



**AMBALAJ ATIKLARINDAN
ISI YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Müge TAŞ

Eskişehir 2019

AMBALAJ ATIKLARINDAN ISI YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ

Müge TAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Müfide BANAR

İkinci Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Zerrin GÜNKAYA

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mart 2019

Bu tez çalışması Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO) tarafından desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Müge TAŞ' ın “Ambalaj Atıklarından Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi” başlıklı tezi 15/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı Adı Soyad</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. Müfide BANAR	
Üye :	Doç. Dr. Aysun ÖZKAN	
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi Göktuğ GÜNKAYA	

Prof. Dr. Ersin YÜCEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

AMBALAJ ATIKLARINDAN ISI YALITIM MALZEMESİ ÜRETİMİ

Müge TAŞ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2019

Danışman: Prof. Dr. Müfide BANAR

(İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zerrin GÜNKAYA)

Hızlı tüketim alışkanlıkları, ambalaj atıklarının oluşumunu beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, ambalaj atığı miktarını en aza indirmek için, farklı kullanım alanları geliştirilerek geri dönüşümün payı arttırılmalıdır. Bu çalışmada, Atık Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE) ambalajlar kullanılarak ham atık LDPE ve farklı oranlarda atık/ham LDPE (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50) karışımlarından ısı yalıtım malzemesi üretilmiştir. Köpükleştirme çalışmalarında çevre dostu köpükleştirme ajanları olan sodyum bikarbonat ve sitrik asit kullanılmıştır. Numunelerin ısı yalıtım potansiyelleri; ısıl iletkenlik, yoğunluk, su emme ölçümleri ile belirlenmiştir. Isı iletkenlik sonuçları atık, karışım (90/10) ve ham numuneler için sırasıyla 0,043 W/mK, 0,046 W/mK ve 0,061 W/mK'dir. Bu sonuçlar atık ve karışım numunesinin (90/10), ham LDPE numunesine oranla daha fazla ısı yalıtım malzemesi kullanma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Numunelerin gözenek yapıları da bir stereo mikroskopla incelenmiştir. Yalıtım malzemesine alev geciktirici özellikler sağlamak için atık malzemelerle daldırarak kaplama tekniği kullanılmıştır. Laboratuvarındaki ön denemelerde atık kil ve borik asit (AK/BA) 102 saniye ile en iyi sonucu vermiştir. Isı yalıtım malzemesi yanma testi olan LOI sonuçlarına göre (>60) ekstra alev geciktirici sınıfındadır. Ayrıca, atık LDPE ısı yalıtım malzemesi ve ticari ısı yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerinin yaşam döngüsü analizi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Ambalaj atıkları, LDPE, Köpükleştirme ajanları, Isı yalıtım malzemesi, Yaşam döngüsü değerlendirmesi.

ABSTRACT
THERMAL INSULATION MATERIAL PRODUCTION FROM
PACKAGING WASTES

Müge TAŞ

Environmental Engineering Program

Eskişehir Technical University Graduate School of Sciences, March 2019

Supervisor: Prof. Dr. Müfide BANAR

Co-Supervisor: Dr. Zerrin GÜNKAYA

Fast consumption habits have brought about the formation of packaging waste. For that reason, to minimize the amount of packaging waste, the share of recycling should be increased by developing different utilization areas. In this study, thermal insulation material was produced from raw waste LDPE and waste/virgin LDPE (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50) mixtures at different rates by using Waste Low Density Polyethylene (LDPE) packages. In the foaming studies, sodium bicarbonate and citric acid, which are environmentally friendly foaming agents, were used. Thermal insulation potentials of the samples were determined by thermal conductivity density, water absorption measurements. The thermal conductivity results were 0.043 W/m·K, 0.046 W/m·K and 0.061 W/m·K for waste, mixture (90/10) and virgin samples, respectively. These results show that the waste and mixture sample (90/10) have more using potential of thermal insulation material than the virgin LDPE sample. The pore structures of the samples were also examined with a stereo microscope. In order to provide flame retardant properties to the insulation material, dip coating technique was used with the waste material. In the preliminary experiments in the laboratory, waste clay and boric acid (AK/BA) gave the best result with 102 seconds. The thermal insulation material is in the extra flame retardant class according to the LOI results (>60), which is the combustion test. In addition, the life cycle analysis of the environmental impact of waste LDPE thermal insulation material and commercial thermal insulation materials has been made.

Keywords: Packaging waste, LDPE, Foaming agents, Thermal insulation material, Life cycle assesment.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı;

Çalışmamın her safhasında bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyerek bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan başta danışman hocalarım Prof. Dr. Müfide BANAR ve Dr. Öğr. Üyesi Zerrin GÜNKAYA olmak üzere Doç. Dr. Aysun ÖZKAN ve Dr. Öğr. Üyesi Alp ÖZDEMİR'e;

Burs desteği için Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO) Yönetim Kurulu Üyelerine,

Polimerizasyon konusunda desteği için Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinden Sn. Dr. Kılıçaslan N. BAYRAKTAR'a, Stereo Mikroskop analizlerindeki desteği için Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinden Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek NAKAŞ'a; Termal iletkenlik analizlerini gerçekleştiren Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezinden Teknisyen Mustafa ÇOBANCI ve Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinden Uzman İrfan AKGÜL'e; LOI analizlerindeki desteği için Eskişehir Teknik Üniversitesi Sivil Havacılık Uygulama ve Araştırma Merkezinden Doç. Dr. Mustafa Erdem ÜREYEN ve analizleri gerçekleştiren Teknisyen Feyzullah GÜNDOĞAN'a;

Çalışmam boyunca sabırla yardımlarını esirgemeyen, değerli arkadaşlıkları için Ece YAPICI, Hasret AKGÜN ve Kübra CEBECİ TOPBAŞ'a

Ayrıca çalışma sürecinde ve arkadaşlığımız süresince maddi ve manevi desteklerinden dolayı pek sevgili dostlarım Eda BİHAN, Erdi AKAR, Mehmet Fatih KALYENCİ ve Seda ÇAPA'ya

Ve en önemlisi burada olmamı sağlayan ve eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Semira TAŞ, babam Ahmet TAŞ ve abim Adem TAŞ'a

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Müge TAŞ

Mart 2019

15/03/2019

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Müge TAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. AMBALAJ ATIKLARI VE GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ	3
2.1. Ambalajlamada Kullanılan Plastik Türleri.....	5
2.1.1. Polietilen Teraftalat (PET/ PETE).....	7
2.1.2. Polietilen (PE)	7
2.1.3. Polivinil Klorür (PVC)	7
2.1.4. Polipropilen (PP)	8
2.1.5. Polistiren (PS)	8
2.2. Plastiklerin Geri Dönüşümü.....	8
2.2.1. Toplama.....	9
2.2.2. Ayırma	9
2.2.3. Değerlendirme.....	9
2.3. Plastikleri Şekillendirme Yöntemleri	9
2.3.1. Basınç kalıplama.....	9

2.3.2.	Döner kalıplama	10
2.3.3.	Enjeksiyon kalıplama	10
2.3.4.	Ekstrüzyon yöntemi.....	10
3.	ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ	12
3.1.	Halojenli Alev Geciktiriciler	15
3.2.	Mineral Katkılı Alev Geciktiriciler	16
3.3.	Bor Katkılı Alev Geciktiriciler	16
3.3.	Fosfor Katkılı Alev Geciktiriciler	17
3.4.	Silikon Katkılı Alev Geciktiriciler	17
3.5.	Azot Katkılı Alev Geciktiriciler	18
3.6.	Kabaran Alev Geciktiriciler	18
3.7.	Nanopartiküller	18
4.	KONUyla İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	20
4.1.	Köpüksü Yapı Kazandırma İle İlgili Literatür Araştırması.....	20
4.2.	Alev Geciktiriciler İle İlgili Literatür Araştırması	27
5.	ISI YALITIM MALZEMESİ ÜRETME ÇALIŞMALARI.....	32
5.1.	Atık LDPE ve Diğer Atık Malzemelerden Kompozit Üretimi	32
5.2.	Köpük Malzemelerin Üretilmesi.....	33
5.2.1.	DeneySEL çalışmalar	34
5.2.2.	Bulgular	36
6.	ISI YALITIM MALZEMESİNE ALEV GECİKTİRME ÖZELLİĞİNİN KAZANDIRILMASI.....	39
6.1.	Alev Geciktiricilerin Hazırlanması ve Uygulaması.....	39
6.2.	Bulgular.....	41
7.	ISI YALITIM MALZEMESİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	47
7.1.	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA).....	47

7.1.1. Hedef ve kapsamın belirlenmesi.....	48
7.1.2. Envanter analizi.....	49
7.1.3. Etki değerlendirmesi	51
7.1.4. Yorum.....	54
7.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İle İlgili Çalışmalar	54
7.3. Isı Yalıtım Malzemesinin LCA Analizi	57
7.3.1. Hedef ve kapsamın tanımı	58
7.3.2. Envanter analizi.....	59
7.3.3. Etki değerlendirmesi	60
7.3.4. Yorum.....	61
8. SONUÇ	65
KAYNAKÇA.....	67
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Plastiklerin kısaltmaları ve numaralandırmaları.....	5
Çizelge 3.1. Isı yalıtım malzemelerinin hammadde türüne göre sınıflandırılması.....	12
Çizelge 3.2. Isı yalıtımı uygulama alanları.....	13
Çizelge 5.1. LDPE ve kompozit numunelerin ısı iletkenlik sonuçları	33
Çizelge 5.2. Atık, karışım ve ham LDPE örneklerinin ısı iletkenlik, yoğunluk ve su emme analiz sonuçları	37
Çizelge 5.3. Atık, karışım (90/10) ve ham LDPE’ nin ticari ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılması.....	37
Çizelge 6.1. Karışım türleri ve oranları	39
Çizelge 6.2. İkili karışımlar ile kaplanmış ısı yalıtım malzemelerinin tutuşmaya başlama süreleri (sn).....	41
Çizelge 6.3. Üçlü karışımlar ile kaplanmış atık LDPE yalıtım malzemelerinin tutuşmaya başlama süreleri (sn)	43
Çizelge 6.4. LOI testine göre alev geciktirici sınıflandırması	45
Çizelge 6.5. LOI testi sonuçları	46
Çizelge 7.1. Etki kategorileri	52
Çizelge 7.2. Deneysel çalışmayla ilgili veriler (referans akış bazında).....	60
Çizelge 7.3. Yalıtım malzemelerinin karakterizasyon sonuçları	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Doğrusal, zincir ve döngüsel ekonomi	2
Şekil 2.1. Ambalaj atıklarının geri dönüşüm süreci	3
Şekil 2.2. Plastik atık türleri ve kodları	6
Şekil 5.1. Akım şeması	35
Şekil 7.1. Yaşam döngüsü analizi sürecindeki girdi ve çıktılar.....	50
Şekil 7.2. Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin sistem sınırı	59



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Türkiye’deki plastik türleri ve üretim yüzdeleri.....	6
Görsel 3.1. Isı yalıtım malzemesi çeşitleri	14
Görsel 5.1. Ekstrüderden eriyik halinde çekilen bir karışım örneği	32
Görsel 5.2. Çift vidalı ekstrüder	33
Görsel 5.3. Atık LDPE’lerin işlenmesi a) boyut küçültme, b) granülleştirme ve c) tozlaştırma.....	35
Görsel 5.4. Köpük malzemelerin görüntüleri a) Atık LDPE, b) Atık/Ham LDPE (karışımı) c) Ham LDPE	36
Görsel 5.5. Atık/Ham LDPE (90/10) ısı yalıtım malzemesi	37
Görsel 5.6. LDPE bazlı köpük örneklerin stereo mikroskop görüntüleri a) Atık LDPE, b) Atık/ham LDPE (90/10), c) Ham LDPE	38
Görsel 6.1. a) Kaplanmamış ve b) Alev geciktirici katkı maddeleriyle kaplanmış yalıtım malzemesi	40
Görsel 6.2. Alev geciktirici katkı maddeleriyle kaplanmış ısı yalıtım malzemesinin yanma testi sırasındaki görüntüleri	40
Görsel 6.3. Karışımların kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi	42
Görsel 6.4. Borik asit kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi ...	42
Görsel 6.5. AK/BA/ÇB kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi	43
Görsel 6.6. Piyasadaki yalıtım malzemelerinin yanma testi sırasındaki görüntüleri ...	44
a) XPS ¹ b) EPS c) XPS ² d) PE köpük	44
Görsel 6.7. LOI test cihazı	44
Görsel 7.1. Yalıtım malzemelerinin karakterizasyon sonuçlarının etki kategorileri bazında dağılımları.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADC / ADCA	: Azodikarbonamid
ADP	: Abiyotik tükenme potansiyeli
AP	: Asidifikasyon Potansiyeli (Acidification Potential)
APP	: Amonyum polifosfat
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Enstitüsü (American Society for Testing and Materials)
ATH	: Alüminyum trihidroksit
B ₂ O ₃	: Bor Oksit
BA	: Borik Asit
Br	: Brom
BPO ₄	: Borofosfat
BSi	: Bor Silikon
BX	: Boraks
CH ₄	: Metan
C ₂ H ₂	: Asetilen
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CEPMC	: Avrupa Yapı Malzemeleri Birliği (Council for European Producers of Materials for Construction)
CEN	: Avrupa Standardizasyon Komitesi (Comité Européen de Normalisation)
CFC	: Klorofluorokarbon (Chlorofluorocarbons)
Cl	: Klor
CNT	: Karbon nanotüpler (carbon nanotubes)
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbondioksit
CTH	: Chalmers Teknik Üniversitesi (Chalmers University of Technology)
ÇEVKO	: Çevre Koruma ve Ambalaj Atıklarını Değerlendirme Vakfı
DCP	: Dikünil Peroksit (Di Cumyle Proxide)
DSC	: Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (Differential Scanning Calorimetry)
DTBPIB	: Di (ter-bütıl peroksiizopropil) benzen

EG	: Genleşebilen grafit (Expandable Graphite)
EP	: Ötrofikasyon Potansiyeli (Eutrophication Potential)
EPD	: Çevresel Ürün Beyanı (Environmental Product Declaration)
EPS	: Genleştirilmiş polistiren (Expanded Polystrene)
EVA	: Etilen vinil asetat
F	: Flor
FAETP	: Yüzey Sularına Olan Ekotoksisite Potansiyeli (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential)
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (Fourier-transform infrared spectroscopy)
GWP	: Küresel ısınma potansiyeli
HCFC	: Hidroklorofluorokarbon
HFC	: Hidroflorokarbon
HCl	: Hidrojen Klorür
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen (High Density Polyethylene)
HTP	: İnsanlar Üzerine Olan Toksik Etki Potansiyeli (Human Toxicity Potential)
I	: İyot
ICB	: Genişletilmiş mantar aglomeratı
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
Kg	: Kilogram
KTH	: Kraliyet Teknoloji Enstitüsü (Royal Institute of Technology)
LaB	: Lantan Borat
LbL	: Katman-katman (Layer-by-Layer)
LCA	: Yaşam Döngüsü Analizi
LCI	: Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
LCIA	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
LWA	: Genişletilmiş hafif kil agregası
LOI	: Limit Oksijen İndeksi (Limited Oxygen Index)
MDH	: Magnezyum dihidroksit
MFI	: Erime akış indeksi (Melt Flow Index)

NO _x	: Azot Oksitler
OBSH	: p-oksbis (benzensülfonilhidrazid)
ODP	: Ozon tabaksının tükenme potansiyeli
PAGEV	: Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PCR	: Ürün Kategori Kuralları (Product Category Rules)
PDMS	: Poliorimetilsiloksan
PE	: Polietilen (Polyethylene)
PER	: Pentaeritritol
PET	: Polietilen teraftalat (Polyethylene terephthalate)
PHBV	: Poli (3-hidroksibutirat-ko-3-hidroksivalerat)
PO ₄	: Fosfat
POE	: Poliolefin elastomer
POP	: Fotokimyasal oksidasyon potansiyeli
PP	: Polipropilen
PP-g-MA	: Maleik anhidrid aşılınmış polipropilen
PPVC	: Plastikleştirici içeren polivinil klorür
PS	: Polistiren polystyrene
PTFE	: Politetrafluoroetilen
PUR	: Poliüretan köpük (Polyurethane Foam)
PVC	: Poli Vinil Klorür (Polyvinyl chloride)
R	: Isıl Direnç (m ² K/W)
RP	: Kırmızı Fosfor
Sb	: Antimon
SEBS-g-MA	: Maleik anhidrid aşılınmış stiren-etilen-bütillen-stiren
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning electron microscope)
SHSD	: Ayçiçeği sapı zımpara tozu (Sunflower Hull Sanding Dust)
SO ₂	: Sülfürdioksit
TBBPA	: Tetrabromobisfenol A
TETP	: Kara Ekosistemine Olan Toksik Etki Potansiyeli (Terrestrial Ecotoxicity Potential)
TGA	: Termogravimetrik analiz
TMTDS	: Tetrametiltiuram disülfür
TPP	: Trifenil fosfat

TS	: Türk Standartları
TÜDAM	: Türkiye Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği
UPVC	: Plastikleştirici içermeyen polivinil klorür
VIP	: Vakum yalıtım panelleri (Vacuum İnsulation Panels)
WAXS	: Geniş açılı X-ışını saçılımı (Wide-angle X-ray scattering)
WF	: Odun Lifi (Wood Fiber)
WPC	: Odun polimer kompoziti (Wood Polymer Composite)
XPS	: Ekstrüde polistiren (Extruded Polystrene)
XRD	: X-Işını Kırınımı (X-ray powder diffraction)
ZB / BZn	: Çinko Borat
ZnO	: Çinko Oksit
λ	: Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
ρ	: Yoğunluk (Kg/m ³)

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ve buna bağlı olarak hızlı kentleşme, teknolojiye gelişmeler ve hayat tarzlarındaki değişiklikler çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Çevresel sorunların temelini oluşturan atıklar, alıcı ortamlarda geri dönüşü olmayan süreçlere neden olurken, iyi bir şekilde değerlendirilmediklerinden dolayı da doğal kaynak tüketimi her geçen gün artmaktadır. Bu açıdan ulusal bazda atık yönetim planları hazırlanmakta ve atıkların geri dönüşüm/geri kazanım uygulamaları ile ekonomiye kazandırılması hedeflenmektedir. Geri dönüşüm/maddesel geri kazanım kavramı açısından en önemli atık grubu ambalaj atıklarıdır. Avrupa’da 84,6 milyon ton ambalaj atığının %78’i ekonomiye geri kazandırılmış iken (TÜDAM, 2016), ülkemizde oluşan 4,2 milyon ton ambalaj atığının ancak 2,4 milyon tonu geri dönüştürülebilmektedir (Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023)). Öte yandan, 2017 yılında yayımlanan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği ile 2020 yılı ve sonraki yıllar için geri kazanım oranının %60, geri dönüşüm oranının ise %55 olması hedeflenmektedir (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017).

Son yıllarda tüm dünyada sıklıkla konuşulmaya başlanan ve doğrusal ve zincir ekonomiye alternatif olan Döngüsel Ekonomi kavramı altında, sürdürülebilir üretim, sürdürülebilir tüketim ve ”up-cycling” modeli vurgulanmaktadır (Şekil 1.1). Bu yaklaşım ile atıkların kaynak olarak kullanım verimi ve yeniden değerlendirilmelerinin, yeni iş alanlarına ve istihdama katkısı ele alınmaktadır (ÇEVKO, 2018). Ülkemizde oluşan ambalaj atıkları içerisinde, %32 gibi önemli bir paya sahip olan plastik atıklar ise döngüsel ekonomi açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptirler. Dolayısıyla, mevcut uygulamada ekonomiye kazandırılan 384 bin ton plastik atık miktarının 2023 yılına kadar 1,15 milyon tona çıkarılması planlanmaktadır (TÜDAM, 2017).



Şekil 1.1. Doğrusal, zincir ve döngüsel ekonomi (ÇEVKO, 2018)

Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında, atık düşük yoğunluklu polietilenlerin (LDPE) yeniden değerlendirilebilmeleri bağlamında, ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanım potansiyelleri ortaya konulmak istenmiş ve çalışma bu yönde ilerlemiştir.

Giriş bölümünden sonra gelen ikinci bölümde, ambalajlamada kullanılan plastik türleri, plastik atıkların geri dönüşümü ve plastikleri şekillendirme yöntemleri ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri ve ısı yalıtım malzemelerinin alev geciktirici özellik kazandırılmasında etkili olabilecek alev geciktiriciler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde ısı yalıtım malzemesinin üretiminde malzemeye köpüksü yapı kazandırma çalışmaları ve yalıtım malzemesinin sahip olması gereken alev geciktirici özellikleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar yer almaktadır.

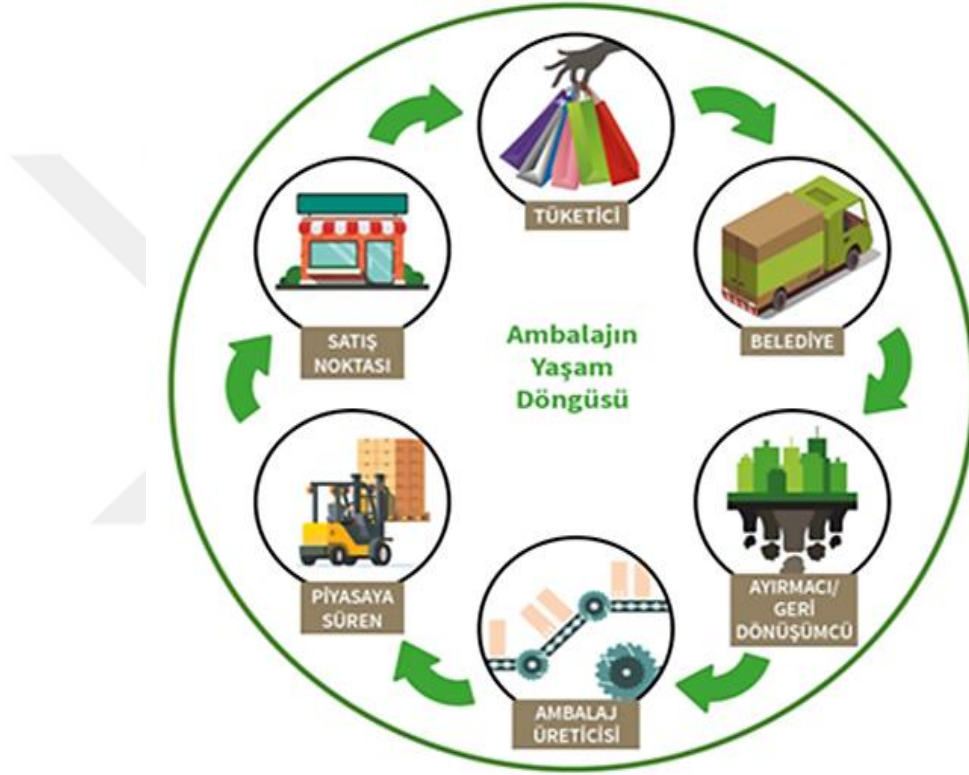
Beşinci bölümde atık LDPE ambalajlardan yalıtım malzemesi üretimi için gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

Altıncı bölümde ısı yalıtım malzemelerinin sahip olması gereken alev geciktirici özelliklerinin kazandırılması çalışmaları ele alınmıştır.

Son aşamada ise yaşam döngüsü analizi, ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü analizleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ve atık LDPE ambalajları ile üretilen ısı yalıtım malzemesinin piyasadaki yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılması için lisanslı yazılım olan Simapro 8.5.0.0 yazılımı kullanılarak yaşam döngüsü değerlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. AMBALAJ ATIKLARI VE GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Ambalaj atığı miktarları artan tüketime paralel olarak, her geçen yıl fazlalaşmaktadır. 2017 yılında ÇEVKO'nun yaptığı çalışmalarda belgelediği geri dönüşümlü ambalaj atık miktarı 656.935 ton'dur. Bu miktarın 2020 yılında 750.000 ton olması beklenmektedir (http-1). Ambalaj atıkları; cam, kağıt-karton, metal, ahşap, kompozit ve plastik ambalajlar olarak cinslerine göre sınıflandırılırlar. Ambalaj atıklarının geri dönüşüm aşamaları şematik olarak Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Ambalaj atıklarının geri dönüşüm süreci (http-1)

Cam ambalaj: Cam defalarca geri dönüştürülebilir, parlak ve kolay temizlenebilir özelliktedir. Kimyasallarla tepkimeye girmemesi, temizlenme kolaylığı sebebiyle yiyecek ve içecekleri dış etkenlerden koruduğundan çok tercih edilen ambalajlardır (PAGEV, 2018a). Cam atıklarının tamamı ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Bu süreçte, lisanslı geri dönüşüm tesislerine getirilen cam atıklar renklerine göre ayrılmakta, öğütülmekte, silis kum ve soda eklenerek fırınlarda eritilmekte ve şekillendirilmektedirler (http-2).

Kağıt/karton ambalajlar: Kağıt/karton ambalajlar çok fazla kullanılan ambalaj türleri olduklarından atık miktarı da en fazla olan ambalaj türleridir (Gündüzalp ve Güven,

2016). Hammaddesi selüloz olan bu atıklar, lisanslı geri dönüşüm tesislerinde gerçekleştirilen boyut küçültme, hamurlaştırma, kimyasallarla ağartma ve saflaştırma işlemlerinden sonra ikincil hammadde olarak piyasaya yeniden kazandırılmaktadırlar (http-2).

Metal ambalajlar: İçerisindeki malzemeyi ışık, hava ve sudan koruması sebebiyle sıkça tercih edilen ambalaj türüdür. Kolay temizlenebilir ve doğada kolay yok olabilme özelliklerine sahiptirler (PAGEV, 2018a). Toplama ayırma tesislerinde türlerine göre (alüminyum, çelik) ayrılan metal ambalajlar, işlenecekleri tesislerde kırılarak yüksek dereceli fırınlarda eriyik haline getirilmekte ve istenilen kalıplara dökülerek yeniden şekillendirilmektedirler (http-2).

Ahşap ambalajlar: Sert özelliğe sahip olduklarından kırılğan malzemelerin taşınmasında ve hava geçirgen olmaları sebebiyle de meyve ve sebzelerin taşınmasında kullanılırlar (Gündüzalp ve Güven, 2016). Geri dönüşüm tesislerinde temizlenen ahşap atıkları, istenilen boyutlarda şekillendirilerek yeniden kullanıma hazır olarak piyasaya sürülürler (http2).

Kompozit ambalajlar: Kompozit ambalajlar en az iki malzemenin birlikte kullanımı ile üretilir. Bu malzemeleri birbirlerinden ayırmak güçtür (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017). Kompozit ambalaj atıkları için birçok geri dönüşüm yöntemi vardır. Geri dönüşüm tesislerinde kağıt, alüminyum ve polietilen kısımlar ayrıştırılır. Kağıt kısımlar hamurlaştırma işlemine tabi tutulur, birtakım kimyasallarla ağartma işleminden sonra saflaştırılarak ikincil hammadde olarak piyasaya yeniden kazandırılırlar. Alüminyum ve polietilen ise çimento fabrikalarına gönderilerek ek yakıt olarak kullanılırlar. Bir diğer yöntem ise kırılıp öğütülen kompozit malzemenin sıkıştırılarak sunta benzeri bir malzeme (yekpan) olarak kullanımıdır (http-2).

