



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE YÖNELİK BİR ÇERÇEVE**

EMRAH YILMAZ

**DOKTORA TEZİ
DİSİPLİNLERARASI KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HAKAN ARSLAN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE YÖNELİK BİR ÇERÇEVE

Emrah Yılmaz tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinlerarası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hakan Arslan

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hakan Arslan

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Serkan Subaşı

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Latif Onur Uğur

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. İlhami Demir

Kırıkkale Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat Atmaca

Gaziantep Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 25/10/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

25 Ekim 2017

Emrah Yılmaz

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim boyunca bana gösterdiği yol ve hayata bakış açısı ile desteğini her an hissettiğim çok değerli hocam Doç. Dr. Hakan ARSLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince beni yönlendiren ve candan destekleyen çok kıymetli hocalarım Prof. Dr. Serkan SUBAŞI ve Dr. Öğr. Üyesi Latif Onur UĞUR'a yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile katkıda bulundukları için sonsuz teşekkürler.

Görev yaptığım Düzce Üniversitesi'nde tez çalışmam sırasında yönlendirici fikirleriyle tecrübelerini hiçbir zaman esirgmeden benimle paylaşan değerli hocam Doç.Dr. Mehmet EMİROĞLU'na, tez çalışmam öncesinde ve sonrasında beni destekleyen ve yanımda olan sevgili hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Özlem SALLI BİDECİ ve Dr. Öğr. Üyesi Alper BİDECİ'ye içten duygularıyla teşekkür ederim.

Tez süresince benzer konuda doktora yapmış olan ve benden bilgisini, desteğini ve paylaşımını esirgemeyerek fikirleriyle katkıda bulunan Öğr. Gör. Dr. Nuray BENLİ YILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Vaka çalışması kapsamında desteklerini esirgemeyen Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'ye ve Nedim Güner'e teşekkürümü sunarım.

Hayatımın her anında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sınırsız özveri ile yaşamım ve eğitim hayatım için gerekli tüm imkanları sağlamaya çalışan ve yapacağım her türlü çalışmada inançlarını arkamda hissettiğim annem Hamiyet YILMAZ ve babam İsmail YILMAZ'a, en kalbi sevgilerimle teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca aylayışıyla, hoşgörüsüyle ve sabrıyla sıkıntılarımnda desteğini her zaman yanımda hissettiğim eşim İpek ÇAKMAK YILMAZ'a ve varlığı ile hayatımıza ahenk katan canım oğlum Kağan Alp YILMAZ'a çok teşekkür ederim

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-016.09.04.404 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

25 Ekim 2018

Emrah Yılmaz

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
EXTENDED ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE’DE KOMPOZİT MALZEME SEKTÖRÜ	1
2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	7
2.1.1. Çevresel Sürdürülebilirlik	8
2.1.2. Ekonomik Sürdürülebilirlik	9
2.1.3. Sosyal Sürdürülebilirlik	10
2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	11
2.3. KOMPOZİT MALZEMELERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN FARKINDALIĞI	12
2.4. TÜRKİYE’DE SÜRDÜRÜLEBİLİR KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖNGÖRÜLEN GELECEĞİ	14
2.4.1. Yenilenebilir Malzemelere Olan Acil İhtiyaç	14
2.4.2. Eko Tasarım	15
2.4.3. Temiz Üretim.....	16
2.4.4. Endüstriyel Ekoloji.....	17
2.4.5. Düşük Karbon Teknolojileri.....	18
2.4.6. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)	19
2.4.6.1. Amaç ve Kapsam Tanımı	20
2.4.6.2. Envanter Analizi	21
2.4.6.3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED).....	21
2.4.6.4. Yaşam döngüsü yorumu	22

3. KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN OLUŞTURULMASI.....	23
3.1. METODOLOJİ.....	24
3.2. SİSTEM TANIMI.....	27
3.3. KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİ İÇİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KONULARI VE GÖSTERGELERİ.....	28
3.3.1. Çevresel Sorunlar ve Göstergeler.....	28
3.3.1.1. <i>Abiyotik Kaynak Tüketimi.....</i>	29
3.3.1.2. <i>Malzeme ömrü.....</i>	29
3.3.1.3. <i>Çevreye duyarlı kaynak ve tedarik.....</i>	29
3.3.1.4. <i>Enerji tüketimi (fosil ve yenilenebilir enerji).....</i>	30
3.3.1.5. <i>Su tüketimi.....</i>	30
3.3.1.6. <i>Katı atık üretimi.....</i>	31
3.3.1.7. <i>Malzemenin geri dönüşümü.....</i>	31
3.3.1.8. <i>Küresel ısınma.....</i>	32
3.3.1.9. <i>Ozon tabakasının incelenmesi.....</i>	33
3.3.1.10. <i>Asitleşme.....</i>	33
3.3.1.11. <i>Ötrofikasyon.....</i>	34
3.3.1.12. <i>Fotokimyasal sis oluşumu.....</i>	34
3.3.1.13. <i>Fosil Yakıtların Tüketilmesi.....</i>	34
3.3.1.14. <i>Mineral kaynakların tüketilmesi.....</i>	35
3.3.2. YDD’de Benimsenen Yaklaşımlar ve Hususlar	36
3.4. ÇEVRESEL ETKİNİN BELİRLENMESİ.....	37
3.5. ÇEVRESEL ETKİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ	39
3.5.1. Malzeme Üretiminde Atık Kullanımı	41
3.5.1.1. <i>Tarımsal Atık Kullanımı.....</i>	43
3.5.1.2. <i>Endüstriyel Atık Kullanımı.....</i>	44
3.5.1.3. <i>Üretim Atığı Kullanımı</i>	45
3.5.2. Alternatif Hammadde Kullanımı	46
3.5.3. Yaşam Sonu Senaryosu Oluşturma	47
3.5.4. Alternatif Enerji Kaynağı Kullanımı.....	48

3.6. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ VE SEÇİLMİŞ MALZEME İLE ÇEVRESEL ETKİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	49
3.7. VAKA ÇALIŞMASI VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	51
4. KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE YÖNELİK ÇERÇEVE İÇİN VAKA ÇALIŞMASI	53
4.1. POLİÜRETAN DOLGULU KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİ İLE ÇEVRESEL ETKİSİNİN BELİRLENMESİ.....	53
4.1.1. Amaç ve Kapsam Tanımı.....	54
4.1.2. Envanter Analizi	56
4.1.3. Etki Değerlendirmesi ve Yorumu.....	69
4.2. PDKCP ÇEVRESEL ETKİSİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ.....	76
4.2.1. PDKCP Üretiminde Atık Kullanımı	76
4.2.1.1. Pirinç Kabuğu Tozu (Tarımsal Atık) İkame Edilmesi.....	76
4.2.1.2. Lastik Atığı Tozu (Endüstriyel Atık) İkame Edilmesi.....	78
4.2.1.3. Taşyünü Tozu (Üretim Atığı) İkame Edilmesi.....	80
4.2.2. Alternatif Hammadde Kullanımı	82
4.2.3. PDKCP'nin Yaşam Sonu Senaryosunun Oluşturulması	82
4.2.3.1. Faydalı ömrü tamamlanan kompozit panelin yaşam sonu senaryosu	83
4.2.4. Alternatif Enerji Kaynağı Kullanımı.....	86
4.3. PDKCP İLE ÇEVRECİ PDKCP'İN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	87
4.4. ÜRETİMİNDE ATIK KULLANILAN KOMPOZİT PANELİN ÇEVRESEL PERFORMANSI.....	88
4.5. ALTERNATİF HAMMADDE KULLANIMIYLA ELDE EDİLEN KOMPOZİT PANELİN ÇEVRESEL PERFORMANSI.....	98
4.6. PDKCP BERTARAF SENARYOSUNUN ÇEVRESEL PERFORMANSI.....	102
4.7. ENERJİ KAYNAĞI OLARAK GÜNEŞ PANELLERİ KULLANIMININ ÇEVRESEL PERFORMANSI	105
4.8. MEVCUT DURUM İLE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	109

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
5.1. SONUÇLAR.....	112
5.2. ÖNERİLER	115
6. KAYNAKLAR.....	117
7. EKLER.....	132
7.1. EK 1: PDKCP'NİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI.....	132
7.2. EK 2: PDKCP'NİN NORMALİZASYON SONUÇLARI	133
7.3. EK 3: PDKCP ÜRETİM AŞAMASI KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	134
7.4. EK 4: PDKCP ÜRETİM AŞAMASI NORMALİZASYON SONUÇLARI.....	135
7.5. EK 5: ÜRETİMİNDE ATIK KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELLERİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	136
7.6. EK 6: ÜRETİMİNDE ATIK KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELLERİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI	137
7.7. EK 7: ÜRETİMİNDE ALTERNATİF HAMMADDE KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI ..	138
7.8. EK 8: ÜRETİMİNDE ALTERNATİF HAMMADDE KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI	139
7.9. EK 9: BERTARAF SENARYOSU İYİLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI.....	140
7.10. EK 10: BERTARAF SENARYOSU İYİLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI.....	141
7.11. EK 11: ÜRETİM SÜRECİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN FAYDALANARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	142
7.12. EK 12: ÜRETİM SÜRECİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN FAYDALANARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI.....	143
7.13. EK 13: PDKCP (P1) VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ SAYESİNDE ELDE EDİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELLERİN (P2, P3, P4, P5, P6, P7) KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	144

7.14. EK 14: PDKCP (P1) VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ SAYESİNDE ELDE EDİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELLERİN (P2, P3, P4, P5, P6, P7) NORMALİZASYON SONUÇLARI	145
7.15. EK 15: KULLANILAN SİMAPRO YAZILIMI.....	146
ÖZGEÇMİŞ	152



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapısı [101].	20
Şekil 2.2. YDE sonuçlarının orta ve son nokta çevresel etki kategorileriyle ilişkisi [116].	22
Şekil 3.1. Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği için bir metodoloji.....	25
Şekil 3.2. Çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinin poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PDKCP) üzerinde sınanması.....	26
Şekil 3.3. Kompozit inşaat malzemesinin yaşam döngüsü aşamaları.....	27
Şekil 4.1. Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin sistem sınırları.....	55
Şekil 4.2. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli teknik çizimi.	57
Şekil 4.3. Galvanizli çeliğin yaşam döngüsü değerlendirmesi.	58
Şekil 4.4. Galvaniz sac üretim bandı [194].....	60
Şekil 4.5. Bobin boyama tekniği ile sac boyama bandı [196].	62
Şekil 4.6. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretim akış şeması.....	67
Şekil 4.7. PDKCP küresel ısınma potansiyeli ağaç diyagramı (IPCC 2013 GWP 100a).....	71
Şekil 4.8. PDKCP'nin karakterizasyon sonuçları.	72
Şekil 4.9. PDKCP'nin normalizasyon sonuçları.....	73
Şekil 4.10. PDKCP üretim aşamasının karakterizasyon sonuçları.	74
Şekil 4.11. PDKCP üretim aşamasının normalizasyon sonuçları.	75
Şekil 4.12. Öğütülmüş pirinç kabuğu tozu.	77
Şekil 4.13. Lastik atığı tozu.	79
Şekil 4.14. Taşyünü atığı.	81
Şekil 4.15. Pirinç kabuğu ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü ağaç diyagramı.....	89
Şekil 4.16. Lastik atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü ağaç diyagramı.....	91
Şekil 4.17. Taşyünü atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü ağaç diyagramı.....	93
Şekil 4.18. Üretiminde atık kullanılan kompozit cephe panellerinin karakterizasyon sonuçları.	95
Şekil 4.19. Üretiminde atık kullanılan kompozit cephe panellerinin normalizasyon sonuçları.	96
Şekil 4.20. Pirinç kabuğu tozu ikameli poliüretanın SEM görüntüsü.	97
Şekil 4.21. %25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı artırılmış poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.	99
Şekil 4.22. Alternatif hammadde yoluyla yapılan iyileştirmelerin karakterizasyon sonuçları.	101
Şekil 4.23. Üretiminde atık kullanılmış kompozit cephe panellerinin normalizasyon sonuçları.	101
Şekil 4.24. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.....	103

Şekil 4.25. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit cephe panelinin karakterizasyon sonuçları.....	104
Şekil 4.26. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit cephe panelinin normalizasyon sonuçları.	105
Şekil 4.27. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.	106
Şekil 4.28. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen kompozit cephe panelinin karakterizasyon sonuçları.....	107
Şekil 4.29. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen kompozit cephe panelinin normalizasyon sonuçları.	108
Şekil 4.30. PDKCP ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen panellerin karakterizasyon sonuçları.....	109
Şekil 4.31. PDKCP ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen panellerin normalizasyon sonuçları.....	110
Şekil 4.32. Mevcut durum ile iyileştirme yöntemlerinin normalizasyon sonuçları kapsamında karşılaştırılması.	111
Şekil 7.1 SimaPro envanter bölümü, ürün aşaması ve fiş bölümleri	147
Şekil 7.2. Verilerin fişlere işlenmesi.....	148
Şekil 7.3. Verilerin fişlere işlenmesi.....	148
Şekil 7.4. Galvaniz sac bileşenlerinin SimaPro'ya işlenmesi	149
Şekil 7.5. SimaPro'da atık senaryosu oluşturma	149
Şekil 7.6. SimaPro'da parçalarına ayırma (disassembly) adımı	150
Şekil 7.7. SimaPro'da analiz etme ve karşılaştırma ikonları	150
Şekil 7.8. SimaPro 8.2 ile YDED modeli olarak CML-IA baseline ver.4.2'nin seçilmesi.	151

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Kompozit inşaat malzemelerine yönelik çevresel göstergeler ve konular...	28
Çizelge 3.2. Geri dönüşüm yöntemlerinin tanımı [164].	42
Çizelge 4.1. 50 mm kalınlığındaki kompozit cephe paneli hakkında genel bilgi.	56
Çizelge 4.2. 1m ² Poliürean dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemeler.	57
Çizelge 4.3. SDG çeliğin YDD sonuçları.	59
Çizelge 4.4. Galvaniz çelik sac mekanik özellikleri ve kimyasal analiz bilgileri.	61
Çizelge 4.5. Alüminyum sac mekanik özellikler ve kimyasal bileşime ait bilgiler.	62
Çizelge 4.6. Poliüretan bileşen içerisindeki kimyasallar.	64
Çizelge 4.7. 1m ² K/W ısı yalıtımı sağlayan Poliüretanın temel çevresel etkileri [202].	66
Çizelge 4.8. Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin yaşam sonu senaryosu.	69
Çizelge 4.9. Kompozit panellerin kısaltmaları.	88
Çizelge 7.1. CML çevresel etki kategorileri	147

KISALTMALAR

AB	Avrupa birliği
ABD	Amerika bileşik devletleri
ACM	Advanced composites material (gelişmiş kompozit malzeme)
ADP	Abiotic depletion potential (kaynak tüketim oluşumu potansiyeli)
AP	Acidification potential (asidifikasyon potansiyeli)
CFC	Kloroflorokarbon
CML	Institute of environmental sciences (çevre bilimleri enstitüsü)
CNG	Compressed natural gas (sıkıştırılmış doğal gaz)
CTP	Cam elyaf takviyeli plastik
EoL	End of life (yaşam sonu)
EP	Eutrophication potential (ötrofikasyon potansiyeli)
EPD	Environmental product declarations (çevresel ürün beyanı)
EUCU	European union customs union (Avrupa Birliği Gümrük Birliği)
FAETP	Freshwater aquatic ecotoxicity potential (temiz su ekotoksosite potansiyeli)
FRP	Fibre-reinforced polymer (elyaf takviyeli polimer)
GHG	Greenhouse gas (sera gazı)
GRP	Glass reinforced polyester (cam elyaf takviyeli polyester)
GRP	Glass fiber reinforced plastics (cam lif takviyeli plastik)
GWP	Global warming potential (küresel ısınma potansiyeli)
HCFC	Hidrokloroflorokarbon
HTP	Human toxicity potential (insan toksisite potansiyeli)
IPCC	International organization for standardization (Uluslararası standardizasyon örgütü)
ISO	International organization for standardization (Uluslararası standardizasyon örgütü)
IZA	International zinc association (International zinc association)
LCCA	Life cycle cost analysis (yaşam döngüsü maliyet analizi)
LEED	Leadership in energy and environmental design (enerji ve çevre dostu tasarımda liderlik)
LPG	Liquefied petroleum gas (sıvılaştırılmış petrol gazı)
MAETP	Marine aquatic ecotoxicity potential (deniz ekotoksosite potansiyeli)
MJ	Megajoule (megajul)
MSDS	Material safety data sheet (malzeme güvenlik bilgi formu)
Mtep	Ton eşdeğer petrol

ODP	Ozone depletion potential (ozon incelme potansiyeli)
PDKCP	Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
POCP	Photo-oxidant creation potential (fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli)
PV	Photovoltaic (fotovoltaik)
RTM	Resin transfer moulding (reçine transfer kalıplama)
SEM	Scanning electron microscope (taramalı elektron mikroskobu)
TDS	Technical data sheets (teknik bilgi formu)
TETP	Terrestrial ecotoxicity potential (toprak ekotoksosite potansiyeli)
TSE	Türk standartları enstitüsü
TÜİK	Türkiye istatistik kurumu
US EPA	United states environmental protection agency (Amerika birleşik devletleri çevre koruma ajansı)
UV	Ultraviole (morötesi)
VOC	Volatile organic compounds (uçucu organik bileşenler)
WCED	World commision on environment and development (Dünya çevre ve kalkınma komisyonu)
YDD	Yaşam döngüsü değerlendirme
YDED	Yaşam döngüsü etki değerlendirme
YDM	Yaşam döngüsü maliyeti

ÖZET

KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE YÖNELİK BİR ÇERÇEVE

Emrah YILMAZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme
Teknolojileri Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Ekim 2018, 151 sayfa

İnşaat sektörü dünyanın barınma, istihdam ve ekonomik büyümesi üzerinde etkin bir role sahiptir. Dünya nüfusunun artması ile birlikte kompozit inşaat malzemelerine olan talep enerji, malzeme ve su tüketiminin yanı sıra küresel ısınma, iklim değişikliği ve diğer çevresel etkilerin doğal çevre üzerindeki yükünü artırmaktadır. Bu tez kapsamında kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirlik performanslarının artırılması amacıyla çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi sunulmaktadır. Geliştirilen metodoloji, 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PDKCP) üzerinde vaka çalışması olarak incelenmiştir. Çevresel sürdürülebilirliği değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi kullanılmıştır. YDD sonuçları çerçevede önerilen iyileştirme yöntemleri sayesinde; seçilen kompozit inşaat malzemesine atık ikame edilmesiyle malzemenin küresel ısınma potansiyeli (GWP) %5, panel üretiminde poliüretandan kaynaklı küresel ısınma potansiyeli %26,84, iyileşme yöntemlerinin ikinci aşaması olan alternatif hammadde kullanımı sayesinde, kompozit panelin küresel ısınma potansiyeli % 10, üçüncü aşama olan atık senaryosu oluşturulması kapsamında, panelin bertarafından dolayı oluşan küresel ısınma potansiyeli %58,62, son aşaması olan alternatif enerji kaynağı kullanımı sayesinde panel üretmek için kullanılan enerjiden dolayı oluşan küresel ısınma potansiyeli % 87,15 oranında azaltıldığını göstermiştir. Vaka çalışması özelinde önerilen iyileştirme yöntemlerinin hepsi birlikte değerlendirildiğinde tüm çevresel etki kategorilerinde en olumlu faydayı sağlayan yöntemin alternatif hammadde kullanımı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın verileri, kompozit inşaat malzemeleri için; kullanılan hammaddelerin seçiminde dikkatli davranılması, faydalı ömrü tamamlanmayan malzemelerin bertaraf edilmeden önce yeniden kullanılabilmesinin yaygınlaştırılması, sanayi sektörüne yönelik alternatif enerji kaynakları kullanımının artırılması ve kompozit inşaat malzemeleri için yaşam döngüsü veri tabanı oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi, Kompozit inşaat malzemesi, Poliüretan dolgulu kompozit panel, Yaşam döngüsü değerlendirmesi.

ABSTRACT

A FRAMEWORK FOR ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF COMPOSITE CONSTRUCTION MATERIALS

Emrah YILMAZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences,

Department of Composite Material Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Assist. Assoc. Prof. Dr. Hakan ARSLAN

October 2018, 151 pages

The construction sector has an active role on the world's housing, employment and economic growth. Associated with the increase in the world population, the demand for composite construction materials increases the burden on energy, materials and water consumption as well as global warming, climate change and other environmental impacts on the natural environment. Within the scope of this thesis, an environmental sustainability framework is presented devoted to reduce the environmental impact of composite construction materials in order to increase their sustainability performance. The developed methodology was examined as a case study on 50 mm thick polyurethane filled composite façade panel (PFCFP). The Life Cycle Assessment (LCA) method was used to evaluate environmental sustainability. On account of the proposed improvement methods in the framework, it has been shown that according to the LCA results, the material's global warming potential (GWP) is reduced by 5% by substituting waste to the selected composite construction material; by using alternative raw materials which is the second stage of the improvement methods global warming potential caused by polyurethane in panel production is reduced by 26.86%; global warming potential of the composite panel is reduced by 10% in the context of the third stage, providing waste scenario; global warming potential caused by the disposal of the panel is reduced by 58.62%; by using alternative energy sources which is the last stage, the global warming potential due to the energy used to produce the panel is reduced by 87.15%, respectively. Considering all of the proposed improvement methods in the case study specifically, it was determined that the use of alternative raw materials provided the most positive benefit in all environmental impact categories. According to the data of this study, it is presented that for composite construction materials; the selection of the raw materials used should be made with care, the reuse of the materials that have not completed their useful life before being disposed of should be extended, the use of alternative energy sources for the industrial sector should be increased and the life cycle database for the composite construction materials should be effectuated.

Keywords: Environmental sustainability framework, Composite construction material, Polyurethane filled composite panel, Life cycle assessment.

EXTENDED ABSTRACT

A FRAMEWORK FOR THE ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF COMPOSITE CONSTRUCTION MATERIALS

Emrah YILMAZ
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Composite Material Technologies
Doctoral Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ARSLAN
October 2018, 151 pages

1. INTRODUCTION

Associated with the population growth worldwide, activities of construction sector increases correlatively and this leads an increase in the demand for the composite construction materials. Composite construction material sector plays an important role in communities' welfare as it supports sheltering, employment and economic growth. However, besides the wide scale of rates and socio-economic impacts throughout the large supply chain, composite construction materials have adverse effects on climate change and causes other environmental impacts.

In order to mitigate this, it is essential to understand the existing practices of the composite construction material sector and to understand the sustainability impacts envisaged for the future. Studies on sustainability of composite construction materials need to be increased in order to make the world a more sustainable place and leave a more livable world to future generations. After determining the environmental impacts of composite construction materials by decreasing these effects, the sustainability of these materials will be improved in terms of economic, social and environmental aspects. The Life Cycle Assessment (LCA) method is used to analyze the environmental impact of materials

Within the scope of the study, a framework has been developed to reduce the environmental impact of composite construction materials. In order to test the theoretical

framework, 50 mm polyurethane-filled composite façade panel was examined in the case study and by analyzing the results, the validity of the framework were interpreted by questioning. In the case study, four scenarios were created to reduce the environmental impact of the composite façade product and the results were compared with the LCA method

2. MATERIAL AND METHODS

A framework for increasing the sustainability level of composite construction materials, reducing their environmental impacts and environmental sustainability has been developed.

The framework provides a comprehensive methodology to help to reduce the environmental damage caused by composite building materials through the recovery of agricultural and industrial waste. It also recommends the life cycle assessment (LCA) scientific method and the tools developed in the extent of this method to determine the change in this effect.

This study aims to reduce the environmental impact of composite building materials and to provide a comprehensive framework for waste utilization, alternative energy source utilization, recycling scenarios and environmental impact assessment tools. The framework can be used to reduce the environmental impact of products by examining the environmental sustainability level of composite construction material products with the life cycle assessment method.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The first step of the four step improvement methods was preferred as waste material utilization in material production. As waste material, rice husk, rubber waste and rockwool waste were used as 27% of the total amount in weight, to displace with polyurethane. The highest decrease among the impact categories was eventuated with the decrease in global warming by replacing waste into the panel production. In this context, the global warming potentials (GWP) of the panels were 51.8 kg CO₂ equivalent, 58.3 kg CO₂ equivalent and 57.9 kg CO₂ equivalent respectively. With the help of this improvement method, global warming potential (GWP) of polyurethane filled composite façade panel (PFCFP) were decreased by 5.375%, 5.048%, 5.700% respectively.

By means of the utilization of alternative raw materials, that is the second step of the improvement methods, the global warming effect of the panel has been decreased by 10%.

Within the scope of the third step, that is creation of disposal scenario, the global warming potential due to the disposal of the panel was reduced by 58.62% with the help of the disposal scenarios created in the context of the study.

In the context of the final step of the improvement methods, the use of alternative energy sources, the global warming potential caused by the energy used to produce the panels has been reduced by 87.15%.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

Among the proposed methods to reduce the environmental impact of PFCFP, in case improvement was due to the utilization of waste in material production, it was determined that the use of rice husk and rockwool waste became prominent as they were the major contributors in improvement of the environmental impact.

When all of the methods that were being tested in terms of improvement of environmental impact of PFCFP were evaluated together, it was found that alternative raw material use (25% recycled steel) was the most beneficial method in all environmental impact categories

Within the scope of this thesis, it is concluded that the framework created for the environmental sustainability of composite construction materials can be used for all of the composite construction materials after successfully being tested by the proprietarily suggested improvement methods to the selected material in the scope of the case study.

It is recommended to be careful in the selection of raw materials used in the production step of composite construction materials. to extend the study to reuse of the composite materials dismantled before their end-lives instead of their disposal, to consider the economic and social sustainability which is thought to have a high impact on the selection of materials in the studies of environmental sustainability of composite construction materials, to disseminate the use of alternative energy resources for the industrial sector and to increase the public support towards this and to create a life cycle data base for the composite construction materials.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması ile birlikte inşaat sektörü faaliyetleri artmakta ve bu da kompozit inşaat malzemelerinde de talep artışına yol açmaktadır. Kompozit inşaat malzemesi sektörü, barınma, istihdam ve ekonomik büyümeyi desteklediği için toplum refahında önemli bir role sahiptir. Ancak, kompozit inşaat malzemeleri geniş faaliyet yelpazesi ve büyük tedarik zinciri boyunca sosyo-ekonomik etkilerinin yanı sıra iklim değişikliğini olumsuz yönde etkilemekte ve diğer çevresel etkilere de neden olmaktadır.

Dünya nüfusunun her geçen yıl arttığı göz önünde bulundurulduğunda yukarıda belirtilen olumsuz etkiler, önlem alınmadığı takdirde giderek artacaktır. Bunun hafifletilebilmesi için öncelikle kompozit inşaat malzemesi sektörünün mevcut uygulamalarının bilinmesi ve gelecek için öngörülen sürdürülebilirlik etkilerinin de anlaşılması bir esas teşkil etmektedir. Dünyanın daha sürdürülebilir bir yer olması ve gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakmak için, kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirliği ile ilgili çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere yaygın olarak kabul edilen birbiriyle etkileşimli boyutları bulunmaktadır. Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi sonrasında bu etkilerin azaltılmasıyla; ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan bu malzemelerin sürdürülebilirliğinin geliştirilmesi sağlanacaktır. Malzemelerin çevresel etkilerini analiz etmek için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde malzemenin, üretimi, kullanımı ve bertarafını da kapsayan yaşam döngüsünün tüm aşamalarındaki etkileri belirlenerek birbirleri ile olan bağlantıları değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir çerçeve geliştirilmiştir. Çerçeve;

- Sistemin tanımlanması,
- Malzemenin YDD yöntemi ile çevresel etkisinin belirlenmesi,
- Çevresel etkinin iyileştirilmesi,
- YDD yöntemi ile çevresel etkideki değişimin belirlenmesi ve karşılaştırılması

olmak üzere dört aşamayı kapsamaktadır. Oluşturulan teorik çerçevenin sınanması amacıyla, Marmara bölgesinde faaliyet gösteren Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. firmasının 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli vaka çalışmasında incelenmiş ve sonuçların analiz edilmesiyle çerçevenin geçerliliğinin sorgulandığı yorumlamalar yapılmıştır. Vaka çalışmasında, kompozit cephe ürünün çevresel etkisini azaltmak üzere dört adet senaryo oluşturulmuş ve YDD yöntemi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, tezin amacı, kapsamı ve yöntem yapısı tanımlanmıştır. İkinci bölümde, Türkiye’deki kompozit malzeme sektörüne genel bir bakış sunulmuş ve malzemelerin çevresel etkileri ile birlikte sürdürülebilirlik farkındalığı ve öngörülen gelecekleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği için geliştirilen çerçeve tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde, geliştirilen çerçeve poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PDKCP) özelinde sınanmıştır. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılacak çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.



2. TÜRKİYE’DE KOMPOZİT MALZEME SEKTÖRÜ

Kompozitler, lifli takviyeleri bir araya getiren ve birbirine bağlayan bir matristen oluşan katı malzemelerdir. Kompozit materyaller çağdaş malzemeler olarak kabul edilmekte ve çocuk oyuncaklarından uçak gövdesine kadar pek çok sektörde uygulanmaktadır [1]. Bir kompozit, “Bir araya getirildiğinde, yapı malzemelerini aşan özelliklere sahip bir malzeme üreten iki farklı malzeme” olarak tanımlanabilir[2]. Başka bir deyişle, birleşik malzeme, “bir araya getirildiğinde, tek tek bileşenlerin özelliklerinden daha üstün özellikler veren bir matris ve takviyeli bir kombinasyon” olarak tanımlanabilir[3].

Kompozit malzemeler, Mısır Firavunları döneminde tuğlaların kompozit tuğlalar oluşturmak için saman ile takviye edilmesi şeklinde kullanılmıştır [4]. Kompozitlerin yine en eski uygulamalarından biri, çömlek endüstrisinde, cam ve hayvan kıl liflerinin büzülmeyi azaltmak ve mukavemeti arttırmak amacıyla başka bir malzemeyi güçlendirmek için kullanılmasıdır [5].

Günümüzde metal ve ahşap gibi yaygın kullanılan malzemelere kıyasla, kompozitler belirgin avantajlar sağlamaktadır. Kompozitlerdeki temel avantaj hafif olmaları, göreceli sertlik ve mukavemet özelliklerinin yüksek oluşudur [6]. Ulaşımda, daha az ağırlık nedeniyle daha fazla yakıt tasarrufu ve hızın artması anlamına gelmektedir. Spor ekipmanlarında hafif kompozitler; golfte daha uzun disklere, daha hızlı tenis oynanmasına ve okçulukta daha sert yay çekilmesine izin vermektedir. Ahşap tekerlekleri yerine kauçuk katmanları; pamuktan daha popüler hale gelen parlak naylon veya polyester elbise malzemeleri; daha hafif malzemelerden yapılan tenis raketleri eski ağır ahşap olanlara göre tercih edilmektedir[7]. Kompozit malzemeler; otomotiv endüstrisinde araç parçalarının fonksiyonlarını geliştirmek, havacılıkta uçak gövdelerini oluşturmak ve savunma sanayiinde yeni ürünlerin geliştirilmesinde kullanılmaktadırlar. Daha sonra bu uygulamalar kimyasal tesis, tekne gövdesi, spor malzemeleri ve yapı malzemeleri gibi diğer sektörlerde de etki etmiştir [8–11].

Kompozit malzemeler, geleneksel malzemelere kıyasla genellikle daha maliyetlidir. Ancak kullanım süreleri ve önemli özellikleri nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedirler. Kompozit malzemeler, içerik özelliklerinden önemli ölçüde farklı olan

bileşenlerden ve temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır.

- i. Matris fazı: Sürekli bir karaktere sahip primer faz, matris olarak adlandırılır. Matris genellikle daha sünek ve daha az sert olan fazdır. Dağınık fazı tutar ve onunla bir yük paylaşır [12].
- ii. Dağılmış (takviye) faz: ikinci faz (veya fazlar) süreksiz formda matris içine gömülüdür. Bu ikincil faz dağınık faz olarak adlandırılır. Dağınık faz genellikle matrisden daha güçlüdür ve bu yüzden bazen takviye fazı olarak adlandırılır[13].

Kompozit malzemelerin iki sınıflandırma sistemi vardır. Bunlardan biri matris malzemesine (metal, seramik, polimer) dayanır ve ikincisi malzeme yapısına dayanır.

Kullanılan matris malzemesine dayalı kompozitler;

- i. **Metal Matrisli Kompozitler:** Metal Matrisli Kompozitler metalik bir matris (alüminyum, magnezyum, demir, kobalt, bakır) ve bir disperse edilmiş seramik (oksitler, karbürler) veya metalik (kurşun, tungsten, molibden) fazdan oluşur[14]. Metal matrisli kompozitleri oluşturmak için bileşen olarak alüminyum, bakır, demir, titanyum, magnezyum vb. başlıca metaller kullanılmaktadır [15]. En az birinin metal olduğu iki veya daha fazla malzemenin bir kombinasyonu ile tasarlanan bu kompozitler sürekli veya süreksiz lifler, bıyıklar veya bir metaldeki parçacıklardan oluşarak tasarlanmıştır. Çok yüksek özgül mukavemet ve spesifik modül kombinasyonları sağlamaktadır. Ayrıca artan sıcaklık mukavemeti, yorulma mukavemeti, aşınma direnci, korozyon direnci ve elektriksel ve termal iletkenlikler gibi bir çok avantaj sağlamaktadır [1]. Otomotiv mühendisliği, havacılık endüstrisi ve diğer hafif ve ağır endüstriler gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [15].
- ii. **Seramik Matrisli Kompozitler:** Seramik Matris Kompozitleri, bir seramik matris ve diğer seramik malzemedan (dağılmış faz) gömülü liflerden oluşur[16]. Bu lifler sayesinde tokluğa, kayma ve yorgunluğa karşı iyi bir dirence sahiptir. Mekanik davranışı incelendiğinde, uygulanan yük, matris içindeki kesme gerilmeleri vasıtasıyla meydana gelen liflere aktarılmakta ve bu olay “kayma gecikmesi modeli” olarak adlandırılmaktadır [17]. Metal matrisli kompozitler, ya geleneksel toz işleme teknikleriyle ya da geleneksel olmayan teknikle yapılmaktadır [15]. Bu kompozitlerin uygulamalarının çoğu havacılık endüstrisindedir. Havacılık endüstrisinde, türbin motoru egzozunda, uzay aracı için hava geçirmez termal koruma malzemesinde, hava taşıtı fren tertibatında ve roket itici komponentlerinde

kullanılır. Diğer uygulamalar arasında tıbbi implantlar, otomotiv motorları, otomotiv fren tertibatı ve kalıplar ve alet uçları bulunmaktadır [17].

- iii. **Polimer Matrisli Kompozitler:** Polimer Matris Kompozitleri, termoset (Doymamış Polyester, Epoksi) veya termoplastik (Polikarbonat, Polivinilklorid, Naylon, Polistiren) ve gömülü cam, karbon, çelik veya kevlar liflerden (dağılmış faz) oluşan bir matristir[18]. Bu kompozitler bazen fiber takviyeli plastikler olarak da adlandırılır. Polimer kompozit malzemeler; havacılık, otomotiv, denizcilik, inşaat, mobilya, spor ürünleri ve telekomünikasyon ve endüstrilerinde; hafif, yüksek mukavemetli, yüksek sertlik, estetik, korozyon direnci ve aşırı zorlukla başa çıkma yeteneklerinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanımındaki ana sebep kevlar, karbon ve cam elyafı gibi yüksek performanslı dolgu malzemelerini içinde barındırmasıdır [1], [4].

üç ana sınıftan oluşmaktadır.

Malzemenin yapısına bağlı olarak kompozitler ise;

- i. **Partikül Kompozitler:** Parçacıklı Kompozitler, parçacıklar halinde dağılmış bir faz ile takviye edilmiş bir matristen oluşur[19].
- Parçacıkların rastgele oryantasyonu ile oluşan kompozitler[20].
 - Parçacıkların tercih edilen oryantasyonu ile kompozitler: Bu malzemelerin dağınık fazı, birbirine paralel döşenen iki boyutlu düz tabakalardan oluşur[21].
- ii. **Lifli Kompozitler:**
- Kısa lif takviyeli kompozitler: Kısa elyaf takviyeli kompozitler, süreksiz lifler (uzunluk <100 μ m) biçiminde bir dispersiyon fazı ile takviye edilmiş bir matristen oluşur [22].
 - Uzun lif takviyeli kompozitler [22].
- iii. **Laminant Kompozitler:** Bir fiber takviyeli kompozit, farklı fiber oryantasyonları olan birkaç tabakadan oluştuğunda, çok katmanlı (açılı-kat) kompozit olarak adlandırılır [23].

Gelişmiş Kompozit Malzeme (ACM) endüstrisindeki son araştırma ve geliştirmeler, kompozit malzemelerin farklı alanlarda çok çeşitli potansiyel ürün ve uygulamaları

kapsadığını göstermiştir. Bir endüstri olarak kompozit malzemeler, geniş teknolojik gelişmeler nedeniyle diğer büyük sanayi dallarına yoğun bir şekilde nüfuz etmiştir [24]. Porter, gelişmiş ülkeler için teknolojik rekabet gücünün temel bir sanayi hedefi olduğunu ve ekonomik büyümenin önemli bir belirleyicisi olduğunu belirtmektedir [25]. Dünya kompozit malzeme endüstrisindeki büyüme hızla artmaktadır. Bununla birlikte, ham madde üretim sürecinde teknik ilerlemelerin eksikliği, hammadde maliyetleri, istenilen kompozit malzeme üretim hacmi açısından hala istenilen düzeye erişilemediğini göstermektedir. Önceki yıllarda olduğu gibi, 2018 Avrupa cam lif takviyeli plastik (GRP) pazar raporu, üretim rakamlarının kaydedilip onaylanabildiği Avrupa ülkelerini analiz etmektedir.

Türkiye'nin en büyük endüstrilerinden biri inşaat sektörüdür. Bu sektör kompozit endüstrisi için en büyük pazardır. Sektör, Türkiye dışında da hizmet vermeye başlamıştır ve birçok inşaat şirketi, Türkiye'deki merkezlerinden dünyanın diğer bölgelerine şubeler açmaktadır [26].

Türk kompozit malzeme sektörü son on yıllık politikanın etkisi altında küresel ekonomik kalkınmaya paralel olarak istikrarlı bir hızla gelişmektedir. Dünyanın başka yerlerinde olduğu gibi, Türk kompozit malzeme sektörünün büyümesi, malzeme değişim eğiliminden faydalanmakta, ancak Avrupa ve dünyanın geri kalanından daha yüksek bir oranda gerçekleşmektedir [27].

Türkiye kompozit malzeme sektörü orta ve büyük ölçekli 180 şirketin faal olarak, 750-800 firmanın ise kısmen faaliyet gösterdiği, yaklaşık 8.200 çalışanı bulunan, yaklaşık 1.5 milyar Avroluk değere sahip, hacim olarak 280.000 bin tonluk üretim düzeyinde katma değeri yüksek ürünler üreten bir sektör konumundadır [28]. Kompozit malzeme sektörü, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ikame malzemelerden pay alarak her geçen yıl büyümektedir.

Kompozit malzeme sektörü Türkiye’de, avrupa ve dünya büyüme oranının üzerinde bir büyüme göstermektedir. Dünya’da bir “Gelişmişlik Kriteri” olarak kabul edilen kişi başına düşen kompozit malzeme tüketim miktarlarına bakıldığında, ülkemizde önemli fırsatların ve olanakların olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu miktar Türkiye’de yaklaşık 3,5 kg olup dünya çapında 4-10 kg’dır. 6,9 €/kg. olan ortalama fiyat seviyesi de ülkemizde 5,3 €/kg. düzeyindedir. Bu rakamlar, önümüzdeki dönemde avantaj olarak değerlendirilmektedir [28]. Türkiye’de, kompozit malzemeler en çok boru-tank-altyapı

(%35), taşımacılık-otomotiv (%25) ve yapı-inşaat (%20) sektörlerinde kullanılmaktadır [27], [28].

Bunun yanı sıra kompozit malzemeler; havacılık, uzay, savunma, ev aletleri ve iş ekipmanları, tüketim malları, spor, eğlence, korozyona dayanımlı ürünler, elektrik / elektronik, denizcilik, tarım ve gıda gibi sektörlerde de kullanılmaktadır [26]. Gelişmiş teknoloji ürünlerinin hızlanan kullanımına paralel olarak, özellikle rüzgar enerjisi, ulaşım, otomotiv, havacılık ve elektrik ve elektronik sektörlerinde kompozit malzemelerin kullanımının yüksek oranlarda artması beklenmektedir [27]. Katma değeri yüksek bir sektör olan kompozit malzeme sektörü Ülkemizin dış ticaret açığının kapatılması için önemli bir sektör olma konumundadır [26].

Karbon fiberler düşük ağırlığı ve yüksek direnç özelliği nedeniyle kompozit uygulamalarda dünya kullanımının %12 oranında kullanım payına sahiptir [27]. Son yıllarda, karbon fiberler, otomotiv, uzay ve savunma, rüzgar türbinleri, spor ve eğlence gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [29]. Dünyadaki sınırlı sayıda karbon elyaf üreticisini göz önünde bulundurduğumuzda, Türkiye'de önemli üreticilerin varlığı, ülkeye karbon fiber uygulamaları için diğer ülkelere kıyasla avantaj sağlamaktadır. Yatırım ve üretim arttıkça, Türkiye'de karbon elyaf kullanımında hızlı bir artış beklenmektedir.

Türkiye, makine ve ileri teknoloji gerektiren ürünlerin imalatında uzun bir geçmişe sahiptir. Bununla birlikte Türkiye kompozit malzeme sektöründeki en büyük üretim sektörü inşaattır [26]. Türkiye'de GRP kompozit malzeme pazarı 1.225 milyar Avrodur. Ve 245.000 tonluk bir hacme ulaşmıştır [30]. Komşu ülkelere gelen talep sayesinde, ülkedeki kompozit sektörü desteklemeye katkıda bulunan GRP boru üretimi, yakın gelecekte istikrarını koruyacaktır. Küresel ısınmayla birlikte gelen kuraklık sorununu çözmek için, sulama yatırımları hem Ortadoğu'da hem de Türkiye'de artmaktadır. Çin, Hindistan, Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Türkiye'de özellikle altyapı projelerinden sulama projelerine talep arttıkça, cam elyaf takviyeli polyester (GRP) boru üretimi gelişerek büyümektedir. Bu pazarların önümüzdeki dönemde ortalama yıllık% 8-10 oranında büyüyeceği tahmin edilmektedir. GRP boruları su projelerinde gittikçe daha çok kullanılmakta ve Türkiye'de çapı 4 metreye varan borular üretilmektedir [27]. Ülkemizdeki ve civar ülkelerdeki talebin etkisi ile %35'lere varan talep ile cam elyaf takviyeli plastik (CTP) boru üretimi, ülkemiz kompozit sektörünün itici gücü olmaya önümüzdeki dönemde de devam edecektir [28]. Türkiye'de son yıllarda uygulanan

teşvikler ile sera üreticilerinin önü açılmış ve yeni teknolojiler, sera üretiminde daha ucuz ve daha dayanıklı son teknoloji uygulamalarına izin vermiştir. Bu bağlamda, GRP sera uygulamaları hem Türkiye'de hem de dünyada yaygınlaşmaktadır. Ayrıca oluklu GRP plakaları; esnek, hafif, darbeye dayanıklı, doğal ışığın homojen dağılımını sağlamakta, kimyasallara ve UV ışınlarına dayanıklıdır.

Otomobiller yaşam döngüleri boyunca enerji ve kaynak tüketimi sebebiyle birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bu, taşıtlar için geri dönüşüm ve bertaraf ihtiyaçlarını doğurmaktadır [31]. Otomobillerin karbon emisyonunu azaltmak için en basit yöntem daha hafif parçalardan üretilmesi gibi görünmektedir. Sektördeki birçok firmanın stratejik planları arasında yakıt tüketimini azaltmanın yanında, araç ağırlığı ve maliyet azaltma için daha fazla kompozit kullanımı da yer almaktadır. Küresel otomotiv üretimi, kuzey'den güneye ve batı'dan doğu'ya yayılmaktadır. Bu durum Türkiye için büyük bir fırsat oluşturmaktadır [27].

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş ve rüzgar enerjisinin üretilmesi için güneş panelleri ve rüzgar türbininden faydalanılmaktadır. Bunların oluşumunda kullanılan kompozit malzemeler önemli bir pazar oluşturmaktadır. Çünkü Türkiye'nin güneş ve rüzgar potansiyeline sahip ülkeler arasında Avrupa'da elverişli bir konuma sahip olduğu görülmektedir [32]. Türkiye'de enerji darboğazını azaltmak için rüzgar enerjisi üretiminde, yakın gelecekte% 18-20'ye kadar büyüme kaydedilmelidir [27].

Termoplastik reçineler, özellikle fiberlerle güçlendirildiğinde, kompozit ürünler için eşsiz avantajlar sunar. Termoplastik reçineler yapısal olarak sağlamdır ve olağanüstü darbe dayanımı gösterir. Soğuduklarında maksimum sertliklerine ulaşırlar. Bu özellikler sayesinde, parçaların maliyetini azaltmaya katkıda bulunabilirler [32]. Termoplastikler geri dönüşümlüdür ve özellikle otomotiv pazarında hızlı bir şekilde geliştirilmektedir. Güçlendirilmiş termoplastikler, dünyadaki kompozit üretimin %36'sını oluşturmaktadır. Türkiye'de bu oran hala% 10 civarındadır, bu yüzden ülkenin termoplastik alanında geliştirme alanı vardır [27]. Bugün tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan takviye malzemeleri cam elyafı (%87) ve karbon elyafı (%11) ülkemizde üretilmektedir [28].

Türkiye'de kompozit malzeme kullanılarak tekne üretimi yapılmakta ve çoğu avrupa ve orta doğu ülkelerine ihraç edilmektedir [26]. Büyük tekneler üreten tekne üreticilerinin sayısı giderek artmakta ve şu anda 30 metreden uzun tekneler üretilmektedir. Bu da

sektörde bir miktar hareket olduğunu göstermektedir [27].

Dünyada, gerek otomotiv, havacılık ve uzay sektöründe gerekse de ileri teknoloji ürünlerin üretilmesinde (elektrik ve elektronik sektörlerinde) gelecekte daha fazla miktar ve oranda kompozit malzeme kullanımının gerçekleşeceği düşünülmektedir.

Tüketicilerin her geçen gün geleneksel malzemeler yerine daha hafif, daha uzun ömürlü, daha yüksek mukavemetlere sahip, daha çağdaş çözümler sunan kompozit malzemelere yöneldiği düşünüldüğünde, kompozit malzeme sektörü katma değeri yüksek ürünler ürettiği ve yarının malzemesi olduğu için ülkemiz açısından çok önemli bir yere sahiptir.

