T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Miselyum Esaslı Kompostlanabilir Malzemenin Enerji Verimliliğinin ve Uygulama Alanının Araştırılması

Arda GÜNEŞ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Programı

Eylül, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Arda GÜNEŞ tarafından, **Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ** danışmanlığında hazırlanan **"Miselyum Esaslı Kompostlanabilir Malzemenin Enerji Verimliliğinin ve Uygulama Alanının Araştırılması"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **19/09/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. M. A. Faruk ÖKSÜZÖMER İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Atıf KOCA Marmara Üniversitesi Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Aileme ve sevdiklerime ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

Miselyum Esaslı Kompostlanabilir Malzemenin Enerji Verimliliğinin ve Uygulama Alanının Araştırılması

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim boyunca bana yardımlarını ve desteklerini hep gösteren, deneyimlerini her daim aktaran, doğru ve etik mükemmelliyetçiliği destekleyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Malzemelerin üretilmesinde, hazırlanmasında ve hammadde tedariğinde yardım ve desteklerini hiç esirgemeyen, sunduğu imkanlarla bu projenin gerçekleşmesini büyük katkıda bulunan sürdürülebilir teknoloji kapsamında Türkiye'de bir inovatif firma konumunda bulunan Hau Biyoteknoloji Sanayi Ltd. Şti ve şirket sahibi statüsündeki Mehmet ÇERKEZOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvarda ve çeşitli analizlerin gerçekleşmesinde ön ayak olan ve yardımlarını sonuna kadar esirgemeyen değerli araştırmacı Ayça Ergün'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayat boyu benim bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan yaşamımdaki en değerli varlıklarım olan anne ve babama verdikleri emeklerden ve sonsuz sevgiden dolayı minnetlerimi sunarım.

Haziran 2022 **Arda GÜNEŞ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xiv**
ABSTRACT ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. ENERJİ 4
2.2. ENERJİ KAYNAKLARI 5
2.2.1. Sürdürülemez (Yenilenemez) Enerji Kaynakları 5
2.2.2. Sürdürülebilir (Yenilenebilir) Enerji Kaynakları 19
2.3. MİSELYUM 32
2.4. KOMPOSTLAMA 34
2.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve LİTERATÜRDEKİ İLGİLİ ÇALIŞMALAR 36
2.6. ENDÜSTRİDEKİ YERİ 52
2.6.1. Ecovative Design 52
2.6.2. Mogu Bio 53
2.6.3. MycoWorks 55
2.6.4. Grown Bio 56
3. YÖNTEM **58**
3.1. Kullanılan Malzemeler 58
3.2. Analizler 69
3.2.1. TG Analizi 69
3.2.2. Ortalama Temas Açısı (Θ_{ave}) Analizi 70

3.2.3. Optik Mikroskop Analizi 71
3.2.4. DSC Analizi 71
4. BULGULAR 73
4.1. Hazırlanan Örneklerin Isıl ve Oksidatif Özelliklerinin Belirlenmesi 73
4.2. Hazırlanan Örneklerin Ortalama Temas Açılarının Belirlenmesi 87
4.3. Optik Mikroskop Analizi 97
4.4. DSC Analizi 100
5. TARTIŞMA 113
5.1. Isıl ve Oksidatif Bozunma (TGA) 113
5.2. Ortalama Temas Açısı 115
5.3. Optik Mikroskop 117
5.4. DSC Analizi 118
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 121
6.1. Isıl ve Oksidatif Bozunma (TGA) 121
6.2. Ortalama Temas Açısı 121
6.3. Optik Mikroskop 122
6.4. DSC Analizi 123
KAYNAKLAR 124
KURUM İZNİ YAZILARI 133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: 2018 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı 8

Şekil 2.2: 2018 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktar ve Payları 10

Şekil 2.3: Ülkelere Göre Kanıtlanmış Dünya Petrol Rezervleri (2020) 13

Şekil 2.4: Türkiye Petrol Rafinerileri Haritası (2018) 15

Şekil 2.5: Türkiye Doğal Gaz Boru Hatları Haritası (BOTAŞ) 16

Şekil 2.6: Dünya Nükleer Enerjiden Elektrik Üretimi (WNA, IAEA PRIS) 18

Şekil 2.7: Türkiye'deki Nükleer Santral Yerleri (WNA) 19

Şekil 2.8: Dünya Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası 21

Şekil 2.9: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) 22

Şekil 2.10: Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası / Rüzgar Güç Yoğunluğu Dağılımı (ETKB) 24

Şekil 2.11: Ecovative Design Şişe Saklama Malzemesi 53

Şekil 2.12: MoguBio Tarafından Üretilmiş Biyobozunur Malzeme Örnekleri 55

Şekil 2.13: MycoWorks Tarafından Tasarlanmış Suni Deri Alternatifi Ürün 56

Şekil 2.14: Grown Bio Tarafından Üretilen Çeşitli Dekoratif ve Paketlemeye Yönelik Malzeme Örnekleri 57

Şekil 3.1: MEBM-1 numunesinin görseli 60

Şekil 3.2: MEBM-2 numunesinin görseli 60

Şekil 3.3: MEBM-3 numunesinin görseli 61

Şekil 3.4: MEBM-4 numunesinin görseli 61

Şekil 3.5: MEBM-5 numunesinin görseli 62

Şekil 3.6: MEBM-6 numunesinin görseli 62

Şekil 3.7: MEBM-7 numunesinin görseli 63

Şekil 3.8: MEBM-8 numunesinin görseli 64
Şekil 3.9: MEBM-9 numunesinin görseli 64
Şekil 3.10: MEBM-10 numunesinin görseli 65
Şekil 3.11: MEBM-11 numunesinin görseli 66
Şekil 3.12: MEBM-12 numunesinin görseli 67
Şekil 3.13: MEBM-13 numunesinin görseli 68
Şekil 3.14: Termal analizlerin gerçekleştirildiği TG/DTA cihazı 69
Şekil 3.15: Çalışmalarda Kullanılan Yüzey Temas Açısı Cihazı 70
Şekil 3.16: Çalışmalarda kullanılan stereo mikroskop cihazı 71
Şekil 3.17: Mettler Toledo DSC cihazı 72
Şekil 4.1: MEBM-1 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 73
Şekil 4.2: MEBM-2 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 74
Şekil 4.3: MEBM-3 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 75
Şekil 4.4: MEBM-4 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 76
Şekil 4.5: MEBM-5 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 77
Şekil 4.6: MEBM-6 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 78
Şekil 4.7: MEBM-7 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 79
Şekil 4.8: MEBM-8 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 80
Şekil 4.9: MEBM-9 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 81
Şekil 4.10: MEBM-10 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 82
Şekil 4.11: MEBM-11 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 83
Şekil 4.12: MEBM-12 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 84
Şekil 4.13: MEBM-13 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği 85
Şekil 4.14: Jüt ve spawn miktarlarına bağlı olarak MEBM örneklerinin karşılaştırılmalı TG Değişim Grafiği 86
Şekil 4.15: MEBM-1 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 88

Şekil 4.16: MEBM-2 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 88

Şekil 4.17: MEBM-3 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 89

Şekil 4.18: MEBM-4 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 90

Şekil 4.19: MEBM-5 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 90

Şekil 4.20: MEBM-6 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 91

Şekil 4.21: MEBM-7 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 92

Şekil 4.22: MEBM-8 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 92

Şekil 4.23: MEBM-9 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 93

Şekil 4.24: MEBM-10 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 94

Şekil 4.25: MEBM-11 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 94

Şekil 4.26: MEBM-12 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 95

Şekil 4.27: MEBM-13 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli 96

Şekil 4.28: MEBM-1,2,3,4 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri 97

Şekil 4.29: MEBM-5,6,7,8 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri 98

Şekil 4.30: MEBM-9,10,11,12,13 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri 99

Şekil 4.31: MEBM-1 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 100

Şekil 4.32: MEBM-2 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 101

Şekil 4.33: MEBM-3 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 102

Şekil 4.34: MEBM-4 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 103

Şekil 4.35: MEBM-5 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 104

Şekil 4.36: MEBM-6 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 105

Şekil 4.37: MEBM-7 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 106

Şekil 4.38: MEBM-8 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 107

Şekil 4.39: MEBM-9 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 108

Şekil 4.40: MEBM-10 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 109

Şekil 4.41: MEBM-11 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 110

Şekil 4.42: MEBM-12 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 111

Şekil 4.43: MEBM-13 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri 112

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yakıtlara ve Belirlenen Politikalar Senaryosuna Göre Dünya Birincil Enerji Talebi (MTEP)(MMO-Şayende Yılmaz)(IEA) 9

Tablo 2.2: Türkiye Birincil Enerji Arzı İçinde Kaynakların Miktar ve Payları ile 2000-2018 ve 2002-2018 Artışları 11

Tablo 3.1: Hazırlanan Numunelerin Substrat İçerikleri ve Spawn Miktarları 58

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
m	: Kütle
V	: Hacim
g	: Yer Çekimi İvmesi
h	: Ortlama Yükseklik
Θ_{ave}	: Ortalama Yüzey Temas Açısı

Kısaltmalar	Açıklama
TGA	: Termogravimetrik Analiz
DSC	: Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİSELYUM ESASLI KOMPOSTLANABİLİR MALZEMENİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ve UYGULAMA ALANININ ARAŞTIRILMASI

Arda GÜNEŞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Programı

Danışman : Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ

Günümüzde endüstrinin giderek yoğunlaşması ve artan enerji talepleri ile çevresel olumsuz etkilerin giderek sorunlu bir hale dönüşmesi sonucu geri dönüştürülebilir kaynaklara ve malzemelere yönelim günden güne artmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak çok geniş bir uygulama sahasının bulunduğu ve farklı sektörlere çeşitli yöntemlerle bu sistemlerin entegrasyonunun mümkün olduğu teknolojik gelişmelerle ortaya konmaktadır. Bunlardan en ilgi çekenleri arasında geleceğin yenilikçi yaklaşımları olarak yer alan mantarlar bulunmaktadır. Hem organik yapıda bulunmaları hem de miselyum oluşumunda çok etkili olmaları sebebiyle biyobozunurluk katkısı da göz önünde bulundurulduğunda ciddi ilgi gören alternatifler arasında kendine yer edinmektedir.

İstiridye mantarı bu tezde seçilen fungi olarak belirlenmiş ve onun üstüne odunsal tarım atıkları, kağıt, un, kahve, peçete, saman, mısır sapı vb organik substratlarla miselyum oluşumu sağlanarak büyümeye bırakılmıştır. Nemlendirme ve sterilizasyon işlemleri yapıldıktan sonra soğutma işlemleri gerçekleştirilip spawn katıldıktan sonra kalıplama işlemlerine geçilmiştir. Sonrasında nihai ürünlere ısıl ve oksidatif bozunma analizi (TGA) ve yüzey temas açısı

ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ısıl ve oksidatif bozunmanın organik substrat içeriğine ve kullanılan spawn miktarına bağlı olarak 3 ile 5 kademede gerçekleştiği, nihai olarak da her malzeme için farklı miktarlarda bakiye kaldığı gözlenmiştir. Kullanılan spawn miktarının 530-540 ^{o}C'deki bakiye miktarına doğrudan etki ettiği ve artışına bağlı olarak uzaklaşmayan madde kütlesinin yükseldiği tespit edilmiştir. Ortalama temas açıları sonucunda da açı değerlerinin 90^{o}C üzerinde çıkması sebebiyle malzemelerin tümünün hidrofobik özellik gösterdiği ve yüzeyin morfoloji/topografyasına bağlı olarak süreye bağlı değişkenlik sergilediği saptanmıştır. Spawn ilavesi sonrasında komponentler üzerinde mantarın oluşturduğu misel yapının hazırlanan MEBM'ler üzerinde opak tabakalar oluşturduğu ve misel gelişimini sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca kırmızı jüt kullanılan ürünlerde de kırmızı lifimsi yapıların yer aldığı tespit edilmiştir. MEBM-13 ürününün yapısındaki spawn miktarının 2 katı olması olmasına bağlı olarak yüzeyde gelişen misel yapının baskın hale gelen görüntüsü nedeniyle jütten ileri gelen kırmızı lifimsi yapının daha geri planda kaldığı belirlenmiştir. Tez kapmasında gerçekleştirilen DSC analizlerinde MEBM kompozisyonunda çam talaşı, saman, pamuk ve odunsal atık gibi yanma reaksiyonu verebilen komponentlerin belirgin ekzotermik pikler verdiği saptanmıştır. Spawn miktarının yüksek olduğu durumlarda entalpi değişim değerlerinin oldukça düşük olması bu tür MEBM ürünlerinin ısıl izolasyon amacıyla kullanımlarının mümkün olabileceğini düşündürmektedir.

Eylül 2022 , 150 sayfa.

Anahtar kelimeler: Miselyum, Biyobozunur, Kompostlanabilir, İsitirdye Mantarı, Enerji Verimliliği

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION of THE ENERGY EFFICIENCY and APPLICATION AREA of MYCELIUM BASED COMPOSTABLE MATERIAL

Arda GÜNEŞ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Chemical Engineering

Chemical Technologies

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin DELİGÖZ

In today's world, the tendency towards recyclable resources and materials is increasing day by day as a result of the increasing concentration of the industry and the increasing energy demands and the environmental negative effects becoming increasingly problematic. It is demonstrated by technological developments that there is a very wide application area related to this subject and that it is possible to integrate these systems with various methods to different sectors. Among the most interesting of these are mushrooms, which are innovative approaches of the future. Considering the contribution of biodegradability, they are among the alternatives that attract serious attention, since they are both in an organic structure and very effective in the formation of mycelium.

Oyster mushroom was determined as the selected fungi in this thesis and mycelium was formed on top of it with organic substrates such as woody agricultural wastes, paper, flour, coffee, straw, corn stalk etc. and left to grow. After the humidification and sterilization processes were carried out, the cooling processes were carried out and the molding processes were started after

the spawn was added. Afterwards, thermal and oxidative degradation analysis (TGA) and surface contact angle measurements were performed on the final products. As a result of the analyzes carried out, it was observed that the thermal and oxidative degradation took place in 3 to 5 stages depending on the organic substrate content and the amount of spawn used, and finally, different amounts of residue were left for each material. It has been determined that the amount of spawn used has a direct effect on the residual amount at 530-540 ^{o}C and the mass of the substance that does not go away increases depending on its increase. As a result of the average contact angles, it was determined that all of the materials showed hydrophobic properties due to the angle values over 90^{o}C and showed time-dependent variability depending on the morphology / topography of the surface. After the spawn addition, it was observed that the mycelial structure formed by the fungus on the components formed opaque layers on the prepared MEBMs and provided mycelial growth. Also, it was determined that red fibrous structures were found in the products using red jute. Due to the fact that the 20g spawn amount in the structure of MEBM-13 product, it was determined that the red fibrous structure resulting from jute remained in the background due to the dominant appearance of the mycelial structure developing on the surface. In the DSC analyzes, it was determined that components such as pine sawdust, straw, cotton and wood waste, which can give a combustion reaction, gave significant exothermic peaks in the MEBM composition. The fact that the enthalpy change values are quite low in cases where the spawn amount is high suggests that it is possible to use such MEBM products for thermal insulation purposes.

September 2022, 150 pages.

Keywords: Mycelium, Biodegradable, Compostable, Oyster Mushroom, Energy Efficiency

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ölçekte düşünüldüğünde enerjinin ne denli büyük bir ihtiyaç ve ülke ekonomilerinin istikrarını sürdürebilmesinde ne denli önemli bir konuma sahip olduğu bilinmektedir. Enerji ihtiyacının artması ve yetersiz kaynak durumlarından dolayı sürdürülebilir enerjiye yönelim git gide artmaktadır. Alternatif olarak düşünülebilecek ve çeşitli sektörlerin ihtiyaçlarını rahatlıkla karşılayabilecek, maliyeti nispeten fosil yakıtlara göre biraz yüksek yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Bu eksende düşünüldüğünde de söz konusu bu kaynaklar kullanılarak üretilebilecek kimyasal alternatifi birçok malzeme sektörde kendilerine yer bulabilmektedir.

Dünya genelinde çoğu fabrikanın çeşitli bölüm ve üretim kademelerinde, laboratuvar ortamlarında ve küçük tesislerde farklı amaçlarla birçok kimyasal kullanımı görülmektedir. Sektöre daha ucuz üretim yapma veya ürünlerin dayanımı arttırma ile çeşitli modifiyelerle kaliteyi güçlendirme adına ürün içeriklerinde de çeşitli kimyasal kullanımı gözlemlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında istiridye mantarı kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş ve çeşitli tarım atıkları, kağıt, un, gibi substratlar kullanılarak oluşturulmuş içerik ile miselyum halinde büyütülmüş hem endüstriyel tasarım hem de çeşitli paketleme sektörü ürünlerine alternatif oluşturabileceği düşünülen biyobozunur, kompostlanabilir bir malzeme tasarlanmıştır. Sistematik bir yol izlenerek 2-3 haftalık süreçlerde uygun koşullarda üretimi gerçekleştirilen bu ürünler daha sonrasında temas açıları ve TGA analizleri yapılarak alternatiflik düzeyleri ve enerji ihtiyacını karşılamada biyokütle kaynağı olarak kullanılıp kullanılamayacağı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Tez çalışmalarında MEBM-3 ve MEBM-7 kodlu örneklerin ısıl ve oksidatif karşılaştırıldığında kullanılan jüt miktarının iki katına çıkmasıyla 500 ^{o}C üzerindeki bakiye miktarının %6,5'ten %7,4'eyükseldiği ve 5 kademeli bozunmanın 4 kademede gerçekleştiği gözlenmiştir. MEMBM-5 numunesinde de 530 ^{o}C'de bakiye miktarının orijinal ağırlığının yaklaşık ¼'ü kadar olduğu belirlenmiştir ve bu ilginç durumun kullanılan spawn miktarının oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Hazırlanan ürünlerin yüzeylerinin hidrofobik karakter gösterdiği ve özellikle MEBM-1 ve MEBM-4 örnekleri için 130^o üzerinde Θ_{ave} değerlerinin hesaplanmıştır. Benzer şekilde, karşılaştırma amacıyla MEBM-3 ve MEBM-7 örneklerinin Θ_{ave} değerleri incelendiğinde MEBM-3 örneğinin görece daha düşük jüt kullanımına bağlı olarak Θ_{ave} değerinin %10 civarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak damlanın, malzemenin yüzeyine temas ettiği anda birkaç saniye sonrasına kadar yapılan ölçümlerde Θ_{ave} değerlerinin tüm örnekler için düşüş yönünde eğilim gösterdiği belirlenmiş olup bu da beklenen bir durumdur. Bu durum için belirgin bir örnek olarak MEMB-8 kodlu üründe yüzeyin damla ile temasında 109,4^o ±6^o olan Θ_{ave} değerinin 38,7 ±5^o 'ye gerilemesi gösterilebilir. Söz konusu bu belirgin düşüşün yüzeyin gözenekliliğin diğer örneklere göre daha fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Hazırlanan MEBM'ler üzerinde oluşan opak tabakanın spawn ilavesi sonrasında komponentler üzerinde mantarın oluşturduğu misel yapıdan ileri geldiği ve misel gelişiminin sağlandığı düşünülmektedir. Ayrıca kırmızı jüt kullanılan ürünlerde de kırmızı lifimsi yapıların yer aldığı tespit edilmiştir. MEBM-9, MEBM-10, MEBM-11, MEBM-12 ve MEBM-13'e ait stereo optik mikroskop görüntülerinin ortak özelliğinin görece geniş kırmızı lifsi yapının jüt kullanımından kaynaklandığı ve jüt oranın daha yüksek olduğu MEBM-11'de daha belirgin olduğu, buna karşın yine jüt oranının fazla olduğu MEBM-13 ürününün yapısındaki spawn miktarının 2 katı olması nedeniyle yüzeyde gelişen misel yapının baskın gelen görüntüsü nedeniyle daha geri planda kaldığı gözlenmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-12 yapısının kompozisyonunda yer alan tüm komponentleri net olarak görülmekle birlikte saman ve odunsal atıktan oluşan karışım ile jüt yapısının kısmen homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tez kapmasında hazırlanan ürünlerin ısıl geçiş ve entalpi değişimlerini araştırmak amacıyla DSC analizleri gerçekleştirilmiş olup MEBM kompozisyonunda çam talaşı, saman, pamuk ve odunsal atık gibi yanma reaksiyonu verebilen komponentlerin belirgin ekzotermik pikler verdiği saptanmıştır. Buna karşın özellikle mısır ve mısır türevleri içeren MEBM ürünleri herhangi bir ekzotermik veya endotermik davranış göstermediği tespit edilmiştir. Bu ürünler içerisinde en yüksek entalpi değişimini veren örnekler MEBM-1 (-80,4 j/g), MEBM-3 (-81,65 j/g) ve MEBM-7 (-79,2 j/g) olarak dikkat çekmektedir. Bu üç ürünün de 10g spawn miktarına karşı saman, odunsal atık ve çam talaşı gibi yanma reaksiyonu verebilen komponentleri içerdiği belirlenmiştir. Buna karşın saman, odunsal atık, çam talaşı ve jüt gibi enerji içeriğine sahip

MEBM ürünlerde jüt ve spawn miktarlarının belirli bir değerin ötesinde olması durumunda, belirgin oranda düşük entalpi değişimleri belirlenmiştir. Bu durumun ana nedenlerinin 7,5g üzerinde jüt, 20g ve üzerinde spawn kullanılması ile komponentlerin üzerinde gelişen misel yapıların etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. ENERJİ

Enerjinin bugüne kadarki en yaygın tanımı "iş yapma kapasitesi" olarak karşımıza çıkmaktadır ancak bu basit ifadenin tam anlamı, ancak işi mekanik bir çaba olarak düşünmenin ötesine geçtiğinizde netleşmektedir ki o da fiziksel terimlerle, bir kuvvetin uygulanması yoluyla aktarılan enerji olarak ifade edilmektedir. Enerji, tek ve kolayca tanımlanabilen bir varlık değil, daha ziyade on dokuzuncu yüzyıl fizikçileri tarafından çeşitli doğal ve antropojenik (insanlar tarafından oluşturulan) fenomenleri kapsayacak şekilde benimsenen soyut bir kolektif kavramdır olarak karşımıza çıkmaktadır. En sık karşılaşılan biçimleri ısı (termal enerji), hareket (kinetik veya mekanik enerji), ışık (elektromanyetik enerji) ve yakıtların ve gıda maddelerinin kimyasal enerjisidir.

Kinetik enerji, tükenmiş uranyumdan yapılmış ağır tank delici mermilerden tropikal bir yağmur ormanının üzerinde yükselen bulutlara kadar tüm hareketli kütlelerle ilişkili olduğu bilinmektedir. Hareket eden nesnenin kütlesinin (m) yarısı ile hızının (v) karesinin çarpımından oluştuğu için, tezahürlerini algılamak ve büyüklüğünü hesaplamak kolaydır: $Ek = ½mv^2$. Kinetik enerji, nesnenin hızının karesine bağlıdır; hızı iki katına çıkarmak dört kat daha fazla enerji vermekte, üç katına çıkarmak ise dokuz kat daha fazla enerji vermektedir ve bu nedenle yüksek hızda küçük nesneler bile çok tehlikeli olabilmektedir.

Potansiyel enerji, bir kütlenin uzamsal ayarındaki veya konfigürasyonundaki bir değişiklikten kaynaklanmaktadır ve Dünya'nın yerçekimi alanındaki değişen bir konumdan kaynaklanan yerçekimi potansiyel enerjisi her yerde bulunmaktadır. Yükselen su buharı, bir el hareketiyle kaldırılan bir el, yükselen bir kuş veya yükselen bir roket, yukarı kaldırılan her şey bu enerjiyi kazanmaktadır. Türbin kanatlarına düşmek ve elektrik üretmek için bir barajın arkasında depolanan su, yerçekimi potansiyel enerjisini büyük bir ekonomik avantaj için kullanmanın pratik bir örneği olarak düşünülebilmektedir. Dünya elektriğinin yaklaşık yüzde yirmisi bu şekilde üretilmektedir ve bir barajın arkasında depolanan suyun (veya aşınmış bir yamaçta tehlikeli bir şekilde duran bir kayanın) potansiyel enerjisi, basitçe yükseltilmiş kütlenin, yerden

ortalama yüksekliğinin (h) ve yerçekimi sabitinin (g) bir ürünü olarak bilinmektedir. Ep = mgh. Sarılarak gerdirilen yaylar, deformasyonları nedeniyle depolanan ve bobin gevşeyip bir saate veya bir oyuncak oyuncağı çalıştırırken faydalı iş olarak serbest bırakılan elastik potansiyel enerjinin pratik kullanımının yaygın bir örneği olarak yine karşımıza çıkmaktadır. [1]

2.2. ENERJİ KAYNAKLARI

Tüm dünya genelinde büyük ihtiyaç duyulan enerji için farklı kaynaklar bulunmakla birlikte genel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar; sürdürülemez (Yenilenemez) enerji kaynakları ve sürdürülebilir (Yenilenebilir) enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1. Sürdürülemez (Yenilenemez) Enerji Kaynakları

Bilimsel olarak esasen, enerji kaynakları sıralamasında yenilenemez olarak adlandırılan bir enerji kaynağı olmamasına rağmen oluşumu çok uzun zaman alan enerji kaynaklarına yenilenemez enerji adı verilmektedir. Bu kaynakların büyük bölümü fosil yakıtlar ve nükleer enerjiden oluşmakla birlikte, özellikle fosil kaynaklı yakıtların yanmasıyla oluşan enerjinin verimliliği ve fazla enerji vermesi, doğal çevreye ve ekolojiye olan zararları bir hayli fazladır. Aynı şekilde, nükleer enerjinin de kontrolsüz kullanılması nedeniyle de geri dönüşü olmayan ve etkisi uzunca yıllar devam edeceği düşünülen etkiler canlı ve çevre habitatına potansiyel büyük bir tehlike oluşturmaktadır.

İlk çağlardan beri sosyoekonomik ilerlemenin temel unsurlarından olan enerji günümüzde hemen hemen bütün alanlarla iç içedir ve farklı bir unsur olarak gösterilmesi mümkün değildir. Enerji ihtiyacının sosyal statü ve konumla aynı çizgide olduğu gerçeği göz önünde tutulduğunda ekonomik ilerleme bakımından makul meblağda, sürekli ve sürdürülebilir enerji temini bir hayli üstünde durulması gereken bir konudur ve enerji kaynakları git gide daha kritik bir önem kazanmaktadır. Çağımızda alternatif kaynaklara yönelme git gide artmasına karşın mevcut durumda enerji ihtiyacının fazla payı petrol, doğal gaz ve kömür vb geleneksel fosil yakıtlar kullanılarak bu enerji ihtiyacı giderilmektedir. Son zamanlarda sürdürülebilir enerji sahasındaki yatırımlar büyük ölçekte yükselmesi görünüyor olsa da enerji piyasalarındaki başı çeken mevcut fosil kaynaklar kullanımındaki yönelimin ağırlığı halen büyük bir paya sahip

olarak karşımız çıkmaktadır. Fosil yakıtların birçok çevre endişelerinden dolayı ağır eleştirilere tabi tutulsa da gelecek tahminlerinde bu kaynakların küresel enerji piyasalarındaki yerini ve büyüklüğünü önümüzdeki otuz, kırk yıl boyu sürdürmeye başaracaktır. Sürdürülemez enerji kaynakları hakkında genel bilgi verilecek olursa;

2.2.1.1. Fosil Yakıtlar

Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar en çok termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Günlük hayatta kullandığımız benzin, mazot, LPG, plastik, naftalin, boya, teflon gibi birçok organik yapılı madde petrol kaynaklıdır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi binlerce yılda oluşmuş fosil yakıtlar insanlığın gelişmesi ile hızla azalırken bu yakıtların atıkları hava su ve toprak kirliliğine yol açmaktadır. Fosil yakıtlardaki karbon, yanma tepkimeleri ile atmosferde CO_2 ve CO bileşiklerinin birikmesine neden olmakta ve bu gazların havada çok fazla birikmesi sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olması açısından oldukça tehlikeli görülmektedir.

2.1.1.1.1.1 Kömür

Kömür; habitat ve insan sağlığı hususlarında olumsuzluklara yol açmasına karşın rezerv potansiyeli yüksekliği, üretim maliyetlerinin diğer fosil yakıtlara göre düşüklüğü ve kullanım kolaylığı sebebiyle tercihi çok makul olan bir enerji karşılayıcısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Katı fosil yakıtlar sınıfındaki kömürün dünya genelinde yaygın bir şekilde bulunması söz konusu enerji kaynağının önemini arttırmaktadır. Petrol ve doğal gaza göre rezerv potansiyelinin daha yüksek miktarda olması sebebiyle kömür, enerji piyasalarında öne çıkmaktadır.

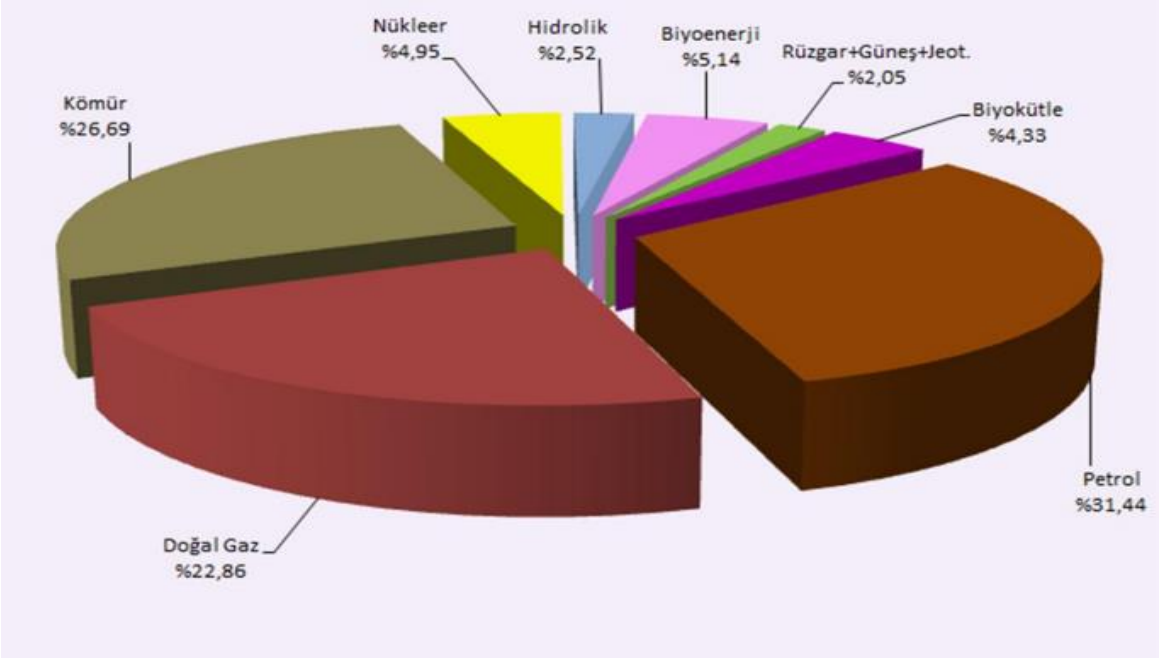
Türkiye gibi fosil yakıt kullanımı bakımından fazla miktarda dışa bağımlılığı bulunan ülkelerin enerji arz güvenliği açısından kömürün oldukça kritik bir görevi vardır ve bu nedenle yerli kömür politikaları ile stratejileri uygulanmaya çalışılmaktadır. Türkiye'de Milli Enerji ve Maden Politikası konusunda yerli kömüre teşvik için özellikle son zamanlarda yoğun çalışmalar yapılmaktadır ve bu bağlamda yerli kömür bulma uygulamaları, enerjiyi üretmede yerli kömür kullanım payı artırma ve ithal kömür düzenlemeleri konuları ciddi oranda ele alınmaktadır.

Enerji harcamaları Türkiye'nin kendi adına ilgilenmesi gereken bir hayli önemli bir sorun olarak görülmektedir ve mevcudiyetini korumaktadır. Bundan dolayı Türkiye'nin enerji konusundaki dışa bağımlılığını değiştirmesi için yerli kaynak potansiyellerine yönelmesi gerekmektedir. Bir başka bakış açısı ile de kömürün yol açtığı çevresel zararları minimum düzeye indirmek adına teknolojik yatırımlara ihtiyaç duyulmaktadır ve böylelikle yerli kömür kullanımı yaygınlaşmış olacak ve Türkiye'nin de bu konudaki sorunları giderilme yolunda önemli bir adım olacaktır.[1]

Kömürün bileşiminde başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bulunduğu yanabilen "sedimanter" organik bir kaya çeşidi olarak tanımlamak mümkündür.[2] Doğada birden fazla kömür çeşidi bulunmakta olup bunlar başlıca linyit, taş kömürü, kok kömürü, odun kömürü, grafit, turba ve antrasit olarak sıralanabilmektedir. Kömürün organik bakımdan olgunluk ve kalite açısından yüksek karbon (enerji) içermesi ve düşük neme sahip olması değerli bir unsur olup karbon içeriği kömürün kalite ve enerji üretim miktarı hususlarında onun hakkında bilgi vermektedir. Kömür cinsleri içerikleri bakımından karbon miktarı yüzde 60 ve daha az ise "turba", yüzde 70 civarında ise "linyit", yüzde 80-90 arasında ise "taş kömürü" ve yüzde 90'dan fazla ise "antrasit" olarak sınıflandırılmaktadır.[3] Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda kömür çeşitleri içinde en fazla enerji yoğunluğu olan kömür çeşidi antrasit olarak karşımıza çıkmakta ve bu kaynak "ısıl değeri" açısından 7 bin 300-8 bin kcal/kg ile daha çok sanayi ve demir-çelik endüstrisinde tercih edilmektedir. İkinci sırada ısıl değeri 4 bin 500-7 bin 500 kcal/kg arasında olan taş kömürü bulunmakta ve dünya bir hayli yoğun bulunan bir kömür çeşidi olması nedeniyle taş kömürü kendine katı yakıtlar içerisinde bir hayli mühim bir yer edinmektedir. Bir diğer kömür çeşidi ise linyittir, toplam dünya kömür rezervinin hemen hemen üçte birine tekabül etmesine rağmen hem düşük kalorifik değeri hem de içeriğinde fazlaca kül ve nem bulundurmasından dolayı ağır sanayide pek tercih edilmemektedir. Yerine elektrik üretiminde yani termik santrallerde daha çok kullanılmaktadır. Kahverengi kömür olarak da bilinen linyitin ısıl değeri 5 bin 700 kcal/kg seviyesinin altında yer bulmaktadır. Son olarak turba ise yakın zamanda oluşumunu tamamlayan kömür çeşitleri arasında yer almaktadır. Ortalama 2 bin 600 kcal/kg seviyesinin altında bir ısıl değere sahip olan turbaya daha çok nemli bölgelerde rastlanmaktadır.[4] Söz konusu olan bütün ısıl değerler uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak hazırlanmasına karşın bölgeden bölgeye veya ülkeden ülkeye farklılık olabilmektedir. Örneğin Türkiye'de yaklaşık 6 bin 500 kcal/kg kalorifik değerinde olan taş kömürü İtalya, Japonya ve Norveç gibi ülkelerde 7 bin kcal/kg seviyesinin üzerine çıkmaktadır.[5] Öte yandan linyitin Türkiye'deki ısıl değeri ortalama 2 bin 800 kcal/kg değerine

tekabül ederken Danimarka, Kanada ve Yeni Zelanda'da ülkelerine bakıldığında 4 bin kcal/ kg düzeyinin üstlerine çıkmaktadır.

Kömürün dünya çapında yaygın ve yüksek oranda yer alması ve bu enerji kaynağının global piyasalar bakımından değerini fazlalaştırmaktadır. Ülkelerin enerji arz güvenliklerini temin etmeleri için kömür kullanımına ve adı geçen kaynağın ekonomik açıdan uygun olması kömürün dünya çapında üretim ve tüketim oranlarını arttırmaktadır. Küresel birincil enerji arzı yaklaşık 4501 milyon ton eş değer petroldür (MTEP).[6] Söz konusu üretimin yüzde 31,44'ü petrolle yapılırken ikinci sırayı yüzde 26,69 ile kömür almaktadır. Şekil 2.1'de 2018 yılında kayda alınmış dünya birincil enerji arzında kaynakların payı pasta dilimi şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2.1: 2018 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı

Başka bir ifadeyle küresel ölçekli total enerji arzının çeyreğinden fazlası kömür kullanılarak halledilmektedir. Bu oran kömürün küresel enerji piyasalarında önemini göstermektedir.

Kömür petrol ve doğal gaza nazaran daha yüksek miktarda bulunması sebebiyle kullanım olarak yaygınlığı da ona istinaden daha fazla olup diğer fosil yakıt kaynak çeşitlerine göre üretim ekonomisi de yüksek olmadığı için kömürü global tüketimde ön plana almaktadır. Özellikle Kuzey Amerika, Rusya, Çin ve Avustralya bölgelerinde yoğun rezerv potansiyelinin yanı sıra

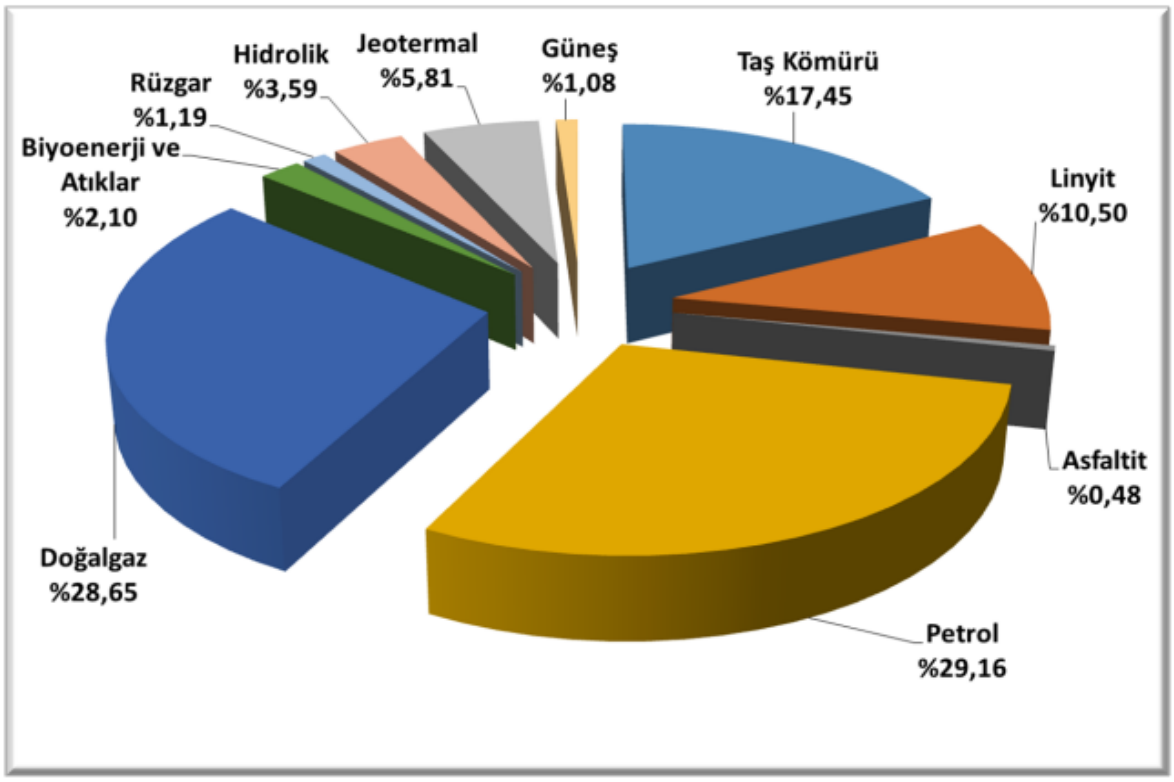
Avrupa ve Güney Afrika'da da yaygın bir şekilde bulunmaktadır. [7] Dünya genelindeki kömür rezervlerinin yaklaşık yüzde 35'inin Avrupa-Avrasya bölgesinde, yüzde 32'sinin Asya-Pasifik ülkelerinde, yüzde 28'inin Kuzey Amerika'da, yüzde 3,5'inin Afrika-Doğu Akdeniz bölgesinde ve yüzde 1,5'inin Orta-Güney Amerika ülkelerinde olduğu belirtilmektedir.[8] Tablo 2.1'de fosil yakıtların dünya enerji arzındaki payları Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2019 çalışması verilerine göre gösterilmektedir.

