0,20 | 3                    | 0,30 |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 0,10           | 1,65E+03       |      | 2.18E+00                   |      | -1,98E+02      |      | 5.00E-02       |      | 1,86E+00             |      | 7,80E+00             |      | 1,54E+00             |      | 0,75E+00             |      |
|                               |                | 1              | 0,10 | 2                          | 0,20 | 5              | 0,50 | 3              | 0,30 | 4                    | 0,40 | 4                    | 0,40 | 4                    | 0,40 | 5                    | 0,50 |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 0,10           | 6,28E+01       |      | 2.50E+01                   |      | 9,80E+02       |      | 2.09E+01       |      | 3,35E+01             |      | 1,27E+01             |      | 6,88E+01             |      | 12,4E+00             |      |
|                               |                | 2              | 0,20 | 3                          | 0,30 | 1              | 0,10 | 3              | 0,30 | 4                    | 0,40 | 4                    | 0,40 | 2                    | 0,20 | 3                    | 0,30 |
| Geri Dönüşüm                  | 0,10           | %0-20          |      | %80-100                    |      | %80-100        |      | %80-100        |      | %40-60               |      | %60-80               |      | %40-60               |      | %20-40               |      |
|                               |                | 1              | 0,10 | 5                          | 0,50 | 5              | 0,50 | 5              | 0,50 | 3                    | 0,30 | 4                    | 0,40 | 3                    | 0,30 | 1                    | 0,10 |
| <b>Toplam</b>                 | <b>1,00</b>    | <b>2,00</b>    |      | <b>3,30</b>                |      | <b>3,30</b>    |      | <b>3,50</b>    |      | <b>3,90</b>          |      | <b>4,10</b>          |      | <b>3,40</b>          |      | <b>3,00</b>          |      |

### 4.3. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi

Akustik sözcüğü fizik biliminin konusu ses olan kolu ve seslerin işitilmesi yönünden bir yerin niteliği, bir yerde seslerin dağılım biçimi şeklinde tanımlanabilmektedir **(Hasol, 2023)**. Akustik Konfor, gürültü gibi çeşitli rahatsız edici seslerin yayılması önlenerek sağlanır. Hava kaynaklı sesler, açık gözenekli yüzeylere sahip yapı malzemeleri ile dengelenebilir, doğru boyutlarda kullanılan ses emici yüzeyler sayesinde yankı oluşumu önlenerek mekanda akustik konfor sağlanabilir **(Hegger vd., 2007)**. Akustik konfor sağlanamadığında gürültü meydana gelmektedir. Bir enerji türü olan ses nesnel bir değerdir ve frekans, güç gibi değerler ile ölçülebilir ancak gürültü öznel bir değerdir. Gürültü “aralarında uyum bulunmayan düzensiz seslerin bütünü” şeklinde tanımlanır **(TDK, 2006)**.

Mimari Akustik ise binalarda, sesin iyi işitilebilmesi için mimar ve mühendislerin kullandıkları tekniklerin bütünüdür. Mimari akustiğin görevi, istenmeyen sesleri en aza indirmek, istenen sesleri de dinleyicilere bozulmadan ve gereken şiddette iletmektir **(Hasol, 2023)**. Gürültüden korunmanın ve mimari akustiğin sağlanabilmesinin temel iki yolu ses absorpsiyonu ve ses yalıtımıdır. Ses absorpsiyonu sesin yalıtım malzemesine sürtünerek ses enerjisinin ısıya dönüşerek azaltılmasıdır, sesin yutulması olarak da ifade edilebilir. Ses yalıtımı ise ses dalgalarının bulundukları ortamdan farklı yoğunlukta bir engelle karşılaşp enerjinin bir kısmını yansıtip bir kısmının soğurulması bir kısmının ise geçişini sağlamasıdır **(Kaya ve Dalgar, 2017)**.

Ses yalıtımını sağlamak amacı ile yaygın olarak cam yünü, taş yünü, köpük plastikler kullanılır. Bu malzemeler iyi performansları ve düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak ısı ve ses yalıtımında kullanılmaktadır. Ancak bu malzemeler insan sağlığı ve çevre için zararlı katkı maddeleri içermektedir. Bu maddeler cilt tahrişlerine neden olabilir, solunumla birlikte akciğerlere zarar verebilmektedir **(Asdrubali, 2006)**. Yaşam döngülerini tamamladığında çevresel atık oluşturmaktadır. Bu durum sürdürülebilir malzemelere yönelim oluşturmaktadır. Doğal liflerden elde edilen çeşitli ses yalıtım malzemeleri bulunmaktadır. Bu yalıtım malzemeleri mantar ve bakterilere karşı korunmak, rutubet dayanımı sağlamak, yangın direnci oluşturmak için çeşitli

katkı maddelerine ihtiyaç duyarlar. Kullanılan katkı maddelerinin doğru seçimi ile çevre dostu alternatifler elde edilebilmektedir. Biyobazlı akustik malzemeler oldukça düşük yoğunluklu, kolay üretilen, yüksek dayanım sağlayan, iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça avantajlı olmaları, düşük karbon ayak izine sahip olmaları, çevre dostu olmaları gibi önemli avantajlara sahiplerdir (**Asdrubali, 2006**).

Çalışma kapsamında ele alınan malzemeler biyobazlı akustik yalıtım (BA) ve fosil bazlı ısı yalıtım (FA) şeklinde kodlandırılmıştır.

#### **4.3.1. Biyobazlı Akustik Yalıtım Malzemeleri**

Seçilen 4 adet biyobazlı akustik yalıtım malzemesi BA1, BA2, BA3, BA4 şeklinde kodlandırılarak çalışmaya dahil edilmiştir.

- **Yosun Akustik Yalıtım Malzemesi (BA1)**

Duvar ve tavanda kullanılmaya uygun olan ürün yosun, yangın geciktirici ve çeşitli yapıştırıcılardan elde edilmektedir, toksik maddeler içermez. Yangın dayanımına sahip olan ve olmayan iki çeşidi mevcuttur. Paneller CO<sub>2</sub> tutucu özelliğe sahiptir. Yumuşak ve esnek bir dokuya sahiptir, gözenekli yapısı ile sesi absorbe eder (**Şekil 4.9**). Akustik özelliklerinin yanında paneller iklimlendirme açısından da faydalıdır, hava nemi stabilizasyonu ve termal konfor da sağlamaktadır. Paneller yosundan elde edildiğinden denizi anımsatan kokuları bulunmaktadır (**Tablo 4.19**) (**EPD MD-21034, 2021**).



**Şekil 4.9:** Yosun akustik yalıtım malzemesi (**EPD MD-21034, 2021**)

**Tablo 4.19:** Yosun akustik yalıtım malzemesi özellikleri (EPD MD-21034, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri  |
|-------------------------------|--------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,9                |
| Yoğunluk                      | 133                |
| Yangın Dayanımı               | C Sınıfı           |
| Nakliye(Menşei)               | Danimarka/Kopenhag |
| Hammadde                      | Yosun              |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | -3,64E-01          |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 2,22E+01           |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 1,43E+01           |
| Geri Dönüşüm                  | +                  |

- Çimento Katkılı Ağaç Yünü Akustik Yalıtım Malzemesi (BA2)

Ağaç yünü ve çimentodan oluşan malzeme güçlü akustik özelliklerinin yanında yangın dayanımına da sahiptir. Doğal ve boyalı hali ile satışa sunulmaktadır (Şekil 4.10.). Tavan kaplaması olarak uygulanmaktadır (Tablo 4.20) (EPD TRO-20210177, 2021).



**Şekil 4.10:** Çimento katkılı ağaç yünü yalıtım malzemesi (EPD TRO-20210177, 2021)

**Tablo 4.20:** Çimento katkılı ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri  
(EPD TRO-20210177, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri   |
|-------------------------------|---------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,95                |
| Yoğunluk                      | 402                 |
| Yangın Dayanımı               | B Sınıfı            |
| Nakliye(Menşei)               | Danimarka /Vidabaek |
| Hammadde                      | Ağaç Yünü+Çimento   |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | -1,96E-01           |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1,63E+02            |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 5,03E+01            |
| Geri Dönüşüm                  | +                   |

- Ağaç Yünü Akustik Yalıtım Malzemesi (BA3)

Çevre dostu akustik yalıtım ürünü ağaç yününden elde edilmiştir, selüloz bazlı bir malzeme örneğidir (**Şekil 4.11.**). Akustik yalıtımın yanında termal yalıtım ve yangına karşı da dayanım sağlamaktadır. Neme ve küflenmeye karşı dayanıklıdır. Duvar ve tavanlara uygulanabilmektedir. Çeşitli yüzey dokuları, renkleri mevcuttur (**Tablo 4.21**) (EPD-KNI-20170028-CBB1-EN, 2017).