Bu kapsamda, yüksek ihracat potansiyeline sahip ve katma değeri yüksek kompozit malzemelerin ülkemizde daha etkin ve yaygın bir şekilde üretilmesi için Ar-Ge çalışmaları teşvik edilip arttırılmalıdır. Bununla birlikte kompozit sektörü, doğrudan ve dolaylı olarak ihracat yapabilecektir. Kompozit malzeme sektörü katma değeri yüksek ürünler ürettiği ve yarının malzemesi olduğu için ülkemiz açısından çok önemli bir yere sahiptir.

2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Üretim faaliyetlerinin, dünyanın doğal kaynaklarını endişe verici bir şekilde tüketmeye sebep olduğu ve toplum üzerinde zararlı etkiler yarattığı ortaya konulmuştur [33]–[35]. Sürdürülebilirlik, ilk kez, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na hazırlanan Brundtland Raporu'nda "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır [36]. Rapor, ekonomik kalkınma, sosyal gelişim ve çevre koruma olmak üzere sürdürülebilirliğin üç boyutlu bir kavram olduğunu ifade etmektedir [37]–[39].

Sürdürülebilirlik sosyal, ekonomik ve çevresel olmak üzere bir biri ile bağımlı, bir bütün içerisinde değerlendirilmesi gereken üç alt başlıktan oluşmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma ile ilgili geçmiş çalışmalar incelendiğinde sosyal, ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilirliğin sağlanması durumunda sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilebileceği ifade edilmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik olmadan sosyal ve ekonomik kalkınma mümkün olmayacaktır [36]–[38].

Sürdürülebilir kalkınmanın sosyal, ekonomik ve çevresel göstergeleri; küresel olarak gelişmekte olan inşaat sektörüne, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde son

derece aktif bir sektör olarak dikkat çekmektedir [40]. İnşaat sektörü küresel sürdürülebilir kalkınmada önemli bir yere sahiptir, her ülke ekonomisinde büyük bir yeri vardır. Toplumsal kalkınmaya olumlu katkılarına rağmen inşaat sektörü çevreyi oldukça kirletmektedir. Buna ek olarak, bu sektör, yüksek enerji tüketimi, katı atık üretimi, küresel sera gazı emisyonları, dış ve iç kirlilik, çevresel hasar ve kaynak tüketiminden sorumludur [41], [42].

İnşaat sektöründe yeşil malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır. Bu malzemeler binalarda duvarlar, bölmeler, zeminler ve tavanlar için kullanılarak kompozit yapılar üretmek için tüketilmektedir. İnşaat için yeşil kompozitler, düşük enerjili, sıfır karbonlu yeşil binaların gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır. Duvarlar ve diğer yapı bileşenleri, yüksek derecede ısı yalıtımı, hava geçirgenliği ve etkili iklim kontrolü sağlar [43]. Yeşil kompozit malzeme kullanımı yoluyla, iç mekan hava koşulları iyileştirilmiş, ekonomik ve sürdürülebilir kompozit yapılar elde etmek mümkün olacaktır.

Avrupa Komisyonu'nun 2009 yılında yürürlüğe giren 2020 iklim ve enerji paketi, sera gazı emisyonlarını (GHG) % 20 azaltmak, AB enerjisinin % 20'sini yenilenebilir kaynaklardan elde etmek ve enerji verimliliğinde % 20 iyileşme sağlamak gibi üç hedef belirlemiştir [44]. İnşaatla kullanılan yeşil kompozit malzemeler, bu hedefleri karşılamada önemli bir rol oynamaktadır [43]. Sürdürülebilir kompozit malzemelerin iyi bir şekilde geri dönüştürülebildiği veya yeniden kullanılabilirliği takdirde daha konforlu, güvenilir, sağlıklı ve dayanıklı yapılarda oturmak mümkün olacaktır.

Sürdürülebilirliğin sadece çevresel sorunları değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik yönleri de dikkate alınmalıdır.

2.1.1. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, hali hazırda insanlığın karşı karşıya olduğu çevresel problemleri önlemek için sunulan çözüm önerilerinden biridir. Artan nüfus, gezegenimizdeki doğal kaynakların sürdürülebilirliği konusunda birçok soruyu gündeme getirdi. İnsan nüfusunun artması ve kişi başına tüketimde artış, doğal kaynaklara büyük bir kısıtlama getirmiştir. Buna ek olarak, kentleşme, sanayileşme ve modern tarım uygulamaları dünyanın her yerindeki su kaynaklarını, havayı ve toprağı kirletmiştir. Doğal kaynaklar bu nedenle sadece aşırı sömürülmekle kalmıyor, aynı zamanda gelecekteki nesillerin hayatta kalmasını zorlaştıran zehirli kimyasallarla da kirleniyor. Çevresel sürdürülebilirlik bu nedenle günümüzün en büyük mücadelesi ve en önemli

hedeflerinden biridir. Araştırmacılar, akademisyenler, hükümetler ve bireyler, toplumlar, ülkeler, kıtalar ve tüm dünyayı kapsayan sivil toplum kuruluşları için en büyük ilgi alanıdır. Çevresel sürdürülebilirlik, insan nüfusunun büyümesi ve insan tarafından çevrenin yaygın olarak sömürülmesini engellemek için zemin hazırlayan temel stratejidir [45].

Üretim, yüksek enerji tüketimi, atık üretimi ve sera gazı emisyonları dahil olmak üzere çevre üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Üretimin çevre üzerindeki etkisini azaltmak için, ürün yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında çeşitli yöntemler kullanılır. Çevresel etkiyi azaltmak için tasarımcılar ürün tasarımı sırasında ürünün tüm yaşam döngüsünü göz önünde bulundurarak geliştirme yapmalıdır. Örneğin, ürünün bir parçasının özelliği için üretim süreci enerjisi yoğunsa, bir ürün tasarımcısı daha az enerji yoğun bir işlem gerektiren ve yine de teknik özellikleri karşılayan alternatif bir özelliği düşünebilmelidir [46].

Bir ürünün çevresel etkilerini hesaba katan hakim yaklaşım, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) için ISO 14000 serisi standartlarıdır. ISO 14000 serisi, ürün, süreç ve sistem üzerinde YDD yoluyla bir çevresel analiz yürütmek için kılavuzlar sağlar [47]. Günümüzün kaynak tükenmesi konusundaki artan endişenin üstesinden gelmek ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerdeki çevresel faktörleri ele almak için, inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin artırılması amacıyla karar verme sürecine Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) uygulanmaktadır [43].

Çevreye duyarlı kompozit malzemeler üretmek için ürün tasarımcıları; malzeme seçimi, üretim sırasında kullanılan atık oranı, enerji tüketimini ve ömür sonu senaryo seçeneklerini ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca tasarım alternatiflerini dikkate almalıdır. Böylece kompozit malzemelerin üretim öncesi çevresel sürdürülebilirliğinin daha iyi değerlendirilmesi sağlanacaktır.

2.1.2. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik, sürdürülebilirliğin entegre bir parçasıdır ve en iyi kullanım, geri kazanım ve geri dönüşüm ile uzun vadeli sürdürülebilir değerler yaratmak için kaynakları (insani ve maddi) kullanmamız, korumamız ve sürdürmemiz gerektiği anlamına gelir [48]. Ekonomik sistemlerin sürdürülebilirliği için alternatif bir ekolojik kriter, doğal ve insan yapımı sermayenin maddi değerinden ziyade, fiziksel varlıklarla güvenli en üst düzeyde çevresel varlıkların korunmasıdır [49].

Firmaların, sağlam ekonomik sürdürülebilirliği için uygulamalarında çevre dostu çabalar göstermesi çok önemlidir. Yeşil çabalar çok yönlüdür ve çoğu çaba, sağlam ekonomik sürdürülebilirliğin artmasına yol açabilir. İyi bir ekonomik sürdürülebilirlik için yeşil çabalar önemlidir. Yöneticiler çevre politikalarına uymalı, ancak yeşil çabalarını iyi yürütmek için dikkatli bir şekilde strateji geliştirmelidir [50].

Bir mühendislik tasarımı, fonksiyonel gereksinimlerden ödün vermeden yapının toplam maliyetini en aza indirerek, kullanıcılar ve toplum için faydasını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Yapıların ekonomik performansının önemli bir göstergesi olan Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC) teoride ve pratikte doğru alternatifleri seçme sürecini kolaylaştırmak için kullanılmaktadır [51], [52]. İnşaat sektöründe, bir bina için farklı tasarım alternatiflerini veya Yaşam Döngüsü Maliyetini, her tasarım seçeneği ile ilişkili tasarrufları dikkate alarak karşılaştırmak için kullanılır [53]. Yaşam Döngüsü Maliyeti; tasarım ve inşaat maliyeti, işletme maliyeti, bakım maliyeti ve yaşam sonu maliyeti olmak üzere dört temel kategoriyi içerir [53].

Konut projelerinin ekonomik sürdürülebilirlik değerlendirmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar, neredeyse tamamen Yaşam Döngüsü Maliyetini ekonomik sürdürülebilirlik değerlendirmesinin tek kriteri olarak görmektedir [54–56].

Yapıyı oluşturan inşaat malzemelerinin seçiminde, ekonomik performans karşılaştırılmasının yapılması inşaat projelerinin yaşam döngüsünde daha bilinçli kararlar almak için avantaj sağlayacaktır.

2.1.3. Sosyal Sürdürülebilirlik

Sosyal hayat, sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir kalkınmaya yaklaşmanın farklı yollarının en az tanımlanmış ve en az anlaşılan şeklidir. Sosyal sürdürülebilirlik, kamusal iletişimde ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlikten çok daha az dikkat çekmiştir. Sosyal sürdürülebilirlik kavramı, sosyal eşitlik, yaşanabilirlik, sağlık eşitliği, toplumsal kalkınma, sosyal sermaye, sosyal destek, insan hakları, çalışma hakları, kapsayıcılık, sosyal sorumluluk, sosyal adalet, kültürel yeterlilik, topluluk gibi konuları kapsamaktadır [57]. Sosyal sürdürülebilirliğin konuları/bakış açıları, imalat işletmelerinde sosyal sürdürülebilirliğin temel dayanakları olarak kabul edilmektedir. Bu konular, iş yönetimi, insan hakları, toplumsal bağlılık, müşterilerin sorunları ve iş uygulamaları şeklindedir [58].

Kapsamlı araştırmalara rağmen sosyal sürdürülebilirlik, ekonomik ve çevresel

sürdürülebilirlikten daha az vurgulanmıştır. Bu, geleneksel sürdürülebilirlik tanımları ve derecelendirme sistemleri ile birçok yerel koşulun gözden kaçırıldığı gelişmekte olan ülkelerde geçerlidir. Gelişmekte olan ülkelerdeki projeler için ilk kontrol listesi olarak sunulan sosyal sürdürülebilirlik süreçlerini uygulamak, çevresel-ekonomik-sosyal sürdürülebilirliği dengeye getirmeye yardımcı olacaktır [59].

2.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Kompozit malzeme kullanımı 1986 yılından itibaren hafiflik, özgül mukavemet ve sertlik, boyutsal kararlılık, ısı genleşme katsayısı ve yüksek ısı iletkenlik gibi özelliklerinden kaynaklı avantajlar nedeniyle önemli ölçüde artmıştır. [59].

Kompozit malzemelerin çevresel etkileri, öngörülen sistem tasarımının ilk aşamalarında dikkate alınmalıdır. Bunun yapılmaması, daha sonraki tasarım aşamalarında pahalı tasarım revizyonlarına veya kompozit malzemelerin çevresel etkileri sonucunda oluşacak maliyette büyük bir artışlara neden olabilir. Bu nedenle tasarım mühendisi hem doğal ortamları dikkate almalı hem de çevresel etkileri dikkate alırken, sistemin maruz kalacağı toplam çevresel faktörlerin birleşik etkilerini ele almalıdır [60].

Kompozit malzemeler, havacılık ve deniz yapıları uygulamalarında her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Metalik malzemelerin aksine, kompozitler çalışma ortamına maruz kaldıklarında nem ve sıcaklığa karşı hassaslaşırlar. Bir epoksi matrisinde geçirgen ve/veya geçirimsiz lifler içeren kompozit malzemeler, sıcak nemli atmosfere maruz kaldığında nemi emer. Geçirimsiz liflere sahip kompozitlerde, nem sadece matris tarafından emilirken, geçirgen liflere sahip kompozitlerde, nem hem fiber hem de matris tarafından emilir. Matrisin bir kompozit içerisindeki önemli bir fonksiyonu, lifleri birbirine yapıştırmak ve tutmaktır. Böylece uygulanan yük, liflerin yüzeyini çiziklerden korumakta ve çatlakların önlenmesi işlevine ek olarak, onlara yük iletmektedir. Kompozit malzeme sıcak nemli bir ortama maruz kaldığında nem lif, matris ve fiber-matris ara yüzü içinden yayılır. Dağınık nemin, matrisin plastikleşmesine, kompozitin şişmesine ve kompozitlerin mukavemeti ve sertliğindeki genel bozulmaya neden olduğu bilinmektedir [59].

Organik matrisli kompozitler, havacılık ve otomotiv sektöründe kullanımının yanı sıra ağırlığın azaltılması gibi önemli bir tasarım kriteri olarak da diğer sektörlerde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar, uçak yapısal ağırlığını %20 ila 30 oranında

azaltabilir, böylece yakıt tüketimi ve uçak işletme maliyetlerini azaltabilir. Tüm yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü takviye elyafları arasında, grafit lifleri, yüksek çeşitliliğe sahip olmaları ve yapı kontrolünün kolay olmasından dolayı çok yönlülüğü ile avantajlar sunmaktadır. Ayrıca, neme ve çoğu organik çözücüye karşı inert olan grafit lifler, birçok yapısal uygulama için dikkat çekmiştir. Grafit takviyeli kompozitler ısıyla sertleşen termoplastik reçinelerin matris malzemesi olarak kullanılmaktadır [61]. Organik kompozitlerin sıcaklık ve neme karşı çevresel direnci, camsı geçiş sıcaklıklarına ve polimerin kimyasal etkileşimlerine bağlıdır. Suyun fiziksel etkisi matrisin plastikleştirilmesine ve kompozitin mekanik özelliklerinin bozulmasına neden olmaktadır [62].

Farklı sektörlerde ihtiyaçları karşılamak için üretilen kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan çeşitli kimyasallar, çevreye ve insan sağlığına zarar verebilmektedir. Kompozit malzeme üretim sektöründe malzemenin üretimi, kullanımı, geri dönüştürülmesi veya bertarafı gibi tüm yaşam döngüsü süreçlerinde, içeriğinde bulunabilecek kimyasalların türlerine göre başta doğa olmak üzere tüketicilere ve üretim esnasında çalışanlara kadar zarar verebilmektedir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan hammadde ve kimyasalların çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen ya da en az zarar verenlerin tercih edilmesi ve bu ürünlerin üretim aşamalarının devlet tarafından kontrolleri sağlanmalıdır.

2.3. KOMPOZİT MALZEMELERDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN FARKINDALIĞI

Global ekonomi ve tüm insanlığın geleceği için, sürdürülebilir çevre dostu üretim yöntemlerinin geliştirilmesi esastır. Bireysel, tek kullanımlık tüketici yaşam tarzımızın çevremiz üzerindeki zararlı etkileri iyi bilinmekte ve iyi bir şekilde belgelenmekte ve sonuç olarak, hükümetler gündelik ürünlerimizin çoğunda kullanılan malzemelerin çevre üzerindeki etkilerini kontrol etmek için giderek artan bir şekilde mevzuatlar çıkarmaktadır. Ayrıca dünya çapındaki çevre bilincindeki artışlara cevaben, çevre dostu ve daha sürdürülebilir inşaat malzemelerinin geliştirilmesinde artan ve teşvik edici bilimsel araştırmalar yapılmaktadır [63]. İnşaat sektöründe geri dönüştürülmüş malzeme ve tarım atıklarının kullanımı; bu malzemeler için inşaat sektörünün artan ihtiyacı, nispeten düşük kalite gereksinimleri ve endüstrinin yaygın inşaat alanlarını kullanması nedeniyle en cazip seçenekler arasındadır.

İnşaat sektöründe oluşan yapısal atıklar 21. yüzyılın önemli çevre sorunlarından biridir. İnşaat uygulamaları sonucunda kurtarılan ve tekrar kullanılabilen yapı malzemeleri/bileşenleri yeniden kullanılabilirlikte ya da diğer ürünlerin üretiminde hammadde olarak da girdi oluşturmaktadır. Bu malzemeler sayesinde üretilen yapılar ekolojik değeri yüksek olmasının yanı sıra ekonomik, çevresel ve yapısal sürdürülebilirliği olumlu yönde etkilenmektedir [64].

Amerika Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tahminlerine göre, ABD’de her yıl üretilen atıkların %25-%30’unu bina yenileme ve yıkımları sonucu açığa çıkan atık yapı malzemeleri oluşturmaktadır [65].

Türkiye’de hem yapı maliyeti hem de tüm sanayiler içinde yapı malzemeleri önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye’de yıllık 45 milyon ton yapısal atık miktarının Kentsel Dönüşüm Kanunu ile birlikte ilk üç yıl boyunca yıllık 10 milyon ton, geri kazanılacak malzeme miktarının da yıllık 6 milyon ton olacağı hesaplanmıştır [66]. Bu sebeple, ikinci el kullanımı ve geri dönüşüm uygulamalarının yaygınlaştırılması enerji ve kaynak korunumu açısından önemlidir [64].

Yapı malzemelerinin yeniden kullanılarak veya geri dönüştürülerek çevresel ve ekonomik yararlar sağlanacağı bilinmektedir. Ancak ikinci el malzemelerin kalite ve performansı konularında tasarımcı ve kullanıcıların kuşkuları olduğu için pek fazla tercih edilmemektedir [64].

Farklı sektörlerde kullanılan kompozit malzemelerin çevresel, ekonomik ve enerji performanslarına ilişkin hesaplamalara yönelik çalışmaların her geçen gün arttığı görülmektedir [67]–[72]. Türkiye’de bulunduğu sektördeki firmalar içerisinde en büyük paya sahip olanların yer aldığı yapı malzemeleri, kimya, tekstil mobilya gibi on sekiz farklı sektörden, yirmi iki farklı firmanın birçoğu kompozit malzeme olmak üzere yüz on yedi kompozit ürün için Çevresel Ürün Beyanı (EPD) belgesi aldığı bilinmektedir [73].

Türkiye’de ve Dünyada sürdürülebilirliğin temel taşlarından biri olan çevresel sürdürülebilirliğin günümüzde hızlı bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Türkiye ve küresel pazarlardaki kompozit malzeme üreticilerinin ürünlerinin çevresel performansları ile ilgili çalışmalar yaptırarak ilgili belgeleri aldığı görülmektedir. Özellikle büyük kapasitede üretim yapan firmalar ürünlerine yönelik olan talebi artırmak ve tüketicilerin ilgisini çekebilmek için ürünlerinin çevresel etkilerini şeffaf bir şekilde sergileyebilmektedir. Böylece kompozit malzemelerin sürdürülebilirliğine yönelik

farkındalığın her geçen gün arttığı görülmektedir.

2.4. TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖNGÖRÜLEN GELECEĞİ

Kompozit malzeme sektörü Türkiye’de, Avrupa ve Dünya büyüme oranının üzerinde bir büyüme göstermektedir. Türkiye kompozit malzeme sektörü dünyadaki global ekonomik gelişmeler paralelinde diğer sektörlerde olduğu gibi hızlı ve uzun soluklu bir gelişme göstermektedir. Avrupa Birliğindeki sürmekte olan durgunluk karşısında sürdürülebilirlik korkularına rağmen, Türkiye’deki büyüme, ülkedeki kompozit malzeme sektörünü canlandırmıştır. Kompozit malzeme endüstrisinin büyüme oranı yılda yaklaşık %6’dır. Bu oran Avrupa’daki kompozit malzeme tüketicilerini Türkiye’deki üreticiler için iyi bir pazarı haline getirmektedir. Kompozit malzeme endüstrisi genişleyip çeşitlenmekte ve giderek daha yüksek teknolojiler benimsemektedir.

2.4.1. Yenilenebilir Malzemelere Olan Acil İhtiyaç

Hem geri dönüştürülebilir hem de yenilenebilir kaynaklar, dünyamızı gelecek nesiller için daha güvenli, daha yeşil ve daha iyi hale getirmeye yardımcı olacağından sürdürülebilirlik 21. yüzyılda zorunluluk haline gelmiştir. Geri dönüşüm, atık ürünleri yeni ürünlere ve farklı ürünlere dönüştürme pratiğidir. Küresel ısınmanın sebep olduğu iklim değişikliği tehdidi ile, farkındalığın artması ve sürdürülebilirlik için geri dönüştürülebilir ve yenilenebilir malzemeler hakkında bilincin yayılması yenilenebilir malzemeler konusunu güncel kılmaktadır.

Gündelik hayatta kullanılan sayısız sürdürülebilir malzemeler mevcuttur. Bunlardan ahşap, sürdürülebilir malzemeler için iyi bir örnektir. Ahşap, inşaat sektöründe, mobilya endüstrisinde ve diğer birçok endüstride kullanılmaktadır. Ahşap, hem yenilenebilir hem de geri dönüştürülebilir olduğundan, inşaatta kullanılması sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Fakat, ahşap birçok kişi tarafından sürdürülebilir bir malzeme olarak görülse de, birçok çevresel sorunla karşı karşıyadır. Ahşap için ağaçların kesilmesi süreci çok sayıda ağaç türünün bileşimini değiştirebilir, ormanların yapısını olumsuz yönde etkileyebilir ve topraktaki besin tuzlarının dengesini değiştirebilir. Çevre aktivistleri sıklıkla ahşap kullanmanın pozitif ve negatif etkileri üzerinde tartışmaktadırlar. Ahşap gibi materyaller, bazıları tarafından çevre dostu olarak kabul edilirken, bazıları içinde çoğunlukla küresel ısınmaya, biyoçeşitliliğin bozulmasına,

ormansızlaşmaya katkıda bulunan yasadışı ve sürdürülebilir olmayan sınıflandırmaya girmektedir [74].

Yenilenebilir kaynağa alternatif olan ahşap yerine geri dönüştürülebilir bir kaynak olan plastik kullanılabilir. Plastik esas olarak petrokimyasallardan üretilen ve biyolojik olarak bozunmayan bir malzemedir. Plastik yenilenmeyen bir ürün olmasına rağmen kullanılmış plastiklerin eritilerek başka bir ürüne dönüştürülmesine imkan sağlar [75]. Bu da, ahşaptan daha uzun ve potansiyel olarak daha sürdürülebilir bir seçenek sağlar. Geri dönüştürülebilir plastik, ahşaptan daha iyi bir seçenek gibi görünse de, bünyesinde çevresel etki bakımından bazı olumsuzlukları barındırmaktadır [76].

2.4.2. Eko Tasarım

Eko Tasarım daha iyi ürün tasarımı ile tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasıdır [77]. Aslında, çevre sorunlarının mümkün olan en erken zamanda ürün geliştirme sürecine dahil edilmesi önemlidir, çünkü bunlar dikkate alındığında, iyileştirme ve tasarruf potansiyeli o kadar yüksektir [78]. Eko Tasarım'ın belirgin yararlarına rağmen, üretici firmalar için en önemlisi; rekabet gücünü korumak, üretim maliyetlerini düşürmek, yeni fırsatları belirlemek ve düzenleyici ilişkileri geliştirmek [79].

Eko Tasarım stratejileri genellikle birincil kaynakların tükenmesini ve/veya diğer çevresel etki türlerini azaltmayı hedefler. Ürün veya hizmet türüne ve çevresel kısıtlamalara bağlı olarak, bazı eko-tasarım stratejileri diğerlerinden daha uygun olabilir [80]. Eko Tasarım stratejileri, ana hedeflerine göre aşağıdaki sekiz grupta genel olarak kategorilere ayrılabilir: [81]

- farklı malzeme sayısının azaltılması ve en uygun olanların seçilmesi
- üretim aşamasında çevresel etkinin azaltılması
- dağıtım aşamasının optimizasyonu
- kullanım aşamasında çevresel etkinin azaltılması
- ürünün kullanım ömrünün uzatılması
- ürün demontajının basitleştirilmesi (demontaj için tasarım)
- yeniden kullanım için tasarım
- geri dönüşüm için tasarım.

Farklı Eko Tasarım araçlarının hepsi aynı düzeyde çevresel uzmanlık gerektirmez. İyi bir niceliksel değerlendirme yapmak için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi uzman bir araç olmaya devam etmektedir. Her ne kadar YDD kullanımı büyük şirketlere ilerlediyse de, zaman eksikliği ve yöntemin yayılması için teknik ve insani nedenlerden dolayı hala küçük ve orta ölçekli işletmelerde (KOBİ'ler) nadiren uygulanmaktadır [82].

Çevresel etkilerin değerlendirilmesi, ekolojik tasarım sürecinde ürünün fonksiyonel gereksinimlerinden bağımsız olarak çözülemeyen önemli bir adımdır. Ancak, çevresel değerlendirmeyi birleştiren mekanizmalar ve işlevsel gereksinim mühendisliği mevcut literatürde derinlemesine araştırılmamıştır. Çevresel değerlendirme mevcut bir ürünü değerlendirirken, yaşam döngüsünün hangi aşamalarının en büyük etkiye sahip olduğunu ve çevresel iyileştirme aşamasında hiç bir kirlilik transferinin gerçekleşmediği farkındalığının oluşturulması olmak üzere iki çeşit yararlı bilgi sağlar [83].

Sürdürülebilir kompozit bir malzeme üretmek için, tasarım aşamasında yaşam döngüsünün tüm aşamalarındaki çevresel etkilerinin hesaba katılması önemlidir. Böylece malzemenin çevresel sorunlarının önceden tespit edilebilecek ve erken zamanda ürünün çevresel sorunları ortadan kaldırılabilecektir.

2.4.3. Temiz Üretim

Temiz üretim, kaynak verimliliğinin artırılması, risklerin ve çevresel olumsuz etkilerin en aza indirilmesi ve bir kurumun operasyonlarındaki atık ve maliyetlerin azaltılması için “entegre bir önleyici çevre stratejisi” olarak tanımlanmaktadır [84]. Temiz Üretim, daha iyi malzeme kullanımı, azaltılmış enerji tüketimi ve daha düşük emisyon seviyeleri elde etmenin etkili bir yolu olarak kanıtlamıştır. Ayrıca pozitif önleyici eylemleri motive eder ve kaynakların, üretimin, ekonominin ve çevrenin bütünsel bir görünümünü destekler [85]. 1980'lerden bu yana işletmelerin atıkları en aza indirmelerini ve çevresel performanslarını geliştirmelerini ve bu faaliyetlerden mali faydalar elde etmelerini sağlayan bir strateji olarak desteklenmiştir. Kuzey Amerika ve Avrupa'da temiz üretim, şirketlerin maliyetleri düşürmelerini ve faaliyetlerinde verimliliği artırmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda daha çeşitli fonksiyonlar ile çevre yönetim sistemleri ve stratejik yatırımlar için kapıyı açarak yüksek verimlilik, gelir ve pazar payına yol açmaktadır [86].

Kompozitler için temiz üretim yollarının gelişimi kısa vadede elde edilebilecek bir şey değildir. Tüm geliştirme ve kullanım döngüsü, karlılığı korurken çevresel etkiyi en aza

indirgeme ışığında yeniden incelenmelidir. Kompozit ürünler uzun ömürlü olmalı, onarım ve yeniden kullanım beklentisiyle tasarlanmalı, üretim süreçlerinden kaynaklı atıklar azaltılmalı ve kompozit malzemeler yararlı ömrü sonunda yeni bir üretim için hammadde olarak kullanılmalıdır. Biyokompozit malzemeler bu yeni paradigmanın bir parçası olma konusunda açık bir potansiyele sahiptir [87].

Kompozit malzeme üreticileri Temiz Üretim uygulamaları sayesinde ürünlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasıyla birlikte, üretimde verimlilik artışı sağlayarak ürün maliyetlerini azaltabilecekler, aynı zamanda kuruluş ve ürün imajının artırılmasını sağlayacaklardır.

2.4.4. Endüstriyel Ekoloji

Endüstriyel Ekoloji, "endüstrinin doğal ekosistemlere benzer bir şekilde, insanın oluşturduğu bir ekosistem olarak kavramsallaştırılması"dır. Burada atıklar veya bir sürecin ürünü başka bir sürece girdi olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel Ekoloji, doğal ekosistemlerle etkileşir ve doğrusaldan çevrimsel veya kapalı döngü sistemine geçmeye çalışır. Doğal ekosistemler gibi, Endüstriyel Ekoloji sürekli bir akış halindedir. Mevcut tüketim seviyesini sürdürmek için gerekli olan doğal kaynaklar gezegenimizde bulunmadığından üretilen kirlilik ve atık seviyeleri dünyadaki yenilenebilir kapasiteyi aşacaktır [40], [41].

Endüstriyel Ekoloji, " kaynak ve çevre sorunlarına yaratıcı çözümler " sunmaya yardımcı olacak bir perspektif olarak görünmekte ve endüstriyel sistemin doğal ekosistemi taklit edecek şekilde modifiye edilmesi gerektiği fikrini benimsemektedir [41]. Gelecek vaat eden strateji olarak endüstriyel ekoloji, çevresel etkiyi azaltmak ve çevre ile koordineli gelişmeyi gerçekleştirmek için su kullanımı konusunda verimli yaklaşımlar sağlayabilir. Endüstriyel ekolojinin temel amacı, endüstrinin çevresel performansını iyileştirmek ve çevreyi korurken iş başarısını artırmaktır [89].

Endüstriyel Ekoloji kavramı, doğal ekosistemler ve endüstriyel sistemler arasındaki benzerlik kullanılarak popüler hale getirilmiştir. Endüstriyel ekolojinin en önemli özelliği, kaynak girdisi, kirlletici ve atık çıktılarını azaltmak için bir sistemin çeşitli bileşenlerinin entegrasyonuna dayanmaktadır [90].

Endüstriyel Ekoloji için YDD ve Sistem Analizi olmak üzere analitik bir temel sağlayan iki bakış açısı vardır. Her biri, çevresel sorunların indirgemeci yaklaşımdan ziyade giderek bütünsel bir biçimde ele alınması gerektiği fikrini somutlaştırmaktadır. Her ikisi arasında anlamlı farklar olsa da ikisi de çalışma sınırlarının nasıl tanımlandığına aşırı

derecede duyarlıdır [91].

Daha önce de belirtildiği gibi Endüstriyel Ekolojinin tek bir kirleticiden bütünsel bir sisteme ve yaşam döngüsüne kadar geniş bir odağı mevcuttur ve gerçekleştirilen faaliyetlerin, kullanılan malzeme ve teknolojilerin yaşam döngüsü bazındaki çevresel etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu kapsamda yaşam döngüsü analizi Endüstriyel Ekolojinin uygulanması için de gerekli bir araçtır. Yaşam döngüsü yaklaşımı Endüstriyel Ekolojinin getirdiği “sistem” ve “bütünsel” bakış açısını destekleyen bir yaklaşımdır. Eko Tasarım da bir ürünün yaşam döngüsü boyunca söz konusu olan çevresel etkileri dikkate alması ve buna göre tasarım kriterleri getiren bir yaklaşımdır ve bu nedenle de endüstriyel ekolojinin sistemsel bakış açısını destekleyen ve onunla ilgili bir araç olarak değerlendirilebilmektedir [92].

Endüstriyel Ekoloji, büyük ölçüde piyasanın kendi dinamikleriyle ve özel sektörün ticari prensiplerine uygun olarak geliştiğinden, çevresel olduğu kadar ekonomik açıdan da sürdürülebilir olmaktadır. Aynı zamanda Endüstriyel Ekoloji pek çok açıdan yeni iş olanakları da yaratabilmekte, sosyal açıdan da katkılar sağlamaktadır [93].

2.4.5. Düşük Karbon Teknolojileri

İklim değişikliğine dair hedeflere ulaşılması için atılması gereken adımlardan birisi kuşkusuz düşük karbon teknolojilerinin geliştirilmesidir. Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlara bağımlı enerji sisteminin küresel düzeyde kökten değişmesi için, gelecekteki enerji sisteminin temelini alternatif enerji kaynaklarının ve düşük karbon teknolojilerinin oluşturması gerektiği her geçen gün daha fazla kabul görülmektedir [94].

Sürdürülebilir kalkınma için, enerji üretiminin ve tüketiminin olumsuz etkileri, tüketimi azaltarak ya da yenilenebilir ya da temiz enerji kaynaklarının kullanımını artırarak azaltılabilir. Binaların biyoiklimsel tasarımı, enerji tüketimini ve dolayısıyla geleneksel enerji üretiminden kaynaklanan hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya katkıda bulunduğundan dolayı sürdürülebilir kalkınma için bir stratejidir. Biyoklimatik Tasarım, bina yapımında enerji tasarrufu tekniklerinin uygulanmasını, güneş enerjisi ve temiz fosil yakıt teknolojilerinin kullanımı gibi yenilenebilir enerjilerin kullanımını içermektedir [95].

Uluslararası politikalar, inşaat sektörünün sürdürülebilir kalkınma için kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, inşaat sektörü önemli sera gazı emisyon azaltımı sağlamak için en büyük ve en ucuz

potansiyele sahiptir [96].

En yüksek enerji tüketimine sahip endüstrilerden biri olan inşaat sektörü, düşük karbon emisyonu projelerini teşvik etmek için önemli bir alan haline gelmiştir. İnşaat sektörünün ulusal düzeyde karbon emisyonlarının azaltılması için bir yol haritasının tanımlanması ve gerçekleştirilmesi kritik bir öneme sahiptir [97]. Düşük karbon gelişiminin özü, sistematik proje yönetimi süreçlerinde ve teknolojik yeniliklerde yatmaktadır. Düşük karbon gelişimi, enerji talebi / tedarik yönetimi teknolojilerinin optimizasyonuna ve bina yaşam döngüsünün çeşitli seviyelerinde karbon emisyonunun azaltılmasına bağlıdır. Düşük karbon dönüşümü, düşük karbon teknolojileri inovasyonunun etkili bir şekilde uygulanmasına tabidir [98].

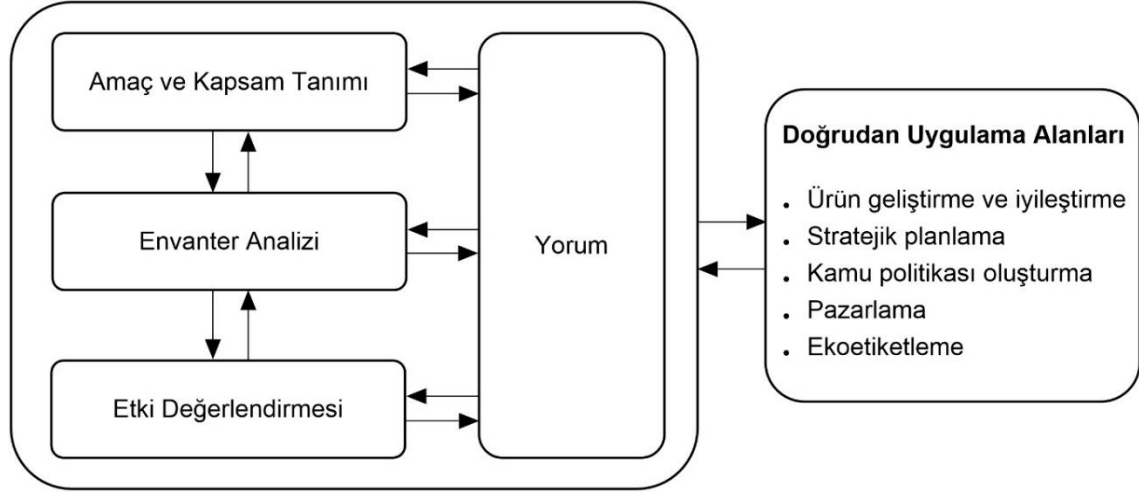
Çok seviyeli teknolojilerin entegrasyonu kapsamında, tek bir teknolojik adaptasyon veya yenilik, modern inşaat sektörlerinin ekonomik dönüşüm ihtiyacını karşılayamaz. CO₂ emisyonu temel olarak tüm yaşam döngüsü boyunca her tür endüstri için enerji üretiminden elde edilir. Bu nedenle, binalarda karbon emisyonunun azaltılmasının özü, inşaat, işletme ve yeniden kullanım / geri dönüşüm sırasında enerji üretiminin / tüketiminin rasyonel yönetiminde yatmaktadır [99].

On yıl kadar kısa bir süre önce, ölçü kavramları ve araçların eksikliğinden dolayı karbon ayak izi ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça az yapılmıştır. Karbon ayak izi ölçümü, sadece üretim aşamasında veya tüketim aşamasında doğrudan çevresel etkiyi değil, aynı zamanda tüm üst akış üretim süreçlerini ve çevresel ayak izini de içerir. Günümüzde bu çevresel ayak izini hesaplamak bir tanesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) olmak üzere çeşitli bilimsel yöntemler kullanılmaktadır. YDD daha ayrıntılı (ürüne özgü) ve sadece bir veya iki ürün değil, bir ürün yelpazesi göz önüne alındığında kapsamlı veriler gerektirmektedir [100].

2.4.6. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, bir ürünün, süreçlerin veya hizmetlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel yükünü değerlendirmek için kullanılan bir metodolojidir [47], [101]. YDD, 1990 yılından beri inşaat sektöründe kullanılmıştır ve binaların değerlendirilmesi için önemli bir araçtır [102], [103]. Ürünlerin çevresel etkilerinin karşılaştırılması için bir yaklaşım olarak başlayan YDD aynı zamanda endüstri ve devletin çevresel sürdürülebilirliği için sağlam bir bilimsel temel sağlamak adına standartlaştırılmış bir yöntemdir [104].

YDD kullanımı, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca zayıf noktaları belirleme imkânı sunar ve çevresel performans için iyileştirmeler önermektedir. Devlet kurumları, özel firmalar, tüketici örgütleri ve çevre grupları bir karar destek aracı olarak YDD'yi kullanmaktadır [101]. Bu yöntem ile bir ürünün ham maddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafını da kapsayan yaşam döngüsünün "beşikten mezara" her aşamalarındaki çevresel etkileri detaylı analiz edilmektedir [105], [106].



Şekil 2.1. Yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapısı [101].

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi YDD, amaç ve kapsamın tanımlanması, envanterin oluşturulması, etkilerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumlanması olmak üzere dört farklı analitik adımdan oluşmaktadır [101].

2.4.6.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

Amaç ve Kapsam Tanımı, yaşam döngüsü çevresel etkilerini karar verme sürecine dahil etme amacını ve yöntemini tanımlayan, tüm YDD'nin çalışma planını belirleyen ilk tercihlerin yapıldığı evredir [107], [108]. YDD'nin bu aşamasında çalışmanın temel amacı, fonksiyonel birimi, sistem sınırları, veri kategorileri, veri kalitesinin tarifleri, varsayımlar ve kısıtlamalar, eleştirel gözden geçirme ve çalışma için gereken raporun tip ve formatı ile ilgili kararlar verilmelidir [101]. Çalışmanın kapsamı, yeterli derinlik ve detayda olmalı ve hedef tanımlı toplanan bilgi ve verilere göre değiştirilebilmektedir [109]. Amaç ve kapsam tanımı aşamasında herhangi bir veri toplama işlemi ve sonuç hesabı yapılmamakta olup YDD çalışma planının açık ve net bir şekilde ifade edildiği evredir. Diğer bir deyişle YDD raporunda okuyucunun çalışma ile ilgili ele alınan kesin soruyu ve seçilen ana ilkeleri hızla bulmasına yardımcı olmalıdır [110].

2.4.6.2. *Envanter Analizi*

Yaşam Döngüsü Envanteri analizi, belirli bir ürün sistemi için yaşam döngüsü boyunca girdi ve çıktılara ilişkin verilerin toplanması, derlenmesini ve hesaplama yöntemlerini içeren bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) evresidir [111].

Yaşam döngüsü envanter analizi aşamasında kaliteli ve yeterli miktarda verilerin toplanması karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle araştırmacılar ürünlerin envanter analizi için karmaşıklığı ve zamanı azaltabilecek farklı teknikler geliştirmektedirler. Uygun bir envanter tekniği seçmek çalışmanın amacına, kapsamına, zamana, emeğe, paraya vb etkenlere bağlıdır. [112]. Veri toplama aşamasında ulaşılamayan veriler veya farklı veri gereksinimleri oluşabilir. Böyle bir durumda veri toplamak için kullanılan yöntemde veya araştırmanın amaç ve kapsam tanımında değişikliğe gidilebilir [113].

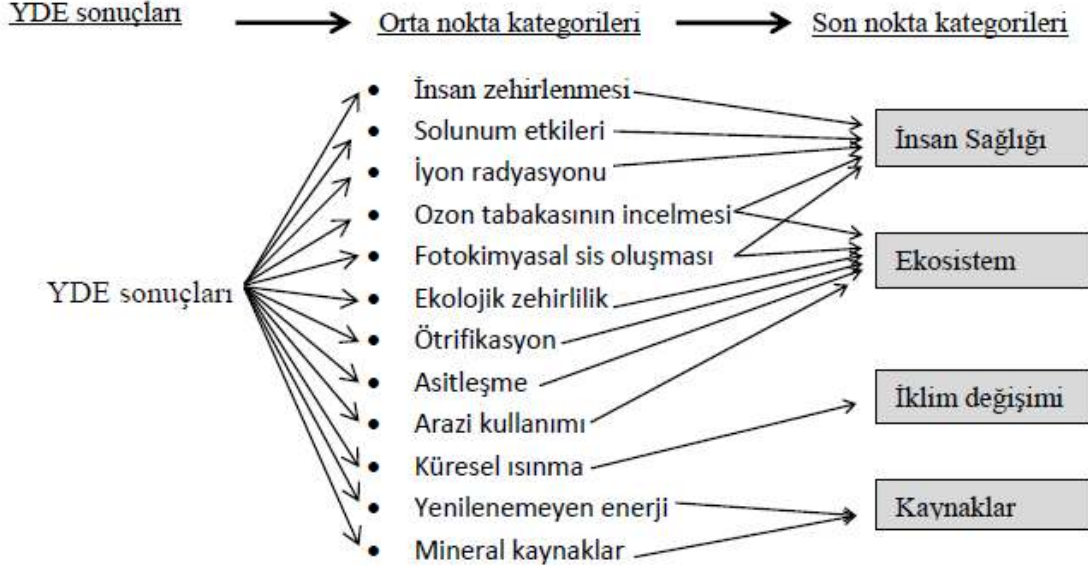
Yaşam Döngüsü Envanter Analizi, incelenen ürün için niteliksel ve niceliksel girdi/çıkış verilerini toplayıp sıralar ve ana kaynak tüketimi, enerji tüketimi ve kirlilik için takip edilmesi gereken adımları sunar [109]. Bunun yanı sıra YDD'nin kullanımı envanter analizinin doğruluğu ve kapsamına büyük ölçüde bağlıdır. Verilerin güvenilir ve büyü çoğunluğunun toplanması, bir sonraki basamak olan Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi aşamasının ve dikkate alınan çevresel etki kategorilerinin hatalı olmasını ortadan kaldıracaktır. Diğer bir deyişle, somut üretimin YDD'sinin güvenilirliği doğrulanmış, güvenilir verilere ve kapsamlı envanter analizine bağlıdır [114].

2.4.6.3. *Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)*

YDED, amaç ve kapsam tanımı ve envanter analizi aşamalarını izleyen, yorum aşamasından önce ISO 14040 standardına uygun olarak gerçekleştirilen YDD'nin üçüncü evresidir [115]. Aynı zamanda YDED, envanter analizi aşamasında elde edilen verilere göre çevresel etkilerin değerlendirildiği kısımdır [108]. ISO 14040 standardına göre YDED zorunlu ve zorunlu olmayan beş adımdan oluşmaktadır. Bu adımlardan çevresel etki kategorilerinin seçilmesi, tanımlama modellerinin ve kategori göstergelerinin seçilmesi, envanter sonuçlarının sınıflandırılması ve karakterizasyon adımları zorunlu olup normalizasyon ve ağırlıklandırma zorunlu olmayan adımlardır [115], [116].

Ürünlerin YDD yöntemi ile çevresel durumlarını belirlemek için ülkeler ve üreticiler birçok yazılım programı ve etki değerlendirme modelleri geliştirmiştir [117]. Mevcut YDED modellerine bakıldığında orta nokta yaklaşım modelleri, son nokta yaklaşım modelleri ve orta ve son nokta yaklaşımını birleştiren yaklaşım modelleri bulunmaktadır

[116].



Şekil 2.2. YDE sonuçlarının orta ve son nokta çevresel etki kategorileriyle ilişkisi [116].

YDED aşamasında elde edilen sonuçlarının orta ve son nokta çevresel etki kategorileriyle ilişkisi Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Envanter analizi aşamasından elde edilen çevresel veriler orta nokta kategorilerinde küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, arazi kullanımı, solunum etkileri gibi sınıflandırılmakta ve bu noktalarda karakterizasyon adımı yapılmaktadır. Son nokta yaklaşımında ise dönüştürme katsayıları kullanılarak iklim değişikliğine etki, kaynakların tüketilmesi, ekosistemin zarar görmesi ve insan sağlığına zarar hesaplanmaktadır [116], [118].

2.4.6.4. Yaşam döngüsü yorumu

Yorum, envanter sonuçlarına dayanarak sonuçların alındığı bir yaşam döngüsü değerlendirmesinin (YDD) evresidir ve etki değerlendirmesi ve önerinin, çalışmanın amacına göre yapıldığı aşamadır. Dolayısıyla bu, çalışmanın başarılmasının nedenlerine atıfta bulunmaktadır. Yorum aşaması YDD diğer aşamalarına güven oluşturacak şekilde karar vericilere yararlı, iyileştirici, faydalı ve şeffaf bir şekilde bilgi sağlamalıdır [119]. Bu aşamada önemli konular tespit edilir, sonuçlara ulaşmak ve tavsiyeleri formüle etmek için bulgular değerlendirir. Rapor, ISO 14040'a göre YDD'nin aşamalarını tamamlayan son elemandır [43].

Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), inşaat sektöründen kaynaklı kaynak tükenmesi konusundaki endişenin üstesinden gelmek için gelişmişte olan ve gelişmiş ülkelerdeki çevresel konuları ele almak için bilimsel bir yöntem olarak benimsenmektedir [43].