Plastik ambalajlar: Kolay işlenebilir ve şekillenebilir olmaları sebebiyle plastik ambalajlar, endüstriyel alanlarda en fazla tercih edilen ambalaj türüdür. Plastik ambalaj türleri, geri dönüşümleri ve şekillendirilme yöntemleri sırasıyla bölüm 2.1, 2.2 ve 2.3'te detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1. Ambalajlamada Kullanılan Plastik Türleri

Ana kaynağı ham petrol, gaz ve kömür olan plastiklerin (Şimşek ve Akdağ 2017) kullanımları II. Dünya Savaşı'ndan itibaren başlamıştır (http-2). Kolay üretim, ucuz olma, az yer kaplama ve koruma özelliklerinden dolayı plastiklere olan ilgi giderek artmıştır. Çevresel açıdan incelendiğinde, üretim artışıyla paralel olarak artan plastik atıklar, ambalaj atıkları içerisinde diğer ambalaj türlerine oranla daha büyük paya sahip olmaları nedeniyle dikkatleri üzerine çekmektedir. Plastikler, uzun süre doğada yok olmadıkları ve atıldıklarında önemli derecede çevre sorunlarına (su ve toprak kirliliği) neden oldukları için geri dönüşüm çalışmalarında ön saflarda yer almakta, hem ekonomik hem de çevresel anlamda ilgi çekmektedirler.

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliğine göre plastikler 7 çeşittir. Çizelge 2.1.'de plastiklerin kısaltmaları ve numaralandırılmaları, Şekil 2.2.'de ise kodlarıyla birlikte örnek plastik türleri verilmiştir.

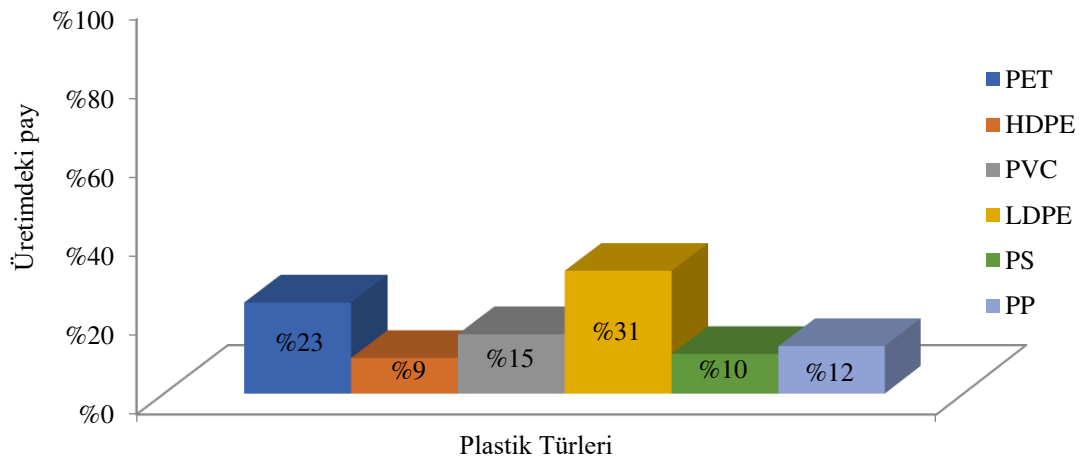
Çizelge 2.1. Plastiklerin kısaltmaları ve numaralandırılmaları (Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2017)

Malzeme	Kısaltmalar	Numaralama
Polietilen teraftalat	PET	1
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	2
Polivinilklorür	PVC	3
Düşük yoğunluklu polietilen	LDPE	4
Polipropilen	PP	5
Polistiren	PS	6
		...
Diğer		19



Şekil 2.2. Plastik atık türleri ve kodları (http-3)

Ülkemizde plastik hammadde üretiminde en yüksek oran, 157.000 ton ile LDPE plastiği iken, bunu sırasıyla 117.000 ton PET, 76.000 ton PVC, 61.000 ton PP, 51.000 ton PS ve son olarak 45.000 ton HDPE takip etmektedir (PAGEV, 2018b). Görsel 2.1’de Türkiye’deki plastik türleri ve üretim yüzdeleri verilmiştir.



Görsel 2.1. Türkiye’deki plastik türleri ve üretim yüzdeleri (PAGEV, 2018b)

Ambalajlamada kullanılan plastik türlerinin açıklamaları alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

2.1.1. Polietilen Teraftalat (PET/ PETE)

Saydam ve tok orta sertlikte olup, çekme, gerilme ve kopma direnci yüksek bir plastik türüdür (Çokaygil 2005; Eker, 2009a). Yoğunlukları 1,33-1,38 gr/cm³ arasındadır. Yumuşama sıcaklığı 60 °C, erime sıcaklığı ise 250 °C'dir. Genellikle ilk kullanımları su, gazlı içecek ve maden suyu şişesi olup geri kazandırılmış haliyle deterjan şişesi ve saydam filmler şeklinde kullanılmaktadırlar (Eker, 2009a).

2.1.2. Polietilen (PE)

Ucuz, gerilmelere karşı dayanıklı ve kimyasal olarak kararlı olmaları sebebiyle ambalaj sektörünün önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Üretim yöntemine göre üç grupta sınıflandırılır. Bunlar; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE (low density polyethylene)), orta yoğunluklu polietilen (MDPE (middle density polyethylene)), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE (high density polyethylene))'dir (Üçüncü, 2000).

LDPE: Yumuşak ve esnektirler buruşmaz bir özelliğe sahiptirler. Orijinal görünümeleri süt rengindedir ve pigment eklenmesiyle renklendirilirler (PAGEV, 2018a). Yoğunluğu 0,91-0,93gr/cm³'tür. Kullanılabilir sıcaklığı 80°C olup 120°C'de erirler. İlk kullanımları alışveriş poşetleri, paket ambalajlama ve su şişesi kapaklarıdır. Geri dönüştürülmüş haliyle çöp torbası ve fidan kabı veya torbalarında kullanılırlar (Eker, 2009a).

MDPE: Yoğunluğu 0,925-0,935 g/cm³'tür. Isıl dayanımları ve ısıl uygulama sıcaklıkları düşük yoğunluklu polietilenlerden daha yüksektir. Mekanik dayanıklılıkları düşük olup filmleri şeffaf değildir (Üçüncü, 2000).

HDPE: Yarı saydam veya renkli, orta sertlikte bir plastiktir. Maksimum yoğunluğu 0,94-0,96 gr/cm³'tür. Yumuşama sıcaklığı 120°C'dir. Düşük maliyetli olmaları, kırılmaya dayanıklı ve kolay şekillenebilir olmaları sebebiyle en çok kullanılan plastiklerden biridir. İlk kullanımları genellikle alışveriş poşetleri, şampuan şişeleri, süt ve krema şişeleridir. Geri kazandırılmış haliyle ise deterjan şişeleri, çöp bidonları ve tarımsal amaçlı su boruları olarak kullanılırlar (Eker, 2009a).

2.1.3. Polivinil Klorür (PVC)

Yoğunluğu 1,32-1,42 gr/cm³'tür. Yumuşama sıcaklığı 70°C'dir. Sert ve esnek olmak üzere iki tür PVC malzemesi vardır. Plastikleştirici içermeyen polivinil klorür

(UPVC) darbe dayanımı oldukça yüksek olan sert plastik türüdür. UPVC genellikle boru ve boru parçaları üretiminde kullanılır. Geri dönüşümlerinden sonraki kullanımları ise deterjan şişeleridir. Plastikleştirici içeren polivinil klorür (PPVC) ise esnek olan plastik türüdür. PPVC genellikle sulama hortumları ve ayakkabı tabanlarının üretiminde kullanılır. Geri dönüştürülmüş haliyle ise endüstriyel yer kaplamalarındaki kullanılırlar. PVC genel anlamda yanmaya dayanıklıdır ve iyi bir yalıtım özelliğine sahiptir (Eker, 2009a).

2.1.4. Polipropilen (PP)

Yoğunluğu 0,90-0,92 gr/cm³ arasında değişir. Kullanılabilir sıcaklığı 135°C'dir. Yarı saydam ve suda yüzebilen orta sertlikte parlaklığa sahip plastiklerdir. En güvenli plastik türü olarak kabul edilirler. Gıdalarda kullanımı tehlike arz etmez (Eker, 2009a). Polietilen gibi ucuzdur. PET ile kıyaslandığında ise daha hafif, sert ve dayanımları yüksektir (Üçüncü, 2000). Mikrodalga fırınlarda kullanımları sakıncalı değildir. İlk kullanımları dondurma kapları ve ambalaj amaçlı kutulardır. Geri dönüştürülmüş haliyle çöp ve kompost bidonları ve trafik işaretlerinde kullanılırlar (Eker, 2009a).

2.1.5. Polistiren (PS)

Yoğunluğu 1,03-1,06 gr/cm³ arasında değişmektedir. Kolay şekillenebilir ve şekil kararlılığı yüksek olan PS'lerin kullanılabilir sıcaklığı 70°C'dir. PS'ler genellikle yoğurt kapları ve plastik kapların üretiminde kullanılır. Isı iletimi düşük olması sebebiyle köpük olarak da kullanımları yaygındır. Geri dönüştürüldüklerinde ise elbise askıları ve CD kapları şeklinde kullanılmaktadır.

2.2. Plastiklerin Geri Dönüşümü

Plastikler, geri dönüştürülebilen ambalaj atıkları olmaları sebebiyle hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli bir yere sahiptir. Geri dönüştürülmüş plastiklere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Plastikler, otomotiv, tarım ve altyapı gibi birçok sektörde metallerin yerini almaya başlamıştır. Birçok ülkede plastiklerin geri dönüştürüldüklerinde özellikleri değişmediğinden ham plastik yerine kullanımları tercih edilmektedir. Geri dönüştürülmüş plastiklerin kullanımlarının daha da artması için de çevre vergileri düşürülerek teşvikler yapılmaktadır (http-4). Plastik geri dönüşümü için uygulanması gereken adımlar; toplama, ayırma ve değerlendirme süreçleridir.

2.2.1. Toplama

Toplama; tüketicinin pasif, toplayıcının aktif olduğu kapıdan toplama, tüketicinin aktif, toplayıcının pasif olduğu atık plastik kumbaralarında toplama ve alışveriş merkezi, market gibi merkezlerde kullanılan konteynerlerde toplama olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilir. Toplanan atık plastikler toplama ayırma tesislerine gönderilir (http-2).

2.2.2. Ayırma

Toplama ayırma tesisine gelen plastik ambalaj atıkları, ilk olarak bir kaba eleme işleminden geçirilirler. Bu kısımda plastikler türlerine göre ayrılırlar. Daha sonra, küçük hacimlere indirilip yıkanılır. Son olarak, kurutularak stoklanırlar. Kırılan parçacıklar yoğunluklarına (PE, PET, PS...) göre ayrıldıktan sonra, kimyasallarla ikinci bir yıkama gerçekleştirilir. Kurutulan parçacıklar ekstrüdere gönderilirler (http-2).

2.2.3. Değerlendirme

Ekstrüder, plastikleri eriterek granül hale getirmek için kullanılmaktadır. Ekstrüder yardımıyla granül hale getirilen plastikler, birincil hammadde olarak piyasada kullanılabilmektedir (http-2).

2.3. Plastikleri Şekillendirme Yöntemleri

Plastikler, kullanım amaçlarına göre farklı şekillerde biçimlendirilirler. Sık kullanılan biçimlendirme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Basınç kalıplama

Bu yöntem, kalıplar arasına konulan toz veya granül halindeki plastikleri türlerine göre değişen farklı değerlerde ısı ve basınç altında bırakarak şekil vermeye dayanır. Malzeme kaybının yok denilecek kadar az olması bu yöntemde avantaj sayılırken, bekleme süresinin uzunluğu ve kalıp türlerinin kısıtlı olmasından dolayı endüstriyel anlamda kullanımı sınırlı kalmaktadır (Eker, 2009b).

Basınç kalıplama yönteminde erkek ve dişi kalıp arasına yerleştirilen polimerler elektrik veya buhar verilerek ısıtılıp şekle sokulurlar. Genellikle elektrik ile ısı iletimi tercih edilir. Çalışma sıcaklığı 120 - 260 °C ve polimerizasyon süresi 3 ila 20 dk. arasında değişmektedir (http-5).

2.3.2. Döner kalıplama

Bu yöntemde, kalıplar arasına yerleştirilen toz veya granül halindeki plastiklerin döner bir sistem içerisinde ısıya maruz bırakılıp erimesi sağlanır ve daha sonra eriyik soğutma ünitesine getirilerek istenilen şekil elde edilmiş olur. İstenilen şekli vermesi avantaj sayılırken, bekleme süresinin uzunluğu ve ürünlerde vida yeri, boşluk gibi detayların ek işçilik maliyeti gerektirmesinden dolayı endüstriyel anlamda kullanımı sınırlı kalmaktadır (Eker, 2009b).

Döner kalıplamanın uygulama alanlarına bidon, depolama tankları, tıbbi malzemeler ve otomobillerde yakıt tankları örnek verilebilir (Nugent, 2017).

2.3.3. Enjeksiyon kalıplama

Bu yöntem vidalı bir sistemde ısı ve basınçla birlikte eritilen plastiğin kalıba verilerek şekillendirilmesi yöntemidir. Makineye enjeksiyon edilen termoplastikler soğuduktan sonra bir süre daha şeklini almak için kalıpta bekletilir. Donan parça kalıptan çıkarılır (Topçu, 2010). Karmaşık parçaların üretiminde avantaj sağlayan bu yöntemin dezavantajlarını, yüksek cihaz ve kalıp maliyetleri oluşturmaktadır (Eker, 2009b).

Son yıllarda kullanım alanı artan bir yöntem olan gaz yardımcı enjeksiyon kalıplama; kapı kolu, mobilya, otomobillerin tampon ve panellerinin üretiminde yer almaktadır (Kamışlı, 2001).

2.3.4. Ekstrüzyon yöntemi

Bu yöntem vidalı bir sistemde ısı ve basınçla birlikte eritilen plastiğin çubuk (pelet), levha veya film halinde şekillendirilmesi yöntemidir. En çok kullanılan ekstrüder tipleri tek vidalı ve çift vidalı ekstrüderdir (Eker, 2009b).

Tek Vidalı Ekstrüder: Tek vidalı ekstrüder, kovanında bir mil bulunan bir ekstrüzyon presidir (Riaz ve Rokey, 2012). Tek vidalı ekstrüder plastik türüne göre farklı sıcaklık ve basınç profiline göre ayarlanabilen bir sistemdir. Plastikler besleme ünitesine toz veya granül halinde verilebilir. Besleme ünitesine verilen plastiklerin ısı ve basınç ile birlikte sistemden çıkışları pelet veya film şeklindedir. (Eker, 2009b).

Çift Vidalı Ekstrüder: Çift vidalı ekstrüderler, aynı ekstrüzyonda farklı formülasyon içeriklerinin bir araya getirilebileceği ve oluşturulabileceği levha ve film

ekstrüzyonunda uygulanmaktadır. Çift vidalı ekstrüderin birlikte dönen ve ters yönde dönen türleri mevcuttur (John vd., 2014). Çift vidalı ekstrüder tek vidalı ekstrüder ile benzer şekilde plastik türüne göre farklı sıcaklık ve basınç profiline göre ayarlanabilen bir sistemdir. Plastikler besleme ünitesine toz veya granül halinde verilebilir. Besleme ünitesine verilen plastiklerin ısı ve basınç ile birlikte sistemden çıkışları pelet veya film şeklindedir (Eker, 2009b). Çift vidalı ekstrüder plastik, ilaç, kozmetik gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Plastik türlerinden PVC, PE, PP, PS, LDPE, HDPE ve poliester plastiklerinin eritilmesi için uygundur. Boru, hortum, ısı yalıtım malzemeleri ve spor minderleri üretilebilmektedir (Eker, 2009b).



3. ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Ülkemizde binalar enerjinin %35'ini tüketmekte ve tüketilen enerjinin %65'i ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi gereksinimlere harcanmaktadır. Bu tarz gereksinimlerin tüketimlerini minimize etmek için enerji tasarrufuna yönelik önlemler alınmalıdır. Binalarda enerji tasarrufu, ısı yalıtımı sağlayan malzemelerin kullanımı ile mümkündür (Bayraktar ve Bayraktar, 2018).

Isı yalıtımı, iki farklı ortam arasındaki ısı transferinde önemli bir rol oynamaktadır. Başka bir deyişle, ısı yalıtım malzemeleri yaz aylarında daha serin, kış aylarında ise daha sıcak ortam oluşumuna katkı sağlayan malzemelerdir. Isı yalıtımı binaların dış yüzeyine, tesisat sistemlerine, çatı ve yer döşemelerine uygulanmakta (Kulaksızoğlu, 2006) ve düzgün bir şekilde yapılması halinde iletkenlik, konveksiyon ve radyasyon ile ısı akış oranını geciktiren bir malzeme veya malzeme kombinasyonunu gerektirmektedir (Al-Homoud, 2005). Yalıtım malzemelerinin hammadde türüne göre sınıflandırılması Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Isı yalıtım malzemelerinin hammadde türüne göre sınıflandırılması (Alkaya, 2012)

Isı Yalıtım Malzemeleri			
Bitkisel ve hayvansal kökenli malzemeler	Mineral kökenli malzemeler	Sentetik malzemeler	Yüksek performanslı malzemeler
• Mantar • Ahşap • Talas ve lif • Hayvansal dokumalık lifler • Bitkisel dokumalık lifler • Saman • Yosunlar vb.	• Camyünü • Taş yünü • Seramik yünü • Cam köpüğü • Fosil silisler vb.	• Polietilen • PVC köpükleri • Genleştirilmiş polistiren köpük (EPS) • Ekstrüde polistiren köpük (XPS) • Poliüretan köpükleri (PUR) • Fenolformaldehit köpükler vb.	• Saydam yapıli yalıtkanlar • Vakumlanmış yalıtım panelleri • Kompozit yalıtkanlar • Aerojel

Isı yalıtım malzemesi uygulanırken binada ısı kayıplarının çok olduğu yerlere uygulama yapılmaya özen gösterilmelidir. Isı kayıplarının fazla olduğu yere uygulanan yalıtım malzemelerinin kullanılması gereken bina bölümleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. *Isı yalıtımı uygulama alanları (http-6)*

Dış duvarlar (Pürüzlü-oluklu)	Döşemeler (Pürüzsüz)	Çatılar (Pürüzsüz)
• Dış yüzeyden (Mantolama) • İç yüzeyden • Sandviç (pürüzsüz) • Çıkmalar	• Zemine oturan döşemeler • Döşemeden ısıtılmalı döşemeler • Isıtılmayan ortama bitişik döşemeler	• Düz teras çatılar • Eğimli çatılar - Mertek üzerinden - Mertek arasından - Mertek altından

Isı yalıtım malzemeleri düşük ısı iletkenlik ve ses absorbe edebilme yetenekleri nedeniyle inşaat ve otomotiv uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Piyasada kullanılan ısı yalıtım ürünleri genellikle rijit yapıya sahip poliüretan, polistiren ve polietilen malzemelerden üretilmektedir (Lee ve Park, 2014).

Isı iletim katsayısı, ısı yalıtım malzemelerini birbirinden ayırmada kullanılan önemli bir parametredir (Hu vd., 2018). Isıl iletkenlik λ ile gösterilmekte olup birimi $W/m \cdot K$ 'dir. Isı iletim katsayısı ISO ve CEN Standartlarına göre belirlenir ve bir malzemenin ısı iletkenlik katsayısı 0,065 $W/m \cdot K$ değerinden küçük ise malzeme ısı yalıtım malzemesi, daha büyük ise yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Karaağaç vd. 2016; Temiz ve Olgar 2017; TS 825).

Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri ve uygulama alanları ülkemizde ilk olarak 1970 yılında henüz yaptırım dâhilinde olmayan bir standart olan TS 825 “*Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*” ile belirlenmiştir. Aynı standart 1999 yılında tekrar düzenlenmiş ve 2000 yılından sonra yapılmış olan ruhsatlı bina, konut, büro, tiyatro ve hastane gibi alanlarda zorunlu hale gelmiştir (Sezer, 2005). Şu an halen yürürlükte olan bu standart son olarak 2013 tarihinde revize edilmiştir.

Isı yalıtım malzemeleri enerji tasarrufu sağlayarak yakıt kullanımını azaltmaları ve doğal kaynak kullanımı açısından tasarruf sağlamaları nedeniyle, inşaat sektöründe önemli bir yere sahip oldukları gibi, sağladıkları çevresel faydaların da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu malzemelerin kullanılmasıyla yakıt tüketimi azalırken, yakıtların yanması sonucu havaya verilen CO_2 ve SO_2 gibi kirlletici bileşenlerin salımı da azalmaktadır. Bunun yanı sıra ısı yalıtım malzemeleri bina yaşı için de önemlidir. Çünkü ısı yalıtım malzemeleri binadaki yeterli ısı geçişini sağlayarak binanın terlemesini ve nemle birlikte gelen korozyonu da geciktirmektedir (Al-Homoud, 2005).

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde ısı performans, maliyet, kullanım kolaylığı, dayanıklılık ve akustik performans gibi faktörler rol oynar (Al-Homoud, 2005). Bu

faktörler açısından bir ısı yalıtım malzemesinin sahip olması gereken özellikler şu şekilde özetlenebilir:

- Isıl iletkenliğin düşük olması gerekir ($< 0,065 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).
- Gözenekli (köpüksü) malzemeler daha düşük ısı iletkenlik değerine sahiptirler.
- Mekanik hasara karşı dirençsiz olmaları durumunda koruyucu tabaka ile kullanılabilirler.
- Yanmaya karşı dirençli olması gerekir. Yangın sınıfı 25.04.2013 tarihinde yayınlanan “Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma (TS EN 13501-1 + A1)” standardına göre belirlenmektedir.
- Uzun ömürlü ve ekonomik olmalıdır (http-7).

Isı yalıtım malzemesi üretiminde en çok mineral yün (cam yünü ve taş yünü), genişletilmiş polistiren (Expanded Polystyrene, EPS), ekstrüde polistiren (Extruded Polystyrene, XPS) ve poliüretan köpük (Polyurethane Foam, PUR) gibi malzemeler kullanılır. Mineral yün, EPS ve XPS gibi geleneksel ısı yalıtım malzemeleri, tipik olarak $0,033$ ile $0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ arasında ısı iletkenliğe sahiptir. Isıl iletkenlik değeri $0,020$ ile $0,030 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ arasında değişen PUR da bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmakta ancak, kullanım amacına göre güvenli olsa bile PUR, yangın durumunda ciddi sağlık kaygıları ve tehlikelerin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir (Jelle vd., 2010). Sık kullanılan ısı yalıtım malzemesi çeşitleri Görsel 3.1’de verilmiştir.



Görsel 3.1. Isı yalıtım malzemesi çeşitleri (http-8)

19.12.2007 tarihli ve 26735 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”te “dış cephelerin, yüksek binalarda

yanmaz malzemeden ve diğer binalarda ise, en az zor alevlenici malzemeden olması gerekir” ibaresi yer almaktadır. Binalarda ısı yalıtımı için genellikle, alev dayanımları çok düşük (70°C ve 80°C) olmasına rağmen, XPS ve EPS gibi malzemeler tercih edilmektedir. Bu malzemeler aleve maruz kaldıklarında çabuk tutuşup zehirli ve boğucu gazlar açığa çıkarmaktadırlar (Uygunoğlu, 2015). Bu tarz tehlikeli durumların en aza indirgenmesi, hem insan sağlığı, hem de bina sağlığı açısından göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Yanma sürecinden kaçınmanın yollarından birisi yanmayan malzemeler kullanmak, diğeri ise yanmayı geciktirmektir. Yanmayı geciktirmeyi sağlayan katkı maddelerinden faydalanılarak gerçekleştirilen iyileştirme sürecine ise “alev geciktirme” adı verilir. Polimer esaslı köpükler diğer yalıtım malzemelerine göre, daha düşük iletkenlik ve daha düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle bina tasarımında daha fazla tercih edilen malzemelerdir (Hidalgo vd., 2015). Polimer köpüklerin iletkenlikleri ve yoğunlukları avantaj sayılırken, yangın ve patlama gibi durumlarda kolay tutuşmaları dezavantaj oluşturmaktadır.

Alev geciktiriciler; tel-kablo kaplama, inşaat, otomotiv, mobilya ve tekstil sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Innes ve Innes, 2011). Alev geciktiriciler; halojenli, mineral katkılı, bor katkılı, fosfor katkılı, silikon katkılı, azot katkılı, kabaran ve nanopartikül malzemeler olmak üzere sekiz çeşittir. Alev geciktiricilerle ilgili detaylı bilgi alt bölümlerde verilmiştir.

3.1. Halojenli Alev Geciktiriciler

Halojen içeren alev geciktiriciler, plastik endüstrisinde en fazla kullanılan katkı maddelerinden olup genellikle fosfor bileşikleri veya metal oksitler (özellikle antimon oksit) ile birlikte kullanılmaktadır. Geciktirici halojen bileşiklerinin kararlılıkları; F (Flor) > Cl (Klor) > Br (Brom) > I (İyot) olarak sıralanır (Zhang, 2003).

Bromlu ve klorlu bileşikler, alev geciktirici olarak en yaygın kullanılan halojen bileşikleridir. Brom bileşikleri pahalı olmalarına rağmen, etkili olmaları sebebiyle klorlu bileşiklerden daha çok tercih edilirler (Zhang, 2003). Tetrabromobisfenol A (TBBPA) en yaygın kullanılan halojenli alev geciktirici olup, özellikle baskılı devre kartlarında bulunan epoksi reçinelerde reaktif alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Laoutid vd., 2009).

3.2. Mineral Katkılı Alev Geciktiriciler

Yaygın olarak kullanılan mineral katkı alev geciktiriciler, metal hidroksitler (özellikle alüminyum ve magnezyum) ve hidroksikarbonatlardır (Laoutid vd., 2009).

Metal hidroksitler: En yaygın olarak kullanılan iki mineral alev geciktirici, alüminyum tri-hidroksit (ATH) ve magnezyum di-hidroksittir (MDH) (Laoutid vd., 2009). Düşük maliyetleri, kolay elde edilmeleri ve çevre dostu olmaları sebebiyle oldukça fazla tercih edilirler (Rakotomalala vd., 2010). ATH ve çinko boratlar gibi inorganik bileşikler, kaplama uygulamaları için alev geciktirici dolgu maddeleri olarak da bilinir (Liang vd., 2013). Yüksek sıcaklıklarda dahi kararlı yapı sergilemeleri, çar oluşumuna katkıda bulunmaları ve duman baskılayıcı özelliklerinden dolayı mühendislik plastiklerinde genellikle çinko borat kullanımı tercih edilir (Aydın vd., 2016).

Sıklıkla kullanılan bir diğer metal hidroksit antimon oksittir. Antimon oksitin yanma sırasında buhar fazına geçerek duman oluşumunu artırması ve zehirli özellikler taşıması sebebiyle, son yıllarda diğer metal hidroksitler daha çok tercih edilmektedir. Diğer yandan, alev geciktirici etkisini arttırmak için genellikle antimon trioksit çinko borat ile birlikte kullanılır (Aydın vd., 2016).