**Şekil 4.11:** Ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi (EPD-KNI-20170028-CBB1-EN, 2017)

**Tablo 4.21:** Ağaç yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri (EPD-KNI-20170028-CBB1-EN, 2017)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri  |
|-------------------------------|--------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,35               |
| Yoğunluk                      | 500                |
| Yangın Dayanımı               | B Sınıfı           |
| Nakliye(Menşei)               | Avusturya/Ferndorf |
| Hammadde                      | Ağaç Yünü          |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 3,10E+00           |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 6,95E+01           |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 5,95E+01           |
| Geri Dönüşüm                  | +                  |

- Nişasta Bazlı Akustik Yalıtım Malzemesi (BA4)

Nişasta, mineral elyaf, selüloz lifleri, kil, perlit ve çeşitli katkı maddeleri içerir (Şekil 4.12). Dayanıklı yüzeyi sayesinde öldürücü bakteri, küf ve maya türlerinin birikmesini önlemeye yardımcı olmak için temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir şekilde tasarlanmıştır (Tablo 4.22.) (EPD-AWI-20200044-ICA1-EN 2020).



**Şekil 4.12:** Nişasta bazlı akustik yalıtım malzemesi (EPD-AWI-20200044-ICA1-EN 2020)

**Tablo 4.22:** Nişasta bazlı akustik yalıtım malzemesi özellikleri (EPD-AWI-20200044-ICA1-EN 2020)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri         |
|-------------------------------|---------------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,6                       |
| Yoğunluk                      | 224                       |
| Yangın Dayanımı               | A2 Sınıfı                 |
| Nakliye(Menşei)               | ABD/Pensilvanya           |
| Hammadde                      | Nişasta + Selüloz lifleri |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 5,16E+00                  |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1,83E+01                  |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 8,29+01                   |
| Geri Dönüşüm                  | +                         |

#### 4.3.2. Fosil Bazlı Akustik Yalıtım Malzemeleri

Seçilen 4 adet fosil bazlı akustik yalıtım malzemesi FA1, FA2, FA3, FA4 şeklinde kodlandırılarak çalışmaya dahil edilmiştir.

- Geri Dönüştürülmüş Polyester Akustik Yalıtım Malzemesi (FA1)

Akustik tavan ürünleri geri dönüştürülmüş hammaddelerden oluşturulmuştur (Şekil 4.13.). Yüksek performanslı akustik malzeme, modüler yapısı ile tasarımcıların özel akustik uygulamalar yapabilmelerine olanak tanır (Tablo 4.23) (EPD, SCS-EPD-05286, 2019).



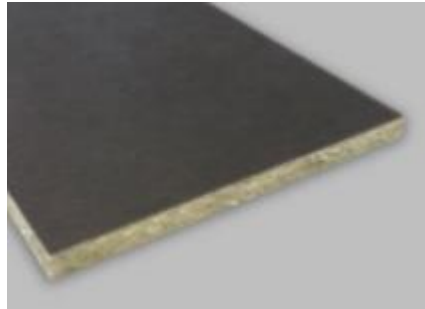
**Şekil 4.13:** Geri dönüştürülmüş polyester akustik yalıtım malzemesi (EPD, SCS-EPD-05286, 2019)

**Tablo 4.23:** Geri dönüştürülmüş polyester akustik yalıtım malzemesi özellikleri  
(EPD, SCS-EPD-05286, 2019)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri            |
|-------------------------------|------------------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,37                         |
| Yoğunluk                      | 180,8                        |
| Yangın Dayanımı               | A Sınıfı                     |
| Nakliye(Menşei)               | Kanada/Ontario               |
| Hammadde                      | Geri Dönüştürülmüş Polyester |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 9,77E+00                     |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 7,32E+00                     |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 1,15+02                      |
| Geri Dönüşüm                  | -                            |

- Taş Yünü Akustik Yalıtım Malzemesi (FA2)

Tavan kaplaması olarak kullanılan ürün %25 geri dönüştürülmüş hammaddeden elde edilir ve kullanım ömrünü tamamladığında tekrar geri dönüştürülebilir (**Şekil 4.14**). İnsan sağlığını olumsuz etkileyebilecek katkı maddeleri içermez (**Tablo 4.24**) (EPD 20220229106, 2022).



**Şekil 4.14:** Taş yünü akustik yalıtım (EPD 20220229106, 2022)

**Tablo 4.24:** Taş yünü akustik yalıtım özellikleri (EPD 20220229106, 2022)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri     |
|-------------------------------|-----------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 1                     |
| Yoğunluk                      | 500                   |
| Yangın Dayanımı               | A1 Sınıfı             |
| Nakliye(Menşei)               | Fransa/ Courbevoie    |
| Hammadde                      | Taş yünü + Cam elyafı |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 3,05E+00              |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 5,57+00               |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 4,49E+01              |
| Geri Dönüşüm                  | +                     |

- Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik Yalıtım Malzemesi (FA3)

Duvar ve tavanlar için kullanıma uygun yalıtım malzemesi atık pet malzemelerin geri dönüşümü ile elde edilmiştir (**Şekil 4.15.**). Akustik paneller kayıt stüdyoları, konser salonları, oditoryumlar, tiyatrolar, kongre merkezleri ve esnek öğrenme alanları dahil olmak üzere çeşitli mekanlarda kullanıma uygundur (**Tablo 4.25.**) (EPD S-P-01004, 2018).



**Şekil 4.15:** Geri dönüştürülmüş pet akustik yalıtım (EPD S-P-01004, 2018)

**Tablo 4.25:** Geri dönüştürülmüş pet akustik yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-01004, 2018)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri           |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,85                        |
| Yoğunluk                      | 111,9                       |
| Yangın Dayanımı               | A sınıfı                    |
| Nakliye(Menşei)               | Avustralya                  |
| Hammadde                      | Geri Dönüştürülmüş Pet Şişe |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 4,57E+00                    |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 4,03E+00                    |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 1,14E+02                    |
| Geri Dönüşüm                  | +                           |

- Cam Yünü Akustik Yalıtım Malzemesi (FA4)

Cam yünü akustik yalıtım ürünü %70 oranında geri dönüştürülmüş ürünlerden oluşmaktadır. Cam yünü boyalı bir yüzey ile kaplanarak estetik bir görünüm elde edilir. Oldukça hafif ve sağlam olan ürünlerin monte etmesi de oldukça kolaydır. Bakım gerektirmez ve uzun süreler kullanıma uygundur (Tablo 4.26) (EPD S-P-01451, 2021).



**Şekil 4.16:** Cam yünü akustik yalıtım malzemesi (EPD S-P-01451, 2021)

**Tablo 4.26:** Cam yünü akustik yalıtım malzemesi özellikleri (EPD S-P-01451, 2021)

| Malzeme Seçim Ölçütleri       | Malzeme Değerleri           |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Ses Emicilik Katsayısı        | 1,00                        |
| Yoğunluk                      | 54 - 98 kg/m <sup>3</sup>   |
| Yangın Dayanımı               | A2                          |
| Nakliye(Menşei)               | İsveç / Hyllinge            |
| Hammadde                      | Geri Dönüştürülmüş Cam Yünü |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 9.34E+00                    |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 1.24E+02                    |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 1.64E+02                    |
| Geri Dönüşüm                  | -                           |

#### 4.3.3. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Ölçütleri

- Ses Emicilik Katsayısı

Belirlenen malzemelerin ses emicilik katsayı sınıflarına göre ağırlık puanları belirlenmiştir. Ses emicilik katsayısına göre A sınıfı (0,90 ve üstü) olan ürünler “5” puan, B sınıfı (0,80-0,90) olanlar “4” puan, C sınıfı (0,60-0,80) olanlar “3” puan, D sınıfı (0,30-0,60) olanlar “2” puan, E (0-0,30) sınıfı olanlar ise “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (TS EN ISO 11654,1997) (Tablo 4.27).

Ses emicilik katsayısı sınıfı a olan ürünler en başarılı performansı sergilemektedir. BA1(Yosun), BA2 (Çimento Katkılı Ağaç Yünü), FA2 (Taş Yünü), FA4 (Cam Yünü) ürünlerinin A sınıfı performansları ile en yüksek ölçüt puanına sahip oldukları görülmektedir. BA3 (Ağaç Yünü), FA1 (Geri Dönüştürülmüş Polyester) ürünleri D sınıfı ses emicilik değeri ile en olumsuz sonuçları vermektedir. Hem A sınıfı hem D sınıfı gruplarında biyobazlı ve fosil bazlı ürünler yer aldığından net bir ayırım gözlenmemektedir.