Tablo 2.1: Yakıtlara ve Belirlenen Politikalar Senaryosuna Göre Dünya Birincil Enerji Talebi (MTEP)(MMO-Şayende Yılmaz)(IEA)

Yakıt Türü	2000	2018	2030	2040
Kömür	2.317	3.821	3.848	3.779
Petrol	3.665	4.501	4.872	4.921
Doğal Gaz	2.083	3.273	3.889	4.445
Nükleer	675	709	801	906
Hidrolik	225	361	452	524
Biyoenerji	374	737	1.058	1.282
Rüz.+Gün.+Jeoter.	60	293	777	1.320
Biyokütle	638	620	613	546
TOPLAM	10.037	14.314	16.311	17.723
Fosil Yakıt Oranı	%80	%81	%77	%74

Türkiye'de tüketilen petrol, doğal gaz ve kömür vb enerji kaynakları yüksek miktarda ithal edilerek kullanılmaktadır. Türkiye'nin dışa bağımlılığı 1980'lerin sonlarından günümüze dek analiz edildiğinde kömürün Türkiye için önemini halen yitirmediği ve Türkiye'nin enerji üretim kaynaklarını oluşturan en mühim unsurlardan biri olarak belirtilmektedir. Türkiye, enerji kaynağı kullanımında dışa bağımlılığında doğal gaz, taş kömürü ve petrol öne çıkmaktadır. Doğal gazın neredeyse tamamını dışarıdan alan konumundayken taş kömürü ve petrol ürünlerinde de bu oran bir hayli fazladır. Taş kömüründe dışa bağımlı olma yüzdesi 95 düzeylerindedir. Enerji kaynakları bakımından dışa bağımlılık bu şekildeyken Türkiye'nin elektrik enerjisi gücünün kaynak bazlı dağılımı genel durumu daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. 2000-2018 yılları arasındaki son 18 yılda Türkiye toplam enerji arzı, 64.238 bin TEP ile %81 artarken, petrol 8.282 bin TEP ile %25; kömür 18.003 bin TEP ile %78; doğal gaz 28.725 bin TEP ile %231; hidrolik 2.499 bin TEP ile % 94; jeotermal, güneş, rüzgar 10.631 bin TEP ile % 1090 artmış; biyoenerji, odun, çöp ve atıklar toplamı ise % 53 azalmıştır, 2002-2018 yılları arasında Türkiye toplam enerji arzı içinde kaynakların paylarında, petrolün payı % 13, biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı % 5,7 azalırken; kömürün payı % 2,8, doğal gazın payı % 9,8, jeotermal, güneş, rüzgârın payı % 6,6 artmıştır. Diğer taraftan, 1990-2018 yılları arasında

2,7 kat artan Türkiye toplam enerji arzı içinde kömürün payı %30'dan %28,5'a; petrolün payı %46 dan %29'a; biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı %14'ten %2,1'e düşerken; doğal gazın payı %5'ten %28,7'e; jeotermal, güneş, rüzgârın payı %1'den % 8,1'e çıkmıştır.[9]. Şekil 2.2'de 2018 yılı verilerine göre Türkiye'de enerji kaynakları dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.2: 2018 Yılı Türkiye Birincil Enerji Arzında Kaynakların Miktar ve Payları

Tablo 2.2'de Türkiye birincil enerji arzlarında kaynak miktarları ve payları gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Türkiye Birincil Enerji Arzı İçinde Kaynakların Miktar ve Payları ile 2000-2018 ve 2002-2018 Artışları

KAYNAKLAR	1990		2000		2002		2010		2015		2018		2002-2018 Artışı		2000-2018 Artışı	
	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz (Bin tep)	T.E.Arzı İçinde payı (%)	Arz Miktarı Değişimi (%)	T. E. Arzı İçindeki Payın Değişimi (%)	Arz Miktarı Değişimi (%)	T. E. Arzı İçindeki Payın Değişimi (%)
Kömür	15.857	30,2	22.972	28,9	19.801	25,7	30.969	29,2	34.671	26,8	40.975	28,5	106,9	2,8	78,4	-0,4
Petrol	24.192	46,1	33.631	42,3	32.392	42,0	31.937	30,2	39.238	30,4	41.913	29,2	29,4	-12,9	24,6	-13,2
Doğal Gaz	2.820	5,4	12.446	15,7	14.598	18,9	31.456	29,7	39.651	30,7	41.171	28,7	182,0	9,7	230,8	13,0
Hidrolik	1.991	3,8	2.656	3,3	2.897	3,8	4.454	4,2	5.775	4,5	5.155	3,6	77,9	-0,2	94,1	0,2
Biyoenerji, Odun, Çöp ve Atıklar	7.208	13,7	6.457	8,1	5.974	7,8	4.489	4,2	2.964	2,3	3.014	2,1	-49,5	-5,7	-53,3	-6,0
Jeotermal, Güneş, Rüzgar	398	0,8	975	1,2	1.142	1,5	2.581	2,4	6.635	5,1	11.606	8,1	916,3	6,6	1.090,4	6,9
Stok Kullanımı	-	0,0	291	0,4	271	0,4	2	0,0	264	0,2	-168	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
TOPLAM ENERJİ ARZI	52.466	0,0	79.428	0,0	77.075	0,0	105.888	0,0	129.198	0,0	143.666	0,0	86,4	---	80,9	---

2.1.1.1.1.2 Petrol

Petrol, hidrokarbonların meydana getirdiği, yoğunluğu sudan fazla, koyu renkli, arıtılmamış, kendisine has bir koku içeren, yer altından çıkarılmış doğal olarak yanma özelliğine sahip mineral yağına verilen isimdir. Petrol kimyasında sıklıkla bulunan hidrokarbonlar alkan yapısında olup bunlar bazen dallı veya lineer hidrokarbonlar olarak da literatürde kendilerine yer bulmaktadırlar. Kalan kimyasal bileşiğin önemli bir yüzdesi aromatik hidrokarbonlardan ve sikloalkanlardan oluşmaktadır. Ek olarak petrol kimyası, asfaltenler gibi birkaç daha karmaşık hidrokarbonları da içerebilmektedir. Coğrafi konum ve buna bağlı olarak petrol sahasındaki farklılıklar nedeniyle farklı molekül kombinasyonlarına sahip bir ham petrol içermektedir, bu doğrudan petrol kimyasının renklenmesini ve viskozitesini etkilemektedir.[10]

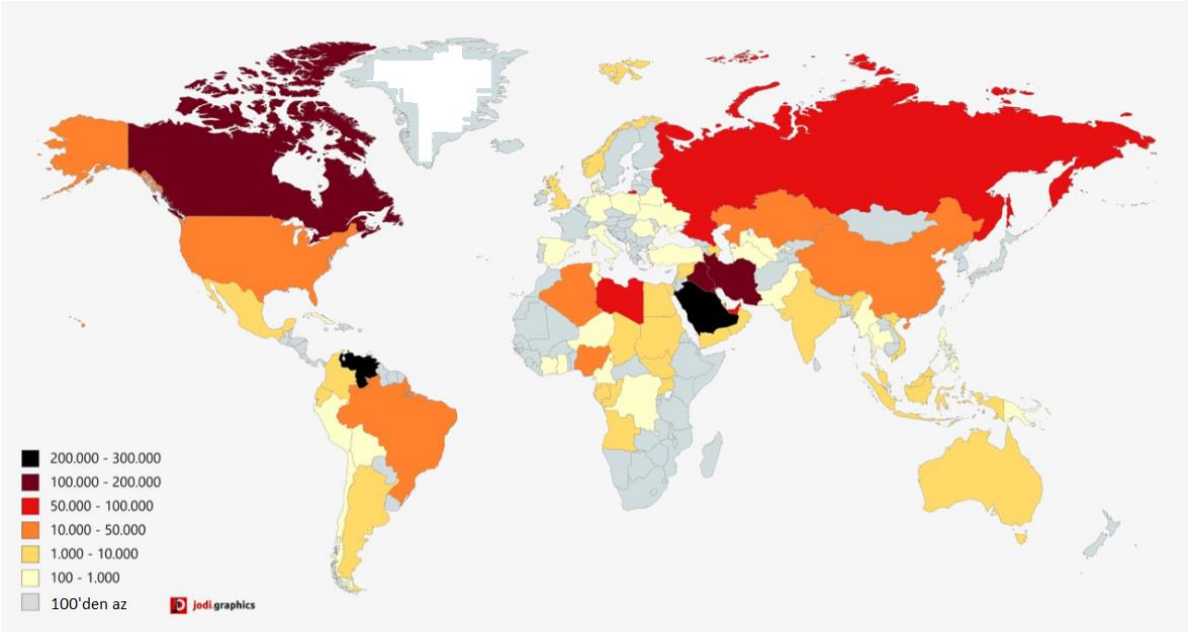
Dünyada petrol endüstrisi, ham petrol üretimi ve işlenmesine (rafinasyonuna) dayanmaktadır ve petrol bulunma ihtimali olan yerlerde önce arama, petrol bulunması durumunda sondajla üretim yapılmaktadır. Rafine edilerek elde edilen petrol ürünleri (benzin, motorin, gazyağı, jet yakıtı, LPG vb.) dağıtım şirketleri aracılığıyla ilgili tüketicilere ulaştırılmaktadır ve bu nedenle dünya petrol endüstrisi arama-üretim, taşıma, işleme (rafinaj) ve pazarlama alanlarında faaliyet gösteren ulusal ve çok uluslu işletmelerden oluşan entegre bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır.

2020 verilerine göre dünyanın birincil enerji ihtiyacında en büyük paya sahip olan petrol, dünya enerji tüketiminin %31,2'sini ve doğal gazın ise %24,7'sini karşılamaktadır. Ayrıca dünyada ham petrolün üretildiği bölgelerin kanıtlanmış toplam rezervleri 244.5 trilyon ton, yıllık üretim ise 4165.2 milyon tona ulaşmış durumda olarak belirlenmektedir. Dünyanın en büyük petrol rezervlerine ve en yüksek üretime sahip Ortadoğu bölgesidir ve bu bölgedeki rezerv 113,2 trilyon ton olup, dünya rezervlerinin %48,3'ünü oluşturmaktadır. Bu bölgede yıllık üretim 1297.3 milyon ton olup, dünya üretiminin %31,1'i karşılanmaktadır.

Dünyada petrol tüketimi bölge ülkelerinin nüfus ve gelişmişlik düzeyi ile ilgili olup, gelişmiş ülkelerdeki tüketim açığı ithalat ve rafinaj kapasitesi ile karşılanmaktadır. 2020 yılında petrol tüketiminde 1.657,3 milyon ton (%37,3) ile büyük nüfusa sahip Asya-Pasifik ülkeleri ilk sırada yer alırken, Kuzey Amerika ülkeleri 1.019,5 milyon ton (%22,9) ile ikinci sırada ve Avrupa ülkeleri 703.2 milyon ton (%15.8) ile üçüncü sırada yer almaktadır.

Yıllar içinde artan ihtiyacı karşılamak için dünyada ham petrol rafinaj miktarında sürekli bir artış gözlenmektedir. 1973 ve 1979 dünya petrol krizleri nedeniyle talep azalması olmasına rağmen, 1980 yılından itibaren bu alanda büyük yatırımlar yapılmaktadır ve rafinaj sektöründe kapasite artarken, özellikle Avrupa Birliği ve diğer gelişmiş ülkelerde yapılan yatırımlarla ileri teknolojiler ile Avrupa Birliği standartlarında üretim yapılabilmektedir. Buna paralel olarak rafinasyon sektörü de giderek büyüyerek 2010 yılında 93.871 milyon varil/gün kapasiteden 2020 yılında 101.947 milyon varil/gün kapasiteye ulaşmış olduğu belirlenmiştir. Dünyanın yedi petrol bölgesindeki rafineriler Ham petrol işleme kapasitesinin %35,8'i Asya Pasifik'te, %21.4'ü Kuzey Amerika'da, %15,3'ü Avrupa'da, %10,0'ı Orta Doğu'da, %8,2'si Bağımsız Devletler Topluluğu'nda (BDT) ve %3,3'ü Afrika bölgesindedir.[11]

Şekil 2.3’te dünya petrol rezervlerinde ülkelere göre dağılım gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Ülkelere Göre Kanıtlanmış Dünya Petrol Rezervleri (2020)

Türkiye'de yapılan ileri araştırmalar sonucunda, 1940 yılında Batman'ın Raman Dağı bölgesinde ilk verimli petrol sahası bulunmuştur ve bölgede yapılan ısrarlı çalışmalar sonucunda artık Türkiye'de petrolün varlığı kanıtlanmıştır.

Türkiye'nin büyük ölçüde ihtiyaç duyduğu enerji kaynakları arasında yer alan petrol ve doğalgazın başta yerli ve yabancı kaynaklardan sağlanması amacıyla arama faaliyetleri yürütülmektedir. TPAO, ülkede petrol ve doğalgaz varlığının tespit edildiği kara ve deniz havzalarında arama ve sondaj faaliyetlerini sürdürürken, özel ve yabancı sermayeli kuruluşlarla arama ve üretim projeleri de yürütmektedir.

Yıldan yıla değişen toplam yurt içi ham petrol üretimi ise 2020 yıl sonu itibarıyla 22,5 milyon varil olarak gerçekleşmiş olup, bunun 16,6 milyon varili TPAO tarafından üretilmiştir. Türkiye'de ham petrol üretim alanları sınırlı ve dağınıktır. Ülkemizde işlenen ve tüketilen ham petrol ihtiyacının sadece %7'si yerli üretim ile sağlanmaktadır.

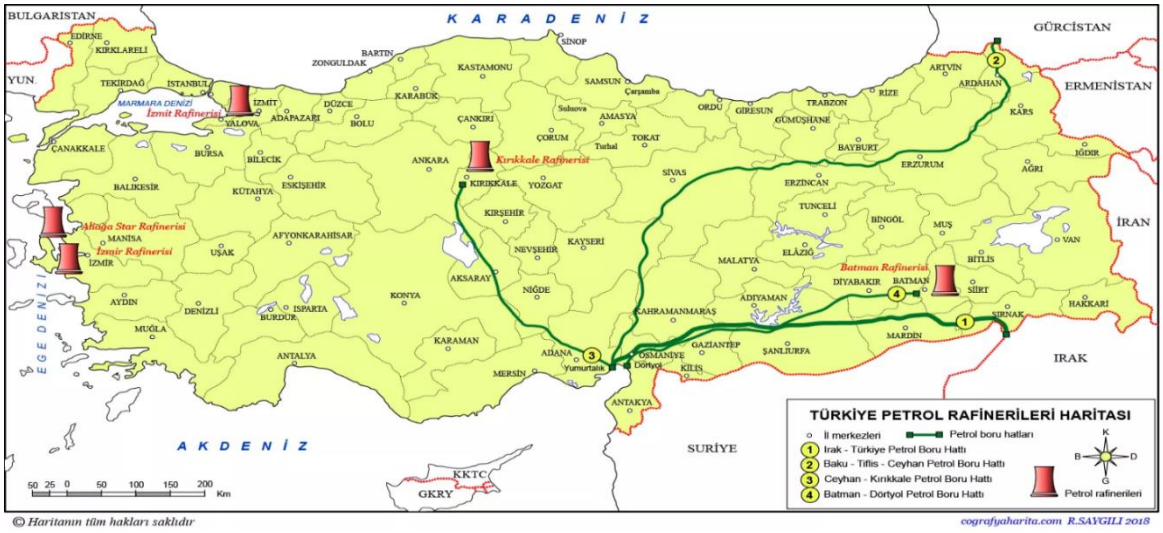
Türkiye'de ham petrol işleme (rafinaj) işletmesi 1942 yılında kurulan Raman Test Rafinerisi'nde başlamış ve üç yıl sonra 1945 yılında Batman'da kurulan Pilot Rafinerisi faaliyete

geçene kadar hizmet vermiştir. 1955 yılında deneme çalışmalarına başlayan Batman Rafinerisi, 1956 yılından bu yana 330.000 ton/yıl petrol işleme kapasitesi ile faaliyet göstermektedir ve bu rafinerinin ham petrol işleme kapasitesi genişletilerek 1,4 milyon/yıl'a ulaşmıştır.
Türkiye'de yıllar içinde artan petrol ürünleri talebini karşılamak amacıyla 1972 yılında faaliyete geçen İzmir Aliağa Rafinerisi, 3 milyon ton/yıl ham petrol işleme kapasitesi ile üretime başlamıştır. Rafineri kapasitesinin zamanla artması sonucunda ham petrol işleme kapasitesi 11,9 milyon ton/yıla ulaşmıştır.

Kırıkkale Rafinerisi, Türkiye'nin en yeni ve üçüncü büyük rafinerisidir. 1986 yılında 5.0 milyon ton/yıl ham petrol işleme kapasitesi ile faaliyetlerine başlamıştır ve Kırıkkale Rafinerisi halen 5,4 milyon ton/yıl Ham petrol işlemektedir. Rafinerinin ham petrol tedariği, Ceyhan-Kırıkkale boru hattı ile BOTAŞ'ın Ceyhan Terminali'nden sağlanmaktadır.

1983 yılında kamuya ait İzmit Petrol Rafinerisi (İPRAŞ), Batman, İzmir Aliağa ve Kırıkkale rafinerileri, Kamu İktisadi Teşebbüslerinin (KİT) daha verimli çalışması için yapılan düzenlemelerle Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ) adı altında toplanmıştır. TÜPRAŞ 2005 yılında özelleştirilmiştir. TÜPRAŞ rafinerileri, yerli üretim kaynaklarının yanı sıra ithalat yoluyla da üretici ülkelerden ham petrol tedarik etmektedir ve ülkemizin ham petrol ithalatının her yıl arttığı ve yerli üretimin yeterli olmadığı bir gerçektir.

Türkiye'de ham petrolün işlenmesi ve petrol ürünlerinin üretimi ağırlıklı olarak TÜPRAŞ'a ait rafinerilerde gerçekleştirilmektedir ve TÜPRAŞ'ın toplam ham petrol işleme kapasitesi 2020 yılı verilerine göre 30,0 milyon ton/yıl olup, Avrupa'nın yedinci büyük rafineri şirketidir. Şekil 2.4'te Türkiye'nin petrol rafinerisi haritası gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Türkiye Petrol Rafinerileri Haritası (2018)

2.1.1.1.1.3 Doğalgaz

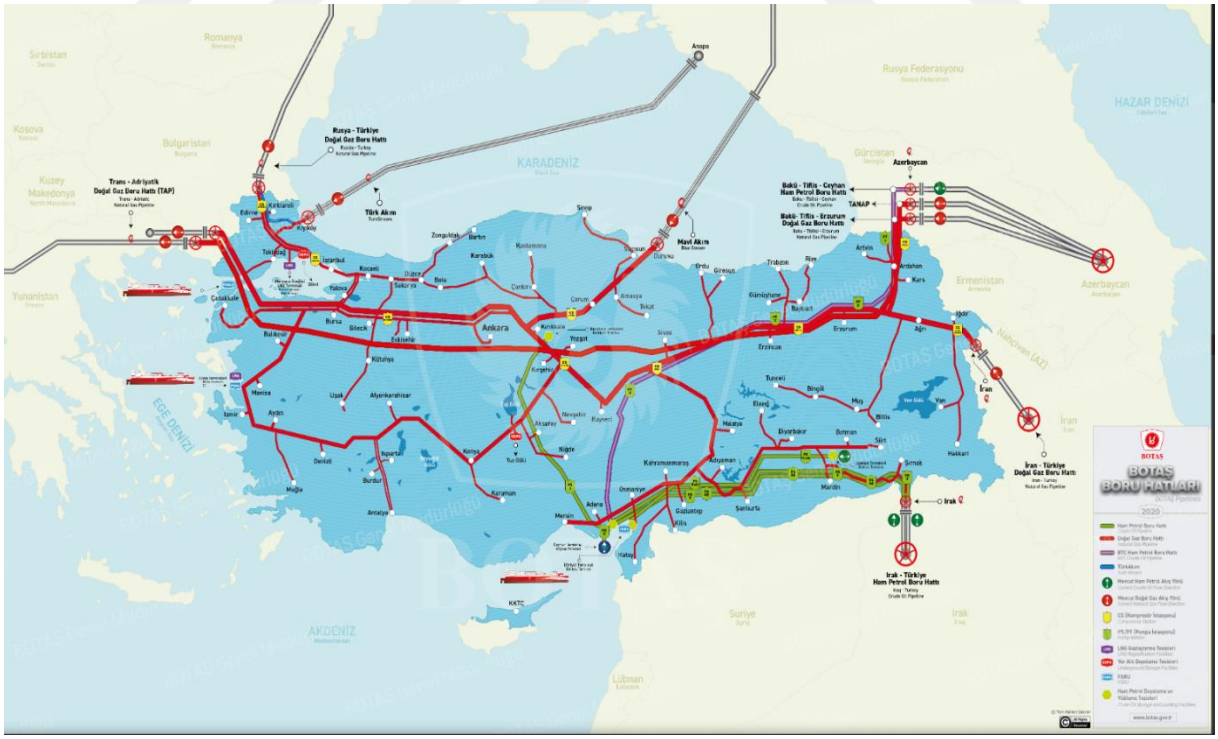
Doğal gaz, dünya yüzeyinin derinliklerinde oluşan bir fosil enerji kaynağı olarak bilinmekte ve birden fazla farklı bileşik içermektedir. Doğal gazın en büyük bileşeni, bir karbon atomu ve dört hidrojen atomu (CH_4) olan bir bileşik olan metan olup daha az miktarda doğal gaz sıvıları (aynı zamanda hidrokarbon gaz sıvıları olan NGL'ler) ve karbon dioksit ve su buharı gibi hidrokarbon olmayan gazlar da içermektedir.[13]

Küresel enerji talebi arttıkça, doğal gaz artık enerji arzında önemli bir stratejik rol oynamakta ve gazı taşımak, depolamak petrolden daha zor olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğal gaz, tüm hidrokarbon enerji kaynakları arasında en temiz ve hidrojence en zengin olanı olarak bilinmekte ve enerji üretimi için yüksek enerji dönüşüm verimliliğine sahiptir. Bazı kaynaklar 2020 ile 2030 arasında doğal gazın ana yakıt olarak petrolü geçebileceğine dahi öngörmektedir. Bugün dünya enerji talebinin yaklaşık %23'ünü oluşturan doğal gaza doğru köklü bir dönüş olmakta ve artan gaz tüketimini sağlamak için altyapıya hem talep hem de arz tarafında büyük sermaye yatırımları yapılmaktadır. Pek çok yeni LNG tesisi, çeşitlendirilen ve giderek daha esnek hale gelen tedarik zincirleri inşa edilmeye devam etmektedir.

Karbon emisyonlarının maliyeti dünya çapında daha büyük bir etkiye sahip olduğundan, gazın önümüzdeki on yılda elektrik üretim pazarındaki payını önemli ölçüde artırma potansiyeli mevcudiyetini korumaktadır. Doğal gazın gerek doğrudan gerekse sektöre elektrik vererek ulaşıma sağlayacağı potansiyel katkı açısından hızlı bir büyüme fırsatı bulunmaktadır.

Halihazırda mevcut teknolojiler, büyük miktarlarda ticari olarak en uygun hidrojen kaynağının doğal gaz, özellikle de sentez gazı (yani karbon monoksit ve hidrojen) veren reform süreçleri yoluyla metan olduğunu belirtmektedir. Mevcut teknolojiler, yatırımlar ve tüketim eğilimleri, doğal gazın dünya çapındaki bir dönüşümün merkezinde yer alacağını ve ısıtma, petrokimya hammaddeleri ve ulaşım yakıtları gibi çeşitli sektörlerde kendine daha çok yer bulacağının sinyallerini vermektedir.[14]

Rusya ülkelere göre doğalgaz rezervi bakımından 2019 rezervinde 50.279 milyar m^3 ile %24,38'lik payla 1. sırada; İran 33.988 milyar m^3 ile %16,48'lik payla 2.sırada; Katar 23.831 milyar m^3 ile %11,56'lık payla 3.sırada; ABD 14.254 milyar m^3 ile %6,91'lik payla 4.sırada; Türkmenistan 12.177 milyar m^3 ile %5,91'lik payla 5.sırada; Suudi Arabistan 9.423 milyar m^3 ile %4,57'lik payla 6.sırada; Birleşik Arap Emirlikleri 6.091 milyar m^3 ile %2,95'lik payla 7.sırada; Nijerya 5.761 milyar m^3 ile %2,79'luk payla 8.sırada; Venezuela 5.674 milyar m^3 ile %2,75'lik payla 9.sırada; Cezayir 4.504 milyar m^3 ile %2,18'lik payla 10. Sırada bulunmaktadır. Türkiye ise 323 milyar m^3 ve %0,16'lık payla 32 sırada yer almaktadır (OPEC 2019). Şekil 2.5'teki haritada Türkiye'deki doğal gaz boru hatları gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Türkiye Doğal Gaz Boru Hatları Haritası (BOTAŞ)

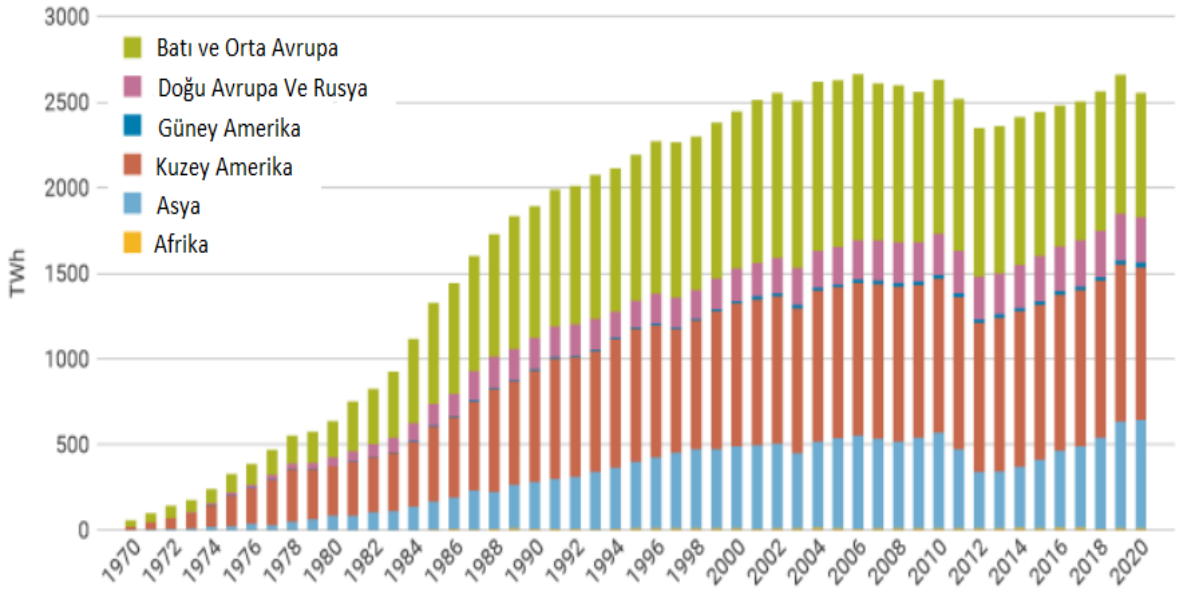
2.2.1.2. Nükleer Enerji

Nükleer enerji, bazı ülkelerde yüksek petrol fiyatları ile baş etmek ve enerji ihtiyacında dışa bağımlılığı azaltmak için alternatif bir kaynak olarak görülmektedir. Nükleer enerji maliyetleri, yakıt fiyatları üretimindeki değişikliklere kömür veya gazla çalışanlardan daha az duyarlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca nükleer enerji, uzun vadede enerji ve çevre stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Nükleer enerji, enerji talebindeki büyümenin hızlı olduğu, petrol ve gaz kanıtlanmış rezervlerinin birkaç nesil içinde tükenmesinin muhtemel olduğu, alternatif kaynakların kıt olduğu, enerji arz güvenliğinin öncelikli olduğu ve enerji arz güvenliğinin öncelikli olduğu dünyanın bazı bölgelerinde küresel enerji ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Hava kirliliği ve sera gazı emisyonları sorunları nükleer enerji için olumsuz bir özellik olsa da uzun vadeli kalkınma ve çevre stratejilerinde kilit bir rol oynamaktadır.
Nükleer enerji tüketimi, CO_2 emisyonları ile ekonomik gelişme arasındaki ilişki son dönemlerde ciddi oranda tartışılmakta olup nükleer enerji kullanımı ile ekonomik büyüme arasında, CO_2 emisyonları ile ekonomik büyüme arasında ve yenilenebilir enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut elektrik üretimi büyük ölçüde fosil yakıtlara dayandığından, nükleer enerjiye ve yenilenebilir enerjiye dayalı üretim teknolojilerinin genişletilmesinin gelecekteki sera gazı emisyonları emisyonlarını önemli ölçüde azaltması beklenmektedir.

Nükleer enerjiye olan küresel ilgi, CO_2 ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik imzalanmış Kyoto anlaşmasından bu yana artan enerji ihtiyacını karşılamada aranacak çözümler adına aciliyetini halen korumaktadır. Ayrıca, serbest karbonlu enerji kaynaklarının küresel ısınmayla yüzleşmek ve küresel enerji güvenliğini sağlamak için ana çözüm olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir.[20]

Nükleer enerji santralleri dünya çapında 32 ülkede faaliyet göstermektedir. Aslında, bölgesel iletim şebekeleri aracılığıyla, daha birçok ülke kısmen nükleer enerjiden üretilen güce bağımlı olarak mevcut enerji ihtiyacı karşılamasını sürdürmektedir. Dünya elektriğinin yaklaşık %10'u yaklaşık 440 nükleer güç reaktörü tarafından üretilmektedir. Mevcut kapasitenin yaklaşık %15'ine eşdeğer yaklaşık 55 reaktör daha yapım aşamasında bulunaktadır. 2020'de nükleer

santraller, 2019'daki 2657 TWh'den 2553 TWh elektrik sağlamış ve 2020'den önce nükleer enerjiden elektrik üretiminin art arda yedi yıl boyunca artış gösterdiği gözlemlenmektedir. 2020'de 13 ülke elektriğinin en az dörtte birini nükleerden üretmiş olduğu bilinmektedir ve Fransa elektriğinin yaklaşık dörtte üçünü nükleer enerjiden, Slovakya ve Ukrayna yarısından fazlasını nükleerden alırken, Macaristan, Belçika, Slovenya, Bulgaristan, Finlandiya ve Çek Cumhuriyeti üçte bir veya daha fazlasını elde etmektedir. Güney Kore normalde elektriğinin %30'dan fazlasını nükleerden alırken, ABD, İngiltere, İspanya, Romanya ve Rusya'da elektriğin yaklaşık beşte biri nükleerden karşılanmaktayken Japonya ise elektriğinin dörtte birinden fazlası için nükleer güçten yararlanmaktaydı ve bu seviyeye yakın bir yere geri dönmesi yakın bir zaman içerisinde beklenmektedir.[21] Şekil 2.6'da yıllara göre dünyada nükleer enerjiden üretilen elektrik enerjisi gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Dünya Nükleer Enerjiden Elektrik Üretimi (WNA, IAEA PRIS)

1970'de 300 MWe'lik bir santralle ilgili bir fizibilite çalışması, 1973'te elektrik otoritesi 80 MWe'lik bir gösteri tesisi kurmaya karar vermiştir ancak yürürlüğe sokmamıştır. 1976'da doğu Akdeniz kıyısında Mersin limanı yakınlarındaki Akkuyu sahasına nükleer santral ruhsatı verilmiş ve 1980'de birkaç fabrika inşa etme girişimi, hükümetin mali garantisinin olmaması nedeniyle başarısız olduğu bilinmektedir.

Kasım 2013'te IAEA, ülkenin yeni nükleer enerji programına hazırlanmada kaydettiği ilerlemeyi değerlendirmek için Türkiye'de entegre bir nükleer altyapı incelemesi (INIR)

gerçekleştirerek olumlu rapor verdiği, ancak nükleer enerji konusunda ulusal bir politikanın tamamlanmasını, düzenleyici kurumun güçlendirilmesini ve insan kaynaklarının geliştirilmesi için ulusal bir plan geliştirilmesini tavsiye ettiği bilgileri mevcudiyetini korumaktadır.[21] Şekil 2.7'de Türkiye'de bulunan nükleer santrallerin lokasyonları gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Türkiye'deki Nükleer Santral Yerleri (WNA)

2.2.2. Sürdürülebilir (Yenilenebilir) Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak kaynak miktarlarını arttırmaları sebebiyle tükenmeleri söz konusu olmamaktadır ve yenilenebilir enerjilerin çoğu direkt ya da indirekt olarak güneşten kaynaklanmaktadır. Güneş ışığı ya da güneş enerjisi ısınmak ve aydınlanmak için evlerde ve diğer binalarda doğrudan kullanılırken, elektrik üretmek, su ısıtmak, soğutmak ve çeşitli ticari ve endüstriyel amaçlarla da indirekt olarak kullanılmaktadır.

2.2.2.1. Sürdürülebilir (Yenilenebilir) Enerji Kaynakları Çeşitleri

2.2.2.1.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, tüm bitkiler, hayvanlar ve insanlar için Dünya'da yaşamı sürdüren enerji gücü olarak karşımıza çıkmakta ve tüm toplumların gelecekte temiz, bol enerji kaynaklarına olan ihtiyaçlarını karşılamaları için alternatif bir çözüm sunmaktadır.

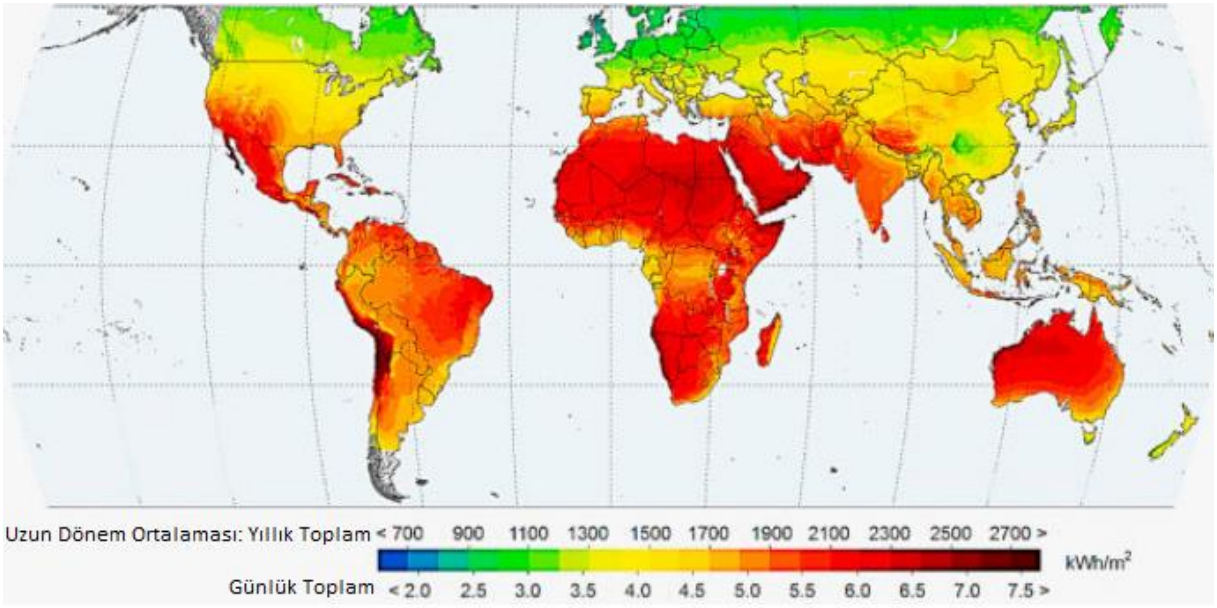
Güneş enerjisi öncelikle Dünya'ya elektromanyetik dalgalarla iletilmektedir ve bu dalgalar I ile parçacıklar (fotonlar) ile de temsil edilebilmektedir. Güneş ışığı hazır, jeopolitik gerilimlerden korunumlu ve kirlilik emisyonlarından çevremiz ve küresel iklim sistemlerimiz için herhangi bir tehdit oluşturmayan bir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Güneş enerjisi doğrudan rüzgar, biyokütle ve hidroelektrikte olduğu gibi dolaylı olarak veya kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil biyokütle yakıtları olarak kullanılabilmektedir.

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilmektedir. Bunlar fotovoltatik güneş teknolojileri ile ısıl güneş teknolojileri olarak sınıflandırılmaktadır. Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi, 60 yılı aşkın süredir geliştirilmekte olan yenilenebilir bir enerji teknolojisi olarak karşımıza çıkmakta olup bu teknoloji, ışığa maruz kalan yarı iletken bir malzemede akım ve voltajın üretilmesini kapsamaktadır. Şu anda, üretilen PV sistemlerinin yaklaşık %95'i çoklu (%B60) veya monokristal (%B35) silikon bazlı iken, kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır-indiyum-[galyum-]diselenid (CI(G)S), PV üretiminin sadece %5'ini oluşturmaktadır.

Son yıllarda büyük ölçekli PV sistemlerin yaygın olarak kullanımı çok yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Fotovoltatik (PV) sistemlerin maliyeti, kısmen PV hücrelerin maliyetiyle belirlendiğinden verimlilik, güneş enerjisinden elektrik üretim maliyetini düşürmek için önemli bir unsurdur. Düşük maliyet ile yüksek verim elde etmek için keşfedilen bazı malzemeler bulunmakla birlikte güneş enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren PV teknoloji, artan küresel enerji talebini karşılama sorununa uygulanabilmekte ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır.[23]

Toplumunun artan enerji ihtiyacı ve konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenmesi, yenilenebilir, güvenli, sonsuz, düşük maliyetli ve her yerde hazır bulunan enerji kaynaklarını talep edilir hale getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, uzun vadeli enerji arz güvenliğinde, küresel iklim değişikliğinde hayati bir rol oynamakta ve aynı zamanda fosil yakıt emisyonlarına çözüm sunmaktadır. Ticari güneş panellerinin çoğunda hafif hasat makinesi olarak silikon kullanırken daha sonraları düşük maliyetleri, hafiflikleri ve kolay işlenebilmeleri nedeniyle perovskit kristal yapıya sahip alternatif malzemeleri araştırdıkları bilinmektedir. Bu malzemeler henüz tamamen ticarileştirilmemiş olsa da yüksek verimli, kararlı, ölçeklenebilir fotovoltaik güneş pillerinin üretiminin, perovskite güneş pili teknolojisinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Güneş panellerini kullanmanın sadece dünya enerji krizini çözülmesine yardımcı olmakla kalmayıp aynı zamanda fosil yakıtların iklim değişikliği üzerindeki etkisinin azaltılmasına da katkıda bulunacağı gözlemlenmektedir.[24] Şekil 2.8'de güneş enerjisi potansiyel atlasına göre dünyadaki yıllık ve günlük ortalamalar gösterilmektedir.

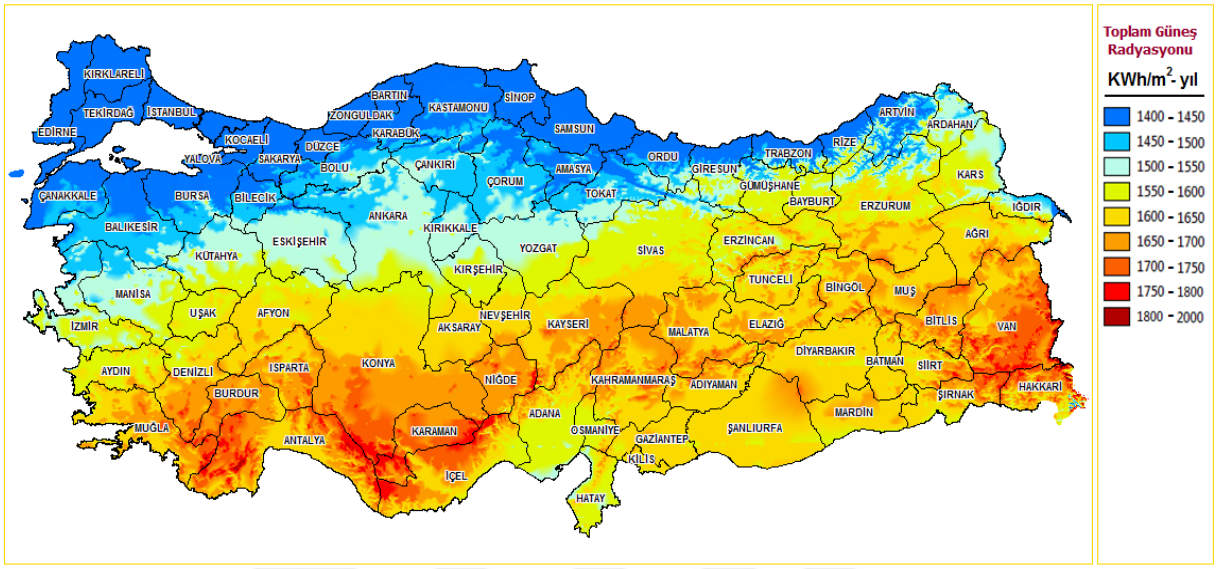


Şekil 2.8: Dünya Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

Türkiye, coğrafi pozisyonu nedeniyle güneş enerjisi için yüksek bir potansiyele sahip olup bu konumu enerjiyi kullanma adına büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2741 saat/yıl, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7,50 saat/gün ortalama yıllık toplam ışınım 1527,46kWh m^2yıl, ortalama günlük toplam ışınım şiddeti 4,18 kWh/m^2gün'dür. Ülkemizdeki kurulu güneş enerjisi gücünün 2020 yılı itibarıyla 6,294,7 MW seviyesinde olduğu bilinmektedir ve bu oran kaynaklara göre toplam üretimin %6,8'ini oluşturmaktadır. Ülkenin coğrafi özellikleri göz önünde tutulduğunda, güney ve doğu bölgelerinin, batı ve kuzey bölgelerine göre daha yüksek güneşlenme oranlarına sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'de en yüksek güneşlenme seviyeleri Haziran ve Temmuz aylarında, en düşük seviyeler ise Aralık ve Ocak aylarında görülmektedir, bu durum Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'nda gösterilmektedir.[25]

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi, 2741,07 saat/yıl, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi, 7,50 saat/gün, ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti, 1527,46 kwh/m^2-yıl, ortalama günlük toplam ışınım şiddeti, 4,18

kwh/m^2-gün olarak belirlenmektedir.[26] Şekil 2.9'da Türkiye'de toplam güney radyasyonu değerleri güneş enerjisi potansiyel atlasında gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)

2.2.2.1.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, hava kalitesini iyileştirmeye, sera gazlarını azaltmaya ve küresel elektrik arzını çeşitlendirmeye yardımcı olmak için fosil yakıtlara bir alternatif sağlayabilecek temiz, tükenmez ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak ve her üç yılda bir kapasitesi ikiye katlanarak yüzde bazında en hızlı büyüyen alternatif enerji segmenti olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geleneksel enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinin bir takım avantajları bulunmaktadır. Zararlı emisyon oluşturan fosil yakıtlar ile radyoaktif atıklar üreten nükleer enerjinin aksine, rüzgar enerjisi temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tükenmez ve bedava bir enerji kaynağı olarak, dünyanın çoğu bölgesinde mevcut ve bol miktarda bulunmaktadır ve ayrıca rüzgar enerjisinin daha yaygın olarak kullanımı, mevcut tüketimlere göre bu yüzyılda bir süre tükenebilecek olan fosil yakıtlara olan talebin azaltılmasına yardımcı olabileceği öngörülmektedir.[27]

Rüzgar enerjisi endüstrisindeki dikkate değer eğilimlerden biri, tek bir rüzgar türbininin boyutunun ve güç üretiminin 1980'lerden beri sürekli olarak artmakta olmasıdır. Rüzgar enerjisi

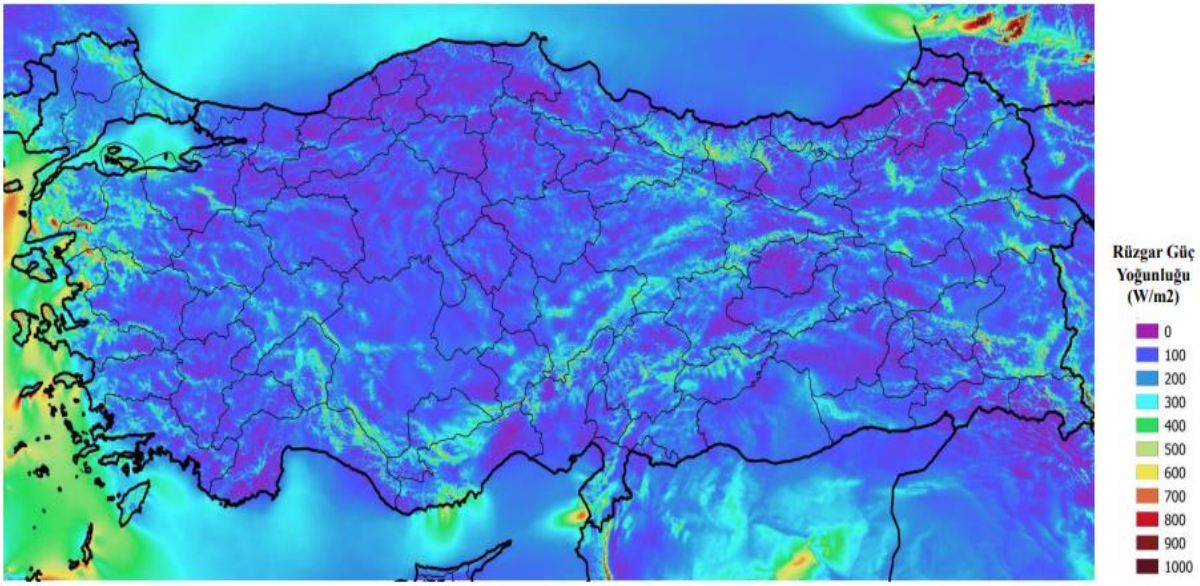
pazarının ana akımı olarak, günümüzde multi-megawatt'lık rüzgar türbinleri, dünyanın her yerindeki rüzgar çiftliklerinde yaygın olarak inşa edilmektedir. Bu büyük rüzgar türbinlerinin ayrıntılı tasarım metodolojilerini, tekniklerini ve işlemlerini sunmaktadır, daha büyük rüzgar türbinleri şebekeye bağlı rüzgar enerjisi üretiminde kritik bir rol oynarken, küçük rüzgar türbinleri konutlarda, hibrit sistemlerde ve şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız diğer bireysel uzak uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Rüzgar enerjisi üretiminde kendi kapasitelerine katkıda bulunan pek çok ülkenin var olduğu görülmektedir. Rüzgar enerjisi, birçok ülke için enerji geçişinin merkezinde yer almaktadır ve hükümetlerin daha büyük, daha iyi rüzgar türbinleri inşa etme yarışı, küresel çapta yenilenebilir enerji üretimini artırma çabalarını yansıtmaktadır. IRENA, küresel rüzgar üretiminin 2020'nin sonunda 732 GW'ı aştığını tahmin etmektedir, 2019 yılı boyunca kara ve denizde 1.427 TWh rüzgar enerjisi üretilmiştir ve IEA, 2021'den önce kıyıda 100 GW daha fazla üretim beklemektedir. Dünya, iklim değişikliğinin etkisi ile enerji sektörü alanında birçok değişim geçirmektedir, şu anda 80'den fazla ülke küresel rüzgar endüstrisinde yer almaktadır, bunların arasında 28 ülke 1 GW kurulu güce ev sahipliği yapmaktadır. Çin, ABD, Almanya ve Hindistan kurulu güç kapasitesi itibarıyla ilk dört ülkeyi oluşturmaktadır.[28]

Türkiye'deki son yirmi yılın, yani 2000-2020 yılları arasındaki yıllık ve toplam kurulu rüzgar gücü kapasitelerinin 18.90 olan kümülatif rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2000 yılında MW, 2020 yılı sonunda 8.288 MW'a yükselmekte ve ayrıca 1.387,75 MW güç ile 2016 yılında en yüksek yıllık rüzgar enerjisi kurulumu gerçekleştirilmiş olduğu bilinmektedir. 2020 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam 8.288 GW rüzgar enerjisi, devreye alınan 194 rüzgar santralinden elde edilmektedir ancak bu değer sadece toplam kurulu santral sayısına karşılık gelmektedir. Ayrıca 2020 yılı sonu itibarıyla kurulu, alt yapı ve lisanslı santraller de dahil olmak üzere toplam santral sayısı 251'e ulaşmış bulunmaktadır ve Türkiye'nin toplam kurulu gücü 93.0227 GW olup, bunun %8,91'i elektrik üretimi için rüzgar enerjisinden elde edilmektedir.