3. KOMPOZİT MALZEMELER İÇİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN OLUŞTURULMASI

İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin, üretimi için gerekli hammaddenin çıkarılması, üretilmesi, taşınması, kullanılması ve bertarafı aşamalarının tümü sadece doğal kaynaklar tüketmekle kalmaz, aynı zamanda enerji kullanımıyla, hava ve su kirliliği üretir ve insan sağlığını etkiler. Bu nedenle, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkisinin azaltılmasıyla yüksek performanslı, sağlıklı yapılara sahip olmanın yanı sıra, aynı zamanda çevrenin korunmasına yardımcı olunur.

Gelecekte nüfus artışının gerekliliklerini karşılamak için inşa edilecek daha fazla yapı ile, inşaat malzemelerinin çevresel etkisi küresel olarak artmaya devam edecektir. Bunu azaltmak için, kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirlik düzeyini artırmaya yönelik yöntemler ve süreçler geliştirilerek malzemelerin çevresel ayak izini en aza indirmek gerekmektedir. Bu öneme rağmen, kompozit inşaat malzemesi sektöründe malzemelerin çevresel sürdürülebilirliğine yönelik mevcut herhangi bir çerçeve bulunmamaktadır.

Bu bölümde, kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirlik düzeyinin artırılması, çevresel etkilerinin azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğine yönelik bir çerçeve geliştirilmiştir.

Çerçeve, tarımsal ve endüstriyel atıkların geri kazanımı yoluyla kompozit yapı malzemelerin üretim aşamasında çevreye verdiği zararların azaltılmasına yardımcı olmak için kapsamlı bir metodoloji sağlamaktadır. Aynı zamanda bu etkideki değişimi saptamak için yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) bilimsel yöntemini ve bu yöntem kapsamında geliştirilen araçları önermektedir.

Bu çalışma, kompozit inşaat malzemelerin çevresel etkisini azaltmak ve bu azalmayı yaparken de atık kullanımı, alternatif enerji kaynağı kullanımı, geri dönüşüm senaryoları ve çevresel etki değerlendirme araçlarını göz önünde bulunduran kapsamlı bir çerçeve sağlamayı amaçlamıştır. Çerçeve, Kompozit inşaat malzemesi ürünlerinin çevresel sürdürülebilirlik düzeyini yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile inceleyerek ürünlerin çevresel etkilerini azaltmak için kullanılabilecektir.

Bu çerçeve için metodolojik adımlar alt bölüm 3.1’de ortaya konulmuştur. Alt bölüm 0, çalışılan sistemi tanımlar ve alt bölüm 3.3’de farklı çevresel sürdürülebilirlik sorunları ve göstergeler ile çevresel sürdürülebilirlik çerçevesini göstermek için kullanılan değerlendirme aracı açıklanmıştır. Oluşturulan çerçeve doğrultusunda alt bölüm 3.4’te çevresel etkinin belirlenmesi ifade edilmiş ve alt bölüm 3.5’te çevresel etkinin azaltılması için gerekli adımlar sıralanmıştır. Ayrıca alt bölüm 3.6’da mevcut kompozit malzeme ile çevresel etkisi iyileştirilmiş malzemenin çevresel açıdan karşılaştırılmasına ve üretimine yönelik konular açıklanmıştır. Bir sonraki alt bölüm çerçeveyi geliştirmek için kullanılan metodolojik adımları açıklamaktadır.

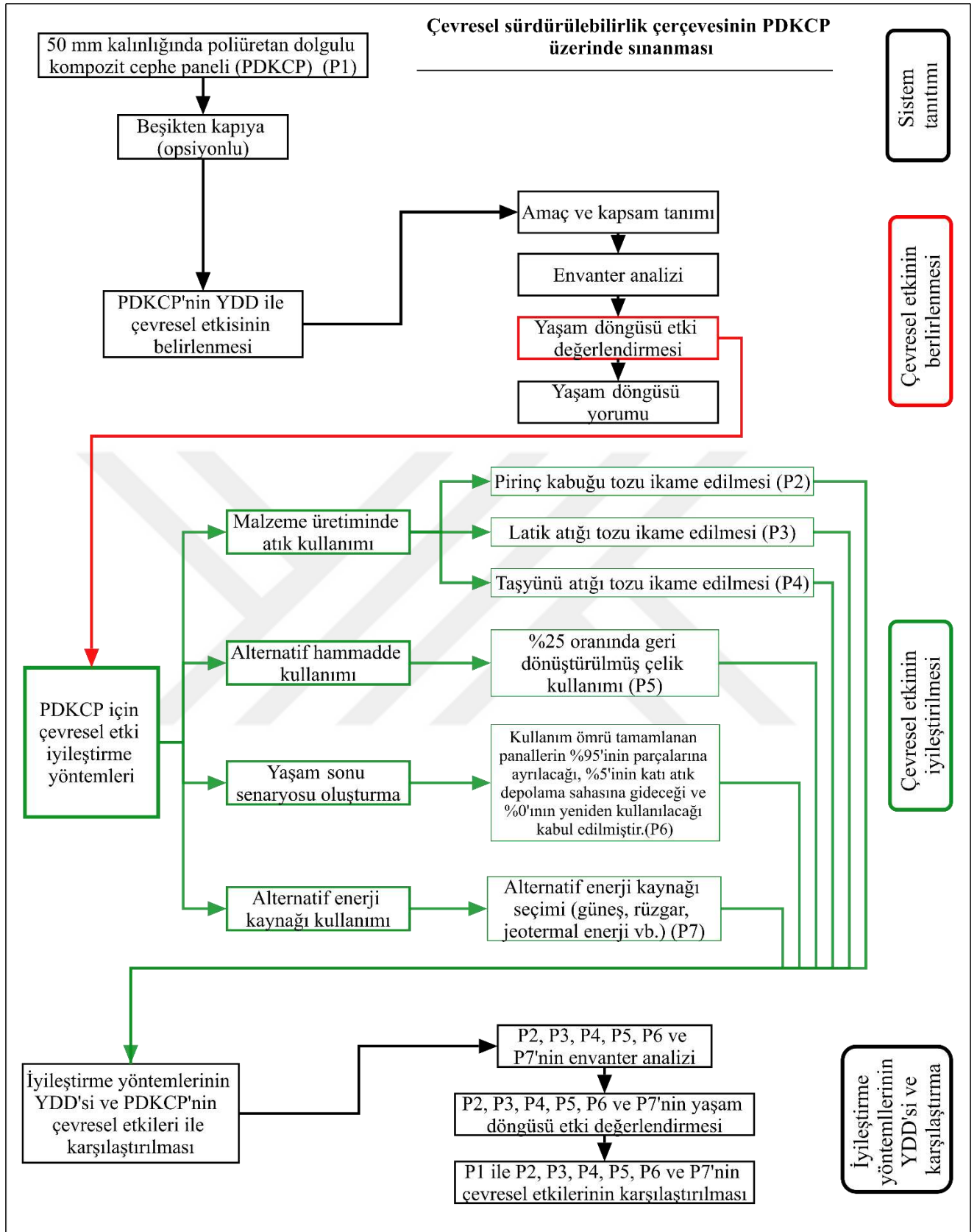
3.1. METODOLOJİ

Burada önerilen metodoloji, farklı ürünler üreten kompozit inşaat malzemesi üreticilerini ziyaret ederek, üretim, uygulama ve bertaraf süreçlerini kaydederek, ürün kataloglarını inceleyerek, bölgedeki tarımsal ve endüstriyel atık üreten ve toplayan firmaları ziyaret ederek ve bilimsel literatür dahil olmak üzere ilgili literatürde kapsamlı araştırmalar yaparak elde edilmiştir. Metodoloji Şekil 3.1’de özetlenmekte ve gösterildiği gibi iki bölümden oluşmaktadır: İlk bölüm a) çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi ve b) çerçevenin sınanması.

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi, seçilen kompozit inşaat malzemesini yaşam döngüsü boyunca inceleyerek sistemi tanımlamaktadır. Bir sonraki aşamada, bu malzemenin çevresel etkileri YDD yöntemi ile hesaplanmaktadır. Ardından bu etkilerin azaltılması için, endüstriyel ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi, alternatif hammaddelerin tercih edilmesi, bertaraf senaryolarının oluşturulması ve alternatif enerji kaynaklarından faydalanılması önerilmektedir. Devamında önerilen yöntemlerdeki değişimleri hesaplayabilmek için üretilen yeni malzemelerin yeniden YDD yöntemi ile çevresel etkileri belirlenerek karşılaştırma yapılmaktadır.

Çerçeve, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üzerinde sınanmış ve uygulanmasına yönelik bir örnek çalışma yapılarak doğrulanmıştır.

Bu alt bölüm çevresel sürdürülebilirlik metodolojisine odaklanmaktadır. Çerçevenin uygulanması, sınanması ve bu doğrultuda elde edilen sonuçlar 4 ve 5 numaralı Bölümlerde sunulmaktadır.

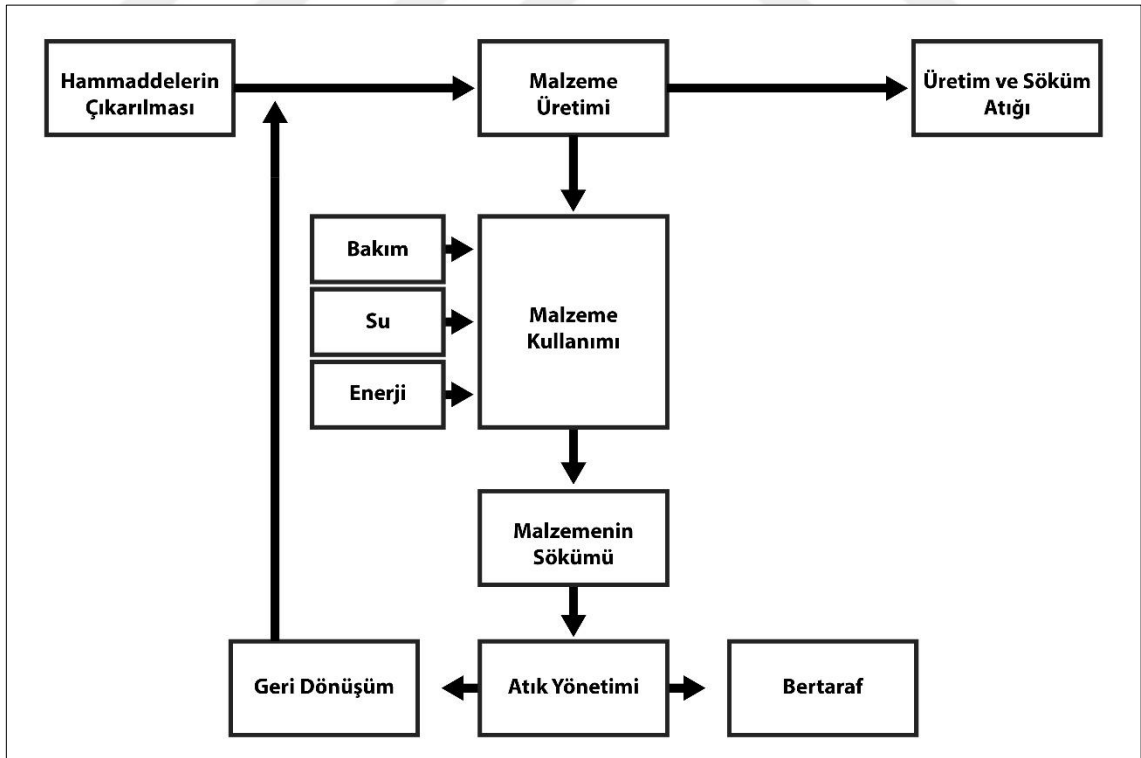


Şekil 3.2. Çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinin poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PDKCP) üzerinde sınanması.

3.2. SİSTEM TANIMI

Çerçeve, kompozit malzeme sektöründe üretilen ürünlerin çevresel sürdürülebilirliğini, 'beşikten mezara' bir yaşam döngüsü yaklaşımı ile inceleyerek, malzeme üretiminde atıkları değerlendirmeyi amaçlıyor. Kompozit malzemelerin yaşam döngüsü, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ham maddelerin çıkarımı ile ilgili tüm üretim faaliyetlerine, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım, atık yönetim faaliyetleri de dahil olmak üzere kullanım sonrası atık olarak bertarafına kadar olan tüm faaliyetleri kapsar.

Bu alt bölüm, kompozit malzemelerin yaşam döngüsüne katılan faaliyetleri açıklamaktadır. Kompozit malzeme sektörünün yaşam döngüsü; üretim, kullanım ve bertaraf olmak üzere üç ana aşamaya ayrılabilir. Bu aşamalar Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Üretim aşaması; hammadde çıkarımı, hammaddenin üretim alanına sevkiyatı, üretimi ve üretilen malzemenin kullanım alanına sevkiyatını kapsamaktadır. Kullanım aşaması; montaj aşamasında kullanılan enerji ve su tüketiminin yanı sıra malzemenin oranımı ve bakımı faaliyetlerini içerir. Son olarak, bertaraf aşaması; malzemenin sökülmesi ve atık yönetim faaliyetlerini, örneğin; depolama, geri dönüşüm, bertaraf ve malzeme atıklarının sektörde tekrar kullanımı gibi konuları kapsar.



Şekil 3.3. Kompozit inşaat malzemesinin yaşam döngüsü aşamaları.

3.3. KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİ İÇİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KONULARI VE GÖSTERGELERİ

Çalışma kapsamında tanımlanan ve kullanılan kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği ile ilgili konular daha önceki çalışmaların bazılarına dayandırıldığında; kaynakların tükenmesi ve korunması, atık üretimi ve çevresel etkiler olmak üzere üç ana başlık altında toplanmaktadır [120]–[124]. Bu konuları değerlendirmek ve ölçmek için önerilen sürdürülebilirlik göstergeleri de aşağıda anlatılmaktadır.

3.3.1. Çevresel Sorunlar ve Göstergeler

Kompozit inşaat malzemelerinin temel çevre sorunları Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi kaynakların tükenmesi ve korunması, enerji ve su kullanımı, atık üretimi olmakla birlikte küresel ısınma, ozon incelme potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrifikasyon potansiyeli ve diğer çevresel etkilere katkıda bulunmaktadır [120], [125]–[128]. Kompozit inşaat malzemelerinin çevre üzerindeki etkilerinin ölçülmesine yardımcı olmak için Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi, 4 çevresel sorun altında 14 çevre göstergesi önerilmektedir. Bu sorun ve göstergeler kompozit inşaat malzemeleri için takip eden kaynaklardan alınmış ve adapte edilmiştir [116], [122], [128]–[130].

Çizelge 3.1.Kompozit inşaat malzemelerine yönelik çevresel göstergeler ve konular.

Ele alınan çevresel sorunlar	Çevresel göstergeler
Kaynakların tükenmesi ve sorunları	Malzemeler ; • Abiyotik kaynak tüketimi • Malzemelerin ömrü • Çevreye duyarlı kaynak ve tedarik
Enerji ve su kullanımı	Enerji tüketimi (fosil ve yenilenebilir enerji) Su tüketimi
Atık üretimi	Katı atık üretimi Malzemenin Geri Dönüşümü
Çevresel etkilere katkı	• Küresel ısınma • Ozon tabakasının incelmeye • Asitleşme • Ötrifikasyon • Fotokimyasal sis oluşumu • Fosil yakıtların tüketilmesi • Mineral kaynakların tüketilmesi

Malzemelere ilişkin göstergeler, abiyotik kaynak tüketimini, malzemelerin ömrünü ve malzemelerin çevreye duyarlı kaynağını içermektedir. Her bir gösterge aşağıda sırasıyla

ele alınmaktadır.

3.3.1.1. *Abiyotik Kaynak Tüketimi*

Bu gösterge kompozit inşaat malzemesi üretiminde kullanılan fosil yakıtlar, metaller ve mineraller gibi doğal kaynakların tüketimini ölçer. Doğal kaynaklar doğrudan yapıli çevreyi beslediğinden dolayı kaynak tüketimi kompozit malzeme üretimi için önemli bir konudur.

Abiyotik tüketim, toprak tüketimini ve cansız çevrenin tüketimini içermekte olup etki sınıfı altında yenilenemeyen kaynaklardan fosil yakıt tüketimi, toprak kirliliğı, su kaynaklarının tüketimi, habitat değışimi ve alan kullanımını ele alınmaktadır [130]. Hammadde olarak mineral kaynakları büyük ölçüde tüketen inşaat sektöründe; çimento üretimi için kalker, kil ve alçı taşı, beton üretimi için agrega, çimento ve katkı maddesi ve orman ürünlerinin kullanılması için ahşap malzemeler tüketilmektedir. Aynı etkinlikte ve miktarda enerji sağlayacak yenilebilir bir kaynak henüz bulunamamıştır [131].

Malzeme kaynakları başlıca kompozit malzemelerin üretilmesinde ve konutların inşasında kullanılmaktadır. Bu nedenle bu gösterge malzeme üretim aşamasında ve malzemenin kullanımı aşamasında gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinde geçerli olacaktır. Gösterge ayrıca madencilik endüstrisi ve kompozit malzeme üretim şirketleri ile ilgilidir; çünkü bu paydaşlar doğrudan inşaat malzemelerinin üretimi ile ilgilenmektedir.

3.3.1.2. *Malzeme ömrü*

Bu göstergenin amacı, kompozit inşaat malzemelerinin kullanım ömrünü değerlendirmektir. Bu önemlidir çünkü daha uzun ömürlü materyallerin daha yüksek değıştirme aralıkları vardır. Bu da doğal kaynakların tüketimini ve atık üretimini azaltır[132]. Çizelge 3.1'de gösterildiğı gibi, bu gösterge kompozit inşaat malzemelerinin üretim, bakım ve atık yönetimi bölümlerinde geçerlidir ve kompozit malzemelerin tasarlanması, üretimi, bakım aşaması ve bertarafı ile ilgili paydaşlarla ilgilidir.

3.3.1.3. *Çevreye duyarlı kaynak ve tedarik*

Bu gösterge, kompozit inşaat malzemesi üretiminde kullanılan hammaddeleri ve tedarik zincirindeki tedarikin kaynağını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çizelge 3.1'de gösterildiğı gibi bu gösterge, hem üretim hem de bakım faaliyetleri için hammadde gerekliliğı nedeniyle malzemenin üretimi ve kullanım aşaması ile ilgilidir. Hammadde

seçimi ve arzı ile ilgili olan paydaşları, üretim ve yenileme faaliyetlerine katılan perakendeciler ve yüklenicilerle ilgilidir.

Bu çevre meselesi, niceliksel bir biçimde değil, nitel bir biçimde değerlendirilir, çünkü yalnızca malzemelerin sürdürülebilir kökenini kanıtlayan sertifikalar ve belgeler gibi kanıtların varlığıyla ölçülebilir. Yerel topluluklar, yerel ekonomiyi canlandırabileceğinden sorumlu kaynak bulma ve sürdürülebilir satın alımdan yararlanabilirler [125].

Yerel hammadde tedarikçileri ile çalışmak önemlidir. Bunun sebebi yerelde üretilen hammaddeler kompozit inşaat malzemesi üretim tesisine daha kısa mesafe kat ederek getirilir ve bazıları paketlenmeden teslim edilerek hem karbon hemde atık izlerini azaltmaktadır. Böylece hammaddenin üretim yerine taşınması sırasında ortaya çıkan çevre sorunlarının önlenmesi, taşıma enerjisinin azaltılması, hammaddenin kayıp vermeden taşınması, kirletici atıkların oluşumunun engellenmesi için yerel ürünlerin ve geleneksel malzemelerin kullanımı çevresel bir davranış olacaktır.

3.3.1.4. *Enerji tüketimi (fosil ve yenilenebilir enerji)*

Bu gösterge tedarik zinciri boyunca fosil ve yenilenebilir enerji tüketimini ölçmektedir. Bu göstergenin kullanılması ile üretiminde yüksek enerji kullanılan kompozit malzemenin üretilmesine ve tedarik zincirindeki diğer yerlerde kullanılan enerjinin azaltılmasına yardımcı olunabilir. Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi, bu gösterge kompozit inşaat malzemesinin yaşam döngüsü boyunca geçerlidir, çünkü enerji her aşamada kullanılır.

Günümüzde, kompozit inşaat malzemeleri üretiminin enerji ihtiyacını karşılamak için güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve güneş fotovoltaik sistemleri (PV) gibi yenilenebilir teknolojilerin geniş bir yelpazesi bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin yaşam döngüsünün tüm aşamalarında fosil ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak kompozit malzemelerin çevreye olan etkileri azaltılmış olacaktır.

3.3.1.5. *Su tüketimi*

Türkiye'nin 2016 yılında tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 54 milyar m³'ü kullanılmaktadır. Bu suyun % 74,07'si (40 milyar m³)'ü sulama; % 12,9'u (7 milyar m³) içme-kullanma, % 12,9'u (7 milyar m³) ise sanayi sektöründe kullanılmıştır. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m³ civarındadır [133]. Türkiye'de yılda kişi başına düşen su, kişi başına su zengini

Ülkelerin yaklaşık 1/5'idir. Ŗu ana kadar hakim olan inancın aksine Türkiye'nin su zengini bir ülke olmadığını belirtmek gerekir [134].

Tuğla, imento, alüminyum, cam vb. inŖaat malzemelerinin üretim aŖamasında önemli miktarda su kullanılmaktadır. Kullanılan bu suyun azaltılması için ilk olarak ürün bazında su kullanım miktarlarının analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizden sonra kullanılan suyun azaltılmasına yönelik alıŖmalara hız verilerek sürdürülebilir malzeme üretimine katkı sağlanmış olacaktır. Ayrıca kompozit malzeme üretiminde atık olarak ortaya çıkan suyun da geri dnŖtrlerek yeniden malzeme üretiminde kullanılması üretilen malzemenin çevresel etkisinin azaltılmasına önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

3.3.1.6. *Katı atık retimi*

Kompozit malzeme üretiminde; atıkları ölçmek için malzeme üretimi faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar ve üretimde kullanılan malzemelerin geri dnŖtrlebilirlik potansiyeli olarak iki gösterge seilmiŖtir.

Bu gösterge; kompozit inŖaat malzemesinin yaŖam döngüsü boyunca çıkartılması, üretimi, bakım ve bertaraf iŖlemleri sırasında uygulanabilir. Bu göstergenin kullanılması, malzeme üreten firmaların mevcut uygulamalarının performansını izlemelerini ve atıkların minimize edilmesi ile ilgili Ŗirket ve yasal hedeflerini karŖılamak için uygun deđiŖiklikler yapmalarını sağlar. Bu da, depolama alanına olan gereksinimin azaltılması, atık yönetiminde maliyetlerin azaltılması (geri dnŖtrlmŖ malzemeler için gelir yoluyla ve depolamadan kaçınma), yerel topluluklar ve diğer paydaŖlar arasında daha iyi bir itibar gibi pek çok avantaja yol aacaktır.

Kompozit malzemenin üretim, bakım ve bertaraf faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar malzeme üretim sektörü için ortak bir konu olup her yıl üreilmeye devam etmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için kaynakların daha verimli kullanılmasının sağlanması, modern üretim yöntemlerine geiŖ ve atık üretiminin asgaride tutulması gerekmektedir. Ayrıca bu atıklar farklı kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılmalıdır. Bu yöntemler sayesinde malzeme, enerji, emek ve zaman gibi kaynaklar optimum seviyede kullanılmış olacaktır.

3.3.1.7. *Malzemenin geri dnŖm*

Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi, bu gösterge üretim aŖaması ve kullanım ömrü sonu aŖamasında uygulanabilir. Bu göstergenin kullanılması, geri dnŖml malzemelerin kullanımının teŖvik edilmesinin yanı sıra kompozit malzeme atığının geri kazanımı, geri

dönüşümü, yeniden kullanımı ve dolayısıyla doğal kaynakların korunması için teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Yapıların ve binaların tüm yaşam döngüsü içerisinde atık oluşmaktadır. İnşaat sektörü, dünyadaki endüstriyel atıkların yaklaşık % 35'ini üretmektedir [135]. İstatistiksel verilere göre inşaat atığı, dünya çapında birçok çöp toplama sahasında alınan atığın yaklaşık % 10-30'unu oluşturmaktadır [136].

Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede; artan atık üretimi, düzenli ve yasadışı olmayan şekilde inşaat atığının boşaltılması ve depolama alanının azlığı kritik konular haline gelmiştir. Çevrenin korunması ve sürdürülebilir kalkınmayı garanti altına almak için çok sayıda çevresel düzenlemeler ve girişimler geliştirilmiştir. Bu çalışmaların çoğu, inşaat atığının önlenmesi ve/veya mümkün olduğunca en aza indirilmesi hedeflenmektedir [135], [137].

Literatürde inşaat endüstrisi atıklarına odaklanan çalışmalar üç ana grubu ayrılmaktadır. Bunlar; atık üretimin temel nedenlerini belirlemeye yönelik çalışmalar, inşaat atığının tahmini ve yönetimi ile ilgili çalışmalar, atık üretiminin önlenmesi ve azaltılmasına yoğunlaşan çalışmalardır [138]. Türk inşaat sektörü de büyük miktarda inşaat atığı üretmektedir [137]. Atık yönetiminin ilk adımı, atık üretiminin en önemli nedenlerini tanımlamalı ve öncelikle bu nedenlere odaklanmalıdır [138].

İnşaat atıklarının büyük bir kısmı üretimde kullanılan malzemelerin faydalı kullanım ömrü tamamlandıktan sonra yeniden kullanılamaması ya da geri dönüştürülememesinden kaynaklanmaktadır. Bu problemin önüne geçebilmek için kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilir şekilde üretilmesi sağlanmalıdır.

3.3.1.8. Küresel ısınma

Bu göstergenin amacı, sera gazı (GHG) emisyonlarının ölçülmesidir ve CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilmiştir. Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi, bu gösterge, kompozit inşaat malzemesinin sera gazı salınması nedeniyle tüm yaşam döngüsünün her aşamasında geçerlidir.

CO₂ ve CH₄ gibi sera gazı emisyonları iklim değişikliğine doğrudan katkıda bulunmaktadır. Bu gibi emisyonlar, doğal sera etkisi büyütürerek, yeryüzünün yaydığı radyasyonun emiliminde bir artışa neden olmaktadır. GWP100 ölçütü, kgCO₂ eşdeğeridir [139].

Sera gazları içindeki en yüksek pay CO₂'dir. Türkiye'de seragazı emisyon envanteri sonuçlarına göre, 2016 yılında toplam seragazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 496,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplandı. 2016 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %86,1 ile enerji kaynaklı emisyonları alırken, bunu sırasıyla %13,6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %0,3 ile tarımsal faaliyetler takip etti [140].

Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2.5°- 4°C artacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak, daha kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı tahmin edilmektedir [116].

Kompozit inşaat malzemelerinin uzun ömürlü olması nedeniyle kompozit malzeme sektörü orta ve uzun vadede iklim değişikliğinin etkilerine açıktır. Türkiye iklim koşullarında bir dizi değişiklik yaşayacak ve bunların bazıları kompozit inşaat malzemelerini doğrudan etkileyecektir. Güneş ışınları, kuvvetli rüzgarlar ve yağış gibi aşırı olumsuz hava koşulları kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinde, dış görünümünde ve mekanik özelliklerinde hava koşullarına bağlı hasarlara neden olabilir. Çizelge 3.1'de gösterildiği gibi, bu gösterge bir kompozit malzemenin yaşam döngüsü boyunca geçerlidir.

3.3.1.9. Ozon tabakasının incelenmesi

Ozon tabakasını delici gazların ana kaynakları, soğutma ve soğutma sistemleri ile üfleme ajanları olarak hidrokloroflorokarbon (HCFC) içeren yalıtım malzemelerinin imalatıdır [141]. HCFC, kloroflorokarbon (CFC)'ların ikame maddesi olarak kullanılmaktadır [141]. 2008 yılında Türkiye'de kloroflorokarbon (CFC) kullanımı zorunlu kullanım alanları da dahil olmak üzere tüm ithalatı yasaklanmış olup hidrokloroflorokarbon (HCFC) grubu gazların ithalatı ise 2009'dan itibaren kotaya tabi tutulmuştur [116]. Ozon tabakası insanları etkilemekle birlikte, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik performanslarını düşürmektedir.

3.3.1.10. Asitleşme

Bu göstergenin amacı, kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca kükürt ve azot oksitleri gibi asitli emisyonlarını ölçmektir (Çizelge 3.1).

Asitleştirme potansiyeli, çevreye asit etkisi yaratan emisyonların bir ölçüsüdür. Asit yağışları asitleşmenin bir sonucudur. Asitleştirme potansiyeli mevcut sülfür iyonlarını (S-), Azot iyonlarını (N-) ve halojenlerle ilişkilendirilerek verilir. Kg SO₂ eşdeğerleri cinsinden ölçülür [139]. Asidik emisyonlar kompozit inşaat malzemelerini olumsuz

etkilemektedir. Asitli çökelme yüzünden beton, mermer, çelik ve bakır gibi kompozit inşaat malzemeleri diğerlerine oranla daha fazla bozulmaktadır [142].

3.3.1.11. Ötrofikasyon

Ötrofikasyon potansiyeli, çevrede ötrofikasyona neden olan emisyonların bir ölçüsüdür. Ötrofikasyon potansiyeli, karasal ve sudaki sistemler için N ve P arasındaki denklığı tanımlayan stoikometrik bir prosedürdür. Ötrofikasyon potansiyeli PO_4^{-3} eşdeğeri olarak ifade edilir [139]. Bu gösterge, kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca fosfatlar ve nitratlar gibi besin maddelerinin emisyonlarını ölçmektedir. [142].

Su yolları ve su organizmalarına zarar vermenin yanında, ötrofikasyon, konut inşaat sektörünün ana tedarikçilerinden biri olan su endüstrisi için ciddi bir problem oluşturmaktadır. Tat, koku, bulanıklık ve köpük oluşumu gibi su özelliklerini ve ayrıca su arıtma işlemlerini olumsuz yönde etkileyebilir [143].

Karadeniz tatlı su girdisinin fazla olması nedeniyle azot ve fosfor bakımından Marmara ve Akdenize göre daha zengindir. Fakat nehirlerle denize taşınan azot ve fosfor miktarı artışı Karadeniz’de ötrofikasyon ekosistemini tehdit etmektedir [144].

3.3.1.12. Fotokimyasal sis oluşumu

NO_x ve VOC'nin ultraviyole (UV) ışığın etkisi altındaki tepkimesiyle üretilen düşük seviyeli dumana katkıda bulunan emisyonların bir ölçüsüdür. Fotokimyasal sis oluşumu potansiyeli, etilen (C_2H_4) eşdeğerleri cinsinden ölçülür [139]. Bu gösterge kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsü ile alakalıdır.

Türkiye’de fotokimyasal sis oluşumu yaz aylarında daha etkili olan güneş ışığı ve yüksek sıcaklık nedeniyle artmaktadır. Türkiye, 2006 yılında NO_x salımı yüksek olmasına rağmen 1990 yılına oranla % 72.4’lük bir düşüş göstermiştir [145].

3.3.1.13. Fosil Yakıtların Tüketilmesi

Ham petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların doğal rezervleri sınırlı olmakla birlikte kullanıldıktan sonra geri dönüştürülemez ve yeniden kullanılamaz. Bu kaynakların sürekli ekstraksiyonu ve aşırı tüketimi fosil yakıt kıtlığına yol açmaktadır [146][142]. Fosil yakıtlar bir dereceye kadar farklı yakıt kaynakları ile ikame edilebilir. Örneğin benzin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) veya sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ile ikame edilebilir. Ve böylece doğal gazdan veya ham petrolden üretilen kimyasallar alternatif hidrokarbonlardan üretilebilirler [146]. Fosil yakıtların tüketilmesi MJ

cinsinden ifade edilmektedir [142].

Türkiye enerji tüketiminin % 25'ini yerli enerji kaynaklarından sağlamakta ve % 75 seviyesinde dışa bağımlı olarak ithal kaynaklardan sağlamaktadır. Dışa bağımlı olduğumuz kaynaklar sırasıyla petrol, doğalgaz ve kömür şeklindedir. Türkiye birincil enerji talebinin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; tüketimin %30'u çevrim sektöründe (elektrik üretiminde), %24'ü konut ve hizmet sektöründe, %23'ü sanayide ve %19'u ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır [147]. Kompozit inşaat malzemesi üretiminde enerji yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Enerjide dışa bağımlı olması ve enerji fiyatları açısından dünyadaki en pahalı enerjiyi kullanan ülkeler arasında yer alması enerji kaynaklarını Türkiye için önemli kılmaktadır [145].

Kompozit inşaat malzemesi üretim, kullanım ve bertaraf aşamalarının tümünde enerji yoğun olarak tüketilmektedir. Fosil yakıtlar kullanılan üretilen bu enerjinin tüketilmesi sayesinde kompozit malzemelerin çevresel etkileri yüksek çıkmaktadır. Bu etkilerin azaltılabilmesi için kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngülerinin tüm süreçlerinde alternatif enerji kaynaklarından faydalanılması gerekmektedir. Bu sayede kompozit malzemelerin sürdürülebilirlik seviyelerinde artış olacaktır.

3.3.1.14. *Mineral kaynakların tüketilmesi*

Mineraller ile fosil kaynakların ayrı incelenmesinin nedeni oluşum süreçlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Mineral kaynaklar için en önemli nitelik parametresi konsantrasyondur. Konsantrasyon ne kadar az olursa, kaynağın kazanımı için gerekli olan enerji de o kadar artacaktır [148]. Mineraller, maden cevheri miktarının azalması nedeniyle 1 kg cevher veya maden elde etmek için harcanan fazla enerji olup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örneğin; alüminyum, boksit, bakır gibi [149].

Başta endüstriyel ham maddeler olmak üzere, bazı metalik madenler, linyit ve jeotermal kaynaklar gibi enerji ham maddeleri açısından ülkemiz zengindir. Ancak birkaç maden dışında dünya ölçeğindeki rezervlerimiz kısıtlıdır. Ülkemizin zengin olduğu madenler arasında ilk sırayı dünya rezervlerinin % 72'sini oluşturan bor mineralleri almaktadır [150].

Bor dışında barit, jips, lületaşı, mermer, diatomit, perlit, manyezit, stronsiyum tuzları, sepiyolit, fluorit, kireçtaşı, pomza, sodyumsülfat, zeolit, profilit, kuvars-kuvarsit, linyit, feldspat, kayatuzu, olivin, dolomit, siliskumu, altın, bentonit, trona, asbest, kalsit ve zımpara taşı Türkiye'nin zengin kaynaklara sahip olduğu başlıca madenlerdir. Önemli

mineral kaynaklar arasında; kaolen, karbondioksit, krom, molibden, boksit, nefelin siyenit, civa, diatomit, Tras, antimuan, toryum, alünit, kum-çakıl, gümüş, turba, tuğla toprağı, volfram bulunmaktadır. Bakır, manganez, grafit, boya toprakları, kurşun, alüminyum, maden kömürü, zirkon, çinko, arsenik, talk, titan, demir, kükürt, mika, nikel, fosfat, kil mineralleri ise yetersiz mineral kaynaklardandır [151].

Kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsünün tüm aşamalarında Ülkemizin sahip olduğu mineral ve madenlerden faydalanılmasıyla malzemelerin çevresel performanslarına katkı sağlanacaktır.

3.3.2. YDD’de Benimsenen Yaklaşımlar ve Hususlar

YDD metodolojileri alt bölüm 2.5.7 'de tanımlanmıştır. Bu alt bölüm, 4. Bölümde sunulan vaka analizi için benimsenen spesifik yaklaşımı daha ayrıntılı olarak açıklamaktadır.

Bu çalışmada, sistem sınırı "beşikten kapıya (opsiyonlu)" yaklaşımı ele alınmıştır. Bu nedenle vaka çalışmasına dahil edilen süreçler, kompozit malzemenin yaşam döngüsü boyunca yerine getirilen faaliyetleri ile ilgili süreçlerdir. Bu süreçler beşikten kapıya (opsiyonlu); hammaddelerin çıkarılması, hammaddelerin üretim tesisine nakliyesi, kompozit malzemenin üretimi, paketlenmesi ve kullanım sonrası atık yönetimi faaliyetlerini kapsamaktadır. Coğrafi ve zaman sınırlarına gelince, Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. burada incelenen kompozit inşaat malzemesinin üretim yeri olarak tanımlanmış ve etkiler 100 yıllık bir süre boyunca değerlendirilmiştir.

Fonksiyonel birimin tanımı: Vaka çalışmasının niteliğinden dolayı fonksiyonel birim “1 m² yalıtımlı kompozit panel” olarak tanımlanmıştır.

Karakterizasyon yönteminin ve etki kategorilerinin seçimi: YDD örneğinde orta nokta karakterizasyon yöntemi, bir son nokta üzerinde tercih edilmiştir. Çünkü bu çalışma, kirleticilerin kompozit inşaat malzemesinin yaşam döngüsü faaliyetlerinden elde ettikleri potansiyel etkileri ölçmekle ilgilidir. Paydaşların doğrudan girdisi olmaksızın tanımlanmasının zor olacağı spesifik sonuçlar yerine, çevreye odaklanır. CML rehberinde ISO standartlarına getirilen on bir etki kategorisi kullanılmıştır.

Veri kalitesi: Verilerin kalitesi, herhangi bir yaşam döngüsü değerlendirmesinin başarısındaki anahtarı temsil eder, bu nedenle veri toplama işlemi mümkün olduğunca özenle yapılır. Vaka analizlerinde kullanılan verilerin çoğu Türkiye’de önde gelen panel

üreticilerinden olan Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'den yapılan incelemeler ve birebir görüşmeler doğrultusunda 2015 yılında temin edilmiştir. İkincil veriler ise Ecoinvent ver. 3.2 veri tabanı kullanılarak temin edilmiştir. Tüm veriler, tutarlılık için yazar tarafından toplanmış ve tekrarlanabilirlik için vaka analizleri boyunca iyi belgelenmiştir.

Tahsis: Sistem genişlemesi, kompozit inşaat malzemesi atığının her malzemenin kullanım ömrünün dolması sonrasında geri kazanılmasından ve kullanılmasından sağlanan faydaları tahsis etmek için seçilmiştir. Bu tercih kompozit inşaat malzemeleri için en uygun seçeneği temsil etmiştir. Çünkü kompozit malzemeyi oluşturan hammaddelerin geri dönüştürülmesi ve/veya yeniden kullanımı üretimde kullanılan hammaddelerin yerini almış ve böylece doğal kaynakların korunması sağlanmıştır.

3.4. ÇEVRESEL ETKİNİN BELİRLENMESİ

Çalışmanın bu aşamasında, seçilen kompozit malzemeler hakkında elde edilecek bilgiler doğrultusunda malzemenin YDD bilimsel yöntemi ile çevreye olan etkileri bütünsel bir yaklaşımla; ham madde temini, hammaddelerin tesise nakliyesi, kompozit malzemenin üretimi, paketlenmesi, dağıtımı, kullanımı, bakım/onarım, kullanım sonrasındaki bertaraf aşamasını ve geri kazanımı kapsayacak şekilde beşikten mezara modellenerek çevresel etkileri belirlenebilir. Kompozit malzeme hakkında elde edilecek verilere bağlı olarak YDD çalışmaları malzemenin yaşam döngüsünün beşikten mezara, beşikten kapıya, beşikten beşiğe ve kapıdan kapıya aşaması esas alınabilir.

Kompozit bir inşaat malzemesi, YDD yöntemi ile analiz edilerek malzeme üretimi için kullanılan enerji, kullanılan hammadde miktarları net bir şekilde belirlenmiş olacak ve bundan dolayı oluşan atık ve emisyonların çevresel etkileri, bu süreçte doğal kaynakların tüketimi nicel olarak ortaya konulacak ve çevresel iyileştirme fırsatları değerlendirilebilecektir.

Seçilen kompozit malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirmesi amacı, her bir malzemenin çevre üzerindeki etkilerin belirlenmesi ve bu etkilerin karşılaştırmalı olarak sunulması şeklinde belirlenmelidir. Böylece çevresel etkisi diğerlerine göre fazla olan malzeme seçilmiş olacaktır.

Çevresel etkileri karşılaştırılacak malzemelerde dikkat edilmesi gereken bir husus fonksiyonel birimin belirlenmesidir. Kompozit malzemelerin karşılaştırılacağı YDD

alışmalarının sonuçlarının yorumunda, karşılaştırılan sistemlerin eşdeğerliliği önem arz etmektedir. Kompozit malzemeleri çevresel etki bakımından karşılaştırılmasında sonuçların doğru ve güvenilir olması için kompozit malzemenin kendisinin değil fonksiyonel özelliğinin dikkate alınması gereklidir. Envanter aşamasında toplanan tüm veriler, fonksiyonel birim bazında değerlendirilmekte ve sistemler arasında karşılaştırmalar aynı fonksiyonel birim bazında yapılmaktadır. Karşılaştırılacak kompozit malzemelerin aynı işlevsel birime sahip olması gerekmektedir. Kompozit malzemelerin fonksiyonel birimi malzemelerin kullanım amacı, yoğunluk, ısıl iletkenlik, kalınlık, ağırlık, mesafe gibi ölçüler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

Kompozit malzemelerin üretim prosesleri birden fazla olabilmektedir. Bazı kompozit malzemeler standart ürün elde etmek, üretim zamanını azaltmak, üretim miktarını arttırmak ve ürün maliyetlerini azaltmak için seri üretim bandında tek hat üzerinde gerçekleşmektedir.

Yaşam döngüsünde değerlendirilen kompozit malzemelerin envanter analizindeki ilk aşamada malzemenin üretim aşamaları detaylı bir şekilde belirtilmelidir. Daha sonra bu aşamaların verilerinin toplanması için plan yapılmalıdır. Üretim aşamaları kapsamında veriler toplanmalıdır. Toplanan veriler bir sonraki aşama olan etki değerlendirmesinde dikkatlice analiz edilmelidir.

Çevresel etkisi hesaplanacak kompozit malzemeler hakkında envanterinin toplanması için üretimi yapılan alan (fabrika ya da laboratuvar) yerinde ziyaret edilmeli ve yetkililer ile görüşmeler yapılmalıdır. Böylece verilerin güvenilirliği ve büyük çoğunluğunun toplanması sağlanacaktır. Ürünün oluşumu ve üretim aşamaları ilgili detaylı araştırma yapılmalıdır. Malzemenin oluşumu için kullanılan hammaddeler, üretim prosesleri, ürünün oluşması sırasında ortaya çıkan atıklar hakkında, kullanılan enerji türü vb. bilgiler toplanmalıdır.

Kompozit malzemenin envanteri, malzemenin üretiminde kullanılan hammaddeler ve miktarına ait bilgiler, yardımcı doküman olarak ürün ve üründe kullanılan hammadde MSDS ve TDS'leri, kullanılan hammaddelerin tedarik yeri, nakliye tipi, üretim sürecinde fabrika içinde kullanılan araç türleri (forklift vs.) ve yakıt miktarları, üretim için gerekli olan enerji (elektrik, doğalgaz, kömür, vb.), ürünün oluşması sırasında ortaya çıkan atık miktarı, kullanılan ambalaj türü ve miktarı gibi birçok detaylı veriden oluşmaktadır.

Kompozit malzemenin envanteri, fonksiyonel birim bazında çıkarılıyor ise üretim

tesisinde üretilen yıllık ürün miktarı ile kullanılan hammadde ve enerji ile kıyaslanarak verilerin sağlanması yapılmalıdır. Böylece ürünün yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamasında dikkate alınacak çevresel etki kategorileri hatalı olmayacaktır.

Kompozit malzemelerin YDD yöntemi ile çevresel durumunun ortaya konulmasını kolaylaştırmak için envanter analizi aşamasında elde edilen verileri yazılım programından faydalanılarak program içerisinde yer alan etki değerlendirme modellerinden biri seçilerek orta ve son nokta kategorilerine etkileri hesaplanması önerilmektedir. Böylece YDD yazılımları sayesinde birden fazla malzemenin çevresel etkileri kolayca karşılaştırılabilecektir.

YDD yorum aşamasında, çevresel etkileri bulunan kompozit malzemelerin çevreye olan etkilerinin azaltılmasına ve iyileştirilmesine yönelik vurgu yapılmalıdır. Yorum, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik gereken çalışmaları ve verilmesi gereken kararları kapsamalıdır. Olumsuz etkilerin malzemenin yaşam döngüsünün hangi aşamasından kaynaklandığı bu etkilerin azaltılması için hammadde değişimine gidilmesi, alternatif hammadde kullanımı, bileşenlerin değiştirilmesi, üretim süreçlerinde iyileştirilmeye gidilmesi gibi çevresel etkileri azaltacak önlemler belirlenmelidir.

Yukarıda verilen detaylar doğrultusunda kompozit malzemenin çevresel etkisi belirlenerek malzeme ve işlevi hakkında detaylı analiz yapılabilecek, malzeme üretiminde kullanılan hammadde ve enerji sarfiyatını yaşam döngüsü boyunca azaltmaya yönelik stratejiler belirlenebilecek, üretimde kullanılan zararlı maddelerin yerine daha az zararlı maddeler seçilebilecek, malzemenin ömrü sonunda geri kazanılabilecek materyallerin belirlenmesi sağlanabilecek, üretim prosesleri ve ekipmanların değiştirilmesi ya da yeniden tasarlanması aracılığıyla çevresel etkilerinin önlenmesine/azaltılmasına olanak sağlayacaktır.

Böylece kompozit malzemenin yaşam döngüsü boyunca kaynak tüketiminin azaltılması, çevresel salınımları dolayısıyla etkilerin azaltılması, sosyal etmenlerin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi sağlanacak ayrıca ekonomik ve çevresel faktörler arasındaki pozitif bağlantılar betimlenebilecektir.

3.5. ÇEVRESEL ETKİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Günümüzde, ürünlerin çevresel problemleri ile her geçen gün artan bir şekilde yaşıyoruz. Doğal kaynaklar yeniden oluşum şansına sahip olmaksızın hızı bir şekilde

tüketilmektedir. Bu süreçte üretilen zararlı atıklar, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır [152]. Atıkların çevreye olan zararlarını indirgemek için geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanıldığı görülmektedir [153], [154], [155], [156].

Dünyanın dört bir yanındaki üreticilerde ve endüstrilerde, çevre dostu ürünlere talebin artmasıyla ürün ve süreç geliştirmede, iş planlamalarında ve genel stratejilerinde çevresel farkındalık kritik bir unsur haline gelmiştir [157]. YDD birçok uygulama alınının olmasıyla birlikte, en yaygın olarak ürün geliştirmede ve iyileştirmede kullanılır. Metodolojisi gereği üç tip problemi belirlemek ve çözüm yolları üretmek için kullanılmaktadır: bir ürünün değerlendirilmesi ve çevresel etkileri hakkında bilgi edinilmesi, ikame edilebilir ürünler veya süreçlerin üretimindeki üretim yollarının karşılaştırması ve verilen bir hizmetin veya hizmeti sunmak için alternatif yollar arasında karşılaştırılma yapılması [158].