**Tablo 4.27:** Akustik yalıtım malzemelerinin ses emicilik ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı            | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ses Emicilik Katsayısı | <i>E SINIFI</i> | <i>D SINIFI</i> | <i>C SINIFI</i> | <i>B SINIFI</i> | <i>A SINIFI</i> |
| <b>Akustik</b>         |                 |                 |                 |                 | BA1             |
| <b>Yalıtım</b>         |                 | BA3<br>FA1      | BA4             | FA3             | BA2<br>FA2      |
| <b>Malzemeleri</b>     |                 |                 |                 |                 | FA4             |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Yoğunluk

Isı yalıtım ürünleri için yoğunluk değerinin düşük olması daha avantajlı olduğundan belirlenen ürünlerin yoğunları üzerinden ağırlık puanları yoğunlukları düşükten yükseğe olarak şekilde belirlenmiştir. 0-120 arası yoğunluğa sahip ürünler “5” puan, 121-240 arası değere sahip olanlar “4” puan, 241-360 arası değere sahip olanlar “3” puan, 361-480 arası değere sahip olanlar “2” puan ve 480 ve üstü yoğunluğa sahip ürünler “1” puan şeklinde değerlendirilmiştir (**Tablo 4.28.**).

Seçilen malzemeler yoğunluk değerleri kapsamında karşılaştırıldığında fosil bazlı hammaddeden elde edilen malzemeler ile biyobazlı hammaddelerden elde edilen malzemeler arasında net bir ayrım gözlenmemekle birlikte en başarılı performansı geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FA3” (Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik Yalıtım) ve “FA4” (Cam Yünü Akustik Yalıtım) ürünleri göstererek “5” puan grubunda yer almaktadır.

**Tablo 4.28:** Yoğunluk ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı        | 1              | 2              | 3              | 4                 | 5            |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|--------------|
| Yoğunluk           | <i>&gt;480</i> | <i>361-480</i> | <i>241-360</i> | <i>121-240</i>    | <i>0-120</i> |
| <b>Akustik</b>     |                |                |                |                   |              |
| <b>Yalıtım</b>     | BA3<br>FA2     | BA2            |                | BA1<br>BA4<br>FA1 | FA3<br>FA4   |
| <b>Malzemeleri</b> |                |                |                |                   |              |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Yangın Dayanımı Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemeleri yangın dayanımına göre puanlandırılmıştır. A sınıfı yangına karşı en dayanıklı olduğundan “5” puan, B sınıfı “4” puan, C sınıfı “3” puan, D sınıfı “2” ve E sınıfı “1” puan olarak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (**Tablo 4.29.**).

Tüm fosil bazlı ürünlere ek olarak BA4 (Nişasta) 5 puan ile en yüksek puan grubunda yer almaktadır. Seçilen malzemelerin yangın dayanımı sınıfları ele alındığında fosil bazlı hammaddelerin kullanıldığı ürünlerinin daha iyi performans sergilediği görülmektedir. Biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürünlerin yangın dayanımı performansları geliştirilmelidir.

**Tablo 4.29:** Yangın dayanımı ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı        | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Yangın Dayanımı    | <i>E Sınıfı</i> | <i>D Sınıfı</i> | <i>C Sınıfı</i> | <i>B Sınıfı</i> | <i>A Sınıfı</i> |
| <b>Akustik</b>     |                 |                 |                 |                 | BA4             |
| <b>Yalıtım</b>     |                 |                 | BA1             | BA2             | FA1             |
| <b>Malzemeleri</b> |                 |                 |                 | BA3             | FA2             |
|                    |                 |                 |                 |                 | FA3             |
|                    |                 |                 |                 |                 | FA4             |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Nakliye / Menşei Ölçüt Tablosu

Ürünlerin yerel malzemeler arasından seçilmesi nakliye için harcanan enerjiyi azaltacağından mesafelerine göre puanlandırılmıştır. 2500 km ve altı mesafedeki ürünler “5” puan, 2501-5000 aralığındaki ürünler “4” puan, 5001-7500 aralığındaki ürünler “3” puan, 7501-10000 km aralığındaki ürünler “2” puan, 10000 km ve üstü mesafeye sahip ürünler ise “1” puan alacak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (**Tablo 4.30.**).

Seçilen malzemelerin her biri ithal olduğundan uzak mesafelerden getirilmektedir. Seçilen malzemeler menşei kapsamında karşılaştırıldığında fosil bazlı hammaddeden elde edilen malzemeler ile biyobazlı hammaddelerden elde edilen malzemeler arasında net bir ayrım gözlenmemektedir.

**Tablo 4.30:** Nakliye/menşei ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                | 1                       | 2                             | 3                            | 4                            | 5               |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Nakliye/<br/>Menşei</b> | <i>&gt;10000<br/>km</i> | <i>7501-<br/>10000<br/>km</i> | <i>5001-<br/>7500<br/>km</i> | <i>2501-<br/>5000<br/>km</i> | <i>≤2500 km</i> |
| <b>Akustik</b>             |                         |                               |                              | BA2                          |                 |
| <b>Yalıtım</b>             | FA3                     | BA4<br>FA1                    |                              | BA1<br>FA2                   | BA3             |
| <b>Malzemeleri</b>         |                         |                               |                              | FA4                          |                 |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- **Hammadde Ölçüt Tablosu**

Belirlenen ürünler hammadde içeriklerine göre puanlandırılmıştır. %100 doğal hammadde içeriğine sahip ürünler “5” puan, doğal hammaddelere ek olarak plastikleştirici ve katkı maddeleri içerenler “4” puan, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammadde içerenler “3” puan, geri dönüştürülebilme potansiyeline sahip fosil bazlı hammadde içerenler “2” puan, geri dönüştürülemeyen fosil bazlı hammadde içeren ürünler ise “1” puan alacak şekilde ağırlık puanları belirlenmiştir (**Tablo 4.31**).

Seçilen malzemeler hammaddelerine göre puanlandırıldığında en yüksek performansı %100 biyobazlı hammaddelerden oluşan “BA1” (Yosun Akustik Yalıtım) ve “BA4” (Nişasta Bazlı Akustik Yalıtım) ürünleri göstermek ve “5” puan üzerinden değerlendirilmektedir. “BA2” (Kenevir Yalıtım) ürünü çimento içerirken “BA3” (Ağaç Yünü Akustik Yalıtım) ürünü ise çeşitli kimyasal bağlayıcı maddeler içermektedir. Bu nedenle “4” puan üzerinden değerlendirilmektedir. Geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünler ise “3” puan üzerinden değerlendirilir.

**Tablo 4.31:** Hammadde ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                        | 1                                                 | 2                                                   | 3                                                | 4                                           | 5                          |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Ham madde                          | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülemez)</i> | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülebilir)</i> | <i>Fosil Bazlı Hammadde (Geri Dönüştürülmüş)</i> | <i>Doğal Hammadde + Plastikleştiriciler</i> | <i>%100 Doğal Hammadde</i> |
| <b>Akustik Yalıtım Malzemeleri</b> |                                                   |                                                     | FA1<br>FA2<br>FA3<br>FA4                         | BA2<br>BA3                                  | BA1<br>BA4                 |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Küresel Isınma Potansiyeli Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin EPD belgeleri üzerinden küresel ısınma potansiyeli değerleri incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0'dan küçük değere sahip ürünler “5” puan, 0-1 arasındaki ürünler “4” puan, 1-3 arasındaki ürünler “3” puan 3-5 arasındaki ürünler “2” puan ve 5'ten büyük küresel ısınma potansiyeli değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.32**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek küresel ısınma potansiyeli değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. En başarılı sonuçları biyobazlı hammaddelerden elde edilen “BA1” (Yosun Akustik Yalıtım) ve “BA2” (Çimento Katkılı Ağaç Yünü Yalıtım) ürünleri göstererek “5” puan üzerinden değerlendirilmiştir. En olumsuz sonuçları yine bir biyobazlı ürün olan “BA4” (Nişasta Bazlı Akustik Yalıtım) ve fosil bazlı hammadde içeren “FA1” ve “FA4” ürünleri göstererek “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.32:** Küresel ısınma potansiyeli ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Küresel Isınma Potansiyeli</b> | >5  | 3-5 | 1-3 | 0-1 | <0  |
| <b>Akustik</b>                    | BA4 | BA3 |     |     |     |
| <b>Yalıtım</b>                    | FA1 | FA2 |     |     | BA1 |
| <b>Malzemeleri</b>                | FA4 | FA3 |     |     | BA2 |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Gömülü Enerji (Yenilenebilir) Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji değerleri EPD belgeleri üzerinden incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0-1 arasında değerlere sahip ürünler “5” puan, 1-10 arasındakiler “4” puan, 10-50 arasındakiler “3” puan, 50-100 arasındakiler “2” puan ve 100 ve üstü gömülü enerji değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.33**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek Gömülü enerji (Yenilenebilir) değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. Gömülü enerji (yenilenebilir) kapsamında fosil bazlı hammaddelerden elde edilen ürünler çoğunlukla biyobazlı hammaddelerden elde edilen ürünlere göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.33:** Akustik yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenebilir) ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                          | 1    | 2      | 3     | 4    | 5   |
|--------------------------------------|------|--------|-------|------|-----|
| <b>Gömülü Enerji (Yenilenebilir)</b> | >100 | 50-100 | 10-50 | 1-10 | 0-1 |
| <b>Akustik</b>                       |      |        |       | BA4  |     |
| <b>Yalıtım</b>                       | BA2  | BA3    | BA1   | FA1  |     |
| <b>Malzemeleri</b>                   | FA4  |        |       | FA2  |     |
|                                      |      |        |       | FA3  |     |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Gömülü Enerji (Yenilenemez) Ölçüt Tablosu