Türkiye'de, incelendiğinde en yüksek kurulumların Kuzeybatı ve Batı bölgelerinde gerçekleştiği sonucuna varılmaktadır ancak Türkiye'nin 9 ilinde 580 MW'a tekabül eden yeterli

rüzgar enerjisi potansiyeli mevcut olmasına rağmen, bu illerde ne yazık ki herhangi bir rüzgar santrali kurulumunun gerçekleştirilmediği bildirilmektedir. Toplam teorik rüzgar gücü olan 115.329 MW içerisinde Türkiye'nin toplam kurulu rüzgar gücü 10.599,89 MW olup, %9,19'luk bir kurulum oranına tekabül etmektedir ve diğer bir deyişle Türkiye'nin kullanılmayan rüzgar enerjisi potansiyeli %90,81 olarak bilinmektedir.[29] Şekil 2.10'da Türkiye'deki rüzgar güç yoğunlukları dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.10: Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası / Rüzgar Güç Yoğunluğu Dağılımı (ETKB)

2.2.2.1.3 Hidroelektrik Enerji (Su Kaynakları)

Hidroelektrik, hareketli suyun enerjisi kullanılarak üretilen elektrik çeşitlerinden biri olarak literatürdeki yerini almaktadır ve genellikle tepelerden, dağlardan kaynaklanan yağmur veya eriyen kar, sonunda okyanusa akan akarsular ve nehirler yaratmaktadır. Bu enerji yüzyıllardır kullanılmaktadır ve eski Yunanlılardan beri çiftçiler, buğdayı un haline getirmek için su çarklarıyla üretimlerini gerçekleştirmektedirler. 19. yüzyılın sonlarında hidroelektrik, elektrik üretmek için bir kaynak haline gelmektedir ve ilk hidroelektrik santralinin 1879'da Niagara Şelalesi'nde inşa edildiği bilinmektedir. 1881'de Niagara Şelalesi kentindeki sokak lambaları hidroelektrikle çalıştırılmaktaydı ve 1882'de dünyanın ilk hidroelektrik santralinin Amerika Birleşik Devletleri'nde Wisconsin Appleton'da faaliyete geçtiği bilinmektedir. Tipik bir hidro santral, üç bölümden oluşan bir sisteme sahiptir ve bunlar elektriğin üretildiği bir elektrik santrali; su akışını kontrol etmek için açılıp kapatılabilen bir baraj ve suyun depolanabileceği bir rezervuar olarak belirtilmektedir. [30]

Kuzey Amerika yalnızca Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'ni içermektedir ve Andritz, GE Yenilenebilir Enerji ve Voith'in en büyük birleşik pazar payına sahip bölgeler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hidroelektrik, Türkiye'de yenilenebilir elektrik üretimine tamamen hakim olarak bulunmaktayken son on yılda, başta rüzgar ve daha yakın zamanda güneş olmak üzere diğer kaynaklar hızlı bir oranda artışını sürdürmektedir. Türkiye'nin halihazırda yapım aşamasında olan projelere göre hidroelektrik kapasitesinin 2023 yılına kadar 32 000 MW'a ulaşacağı öngörülmekte olup, bu da ekonomik potansiyelin önemli bir kısmının o zamana kadar gerçekleşmiş olacağını göstermektedir. Hidroelektrik, Türkiye'deki en büyük yenilenebilir elektrik kaynaklarından biri durumunda bulunmaktadır. Hidroelektrik üretimi, genel yenilenebilir elektrik üretimi ve dolayısıyla enerjinin payı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan hidrolojik koşullar nedeniyle büyük yıllık farklılıklar gösterebilmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir hidroelektrik enerjisi ile uzun vadeli eğilim artmaktadır ve elektrik üretimi 2000 yılından bu yana neredeyse üç katına çıkmış durumda bulunmaktadır. Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelinin 433 TWh, teknik olarak kullanılabilir potansiyelinin 216 TWh ve ekonomik potansiyelinin 160 TWh/yıl olduğunu tahmin edilmektedir. Hali hazırda yapım aşamasında olan projelere dayanarak, hidroelektrik kapasitesinin 2023 yılına kadar 32 000 MW'a ulaşması beklenmekte ve bu da Türkiye'nin ekonomik potansiyelinin önemli bir bölümünün o zamana kadar gerçekleşeceğini göstermektedir.[32]

2.2.2.1.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, dünya içinde üretilen ve doğrudan ısıtma için kullanılabilen veya elektriğe dönüştürülebilen yenilenebilir bir enerji türü olarak bilinmektedir. Jeotermal enerjinin diğer bazı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre bir avantajı, yıl boyunca mevcut olması (güneş ve rüzgar enerjisi daha yüksek değişkenlik ve kesinti sunmaktadır) ve dünyanın her yerinde bulunabilmesidir. Ancak elektrik üretimi için genellikle volkanik olarak aktif bölgelere yakın olan orta ila yüksek sıcaklıklı kaynaklara gereksinim duyulmaktadır.

Jeotermal enerjinin kullanılmasının, geleneksel enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanan küresel ısınma etkilerinin ve halk sağlığı risklerinin azaltılmasına da katkıda

bulunmaktadır. Ayrıca, jeotermal enerjinin yaygınlaştırılması, bir ülkenin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Enerji kaynakları olarak fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, daha düşük yaşam döngüsü, sera gazı emisyonları, daha düşük işletme maliyetleri, bir sisteme temel yük elektriği esneklik ve yan hizmetler sağlama yeteneği ve daha yüksek kapasite faktörleri gibi olumlu etkiler sağlayacağı belirtilmektedir.

Jeotermal elektrik üretimi, temel olarak, kuru buhar santralleri, flaş santralleri (tekli, ikili ve üçlü), ikili santraller ve kombine çevrim veya hibrit santraller gibi geleneksel jeotermal kaynaklardan yararlanan teknolojilere dayanmaktadır. Bununla birlikte, yüksek kaliteli konvansiyonel kaynaklara erişim zorlaştıkça, gelişmiş jeotermal sistemlerin geliştirilmesi yoluyla gelecekte daha derin kaynakların erişilebilir hale gelebileceği düşünülmektedir.[33]

Jeotermal enerji, temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmekte ve nükleer enerjiye benzer şekilde, jeotermal kaynaklar, yılda %95'ten fazla kullanılabilirliğe sahip bir temel yük enerji üretimi sağlamaktadır. Jeotermal enerji, elektrik üretimi ve bölgesel ısıtma, tarımsal kurutma ve yüzme havuzları gibi doğrudan kullanım uygulamaları için kullanılmaktadır. Özellikle son on yılda dünyadaki toplam kurulu jeotermal enerji üretimine önemli miktarda yeni güç kapasitesi eklenmiştir ve 2019 yılı sonunda dünyanın jeotermal enerjisinin toplam kurulu gücü 15406 MWe olarak raporlanmış olduğunu belirtilmektedir.

ABD'deki yatay kuyu sayısı (30.000'den fazla) şeyl gazı ve şeyl yağı patlamaları nedeniyle artış göstermektedir ve ayrıca bu kuyular, geleneksel hidrokarbon kuyularına göre daha hızlı ömrünü tamamlamaktadır. Tükenmiş petrol ve gaz rezervuarları jeotermal enerji çıkarımı (düşük-orta entalpi) için değerlendirilirse, ABD ekonomisi için 1,2 milyar dolarlık net bugünkü değer elde edilebilme imkanı ortaya çıkmaktadır.

Türkiye, Batı Anadolu'da enerji üreten farklı jeotermal enerji teknolojilerinin yanı sıra önemli bir jeotermal güç kaynağına sahiptir. Jeotermal enerji santrallerinin tasarım ve işletme aşamalarında dikkate alınması gereken birkaç kritik kimya sorunu yer almaktadır ki rezervuar sıcaklıklarına, akışkan kimyasına ve yoğuşmayan gaz bileşimine ve konsantrasyonlarına ve

akışkan üretim oranlarına bağlı olarak, jeotermal enerji santrali operasyonları, kireçlenmenin önlenmesi, korozyon, su etkileşimleri nedeniyle rezervuar soğutma sorunları, deniz müdahalesi etkileri ve su sızıntısının önlenmesi gibi farklı bakım uygulamaları gerektirmektedir. Buhar üretimini doğrudan etkileyen en önemli zorluk, farklı termodinamik döngüler farklı inhibisyon uygulamaları gerektirdiğinden mineral çökeltmesi olarak araştırmada belirtilmektedir ve kalsit, diğer karbonatlar, metal silikatlar ve metal sülfürler bir jeotermal sistemin farklı bölümlerinde bulunabilmektedirler.[35]

Jeotermal enerji üretimine sahip ülkeler arasında Türkiye, 2018 yılında 41 adet jeotermal santral ile dünya genelinde ilk dörtte yer almaktadır ve ülkenin toplam kurulu jeotermal güç kapasitesi 2018 yılı için yaklaşık 1,4 GWe olarah hesaplanmaktadır ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2030 yılına kadarki hedefi 4000 MWe'dir. 1960'lı yıllardan bu yana Türkiye'de Maden Tetkik Uygulama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 200'den fazla jeotermal saha tespit edilmiş ve jeotermal arama çalışmaları devam etmektedir.

2.2.2.1.5 Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, güneş enerjisinin konsantre bir şekli olarak karşımıza çıkmakta ve güneş, okyanus yüzeyinde esen rüzgarlara neden olarak dünya genelinde sıcaklık farklılıkları üremektedir ki bu sıcaklık farklılıkları enerjiye dönüşen dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu tür dalgalar daha sonra neredeyse hiç enerji kaybı olmadan binlerce kilometre yol kat edebilmektedirler. Dalga enerjisinde güç yoğunluğu, rüzgar veya güneş enerjisi ile kıyaslandığı zaman çok daha yüksektir. Dalga tarafından taşınan güç, yükseklik ve periyot ile orantılıdır ve genellikle gelen dalga cephesinin metresi başına Watt olarak verilmektedir.[36]

ABD'de, Office and Science Technology Policy, 2018'de Science and Technology for America's Oceans: A Decadal Version'ı yayınlamış ve önümüzdeki on yılda (2018-2028) ABD okyanus bilimi ve teknolojisini ve Ulusu ilerletmek için hedefler belirlemektedir. ABD Enerji Bakanlığı Su Gücü Teknolojileri Ofisi tarafından yürütülen, 2009 yılında başlatılan uzun vadeli Deniz Enerjisi Programı (eski adıyla Deniz ve Hidrokinetik Programı), ticarileştirme ve dağıtım önündeki engelleri ele almayı amaçlanmaktadır.[37]

Türkiye, Akdeniz, Karadeniz ve Ege Denizi kıyılarında, okyanuslara göre korunaklı sulara ve sakin denizlere sahip olduğu kabul edilebildiği ve aynı zamanda şebekeye yakın dalga potansiyelli enerji kaynaklarına sahip birçok sahaya sahip olduğu bilinmektedir. Açık denizde bulunan bu sularda büyük diziler oluşturan bir dizi küçük dalga enerjisi dönüştürücüsünden oluşan dalga santralleri şeklinde enerji dönüşümü düşünülebilmektedir ve bir dalga enerjisi dönüştürücünün özellikleri, denizin iklimine karşılık gelmektedir.

Dalga enerjisi dönüştürücü teknolojisi halen Ar-Ge aşamasında bulunmaktadır. Türkiye'deki diğer enerji kaynaklarına dalga enerjisi eklemek için hala yeni teknolojiler geliştirilebilir durumda bulunmaktadır ve dünya dalga enerjisi literatüründe keşfedilen bulgular ışığında Baltık Denizi ve o deniz için tasarlanmış cihazlar Türkiye'deki çalışmalara örnek niteliği taşımaktadır. Küçük denizlerde dalga enerjisinden yararlanmak için bazı dönüştürücülerin sadece kıyıya yakın limanlarda dalga enerjisi dalgakıran olarak kullanılması, küçük ölçekli dönüştürücülerin Karadeniz kıyısı boyunca bazı kıyı yapılarının veya karayolunun korunmasına uygun olması, inşa edilmesi planlanan ve kıyı şeridinde yerel veya uzak elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılamak için cihazların geliştirilmesi denizde daha fazlasını gerektirmektedir.

2.2.2.1.6 Biyokütle, Çöp Gazı, Atık Enerjisi

Biyokütle, canlı organizmalar tarafından doğrudan veya dolaylı olarak üretilen yeni kökenli organik madde olarak bilinmektedir ve bitki maddesindeki biyokütle, güneş ışığından gelen enerji kullanılarak çevreden gelen karbondioksit ve suyun bitkiyi oluşturan karbonhidratlara (şekerler, nişastalar, selüloz ve lignin) dönüştürüldüğü fotosentez işlemiyle üretilmektedir. Bitkiler ve/veya diğer hayvanlarla beslenen hayvanlar ve bu hayvanlar tarafından üretilen organik atıklar da bir tür biyokütle olarak kabul edilmektedir. Biyoenerji, biyoyakıtlarda depolanan kimyasal enerjiyi ifade etmek için yaygın olarak kullanılan bir terim olarak karşımıza çıkmaktadır.[39]

Ülkelerin enerji politika ve stratejilerinin sürdürülebilir kalkınmaları için önemli ölçüde yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanması nedeniyle biyokütle, önemi artan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Birçok gelişmekte olan ülkede enerji talebinin yaklaşık %35'ini

sağlayan ve küresel tüketimi %13'e çıkaran yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi konumunda bulunmaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerin çoğu, biyokütleyi doğrudan pişirme ve ısıtma amacıyla yakacak odun olarak kullanmaktadır. Başlıca biyokütle kaynakları, dünyanın mevcut enerji talebinin neredeyse on katı olan yıllık 13 milyar metrik tondan fazla küresel kapasiteye sahip orman, tarım ve belediye kaynaklı atıklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Odun atıkları, biyokütle enerjisinin çoğunluğuna katkıda bulunmakta ve %64'e ulaşırken, belediye ve tarım atıkları sırasıyla %24 ve %5'ini oluşturduğu bilinmektedir.

Fosil yakıtların ve petrokimyasalların yerini alabilecek biyoyakıtlar, biyokütleden termokimyasal, biyokimyasal veya fizikokimyasal işlemlerle üretilebilmektedir ve ayrıca biyoyakıtların sürdürülebilir bir şekilde üretilmesinin, sera gazı emisyonlarını azaltabileceği ve bir dizi çevre sorununa alternatif bir çözüm sunabileceği düşünülmektedir.[40] Son yıllarda odun, fındık kabuğu, tarımsal atık artıkları, atık kağıt ve buğday samanı, çay atığı ve zeytin kabuğu gibi biyokütlenin enerji üretimi için kullanılmasına yönelik birçok girişimde bulunulmaktadır.

Türkiye'de biyogaz üretim potansiyeli 1.0-1.5 milyon ton petrol eşdeğeri (Mtoe) olarak tahmin edilmektedir ancak sadece üç küçük ünite faaliyette yer almaktadır ve bir yeni tesis ruhsatlandırılmış durumda bulunmaktadır. Biyogaz teknolojisinin Türkiye'deki uygulamaları hakkında da literatürde çok fazla veri bulunmamaktadır. Türkiye zengin biyokütle potansiyeline sahip gelişmekte olan bir ülkedir statüsünde bulunmaktadır Türkiye'de 2009 yılı için başta odun olmak üzere biyokütleden elektrik üretimi yaklaşık 10 GW olup, biyokütle elektrik üretim kapasitesi 2030 yılında yaklaşık 50 GW'a ulaşacağı ve Türkiye için yakın gelecekte rüzgar ve hidroelektrikten sonra üçüncü yenilenebilir elektrik üretim kapasitesinin biyokütleden elde edileceği tahminleri bulunmaktadır.

Toplam enerjiye kıyasla orman biyokütlesi tüketimi, sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) tüketiminin sürekli artması nedeniyle son on yılda %22'den %14'e düşmüş ve yurtiçi enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin %37'sini oluşturmakta ve bunun da yaklaşık %45'i biyokütle bazlı yakıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır.[41]

2.2.2.2. Sürdürülebilir (Yenilenebilir) Enerjinin Önemi

- Çevre Dostu Olması

Ekolojik dengeyi etkileyen hususların en önemlileri üretim ve tüketim faaliyetleri olarak görülmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının çevreye verdiği tahribatları engellemek ve gelecek kuşaklara sağlam bir çevre bırakmak için çevre dostu alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik etmek son derece önem taşımaktadır. Bunun yanında çevre dostu akıllı binaların yaygınlaştırılması doğal habitatın tahribatını önleme konusunda önemli bir huşu olarak karşımıza çıkmaktadır. 2010 yılında dünyada sera gazı salınmasının % 8'i binalar kaynaklı olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple de yapılması gerekli akıllı binalar sayesinde daha az enerji ve su tüketerek doğal çevrenin korunması konusunda önemli adımlar atılmış olunurken, geri dönüşüm vasıtasıyla üretilmiş alternatif malzemelerin kullanılması ile de kaynakların verimli tüketilmesinin gerekliliği önemini korumaktadır.

- Küresel Isınma ve Hava Kirliliğini Önlemesi

Global enerji sağlanmasında çok büyük yer kaplayan fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere karbondioksit (CO_2), kükürt dioksit (SO_2), metan gazı (CH_4) gibi zararlı gazlar salınmakta ve bu gazlar iklim değişikliklerine sebebiyet veren sera etkisine neden olmaktadır. Küresel ısınmaya ve hava kirliliklerine neden olan sera gazlarının atmosfere salınımlarını kısıtlamak için dünya'daki birçok ülkenin katılım gösterdiği iklim zirveleri gerçekleştirilmekte ve ülkelerin atmosfere saldıkları karbondioksit oranını azaltılmaya çalışılmaktadır. 2014 yılı verilerine göre Çin, ABD, Hindistan, Japonya ve Rusya karbondioksit salınımı yapmaktadır. Türkiye ise atmosfere saldığı 348 milyon ton CO_2 ile toplam salınımın % 1'ini tekabül etmekte ve dünya ülkeleri arasında o tarihteki verilere göre 16. sırada bulunmaktadır.

- İnsan Sağlığına Zarar Vermemesi

Dünya'da fosil yakıtların insan sağlığına vermekte olduğu zararlar bilinmekte olup bunu minimum seviyelere çekmek için alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya yönelim hususunda çalışmalar devamlılığını sürdürmektedir. Fosil enerji kaynaklarının yarattığı sera etkisine ek olarak insan sağılığını olumsuz etkileyen diğer bir konu ise araçlarda kullanılan akaryakıt ürünleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılmakta olan ürünlerin birçoğu fosil yakıtlardan elde edilmekte ve salınan karbondioksit atmosfere yayılımını sürdürmektedir. Ayrıca yakı

olarak benzinin içermiş olduğu kurşun oranı su kirliliğine sebebiyet vermektedir. Bunun önüne geçilebilmesi adına elektrik enerjisi (hybrid) ve güneş enerjisi ile çalışmakta olan taşıtlar tercih edilmelidir ki günümüz dünyasında birçok ülke oluşan çevre sıkıntılarının hızla artması sebebiyle elektrikli araçlar adına araştırma-geliştirme destekleri ve vergi teşvikleri gerçekleştirmektedirler.

- Ekonomik Büyümeyi Desteklemesi

Ülkelerin ekonomik gelişmesine paralel olarak fazlalaşan enerji ihtiyaçlarına istinaden, enerji üretimlerinin gerekli düzeyde bulunmaması ülke ekonomilerinin geleceği açısından büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu risklerin minimuma indirilmesi adına yerli enerji üretiminin desteklenmesi ve pazar fiyatlarının dış ülkeler tarafından belirlendiği durumlardan kaçınılması önemli bir huşu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sayede ülkelerin bir yandan iktisadi kalkınma hedeflerini gerçekleştirip diğer yandan da ülke içi alternatif enerji kaynaklarını değerlendirerek enerji tüketimlerini karşılayabilecekleri bir gerçek olarak belirtilmektedir. Ayrıca, sürdürülebilir enerji piyasasına verilen desteklerle bu alandaki üretim hacminin büyüyeceği ve bu genişlemeyle birlikte ileriki zamanlarda ihracattan önemli oranlarda getiri sağlanabileceği literatürde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerjilerin giderek daha fazla kanıksanmasında, ülke ekonomisine olan faydaları, yerli bir kaynak niteliğinde bulunması ve sermayenin ülke içinde kalması gibi etkenler önemini korumaya devam etmektedir.

- Rekabet Gücünü Arttırması

Dünyada enerji hususunun bu denli mühim bir durumda olmasının temel sebebi ülkelerin üretim yapılarının şekillenmesinde temel belirleyici unsurlardan biri olan enerjinin temin edildiği koşullardaki farklılıklar veya temininde yaşanılan sıkıntıların, ulusal ve uluslararası düzeyde rekabeti doğrudan etkilemesi olarak karşımız çıkmaktadır. Dünya piyasalarında rekabet gücü yüksek bir ekonomik durumda olmanın önemli koşullarından biri enerjiyi ucuz, güvenilir, sürekli, kaliteli ve rekabet düzeyi yüksek bir piyasadan karşılanmada yatmaktadır. Böyle bir piyasa koşulunun varlığı sadece özel sektörün ipleri eline alması ile serbest rekabet kurallarının bulunduğu piyasalarda geçerliliğini koruyabilmektedir. Enerji sektöründe ülkelerin fosil enerji kaynaklarını kullanmaya bağımlılığı ve bu kaynakların belirli bölgelerde ve sınırlı sayıda ülkenin elinde bulundurması mevcut piyasa şartlarında rekabet edilebilmesinin önündeki

en önemli engeli oluşturmaktadır. Bu engelin ortadan kaldırılması adına ülke içinde bulunan alternatif enerji kaynaklarının kullanımını maksimize edecek değerlendirmelerin bulunması ve yönlenmesi gerekmektedir. Devletin özel sektör firmaların çalışabilmesi konusunda vereceği teşviklerle hem yatırım yapılmasını sağlayarak ülke ekonomisine katkı bulunmuş olacağı hem de iktisadi bir yükün azalmasına sebebiyet vererek gider azaltılmasında öneli bir adım atmış olacağı mevcudiyetini koruyan stratejiler arasında yer almaktadır.[42]

2.3. MİSELYUM

Miselyum, mantar aleminin bir parçasıdır ve mantarların büyüdüğü hif adı verilen iplik ağıdır. Mantarlar miselyumun meyvesi olup mantar türleri bir miselyumdan diğerine tamamen farklılık göstermektedir. Varlıkları, misel için önemli bir besin kaynağının mevcudiyeti, nem ve sıcaklık dahil olmak üzere çeşitli çevresel faktörler tarafından belirlemektedir. Misel en çok tarlalarda, ormanlarda ve yoğun ağaçlık alanlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Miselyumu oluşturan ağ benzeri yapılardan oluşan hifler, organizma tarafından kullanılacak besin kaynaklarını parçalamak için enzimler salgılamaktadır. Binlerce dönüme yayılan bazı miseller bulunmaktadır ve bunların bazıları mikroskobik ortamda görülebilmektedir. Bir mantardan daha fazlası olan miselyum, ekosistemlerin büyüleyici bir parçasıdır ve ekosistem içindeki varlıkları yine yenilenebilir kaynak kullanımındaki denge devamlılığı açısından önemli bir unsurdur. Hifler aracılığıyla miselyum, çevreleyen organik maddeleri parçalayıp emerek besin olarak kullanılabilecek besinlere dönüştürmektedir. Ayrıca karmaşık, simbiyotik bir ekosistem oluşturmak için bitki ve ağaç kökleriyle iç içe geçmektedirler.

Sporlar mantarlardan salınmakta ve hava veya su ile dağıldıktan sonra filizlenerek miseli oluşturmaktadır. Sporlar nihayet yerleştiğinde, etraflarındaki kompost veya bitki maddesini parçalamak için hifler göndererek büyümeye başlamaktadırlar. Misel, tutarlı bir besin kaynağı olduğu sürece, doğru nem ve 50 ila 90°C arasındaki sıcaklıklarda hızla büyümektedir. Bu sporlar algılanamayan boyutlarda başlarken, yaklaşık 24 saat içinde hızla büyüyerek fark edilebilmektedirler. Miselyum, sporların cinsine bağlı olarak genel kalınlıkları bakımından farklılık göstermektedir. Bazı miselyumlar sadece birkaç milimetre kalınlığında olabilirken, diğerleri iki santimetre veya daha fazla olabilmektedir.

Dünyada 14.000'den fazla misel ve mantar türü bulunmaktadır ve daha fazlası bilim adamları tarafından henüz keşfedilmemiştir. Bazı misel türleri eko-özgüdür ve dünyanın yalnızca belirli

bölgelerinde bulunmaktadır. Mantarlar ne hayvan ne de bitki olduğundan, bu çok yönlü ve ilginç organizmalar ekosistemlerin ve doğal çürüme ve yenilenme süreçlerinin kritik bir parçası olarak sürdürülebilirlik döngüsünde önemli yerlerini korumaktadır.

Miselyum ve diğer mantarlar, insanlardan milyonlarca yıl önce gelmektedir. Bilim adamları, kehribarda 90 milyon yıllık örnekler keşfetmişler ve 420 milyon yıl öncesine ait bazı fosilleşmiş mantarlar ortaya çıkarmışlardır. Küçük boyutuna rağmen, miselyumu oluşturan hif ağı hala çok fazla alanı kaplayabilmektedir. Aslında, Oregon'un Malheur Ulusal Ormanı'nda yaklaşık dört mil kareyi kaplayan, Humongous Fungus olarak bilinen bir miselyum ağı bulunmaktadır. Doğal ortamlarının ötesinde çeşitli uygulamalarda miselyum potansiyelinden yakın zaman dilimlerinde yararlanılmaya başlanmıştır. Araştırmacılar ve mühendisler, bu çok yönlü malzemeyi kullanmanın yollarını test etmeye başlayarak daha üstün özellikli ilaçlar, malzemeler, biyoyakıtlar ve günlük hayatımızda kullandığımız diğer birçok ürünü geliştirmek için benzersiz niteliklerinden ilham almışlardır.

Miselyum, yapı malzemelerini ateşe dayanıklı, daha güçlü ve daha hafif yapmak için kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda, tuğla gibi yapı malzemeleri için bir bağlayıcı madde olarak bile kullanılabilmektedir. Ayrıca derinin görünümünü, dokusunu ve faydasını taklit etmek için moda endüstrisinde de kullanılabilmektedir. Miselyum çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilenebilir bir kaynak olup doğal özellikleri nedeniyle tekrar tekrar geri dönüştürülebilir ve yeniden yetiştirilebilmektedir. Miselyum, mantarı oluşturmanın yanı sıra bitkilerin gelişmesine yardımcı olmakta ve ekosistemleri dengede tutmaktadır. Bazı miselyum türleri komşu bitkilerle simbiyotik ilişkiler kurmaktadır. Mikoriza mantarlarında bulunan hifler, yer altında bitki kökleri ile bir ağ oluşturmaktadır.

Hyphae, bir bitkinin köklerinin potansiyel olarak sahip olabileceğinden çok daha uzağa ve daha hızlı uzamasıdır. Kıt besin ortamlarında, bitkinin hayatta kalması için kritik öneme sahiptir. Hyphae, bitkinin kendi başına ulaşamayacağı besinleri toplama ve verme işini yapmaktadır. Buna karşılık bitki, fotosentez yoluyla miselyuma şeker sağlayarak miselyum ağının daha yoğun büyümesine yardımcı olmaktadır. Bu büyüleyici ağ, bitkilerin birbirleriyle iletişim kurmasını ve hatta gerektiğinde besin alışverişi yapmasını sağlamaktadır.

Hifler besinleri almadan önce bir besin kaynağını parçaladığından veya sindirdiğinden, aksi takdirde biyolojik olarak parçalanamayan kirleticileri ortadan kaldırmak için kullanılabilmektedirler. Hiflerden atılanlar mide asitlerimiz gibidir; besin kaynağını yutmadan parçalamaktadırlar. Bu atılımlar, plastikler ve rafine edilmemiş yağ gibi toksik ve petrol bazlı elementler de dahil olmak üzere uzun hidrokarbon zincirlerini parçalayabilmektedirler. Bu işleme mikoremediasyon denir.[43]

2.4. KOMPOSTLAMA

Kompostlama, organik malzemenin kompost olarak bilinen humus açısından zengin bir toprak değişikliğine ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesinin doğal süreci olarak tanımlanmaktadır. Meyveler, sebzeler, süt ürünleri, tahıllar, ekmek, ağartılmamış kağıt peçeteler, kahve filtreleri, yumurta kabukları, etler ve gazete kompostlanabilir olarak tanımlanırken tarlada veya bahçede yenebilir veya yetiştirilebilen hemen hemen her ürünün kompostlanabilir özellikte olduğu bilinmektedir. Kompostlanamayan maddeler arasında plastikler, gres, cam ve metaller bulunmaktadır ve buna plastik mutfak eşyaları, baharat paketleri, plastik ambalaj, plastik poşetler, folyo, gümüş eşyalar, pipetler, şişeler, polistiren veya kimyasalların dahil olduğu bilinmektedir. Kırmızı et, kemikler ve az miktarda kağıt gibi maddeler kabul edilebilir ancak parçalanmaları daha uzun sürmektedir.

Su ve toprak koruma; yeraltı suyu kalitesini koruma, tarım alanlarından gelen kokuları en aza indirme, organikleri düzenli depolama alanlarından kompost haline getirerek metan üretimini ve sızıntı suyu oluşumunu engelleme, yol kenarlarında, yamaçlarda, oyun sahalarında ve golf sahalarında erozyonu ve çim kaybını önleme, pestisit ve gübre ihtiyacını büyük ölçüde azaltma, ağır metalleri bağlama ve engelleme, bitkiler tarafından emilme veya insanlar için biyolojik olarak kullanılabilir olma, kirlenmiş, sıkıştırılmış ve marjinal toprakları değiştirerek yeniden ağaçlandırmayı, sulak alanların restorasyonunu ve vahşi yaşam habitatını yeniden canlandırma çabalarını kolaylaştırma gibi pozitif çevresel faydaları bulunmaktadır.

Günümüzde kompostlama yöntemi olarak kullanılan her birinin birbirine üstün olduğu ve eksik kaldığı yanları bulunan farklı yöntemler bulunmaktadır. Pasif kompostlama veya istifleme, malzemeleri istiflemeyi ve doğal olarak ayrışmalarına izin vermeyi içermektedir ve bu yöntem basit ve düşük maliyetlidir ancak çok yavaş ve hoş olmayan kokulara neden olabilmektedir.

Havalandırmalı statik kazıklarda, istiflenen yığına hava, delikli borular ve üfleyiciler aracılığıyla verilmektedir. Bu yöntem kompostu dönüştürmek için emek gerektirmemekte ancak hava koşullarına duyarlı ve kusurlu karıştırma nedeniyle güvenilir olmayan patojen azaltımına sahip olabilmektedir. Yığınlar, sıcaklık ve oksijen gereksinimlerine göre gerektiğinde döndürülen uzun, dar şekillerde oluşturulmaktadır ve bu yöntem, tek tip bir ürün üretmekte ve uzaktan bulunabilmektedir. Bununla birlikte, kompostu döndürmek için harcanan emek yoğun olabilmekte ve pahalı ekipman gerektirmektedir. Sıra yığınları tipik olarak çok fazla alan gerektirebilecek büyük hacimler için kullanılmakta ve ek olarak, yığınların koku sorunları olabilmekte ve yağmura maruz kaldıklarında sızıntı suyu endişeleri görülebilmektedir. Tel örgü veya ahşap çerçeveler kullanan kutular iyi hava sirkülasyonu sağlamakta, ucuz ve az işçilik gerektirmektedir. Üç bölmeli silo, farklı ayrıştırma aşamalarını kullanarak daha hızlı kompost üretimine izin vermektedir. Çöp kompostlaması tipik olarak az miktarda gıda atığı için kullanılmaktadır. Delikli variller, variller veya özel olarak üretilmiş kaplar kullanan gemi içi sistemlerin kullanımı basit, döndürülmesi kolay, minimum işçilik gerektiren hava koşullarına duyarlı olmayan ve kentsel ve kamusal alanlarda kullanılabilmektedir. İlk yatırım maliyeti ve kurulumu bedelleri yüksek olabilmekte ve taşıma hacimleri tipik olarak düşük olarak karşımıza çıkmaktadır. Vermi kompostlama, gıda atıklarını tüketmek için solucanlar kullanmakta ve dökümlerini yüksek kaliteli kompost olarak içermektedir. Bu genellikle kaplarda, kutularda veya seralarda yapılmaktadır ve tipik olarak 0,453kg solucan haftada 1,812kg atık yiyebilmektedir. Birçok okul, bu tür kompostlamayı bir çevre eğitimi aracı olarak kullanmaktadır ve solucan dökümleri yüksek bir fiyat getirmekte ancak operasyonun boyutuna bağlı olarak solucan stoğuna yapılan yatırım yüksek olabilmektedir. Çok fazla atık eklenirse anaerobik koşullar oluşabilmekte ve solucanlar et ürünlerini işleyemediğinden, solucan gübreleme işlemlerinde et ürünlerinden kaçınılması gerekmektedir.

Olgun veya stabil kompost, görünüm, koku ve dokunuş açısından humusa benzemektedir ve bitmiş kompost artık kendi kendine ısınmamaktadır, böylece ortam sıcaklığını korumakta ve yabani ot tohumları veya patojenler barındırmayacaktır. pH 7.0'a yakın olacak ve nem içeriği yüzde 35 ile 50 arasında olmaktadır. C:N oranı 10:1 ila 25:1 olmakta, organik madde içeriği yüzde 40 ila 65 arasında bulunmaktadır. Kompostu, kullanım noktasına kadar rüzgarda uçuşan ot tohumlarından korumak büyük bir önem taşımakta ve olgun kompost yeniden ıslatılsa bile istenmeyen kokular geri gelmemektedir. Bitmemiş veya olgunlaşmamış kompost

uygulamamak bitkileri öldürebilen fitotoksinlerle muamele olmaması açısından ciddi bir önem taşımaktadır. Olgun kompostu test etmenin ucuz yollarından birisi su teresi testi olup su teresi tohumları, pH ve beslenmeye karşı çok hassas oldukları için olgunlaşmamış kompostta filizlenmemekte veya büyümemektedir.[44]

2.5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve LİTERATÜRDEKİ İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2017 yılında yayınlanmış Muhammad Haneef, Luca Ceseracciu Claudio Canale, Ilker S. Bayer, Jose A. Heredia Guerrero ve Athanassia Athanassiou'nun Manatar Miselyumundan Gelişmiş Malzemeler'in Fiziksel Özelliklerinin İmalatı ve Ayarlanması adlı çalışmasında ayarlanabilir özelliklere sahip özenle tasarlanmış lifli filmler elde etmek için miselyum ile farklı bileşimlerdeki polisakkarit bazlı substratların kombinasyonunu uygulamak amaçlanmıştır. İki tür yenilebilir, tıbbi mantar türü, Ganoderma lucidum (G. lucidum) ve Pleurotus ostreatus (P. ostreatus) kullanılarak gerçekleştirilmiş bu çalışmada, beyaz çürükçül mantarlar grubuna ait olduğu ve bazıları lignin gibi hidrolize edilmesi zor bitki bileşenlerini de parçalayabilen çeşitli enzimleri salgılama olanağına sahip olduğu belirtilmektedir. İçerdikleri önemli fitokimyasallar nedeniyle bu iki türe büyük bir bilimsel ilgi bulunduğu ancak bu çalışmada seçimleri için en önemli yönün, benzer enzimleri salgılayabilmeleri olduğu ve böylece aynı substratları parçalayabilmeleri, iç içe filamentli yapılar geliştirebilmeleri gözlemleri çalışmada yer almaktadır.

Bahsi geçen gözlemde miselyum, biyolojik polimerleri şekerler gibi kolayca emilen ve taşınan besin maddelerine parçalamak için fiziksel basınç ve enzimatik salgı ile beslenme substratlarına nüfuz etmektedir. Bu çalışma için seçilen besin substratları, grup tarafından halihazırda yayınlanmış bir yöntem kullanılarak geliştirilen saf selüloz ve selüloz-patates dekstroz et suyundan (PDB) elde edilen biyopolimer olarak yerini almaktadır. Seçim, selülozun en bol bulunan doğal polimer olduğu gerçeğine dayanmaktadır. Bununla birlikte, PDB miselyum tarafından kolayca sindirilebilen basit şekerler açısından zengin olduğu için mantar büyümesini destekleyen en yaygın ortam olarak da karşımıza çıkmaktadır. İki besleme substratının ortak polisakkarit doğası nedeniyle, hidrolizleri için miselyum tarafından benzer mantar enzimlerinin kullanılması beklenmektedir. Ayrıca, geliştirme yöntemleri nedeniyle, iki substrat, düzgün yüzeylere sahip ve çok homojen yapıda olduğu gözlemlenmektedir. Bu, miselyum büyüme

sürecinin değişmez bir beslenme platformunda gerçekleşmesini ve tek tip malzemelerle sonuçlanmasını garanti etmektedir. Mevcut çalışmanın en umut verici sonucu, geliştirilmiş doğal kompozit miselyum malzemelerinin, hif büyümesi için farklı besin substratlarından yararlanarak elde edilen ayarlanabilir ve çok iyi kontrol edilen yapısal ve mekanik özellikler sunması ve böylece miselyum malzemelerinin özelliklerinin yakından kanıtlanması olarak değerlendirilmiştir. Lifli miselyum malzemeleri, amorf selüloz üzerinde büyütüldüklerinde, PDB içeren selüloz substratlara kıyasla sindirilmesi daha zor olan, daha yüksek Young modülü ile mekanik olarak daha sert olduğu yapılan gözlemler sonucunda saptanmaktadır. Ayrıca, geliştirilen tüm lifli malzemeler, doğal kaynaklı malzemelerde elde edilmesi zor olan yüksek derecede hidrofobik karakter gösterdiği yapılan analizler sonucu ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmada, beyaz çürükçül mantarlarının aynı grubuna (G. lucidum ve P. ostreatus) ait olan yenilebilir ve tıbbi iki mantar türünden miselyum bazlı lifli filmler üretilmiş olunmakta ve böylece aynı enzimleri salgılayarak parçalayabilmektedirler. Miselyum malzemelerinin büyümesi, onları iki doğal polimerik substrat, saf amorf selüloz ve bir selüloz ve PDB karışımı ile besleyerek yapılmaktadır. Besleme biyopolimer substratları homojen bir yapıda bulunmakta ve büyüme süreci boyunca besinlerin miseller tarafından tek tip emilmesini ve dolayısıyla homojen miselyum malzemelerinin gelişmesini garanti etmektedir. Her iki besin substratı da polisakkarit bazlıyken, PBD içeren, basit şekerlerdeki daha yüksek konsantrasyonu nedeniyle miselyum tarafından daha kolay emildiği gözlenmiştir. Büyüme periyodunun sonunda, büyümeyi durdurmak ve nihai lifli membranları elde etmek için miselyum filmler ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Aslında, PDB'nin varlığı G lucidum proteinlerinin ikincil yapısını etkilemiş ve P ostreatus'taki G lucidum bazlı protein materyallerindeki lipidlerin nispi yüzdesindeki artıştan ve nispi chitin varlığının azalmasından sorumlu olduğu çalışmada belirtilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, misellerin saf selülozla beslendiklerinde daha fazla kitin sentezlediği sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada lifli miselyum malzemeleri, bakteriyel selüloz ve P(3HB) gibi bakteriler tarafından üretilen bazı biyopolimerlere ek özellikler sunarak petrol bazlı plastiklere gerçekçi bir alternatif olabilmektedir. Birçok gelişmiş ülke çevre kirliliğini azaltmak için bir strateji olarak sürdürülebilir malzemelerin kullanımını aşamalı olarak benimsediğinden, buradaki çalışmadaki önerme bu yeni miselyum bazlı malzemelerin bu stratejiyi güçlü bir şekilde desteklediği şeklinde söylenebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma,

çeşitli fonksiyonel miselyum malzemelerinin düşük maliyetlerle büyük miktarlarda kontrollü kendi kendine büyümesinin yolunu açabileceğini öngörmektedir.[46]

2015 yılında José Maria Rodrigues da Luz, Sirlaine Albino Paes, Karla Veloso Gonçalves Ribeiro, Igor Rodrigues Mendes, Maria Catarina Megumi Kasuya ve tarafından yayınlanan "Yeşil Polietilenin Pleurotus Ostreatus Tarafından Bozunması" makalesinde, yeşil polietilenin P. ostreatus tarafından bozunması araştırılmıştır. Yeşil plastikler, şeker kamışı gibi yenilenebilir hammaddelerden geliştirilen polimerler olarak tanımlanmakta ve bitkiler büyümeleri sırasında karbondioksiti (CO_2) yakalayıp tuttuklarından, bu biyopolimerler sera gazı emisyonunun azaltılmasına yardımcı olabilmiştir.

P. ostreatus, karbon ve enerji kaynağı olarak lignin, selüloz ve hemiselüloz kullanabilen bir lignoselülozik mantar olarak bilinmektedir. Bu mantar, tarımsal-endüstriyel kalıntıların bozunmasında, kirleticilerin biyolojik olarak iyileştirilmesinde ve hamur ağartmada kullanımını sürdürmektedir. Lignoselülolitik mantarların çok çeşitli bileşikleri parçalama yeteneği, enzimatik sistemlerin yüksek verimliliği ile alakasını da korumaya devam etmektedir.

Yeşil polietilenin, belirli aralıklarla güneş ışığına maruz bırakılarak ve her maruz bırakılma periyodundan sonra plastik poşetler fiziksel ve kimyasal analize tabi tutularak abiyotik bozulması incelenmektedir. Plastik torbalar kağıt havluyla birlikte 100 mL'lik bir cam şişeye yerleştirilmekte ve mineral ortam, şişelere ilave edilmekte, sonrasında P. ostreatus miselyumunu içeren dört agar diski şişelere aşılanmakta ve şişeler 25°C'de 30, 60 veya 90 gün süreyle inkübe edilmektedir. Güneş ışığına maruz kalmayan plastik torbalar deneysel kontrol olarak kullanılmakta ve bu yapılan gözlem ile biyotik bozulma hakkında fikir edinmeye çalışılmaktadır. Kuru kütleyi belirlemek adına mantar solunum aktivitesi bir kızılötesi CO_2 detektörüne bağlanmakta ve mantar miselyumunu ve substratları içeren şişeler, sabit bir ağırlık elde edilene kadar 105°C'de kurutularak ölçüm yapılmaktadır. Yeşil polimerlerin biyolojik bozunmasının analizi için ise 120 gün güneş ışığına maruz kalmadan önceki ve sonraki mineral bileşimi, X-ışını kırınımı ile birleştirilmiş SEM ile belirlenmektedir. Plastiğin mekanik özelliklerindeki değişiklikler, evrensel test ekipmanı (Instron model 3367) kullanılarak analiz edilmekte, yeni fonksiyonel grupların kaybolması veya oluşumu, bağ kesilmesi gibi kimyasal değişiklikler FTIR ile analiz edilmektedir. İstatistiksel analizler için de beş tekrarlı tamamen

rastgele bir tasarım izlenmekte ve veriler varyans analizi (ANOVA), kimyasal bileşim için Tukey testi ile ortalama değerler karşılaştırılarak kuru kütle ve solunum aktivitesi regresyon analizine tabi tutulmaktadır. Bu istatistiksel analizler, %5 anlamlılık değerinde ($p < 0.05$) Saeg yazılımı (versiyon 9.1, Universidade Federal de Viçosa) kullanılarak gerçekleştirilmekte ve mekanik özellikler için ortalama ve standart sapma sunulmaktadır.

Bir polimerin doğada bozunmasının, nem, ışık yoğunluğu, pH, polimerin kimyasal yapısı ve mikroorganizmaların polimeri karbon veya enerji kaynağı olarak kullanma potansiyeli gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu bilinmektedir. Paylaşılan bu makalede, P. ostreatus PLO6'nın yeşil polietileni parçalama kabiliyetinin analiz edildiği ve değerlendirildiği belirtilmektedir. Okso-biyolojik olarak parçalanabilen plastikler ve kağıt havlular içeren substratlar üzerinde P. ostreatus'un büyümesi sırasında lakkaz, selülaz ve ksilanazın aktif olduğunu göstermektedir ve okso-biyolojik olarak bozunabilir polimerlerin bozunması, esas olarak lakkazların aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, mikrobiyal büyüme için koşullar, özellikle lignoselülitik mantarların büyümesi için gerekli koşullar oluşturulduğunda, yeşil polietilen kolayca metabolize edilebilmektedir.

Azot mevcudiyeti mikrobiyal büyüme için sınırlayıcı bir faktör olduğu ve yüzdesel miktarının bu büyümeye olan etkileri mevcudiyetini korumaktadır. Yeşil polietilende bu elementin bolluğu %3'ten daha düşük olarak belirlenmekte ve P. ostreatus PLO6'nın mantar hiflerinde endomikotik nitrojen sabitleyen bakterilerin varlığını bildirilmektedir. Bu nedenle, yeşil polietilen üzerinde P. ostreatus'un büyümesi için nitrojen sağlamış olabilecek bu mikroorganizmaların mevcudiyeti ile kolaylaştırılmış olduğu söylenebilmektedir.

Da Luz ve diğer çalışma grubu, okso-biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin P. ostreatus tarafından bozunmasının muhtemelen polimerlerdeki pro-oksidan iyonların varlığına, lignoselülolitik enzimlerin substratları için düşük özgüllüğüne ve P. ostreatus mantar hiflerinde endomikotik nitrojen sabitleyici mikroorganizmaların varlığı nedeniyle olduğunu öne sürmektedirler. Bu çalışmada, yeşil polimerlerin %50'si şeker kamışından elde edilmekte ve pro-oksidan iyonun yerini almaktadırlar. Yeşil polietilenin lignoselülozik bileşiklerle yapısal benzerliği çok az olduğundan veya hiç olmamasından dolayı, lignoselülotik enzimlerin düşük özgüllüğü yeşil polietilenin bozunmasında gözlenebilmektedir. Bu enzimlerin düşük özgüllüğünün, bazı inatçı moleküller dahil olmak üzere birçok kirleticinin biyolojik olarak

bozunmasına izin verdiği de gösterilmektedir. Roldán-Carrillo ve ark. ayrıca nişasta içeren plastik polimerlerin Phanerochaete chrysosporium tarafından üretilen enzimler tarafından bozunmasını da göstermektedirler.