Kompozit malzemeler, yaşam döngüsünün her aşamasında çevre üzerinde çok farklı olumsuz etkilere sahiptir. Çevre üzerindeki toplam etki açısından kompozit malzemelerin üretim aşamasının çevre üzerindeki etkisi önemli bir rol üstlenmektedir. Bunun nedeni, üretim sürecinde hammadde ve enerjinin tüketimi sonucunda emisyon açığa çıkmakta ve bu süreçte katı atık üretilmektedir.

Sürdürülebilir kompozit malzeme üretimi farkındalığı nedeniyle, çevreye etkisi daha az olan ve daha enerji verimli malzeme üretimi giderek vurgulanmaktadır. Kompozit malzemelerin yaşam döngüleri boyunca çevreye olumsuz etkiler yaratmayacak şekilde üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yaşam döngülerinin bazı veya tüm aşamalarında insan sağlığına ve çevreye zarar veren unsurlar belirlenmeli ve ekolojik bir bakış açısıyla olumsuz yönleri yok edilmeli ya da iyileştirilmelidir. Kompozit malzemelerin yaşam döngüsünün üretim süreci aşamasında daha az atık üretmesi, çevreyi daha az kirletmesi ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin minimize edilmesi için üretim yöntemlerinde iyileştirilmeler yapılmalıdır.

Önceliklerden biri, enerji talebini azaltmak ve üretim sürecini yenileyerek temiz üretime geçmektir. Bununla birlikte enerji verimliliği iyileştirmeleri, atık ısı geri kazanımı, hammadde oranının azaltılması ve alternatif hammaddelerin kullanılması, alternatif enerji kaynakları ile fosil yakıtların ikame edilmesi yöntemleri ile kompozit malzemelerin

olumsuz çevresel etkilerini minimize etmek mümkün olacaktır.

Çerçevenin bu aşamasında malzemenin çevresel etkilerinin azaltılması için; malzeme üretiminde endüstriyel, tarımsal ve üretim atığı kullanılması, alternatif hammaddelerin kullanılması, bertaraf senaryolarının oluşturulması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması önerilmektedir. Bu yöntemlerin ürün kalitesini etkilemeyecek şekilde uygulanmasıyla, malzemenin çevresel etkilerinin azaltılması, daha temiz ve sürdürülebilir malzeme üretimi, hammadde kullanımında azalma, enerji tüketiminde tasarruf ve malzemenin üretim maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

3.5.1. Malzeme Üretiminde Atık Kullanımı

Kompozit malzemelerin üretiminde doğal organik ve atık dolgu malzemeleri, yani yenilenebilir kaynaklardan gelen ve biyolojik olarak parçalanabilen ve farklı proseslerden kaynaklanan atık kullanarak "eko kompozit" veya "yeşil kompozit" malzemeler üretilmekte ve potansiyel faydalar elde edilmektedir [159-162]. Bu malzemeler alternatiflerinden daha dayanıklı olmalarının yanı sıra aynı zamanda daha çevreci bir malzeme olarak ekonomik bir şekilde piyasaya sürülmektedir [163].

Malzeme üretiminde kullanılan hammaddelerin yerel kaynaklardan temin edilmesi, kaynak verimliliği açısından önemli bir ekolojik kaliteye katkıda bulunur. Yerel hammaddelerin kullanılması ile nakliye için enerji ihtiyacı azaltılmış olacak ve bu nedenle birçok çevresel ve ekonomik fayda sağlanacaktır. Yerel hammadde kullanım oranının fazla olması kaynak verimliliğini olumlu bir şekilde etkilemektedir. Ayrıca üretimde geri dönüşümlü malzemelerin kullanılması kaynak verimliliği açısından önem arz etmekte ve malzemelerin önemli ölçüde ekolojik kaliteye sahip olmasını sağlamaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılarak kompozit malzeme üretmek için gereken enerjinin yeni kompozit malzeme üretmek için gereken enerjiden daha düşük olduğu çoğunlukla görülmektedir [164].

Bir inşaatın geri dönüşümlü yapı malzemesi, inşaattan söküldükten sonra yeniden inşaat edilecek bir binada yapı malzemesi olarak kullanılabilen malzeme olarak tanımlanır. Bina ürün kısmen veya tamamen sökülmüş malzemelerden imal edildiğinde "geri dönüştürülmüş" denir. Geri dönüştürülmüş malzemeyi işleme metodu Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi üç tipte sınıflandırılabilir: ÜRÜN geri dönüşümü, MALZEME geri dönüşümü ve HAMMADDE geri dönüşümü. "ÜRÜN geri dönüşümü", malzemenin biçimini/niteliğini değiştirmeden ürünün tekrar kullanılabilceği bir işlemi ifade eder.

"MALZEME geri dönüşümü", sökülen malzemenin ayrıştırıldıktan/toplandıktan sonra bir yapı malzemesine işlendiği bir süreçtir. "HAMMADDE geri dönüşümü", sökülen malzemenin bir yapı malzemesi yapmak için ham madde haline getirildiği bir işlemi ifade eder. Tanımlar Çizelge 3.2'de özetlenmiştir [164].

Çizelge 3.2. Geri dönüşüm yöntemlerinin tanımı [164].

Numara	Geri dönüşüm yöntemi	Tanım	Örnek
1	Ürün geri dönüşümü	İşlem yapılmadan ürünleri tekrar kullanmanın yöntemi	Yıkandıktan sonra cam şişeyi tekrar kullanın
2	Malzeme geri dönüşümü	İşleme tabi tutulan malzemelerin geri dönüşüm metodu	Cam şişeyi cam olarak geri dönüştürme
3	Hammadde geri dönüşümü	İşleme tabi tutulan ham maddenin geri dönüşüm metodu	Beton agrega için cam şişe geri dönüşüm

Kompozit malzemeler birden fazla farklı hammaddenin farklı oranlarda bir araya getirilerek elde edilmektedir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan hammadde miktarlarının kullanım oranını azaltmak için tarımsal, endüstriyel ve üretim atıklarının ikame malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Kullanılan hammaddelerin içerisine ikame malzeme olarak yöresel ve bölgesel atık kullanılması kompozit malzemenin çevresel etkisini azaltacaktır. Hammaddelere ikame malzemesi olarak seçilecek olan tarımsal ve endüstriyel atıkların mevcut malzemenin çevresel etkisini azaltacak nitelikte seçilmesine dikkat edilmelidir. Ayrıca bu atıkları kullanırken fiziksel ve yapısal özellikleri bakımından mühendislik gerekliliklerini yerine getirip getirmediği ve kullanımda sorunlara neden olabilecek aşırı miktarda zararlı bileşen içermediği kontrol edilmelidir.

Kompozit malzeme üretiminde atıkların yeniden kullanımı ve geri dönüşümü atık yönetiminde çok önemli unsurlardır. Atıklar yeniden kullanılarak doğal kaynakların korunması, değerli depolama alanlarındaki doluluğun azalması, hammadde ve enerji ihtiyacının azalması, hava ve su kirliliği kontrolü ve son olarak yeni iş alanları yaratma potansiyeli ile sonuçlanabilecektir.

Atığının temin edildiği tesisten kompozit malzeme üretiminin yapıldığı fabrika alanına kadarki transferi ve atığın sıvı, granül, toz, talaş, katı vb. hallere getirilmesi işlemi olması halinde harcanan enerji YDD envanter analizi aşamasında dikkate alınarak malzemenin çevresel etkisinin hesaplanmasına dahil edilmelidir.

3.5.1.1. Tarımsal Atık Kullanımı

Türkiye ekonomisine önemli katkı sayılayan tarım sektörü, yıllık toplam petrol eşdeğeri 50-65 Mtep tarımsal atık üreterek ciddi çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Tarımsal atıkların bir kısmı biyokütle santrallerinde ya da buhar üretmek üzere çeşitli endüstriyel sektörlerin kazanlarında yakıt olarak kullanılmakta, birçoğu depolama sahalarında depolanmakta ya da yakılarak çevreye olumsuz etkiler sağlamaktadır. Ayrıca, atıkların bu yollarla bertaraf edilmesi, bitki besin maddesi kaynakları ve karbon kaybına neden olmaktadır [165], [166]. Türkiye’de hasat yapıldıktan sonra oluşan tarımsal ürünlerden en yüksek atık miktarı buğday, arpa, pamuk mısır yetiştiriciliğinden açığa çıkmaktadır. Atıklar tarımsal üretimden sonra genellikle tarlada bırakılır [165].

Pirinç kabuğu, pirinç sapı, şeker kamışı sapı, pamuk sapı, ay çiçeği sapı, buğday sapı, farklı ağaç kabukları gibi tarımsal atıklar çürümeye bırakılmakta ya da yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu atıkların yakılmasından dolayı çevreye olan zararların indirgenmesi ve kompozit malzeme üretiminde kullanılan hammaddenin azaltılması için bu atıkların geri kazanımı büyük önem arz etmektedir. Tarımsal atıklar kompozit malzeme üretiminde malzeme ya da hammadde geri dönüşümü yöntemleri ile değerlendirildiğinde çevreye olan etkilerin azaltılması ve doğal kaynakların korunması sağlanacaktır.

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yönetilmeyen endüstriyel veya tarımsal katı atık birikimi, çevresel kaygının artmasına neden olmaktadır. Bu tür atıkların sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak geri dönüşümü sadece kirlilik problemi için değil aynı zamanda yeşil binaların tasarımı için ekonomik bir seçenek olarak uygulanabilir bir çözüm gibi görülmektedir [167]. Örneğin işlenmiş atık çay malzemesinin farklı oranlarda ham kil tuğlasına eklenmesiyle hem malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilmiş hem de çevre dostu malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir [168]. Bir başka örnekte ise pirinç kabuğu, yer fıstığı kabuğu, bambu yaprağı ve şeker kamışı gibi kaynaklar atık birer madde olarak değerlendirilmektedir. Bu gibi farklı tarımsal atıklardan elde edilen külün, süper ince silika hazırlanması için düşük maliyetli ve umut vaat eden bir hammadde olacağı önerilmektedir [169].

Otomotiv sektörünün sürdürülebilirliğine yönelik yapılan çalışmalarda tarımsal atık takviyeli polimer kompozit malzeme oluşturmak için hurma ağacı, keten, kenevir gibi atıkların lifleri kullanılmaktadır. Tarımsal atıkların kullanımı ile endüstriyel ürünlerin maliyeti azaltılmakta, çevre dostu malzemeler üretilmekte ve çevresel atık sorununa da

özüm bulunmaktadır [170], [171]. Tarımsal atıklar ikame malzemesi olarak kullanılarak sürdürülebilir endüstri malzemeleri geliştirilmekte ve farklı sektörlerde kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Doğal kaynaklardan yapılan yüksek performanslı kompozit malzemelerin geliştirilmesi dünya çapında artmaktadır. Doğal atıkların farklı kompozit malzemelerde hammadde kullanımını azaltmada ve ikame malzeme olarak kullanıldığı ve böylece mevcut malzemenin çevresel etkilerini azalttığı görülmektedir [54],[55]. Kompozit malzemelerde tarımsal atıklar ilave edilirken, malzemenin üretiminin yapıldığı yörede bulunan atıkların değerlendirilmesi göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece yörede yer alan tarımsal atıkların değerlendirildiğinde bu atık kompozit malzemenin üretim tesisine yakın olmasından dolayı atığın fabrikaya taşınma mesafesi kısa olacağı için yakıt kullanımı azaltılmış böylece çevreye verilen zarar indirgenmiş olacaktır. Tarımsal atıkların geri kazanımında atığın kimyasal içeriğinin düşük olması ve hücre yapısının ikame edilecek kompozit malzeme ile uyumlu olması göz önünde bulundurulmalıdır.

3.5.1.2. Endüstriyel Atık Kullanımı

Nüfusun artması ve sanayilerin gelişmesi ile endüstriyel atıkların bertarafı ciddi bir çevre meselesi haline geldi. Endüstriyel atıklar ve fabrika üretim atıkları çevresel etki oluşturmakla birlikte çoğu zaman depolanma zorunluluğundan dolayı ekstra bir maliyet oluşturmaktadır. Endüstriyel atıkların geri kazanımı ve bertarafı için etkin ve çevresel bir çözüm elzem olarak gereklidir.

Atık maddelerin yeniden kullanılması kamu güvenliğini tehdit etmeyecek ve çevreye zarar vermeyecek şekilde planlanmalıdır. Atık malzemeleri yeniden kullanılabilir formlara dönüştüren bir yeniden kullanım teknolojisi, kabul edilebilir sınırlar dahilinde çevresel zararları oluşturmamalıdır [174]. Yeniden kullanım oranı az, biyolojik bozunum süreci yavaş ve doğal çevreye son derece zarar veren atıklar, kimyasal bileşenlerine ayrılarak farklı bir malzemenin hammaddesini oluşturmakta, parçalanarak farklı ikame malzemeleri ile bir araya getirilip yeni bir kompozit malzeme oluşturmak veya kompozit bir malzemede alternatif dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [162], [175], [176]. Atıkların hammadde, ikame malzeme ya da dolgu malzemesi olarak geri kazanımı ile sürdürülebilir çevre dostu malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir [177].

Yüksek miktarda geri dönüştürülmüş cam kullanılarak yeni bir seramik üretimi yapılacağı gibi bu atıkların yapı malzemeleri, sanatsal seramikler, mobilya endüstrisi ve seramik

karo üretimi gibi farklı alanlarda kullanılabileceği düşünülmektedir [178]. Ayrıca birçok çalışma camın geri kazanılarak tuğla üretiminde kullanıldığında malzemenin özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir [179], [180]. Endüstriyel ve tarımsal atıklar bir arada kullanılarak yeni malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Örneğin endüstriyel atık olarak otomotiv atık plastiği ve tarımsal atık olarak macadamia kabuğu kullanılarak yeni bir ahşap ve plastik kompozit panel üretimi gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel ve tarımsal atıkların geri kazanımı ile panel üretme yaklaşımı, çevre kirliliğini azaltacak, atıkların geri kazanımını artıracak ve kaynakların yüksek değerli yeniden kullanımını sağlayacaktır [181]. Endüstriyel atıkların değer kazanması ve bunların alternatif hammaddelere dönüştürülmesiyle, doğal kaynakların korunması, maliyetlerin düşürülmesi, enerji kullanımının azaltılması ve doğaya salınan karbon miktarının azaltılmasıyla çevreye fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Kompozit malzeme üretiminde alternatif hammadde veya ikame malzeme kullanılması sayesinde üretilen ürünler çevre dostu ve yeşil malzeme olarak pazara sürülebilmektedir. Bu malzemelerin talebinin gün geçtikçe arttığı görülmekte ve çevreye kazanç sağladığı bilinci her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Endüstriyel atık kullanılarak üretilen “yeşil malzemeler” örneğin binalarda LEED sertifikasyonunu kazanmaya katkıda bulunur. Ayrıca atıkların geri dönüşümü sayesinde sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlanmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında sanayi kollarının üretim esnasında, üretim safhalarında ya da ürün ömrünü tamamladıktan sonra oluşan endüstriyel atıkların kompozit malzeme üretiminde kullanılmasını önerilmekte ve böylece malzemeyi oluşturan hammadde miktarını azaltacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda atık geri dönüşümü sağlanacağından dolayı; doğal kaynakların korunmasına katkı, enerji tasarrufu, çevresel kirlenmenin azaltılması, atıkların geri kazanımı ve maddi tasarruf sağlanarak üretilen kompozit malzemenin birim maliyetleri düşürüleceği ön görülmektedir. Her endüstriyel atık geldiği sanayi koluna özel ve bazen bu kol içinde de özelleşen farklı özellikler taşıyacağından dolayı mevzubahis atığın geri dönüşümünde insan sağlığına ve çevresel etkilere neden olabilecek aşırı miktarda zararlı bileşen içermemesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

3.5.1.3. Üretim Atığı Kullanımı

Doğal kaynakları etkileyen malzemelerin üretimini önlemek için mümkün olduğunca

sınırlı doğal kaynakları farklı üretim süreçlerinde üretilen atıklarla değiştirmek, mevcut en iyi tekniklerin kullanımının teşvik etmek ve yenilikçiliği sağlamak gerekir. Böylece yeniden kullanım, geri dönüşüm, zararlı hammadde miktarında azalma, ürünlerin taşınmasını en aza indirme ve yerel alanlarda mevcut kaynakların kullanımı teşvik edilmektedir [182].

Kompozit malzemelerin üretimi aşamalarının farklı üretim proseslerinde sıvı, granül, toz, talaş, katı vb. hallerde atıklar oluşmaktadır. Bu atıkların geri kazanılması amacıyla kompozit malzemenin üretim süreçlerine hammadde olarak dahil edilmesi önerilmektedir. Ayrıca aynı üretim tesislerinde üretilen farklı özelliklerdeki kompozit malzemelerin üretim proseslerinde de atıklar oluşmakta ve bu atıklar kendi tesislerinde işlenerek bu tesiste üretilen farklı bir kompozit malzemeye girdi oluşturacak şekilde kullanılabilirliği önerilmektedir. Böylece bir ürünün üretim sürecinden çıkan atığın farklı bir ürünün hammadde ya da ikame malzeme olarak girdisi olarak değerlendirilmesi mevcut ürünün çevreye olan olumsuz etkisi azaltılmış olacaktır. Aynı zamanda atığın geri dönüşümü sağlanarak mevcut kompozit malzemenin üretim maliyetinin azalacağı düşünülmektedir.

Böylece firma; ürün ve üretim süreçlerine yönelik Ar-Ge kültürüne sahip olacak, atık yönetimi ve çevresel sürdürülebilirlik yönünde bilinç kazanmanın yanı sıra ekonomik açıdan da güçlenecektir. Bununla birlikte her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli kullanılması amacıyla, atık oluşumunu kaynağında azaltılacak ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu sürdürülebilirlik performansı iyileştirilmiş kompozit malzemeler üretilecektir.

3.5.2. Alternatif Hammadde Kullanımı

Kompozit malzemelerin üretiminde birden fazla hammadde kullanılmaktadır. Kullanılan hammaddelerin alternatiflerinin çevresel etkilerinin araştırılması malzeme üretiminde çevreye duyarlı hammaddelerin seçilmesi ile ürünün çevresel etkilerini azaltacaktır. Alternatif hammadde seçiminde ürünün özelliklerini bozmayacak hammaddenin seçilmesine önem gösterilmelidir. Kompozit malzemenin üretimindeki alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı ile kompozit malzemenin çevresel etkilerinin büyük oranda azaltılabileceği düşünülmektedir.

Çevresel etkiyi azaltmak, enerjiden tasarruf etmek ve doğal kaynakların korunmasını sağlamak için kompozit malzemeleri geri dönüştürülmüş malzemelerden üretmek

gerekir. Geri dönüştürülmüş malzemelerden yapı malzemesi oluşturmak için gereken enerji tüketiminin yeni yapı malzemesi oluşturmaktan daha düşük olduğunu ifade edilmektedir. Sökülen malzemenin geri dönüştürülmesi için gereken enerji tüketimi, işlenmemiş bir üründen daha az olduğu gibi yapı elemanlarının yeniden kullanımı, geri dönüşümden çok daha fazla potansiyel enerji tasarrufu sağlamaktadır [164]. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretilen kompozit malzeme çevreye daha duyarlı olacağı gibi daha ekonomik bir malzeme olacaktır.

Kompozit malzemenin mevcut hammadde kullanımları ile YDD yöntemi sayesinde çevresel etkilerinin hesaplanması ve alternatif malzeme kullanımı ile karşılaştırılarak doğru malzeme seçimi mümkün olabilmektedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) hesaplamalarında kullanılan bir yazılım ile kompozit malzemenin yaşam döngüsünün tüm aşamalarını kapsayacak şekilde modellenmesi yapılarak çevreye etkileri nümerik olarak hesaplanmalıdır. Bu model ile alternatif hammaddeler kullanılarak oluşturulan yeni modeller karşılaştırılarak ürünün çevresel etkisinin ne kadar azaldığı tespit edilebilecektir. Böylece çevreye maksimum fayda sağlayacak malzemenin oluşması için hammaddeler belirlenmiş olacaktır. Ayrıca geri dönüştürülmüş ürünler kullanılarak modeller oluşturulabilecek ve bunların karşılaştırılması yapılabilecektir.

3.5.3. Yaşam Sonu Senaryosu Oluşturma

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin üçüncü aşaması olan etki değerlendirme aşamasında kompozit malzeme atıklarının yaşam sonu senaryoları yapılmaktadır.

Faydalı kullanım ömrü tamamlanan malzemelerin toplandıktan sonra üzerinde ayrıştırma işlemi yapılan malzemenin oranı arttıkça ürünün çevresel etkisi de azalmaktadır. Bu aşamada faydalı ömrü tamamlanan kompozit malzemenin atık olarak toplanmasının artırılması ve toplanan kompozit malzemenin üzerinde işlem yapmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Kullanım ömrü sona eren kompozit malzemelerin toplanmasının ardından malzemeyi oluşturan hammadde atıklarının yaşam sonu senaryolarının yapılması gerekmektedir. Bu atıkların geri dönüşüm oranları arttıkça kompozit malzemenin çevresel etkileri de azalmaktadır. Geri dönüştürülemeyen hammaddeler ise atık olarak çevreye bırakıldığı varsayıldığından bu durum kompozit malzemenin çevresel etkisini artırmaktadır. Kullanım aşaması sonunda toplanan faydalı ömrünü tamamlamış malzemelerin hammaddelerinin geri dönüşümüne yönelik çalışmaların iyi analiz edilmeli ve doğaya

bırakılacak malzeme oranının azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmelidir.

3.5.4. Alternatif Enerji Kaynağı Kullanımı

Günümüzde çevre sorunlarının çözümü sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli ve etkili kullanımından geçmektedir [183]. Doğal gaz üretiminin çevresel performansı, kömür ya da petrol yakıtlarından daha iyidir ancak yenilenebilir enerji kaynaklarından daha yüksek emisyonlara sahiptir. Kömür, dolaylı faktörler göz önüne alındığında çoğu kriterde en kötü çevresel performansa sahiptir [183]. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, hidroelektrik, biyokütle, rüzgar, okyanus ve jeotermal enerji) tükenmezdir ve geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla birçok çevresel fayda sağlamakla birlikte yeni istihdam olanakları oluşturmaktadır [183], [185]. Küresel ısınma bakımından güneş enerjisi ile üretilen elektrik sistemlerinin kömürle, petrol ve doğalgazla üretilen elektrik sistemlerinden daha çevreci olduğu görülmektedir. Nükleer, hidroelektrik, jeotermal ve rüzgar enerjisi ile üretilen elektrik sistemlerinin ise güneş enerjisi ile üretilen elektrik sisteminden daha az CO₂ emisyonu yaydığından dolayı daha çevreci olduğu bilinmektedir. [184].

Türkiye'nin yenilenebilir elektrik üretimi yılda yaklaşık 404 kt CO₂ yaymaktadır. Bu yayılımın büyük kısmı hidroelektrik santralleri tarafından üretilen elektrik miktarından kaynaklanmaktadır. Bu miktar rüzgar ve jeotermal santrallerinden sırasıyla 18 ve 78 kat daha yüksektir. Jeotermal enerji kaynağı kullanımı rüzgar ve hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerji kaynağı kullanımı bakımından ötrofikasyon, ozon tabakasının incilmesi, insan toksisitesi ve tüm eko-toksikite kategorilerinde daha çevreci olduğu görülmektedir [185].

Kompozit malzemelerin üretilmesinde kullanılan enerji kaynakları, malzemenin çevresel etkisini önemli ölçüde etkilemektedir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan kömürle, petrol ve doğalgazla elde edilen elektrik enerjisi yerine güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, biyoyakıt kullanımı gibi alternatif enerji kaynağı kullanımı kompozit malzemenin çevresel etkisini azaltacaktır. Aynı zamanda üretim maliyetlerini de olumlu yönde etkileyecektir.

3.6. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ VE SEÇİLMİŞ MALZEME İLE ÇEVRESEL ETKİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kompozit inşaat malzemesine alt bölüm 3.5’de uygulanması önerilen çevresel etki iyileştirme yöntemlerindeki her bir öneri için yaşam döngüsü envanter analizi oluşturulmalıdır. Bu envanter analizi sayesinde önerilen iyileştirme adımlarının yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yapılarak önerilerden çevresel etkisi en az olan iyileştirme yönteminin seçilmesi amaçlanmaktadır.

Örneğin; iyileştirme yöntemlerinden malzeme üretiminde atık kullanımı yöntemi içerisinde tarımsal, endüstriyel ve üretim atığı olmak üzere 3 farklı öneri bulunmaktadır. Bu öneriler doğrultusunda tarımsal, endüstriyel ve üretim atığı için seçilen malzemelerin envanter analizleri yapılmalıdır. Envanter analizi yapıldıktan sonra yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yöntemi ile üç atık çevresel etki bakımından karşılaştırılmalı ve böylece çevreye en az zararı olan yeni malzemenin üretimi için tercih edilmelidir. Alt bölüm 3.5’de belirtilen her bir yöntem için bu işlemler yapılarak yeni malzeme üretiminde çevre dostu atık kullanılması sağlanmış olacaktır.

Alt bölüm 3.5’te belirtilen iyileştirme yöntemlerinin karşılaştırmalı YDD’si yapıldıktan sonra yeni malzemenin üretilmesi için kullanılacak atık malzeme ve alternatif hammadde seçilecek ve ayrıca bertaraf senaryosu oluşturularak üretiminde kullanılması için alternatif enerji kaynağı belirlenecektir.

Bir sonraki aşamada kompozit inşaat malzemesinin alt bölüm 3.4’te belirlenen çevresel etkileri ile sürdürülebilirlik performansı iyileştirilen yeni malzemenin YDD’si yöntemi ile çevresel etkileri bakımından karşılaştırılacak ve çevresel performanslarındaki farklar bilimsel olarak ortaya konulacaktır. Böylece iyileştirme yöntemlerinin malzemenin çevresel etkisinin azaltılmasına sağlamış olduğu katkı incelenmiş olacaktır.

Kompozit inşaat malzemesinin çevresel etkisinin iyileştirilmesi için kullanılacak atık sayesinde bu malzemenin üretiminde kullanılan hammadde miktarları da buna bağlı olarak azalacaktır. Çalışmanın bu aşamasında seçilen kompozit inşaat malzemesi ve çevresel etkinin iyileştirilmesi yöntemi sonucunda oluşan malzemenin üretiminde kullanılan hammadde miktarları karşılaştırılacak ve böylece hammadde miktarlarındaki değişim irdelenecektir.

Çevresel etki ve hammaddedeki karşılaştırmalara ek olarak kompozit inşaat malzemesi

ile yeni malzemenin birim (m^2 , m^3 , l, kg, vb.) üretim maliyeti kıyaslanarak birim maliyetteki değişim sayısal olarak hesaplanabilir. Bu hesaplamanın Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCCA) yöntemi ile yapılması sonuçların doğruluğunu artıracak ve maliyetteki değişimin maksimum performansla bilimsel bir metot yardımıyla ortaya konulmasını sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında, vaka olarak seçilen PDKCP için maliyetteki değişim performansı hesaplanmamıştır.

Kompozit inşaat malzemelerinin her biri kendi standartları doğrultusunda üretilmektedir. Kompozit malzemelerin çevresel etkilerini azaltmak için kullanılacak olan yöntemler malzemenin mekanik ve ısı özelliklerini olumlu ya da olumsuz bir şekilde etkileyeceği düşünülmektedir. Seçilen kompozit malzemeye ikame edilen atık ve alternatif hammaddeler bu malzemenin çevresel etkilerini olumlu yönde iyileştirirken kalitesini bozmaması gerekmektedir. Kompozit malzemenin çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla ilave edilen atık malzemeler ve alternatif hammaddeler sayesinde oluşturulan yeni malzemenin mekanik, ısı ve fiziksel özelliklerinin yeniden hesaplanarak eski özellikler ile karşılaştırılması önerilmektedir.

Çevresel etkisi azaltılmış kompozit malzemenin üretim sahası içerisinde prototip üretimleri yapılmalı ve ilgili standartlara göre numuneler alınarak fiziksel, ısı ve mekanik özellikleri tespit edilmelidir. Ayrıca bu özelliklerin yanı sıra malzeme ömründeki değişim deneysel çalışmalar ile saptanmalıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde çevresel etkisi iyileştirilmiş kompozit malzemenin standartlar çerçevesinde yapılan testlerin sonuçları mevcut malzemenin sonuçları ile karşılaştırılarak malzemenin üretilip üretilmeyeceğine karar verilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus çevresel etkisi iyileştirilmiş kompozit malzemenin standartlarda belirtilen değerler aralığında test sonuçlarına sahip olması gerekmektedir. Ayrıca bu malzemenin üretimine karar vermeden önce ikame malzemesi olarak kullanılacak atık ve alternatif hammaddelerin malzeme üretiminde dahil olabilmesi için gerekli üretim prosesleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Üretim proseslerindeki olası değişikliklerden dolayı ürünün imalatı için ekstra maliyetler ortaya çıkabileceği ve bu durumun ürünün birim maliyetini etkileyeceği düşünülmektedir.

Kompozit malzemenin çevresel etkilerini azaltmak bu malzemenin teknik özelliklerini olumsuz etkiliyor ise bu durum malzemenin seri üretilmesini olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Öte yandan kompozit malzemenin çevreye olan zararı azaltıldığında

oluşacak yeni malzemenin mekanik, ısı ve teknik performansının standartlar doğrultusunda olması durumunda ortaya çevresel performansı iyileştirilmiş, ürün kalitesi artırılmış, üretim maliyetleri azaltılmış, rekabet avantajı sağlayan, ekonomik fayda yaratan ve verimliliği artmış bir kompozit inşaat malzemesi olarak üretilebilecektir. Aynı zamanda bu çalışmalar sonucunda hammadde ve enerjiyi daha az kullanan, yeniden kullanım ve geri dönüşümü artıran, daha az atık oluşturan ve tehlikeli atık miktarını azaltmayı amaçlayan çevreye duyarlı sürdürülebilir bir kompozit malzeme üretilecektir.

3.7. VAKA ÇALIŞMASI VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliğini sağlamak için Bölüm 3'te tanımlanan çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi aşağıdaki şekilde test edilmiş ve uygulanmıştır: İlk olarak, tabakalı kompozit grubundan poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsünün çevresel etkilerini hesaplamak için seçilmiştir. Bunu, seçilen kompozit malzemenin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik sunulan yöntemlerin uygulanması izlemektedir. Kompozit malzemenin çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik yapılan değerlendirmelerin sonuçları; kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerine getireceği olası faydalar veya dezavantajlar ile ilgili olarak tartışılmıştır. Aşağıda poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin vaka çalışması olarak seçilmesinin nedeni özetlenmektedir.

Vaka çalışmasının amacı, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel performansını değerlendirmek ve mevcut çevresel etkilerini iyileştirerek daha çevre dostu bir malzeme olmasına olanak sağlamaktır. Sonuçlar kompozit malzemelerin sıcak noktalarını çevresel etki bakımından tanımlamaya ve malzemenin çevresel etkilerini iyileştirme fırsatlarını tanımlamaya yardımcı olacaktır. Böylece oluşturulan çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi ile kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca karbon miktarının azaltılmasına yardımcı olunabilecektir. Bu vaka incelemesi, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerini iyileştirme yoluyla Türkiye'nin CO₂ emisyon azaltma hedeflerine destek sağlanması uyarınca seçilmiştir. Ayrıca, kompozit inşaat malzemelerin çevresel sürdürülebilirliğini sağlamak için bir referans oluşturacaktır.

Dünya'da endüstriyel tesisler, alışveriş merkezleri, ticaret merkezleri, sağlık ve spor merkezleri gibi büyük mekanlarda çatı ve cephe malzemesi olarak oldukça fazla miktarda kullanılan ve aynı zamanda ısı ve ses yalıtımı özelliği sağlayan "tabakalı kompozitler

sınıfında yer alan “poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli”, tez çalışması kapsamında oluşturulan çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinin sınanması için vaka çalışması kapsamında ele alınacaktır.

Türkiye’de, büyük ölçekli üretim yapan altı kompozit panel firmasında yapılan incelemede, kompozit panellerin kullanım yerine göre dağılımına bakıldığında büyük çoğunluğunun çatı ve cephe malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca bu üreticiler alt ve üst dış cidar malzemesi olarak boyalı galvanize sacı ve iç dolgu malzemesi olarak da en çok poliüretanı tercih etmektedirler [186].

Vaka çalışması kapsamında kullanılacak olan poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli 50 mm kalındığında olup bu panelin çevresel etkilerinin belirlenmesi için toplanacak veriler ve üretim aşamalarına ilişkin bilgiler Aluform Pekintaş A.Ş. yetkilileri ile yapılan birebir görüşmeler ve üretim aşamasında yapılan incelemeler sonucunda temin edilmiştir.

4. KOMPOZİT İNŞAAT MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNE YÖNELİK ÇERÇEVE İÇİN VAKA ÇALIŞMASI

İnşaat sektöründe yapıların dış kabuğunu ısı, su ve ses yalıtımı özellikleri ile estetik bir şekilde çözen; endüstriyel tesisler, alışveriş merkezleri, askeri yapılar, ticaret merkezleri vb. gibi mekanlarda geniş bir kullanım alanı bulan yalıtımlı kompozit paneller, bu mekanların çatı ve cephe kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu inşaat ürünlerinin, yaşam döngüsü sürecinde çevreye olumsuz etkileri bulunmaktadır [187]. Bu nedenle, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği için önceki bölümlerde açıklanan çerçeve, poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli (PDKCP) üzerinde test edilmiş ve uygulanmıştır.

4.1. POLİÜRETAN DOLGULU KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİ İLE ÇEVRESEL ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Çalışmanın bu alt bölümü, 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli için bir Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi sonuçlarını sunar. Alt bölüm 4.1, çalışmanın amacını ve kapsamını tanımlar ve bunu alt bölüm 4.2'de seçilen kompozit malzemenin envanter analizi izler. Alt bölüm 4.3, sonuçlar bir hassasiyet analizi ile sonuçlandırılarak tartışılıp ve doğrulanmıştır. Burada izlenen YDD metodolojisi, kısım 2.6.7'de ana hatlarıyla verilen TS EN ISO 14040/44 metodolojisine uygundur. Veri kaynakları, Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'den firma uzmanları ile birebir görüşme, uzman danışmanlığı ve gözlem yoluyla, ikincil veriler ise Ecoinvent ver. 3.2 veritabanı ve yazarın kendi tahminlerini içerir. YDD modellemesi SimaPro 8.2 yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve çevresel etkileri tahmin etmek için CML-IA baseline ver.4.2 yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu aşamada, 50 mm kalınlıklardaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paleninin YDD yöntemi ile beşikten kapıya (opsiyonlu) çevreye etkileri belirlenmiştir. Bu çevresel etkiler hammadde temini, hammaddelerin tesise nakliyesi, kompozit malzemenin üretimi, paketlenmesi ve kullanım

sonrasındaki bertaraf aşamasını kapsayan yaşam döngüsü sürecinde toplanan veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

4.1.1. Amaç ve Kapsam Tanımı

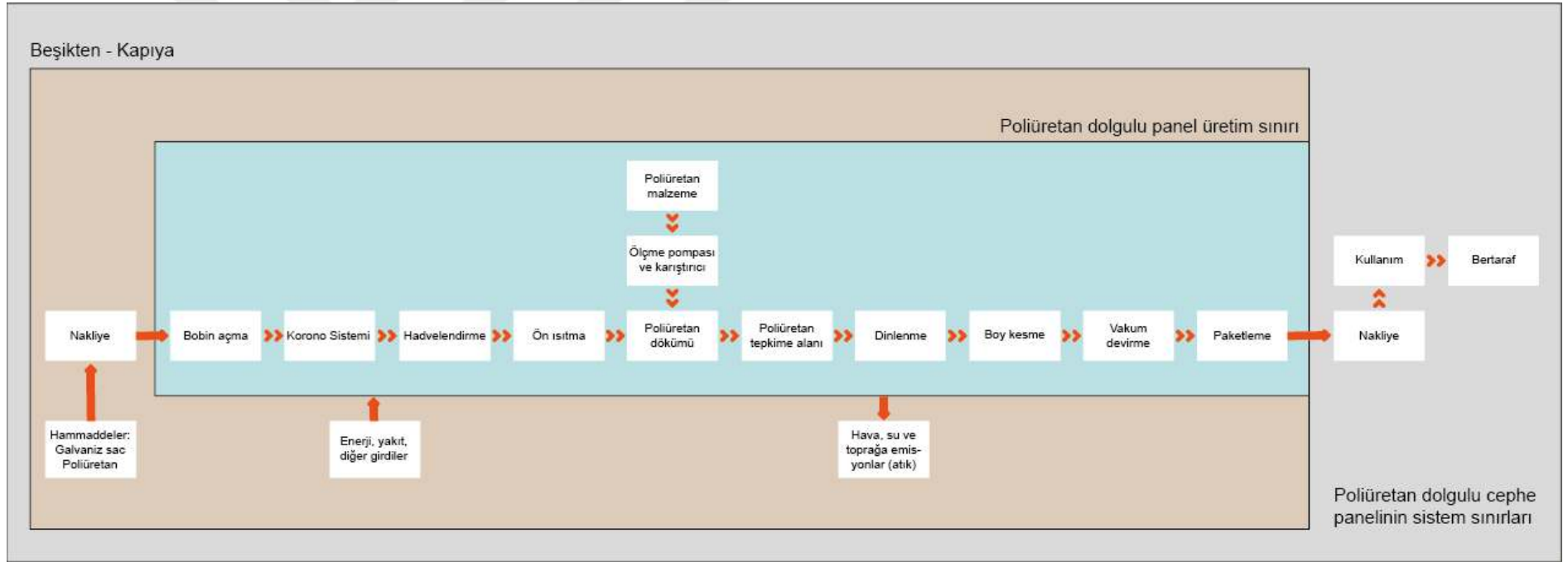
Bu çalışmanın amacı 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu cephe panellerin çevresel etkilerini belirlemektir. Ardından YDD'nin sonuçları, kompozit malzemenin yaşam döngüsü boyunca sıcak noktalarını ve iyileştirme fırsatlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada kompozit panelin, yaşam döngüsü süresince bir takım çevresel etkilere neden olduğu varsayılmaktadır.

Bu çalışmada fonksiyonel birim, “1 m² yalıtımlı kompozit panel” olarak tanımlanmaktadır. Verilerin çoğunluğu panellerin üretildiği fabrikadan alınan gerçek değerlerden oluşmakta olup çok az bir kısmı kaynak tarama çalışmaları ve Ecoinvent ver. 3.2 veri tabanından kullanılmıştır.

Sistem sınırları, ürüne ait YDD'de birim işlemlerin tanımlandığı, girdi ve çıktıları içeren kısımları kapsadığından dolayı poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin sistem sınırları Şekil 4.1'de ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir. Kompozit panelin yaşam döngüsü evrelerindeki ele alınacak birim işlemler ve bu birim işlemlerdeki girdi ve çıktılar tanımlanmaktadır. Sistem sınırları “beşikten kapıya (opsiyonlu)” olup hammadde, üretimi ve bertaraf olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Hammadde, hammaddenin çıkarılması ve üretimini, tedarik zinciri boyunca nakliyesini ve malzeme üretimi için gerekli faaliyetleri içerir. Üretim aşaması; malzemenin üretilmesi süreçleri, üretim için enerji ve su tüketimi, paketleme gibi faaliyetleri içerir. Son olarak bertaraf aşaması, malzemenin sökülmesi, atık toplama ve yeniden kullanım, geri dönüşüm ve depolama gibi atık yönetimi faaliyetlerini içerir.

Çalışmada kullanılan veriler 2015 yılına ait üretim rakamları olup sosyal ve ekonomik yönler çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

YDD çalışmasında kullanılan yöntemlerin uluslararası standartlara uygunluğunu doğrulama ve bu yöntemlerin bilimsel/teknik geçerliliğini sağlamaya yönelik olarak yapılan eleştirel gözden geçirme işlemi; yaşam döngüsü değerlendirmesi, düşük karbon ve sürdürülebilir teknolojiler, yenilenebilir enerji, atık yönetimi gibi alanlarda uzman ve Türkiye'deki tek EPD belgesi doğrulayıcısı olan Dr. Hüdaî Kara tarafından yapılmıştır.



Şekil 4.1. Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin sistem sınırları.

4.1.2. Envanter Analizi

Şekil 4.2de bu çalışmada ele alınan poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin teknik çizimi vermektedir. Çizelge 4.2’de 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan hammadde ve miktarlarına ilişkin bilgiler verilmektedir. Çizelge 4.1’de incelenen kompozit cephe paneli hakkında daha fazla bilgi vermektedir. Aşağıdaki bölümlerde, kompozit panel için yapılan varsayımlar ve veri tahmini hakkında genel bir bilgi verilmektedir.

Çizelge 4.1. 50 mm kalınlığındaki kompozit cephe paneli hakkında genel bilgi.

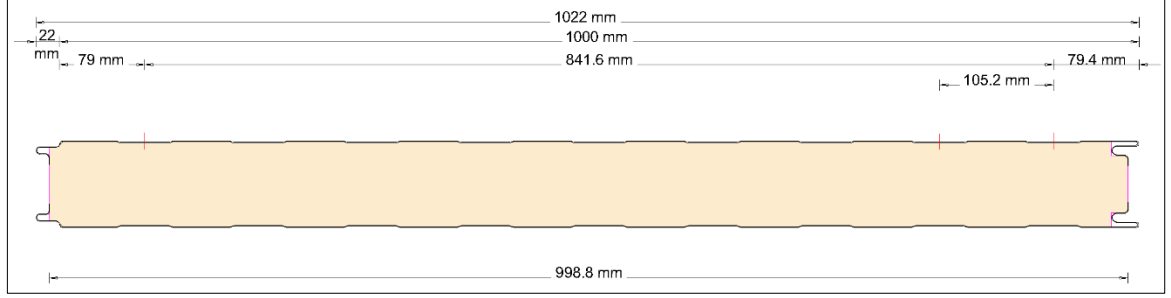
Isı geçirgenlik katsayısı (W/m ² K)	Yangın sınıfı	Isı iletkenlik katsayısı (W/m K)	Ses yalıtımı (dB)	Net kaplama eni (mm)	Ağırlık (kg/m ²)
0,34	B1, B2 ve PIR	0,022	Min. 16	1000	9,98

Poliüretan dolgulu kompozit panelleri, iç ve dış metal levha ve yalıtım çekirdeğinden oluşmaktadır. Yapıların dış kabuğunu ısı, su ve ses yalıtımı olarak estetik bir şekilde çözen bu paneller; fabrikalar, sanayi yapıları, askeri yapılar, sosyal yapılar, zirai yapılar, spor tesisleri, şantiye binaları, silolar, hipermarketler, alışveriş merkezleri, soğuk hava depoları, hal binaları gibi taşıyıcı sistemi çelik veya prefabrike olan büyük boyutlu binaların çatı ve duvarlarında kullanılmaktadır.

Kompozit cephe panelleri, 2 metal levha arasında çeşitli kalınlık ve yoğunlukta ısı yalıtım malzemesi doldurularak elde edilmektedir. Bu metal levhaların yapımında kalınlığı 0,5 – 0,7 mm arasında değişen alüminyum veya galvanize sac levhalar kullanılmaktadır. Kullanılan ısı yalıtım malzemesi ise çoğunlukla poliüretandan oluşturmaktadır. Üretim aşamasında; bir uçtan üretim hattına giren metal levhalar şekillendirilerek, panelin alt ve üst yüzeyini oluşturan forma sokulmaktadırlar. Daha sonra metal levhalar arasına yalıtım malzemesi doldurulmakta, yalıtım malzemesi ve metal levhalar kompozit bir panel oluşturmaktadırlar. Paneller istenen boy ve sayıda kesilerek sevke hazır hale getirilmektedirler. Metal sandviç paneller özel fırın boyaları ile istenilen her renge boyanabilmektedir. Panellerin nakliye ve montajda korunması için dış yüzeylerine koruyucu polietilen folyo uygulanabilmektedir.

Polüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan hammadde ve enerji girdileri kapsamlı bir şekilde panellerin üretildiği firmadan alınmıştır. Çizelge 4.1’de 1

m² poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretimi için kullanılan hammadde ve miktarlarına ilişkin bilgiler verilmektedir.



Şekil 4.2. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli teknik çizimi.

Aşağıdaki bölümlerde, poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli için yapılan varsayımlar ve veri tahmini hakkında genel bir bilgi verilmektedir.

Çizelge 4.2. 1m² Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemeler.

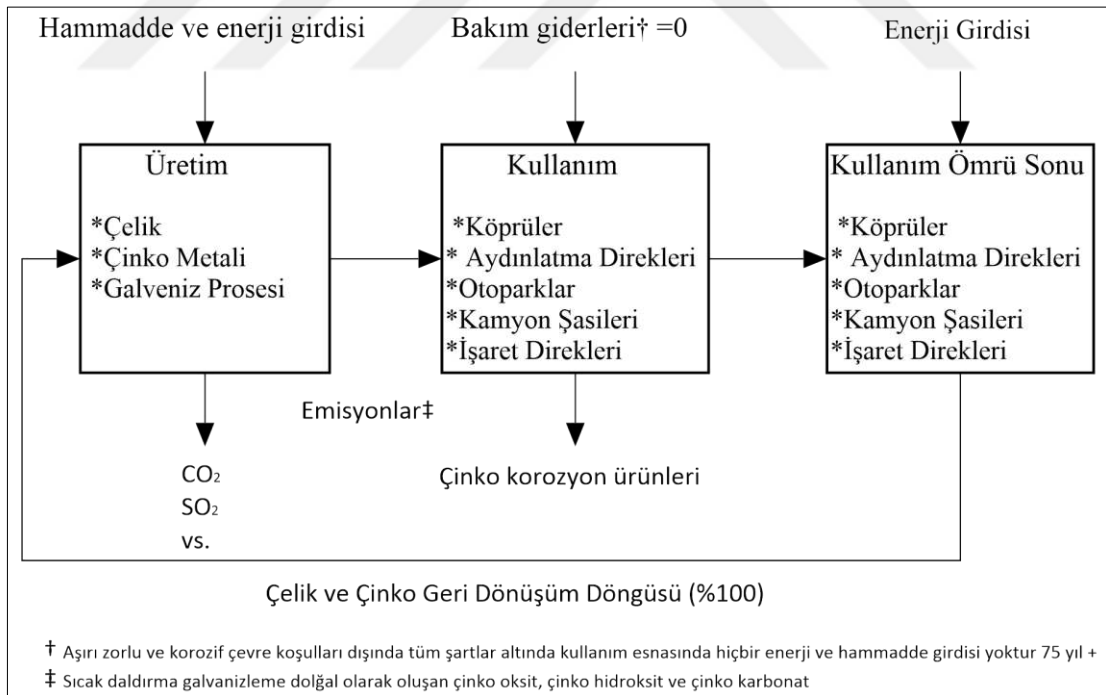
Malzemeler	Kalınlık (50 mm)	Birim
Galvaniz sac	8500-8750	g
Polyol	1400-1600	g
Isocyanate	1000-1200	g
Catalyst	20-30	g
Additive	35-45	g
Pentane	35-45	g
Hava	4-8	nl
Sac üzeri film kaplama	5-8	g
Boya	30-40	g
Yan bant	1-3	m
Paketlemede kullanılan folyo	10-15	g

Galvanizli çelik sac

Sıcak daldırma galvanizleme, metallerin korozyondan korunması için dünya çapında çok yaygın kullanılan, ekonomik ve dayanıklı bir tekniktir. Temel olarak, metallerin erimiş halde bulunan çinko havuzuna daldırılmasıyla malzeme yüzeylerini çinko ile kaplama

sürecidir. Metallerin çinko ile kaplanması uzun süre korozif ortamlara karşı güçlü bir koruma sağlamaktadır. Galvanizleme süreci yüzey hazırlama, galvanizleme işlemi ve yüzey temizleme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır [188], [189]. Çinko doğal bir element olduğundan dolayı hem çevresel açıdan rahatsız edici bir etki oluşturmaz hem de ahşap, taş veya cam gibi diğer doğal malzemeler ile uygun bir kombinasyonuyla estetik bir etki elde edilebilir. Günümüzde modern sıcak daldırma galvanizleme tesisleri çevrenin korunması için katı kanun gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmaktadır [190]. Yasal zorunluluk çerçevesinde yapılan tasarımlar ile metal sacların galvanizlenmesi işleminde çevresel etkilerin gün geçtikçe azaldığı söylenebilir.