Belirlenen ısı yalıtım malzemelerinin gömülü enerji değerleri EPD belgeleri üzerinden incelenmiş ve puanlandırılmıştır. 0-1 arasında değerlere sahip ürünler “5” puan, 1-10 arasındakiler “4” puan, 10-50 arasındakiler “3” puan, 50-100 arasındakiler “2” puan ve 100 ve üstü gömülü enerji değerlerine sahip ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.34**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek EE (Yenilenemez) değerleri bağlamında puanlandırılmıştır. En başarılı performans biyobazlı ürün “BA1” (Yosun Akustik Yalıtım) ve fosil bazlı ürün “FA2” (Taş Yünü Akustik Yalıtım) tarafından paylaşılırken en olumsuz sonuçlar fosil bazlı iki ürün olan “FA1” (Geri Dönüştürülmüş Polyester Akustik Yalıtım), “FA2” (Taş Yünü Akustik Yalıtım) ve “FA4” (Cam Yünü Akustik Yalıtım) ürünlerinde görülmüştür.

**Tablo 4.34:** Akustik yalıtım malzemelerinin gömülü enerji (yenilenemez) ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                        | 1                 | 2                 | 3            | 4           | 5          |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------|------------|
| <b>Gömülü Enerji (Yenilenemez)</b> | <i>&gt;100</i>    | <i>50-100</i>     | <i>10-50</i> | <i>1-10</i> | <i>0-1</i> |
| <b>Akustik Yalıtım Malzemeleri</b> | FA1<br>FA3<br>FA4 | BA2<br>BA3<br>BA4 | BA1<br>FA2   |             |            |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dönüştürülmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dönüştürülmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

- Geri Dönüşüm Ölçüt Tablosu

Belirlenen akustik yalıtım malzemeleri geri dönüşüm potansiyelleri üzerinden puanlandırılmıştır. Geri dönüştürülmüş ve yaşam döngüsünü tamamladığında kompostlanabilir malzemeler “5” puan, geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddeler içerenler ve tekrar geri dönüştürülebilen “4” puan, geri dönüştürülme potansiyeline sahip ürünler “3” puan, geri dönüştürülmüş hammaddeler içeren ancak tekrar geri dönüştürülemeyen ürünler “2” puan ve geri dönüştürülemeyen ürünler “1” puan üzerinden değerlendirilmiştir (**Tablo 4.35**).

Seçilen malzemeler EPD belgeleri incelenerek geri dönüşüm potansiyelleri bağlamında puanlandırılmıştır. Geri dnüşürölmüş ve kompostlanabilir malzemeler içeren BA1(Yosun), BA3 (Ağaç Yünü), BA4 (Nişasta) en yüksek puan grubunda yer almıştır. Geri dnüşürölmüş fosil bazlı hammaddeler içeren “FA1” (Geri Dnüşürölmüş Polyester Akustik Yalıtım) ve “FA4” (Cam Yünü Akustik Yalıtım) ürünleri yaşam sonunda tekrar geri dnüşürölemediğinden en olumsuz sonucu göstermektedir.

**Tablo 4.35:** Akustik yalıtım malzemelerinin geri dönüşüm ölçüt tablosu

| Ölçüt Puanı                        | 1     | 2          | 3      | 4          | 5                 |
|------------------------------------|-------|------------|--------|------------|-------------------|
| <b>Geri Dönüşüm</b>                | %0-20 | %20-40     | %40-60 | %60-80     | %80-100           |
| <b>Akustik Yalıtım Malzemeleri</b> |       | FA1<br>FA4 | BA2    | FA2<br>FA3 | BA1<br>BA3<br>BA4 |

(BA1: Yosun, BA2: Çimento Katkılı Ağaç Yünü, BA3: Ağaç Yünü, BA4: Nişasta, FA1: Geri Dnüşürölmüş Polyester, FA2: Taş Yünü, FA3: Geri Dnüşürölmüş Pet Akustik, FA4: Cam Yünü)

#### 4.3.4. Akustik Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Seçim Yöntemine Göre Karşılaştırmalı Analizi

Tez kapsamında 4 tanesi biyobazlı hammaddelerden 4 tanesi ise fosil bazlı hammaddelerden elde edilmiş toplam 8 adet ürün karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İnceleme kapsamında malzemelerin ses emicilik katsayısı, yangın dayanımı, nakliye/menşei, hammadde, küresel ısınma potansiyeli değerleri, yenilenebilir ve yenilenemez gömölü enerji değerleri ve geri dönüşüm potansiyelleri ele alınmıştır.

Oluşturulan tabloda ilk adımda her bir ölçüt için belirlenen önem ağırlıklarına yer verilmiştir. İkinci adımda belirlenen 4 adet biyobazlı ve 4 adet fosil bazlı yalıtım ürünü için üçüncü adımda tablolar aracılığı ile belirlenen ölçüt puanları ve ölçütlerin önem ağırlıkları çarpılarak her bir ölçütten alınan puanlar belirlenmiştir. Tüm ölçütlerden elde edilen puanlar toplanmış ve her malzemenin toplam puanları belirlenerek somut biçimde karşılaştırılabilmesi sağlanmıştır (**Tablo 4.18**).

$$\text{Ölçüt Değeri 1} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \text{Ölçüt Değeri 2} = (\text{Ölçüt Puanı}) \times (\text{Önem Katsayısı}) + \dots = \text{Malzeme Puanı}$$

Bu denkleme göre BA1 malzemesi için örnek çözümlemeye aşağıda yer verilmiştir.

Örnek :

$$\text{Ses Emicilik Katsayısı Ölçüt Değeri} = 5 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,20 (\text{Önem Katsayısı}) = 1,00$$

$$\text{Yangın Dayanımı Ölçüt Değeri} = 3 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,40$$

$$\text{Yoğunluk Ölçüt Değeri} = 4 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,40$$

$$\text{Nakliye/Menşei Ölçüt Değeri} = 4 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,40$$

$$\text{Çevresel Etki (Hammadde) Ölçüt Değeri} = 5 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,50$$

$$\text{Küresel Isınma Potansiyeli Ölçüt Değeri} = 5 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,50$$

$$\text{Gömülü Enerji (Yenilenebilir) Ölçüt Değeri} = 3 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,30$$

$$\text{Gömülü Enerji (Yenilenemez) Ölçüt Değeri} = 3 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,30$$

$$\text{Geri Dönüşüm Ölçüt Değeri} = 5 (\text{Ölçüt Puanı}) + 0,10 (\text{Önem Katsayısı}) = 0,50$$

*B11 Malzeme Puanı:*

$$1,00 + 0,30 + 0,40 + 0,40 + 0,50 + 0,50 + 0,30 + 0,30 + 0,50 = 4,20 \text{ şeklinde hesaplanmıştır.}$$

“BA1” (Yosun) ürünü ele alındığında ses emicilik katsayısı, hammadde ve küresel ısınma potansiyeli bağlamında en yüksek puan grubunda yer aldıkları görülmektedir. Yoğunluk ve nakliye/menşei ölçütlerinde 4 puan alırken yangın dayanımı ve gömülü enerji performanslarında 3 puan ile orta düzeydedir.

“BA2” (Çimento Katkılı Ağaç Yünü) ses emicilik katsayısı ve küresel ısınma potansiyeli açısından 5 puan ile güçlü performans sergiler. Yangın dayanımı, nakliye/menşei, hammadde ölçütlerinde 4 puan ve geri dönüşümde 3 puan ile orta düzeydedir. Yoğunluk ve gömülü enerji (yenilenemez) ölçütleri 2 puan ve gömülü enerji (yenilenebilir) 1 puan ile düşük performans sergilemektedir.

“BA3” (Ağaç Yünü) nakliye/menşei ve geri dönüşüm performansları bağlamında öne çıkmaktadır. Yangın dayanımı, hammadde kategorilerinde 4 puan üzerinden değerlendirilirken ses emicilik katsayısı, küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji

performansları 2 puan üzerinden değerlendirilir. Yoğunluk kategorisinde ise 1 puan ile en düşük puan grubunda yer alır.

“BA4” (Nişasta) yangın dayanımı, hammadde ve geri dönüşüm ölçütlerinde güçlü performans sergilerken yoğunluk ve gömülü enerji (yenilenebilir) kategorilerinden 4 puan grubunda yer almaktadır. Ses emicilik katsayısı orta düzey, nakliye/menşei, gömülü enerji (Yenilenemez) 2 puan düzeyinde değerlendirilir. Küresel ısınma potansiyeli bağlamında ise geliştirilmesi gerekmektedir.