Bu çalışmada gözlenen kimyasal değişiklikler başka çalışmalarda da gösterilmiş ve bu değişiklikler yeşil polietilenin P. ostreatus tarafından oksidasyonunun kanıtı olarak değerlendirilmiştir. Yeşil polietilenin yüzeyindeki fiziksel değişiklikler ve kuru kütle kaybı, substratın P. ostreatus tarafından mineralizasyonunun ek kanıtı olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak, güneş ışığına maruz kalmasından bağımsız olarak Pleurotus ostreatus'un PLO6 yeşil polietileni bozabildiği bildirilmiştir. Plastiğin güneş ışığına maruz bırakılması ve ardından mantar varlığında inkübasyonu, çöplüklerdeki veya çöplüklerdeki plastik atıkların yarı ömrünü azaltmanın alternatif bir yolu olarak öne sürülebilmektedir.[47]

José Maria Rodrigues da Luz, Sirlaine Albino Paes, Mateus Dias Nunes, Marliane de Cássia Soares da Silva, Maria Catarina Megumi Kasuya 2013 tarihinde yayınlanan Okso-Biyobozunur Plastiğin Pleurotus ostreatus Tarafından Bozunması isimli çalışmasında Pleurotus ostreatus'un okso-biyolojik olarak parçalanabilen (D2W) plastiği UV veya termal ısıtmaya maruz bırakma gibi önceden fiziksel işlemler olmaksızın bozundurma kabiliyetini test etmişlerdir. Yapılan bu çalışmanın asıl amacı, P. ostreatus'un okso-biyolojik olarak parçalanabilen plastiği parçalama ve bu atıkta mantar oluşturma kapasitesini değerlendirmektir. Mikroorganizmalar ve yetiştirme koşulları, fungal biyokütle tayini, okso-biyobozunur polimerlerin biyodegradasyonunun analizi, enzimatik testler, mantar oluşumu işlemleri ve gözlemlemleri yapılmıştır.

Yapılan çalışmada, UV'ye veya ısıl işleme maruz kalma gibi önceden herhangi bir fiziksel işleme tabi tutulmadan okso-biyolojik olarak parçalanabilen plastik üzerinde P. ostreatus tarafından mantar biyokütle üretimini doğrulayan plastik atık yüzeyindeki misel büyümesini gözlemektedir. 45 günlük inkübasyondan sonra taramalı elektron mikroskobu ile okso-biyolojik olarak parçalanabilen atığın yüzeyinde mantar kolonizasyonu incelenmektedir. Fiziksel işlem uygulama ihtiyacından bağımsız olarak, bu çalışmada elde edilen verilen mikroorganizmaların bir karbon ve enerji kaynağı olarak sentetik bir polimer kullanma kapasitesini göstermekte ve böylece biyobozunma bilgisi ile bu yeni plastik polimerlerin bozunması için bir alternatif sunmaktadır.

P. ostreatus'un bu polimeri biyokütle ve metabolit üretimi için bir karbon kaynağı olarak kullanabileceği gözlenmiştir ve P. ostreatus tarafından üretilen ergosterol içeriği bu gözlemi doğrulanmıştır. Ergosterol içeriği, mantar biyokütlesini izlemek için kullanılabilmektedir çünkü bu bileşik kararsız olarak bulunmaktadır ve bu nedenle hifal ölümünden sonra hızla bozulmaktadır. Buna ek olarak da zar lipidi ergosterolü neredeyse yalnızca mantarlardaki mevcudiyetini korumaya devam etmektedir. Barajas-Aceves ve arkadaşları, beyaz çürüklük mantarları tarafından üretilen ergosterol içeriğinin, topraktaki farklı kirleticilerin (örneğin, pentaklorofenol, N,N-dimetilformamid ve tetrametiltiuram disülfid) varlığından veya yokluğundan bağımsız olduğunu gözlemlediklerini belirterek bu bileşiğin bunun bir göstergesi olabileceğini öne sürmektedirler. Bu ergosterol içeriğin kirlenmiş topraklardaki mantar biyokütlesinin veya biyoremediasyon süreçlerini izlemek için kullanılabildiğini belirtmektedirler.

Okso-biyolojik olarak bozunabilir atığın P. ostreatus tarafından bozunması, 45 günlük inkübasyondan sonra plastik yüzeyde çatlak ve deliklerin oluşması ve hidroksil gruplarının (-OH) ve karbon-oksijen bağlarının oluşumu ile de kanıtlanmaktadır. Bu değişiklikler metabolik açıdan bozulmanın kanıtı olmasa da, plastik atıktaki yüzeyde kırışıklıklar, delik ve çatlak oluşumu, ufalanma, renk değişikliği veya renk ve biyofilm oluşumundaki değişiklikler gibi görsel ve mikroskobik değişiklikler mikrobiyal bozulmanın kanıtı olarak söylenebilmektedir. Ayrıca mantar büyümesinden sonra okso-biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin mekanik özelliklerinde bir azalma gözlemlenmektedir ve bu sonuçlar, polimerlerin daha kırılgan olduğunu, kırılmalara veya parçalanmalara karşı daha az dirençli olduğunu ve çevreye atıldığında, mantar tedavisi görmemiş atık plastiklere göre mineralleşmeye daha duyarlı olabileceğini göstermektedir.

Yapılan bu çalışmada lignoselülolitik enzimlerin sentezini indüklemek için karbon kaynağı olarak kağıt havlu kullanılmaktadır. Ayrıca kağıt havlunun substrata eklenmesi nemi ve başlangıçtaki mantar büyümesini korumak için önemli olduğu belirtilmektedir çünkü kağıt havlu eklenmeden yapılan muamelede hızlı bir nem kaybı oldu ve misel büyümesi gözlemlenmektedir. Lakkazın enzimatik substratına çok az benzerliği olan veya hiç benzerliği olmayan okso-biyolojik olarak bozunabilir polietilenin bozunması , kağıt havlunun veya plastik atığın yüzeyinde bulunan boyaların bozunmasının enzimatik reaksiyonundan kaynaklanmış olabileceği öne sürülmektedir. Bu reaksiyon, pro-oksidanın indirgenmesine/oksidasyonuna

neden olan ara yükleme üretmiş olabilmekte ve bu indirgeme/oksidasyon, polietilen zincir kırılmasına yol açmaktadır. Önerilen bu mekanizma, plastiğin yüzeyindeki delikler ve kağıt havlu parçalarının üst üste gelmesi nedeniyle gerçekleşmiş olabilmektedir ve bununla birlikte, bu polimerin P. ostreatus tarafından bozunma mekanizması daha karmaşık olabilmekte ve hem enzimatik hem de enzimatik olmayan reaksiyonları içermiş olabilmektedir. Bu mekanizma, saflaştırılmış enzim ve pro-oksidanlar üzerinde bir kimyasal etiket kullanılarak açıklanabilmektedir.

Alınan nihai sonuçlar, 45 günlük nispeten kısa bir süre içinde biyolojik olarak bozunabilir bir plastiğin bozunmasıyla P. ostreatus büyümesi ve mantar oluşumuna dair ilk kanıtları sağlamaktadır ve bu bulgu, biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerden elde edilen evsel atıkların beyaz çürüklük mantarlarıyla kompostlaştırılarak arıtılması için yeni olanaklar ortaya koymaktadır. Ayrıca bu süreç, endüstriyel plastik ambalajlar, gıda ambalajları ve plastik süpermarket poşetlerinden kaynaklanan plastik atıkların yönetimi için yeni bir seçeneğin olabileceğini ortaya koymaktadır. P. ostreatus, okso-biyolojik olarak parçalanabilen plastiği bozundurabilir ve plastik atıkları kullanarak önceden herhangi bir fiziksel işlem görmeden mantar üretebilmektedir ve bu çalışmanın sonuçları, plastik atıkların biyolojik olarak parçalanma sürecini aydınlatmak ve bu kirleticilerin uygun şekilde arıtılması için yeni bir alternatif ortaya çıkarmak için önemli bir kaynak niteliğinde olarak gözlemlenmektedir.[48]

Diana A. Moreno-Bayona, Luis D. Gómez-Méndez, Andrea Blanco-Vargas, Alejandra Castillo-Toro, Laura Herrera-Carlosama, Raúl A. Poutou-Piñales, Juan C. Salcedo-Reyes, Lucía A. Díaz-Ariza, Laura C. Castillo-Carvajal, Naydú S. Rojas-Higuera, Aura M. Pedroza-Rodríguez ortaklığında gerçekleştirilmiş 16 Mayıs 2019'da yayınlanan tarımsal kullanım için fosfat çözücü bakterilerle zenginleştirilmiş biyokömür üretimi için Pleurotus ostreatus tarafından lignoselülozik kalıntılar ve oksodegradable polietilenin eşzamanlı biyodönüşümü çalışmasında, bir çam kabuğu (PB), doğranmış kağıt peçeteler (CPN) ve bira mayası hidrolizatı (BYH) ve LDPEoxo'nun bir karışımını içeren lignoselülozik biyokütle (LCB)'yi, mikrokozmos ölçeğinde P. ostreatus kullanarak, oksitlenmiş LCB ve biyo-dönüştürülmüş plastik elde etmek için eşzamanlı olarak işlemenin çalışma amacı olduğu söylenmektedir. Mevcut çalışma, düşük özgüllüğe sahip bir enzim kompleksi üreticisi olarak P. ostreatus kullanan lignoselülozik biyokütle ve düşük yoğunluklu polietilenin eşzamanlı biyodönüştürme işlemini gerçekleştirme fizibilitesini bir ko-metabolizma işlemi yoluyla göstermeyi önermektedir. Ek olarak, bu

çalışma, fosfat çözücü bakterilerin immobilizasyonuna izin veren fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip termik biyokömür üretimi için biyodönüşüm ürününü kullanma olasılığını ve sera ölçeğinde A. cepa yetiştirmek için kullanımını göstermektedir.

Sıvı ortamda mantar reaktivasyonu ve yayılımı; Pristine LDPEoxo levha oksijen plazma ön işlemi; mikrokozm sistemi altında eşzamanlı lignoselülozik biyokütle (LCB) ve plazma ile işlem görmüş LDPEoxo dönüşüm eğrileri; mikrokozmos biyotransforme LCB termal son işlem, Biochar fosfat çözünürleştirici bakteri zenginleştirmesi ve Allium cepa büyümesi sera koşullarında değerlendirme; biyolojik, kimyasal ve fizik-kimyasal parametre ölçümü; istatistiksel analiz yöntemleri gerçekleştirilmiştir.

Mikrokozmos sisteminde LCB ve önceden plazma ile muamele edilmiş LDPEoxo eşzamanlı dönüşüm eğrileri; sera biyokömür üretimi, karakterizasyonu ve özellikleri; Allium cepa sera büyüme deneyi sonuçları gözlemlenerek istenilen veriler değerlendirilmektedir. Mikrokozmos sistemlerinde eşzamanlı LCB ve plazma ile işlenmiş LDPEoxo biyotransformasyonu önermesi olarak LDPEoxo atığın atılması ve kullanılması için başka bir alternatif, onu endüstriyel kompostlama koşulları (yüksek sıcaklıklar, yüksek nem ve oksijen seviyeleri), toprak iyileştirme ve katı LCB fermantasyonu için biyoreaktör (mikrokozmos) kullanımı gibi diğer biyodönüşüm teknolojileriyle entegre etmek olarak söylenebilmektedir. Yakma ve atık depolama dahil olmak üzere geleneksel uygulamalardan önemli ölçüde farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aerobik bir süreç olduğu için bozunma daha hızlı ve eksiksiz gerçekleşmektedir ve CO_2 ve biyokütle (canlı hücreler) üretmektedir. LCB ve plazma ile muamele edilmiş LDPEoxo'nun eşzamanlı muamelesi, her iki kalıntı tipinin kimyasal doğası göz önüne alındığında, karmaşık bir proses olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, fiziksel ve kimyasal koşullar P. ostreatus biyodönüşümünün yardımıyla ayarlanırsa, CO_2'ye tam mineralizasyon sağlanmadıkça, aynı oranda modifikasyonlar ve verimlilikler ima etmeden eşzamanlı dönüşüm elde etmenin mümkün olduğu rapor edilmiştir.

Elde edilen mikrokozm düzeyine dayalı olarak, P. ostreatus, 75 gün boyunca mezofilik aerobik koşullar altında yavaş yavaş biyolojik olarak dönüştürülen LCB'yi dönüştürdüğü bulunmuştur. Değerlendirilen içsel koşullar içerisinde nemin yüzdesinin aralarında bir biyotransformasyon parametresi olmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, katı matris içindeki oksijen içeriğini düzenlemeye yardımcı olan, ilk günlerde misel büyümesini ve malzemenin yüzey

kolonizasyonunu destekleyen substrat hidrasyonunu belirlediğinden, kontrol edilmesi kritik bir değişken olduğu saptanmıştır.

Yapılan araştırmada, tedavi ve kontroller için ilk nemin düşük olduğu gözlenmiş ve bununla birlikte progresif besin takviyesi ile nem yüzdesini 30. günde %80'e ve CM1'i %79'a kadar iyileştirmenin mümkün olduğu bulunmuştur. P. ostreatus' katı kültürü için (%50-75) ve kompostlama proseslerinde farklı dolgu karışımları (%60) bozunmaya uğramaktadır. Ek olarak, TM1 ve CM1 mikro kozmosları içindeki P. ostreatus büyümesi de nem yüzdesinde bir artışa katkıda bulunmuştur. Buna karşılık, P. ostreatus içermeyen kontroller için bunlar sadece besin çözeltisi ile hidratlandığından nem yüzdesinde bir artış gözlemlenmemiştir.

Plazma ile muamele edilmiş LDPEoxo tabakaları üzerinde P. ostreatus büyümesi ve kolonizasyonu, AFM görüntülerinde gözlemlendiği ve SEM görüntüleriyle teyit edildiği gibi, kontrol ile karşılaştırıldığında malzemenin pürüzlülüğünde [(13 ± 3) nm] bir artış olduğu kanıtlanmıştır. Mantarlar, polietilen yüzeye yapışmayı kolaylaştıran kitin ve glikan ve ayrıca hidrofobik-hidrofobik bir ara faz oluşturan hidrofobinler salgılar, hif penetrasyonuna ve misel ağ büyümesine yardımcı olarak pürüzlülüğünü arttırmıştır. P. ostreatus'un hif uçlarının mekanik etkisinden dolayı polietilen yüzeyinde oluklar, çatlaklar ve delikler oluşturan LDPEoxo üzerinde büyüme kapasitesi alınan sonuçlarda gözlenmiştir. Mevcut çalışmada, SEM görüntülerinde mantarın mekanik etkisinin kanıtlanmasına izin verecek hiçbir çatlak veya oyuk gözlenmemektedir.

FTIR sonuçları, C-O (1.076 cm^{-1}) ve C-OH (3.271 cm^{-1}) bağlarına karşılık gelen piklerin malzemenin oksidasyonunu gösterdiği, plazma ile işlenmiş LDPEoxo biyotransformasyonunu ortaya koymuştur. Ayrıca, 2928 cm^{-1}, 2848 cm^{-1} deki piklerdeki değişiklikler kütle kaybı ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Peroksidasyon teşvik edici ajan olarak TiO_2 ve P. ostreatus ile 90 günlük LDPEoxo biyotransformasyon işlemi sırasında, mevcut çalışmada gözlemlendiği gibi, hidroksil (C-OH) grubuna karşılık gelen 3500–3000 cm^{-1}'deki pikler çalışmada belirtilmiştir. Polar grupların mevcudiyeti LDPEoxo hidrofilikliğini desteklemekte, bu da P. ostreatus'un polimeri bir substrat olarak kullanmasına ve onu kolonize etmesine izin vermiştir.

TM1'in Ico değerindeki bir azalma, bu fonksiyonel gruplar için mantar asimilasyonunu gösteren C = O ve C-O bağlarının kaybıyla ilişkilendirilmiştir. Peroksidazlar, PEBD zincirinde plastiğin

karbonatlı zincirlerine saldırabilen ve COOH, C-OH ve C = O gibi düşük moleküler ağırlıklı oksitlenmiş ürünlerle sonuçlanabilen serbest radikaller üretmiştir. Bu anlamda, P. ostreatus bu düşük moleküler ağırlıkları tüketmiş olabileceği önermesi ortaya konulmuştur. Ico değerinin düşmesi, β-oksidasyon metabolizmasından sonra C=O gruplarının C=OOH'ye dönüştüğü oksitlenmiş zincirlerin mikrobiyal saldırısını düşündürmüştür

Mikrokozm ölçeğinde mezofilik ve aerobik koşullar altında P. ostreatus, LCB ve plazma ile işlenmiş LDPEoxo eşzamanlı tedavisi için önü açık bir opsiyon olarak değerlendirilebilmektedir. Tasarlanan sistem, mantarın lignolitik enzimleri için substrat olan lignoselülozik madde bakımından zengin bir bileşimi entegre ettiği için P. ostreatus büyümesini destklemiştir. Özellikle LiP, 75. günde en yüksek enzim aktivitesini sunarak plazma ile muamele edilmiş LDPEoxo levha biyotransformasyonuna yardımcı olmuştur ve her iki kalıntının da biyotransformasyonu, lignolitik enzim ve biyokütle üretiminden etkilenen substratlar arasındaki ko-metabolizma nedeniyle mümkün olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen bir biyoürün, katı bir organik biyogübre olarak potansiyel bir kullanım olduğunu gösteren, PSB immobilizasyonu için bir substrata dönüştürülmüştür.[49]

2012 yılında yayımlanan Asep Hidayat ve Sanro Tachibana'nın Pleurotus ostreatus'un hareketsizleştirilmiş miselleri ile polilaktik asit (PLA)/kenaf kompozit bozunmasının karakterizasyonu çalışmasında, Ca-aljinat boncukları ile immobilize edilmiş P. ostreatus miselyumunun PLA/kenaf kompozitini parçalama yeteneği ve ayrıca enzimlerin üretimi ve bozunma sürecinin özellikleri de araştırılmıştır. PLA/kenaf kompoziti, kenaf lifi (Hibiscus cannabinus) ve PLA'nın 70:30 oranında bir kombinasyonundan yapılmış bir biyokompozit olduğu ve sunta ile benzer özelliklere sahiptir. İnsan nüfusundaki büyük artışlar ve ormanların bozulması nedeniyle odun üretiminin azaldığı ve bu nedenle kenaf veya bambu, çimen, hurma yağı veya saman gibi diğer bazı bileşenler ahşabın alternatif malzemelerinden biri olabileceği düşünülmektedir. Kenaf, Afrika ve Asya'nın tropik ve subtropiklerinde yabani olarak yetişen bir bitkidir. Kenafın selüloz, hemiselüloz ve lignin 0,75-2,22 mm uzunluğunda ve 17,34-19,23 mm genişliğinde bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir.

Selüloz, hemiselüloz ve lignini parçalama kabiliyeti nedeniyle mikrobiyal parçalayıcı olarak bir mantar kullanılmakta olup beyaz çürüklük mantarları Phanerochaete chrysosporium,

Trametes versicolor, Pleurotus ostreatus ve Bjerkandera sp. ve kahverengi çürüklük mantarı Neolentinus lepideus'un çeşitli organik kirleticileri bozduğu bildirilmektedir. Mantarlar, son derece plastik, yüksek toleranslı, totipotent (yalnızca sporlar yoluyla değil, aynı zamanda hif parçalarından da yenilenen) ve hifal uzama yoluyla ksenobiyotiklere erişebilen veya nüfuz edebilen olmaları bakımından bakterilere göre avantajlara sahip olduğu gözlenmektedir. Bozunma süreçleri, mantarların mono-oksijenaz, epoksit hidrolaz, di-oksijenaz, peroksidaz ve lakkaz gibi önemli bir enzim grubunu salgılaması nedeniyle gerçekleşmektedir.

PLA/kenaf kompozit numunesi; agar, glukoz, Na-alginat, kalsiyum klorür (CaCl2), malt özü ve polipepton kullanılan malzemeler arasında yer almakta ve P. ostreatus, 2,7-dibenzo-p-dioksin ve 2,4,8-triklorodibenzofuranı mineralize etme kabiliyetine dayanarak izole edilerek kullanımdan önce 4°C'de malt özü agarında bir kültür olarak tutulmaktadır. Sonrasında gerekli biyobozunma hazırlıkları gerçekleştirilmekte ve 1,2,3 ile 6 ay süreyle enzimatik aktiviteleri gözlenmiştir. Araştırma bozulma analizleri başlığı altında bozulma yüzdesi hesaplanarak kütle kaybı hesabı; mekanik özellikler, eğilme mukavemetine göre test edilmekte; mikroskobik özellikler Hitachi S3400-N SEM kullanılarak gözlenmiş ve KBr peletlerindeki her örneğin kızılötesi absorpsiyon spektrumu, oda sıcaklığında bir FT Horiba T20-Freexact II ile Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi kullanılarak kaydedilmiştir. Araştırmadaki sonuçlar mikrobiyal ve enzimatik aktivitelerin bozunma için çok önemli olduğunu göstermiş ve PLA/kenaf kompozitinde 3 aydan önce neredeyse hiç değişiklik olmamasına rağmen kontrolde ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu, PLA/kenaf kompozitinin bozunmasında P. ostreatus'un baskın faktör olduğunu göstermiştir. Kompozitin eğilme mukavemetinin yüzdesel olarak düşmeye devam ettiği araştırmadaki sonuçlarla gözlemlenmiştir ve buna P. ostreatus'un etkisinin neden olduğu belirtilmektedir. P. ostreatus'un PLA/kenaf kompozitini parçalama kabiliyetine sahip olduğu, yüzeyde soluk beyazımsı hale gelen önemli değişiklikler ve ilerleyici parçalanma ile gözlemlenmiştir. Yüzey rengindeki değişiklik ve solma, 2 ay sonra açıkça fark edilmekte ve ayrıca P. ostreatus tarafından parçalanma sırasında kırılganlık, ağırlık kaybı ve eğilme mukavemeti de belirgin şekilde görülmüştür. SEM analizlerinden sonra yüzeyde oluşan delikler, deliğin, yüzeydeki PLA'yı parçalayan enzim eyleminin bir sonucu olabileceğini ve P. ostreatus'un bir enerji ve karbon kaynağı olarak kenaf lifi de tükettiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, ağırlık kaybı ve eğilme mukavemeti ve PLA/kenaf kompozitinin fiziksel değişimi ile iyi ilişkili olarak görülmüş ve bu bulgular PLA liflerinin P. ostreatus tarafından bozunmasını

desteklemiştir. Bu sonuçlar, PLA/kenaf kompozitinin P. ostreatus tarafından bozunmasının oksidasyon reaksiyonları yoluyla hidroksil gruplarının yırtılması ve karboksilik asit gruplarının oluşumu ile meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmanın sonuçları, matrisin moleküler ağırlığındaki, PLA ve kenaf lifi özelliklerinin azalmalarının bir sonucu olarak ağırlık kaybında bir artış ve mekanik özelliklerde bir azalma ile P ostreatus tarafından PLA/kenaf kompozitinin bozunmasını açıkça göstermektedir. Bu çalışma, ligninolitik enzimlerin salgılanması yoluyla PLA/kenaf kompozitinin parçalanmasında P. ostreatus'un rolüne dair ilk kanıtlardan biri olarak literatürdeki yerini almaktadır.[50]

2020 yılının ocak ayında Alves, Rafael M.E, Alves, M.L. ve Campos, Maria J. ortaklığında yayınlanan Farklı Yüzey Tiplerine Sahip Yeni Miselyum Esaslı Kompozitlerin Morfolojisi ve Termal Davranışı araştırmasında en hızlı ve tutarlı miselyum büyümesi için optimal aşılama sıcaklığı, ışık, nem ve en iyi substratın seçilmesini gözlemlemek adına çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Latince isimleri Pleurotus ostreatus, Hypsizygus ulmarius, Ganoderma lucidum ve Trametes versicolor olan dört tip miselyum inkübe edilmekte ve üç substratın (kahve telvesi, çam atığı ve genel odun atığı) büyüme üzerindeki etkisi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve X-ışını mikro bilgisayarlı tomografisi kullanılarak hem morfolojik hem de termo-mekanik olarak analiz edilmektedir.

Gelişmiş miselyum bazlı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, mantar türleri; büyüdüğü substrat; büyümesi sırasında çevresel koşullar ve ayrıca miselyumdaki genetik değişiklikler gibi faktörlerin değişmesi nedeniyle tutarlı bir şekilde değişebilmektedirler. Ayrıca araştırmada ahşap, mantar veya bambu gibi bitki kökenli malzemelere, polietilen, polipropilen veya polivinil klorür (PVC) gibi termoplastiklere ve ayrıca açık hücreli köpüklere benzer özellikler elde etmek mümkün olduğuna değinmektedirler. Araştırmada yine kompozit miselyum bazlı malzemelerin tamamen biyolojik bileşenlerden oluştuğunu, tamamen biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu ve bu ürünlerin yaşam döngülerinin sonunda çok az ekonomik ve çevresel maliyetle veya sıfır maliyetle atmanın mümkün olduğunu belirtmektedirler.

Çalışmada miselyum bazlı malzemenin üretimindeki aşamalara değinilmekte ve ilk adımın, alt tabakayı seçmek olduğu belirtilmektedir. İkinci adım ise bakteri, böcek veya diğer mantarlar

gibi diğer organizmaların istenen mantarın büyümesini engellemesini önlemek için substratın hazırlanması aşaması olarak gösterilmektedir ve burada duruma göre seçilebilecek dört farklı uygulama olan sterilizasyon; pastörizasyon; kimyasal işlem ve doğal kompostlamadan söz edilmektedir. Mikroorganizmaların substrattan uzaklaştırılmasından sonra istenen mantar ile aşılanabilmektedir ve miselyum, agar besiyerinde büyütülmüş olan kültürlerin küçük bir inokulumunun biriktirilmesiyle önceden geliştirilmiş sporları homojen bir şekilde karıştırarak substrata aktarılabilmektedir. Dördüncü adım geometriye uygunluktur ki miselyum bulunan alt tabakalar, istenen geometriyi elde etmek için daha sık kalıplara yerleştirilmektedirler. Beşinci aşama ise miselyumun büyümesini, yani alt tabaka boyunca hiflerin çoğalmasını etkilemekte ve mantarın büyüme süresi de türe, alt tabakaya, çevreye ve nihai ürün olarak uygulamaya göre değişmektedir. Son olarak, kolonize edilmiş substratın ısıtılmasıyla mantar inert hale gelerek büyümesini durdurmakta ve kompozit miselyum malzeme nihayet kalıplardan çıkarılabilmektedir.

Yapılan araştırmada uygun görülen mantarlar ile substratlar gözlemlenecek şartlara uygun olacak şekilde hazırlanan substratlar, yüzeyinde bir miselyum büyüme agar diski ile aşılanmaktadır. İnokulum, aktif büyüyen kültürlerin uçlarından yeniden taşınmakta ve aşılanmış substratlara sahip tüm petri kapları, substratın kurumasını önlemek için parafilm ile kapatılmaktadır. Bir inkübatörde belirli sıcaklıkta belirli süre boyunca büyütülerek bu aşamanın sonunda petri kapları açılmaktadır. Gerekli termal testler termogravimetri cihazı kullanılarak, numuneler uygun sıcaklık artışlarına maruz bırakılarak ve bir azot atmosferinde ısıtılarak gerçekleştirilmektedir. Araştırmada G. lucidum, H. ulmarios ve P. ostreatus mantarların, genellikle mantarların büyümesini engelleyebilecek kimyasallarla muamele edilmiş/stabilize edilmiş, karışık ticari ağaçlardan elde edilen karışık talaşta büyüyemediklerini, kahve telvesi ve çam talaşı alt tabakalarında, tüm türlerden gelen misellerin, belirgin bir sınırlama olmaksızın büyüdüklerini tespit etmektedirler. Çam talaşında yetişen farklı türler arasında G. lucidum ve P. ostrea-tus'un miselleri sadece filament yapısını geliştirirken, T. versico-lor ve H. ulmarios'un miselyumu her iki yapıyı da sergilediği gözlemlenmektedir.

Yapılan araştırmada miselyum bazlı malzemelerin üretiminin basit ve ucuz olduğu gözlemlenmektedir ve mantarlar, ekonomik değeri düşük ve birkaç uygulama (çam ağacı ve

karışık talaş ve kahve telvesi) olan endüstriyel atıkların alt katmanlarında iyi çoğalabilmektedir. Mantarın substrat üzerinde gelişimi sırasında, çeşitli bakteri veya diğer mantar kontaminasyon türlerine duyarlı hale gelebilecek koşullar yaratılmaktadır ve bu, endüstriyel açıdan şirket içinde "beyaz alanlar" yaratılmasına yol açabilecek sterilize edilmiş malzeme ve temel ürünlerin yanı sıra temiz ve çerçevesiz bir çalışma alanı sağlama ihtiyacını gündeme getirmektedirler. Misel büyümesi, mantar türlerine ve seçilen substratlara göre değişiklik göstermektedir ve miselyum hiflerinin mikroyapıları, aralarındaki bağ sayıları ve yoğunlukları ile farklı çaplarda elde edilmektedir. Miselyum bazlı malzemelerde, 270 °C'nin üzerinde kütle değerleri açısından bozunmaya uğrayan, artan sıcaklıkta kararlı bir davranış sergilemektedir ve miselyum esaslı malzemeler, ahşap esaslı temel malzeme ile aynı anda ısıtılmaktadır. Başlangıçta malzemelerde mevcut olan artık nemde bir kayıp gerçekleşmekte, ardından artan sıcaklıklarda sürekli bir enerji emilimi ve son olarak kütlesel bozunma anında ekzotermik bir tepe noktası bulunmakta olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, miselyumun daha düşük bir termal iletkenlik sergilediği ve çam ağacı talaşı malzemesinden bozunma noktasında daha az enerji yaydığı gözlemlenmektedir.[51]

Noor Idayu Nashiruddin, Kai Shin Chua, Azmi Fadziyana Mansor, Roshanida A. Rahman, Jau Choy Lai, Nur Izyan Wan Azelee ve Hesham El Enshasy ortaklığında 25 Haziran 2021 tarihinde yayınlanmış büyüme faktörlerinin miselyum bazlı biyoköpüğün üretimi üzerindeki etkisi üzerine yapılan araştırmada gerçek misel büyüme performansının daha iyi anlaşılması, farklı büyüme koşulları altında büyüyen miselyumun evrimi ve oluşturan biyoköpüğün karakterizasyonu gözlenmekte ve sürecin uygunluğunu değerlendirmek için bir metodoloji kurulmaktadır.

Substrat hazırlama ve soy kültürü işlemleri gerçekleştirilirken Pleurotus ostreatus'un ticari sorgum yumurtası, kalsiyum karbonat (CaCO3) ve pirinç kepeği gibi diğer malzemeler yerel mantar çiftliğinden elde edilmekte ve P. ostreatus suşu, ticari yumurtlama kullanılarak patates dekstroz agar (PDA, Oxoid) ortamına aşılanmaktadır. Yüzey eleme süreci tamamlandıktan sonra miselyum biyo köpük üretimi adımı gelmekte ve burada hazırlanan substrat karışımının nem içeriği uygun koşullara ayarlandıktan sonra içerisine P. Ostreatus ticari üremesi eklenmektedir. Takiben iyice karıştırıldıktan sonra bir kaba dökülmektedir. Nem içeriği ve alt tabaka karışımı giderek değişen ve artan miktarlarla eklenerek teste tabi tutulmakta ve miselyumun büyüme durumu 2 günde gözlenerek büyüme periyodunun 11. gününde süreç durdurulmaktadır. Miselyum biyoköpüğü, 24 saat boyunca 100°C'de bir fırında

kurutulmaktadır. Karakterizasyon ve mekanik testler yapılırken biyo köpüğün yoğunluğunu, bir elektronik terazi ve bir kumpas kullanılarak elde edilen nihai ağırlık ve hacim ölçülerek belirlemektedirler. Miselyum biyoköpüğünün yüzey morfolojisini incelemek için bir JSM-6390LV (JEOL, ABD) taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmaktadır.

Farklı substratlar üzerinde misel büyümesinin karakterizasyonu, değişkenlerin miselyum büyümesi üzerindeki etkisi, fiziksel ve mekanik karakterizasyon, biyoköpüğün morfolojisinin karakterizasyonu, biyoköpüğün fonksiyonel grubunun karakterizasyonu seçilen substratlar uygun parametrelerde ve cihazlarda gözlemlenerek araştırılmaktadır. Miselyum biyoköpüğü, yaygın olarak yetiştirilen bir mantar olan Pleurotus ostreatus ile birleştirilen lignoselülozik liflerin güçlendirilmesiyle üretilmekte ve alt tabakayı hafif bir malzemeye bağlamak için iç içe üç boyutlu filamentli bir miselyum ağı oluşturulmaktadır. Sonuç olarak, miselyum büyümesinin seçilen substrat cinslerine bağlı olduğunu göstermekte ve ayrıca, P. ostreatus miselyumunun substrat olarak pirinç kabuğu üzerinde en iyi şekilde, talaş ve şeker kamışı küspesinde ise zayıf olarak büyüdüğü tespit edilmektedir. Miselyumun belirli bir koşulda daha hızlı ve daha kalın bir hacimle büyüdüğü gözlenmekte ve miselyum varlığı arttıkça, oluşan biyoköpüğün basınç dayanımının daha da güçlendiği tespit edilmektedir. Genel olarak kaydedilen veriler, substrat türlerinin, kuluçka sıcaklığının, nem içeriğinin ve yumurtlama yüklemesinin miselyumun büyüme hızını ve oluşturan biyoköpüğün nihai özelliklerini etkilediğini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, miselyumun büyüme koşulları, kullanılan substrat türlerine ve nihai malzemenin istenen özelliklerine göre uyarlanmalı sonucu ortaya çıkmaktadır.[52]

Kshitij Joshi, Mukesh Kumar Meher ve Krishna Mohan Poluri'nin 28 Şubat 2020'de yayınlanan yenilenebilir ve sürdürülebilir uygulamalar için mantar miselyum kullanılarak tarımsal atıklardan biyoblokların imalatı ve karakterizasyonu araştırmasında substrat olarak tarımsal atıkları kullanarak çeşitli uygulamalar için kullanılabilecek miselyum bazlı biyomalzemeler üretmek için kolay ve tekrarlanabilir bir yöntem tasarlamak amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışma, miselyum liflerinin büyüme kinetiğini ve morfolojisini analiz etmeyi amaçlamaktadır ki böylece biyokütlenin, biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj malzemeleri olarak kullanılabilecek "biyobloklar" halinde üretilebileceği öne sürülmektedir. Bu hedeflere ulaşmak için, P. ostreatus buğday kepeği, şeker kamışı, talaş gibi tarımsal atıklar ve bu substratların bir karışımı üzerinde yetiştirilmekte ve biyobloklar, doğal bir yapıştırıcı olarak P.

ostreatus miselyumu kullanılarak üretilmektedir. Bu doğal biyobozunur malzemelerin ambalaj uygulamaları için uygulanabilirliğini değerlendirmek için morfolojik, fizikokimyasal ve mekanik özellikler incelenmektedir.

Agar, patates dekstrozu, P. ostreatus mantarı, şeker kamışı küspesi, talaş ve buğday kepeği gibi ham biyolojik substrat (tarımsal atık) malzemeler olarak seçilmekte ve tedarik edilen biyosubstratlar, toz/toprak partiküllerini uzaklaştırmak için ılık su ile durulanmakta ve daha sonra sıcak hava fırınında iyice kurutulmaktadır. Kurutulmuş şeker kamışı küspesi ve buğday kepeği, otomatik bir öğütme makinesi ile yarı toz halde öğütülmekte ve tüm ortamlar Milli-Q su kullanılarak hazırlanmaktadır. Miselyumlu substratların birincil inokülasyonu uygun yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmekte ve daha sonra analizlerle gözlemlenmek üzere ikinci aşama olan miselyum biyoblokların hazırlanması kısmına geçilmektedir. Hazırlıklar tamamlandıktan sonra karakterizasyon teknikleri adına taramalı elektron mikroskobu (SEM), termogravimetrik analiz (TGA), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FT-IR), su emme ölçümleri, temas açısı ölçümleri, biyoblokların yoğunluk hesabı, basınç dayanımı ölçümleri yapılmaktadır.

Farklı yüzeylerde yetiştirilen miselyum liflerinin büyüme kinetiği ve morfolojik analizi, miselyum liflerinin kimyasal bileşimi ve termal bozunması, miselyum biyobloklarının büyüme kinetiği ve fiziksel karakterizasyon adına miselyum biyobloklarının su tutması, hidrofobikliği ve basınç dayanımı araştırma içerisinde incelenmektedir. Bu araştırmanın en önemli özelliği için çok geniş kapsamlı olması ve karakterizasyon ile denemeler üzerine yüklü bir miktarda veri içermesinden dolayı stratejik yaklaşım için uygunluk söylenebilmektedir. Miselyumun büyüme hızı, büyük ölçüde tarımsal atıkların doğasına bağlı olarak gözlemlenmektedir ve burada elde edilen miselyum lifleri üniform, ısıl olarak kararlı yapıda, mükemmel yapışkan, hidrofobik ve mekanik özelliklere sahip olarak karşımıza çıkmaktadır. Normal ambalaj malzemesi polistiren ile karşılaştırıldığında, üretilen biyobloklar daha iyi termal direnç özelliklerine sahip olarak belirtilmektedir ve beş ila altı kat artırılmış basınç dayanımına sahip olarak gözlenmektedir. Bu biyoblokların bu doğal fizikokimyasal özelliklerinin yanı sıra, ek ve en önemli faydaları yeşil sentez yaklaşımı, üretim kolaylığı, toksik olmama ve biyolojik olarak parçalanabilir olması olarak gösterilebilmektedir. Çalışma, bu miselyum bazlı biyoblokların, çevreyi ciddi şekilde etkileyen plastik gibi biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin yerini alma potansiyeline sahip durumda olduğunu ve mekanik özelliklerin ince ayarıyla bu

biyoblokların, ambalaj malzemeleri, duvar yalıtım panelleri, mobilya malzemeleri vb. gibi çeşitli yenilenebilir ve sürdürülebilir uygulamalar için biyolojik olarak parçalanabilir ve sıfır atık alternatifleri olarak kullanılabilir durumda bulunduğunu öne sürmektedir.[53]

Bu çalışmada miselyum esaslı kompostlanabilir malzemenin enerji verimliliğinin ve uygulama alanın araştırılması hedeflenmiştir. Faklı substrat içerikleri kullanılarak hazırlanan istiridye mantarı ile miselyum oluşturularak üretimi gerçekleştirilen biyobozunur malzemeler çeşitli testlere tabi tutularak istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup olmadıkları ve birbirilerine kıyasla enerji ihtiyacı karşılamada ne düzeyde oldukları araştırılmak istenmektedir.

2.6. ENDÜSTRİDEKİ YERİ

2.6.1. Ecovative Design

Ecovative, direkt doğa kaynaklı sürdürülebilir malzemeler tasarlayan ve yetiştiren miselyum teknolojisi şirketidir. 2007 yılında kurulmuş Ecovative, sürdürülebilir, tamamen biyolojik olarak parçalanabilen malzeme ve ürünler yetiştirmek için mikolojik teknolojilerin öncü araştırma ve geliştirmesi adına fayda sağlamaktadır. Mycelium Foundry, mikolojik materyal teknolojisi için dünyadaki en kapsamlı mantar suşu kütüphanesini kullanmaktadır. Tescilledikleri AirMycelium™ süreçleri için bu kitaplıktan yararlanarak müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılayan benzersiz şekilde karşılayan biyo-malzemeler yetiştirmek için belirli suşların doğal özelliklerini güçlendirmekte ve bu verileri kullanmaktadırlar. Araştırma ölçekli çalışmalarında milyonlarca mantar türü olduğu gerçeği ve henüz keşfedilmemiş sayısız suş bulunması onları daha da bu geniş dünyadaki keşfedilmemiş olanaklara yönlendirmektedir. Firma bünyesinde her birinin doğasını ve potansiyelini anlamaya çalışmakta ve bu nedenle farklı türleri büyüterek test etmek için yüksek verimli tarama tesisleri tasarlamaktadırlar.

Pilot ölçekli uygulamalarında bir tür umut vaat ettiğinde, onu pilot ölçekli çiftliklerinde test etmekte ve prototipleme ile test için küçük veya orta ölçekli misel malzemeleri yetiştirdikleri yerleri kullanmaktadırlar. Ticari uygulamalarda ise modern malzeme ihtiyaçlarını karşılamak baz alınarak gerçekleştirilmekte ve bu nedenle firmada incelenen misel suşlarının son test adımı

olarak görülmektedir. Ticari ölçekli çiftliklerde, yılda milyonlarca pound üretebilen sürekli tabakalarda miselyum ürünleri yetiştirilmektedir ve daha da iyisi, çiftlikler, mevcut mantar çiftliği altyapısıyla sorunsuz bir şekilde bütünleşerek ortaklık verdiği diğer firmaların tesislerine yakın inşa edilebilmektedir.[54] Şekil 2.11'de Ecovative Design tarafından üretilen ürünlerinden biri olan şişe muhafaza etmeye ve korumaya uygun üretilmiş bir malzeme gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Ecovative Design Şişe Saklama Malzemesi

2.6.2. Mogu Bio

İnsan yapımı ve doğal ekosistemin iç içeliği arasında daha güzel bir ilişki kurmaya çalışan, günlük ürünlerin tasarımını çevrede bozunabilen özelliklere dönüştürme ve sentetik kimyasallar, petrol türevleri içermeyen ürünler üretme hedefiyle 2015 yılında kurulmuş bir biyoteknoloji ve iç tasarım firmasıdır. Çeşitli uygulama sektörlerinde miselyum bazlı teknolojilerin potansiyelini araştırmakta ve seçilmiş protokoller aracılığıyla, yumuşak ve köpüğe benzerden güçlü ve yüksek yoğunluğa kadar farklı performanslara sahip bir dizi

malzeme geliştirmektedirler. Mogu, bugün piyasada iç tasarım uygulamalarına uygun ilk ticari miselyum bazlı ürünleri sunan firma olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mogu akustik paneller tamamen mantar miselyumundan ve ileri dönüşümlü tekstil atıklarından yapılmış, türünün ilk ticari örnekleri olma özelliği de taşıyan sürdürülebilir teknolojiler için önemlibir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Akustik paneller, özel ve çevre dostu yangın geciktirici kaplaması sayesinde çarpıcı bir B-s1-d0 yangın derecesi için onaylanmış konumda bulunmaktadır ve bitirme işlemi bromür, halojen, antimon ve ağır metal içermemektedir. Tarımsal-endüstriyel kalıntılardan lüks yaşam ortamlarına kadar Mogu Floor, iç tasarım ve mimari için iki biyo-bazlı esnek karo ve rulo koleksiyonu olarak ve inşaat endüstrisinde tamamen döngüsel bir yaklaşımı desteklemek adına çözüm olarak değerlendirilebilmektedir.

Mogu Floor ürünlerinde kullanılan biyo-bazlı reçinenin tescilli formülasyonu, geleneksel endüstriyel pigmentleri mısır ekinleri, pirinç samanı, kullanılmış kahve telvesi, atılmış deniz yosunu ve deniz tarağı kabukları gibi düşük değerli biyokütleler ile değiştirerek biyo-bazlı terimini sağlamaktadır.[55] Şekil 2.12'de MoguBio tarafından üretilmiş çeşitli malzemelere alternatif oluşturabilecek özelliklerde bulunan malzeme numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 2.12: MoguBio Tarafından Üretilmiş Biyobozunur Malzeme Örnekleri

2.6.3. MycoWorks

MycoWorks, 2013 yılında San Francisco Körfez Bölgesi'nde kurulan ve biyobozunur malzemeler üreten bir şirket olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok çeşitli endüstrilerden mimarlar, mobilya tasarımcıları ve üreticilerin ilgisini çeken iç ve yapısal tasarım için paneller ve kalıplanmış formlar oluşturulmaktadır. 2016 yılında, deri gibi performans gösterecek şekilde tasarlanmış esnek miselyum malzemeleri geliştirmeye yönelik biyoteknoloji hızlandırıcısı Indiebio'nun tohum finansmanı ile Sophia, Phil ve büyüyen ekibi, Reishi™ Fine Mycelium'un doğuşu olacak birinci sınıf deri görünümüne ve hissine sahip ileri teknik bir miselyum malzemesi geliştirmektedirler.[56] Şekil 2.13'de MycoWorks tarafından tasarlanmış ve çeşitli kimyasallar eklenerek üretilmiş suni deriye alternatif oluşturabilecek potansiyelde bulunan malzeme gösterilmektedir.