2008 yılında Uluslararası Çinko Birliği (IZA) sponsorluğunda yapılan bir araştırmada, sıcak daldırma galvanizli (SDG) çeliğin Amerika, Avrupa, Avusturalya, Güney Afrika'daki galvaniz dernekleri katkılarıyla yaşam döngüsü envanteri çıkarılmış ve bu envanter verileri kullanılarak tüm çevresel etkisini belirlemek için yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışmada, 1 kg sıcak daldırma galvanizli çelik fonksiyonel birim olarak seçilmekte ve galvanizli çeliğin üretim, kullanım ve bertaraf aşamasını kapsayan beşikten mezara sistem sınırını oluşturmaktadır [191].



Şekil 4.3. Galvanizli çeliğin yaşam döngüsü değerlendirmesi.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi sıcak daldırma galvanizleme için tüm yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD), üretim, kullanım ve bertaraf aşamalarını kapsayacak şekilde

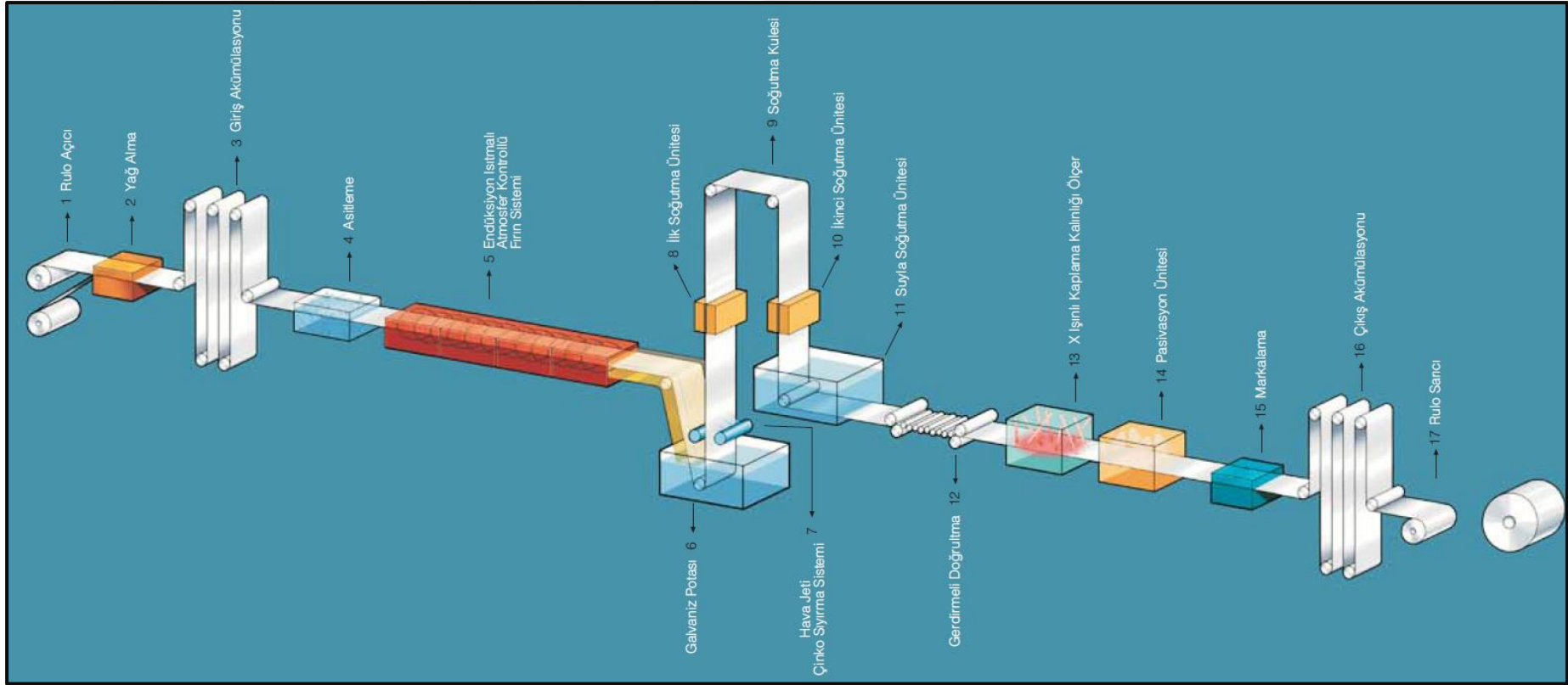
analiz edilmiş ve birincil enerji talebi (PED), küresel ısınma (GWP), asitleşme (AP) ve fotokimyasal ozon oluşumu (POCP) potansiyel değerleri aşağıdaki Çizelge 4.3'te verilmiştir [191].

Çizelge 4.3. SDG çeliğin YDD sonuçları.

YDD (Beşikten mezara)	Birincil enerji talebi (PED)	Küresel ısınma Potansiyeli (GWP)	Asidifikasyon Potansiyeli (AP)	Fotokimyasal ozon oluşumu Potansiyeli (POCP)
1 kg SDG çelik	17.3 MJ	1.80 kg	0.00615 kg	0.000824 kg

Çeliğin en büyük avantajı, % 100 geri dönüştürülebilir olması ve sonsuza dek tekrar kullanılabilmesidir. Küresel çeliğin geri dönüşüm oranları inşaat sektöründe %85, otomotiv sektöründe %85 (ABD’de %100’e yakın), makine sektöründe %90 ve elektrikli ev aletleri sektöründe %50 olacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda çelik ürünler dayanıklılıkları ve dünyadaki en geri dönüşümlü malzeme olması sayesinde kaynakların korunmasına da katkıda sağlamaktadır [192]. Uzun vadeli sürdürülebilir bir şekilde çeliğin geri dönüşümünü sağlamak için belki de hurda kalitesi ve çeliğin geri dönüşümü sırasında kalite kayıplarını önlemek yeterli olacaktır [193].

Yalıtımlı kompozit cephe paneli üretiminde sıcak daldırma yöntemiyle kesintisiz hatlarda galvanizlenmiş, EN 10142 standardına uygun, bükme, çekme ve derin çekme işlemlerine uygun olarak tasarlanmış galvaniz kaplı çelik saclar panel üretiminde boyalı olarak kullanılmaktadır. Panel üretiminde kullanılan sacların galvanizleme süreci incelendiğinde; sacın yüzeyindeki yağ, kir ve oksitler sıcak alkali çözelti ihtiva eden banyolardan ve hidroklorik asitten geçirilerek temizlenmekte, temizleme sonrası endüksiyon ısıtmalı atmosfer kontrollü fırında ısıtılan sac yine atmosfer korumalı ekipman ile galvaniz potasına daldırılarak isteğe uygun miktarda çinko ile kaplandığı görülmektedir. Galvaniz sac üretim bandı Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Galvaniz sac üretim bandı [194].

İç ve dış yüz kalınlıkları panelin yük taşıma değerine etki ettiğinden, taşıyıcı sistemdeki aşık aralıklarına göre üreticilerin yük tabloları kullanılarak seçilir. Yalıtımlı kompozit panel üretiminde genellikle galvaniz sac veya alüminyum kullanılmaktadır. Aluform Pekintaş A.Ş.'de alt ve üst dış cidar malzemesi olarak en çok boyalı galvaniz çelik sac kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan kompozit cephe paneli üretiminde alt metal kalınlığı 0.50 mm ve üst metal kalınlığı 0.40 mm galvaniz sac kullanılmıştır. Alt ve üst cidarı oluşturan galvaniz saclar Tata Steel İstanbul Metal San. Tic. A.Ş. ve Borçelik Çelik Sanayii Ticaret A.Ş. firmalarından temin edilmektedir. Yalıtımlı kompozit panel üretiminde kullanılan galvaniz sac malzemesine ait mekanik özellikler ve kimyasal analiz bilgileri Çizelge 4.4' verilmiştir.

Çizelge 4.4. Galvaniz çelik sac mekanik özellikleri ve kimyasal analiz bilgileri.

ÜRÜN TANIMI			MEKANİK ÖZELLİKLER						
Kalınlık (mm)	Genişlik (mm)	Boy (mm)	Akma N/mm ²	Çekme N/mm ²	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Test Açısı
0,50	1150,0	0	353	415	30,0	1,60	0,17	0	90
KİMYASAL ANALİZ									
%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Cr	%Ni	%Ti	%Nb
0,0455	0,0387	0,0096	0,0112	0,3326	0,0309	0,0450	0,0460	0,0013	0,0002

Alüminyum sac

Kompozit panellerde alüminyum plakalar özel ihtiyaçlar için kullanılırlar. Özellikle, korozyon dayanımının ve hijyenin önemli olduğu, yiyecek veya depolama alanları gibi yerlerde kullanılırlar. Tavsiye edilen Alüminyum plaka alaşımı AlMn, AlMg ve AlMgMn olan plakalardır [195]

Kompozit cephe panellerinde alüminyum sac, düz veya gofrajlama işleminden geçirilmiş bir şekilde natürel, koruyucu laklı veya boyalı olarak kullanılmaktadır. Korozyon dayanımı çok yüksek, iyi bir iletken ve genleşme katsayısı galvaniz saca göre çok yüksek olmasından dolayı genellikle asidik ortamlar ya da ağır sanayi şartlarında tercih edilmektedir. Yalıtımlı kompozit cephe panel üretiminde kullanılan alüminyum sac malzemesine ait mekanik özellikler ve kimyasal bileşime ait bilgileri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

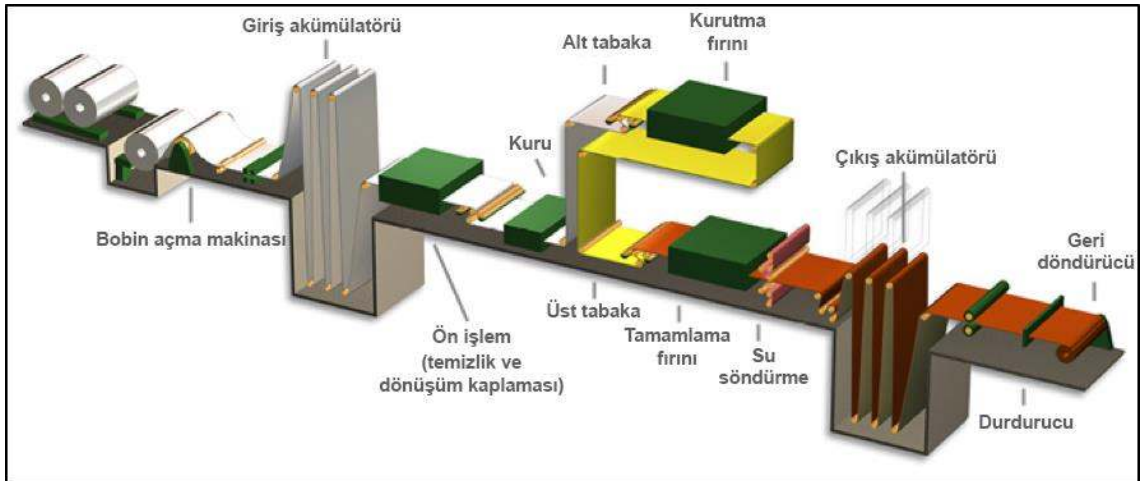
Çizelge 4.5. Alüminyum sac mekanik özellikler ve kimyasal bileşime ait bilgiler.

KİMYASAL ANALİZ											
%								ppm			
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Zn	Al	Cr+3	Pb	Cd	Hg
0,13	0,2	0,07	0,33	0,33	0,01	0,02	98,62	28	17	6	3
MEKANİK ÖZELLİKLER											
Enlemesine yön						Haddeme yönü					
Çekme Mpa	Akma Mpa	Uzama / elongation A50%				Çekme Mpa	Akma Mpa	Uzama / elongation A50%			
174	160	11,7				-	-	-			

Boya

Boyalı sac Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi, galvanizli çelik ve alüminyumun sacın bobin boyama tekniği ile kesintisiz üretim hattında boyanması ile elde edilmektedir.

Bobin boyama tekniğinde galvaniz veya alüminyum rulo kesintisiz boyama hattında açılır ve ilk olarak yüzey temizleme işlemi uygulanarak boyanacak yüzey, yağ ve istenmeyen maddelerden arındırılır. Arındırma işleminden sonra sac yüzeyine kromatlama işlemi uygulanarak yüzeyler boyamaya uygun hale getirilir. İlk olarak metalin her iki yüzeyine astar uygulanır ve fırınlanır. Son kat olarak istenen ral rengine ve cinsten boyama yapılır, tekrar fırınlanır, istenilen boyutta kesilerek rulo boyalı olarak sarılır.



Şekil 4.5. Bobin boyama tekniği ile sac boyama bandı [196].

Bobin boyama tekniği sayesinde panel yüzeylerinin her noktası homojen kalınlıkta boyanmaktadır. Panelin kullanılacağı yerin coğrafi ve çevresel durumuna göre epoksi astar üzerine Polyester, pvdf, plastisol veya poliüretan boya kullanılmaktadır. Özel durum haricinde Türkiye şartlarında epoksi astar üzerine polyester, pvdf, plastisol veya

poliüretan boya kullanılması yeterli olmakla beraber boya metalin uzun ömürlü olmasını sağlayan en önemli unsurdur. Bobin boyama tekniğiyle boyanan panel yüzeyleri kolaylıkla işlenebildiğinden doyalı formlandırma işlemi sırasında boyalı yüzey etkilenmemektedir.

Galvanizli çelik ve alüminyumun sacın boyanmasının önemli bir özelliği panellerin yalıtım gören yüzeyine uygulanan epoksi atar tabakası sayesinde yalıtım tabakasının veya yapıştırıcısının metale iyi tutunması ve zaman içerisinde ayrılmasının önüne geçilmesinin sağlanmasıdır [197].

Poliüretan

Poliüretan, polyol ve izosiyanat adlı iki ana bileşenin, özel üretim şartlarında, katalizör malzemelerle, yüksek basınç altında karışımıyla oluşan rijit poliüretan sert köpüktür. Çok etkili izolasyon malzemesi olup sıkı hücre yapısından dolayı suda yüzebilmektedir [198].

Poliüretanın kimyasal reaksiyonun ilk aşamasında polyol formülasyonun izosiyanat ile karıştırılarak akışkan bir sıvı oluşur sonraki aşamada köpük oluşmaya başlamaktadır. Oluşan köpük karışımı ısı oluşturarak hacminde 25 kata kadar genişlemektedir. Köpük genişlerken aynı zamanda yüksek yapışkan özelliği oluşturmakta ve bu özelliğinden dolayı da farklı malzemelere sıkıca ve iyi bir şekilde yapışmaktadır. Bir sonraki aşamada köpüğün dış yüzeyinde mukavim katman oluşmaktadır. Bu tabaka sayesinde dışarıdan gelen darbe ve havaya karşı direnç gösterilmektedir. Dış katman oluşturmaya rağmen içeride akışkan sıvılar kaldıysa, köpürme oluşumu devam ederek küçük boşluklara doğru yolunu bulmaktadır.

Köpük reaksiyonu sona ermesi ile milyonlarca küçük kapalı hücreler oluşmakta ve her hücre şişirici gaz orjinli gaz ile dolu haldedir. Poliüretan köpüğün mükemmel ısı yalıtımının altında yatan en önemli neden düşük ısı iletkenliğe sahip hücre içi gazlar ve görelili olarak düşük ısı iletkenliğine sahip poliüretan malzemesidir. Şişirici gaz olarak ozona zarar vermeyen Pentane (n) kullanılmaktadır [199].

Polüretan, termoset malzeme olup 250 °C kadar ısı yalıtımı sağlama özelliğine sahiptir. İlk üretildiğinde ısı iletkenliği 0,020 – 0,024 W/m°C olup zamanla kullanım sonucu aralarda oluşan gazlardan dolayı 0,024 – 0,030 W/m°C'ye kadar yükselebilmektedir. Ayrıca kimyasal yapısı sayesinde bir kere şekil verildiğinde, şekli bir daha değiştirilemez. Montreal Protokolü'ne göre dolgu reaksiyonunu başlatan florotiklometan, ozon tabakasına zarar verdiği için yasaklanmıştır [195].

Poliüretan ısı yalıtımı ve birlikte ses yalıtımı sağlamanın yanı sıra klorofloro karbon veya hidroklorofloro karbon kullanılarak kapalı hücreli köpük sistemi ile üretildiğinde ozon tabakasına olan zararı çok aza indirgenmiştir [200].

Poliüretan kompozit cephe panellerinde iç dolgu malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bir çok dış cidar malzemesi ile birlikte kullanılabilen poliüretan iç dolgulu kompozit paneller, yapılarda, dış cephe paneli, çatı paneli, soğuk hava deposu paneli ve iç mekan bölme paneli olarak kullanılmaktadır [186].

Panellerin sürekli üretimi için çift bant haddeden geçirme yöntemi ile karıştırılmış komponentler, iki hareketli galvanizli çelik veya alüminyumun sac tabaka arasına dökülür veya püskürtülür. Poliüretan karışımı reaksiyon esnasında bu tabakalara yapışmaktadır. Alt ve üst konveyörlerden ölçüsel olarak yeteri kadar stabil duruma gelinceye kadar basınç yapılmaktadır. Panel kalınlığına göre poliüretan karışımın akıntı hızı değişmektedir. Konveyörlerin hızı 2 -20 m/dk. arasında panel üretimi yapmak için değişmektedir. Poliüretan komponentlerin çok iyi bir şekilde alt sacın üzerinde yayılması için, hareketli bir kol üzerine döküm kafası takılmıştır. Bu sürekli üretim tekniği ile, proses esnasında düşük basınç kullanılarak çok iyi özellikte panel üretilebilmektedir. Panel kalınlıkları konveyörler ve döküm sistemi yardımıyla değiştirilebilmekte ve bu üretim tekniği ile farklı kalınlıkta panellerin üretilmesine olanak sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu sandviç panellerin üretiminde kullanılan konveyörlerin hızı 8-10 m/dk olup döküm sisteminden poliüretan karışımın akış hızı 333,33 g/s'dir.

İç dolgu malzemesini oluşturan poliüretanın bileşenleri Dow Türkiye Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firması tarafından karayolu ile 151 km'lik mesafeden temin edilmektedir. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan hammaddelere ilişkin bilgiler, hammaddelerin Malzeme Güvenlik Bilgi Formu (MSDS) çerçevesinde toplanarak Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Poliüretan bileşen içerisindeki kimyasallar.

Madde	İçerik	Miktar
Pentane	n-Pentane	%100
VORACOR* CM	Polieter polyol	40,0 - 60,0 %
265 Additive	Su	40,0 - 60,0 %
Catalyst	Polieter polyol	40,0 - 60,0 %

Çizelge 4.6. (devam). Poliüretan bileşen içerisindeki kimyasallar.

	N,NDimetilsikloheksilamin	40,0 - 60,0 %
Polyol	Fenol, formaldehitli polimer, propilen oksit ve etilen oksit	25,0 - < 40,0 %
	Polieter polyol	25,0 - < 40,0 %
	Tris(1-kloro-2-propil) fosfat	15,0 - < 25,0 %
	Trietil fosfat	5,0 - < 15,0 %
	Dietilen glikol	2,5 - < 5,0 %
	Trietanolamin	2,5 - < 5,0 %
Isocyanate	Difenilmetan Diizosiyanat, izomerler ve homologlar	100,0 %
	4,4'-Metilendifenil diizosiyanat; difenilmetan-4,4'-diizosiyanat (MDI)	25,0 - 40,0 %
	o-(pİzosiyanatobenzil) fenil izosiyanat; difenilmetan-2,4'-diizosiyanat	1,0 - < 2,5 %

Poliüretan köpük atıkları depolama, yakma ve geri dönüşüm olmak üzere üç tip bertaraf teknolojisinden oluşmaktadır. Poliüretan köpük atıklarının geri dönüşümü için ise fiziksel ve kimyasal geri dönüşüm olmak üzere iki yol vardır. Depolama, toprak kaynaklarının ciddi bir şekilde israfına neden almanın yanı sıra poliüretan atıklarını doğal koşullarda ayrışması da çok zordur. Yanma iyi bir yöntem olabilir. Ancak yakma işlemi tamamlanmamış yanma ise, atmosferi ciddi biçimde kirleten zehirli gaz üretecektir. Bu nedenle yöntem aşamalı olarak uygulanmaktadır. Yakma işlemi zehirli gaz üreterek ciddi hava kirliliği ve halka açık tehlikeye neden olacaktır. Özel koşullar dışında poliüretanın geri dönüşümü için depolama ve yakma önerilmemektedir. Dolayısıyla geri dönüşüm, gelecekte en etkili yöntemidir. Fiziksel geri dönüşüm yöntemi ile poliüretan köpük atıkları ezilerek yalnızca fiziksel formu değiştiriliyor. Bu düşük maliyetli, basit ve kullanışlı olduğundan dolayı en yaygın kullanılan yöntemdir. Kimyasal geri dönüşüm, bozulma ilkesini izleyerek, hidroliz, amin çözültisi, alkoliz ve fosfat ester yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Basit kullanım ve nispeten aktif uygulama nedeniyle, fiziksel geri dönüşüm kısa vadede etkili bir araç olacaktır. Teknik zorlukların yüksek olması nedeniyle, kimyasal geri dönüşüm yöntemi ile kısa vadede büyük ölçekli sanayileşmiş üretim sağlamak zordur ancak uzun vadede nihai ve etkili geri dönüşüm yöntemi olacaktır [201].

Çizelge 4.7. 1m² K/W ısı yalıtımı sağlayan Poliüretanın temel çevresel etkileri [202].

Etki kategorisi	Poliüretan	Birimi
Enerji Tüketimi	93,6	MJ
Küresel Isınma	3.2	kg CO ₂ eşdeğeri
Su Tüketimi	297,7	kg
Asitleşme	27,9	g SO ₂ eşdeğeri
Ötrofikasyon	2,94	g PO ₄ eşdeğeri
Fotokimyasal ozon oluşumu	1,4	g C ₂ H ₄ eşdeğeri
Toplam çevresel atık	0,32	kg

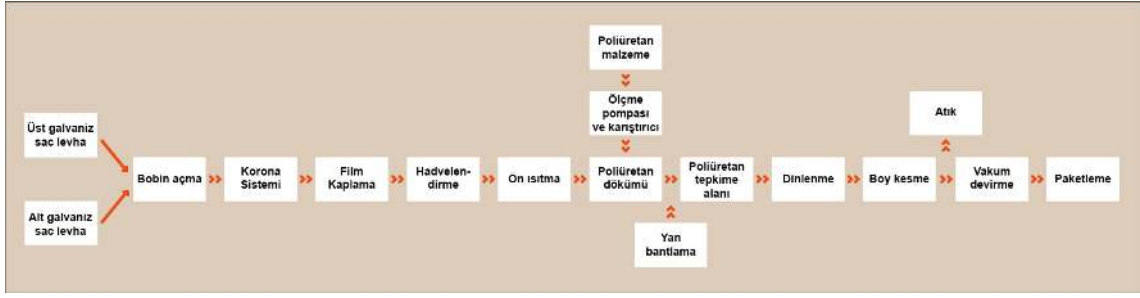
Çizelge 4.7.'de poliüretan köpüğün yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçları incelendiğinde tüketilen enerji ve havaya salımları açısından taşıyıcı dolgu malzemesine göre daha büyük çevresel etkilere sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, üretim sürecinde fosil yakıtların büyük miktarda kullanılmasıdır [202]. Poliüretan yalıtım malzemesinin taşıyıcısına kıyasla küresel ısınma potansiyelinin, birincil enerji talebi, karbon ayak izi, su ayak izi gibi etkiler bakımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca poliüretanın doğal ve geri dönüşümlü ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırıldığında çevresel etkisi daha fazla olduğu görülmektedir [182].

Üretim süreci

Çizelge 4.2'de verilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretimi için kullanılan hammadde miktarları, doğrudan gözlemler ve seri üretim makinasından alınan reçeteler yardımıyla firma uzmanları danışmanlığında hesaplandı. Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi 1 m² kompozit cephe paneli üretiminde 8500-8750 gr aralığında galvaniz sac, her panel özelinde farklı ağırlıklarda poliüretanı oluşturan hammadde ve hava kullanıldığı görülmektedir. Farklı kalınlıklarda olmalarına rağmen galvaniz sac üzerini kaplamak için kullanılan film, panelin dışa taşmasını engellemek için kullanılan yan bant ve paketleme aşamasında kullanılan folyo miktarının aynı olduğu hesaplamalar sonucunda tahmin edilmektedir. Ayrıca 1 m² kompozit cephe paneli üretiminde toplam 0,89 kW/h enerji kullanıldığı hesaplanmıştır.

Bir uçtan üretim hattına giren, istenilen renkte ve kalınlıktaki iki alüminyum veya galvanize sac şekillendirilerek kompozit panelin alt ve üst yüzeyini oluşturmakta, sonrasında levhalar arasına yalıtım malzemesi olarak farklı yoğunluk ve kalınlıkta poliüretan dökülerek poliüretan dolgulu kompozit cephe panelini oluşturulmaktadır. Paneller istenen boy ve sayıda kesilerek sevke hazır hale getirilmekte ve paneller nakliye ve montajda korunması için dış yüzeylerine koruyucu polietilen folyo uygulanmaktadır.

PU dolgulu kompozit cephe panelin üretim akış şeması Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretim akış şeması.

Bobin açma; Panelin alt ve üst katmanını oluşturan alüminyum veya galvanize sacların bobine takılması ile üretim süreci başlamakta olup üretim hattının başlangıç aşamasında yer alan üst bobin panelin üst cidarını, alt kısmına takılan bobin de panelin alt cidarını oluşturmaktadır.

Korona sistemi; Üretim bandındaki ilk adım, "korona" sistemidir. Bu sistem sayesinde sac yüzeylerinin üstüne mikro delikler açılarak poliüretanın saca daha iyi tutunması sağlanmaktadır.

Hadvelendirme; Korona sisteminden sonra saclar hadvelendirme aşamasına geçmekte ve bu aşamada alt ve üst sacın istenilen boyutlarda hadvelendirilmesi sağlanarak saca şekil verilmektedir. Bu aşamada sacın yüzeyine taşıyıcılığı sağlayan büyük hadveler ile mikro hadveler verilirken aynı zamanda kenar bitişleri de şekillendirilmektedir.

Ön ısıtma; İstenilen şekle uygun hale getirilen saclar, ön ısıtmaya girerek poliüretan dökümüne hazır hale getirilmektedir.

Poliüretan Dökümü; Belirli oranlarda poliüretan takında hazırlanan karışım, pompa yardımı ile ön ısıtma işleminden çıkan sacın üstüne dökümü işlemi gerçekleştirilir.

Yan Bantlama; Poliüretan döküm işlemi gerçekleştirilirken alt sacın her iki yanından poliüretanın akması için bantlama işlemi yapılır.

Poliüretan Tepkime Alanı; Poliüretan döküm işleminden sonra altta ve üstte ilerleyen saclar birbirine yaklaşarak alt sacın üstüne dökülen poliüretan bu aşamada köpürmekte ve panelin üst yüzeyine yapışmaktadır.

Dinlenme; Poliüretanın alt ve üst sac ile birleşerek tek parça haline geldiği aşamadır.

Boy Kesme; Bu aşamada paneller istenilen boyda boy kesme aleti ile kesilmektedir.

Vakum Devirme; İstenilen boyda kesilen paneller vakum devirme aleti ile üst üste konularak paketlemeye hazır hale getirilir.

Paketleme; Üst üste konularak istiflenen paneller dış yüzeyinin korunması amacıyla paketlenmektedir.

Bertaraf

Türkiye’de ilk yalıtımlı kompozit panel üretimi 1980 yıllarında sürekli olmayan üretim hatlarında başlamıştır. Faydalı kullanım ömrü 50 yıl olan bu panellerin günümüzde büyük çoğunluğu kullanım ömrünü tamamlamamıştır. Türkiye’de üretilen PU dolgulu kompozit panellerin 2030 yıllarda kullanım ömrünü tamamlayacağı ve ömrü tamamlanan panellerin toplanacağı düşünülmektedir. Bu paneller toplandıktan sonra toplanan panellerin %70’i ayrıştırma işlemine tabii olacağı varsayılmakta ve bu oran arttıkça panellerin çevreye olan etkileri doğru orantılı bir şekilde azalmış olacağı düşünülmektedir.

SimaPro yazılımı yardımıyla yaşam döngüsü modellenen malzemenin bir sonraki aşaması yaşam sonu bertaraf senaryosunun yapılmasıdır. Bertaraf senaryosu aşamasında ürünün yaşam sonunda ürüne ne olduğu ya da neler olabileceği hakkında bilgiler istenmektedir. Atık bertaraf senaryosu “atık senaryoları”, “parçalarına ayırma” ve “yeniden kullanma” aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamada kullanım ömrünü tamamlayan paneller toplandıktan sonra toplanan panellerin, üzerinde ayrıştırma işlemi yapılma oranı, yeniden kullanım ve atık olarak bertaraf edilme oranı (%) sisteme girilmektedir. Ayrıştırma işleminde kompozit paneli oluşturan hammaddeler için geri dönüşüm yüzdeleri sisteme işlenmektedir. Daha sonra geri dönüşümü olan her bir hammadde için bertaraf senaryoları yukarıda bahsedildiği şekilde yeniden oluşturulmaktadır. Geri dönüşümü olmayan diğer malzemeler için yanma, depolama, belediye katı atık sahalarına gönderme vb. gibi atık senaryoları oluşturulup sisteme yüzde olarak veri girişi yapılmaktadır.

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerinin kullanım ömrü sonundaki senaryoları Çizelge 4.8.’de verilmiştir. Kullanım ömrü tamamlanan panellerin uygulama alanından bertaraf edilmesi için gönderilecek alana uzaklığı ortalama 100 km olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında çevresel etkisi iyileştirilmeye çalışılan poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli için bertaraf senaryosu oluşturulmuştur. Bu paneller yaklaşık 50 yıllık kullanım ömrü tamamlandıktan sonra toplanmaktadır. Yukarıda önerilen senaryolar kapsamında parçalarına ayrılacak panel miktarı toplanan panel miktarının %60’ini oluşturacağı, atık senaryosu kapsamında %40’u katı atık depolama sahasına

gideceği ve %0'ı yeniden kullanılacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.8. Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin yaşam sonu senaryosu.

Atık kategorisi	De-konstrüksiyon	Geri dönüşüm (%)	Bertaraf	Toplam
Kompozit panel	60	-	40	100
Poliüretan levha	-	-	100	100
Galvaniz sac	-	99	1	100
Ambalaj	-	-	100	100

PU dolgulu kompozit cephe panelleri iki metal levha ve yalıtım tabakası olmak üzere iki farklı temel hammadde olan galvanize çelik ve poliüretandan oluşmaktadır. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli metal yüzeylerinin geri dönüşümü kullanılmaya elverişli olduğundan dolayı metal endüstrisinde sıkça tercih edilmektedir. Ayırıştırma işlemi uygulanacak panellerin içerisinde yer alan hammaddelerden galvanize sacın %90'ının geri dönüşüme, %10'unun ise katı atık depolama sahasına gönderildiği kabul edilmiştir [203]. Ayırıştırılan poliüretan ise Türkiye'de günümüzde geri dönüştürülemediğinden dolayı katı atık depolama sahasına gönderildiği kabul edilmiştir. Kompozit panellerin paketlenmesi aşamasında kullanılan folyolar ambalaj atığı kapsamında değerlendirilmektedir. Ambalaj atıklarının panellerin montaj aşamasında söküldükten sonra atık depolama sahasına gönderildiği kabul edilmiştir.

Nakliye

Malzemelerin 16-32 ton ve Euro4 standartlarındaki nakliye araçları ile taşındığı kabul edilmiş ve tüm malzemelerinin üretim tesisine olan mesafeleri Aluform Pekintaş Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Kullanım ömrü tamamlanan panellerin uygulama alanından bertaraf edilmesi için gönderilecek alana uzaklığı ortalama 100 km olarak kabul edilmiştir.

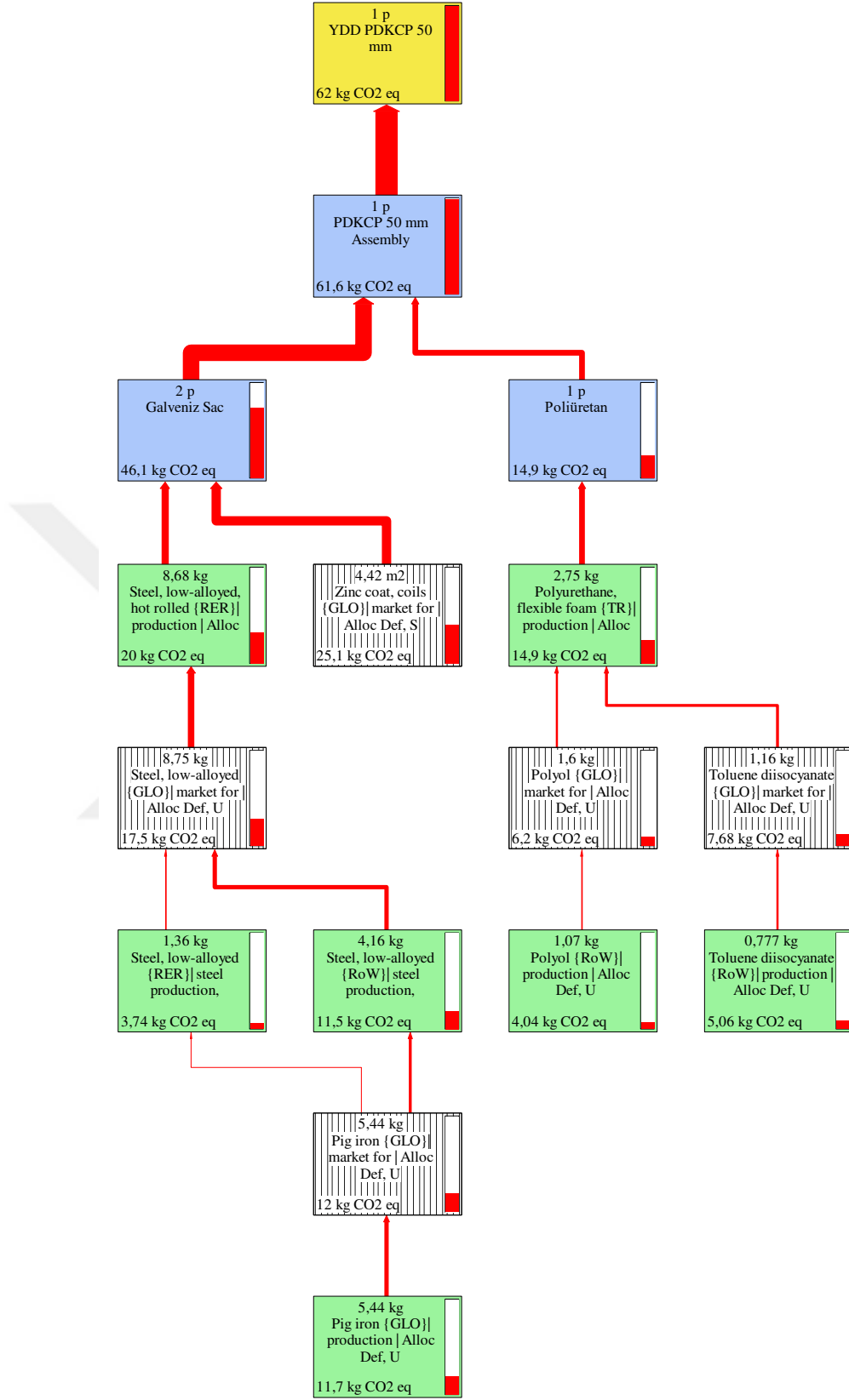
4.1.3. Etki Değerlendirmesi ve Yorumu

PDKCP için, envanter analizi sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda CML-IA baseline ver.3.01 modeline göre SimaPro 7.2 bilgisayar yazılımında yaşam döngüsü etki değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda PDKCP'nin Şekil 4.7'deki yaşam döngüsü küresel ısınma potansiyeli ağaç diyagramı elde edilmiştir. Ayrıca değerlendirme sonucunda PDKCP'nin üretim aşaması ve yaşam sonu bertaraf aşamasındaki

karakterizasyon sonuçları Ek 1’de verilmiş ve Şekil 4.8’de karakterizasyon grafiği oluşturulmuştur.

Her bir etki kategorisinin farklı birimlerle ifade edilmesinden dolayı karşılaştırma yapılabilmesi için tüm bu çevresel etkileri boyutsuz hale getirmek amacıyla normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Normalizasyon ile tüm kategoriler boyutsuz hale getirilerek çevresel etkileri karşılaştırmak mümkün kılınmaktadır. PDKCP’nin üretim aşaması ve yaşam sonu bertaraf aşamasındaki normalizasyon sonuçları Ek 2’de verilmiş ve Şekil 4.9’da normalizasyon grafiği oluşturulmuştur.

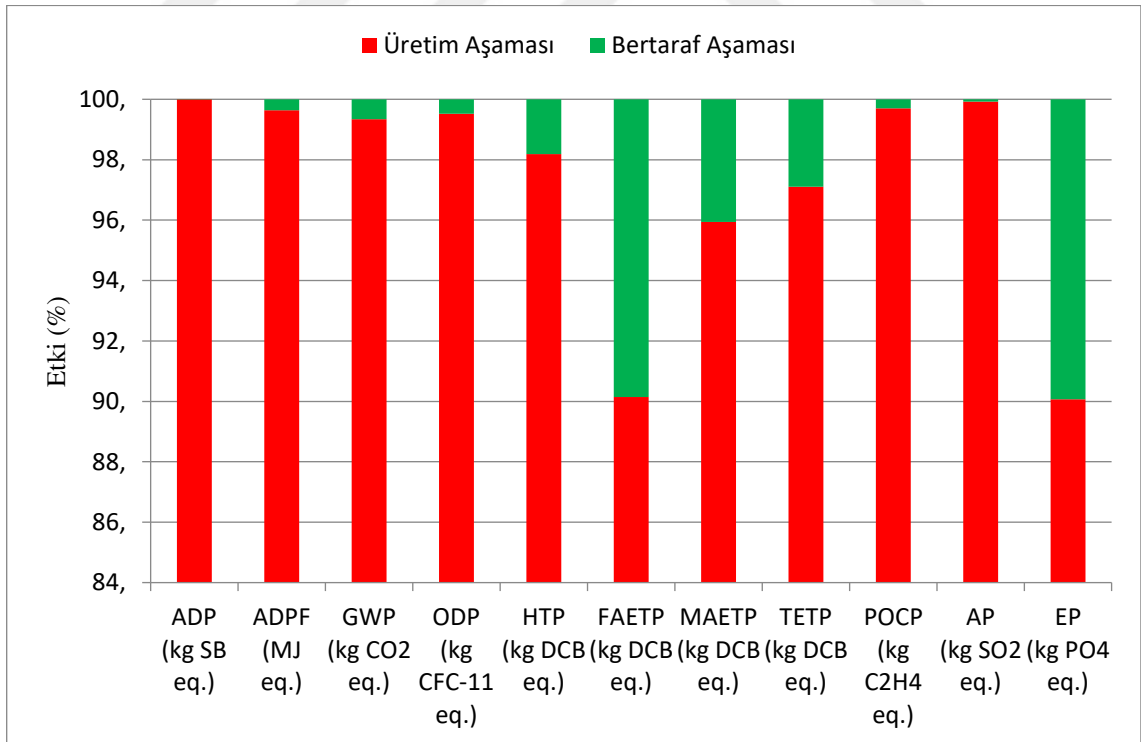




Şekil 4.7. PDKCP küresel ısınma potansiyeli ağaç diyagramı (IPCC 2013 GWP 100a).

Şekil 4.7’de 50 mm kalınlığındaki PDKCP üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %74.2’si galvaniz sac kullanımından, %24,1’i yalıtım dolgusu olarak poliüretan kullanımından, %0,76’sı panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0.24’ü üretilen panelin ambalajlanmasından ve %0.68’i panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %40.5, sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %32,3, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0.75 ve çeliğin boyanması %0.66 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden ısoyanete %12.4, polyol %9.99, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0.98, organikler %0.128, atık poliüretan %0.07 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %1.15 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Çevresel etki kategorilerinin birimleri farklı olduğundan dolayı Şekil 4.8’de karakterizasyon grafiği her bir kategorinin kendi içerisindeki yüzde dağılımına göre oluşturulmaktadır.

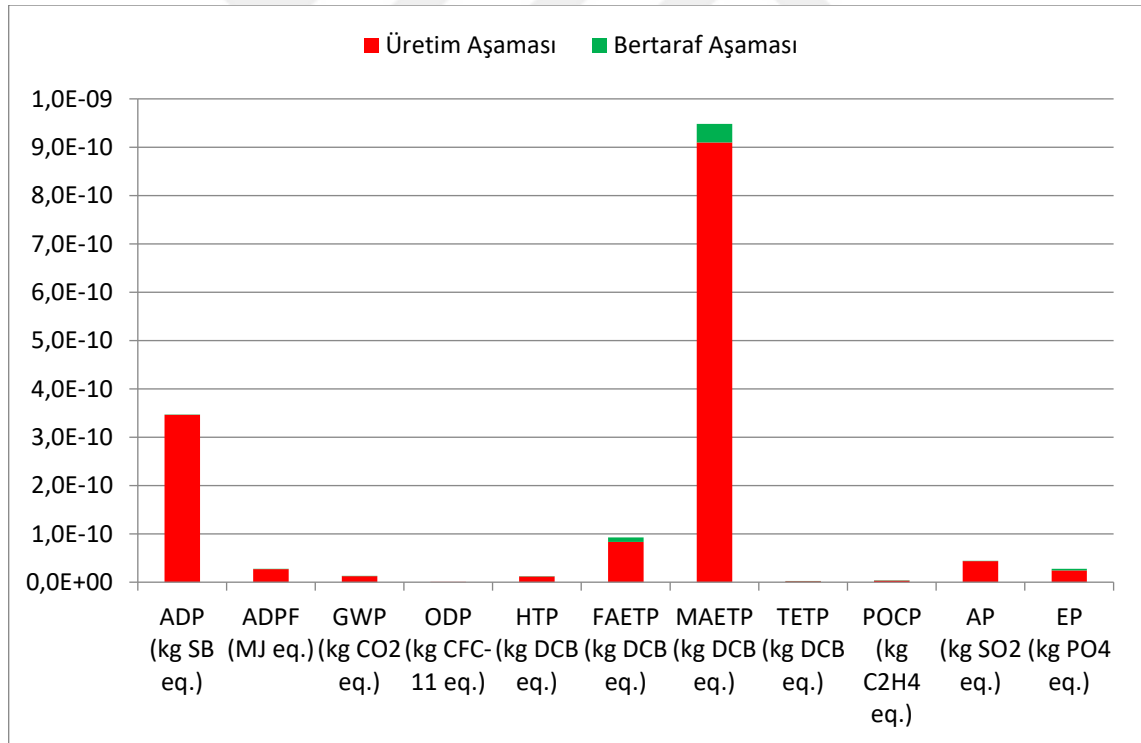


Şekil 4.8. PDKCP’nin karakterizasyon sonuçları.

Ek 1’de görülen kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan), kaynak tüketimi

oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan), küresel ısınma potansiyeli, ozon incelme potansiyeli, insan toksisite potansiyeli, temiz su ekotoksisite potansiyeli, deniz ekotoksisite potansiyeli, toprak ekotoksisite potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve ötrofikasyon potansiyeli karşısındaki birim ile belirtilmektedir.