“FA1” (Geri Dönüştürülmüş Polyester) yangın dayanımında güçlü performans sergileyerek 5 puan grubunda değerlendirilir. Yoğunluk ve gömülü enerji (yenilenebilir) 4 puan, hammadde ölçütünde ise 3 puan ile orta düzeydedir. Ses emicilik katsayısı, nakliye/menşei ve geri dönüşümde 2 puan almıştır. Küresel ısınma potansiyeli ve gömülü enerji (Yenilenemez) açısından en düşük puan düzeyinde kalmıştır.

“FA2” (Taş Yünü) ses emicilik katsayısı, yangın dayanımı ölçütlerinde güçlü performans sergiler. Nakliye/menşei, gömülü enerji (yenilenebilir) ölçütlerinde 4 puan, hammadde ve gömülü enerji (yenilenemez) ölçütlerinde 3 puan, küresel ısınma potansiyeli bağlamında ise 2 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Yoğunluk bağlamında ise düşük performans göstererek en düşük puan grubunda yerini almıştır.

“FA3” (Geri Dönüştürülmüş Pet) yangın dayanımı, yoğunluk ölçütleri bağlamında yüksek performans sergilemektedir. Ses emicilik katsayısı, gömülü enerji (yenilenebilir), geri dönüşüm ölçütleri bağlamında 4 puan, hammadde bağlamında 3 puan ve küresel ısınma potansiyeli ölçütlerinden 2 puan almıştır. Nakliye/menşei ve gömülü enerji (yenilenemez) ölçütlerinde en düşük puan grubunda yer almaktadır.

“FA4” (Cam Yünü) ses emicilik katsayısı, yangın dayanımı, yoğunluk ölçütlerinde yüksek performansları ile öne çıkar. Nakliye /menşei ölçütünde 4 puan, hammadde ölçütünden 3 puan ve geri dönüşüm ölçütünden 2 puan almıştır. Küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji (yenilenebilir), gömülü enerji (yenilenemez) ölçütlerinde en düşük puan grubunda değerlendirilmektedir.

Elde edilen malzeme verilerine göre kıyaslamalar yapıldığında en yüksek puanı biyobazlı hammaddelerden elde edilen “BA1” (Yosun) elde ederken ardından yine bir biyo bazlı ürün olan “BA3” (Ağaç Yünü) ürünü gelmektedir. 2. Sırada ise geri dönüştürülmüş fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FA2” (Taş Yünü) yer almaktadır.

Seçilen malzemeler arasından en olumsuz sonuçları ise fosil bazlı hammaddelerden elde edilen “FA1” (Geri Dönüştürölmüş Polyester) ürünü göstermektedir. Ürünler ses emicilik katsayısı dahil olmak üzere çeşitli kategorilerde birbirleri ile rekabet edebilirken yangın dayanımı konusunda biyobazlı ürünler geride kalmaktadır.

**Tablo 4.36:** Akustik yalıtım malzemelerinin malzeme seçim yöntemine göre karşılaştırmalı analizi

| Ölçütler                      | Önem Katsayısı | BA1                    |      | BA2                    |      | BA3                |      | BA4             |      | FA1                                |      | FA2                  |      | FA3                               |      | FA4                               |      |
|-------------------------------|----------------|------------------------|------|------------------------|------|--------------------|------|-----------------|------|------------------------------------|------|----------------------|------|-----------------------------------|------|-----------------------------------|------|
|                               |                | Ölçüt Puanı            |      | Ölçüt Puanı            |      | Ölçüt Puanı        |      | Ölçüt Puanı     |      | Ölçüt Puanı                        |      | Ölçüt Puanı          |      | Ölçüt Puanı                       |      | Ölçüt Puanı                       |      |
| Ses Emicilik Katsayısı        | 0,20           | 0,90                   |      | 0,95                   |      | 0,35               |      | 0,60            |      | 0,37                               |      | 1,00                 |      | 0,85                              |      | 1,00                              |      |
|                               |                | 5                      | 1,00 | 5                      | 1,00 | 2                  | 0,40 | 3               | 0,60 | 2                                  | 0,40 | 5                    | 1,00 | 4                                 | 0,80 | 5                                 | 1,00 |
| Yangın Dayanımı               | 0,10           | C Sınıfı               |      | B Sınıfı               |      | B Sınıfı           |      | A2 Sınıfı       |      | A Sınıfı                           |      | A1 Sınıfı            |      | A Sınıfı                          |      | A 2 Sınıfı                        |      |
|                               |                | 3                      | 0,30 | 4                      | 0,40 | 4                  | 0,40 | 5               | 0,50 | 5                                  | 0,50 | 5                    | 0,50 | 5                                 | 0,50 | 5                                 | 0,50 |
| Yoğunluk                      | 0,10           | 133                    |      | 402                    |      | 500                |      | 224             |      | 180,8                              |      | 500                  |      | 111,9                             |      | 54-98                             |      |
|                               |                | 4                      | 0,40 | 2                      | 0,20 | 1                  | 0,10 | 4               | 0,40 | 4                                  | 0,40 | 1                    | 0,10 | 5                                 | 0,50 | 5                                 | 0,50 |
| Nakliye / Menşei              | 0,10           | Danimarka/<br>Kopenhag |      | Danimarka/<br>Vidabaek |      | Avusturya/Ferndorf |      | ABD/Pensilvanya |      | Kanada                             |      | Fransa/Courbevoie    |      | Avustralya                        |      | İsveç/Hyllinge                    |      |
|                               |                | 4                      | 0,40 | 4                      | 0,40 | 5                  | 0,50 | 2               | 0,20 | 2                                  | 0,20 | 4                    | 0,40 | 1                                 | 0,10 | 4                                 | 0,40 |
| Çevresel Etki (Hammadde)      | 0,10           | Yosun                  |      | Ağaç<br>yünü+Çimento   |      | Ağaç Yünü          |      | Nişasta+Selüloz |      | Geri<br>Dönüştürülmüş<br>Polyester |      | Taş yünü+Cam<br>yünü |      | Geri<br>Dönüştürülmüş<br>Pet Şişe |      | Geri<br>Dönüştürülmüş<br>Cam Yünü |      |
|                               |                | 5                      | 0,50 | 4                      | 0,40 | 4                  | 0,40 | 5               | 0,50 | 3                                  | 0,30 | 3                    | 0,30 | 3                                 | 0,30 | 3                                 | 0,30 |
| Küresel Isınma Potansiyeli    | 0,10           | -3,64E-01              |      | -1,96E-01              |      | 3,10E+00           |      | 5,16E+00        |      | 9,77E+00                           |      | 3,05E+00             |      | 4,57E+00                          |      | 9,34E+00                          |      |
|                               |                | 5                      | 0,50 | 5                      | 0,50 | 2                  | 0,20 | 1               | 0,10 | 1                                  | 0,10 | 2                    | 0,20 | 2                                 | 0,20 | 1                                 | 0,10 |
| Gömülü Enerji (Yenilenebilir) | 0,10           | 2,22E+01               |      | 1,63E+02               |      | 6,95E+01           |      | 1,83E+01        |      | 7,32E+00                           |      | 5,57E+00             |      | 4,03E+00                          |      | 1,24E+02                          |      |
|                               |                | 3                      | 0,30 | 1                      | 0,10 | 2                  | 0,20 | 4               | 0,40 | 4                                  | 0,40 | 4                    | 0,40 | 4                                 | 0,40 | 1                                 | 0,10 |
| Gömülü Enerji (Yenilenemez)   | 0,10           | 1,43E+01               |      | 5,03E+01               |      | 5,95E+01           |      | 8,29E+01        |      | 1,15E+02                           |      | 4,49E+01             |      | 1,14E+02                          |      | 1,64E+02                          |      |
|                               |                | 3                      | 0,30 | 2                      | 0,20 | 2                  | 0,20 | 2               | 0,20 | 1                                  | 0,10 | 3                    | 0,30 | 1                                 | 0,10 | 1                                 | 0,10 |
| Geri Dönüşüm                  | 0,10           | %80-100                |      | %40-60                 |      | %80-100            |      | %80-100         |      | %20-60                             |      | %60-80               |      | %60-80                            |      | %20-60                            |      |
|                               |                | 5                      | 0,50 | 3                      | 0,30 | 5                  | 0,50 | 5               | 0,50 | 2                                  | 0,20 | 4                    | 0,40 | 4                                 | 0,40 | 2                                 | 0,20 |
| Toplam                        | 1,00           | 4,20                   |      | 3,50                   |      | 3,90               |      | 3,40            |      | 2,60                               |      | 3,60                 |      | 3,30                              |      | 3,20                              |      |

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapı malzemeleri seçilirken malzemelerin teknik “performansları dikkate alındığı gibi çevre üzerindeki etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Biyobazlı hammaddelerden elde edilen plastikler çevresel performanslar üzerinde oldukça iddialı söylemlere sahiptir ancak bu performanslarını somut olarak sergileyecek yeterli sayıda çalışma mevcut değildir. Bu alternatif yapı malzemelerinin çevre üzerindeki etkilerinin net olarak anlaşılabilmesi için çevresel performanslarının karşılaştırılması önemlidir. Tez çalışması plastik malzemeler ile biyobazlı alternatiflerini çevresel performansları ve teknik verileri üzerinden karşılaştırmıştır.