Şekil 2.13: MycoWorks Tarafından Tasarlanmış Suni Deri Alternatifi Ürün

2.6.4. Grown Bio

Ambalaj endüstrisinden inşaat sektörüne de makul ve tercih edilebilir ürünler üretilmektedir, iyi yalıtım özelliklerine sahip olduğu ve bu nedenle yalıtım panelleri olarak kabul edilebileceği düşünülmektedir ki birçok yere ürün temini sağladıklarını da beyan etmektedirler. Miselyum, genişletilmiş polistiren (EPS) ve genişletilmiş polipropen (EPP) gibi fosil yakıt bazlı plastiklere ekolojik bir alternatif olduğu düşündüklerini ve gözlemlediklerini de belirtmektedirler.

Ürünlerinde karakteristik olarak yenilenebilir hammaddeler kullanılma, yağ bazlı kaynaklar veya toksik elementler içeren ürünler olmama, sınırsız kullanılabilir ve laboratuvar ortamında yeniden üretilebilir olma, herhangi bir spesifikasyona veya istenilen şekle göre tasarlanabilir olma yani esneklik, yangına dayanıklı olma, uçucu organik bileşikler içerme, hem ses hem de sıcaklık yalıtımı ve kompostlanma özelliklerni içermektedir. Miselyum kompozitleri paketleme için mükemmel özelliklere sahip olduklarını şok emici, yalıtkan, %100 biyolojik hammaddelerden yapılmış ve çeşitli şekillerde üretilebilir olarak kanıtlamaktadırlar.[57] Şekil 2.14'te Grown Bio tarafından üretilmiş paketleme sektöründe kullanılan ve çeşitli ofis ile ev mobilyasına alternatif olabilecek malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 2.14: Grown Bio Tarafından Üretilen Çeşitli Dekoratif ve Paketlemeye Yönelik Malzeme Örnekleri

3. YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Tablo 3.1'de hazırlanan malzemelerin substrat içerikleri ve spawn miktarları sunulmuştur.

Tablo 3.1: Hazırlanan Numunelerin Substrat İçerikleri ve Spawn Miktarları

Numune Kodu	Substrat İçeriği	Spawn Miktarı
MEBM-1	20g çam talaş 10g kağıt 10g saman	10g
MEBM-2	7.5g çam talaş 2.5g saman	10g
MEBM-3	10g saman 10g odunsal atık 2.5g jüt	10g
MEBM-4	22.5g mısır silajı 22.5g saman 5g un	12.5g
MEBM-5	4g saman 4g pamuk	50g
MEBM-6	10g mısır sapı 4g mısır koçanı 3g mısır püskülü 2.5g mısır unu	10g
MEBM-7	10g saman 10g odunsal atık 5g jüt	10g
MEBM-8	5g saman 2g kahve 3g odunsal atık iç kısım	20g
MEBM-9	10g saman 10g odunsal atık 7.5g jüt	10g
MEBM-10	10g saman 10g odunsal atık 10g jüt	10g

MEBM-11	10g saman 10g odunsal atık 12.5g jüt	10g
MEBM-12	10g saman 10g odunsal atık 7.5g jüt	20g
MEBM-13	10g saman 10g odunsal atık 12.5g jüt	20g

HauBio'nun civardaki çiftçilerden, tarım alanlarından ve marketlerden temin ettiği bitkisel ve tarımsal atıklar, uygun gelişme koşullarını yaratmak için parçalara ayırılmaktadır ve ağırlığı tartılan bitkisel atıklar %65-70 nem içeriği olacak şekilde distile su ile ıslatılmıştır. Yeterli nem içeriğine ulaşan bitkisel atıklar, cam kavanozlara alınarak otoklav için hazırlanmış ve Nüve NC 90M markalı otoklavda 121°C'de 40 dakika boyunca sterilize edilmiştir. Sterilize olan numunelerin 25°C'ye kadar soğuması için 12-24 saat bekletilmiş ve önceden etil alkolle temizlenen kalıplar, 45 dakika boyunca laminar flow da UV ışınına maruz bırakılarak steril edilme işlemi tamamlanmıştır. Bu işlem bittikten sonra, cam kavanozda soğuyan numuneler laminar flowa alınarak farklı oranlarda spawn katılmış ve homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra kalıplanma işlemine geçilmiştir. Kalıplanan ürünler streç filmle kapatılarak hava alması için steril iğne yardımıyla hava delikleri açılmıştır. AK MİSEL'den HK-35 kodu ile alınan pleurotus ostreatus miselyumunun gelişmesi için kalıplanan ürünler 28°C'deki inkübatore konulmuş ve 10-15 gün gelişimi tamamlanana kadar inkübatörde bekletilmiştir. Kalıpta gelişimi tamamlanan örnekler 60°C'de yaklaşık 12-18 saat kurutulmuştur. Söz konusu örnekler HauBio firması bünyesinde üretimi gerçekleştirildikten sonra ısıl, morfolojik, yüzey ve enerji analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1: MEBM-1 numunesinin görseli

Şekil 3.1 de MEBM-1 olarak kodlanan 20g çam talaşı, 10g kağıt, 10g saman, 10g miselyumdan hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.2: MEBM-2 numunesinin görseli

Şekil 3.2'te MEBM-2 olarak kodlanan 7.5g çam talaşı, 2.5g saman ve 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.3: MEBM-3 numunesinin görseli

Şekil 3.3'daki MEBM-3 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 2,5g jüt, 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.4: MEBM-4 numunesinin görseli

Şekil 3.4’de MEBM-4 olarak kodlanan 22.5g mısır silajı, 22.5g saman, 5g un, 12.5g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur. Substrat içerisinden 20g kuru ağırlık alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5: MEBM-5 numunesinin görseli

Şekil 3.5’de MEBM-5 olarak kodlanan 4g saman, 4g pamuk ve 50g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



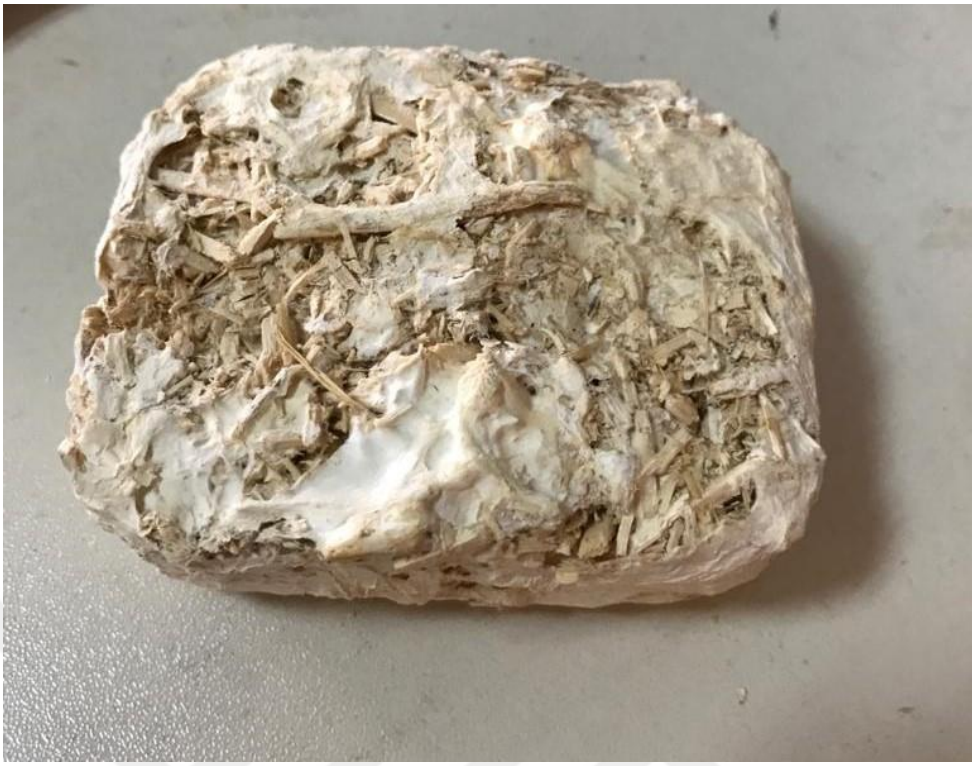
Şekil 3.6: MEBM-6 numunesinin görseli

Şekil 3.6’da MEBM-6 olarak kodlanan 10g mısır sapı, 4g mısır koçanı, 3g mısır püskülü, 2.5g mısır unu ve 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.7: MEBM-7 numunesinin görseli

Şekil 3.7’de MEBM-7 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 5g jüt, 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.8: MEBM-8 numunesinin görseli

Şekil 3.8'de MEBM-8 olarak kodlanan 5g saman, 2g kahve, 3g odunsal atık iç kısım ve 20g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.9: MEBM-9 numunesinin görseli

Şekil 3.9’da MEBM-9 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 7.5g jüt, 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.10: MEBM-10 numunesinin görseli

Şekil 3.10’da MEBM-10 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 10g jüt, 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.11: MEBM-11 numunesinin görseli

Şekil 3.11'de MEBM-11 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 12.5g jüt, 10g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.12: MEBM-12 numunesinin görseli

Şekil 3.12'de MEBM-12 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 7.5g jüt, 20g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.13: MEBM-13 numunesinin görseli

Şekil 3.13'de MEBM-13 olarak kodlanan 10g saman, 10g odunsal atık, 12.5g jüt, 20g spawn kullanılarak hazırlanan numunenin görseli sunulmuştur.

3.2. Analizler

3.2.1. TG Analizi

İstiridye mantarı miselyumu kullanılarak hazırlanan kompostlanabilir biyobozunur malzemeler (TGA) cihazında test edilmiştir. Şekil 3.14'de çalışmalarda kullanılan Seiko EXSTAR 6000 TG/DTA marka termal analiz cihazı gösterilmiştir. TGA analizlerinde ısıtma hızı 10°C/dk olup 25°C ile 550°C arasında ve hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin ağırlığının sıcaklık değişimi ve zamana bağlı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.14: Termal analizlerin gerçekleştirildiği TG/DTA cihazı

3.2.2. Ortalama Temas Açısı (Θ_{ave}) Analizi

İstiridye mantarı miselyumu kullanılarak hazırlanan kompostlanabilir biyobozunur malzemenin hidrofilitesinin incelenmesi amacıyla temas açısı (Θ) analizleri geçekleştirilmiştir. Şekil 3.15'de çalışmalarda kullanılan KSV Attension THETA marka yüzey temas açısı ölçüm cihazı gösterilmiştir. Yüksek enerjili yüzeylerde su yüzeyde düzgün olarak dağılmakta olup temas açısı sıfırdır ve bu durumda yüzey tamamen ıslanmaktadır. Böyle yüzeyler hidrofilik (su seven) olarak tanımlanmaktadır. Düşük enerjili yüzeylerde ise su damlaları küresel şekillerini korumaya çalışmaktadır. Bu yüzeylerde temas açısı yüksek (> 90º) olup yüzey hidrofobik olarak tanımlanmaktadır. Yüzey temas açısı ölçümlerinde, 5µL hacmindeki damla en az 3 farklı noktadan yüzeye damlatılarak 10 adet fotoğrafı çekilmiş ve bu görüntülerden yüzey temas açısı değerleri ortalama olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.15: Çalışmalarda Kullanılan Yüzey Temas Açısı Cihazı

3.2.3. Optik Mikroskop Analizi

Numunelerin üç boyutlu gözlemlenmesi ve heterojen kompozit yapısının incelenmesini gerçekleştirmek için Olympus SZX10 markalı dışarıdan aydınlatmalı stereo mikroskop kullanılmıştır. Şekil 3.16'da çalışmalarda kullanılan stereo mikroskop cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Çalışmalarda kullanılan stereo mikroskop cihazı

3.2.4. DSC Analizi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), sıcaklığın bir bileşen fonksiyon görevinde katı ve sıvıların dönüşüm sıcaklıklarının ve entalpilerinin belirlenmesi gibi endotermik ve ekzotermik değişimleri tespit etmek için kullanılan ölçüm tekniklerinden biridir. Bu nedenle numune ve referans deney boyunca hemen hemen aynı sıcaklıkta tutulmaktadır ve ısı akışı ölçülmektedir.

Şekil 3.17'de tez çalışmasında, sentezlenen polimerlerin ısıl karakterizasyonu için kullanılan Mettler Toledo marka intracooler ve gaz kontrol üniteli DSC 2.0 model diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı gösterilmiştir. Çalışma koşulları 25-300 ºC arasında 10 ºC/dk ısıtma hızı ile azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

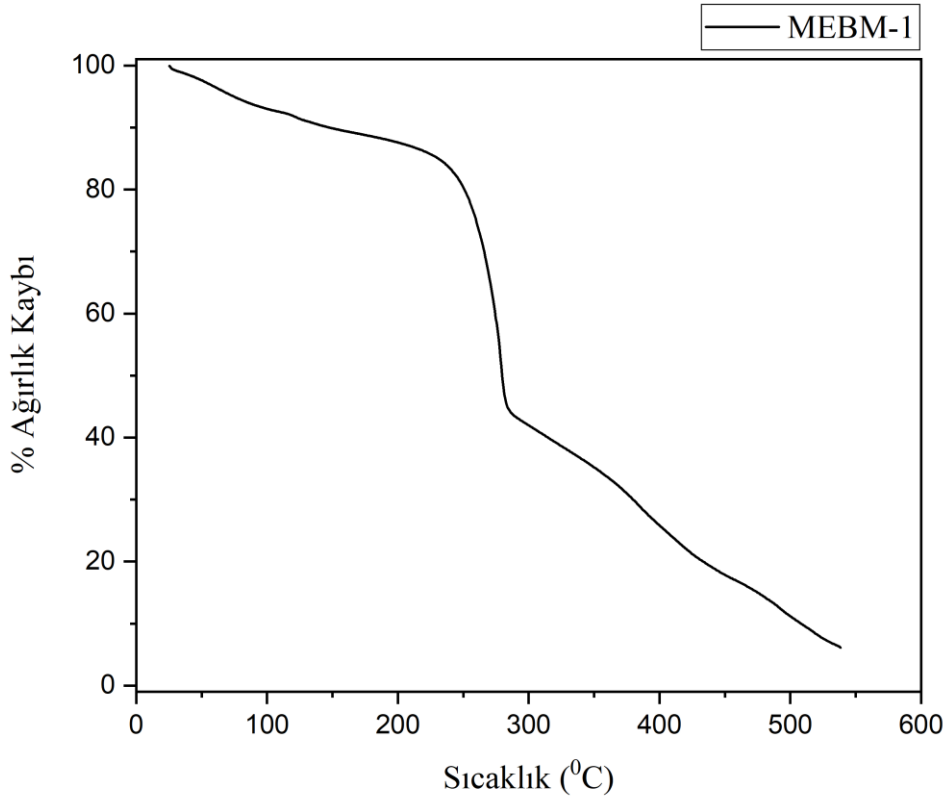


Şekil 3.17: Mettler Toledo DSC cihazı

4. BULGULAR

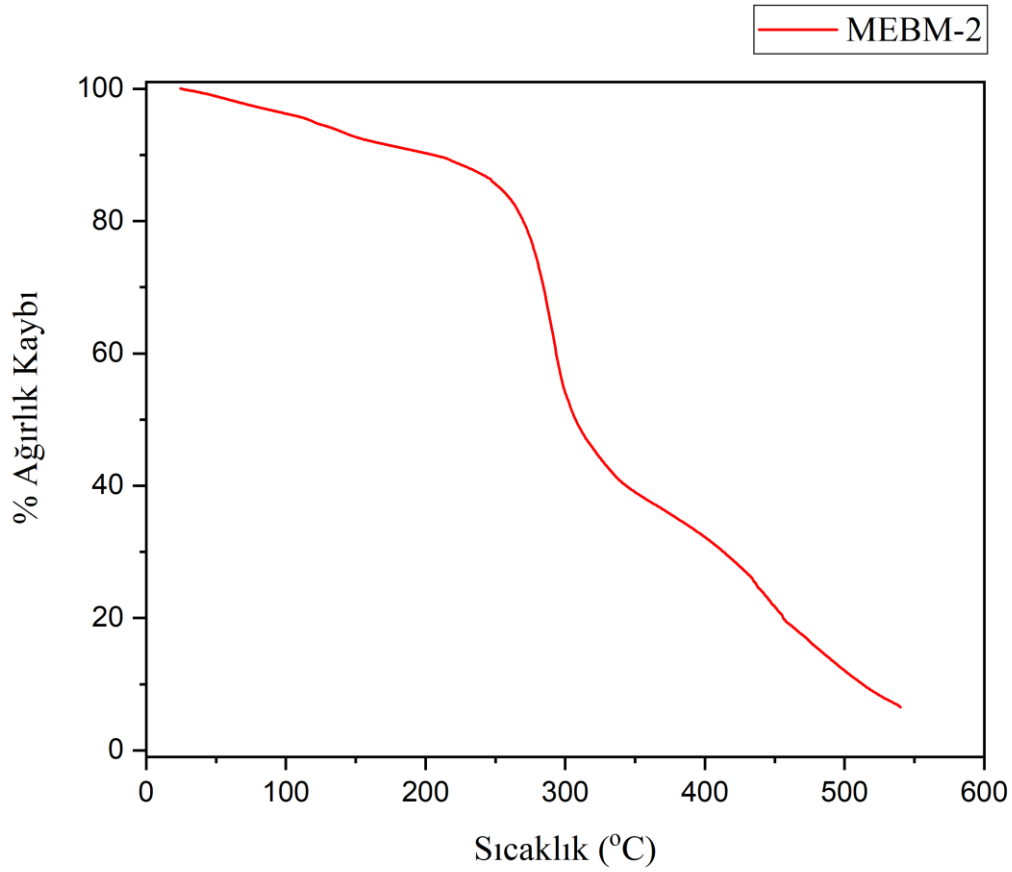
4.1. Hazırlanan Örneklerin Isıl ve Oksidatif Özelliklerinin Belirlenmesi

Hazırlanan ürünlerin ısıl ve oksidatif bozunma davranışları bölüm 3.2.1' de belirtildiği şekilde analiz edilmiştir ve incelenmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak MEBM-1'in kütle değişim grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Buna göre; MEBM-1 kodlu ürünün ısıl ve oksidatif dayanımında 3 kademeli olarak bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. İlk kademede oda sıcaklığından 235 ^{o}C'ye kadar yaklaşık %18,5'luk kütle kaybı meydana gelirken 2. bozunma kademesinin yaklaşık 285^{o}C'de sonlandığı ve ürünün orijinal ağırlığının %44,5'lik kısmının uzaklaşmadığı saptanıştır. Bununla birlikte söz konusu ürünün 540^{o}C'de kütlesinin çok önemli oranda uzaklaşarak ısıl ve oksidatif bozunmaya uğradığı ve %6'lık bir bakiye kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.1: MEBM-1 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

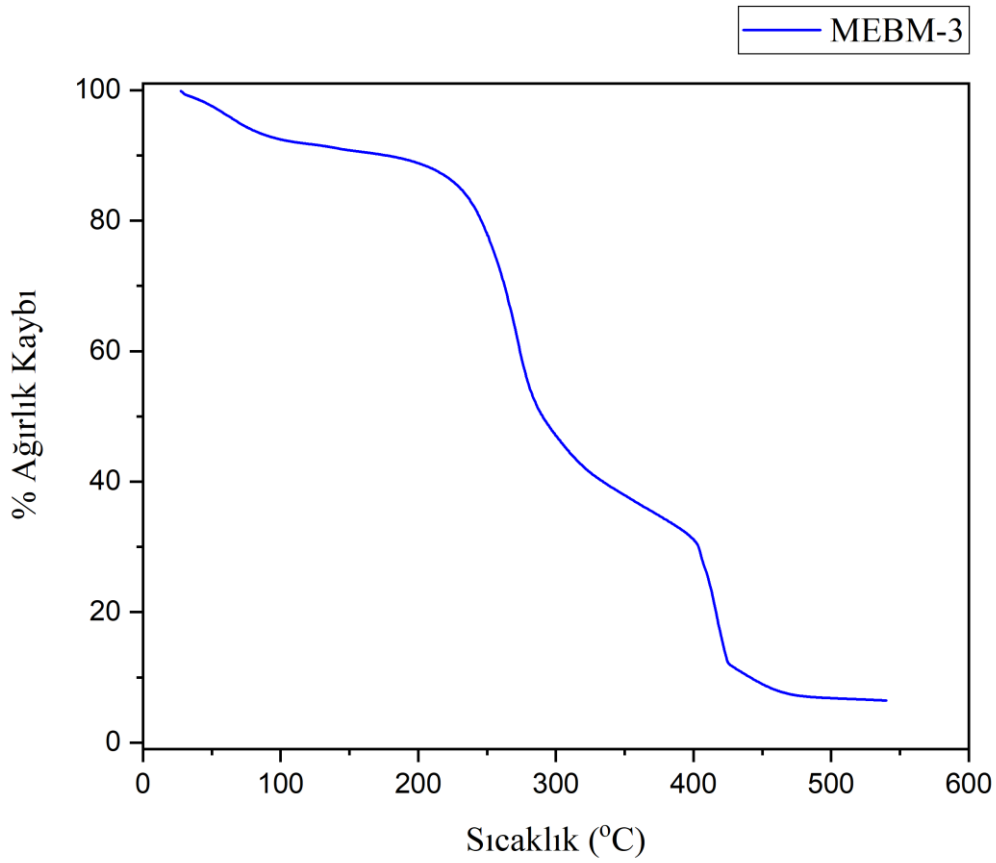
Benzer şekilde, hazırlanan sıcaklığa bağlı olarak MEBM-2'nin kütle değişim grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiş ve bu ürünün ısıl ve oksidatif dayanımında 3 kademeli olarak bozunmaya uğradığı belirlenmiştir. Buna göre; ilk kademede oda sıcaklığından 244°C'ye kadar yaklaşık %13,4'lük ağırlık kaybı meydana gelirken 2. bozunma kademesinin yaklaşık 329°C'de sonlandığı ve ürünün orijinal ağırlığının yaklaşık %43'lük kısmının korunduğu saptanmıştır. MEBM-1 örneğine benzer şekilde MEBM-2 kodlu ürünün de 540°C'deki bakiye miktarının %6,5 olduğu saptanmıştır. Bu durumun kullanılan bileşenleri kompozisyonundan bağımsız olarak substrat türü ve spawn miktarının aynı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.2: MEBM-2 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-3 kodlu malzemenin ısıl ve oksidatif bozunma davranışı Şekil 4.3'te verilmiştir. MEBM-3 kodlu ürün diğer kompozit yapılı malzemelerden farklı olarak 5 kademede ısıl ve oksidatif bozunmaya uğramaktadır. Buna göre 214°C'ye kadar olan ilk bozunma bölgesinde yaklaşık %12,5'luk ağırlık kaybı meydana gelirken 300 °C'de sonlanan 2.bozunma bölgesinde

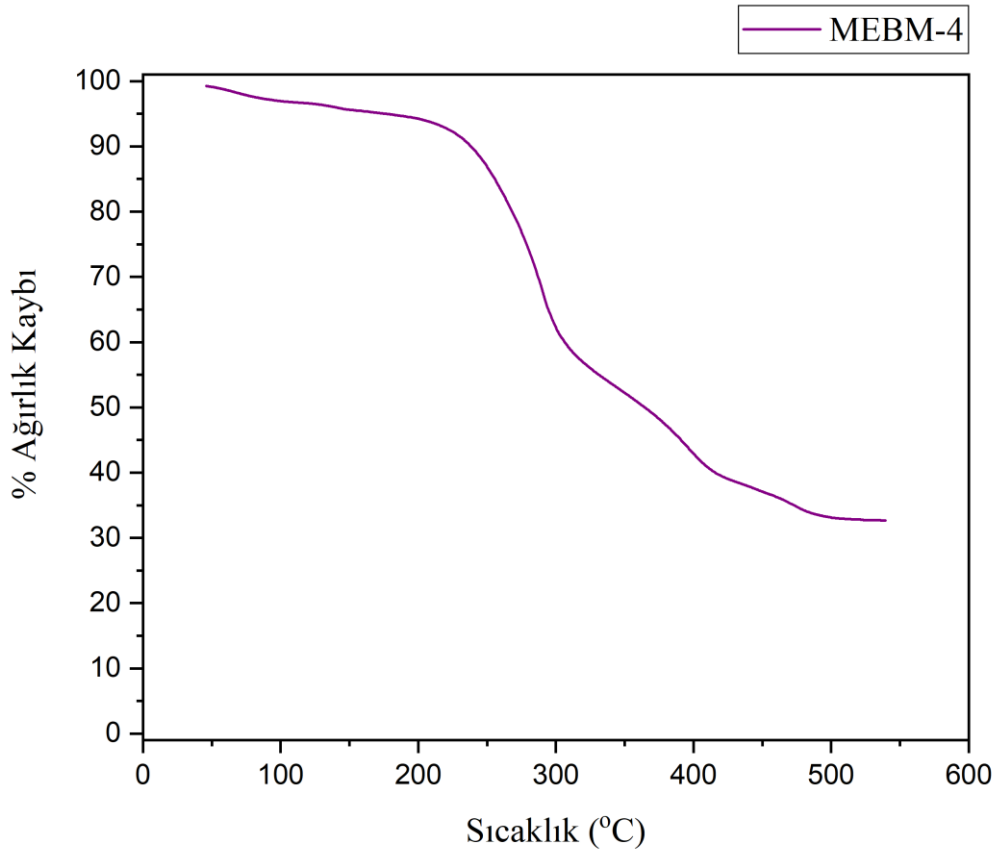
orijinal ağırlığın hemen hemen yarısının korunduğu tespit edilmiştir. Devam eden bozunma basamaklarında sırasıyla 397°C ve 422°C'de %31,6 ve %13,7 kütlenin korunabildiği saptanmıştır. Daha önceki örneklere benzer şekilde MEBM-3 numunesinin de 540°C'de yaklaşık %6,4'lük bir bakiye bıraktığı tespit edilmiştir. Çok kademeli ısıl bozunmanın jüt yapısından kaynaklandığı düşünülmekle birlikte miselyum yapısını içeren spawnın aynı miktarda (10g) kullanılması nedeniyle bakiye miktarlarında yaklaşık aynı seviyede kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.3: MEBM-3 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

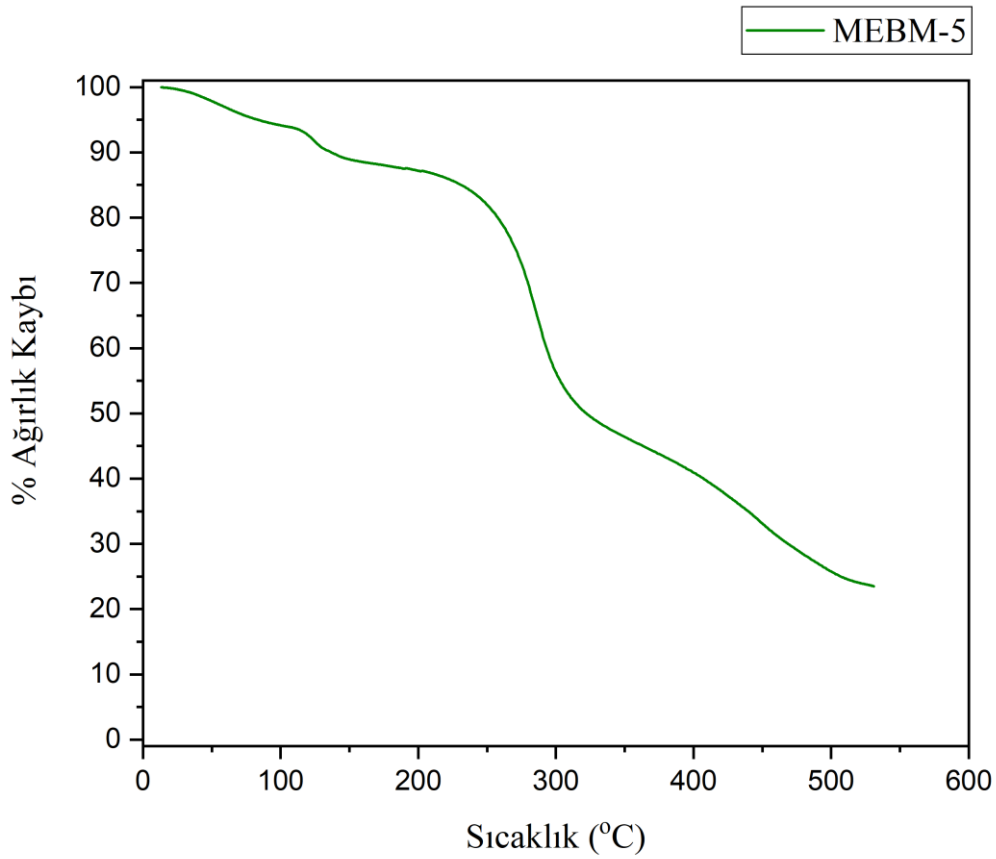
MEBM-4 olarak kodlanan ürünün ısıl ve oksidatif bozunma davranışı incelenrek elde edilen TG eğrisi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Buna göre; MEBM4'ün 3 kademeli ısıl bozunmaya uğradığı tespit edilmiş olup 222°C'ye kadar olan birincil bozunma alanında kütlesinin %7,5'ni kaybettiği belirlenmiştir. 2. bozunma bölgesinde 303°C'de sonlanmış olup orijinal kütlesinin yaklaşık %40'ını kaybetmiştir. Diğer numunelerden farklı olarak MEBM-4 örneğinin

540°C'deki bakiye miktarı %32,6 olarak saptanmıştır. Bu durum diğer malzemelerle karşılaştırıldığında spawn miktarının kısmen artırılmış olması ve mısır silajı kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



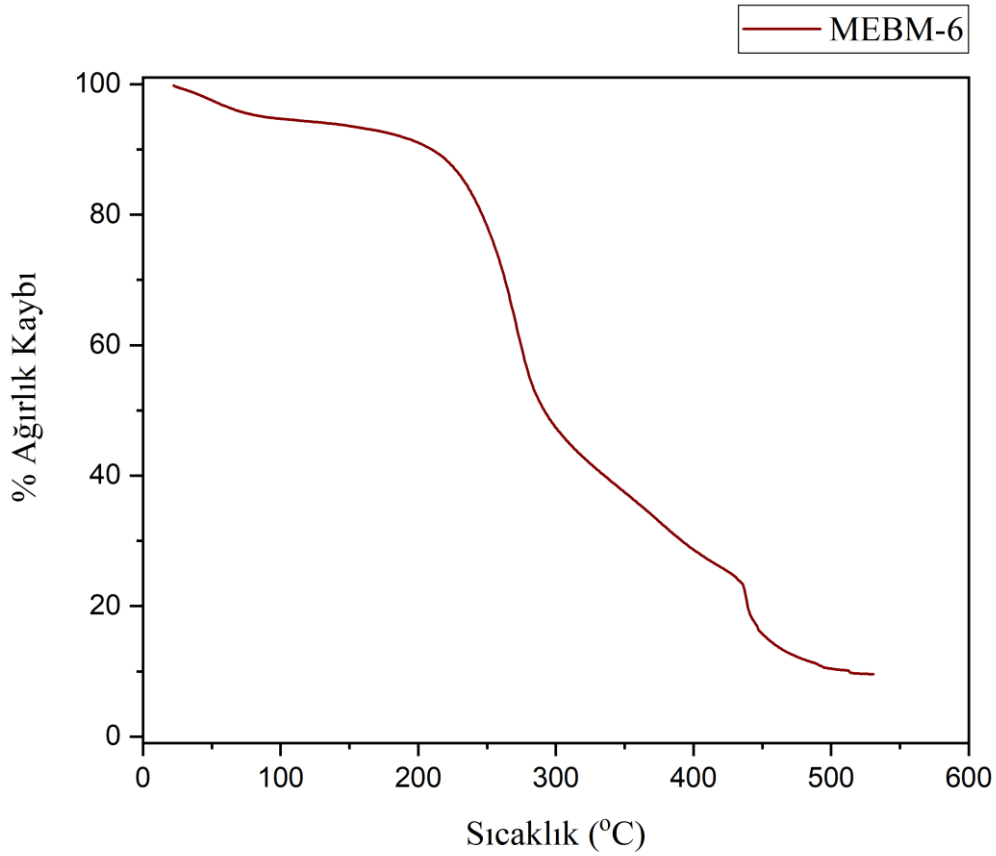
Şekil 4.4: MEBM-4 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

Diğer bir numune olan MEBM-5 örneğinin ısıl ve oksidatif bozunma davranışı Şekil 4.5'te verilmiş olup bu örneğin 3 kademeli olarak bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. Diğer örneklere benzer şekilde ilk bozunma alanının sonu olan 128°C'ye kadar %15'lik ağırlık kaybı, 2. bozunma alanın sonu olan 310°C'ye kadar da yaklaşık orijinal ağırlığının yarısını kaybettiği tespit edilmiştir. İlginç şekilde bu örneğin de 530°C'de bakiye miktarının orijinal ağırlığının yaklaşık ¼'ü kadar olduğu belirlenmiştir. Bu durumun ana gerekçesinin kullanılan spawn miktarının oldukça yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



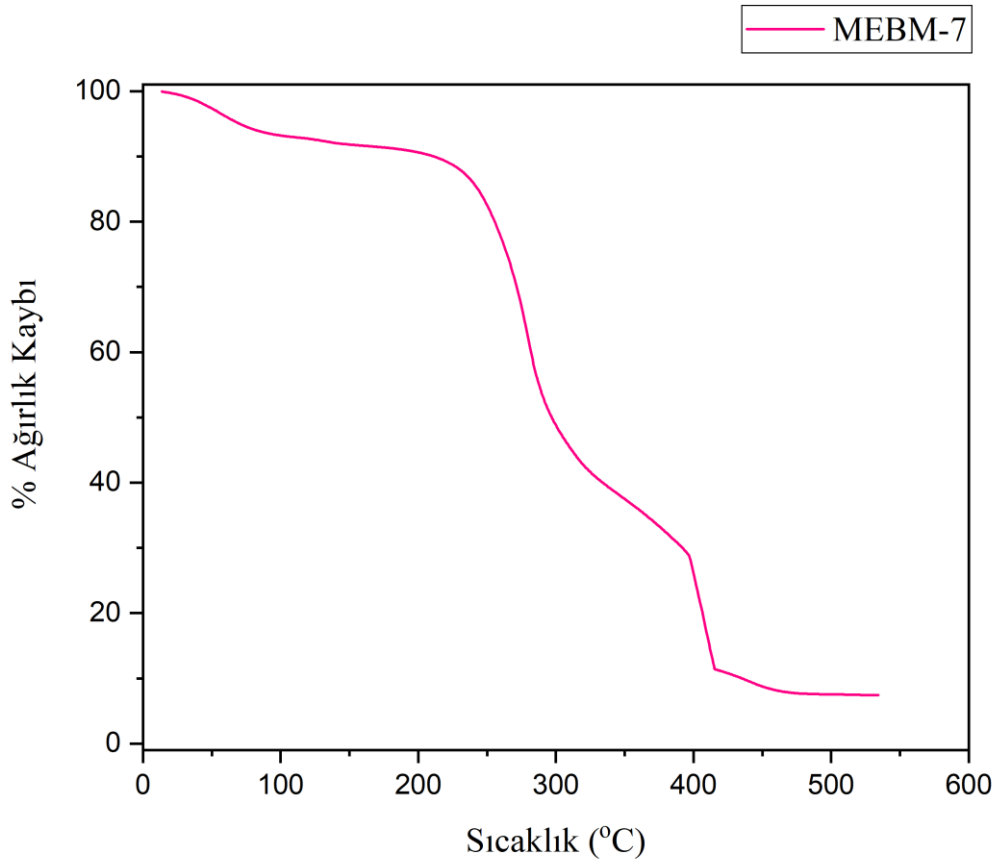
Şekil 4.5: MEBM-5 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-6 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.6'da sunulmuş olup ısıl ve oksidatif bozunmanın 4 kademeli olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Mısır ürünlerinin spawn ile etkileşiminin gözlemlendiği MEBM-6 kodlu ürün diğer örneklere benzer şekilde 2. bozunma alanının sonu olan 285°C'de orijinal malzeme kütlesinin yaklaşık yarısı uzaklaşmış olup 3. bozunma alanı sonunda %24'lük bir kütle kalmıştır. Örnek ısıtılmaya devam edildiğinde 530°C'de %9,5'lik bakiye bıraktığı tespit edilmiştir.



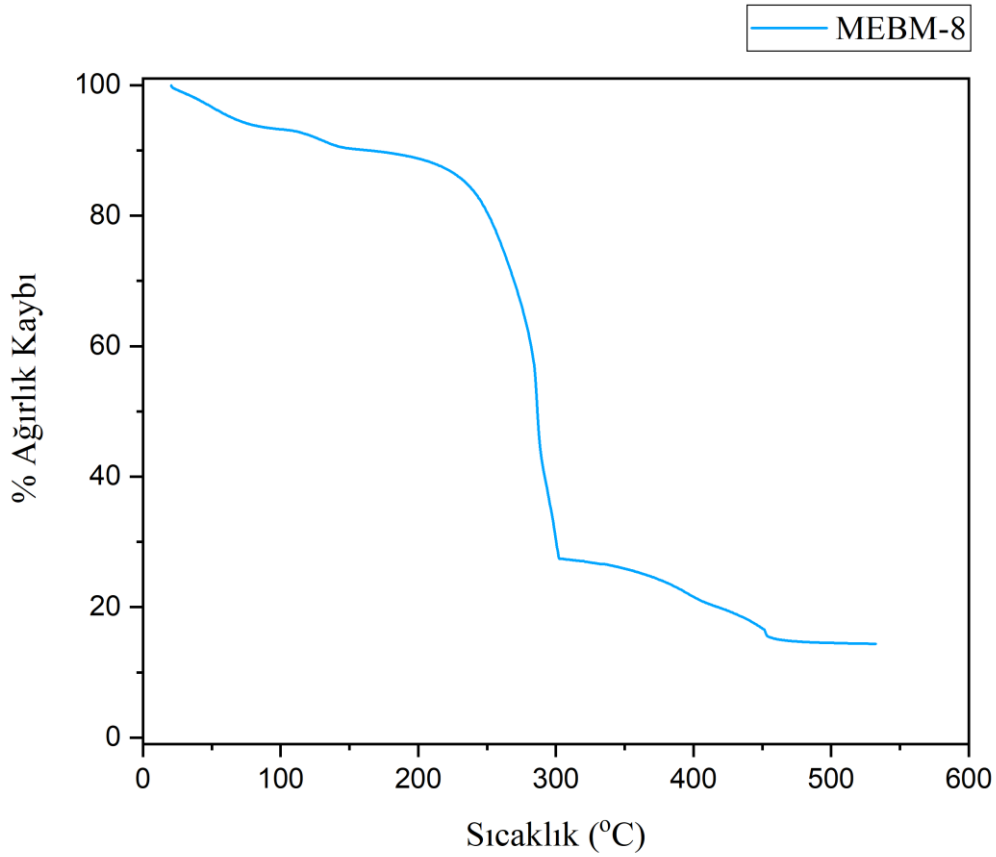
Şekil 4.6: MEBM-6 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-7 olarak kodlanan ürüne ait ısıl ve oksidatif bozunma eğrisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Bu ürün MEBM-3 kodlu ürünün sistematik olarak bir benzeri olup bu örnekte jüt miktarı iki katına çıkarılarak ısıl ve oksidatif bozunma davranışları üzerine etkileri izlenmiştir. Buna göre; malzemenin 4 kademeli olarak bozunduğu, 223°C'ye kadar olan ilk kademede kütlesinin yaklaşık %11'ini kaybettiği tespit edilmiştir. 395°C'deki ikinci bozunma bölgesi sonunda kütlesinin yaklaşık %30'unu koruyabildiği, 415°C'deki üçüncü bozunma eğrisiyle birlikte toplam kütlenin yaklaşık %88'inin uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu örnek için 530°C'deki bakiye miktarı ise %7,4 olarak belirlenmiştir. MEBM-3 ve MEBM-7 kodlu örneklerin ısıl ve oksidatif karşılaştırıldığında kullanılan jüt miktarının iki katına çıkmasıyla 500°C üzerindeki bakiye miktarının %6,5'ten %7,4'e yükseldiği ve 5 kademeli bozunmanın 4 kademede gerçekleştiği gözlenmiştir.



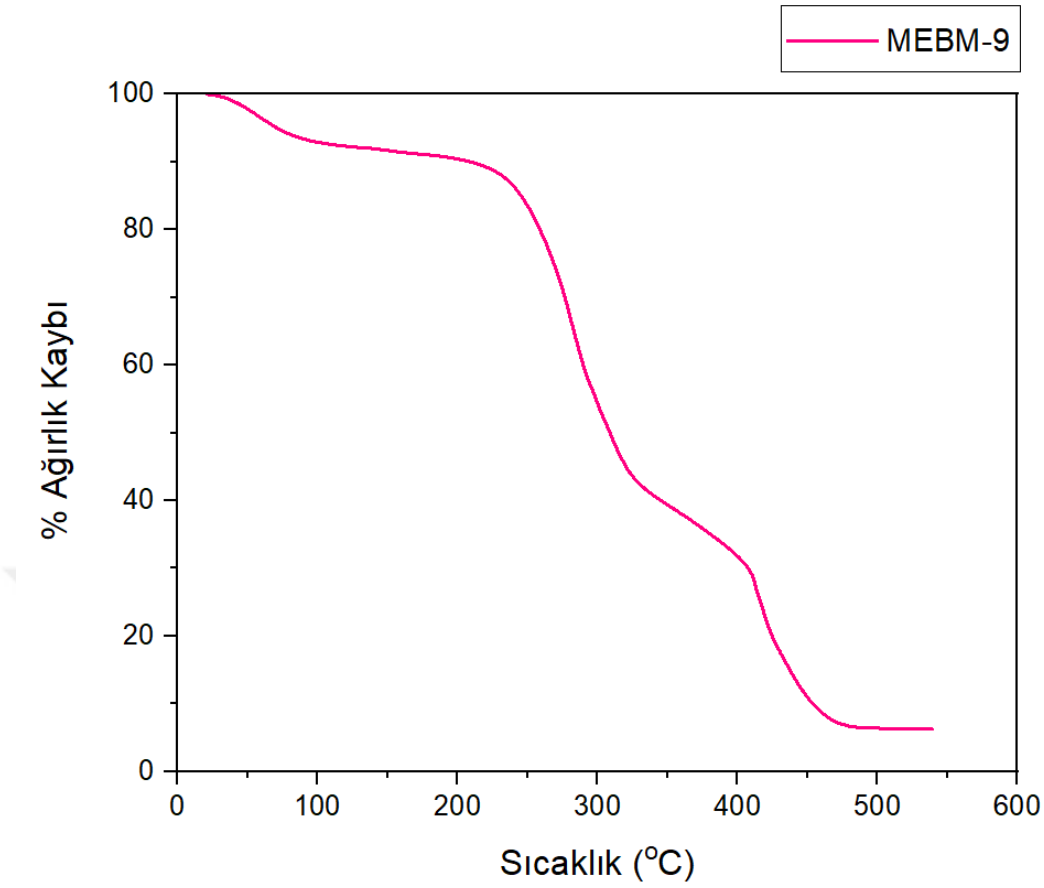
Şekil 4.7: MEBM-7 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-8 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.8'de sunulmuş olup ilgili örneğin 3 kademede bozunduğu tespit edilmiştir. Buna göre; ilk bozunmanın 220°C'de sonlandığı ve hemen hemen %13'lük ağırlık kaybına neden olduğu ve 302°C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece 3/4 'ünün uzaklaştığı tespit edilmiştir. 530°C'de ise bu malzemenin bakiye miktarının %14,4 olduğu saptanmıştır. Bakiye miktarının görece daha yüksek çıkmasının nedeninin Tablo 3.1'de de verildiği üzere de spawn miktarının iki katına çıkarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



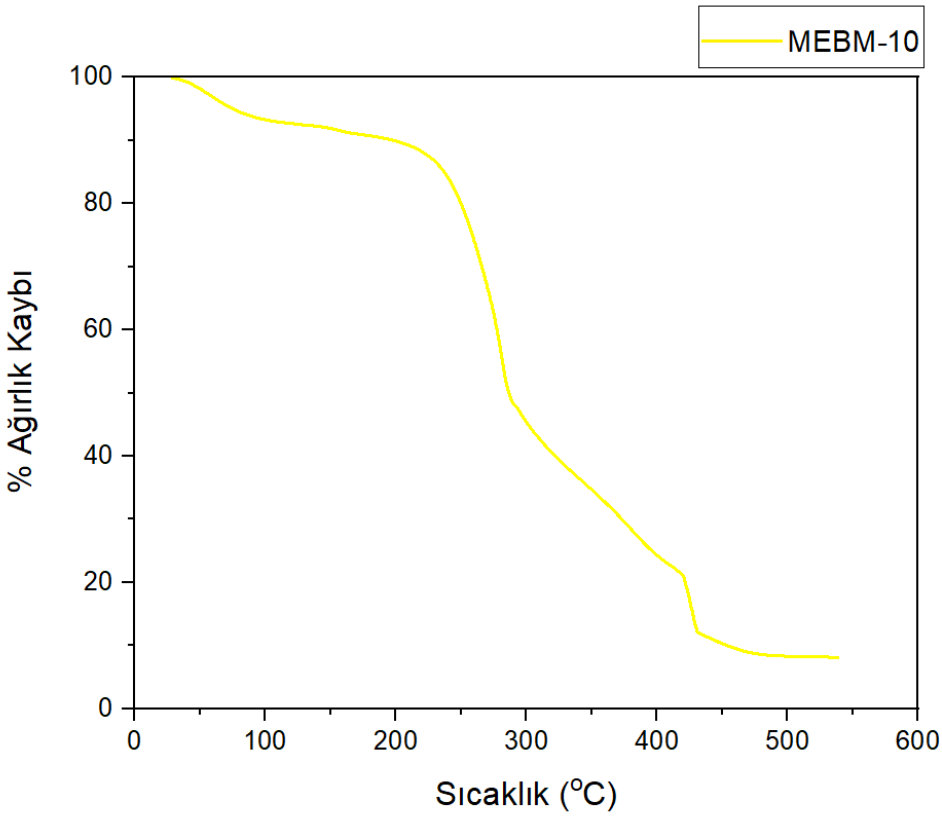
Şekil 4.8: MEBM-8 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-9 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.9'da sunulmuş olup ilgili örneğin 4 kademede bozunduğu tespit edilmiştir. Buna göre; ilk bozunmanın 214°C'de sonlandığı ve hemen hemen %11'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve 290°C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece %52'sinin uzaklaştığı tespit edilmiştir. 420°C'de tamamlanan 3. bozunma bölgesinde ise %79'luk kütlenin yapıdan ayrıldığı gözlemlenmiştir. 434°C'de ise bu malzemenin bakiye miktarının %9 olduğu bulunmuştur.