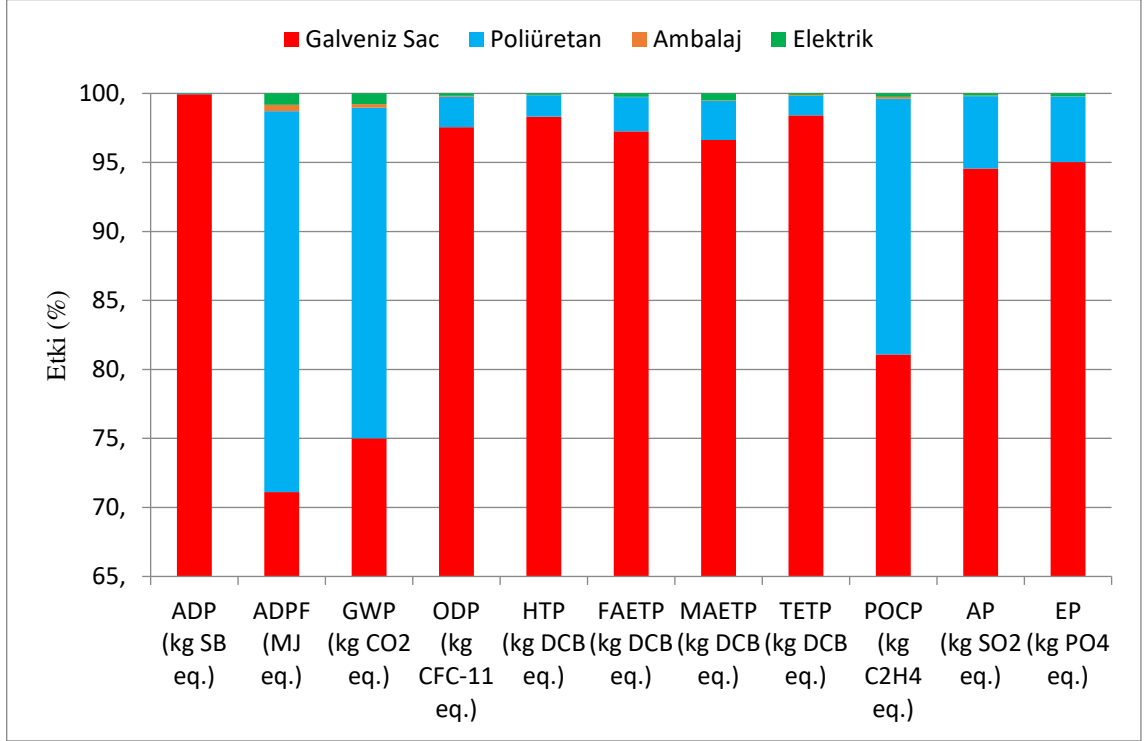
Şekil 4.8’de 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgu kompozit cephe panelinin üretim ve bertaraf aşamalarının % olarak her bir etki kategorisine olan katkıları gösterilmektedir. Buna göre, PDKCP üretim aşaması, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan), kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan), küresel ısınma potansiyeli, ozon incelme potansiyeli, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli ve asidifikasyon potansiyelinin %99’undan, insan toksisite potansiyelinin %98’inden, temiz su ekotoksisite potansiyelinin %90’nından, temiz su ekotoksisite potansiyelinin %95’inden, deniz ekotoksisite potansiyelinin %97’sinden ve ötrofikasyon potansiyelinin %90’ından sorumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. PDKCP’nin normalizasyon sonuçları.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi çevresel olarak en etkili olan kategoriler deniz ekotoksisite potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan), temiz su ekotoksisite potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli olup bunu ötrofikasyon potansiyeli, kaynak

tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan), küresel ısınma potansiyeli ve insan toksisite potansiyeli izlemektedir. Etkin olmayan ozon incelme potansiyeli, toprak ekotoksisite potansiyeli ve fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli kategorilerinin etkileri hemen hemen aynıdır. PDKCP'nin çevresel performansı incelendiğinde, üretim aşamasının bertaraf aşamasına göre daha fazla çevresel etkiye katkı bulunduğu görülmektedir. PDKCP'nin üretim aşamasına ait karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10. PDKCP üretim aşamasının karakterizasyon sonuçları.

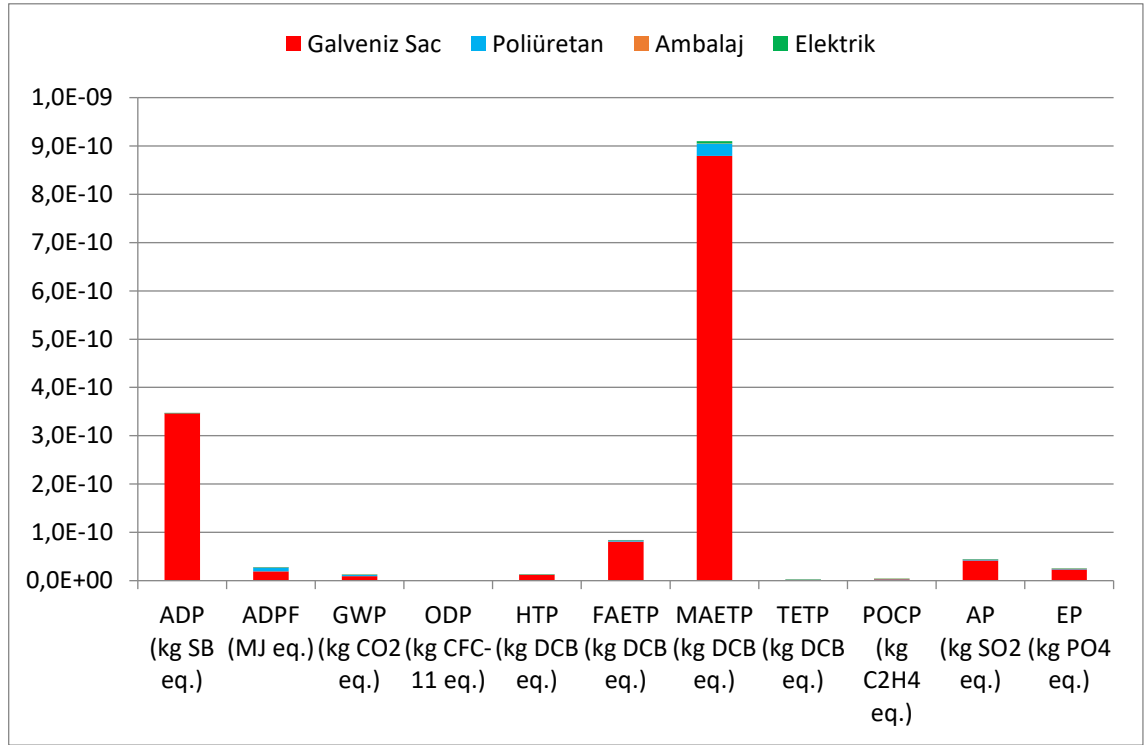
PDKCP üretim aşamasının normalizasyon ve karakterizasyon değerlerine ait veriler Ek 3 ve Ek 4'te verilmiştir.

Şekil 4.10 ve Ek-3'e göre PDKCP üretim aşamasının toplam küresel ısınma potansiyeli 61 kg CO₂ eşdeğeri, galvaniz sac, poliüretan, elektrik ve ambalaj için sırasıyla 45,8 kg CO₂ eşdeğeri, 14,6 kg CO₂ eşdeğeri, 0,472 kg CO₂ eşdeğeri ve 0,151 kg CO₂ eşdeğeridir. Etkinin büyük çoğunluğu %75 galvaniz sac kullanımından ortaya çıkmaktadır. Geriye kalan etki ise %24 yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımından, %0,7 kompozit panelin üretiminde kullanılan elektrik enerjisinden ve %0,2 ambalajlanmasından dolayı ortaya çıkmaktadır.

PDKCP üretim aşaması için galvaniz sac ve poliüretan kullanımı, ambalaj ve elektrik

tüketiminden dolayı oluşan kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan) etkisi sırasıyla 611 MJ eşdeğeri, 237 MJ eşdeğeri, 7,05 MJ eşdeğeri ve 3,97 MJ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Etkinin büyük çoğunluğu %71'i galvaniz sac kullanımından, %28'i diğer bir yüksek etkiye sahip olan poliüretandan, % 0,8'i elektrik tüketiminden ve % 0,4'ü ambalaj kullanımından kaynaklanmaktadır.

Toplam fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli 0,0264 kg C₂H₄ eşdeğeri olup buna % 81'i galvaniz sac, % 19'u poliüretan, %0,2 elektrik, %0,1 ambalaj tüketimi katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.11. PDKCP üretim aşamasının normalizasyon sonuçları.

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi üretim aşamasında da çevresel olarak en etkili olan kategoriler deniz ekotoksiste potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan) ve temiz su ekotoksiste potansiyeli olduğu görülmektedir. Etkin olmayan ozon incelme potansiyeli, toprak ekotoksiste potansiyeli ve fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli kategori etkileri hemen hemen aynıdır.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterildiği gibi üretim aşaması tüm etkilere en çok katkıda bulunur. Üretim aşamasında galvaniz sac ve yalıtım malzemesi olarak poliüretan tüm etkilere ana katkıda bulunmaktadır. Şekil 4.7, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterildiği gibi kompozit cephe panelinin üretiminde galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme

işlemi ve sıcak haddelenmiş çelik kullanımı ile poliüretanı oluşturmak için ısoyanete ve polyol kullanımı özellikle deniz ekotoksisite potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fossil olmayan) ve temiz su ekotoksisite potansiyelinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

4.2. PDKCP ÇEVRESEL ETKİSİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerin sürdürülebilirlik performansının artırılması için alt bölüm 3.5'te iyileştirme yöntemleri önerilmiştir. Bu bölümde, önerilen iyileştirme yöntemleri kapsamında kompozit cephe paneli üretimi için kullanılması önerilen atıklar ve alternatif hammadde seçilmekte, bertaraf senaryoları oluşturulmakta ve panelin üretiminde kullanılacak alternatif enerji kaynağı gerekçeleri ile birlikte verilmektedir.

4.2.1. PDKCP Üretiminde Atık Kullanımı

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin çevresel etkilerini azaltmak için üretim aşamasında sıvı olarak galvaniz sacın yüzeyine akıtılan poliüretan karışımına tarımsal atık, endüstriyel atık ve üretim atığı ikame edilmesi önerilmektedir. Böylece panel üretiminde kullanılan atık miktarı kadar poliüretan kullanımı azaltılacak ve atıkların geri dönüşü sağlanarak kompozit cephe panelin çevresel etkisi azaltılacaktır.

4.2.1.1. Pirinç Kabuğu Tozu (Tarımsal Atık) İkame Edilmesi

Çeltik gövdeleri olarak da adlandırılan pirinç kabuğu, önemli tarımsal yan ürünlerden biridir ve çeltiğin kabuk soyma işlemi sırasında üretilen kabuklardır. Pirinç kabukları, yılda yaklaşık 100 milyon ton olarak dünyada üretilen pirinç hacminin yaklaşık% 20'sini oluşturmaktadır [21]. Türkiye'de 2016 yılında toplamda 552.000 ton pirinç üretimi gerçekleşmiştir. Bu üretimin %71'i Marmara bölgesinde, % 24'ü ise Karadeniz bölgesinde gerçekleşmiştir. Kalan %5'lik kısmı ise İç Anadolu (%3), Güneydoğu Anadolu (%2) ve diğer (%1) bölgeler oluşturmaktadır [204], [205]. Düzce, hem batı Karadeniz hem de doğu Marmara'da yer alan bir il olarak yaklaşık 2 bin 700 dekar alanda çeltik üretimi yapılmakta ve yaklaşık 2 bin ton civarında pirinç üretilmektedir. Düzce'de üretilen pirinçten yaklaşık 400 ton pirinç kabuğu atığı oluşmaktadır. Ayrıca Türkiye'deki pirinç üretiminin %95'inin gerçekleştiği bölgelere yakın konumda olmasından dolayı pirinç kabuğu atıklarına ulaşımı kolaydır.



Şekil 4.12. Öğütülmüş pirinç kabuğu tozu.

Çalışma kapsamında PU dolgulu cephe panelinin üretilmesinde tarımsal atık olarak Düzce bölgesinde üretilen pirincin dış örtüsünü oluşturan ve öğütme sırasında ortaya çıkan kabuğu kullanılacaktır. Pirinç kabuğu, bütün halde poliüretan ile karıştırılarak panel elde edilmesi için kullanıldığında panelin panel içerisinde boşlukların oluşacağı ve bu boşluklarında panelin yalıtımını ve performans özelliklerini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Bu yüzden pirinç kabukları poliüretan ile homojen bir karışım sağlaması amacıyla öğütme makinası yarımıyla parçalanarak Şekil 4.12'deki gibi toz haline getirilecek ve poliüretana ikame edilmesi sağlanacaktır.

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelleri genellikle; 40 mm, 50 mm, 60 mm 80 mm ve 100 mm kalınlığında üretilmektedir. Çalışma kapsamında çevresel etkisi azaltılması planlanan 50 mm kalınlığındaki cephe panelinde 2755,8 gr poliüretan karışımı kullanılmaktadır. Bu panel içerisine poliüretan ağırlığın %27'si kadar pirinç kabuğu tozu ikame edilecek ve 50 mm kalınlığında panel oluşturmak için 740,30 gr pirinç kabuğu tozu ve 2015,50 gr poliüretan kullanılacaktır. Yani 50 mm kalınlığındaki kompozit cephe

panelini elde etmek için 40 mm kalınlığındaki cephe panelinde kullanılan poliüretan miktarı kullanılacaktır. Böylece 50 mm kalınlığındaki kompozit cephe paneli üretmek için gerekli olan poliüretan miktarı 740,30 gr kullanılarak poliüretan miktarı %27 oranında azaltılmış olacaktır.

Panel üretiminde kullanılan hammaddelere ilave olarak pirinç kabuğu atığı ekleneceğinden dolayı YDD envanter analizi aşamasında pirinç kabuğu atığının oluştuğu tesisten panel üretim fabrikasına kadar olan transferi ve toz haline getirirken harcanan enerjinin YDD hesaplamasına ilave edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada pirin kabuğu atığının oluştuğu tesisten kompozit panelin üretim tesisine kadar taşındığı mesafe 20 km olup 740,30 gr pirinç kabuğunun tozu haline getirilirken harcanan enerji 0,277 kwh olarak hesaplanmıştır. Pirinç kabuğu atığı kullanılarak oluşturulacak kompozit cephe panelinin çevresel etkileri hesaplanırken envanter analizine bu bilgiler ilave edilerek alt bölüm 4.4'te analiz sonuçları paylaşılmıştır.

4.2.1.2. *Lastik Atığı Tozu (Endüstriyel Atık) İkame Edilmesi*

Arabalar, uçaklar, kamyonlar, iki tekerler vb. araçlarda kullanılan lastikler ömrünü tamamladıktan sonra toplanmakta, depolanarak bertaraf edilmekte, yakıt kaynağı olarak kullanılmakta, yeniden kullanılmakta ve farklı yöntemler ile geri dönüştürülmektedir [206]. Muhtelif büyüklüklerde ve mikron seviyesine kadar granül haline getirilerek geri dönüştürülen lastik atıkları halı saha zeminlerinde, araç lastiklerinin kaplanması, lastik karo taşı üretiminde, makine takozu üretiminde ve asfalt yollara bariyer yapımında kullanılarak çevreye dost yeni malzemeler olarak geri dönüştürülmektedir.

Atık lastik granüllerinden oldukça iyi mekanik ve fonksiyonel özelliklere sahip çok çeşitli kirletici değil, aynı zamanda sürdürülebilir kompozitler üretilmektedir. Geri dönüştürülmüş lastiklerden elde edilen bu kompozitlerin üretim yöntemi çok basit olup kauçuk ve termoplastik malzemeler endüstrisinde kullanılan bilinen teknoloji, makine ve teçhizat kullanılarak üretilebilirler. Aynı zamanda bu kompozitlerin endüstriyel üretimde uygulanması fazla yatırım gerektirmez [207]. Son yıllarda atık lastik kauçuğu asfalt parçacıklarıyla olan iyi etkileşiminden ötürü asfalt modifiye edici olarak yaygın şekilde kullanılarak geri dönüştürülmektedir. [208]. Doğal agreganın yerine atık lastiklerden elde edilen agregalar kullanılarak beton üretim deneyleri yapılmakta ve lastik kauçuk agregası dahil edildiğinde betonun mekanik özelliklerinin genel kalitesinde bir düşüş olduğunu belirtilmektedir [209]. Mekanik özelliklerinin düşük olmasına rağmen kullanılan lastiklerin tekrar kullanılmasından dolayı atıkların geri kazanılmasından kaynaklanan

Çevresel avantajların dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir [210].

Türkiye’de lastik ömrü boyunca sadece otomobillerden kaynaklanan lastik atık miktarı 2013 yılına kadar toplamda 41.586,31 ton ve atıkların büyük çoğunluğu Marmara bölgesi, iller bazında ise İstanbul olduğu belirlenmiştir [211]. Türkiye’de lastik atıkların geri dönüştürülmesi için birden fazla tesis bulunmakta ve atık lastiklerin farklı alanlarda kullanılabilmesi için farklı yöntemlerle atıklar parçalarına ayrılmaktadır.



şekil 4.13. Lastik atığı tozu.

Çalışma kapsamında poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin çevresel performansının iyileştirilmesine katkı sağlamak amacıyla şekil 4.13.’de gösterildiği gibi lastik atığı tozu kullanılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda panelde kullanılacak atıklar Marmara bölgesinde yer alan ve lastik atıkların kauçuk ve toz haline getirilmesi için kurulan işletmeden temin edileceği varsayılmıştır.

Çalışma kapsamında çevresel etkisi azaltılması planlanan 50 mm kalınlığındaki cephe panelinde 2755,8 gr poliüretan karışımı kullanılmaktadır. Bu panel içerisine poliüretan ağırlığın %27’si kadar lastik atığı ikame edilecek ve 50 mm kalınlığında panel oluşturmak için 740,30 gr lastik atığı ve 2015,50 gr poliüretan kullanılacaktır. Yani 50 mm

kalınlığındaki kompozit cephe panelini elde etmek için 40 mm kalınlığındaki cephe panelinde kullanılan poliüretan miktarı kullanılacaktır. Böylece 50 mm kalınlığındaki kompozit cephe paneli üretmek için gerekli olan poliüretan miktarı 740,30 gr kullanılarak poliüretan miktarı %27 oranında azaltılmış olacaktır.

50 mm kalınlığındaki panelin üretiminde kullanılan hammaddelere ilave olarak lastik atığı ekleneceğinden dolayı YDD envanter analizi aşamasında lastik atığının temin edileceği tesisten panel üretim fabrikasına kadar olan transferi ve atığın parçalanırken harcanan enerjisi atık tesisinden temin edilerek YDD hesaplamasına ilave edilmesi gerekmektedir. Çalışmada lastik atığının panel üretim alanına kadar taşındığı mesafe 190 km olup 740,30 gr atığın parçalanması için harcanan enerji 0,37 kwh olarak hesaplanmıştır. Lastik atığı kullanılarak oluşturulacak panelin çevresel etkileri hesaplanırken envanter analizine bu bilgiler ilave edilerek alt bölüm 4.4.'te analiz sonuçları paylaşılmıştır.

4.2.1.3. Taşyünü Tozu (Üretim Atığı) İkame Edilmesi

Aynı ya da yakın üretim sahasında üretilen farklı kompozit malzemelerden kaynaklanan atıkların değerlendirilmesiyle, üretilecek kompozit malzemenin zararlı hammadde miktarının ve çevresel etkisinin azaltılması sağlanacaktır. Çalışmanın bu aşamasında poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretim tesisinde üretilen taşyünü dolgulu kompozit cephe panelinin üretimi aşamasında oluşan taşyünü atığı (Şekil 4.14) poliüretan içerisine ikame malzeme olarak değerlendirilmesi sağlanacaktır.



Şekil 4.14. Taşyünü atığı.

Taşyünü dolgulu kompozit panelin üretim aşamasında toz halinde taşyünü atığı oluşmakta ve bu atıkların depolanması için fabrika dışında ciddi bir depolama alanı kullanılmaktadır. Bu atık çimento fabrikasına gönderilerek yakma yoluyla bertaraf edildiği ve böylece çevreye büyük ölçüde zarar verildiği bilinmektedir. Taşyünü atığının geri dönüşümünün sağlanması amacıyla poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin üretiminde poliüretan ile homojen bir karışım oluşturacak şekilde ikame edilmesi önerilmektedir. Böylece taşyünü atığı yerinde bertaraf edilmiş olacak ve poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin üretilmesinde kullanıldığından dolayı kompozit panelin çevresel etkisini olumlu yönde azaltacağı düşünülmektedir. Bu işlemin poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin çevre dostu bir ürün olmasını sağlayarak birim maliyetlerini düşüreceği düşünülmektedir. İki malzemenin de aynı üretim tesisinde üretilmesi, atığın transferinden kaynaklanabilecek çevresel etkileri minimize edecek ve atığın depolanmasını ortadan kaldırarak alan kazanımı sağlayacaktır.

Taşyünü dolgulu kompozit panel üretiminde kullanılan taş yününün yaklaşık %5'i dilimleme hattında atık olarak oluşmaktadır. 50 mm kalınlığında üretilen 1 m² boyutunda taşyünü dolgulu kompozit panelde 5.390 gr taşyünü kullanılmaktadır. Böylece 1 m² panel üretimi için 269,5 gr atık oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında çevresel etkisi azaltılması planlanan 50 mm kalınlığındaki

poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinde 2.755,8 gr poliüretan karışımı kullanılmaktadır. Bu panel içerisine poliüretan ağırlığın %27'si kadar taşıyünü atığı ikame edilecek ve kompozit paneli oluşturmak için 551,16 gr taşıyünü atığı ve 2.204,64 gr poliüretan kullanılacaktır.

Paneller aynı tesis içerisinde üretildiğinden dolayı, taşıyünü atığının temin edileceği alandan poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin üretim alanına getirilirken ki transfer mesafesi envanter analizi aşamasında göz ardı edilecektir. Ayrıca taşıyünü atığı toz halinde olduğundan dolayı parçalama veya birleştirme işlemi yapılmayacağından dolayı enerji harcaması yapılmayacaktır. Böylece atığının transferi ve parçalanması için enerji ihtiyacı olmayacağından dolayı çevreye olumsuz katkı sağlamayacaktır.

4.2.2. Alternatif Hammadde Kullanımı

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin üretiminde galvaniz sac panelin alt ve üst yüzeyini oluştururken levhalar arasına yalıtım sağlanması için poliüretan dökülmektedir. Yani panelin oluşumunda poliüretan ve galvaniz sac olmak üzere iki ham madde kullanılmaktadır. Panel üretiminde kullanılan poliüretan ciddi Ar-Ge çalışmaları sonucunda formülize edilerek oluşturulduğundan dolayı galvanize sac için alternatif hammadde kullanımı söz konusu olmaktadır.

Geri dönüşümlü çelik kullanımı malzeme oluşturmada enerji tüketimini büyük oranda düşürmektedir [28]. Bu durum malzemenin çevresel performansında iyileştirmeye sebep olacağından dolayı çalışmanın bu aşamasında galvanize sacı oluşturmak için kullanılan çelik içerisindeki geri dönüştürülmüş çelik oranının artırılması önerilmektedir. Böylece yeni olacak çeliğin içerisine %25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanılması ve sonrasında elde edilen saca galvanizleme işlemi uygulanarak oluşan galvanize sac kullanılması önerilmektedir. PU dolgulu cephe paneli üretiminde kullanılacak geri dönüştürülmüş çelik kullanım oranı artırılmış galvanize sac, normal üretimde kullanılan galvanize sac ile aynı boyut ve ağırlıktadır.

4.2.3. PDKCP'nin Yaşam Sonu Senaryosunun Oluşturulması

Faydalı ömrü tamamlanan poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerin toplanma oranı malzemenin çevresel etkisini etkilemektedir. Çalışmanın bu aşamasında faydalı ömrü tamamlanan kompozit cephe panelleri toplandıktan sonra ayrıştırma oranının yükseltilmesi ve paneli oluşturmak için kullanılan hammadde atıklarının yaşam sonu

aşamasına yönelik senaryolar alt bölüm 3.5.3'deki gibi oluşturulmuştur.

4.2.3.1. *Faydalı ömrü tamamlanan kompozit panelin yaşam sonu senaryosu*

Kullanım ömrü tamamlanan poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli toplandıktan sonra üzerinde ayrıştırma işlemi yapılan cephe paneli oranı arttıkça kompozit panelin çevresel etkisi azalmaktadır. Günümüzde malzemelerin geri dönüşümü çevre açısından en önemli parametrelerden birisidir. Poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerinin faydalı kullanım ömrü yaklaşık 50 yıldır. 50 yılsonunda ömrünü tamamlanmamış olan panellerin dikkatlice demontajı yapıldığında sandviç paneller hasar görmemiş ise estetik açıdan önemli olmayan endüstriyel binalarda ve tarımsal binalarda tekrar kullanılabilir. Yeniden kullanmanın mümkün olmadığı kompozit paneller, yalıtım çekirdeğinden ayıran geleneksel bir öğütücü tesisine götürülerek galvaniz sacın yalıtım tabakasından ayrılması sağlanır.

Türkiye’de üretilen poliüretan dolgulu kompozit panellerin 2030 yıllarda kullanım ömrünü tamamlayacağı ve ömrü tamamlanan panellerin toplanacağı düşünülmektedir. Bu paneller toplandıktan sonra toplanan panellerin %70’i ayrıştırma işlemine tabii olacağı ve bu oran arttıkça panellerin çevreye olan etkileri doğru orantılı bir şekilde azalacaktır.

SimaPro yazılımı yardımıyla yaşam döngüsü modellenen malzemenin yaşam sonu aşamasında atık bertarafı senaryosu yapılmaktadır. Atık bertarafı senaryosu aşamasında ürünün yaşam sonunda ürüne ne olduğu ya da neler olabileceği hakkında bilgiler istenmektedir. Atık bertarafı senaryosu “atık senaryoları”, “parçalarına ayırma” ve “yeniden kullanma” aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamada kullanım ömrünü tamamlayan paneller toplandıktan sonra toplanan panellerin % kaçının üzerinde ayrıştırma işlemi yapıldığı, yeniden kullanıldığı ve atık olarak bertaraf edildiği sisteme işlenmektedir. Ayrıştırma işleminde kompozit paneli oluşturan hammaddeler için geri dönüşüm yüzdeleri sisteme işlenmektedir. Daha sonra geri dönüşümü olan her bir hammadde için bertaraf senaryoları yukarıda bahsedildiği şekilde yeniden oluşturulmaktadır. Geri dönüşümü olmayan diğer malzemeler için yanma, depolama, belediye katı atık sahalarına gönderme vb. gibi atık senaryoları oluşturularak sisteme yüzde olarak işlenmektedir.

Kullanım ömrü tamamlanan kompozit cephe panellerin uygulama alanından bertaraf edilmesi için gönderilecek alana uzaklığı ortalama 100 km olarak kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında çevresel etkisi iyileştirilmeye çalışılan poliüretan dolgulu kompozit

cephe paneli için bertaraf senaryosu oluşturulacaktır. Bu paneller yaklaşık 50 yıllık kullanım ömrü tamamlandıktan sonra toplanmaktadır. Yukarıda önerilen senaryolar kapsamında parçalarına ayrılacak panel miktarı toplanan panel miktarının %70'ini oluşturacağı, atık senaryosu kapsamında %30'u katı atık depolama sahasına gideceği ve %0'ı yeniden kullanılacağı kabul edilmiştir.

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panelleri iki metal levha ve yalıtım tabakası olmak üzere iki farklı temel hammadde olan galvanize çelik ve poliüretandan oluşmaktadır. Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli metal yüzeylerinin geri dönüşümü kullanılmaya elverişli olduğundan dolayı metal endüstrisinde sıkça tercih edilmektedir. Ayrıştırma işlemi uygulanacak panellerin içerisinde yer alan hammaddelerden galvanize sacın yaşam sonunda YDD çalışmasında da modellendiği üzere %89'unun geri dönüştürülmek üzere toplandığı, %10'unun yeniden kullanıldığı ve kalan %1'lik kısmın katı atık depolama sahalarında depolandığı kabul edilmiştir [203].

Ayrıştırılan poliüretan ise geri dönüştürülmekte, atık olarak depolanmakta ve yakılarak bertaraf edilmektedir. Poliüretan dolgulu kompozit panelden ayrıştırılan poliüretan için üç farklı geri dönüşüm yöntemi mevcuttur. Mekanik olarak geri dönüştürülmekte yani poliüretan köpük küçük parçalara ayrılarak farklı malzemelerin oluşumlarında kullanılmaktadır. Hammadde olarak geri dönüştürülmekte yani kimyasal olarak geri dönüştürülerek farklı malzemeler için kimyasal hammadde oluşturmaktadır. Diğer bir geri dönüşüm yöntemi ise kullanım ömrü tamamlanan poliüretanların hammadde geri dönüşümü için uygun olmayanları yakma tesislerinde enerji olarak geri dönüştürülmesi sağlanmaktadır [212]–[214]. Buradan yola çıkarak ayrıştırma işlemi uygulanacak panellerin içerisinde yer alan hammaddelerden poliüretanın %85'inin geri dönüşüme, %15'inin ise katı atık depolama sahasına gönderildiği kabul edilmiştir. Galvanize sac ve poliüretan, kompozit panel üretim firması tarafından toplanılarak işlem görmediği için katı atık işleme sürecinde yeniden kullanım, geri kazanım, geri dönüşüm işlemleri hesaba katılmamıştır.

Poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerinin üretim aşamasında, panellerin nakliye ve montajda korunması için dış yüzeylerine koruyucu polietilen folyo uygulanmaktadır. Bu folyoların atık senaryosu Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak modellenmiştir. Yönetmeliğe göre bu atıkların %48'i geri kazanılmakla yükümlüdür [215]. Panel üreticisi firmanın montaj aşamasında oluşan ambalaj atıkların toplanılarak geri dönüşüm tesislerine gönderdiği varsayılmıştır.

Kullanım ömrü tamamlanan poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli toplandıktan sonra

üzerinde ayrıştırma işlemi yapılan cephe paneli oranı arttıkça kompozit panelin çevresel etkisi azalacağı göz önünde bulundurulduğunda firmaların ürettikleri panellerin sökülüp takılabilir bir şekilde olması çevresel açıdan avantaj sağlayacağından dolayı panellerin yeniden tasarlanması gerektiği düşünülmektedir.

Günümüzde Türkiye’de üretilen yalıtımlı panellerin büyük çoğunluğu ömrünü tamamlamadığı görülmektedir. İlerleyen yıllarda ömrünü tamamlayan panellerin geri dönüşüm teknolojilerinin de gelişmesiyle birlikte kimyasal yollarla, makine teknolojileri yardımı gibi farklı yöntemler ile rahatlıkla geri dönüştürüleceği düşünülmektedir.

Poliüretan dolgulu kompozit panellerin kullanım ömrü tamamlandıktan sonra toplanma oranının artması çevresel etkisine doğrudan katkı sağlamaktadır. Panellerin ömrünü tamamladıktan sonra toplanması için panel üretim fabrikalarının sorumluluk yüklenmesi tavsiye edilmektedir. Üretimi gerçekleştiren fabrika panellerin ömrünü tamamlama yıllarını takip edecek sistemler geliştirerek ve bu panellerin toplanmasının sorumluluğunu üstlenmelidir. Panellerin üretimi, montajının yapılması, bakım ve onarımının belirli periyotlarda gerçekleştirilmesi, ömrünü tamamladıktan sonra toplanması işlemi ve toplanan panellerin geri dönüştürülmesi ya da bertaraf edilmesi için fabrikaların bütünsel sistemler tasarlaması ve uygulaması çevresel açıdan daha temiz paneller üretmesine olanak sağlayacaktır. Aynı zamanda bu bütünsel sistem sayesinde şirket bünyesinde yeni istihdam oluşturacak ve yeni iş modelleri tasarlanarak şirketlerin finansal yapısının güçlendirileceği düşünülmektedir.

Kompozit panel üreticilerinin, panellerin kullanım ömrünü tamamlamaları sonrası panellerin yaşam sonu senaryoları için duyarlılık seviyelerinin artırılmasına ilişkin farkındalığın oluşturulması gerekmektedir. Bu panellerin sadece üretilip satılmasına yönelik iş modellerinin geliştirilmesi ve/veya değiştirmesi gerekmektedir. Günümüzde üretim sektöründe yaygınlaşmakta olan şekliyle sadece malzemenin satılması değil aynı zamanda satış sonrası servis hizmeti verilmesi iş modeline geçiş halinde firmaya gerek ekonomik gerekse de çevresel etki açısından fayda sağlayacaktır.

Üretilen panelin satış aşamasında nihai tüketici ile yapacağı anlaşmada ürünler için garanti, sigorta, bakım/onarım hizmetleri ve ömrü tamamlanan panellerin panel değişim zamanı geldiğinde değişecek paneli alarak yeni ürün montajının yapılması gibi satış sonrası hizmetler vermesi şeklinde seçenekler yer almalıdır. Böylece panellerin satışı sonrasında verilecek hizmetler ile firmanın kalıcı ve sadık müşteriler oluşturulması sağlanacaktır. Bu pozitif katkıların artırılması için firmaların ürün satmaya verdikleri önemden daha fazlasını da satış sonrası hizmetlere vermeleri gereklidir.

Yalıtım tabakasının özelliğini kaybetmesi durumunda, bakım/onarım aşamasında, ömrü tamamlandığında toplanan paneller için üretici firmaların panel ayrıştırma tesisi oluşturmaları gelecekte panellerin bertarafından doğacak çevre sorunlarının önüne geçilmiş olacaktır.

Kompozit panel üretim fabrikaları nihai tüketicinin ihtiyacı doğrultusunda ürünü talep edilen kullanım yılı bazında firmaya kiralama yöntemine yönelik iş modeli geliştirebilir. Örneğin A firmasının üretim yapmak istediği tesis 20 yıllığına kullanacağını varsayılırsa, bu doğrultuda panel üretim firması panelleri A firmasına 20 yıllık kullanım için kiralama yöntemi kullanılabilir. 20 yılın sonunda paneller dikkatlice demontajı yapıldıktan sonra ihtiyacı olan başka bir firmaya kiralanabilir. Böylece panellerin kullanım ömrü dolana kadar ihtiyacı karşılaması sağlanmış olacaktır. Kullanım ömrü bitmeden panellerin geri dönüşümü ya da bertarafı yapılmayarak çevreye olumlu katkı sağlayacaktır. Böylece kompozit malzeme üretim firmaları iş modellerini malzeme üzerine değil servis üzerine kurularak daha çevreci bir yaklaşım ile üretimlerini gerçekleştirip sürdürülebilir iş modeli oluşturabilir.

Yukarıdaki öneriler doğrultusunda panelin yeniden tasarlanması, dikkatlice demontajının yapılması, ömrü tamamlanan panellerin takibi için bir sistem tasarlanması ve yeni iş modellerinin oluşturulması gibi senaryolar kapsamında faydalı ömrü tamamlanan panellerden parçalarına ayrılacak olanların miktarı %95'ini oluşturacağı, atık senaryosu kapsamında %5'i katı atık depolama sahasına gideceği ve %0'ı yeniden kullanılacağı kabul edilmiştir. Bu doğrultuda 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe panelin yaşam döngüsü etki değerlendirmesi kapsamında Bölüm 4.2.3'te çevresel performansı yeniden hesaplanmış ve alt bölüm 4.3'te karşılaştırmalar yapılmıştır.

4.2.4. Alternatif Enerji Kaynağı Kullanımı

Çalışma kapsamında seçilen 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretimi için elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Kompozit panelin çevresel etkilerinin azaltılması için üretimde Bölüm 3.5.4'te önerildiği gibi alternatif enerji kaynaklarından güneş panelleri yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretilerek panel üretiminin yapılacağı varsayılmaktadır. Bu doğrultuda güneş enerjisinden faydalanılarak üretilcek 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe panellerin çevresel etkileri alt bölüm 4.7'de analiz edilmiştir.

4.3. PDKCP İLE ÇEVRECİ PDKCP'İN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu araştırma kapsamında kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliğini sağlamak için bir metodoloji geliştirildi. Bölüm 3'te sunulan metodoloji, yaşam döngüsü yaklaşımını ele alır ve kompozit inşaat malzemesi üreticilerini ilgilendirerek temel çevresel sürdürülebilirlik konularını belirleyerek başlamaktadır. Temel paydaşlar arasında kompozit malzeme üreticileri, malzeme kullanıcıları, geri dönüşüm sektörü ve hükümet yer almaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik konuları, kaynak tükenmesi, yerel ve bölgesel atık üretimi, küresel ısınma, ozon tabakası incilmesi, asidifikasyon ve ötrofikasyon gibi çevresel etkileri içermektedir. Çevresel konular Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kullanılarak değerlendirilirken üretim tesisinden alınan birincil veriler kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerini tam olarak ortaya konulması için kullanılır.

Metodoloji, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkileri ve bu etkilerin azaltılması için önerilen yöntemleri değerlendiren vaka çalışması yoluyla gösterilmiştir. Kompozit cephe panellerin değerlendirilmesi, yüksek katlı ve büyük alanların inşaatında kullanılan kompozit malzemelerin çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirirken, kompozit inşaat malzemelerin çevresel etkilerinin azaltılması için malzeme üretiminde tarımsal ve endüstriyel atıkların kullanılması, faydalı ömrü tamamlanan malzemeler için bertaraf senaryolarının tasarlanması, alternatif enerji kaynağı ile alternatif hammadde kullanımı yoluyla muhtemel çevresel kazanımları göstermektedir.

Çalışmanın bu bölümünde, Bölüm 3'te sunulan metodoloji kapsamında ve alt bölüm 3.5'te önerilen iyileştirme yöntemleri doğrultusunda 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üzerinde sınanmasıyla oluşan yeni kompozit panellerin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) sunulmaktadır. İyileştirme yöntemleri sonucunda oluşan kompozit cephe panellerin çevresel performansları Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) TS EN ISO 14040/44 metodolojisine uygundur. Elde edilen envanter doğrultusunda YDD modellemesi SimaPro 7.'de gerçekleştirildi ve CML-IA baseline ver.3.01 yöntemi ile çevresel etkiler hesaplanmıştır. Bu çalışmanın temel sonuçları aşağıda özetlenmiş olup çalışma kapsamında oluşturulan panellerin kısaltmaları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

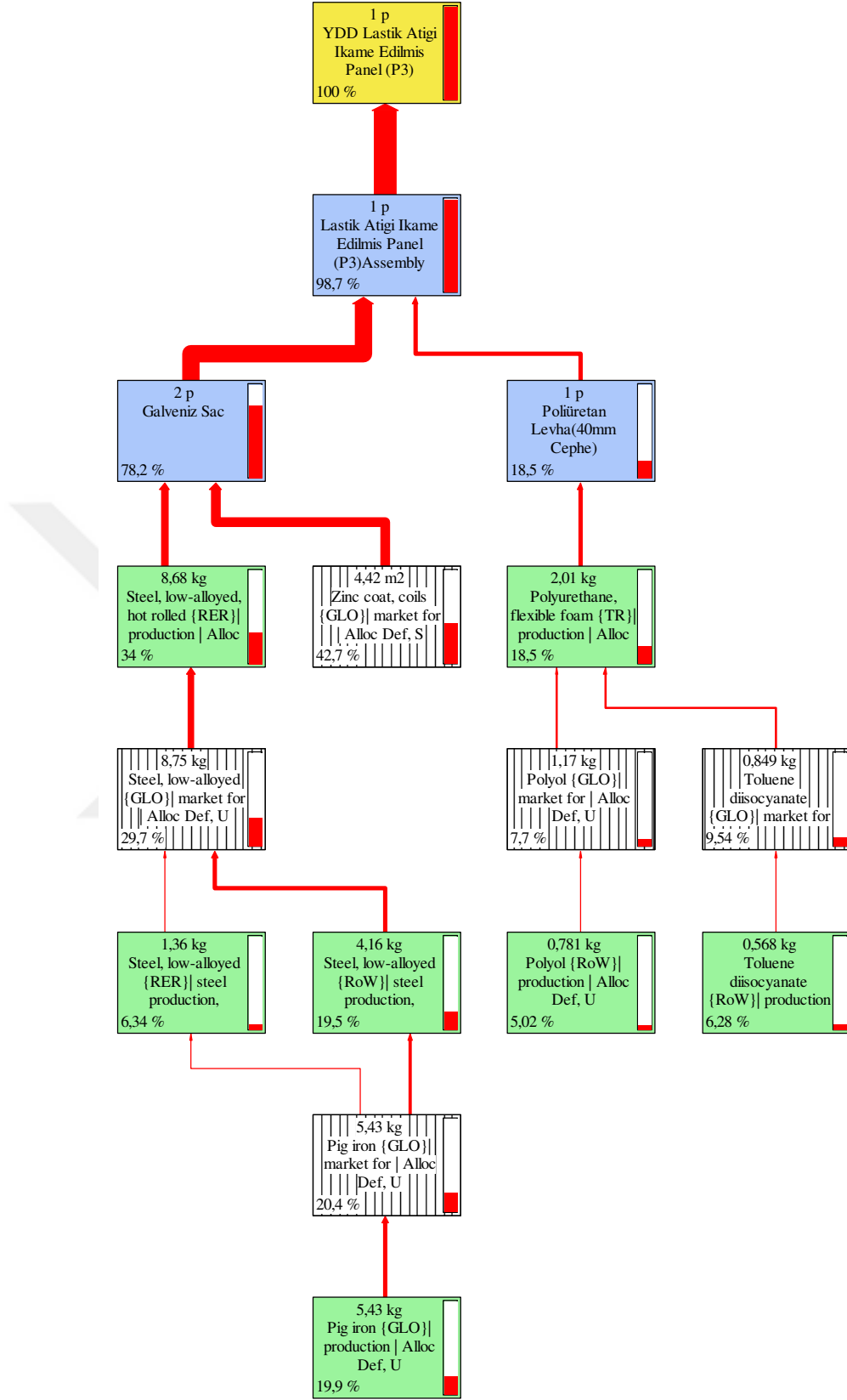
Çizelge 4.9. Kompozit panellerin kısaltmaları.

Kısaltmalar	
P1	Poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P2	Pirinç kabuğu ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P3	Lastik atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P4	Taşıyünü atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P5	%25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı artırılmış poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P6	Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli
P7	Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli

4.4. Üretiminde Atık Kullanılan Kompozit Panelin Çevresel Performansı

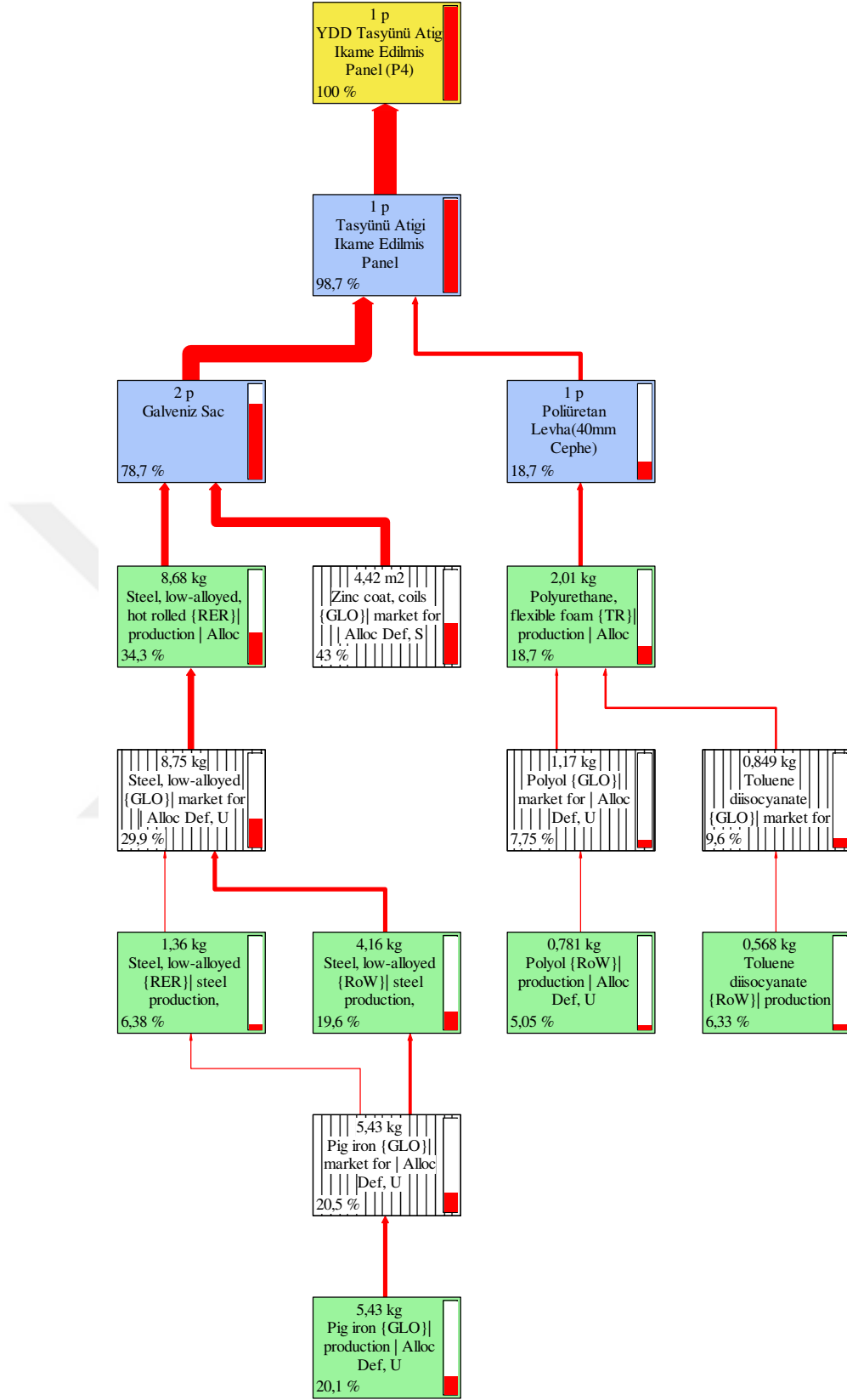
Alt bölüm 4.2.1 çerçevesinde sunulan üretimde atık kullanımı yoluyla elde edilen kompozit cephe panelinin Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’te yaşam döngüsü ağaç diyagramları ayrı ayrı verilmiştir. Değerlendirme sonucunda kompozit panellerin karakterizasyon grafiği Şekil 4.18’de elde edilmiş, sonuçları ise Ek 5’de verilmiştir. Etki göstergelerinin farklı etki kategorileri arasında karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.19’da iyileştirme yöntemleri ile elde edilen kompozit panellerin normalizasyon grafiği gösterilmiş ve sonuçları Ek 6’da verilmiştir.

Şekil 4.15'te 50 mm kalınlığındaki pırınç kabuğu ikameli poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %78.5'i galvaniz sac kullanımından, %18,6'sı poliüretan kullanımından, %0,48'i tarımsal atık olarak pırınç kabuğu ikame edilmesinden, %0,81'i panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,26'sı üretilen panelin ambalajlanmasından ve %1,31'i panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %42.8, sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %34.2, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,8 ve çeliğin boyanması %0.7 oranında etkiye sahiptir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden ısoçyanete %9.57, polyol %7.73, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,76, organikler %0.21, atık poliüretan %0.06 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.09 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. Lastik atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü ağaç diyagramı.

Şekil 4.16’da 50 mm kalınlığındaki lastik atığı ikameli ve poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %78.5’sı galvaniz sac kullanımından, %18,6’sı poliüretan kullanımından, %0,33’ü endüstriyel atık olarak lastik tozu ikame edilmesinden, %1,01’i panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,26’sı üretilen panelin ambalajlanmasından ve %1,12’si panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %42.8, sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %34.1, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,8 ve çeliğin boyanması %0.7 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden ısıocyanete %9.57, polyol %7.72, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,76, organikler %0.21, atık poliüretan %0.06 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.09 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.17. Taşyünü atığı ikame edilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü ağaç diyagramı.