Malzemelerin teknik performanslarını somut biçimde değerlendirebilmek için yangın dayanımı, yoğunluk değeri, ısı yalıtım malzemeleri için ısıl iletkenlik katsayısı ve akustik yalıtım malzemeleri için ses emicilik katsayısı değerleri ele alınmıştır. Çevresel performanslarını değerlendirebilmek için ise malzemenin üretim yerinin uzaklığı, hammaddeler, geri dönüşüm potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli ve gömülü enerji değerleri analiz edilmiştir.

Isı yalıtım ve akustik yalıtım kategorilerinin her birinde 4 adet biyobazlı malzeme ve 4 adet fosil bazlı malzeme seçilerek değerlendirilmiştir (**Tablo 5.18**), (**Tablo 6.18**). Her iki kategorinin teknik performansları ayrı ayrı değerlendirildiğinde hem ısıl iletkenlik katsayısı hem de ses emicilik katsayı değerleri birbirleriyle rekabet edebilecek vaziyette olduğu görülmektedir. Aynı şekilde yoğunluk değerleri incelendiğinde fosil bazlı malzemeler daha yüksek performans sergilese de biyobazlı malzemeler fosil bazlı malzemeler ile rekabet edebilecek değerlere sahiptir. Ancak yangın dayanımı sınıflarına bakıldığında özellikle ısı yalıtım malzemeleri için biyobazlı malzemelerin performanslarının geliştirilmesi gerektiği gözlemlenmektedir.

Çevresel performansları ele alındığında ise nakliye/menşei kategorisinde ısı yalıtım malzemelerinde fosil bazlı malzemelerin yerel alternatiflerinin EPD belgelerine ulaşılabilirdiğinden yerel malzemeler seçilmiştir ve daha başarılı performans sergiledikleri görülmektedir. Hammadde kategorisinde ise biyobazlı malzemeler içerdikleri katkı maddeleri göz önünde bulundurularak puanlandırılmış ve doğal olanlarda daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Küresel ısınma değerleri incelediğinde hem ısı yalıtım hem de akustik yalıtım malzemelerinde biyobazlı alternatiflerin ortalama olarak daha olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bazı biyobazlı malzemelerin türdeşlerine ve fosil bazlı malzemelere göre daha olumsuz sonuçlar gösterebilmektedir. Biyoplastik malzemelerin yapımında kullanılan çeşitli hammaddeler veya yan ürünler küresel ısınma potansiyelini arttırabilmektedir. Biyoplastiklerin beklenen potansiyelleri sağlayabilmeleri için gıda ve yem üretimi ile rekabet etmeyen yenilenebilir ve toksik olmayan hammaddelerden elde edilmesi gerekmektedir. Atık hammaddelerin biyomalzemeler için kullanılması bu ihtiyacı karşılamak için ideal bir hammadde kaynağı oluşturur. Gıda veya tarım atıklarının biyobazlı biyoplastik yapımında kullanılması biyobazlı plastiklerin performansını arttırırken atıkların yol açabileceği metan gazı emisyonlarının da önüne geçebilmektedir.

Gömülü enerji (yenilenebilir) performansları bağlamında hem ısı yalıtım hem de akustik yalıtım malzemeleri için ortalama olarak fosil bazlı malzemelerin daha başarılı sonuçlar sergilediği görülmektedir. Ancak gömülü enerji (yenilenemez) kategorisine bakıldığında ortalama olarak biyobazlı malzemeler daha başarılı performans sergilemektedir.

Geri dönüşüm değerleri açısından biyobazlı biyobozunur malzemelerin daha yüksek verim sergilediği görülmektedir. Fosil bazlı malzemeler geri dönüştürülebilse bile bunun oldukça maliyetli ve zor bir süreç olduğu bilinmektedir. Geri dönüşüm konusundaki sıkıntılar ve dünya genelinde artan plastik atık miktarı biyobazlı ürünlerin çeşitli dezavantajlarına rağmen geliştirilmeleri gerektiği ve yeni malzeme arayışlarının sürdürülmesi gerektiğini kanıtlar niteliktedir.

Biyobazlı plastiklerin geliştirilebilmesi için yaşam döngüsü analizi ve küresel ısınma potansiyeli hesaplamaları gibi çeşitli çevresel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel ısınma potansiyeli, gömülü enerji, yaşam döngüsü analizi gibi değerler ürünün çevre üzerindeki etkilerini sayısal olarak görülebilmesini sağlar. Biyobazlı ve fosil bazlı yapı malzemelerinin geliştirilebilmesi adına daha çok ürünün EPD belgelerine sahip olup bu değerleri paylaşımları oldukça önemlidir.

Plastikler keşfedildiğinden beri birçok sektörde olduğu gibi yapı sektöründe de oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Ancak dünya genelinde artan plastik atık miktarı yeni alternatifler aranmasına ve doğal hammaddelerden elde edilen biyobozunur plastiklere ilgi doğmasına sebep olmuştur. Dünya genelinde toplam atığın önemli bir kısmını yapı üretimi kaynaklı atıklar oluşturmaktadır. Bu atıkların bir kısmı geri dönüştürülebilmektedir ancak geri dönüşüm maliyetli olmakla birlikte çevreye olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Yapı sektöründe biyobozunur plastiklerin kullanımının yapı elemanlarının ve/veya yapısal ürünlerin kullanım süresini tamamladığında biyolojik olarak parçalanarak atık üretmeyeceğinden çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltacağı düşünülmektedir .

Çevresel avantajlarına rağmen biyobazlı plastikler küresel plastik pazarının küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Biyobazlı plastiklerin yaygınlaşmasının önünde bazı temel engeller bulunmaktadır. Bunların başında maliyet gelmektedir. Biyobazlı plastiklerin petrol bazlı plastiklere göre çoğunlukla daha pahalı olduğu görülmektedir. Biyobazlı plastiklerin yüksek maliyet sorununu çözebilmek için atık malzemelerin biyobazlı plastiklerin yapımında kullanımı maliyet sorununu büyük oranda azaltabilir. Organik atıkların kullanılması, hem hammadde maliyetini azaltacağından hem de arazi ihtiyacını ortadan kaldıracağından sonuç ürünün maliyetini azaltılmasına yardımcı olabileceği öngörülmektedir.

Biyobazlı yapı ürünleri gelişime oldukça açık olması ile dikkat çekmektedir. Plastik ve biyobazlı alternatifleri incelendiğinde yalıtım malzemesi örneklerinde çok fazla çeşitlilik olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasının biyobazlı plastiklerin çevresel ve teknik performanslarını gözlemlemek üzere yapılacak olan gelecek çalışmalara yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- A Javadian, H Le Ferrand, D E Hebel, N Saeidi (2020) Application of Mycelium-Bound Composite Materials in Construction Page 3 of 9 Industry: A Short Review. SOJ Mater Sci Eng 7(2): 1-9
- Arioğlu N., (1993), "Yapı Ürünlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Asdrubali F., 2006, "Survey on The Acoustical Properties of New Sustainable Materials for Noise Control", Acta Acustica united with Acustica 92(Suppl 1):S89.
- Aydın Şahin M., (2007), "Plastik Yalıtım Malzemelerinin Yapıda Kullanım Olanakları", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Basel B., 2008, "A Brief History of Plastic Buildings. In:Transparent Plastics", 8-23.
- Biron M., 2016, "Genesis of Renewable Plastics and Integration in the Plastics Stream" In: Industrial Applications of Renewable Plastics, Plastic Design Library, 35-66.
- Bozkurt H, (2018), "Yapısal Atık Yönetimi Bağlamında Yapı Üretiminde Malzeme Seçimi Kriterlerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi
- Çelik, A., Plastik Kökenli Yer Döşeme Kaplamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, (2002/49/EC).
- Demet Arslan Dinçay, "İç Mekan Tasarımında Malzeme ve Mekanda Anlam İlişkisi," YAPI\_Mimarlık Tasarım Kültür Sanat, no. 440, pp. 52–58, Sep. 2018.
- Demirarslan S., 2004, "Plastik Malzemenin Özellikleri ve İnşaat Sektöründeki Kullanım Yerleri", İnşaat Dünyası, 72, 60-64.
- Edwards, C., "Interior Design a Critical Introduction", Oxford International Publishers, Oxford. pp: 207-209, 2011.
- Engelsmann S., Spalding V., Peters S., 2010, "Plastics in Architecture and Construction", Birkhauser Basel, 1-18.
- EPD 20220229106, (2022), "Eurobac 30mm", ([https://app.2050-materials.com/media/certificates/b11w4j0hes9aLRuJYgCyNSJ58kuJvOjjLxTiSza\\_qDV7E1etdxZYMkxJn5wb8\\_FRz49bEOUyM-0\\_J12fUBi.pdf](https://app.2050-materials.com/media/certificates/b11w4j0hes9aLRuJYgCyNSJ58kuJvOjjLxTiSza_qDV7E1etdxZYMkxJn5wb8_FRz49bEOUyM-0_J12fUBi.pdf)).
- EPD-AWI-20200044-ICA1-EN, (2020), "Bioguard Acoustic (7mm) Armstrong World Industries Ltd".
- BAU-EPD-FASBA-2019-01-GABI, (2019), "Baustrohballen Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V".
- EPD HUB, HUB-0281, (2023), "Amorim Cork Insulation", ([https://www.amorimcorkinsulation.com/xms/files/EPD\\_Amorim\\_Cork\\_Insulation\\_Expanded\\_Insulation\\_Corkboard\\_-ICB-\\_2023.pdf](https://www.amorimcorkinsulation.com/xms/files/EPD_Amorim_Cork_Insulation_Expanded_Insulation_Corkboard_-ICB-_2023.pdf)).