Hidroksikarbonatlar: En sık kullanılan hidroksikarbonatlar magnezyum ve kalsiyum karbonatlardır. Hidroksikarbonatlar diğer alev geciktiricilerden daha az kullanılsa da bunlar metal hidroksitlere bir alternatiftir (Laoutid vd., 2009).

3.3. Bor Katkılı Alev Geciktiriciler

Boratlar, alev geciktirici özelliklere sahip inorganik katkı maddeleridir. Boratlar; 290-450°C arasındaki endotermik ayrışma sonucu (503 kJ/kg) su, borik asit ve bor oksit (B_2O_3) açığa çıkarır ve yanma sırasında camsı bir faz oluşturarak alevin yayılmasını geciktirir (Laoutid vd., 2009). Duman bastırma özelliği ve diğer alev geciktiricilere göre daha ucuz olması, boratların tercih edilebilirliğini arttırmıştır (Aydın vd., 2016).

Boraks, alev yayılımını azaltma eğilimindedir, ancak yanma veya parlamayı teşvik edebilir. Öte yandan borik asit, içten yanmayı bastırır, ancak alev yayılımı üzerinde çok az etkisi vardır. Bu nedenle, bu bileşikler genellikle birlikte kullanılırlar (Wang, 2004; Baysal, 2007)

Borik asit ve boraks birlikte kullanıldığında, yanma sırasında hidrasyon suyunun buharlaşması ile birlikte polimerler şişer ve yüzey üzerinde polimerin kütlesini ısı kaynağından yalıtın bir kabarmış kaplama oluşur (Zhang, 2003).

3.3. Fosfor Katkılı Alev Geciktiriciler

Fosfor esaslı alev geciktiricilerin diğeri alev geciktiricilere kıyasla, yanma sırasında daha az zehirli gaz ve duman oluşturduğu bilinmektedir (Liang vd., 2013). Fosfor bazlı alev geciktiriciler özellikle oksijen içeren polimerlerde (poliesterler, poliamidler, selüloz, vb.) kullanıldıklarında etkilidir (Laoutid, vd., 2009). En fazla kullanılan fosfor esaslı alev geciktiriciler kırmızı fosfor, inorganik ve organik fosfatlardır.

Kırmızı fosfor: Kırmızı fosfor, alev geciktirme için en konsantre fosfor kaynağıdır. Düşük miktarlarda (%10'dan az) kullanılmasına rağmen polyesterler, poliamidler ve poliüretan gibi polimerlerde kırmızı fosfor çok etkilidir (Laoutid vd., 2009). Toksik değildir ve 450°C'ye kadar termal olarak stabildir. Beyaz fosforun aksine, kırmızı fosfor kendiliğinden tutuşmaz (Rakotomalala vd., 2010).

İnorganik ve organik fosfatlar: İnorganik fosfatlara, alev maruz kaldığında bariyer görevi gören gözenekli karbonlu bir köpük oluşturarak şişen amonyum polifosfat (APP) örnek verilebilir (Lim, 2016). Suda çözünürlüğün istendiği veya zararlı olmadığı yerlerde, monoamonyum ve diamonyum fosfatlar veya ikisinin karışımları (suda daha çözünür ve neredeyse nötrdür), çok etkili ve ucuz alev geciktirici katkı maddeleri olmaları sebebiyle tercih edilir (Weil, 1978). Organofosfor bileşiklerinin ana grupları fosfat esterleri, fosfonatlar ve fosfinatlardır. Trifenil fosfat (TPP), izopropilfenil difenil fosfat veya trikresil fosfat gibi triaril fosfatların, yüksek uçuculukları ve nispeten düşük alev geciktirme verimleri nedeniyle plastik mühendisliğinde kullanımları çok sınırlıdır (Laoutid, vd., 2009).

3.4. Silikon Katkılı Alev Geciktiriciler

Silikon katkılı alev geciktiriciler yanma sırasında korozif etkiler açığa çıkarmadığı için çevre dostu olarak kabul edilirler (Liang vd., 2013). Silikon katkılı alev geciktiriciler; silikonlar, silisler, organosilanlar, silseskioksanlar ve silikatlardır. Silikon esaslı en yaygın alev geciktirici poliorimetilsiloksan (PDMS) olup, özellikle poliorganosiloksan formundadır (Zhang, 2003). Silika, yanma sırasında, altta bulunan

polimeri oksijenden koruyan ve aynı zamanda ısı transferini azaltan yüzey üzerinde inorganik bir bariyer oluşturur (Prabhakar, 2015).

3.5. Azot Katkılı Alev Geciktiriciler

Bazı üre ve guanidin türevleri bilinmesine rağmen, azot katkılı alev geciktiricilerin en çok kullanılan türleri amonyak ve melamindir. Amonyak bazlı alev geciktiriciler, hacimce en fazla azot katkılı alev geciktiricilerdir. Uçuculuğu nedeniyle amonyak sadece tuz olarak kullanılabilir. Her durumda amonyak katkılı alev geciktiriciler, amonyak salınımıyla birlikte, nikotin oluşumuna neden olan bir asit bırakarak endotermik ayrışmaya uğrarlar. Alev geciktirici içeren en önemli azot türevi, amonyum polifosfattır (APP). APP, hem doğrusal hem de dallanmış zincirleri içeren bir polifosforik asit ve amonyak inorganik tuzudur. APP, kabaran bir alev geciktiricidir ve termoplastik, termoset, köpük ve kaplamalarda kullanılır (Morgan, ve Wilkie, 2014).

Azot katkılı alev geciktiricilerin polimerlerde çok fazla etkisi görülmemekle birlikte, fosfor katkılı alev geciktiricilerle birleştiğinde sinerji oluşturmaktadırlar (Kahraman, 2014; Liang vd., 2013). Alev geciktirici olarak kullanılan en önemli organik azot bileşiği melamindir. Melamin veya türevleri, şişen verniklere veya boyalara eklenir (Horacek ve Grabner, 1996).

3.6. Kabaran Alev Geciktiriciler

İntümesan (kabarma) özelliği, termal bozunma sırasında polimerin yüzeyinde genişmiş bir karbonize tabakanın oluşumuna dayanır (Laoutid vd., 2009). Bir kabarma sisteminin formülasyonu üç bileşen gerektirir. Birincisi bir asit kaynağı, ikincisi üfleme ajanı ve üçüncüsü karbon kaynağıdır. Bilinen en iyi sinerji, azot ve fosfor bileşimi olan amonyum polifosfat ve melamin ile yakalanır (Kahraman, 2014).

Genleşebilen grafit (EG, expandable graphite), birbirine sıkıca bağlanmış karbon atomları tabakalarından oluşan katmanlı bir kristaldir ve aynı zamanda bir kabaran alev geciktiricidir. Karbon tabakaları arasına sülfürik asit gibi kimyasal maddeler eklenebilir. Isıya maruz kaldığında, EG genişler ve hacimsel bir yalıtkan tabaka oluşturur, böylece polimerik matrise, ateşe dayanıklı bir performans sağlar (Guo vd., 2013).

3.7. Nanopartiküller

Nanopartiküller, polimerik malzemelerin alev dayanımlarını arttırırlar (Kahraman, 2014). Nanopartiküller, polimer matrislerde düzgün bir şekilde dağıldığında; termal,

mekanik veya yangın direnci gibi özelliklerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Laoutid, vd., 2009). Nano kaplamaları için sıkça kullanılan bir yöntem olan Layer-by-Layer (Katman-katman) (LbL), kaplama, çok işlevli ince filmlerin üretilmesinde popüler bir yöntem haline gelmiştir. LbL yöntemi; tekstil ürünleri için basit, ucuz ve alev dayanıklılığı olan çevre dostu bir kaplama tekniğidir. Bu teknik, yüzeye pozitif ve negatif yüklü çoklu tabakalar oluşturan zıt yönde şarjlı polielektrolit solüsyonları veya süspansiyonları ile substratın bu süspansiyona daldırılması veya püskürtülmesiyle gerçekleştirilir (Liang vd., 2013). Kaplama teknolojisi, parçacıkların ve liflerin yüzeyini değiştirmek için ekonomik ve etkili bir yoldur. Genellikle toplam ağırlığın %5'i kaplamaya katkıda bulunur (Zhang ve Horrocks, 2003).

Alev geciktirici olarak kullanılan nanopartikül türleri aşağıda özetlenmiştir;

Nanokiller: Nanokilli alev geciktirici katkı maddeleri, ara tabakalar arasında polimerleri birleştirebilme özelliğine sahiptir. Alev geciktiriciler olarak kendi başlarına hareket etmezler, ancak diğer alev geciktiricilerle birlikte kullanıldıklarında etkili olabilirler (Prabhakar, 2015). Sodyum montmorillonit (NaMMT) ucuz olması sebebiyle sıklıkla kullanılır. Montmorillonit nanokompozitin alev geciktirme özelliği, montmorillonitin gazlaştırılması ve çökeltilmesine dayanır. Polimer gazlaştırıldığında veya yakıldığında, montmorillonit yüzeyde birikir, böylece polimere ve uçucu maddelere oksijen difüzyonu için bir bariyer sağlar (Zhang ve Horrocks, 2003).

Karbon nanotüp: Karbon nanotüpler (CNT, carbon nanotubes), polimer matrisinde bir ağ oluşturarak, mekanik, reolojik ve alev geciktirici özellikler gibi çeşitli fonksiyonel özelliklerin önemli ölçüde geliştirilmesine imkân sağlamaktadır. CNT alev geciktiriciler, karbon nanofiberlerden daha az tercih edilirler. CNT partikülleri, ancak yüksek konsantrasyonlarda kullanıldıklarında yanmazlık sağladıkları için diğer dolgu maddelerine kıyasla daha az tercih edilirler (Laoutid vd., 2009; Prabhakar, 2015).

4. KONUSYLA İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, atık LDPE ambalajlarından üretilen ısı yalıtım malzemesine köpüksü yapı (4.1) ve geç tutuşma özelliklerinin kazandırılması (4.2) ile ilgili literatür çalışmaları yer almaktadır.

4.1. Köpüksü Yapı Kazandırma İle İlgili Literatür Araştırması

Atık LDPE'lerin ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanım potansiyellerinin belirlenmesi noktasında, yardımcı olması açısından üretim sürecinin izlenmesi, ısı yalıtım malzemelerinin ihtiyacı olan köpüksü yapının kazandırılması, önceden kullanılan kimyasallar ve miktarları, cihazlar ve ölçüm parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla detaylı bir literatür çalışması yapılmıştır.

Ramesh vd., (2003), şişirme ajanı olarak propan ve izobütan kullanarak LDPE'lerin çift vidalı ekstrüderde genleşmeli viskozitelerini ölçmüşlerdir. Ekstrüderin orta bölümünden çeşitli düzeylerde üfleme ajanı eklenmiş, polimer ve şişirici ajan iyice karıştırılmış ve peletler halinde üretilmiştir. Propanın, bütandan daha yüksek köpürme verimliliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Propan, şişirici ajan ile karıştırılmış LDPE'nin, izobütan üfleme ajanı ile karıştırılmış LDPE'ye göre erime direncinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Propan ile köpürtülen LDPE daha geniş açılma viskozitesine sahiptir. Sonuç olarak, %100 propan kullanmanın avantajları, %100 izobütanı kullanma ile karşılaştırıldığında, daha yüksek sıkışma mukavemeti ve düşük yoğunluklu bir köpük üretebilme özelliğinin olduğu tespit edilmiştir.

Spitael ve Macosko (2004) tarafından, üç farklı polipropilen polimeri (PP1, PP2, PP3) ve bunların karışımlarının genişleme viskozitesi ölçülmüş ve bu karışımların karbon dioksit üfleme ajanını kullanarak köpükleştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada, hem dallanmış yapıdaki polimerler, hem de doğrusal polimerler kullanılmıştır. Köpürme, çift vidalı ekstrüder ile gerçekleştirilmiştir. Debi kontrolü ve ekstrüzyon presine basınç oluşturmak için bir polimer eriyik dişli pompa (melt gear pump) (Zenith PEP-II) kullanılmıştır. Polipropilen polimerler, ağırlıkça %4,2 ve %5,2 karbondioksit şişirme maddesi ile köpürtülmüştür. Çekirdeklenmeye yardımcı olmak için ağırlıkça %0,5 Talk (Specialty Minerals Microtuff AG609, medyan partikül boyutu 0,8 m) ilave edilmiştir. Sonuç olarak, doğrusal ve dallanmış polimerlerin karışımları hücre

konsantrasyonunun her ikisinde de yani hem ağırlıkça %25 dallanmış PP'de, hem de doğrusal PP'de pik oluşturmıştır.

Yetgin ve Ünal (2008), polimer köpükleri, köpüklerin sınıflandırılmasını ve köpük üretim yöntemlerini incelemişlerdir. Literatürde yaptıkları araştırmalara göre, en çok kullanılan polimer tiplerinin PU, PS, PVC ve PP köpük malzeme olduğunu gözlemlemişlerdir. Azodikarbonamitin, en fazla tercih edilen ekzotermik kimyasal köpük yapıcı, CO₂'in ise ozona zarar vermemesi nedeniyle fiziksel köpük yapıcılar içerisinde en fazla tercih edilen köpük yapıcı olduğunu belirtmişlerdir.

Sui vd., (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, çift vidalı ekstrüder kullanılarak PP/SHSD (ayçiçeği kabuğu zımpara tozu) karışımlarının mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Çalışmada 0,91 kg/m³ yoğunluğa sahip PP, SHSD ve montmorillonit ile dimetil, modifiye edilmiş bir organo-kil, Cloizite 15A, mum yağı kuaterner amonyum iyonu ile dehidrojene edilmiştir. SHSD ve Cloizite 15A, kullanılmadan önce nemi uzaklaştırmak için vakumlu bir fırında 100°C'de 24 saat kurutulmuştur. Tüm numunelerin SHSD ve kil miktarı ağırlıkça %5 olarak belirlenmiştir. Hem SHSD / PP hem de kil / PP kompozitleri, birlikte dönen bir çift vidalı ekstrüzyon presinde eritilerek birleştirilmiştir. Vida döndürme hızı 75 rpm'e, kovan sıcaklık profili ise; 182, 188, 193, 199, 204, 210, 210 ve 210 °C'ye ayarlanmıştır. Ekstrüzyonla üretilen PP ve kompozitler pelet haline getirilmiş ve daha sonra 3 mm kalınlıktaki test numunelerini elde etmek için 200 °C'de sıkıştırılmıştır. SHSD örneklerinin FT-IR analizleri ve morfolojileri SEM analizi ile gerçekleştirilmiştir. Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) analizi bir azot atmosferi altında Q1000 DSC kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak PP'ye oranla, SHSD/PP kompozitleri yüksek ısı derecelerinde daha iyi ısı yalıtımı ve termal kararlılık sergilemiştir.

Jiang vd., (2009) farklı oranlardaki PP/LDPE karışımlarının köpüklenme morfolojisine etkisini incelemişlerdir. Deneyde ham LDPE ve PP kullanılmıştır. Karışımları eritme işlemi 0,6 MPa azot atmosferi altında vidalı bir sistemde 190°C'de 50 rpm ve 10 dakikada gerçekleştirilmiştir. PP/LDPE karışımlarının ağırlıkça oranları 10/90, 25/75, 50/50, 75/25 ve 90/10 olarak belirlenmiştir. Köpükleştirme işlemi kapalı yüksek basınçlı kap içerisine CO₂ verilerek gerçekleştirilmiştir. Karışımların morfolojisi SEM analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar 50/50 PP/LDPE karışımının hücre boyutunun optimum olduğunu göstermiştir.

Abbasi vd., (2011) yaptıkları çalışmada, nano-kalsiyum karbonat (nano-CaCO₃) kullanarak LDPE' nin mikroselüler köpüklenmesini gerçekleştirmişlerdir. Numuneler, nano kalsiyum karbonat dağılımı ve polimer matrisi ile uyumluluğu artırmak için yaklaşık 28 g/kg stearik asit ile kaplanmıştır. LDPE'ye bir bağlama maddesi olarak kullanılan maleik anhidrid (PE-g-Man) aşılansmıştır. Ayrıca sırasıyla antioksidan, üfleme ajanı, aktivatör ve çapraz bağlayıcı ajan olarak Di Cumyle Proxide (DCP), azodikarbonamid (ADCA) ve çinko oksit (ZnO) kullanılmıştır. Nanokompozit numuneler, çift vidalı ekstrüder (250 rpm) kullanılarak 0,5-7 phr (parts per hundred rubber) nano-CaCO₃ aralığı içinde farklı içerikte hazırlanmıştır. Mikro hücreli köpürme işlemi için, sıcak bir hidrolik basınçlı kap ile bir basınçlı kalıplama kullanılmıştır. Bu kabın maksimum sıcaklığı 250°C ve basıncı 150 bardır. LDPE / nano-CaCO₃ nanokompozitlerin karakterizasyonu için X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) kullanılmıştır. Sonuç olarak, Nano-CaCO₃ ile biraraya getirilen LDPE, saf LDPE'ye oranla çok gelişmiş köpüklenebilirlik özelliği sergilemiş ve çok ince ve tek biçimli bir hücre yapısına sahip mikroselüler köpük üretilmiştir. 5 phr nano-CaCO₃ içeren numunelerin, diğer örnekler karşısında en düşük hücre ortalama çapı 27 µm ve en büyük hücre yoğunluğu 8x10⁸ hücre/cm³ olan mikroselüler köpük oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Zhang vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, PP/Wood Fiber (Odun Lifi) kompozitlerinin fizikokimyasal ve köpürme özelliklerine vida konfigürasyonu, vida hızı ve silika içeriğinin etkisi araştırılmıştır. PP/WF kompozitler çift vidalı ekstrüzyon ile üretilmiştir. Maleik anhidrid aşılansmış stiren-etilen-bütlen-stiren (SEBS-g-MA), maleik anhidrid aşılansmış polipropilen (PP-g-MA), kereste lifleri, füme silika (aerosol 150) ve %99,95 saflıkta ticari açıdan çevre dostu bir fiziksel üfleme ajanı olan CO₂ kullanılmıştır. Farklı vida hızında elde edilen PP/WF bileşimlerinden 150 rpm vida hızında hazırlanan PP/WF bileşiminin daha yüksek mekanik özelliklere ve daha dar hücre boyut dağılımına sahip olduğu görülmüştür. Silika ilavesi, köpük yoğunluğunu azaltarak heterojen çekirdeklenme bölgesi yaratmış ve mekanik özelliklere olumlu yönde etki etmiştir.

Saiz-Arroyo vd., (2012), silis nanokompozitlerinin LDPE ile kullanıldığında köpükleşme etkisini incelemişlerdir. LDPE/silika nanokompozitleri eriyik karıştırma tekniği kullanılarak hazırlanmış ve daha sonra iki farklı teknolojinin uygulanmasıyla

köpürtülmüştür. Bir taraftan fiziksel bir üfleme ajanı (CO_2) ile basınç söndürme yöntemi diğer yandan da kimyasal bir üfleme ajanı olan Azodikarbonamid (ADC) ile gelişmiş sıkıştırma kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlara göre eriyik karıştırma yönteminde, silikon parçacıklarının polimerik matris boyunca yeterli düzeyde dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Daha yüksek çekirdeklenme etkisine ulaşmak için optimum silika içeriğinin, CO_2 ile üflenmiş numuneler için ağırlıkça %1, ADC için ise ağırlıkça %6 olduğu tespit edilmiştir.

Sikora vd., (2013), çift vidalı ekstruder kullanarak ekspansel köpükleştirme ajanlarını incelemişlerdir. Deneyde kullanılan polimer Moplen EP440G, darbeli çekirdekli bir kopolimerdir. Polimer, bir köpükleştirici ajan olan Expancel 950 MB 80* ve Expancel 950 MB 120* ile karıştırılmıştır. Ekspancel gaz içeren polimer, kapsüllerden oluşan küçük küresel termoplastik peletler biçimindedir. Isıtmaya maruz bırakıldığında, kapsül içindeki gaz basıncı artar ve kapsül yumuşatılır, bu da kapsül hacmini 40 kat artırır. Ektrüzyona başlamadan önce köpürme ajanı Expancel ile polipropilen karışımı hazırlanmıştır. Sonuç olarak, köpük ajan miktarındaki artış ile polimer kütle akış hızı azalmış, ekstrüdat köpürmesi artmış ve yoğunluğu azalmıştır.

Szegda vd., (2014) poli (3-hidroksibütirat-ko-3-hidroksivalerat) ile kimyasal şişirici ajan olan sodyum bikarbonat, sitrik asit ve çekirdeklenme ajanı olan kalsiyum karbonatın ekstrüzyon ile köpürtülmesi üzerine çalışmışlardır. LDPE'ye ağırlıkça %40 oranında şişirme ajanı olarak sodyum bikarbonat ve sitrik asit karışımı ilave edilmiştir. Peletler masterbatch ile karıştırıldıktan sonra çift vidalı ekstrüderde ($L/D=30$) 20/50 rpm arasında değişen biri 150 mm tabaka, diğeri 5/7 mm çaplı dairesel kalıplarla şekillendirilmiştir. İlk olarak ağırlıkça %5, 12 ve 20 kalsiyum karbonatla ekstrude edilen Polihidroksibütirat-ko-hidroksivalerat (PHBV) daha sonra ekstrüzyon köpükleştirmesinden önce şişirme ajanıyla masterbatch yapılmıştır. Numunelerin morfolojilerine SEM ile bakılmıştır. Seçilen şişirme ajanının, köpüklerin daha fazla genişlemesine katkı sağladığı ve ekstrüzyondaki düşük vida hızının üfleme maddesinin ayrışması için gerekli bekleme süresini verdiği görülmüştür. Kalsiyum karbonat ilavesi köpüklerin toplam yoğunluğunu arttırırken, daha ince hücre yapısına ve malzeme maliyetlerinin düşmesine neden olmuştur.

Kızıltepe (2014) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, kalsit (CaCO_3) dolgulu polipropilen (PP) ve polietilen (PE) matrisli kompozitlerin çift vidalı ekstrüder

kullanılarak mikroyapısal, termik ve mekanik davranışları incelenmiştir. Ağırlıkça farklı yüzdelerde (% 0-30) kompozitler kullanılmıştır. Ekstrüde kompozit karışımlar; çekme, eğilme ve çarpma testi numuneleri elde etmek için enjeksiyon kalıplama kullanılmıştır. Kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve ham PP ile PE karşılaştırılmıştır. CaCO_3 parçacıklarının mikroyapısal özellikleri XRD ve SEM teknikleriyle incelenmiştir. Polipropilen ve polietilenin termal davranışları diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) ile analiz edilmiştir. Termal karakterizasyon sonuçları, PP'nin erime noktasının PE'ninkinden yüksek olduğunu, ancak PE'nin kristalleşme sıcaklığının PP'ye göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ham PP'nin başlangıç bozunma sıcaklığı ham PE'den daha düşük değerdedir. Ham PP'nin darbe dayanım değerleri CaCO_3 /PP kompozit numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Eğilme testi sonuçları ise, CaCO_3 içeriğinin artmasıyla birlikte eğilme katsayısının ve mukavemet değerlerinin arttığını göstermiştir.

Wan vd., (2015) yaptıkları çalışmada, HDPE ve PP'nin LDPE ile karıştırıldığında ekstrüzyon köpükleşmesine faz uyumluluğunun etkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmada LDPE, HDPE, PP1, PP2, PP3 reçineleri kullanılmıştır. Çekirdeklenme için, DFNA-0078NT LDPE bazlı çekirdeklenme masterbatch kullanılmıştır. Uyumlaştırıcılar etilen-propilen-dien monomer'dir. Köpükleştirme için %99 saflıkta CO_2 kullanılmıştır. LDPE/HDPE karışımlarının ağırlıkça oranları 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 ve LDPE/PP karışımlarının ağırlıkça oranları ise 90/10, 70/30, 50/50'dir. %1,5 çekirdekleştirme ajanı ile karıştırılan ham HDPE ve LDPE numuneler, ilk önce yüksek hızlı bir karıştırıcıda kuru olarak harmanlanmış, daha sonra çift vidalı bir ekstrüzyon prosesine tabi tutulmuştur. Ekstrüzyon köpürme işlemi için ise, 50 mm çapında ve 45 g/lt CO_2 gaz enjeksiyon sistemi ile donatılmış tek vidalı bir ekstruder kullanılmıştır. Sonuç olarak, LDPE/HDPE karışımlarının uyumluluğu incelendiğinde, benzer köpürme koşulları altında, LDPE/HDPE karışımlarının tümü uyumlu, homojen bir hücre morfolojisine ve aynı genişleme oranına ulaşmıştır. LDPE/PP karışımlarının potansiyel gaz kaybından dolayı, yeterli köpürmeyi sürdüremediği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, köpüklenme davranışının belirlenmesinde viskoelastik özelliklerin baskın bir rol oynamadığını, bunun tersine CO_2 difüzyonunun özellikle birlikte-sürekli bir faz yapısında köpürme performansını etkileyen en önemli faktör olduğunu göstermiştir.

Karlsson vd., (2017), yalıtım malzemeleri için önemli bir parametre olan elektrik iletkenlik değerini LDPE polimeri ile incelemişlerdir. Numuneler, Royal Institute of Technology (KTH) ve Chalmers Teknik Üniversitesi (CTH)'nde hazırlanmıştır. KTH'de numuneler ekstrüderden geçirilip, basınç altında sıkıştırılarak kalıp haline getirilmişlerdir. CTH'de ise, ya direkt sıkıştırılmış ya da direkt ekstrüde edilmiştir. KTH ve CTH numunelerinin kalınlıkları sırasıyla 0,3 ve 0,1 mm'dir. 22 °C'de ve 3,3 kV/mm'de doğru akım (DC) iletkenliği; ekstrüzyon ve sıkıştırma ile elde edilen plaklar için 4×10^{-18} S/m düzeyindeyken, doğrudan sıkıştırma ile elde edilen plaklar için 1×10^{-16} S/m olarak bulunmuştur.

Saci vd., (2016) tersinir çapraz bağlanmış düşük yoğunluklu polietilenlerin yapı ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, Perkadox 14-40-B-g olarak da adlandırılan, peroksit di (ter-bütıl peroksiizopropil) benzen (DTBPIB) kullanılmıştır. Hızlandırıcı olarak, tetrametiltiuram disülfür (TMTDS) kullanılmış ve kükürt de kullanılan kimyasallar arasında yer almıştır. Formülasyonlar hazırlandıktan sonra numuneler, bir Brabender'da 30 dakika boyunca 170 °C'de eritilmiş ve daha sonra, çeşitli testlere tabi tutulmadan önce bir dreher-tipi Brabender'da sıkıştırılmıştır. 230 °C'de sıcak levhalar arasında ve 1,5 MPa basınç altında 5 dakika bir PolyLab manuel pres kullanılarak sıkıştırma-kalıplama ile filmler elde edildikten sonra oda sıcaklığında soğutulmuştur. Dinamik Reolojik Analiz için bir plastograf tipi Brabender kullanılmıştır. Spektroskopik analizler FTIR cihazında gerçekleştirilmiştir. Farklı sistemlerin morfolojik yapısı, Bruker D8 Advance kırınım ölçer kullanılarak geniş açılı X ışını saçılması (WAXS) ile ölçülmüştür. Sonuç olarak, formülasyona kükürt katılmasıyla hazırlanan LDPE'lerde kayda değer ölçüde daha fazla bir üstünlük sağlanmış ve uygulanabilirliği tespit edilmiştir.