Şekil 4.17’de 50 mm kalınlığındaki taşıyıcı atığı ikameli ve poliüretan dolgu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %78.7’si galvaniz sac kullanımından, %18,7’si poliüretan kullanımından, %0,0006’sı üretim atığı atık olarak taşıyıcı ikame edilmesinden, %1,01’i panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,26’sı üretilen panelin ambalajlanmasından ve %1,32’si panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %43, sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %34.2, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,8 ve çeliğin boyanması %0.7 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden isocyanete %9.6, polyol %7.75, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,76, organikler %0.21, atık poliüretan %0.06 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.09 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.18’e göre PDKCP’ne lastik atığı ikame edildiğinde, kaynak tüketimi oluşumuna (fosil kaynaklardan) %6,5, küresel ısınma potansiyeline %5,07, fotokimyasal oksidasyon oluşumuna %4,04 ve ötrofikasyon potansiyeline %2,6 olumlu katkı sağladığı görülmektedir.

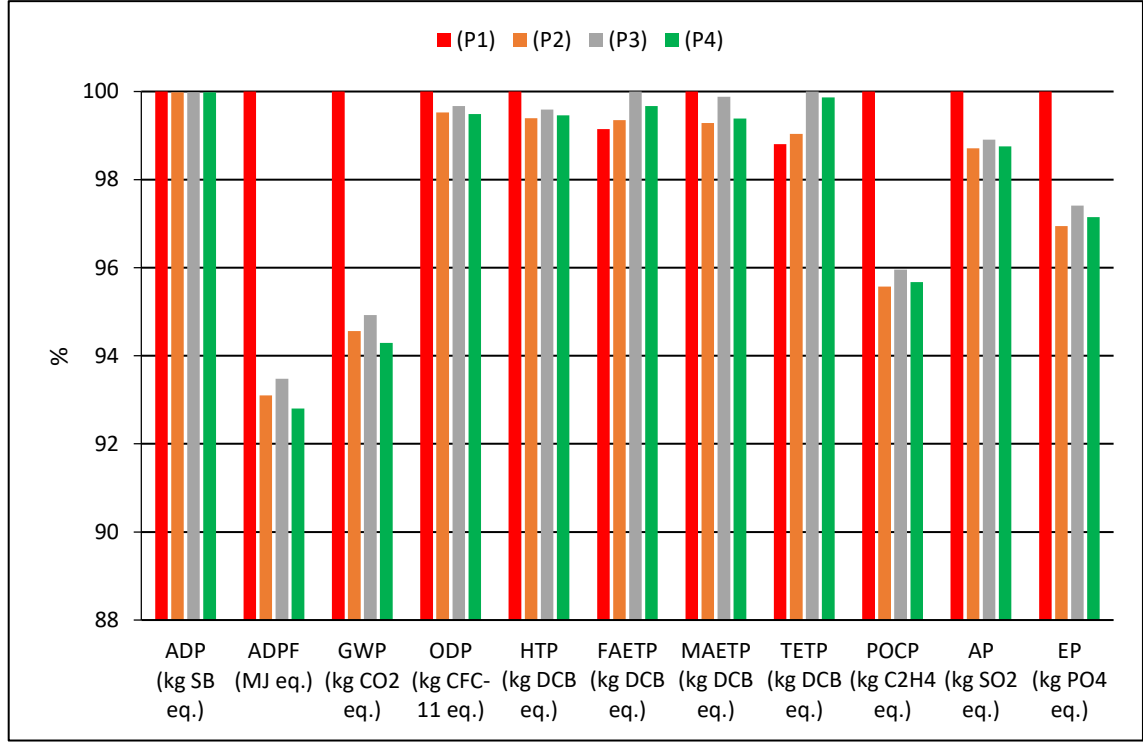
Şekil 4.18’de, PDKCP’ne pirinç kabuğu ikame edildiğinde %6,9 kaynak tüketimi oluşumu (fosil kaynaklardan) potansiyelinin, %5,4 küresel ısınmanın, %4,4 fotokimyasal oksidasyon oluşumunun ve % 3,1 ötrofikasyon potansiyelinin azaltılmasına katkıda bulunduğu ifade edilmektedir.

Ayrıca Şekil 4.18’de, PDKCP’ne taşıyıcı atığı ikame edildiğinde kaynak tüketimi oluşumunu (fosil kaynaklardan) %7,2, küresel ısınma potansiyelini % 5,7 , fotokimyasal oksidasyon oluşumunu % 4,3 ve ötrofikasyon potansiyelini %2,9 oranında azaltılabileceğini göstermektedir.

Şekil 4.7’de PDKCP üretiminde poliüretan kullanımından dolayı 14,9 kg CO₂ eşdeğeri salınım olduğu hesaplanmıştır. Şekil 1.16, Şekil 1.17 ve Şekil 1.18 incelendiğinde ise poliüretan kullanımından dolayı 10,9 kg CO₂ eşdeğeri salınım ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla poliüretan kullanım miktarını %27 azaltmak amacıyla üretiminde atık (pirinç kabuğu atığı, lastik tozu ve taşıyıcı atığı) ikame edilerek

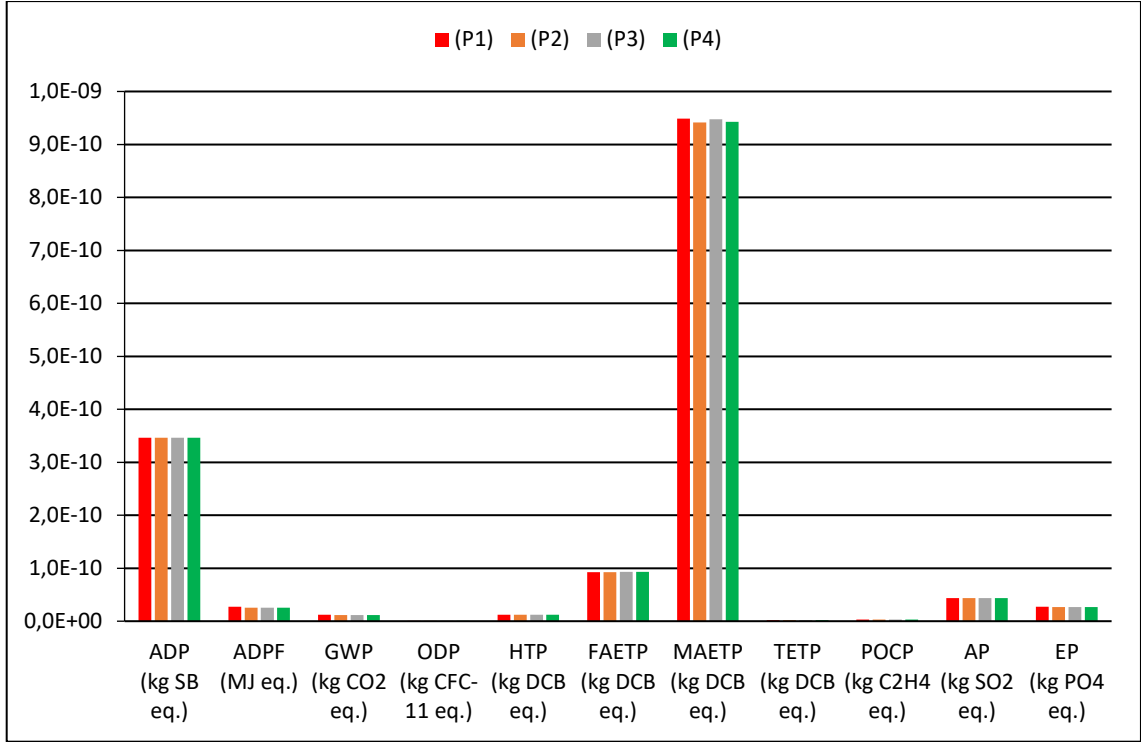
oluşturulan panellerin poliüretandan kaynaklı küresel ısınma etkisini %26,84 oranında olumlu katkı sağlandığı görülmektedir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde ise, en çok azalma etkisi sırasıyla kaynak tüketimi oluşumu (fosil kaynaklardan), küresel ısınma, fotokimyasal oksidasyon oluşma ve ötrofikasyon potansiyelindedir.



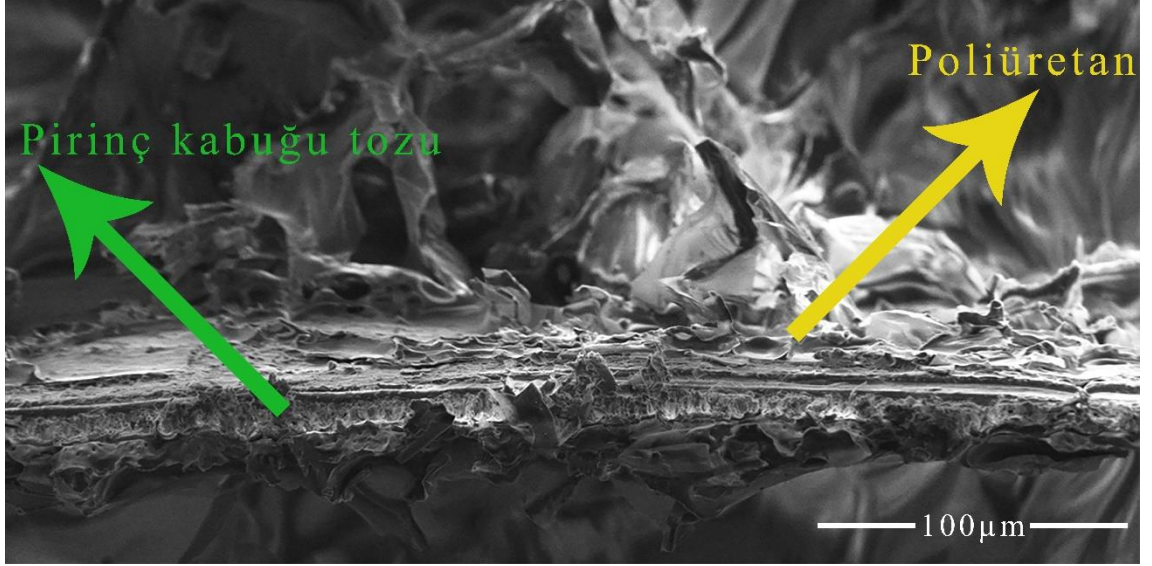
Şekil 4.18. Üretiminde atık kullanılan kompozit cephe panellerinin karakterizasyon sonuçları.

Şekil 4.18’e göre PDKCP üretiminde poliüretan içerisine taşıyünü atığı ikame edilmesi pirinç kabuğu ya da lastik tozu ikame edilmesine göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, taşıyünü atığı PDKCP üretim tesisi içerisinde çıkması, dolayısıyla atığın ulaşım mesafesinin diğerlerine kısa olmasıdır. Ayrıca, pirinç kabuğu ve lastik atıkların PDKCP’ne ikame edilebilmesi için öğütme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Böylece taşıma dışında öğütmeden dolayı da bir enerji tüketimi söz konusu olmaktadır. Bu nedenle taşıyünü atığı, pirinç kabuğu ve lastik atığına göre çevresel açıdan bir avantaj sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.19. Üretiminde atık kullanılan kompozit cephe panellerinin normalizasyon sonuçları.

Şekil 4.19 incelendiğinde, kompozit panel üretiminde atık malzemelerin değerlendirilmesi ile poliüretan tüketiminde azalmaya gidilmesi sonucu çevresel etki parametresi açısından olumlu bir katkı sağlanmasına rağmen en çok etkiye sahip olan deniz ekotoksisite potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan) ve temiz su ekotoksisite potansiyeli kategorilerinde bu katkının düşük seviyede kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.20. Pirinç kabuğu tozu ikameli poliüretanın SEM görüntüsü.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) sayesinde malzemeden alınan numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsü elde edilir. Böylece malzemenin yüzey deformasyonu, kristal yapısı ve yüzey morfolojisi, malzeme yüzeyinde oluşan çatlağın büyümesi, malzemeler arasındaki uyum ve yapışma durumu, kompozit malzemelerin kırılma yüzeyi, malzeme taneciklerinin biçimi gibi özellikleri hakkında bilgiler edinilmektedir [58]–[61].

Çevresel etkisi iyileştirilmesi düşünülen PDKCP'nin üretiminde ikama malzeme olarak tarımsal, endüstriyel ve ya fabrika atığı kullanılmasının bu malzemenin karakteristik özelliklerini değiştireceği düşünülmektedir. Bu değişimlerin malzemeyi nasıl etkilediği görmek adına Şekil 4.20'de pirinç kabuğu tozu ikame edilmiş PDKCP'nin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda malzemenin yüzey özellikleri, pirinç kabuğu ile poliüretan arasındaki uyum, pirinç kabuğunun parçacık boyutu ve morfolojisi gibi özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

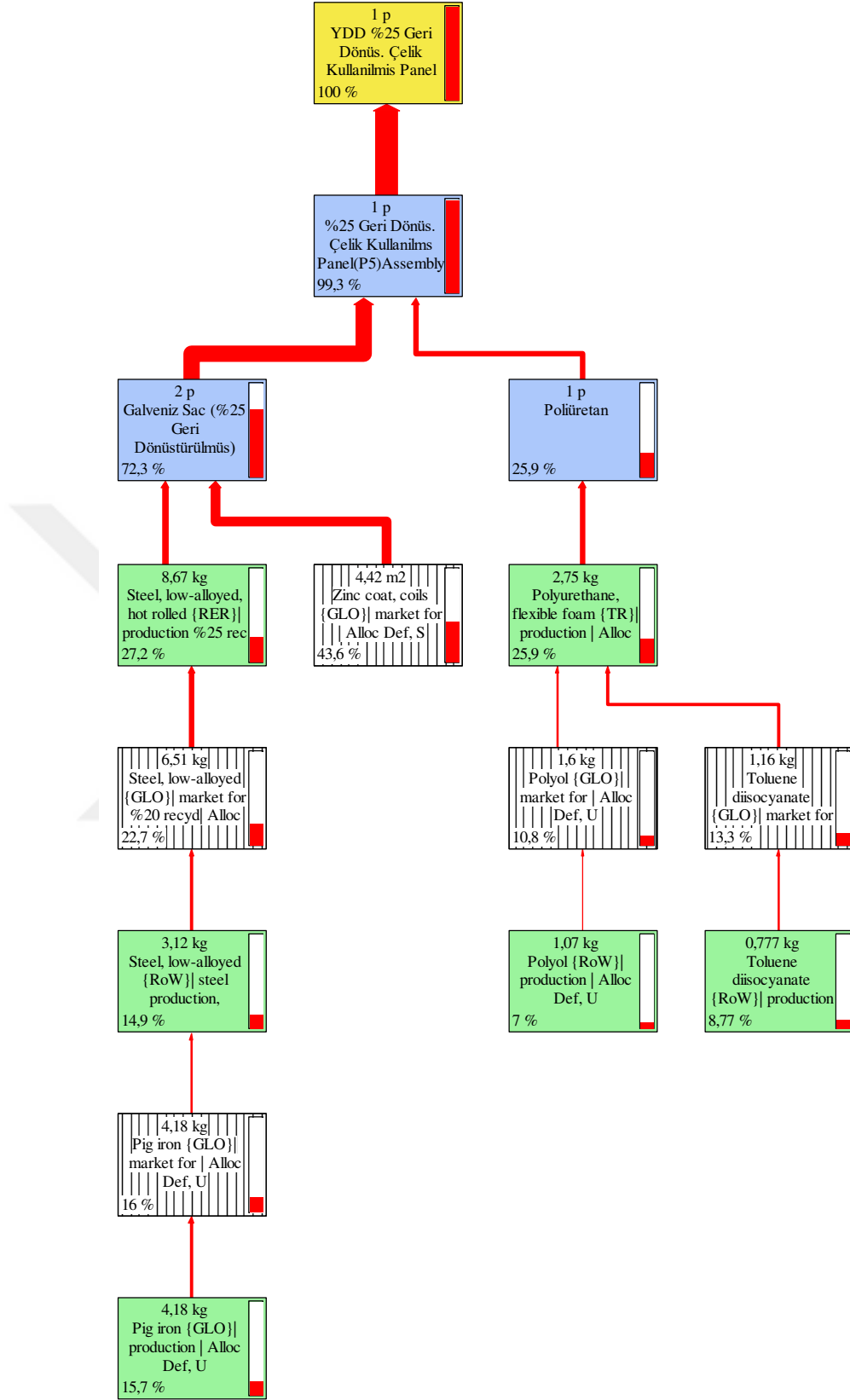
Şekil 4.20'de görüldüğü gibi pirinç kabuğunun poliüretan ile arasında bir uyum olduğu görülmekte ve pirinç kabuğu ikame edilmesi ile PDKCP'nin mekanik özelliklerinin olumlu yönde artış göstereceği ön görülmektedir.

Atıkların PDKCP'ne ikame edilmesiyle ilgili bulgular birlikte değerlendirildiğinde, atık kullanımının bu panellerin çevresel etkilerinde önemli derecede bir değişiklik oluşturduğu anlaşılmaktadır. Atıkların geri dönüştürülmesi sonucunda, hem üretimde kullanılan poliüretan gibi çevresel etkisi yüksek hammadde kullanımı azalmakta hem de endüstriyel ve tarımsal atıkların geri kazanımına katkıda bulunmaktadır.

4.5. Alternatif Hammadde Kullanımıyla Elde Edilen Kompozit Panelin Çevresel Performansı

Alt bölüm 4.2.2 çerçevesinde sunulan alternatif hammadde kullanımı yoluyla elde edilen kompozit cephe panelinin Şekil 4.21’de yaşam döngüsü ağaç diyagramları verilmiştir. Değerlendirme sonucunda kompozit panellerin karakterizasyon grafiği Şekil 4.22’de, karakterizasyon sonuçları ise Ek 7’de verilmiştir. Etki göstergelerinin farklı etki kategorileri arasında karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.23’de iyileştirme yöntemleri ile elde edilen kompozit panellerin normalizasyon grafiği gösterilmiş ve sonuçları Ek 8’de verilmiştir.



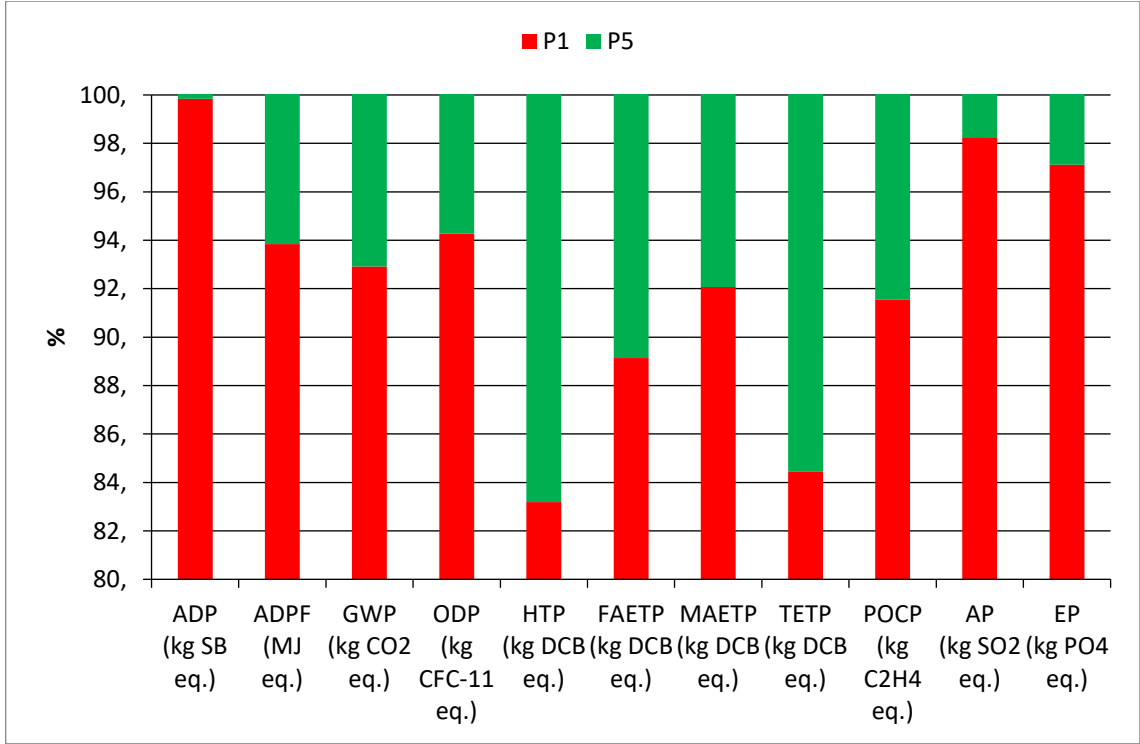


Şekil 4.21. %25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı artırılmış poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.

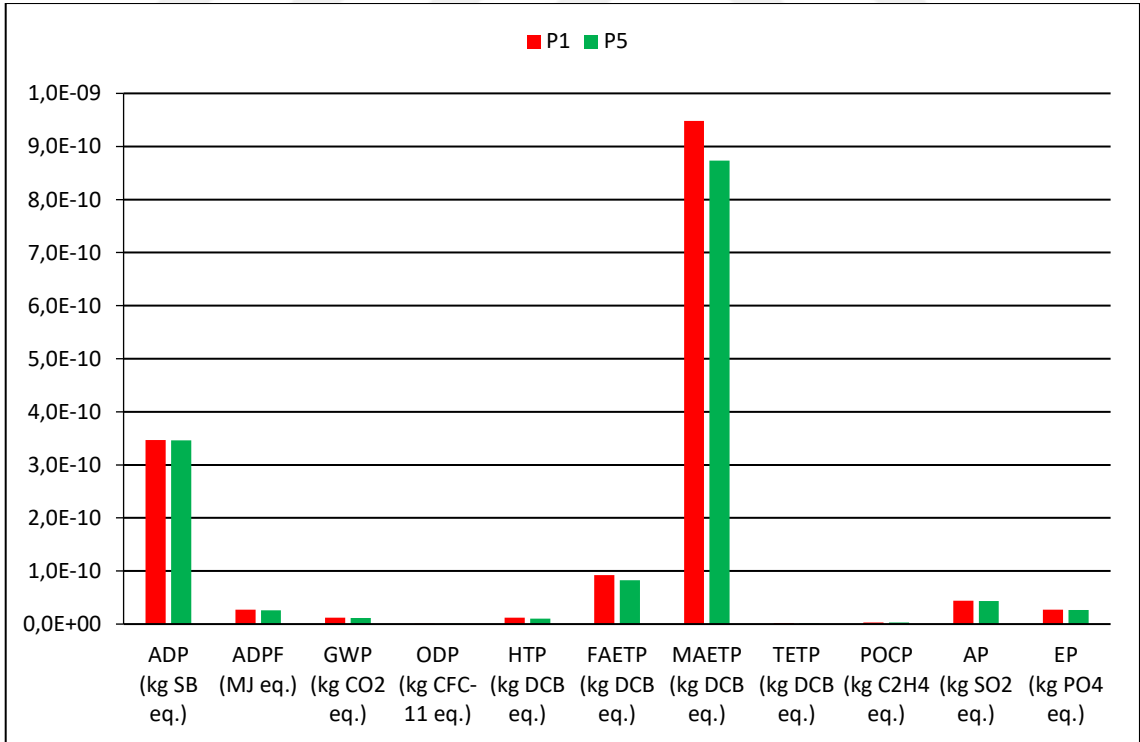
Şekil 4.21’de 50 mm kalınlığındaki alternatif hammadde kullanımı iyileştirme yöntemi ile elde edilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %72.3’si galvaniz sac kullanımından, %25,9’u poliüretan kullanımından, %0,82’i panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,26’sı üretilen panelin ambalajlanmasından ve %0,73’si panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %43,6 sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %27.2, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,81 ve çeliğin boyanması %0.71 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden isocyanete %13.3, polyol %10.7, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %1,06, organikler %0.30, atık poliüretan %0.08 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.12 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.7’de PDKCP üretiminde galvanizli çelik kullanımından dolayı 46,1 kg CO₂ eşdeğeri salınım olduğu hesaplanmıştır. Şekil 4.21. incelendiğinde ise poliüretan %25 oranında geri dönüştürülmüş galvaniz çelik kullanımından dolayı 41,7 kg CO₂ eşdeğeri salınım ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmüş çelik tercih edilmesinden ötürü oluşturulan panelin küresel ısınma etkisini % 10 oranında azaltacağı görülmektedir.

Şekil 4.22 ve Ek 7’de gösterilen sonuçlar incelendiğinde, GWP, AP, EP, ODP ve diğer etki kategorilerinin hepsinde azalma olduğu görülmektedir. PDKCP üretmek için %25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı ile insan toksisite potansiyelinde % 16,82, toprak ekotoksisite potansiyelinde %15,54, temiz su ekotoksisite potansiyelinde %10,86, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyelinde % 8,45 ve deniz ekotoksisite potansiyelinde % 7,93 oranında azalma sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.22. Alternatif hammadde yoluyla yapılan iyileştirmelerin karakterizasyon sonuçları.



Şekil 4.23. Üretiminde atık kullanılmış kompozit cephe panellerinin normalizasyon sonuçları.

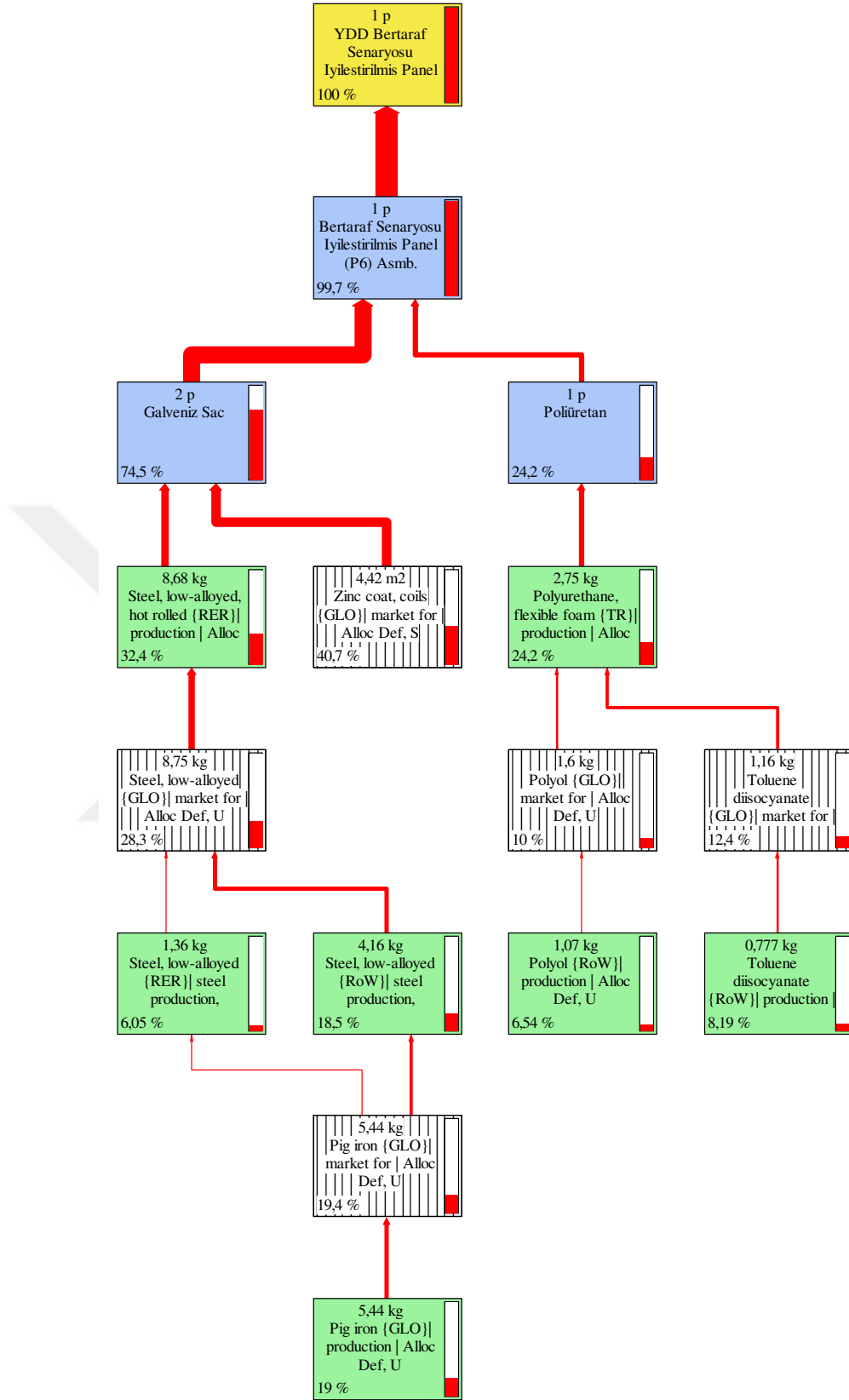
Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 birlikte değerlendirildiğinde, PDKCP üretimi için kullanılan galvanizli çeliğin üretim aşamasında, geri dönüştürülmüş çelik kullanım oranı arttıkça bu panelin çevresel etkilerinin azaldığı görülmektedir.

Farklı kompozit inşaat malzemesi üretiminde, çeliğin geri dönüşümlü olarak kullanılması bütün çevresel kategorilerde olumlu etki gösterdiği bilinmektedir [216]. Görülmektedir ki, üretiminde fazla enerji tüketimi meydana gelen çelik atıklarının, PDKCP üretiminde çelik hammadde girdisi olarak yeniden değerlendirilmesi kaynak tüketimini azaltmak için önemli bir rol oynamaktadır. Böylece alternatif hammadde kullanımıyla üretilen ürünlerin çevresel performansları mevcut ürünlere göre daha iyi olmaktadır.

4.6. PDKCP Bertaraf Senaryosunun Çevresel Performansı

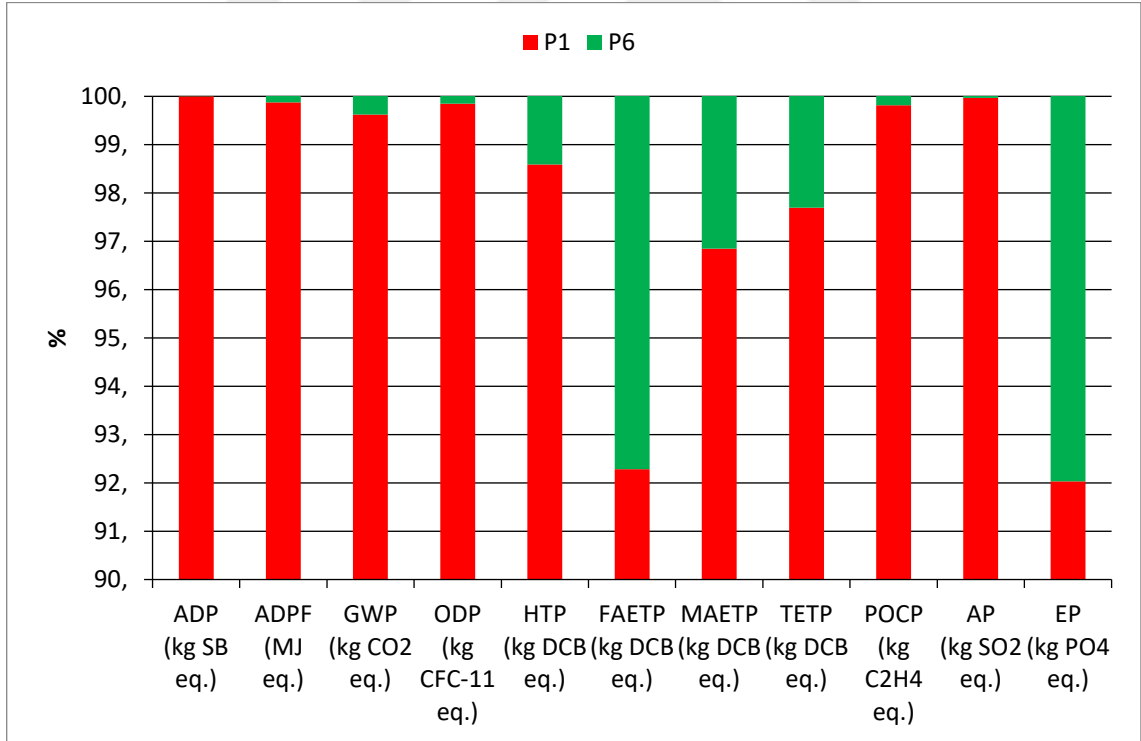
Bölüm 4.2.3 çerçevesinde sunulan bertaraf senaryoları kapsamında oluşturulan kompozit cephe panelin Şekil 4.24'te yaşam döngüsü ağaç diyagramları verilmiştir. Değerlendirme sonucunda kompozit panellerin karakterizasyon grafiği Şekil 4.25'te elde edilmiş, sonuçları ise Ek 9'da verilmiştir. Etki göstergelerinin farklı etki kategorileri arasında karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.26'da iyileştirme yöntemleri ile elde edilen kompozit panellerin normalizasyon grafiği gösterilmiş ve sonuçları Ek 10'de verilmiştir.

Şekil 4.7'de PDKCP bertaraftından dolayı 0,423 kg CO₂ eşdeğeri salınım ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.10 incelendiğinde ise bertaraf senaryolarının oluşturulması ile bu değer 0,175 kg CO₂ eşdeğeri salınımı olarak %58,62 oranında azaltıldığı görülmektedir.

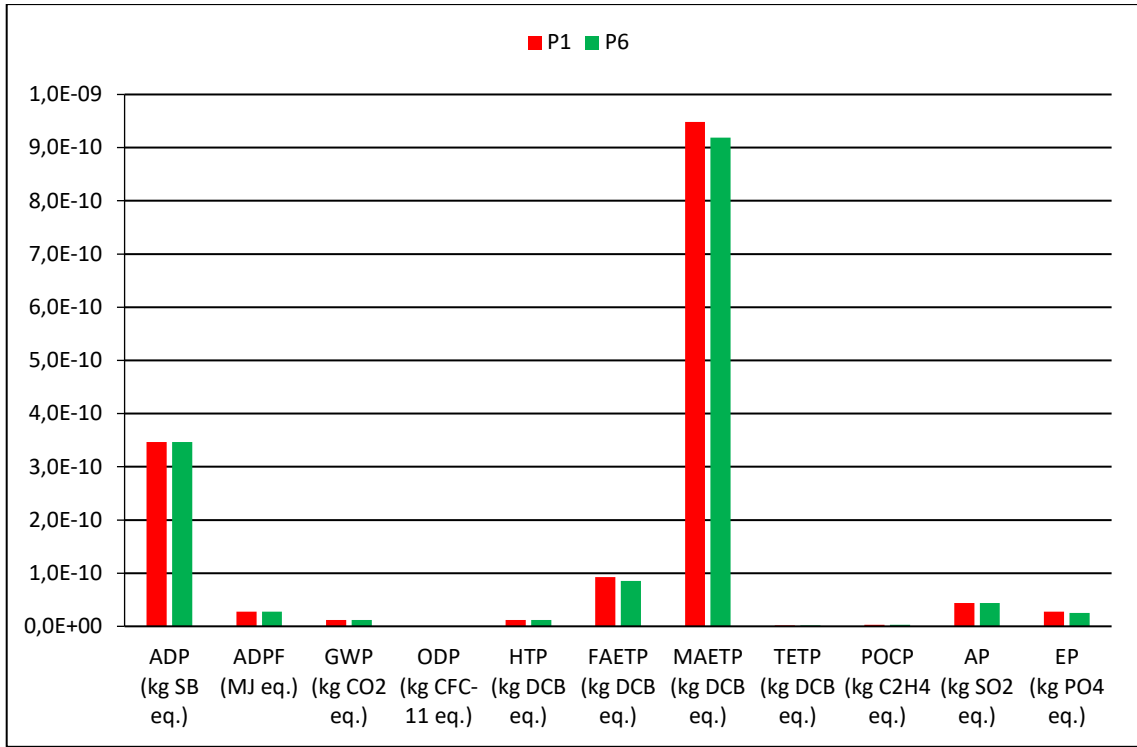


Şekil 4.24. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.

Şekil 4.24'te 50 mm kalınlığındaki bertaraf senaryosu iyileştirme yöntemi ile elde edilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %74,5'i galvaniz sac kullanımından, %24,2'si poliüretan kullanımından, %0,76'sı panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,24'ü üretilen panelin ambalajlanmasından ve %0,1'i panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %40,7 sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %32,4, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,76 ve çeliğin boyanması %0,67 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden ısıocyanete %12,4, polyol %10, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,93, organikler %0,28, atık poliüretan %0,07 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0,11 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit cephe panelinin karakterizasyon sonuçları.



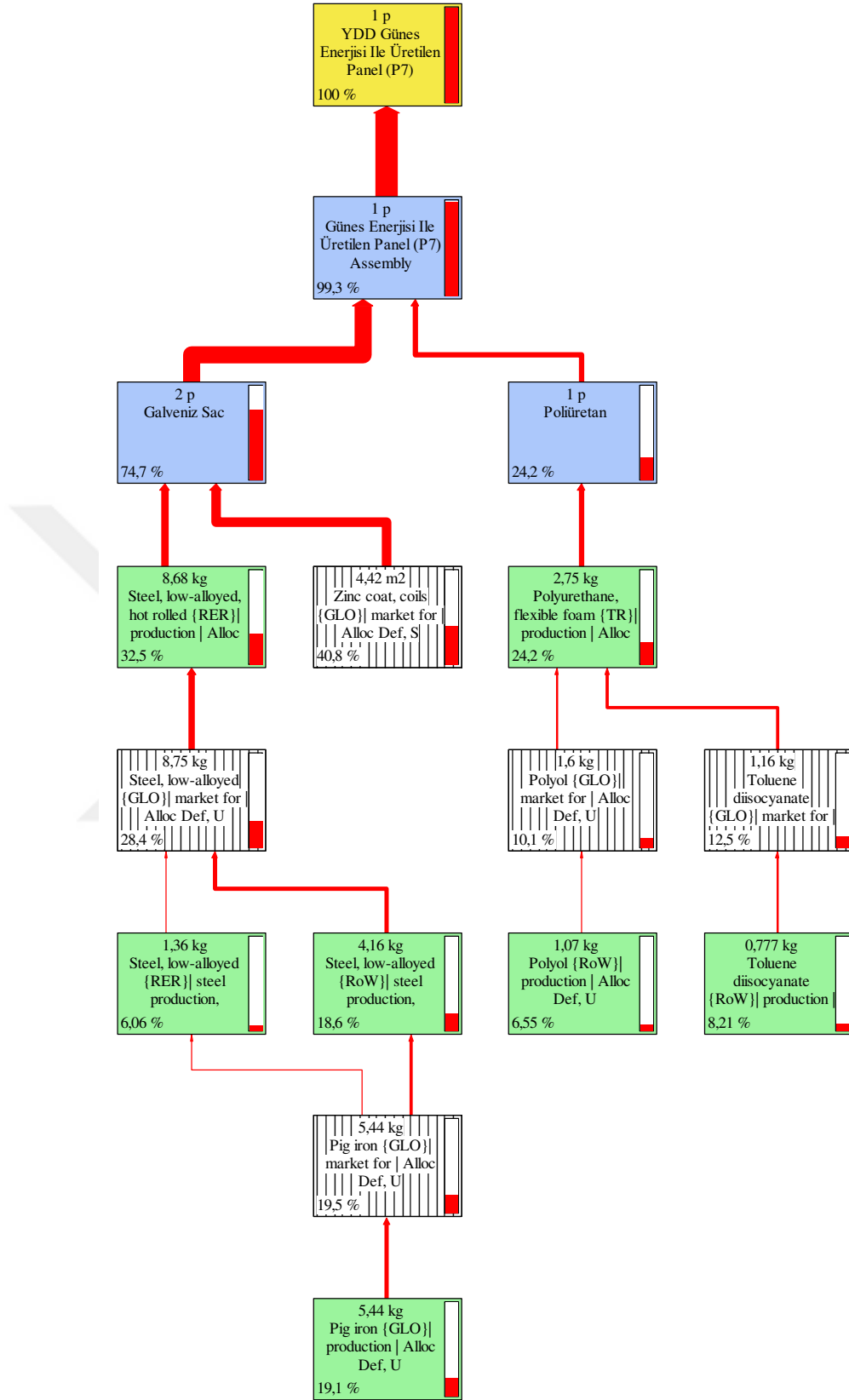
Şekil 4.26. Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit cephe panelinin normalizasyon sonuçları.

Şekil 4.25 incelendiğinde, çevresel performansı bakımından en olumlu etkiler, ötrofikasyon potansiyelinde %7,97, temiz su ekotoksosite potansiyelinde %7,71, deniz ekotoksosite potansiyelinde %3,15 ve toprak ekotoksosite potansiyelinde %2,31 oranında azalma ile gerçekleşmiştir.

Normalizasyon değerlerinin incelendiği Şekil 4.26'ya göre, PDKCP'nin deniz ekotoksosite potansiyeli, kaynak tüketim oluşumu potansiyeli (fosil olmayan) ve temiz su ekotoksosite potansiyeli kategorilerindeki etkilerin önerilen bertaraf senaryoları sonucunda önemli ölçüde olumlu yönde katkı sağladığı görülmektedir.

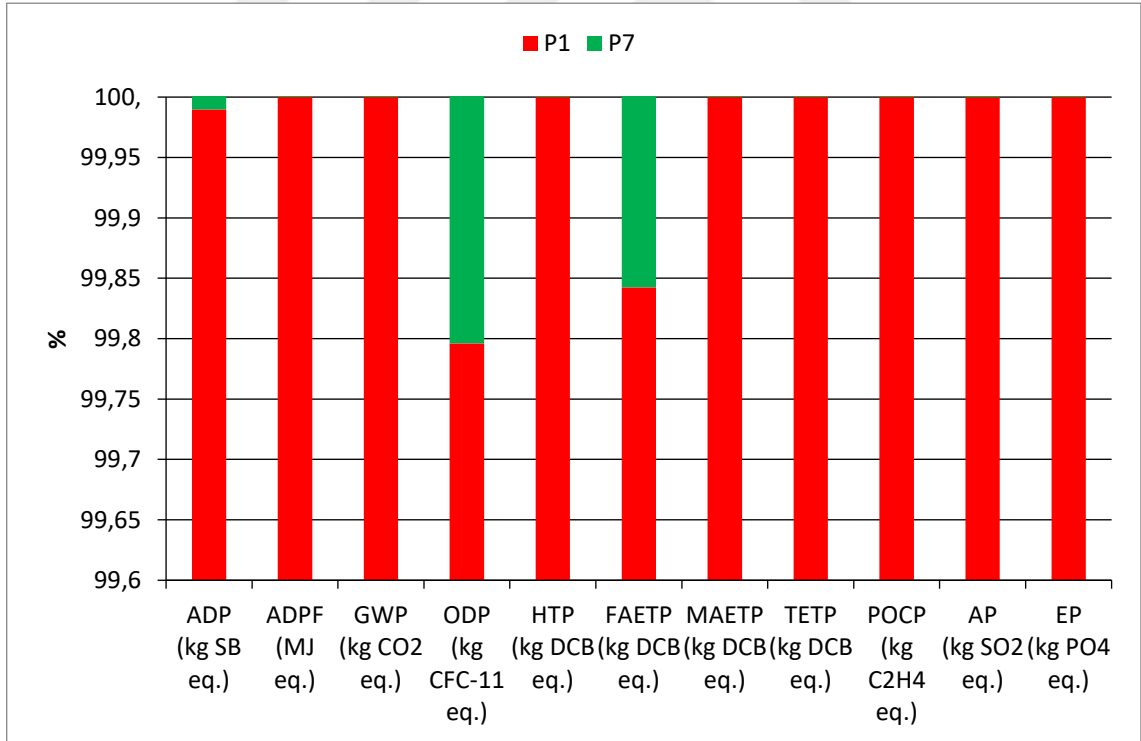
4.7. Enerji Kaynağı Olarak Güneş Panelleri Kullanımının Çevresel Performansı

Bölüm 4.2.4 çerçevesinde sunulan üretim aşamasında alternatif enerji kaynağı olarak güneş panelleri kullanılması yoluyla üretilen kompozit cephe panelin Şekil 4.27'de yaşam döngüsü ağaç diyagramları verilmiştir. Değerlendirme sonucunda kompozit panellerin karakterizasyon grafiği Şekil 4.28'de elde edilmiş, sonuçları ise Ek 11'de verilmiştir. Etki göstergelerinin farklı etki kategorileri arasında karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.29'da iyileştirme yöntemleri ile elde edilen kompozit panellerin normalizasyon grafiği gösterilmiş ve sonuçları Ek 12'de verilmiştir.

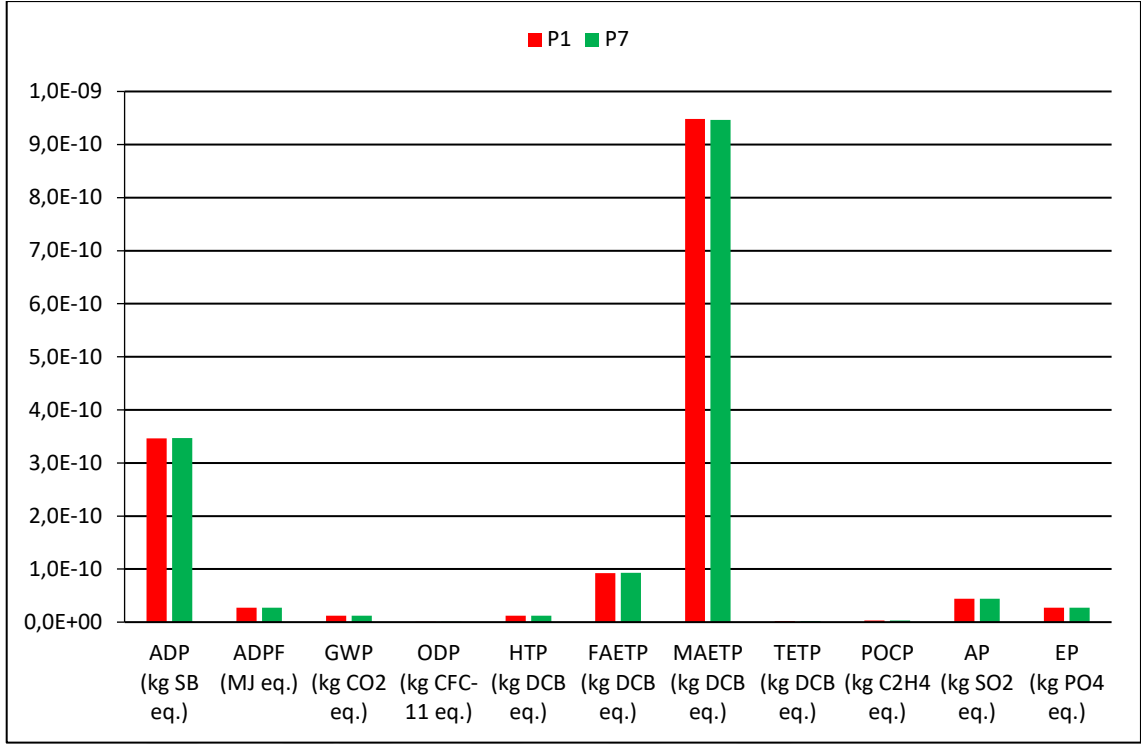


Şekil 4.27. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli yaşam döngüsü ağaç diyagramı.