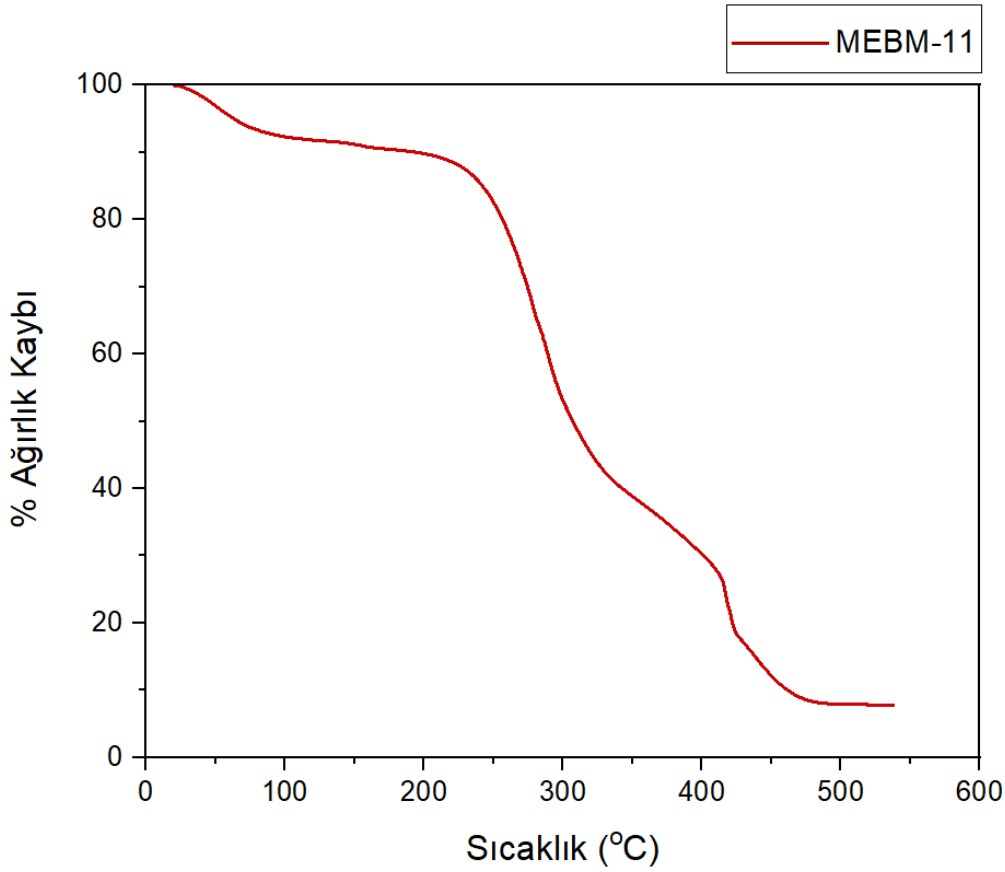
Şekil 4.9: MEBM-9 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-10 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.10'da sunulmuş olup ilgili örneğin daha öncekilere benzer şekilde 4 kademede bozunduğu tespit edilmiştir. Buna göre; ilk bozunmanın 220°C'de sonlanarak hemen hemen %12'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve 330 °C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece yarısından fazlasının uzaklaştığı tespit edilmiştir. 408°C'de tamamlanan 3. bozunma bölgesinde ise %70'e yakın bir kütle kaybı gözlenmiştir. 458°C'de ise bu malzemenin bakiye miktarının %9 olduğu gözlenmiştir.



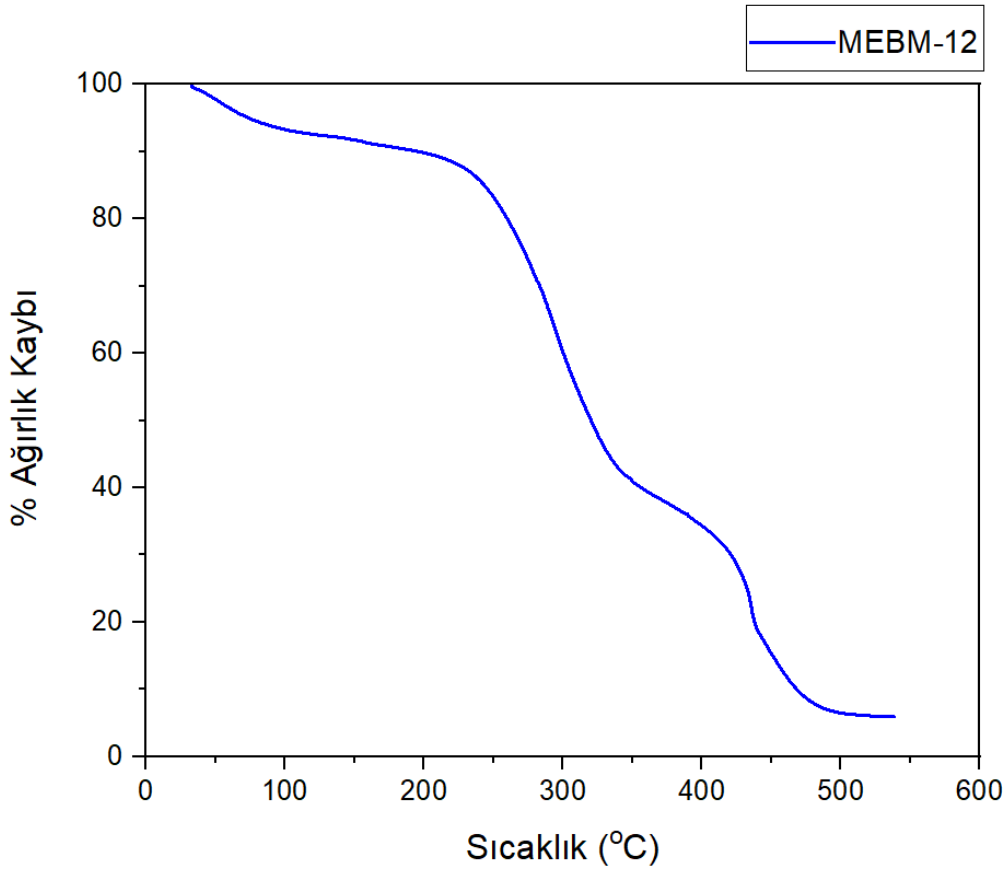
Şekil 4.10: MEBM-10 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-11 kodlu ürünün ısıl ve oksidatif bozunma eğrisi Şekil 4.11'de sunulmuş olup ilgili örneğin 4 kademede bozunduğu tespit edilmiştir. Buna göre; birinci bozunmanın 224°C'de sona ererek yaklaşık %12'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve 322°C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece yarısından biraz fazlasının uzaklaştığı tespit edilmiştir. 414°C'de tamamlanan 3. bozunma bölgesinde ise başlangıç ağırlığının ¾'nde bir kayıp söz konusudur. 463°C'de ise bu malzemenin bakiye miktarının %9,8 olduğu gözlenmiştir.



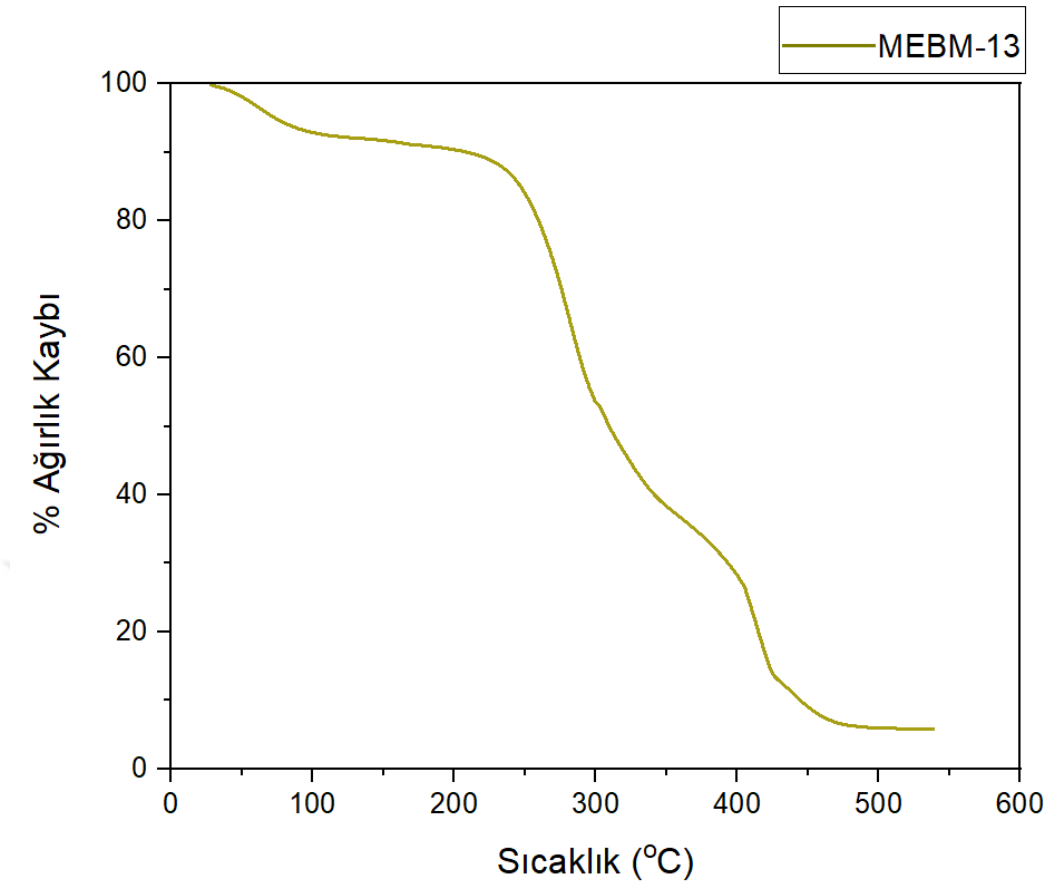
Şekil 4.11: MEBM-11 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-12 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.12'de sunulmuş olup ilgili örneğin 4 kademede bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. Buna göre; ilk bozunmanın 228°C'de tamamlanarak hemen hemen %12,5'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve 341°C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece %58'lik kısmın uzaklaştığı tespit edilmiştir. %70 oranında kütle kaybının gözlendiği 421°C'de tamamlanan 3. bozunma bölgesinden sonra ağırlık kaybı devam etmiş ve 470°C'de ise bu malzemenin nihai kalanının %9,81 olduğu tespit edilmiştir.



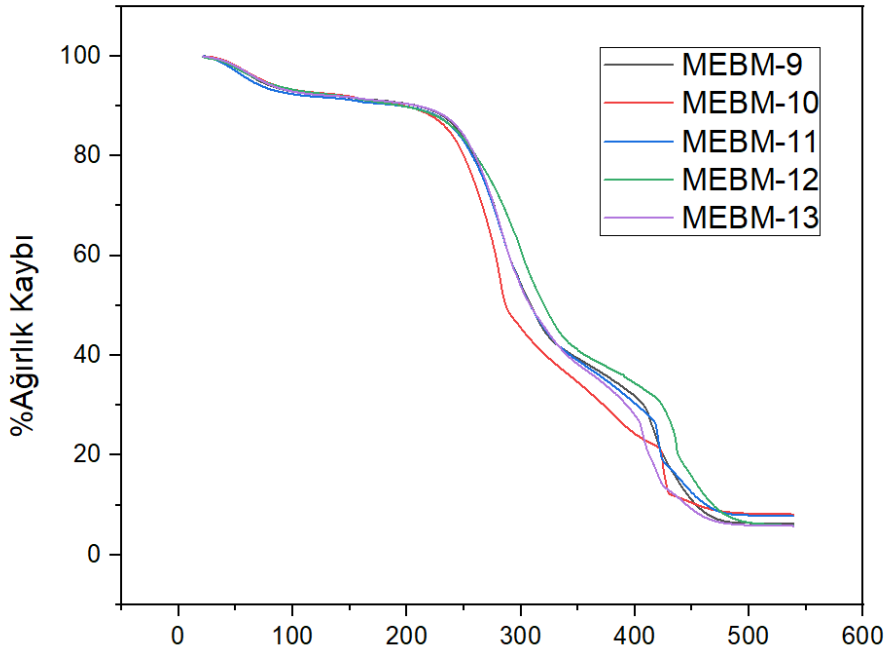
Şekil 4.12: MEBM-12 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

MEBM-13 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.13'de sunulmuş olup ilgili örneğin 4 kademede bozunmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna göre; ilk bozunmanın 228°C'de sonlanarak yaklaşık %11,4'lük ağırlık kaybına neden olduğu ve 340 °C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece %60'ının uzaklaştığı belirlenmiştir. 408°C'de tamamlanan 3. bozunma bölgesinde ise %70'e yakın kaybolan bir kütle söz konusudur. 458 °C'de ise bu malzemenin bakiyesinin %7,78 olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.13: MEBM-13 Numunesinin Sıcaklık Artışına Bağlı TG Değişim Grafiği

Hazırlanan MEBM ürünlerini sistematik olarak jüt ve spawn miktarına bağlı olarak ısıl ve oksidatif dayanımlarını karşılaştırılması amacıyla MEBM-9 ile MEBM-13 arasında kalan örneklerin TG eğrileri birlikte incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 4.14'te jüt ve spawn miktarlarına bağlı olarak ısıl ve oksidatif dayanım grafikleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 4.14: Jüt ve spawn miktarlarına bağlı olarak MEBM örneklerinin karşılaştırılmalı TG Değişim Grafiği

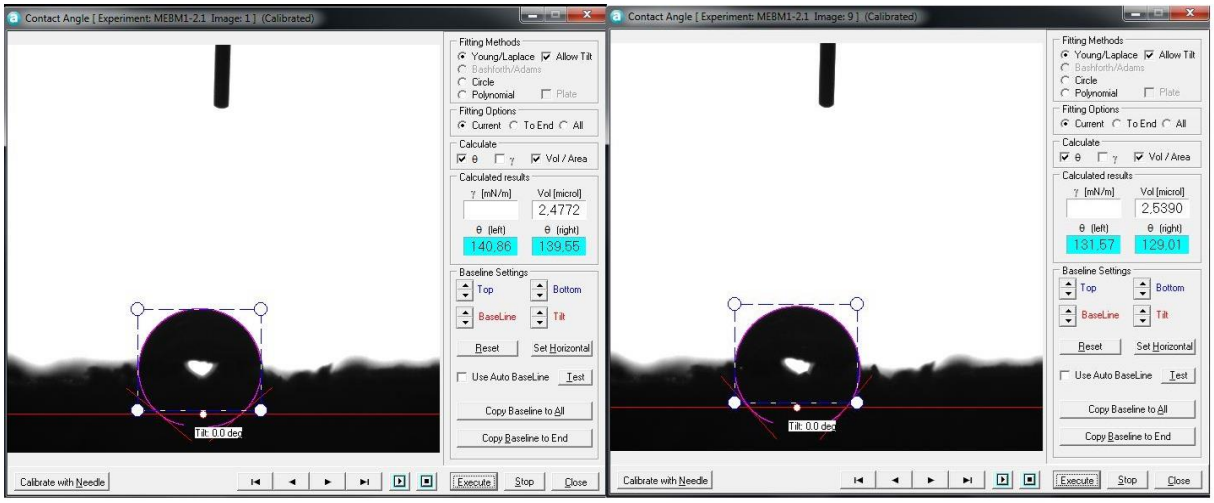
Şekil 4.14'te jüt ve spawn miktarlarının sistematik olarak hazırlanan MEBM ürünlerinin ısıl ve oksidatif bozunma özelliklerine etkilerinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen analizler karşılaştırılmalı olarak gösterilmiş olup genel olarak tüm MEBM ürünlerinin benzer bozunma karakteristiği gösterdiği ve 4 kademede bozunmanın gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna göre; jüt miktarının belirli oranlarda arttırıldığı örneklerde (MEBM-9 ve MEBM-11) ısıl ve oksidatif bozunma eğrilerinin özellikle 3. ve 4. bozunma kademelerinde çok az değişiklik gösterdiği, buna karşın 1. ve 2. bozunma kademelerinde birbirleriyle tamamen örtüştüğü saptanmıştır. MEBM-10 örneğinin ise beklentilerin dışında daha düşük sıcaklık değerlerinde bozunmaya uğramaya başladığı ve bunun da malzemenin heterojen yapısı içerisindeki kompozisyonun birbirinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, spawn miktarının 2 katına çıkarılması ile hazırlanan MEBM-12 ve MEBM-13 numaralı ürünlerin TG eğrilerinin bu ürünlere analog olan MEBM-9 ve MEBM-11 ürünleri ile karşılaştırıldığında bozunma karakteristiklerinin aynı olduğu ve 4 kademede gerçekleştiği görülmüştür. Bu gözlemlerle birlikte spawn miktarının 20g olduğu MEBM-12 ve MEBM-13 kodlu ürünlerin TG eğrileri incelendiğinde jüt miktarının 7,5g'dan 12,5g'a yükselmesinin ilgili bozunma başlangıç sıcaklıklarının artmasına, diğer bir ifadeyle yapının daha ısıl ve oksidatif kararlılığa sahip

olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu iki örnek için jüt miktarının artmasının bakiye oranını da arttırarak %7,8'den %9,8'e değiştirdiği bulunmuştur.

4.2. Hazırlanan Örneklerin Ortalama Temas Açılarının Belirlenmesi

Hazırlanan örneklerin kompozisyonlarına ve spawn miktarlarının değişimlerine bağlı olarak yüzey hidrofilite – hidrofobite özelliklerinin belirlenmesi için bölüm 3.2.2'de gösterildiği üzere temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere herhangi bir malzemenin temas açısı değerinin 90^o ve üzerinde olması durumunda yüzeyin hidrofobik, altında olması doğrultusunda da hidrofilik olduğu şeklinde değerlendirilme yapılmaktadır. Ayrıca yüzeyin morfolojisine bağlı olarak sağ ve sol temas açılarının birbirilerinden farklı olması nedeniyle literatürde de olduğu şekilde ortalama temas açısı değerleri hesaplanarak aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur. Ek olarak yüzeye damlatılan su damlasının yüzeydeki temas açısının değişiminin gözlenmesi adına başlangıçtaki ve sondaki geçen süreye takiben görseller alınmıştır. Buna göre;

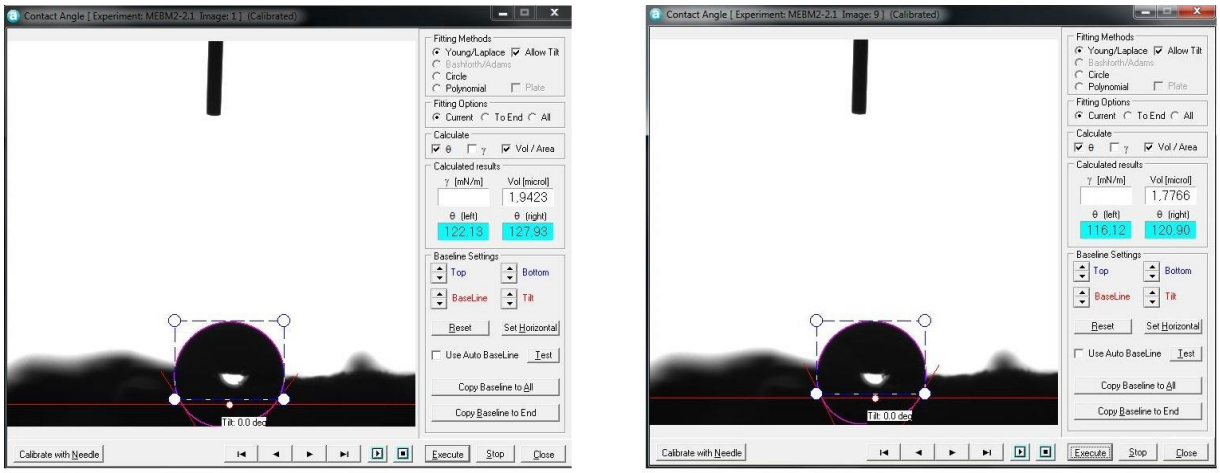
MEBM-1 kodlu ürünün temas açısı görüntüleri Şekil 4.14'te sunulmuştur. Fotoğraftan göründüğü üzere ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri $139,6^o \pm 1^o$ değeri olarak hesaplanmış olup bu değer yüzeyin oldukça hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasında birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise $128,2 \pm 3^o$ seviyesine gerilediği tespit edilmiştir. Bu durum aslında beklenen bir sonuç olup su damlasının yüzeyle teması sonucu olası etkileşimlere ve yüzey topografyasına bağlı olarak gerçekleştiği değerlendirilmiştir.



a b

Şekil 4.15: MEBM-1 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

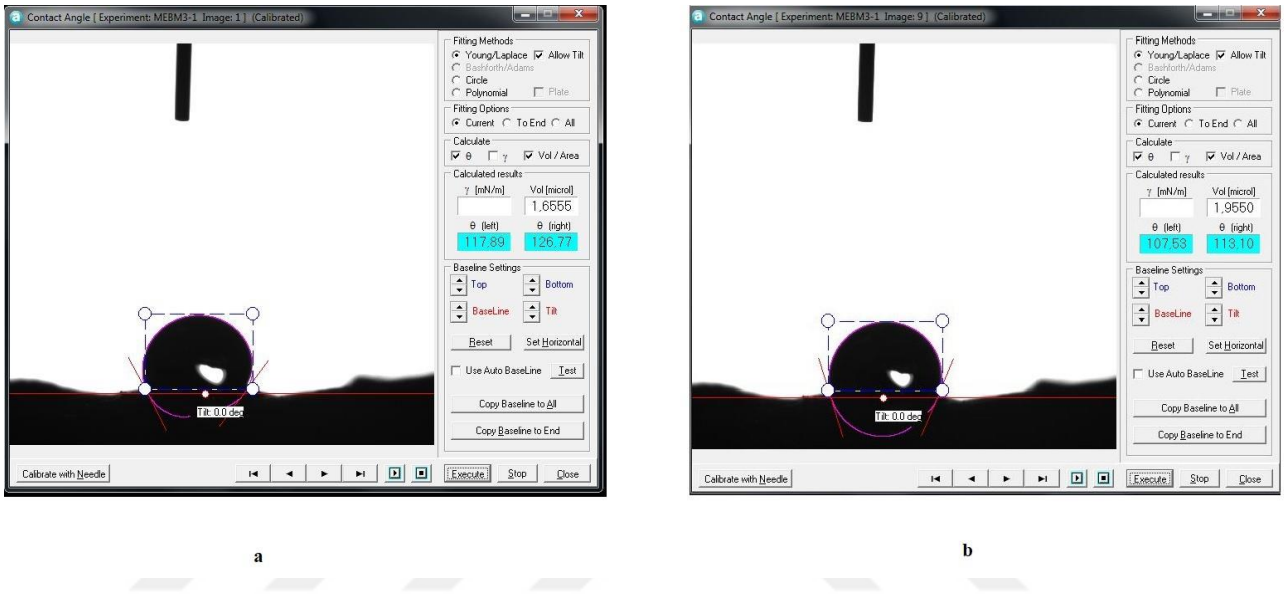
Benzer şekilde, MEBM-2 kodlu ürünün yüzeyinin su ile ilk teması ve birkaç saniye sonraki temas açısı görselleri Şekil 4.15'de sunulmuştur. MEBM-2 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 129,8° ±5° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 123,1 ±2° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

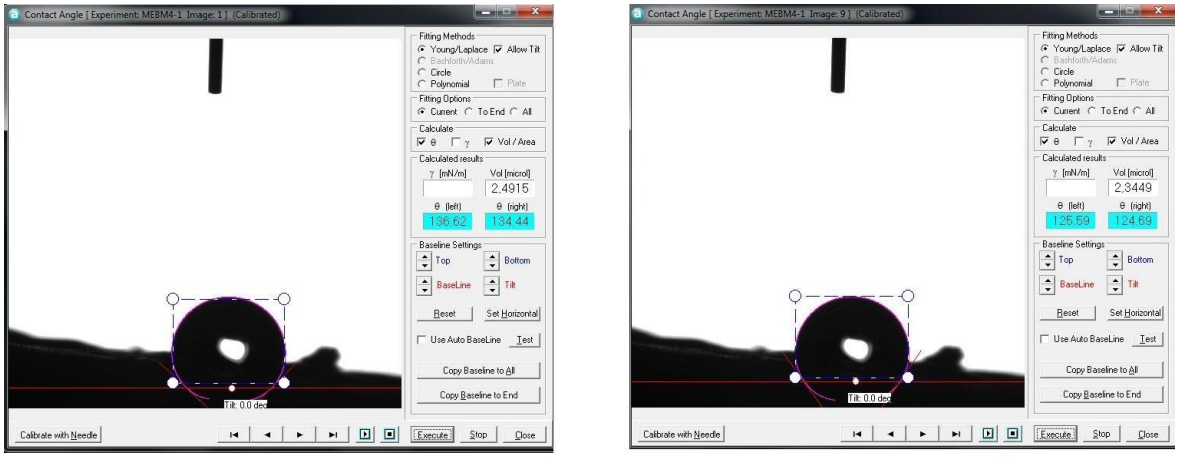
Şekil 4.16: MEBM-2 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

MEBM-3'e ait temas açısı görseli Şekil 4.16'da gösterilmiştir. MEBM-3 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 122,2° ±1° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 110,3 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.17: MEBM-3 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

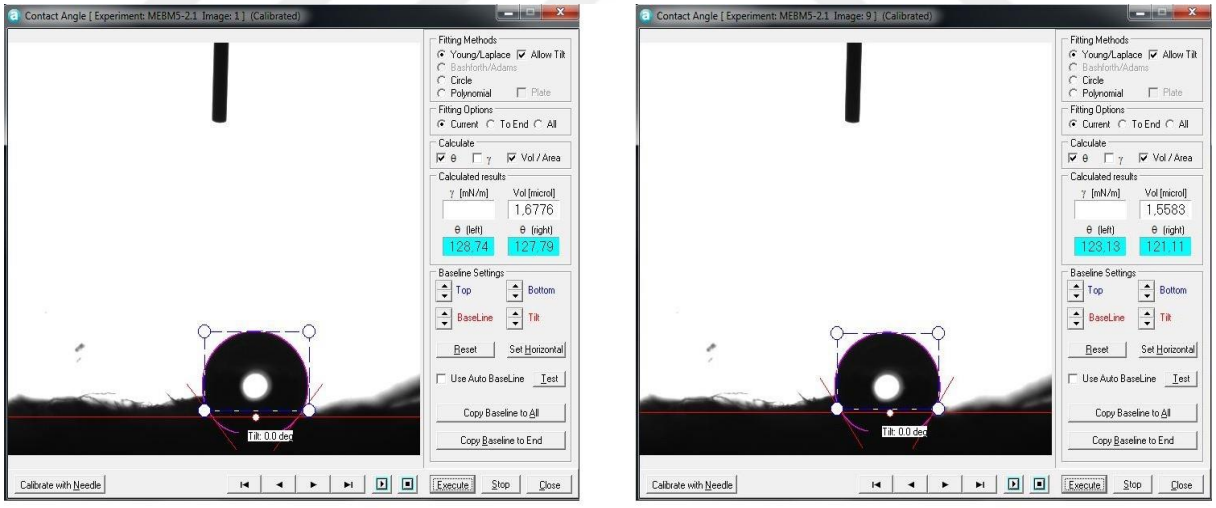
MEBM-4 kodlu malzemeye ait temas açısı fotoğrafları Şekil 4.17'de sunulmuştur. MEBM-4'e ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 132,8° ±3° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı görselinden ise Θ_{ave} değerinin ise 124,4 ±1° değerine düştüğü gözlenmiştir.



a b

Şekil 4.18: MEBM-4 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

MEBM-5'e ait temas açısı görseli Şekil 4.18'de gösterilmiştir. MEBM-5 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri $128,8^o \pm 1^o$ değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise $122,1 \pm 1^o$ değerine düştüğü tespit edilmiştir.

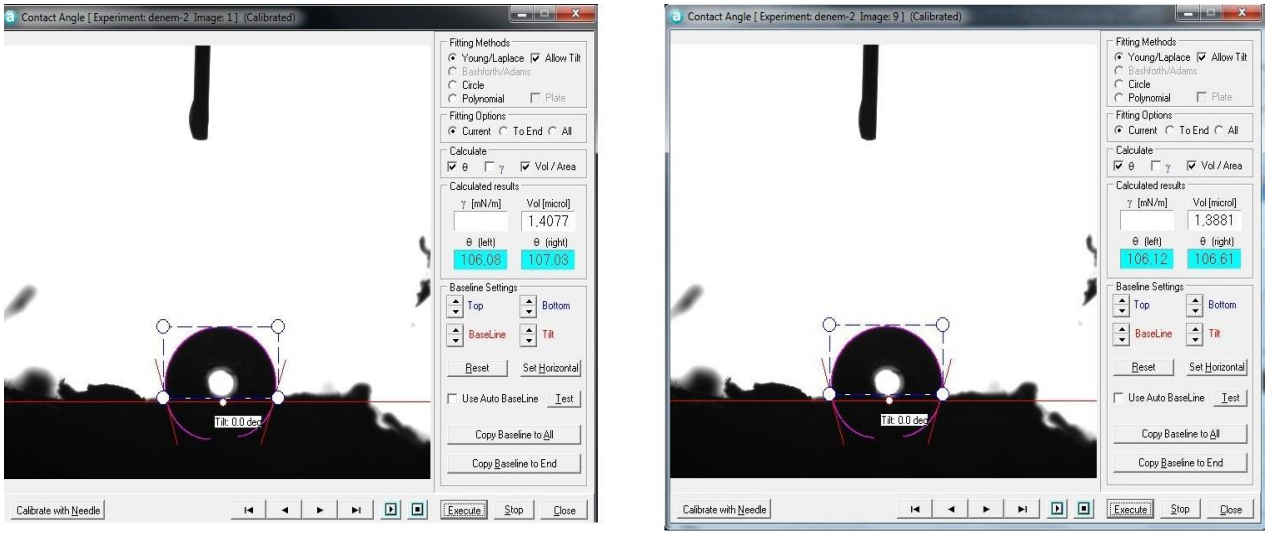


a b

Şekil 4.19: MEBM-5 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

MEBM-6'ya ait temas açısı görseli Şekil 4.19'da gösterilmiştir. MEBM-6 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri $109,3^o \pm 3^o$ değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik

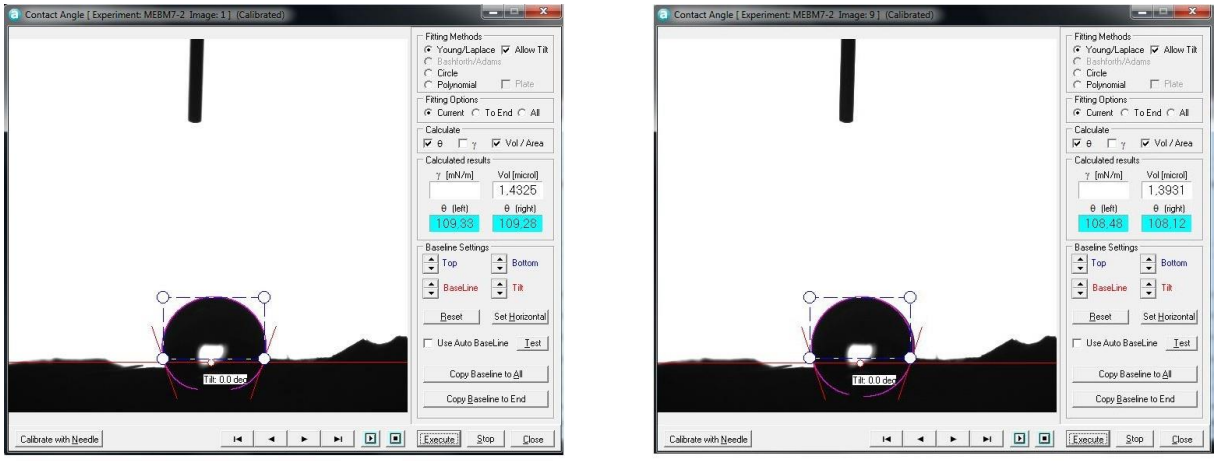
olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 104,7 $\pm 2^{o}$ değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

Şekil 4.20: MEBM-6 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

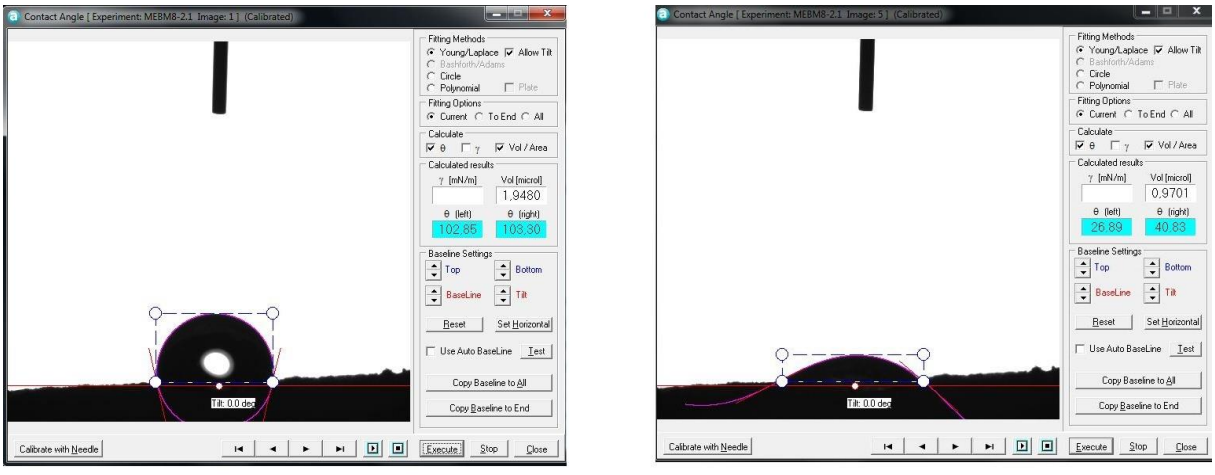
MEBM-7'e ait temas açısı görseli Şekil 4.20'de gösterilmiştir. MEBM-7 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 108,9^{o} $\pm 1^{o}$ değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 108 $\pm 1^{o}$ değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

Şekil 4.21: MEBM-7 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

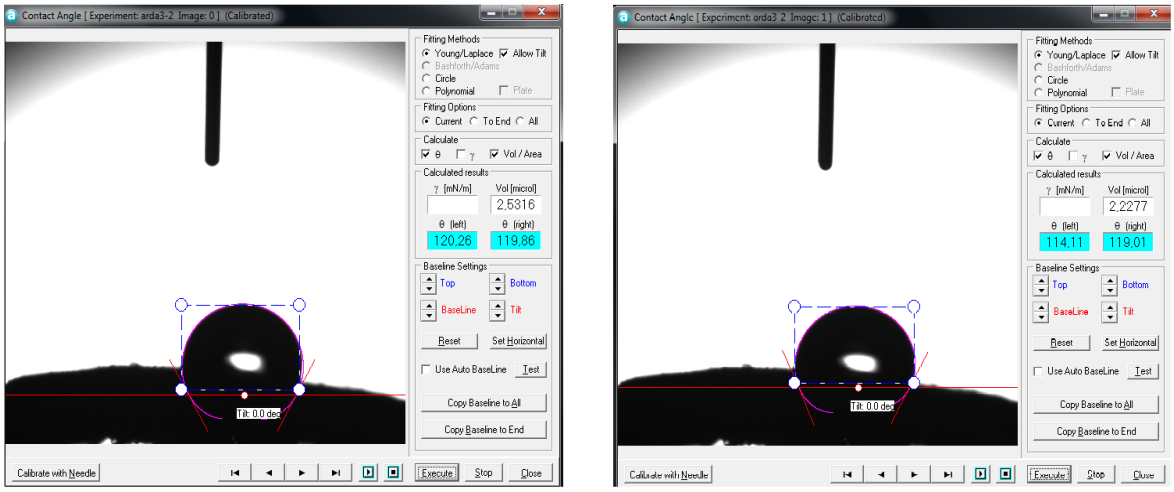
MEBM-8'e ait temas açısı görseli Şekil 4.21'de gösterilmiştir. MEBM-8 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 109,4°±6° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 38,7±5° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

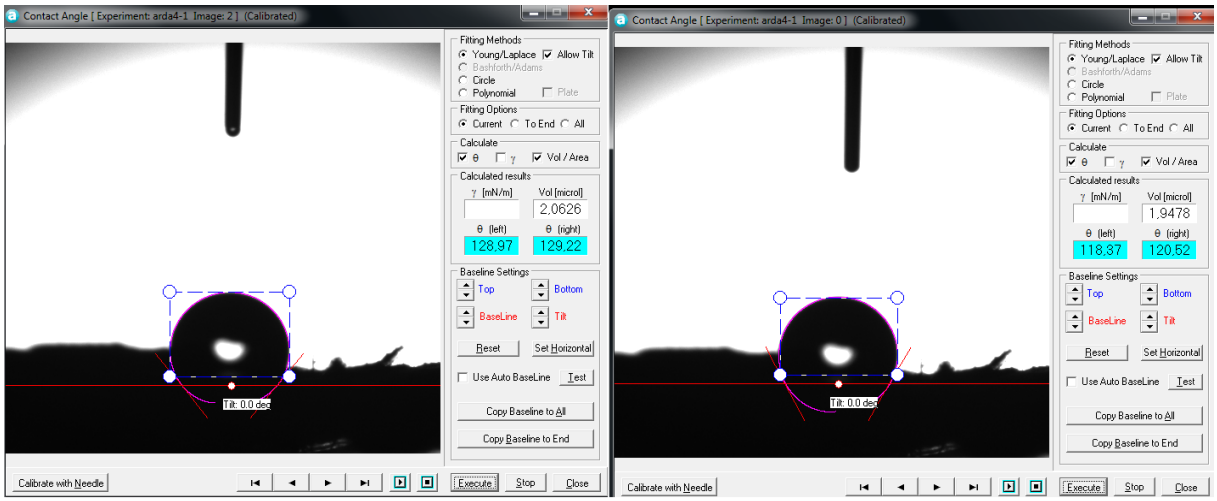
Şekil 4.22: MEBM-8 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

MEBM-9'a ait temas açısı görseli Şekil 4.22'de gösterilmiştir. MEBM-9 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 122° ±2° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 116,1±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.23: MEBM-9 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

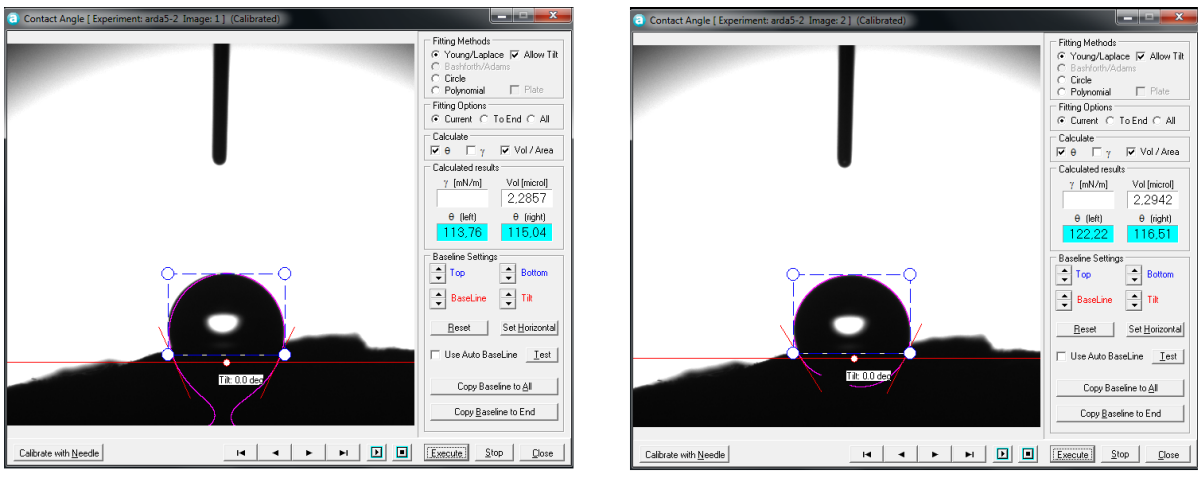
MEBM-10'a ait temas açısı görseli Şekil 4.23'de gösterilmiştir. MEBM-10 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 129,1 ±1° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 119,5 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

Şekil 4.24: MEBM-10 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

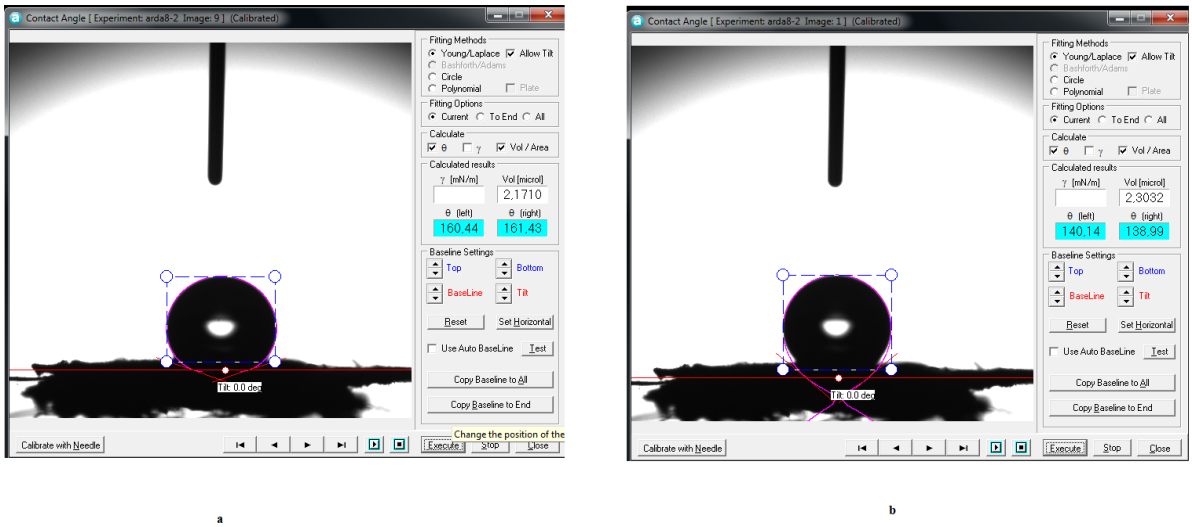
MEBM-11'e ait temas açısı görseli Şekil 4.24'de gösterilmiştir. MEBM-11 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 120,1±7° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 116,4±3° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



a b

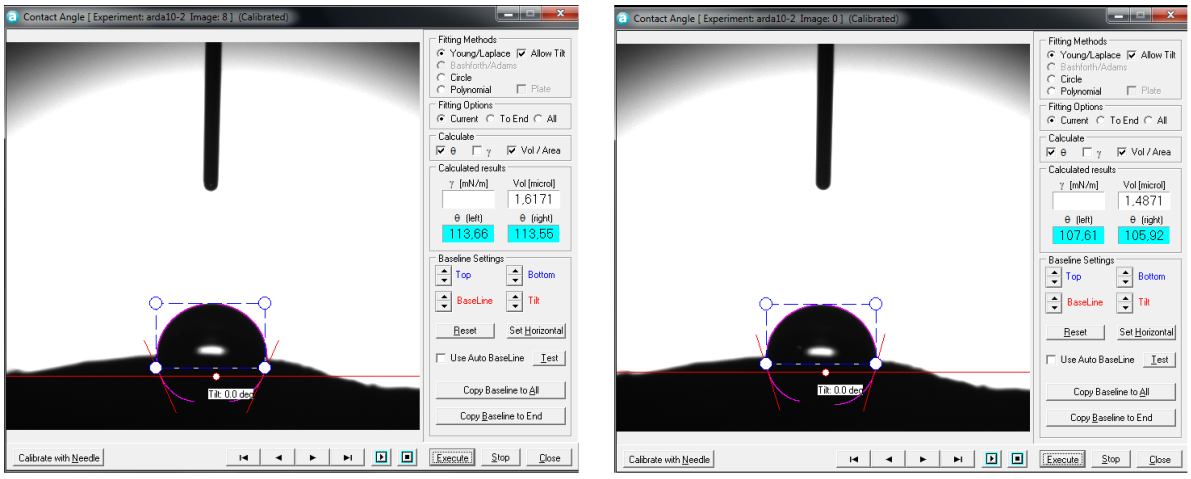
Şekil 4.25: MEBM-11 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