Shahi vd., (2017), HDPE ve Lineer LDPE (LLDPE) karışımlarının CO₂ şişirme ajanı kullanılarak köpükleştirilmesini incelemişlerdir. HDPE/LLDPE oranları ağırlıkça 10/90 ve 25/75 olarak belirlenmiş ve Brabender'da dahili karıştırıcıda (Model W50ETH) karıştırılmıştır. Karışımlar 10 dk boyunca 170°C'de ve 60 rpm'de elde edildikten sonra 1,8 mm kalınlığa sahip levhalar üretmek için kare şeklinde oyuk bir kalıp (13,5x13,5 cm) içerisinde sıkıştırılmıştır. Partikül köpükleştirici kap olarak yüksek basınçlı silindirik bölmeli bir kap kullanılmış ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında düzenleyici vasıtasıyla 6MPa sabit basınçta CO₂ gazına tabi tutulmuştur. Köpük

oluşturma aşaması geniş bir sıcaklık aralığında (120-170°C) yürütülmüştür. Köpükleşme morfolojisi SEM analizi ile gerçekleştirilmiştir. Optimum sıcaklığın ağırlıkça 10/90 HDPE/LLDPE için 135 °C ve ağırlıkça 25/75 HDPE/LLDPE için de 145 °C olduğu tespit edilmiştir. Ağırlıkça 25/75 HDPE/LLDPE'nin diğerine kıyasla daha geniş bir sıcaklık aralığında en yüksek genleşme değerlerini gösterdiği gözlemlenmiştir.

Wu vd., (2017) LDPE/p, p-oksbis (benzensülfonilhidrazid) (OBSH) karışımının, sabit sıcaklıktaki bir görselleştirme aparatı ile köpürme işlemi sırasında hücre büyümesini araştırmışlardır. Ağırlıkça %5 OBSH, 80 rpm'lik bir rotor hızı ile 110 °C'de 6 dakika boyunca bir Tork Reometre kullanılarak LDPE ile harmanlanmıştır. Kompozitler, 120°C'de bir sıcak kalıp kullanılarak, $0,18 \pm 0,02$ mm kalınlık ve 5 mm çapında oluşturulmuştur. Daha sonra numuneler oda sıcaklığında havayla soğutulmuştur. PE kompozit köpüklerin hücreleri etrafındaki ana polimerin deformasyonunu değerlendirmek için SEM (Quanta FEG250) kullanılmıştır. PE kompozitleri 90 °C'de 40 dakika ksilen buharına tabi tutulmuştur. Eritilen numuneler, bir sputter katmanı (KYKY SBC -12) kullanılarak ince bir altın tabaka ile kaplanmıştır. LDPE köpüklerinin hücre morfolojisi 160 °C'de 5 s ile 150 s arasında incelenmiştir. Düşük hücre sayısının 5-50 s aralığında olduğu belirlenmiş ve 50 s ile 70 s arasında ise düzenli morfolojiye sahip daha fazla sayıda hücrenin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 70 s ile 150 s arasındaki aşırı köpürtülmüş evrede ise, hücre sayısı neredeyse hiç değişmemiş ve hücrelerin çarpıcı biçimde deforme edildiği tespit edilmiştir.

Zhao vd., (2017) düşük bir termal iletkenliğe sahip olan polipropilen (PP) köpükler elde etmek için, CO₂'i üfleme ajanı olarak kullanarak çift vidalı ekstrüderde kalıplama işlemi yapmışlardır. Eriyik mukavemetini arttırmak için, PP/politetrafluoroetilen (PTFE)'nin in-situ fibrilleştirilmiş karışımları, düzenli olarak birlikte dönen çift vidalı bir ekstrüder kullanılarak hazırlanmıştır. Ağırlıkça 100/0, 99/1, 97/3 ve 95/5 PTFE bileşimine sahip dört PP karışımı hazırlanmış ve köpürtme işlemi için %99 saflıkta CO₂ kullanılmıştır. Dinamik frekans tarama testleri ve dinamik sıcaklık basamağı testleri için hazırlanan pelet biçimindeki PP/PTFE kompozitleri, sıcak sıkıştırma ile yuvarlak plakalarda ($\Phi 25$ mm x 1,2 mm) kalıplanmıştır. Genleşmeli viskozite testleri için kompozitler 180 °C'de 4 dakika süreyle dikdörtgen şekillere (10 mmx18 mmx0,7 mm) kalıplanmıştır. PP/PTFE bileşiklerinin morfolojisini karakterize

etmek için SEM (Jeol 6060) kullanılmıştır. ASTM D1621-2010'ya göre PP/PTFE köpüklerin basınç dayanımını araştırmak için bilgisayarla kontrol edilen bir Instron mekanik sistemi (Instron 2710-102) kullanılmıştır. Sıkıştırma testi için, imal edilmiş PP/PTFE köpükten, yanal uzunluğu 15 mm olan kübik numuneler kesilmiştir. Ölçümde kullanılan sıkıştırma hızı 1,5 mm/dakikadır. PTFE liflerinin, erime direncini ve PP' nin köpürme kabiliyetini artırmada çok etkili olduğu tespit edilmiştir. PP/PTFE köpüklerinin, PP köpüklere kıyasla, artan genleşme oranının yanı sıra, mikro delikler ve/veya nano-fibriller bulunan benzersiz hücre duvar yapısı nedeniyle önemli ölçüde geliştirilmiş ısı yalıtımı performansı gösterdiği gözlemlenmiştir.

4.2. Alev Geciktiriciler İle İlgili Literatür Araştırması

Bu bölümde alev geciktirici olarak kullanılacak kimyasalların ve oranlarının tespiti için yapılan detaylı bir literatür taramasından özetler verilmiştir.

Pi vd. (2003), yaptıkları çalışmada, poli (vinil klorür) (PVC) ile çinko borat (ZB) ve ZB-alüminyum trihidrat (ATH) karışımlarının alev geciktirici ve duman bastırma özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Numuneler, PVC'nin ZB, ZB-ATH (50/50) ve merkapit organotin ısı stabilizatörü ve kayganlaştırıcı madde karışımı ile hazırlanmıştır. Daha sonra 10 dakika boyunca 170 °C'de ikiz silindirde harmanlama ve 180 °C'de sıkıştırma kalıplama yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, ZB ve ZB-ATH birleşiminin az miktarlarda kullanıldıklarında bile, PVC'nin limit oksijen indeksini (Limited Oxygen Index, LOI) büyük ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu bileşimlerin PVC'nin yanması sırasında oluşan aromatik bileşiklerin salınımını da bastırabildiği tespit edilmiştir.

Baysal (2007) tarafından yapılan çalışmada odun polimer kompozitinin (WPC: wood polymer composite) bor bileşikleri ile fiziksel, biyolojik, mekanik ve yangın özellikleri incelenmiştir. Bor bileşikleri olarak borik asit (BA) ve boraks (BX) kullanılmıştır. Beş birim BA, su içinde çözülmeden önce ağırlıkça bir birim BX ile karıştırılmıştır. WPC'nin dış mekan kullanımı için gerekli olan fiziksel, biyolojik ve mekanik özelliklere sahip alternatif bir malzeme olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak, bu ürünler düşük yanma özelliklerine sahip olduklarından, bor-monomer kombinasyonu ile yangın direncinin artacağı belirtilmiştir.

Formicola vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yaygın olarak kullanılan, çinko borat (ZB), alüminyum trihidroksit (ATH) ve farklı konsantrasyonlardaki karışımlar ile işlenen tek bileşenli epoksi reçinenin (RTM6) alev geciktirici özelliği, morfolojik ve termal karakterizasyonu araştırılmıştır. Kompozitler, epoksi reçinesinin ZB ve ATH ile ayrı ayrı ve kombinasyon halinde karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Termogravimetrik analiz ile elde edilen koni kalorimetresi deneyleri ve sonuçları, çinko borat ve alüminyum trihidroksit içeriğinin ağırlıkça %20'den daha yüksek olduğu durumlarda aleve daha dayanıklı hale getirdiğini kanıtlamıştır.

Laoutid vd. (2009)'nin yaptıkları çalışma, polimer malzemeler için alev geciktiriciler konusunu içermektedir. Çalışmada, alev geciktirici katkı maddeleri olan metal hidroksitler, halojenli alev geciktiriciler, bor bazlı alev geciktiriciler, azot bazlı alev geciktiriciler, silikon bazlı alev geciktiriciler ve kabaran alev geciktiriciler hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca yanma testleri LOI, UL94 ve koni kalorimetri konuları da ele alınmıştır. Halojen içermeyen yangın geciktirici katkı maddeleri arasında, fosfor ve azot bazlı bileşiklerin, özellikle bünyelerinde oksijen veya azot atomları içeren matrislerde çok güçlü etkileri olduğu kanıtlanmış, ayrıca silikon bazlı katkı maddelerinin de verimli çözümler sunduğu belirtilmiştir. Plastik malzemelerin yanıcılığının geciktirilmesinin, özellikle mevcut polimer matrislerin geniş çeşitliliği nedeniyle tek bir malzeme ile çözülemeyecek çok karmaşık bir bilimsel problem olduğunu vurgulamışlardır.

Doğan vd. (2010) yaptıkları çalışmada, amonyum polifosfat (APP) ve pentaeritritol (PER)'den oluşan bir polipropilen (PP) kabaran sisteme dört farklı bor bileşiği eklenmesiyle oluşacak sinerjiyi incelemişlerdir. Bu dört madde; çinko borat (ZnB), borofosfat (BPO₄), preseramik oligomer içeren bor silikon (BSi) ve lantan borat (LaB)'tır. PP ile karıştırılan toplam kabaran alev geciktirici ve bor bileşikleri miktarı, ağırlıkça %20 oranındadır. Sonuçlar, PP'ye %20 oranında kabaran alev geciktirici eklenmesinin, aleve dayanım özelliğini geliştirdiğini göstermiştir. UL-94 testlerine göre %1 oranında bor bileşiklerinin eklenmesi alev geciktirme verimini arttırmıştır. LOI testine göre ise en iyi sonuç (%30) %1 BPO₄ eklendiğinde elde edilmiştir. TGA verilerine göre, bileşikte bor bileşiği yüzdesi arttıkça, çar verimi de artmıştır. Bor bileşiklerinin, çarın bariyer etkisini arttırarak ve güçlendirerek sinerjik etki yarattığı tespit edilmiştir.

Wang vd. (2011)'nin gerçekleştirdiği çalışmada PP/LDH (nano) kompozitlerinin çinko borat (BZn) ile kombinasyonunun alev geciktirme ve termal özellikleri incelenmiştir. PP/organo-LDH (nano) kompozitler, eriyik karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. PP ve organo-LDH (ağırlıkça %3, %5 ve %10), 5 dakika boyunca 165 °C'de bir açık karıştırma değirmeninde karıştırılmıştır. Daha sonra karışım karıştırıcıdan çıkarılmış ve kullanım için parçalar halinde kesilmiştir. PP/organo- LDH/BZn (ağırlıkça %3, %5 ve %10 PP/organo-LDH ve ağırlıkça %10 BZn) (nano) kompozit malzemeler aynı yöntemle hazırlanmıştır. Alev geciktirici testlere göre en iyi sonucun PP/%10LDH/%10BZn olduğu tespit edilmiştir. PP/ LDH/BZn ve PP/BZn /organo-LDH (nano) kompozitlerin çar içeriği, PP/LDH, PP/BZn ve PP/organo-LDH'den çok daha yüksektir.

Değirmenci (2012)'nin yaptığı çalışmada çinko boratın PVC ve poliüretan üzerindeki alev geciktirici etkisi incelenmiştir. PVC tozu, sıvı DOP ve ısı stabilizatörü bir araya getirilmiş ve CaCO₃ tozu, Al(OH)₃ (ATH), çinko borat ve hidrotalsit karıştırılmış, daha sonra tek vidalı ekstrüderde eriyik haline getirilmiştir. Alev geciktirme süreleri incelendiğinde en iyi sonuç, PVC için %8 çinko borat, %18 ATH ve %94 CaCO₃ karışımlarından elde edilmiştir. Poliüretan için ise modifiye ZnBO/ATH/TCPP (15/50/8), modifiye ZnBO/ATH/TCPP (15/40/8), modifiye ZnBO/ATH/TCPP (15/40/5), modifiye ZnBO/Amonyum borat/ATH/TCPP (15/5/40/5), modifiye ZnBO/Amonyum borat/ATH/TCPP (15/5/30/10), modifiye ZnBO/Amonyum borat/ATH/TCPP (15/10/30/5), ZnBO/ATH/TCP (10/40/8), modifiye ZnBO/ATH (10/40), borik asit/ATH/TCPP (10/30/10) karışımlarından oluşmaktadır.

Atalay (2012) yaptığı çalışmada, magnezyum boratın sentezlenmesi ve alev geciktirici pigment olarak kullanımını incelemiştir. Magnezyum borat ve borik asit ile sentezlenen pigment, yüksek sıcaklıkta boya olarak kullanıma hazır hale getirilmiş ve fırça ile levha ve tahta üzerine sürülerek 24 saat kurutulmuştur. LOI ile yapılan testlerde levha için %28 alt limite sahip konsantrasyonda numunede yanma gözlenmemiştir. Tahta için ise işlenmemiş tahta parçalarının LOI değeri %22 çıkarken, magnezyum borat kaplı numunelerde bu değer %39 olarak bulunmuştur.

İbibikcan ve Kaynak (2014) tarafından yapılan çalışmada, polietilen esaslı kablo yalıtım malzemelerine alev geciktirici özellik kazandırılması hedeflenmiştir. Kablo yalıtım malzemeleri olarak iki tip polimer araştırılmıştır. Birincisi sadece LDPE,

ikincisi ise 3:1 oranındaki LDPE/Etilen vinil asetat (EVA) karışımıdır. UL-94 dikey yanma testlerinde, her iki malzemede de kullanılan bor bileşiklerinin (ZB, BO ve BA) ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranında ATH ile yer değiştirmesinin, en iyi sonucu (V0: Dikey test plakasının ateşi çektikten sonra 10 saniye içinde sönmesi) verdiği gözlemlenmiştir. LOI değerleri açısından, özellikle ağırlıkça %10 oranında bor bileşikleriyle yer değiştirmede anlamlı bir artışın sağlandığı görülmüştür. Ham LDPE (LOI: %19) ile karşılaştırıldığında LDPE/EVA-ATH55- BO10 karışımının LOI değeri %36 çıkmıştır.

Doğan ve Unlu (2014) yaptıkları çalışmada, alev geciktirici epoksi esaslı kompozitler içeren kırmızı fosforun (RP) üç farklı türdeki bor bazlı katkı maddeleri ile (çinko borat (ZnB), borik asit (BA) ve borik oksit (B_2O_3)) karışımlarının yanma özelliklerini ve termal bozunmasını incelemişlerdir. Epoksi reçine mekanik karıştırıcı kullanılarak oda sıcaklığında 20 dakika süreyle alev geciktiricilerle (%5, %10, %15) birlikte karıştırılmıştır. LOI (%28,5) ve UL-94 (V1) derecesindeki büyük etki, RP/BA ve RP/ZnB'nin 9:1 oranında sisteme dâhil edilmesiyle elde edilmiştir. En fazla etki ise ZnB ve BA'nın aksine, LOI değeri %29,5 ve en yüksek UL-94 (V0) ile 7:3 oranında RP/ B_2O_3 ilavesiyle gözlemlenmiştir. Türüne bakılmaksızın %10 oranında eklenen alev geciktiriciler, char verimini arttırmıştır.

De Sá, vd. (2017) yaptıkları çalışmada, kabaran sistemde karbon kaynağı olarak bitkisel bileşikler (zencefil tozu ve kahve kabuğu) kullanarak hazırladıkları bileşimlerin alev geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca, alev geciktirici olarak çinko fosfat (ZnP) ve trifenil fosfatı (TPP) karşılaştırmışlardır. Farklı oranlarda hazırlanan bileşenler $100 \times 100 \times 1 \text{ mm}^3$ boyutlarındaki çelik levhaların üzerine kaplanmıştır. En iyi formülasyonun, reçine/bitki bileşimi/melamin/borik asit/trifenil fosfat/titanyum dioksit (71,8/6,19/6,19/3,43/6,2) olduğu belirtilmiştir. Termogravimetrik analiz ve yangına dayanıklılık testi, metal substratın sıcaklığındaki önemli azalmaya bağlı olarak bu bitkisel bileşimlerin karbon kaynağı olarak kabaran kaplamalarda kullanılabileceğini göstermiştir. Çeliğin yangına karşı korunması için yenilenebilir hammaddelerin kullanımı çevre dostu ve düşük maliyetli olduğu için iyi bir alternatiftir. TPP, alev geciktirici bir madde olarak ZnP'den daha verimlidir ve TPP'li tüm numuneler daha iyi genleşme ve ısı yalıtımı göstermektedir.

Ullah vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, APP ve borik asit ile hazırlanan kabaran kaplamanın alev geciktirici özellikleri ve çar oluşumları incelenmiştir. Kabaran

alev geciktirici kaplama, genleşebilen grafit (EG), APP, melamin ve borik asit ile hazırlanmıştır. Beş farklı formülasyon ile hazırlanan karışımlar fırça yardımıyla çelik levha üzerine uygulanmıştır. Kabaran kaplama formülasyonlarına borik asit ve APP'nin tek başına veya birlikte dahil edilmesinin, yangın geciktirici özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir. Borik asit kullanımının APP'ye göre arttırıldığı durumda ise çar oluşumlarının da arttığı gözlemlenmiştir.



5. ISI YALITIM MALZEMESİ ÜRETME ÇALIŞMALARI

Bu tez çalışmasında öncelikle, LDPE ambalaj atıklarının diğer atıklarla karıştırılması ile yeni bir kompozit malzeme üretilmesi ve bu malzemenin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda deneysel çalışmalar iki kısımda ele alınmıştır. İlk bölümde, atık LDPE diğer atık malzemeler ile ekstrüzyondan geçirilmiş fakat istenilen özellikte ürün elde edilemeyince, çalışmanın yönü değiştirilmiştir. Bahsi geçen deneysel kısımlar Bölüm 5.1 ve 5.2’de detaylı olarak anlatılmıştır.

5.1. Atık LDPE ve Diğer Atık Malzemelerden Kompozit Üretimi

LDPE’ye ek olarak yumurta viyolu, içecek kartonu, polistiren (PS) ambalajlar ve cam elyaf atıkları kullanılmıştır. Bu atıklar LDPE’ye %25-75 oranında karıştırılmış, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Katı Atık Yönetimi Araştırma Laboratuvarı’nda bulunan 16 mm çift vidalı ve 40 L/D kovan uzunluğuna sahip çift vidalı ekstrüder ile eriyik haline getirilmiş ve soğutulularak granüle dönüştürülmüştür (Görsel 5.1 ve Görsel 5.2). Granül halindeki karışımlar ise termal iletkenlik ölçümü için enjeksiyon kalıplama cihazında kalıp haline getirilmiştir.



Görsel 5.1. Ekstrüderden eriyik halinde çekilen bir karışım örneği



Görsel 5.2. Çift vidalı ekstrüder

Oluşturulan kompozit karışımlar ve ısı iletkenlik değ erleri Ç izelge 5.1’de verilmiştir. LDPE ve kompozitlerin ısı iletkenlik değ erleri ısı yalıtım malzemelerinden beklenen değ erin ($<0,065 \text{ W/m.K}$) çok üzerinde olduğ undan, üretilen numunelerin yapısında değ iş ikliğ e gidilmiştir.

Ç izelge 5.1. LDPE ve kompozit numunelerin ısı iletkenlik sonuçları

Numune	Oran (%)	Isıl İletkenlik (W/m·K)
LDPE	%100 LDPE	0,405
LDPE-V-25	%75 LDPE + %25 Yumurta Viyolü	0,396
LDPE-PS-25	%75 LDPE + %25 PS	0,376
LDPE-T-25	%75 LDPE + %25 Tetrabrik Aseptik Ambalaj	0,421
LDPE-C-25	%75 LDPE + %25 Cam Elyaf	0,461

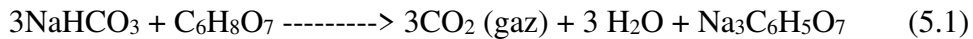
5.2. Köpük Malzemelerin Üretilmesi

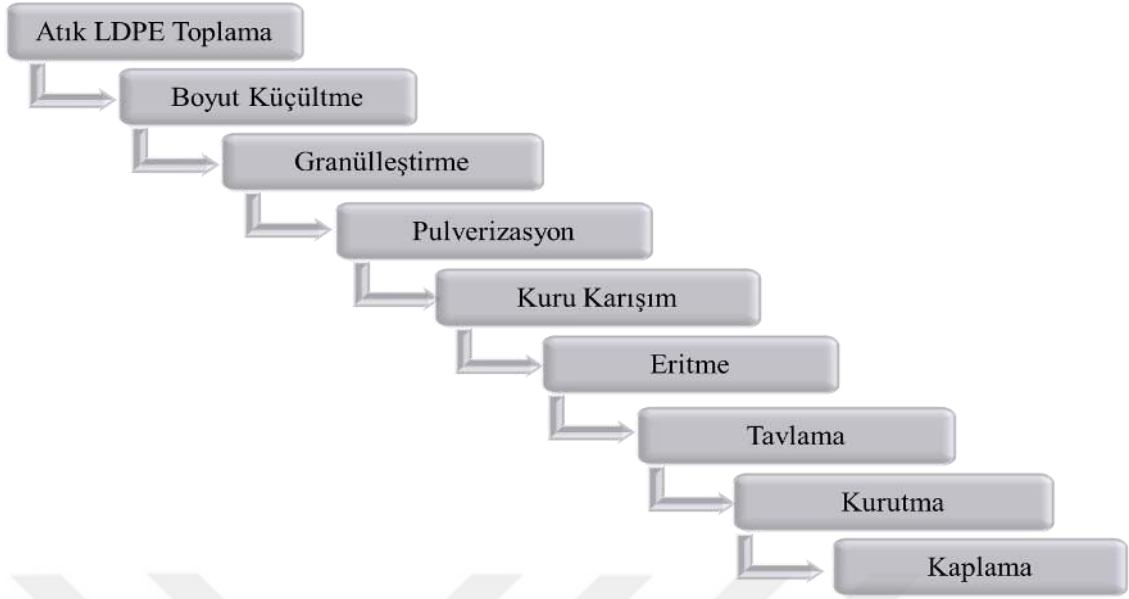
İlk bölümdeki deneysel çalışmalardan istenen ısı iletkenlik sonuçları elde edilemeyince bunun nedeni araştırılmış ve köpüksü yapıda bir malzeme üretilmesi gerektiğ i sonucuna varılmıştır. İkinci bölümdeki deneysel çalışmalar bu doğrultuda yürütülmüştür.

5.2.1. Deneysel çalışmalar

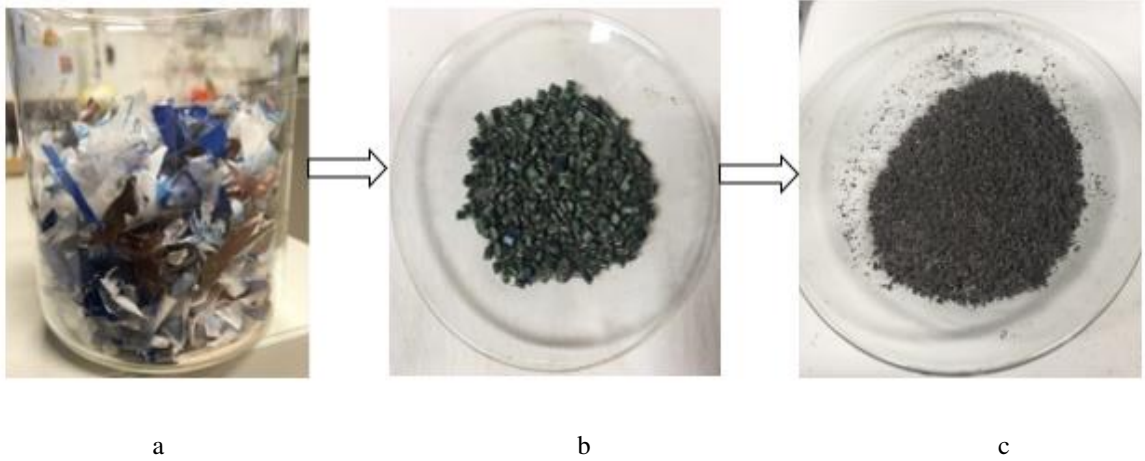
Köpük malzeme üretimi için önce, piyasadan temin edilen toz haldeki ham LDPE kullanılmıştır. Denemelerde LDPE ile birlikte köpürtme ajanı olarak aynı oranlarda karbonat (CO_3), sodyum bikarbonat (NaHCO_3), kalsiyum karbonat (CaCO_3), sitrik asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), azodikarbonamid (AZD) ve dioctyl terephthalate (DOTP) kullanılmıştır. Malzeme üretme işlemi için, aynı sıcaklık değerlerinde etüv ve vakumlu etüv ortamlarında çalışılmıştır. Köpük yapıdaki örnekler, polimer reçine ve köpürtücü ajanların 50/50 oranında karıştırılması ve bu karışımın $140\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye önceden ısıtılmış etüvde silindirik bir kalıba dökülmesiyle elde edilmiştir. Denemeler sonucunda etüv ortamında ve ajan olarak NaHCO_3 ve $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ kullanılarak üretilen malzemenin diğerlerine göre daha köpüksü yapıya sahip olduğu gözlemlenmiş ve tüm numunelerde kullanılacak deneysel yöntemin kesinleştirilmesi aşamasına geçilmiştir.

Deneysel çalışmanın akım şeması Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu akım şeması kullanılarak ham LDPE, atık LDPE ve atık/ham LDPE karışımlarından (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50) oluşan örnekler hazırlanmış, her örnek için en az iki deneme yapılmıştır. Atık LDPE poşetlerinden örnek üretilmesi için ön işlem uygulaması gerekliliği ortaya çıkmış ve atık LDPE alışveriş poşetleri şeritler halinde kesilerek (Görsel 5.3a) çift vidalı ekstrüdere (D: 16-mm; L/D: 40) beslenmiştir. Ekstrüder bölgelerinin ısıtma profili $70\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$, $140\text{ }^\circ\text{C}$ ve $130\text{ }^\circ\text{C}$ olarak ayarlanmıştır. Ekstrüderden çıkan eriyik soğutulur granül haline getirilmiş (Görsel 5.3b) ve boyut olarak daha homojen numune elde etmek için eilenmiştir ($<1,75\text{ mm}$). Atık LDPE granülleri, Havacılık Araştırma Merkezinde bulunan Fritsch Pulverisette-14 marka öğütücüde sıvı azot ortamında toz haline getirilmiştir (Görsel 5.3c). Daha sonra, atık LDPE, atık/ham LDPE ve ham LDPE polimer reçineler köpürtme ajanları olan NaHCO_3 ve $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ile karıştırılmıştır. Köpürtme ajanı olarak kullanılan NaHCO_3 ve $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 'in miktarı, ürün olarak CO_2 'in oluştuğu kimyasal reaksiyona göre belirlenmiştir (Denk. 5.1).