EPD-KNI-20170028-CBB1-EN, (2017), “Knauf Insulation Heraklith Homogeneous Board”, ([https://www.knaufinsulation.com/sites/ki\\_com/files/pages/Heraklith%20Homogeneous%20board.pdf](https://www.knaufinsulation.com/sites/ki_com/files/pages/Heraklith%20Homogeneous%20board.pdf)).

EPD MD-21034, (2021), “Sould Acoustic Mats”, (<https://www.sould.dk/acoustic-mats>).

EPD, SCS-EPD-05286, (2019), “Ezoboard PET Acoustical Panels”, (SCS-EPD-05286\_EzoBord\_022619.pdf).

EPD S-P-01004, (2018), “Instyle Ecousti Panel 25mm”, (2050 Materials (2050-materials.com)

EPD S-P-01451, (2021), “Ecophone Akusto Wall”, (Microsoft Word - EcophonAkustoFamilyEPDTemplate 20190207).

EPD S-P-03932, (2021), “ODE Starflex&Evomineral 032 Glasswool Insulation Materials”, (<https://epdturkey.org/tr/service/detail/s-p-03932>).

EPD S-P-03943, “ODE Isipan XPS STD Insulation Materials”, ([https://ode.com.tr/\\_upload/pdf/EPD\\_SERTIOFIOKASI\\_ODE\\_ISIPAN\\_XPS-STD.pdf](https://ode.com.tr/_upload/pdf/EPD_SERTIOFIOKASI_ODE_ISIPAN_XPS-STD.pdf)).

EPD S-P-04468, (2021), “Thermafleece Cosywool, Ultrawool from Eden Renewable Innovations Limited”, (<https://thermafleece.com/wp-content/uploads/2023/03/EPD-Thermafleece.pdf>).

EPD S-P-06750, (2023), “Dyotherm Isolteco 110”, (<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/96a33ecc-6232-450f-18fa-08db312e2dc4/Data>).

EPD S-P-10546, (2023), “Ekolution® Hemp Fibre Insulation” (<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/e3fbe4ab-0dda-45ec-8d04-08dc0c71a3ba/Data>).

EPD TRO-20210177, (2021), “Troldekt 35mm Natural Wood”, ([https://www.troldekt.com/media/ygtny5ft/troldekt-35mm-natural-wood-painted\\_.pdf](https://www.troldekt.com/media/ygtny5ft/troldekt-35mm-natural-wood-painted_.pdf)).

European Commission, (2022), “Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions Eu, Policy Framework On Biobased, Biodegradable And Compostable Plastics” Brussels, 30.11.2022 COM(2022) 682 final.

European Environment Agency, (2020), “Biodegradable and Compostable Plastics Challenges and Opportunities”, PDF - TH-AM-20-009-EN-N - ISBN 978-92-9480-257-6 ISSN 2467-3196 doi: 10.2800/552241.

Evci M. M., Ciravoğlu A., (2015), “An Evaluation of the Role of Environmental, Social and Economic Factors in Architects’ Choice of Building Materials”, Megaron Dergisi, 10 (2), 139-148.

Filicito L., Rothenberg G., (2020), “Biodegradable Plastics: Standarts, Policies, and Impacts”, ChemSusChem2021,14, 56–72.

Ganster J., Fink H-P., (2013), “ Bio-Based Plastics: Materials and Applications”

Gelowitz M.D.C., McArthur J.J., (2017), “Comparison Of Type III Environmental Product Declarations for Construction Products: Material Sourcing and Harmonization Evaluation”, Journal of Cleaner Production 157 (2017) 125-133.

Güler Ç., (2005), ‘Yapı Biyolojisinin Kuramsal Temelleri’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.

Gümüşderelioğlu, M., 2012, Biyoplastikler, Bilim ve Teknik, Aralık 2012, [http://vizyon21yy.com/documan/genel\\_konular/guncel/Dusununce/Biyoplastikler.pdf](http://vizyon21yy.com/documan/genel_konular/guncel/Dusununce/Biyoplastikler.pdf).

Günay Z., (2022), “19. Yüzyılda Yaşanan Endüstri Devrimi’nin İnşaat Malzemeleri Üzerine Etkisi; İstanbul’da Tuğla Üretimi”, 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi, 3(4), 358-365.

Gürültü Kontrol Yönetmeliği -  
[https://www.maden.org.tr/mevzuat/mevzuat\\_detay.php?kod=18](https://www.maden.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=18)

Haneef M., Ceseracciu L., Canale C., Bayer İ-S., Heredia-Guerrero J-A., Athanassiou A., (2017), ‘Advanced Material From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties’ Scientific Reports 7, 41292.

Hasol D., (1975), “Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü”

Hegger, M., Drexler, H., & Zeumer, M. (2007). Basics materials. Basel, Switzerland: Birkhauser- Publishers for the Architecture.

Horvad D., Wydra S., Lerch C.M., (2018), “Modelling and Simulating the Dynamics of the European Demand for Bio-Based Plastics”, Int j simul model 17 (2018) 3, 419-430

Howes P., Laughlin Z., (2012), “Material Matters: New Materials in Design”, Blackdog Publishing.

Jiang L, Walczyk D, McIntyre G, (2014), ‘A New Process for Manufacturing Biocomposite Laminate and Sandwich Parts using Mycelium as a Binder’

Johnson R.M., Tucker N., Barnes S., “Impact performance of Miscanthus/Novamont Mater-Bi® biocomposites”, Polymer Testing Volume 22, Issue 2 , April 2003, Pages 209-215.s

Joseph L. Nicholson ve George R. Leighton, “Plastikler Reşit Oluyor”, Harper's Magazine, Ağustos 1942, s. 306

Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E. -J., & Camere, S. (2018). When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. International Journal of Design, 12(2), 119-136

Kaya A-İ., Dalgıç T., (2017), “Ses Yalıtımı Açısından Doğal Liflerin Akustik Özellikleri”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Özel Sayı 1: 25-37.

Kıyga O., (2022), “Biyoplastiklerin Dünyada Ve Türkiye’de Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi

Kim Y.H., Lee S., (2017), “Sound Absorption Performance of Noise Barrier According to Single Number Rating Methods”, Korean Society for Noise and Vibration Engineering 27(272):243-250.

Klun B., Rozman U., Ogrizek M., Kalčíková G., (2022), “The First Plastic Produced, but the Latest Studied in Microplastics Research: The Assessment of Leaching, Ecotoxicity and Bioadhesion of Bakelite Microplastics” Environmental Pollution Volume 307 , 15 August 2022, 119454

Öz H. M., Köse E., (2020), “Gürültü Önleyici Akustik Malzemelerin Performans Düzeylerinin İncelenmesi” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 1-10.

Özdamar E-G., Ateş M., Bal A., Şentürk Ş., (2017), “Biyoplastik: Mimarlıkta Deneyisel Bir Biyomorfoloji”, Teknik Rapor No: NKUBAP.08.GA.16.050, Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye.

Özdamar E-G., Ateş M., 2018, ‘‘ Rethinking sustainability: A research on starch based bioplastic’’, Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, 3, 249-260.

Özer, N., & Acun Özgünler, S. (2019). “Yapılarda Yaygın Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Performans Özelliklerinin Duvar Kesitleri Üzerinde Değerlendirilmesi” Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(2), 25-48.

Pilapitiya N.T., Ratnayake A.S., (2024),” The world of plastic waste: A review”, Cleaner Materials, Volume 11, March 2024.

Raschka A., Carus M., Piotrowski S., 2013, ‘‘Renewable Raw Materials and Feedstock for Bioplastics’’, Chapter 13.

Sezgin F., Çelebi G., (2015), "Bina Tasarımında Malzeme Seçimi için Model Çalışması", MEGARON 2015;10(2):139-148

Shrirakshaya S., Vignesh M., Dhananandhini M., Kavya N., Poongothai M., 2020, “Cellulose and Starch as the Source of Bioplastic”, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), Volume 8, 562-567.