MEBM-12'e ait temas açısı görseli Şekil 4.25'de gösterilmiştir. MEBM-12 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 161 ±1° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 139,6 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir. Beklentilerin aksine temas açısı değerinin diğer MEBM ürünlerine göre daha yüksek olmasının kullanılan spawn miktarının 2 katına çıkmasına bağlı olarak ürünün diğer komponentlerinin üzerinde misel gelişiminin daha belirgin olması ve yüzeyi çok büyük oranda kaplamasıyla ilintili olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 4.26: MEBM-12 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

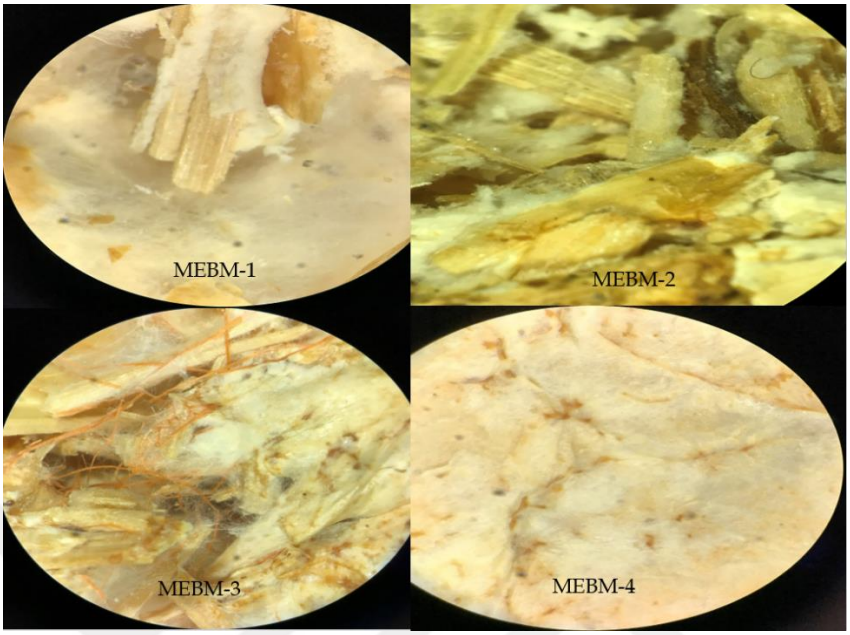
MEBM-13'e ait temas açısı görseli Şekil 4.26'de gösterilmiştir. MEBM-13 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 105,7 ±8° değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 102,6 ±4° değerine düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 4.27: MEBM-13 kodlu ürünün yüzeyine (a) damlanın ilk teması ve (b) birkaç saniye sonrası temas açısı görseli

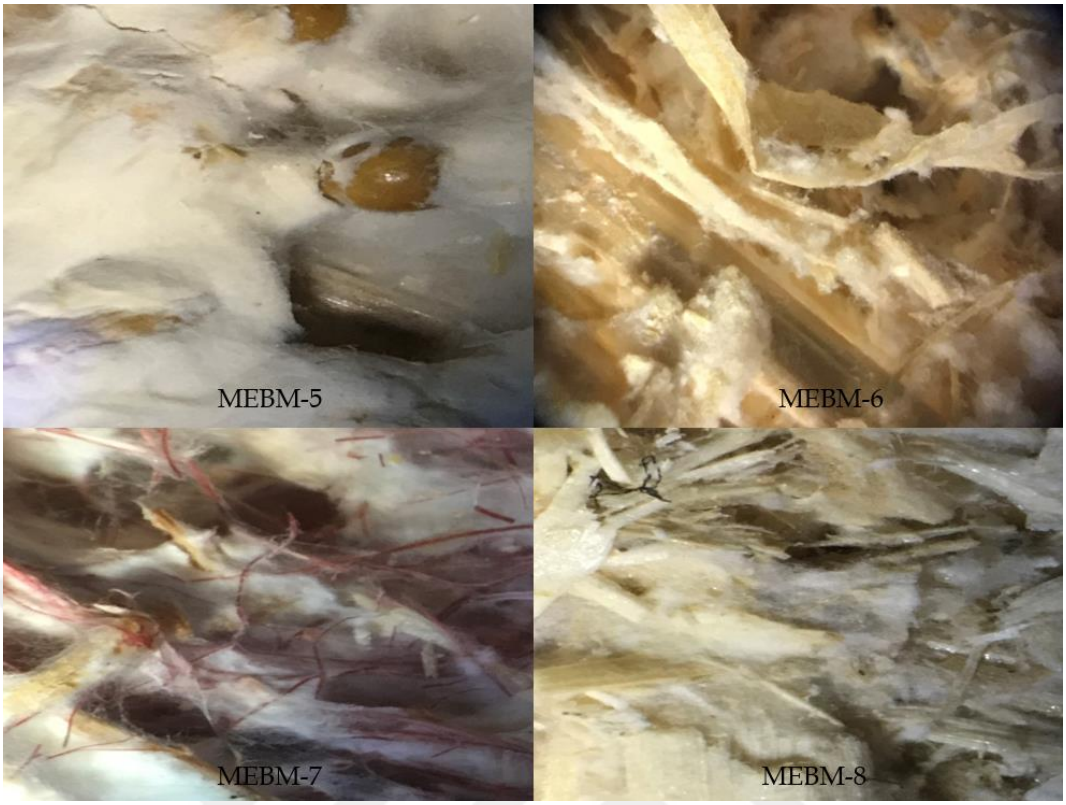
Hazırlanan ürünlerin ortalama temas açıları ve buna bağlı olarak yüzey hidrofilikliği-hidrofobikliğiyle ilgili genel bir değerlendirme yapacak olursak tüm ürünlerin yüzeylerinin hidrofobik karakter gösterdiği ve özellikle MEBM-1 ve MEBM-4 örnekleri için 130° üzerinde Θ_{ave} değerlerinin hesaplandığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, karşılaştırma amacıyla MEBM-3 ve MEBM-7 örneklerinin Θ_{ave} değerleri incelendiğinde MEBM-3 örneğinin görece daha düşük jüt kullanımına bağlı olarak Θ_{ave} değerinin %10 civarında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlendirmelerin dışında hazırlanan ürünlerin ortalama temas açısı değerlerini belirleyen diğer bir faktör yüzey morfolojisi ve topografyası olup birçok örnekte benzer kompozisyona sahip olmasına rağmen farklı Θ_{ave} değerlerine sahip olması bu şekilde açıklanabilir. Ek olarak damlanın, malzemenin yüzeyine temas ettiği anda birkaç saniye sonrasına kadar yapılan ölçümlerde Θ_{ave} değerlerinin tüm örnekler için düşüş yönünde eğilim gösterdiği belirlenmiş olup bu da beklenen bir durumdur. Bu durum için belirgin bir örnek olarak MEMB-8 kodlu üründe yüzeyin damla ile temasında 109,4°±6° olan Θ_{ave} değerinin 38,7±5°'ye gerilemesi gösterilebilir. Söz konusu bu belirgin düşüşün yüzeyin gözenekliliğin fazla olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.3. Optik Mikroskop Analizi



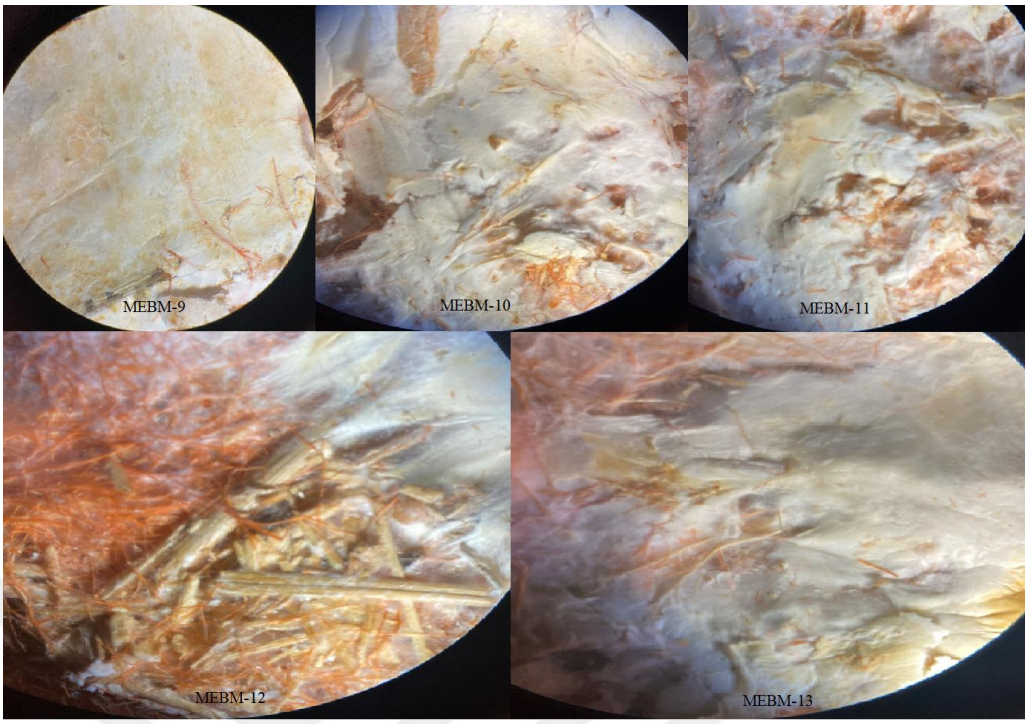
Şekil 4.28: MEBM-1,2,3,4 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri

Buna göre; MEBM-1 ve MEBM-2 yapısında yer alan çam talaşı net olarak gözlenmektedir. Her iki ürüne ait resimde de çam talaş üzerinde gözlenen opak tabakanın spawn ilavesi sonrasında komponentler üzerinde mantarın oluşturduğu misel yapıdan ileri geldiği ve misel gelişiminin sağlandığı düşünülmektedir. Yine aynı şekilde gözlenen MEBM-3 ve MEBM-4 yapılarında odunsal atık ve samana atfedilen yapılar gözükmekle birlikte MEBM-3 kodlu ürünün optik mikroskop görüntüsünde kırmızı jüte atfedilen lifimsi yapıların yer aldığı tespit edilmiştir. Buna karşın, MEBM-4 kodlu ürünün kompozisyonunda un içermesinden dolayı görece daha opak ve homojen bir görüntüye sahip olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 4.29: MEBM-5,6,7,8 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri

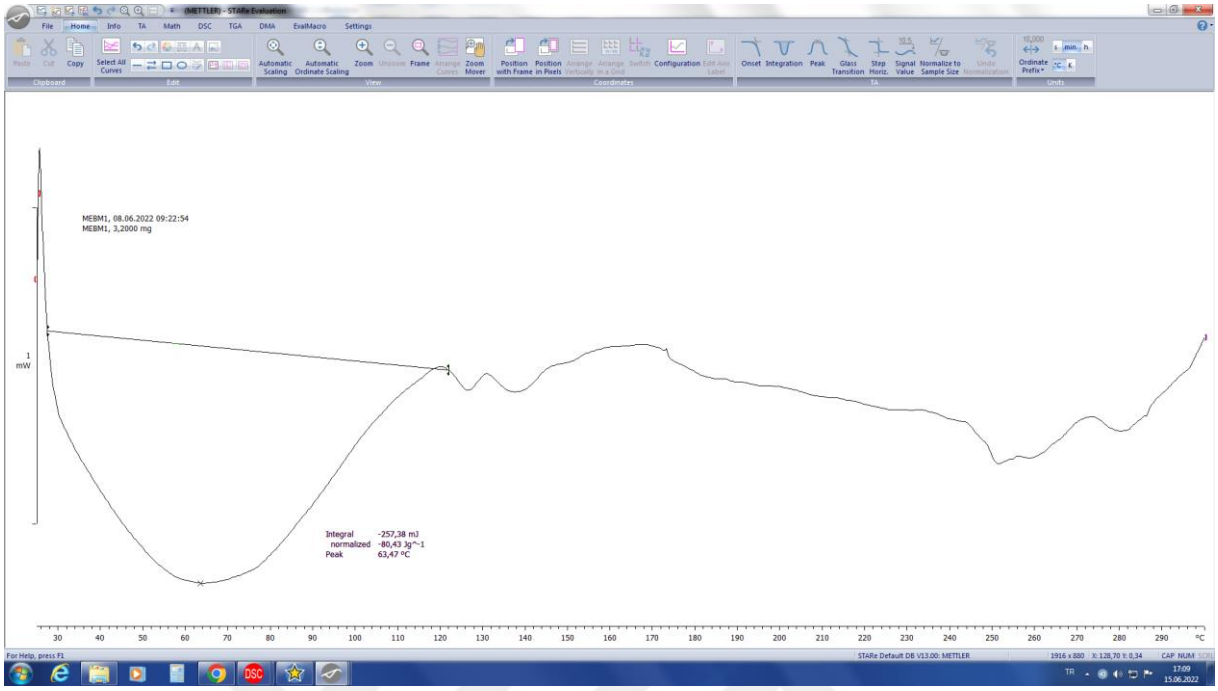
Şekil 4.29'da MEBM-5, MEBM-6, MEBM-7 ve MEBM-8'e ait stereo optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Buna göre MEBM-5 kompozisyonunda ağırlıklı olarak kullanılan spawn miktarına (50g) bağlı olarak gelişen miselyum yapıdan dolayı diğer komponentlerin yüzeylerinin büyük oranda kaplandığı, MEBM-6 yapısında ise mısır sap ve koçanına atfedilen çeşitli lifsi yapıların görüntüde yer aldığı saptanmıştır. MEBM-3 ürününe analog olarak hazırlanan MEBM-7 ürününde de özellikle kırmızı jüt kullanımına bağlı olarak kırmızı renkli lifsi yapıların saman ve odunsal atıklardan oluşan yapıda belirginlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-8 yapısında 20g spawn kullanımına bağlı olarak saman ve odunsal atıkların üzerlerinde ve kesişim noktalarında misel yapıya atfedilen kaplamaların geliştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.30: MEBM-9,10,11,12,13 Numunelerinin Optik Mikroskop Görselleri

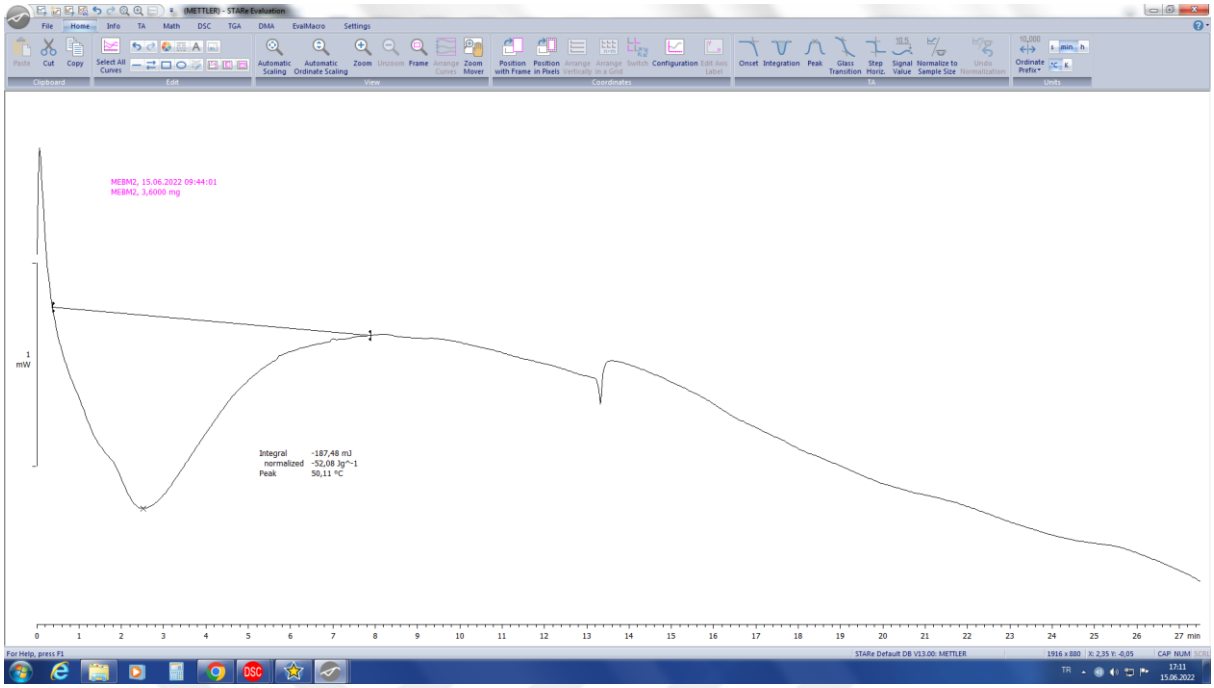
Şekil 4.30'da MEBM-9, MEBM-10, MEBM-11, MEBM-12 ve MEBM-13'e ait stereo optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Tüm bu görsellerin ortak özelliğinin görece geniş kırmızı lifsi yapının jüt kullanımından kaynaklandığı ve jüt oranın daha yüksek olduğu MEBM-11'de daha belirgin olduğu, buna karşın yine jüt oranının fazla olduğu MEBM-13 ürününün yapısındaki spawn miktarının 2 katı olması nedeniyle yüzeyde gelişen misel yapının baskın gelen görüntüsü nedeniyle daha geri planda kaldığı gözlemlenmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-12 yapısının kompozisyonunda yer alan tüm komponentleri net olarak görülmekle birlikte saman ve odunsal atıktan oluşan karışım ile jüt yapısının kısmen homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun, komponentlerin karışım esnasındaki farklı davranışları ile mantar yapısının bu komponentler üzerindeki gelişim süreçlerinin farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.4. DSC Analizi



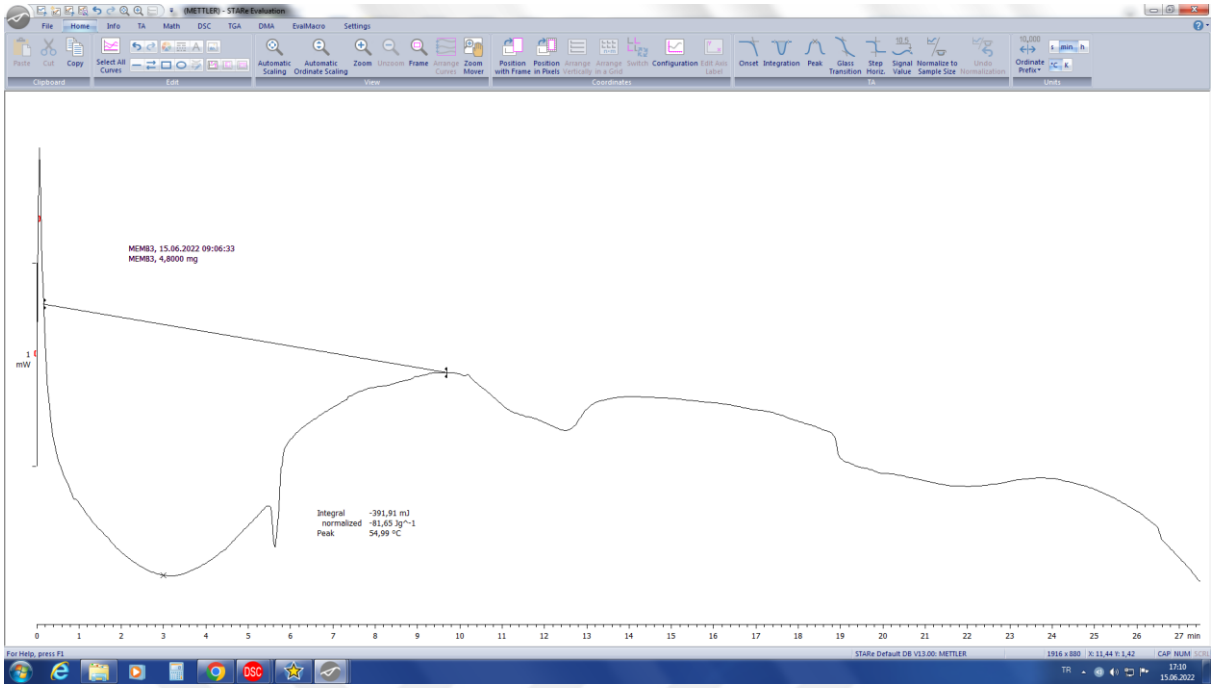
Şekil 4.31: MEBM-1 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.31'de MEBM-1'e ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında en belirgin olanı 63,5°C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -80,4 j/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda da entalpi değerleri çok daha düşük alanlar belirlenmiştir. Yaklaşık g başına 80 joule açığa çıkan ısının MEBM-1 formülasyonunda yer alan çam talaşı, saman ve kağıt gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



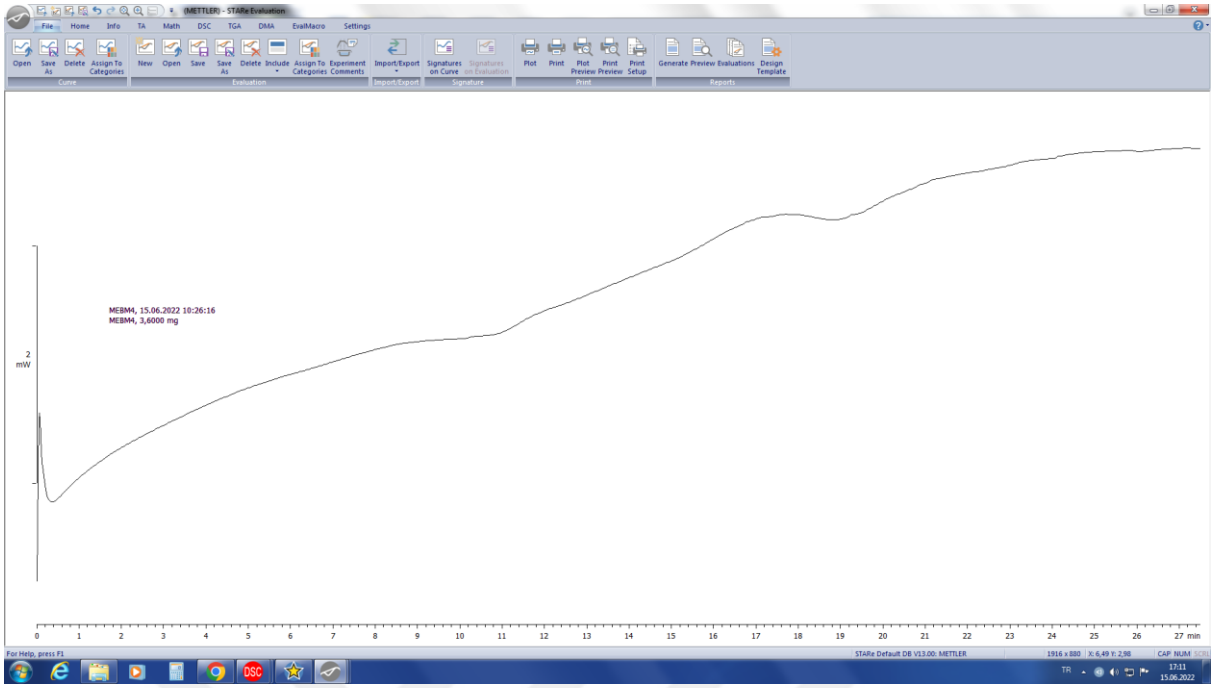
Şekil 4.32: MEBM-2 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.32'de MEBM-2'ye ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında en belirgin olanı 50,1°C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -52,8 j/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda da entalpi değerleri çok daha düşük alan bulunmaktadır. Yaklaşık g başına 53 joule açığa çıkan ısının MEBM-2 formülasyonunda yer alan çam talaşı, saman gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



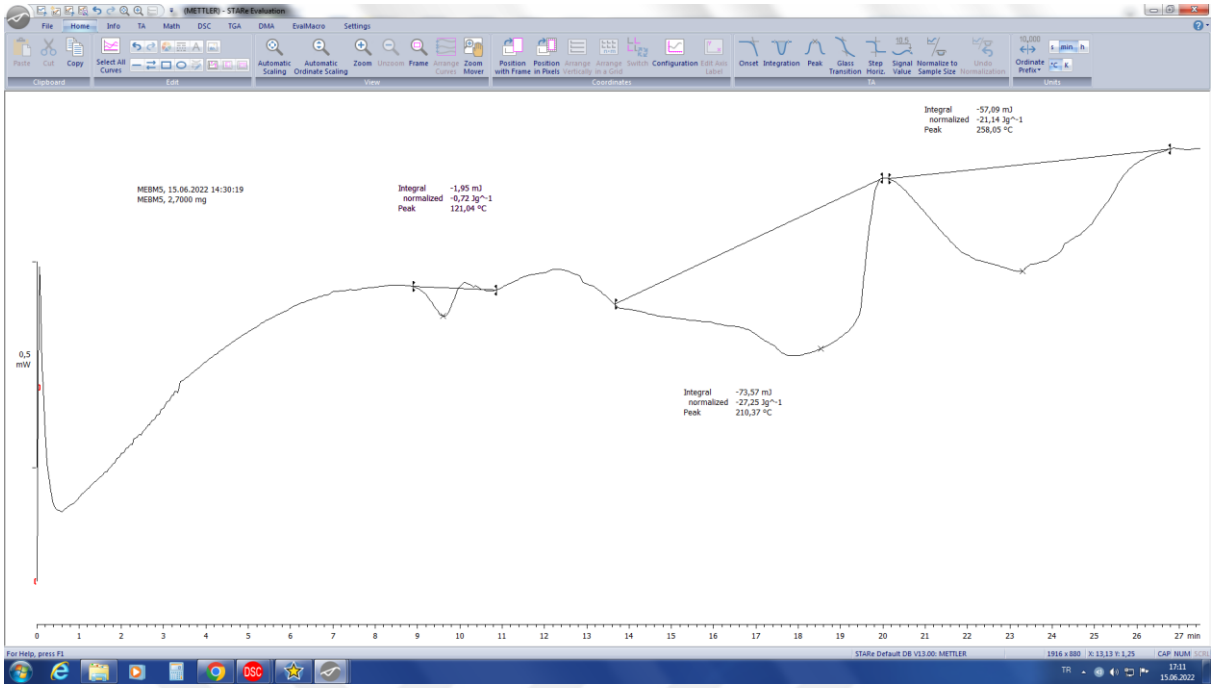
Şekil 4.33: MEBM-3 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.33'de MEBM-3'e ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında, en belirgin olanı 55°C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -81,65 j/g olarak hesaplanmıştır. Ayrıca daha yüksek sıcaklıklarda da entalpi değerleri ilk pike göre çok daha düşük alanlar belirlenmiştir. Yaklaşık g başına 82 joule açığa çıkan ısının MEBM-3 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



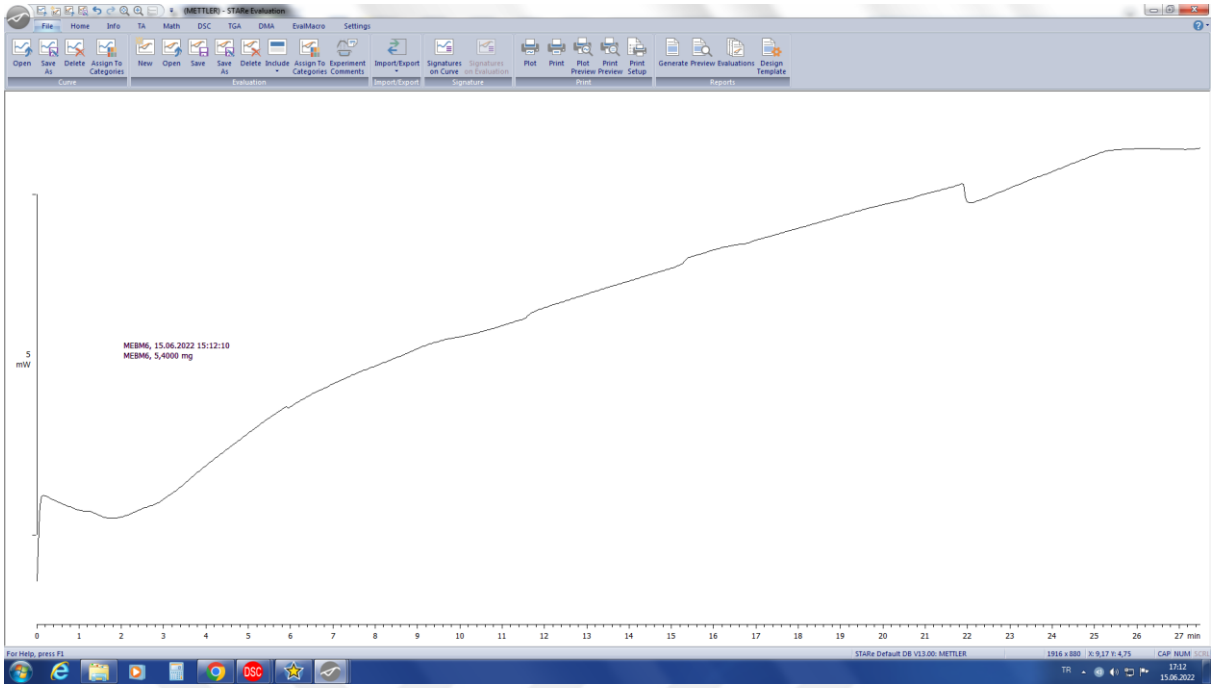
Şekil 4.34: MEBM-4 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.34'de MEBM-4'e ait DSC grafiği verilmiş olup herhangi ekzotermik/endotermik pik olmadığı görülmektedir. Bu durumun, saman gibi yanabilen bir komponentin yapıda bulunmasına karşın un ve mısır silajı gibi yanmazlık özelliği gösterebilen bileşenlere misel yapının kaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



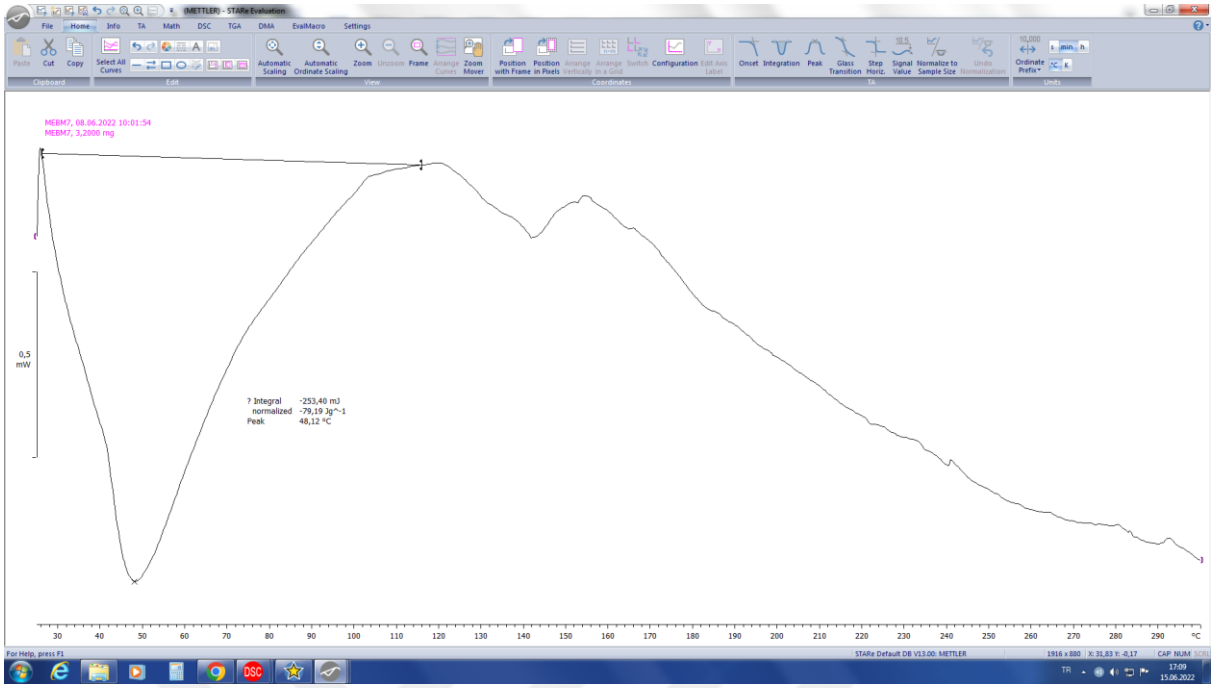
Şekil 4.35: MEBM-5 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.35'de MEBM-5'e ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlardan en belirginleri 121 ^{o}C'deki -0,72 j/g'lık ilk pik, 210 ^{o}C'deki -27,25'lik ikinci pik ve 258 ^{o}C'deki -21,14 j/g'lık üçüncü pik olarak saptanmıştır.



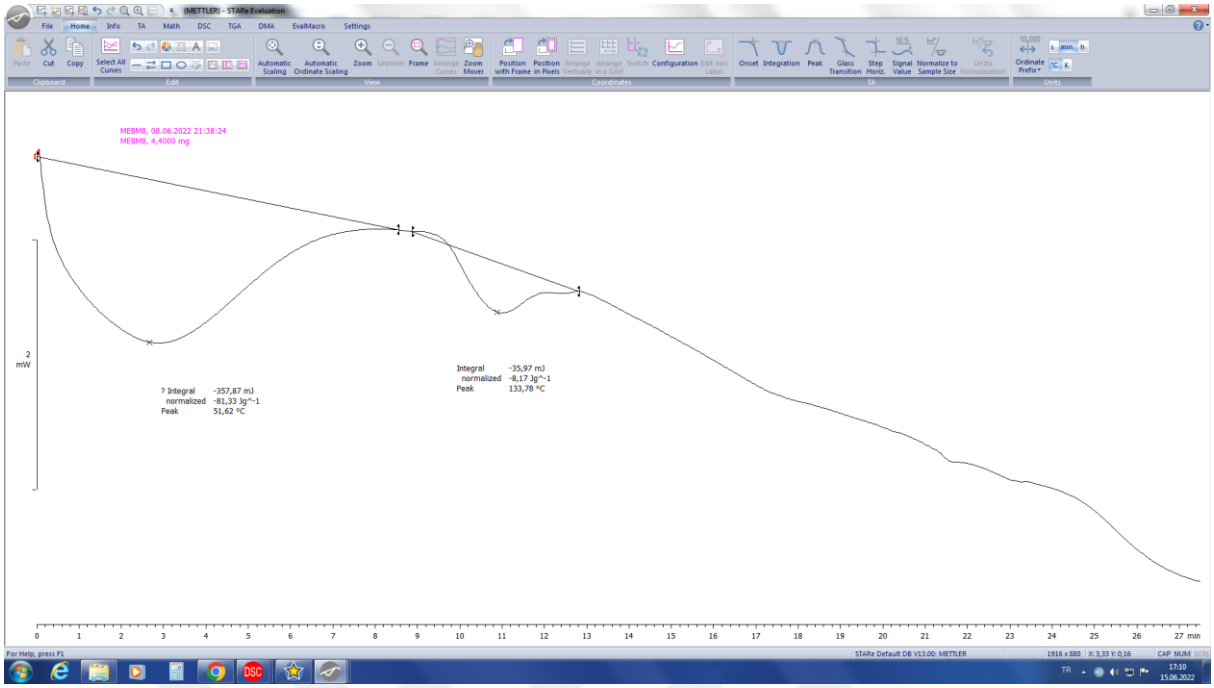
Şekil 4.36: MEBM-6 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.36'de MEBM-6'ya ait DSC grafiği verilmiş olup herhangi ekzotermik/endotermik pik gözlenmemektedir. Bu durumun, mısır sapı, mısır koçanı, mısır püskülü ve mısır unu gibi komponentlerin belirgin bir yanma reaksiyonu vermemesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.



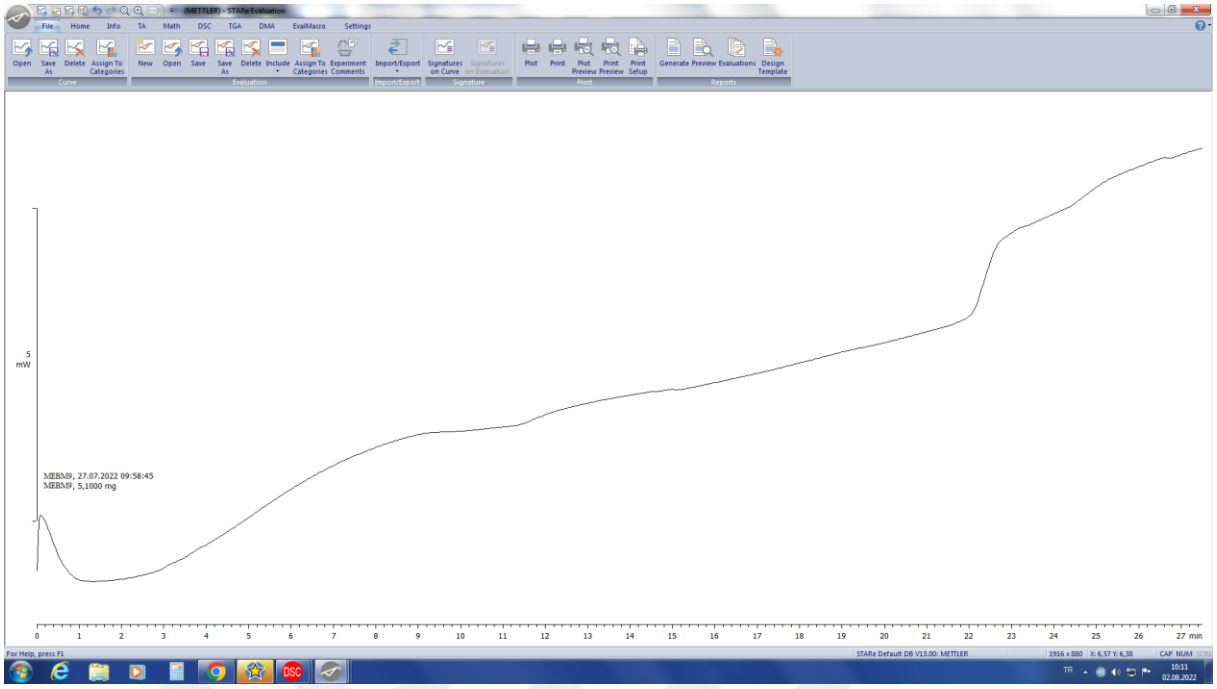
Şekil 4.37: MEBM-7 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.37'de MEBM-7'ye ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında en belirgin olanı 48 ^{o}C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -79,2 j/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda da entalpi değerleri çok daha düşük alanlar belirlenmiştir. Yaklaşık g başına 79 joule açığa çıkan ısının MEBM-7 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



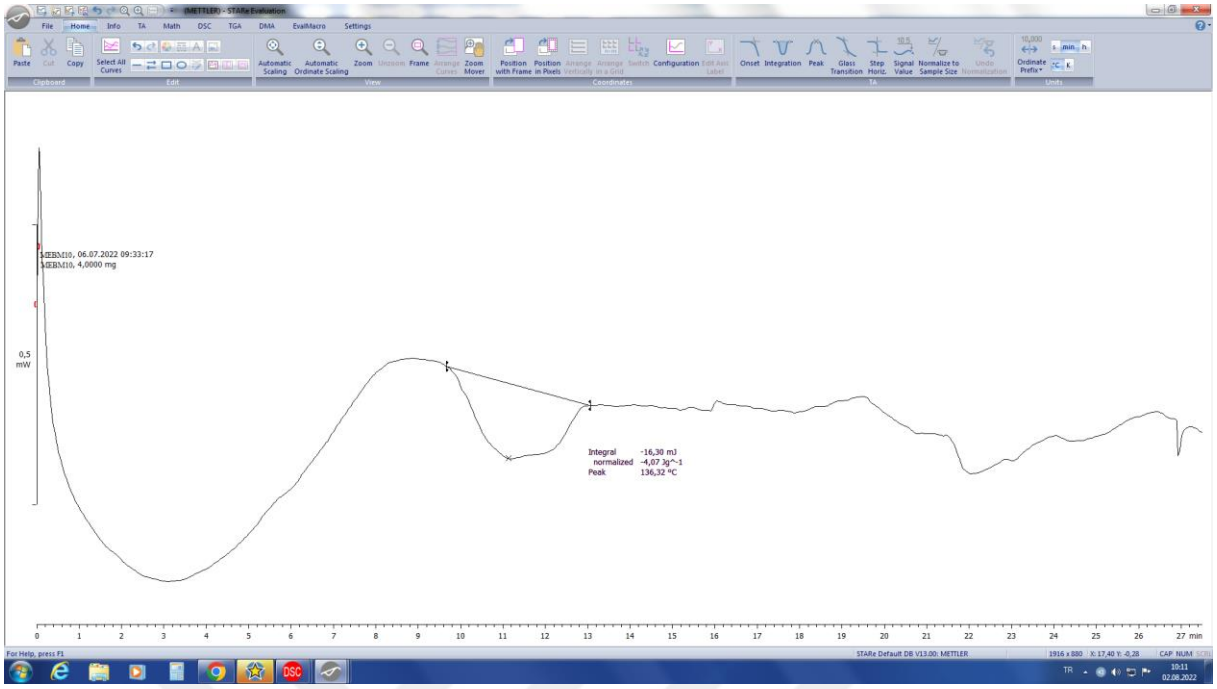
Şekil 4.38: MEBM-8 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.38'de MEBM-8'e ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında en belirgin olanları 51,6 ºC pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -81,3 j/g ve 133,8 ºC'deki için de -8,2 j/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda entalpi değerleri çok daha düşük alanlar da belirlenmiştir. Yaklaşık g başına 79 joule açığa çıkan ısının MEBM-8 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



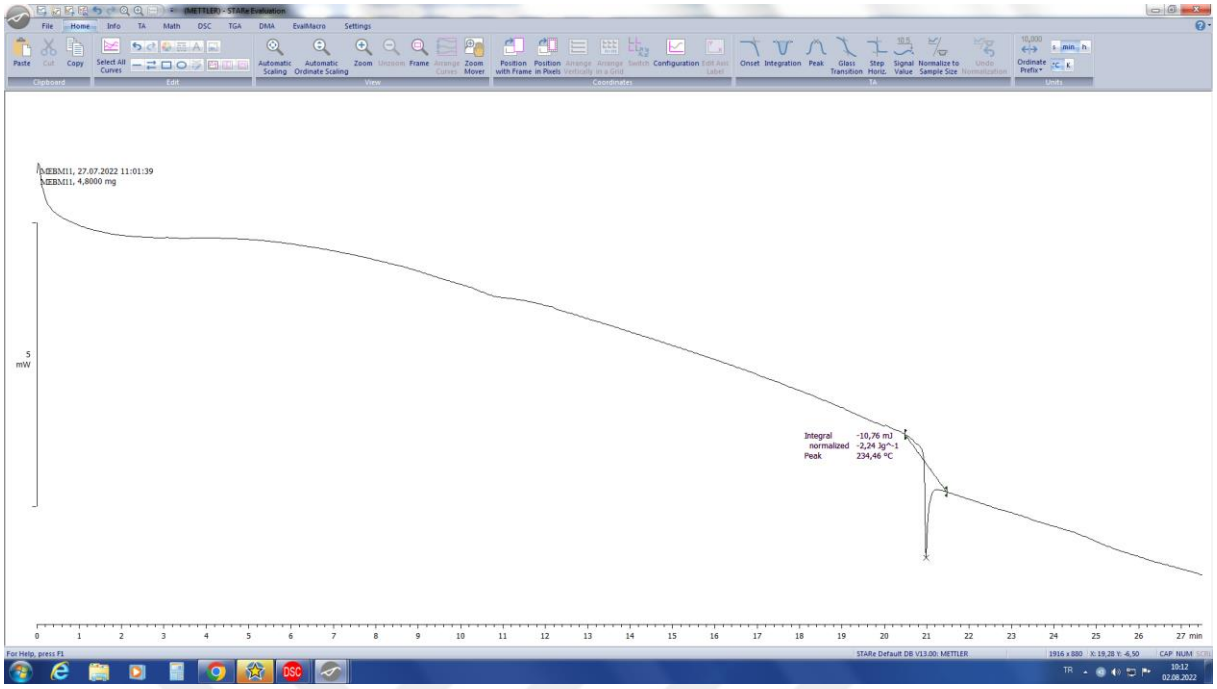
Şekil 4.39: MEBM-9 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.39'da MEBM-9'a ait DSC grafiği verilmiş olup belirgin bir ekzotermik/endotermik pik yer almadığı görülmektedir. Bu durumun MEBM-9 numunesini oluşturan komponentlerden jüt miktarındaki değişimden ve spawn miktarına bağlı olarak kompozit yapının misel yapı ile kaplanmış olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



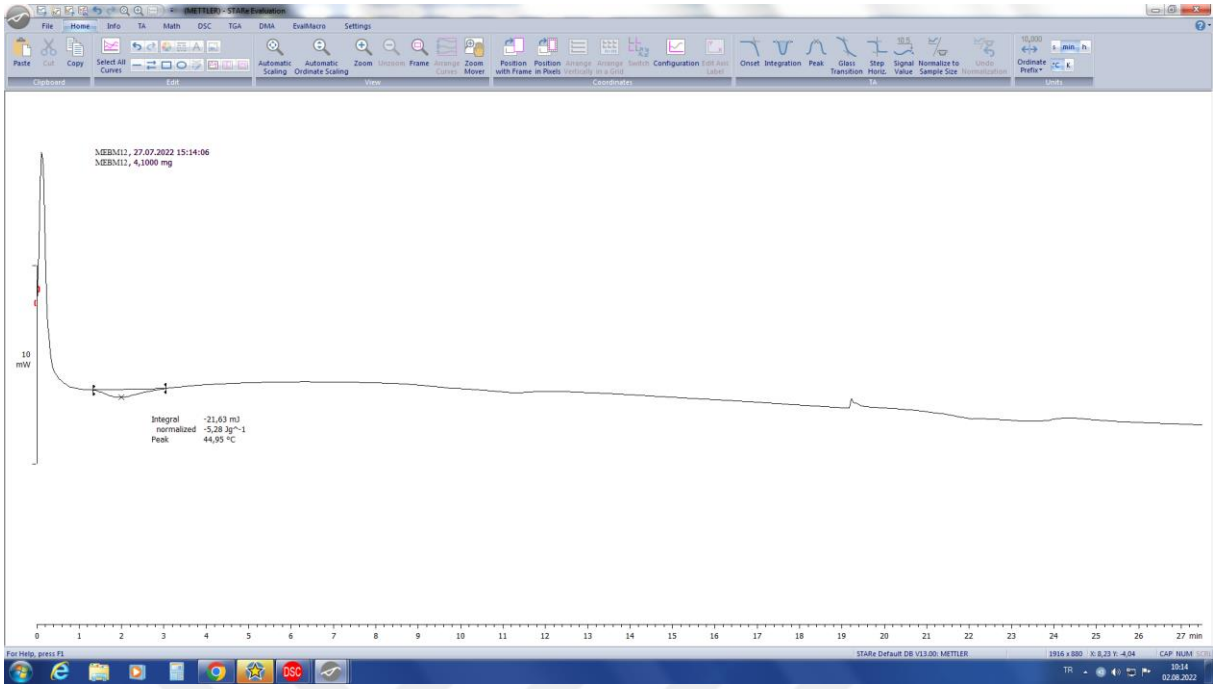
Şekil 4.40: MEBM-10 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.40'da MEBM-10'a ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar arasında, yaklaşık 50°C civarındaki pikin yanı sıra 136,3°C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -4,1 j/g olarak tespit edilmiştir. Bu alanlardaki ekzotermik açığa çıkan ısının MEBM-10 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir.