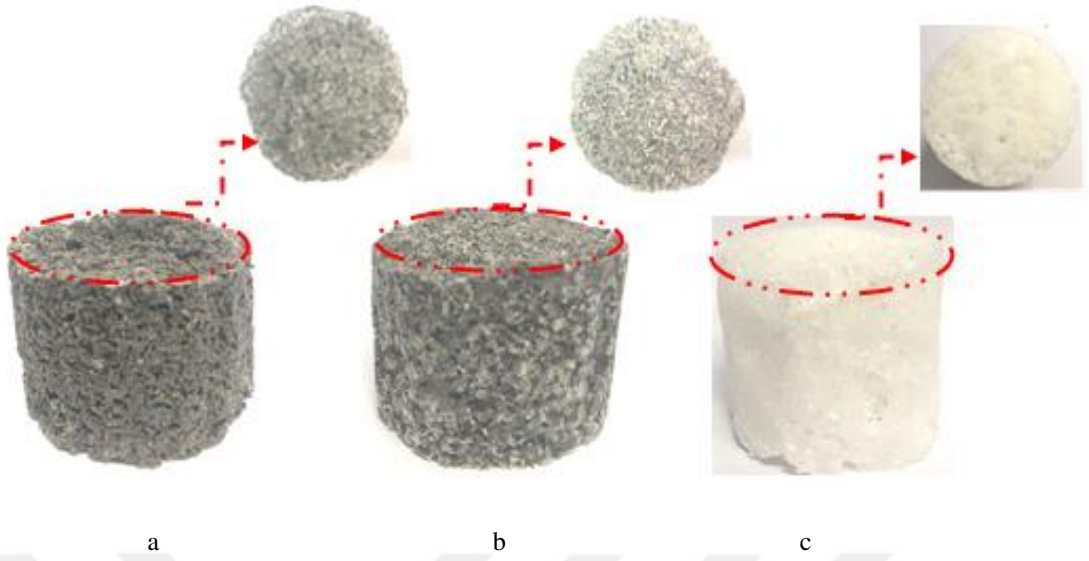


Şekil 5.1. Akım şeması



Görsel 5.3. Atık LDPE'lerin işlenmesi a) boyut küçültme, b) granülleştirme ve c) tozlaştırma

Polimer reçine ve köpürtme ajanı karışımları silindirik kalıplara dökülmüş ve kalıplar 140°C'deki etüve yerleştirilmiştir. 35 dk.'lık kürlemeden sonra kalıplar, tavlama için soğuk su banyosuna yerleştirilmiş ve daha sonra oda sıcaklığında kurutulmuştur. Üretilen atık LDPE, atık/ham LDPE ve ham LDPE'den oluşan köpük malzemelerin görüntüleri Görsel 5.4'de verilmiştir.



Görsel 5.4. Köpük malzemelerin görüntüleri a) Atık LDPE, b) Atık/Ham LDPE (karışımı) c) Ham LDPE

Hazırlanan numunelere ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletkenlik, TS EN 1602 standardına göre yoğunluk ve TS EN 1609 standardına göre su emme analizleri uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar ticari olarak satılan XPS¹, XPS², EPS ve PE ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, üretilen örnekler stereo mikroskop ile incelenmiştir.

5.2.2. Bulgular

Atık LDPE, atık/ham LDPE karışımları ve ham LDPE ile üretilen numunelerin ısı iletkenlik, yoğunluk ve su emme analiz sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu tabloya göre, atık LDPE içeren örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin ham LDPE’nin ısı iletkenlik değerinden daha düşük olduğu, atık LDPE ve atık/ham LDPE karışımlarının ısı iletkenlik değerlerinin ise birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En düşük ısı iletkenlik değeri, tamamen atık LDPE içeren örnek ile karşılanmasına rağmen, bağlanma sorunları göstermesi nedeniyle içerisinde en az miktarda ham LDPE içeren karışımın (90/10) (Görsel 5.5), ısı iletkenlik açısından en iyi performansı gösteren örnek olarak seçilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. Bu karışım su emme açısından da tüm örnekler içerisinde en iyi performansı göstermiştir. Yoğunluk açısından atık ve atık/ham LDPE örnekleri arasında çok büyük farklılıklar saptanmamıştır.

Çizelge 5.2. Atık, karışım ve ham LDPE örneklerinin ısı iletkenlik, yoğunluk ve su emme analiz sonuçları

Atık / Ham LDPE Karışımları							
	Atık LDPE	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	Ham LDPE
Isıl iletkenlik (W/m·K)	0,043	0,046	0,045	0,049	0,049	0,045	0,061
Yoğunluk (kg/m ³)	302	366	345	338	331	301	489
Su emme (kg/m ²)	4,57	1,03	5,38	4,54	5,14	1,94	5,38



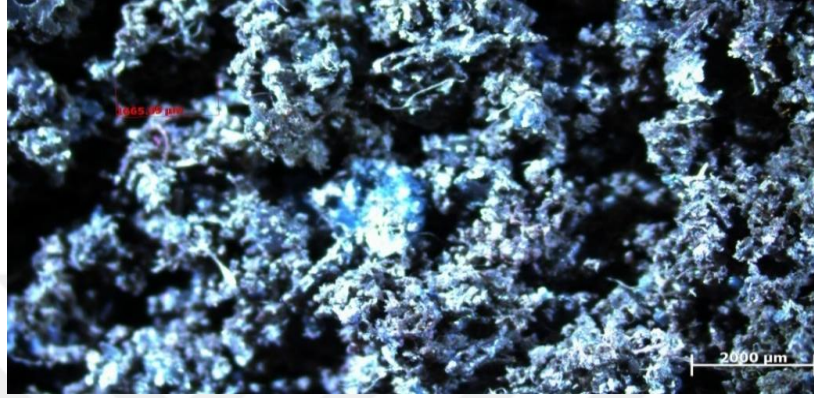
Görsel 5.5. Atık/Ham LDPE (90/10) ısı yalıtım malzemesi

Atık LDPE, atık/ham LDPE (90/10) ve ham LDPE'nin ısı iletkenlik, yoğunluk, kalınlık ve ısıl direnç değerleri piyasada bulunan ticari ürünlerle de karşılaştırılmış ve sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.3'e göre deneysel olarak üretilen örneklerin yoğunluk değerlerinin ticari örneklerden yüksek olduğu fakat ısı iletkenlik değerleri açısından ticari olanlarla karşılaştırılabilir seviyede oldukları belirlenmiştir.

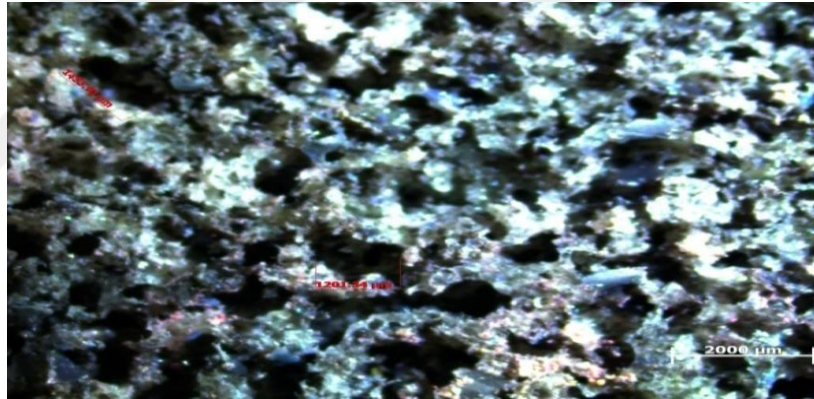
Çizelge 5.3. Atık, karışım (90/10) ve ham LDPE' nin ticari ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılması

	Atık LDPE	Atık/ham LDPE (90/10)	Ham LDPE	XPS ¹	XPS ²	EPS	PE
Isıl iletkenlik (W/m·K)	0,043	0,046	0,061	0,035	0,032	0,032	0,038
Yoğunluk (kg/m³)	302	366	489	28	26	20	20
Kalınlık (m)	0,025	0,028	0,030	0,020	0,048	0,050	0,010
Isıl Direnç (m²·K/W)	0,581	0,609	0,492	0,571	1,500	1,563	0,263

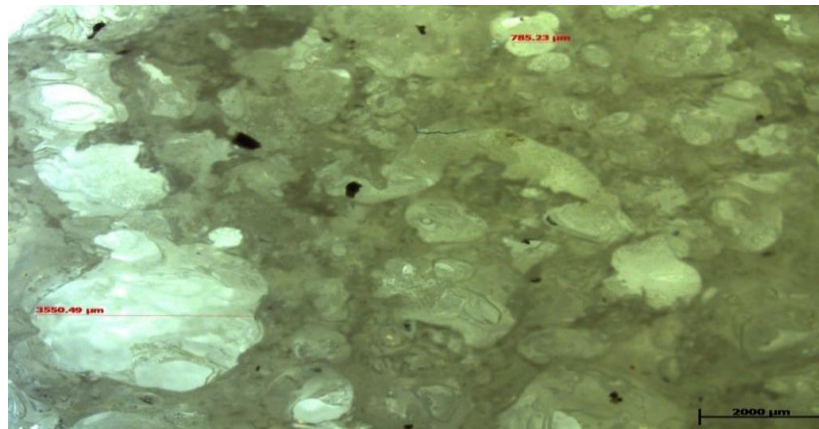
Atık LDPE, atık/ham LDPE (90/10) ve ham LDPE örneklerinin stereo mikroskop görüntüleri sırasıyla Görsel 5.6 a-c’de verilmiştir. Bu görüntülere göre, atık ve karışım örnekleri ham LDPE örneğine göre aglomere (kümelenmiş) bir yapıya sahiptir (Görsel 5.6 a ve b). Köpürme nedeniyle ham örnek (Görsel 5.6c) üzerinde gözenekler yerine bu kümeler arasında boşluklar mevcuttur.



a



b



c

Görsel 5.6. LDPE bazlı köpük örneklerin stereo mikroskop görüntüleri

a) Atık LDPE, b) Atık/ham LDPE (90/10), c) Ham LDPE

6. ISI YALITIM MALZEMESİNE ALEV GECİKTİRME ÖZELLİĞİNİN KAZANDIRILMASI

Bu bölümde, ambalaj atıklarından (LDPE) üretilen ısı yalıtım malzemesinin alev dayanıklılığının artırılması amacıyla alev geciktiricilerin hazırlanması, uygulaması ve elde edilen bulgular verilmiştir.

6.1. Alev Geciktiricilerin Hazırlanması ve Uygulaması

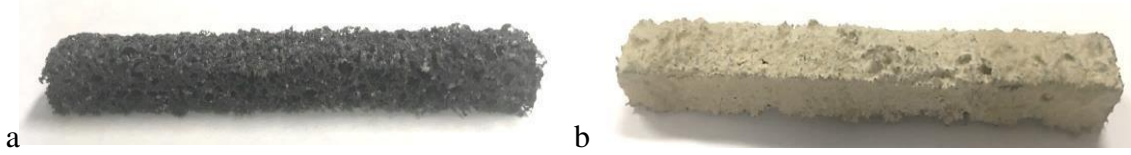
Atık LDPE'den ısı yalıtım malzemesi alev geciktirme uygulamaları için 8x1x1 cm boyutlarında malzeme üretilmiştir. Alev geciktirici katkı maddeleri olarak atık kil, atık seramik çamuru, atık alçı, borik asit, çinko borat ve alüminyum trihidroksit (ATH) kullanılmıştır. Atık kil, atık seramik çamuru ve alçı atığı, kil türevlerinin alev geciktirici olarak kullanılabilirliği araştırıldıktan sonra atıkların yeniden değerlendirilmesi bağlamında kil yerine alternatif olarak kullanılmıştır. Borik asit, çinko borat ve ATH ise literatür araştırmalarında en sık kullanılan alev geciktiriciler olmaları sebebiyle tercih edilmiştir. Alev geciktirme denemelerinde bu kimyasallar ile Çizelge 6.1.'de verilen oranlarda ikili ve üçlü karışımlar oluşturulmuştur.

Çizelge 6.1. Karışım türleri ve oranları

Karışım türü	Karışım oranları (%)
İkili karışımlar	
Atık kil/Borik asit karışımı (AK/BA)	
Seramik Çamuru/Borik asit (SÇ/BA)	
Alçı/Borik asit (Alçı/BA)	
Çinko Borat/Borik asit (ÇB/BA)	100/0 - 90/10 - 80/20 - 70/30 - 60/40 - 50/50
Çinko Borat/Alüminyum trihidroksit (ÇB/ATH)	
Atık kil/Çinko Borat (AK/ÇB)	
Atık kil/Alüminyum trihidroksit (AK/ATH)	
Üçlü karışımlar	
Atık kil/Borik asit/Alüminyum trihidroksit (AK/BA/ATH)	50/25/25
Atık kil/Borik asit/Çinko borat (AK/BA/ÇB)	50/25/25 - 60/20/20 - 70/15/15 - 80/10/10

Çizelge 6.1.'de verilen oranlardaki karışımlardan oluşan 40 g'lık malzemeler, 40 mL saf suya eklenmiş ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Katı Atık Laboratuvarı'nda bulunan VCX 500 ultrasonik işlemci ile 10 dk. karıştırılarak

homojenliği sağlanmıştır. Daha sonra ısı yalıtım malzemesi, hazırlanan bu karışımlar ile daldırma yöntemi kullanılarak kaplanmış ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. Kaplanmamış ve alev geciktirici katkı maddeleriyle kaplanmış ısı yalıtım malzemelerinin görüntüsü Görsel 6.1’de verilmiştir.



Görsel 6.1. a) Kaplanmamış ve b) Alev geciktirici katkı maddeleriyle kaplanmış yalıtım malzemesi

Yanma testleri ASTM D 2863 standardına göre limit oksijen indeksi (Limited Oxygen Index, LOI) ile gerçekleştirilmektedir. LOI, yanmanın gerçekleşmesi için gerekli olan havadaki oksijen miktarının yüzdesel gösterimidir. Kaplanmış numunelere LOI testi uygulanmadan önce kullanılan alev geciktiricilerin etkinliğinin belirlenmesi için numuneler, gerekli önlemler alınarak dış ortamda ön elemeye tabi tutulmuştur. Uygulanan yanma testinin görüntüleri Görsel 6.2’de gösterilmiştir.



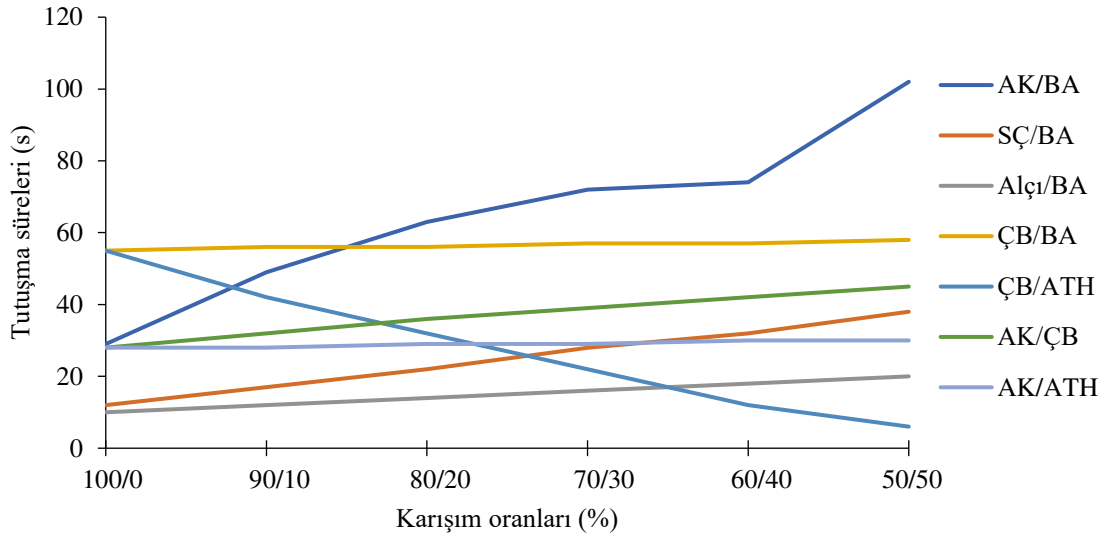
Görsel 6.2. Alev geciktirici katkı maddeleriyle kaplanmış ısı yalıtım malzemesinin yanma testi sırasındaki görüntüleri

6.2. Bulgular

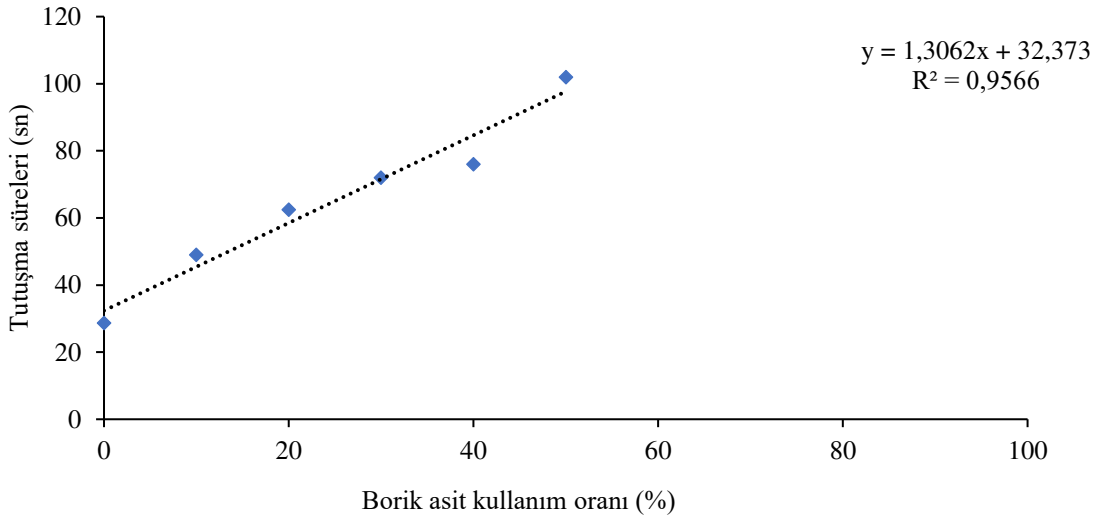
Kaplanmamış ve ikili karışumlu alev geciktirici katkı maddeleri ile kaplanmış ısı yalıtım malzemelerinin ortalama tutuşma süreleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre alevi en uzun süre geciktiren ikili karışımlar sırası ile AK/ÇB, ÇB/BA ve AK/BA’dır. Görsel 6.3’de karışımların oran ve sürelerinin grafiksel gösterimleri verilmiştir. AK/BA karışımı için karışım oranlarına karşılık tutuşmaya başlama süreleri grafiğe geçirilmiş ve bu grafikten, borik asidin karışımdaki oranının artmasının, yanma süresini geciktirmeye büyük oranda katkı sağladığı tespit edilmiştir (Görsel 6.4). Diğer yandan, atık kil de büyük miktarlarda açığa çıkan bir malzemedir. Bu açıdan atık kilden maksimum oranda faydalanmak, borik asit kullanım maliyetini azaltmak ve aynı zamanda alev geciktirme süresinden de ödün vermemek için borik asidin, artan oranları (%50’den fazla) kullanılmamış, atık kil ve borik asidin eşit miktarlarda (50/50) kullanıldığı karışımda karar kılınmıştır. 50/50 AK/BA karışımında, AK yerine ÇB kullanımı incelendiğinde (ÇB/BA), çinko boratın tutuşmayı geciktirme süresinin (58 s) atık kilden daha kısa olduğu ve 25. saniyeden sonra is çıkardığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.2. İkili karışımlar ile kaplanmış ısı yalıtım malzemelerinin tutuşmaya başlama süreleri (sn)

Karışımlar	Karışım oranları ve süreleri						
	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	0/100
nK-IM	5	-	-	-	-	-	-
AK/BA	29	49	63	72	74	102	8
SÇ/BA	12	17	-	-	-	38	8
Alçı/BA	10	-	-	-	-	20	8
ÇB/BA	55	-	-	-	-	58	8
ÇB/ATH	55	-	-	-	-	6	6
AK/ÇB	28	-	-	-	-	45	55
AK/ATH	28	-	-	-	-	30	6
nK-IM: Kaplanmamış ısı yalıtım malzemesi - Gerçekleştirilmemiş karışımlar							



Görsel 6.3. Karışımların kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi



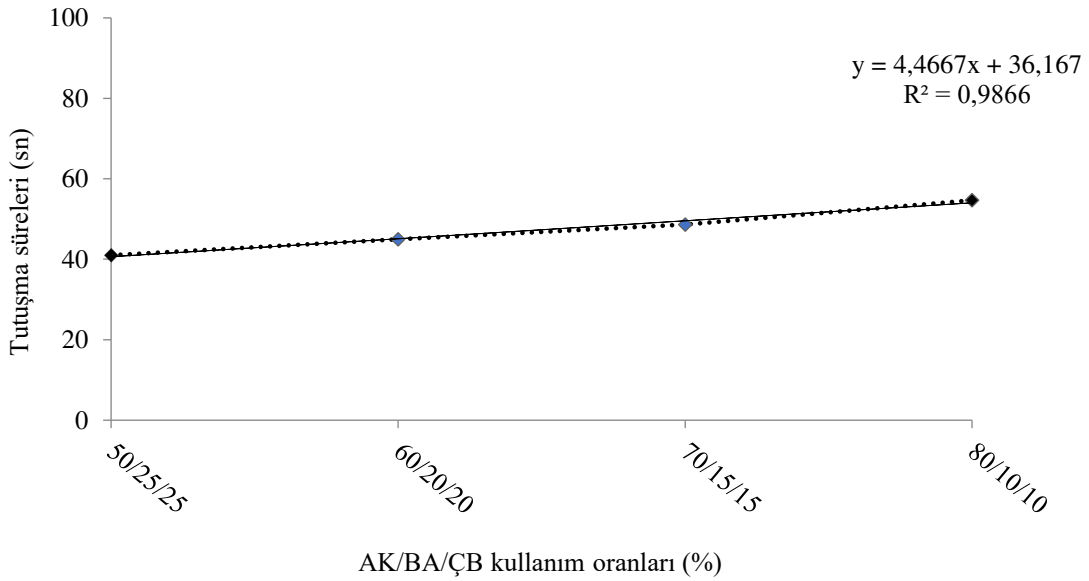
Görsel 6.4. Borik asit kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi

Üçlü karışımlar için Çizelge 6.3’de verilen tutuşmaya başlama süreleri incelendiğinde, ATH kullanımının alev geciktirmeye katkısının çok düşük olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle farklı oranların testleri gerçekleştirilmemiştir. AK/BA/ÇB karışımları ile kaplanan ısı yalıtım malzemelerinin tutuşmaya başlama sürelerinin ortalamaları ile çizilen grafikte ise atık kil kullanım oranı arttığında tutuşmaya başlama süresinin de arttığı gözlemlenmiştir (Görsel 6.5). Fakat bu karışımlar ile elde edilen en

uzun süre olan 55 s (80/10/10 AK/BA/ÇB), AK/BA (50/50) karışımı ile elde edilen en uzun süre olan 102s'nin yarısı kadar olduğundan, üçlü karışımlar ile devam edilmesinin çok anlamlı olmadığına karar verilmiştir.

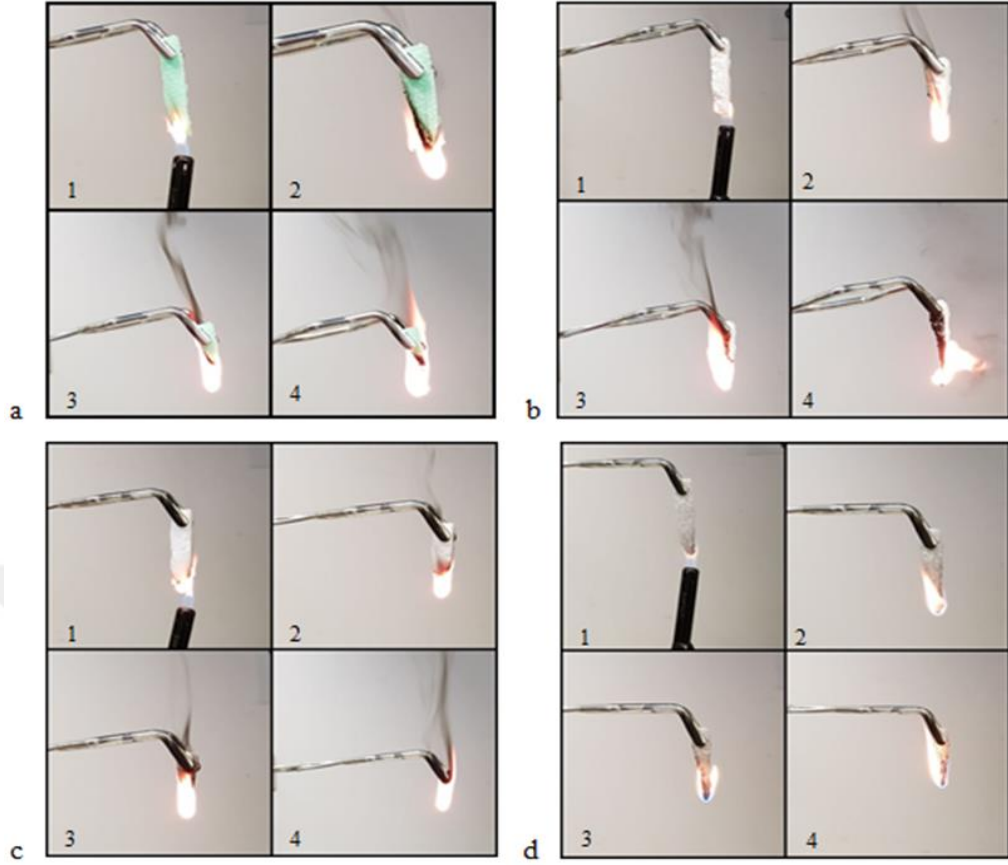
Çizelge 6.3. Üçlü karışımlar ile kaplanmış atık LDPE yalıtım malzemelerinin tutuşmaya başlama süreleri (sn)

Karışımlar	Oranlar (%)	Tutuşma süreleri (sn)
AK/BA/ATH	50/25/25	75
	50/25/25	41
AK/BA/ÇB	60/20/20	45
	70/15/15	49
	80/10/10	55



Görsel 6.5. AK/BA/ÇB kullanım oranları ve tutuşma sürelerinin grafiksel gösterimi

Son olarak AK/BA (50/50) ile kaplanmış ısı yalıtım malzemesinin alev gecikme süresi, piyasada sıkça kullanılan ısı yalıtım malzemeleri olan XPS¹, EPS, XPS² ve polietilen köpüğün (PE Köpük) değerleri ile karşılaştırılmıştır. AK/BA (50/50) ile kaplı ısı yalıtım malzemesi 102 s boyunca tutuşmaya dayanmasına rağmen, ticari ısı yalıtım malzemelerinin ilk 4 saniyede tamamen yandığı ve yoğun duman çıkardığı gözlemlenmiştir (Görsel 6.6).