TS EN ISO 11654 Akustik Binalarda Kullanılan Ses Absorplayıcıları – Ses absorpsiyonunun derecelendirilmesi, 1997.

TS EN 13501-2 Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services, TSE, 2003.

Türk Dil Kurumu, (Erişim Tarihi: Mayıs 2024), from <http://www.tdk.gov.tr/>

Tuna Taygun G., Balanlı A., (2005), “Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü-Çevre Etkileşimi”, YTÜ Mimarlık Fakültesi e-dergisi, 1(1), 40-50.

Tuna Taygun G., (2005), “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Uygunoğlu T., Şimşek B., Korucu H., Kocakerim M.M., (2019), “Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete”, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering 2019, 249-267.

Vieira A.,G., M., Silva M. A., Santos L. O., Beppu M. M., 2011 “Natural-based plasticizer and biopolymer films: A review”, European Polymer Journal, Volume 47, 254-263.

Walker S., Rothman R., 2020, “Life Cycle Assessment of Bio-based and Fossil-based Plastic: A Review”, Journal of Cleaner Production Volume 261, 10 July 2020, 121158.

Web 1, (2024), <https://www.lapedrera.com/en/la-pedrera/architecture> , (Erişim Tarihi: 17/01/2024).

Web 2, (2016), <https://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller> , (Erişim Tarihi: 09/04/2016).

Web 3, (2020), <https://www.archpaper.com/2020/05/frederick-kiesler-center-american-modernism-new-book-argues/> (Erişim Tarihi: 16/05/2020).

Web 4, (2024), <https://www.dezeen.com/2021/09/22/dezeen-guide-plastic-architecture-design-interiors/>, (Erişim Tarihi: 26/03/2024).

Web 5, (2024), <https://www.dezeen.com/2020/03/03/pretty-plastic-overtreders-w-bureau-sla-upcycled-products/> , (Erişim Tarihi: 24/02/2024).

Web 6, (2023), <https://bienal.iksv.org/tr/16-istanbul-bienali/yedinci-kita>, (Erişim Tarihi: 03/10/2023).

Web 7, (2023), <https://www.european-bioplastics.org> (Erişim Tarihi: 08/12/2023).

Web 8, (2024), <https://www.biobasedpress.eu/2020/04/mycelium-as-a-construction-material/> (Erişim Tarihi: 21/01/2024).

Web 9, (2022), <https://ecovative.com/mycelium-101>(Erişim Tarihi: 21/12/2022).

Web 10, (2022), <http://www.fungal-futures.com/all-you-want-to-know-about-mycelium/> (Erişim Tarihi: 19/12/2022).

Web 11, (2023), <https://www.dezeen.com/2016/08/30/dus-architects-3d-printed-micro-home-amsterdam-cabin-bathtub/> (Erişim Tarihi: 30/12/2023).

Web 12, (2023), <https://www.dezeen.com/2016/01/12/european-union-3d-printed-facade-dus-architects-holland/> (Erişim Tarihi: 12/12/2023).

Web 13, (2024), <https://dezeen.com/2014/07/01/tower-of-grown-bio-bricks-by-the-living-opens-at-moma-ps1-gallery/> (Erişim Tarihi: 08/07/2014).

Web 14, (2023), <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/> (Erişim Tarihi: 31/10/2023).

Web 15, (2023), <https://www.dezeen.com/2019/04/08/arthur-mamou-mani-cos-installation-bioplastic-bricks-circular-design-milan/> (Erişim Tarihi: 08/04/2023).

Web 16, (2021), <https://theexplodedview.com/the-exploded-view-beyond-building/> (Erişim Tarihi: 17/04/2021).

Web 17, (2021), <https://www.baux.com/acoustic-products/pulp/> (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 18, (2023), <https://materialdistrict.com/material/ecohab/> (Erişim Tarihi: 22/09/2023).

Web 19, (2024), <https://www.dezeen.com/2024/01/11/cornwall-tiles-circular-matters-stonecycling/> (Erişim Tarihi: 11/01/2024).

Web 20, (2022), <https://materialdistrict.com/material/hempflax-nature-insulation/> (Erişim Tarihi: 28/05/2022).

Web 21, (2022), <https://materialdistrict.com/material/eelgrass-acoustic-mats/> (Erişim Tarihi: 31/08/2022).

Web 22, (2023), <https://bigumigu.com/haber/ses-gecirmeyen-altigen-duvar-dosemeleri/> (Erişim Tarihi: 12/08/2023).

Web 23, (2022), <https://materialdistrict.com/material/seawood-materials/> (Erişim Tarihi: 24/09/2022).

Web 24, (2023), <https://materialdistrict.com/material/silentfiber-hemp-acoustic-panel/> (Erişim Tarihi: 15/05/2023).

Web 25, (2023), <https://www.granorte.pt/en/products/storywall> (Erişim Tarihi: 07/11/2023).

Web 26, (2023), <https://www.granorte.pt/en/products/tradition> (Erişim Tarihi: 07/11/2023).

Web 27, (2023), <https://www.amorimcorkflooring.com/corklife> (Erişim Tarihi: 15/08/2020).

Web 28, (2024), <https://materialdistrict.com/article/biofurniture-roger-bateman/> (Erişim Tarihi: 28/01/2021).

Web 29, (2023), <https://www.dezeen.com/2015/11/14/washed-up-seagrass-resin-eco-material-zostera-stool-carolin-pertsch/> (Erişim Tarihi: 14/11/2023).

Web 30, (2020), <https://www.biohm.co.uk/mycelium> (Erişim Tarihi: 06/08/2020).

Web 31, (2022), <https://www.grown.bio/product/insulation-panel-set-of-10/> (Erişim Tarihi: 24/09/2022).

Web 32, (2020), <https://www.buildinggreen.com/blog/greensulate---fungus-based-insulation-material-thats-grown-rather-manufactured> (Erişim Tarihi: 09/01/2020).

Web 33, (2022), <https://mogu.bio/acoustic-collection/foresta-system/> (Erişim Tarihi: 24/09/2022).

Web 34, (2021), <https://mogu.bio/flooring/floor-flex/> (Erişim Tarihi: 23/10/2021).

Web 35, (2021), <https://mogu.bio/flooring/floor-tiles/> (Erişim Tarihi: 23/10/2021).

Web 36, (2021), <https://www.sebastiancox.co.uk/shop/p/large-mycelium-ceiling-pendant> (Erişim Tarihi: 07/09/2021).

Web 37, (2021), <https://danielletrofe.com/images> (Erişim Tarihi: 11/11/2021).

Web 38, (2022), <https://www.grown.bio/product/stack-table/> (Erişim Tarihi: 25/09/2022).

Web 39, (2023), <https://materialdistrict.com/material/biofold-acoustic-panel/> (Erişim Tarihi: 29/05/2023).

Web 40, (2023), <https://materialdistrict.com/material/touch-of-nature-walking-on-coffee/> (Erişim Tarihi: 09/12/2023).

Web 41, (2024), <https://www.atticusdurnell.com/thats-caffeine-tiles> (Erişim Tarihi: 01/06/2024).

Web 42, (2021), <https://bigumigu.com/haber/obscure-kahve-ve-portakal-atiklarindan-aydinlatma-tasarlamak/> (Erişim Tarihi: 13/12/2021).

Web 43, (2021), <https://www.dezeen.com/2021/07/19/ohmie-compostable-lamp-orange-peels/> (Erişim Tarihi: 19/07/2021).

Web 44, (2024), <https://www.dezeen.com/2017/02/26/simon-kern-design-chair-recycled-fallen-leaves-bioplastic-chair-furniture/> (Erişim Tarihi: 26/02/2024).

Web 45, (2023), [https://www.huisveendam.com/portfolio\\_page/t2410\\_grass/](https://www.huisveendam.com/portfolio_page/t2410_grass/) (Erişim Tarihi: 21/07/2023).

Yurtsever, M. (2015), ‘‘Mikro plastiklere genel bir bakış’’ Dokuz Eylöl Üniversitesi Mühendislik Faköltesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(2), 68-83.

Zhao X., ve diğ (2022), ‘‘Plastic waste upcycling toward a circular economy’’, Chemical Engineering Journal Volume 428, 15 January 2022, 131928.

## ÖZGEÇMİŞ

Şebnem DEMİR BİLİCİ, 2015 yılında başladığı İstanbul Medipol Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık (İngilizce) bölümünü 2020 yılında başarıyla tamamladı. 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı.

## TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Demir Ş., Coşgun N., (2022), “Investigation of The Use of Bio Based Plastic Material in The Construction Industry: Samples of Mycelium-Based Building Material”, II. International Architectural Sciences and Applications Symposium “II. IArcSAS-2022”, 1, 433-452.

Demir Bilici Ş., Coşgun N., (2023), “Biyo Bazlı Isı Yalıtım Malzemeleri Üzerine Bir İnceleme” 3. Uluslararası Akdeniz Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 258-301