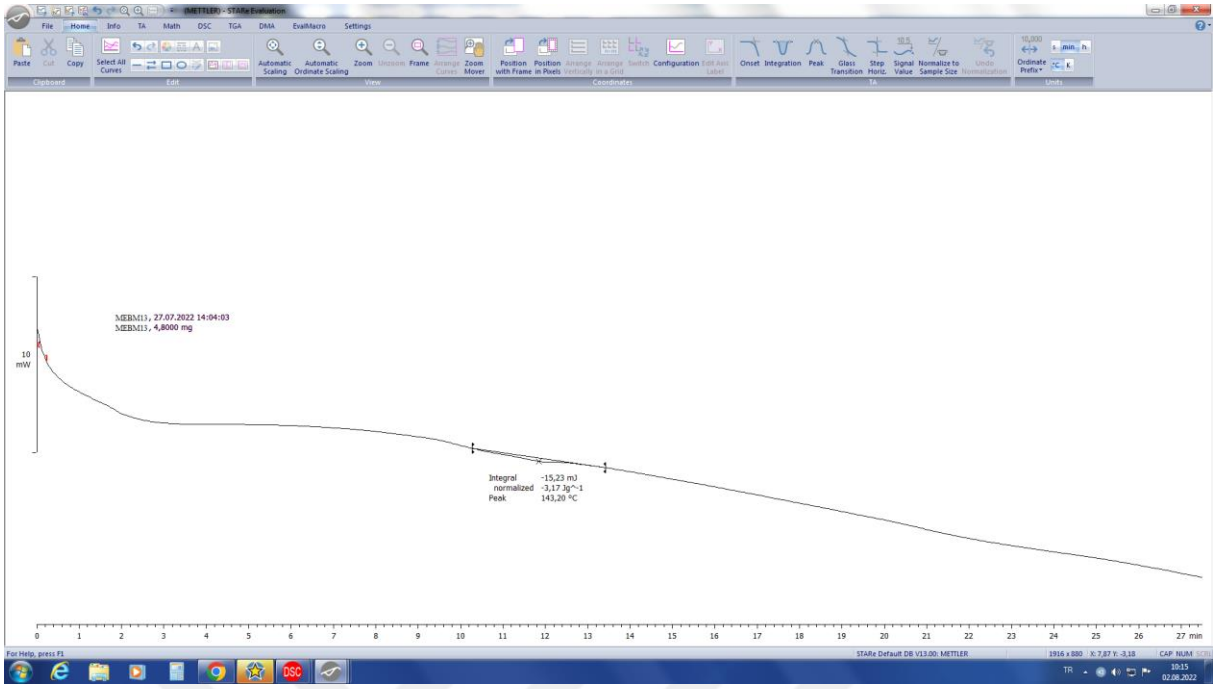
Şekil 4.41: MEBM-11 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.41'de MEBM-11'a ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar içerisinde en belirgin olanı 234,5 ^{o}C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -2,24 j/g olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık g başına 2 joule açığa çıkan ısının MEBM-11 içeriğinde bulunan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve entalpi değişim değerinin az olmasının toplam kütledeki jüt yüzdesinin yüksekliğinden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.42: MEBM-12 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.42'de MEBM-12'ye ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar içerisinde en belirgin olanı 45^{o}C pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -5,3 j/g olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık g başına 5 joule açığa çıkan ısının MEBM-12 içeriğinde bulunan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve entalpi değişiminin düşük değerli olmasının spawn miktarının 20g olması ve yine belirli oranda jüt miktarı fazlalığı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.43: MEBM-13 Numunesinin Sıcaklık Değişimine Bağlı Isı Kapasitesi ve Entalpi Değişimleri

Şekil 4.43'te MEBM-13'e ait DSC grafiği verilmiş olup bazı ekzotermik pikler dikkat çekmektedir. Bunlar içerisinde en belirgin olanı 143°C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -3,2 j/g olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık g başına 3 joule açığa çıkan ısının MEBM-13 formülasyonunda bulunan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve analiz sonucu elde edilen değerin düşük seviyelerde olmasının komponent bileşiminde 20g spawn ve 12,5g jüt kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA

5.1. Isıl ve Oksidatif Bozunma (TGA)

MEBM-1'in kütle değişim grafiğinde ürünün ısıl ve oksidatif dayanımında 3 kademeli olarak bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir. İlk kademede oda sıcaklığından 235°C'ye kadar yaklaşık %18,5'luk kütle kaybı meydana gelirken 2. bozunma kademesinin yaklaşık 285°C'de sonlandığı ve ürünün orijinal ağırlığının %44,5'lik kısmının uzaklaşmadığı saptanıştır. Bununla birlikte söz konusu ürünün 540°C'de kütlesinin çok önemli oranda uzaklaşarak ısıl ve oksidatif bozunmaya uğradığı ancak %6'lık bir bakiye kaldığı gözlenmiştir. Benzer şekilde MEBM-2'nin kütle değişim grafiği Şekil 4.2'de gösterilmiş olup ilk kademede oda sıcaklığından 244°C'ye kadar yaklaşık %13,4'lük ağırlık kaybı meydana gelirken 2. bozunma kademesinin yaklaşık 329°C'de sonlandığı ve ürünün orijinal ağırlığının yaklaşık %43'lük kısmının korunduğu saptanmıştır. Literatürde farklı mantar türleriyle oluşturulan miselyum esaslı ürünlerin TG analizlerinde de benzer sonuçlar gözlenmiş olup ürünün kompozisyonuna bağlı olarak termal bozunma sıcaklıkları ve davranışlarında farklılıklar oluşmaktadır.[58] MEBM-1 örneğine benzer şekilde MEBM-2 kodlu ürünün de 540°C'deki bakiye miktarının %6,5 olduğu saptanmıştır. Bu durumun kullanılan bileşenleri kompozisyonundan bağımsız olarak substrat türü ve spawn miktarının aynı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.3'te sunulan MEBM-3 kodlu ürün, diğer kompozit yapılı malzemelerden farklı olarak 5 kademede ısıl ve oksidatif bozunmaya uğramaktadır. Buna göre, 214°C'ye kadar olan ilk bozunma bölgesinde yaklaşık %12,5'luk ağırlık kaybı meydana gelirken 300°C'de sonlanan 2.bozunma bölgesinde orijinal ağırlığın hemen hemen yarısının korunduğu tespit edilmiştir. Devam eden bozunma basamaklarında sırasıyla 397°C ve 422°C'de %31,6 ve %13,7 kütlenin korunabildiği saptanmıştır. Daha önceki örneklere benzer şekilde MEBM-3 numunesinin de 540°C'de yaklaşık %6,4'lük bir bakiye bıraktığı tespit edilmiştir. Çok kademeli ısıl bozunmanın jüt yapısından kaynaklandığı düşünülmekle birlikte miselyum yapısını içeren spawnın aynı miktarda (10g) kullanılması nedeniyle bakiye miktarlarında yaklaşık aynı seviyede kaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.4'te TG eğrisi gösterilen MEBM-4'ün 3 kademeli ısıl bozunmaya uğradığı tespit edilmiş olup 222°C'ye kadar olan birincil bozunma alanında kütlesinin %7,5'ni

kaybettiği belirlenmiştir. 2. bozunma bölgesinde 303°C'de sonlanmış olup orijinal kütlesinin yaklaşık %40'ını kaybetmiştir. Diğer numunelerden farklı olarak MEBM-4 örneğinin 540°C'deki bakiye miktarı %32,6 olarak saptanmıştır. Bu durum diğer malzemelerle karşılaştırıldığında spawn miktarının kısmen artırılmış olması ve mısır silajı kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer bir numune olan MEBM-5 örneğinin ısıl ve oksidatif bozunma davranışı Şekil 4.5'te verilmiş olup diğer örneklere benzer şekilde ilk bozunma alanının sonu olan 128°C'ye kadar %15'lik ağırlık kaybı, 2. bozunma alanın sonu olan 310°C'ye kadar da yaklaşık orijinal ağırlığının yarısını kaybettiği tespit edilmiştir. İlginç şekilde bu örneğin de 530°C'de bakiye miktarının orijinal ağırlığının yaklaşık ¼'ü kadar olduğu belirlenmiştir. Bu durumun ana gerekçesinin kullanılan spawn miktarının oldukça yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. TG eğrisi Şekil 4.6'da sunulan MEBM-6 kodlu ürünün ısıl ve oksidatif bozunmasının 4 kademeli olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Mısır ürünlerinin spawn ile etkileşiminin gözlemlendiği MEBM-6 kodlu ürün diğer örneklere benzer şekilde 2. bozunma alanının sonu olan 285°C'de orijinal malzeme kütlesinin yaklaşık yarısı uzaklaşmış olup 3. bozunma alanı sonunda %24'lük bir kütle kalmıştır. Örnek ısıtılmaya devam edildiğinde 530 °C'de %9,5'lik bakiye bıraktığı tespit edilmiştir. MEBM-8 kodlu ürünün TG eğrisi Şekil 4.8'de sunulmuş olup ilgili örneğin 3 kademede bozunduğu tespit edilmiştir. İlk bozunmanın 220°C'de sonlandığı ve hemen hemen %13'lük ağırlık kaybına neden olduğu ve 302°C'de sonlanan ikinci bozunma alanında ise orijinal malzemenin yaklaşık kütlece ¾'ünün uzaklaştığı tespit edilmiştir. 530°C'de ise bu malzemenin bakiye miktarının %14,4 olduğu verilmiştir. Bakiye miktarının görece daha yüksek çıkmasının nedeninin Tablo 3.1'de de verildiği üzere de spawn miktarının iki katına, çıkarılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.7'de TG eğrisi gösterilen MEBM-3 kodlu ürünün sistematik olarak bir benzeri olup bu örnekte jüt miktarı iki katına çıkarılarak ısıl ve oksidatif bozunma davranışları üzerine etkileri izlenmiştir. Buna göre, malzemenin 4 kademeli olarak bozunduğu, 223°C'ye kadar olan ilk kademede kütlesinin yaklaşık %11'ini kaybettiği tespit edilmiştir. 395°C'deki ikinci bozunma bölgesi sonunda kütlesinin yaklaşık %30'unu koruyabildiği, 415°C'deki üçüncü bozunma eğrisiyle birlikte toplam kütlenin yaklaşık %88'inin uzaklaştığı tespit edilmiştir. Bu örnek için 530°C'deki bakiye miktarı ise %7,4 olarak belirlenmiştir. MEBM-3 ve MEBM-7 kodlu örneklerin ısıl ve oksidatif karşılaştırıldığında kullanılan jüt miktarının iki katına çıkmasıyla

500^{o}C üzerindeki bakiye miktarının %6,5'ten %7,4'e yükseldiği ve 5 kademeli bozunmanın 4 kademede gerçekleştiği gözlenmiştir.

Tez çalışmasında hazırlanan MEBM ürünlerini sistematik olarak jüt ve spawn miktarına bağlı olarak ısıl ve oksidatif dayanımlarını karşılaştırılması amacıyla MEBM-9 ile MEBM-13 arasında kalan örneklerin TG eğrileri birlikte incelenmiştir. Şekil 4.14'te karşılaştırılmalı olarak gösterilen TG eğrilerinden MEBM ürünlerinin genel olarak benzer bozunma karakteristiği gösterdiği ve 4 kademede bozunmaya uğradığı belirlenmiştir. Buna göre; jüt miktarının belirli sistematik oranlarda arttırıldığı örneklerde (MEBM-9 ve MEBM-11) ısıl ve oksidatif bozunma eğrilerinin özellikle 3. ve 4. bozunma kademelerinde çok az değişiklik gösterdiği, buna karşın 1. ve 2. bozunma kademelerinde birbirleriyle tamamen örtüştüğü saptanmıştır. MEBM-10 örneğinin ise beklentilerin dışında daha düşük sıcaklık değerlerinde bozunmaya uğramaya başladığı ve bunun da malzemenin heterojen yapısı içerisindeki kompozisyonun birbirinden farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, spawn miktarının 2 katına çıkarılması ile hazırlanan MEBM-12 ve MEBM-13 numaralı ürünlerin TG eğrilerinin bu ürünlere analog olan MEBM-9 ve MEBM-11 ürünleri ile karşılaştırıldığında bozunma karakteristiklerinin aynı olduğu ve 4 kademede gerçekleştiği görülmüştür. Bu gözlemlerle birlikte spawn miktarının 20g olduğu MEBM-12 ve MEBM-13 kodlu ürünlerin TG eğrileri incelendiğinde, jüt miktarının 7,5g'dan 12,5g'a yükselmesinin ilgili bozunma başlangıç sıcaklıklarının artmasına, diğer bir ifadeyle yapının daha ısıl ve oksidatif kararlılığa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu iki örnek için jüt miktarının artmasının bakiye oranını da arttırarak %7,8'den %9,8'e değiştirdiği bulunmuştur.

5.2. Ortalama Temas Açısı

Hazırlanan örneklerin kompozisyonlarına ve spawn miktarlarının değişimlerine bağlı olarak yüzey hidrofilite – hidrofobite özelliklerinin belirlenmesi için bölüm 3.2.2'de gösterildiği üzere temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere herhangi bir malzemenin temas açısı değerinin 90^{o} ve üzerinde olması durumunda yüzeyin hidrofobik, altında olması doğrultusunda da hidrofilik olduğu şeklinde değerlendirilme yapılmaktadır.[59] Ayrıca yüzeyin morfolojisine bağlı olarak sağ ve sol temas açılarının birbirilerinden farklı olması nedeniyle literatürde de olduğu şekilde ortalama temas açısı değerleri hesaplanarak aşağıdaki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur. Ek olarak yüzeye damlatılan su damlasının yüzeydeki temas açısının değişiminin gözlenmesi adına başlangıçtaki ve sondaki geçen süreye takiben görseller alınmıştır.

Şekil 4.14'de sunulan MEBM-1 kodlu ürünün temas açısı görüntülerinden ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 139,6° ±1° olarak hesaplanmış olup bu değer yüzeyin oldukça hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 128,2 ±3° seviyesine gerilediği tespit edilmiştir. Bu durum aslında beklenen bir sonuç olup su damlasının yüzeyle teması sonucu olası etkileşimlere ve yüzey topografyasına bağlı olarak gerçekleştiği değerlendirilmiştir. Şekil 4.15'de verilen MEBM-2 kodlu ürünün ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 129,8° ±5° değeri olarak bulunmuş ve damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 123,1 ±2° değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 4.16'da gösterilen MEBM-3 görseline ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 122,2° ±1° değeri olarak belirlenmiş, yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzeye temas ettikten birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 110,3 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde MEBM-4 kodlu ürünün Şekil 4.17'de sunulan temas açısı fotoğraflarından ortalama temas açısı değerinin (Θ_{ave}) 132,8° ±3° olduğu ve damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı görselinden ise Θ_{ave} değerinin ise 124,4 ±1° değerine düştüğü gözlemlenmiştir.

MEBM-5'e ait temas açısı görseli Şekil 4.18'de gösterilmiş olup ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 128,8° ±1° olarak hesaplanmış olup yine yüzeyin hidrofobik olduğu kanaatine varılmıştır. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 122,1 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir. Şekil 4.19'da gösterilen MEBM-6'ya ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 109,3° ±3° olup yüzeyin hidrofobikliği sonucuna ulaşılmıştır. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 104,7 ±2° değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 4.20'de gösterilmiş MEBM-7'e ait temas açısı değeri (Θ_{ave}) 108,9° ±1° 'dir ve bu durum yüzeyin hidrofobik olduğunu belirtmektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 108 ±1° değerine düştüğü tespit edilmiştir. MEBM-8'e ait temas açısı görseli Şekil 4.21'de gösterilmiş olup malzemeye ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 109,4° ±6° değeri olarak hesaplanmıştır. Bu durum yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermekle beraber damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra

alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 38,7 ±5º değerine düştüğü tespit edilmiştir.

MEBM-9'a ait temas açısı görseli Şekil 4.22'de gösterilmiştir. MEBM-8 kodlu ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 122º ±2º değeri olarak hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 116,1 ±1º değerine düştüğü tespit edilmiştir.Şekil 4.23'te sunulan MEBM-10'a ait temas açısı görselinden ilgili ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) değeri 129,1 ±1º olarak bulunmuş ve yüzeyin hidrofobik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 119,5 ±1º değerine düştüğü tespit edilmiştir. MEBM-11'e ait temas açısı görseli Şekil 4.24'de gösterilmiş ve ürüne ait ortalama temas açısı (Θ_{ave}) 120,1 ±7º olarak gözlenmiştir. Bu durum yüzeyin hidrofobik olduğunu göstermekle beraber damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 116,4 ±3º değerine düştüğü tespit edilmiştir.

Şekil 4.25'de gösterilmiş MEBM-12'e ait temas açısı görselinden ürüne ait ortalama temas açısı değerinin (Θ_{ave}) 161 ±1º olduğu hesaplanmış olup yüzeyin hidrofobik olduğu görülmektedir. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 139,6 ±1º değerine düştüğü tespit edilmiştir. MEBM-13'e ait temas açısı görseli Şekil 4.26'de gösterilmiştir ve ürüne ait ortalama temas açısı değeri (Θ_{ave}) 105,7 ±8º olarak hesaplanmıştır. Bu ifadeyle yüzeyin hidrofobik olduğu sonucuna varılmıştır. Damlanın yüzey ile temasından birkaç saniye sonra alınan temas açısı fotoğrafından ise Θ_{ave} değerinin ise 102,6 ±4º değerine düştüğü tespit edilmiştir.

5.3. Optik Mikroskop

Şekil 4.28'de gösterilen optik mikrosop görüntülerinde MEBM-1 ve MEBM-2 yapısında yer alan çam talaşı net olarak gözlenmekle birlikte her iki ürüne ait resimde de çam talaş üzerinde gözlenen opak tabakanın spawn ilavesi sonrasında komponentler üzerinde mantarın oluşturduğu misel yapıdan ileri geldiği ve misel gelişiminin sağlandığı düşünülmektedir. Tez kapmasında hazırlanan ürünlerin görüntüleri literatürde farklı sürelerde, farklı spawn miktarlarında ve farklı yüzeylerinde geliştirilen misel görüntülerine benzerlik göstermektedir. [60].Yine aynı şekilde gözlenen MEBM-3 ve MEBM-4 yapılarında odunsal atık ve samana atfedilen yapılar gözükmekle birlikte MEBM-3 kodlu ürünün optik mikroskop görüntüsünde

kırmızı jüte atfedilen lifimsi yapıların yer aldığı tespit edilmiştir. Buna karşın, MEBM-4 kodlu ürünün kompozisyonunda un içermesinden dolayı görece daha opak ve homojen bir görüntüye sahip olduğu değerlendirilmiştir. Diğer taraftan, Şekil 4.29'da sunulan optik mikroskop görüntülerinde MEBM-5 kompozisyonunda ağırlıklı olarak kullanılan spawn miktarına (50g) bağlı olarak gelişen miselyum yapıdan dolayı diğer komponentlerin yüzeylerinin büyük oranda kaplandığı, MEBM-6 yapısında ise mısır sap ve koçanına atfedilen çeşitli lifsi yapıların görüntüde yer aldığı saptanmıştır. MEBM-3 ürününe analog olarak hazırlanan MEBM-7 ürününde de özellikle kırmızı jüt kullanımına bağlı olarak kırmızı renkli lifsi yapıların saman ve odunsal atıklardan oluşan yapıda belirginlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-8 yapısında 20g spawn kullanımına bağlı olarak saman ve odunsal atıkların üzerlerinde ve kesişim noktalarında misel yapıya atfedilen kaplamaların geliştiği belirlenmiştir. Bunlarla birlikte, Şekil 4.30'da verilen MEBM-9, MEBM-10, MEBM-11, MEBM-12 ve MEBM-13'e ait stereo optik mikroskop görüntülerinin ortak özelliğinin görece geniş kırmızı lifsi yapının jüt kullanımından kaynaklandığı ve jüt oranın daha yüksek olduğu MEBM-11'de daha belirgin olduğu, buna karşın yine jüt oranının fazla olduğu MEBM-13 ürününün yapısındaki spawn miktarının 2 katı olması nedeniyle yüzeyde gelişen misel yapının baskın gelen görüntüsü nedeniyle daha geri planda kaldığı gözlenmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-12 yapısının kompozisyonunda yer alan tüm komponentleri net olarak görülmekle birlikte saman ve odunsal atıktan oluşan karışım ile jüt yapısının kısmen homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun, komponentlerin karışım esnasındaki farklı davranışları ile mantar yapısının bu komponentler üzerindeki gelişim süreçlerinin farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

5.4. DSC Analizi

Şekil 4.31'de MEBM-1'e ait DSC grafiği verilmiş olup 63,5^{o}C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -80,4 j/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda da entalpi değerleri çok daha düşük alanlar belirlenmiştir. Yaklaşık g başına 80 joule açığa çıkan ısının MEBM-1 formülasyonunda yer alan çam talaşı, saman ve kağıt gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir. Şekil 4.32'de gösterilen MEBM-2'ye ait DSC grafiğinde 50,1^{o}C pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -52,8 j/g olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, g ürün başına 53 joule açığa çıkan ısının MEBM-2 formülasyonunda yer alan çam talaşı, saman gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı düşünülmektedir. Yine Şekil 4.33'de sunulan MEBM-3'e ait

DSC grafiğinde 55ºC pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -81,65 j/g olarak hesaplanmış olup açığa çıkan ısının MEBM-3 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir. Şekil 4.35'de gösterilen MEBM-5'e ait DSC grafiğinde ise 121ºC'deki -0,72 j/g'lık ilk pik, 210ºC'deki -27,25'lik ikinci pik ve 258ºC'deki -21,14 j/g'lık üçüncü pik olarak saptanmıştır.

Diğer taraftan, Şekil 4.34'de MEBM-4'e ait DSC grafiğinde ekzotermik/endotermik pik olmadığı görülmektedir. Bu durumun, saman gibi yanabilen bir komponentin yapıda bulunmasına karşın un ve mısır silajı gibi yanmazlık özelliği gösterebilen bileşenlere misel yapının kaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.36'da ise MEBM-6'ya ait DSC grafiğinde ise mısır sapı, mısır koçanı, mısır püskülü ve mısır unu gibi komponentlerin belirgin bir yanma reaksiyonu vermemesinden kaynaklı olarak herhangi bir ekzotermik/endotermik pik gözlenmemiştir.

Şekil 4.37'de sunulan MEBM-7'ye ait DSC grafiğinde ise 48ºC pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -79,2 j/g olarak hesaplanmıştır. Açığa çıkan bu ısının MEBM-7 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı değerlendirilmiştir. Şekil 4.38'de ise MEBM-8'e ait DSC grafiği verilmiş olup 51,6ºC pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -81,3 j/g ve 133,8ºC'deki için de -8,2 j/g olarak hesaplanmıştır. Yaklaşık g başına 79 joule açığa çıkan ısının MEBM-8 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı düşünülmektedir.

Şekil 4.39'da MEBM-9'a ait DSC grafiği verilmiş olup belirgin bir ekzotermik/endotermik pik yer almadığı ve bunun da MEBM-9 numunesini oluşturan komponentlerden jüt miktarındaki değişimden ve spawn miktarına bağlı olarak kompozit yapının misel yapı ile kaplanmış olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.40'da gösterilen MEBM-10'a ait DSC grafiğinde ise yaklaşık 50ºC civarındaki pikin yanı sıra 136,3ºC pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -4,1 j/g olarak tespit edilmiş ve ekzotermik açığa çıkan ısının MEBM-10 formülasyonunda yer alan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarına atfedilmiştir. Şekil 4.41'de verilen MEBM-11'a ait DSC grafiğinde 234,5ºC pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişimi yaklaşık -2,24 j/g olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık g başına 2 joule açığa çıkan ısının MEBM-11 içeriğinde bulunan saman ve odunsal

atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve entalpi değişim değerinin az olmasının toplam kütledeki jüt yüzdesinin yüksekliğinden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.42'de sunulan MEBM-12'ye ait DSC grafiğinden 45^{o}C pik sıcaklığına sahip alan için entalpi değişiminin yaklaşık -5,3 j/g olduğu bulunmuştur. Yaklaşık g başına 5 joule açığa çıkan ısının MEBM-12 içeriğinde bulunan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve entalpi değişiminin düşük değerli olmasının spawn miktarının 20g olmasından ve yine belirli oranda jüt miktarı fazlalığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.43'te sunulan MEBM-13'e ait DSC grafiği ise 143^{o}C pik sıcaklığına sahip olan alan için entalpi değişimi yaklaşık -3,2 j/g olarak tespit edilmiştir. Yaklaşık g başına 3 joule açığa çıkan ısının MEBM-13 formülasyonunda bulunan saman ve odunsal atık gibi maddelerin yanma reaksiyonlarından açığa çıktığı ve analiz sonucu elde edilen değerin düşük seviyelerde olmasının komponent bileşiminde 20g spawn ve 12,5g jüt kullanılmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Literatürde tez kapsamında hazırlananlara benzer yapıdaki ürünlerin DSC analizleri bulunmamasına karşın selülozik komponentler içeren bir çalışmada verilen entalpi değerleri dikkate alındığında gerek saman gerekse çam talaşı/odunsal atık içeren formülasyonlar için tespit edilen açığa çıkan ısı miktarlarının karşılaştırılabilir olduğu ve literatürlerle uyumlu olduğu saptanmıştır.[61] Buna karşın saman, odunsal atık, çam talaşı ve jüt gibi enerji içeriğine sahip MEMB ürünlerde jüt ve spawn miktarlarının belirli bir değerin ötesinde olması durumunda, belirgin oranda düşük entalpi değişimleri belirlenmiştir. Bu durumun ana nedenlerinin 7,5g üzerinde jüt, 20g ve üzerinde spawn kullanılması ile komponentlerin üzerinde gelişen misel yapıların etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Isıl ve Oksidatif Bozunma (TGA)

Gerçekleştirilen analizler sonucunda ısıl ve oksidatif bozunmanın organik substrat içeriğine ve kullanılan spawn miktarına bağlı olarak 3 ile 5 kademede gerçekleştiği, nihai olarak da her malzeme için farklı miktarlarda bakiye kaldığı gözlenmiştir. Kullanılan spawn miktarının 530-540 ^{o}C'deki bakiye miktarına doğrudan etki ettiği ve artışına bağlı olarak uzaklaşmayan madde kütlesinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Jüt ve spawn miktarlarının hazırlanan MEBM ürünlerinin ısıl ve oksidatif bozunma özelliklerine etkilerinin incelendiği çalışmalarda jüt miktarının, belirli sistematik oranlarda arttırılmasıyla birinci ve ikinci kademe bozunma sıcaklıklarının birbirleriyle neredeyse tamamen örtüştüğü, 3. ve 4. bozunma sıcaklıklarında ise çok az bir değişme olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan spawn miktarının 2 katına çıkarılması durumunda da bozunma karakteristiklerinin aynı kaldığı ve 4 kademeli olarak bozunmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

6.2. Ortalama Temas Açısı

Hazırlanan ürünlerin ortalama temas açıları ve buna bağlı olarak yüzey hidrofilikliği-hidrofobikliğiyle ilgili genel bir değerlendirme yapacak olursak tüm ürünlerin yüzeylerinin hidrofobik karakter gösterdiği ve özellikle MEBM-1, MEBM-4 ve MEBM-12 örnekleri için 130^{o} üzerinde Θ_{ave} değerlerinin hesaplandığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, karşılaştırma amacıyla MEBM-3 ve MEBM-7 örneklerinin Θ_{ave} değerleri incelendiğinde MEBM-3 örneğinin görece daha düşük jüt kullanımına bağlı olarak Θ_{ave} değerinin %10 civarında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Jüt miktarının 7,5g-12,5g arasında sistematik olarak değiştirildiği örneklerde temas açısı değerlerinin 122,2 ±2 değerinden 129,1 ±1 değerine kadar yükseldiği ancak bu artışın lineer davranmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, ortalama temas açısı değerlerinin yüzey kimyasına bağımlılığı kadar yüzeyin topografyasına da bağlı olduğunu gösterir niteliktedir. Ayrıca MEBM-9, MEBM-10 ve MEBM-11 örnekleri için belirli bir süre sonunda alınan temas açısı değerlerinin yine hidrofobik skalada olmak üzere kısmen düştüğü gözlenmiştir. Bu durum

zaman bağlı olarak damlanın hazırlana MEBM yüzeyinde kimyasına ve topografyasına bağlı olarak yayılımıyla açıklanabilir. Diğer bir seri çalışmada spawn miktarı 2 katına çıkartılarak MEBM-9 ve MEBM-11'e analog olarak hazırlanan MEBM-12 ve MEBM-13 ürünlerinin temas açısı değerlerinin birbirilerinden farklılık gösterdiği ve özellikle MEBM-12 ürünü için bu değerin 161,1 ±1 olduğu belirlenmiştir. Beklentilerin aksine oldukça fazla hidrofobik olan bu değerin kullanılan spawn miktarına bağlı olarak MEBM'i oluşturan komponentlerin misel ile yoğun bir şekilde kaplanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca temas açısı ölçümlerinin bazı ürünlerde farklılık göstermesinin ürünlerin topografyasına bağlı olduğu tespit edildiğinden miselyum esaslı kompozit malzemelerin üretilmesi sürecinde yoğun ve homojen yüzeylerin hazırlanmasına dikkat edilmesi önerilmektedir. Bu kapsamda mantarın gelişim hızının ve komponentler içerisinde konumlanmasının optimize edilerek ayarlanması önerilmektedir.

6.3. Optik Mikroskop

Hazırlanan MEBM'ler üzerinde oluşan opak tabakanın spawn ilavesi sonrasında komponentler üzerinde mantarın oluşturduğu misel yapıdan ileri geldiği ve misel gelişiminin sağlandığı düşünülmektedir. Ayrıca kırmızı jüt kullanılan ürünlerde de kırmızı lifimsi yapıların yer aldığı tespit edilmiştir. MEBM-9, MEBM-10, MEBM-11, MEBM-12 ve MEBM-13'e ait stereo optik mikroskop görüntülerinin ortak özelliğinin görece geniş kırmızı lifsi yapının jüt kullanımından kaynaklandığı ve jüt oranın daha yüksek olduğu MEBM-11'de daha belirgin olduğu, buna karşın yine jüt oranının fazla olduğu MEBM-13 ürününün yapısındaki spawn miktarının 2 katı olması nedeniyle yüzeyde gelişen misel yapının baskın gelen görüntüsü nedeniyle daha geri planda kaldığı gözlenmiştir. Bunlarla birlikte, MEBM-12 yapısının kompozisyonunda yer alan tüm komponentleri net olarak görülmekle birlikte saman ve odunsal atıktan oluşan karışım ile jüt yapısının kısmen homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun, komponentlerin karışım esnasındaki farklı davranışları ile mantar yapısının bu komponentler üzerindeki gelişim süreçlerinin farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

6.4. DSC Analizi

Tez kapmasında hazırlanan ürünlerin ısıl geçiş ve entalpi değişimlerini araştırmak amacıyla DSC analizleri gerçekleştirilmiş olup MEBM kompozisyonunda çam talaşı, saman, pamuk ve odunsal atık gibi yanma reaksiyonu verebilen komponentlerin belirgin ekzotermik pikler verdiği saptanmıştır. Buna karşın özellikle mısır ve mısır türevleri içeren MEBM ürünleri herhangi bir ekzotermik veya endotermik davranış göstermediği tespit edilmiştir. Bu ürünler içerisinde en yüksek entalpi değişimini veren örnekler MEBM-1 (-80,4 j/g), MEBM-3 (-81,65 j/g) ve MEBM-7 (-79,2 j/g) olarak dikkat çekmektedir. Bu üç ürünün de 10g spawn miktarına karşı saman, odunsal atık ve çam talaşı gibi yanma reaksiyonu verebilen komponentleri içerdiği belirlenmiştir. Literatürde tez kapsamında hazırlananlara benzer yapıdaki ürünlerin DSC analizleri bulunmamasına karşın selülozik komponentler içeren bir çalışmada verilen entalpi değerleri dikkate alındığında gerek saman gerekse çam talaşı/odunsal atık içeren formülasyonlar için tespit edilen açığa çıkan ısı miktarlarının karşılaştırılabilir olduğu ve literatürlerle uyumlu olduğu saptanmıştır. Buna karşın saman, odunsal atık, çam talaşı ve jüt gibi enerji içeriğine sahip MEBM ürünlerde jüt ve spawn miktarlarının belirli bir değerin ötesinde olması durumunda, belirgin oranda düşük entalpi değişimleri belirlenmiştir. Bu durumun ana nedenlerinin 7,5g üzerinde jüt, 20g ve üzerinde spawn kullanılması ile komponentlerin üzerinde gelişen misel yapıların etkileşimine bağlı olarak meydana geldiği düşünülmektedir.

Spawn miktarının yüksek olduğu durumlarda entalpi değişim değerlerinin oldukça düşük olması bu tür MEBM ürünlerinin ısıl izolasyon amacıyla kullanımlarının mümkün olabileceğini düşündürmekle birlikte bu ürünlerin ısıl iletkenlik katsayılarının belirlenmesi ve daha yüksek oranda spawn miktarlarıyla çalışmaların detaylandırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1]

Smil, V. (April 2006). *Energy: A Beginner's Guide.*

[2] Kavaz, İsmail. (Ocak,2019). *Yerli ve Milli Enerji Politikaları Ekseninde Kömür.* İstanbul: Seta Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı / Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş.

[3]*"Kömür Nedir?", Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), www. enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSayfalar%2 FK%C3%B6m%C3%BCr+Nedir-.pdf, (Erişim tarihi: 20 Şubat 2018)*

[4] *Gediz Uğuz, "Temel Kömür Analizleri Föyü", 19 Mayıs Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü,kim.muhendislik.omu.edu.tr/files/kim. muhendislik/files/Temel%20Kömür%20Analizleri.pdf, (Erişim tarihi: 27 Şubat 2018)*

[5] *"Coal Basics", Coal Marketing International Ltd., www.coalmarketinginfo.com/coal-basics, (Erişim tarihi: 27 Şubat 2018)*

[6]

"Coal Information", Uluslararası Enerji Ajansı-Data Servisi, data.iea. org, (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2018)

[7]*https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-1_Birincil%20Enerji_%C5%9Eayende%20Y%C4%B1lmaz.pdf*.

[8] *"Energy Resources: Coal", The Open University, www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/science/environmental-science/energyresources-coal/content-section-4.5, (Erişim tarihi: 9 Ağustos 2018)*

[9] *"Coal Reserves", British Petroleum (BP), www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/coal/coal-reserves.html, (Erişim tarihi: 29 Ağustos 2018)*

[10]*https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-1_Birincil%20Enerji_%C5%9Eayende%20Y%C4%B1lmaz.pdf*.

[11] http://www.petroleum.co.uk/chemistry

[12]

Koçman, Ö., & Atay, Ö. (2021-December). A Comperative Study oF The Petroleum Industry Environmentally-Responsible Green Management Implementations. *Journal of Global Strategic Management | V. 15 | N. 2 |* , 005-018.

[13]

Environmental Impact of the Petroleum Industry. (2003). *Hazardous Substance Research Centers/South & Southwest Outreach Program*.

[14] https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/

[15]

Economides, M., & Wood, D. (2009). The State of Natural Gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*.

[16]

Landrigan, P., Frumkin, H., & Lundberg, B. (January 9, 2020). The False Promise of Natural Gas. *The New England Journal of Medicine*.

[17] https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor

[18] https://www.etimaden.gov.tr/en/boron-in-the-world

[19]

Türkbay, T., Laratte, B., Çolak, A., Çoruh, S., & Elevli, B. (23 February 2022). Life Cycle Assessment of Boron Industry from Mining to Refined Products. *MDPI*, 3-4.

[20]

Demirtaş, A. (2010). Bor'un İnsan Beslenmesi ve Sağlığı Açısından Önemi . *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 78-79.

[21]

Saidi, K., & Ben Mbarek, M. (2016). Nuclear energy, renewable energy, CO2 emissions, and economic growth for nine developed countries: Evidence from panel Granger causality tests.

[22] https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx#:~:text=Nuclear%20energy%20now%20provides%20about,in%20about%20220%20research%20reactors.

[23]

Foster, R., Ghassemi, M., & Cota, A. (2010). *Solar Energy: Renewable Energy and the Environment.* CRC Press Taylor&Francis Group.

[24]

Louwen, A., & van Sark, W. (2020). *Photovoltaic solar energy.*

[25]

Keremane, K. (2020). “Power from Sunshine”: Solar Energy Harvesting In order to Solve the World Energy Crisis. *Journal of Advanced Mass Spectroscopy*.

[26]

Kılıç, U., & Kekezoğlu, B. (5 September 2022). A review of solar photovoltaic incentives and Policy: Selected countries and Turkey. *Ain Shams Engineering Journal*.

[27] https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes

[28]

Tong, W. (2010). *Wind Power Generation and Wind Turbine Design.* WIT Press.

[29]

Naidu, M., Karthik, M., Kumar, V., & Praveen, M. (01 January 2022). A Study On Wınd Power Generatıon Across The Top Wınd Generatıng Countrıes In The World – Its Future. *International Journal for Recent Developments in Science & Technology*.

[30]

İlhan, A., Bilgili, M., & Şahin, B. (21 March 2022). Wind Farm and Installed Wind Power Analyses of Turkey. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*.

[31]

Bagher, A., Vahid, M., Mohsen, M., & Parvin, D. (20 April 2015). Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. *American Journal of Energy Science*.

[32]

Energy, U. D. (24 February 2022). *U.S. Department of Energy Response to Executive.*

[33]

(2021). *Turkey 2021 - Energy Policy Review.* International Energ Agency.

[34]

(September 2017). *Geothermal Power.* International Renewable Energy Agency.

[35]

Aydın, H., & Merey, Ş. (18 October 2020). Potential of geothermal energy production from depleted gas fields: A case study of Dodan Field, Turkey.

[36]

Haklıdır, F., & Balaban, T. (February 2019). A review of mineral precipitation and effective scale inhibition methods at geothermal power plants in West Anatolia (Turkey).

[37]

Cruz, J. (2008). *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Prespectives.* Springer.

[38]

Jin, S., & Greaves, D. (June 2021). Wave energy in the UK: Status review and future perspectives.

[39]

Sağlam, M., Sulukan, E., & Uyar, T. (2010). Wave Energy and Technical Potential of Turkey.

[40] Ness, J., & Moghtaderi, B. (January 2007). *Biomass and Bioenergy* (s. Chapter 1)

[41] Sarkodie, S., Strezov, V., Weldekidan, H., Asamoah, E., Owusu , P., & Doyi, I. (01 March 2019). Environmental sustainability assessment using dynamic Autoregressive-Distributed Lag simulations—Nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth

[42]

Toklu, E. (7 February 2017). Biomass energy potential and utilization in Turkey.

[43]

Önder, S., & Ocak, R. (8-11 Mayıs 2018). Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları.

[44] https://www.mylo-unleather.com/stories/what-is-mycelium

[45] https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1189&title=Food%20Waste%20Composting:%20Institutional%20and%20Industrial%20Application

[46]

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, İ., Heredia-Guerrero, J., & Athanassiou, A. (24 January 2017). Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Nature*.

[47]

José Maria Rodrigues da Luz, Sirlaine Albino Paes, Karla Veloso Gonçalves Ribeiro, Igor Rodrigues Mendes, & Maria Catarina Megumi Kasuya . (15 June 2015). Degradation of Green Polyethylene by Pleurotus ostreatus. *Plos One*.

[48]

José Maria Rodrigues da Luz, Sirlaine Albino Paes, Mateus Dias Nunes, Marliane de Cássia Soares da Silva, & Maria Catarina Megumi Kasuya. (15 August 2013). Degradation of Oxo-Biodegradable Plastic by Pleurotus ostreatus. *Plos One*.

[49]

Diana A. Moreno-Bayona, Luis D. Gómez-Méndez, Andrea Blanco-Vargas, Alejandra Castillo-Toro, Laura Herrera-Carlosama, Raúl A. Poutou-Piñales, . . . Aura M. Pedroza-Rodríguez. (16 May 2019). Simultaneous bioconversion of lignocellulosic residues and oxodegradable polyethylene by Pleurotus ostreatus for biochar production, enriched with phosphate solubilizing bacteria for agricultural use. *Plos One*.

[50]

Hidayat , A., & Tachibana, S. (2012). Characterization of polylactic acid (PLA)/kenaf composite degradation by immobilized mycelia of Pleurotus ostreatus. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50-54.

[51]

Alves, R., Alves, M., & Campos, M. (January 2020). *Morphology and thermal behaviour of new mycelium-based composites with different types of substrates.*

[52]

Nashiruddin, N., Chua, K., Mansor, A., Rahman, R., Lai, J., Azelee, N., & El Enshasy, H. (25 June 2021). Effect of growth factors on the production of mycelium-based biofoam. *Springer Nature*.

[53]

Joshi, K., Meher, M., & Poluri, K. (28 February 2020). Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications. *ACS*.

[54] https://ecovative.com

[55] https://mogu.bio

[56] https://www.mycoworks.com

[57] https://www.grown.bio

[58]

Alves, R., Alves, M., & Campos, M. (29 Eylül 2019). *Morphology and Thermal Behaviour of New Mycelium-Based Composites with Different Types of Substrates.*

[59]

Erbil, H. Y. (2006). *Surface chemistry of solid and liquid interfaces.*

[60]

Nashiruddin, N., Chua, K., Mansor, A., Rahman, R., Lai, J., Azelee, N., & El Enshasy , H. (Haziran 2022). *Effect of growth factors on the production of mycelium-based biofoam.*

[61]

Nuruddin, M., Narteh, A., Hubbard, D., Jeelani, S., & Hosur, M. (Ekim 2015). *Synthesıs And Characterızatıon Of Novel Phenolıc Resın System Based On Lıgnın Extracted From Dıfferent Bıomass Resources.*

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**