Görsel 6.6. Piyasadaki yalıtım malzemelerinin yanma testi sırasındaki görüntüleri
a) XPS¹ b) EPS c) XPS² d) PE köpük

Yanma testleri sonuçların doğruluğundan emin olmak amacıyla Havacılık Uygulama Merkezi'nde bulunan Limited Oxygen Index (LOI) test cihazı ile ASTM D2863-17a standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Görsel 6.7).



Görsel 6.7. LOI test cihazı

LOI test yöntemi, plastiğin yanma sırasındaki oksijen konsantrasyonunun ölçülmesini sağlar. Küçük bir test örneği, şeffaf bir bacadan yukarı doğru akan oksijen ve azot karışımında dikey olarak desteklenir. Numunenin üst ucu ateşlenir ve numunenin sonraki yanma davranışı, her bir yanma için belirlenen sınırlarla, yanmanın devam ettiği periyodun veya yanmış numunenin uzunluğunun karşılaştırılması ile gözlemlenir. Farklı oksijen konsantrasyonlarında bir dizi örneği test ederek, minimum oksijen konsantrasyonu belirlenir (ASTM D2863–17a, 2018). LOI testine göre alev geciktiriciler Çizelge 6.4’te sınıflandırılmıştır.

Çizelge 6.4. LOI testine göre alev geciktirici sınıflandırması (Schmidt, 1999; Kaya ve Oz, 1999; Durgun, 2010)

Değer	Özellik
< % 24	Yanabilir, alev alabilir
% 24-28	Sınırlı alev geciktirici
% 29-34	Alev geciktirici
> %34	Ekstra alev geciktirici

Kaplamasız numune ve AK/BA karışımları (100/0 ve 50/50) ile hazırlanan numuneler LOI testinden önce 21°C ve %50 nem ortamında bir iklimlendirme cihazında 24 saat bekletilmiş ve LOI testine tabii tutulmuştur. Kolonun içine sabitlenen numuneler ortamdaki oksijen miktarı değiştirilerek ve üst kısımdan bir alev kaynağı kullanılarak tutuşturulmaya çalışılmıştır. 30 sn. süresince 5 saniyede bir alev kaynağı numunenin üzerine tutulmuş, tutuşan numunenin 180 saniye içerisinde 50 mm yanması beklenmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.5’te verilmiştir. LOI test sonuçlarına göre kaplamasız numune %20-20,5 aralığında alev alabilen kategoride yer almaktadır. Atık kil ile kaplanmış numune (100/0) ise %39,5-40 aralığında ekstra alev geciktirici kategorisinde yer almaktadır. Atık kil/borik asit (50/50) karışımı ile kaplanan numunenin LOI test sonuçları ise %60’tan büyük değerde ve yine ekstra alev geciktirici sınıfta yer almaktadır. Atık kilin tek başına kullanıldığında yalıtım malzemesine olan bağlanma probleminden dolayı borik asit ile karışımlarından oluşan 50/50’lik numunenin kullanımının daha uygun olacağı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5. LOI testi sonuçları

Numune	LOI	Özellikler
Kaplamasız	%20-20,5	Yanabilir, alev alabilir
100/0	%39,5-40	Ekstra alev geciktirici
50/50	>%60	Ekstra alev geciktirici

7. ISI YALITIM MALZEMESİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

Önceki bölümlerde bahsi geçen TS 825 standardına göre 2000 yılından sonra yapılan tüm bina, konut, büro, tiyatro, hastane gibi alanlarda ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir (Sezer, 2005). Kullanımı zorunlu hale gelmiş olan ısı yalıtım malzemelerinin de her ürün gibi üretim aşamasında kullanılan hammadde, su, kimyasal tüketimi ve atık oluşumu gibi çevresel etkilerinin olduğu muhakkaktır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında bu ürünlerin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment, LCA) yöntemi kullanılmıştır.

7.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA)

LCA, olası veya rakip sistemler arasında bütünsel karşılaştırmalar yapmak ve aynı zamanda bir karşılaştırma biçimi olan mevcut bir sistemi optimize etmek için güçlü bir araçtır (Curran, 2016). LCA, tüm yaşam döngüsü boyunca süreçlerin ve ürünlerin çevresel yüklerinin değerlendirilmesi için kullanılan bir metodolojidir. Değerlendirme, hammaddelerin ekstraksiyonu ve işlenmesini kapsayan bir ürünün, sürecin veya sistemin; üretim, ulaşım ve dağıtım, kullanım, yeniden kullanma, bakım, geri dönüşüm ve nihai bertarafı gibi tüm yaşam döngüsünü içerir (Özkan, 2016). Bu değerlendirmeyi gerçekleştirecek prosedürler, ISO 14040 ve ISO 14044 standartlarında belirtilmiştir (Schiavoni vd. 2016). ISO 14040'a göre LCA, bir ürünle ilgili hammaddenin elde edilmesinden, üretim ve atığa kadar tüm çevresel hususları ve potansiyelleri değerlendiren, çevresel etkilerin hesaplanıp ölçülebildiği, etki değerlendirme aşamalarının sonuçlarını yorumlayan bir tekniktir (Benedetto and Klemes 2009). ISO 14044, LCA'nın amacı ve kapsamı, yaşam döngüsü envanter analizi (LCI) aşaması, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) aşaması, yaşam döngü yorumlama aşaması, LCA'nın raporlanması ve kritik gözden geçirilmesi, LCA'nın kısıtlamaları, LCA fazları arasındaki ilişki ve değer seçimleri ve opsiyonel elemanların kullanımı için gerekli koşulları içermektedir.

LCA, 1980'lerin başından bu yana, çok sayıda ürün ve prosesi içine alan, seçilen referans sistemlerinin beşikten mezara veya beşikten kapıya kadar olan çevresel performansını inceleyen popüler bir çevresel etki belirleme aracıdır (Antoniadou vd., 2015).

LCA, 90'lı yılların başlarından beri inşaat sektöründe de kullanılan binalarının performanslarını değerlendirmek ve sürdürülebilir bina uygulamalarına ulaşmak için için önemli bir araçtır (Khasreen vd., 2009).

LCA dört aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- Hedef ve Kapsam Tanımı
- Envanter Analizi
- Etki Analizi
- Yorum

7.1.1. Hedef ve kapsamın belirlenmesi

Hedef ve kapsam LCA'nın ilk bölümü olmasıyla birlikte LCA sonuçlarını etkileyebileceğinden en önemli bölümdür. Bu aşamada, çalışma sahibi, çalışmanın amaçlarını, sınırlamalarını ve kısıtlamalarını oluşturur. Bir ürünün tam yaşam süresi veya bir üretim aşaması, sistem sınırlarının esas olarak tanımlanması gibi birçok önemli varsayımı belirler (Khasreen vd. 2009). Ana bileşenleri; hedef, kapsam, fonksiyonel birim, sistem sınırları, veri kalitesi ve kritik gözden geçirilmez (Curran, 2016).

Hedef: Çalışmanın amacı, uygulama tasarımı ve uygulama amacını kapsamlı bir şekilde ifade edebilmelidir ve şeffaflık esastır. Bir LCA çalışmasının amacı, amaçlanan çalışmayı yürütmek için gerekçeleri de içermek üzere, amaçlanan uygulamayı açık bir şekilde belirtmelidir. Bulgular sonucunda hedef yeniden tanımlanabilir olmalıdır (Çamur, 2010).

Kapsam: Sistemde kullanılacak değerlendirme yöntemleri ve sınırları içerir. Belirlenen hedefe doğru bir şekilde ulaşılabilmesi için iyi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Kapsam, çalışmanın yürütülmesi açısından iyi ve açık bir şekilde tanımlanmalıdır (Çamur, 2010).

Fonksiyonel Birim: ISO 14040 (2006) standardına göre, fonksiyonel birim (functional unit, fu), ürün sisteminin işlevsel çıktıların performansının bir ölçüsüdür. Fonksiyonel birimin temel amacı, girdi ve çıktıların ilişkili olduğu bir referans sağlamaktır. Bu referans, LCA sonuçlarının karşılaştırılabilirliğini sağlamak için gereklidir. Fonksiyonel birim, incelenen ürünü veya süreci uygun bir şekilde açıklar. Sistemin ürün ünitesinde sağladığı fonksiyonu yansıtır. Daha sonra çalışma amacı ile şekillendirilir (Curran,

2016). Fonksiyonel birim, girdi ve çıktı verileri ile ilişkili olmalı ve ölçülebilir olmalıdır (Çamur, 2010).

Sistem Sınırları: Sistem sınırları, tanımlanan model sonuçlarını büyük ölçüde etkileyebileceğinden, LCA modelleri için temel kriterler olarak düşünülmektedir (Gentil vd. 2010). Çalışma sınırlarının nasıl çizildiği, spesifik yaşam döngüsü analizinin nerede başladığı ve nerede bittiği ile tanımlanır ve teknik sistemde yer alan faaliyetleri tanımlar. Sistemin anlaşılabilir kılınması için genellikle bir akış diyagramı kullanılır (Curran, 2016). Sistem sınırları çalışmanın prosesini, girdi ve çıktıları tanımlamalıdır.

Genellikle bir ürün veya sistemin LCA'sı, aşağıdaki iki yaklaşımdan biri kullanılarak gerçekleştirilir:

- Beşikten mezara: Ürün veya hizmetin yaşam döngüsünü hesaba katarak, hammaddelerin çıkarılmasından ürünün bertaraf edilmesine kadar yapılan değerlendirme;
- Beşikten kapıya: Hammaddelerin çıkarılmasından tüketicilere ulaştırılmasına kadar yapılan değerlendirmedir (Schiavoni vd., 2016).

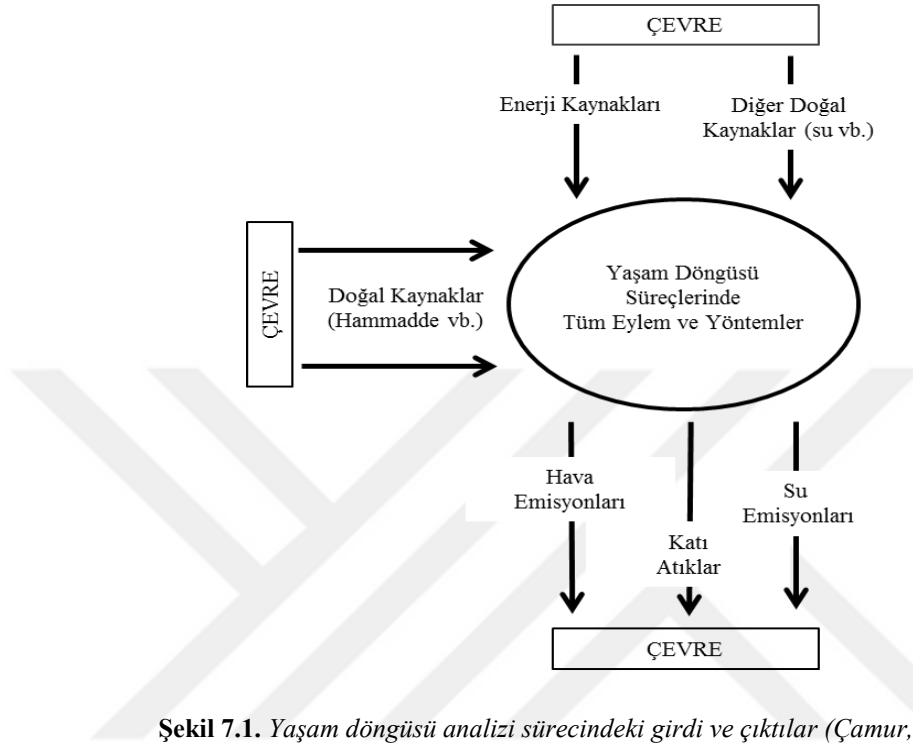
Veri Kalitesi: Veri kaynaklarının kalitesi, çalışmanın başarısını veya başarısızlığını belirlemek açısından çok önemlidir ve bazı durumlarda veriler çalışmayı yönlendirip kalite seviyesini belirleyeceğinden, en uygun verileri seçmek çok önemlidir (Khasreen vd., 2009). Veri kalitesi; veri yaşını, veri toplanan coğrafi alanı ve teknolojik veri karışımının niteliğini içermelidir (Çokaygil, 2005).

Kritik Gözden Geçirme: LCA metodunun standartlara uygunluğunu, bilimsel geçerliliği, verilerin uygunluğunu, belirlenen sınırların hedefi yansıtmamasını, çalışmanın şeffaflığını ve tutarlılığını değerlendirmek için kullanılır (Çokaygil, 2005).

7.1.2. Envanter analizi

LCA'nın ikinci adımı envanter analizidir (Khasreen vd., 2009). Yaşam döngüsü envanter analizi, ürünlerin yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında fiziksel materyal ve enerji akışları hakkında bilgi toplanmasını ve hesaplama prosedürlerini içerir (Sharma vd., 2011). Envanter analizi; veri toplama, sistem sınırlarının kesinleştirilmesi, hesaplama prosedürleri, verilerin kullanılabilirliği ve doğruluğu ve paylaşırma kısımlarını içermektedir (Baumann ve Tillman, 2004).

LCA sürecindeki tüm girdi ve çıktılarla (Şekil 7.1) ilgili toplanan ham verilerin fonksiyonel birim ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.1. Yaşam döngüsü analizi sürecindeki girdi ve çıktılar (Çamur, 2010)

Veri toplama: Enerjinin girdi-çıktısı ile ilgili tüm verileri ve hava, su ve toprağa salınan miktarları ve emisyonları içerir. Veri eksikliği, çalışmanın kapsamını ve/veya hedeflerini değiştireceğinden veri bütünlüğü çok önemlidir (Khasreen vd., 2009).

Sistem sınırlarının kesinleştirilmesi: LCA’da önemli sayılacak bazı alt bölümlerin eklenip eklenemeyeceğinin kararı verilir (Özdemir, 2013). Veri toplama ve diğer konular sistem sınırlarının değişmesine yol açabileceğinden, sistem sınırları envanter aşamasına da bağlıdır (Khasreen vd., 2009).

Hesaplama prosedürleri: Hesaplama prosedürleri beş adımda gerçekleştirilir. İlk adımda veriler normalleştirilir. Yani faaliyetin giriş ve çıkışları birbirleriyle ilişkilendirilir. İkinci adımda fonksiyonel birimi temsil eden referans akışlar hesaplanır. Üçüncü adımda fonksiyonel birimi temsil eden akışla ilgili olarak yine sistem sınırından geçen akışlar hesaplanır. Dördüncü adımda tüm sistem için kaynak kullanımı ve çevreye olan emisyonlar toplanır. Son adımda ise hesaplamalar raporlanır (Baumann ve Tillman, 2004).

Verilerin kullanılabilirliği ve doğruluğu: Verilerin doğrulanması, toplanan verilerin geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Veriler diğer veri kaynaklarının kütle ve enerji dengeleri ile karşılaştırılarak kontrol edilir. Verinin kullanım amacı için uygun olup olmadığı da önemlidir. Veriler doğru teknoloji türünü temsil ediyor mu? Veriler kullanılacak kadar güncel mi? Sorularına cevap verebilmelidir (Baumann ve Tillman, 2004).

Paylaştırma: Ele alınan ürünün/hizmetin yanısıra bir yan ürün/hizmet oluşma durumu da varsa, LCA sonucunda bulunan çevresel etkilerin ne kadarının asıl çalışılan ürün/hizmetten kaynaklandığının belirlenmesidir. Sistem sınırları ne kadar genişse, paylaştırma ihtiyacı o kadar az olur ve bazı durumlarda, özellikle çoklu ürün olmadığı durumlarda ve sistem sınırları çok geniş olduğunda (örneğin beşikten mezara), paylaştırmaya gerek yoktur (Khasreen vd., 2009).

7.1.3. Etki değerlendirme

Yaşam döngüsü etki değerlendirme (LCIA), çalışmanın amacı ve kapsamı çerçevesinde envanter analizine dayalı çevresel etkileri anlamayı ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Roy, 2009). Malzeme ve enerji akışlarının çevresel etkilerinin farklı çevresel etki kategorilerine tahsis edilmesini, karakterizasyon faktörünü, farklı çevresel göstergeler için bileşenlerin her birinin katkısını hesaplamak için kullanılır (Sharma vd., 2011). Yaşam döngüsü etki değerlendirme, kategori tanımlama, sınıflandırma, karakterizasyon ve değerlendirme/ağırlıklandırma olmak üzere dört kısımdan oluşmaktadır.

Kategori Tanımı: Etki kategorisinin alt aşamalarından ilkidir. Envanter analizi sırasında hangi bilgilerin toplanacağını temel alır (Baumann ve Tillman, 2004). Hedef ve kapsam belirleme aşamasında alınan kararların takibidir. Etki kategorileri, dikkate alınan ürünlerin veya ürün sistemlerinin neden olduğu etkileri tanımlamak için seçilir (Çokaygil, 2005). Etki kategorileri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Etki kategorileri (Baumann ve Tillman, 2004).

Etki kategorileri	
Girdilerle ilgili olanlar	Çıktılarla ilgili olanlar
• Abiyotik kaynaklar • Biyotik kaynaklar • Arazi kullanımı	• Küresel ısınma • Stratosferik ozon tüketimi • Ekotoksikolojik etkiler • İnsan toksisitesi • Fotokimyasal oksidan oluşumu • Asidifikasyon • Ötröfikasyon • Koku • Gürültü • Radyasyon

Sınıflandırma: Sınıflandırma, envanter analizinde toplanan verilerin, ortak etki gruplarına atama ve ilk agregasyonu sürecidir (Roy, 2009). Etki değerlendirmesinde envanter girdi ve çıktıların kategorileştirilmesini içeren ikinci basamaktır.

Karakterizasyon: Karakterizasyon, her bir envanter akışının potansiyel etkilerinin büyüklüğünün, ilgili çevresel etkilerine göre (örneğin, karbon dioksit ve metanın küresel ısınmaya olan potansiyel etkisini modellemek) değerlendirilmesidir (Roy, 2009). Etki değerlendirmesinin envanter girdi ve çıktıların içinde toplayan üçüncü basamağıdır. Girdi ve çıktıların etkileri bilimsel analizlere dayanan nicel verilerle ifade edilir (Çokaygil, 2005). Etki kategorileri aşağıda açıklanmaktadır:

Küresel ısınma: Fosil kaynak tüketimi ve artan endüstriyel faaliyetler sonucu atmosfere yayılan sera gazlarının iklimde önemli derecede değişikliklere neden olması olarak tanımlanabilir. Küresel ısınma, ısıyım yolu ile yayılan sera gazlarının alt atmosferde birikmesiyle etkisini gösterir. Küresel ısınma potansiyeli CO₂ eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Çamur 2010).

Ozon tabakasının tüketimi: Ozon tabakasının zarar görmesi veya delinmesine sebebiyet veren maddelerin yarattığı hasardır. Bu maddelere örnek olarak Klorofluorokarbon (CFC-11) ve Hidroklorofluorokarbon (HCFC-142b) gazları verilebilir (Çamur, 2010).

Ekotoksosite: Çevrede yaşayan tüm canlıların toksisiteye maruz kalmasıdır. Maruziyet, su, hava veya toprak yoluyla olabilir. Zarar veren bu maddelere örnek olarak toprak için 2,4-D (2,4-diklorofenoksi-asetik asit), hava için arsenik, su için de kadmiyum iyonu verilebilir. Ekotoksosite potansiyeli, kg 1,4-DB (diklorobenzen) eşdeğeri olarak ifade edilir (Çokaygil, 2005).

İnsan Toksisitesi: Solunum, kanserojen ve radyasyon gibi insan sağlığını olumsuz etkileyen hastalığa sebep veren tahribatlardır. Bu değer de, kg 1,4-DB eşdeğeri olarak ifade edilir (Çokaygil, 2005).

Fotokimyasal oksidasyon: Fotooksidantlar, güneş ışığının varlığında NO_x ve hidrokarbonlardan alt atmosferde oluşan ikincil kirleticilerdir. Bu maddeler, aynı zamanda solunum sistemi tahrişleri, bitki örtüsüne zarar verme gibi etkileri gibi sağlık sorunlarının bir nedeni olan, yaz sisi veya Los Angeles sisi olarak da bilinen fotokimyasal sisin karakteristiğidir (Baumann ve Tillman, 2004). Fotokimyasal oksidasyon potansiyeli kg C_2H_4 eşdeğeri olarak ifade edilir.

Asidifikasyon: Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazların doğal alana (hava, su ve toprak) salımı ile oluşmaktadır. Bu gazlara SO_2 , NO_x ve HCl örnek verilebilir. Asidifikasyon potansiyeli kg SO_2 eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Çamur, 2010).

Ötröfikasyon: Sudaki oksijen miktarını düşüren ve canlıların yaşamını olumsuz etkileyecek besin maddesi birikmesi olayı olarak tanımlanabilir. Ötröfikasyon potansiyeli O_2^- veya PO_4 eşdeğeri ile ifade edilmektedir (Çamur, 2010).

Abiyotik kaynakların tüketimi: Enerji ihtiyacının doğurduğu insanın bilinçsiz tüketimleridir. Doğalgaz, kömür, bakır ve alüminyum örnek verilebilir. Abiyotik kaynakların tüketimi potansiyeli, kg Sb eşdeğeri ve MJ olarak ifade edilir (Çokaygil, 2005).

Biyotik kaynak tüketimi: Türlerin yok olma risklerini kapsamaktadır. Odun ve balık örnek verilebilir (Çokaygil, 2005).

Değerlendirme/Ağırlıklandırma: Ağırlıklandırma, çevresel etkinin göreceli öneminin diğerlerine göre ağırlıklandırıldığı niteliksel veya niceliksel işlem olarak tanımlanabilir. Farklı etki kategorilerinin nispi ağırlıkları, ağırlık faktörleri ile ifade edilir (Baumann ve Tillman, 2004).

7.1.4. Yorum

Yaşam döngüsü yorumu, hem yaşam döngüsü envanter analizi hem de yaşam döngüsü etki değerlendirmesinden elde edilen sonuçların yorumlanmasıyla ilgilidir. Önemli konuların tanımlanmasını ve sonuçların değerlendirilmesini içerir (Sharma vd. 2011). Sonuçları analiz etme, sınırlamaları açıklama, LCA veya LCI çalışmasının önceki aşamalarının bulgularına dayanarak öneriler sağlama ve yaşam döngüsü yorumunun sonuçlarını şeffaf bir şekilde raporlama amacı taşımaktadır. Yaşam döngüsü yorumlaması, aynı zamanda, çalışmanın amacı ve kapsam tanımına uygun olarak, bir LCA veya bir LCI çalışmasının sonuçlarının kolayca anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı bir sunumunu sağlamayı amaçlamaktadır (Khasreen vd. 2009).

7.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İle İlgili Çalışmalar

Schmidt vd., (2004a) tarafından yapılan çalışmada, taş yünü, kağıt yünü ve ketenden yapılan yalıtım malzemelerinin karşılaştırmalı LCA'sı için fonksiyonel birim ve sistem sınırları belirlenmiştir. Her ürün için 50 yıl kullanım süresinde 1 m²K/W'lık bir ısı direnç sağlamak için gerekli referans akış, kg cinsinden, seçilmiştir (taş yünü için 1,184 kg, kağıt yünü için 1,280 kg ve keten yalıtım malzemesi için de 1,260 kg). Sistem sınırları “beşikten mezara” olarak belirlenmiştir.

Schmidt vd., (2004b), yaptıkları bir diğer çalışmada taş yünü, kağıt yünü ve ketenden yapılan yalıtım malzemelerinin karşılaştırmalı LCA'sını ele almışlardır. Küresel ısınma, asidifikasyon, katı atık oluşumu, fosil yakıt tüketimi, elektrik tüketimi ve toplam enerji tüketimi incelendiğinde en fazla etkinin ketenden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. Fotokimyasal ozon oluşumu, tehlikeli atık oluşumu ve yenilenebilir yakıtların tüketimi incelendiğinde ise en fazla etkinin kağıt yününden kaynaklandığı görülmüştür. Çalışmanın sonucuna göre en az etkinin taş yününden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Ardente vd., (2008)'nin yaptıkları çalışma, bir polyester matrisine dahil edilen kenaf bitkisel lifler tarafından imal edilen bir elyaf takviyeli kompozit yalıtım malzemesinin LCA çalışmasını içermektedir. Fonksiyonel birim 1 R (ısı direnç) (m²K/W) sağlayan yalıtım levhası kütlesi (kg) olarak tanımlanmış ve 1,52 kg olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemesinin enerji ve çevresel etkileri diğer yalıtım malzemeleriyle (taş yünü, cam yünü, kağıt yünü, keten ruloları, poliüretan ve mineral yünü) karşılaştırılmıştır. Böyle bir karşılaştırma, en yüksek etkilerin sentetik

malzemelerden kaynaklandığını ve mineral yünün daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Enerji geri kazanımı ile elektrik üretimi uygulandığında, küresel enerji gereksinimlerini 59,4 MJ' den 17,2 MJ 'e inebileceği gözlemlenmiştir. Geri dönüştürülmüş malzemelerin üretim prosesine dahil edilmesi ya da kenaf bitkilerinin yerel üretimine dahil edilmesiyle de daha da azalma elde edilebileceği belirtilmiştir.

Çamur (2010), EPS ve taş yününün çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir LCA çalışması gerçekleştirmiştir. Fonksiyonel birim 1 R (ısıl direnç) (m^2K/W) sağlayan yalıtım levhası kütlesi (kg) olarak tanımlanmış ve EPS için 0,64 kg ve taş yünü için 6 kg olarak belirlenmiştir. Sistem sınırları beşikten kapıya şeklindedir. EPS ve taş yünü çevresel etki sınıflarından; asidifikasyon, ötröfikasyon, küresel ısınma, fotokimyasal oksidasyon, insan toksisitesi, toplam enerji tüketimi ve atık oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde tüm etki kategorilerinde taş yününün EPS'den daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Etki kategorilerinde her iki malzeme için en önemli çevresel etkinin küresel ısınma olduğu tespit edilmiştir.

Alkaya vd., (2012)'nin, yaptıkları çalışma cam yünü, taş yünü, EPS, XPS ve PUR malzemelerinin hammadde temini, üretim aşaması ve bertarafına kadarki çevresel etkilerinin LCA çalışmalarını içermektedir. Taş yününün, cam yününün, XPS, EPS ve PUR'un etki değerlendirmesi incelendiğinde elektrik tüketiminin belirgin düzeyde yüksek olduğu belirlenmiştir. Küresel ısınmaya etkinin ise üretimden kaynaklandığı ve en yüksek değerin XPS ve EPS yalıtım malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Pargana vd., (2014)'nin, yaptıkları çalışma Portekiz'de sık kullanılan yalıtım malzemeleri olan XPS, EPS, PUR, ICB ve genişletilmiş hafif kil agregalarının (LWA) LCA çalışmasını içermektedir. Sistem sınırları “beşikten kapıya” seçilmiştir. Fonksiyonel birim 1 R (ısıl direnç) (m^2K/W) sağlayan yalıtım levhası kütlesi (kg) olarak tanımlanmıştır. EPS'nin, tüm etki kategorilerine düşük bir katkı sağladığı ve bu nedenle alternatiflerine oranla daha iyi bir çevresel performansa sahip olduğu belirtilmiştir. ICB, ICB üretiminin fosil yakıtların düşük tüketimini içerdiğini belirten yenilenemeyen birincil enerjinin tüketimi, (PE-NRe), küresel ısınma potansiyeli (GWP) ve abiyotik tükenme potansiyeli (ADP) etki kategorilerine düşük katkı sağladığı tespit edilmiştir. PUR'un, tüm etki kategorilerine nispeten düşük bir katkı yaptığı belirtilmiştir. Çevresel etkilerin büyük bir kısmı, bu bileşenlerin üretimi nedeniyle

hammadde aşamasında görülmektedir. XPS, küresel ısınma potansiyeli ve fotokimyasal ozon yaratma potansiyeline (POCP) göre PUR' a benzer bir çevresel profil sunmaktadır. İkinci XPS için değerlendirilen tüm materyallerin en kötü performansını sunmaktadır, ancak LWA'nın küresel ısınma potansiyeli üzerinde daha yüksek etkisi olduğu belirtilmiştir. XPS, küresel ısınma potansiyeli ve POCP'ye göre PUR'a benzer bir çevresel profil sunduğu görülmüştür. İkinci XPS için değerlendirilen tüm materyallerin en kötü performansını sunarken LWA'nın, küresel ısınma potansiyeli üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu görülmüştür. LWA, üretim aşamasında büyük ölçüde fosil yakıt tüketimi nedeniyle değil, aynı zamanda fonksiyonel birimi ile ilişkili yüksek referans akışından dolayı, sekiz çevresel etki kategorisinin altısında en büyük katkıya sebep olmuştur.

Dylewski ve Adamczyk (2014)'ün yaptıkları çalışma EPS, EPS sıva, bims granül sıva, mineral yün, PUR ve ekofiber yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi için uygulanan LCA çalışmasını içermektedir. Fonksiyonel birim 1 m³ malzeme olarak belirlenmiştir. SimaPro 7.1 yazılımı ve Eco Indicator 99 yöntemi kullanılmıştır. Isı yalıtım malzemeleri arasında çevre üzerindeki en yüksek etki hem insan toksisitesi hem de hammadde kullanımından kaynaklı, PUR'da çıkmıştır. Ayrıca, ekofiber ısı yalıtımı için, bir ısı kaynağı olarak kullanılan elektrikli enerji kazanıyla, 1 € 'luk bir harcama ile 1,05 Pt'lik (1 Pt değeri, Avrupa'da bir kişi için 103 yıllık çevresel yükü temsil eder) çevresel yükte bir azalma elde edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Antoniadou vd., (2015)'nin yaptıkları çalışma, mevcut ısı yalıtım malzemelerinin iyileştirilerek yaz aylarında soğutma yüklerine katkıda bulunmasını içermektedir. Fonksiyonel birim emisyon/kg ısı yalıtım malzemesi üretimidir. Çalışmada CML Baseline 2000 ve Eko indikatör 95 metotları kullanılmıştır. XPS için GEMIS ve SimaPro yazılımları kullanılmıştır. XPS'in ısıtma yüklerinin azaltılmasında son derece etkili olduğu belirlenmiştir.

Saadatian vd., (2016) yaptıkları çalışmaya göre 50 yıl kullanım ömrü ve 1 m² fonksiyonel birimi ele alan geliştirilmiş EPS, XPS ve PUR malzemelerinin CML 2000 metodu kullanılarak LCIA ve Yaşam Döngüsü Maliyet (LCC) analizi gerçekleştirilmiştir. Fonksiyonel birim 1 R (ısıl direnç) (m²K/W) sağlayan yalıtım levhası kütlesi (kg) olarak tanımlanmıştır. Fonksiyonel birim için aynı kalınlıktaki EPS

(1 kg), XPS (1,2 kg) ve PUR (1,4 kg)'un ağırlıkları seçilmiştir. Üretim için gerekli enerji ihtiyacı ve küresel ısınmaya en fazla etkiye sahip olan malzemenin XPS olduğu görülmüştür. LCC açısından, EPS ve PUR'un uygulanmasının XPS ile kıyaslandığında daha fazla fayda sağladığı sonucuna varılmıştır.

Kono vd., (2016) yaptıkları çalışmada selüloz lif, fiber levha, cam köpüğü, taş yünü, VIP ve PUR ısı yalıtım malzemelerinin eko-verimliliğinin geliştirilmesi için gerekli faktörleri incelemişlerdir. Fonksiyonel birim kg cinsinden alınmıştır. Sistem sınırları beşikten mezara olarak belirlenmiştir. Fiber levhada hem ısı hem de elektrik için yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında 1,41 kat daha yüksek enerji verimliliği elde edilmiştir. Cam köpüğünde ise 1,72 kat verimlilik artışı gözlenmiştir.

Su vd., (2016) yaptıkları çalışma, sekiz farklı bina yalıtım malzemesinin yaşam döngüsü envanterini ve Monte-Carlo tabanlı bir belirsizlik analizini içermektedir. Pratikte yaygın olarak kullanılan bina yalıtım malzemelerinin EPS, XPS, polistiren parçacıkları (PP), Poliüretan (PU), mineral yünü (MW), cam yünü (GW), cam köpüğü (FG) ve fenol formaldehit (PF) dahil olmak üzere bu çalışmada 8 türü LCA'ya tabi tutulmuştur. Fonksiyonel birim 1 R (ısı direnci) (m^2K/W) sağlayan yalıtım levhası kütlesi (kg) olarak tanımlanmıştır. Sonuçlar, belirsizlik göz önüne alınmadan, FG'nin en büyük yaşam döngüsü enerji tüketimine ve en büyük CO₂ salınımına sahip olduğunu, PF'nin ise en az olduğunu göstermiştir. En yaygın kullanılan üç bina yalıtım malzemesi (PU, EPS ve XPS) arasında yaşam döngüsü birincil enerjisinde önemli bir fark olmadığı belirtilmiştir. Ancak, belirsizlik göz önüne alındığında, GW ve MW, yaşam döngüsü birincil enerjisinde en büyük belirsizliğe sahipken, FG analiz sonuçlarının belirsizliğinin nispeten daha küçük olduğu tespit edilmiştir. PF'nin ise en az birincil enerjiyi tüketen PU, EPS ve XPS'den çok daha çevre dostu olduğu belirlenmiştir.

7.3. Isı Yalıtım Malzemesinin LCA Analizi

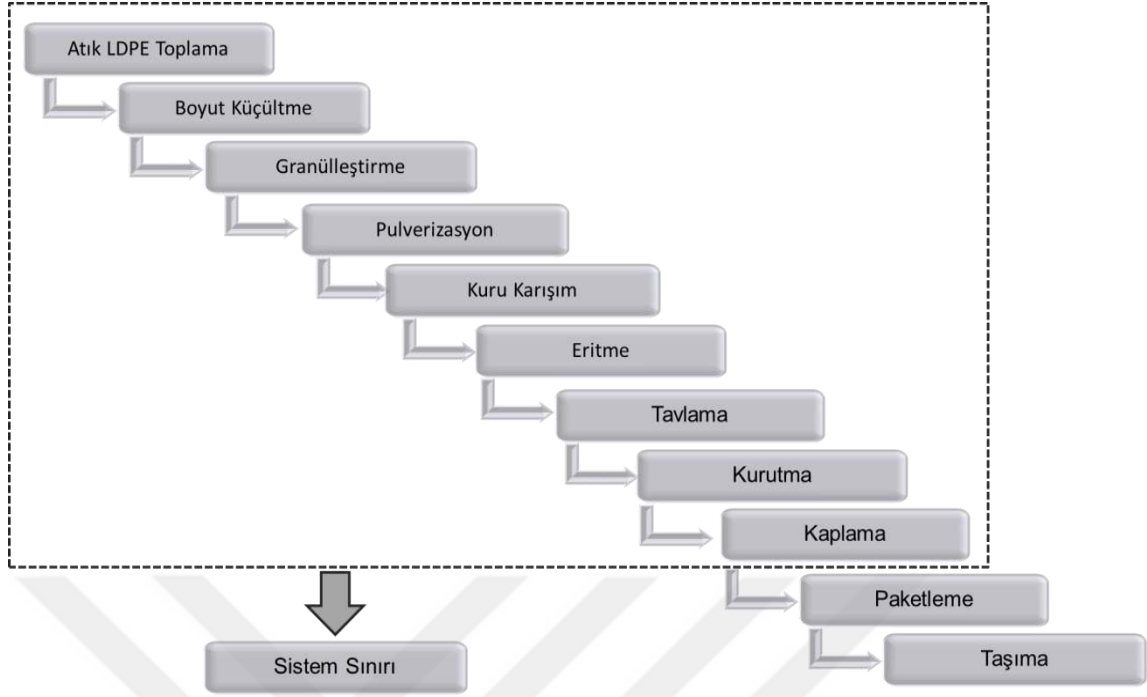
Bu bölümde, atık LDPE'lerden (düşük yoğunluklu polietilen) üretilen ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkileri ve ticari ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırılması amacıyla LCA analizi yapılmıştır. Bu LCA çalışması ISO 14040/ISO 14044'e uygun olarak amaç ve kapsam, yaşam döngüsü envanteri, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve genel değerlendirme olmak üzere dört bölümde irdelenmiştir.

7.3.1. Hedef ve kapsamın tanımı

Bu çalışmanın hedefini, atık LDPE ambalajlardan üretilmiş olan ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkilerinin LCA yoluyla belirlenmesi ve atık LDPE'nin piyasada en çok tercih edilen ticari ısı yalıtım malzemeleri olan, şişirme ajanı olarak karbondioksit (CO₂) kullanılan XPS (CO₂) ve şişirme ajanı olarak hidroflorokarbon (HFC) kullanılan XPS (HFC-152a)'in çevresel etkileriyle karşılaştırma oluşturmaktadır. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için öncelikle fonksiyonel birim belirlenmiştir. Isı yalıtım malzemesinde fonksiyonel birim belirlenmesinde ilk olarak geleneksel malzemeler için kullanılan birim kütle akla gelmektedir. Ancak, yalıtım malzemesinin temel hedefi bina ısıl direncini arttırmaktır. Bu açıdan, fonksiyonel birimin belirlenmesi için konuyla ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmaların çoğunda, fonksiyonel birim (fu) için Avrupa İnşaat Malzemeleri Üreticileri Birliği'nin (CEPMC) önermiş olduğu, 1 m²K/W ısıl direnç R değerinin ve referans akış olarak da bu değeri sağlayan yalıtım levhasının kütesinin (kg) kullanıldığı görülmüştür (Schmidt vd, 2004a; Ardente vd., 2008; Pargana vd., 2014; Su vd., 2016; Schiavoni vd., 2016). Bu çalışmada da **fonksiyonel birim R = 1 m²K /W** olarak seçilmiştir. Bu fonksiyonel birimi veren referans akışın hesabında ise Denklem 7.1 kullanılmıştır.

$$\text{Referans akış} = A \cdot \lambda \cdot R \cdot \rho \quad (\text{Denk. 7.1})$$

Burada, A, bir birim alanı (1 m²); λ malzemenin termal iletkenliğini (W/m·K); R bir birim ısıl direnci (1 m²·K/W) ve ρ malzemenin yoğunluğunu (kg/m³) göstermektedir. Denklem 7.1'e göre **referans akış 16,84 kg ısı yalıtım malzemesi** olarak belirlenmiştir. Sistem sınırları hammadde temini ve üretim sürecini kapsayan, “beşikten kapıya” şeklinde oluşturulmuştur. Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin LCA analizi sistem sınırları Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin sistem sınırı

7.3.2. Envanter analizi

LCA çalışmasında deneysel aşamada kullanılan malzeme ve enerji miktarları “ön plan verisi”, bu malzemelerin ve kullanılan elektrik enerjisinin üretilmesine dair veriler ise “arka plan verisi” olarak tanımlanmıştır. Ön plan verileri Çizelge 7.2’de verilmiş, arka plan verileri olan Türkiye’nin elektrik profil verileri, sitrik asit ve sodyum bikarbonatın üretim verileri veri tabanında olmadığı için aşağıda verilen bilgilere göre oluşturulmuştur.

Yaşam döngüsü envanteri arka plan verileri SimaPro 8.5.0.0 PhD yazılımında bulunan ecoinvent3 veritabanından elde edilmiştir. Çalışmada elektrik enerjisi ile ilgili veriler, Günkaya ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiş olup Türkiye’nin 2018 yılı Temmuz sonu elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı %30,5 doğal gaz, %22,7 hidroelektrik, %36 kömür (başlıca taş kömürü, ithal kömür ve linyit), %6,2 rüzgar, %2,3 jeotermal şeklindedir ([http-9](http://9)).

Sitrik asit [77-92-9] veya 2-hidroksi-1,2,3-propanetrikarboksilik asit, ticari olarak şeker fermantasyonu ile üretilir. Sitrik asit üretmek için kullanılan ham maddeler arasında melas (çoğunlukla pancar), sakkaroz, dekstroz (çoğunlukla mısır, buğday veya tapyoka) ve rafine edilmemiş tatlı patates bulunur (Krewer, 2008). Bu tez çalışmasında

da, Shahabi vd. (2015)'nin yaptığı LCA çalışmasında olduğu gibi sitrik asit yerine şeker üretimi kullanılmıştır.

Sodyum bikarbonat yerine ise Pubchem veritabanından edinilen bilgiye göre sodyum karbonat kullanımı uygun görülmüştür (<http-10>).

Ham LDPE temini İzmir'deki bir firmadan yapılmıştır. Taşıma verileri için İzmir Eskişehir arası karayolu mesafesinin 415 km olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 7.2. Deneyisel çalışmayla ilgili veriler (referans akış bazında)

Veriler	Miktar /Değer
Girdiler	
Atık LDPE	15,16 kg
Ham LDPE	1,68 kg
Sodyum bikarbonat (NaHCO ₃)	8,42 kg
Sitrik Asit (C ₆ H ₈ O ₇)	8,42 kg
Sıvı Azot	0,19 kg
Atık Kil	5,94 kg
Borik Asit (H ₃ BO ₃)	5,94 kg
Enerji tüketimi	
Ekstrüzyon	100,59 kWh
Pulverizasyon	30,88 kWh
Tavlama (Etüv kullanımı)	0,93 kWh
Ultrasonik işlem	0,08 kWh
Taşıma	
Taşıma (İzmir-Eskişehir)	0,7 t.km
Çıktılar	
CO ₂	4,46 kg
Sıvı azot	0,19 kg

7.3.3. Etki değerlendirme

Atık LDPE'den üretilen ısı yalıtım malzemesinin hammadde temini ve üretimiyle ilgili çevresel etkileri Simapro 8.5.0.0 PhD yazılımı CML-IA baseline yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemeleri için Ürün Kategori Kurallarına (Product Category Rules, PCR 2014:13- Version 1.0, Thermal insulation products) göre ele alınan etki kategorilerini ise elementel bazda abiyotik kaynakların tükenmesi (ADP_e), fosil yakıt bazlı abiyotik kaynakların tükenmesi (ADP_{ff}), asidifikasyon, küresel ısınma potansiyeli (GWP), ozon tabakasının tükenmesi potansiyeli (ODP), fotokimyasal oksidasyon potansiyeli (POP), asidifikasyon potansiyeli (AP) ve ötrofikasyon potansiyeli (EP)

oluşturmuştur. Üretilen malzemenin çevresel etkileri, ticari ısı yalıtım malzemeleri olan Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂)'in çevresel etkileri ile karşılaştırılmıştır. Ode Yalıtım XPS (HFC-152a) ve Danopren XPS (HFC)'nin beşikten mezara LCA sonuçlarına sırasıyla S-P-00672 no'lu (The International Epd System, 2016) ve S-P-00501 no'lu (The International EPD System, 2015) Çevresel Ürün Beyanlarından (Environmental Product Declaration, EPD) ve Exiba XPS (CO₂)'nin LCA sonuçlarına ise EPD-EXI-20140155-IBE1-EN no'lu (Institut Bauen und Umwelt e.V., (2014) EPD'den erişilmiştir. Ticari ısı yalıtım malzemelerinin Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) referans akışları sırasıyla 1,13 kg, 1,08 kg ve 1,18 kg'dır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 7.3'te verilmiştir. Karşılaştırılan ürünlerin karakterizasyon sonuçlarının etki kategorileri bazında dağılımları ise Görsel 7.1'de sunulmuştur.

7.3.4. Yorum

Karşılaştırma sonuçları Çizelge 7.3 ve Görsel 7.1 birlikte incelenerek etki kategorileri bazında detaylı olarak incelenmiştir.

ADP_e: Atık LDPE, Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında oluşan elementel bazlı abiyotik kaynakların tüketimi sırasıyla 7,70E-06 kg Sb ed., 4,73E-06 kg Sb ed., 1,46E-06 kg Sb ed., ve 4,29E-06 kg Sb ed., olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atıktan üretilmiş ısı yalıtım malzemesinin en büyük değere sahip olmasının ana sebebi %45,9 ile sodyum karbonat kullanımı kaynaklıdır.

ADP_{ff}: Atık LDPE, Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında oluşan fosil yakıt bazlı abiyotik kaynakların tüketimi sırasıyla 28,14 MJ, 110 MJ, 88,2 MJ ve 274 MJ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atıktan üretilmiş ısı yalıtım malzemesinin en küçük değere sahip olmasında, üretim aşamasında atık LDPE kullanılması etkili olmuştur. Diğer yandan fosil yakıt kullanımından kaynaklı elektrik tüketimi atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin ADP_{ff} etkisini arttıran başlıca etmen olmuştur.

GWP: Isı yalıtım malzemelerinin küresel ısınma potansiyelleri karşılaştırıldığında, atık LDPE ısı yalıtım malzemesi için 7,16 kg CO₂ ed., Ode Yalıtım XPS (HFC-152a) için 5,09 kg CO₂ ed., Danopren XPS (HFC) için 3,98 kg CO₂ ed. ve

Exiba XPS (CO₂) için de 9,44 kg CO₂ ed. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atıktan üretilen ısı yalıtım malzemesinin küresel ısınma etkisinin diğer iki ısı yalıtım malzemesinden daha yüksek değere sahip olmasının sebebi, 7,11 kg CO₂ ed. ile elektrik kullanımından kaynaklıdır. Elektrik tüketiminin yüksek çıkmasının sebebi, Türkiye'deki elektrik üretiminde büyük rol oynayan fosil yakıt kullanımından kaynaklı karbondioksit salımıdır. Ode yalıtım EPD verilerine göre bu etki kategorisinde çevresel etkiler üzerinde %70 oranında hammadde temini, %13 oranında üretim aşaması ve %10 oranında karbon emisyonları etkili olmuştur (The International Epd System, (2016)).

ODP: Atık LDPE, Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında oluşan etkiler sırasıyla 1,74E-07 kg CFC-11 ed., 1,48E-07 kg CFC-11 ed., 9,15E-08 kg CFC-11 ed. ve 1,25E-09 kg CFC-11 ed. olarak hesaplanmıştır. Atıktan üretilmiş ısı yalıtım malzemesinin en büyük değere sahip olmasının sebebi %54,11 ile elektrik kullanımı kaynaklı metan-bromoklorodiflorodur. Exiba EPD verilerine göre bu etki kategorisinde en fazla etki XPS üretimi sırasında kullanılan elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır (>%50) (Institut Bauen und Umwelt e.V., (2014)).

POP: Fotokimyasal oksidasyon kategorisinde atık LDPE ısı yalıtım malzemesi, Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) için sırasıyla 1,35E-02 kg C₂H₄ ed., 1,30E-03 kg C₂H₄ ed., 9,39E-04 kg C₂H₄ ed., 2,29E-02 kg C₂H₄ ed. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin fotokimyasal sise etkisinin Türkiye'deki elektrik üretiminde büyük rol oynayan doğalgaz kaynaklı CO₂ (%77,1) salımına sebep olan elektrik kullanımından olduğu bulunmuştur. Bunu linyit kömürü tüketiminden kaynaklı SO₂ (%21,4) takip etmektedir. Exiba EPD verilerine göre bu etki kategorisinde üretim sürecinde şişirici maddelerin emisyonları, % 85'lik orana sahiptir (Institut Bauen und Umwelt e.V., (2014)).

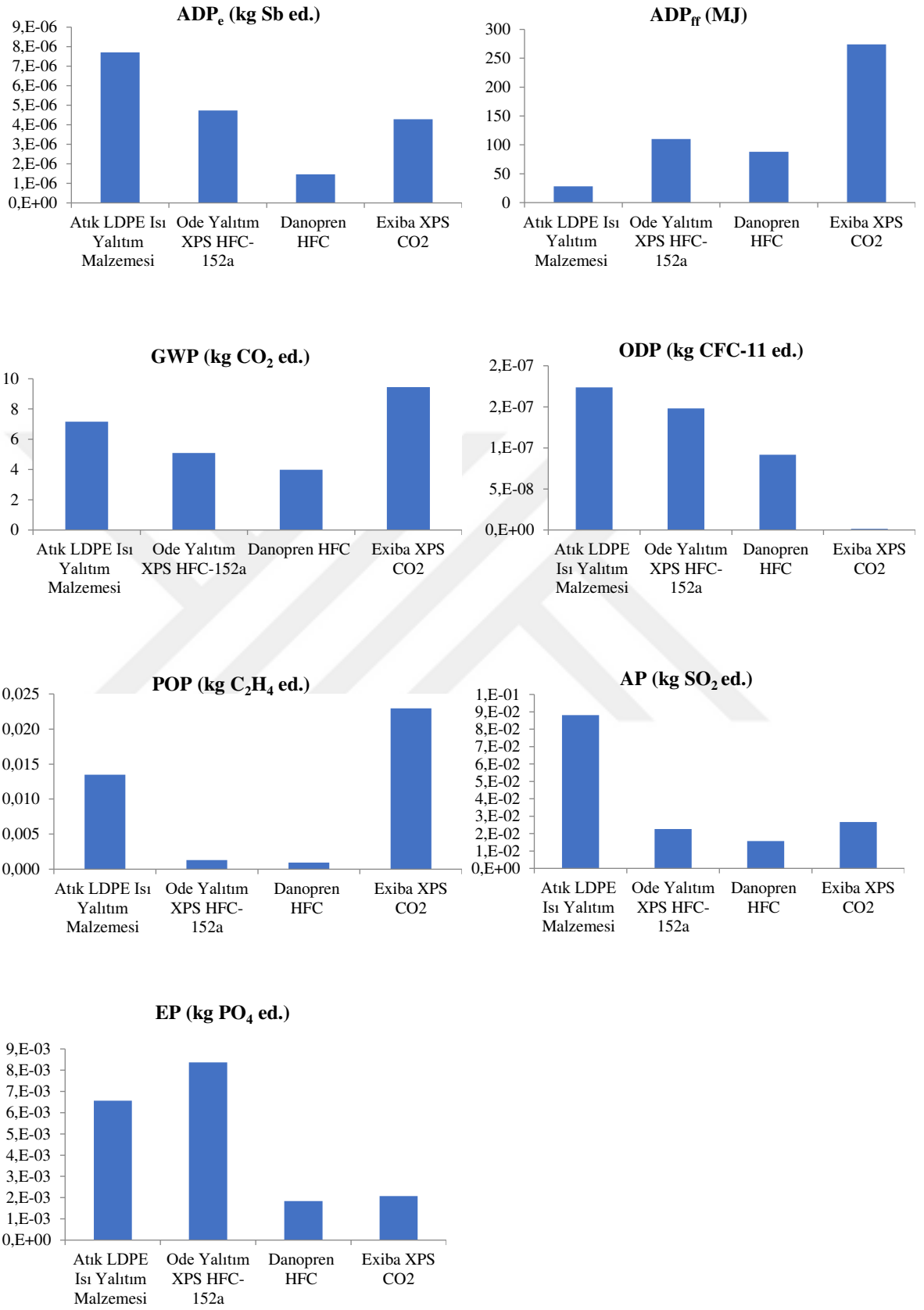
AP: Asidifikasyon potansiyeli kategorisinde ısı yalıtım malzemeleri karşılaştırıldığında; atık LDPE ısı yalıtım malzemesi için 8,82E-02 02 kg SO₂ ed., Ode Yalıtım XPS (HFC-152a) 2,26E-02 kg SO₂ ed., Danopren XPS (HFC) için 1,57E-02 kg SO₂ ed. ve Exiba XPS (CO₂) için de 2,66E-02 kg SO₂ ed. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atıktan üretilen ısı yalıtım malzemesinin daha yüksek değere sahip olmasının sebebi elektrik kullanımından kaynaklı linyit kömürü yanması sonucu açığa çıkan SO₂ (%85,63) salımıdır. Bunu, ithal kömürü yanması sonucu açığa çıkan

NO_x'lerin (%6,02) salımı takip etmektedir. Exiba EPD verilerine göre bu etki kategorisinde en fazla etki XPS üretimi sırasında kullanılan elektrik tüketimidir (%25). Elektrik tüketiminin asidifikasyon potansiyeline etkisinin nedenleri ise, enerji üretimi için fosil yakıtların yanması sonucu oluşan azot oksit ve kükürt oksit emisyonlarıdır (Institut Bauen und Umwelt e.V., (2014)).

EP: Ötröfikasyon potansiyeline olan etkiler incelendiğinde atık LDPE ısı yalıtım malzemesi, Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) için sırasıyla 6,57E-03 kg PO₄ ed., 8,37E-03 kg PO₄ ed., 1,84E-03 kg PO₄ ed., 2,07E-03 kg PO₄ ed., olarak hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin ötröfikasyon potansiyeline olan etkisinin linyit bertarafı kaynaklı fosfat (%35,9) ve NO_x'lerin (%28,24) salımına sebep olan elektrik kullanımından olduğu bulunmuştur. Ode yalıtım EPD verilerine göre bu etki kategorisinde çevresel etkiler üzerinde %34 oranında hammadde temini ve %31 oranında üretim aşaması etkili olmuştur (The International Epd System, (2016)).

Çizelge 7.3. Yalıtım malzemelerinin karakterizasyon sonuçları

Etki Kategorileri	Birim	Atık LDPE ısı yalıtım malzemesi	Ode Yalıtım XPS (HFC-152a)	Danopren XPS (HFC)	Exiba XPS (CO ₂)
ADP _e	kg Sb ed.	7,70E-06	4,73E-06	1,46E-06	4,29E-06
ADP _{ff}	MJ	28,14	110	88,2	274
GWP	kg CO ₂ ed.	7,16	5,09	3,98	9,44
ODP	kg CFC-11 ed.	1,74E-07	1,48E-07	9,15E-08	1,25E-09
POP	kg C ₂ H ₄ ed.	1,35E-02	1,30E-03	9,39E-04	2,29E-02
AP	kg SO ₂ ed.	8,82E-02	2,26E-02	1,57E-02	2,66E-02
EP	kg PO ₄ ed.	6,57E-03	8,37E-03	1,84E-03	2,07E-03



Görsel 7.1. Yalıtım malzemelerinin karakterizasyon sonuçlarının etki kategorileri bazında dağılımları

8. SONUÇ

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve hızlı tüketim ihtiyacı, bir yandan yaşam koşullarımızı iyileştirirken diğer yandan çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu tür gelişmeler hem atık oluşumuna sebep olmakta, hem de enerji ihtiyacı doğurmaktadır. Atıkların yaklaşık %32'si plastiklerden oluşturmaktadır. Plastik atıklar geri dönüştürüldüğünde ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Bu atıkların geri dönüşümleri hem çevresel hem de ekonomik anlamda önem arz etmektedir.

Enerjinin verimli kullanılması için birçok ülkede enerji tasarrufuna yönelim söz konusudur. Bu yönelimlerin başında da ısı yalıtım malzemeleri gelmektedir. Isı yalıtım malzemeleri iki ortam arasındaki ısı değişimlerinin engellenmesinde görev almakta ve ısı kayıplarını azaltarak enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır.

Hem atık geri kazanımı hem de enerji tasarrufuna yönelik çalışılan bu tezde, atık LDPE ambalajlarından ısı yalıtım malzemesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle atık LDPE ambalajlarından ısı yalıtım malzemesi üretimi için köpükleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ham LDPE, atık LDPE ve atık/ham LDPE karışımlarından (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50) oluşan örnekler hazırlanmıştır. Köpükleştirme ajanları olarak zararlı salınımlardan uzak çevre dostu sodyum bikarbonat ve sitrik asit kullanılmıştır.

Isı yalıtım malzemelerinin sağlaması gereken en önemli parametrelerinden biri **ısıl iletkenliktir**. Isı yalıtım malzemelerinin sahip olması gereken ısıl iletkenlik değeri ISO ve CEN standartlarına göre $<0,065 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 'dir. En düşük ısıl iletkenlik değeri, tamamen atık LDPE ($0,043 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) ile üretilen örnekte olmasına rağmen bağlanma sorunları nedeniyle $0,046 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ değerine sahip, içerisinde en az miktarda ham LDPE içeren karışım (90/10) ile devam edilmiştir.

Isı yalıtım malzemelerinin sağlaması gereken bir diğer parametre **yoğunluktur**. Yoğunluk değerleri TS EN 1602 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk ile ilgili elde edilen sonuçlar diğer ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında, fazla olduğu yönündedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu çalışma endüstriyel alana uygulanması durumunda yoğunluğun azaltılması ile ilgili çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir.

Alev geciktirici özellik, ısı yalıtım malzemelerinin sağlaması gereken bir diğer önemli parametredir. Alev geciktirici özelliklerin sağlanabilmesi için atık LDPE ısı yalıtım malzemesine daldırma yöntemi ile 9 farklı formülasyon uygulanmıştır. Hem laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ön denemelerde, hem de oksijen indeksi (Limited Oxygen Index, LOI) sonucuna göre **en iyi bileşimin atık kil ve borik asit karışımından (50/50)** oluştuğu belirlenmiştir. Atık kil/Borik asit (50/50) bileşim ile kaplanan yalıtım malzemesinin LOI değeri >%60 çıkmıştır. Alev geciktirici kaplamada atık kil kullanılması da geri dönüşüm ile hem çevresel hem ekonomik anlamda katkı sağlanmasına yol açmıştır. Bu çalışmada atık LDPE ambalajlarından üretilen yalıtım malzemesi daldırma yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.

Son olarak atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkileri LCA ile belirlenmiş ve çevresel etkileri ticari ısı yalıtım malzemeleri olan Ode Yalıtım XPS (HFC-152a), Danopren XPS (HFC) ve Exiba XPS (CO₂) ile karşılaştırılmıştır. Atık LDPE ısı yalıtım malzemesinin çevresel etkilerinin en büyük sebebinin elektrik tüketimi olduğu belirlenmiştir. Türkiye'nin elektrik üretim potansiyelinde büyük rol oynayan fosil yakıt kullanımı yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile bu çevresel etkiler azaltılabilir.

Bu tez çalışması ÇEVKO projesi kapsamında gerçekleştirilmiş olup, ambalaj atıklarından ısı yalıtım malzemesi üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, hem dünyada hem de ülkemizde önemli bir sorun teşkil eden atıkların önemli bir parçası olan plastik ambalajlar, ısı yalıtım malzemesi üretiminde kullanılarak, üretimde çevresel ve ekonomik açıdan katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Abbasi, M., Khorasani, S. N., Bagheri, R., & Esfahani, J. M. (2011). Microcellular foaming of low-density polyethylene using nano-CaCO₃ as a nucleating agent. *Polymer Composites*, 32(11), 1718-1725.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and environment*, 40(3), 353-366.
- Alkaya E., Böğürçü M., ve Ulutaş F., (2012). Yaşam Döngüsü Analizi ve Bina Isı Yalıtım Malzemeleri İçin Uygulamalar, *Çevre Bilim & Teknoloji* Cilt 3, Sayı 4, 261-274.
- American Society for Testing and Materials, (2018). D2863–17a Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index)1, ASTM
- Antoniadou, P., Giama, E., Boemi, S. N., Karlessi, T., Santamouris, M., & Papadopoulos, A. M. (2015). Integrated evaluation of the performance of composite cool thermal insulation materials. *Energy Procedia*, 78, 1581-1586.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2008). Building energy performance: a LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), 1-10.
- Atalay, Ö., (2012). Magnezyum Borat Sentezi ve Alev Geciktirici Pigment Olarak Kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Aydın, D. Y., Gürü, M., Ayar, B., & Çakanyıldırım, Ç. (2016). Bor bileşiklerinin alev geciktirici ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment olarak uygulanabilirliği. *Bor Dergisi*, 1(1), 33-39.
- Baumann, H., & Tillman, A. M. (2004). Hitch hiker's guide to LCA. *Studentlitteratur*.
- Bayraktar, D., & Bayraktar, E. A. (2018) Okul Binalarında Isı Yalıtımı Maliyetinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), ss. 57-72.

- Baysal, E., Yalinkilic, M. K., Altinok, M., Sonmez, A., Peker, H., & Colak, M. (2007). Some physical, biological, mechanical, and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. *Construction and Building Materials*, 21(9), 1879-1885.
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Bakanlar Kurulu Kararı, 19.12.2007 tarihli, 26735 sayılı Resmi Gazete.
- Curran, M. A. (Ed.). (2016). Goal and scope definition in life cycle assessment. Springer.
- ÇEVKO, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıklarını Değerlendirme Vakfı, (2018). *Dönüşüm Dergisi*, ISSN No:2146-0469, Sayı 22, Şubat 2018
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2017). Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. *TC Resmi Gazetesi*, No, 30283.
- Çamur, C. (2010). Isı Yalıtım Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Çokaygil, Z. (2005). Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- De Benedetto, L., & Klemeš, J. (2009). The Environmental Performance Strategy Map: an integrated LCA approach to support the strategic decision-making process. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 900-906.
- De Sá, S. C., de Souza, M. M., Peres, R. S., Zmozinski, A. V., Braga, R. M., de Araújo Melo, D. M., & Ferreira, C. A. (2017). Environmentally friendly intumescent coatings formulated with vegetable compounds. *Progress in Organic Coatings*, 113, 47-59.
- Değirmenci, B. (2011). Alev Geciktirici ve Duman Azaltıcı Ajan Olarak Çinko Borat, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

- Doğan, M., & Unlu, S. M. (2014). Flame retardant effect of boron compounds on red phosphorus containing epoxy resins. *Polymer Degradation and Stability*, 99, 12-17.
- Doğan, M., Yılmaz, A., & Bayramlı, E. (2010). Synergistic effect of boron containing substances on flame retardancy and thermal stability of intumescent polypropylene composites. *Polymer Degradation and Stability*, 95(12), 2584-2588.
- Durgun, Z. G. (2010). Çeşitli Kalsiyum Boratların Sentezi Karakterizasyonu ve Alev Geciktirici Etkinliklerinin İncelenmesi. *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 43-128.
- Dylewski, R., & Adamczyk, J. (2014). Life cycle assessment (LCA) of building thermal insulation materials. In *Eco-efficient construction and building materials*, pp. 267-286.
- Eker A. A., (2009a) Plastik Malzemelerin Geri Kazanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, pdf.
- Eker A. A., (2009b) Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, pdf.
- Formicola, C., De Fenzo, A., Zarrelli, M., Frache, A., Giordano, M., & Camino, G. (2009). Synergistic effects of zinc borate and aluminium trihydroxide on flammability behaviour of aerospace epoxy system. *Express Polym Lett*, 3(6), 376-84.
- Gentil, E. C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., & Ii, R. (2010). Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions. *Waste Management*, 30(12), 2636-2648.
- Guo, C., Zhou, L., & Lv, J. (2013). Effects of expandable graphite and modified ammonium polyphosphate on the flame-retardant and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites. *Polym. Polym. Compos*, 21(7), 449-456.

- Gündüzalp, A. A., & Güven, S. (2016). Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, ISSN, 1304-2823.
- Günkaya, Z., Özdemir, A., Özkan, A., & Banar, M. (2016). Environmental performance of electricity generation based on resources: a life cycle assessment case study in Turkey. *Sustainability*, 8(11), 1097.
- Hidalgo, J. P., Welch, S., & Torero, J. L. (2015). Performance criteria for the fire safe use of thermal insulation in buildings. *Construction and Building Materials*, 100, 285-297.
- Horacek, H., & Grabner, R. (1996). Advantages of flame retardants based on nitrogen compounds. *Polymer Degradation and Stability*, 54(2-3), 205-215.
- http1, http://www.cevko.org.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=677:iklim-degisikligi-ve-gus-modeli&catid=11&lang=tr&Itemid=131 Erişim tarihi 27.11.2018
- http2, <http://www.ambalaj.org.tr/tr/ambalaj-ve-cevre.html> Erişim tarihi 28.11.2018
- http3, <https://plastikevreleri.wordpress.com/2013/03/09/plastik-geri-donusum-semollerin-aciklamasi/> Erişim tarihi: 24.10.2018
- http4, <https://www.pagev.org/turkiye-de-plastik-geri-donusumu-avrupa-nin-odaginda> Erişim tarihi: 12.11.2017
- http5, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/basincli.ve.trans.kalip.pdf> Erişim tarihi: 18.12.2017
- http6, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10781.pdf> Erişim tarihi 21.11.2018
- http7, <https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri> Erişim tarihi: 02.03.2018
- http8, <http://www.artibes-insaat.com/hizmetlerimiz/dis-cephe-mantolama-uygulamaları> Erişim tarihi: 09.03.2018
- http9, http://www.emo.org.tr/ekler/34427e6be0fae4a_ek.pdf?tipi=41&turu=X&sube=0 Erişim Tarihi: 03.01.2019

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/sodium_bicarbonate#section=Depositor-Supplied-Synonyms&fullscreen=true, Erişim Tarihi 15.01.2019

- Hu, R., Ma, A., & Li, Y. (2018). Transient hot strip measures thermal conductivity of organic foam thermal insulation materials. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 91, 443-450.
- ISO, E. (2006). 14040: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. European Committee for Standardization.
- ISO, I. (2006). 14044. Environmental management life cycle assessment requirements and guidelines. Managements environmental Analyse du cycle de vie.
- Innes, A., & Innes, J. (2011). Flame retardants. In *Applied Plastics Engineering Handbook* (pp. 469-485).
- Institut Bauen und Umwelt e.V., (2014) EXIBA - European Extruded Polystyrene Insulation Board Association, EPD-EXI-20140155-IBE1-EN. <https://www.jackon-insulation.fr/telechargements-service/download/epd-jackodur-kf/> Erişim tarihi: 11.03.2019
- İbikcan, E., & Kaynak, C. (2014). Usability of three boron compounds for enhancement of flame retardancy in polyethylene-based cable insulation materials. *Journal of Fire Sciences*, 32(2), 99-120.
- Jelle, B. P., Gustavsen, A., & Baetens, R. (2010). The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. *Journal of Building Physics*, 34(2), 99-123.
- Jiang, X. L., Liu, T., Zhao, L., Xu, Z. M., & Yuan, W. K. (2009). Effects of blend morphology on the foaming of polypropylene/low-density polyethylene blends during a batch foaming process. *Journal of Cellular Plastics*, 45(3), 225-241.
- John R. Wagner Jr. Eldridge M. Mount III Harold F. ve Giles Jr. (2014), Extrusion (Second Edition) The Definitive Processing Guide and Handbook, *A volume in Plastics Design Library*, Pages 125–148.

- Kahraman, H. T. (2014). Alev geciktirici nanokompozit kaplamaların sentezi ve karakterizasyonu (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kamışlı F. (2001), Gaz Yardımlı Enjeksiyon Kalıplama, *Mühendis ve Makina* - Cilt: 42 Sayı: 503.
- Karaağaç İ., Durmuş G., Uluer O., Aktaş M. and Tülü F. A. (2016). The Approaches to Determine of Heat Transfer Coefficient for Composite Thermal Insulation Panel, *El-Cezeri J. Sci. Eng.* Vol.3, n.1, 133-142.
- Karlsson, M., Xu, X., Gaska, K., Hillborg, H., Gubanski, S., & Gedde, U. W. (2017). DC Conductivity Measurements of LDPE: Influence of Specimen Preparation Method and Polymer Morphology. In *Proceedings of the Nordic Insulation Symposium* (No. 25).
- Kaya, M., & Oz, D. (1999). Mineral esaslı alev geciktirici ve duman bastına katkı maddeleri. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 14-15.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- Kızıltepe, E. (2014). Preparation and characterization of calcite (CaCO₃) particulate filled thermoplastic composites *İzmir Institute of Technology*, Master's thesis
- Klöpffer, W. (2017). Introducing a new section in the International Journal of Life Cycle Assessment: Critical Review and Life Cycle Assessment Standards.
- Kono, J., Goto, Y., Ostermeyer, Y., Frischknecht, R., & Wallbaum, H. (2016). Factors for eco-efficiency improvement of thermal insulation materials. *Key Engineering Materials*, 678, 1-13.
- Krewer, C. (2008). Environmental LCA of utilizing red cabbage trimmings as novel products, *Chalmers University of Technology*, 6, ISSN 1404-8167
- Kulaksızoğlu Z., (2006), Isı Yalıtım Sektör Araştırması, *İstatistik şubesi*.
- Laoutid, F., Bonnaud, L., Alexandre, M., Lopez-Cuesta, J. M., & Dubois, P. (2009). New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. *Materials science and engineering: R: Reports*, 63(3), 100-125.

- Lee S. T. ve Park C. B (2014), Foam Extrusion; Principle and Practice, Second Edition, New York, *CRC Press*.
- Liang, S., Neisius, N. M., & Gaan, S. (2013). Recent developments in flame retardant polymeric coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76(11), 1642-1665.
- Lim, K. S., Bee, S. T., Sin, L. T., Tee, T. T., Ratnam, C. T., Hui, D., & Rahmat, A. R. (2016). A review of application of ammonium polyphosphate as intumescent flame retardant in thermoplastic composites. *Composites Part B: Engineering*, 84, 155-174.
- Morgan, A. B., & Wilkie, C. A. (2014). The non-halogenated flame retardant handbook. *John Wiley & Sons*.
- Nugent P., (2017), Rotational Molding, Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition), *Processing Materials and Applications A volume in Plastics Design Library*, Pages 321–343.
- Özdemir A., (2013). Türkiye'de demiryolu ulaşımının yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleri ile değerlendirilmesi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.
- Özkan, A., Günkaya, Z., Tok, G., Karacasulu, L., Metesoy, M., Banar, M., & Kara, A. (2016). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of magnesia spinel brick production. *Sustainability*, 8(7), 662.
- PAGEV, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı, (2018a). Türkiye Plastik Ambalaj Malzemeleri Sektör İzleme Raporu – 2018/3.
- PAGEV, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı, (2018b). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu -2018/6.
- Pargana, N., Pinheiro, M. D., Silvestre, J. D., & de Brito, J. (2014). Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. *Energy and Buildings*, 82, 466-481.
- PCR for Insulation Materials (2014), The International EPD System/ Prepared by Life Cycle Engineering srl, 2014:13 Version 1.0, Date 2014-04-16

- Pi, H., Guo, S., & Ning, Y. (2003). Mechanochemical improvement of the flame-retardant and mechanical properties of zinc borate and zinc borate– aluminum trihydrate-filled poly (vinyl chloride). *Journal of Applied Polymer Science*, 89(3), 753-762.
- Prabhakar, M. N., Shah, A. U. R., & Song, J. I. (2015). A review on the flammability and flame retardant properties of natural fibers and polymer matrix based composites. *Polymer*, 37, 40.
- Rakotomalala, M., Wagner, S., & Döring, M. (2010). Recent developments in halogen free flame retardants for epoxy resins for electrical and electronic applications. *Materials*, 3(8), 4300-4327.
- Ramesh, N. S., Lee, S. T., & Lee, K. (2003). Novel method for measuring the extensional viscosity of PE with blowing agent and its impact on foams. *Journal of cellular plastics*, 39(4), 281-289.
- Riaz M. N. ve Rokey G. J. (2012), Selecting the right type of extruder: single screw and twin screw extruders for food and feed production, *Extrusion Problems Solved Food, Pet Food and Feed a volume in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Pages 25–33.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, 90(1), 1-10.
- Saadatian S. S., Freire F. and Simoes N., (2016), Comparative Life-Cycle Analysis of Insulation Materials in a Dwelling, Addressing Alternative Heating Systems and Life Spans. *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 4, No. 6
- Saci, H., Bouhelal, S., Bouzarafa, B., López, D., & Fernández-García, M. (2016). Reversible crosslinked low density polyethylenes: structure and thermal properties. *Journal of Polymer Research*, 23(4), 68.
- Saiz-Arroyo, C., Rodríguez-Pérez, M. Á., Velasco, J. I., & de Saja, J. A. (2013). Influence of foaming process on the structure–properties relationship of foamed LDPE/silica nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 48, 40-50.

- Schiavoni, S., Bianchi, F., & Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988-1011.
- Schmidt, A. C., Jensen, A. A., Clausen, A. U., Kamstrup, O., & Postlethwaite, D. (2004a). A comparative life cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(1), 53-66.
- Schmidt A. C., Jensen A. A., Clausen A. U., Kamstrup O. and Postlethwaite D., (2004b). A Comparative Life Cycle Assessment of Building Insulation Products made of Stone Wool, Paper Wool and Flax, Part 2: Comparative Assessment, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9:122
- Schmidt, R. (1999). In the line of fire, flame retardants overview. *Industrial Minerals*, 37-41.
- Sezer, F. Ş. (2005). Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85.
- Sikora, J. W., Levytskyi, V., Moravskyi, V., & Gerlach, H. (2013). Twin screw extrusion with Expancel foaming agent. *Journal of Polymer Engineering*, 33(6), 501-508.
- Shahi, P., Behraves, A. H., Haghtalab, A., Rizvi, G., & Goharpei, F. (2017). An experimental study on foaming of linear low-density polyethylene/high-density polyethylene blends. *Journal of Cellular Plastics*, 53(1), 83-105.
- Shahabi, M. P., McHugh, A., & Ho, G. (2015). Environmental and economic assessment of beach well intake versus open intake for seawater reverse osmosis desalination. *Desalination*, 357, 259-266.
- Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., & Shree, V. (2011). Life cycle assessment of buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 871-875.
- Spitael, P., & Macosko, C. W. (2004). Strain hardening in polypropylenes and its role in extrusion foaming. *Polymer Engineering & Science*, 44(11), 2090-2100.

- Su, X., Luo, Z., Li, Y., & Huang, C. (2016). Life cycle inventory comparison of different building insulation materials and uncertainty analysis. *Journal of Cleaner Production*, 112, 275-281.
- Sui, G., Fuqua, M. A., Ulven, C. A., & Zhong, W. H. (2009). A plant fiber reinforced polymer composite prepared by a twin-screw extruder. *Bioresource technology*, 100(3), 1246-1251.
- Szegda, D., Duangphet, S., Song, J., & Tarverdi, K. (2014). Extrusion foaming of PHBV. *Journal of Cellular Plastics*, 50(2), 145-162.
- Şimşek N. ve Akdağ G., (2017) Sürdürülebilirlik ve Yenilik Açısından Farklı Bir Deneyim: Yenilebilir Su Şişeleri, *Mersin Üniversitesi*, Mersin, Türkiye.
- Temiz, H., & Olgar, K. (2017). Investigation of insulation properties of panels produced from natural and artificial fibers. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(2), 608-618.
- The International Epd System, (2015) Environmental Product Declaration Of Danopren® Xps Insulation Board, EPD®registration number: S-P-00501. <https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/12369/epd501en%20DANO%20PREN.pdf> Erişim tarihi: 11.03.2019.
- The International Epd System (2016), ODE ISIPAN XPS Insulation Materials in accordance with EN15804 and ISO14025 CPC Code: 3639 XPS Extruded Polystyrene Foam Insulation, Market Coverage: Worldwide Declaration Number S-P-00672. <https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/11526/epd672en%20ODE%20ODE%20ISIPAN%20XPS%20Insulation%20Materials.pdf> Erişim tarihi: 11.03.2019.
- Topçu E. (2010). Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- TS 825, (2013) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TÜDAM, Türkiye Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği (2016). Geri Dönüşüm Teşvik Raporu, Ağustos 2016.
- TÜDAM, Türkiye Değerlendirilebilir Atık Malzemeler Sanayicileri Derneği (2017). Türkiye 2023 Geri Dönüşüm Sektörü Sanayileşme Projeksiyonu, Aralık 2017.
- Ullah, S., Ahmad, F., Shariff, A. M., Bustam, M. A., Gonfa, G., & Gillani, Q. F. (2017). Effects of ammonium polyphosphate and boric acid on the thermal degradation of an intumescent fire retardant coating. *Progress in Organic Coatings*, 109, 70-82.
- Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çalış, M., & Özgüven, S. (2015). EPS ve XPS Malzemeleriyle Yapılan Mantolamaların Yangın Sırasındaki Davranışlarının Araştırılması, sayfa: 21-28. *Politeknik Dergisi*, 18(1).
- Üçüncü, M., Gıdaların Ambalajlanması, *Ege Üniversitesi Basımevi*, İzmir, Türkiye (2000).
- Wan, C., Sun, G., Gao, F., Liu, T., Essegir, M., Zhao, L., & Yuan, W. (2017). Effect of phase compatibility on the foaming behavior of LDPE/HDPE and LDPE/PP blends with subcritical CO₂ as the blowing agent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 120, 421-431.
- Wang, Q., Li, J., & Winandy, J. E. (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood. *Wood science and technology*, 38(5), 375-389.
- Wang, Q., Li, J., & Winandy, J. E. (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood. *Wood science and technology*, 38(5), 375-389.
- Weil, E. D. (1978). Phosphorus-based flame retardants. In *Flame-Retardant Polymeric Materials* (pp. 103-131). Springer, Boston, MA.
- Wu, S., He, L., Zhang, C., Gong, W., He, Y., & Luo, Y. (2017). Visualization observation of cells growth in low-density polyethylene foaming processes. *Polymer Testing*, 63, 367-374.
- Yetgin, S. H., & Ünal, H. Polimer Esaslı Köpük Malzemeler. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (017), 117-128.
- Zhang, H. (2003). Fire-safe polymers and polymer composites. *Office of Aviation Research, Federal Aviation Administration*.

- Zhang, S., & Horrocks, A. R. (2003). A review of flame retardant polypropylene fibres. *Progress in Polymer Science*, 28(11), 1517-1538.
- Zhang, Z. X., Gao, C., Xin, Z. X., & Kim, J. K. (2012). Effects of extruder parameters and silica on physico-mechanical and foaming properties of PP/wood-fiber composites. *Composites part B: engineering*, 43(4), 2047-2057.
- Zhao, J., Zhao, Q., Wang, C., Guo, B., Park, C. B., & Wang, G. (2017). High thermal insulation and compressive strength polypropylene foams fabricated by high-pressure foam injection molding and mold opening of nano-fibrillar composites. *Materials & Design*, 131, 1-11.



EKLER

Tez Hazırlama Kontrol Listesi

	Evet	Hayır
Tez, “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak yazıldı.	☐	☐
Dış kapak ve iç kapak sayfası eklerde belirtilen şekilde düzenlendi.	☐	☐
Ön sayfalar i, ii, iii şeklinde Romen rakamları ile numaralandırıldı.	☐	☐
Dizinler, “Tez Yazım Kılavuzu”na göre sıralandı ve metin içindeki yerleşime göre sayfa numaraları verildi.	☐	☐
Özet ve Abstract hazırlandı.	☐	☐
Onay sayfası “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olarak hazırlandı ve imzalandı.	☐	☐
Etik İlke ve Kurallara Uygunluk Beyannamesi sayfası imzalandı.	☐	☐
Simgeler, kısaltmalar, tablolar ve şekillerin tamamı kontrol edilerek ilgili dizinde gösterildi.	☐	☐
Ana metinde harf karakteri, harf büyüklüğü ve satır aralıkları “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun olacak şekilde düzenlendi.	☐	☐
Görsel öğeler, tablolar (çizelgeler), şekiller ve denklemler metin içine “Tez Yazım Kılavuzu”na uygun şekilde yerleştirildi.	☐	☐
Kaynakça “Tez Yazım Kılavuzu”na göre düzenlendi.	☐	☐
Kaynakların tamamına tez içerisinde atıfta bulunularak kaynakça bölümünde yer verildi.	☐	☐
Etik Kurul onayı gerekli ise teze eklendi. (Etik Kurul onayı gerekmiyorsa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Anket, görüşme veya veri formları kullanıldıysa ilgili kurumlardan alınan izin yazıları ve formlar teze eklendi. (Bu formlar kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Ekler “Tez Yazım Kılavuzu”nda belirtildiği şekilde sunuldu. (Ek kullanılmadıysa yandaki “HAYIR” kutucuğunun altına “YOK” yazılacak).	☐	☐
Güzel Sanatlar Enstitüsüyle ilgili anasanat dallarında sergi, konser, gösterim vb. sunumları hazırlandı.	☐	☐

“Ambalaj Atıklarından Isı Yalıtım Malzemesi Üretimi” başlıklı Tez, yukarıdaki listede yer alan konularla ilgili olarak tarafımızca kontrol edilmiş ve gerekleri yerine getirilmiştir.

15/03/2019

Müge TAŞ

Prof. Dr. Müfide BANAR

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Müge TAŞ
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Samandağ/1990
E-Posta : muget@eskisehir.edu.tr

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2019, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- 2015, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Yayınları ve/veya Bilimsel Faaliyetleri:

- **Taş, M.**, Günkaya, Z., Özkan, A., Banar, M., “Waste/Virgin LDPE Mixtures for Thermal Insulation Material Production” 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), Çeşme/izmir, Abstract Book, 596, 24-27 Nisan 2018.
- Günkaya, Z., **Taş, M.**, Özkan, A., Banar, M., “Thermal Insulation Material Production From Waste LDPE Packages”, Fourth Symposium on Urban Mining and Circular Economy (SUM2018), Bergamo/İtalya, Proceeding Book, 42, 21-23 Mayıs 2018.