Şekil 4.27’de 50 mm kalınlığındaki alternatif enerji kaynağı kullanımı yöntemi kapsamında üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak elde edilen poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli üretiminde kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin toplam miktarına ait çevresel yaşam döngüsü, ağaç diyagramında ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre, oluşan etkinin %74.7’si galvaniz sac kullanımından, %24,2’si poliüretan kullanımından, %0,09’u panelin üretimi sırasında kullanılan enerjiden, %0,25’i üretilen panelin ambalajlanmasından ve %0,68’i panelin yaşam sonundaki atık senaryosundan kaynaklandığı görülmektedir. Kompozit cephe panelinin üretiminde en çok çevresel etkiye sahip olan galvaniz sacın üretimi sırasında galvanizleme işlemi %40,8 sıcak haddelenmiş çelik kullanımı %32.5, galvaniz çeliğin üretim tesisine nakliyesi %0,76 ve çeliğin boyanması %0.67 oranında etkilemektedir. Yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanımının detayları incelendiğinde, poliüretanı oluşturan malzemelerden ısıocyanete %12.5, polyol %10.1, poliüretanın oluşumunda harcanan enerji %0,99, organikler %0.28, atık poliüretan %0.08 ve poliüretanın üretim tesisine nakliyesi %0.11 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.28. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen kompozit cephe panelinin karakterizasyon sonuçları.



Şekil 4.29. Üretim sürecinde güneş enerjisinden faydalanarak üretilen kompozit cephe panelinin normalizasyon sonuçları.

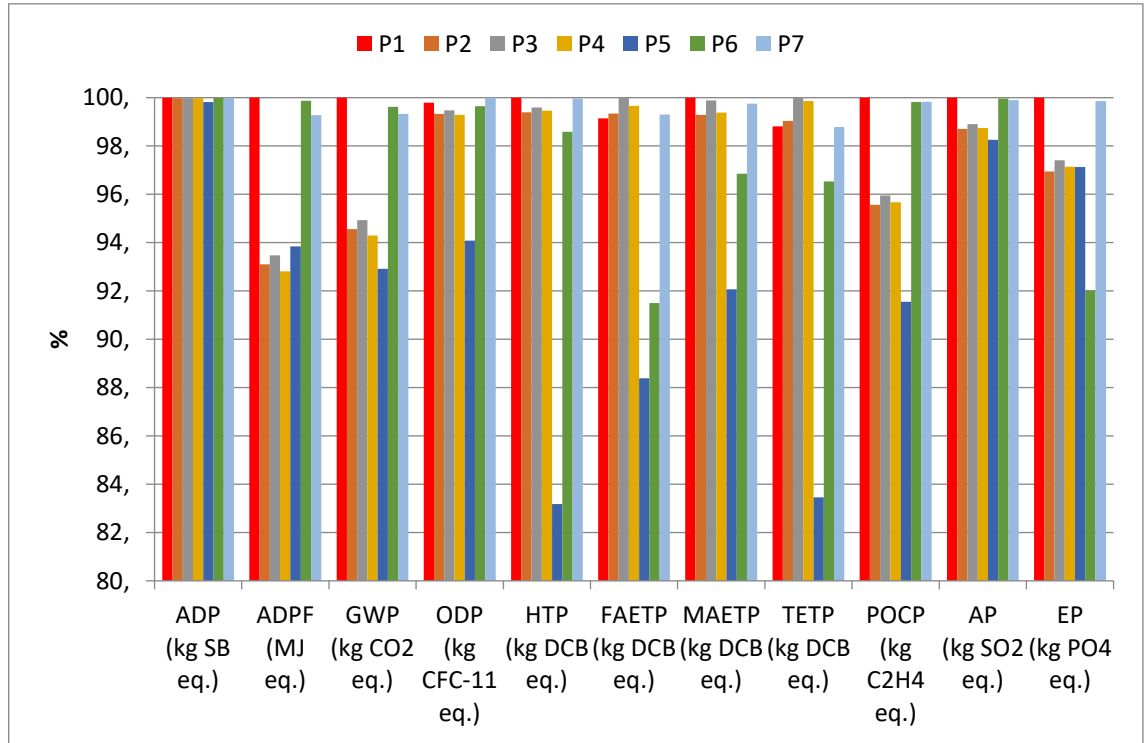
Şekil 4.28 incelendiğinde, çevresel performansı bakımından en olumlu etkiler, kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan) %0,72, küresel ısınma potansiyelinde %0,67, deniz ekotoksisite potansiyelinde %0,25 ve fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyelinde %0,16 oranında azalma ile gerçekleşmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise tüm etki kategorilerinde %1 oranından az etkili olduğu görülmektedir.

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'de gösterilen sonuçlar incelendiğinde, PDKCP üretimi için güneş enerjisinden faydalanmanın GWP, AP, EP, ODP ve diğer etki kategorilerinde önemli derecede olumlu etki sağlamadığı görülmektedir. Bu etki kategorileri içerisinde güneş enerjisinden faydalanmanın özellikle kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan) ve küresel ısınma potansiyelinin azaltılmasına daha fazla katkı sağladığı görülmektedir. Şekil 4.29'den de açıkça anlaşıldığı üzere, PDKCP üretmek için kullanılan enerjiden dolayı 0,475 kg CO₂ eşdeğeri bir etki oluşurken güneş enerjisi kullanılarak bu enerji % 87,15 azaltılmış ve 0,061 kg CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.

4.8. Mevcut Durum İle İyileştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği değerlendirilmekte ve tartışılmaktadır. Çevresel değerlendirme, Bölüm 4.1’de sunulan poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) ve Bölüm 4.2’de sunulan iyileştirme yöntemleri sayesinde oluşturulan panellerin YDD ile belirlenen çevresel etkilerinin sonuçlarına dayanmaktadır. Bölüm 4.1 ve Bölüm 4.2’de sunulan 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli ile çevresel iyileştirme yöntemleri sonucunda oluşturulan paneller için elde edilen YDD sonuçları karşılaştırılmaktadır.

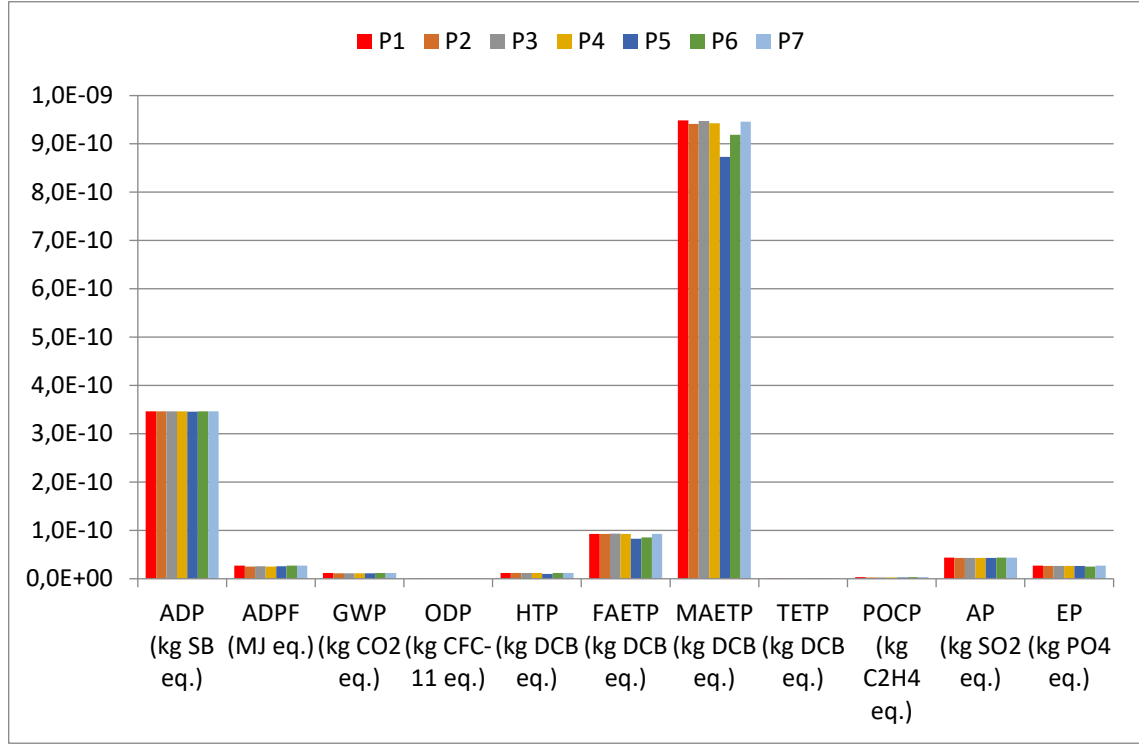
Tüm kompozit paneller aynı sistem sınırlarına, fonksiyonel birime ve kalınlığa sahip olup tüm etki kategorileri karşılaştırılmış, Şekil 4.30’de karakterizasyon grafiği ve Şekil 4.31’de normalizasyon grafiği, Ek 13’te karakterizasyon sonuçları ve Ek 14’te normalizasyon sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.30. PDKCP ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen panellerin karakterizasyon sonuçları.

Şekil 4.30’a göre, ADP kategorisi açısından önerilen iyileştirme yöntemlerinin çevresel etki açısından kısıtlı kaldığı görülmektedir. ADPF ve GW kategorileri açısından incelendiğinde ise bu etkilerin birbirine yakın olduğu fakat alternatif hammadde olarak

geri dönüştürülmüş çelik kullanımının GW açısından daha olumlu sonuçlar gösterdiği anlaşılmaktadır.

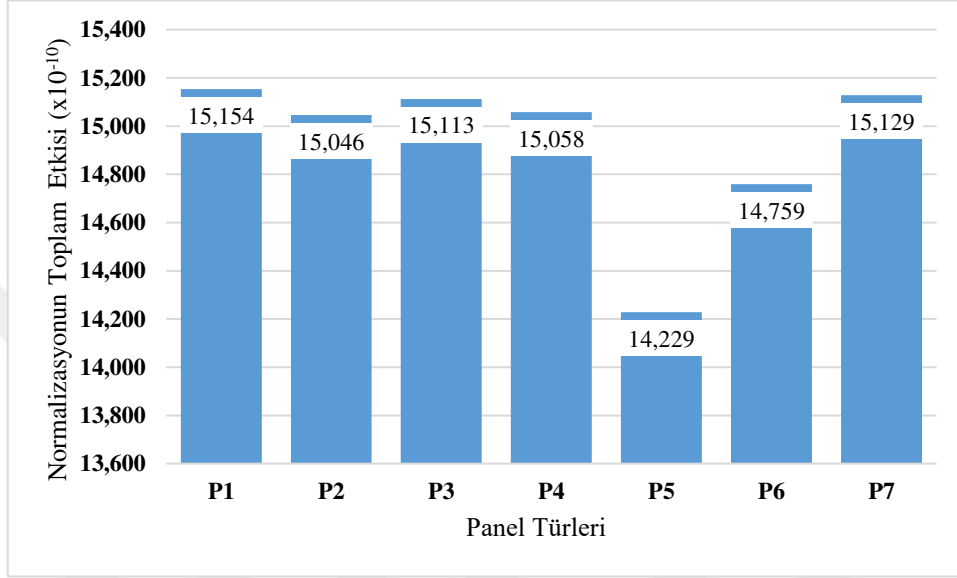


Şekil 4.31. PDKCP ve iyileştirme yöntemleri sonucunda elde edilen panellerin normalizasyon sonuçları.

Şekil 4.31 incelendiğinde, ozon incelme potansiyeli bakımından en büyük etkiye sırasıyla P7, P1, P6, P3, P4, P2 ve P5 sahiptir. İnsan toksisite potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye aynı oran ile P1 ve P7 en düşük etkiye P5'in sahip olduğu, temiz su ekotoksisite potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye P3 en düşük etkiye ise P5'in sahip olduğu, deniz ekotoksisite potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye P1 en düşük etkiye P5'in sahip olduğu, toprak ekotoksisite potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye P3 en düşük etkiye P5'in sahip olduğu, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye P1 en düşük etkiye P5'in sahip olduğu, asidifikasyon potansiyeli bakımından incelendiğinde en büyük etkiye P1 en düşük etkiye P5'in sahip olduğu ve ötrofikasyon potansiyeli bakımından incelendiğinden ise en büyük etkiye P1 en düşük etkiye ise P6'nın sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.31'e göre, tüm panellerin en fazla etkiye MAETP üzerinde sahip olduğu

görülmektedir. MAETP kategorisi açısından önerilen iyileştirme yöntemlerinin çevresel etki açısından incelendiğinde ise alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmüş çelik kullanımının ve bertaraf senaryosu oluşturmanın daha olumlu katkılar sağladığı anlaşılmaktadır. Diğer bir yüksek etkiye sahip olunan ADP kategorisinde tüm panellerin hemen hemen aynı etkiye sahip olduğu, FAETP kategorisinde ise en yüksek etkiye sırasıyla P4, P3, P2, P7, P1, P6 ve P5 olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.32. Mevcut durum ile iyileştirme yöntemlerinin normalizasyon sonuçları kapsamında karşılaştırılması.

Şekil 4.32 ve Ek 14 birlikte değerlendirildiğinde, çalışma kapsamında oluşturulan çerçevenin sıranması için seçilen PDKCP özelinde en iyi çevresel etkiyi azaltan iyileştirme yöntemi sırasıyla; alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmüş çelik kullanımı, bertaraf senaryosu oluşturma, hammadde miktarını azaltmak için tarımsal atık (pirinç kabuğu tozu) ve üretim atığı (taşyünü atığı) kullanımı olarak görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliğini değerlendirmek için bir metodoloji geliştirmiştir. Bölüm 3'te sunulan metodoloji, bir yaşam döngüsü yaklaşımı benimsemekte ve tedarik zincirindeki kilit paydaşları ve onların temel çevresel sürdürülebilirlik göstergelerini tanımlayarak başlamaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri arasında kaynak tükenmesi, atık oluşumu, küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi gibi Türkiye'nin ve Dünyanın üzerinde durduğu çevresel etkiler yer almaktadır. Bu göstergeler, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada, kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliğine yönelik bir çerçeve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği için geliştirilen bu çerçeve; metodolojiyi ve sistemi tanımlamakta, farklı çevresel sürdürülebilirlik sorunlarını ve göstergelerini belirlemekte, çevresel etkileri hesaplamak için kullanılan değerlendirme aracını açıklamakta, seçilen kompozit malzeme özelinde çevresel etkiler belirlenerek bu etkilerin azaltılması için gerekli önerileri sıralamakta ve seçilen kompozit ürün ile çevresel etkisi iyileştirilmiş ürünü çevresel etki bakımından karşılaştırma aşamalarından oluşmaktadır.

Bölüm 3.5'te önerilen iyileştirme yöntemleri uygulanarak vaka çalışması ile sınanan ürün, Doğu Marmara bölgesinde üretilen 50 mm kalınlığındaki poliüretan dolgulu kompozit cephe paneli olarak seçilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda aşağıdaki sonuç ve öneriler sıralanmıştır.

5.1. SONUÇLAR

YDD sonuçları, poliüretan dolgulu kompozit cephe panelinin küresel ısınma potansiyelinin (GWP) 61,4 kg CO₂ eşdeğeri olduğunu göstermektedir. Üretim aşamasının küresel ısınma potansiyeli (GWP) 61 kg CO₂ eşdeğeri, bertaraf aşamasının ise küresel ısınma potansiyeli (GWP) 0,402 kg CO₂ eşdeğeri olduğu belirlenmiştir. Ayrıca diğer etki kategorileri birlikte değerlendirildiğinde, üretim aşamasının tüm etkilere en fazla katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, çevresel etkisi bakımından

PDKCP'nin üretim aşamasının oldukça önemli olduğunu göstermektedir. PDKCP'nin üretim aşamasında çevresel etki açısından en büyük katkı ise galvaniz sac ve poliüretan tarafından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Dört aşamadan oluşan iyileştirme yöntemlerinin ilk aşaması malzeme üretiminde atık kullanımı olarak tercih edilmiştir. Atık kullanımı olarak poliüretanla ağırlıkça yer değiştirecek şekilde %27 oranında pirinç kabuğu, lastik atığı ve taşıyünü atığı kullanılmıştır. Panel üretimine atık ikame edilmesiyle etki kategorileri içerisinde en fazla azalma küresel ısınma potansiyelinde gerçekleşmiştir. Bu kapsamda, oluşan panellerin küresel ısınma potansiyeli (GWP) sırasıyla 51,8 kg CO₂ eşdeğeri, 58,3 kg CO₂ eşdeğeri ve 57,9 kg CO₂ eşdeğeri olduğu tespit edilmiştir. Bu iyileştirme yöntemiyle PDKCP'nin küresel ısınma potansiyeli (GWP) sırasıyla %5.375, % 5,048, %5.700 oranında azaltmıştır.

PDKCP'ne pirinç kabuğu ikame edildiğinde; kaynak tüketimi oluşumu (fosil kaynaklardan), küresel ısınma, fotokimyasal oksidasyon oluşumu ve ötrofikasyon potansiyellerinin sırasıyla %6.9, %5.4, %4,4, %3,1 oranlarında azaltılmasına katkı sağladığı hesaplanmıştır.

PDKCP'ne lastik atığı ikame edildiğinde; kaynak tüketimi oluşumu (fosil kaynaklardan), küresel ısınma, fotokimyasal oksidasyon oluşumu ve ötrofikasyon potansiyellerinin sırasıyla %6.5, %5.07, %4.04, %2.6 oranlarında azaltılmasına katkı sağladığı hesaplanmıştır.

PDKCP'ne taşıyünü atığı ikame edildiğinde; kaynak tüketimi oluşumu (fosil kaynaklardan), küresel ısınma, fotokimyasal oksidasyon oluşumu ve ötrofikasyon potansiyellerinin sırasıyla %7.2, %5.7, %4.3, %2.9 oranlarında azaltılmasına katkı sağladığı hesaplanmıştır.

PDKCP üretiminde poliüretan kullanımından dolayı küresel ısınma potansiyeli (GWP) 14,9 kg CO₂ eşdeğeri salınım olduğu tespit edilmiştir. Bu değer, poliüretan içerisine pirinç kabuğu atığı, lastik tozu ve taşıyünü atığı ikame edildiğinde 10,9 kg CO₂ eşdeğeri olarak azalmıştır. Böylece panel üretiminde poliüretan ile pirinç kabuğu atığı, lastik tozu ve taşıyünü atığı ikame edildiğinde poliüretandan kaynaklı küresel ısınma etkisi %26,84 oranında azalmıştır.

İyileşme yöntemlerinin ikinci aşaması alternatif hammadde kullanımı olarak önerilmiştir. Bu kapsamda, panel üretiminde galvanizli çelik kullanımından dolayı küresel ısınma

potansiyeli (GWP) 46,1 kg CO₂ eşdeğeri salınım olduğu hesaplanmıştır. Kompozit panelin çevresel etkisini iyileştirmek için %25 oranında geri dönüştürülmüş galvaniz çelik kullanıldığında bu etkinin 41,7 kg CO₂ eşdeğeri salınımına düştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla alternatif hammadde olarak geri dönüştürülmüş çelik tercih edilmesinden ötürü oluşturulan panelin küresel ısınma etkisi % 10 oranında azaltılmıştır.

Alternatif hammadde kullanımı kapsamında diğer çevresel etkiler değerlendirildiğinde, insan toksisite potansiyelinde (HTP) % 16,82, toprak ekotoksisite potansiyelinde (TETP) %15,54, temiz su ekotoksisite potansiyelinde (FAETP) %10,86, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyelinde (POCP) % 8,45 ve deniz ekotoksisite potansiyelinde (MAETP) % 7,93 oranında azalma sağlandığı tespit edilmiştir.

Üçüncü aşama olan bertaraf senaryosu oluşturma kapsamında, panelin bertarafından dolayı küresel ısınma potansiyeli (GWP) 0,423 kg CO₂ eşdeğeri salınım ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu tez kapsamında oluşturulan bertaraf senaryoları ile bu etki 0,175 kg CO₂ eşdeğeri salınımı olarak %58,62 oranında azaltılmıştır.

Oluşturulan senaryolar sayesinde, panelin çevresel performansı bakımından en olumlu etkileri, ötrofikasyon potansiyelinde (EP) %7,97, temiz su ekotoksisite potansiyelinde (FAETP) %7,71, deniz ekotoksisite potansiyelinde (MAETP) %3,15 ve toprak ekotoksisite potansiyelinde (TETP) %2,31 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

İyileştirme yöntemlerinin son aşaması olan alternatif enerji kaynağı kullanımı kapsamında, panel üretmek için kullanılan enerjiden dolayı küresel ısınma potansiyeli (GWP) 0,475 kg CO₂ eşdeğeri bir etki oluştururken, güneş enerjisi kullanılarak bu değer % 87,15 azaltılmış ve küresel ısınma potansiyeli (GWP) 0,061 kg CO₂ eşdeğeri olarak tespit edilmiştir.

PDKCP'nin çevresel etkisini azaltmak için önerilen yöntemler arasından malzeme üretiminde atık kullanımı yoluyla iyileştirme yapılması durumunda, çevresel etkiyi iyileştirme açısından, pirinç kabuğu ve taşıyünü atığı kullanımının en büyük katkısı sağlayarak öne çıktığı tespit edilmiştir.

PDKCP'nin çevresel etkisini iyileştirme açısından sınanan tüm yöntemler birlikte değerlendirildiğinde, tüm çevresel etki kategorilerinde en olumlu faydayı sağlayan yöntemin alternatif hammadde kullanımı (%25 oranında geri dönüştürülmüş çelik) olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen çevresel sürdürülebilirlik metodolojisi, kompozit inşaat

malzemelerinin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etkilerinin hesaplanmasını ve çevreye olan olumsuz etkilerin iyileştirme yöntemleri vasıtasıyla azaltılmasını sağlamaktadır. Çerçeve, malzeme üretiminde atık kullanımı, alternatif hammadde kullanımı, bertaraf senaryosu oluşturma ve alternatif enerji kaynaklarından faydalanılması yoluyla kompozit inşaat malzemelerinin mevcut çevresel etkilerinin azaltılmasını sağlamaktadır. Üretimde kullanılacak atıkların seçilmesinde ilk olarak üretim tesisinin bulunduğu yöredeki atıklar sonrasında bölgedeki atıklar değerlendirilmelidir. Alternatif hammadde olarak değerlendirilecek malzemelerin çevresel performanslarına ilişkin ön araştırma yapılmalıdır. Çevreye olumsuz etkileri olan malzemelerin, çevresel özelliklerinin iyileştirilmesi için bertaraf senaryoları titizlikle oluşturulmalıdır.

Geliştirilen çevresel sürdürülebilirlik çerçevesi kapsamında önerilen iyileştirme yöntemlerinin her biri, seçilen kompozit inşaat malzemesinin çevresel performans değerlerini farklı oranlarda iyileştirilmesini sağlayarak, bu yöntemler sayesinde kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirlik performanslarının artırılacağı saptanmıştır. İyileştirme yöntemlerinin geliştirilmesiyle çerçeve güncellenebilir.

Bu tez kapsamında kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliğine yönelik oluşturulan çerçeve, vaka çalışması kapsamında seçilen malzeme özelinde önerilen iyileştirme yöntemleri sayesinde başarı ile sınanarak, kompozit inşaat malzemelerinin tümü için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yukarıda tespit edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kompozit inşaat malzemelerinin sürdürülebilirliği açısından aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

5.2. ÖNERİLER

Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel etkilerinin azaltılması için önerilen metodoloji doğrultusunda atık kullanılarak elde edilecek yeni ürünlerin YDD yöntemi ile çevresel etkisi hesaplandıktan sonra mekanik, fiziksel, kimyasal ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik Ar-Ge çalışmalarının yapılmasının gerektiği önerilmektedir. Böylece atık ikamesi yoluyla üretilen ürünlerin fiziksel performanslarının karşılaştırılması sağlanarak seri üretime geçilmesi için karar mekanizması oluşturulabilecektir.

Kompozit inşaat malzemelerinin üretim aşamasında kullanılan hammaddelerin seçiminde

dikkatli davranılması, bu ürünün üretim evresindeki çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olacaktır. Kompozit inşaat malzemelerinin üretim aşaması, çevresel etkilerin çoğunda büyük rol oynasa da, en büyük iyileştirme olanakları bu kompozit malzemelerin tasarım aşamasındadır. Malzeme üretiminde kullanılacak hammaddenin seçimi, kompozit inşaat malzemelerinin yaşam döngüsünün geri kalan aşamalarını (kullanım ve bertaraf) da etkilediği için oldukça dikkatli davranılması önerilmektedir.

Ömrü tamamlanmadan sökülen kompozit malzemelerin, bertaraf edilmeden önce yeniden kullanılabilmesi için çalışmaların yaygınlaştırılması önerilmektedir. Ayrıca faydalı kullanım ömrü tamamlanan kompozit inşaat malzemelerinin geri dönüştürülmesi ya da bertarafına ilişkin Ar-Ge çalışmalarının teşvik edilmesi önerilmektedir.

Kompozit inşaat malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği çalışmalarında, malzeme seçiminde büyük etkisi olacağı düşünülen ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin göz önünde bulundurulması ve yapılan çalışmaların gelecek projeksiyonlarının bu doğrultuda genişletilmelidir.

Çevre dostu yapıların oluşmasına olanak sağlamak amacıyla, yapı üretiminde çevresel etkisi düşük olan kompozit malzeme seçimine dair kamu tarafından stratejik teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi önemlidir.

Kompozit inşaat malzemelerinin üretimi için kullanılan enerjiden kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılması için sanayi sektörüne yönelik alternatif enerji kaynakları kullanımı yaygınlaştırılmalı ve buna yönelik kamu destekleri artırılmalıdır. Ayrıca alternatif enerji kaynaklarından üretilen enerjinin kompozit malzeme üretiminde kullanılmasına yönelik kamu desteklerinin iyi planlanmış stratejiler ve hedeflerle yaygınlaştırılmalıdır.

Kompozit inşaat malzemeleri için yaşam döngüsü veri tabanı oluşturulmalıdır. Oluşturulan veri tabanında kompozit inşaat malzemelerini oluşturan hammaddelerin türü ve miktarı, hammaddenin nakliyesine ilişkin bilgiler, üretimi için gerekli olan enerji miktarı gibi çevresel etkilerini belirleyecek parametrelere ilişkin verilere yer verilmelidir. Kompozit malzeme tüketicilerinin, ürünün çevresel etkilerini daha iyi anlamalarına ve sürdürülebilir malzemeleri tercih etmelerine yardımcı olmak amacıyla kompozit inşaat malzemelerine yönelik yapılan YDD çalışmaları artırılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] S. M. Sapuan, "Composite Materials," *Composite Materials*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017, ch. 3, pp. 57–93.
- [2] N. Mohan, P. Senthil, S. Vinodh, ve N. Jayanth, "A review on composite materials and process parameters optimisation for the fused deposition modelling process," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, no. 1, pp. 47–59, 2017.
- [3] M. K. S. Sai, "Review of Composite Materials and Applications," *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 129–135, 2016.
- [4] J. E. Gordon, *The New Science of Strong Materials, or, Why You Don't Fall Through the Floor*, New Jersey, United States of America: Princeton University Press; Revised edition, 2006, pp. 328.
- [5] A. Kelly and S. T. Mileko, "Fabrication of composites," *Handbook of composites*, Amsterdam : North-Holland, Netherlands: Elsevier Science Pub. Co., 1983, ch. 4, pp. 574.
- [6] S. Nam, D. Lee, J. Kim, and D. G. Lee, "Development of the light weight carbon composite tie bar," *Composite Structures*, vol. 134, pp. 124–131, 2015.
- [7] Y. Wang, J. Meng, Q. Zhao, and S. Qi, "Accelerated Ageing Tests for Evaluations of a Durability Performance of Glass-fiber Reinforcement Polyester Composites," *Journal of Materials Science and Technology*, vol. 26, no. 6, pp. 572–576, 2010.
- [8] J. Murphy, *The reinforced plastics handbook*, Elsevier Science, 1994.
- [9] M. Gomina, "Flax and hemp composite applications," *Flax and Hemp Fibres: A Natural Solution for the Composite Industry*, pp. 141–162, 2012.
- [10] S. Mazumdar, *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*, CRC Press, 2001, pp. 416.
- [11] R. N. Kamaliev ve R. V. Charkviani, "Creation of Ultra-light Spacecraft Constructions Made of Composite Materials," *Procedia Engineering*, vol. 185, pp. 190–197, 2017.
- [12] C. L. Wu, S. Zhang, C. H. Zhang, J. B. Zhang, ve Y. Liu, "Formation mechanism and phase evolution of in situ synthesizing TiC-reinforced 316L stainless steel matrix composites by laser melting deposition," *Materials Letters*, vol. 217, pp. 304–307, 2018.
- [13] C. Coelho Martuscelli, J. Cesar dos Santos, P. Resende Oliveira, T. Hallak Panzera, M. T. Paulino Aguilar, ve C. Thomas Garcia, "Polymer-cementitious composites containing recycled rubber particles," *Construction and Building Materials*, vol. 170, pp. 446–454, 2018.
- [14] B. A. Ronald, L. Vijayaraghavan, and R. Krishnamurthy, "Grinding of Metal Matrix Composites," *Machining of Metal Matrix Composites*, London: Springer, 2012, pp. 99–118.

- [15] R. Verrelli and J. Hassoun, "High capacity tin–iron oxide-carbon nanostructured anode for advanced lithium ion battery," *Journal of Power Sources*, vol. 299, pp. 611–616, 2015.
- [16] O. I. Sekunowo, S. I. Durowaye, and G. I. Lawal, "Synthesis and characterisation of iron millscale particles reinforced ceramic matrix composite," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 2017.
- [17] K. K. Chawla, "Ceramic Matrix Materials," *Ceramic matrix composites*, 2.th ed., New York, Springer US, United States of America: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 11-46.
- [18] G. Wang, D. Yu, A. D. Kelkar, and L. Zhang, "Electrospun nanofiber: Emerging reinforcing filler in polymer matrix composite materials," *Progress in Polymer Science*, vol. 75. pp. 73–107, 2017.
- [19] M. B. Rauls ve G. Ravichandran, "Shock wave structure in particulate composites," *Procedia Engineering*, vol. 103, pp. 515–521, 2015.
- [20] H. C. Tseng, R. Y. Chang, and C. H. Hsu, "The use of shear-rate-dependent parameters to improve fiber orientation predictions for injection molded fiber composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 104, pp. 81–88, 2018.
- [21] Y. Zhao, X. Ma, H. Chen, X. Zhao, ve X. Liu, "Preferred orientation and interfacial structure in extruded nano-Al₃BC/6061 Al," *Materials and Design*, vol. 131, pp. 23–31, 2017.
- [22] T. S. Mesogitis, A. A. Skordos, ve A. C. Long, "Uncertainty in the manufacturing of fibrous thermosetting composites: A review," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 57. pp. 67–75, 2014.
- [23] R. Nasrin vd., "Preparation of Chitin-PLA laminated composite for implantable application," *Bioactive Materials*, vol. 2, no. 4, pp. 199-207 2017.
- [24] M. P. Groover, "Composite Materials," *Fundamentals of modern manufacturing: materials processes, and systems*, 4 th ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2010, ch. 9, pp. 187-205.
- [25] M. Porter, *The Competitive Advantage of Nations*, Boston, ABD: Harvard Business Review, 1990, vol. 68, pp. 73–93.
- [26] A. Jacob, "The composites industry in Turkey," *Reinforced Plastics*, vol. 53, no. 6, pp. 34–38, 2009.
- [27] İ. H. Hacıoğlu. (2018, May 10). *Overview of the Turkish composite industry and trends* [Online]. Available: http://www.jecomposites.com/sites/default/files/jec_europe_2013_turkey_country_guest_of_honour.pdf.
- [28] Kompozit Sanayicileri Derneği. (2018, 21 Temmuz). *Türkiye Kompozit İhracatı*. Erişim: <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2018/07/Composites-Sayı-19.pdf>.
- [29] D. D. L. Chung, "Processing-structure-property relationships of continuous carbon fiber polymer-matrix composites," *Materials Science and Engineering R: Reports*, vol. 113, pp. 1-29, 2017.
- [30] Kompozit Sanayicileri Derneği. (2017, 10 Nisan). *Türk Kompozit Sektörü 2015*

Yılı Değerlendirmesi ve 2016 Yılı Beklentileri. Erişim: <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-15.pdf>.

- [31] J. Moakley, M. Weller, and M. Zelic, “An evaluation of shredder waste treatments in Denmark,” Worcester Polytechnic Institute, United States of America, 2010.
- [32] E. Koç ve M. C. Şenel, “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, c. 54, s. 639, ss. 32–44, 2013.
- [33] A. Aramcharoen and P. T. Mativenga, “Critical factors in energy demand modelling for CNC milling and impact of toolpath strategy,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 78, pp. 63-74, 2014.
- [34] S. Kalakul, P. Malakul, K. Siemanond, and R. Gani, “Integration of life cycle assessment software with tools for economic and sustainability analyses and process simulation for sustainable process design,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 71, pp. 98-109, 2014.
- [35] A. Cannata, S. Karnouskos, and M. Taisch, “Energy efficiency driven process analysis and optimization in discrete manufacturing,” *Industrial Electronics Conference (IECON)*, 2009, pp. 4449-4454.
- [36] G. H. Brundtland, “Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development,” United Nations, Oslo, Norway, Rep.1987.
- [37] I. Mastoris, “Towards a framework of products life cycle sustainability assessment (LCSA),” *The ESPRC Centre for Innovative Manufacturing in Industrial Sustainability Institute for Manufacturing*, 2011, University of Cambridge.
- [38] A. Zamagni, H.-L. Pesonen, and T. Swarr, “From LCA to Life Cycle Sustainability Assessment: concept, practice and future directions,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, no. 9, pp. 1637-1641, 2013.
- [39] A. Evans, V. Strezov, and T. J. Evans, “Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 5, pp. 1082-1088, 2009.
- [40] C. Du Plessis, “Agenda 21 for sustainable construction in developing countries,” CSIR Building and Construction Technology, South Africa, Rep. Bou/E0204, 2002.
- [41] M. Zimmermann, H. J. Althaus, and A. Haas, “Benchmarks for sustainable construction: A contribution to develop a standard,” *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 11, pp. 1147-1157, 2005.
- [42] L. Melchert, “The Dutch sustainable building policy: A model for developing countries?,” *Building and Environment*, vol. 42, no. 2, pp. 893-901, 2007.
- [43] O. Ortiz, F. Castells, and G. Sonnemann, “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA”, *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 1, pp. 28-39, 2009.
- [44] European Commission. (2018, May 15). *2020 climate & energy package*. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en.
- [45] N. K. Arora, “Environmental Sustainability—necessary for survival,” *Springer*, vol. 1, no. 1, pp. 1-2, 2018.

- [46] M. P. Brundage *et al.*, “Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 187, pp. 877–892, 2018.
- [47] M. Finkbeiner, A. Inaba, R. B. H. Tan, K. Christiansen, and H.-J. Klüppel, “The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, no. 2, pp. 80–85, 2006.
- [48] R. Rauter, D. Globocnik, E. Perl-Vorbach, and R. J. Baumgartner, “Open innovation and its effects on economic and sustainability innovation performance,” *Journal of Innovation & Knowledge*, In Press, 2018.
- [49] D. Pearce, “Foundations of an ecological economics,” *Ecological Modelling*, vol. 38, no. 1–2, pp. 9–18, 1987.
- [50] C. J. Luan, C. Tien, and P. H. Wu, “Strategizing Environmental Policy and Compliance for Firm Economic Sustainability: Evidence from Taiwanese Electronics Firms,” *Business Strategy and the Environment*, vol. 22, no. 8, pp. 517–546, 2013.
- [51] R. M. Cuéllar-Franca and A. Azapagic, “Life cycle cost analysis of the UK housing stock,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 19, no. 1, pp. 174–193 2014.
- [52] I. Kovacic, L. Waltenberger, and G. Gourelis, “Tool for life cycle analysis of facade-systems for industrial buildings,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 130, pp. 260–272, 2016.
- [53] R. Flanagan and C. Jewell, “A Practical Approach to Whole Life Appraisal for Construction,” *Whole Life Appraisal for Construction*, John Wiley & Sons, New Jersey, United States of America: Blackwell Publishing Ltd, 2008, ch. 8, pp. 129–148.
- [54] H. Babaizadeh, N. Haghighi, S. Asadi, R. Broun, and D. Riley, “Life cycle assessment of exterior window shadings in residential buildings in different climate zones,” *Building and Environment*, vol. 90, pp. 168–177, 2015.
- [55] J.-L. Kim, M. Greene, and S. Kim, “Economic Impact Of New Green Building Code On Residential Project Development From Energy Consumption Perspectives,” *Journal of Green Building*, vol. 9, no. 4, pp. 105–123, 2014.
- [56] V. W. Y. Tam, S. Senaratne, K. N. Le, L.-Y. Shen, J. Perica, and I. M. C. S. Illankoon, “Life-cycle cost analysis of green-building implementation using timber applications,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 147, pp. 458–469, 2017.
- [57] N. Dempsey, G. Bramley, S. Power, and C. Brown, “The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability,” *Sustainable Development*, vol. 19, no. 5, pp. 289–300, 2011.
- [58] M. Pareja-Eastaway, “Social sustainability,” *International Encyclopedia of Housing and Home*, 2012, pp. 502–505.
- [59] J. Pocock, C. Steckler, and B. Hanzalova, “Improving Socially Sustainable Design and Construction in Developing Countries,” *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 288–295, 2016.
- [60] A. Haque and S. Jeelani, “Environmental Effects on the Compressive Properties:

- Thermosetting vs. Thermoplastic Composites,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 11, no. 2, pp. 146–157, 1992.
- [61] C. M. Stokes-Griffin and P. Compston, “Optical characterisation and modelling for oblique near-infrared laser heating of carbon fibre reinforced thermoplastic composites,” *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 72, pp. 1–11, 2015.
- [62] J. C. Halpin, “Effects of Environmental Factors on Composite Materials,” Tech. Rep. Afml-Tr-67-423, 1969.
- [63] C. Rattanashotinunt, W. Tangchirapat, C. Jaturapitakkul, T. Cheewaket, and P. Chindaprasirt, “Investigation on the strength, chloride migration, and water permeability of eco-friendly concretes from industrial by-product materials,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 1691–1698, 2018.
- [64] C. A. İpekçi, N. Coşgun, ve T. T. Karadayı, “İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi,” *TÜBAV Bilim Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 43–50, 2017.
- [65] B. Guy, S. Shell and H. Esherick, “Design for deconstruction and materials reuse,” *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, vol. 164, no. 4, pp. 195–204, 2011.
- [66] N. Kılıç. (2017, 03 Mart). *Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı*. Erişim: <http://www.izto.org.tr/portals/0/argebulten/6kentseldonusumatagi.pdf>.
- [67] P. Hou, Y. Xu, M. Taiebat, C. Lastoskie, S. A. Miller, and M. Xu, “Life cycle assessment of end-of-life treatments for plastic film waste,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 201, pp. 1052–1060, 2018.
- [68] Y. Florentin, D. Pearlmutter, B. Givoni, and E. Gal, “A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials,” *Energy and Buildings*, vol. 156, pp. 293–305, 2017.
- [69] Y. Bicer ve I. Dincer, “Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 132, pp. 141–157, 2018.
- [70] L. J. Rodríguez, C. E. Orrego, I. Ribeiro, ve P. Peças, “Life-Cycle Assessment and Life-Cycle Cost study of Banana (*Musa sapientum*) fiber Biocomposite materials,” *Procedia CIRP*, vol. 69, pp. 585–590, 2018.
- [71] P. F. Sommerhuber, J. L. Wenker, S. Rüter, and A. Krause, “Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying an environmental sound end-of-life option,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 117, pp. 235–248, 2017.
- [72] C. A. Bernardo, C. L. Simões, ve L. M. Costa Pinto, “Environmental and economic life cycle assessment of polymers and polymer matrix composites: a review”, *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, vol. 28, no. 1, pp. 55–59, 2016.
- [73] EPD Turkey. (2018, 06 Nisan). *Epd Çevresel Ürün Beyanları*. Erişim: <https://epdturkey.org/>.
- [74] Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., Jayen, K., Le Goff, H., Nelson, E.A., “Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest,” *Canadian Forest Service Publications*, vol. 22, no. 3, pp. 256–285, 2014.

- [75] K. Ragaert, L. Delva, and K. Van Geem, "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste," *Waste Management*, vol. 69, pp. 24–58, 2017.
- [76] N. Singh, D. Hui, R. Singh, I. P. S. Ahuja, L. Feo, and F. Fraternali, "Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications," *Composites Part B: Engineering*, vol. 115, pp. 409–422, 2017.
- [77] A. F. Whitaker, M. M. Finckenor, H. W. Dursch, R. C. Tennyson, and P. R. Young, "Environmental effects on composites," *Handbook of Composites*, Boston, United States of America: Springer, 1998, pp. 810–821.
- [78] C. Cerdan, C. Gazulla, M. Raugei, E. Martinez, and P. Fullana-i-Palmer, "Proposal for new quantitative eco-design indicators: a first case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, no. 18, pp. 1638–1643, 2009.
- [79] R. Hill, *Product Innovation The Green Advantage: An Introduction to Design for Environment for Australian Business*, Australia: Commonwealth of Australia, 2001.
- [80] C. Cerdan, C. Gazulla, M. Raugei, E. Martinez, and P. Fullana-i-Palmer, "Proposal for new quantitative eco-design indicators: a first case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, no. 18, pp. 1638–1643, 2009.
- [81] H. Brezet and C. v. Hemel, *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*, 1st ed., Paris, Italy: United Nations Environment Programme, 1997.
- [82] S. Le Pochat, G. Bertoluci, ve D. Froelich, "Integrating ecodesign by conducting changes in SMEs," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 7, pp. 671–680, 2007.
- [83] F. Vallet, B. Eynard, D. Millet, S. G. Mahut, B. Tyl, and G. Bertoluci, "Using eco-design tools: An overview of experts' practices," *Design Studies*, vol. 34, no. 3, pp. 345–377, 2013.
- [84] N. R. Khalili, S. Duecker, W. Ashton, and F. Chavez, "From cleaner production to sustainable development: The role of academia," *Journal of Cleaner Production*, vol. 96, pp. 30–43, 2015.
- [85] G. Kjaerheim, "Cleaner production and sustainability", *Journal of Cleaner Production*. vol. 13, no. 4, pp. 329–339, 2005.
- [86] S. Hart, "A natural resource based view of the firm," *The Academy of Management Review*, vol. 20, no. 4, pp. 986–1014, 1995.
- [87] N. Tucker, "Clean production," *Green Composites Polymer Composites and the Environment*, 2nd ed., Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing Limited, 2004, ch. 10, pp. 207-232.
- [88] R. A. Frosch and N. E. Gallopoulos, "Strategies for Manufacturing," *Strategies for Manufacturing*, vol. 261, pp. 144-152, 1989.
- [89] S. Jia, H. Zhuang, H. Han, and F. Wang, "Application of industrial ecology in water utilization of coal chemical industry: A case study in Erdos, China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, pp. 20–29, 2016.
- [90] M. Boix, L. Montastruc, C. Azzaro-Pantel, and S. Domenech, "Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 87, pp. 303–317, 2015.

- [91] T.P. Seager and T.L. Theis, "A uniform definition and quantitative basis for industrial ecology," *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, no. 3, pp. 225–235, 2002.
- [92] A. Garner and G. A. Keoleian. (2017, May 10). *Industrial ecology: an introduction*, [Online]. Available: <http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/INDEpdfs/INDEintro.pdf>.
- [93] F. Ulutaş, *Endüstriyel Ekoloji*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Bölgesel Çevre Merkezi-REC, 2011.
- [94] G. Özsoy ve D. Toprak, *Düşük Karbon Teknolojileri*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Bölgesel Çevre Merkezi- REC, Türkiye, 2011.
- [95] A. Mustafa Omer, "Focus on low carbon technologies: The positive solution," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 9, pp. 2331–2357, 2008.
- [96] V. Albino and U. Berardi, "Green buildings and organizational changes in Italian case studies," *Business Strategy and the Environment*, vol. 21, no. 6, pp. 387-400, 2012.
- [97] J. R. Snape, P. J. Boait, and R. M. Rylatt, "Will domestic consumers take up the renewable heat incentive? An analysis of the barriers to heat pump adoption using agent-based modelling," *Energy Policy*, vol. 85, pp. 32-38, 2015.
- [98] R. Chang, J. Zuo, V. Soebarto, Z. Zhao, G. Zillante, and X. Gan, "Sustainability Transition of the Chinese Construction Industry: Practices and Behaviors of the Leading Construction Firms," *Journal of Management in Engineering*, vol. 32, no. 4, 2016.
- [99] X. Lai, J. Liu, Q. Shi, G. Georgiev, and G. Wu, "Driving forces for low carbon technology innovation in the building industry: A critical review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 299-315, 2017.
- [100] K. S. Wiebe, "Identifying emission hotspots for low carbon technology transfers," *Journal of Cleaner Production*, vol. 194, pp. 243-252, 2018.
- [101] *Çevre yönetimi-Hayat boyu değerlendirme-İlkeler ve çerçeve*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 14040, 2006.
- [102] J. A. Fava, "Will the next 10 years be as productive in advancing life cycle approaches as the last 15 years?," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, no. 1, pp. 6-8, 2006.
- [103] V. M. Taborianski and R. T. A. Prado, "Comparative evaluation of the contribution of residential water heating systems to the variation of greenhouse gases stock in the atmosphere," *Building and Environment*, vol. 39, no. 6, pp. 645-652, 2004.
- [104] M. A. Curran, "Life Cycle Assessment: A review of the methodology and its application to sustainability," *Current Opinion in Chemical Engineering*, vol. 2, no 3. pp. 273–277, 2013.
- [105] G. Rebitzer *et. al.*, "Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications," *Environment International*, vol. 30, no. 5, pp. 701–720, 2004.
- [106] P. Van Den Heede and N. De Belie, "Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and 'green' concretes: Literature review and theoretical calculations," *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, no. 4, pp. 431-

442, 2012.

- [107] Scientific Applications International Corporation (SAIC), "Life cycle assessment: principles and practice", USEPA, Washington, DC, Tech. Rapor, 2006.
- [108] J. B. Guinée, "Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards", *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 6, no. 5, pp. 255-255, 2002.
- [109] Z. Nie, "Eco-Materials and Life-Cycle Assessment," *Green and Sustainable Manufacturing of Advanced Material*, pp. 31–76, 2016.
- [110] G. Huppes, M. A. Curran, "Environmental Life Cycle Assessment: Background and Perspective" *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*, 1rd ed., New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2012, pp. 1–14.
- [111] *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, ISO 14040, 2006.
- [112] S. Islam, S. G. Ponnambalam and H. L. Lam, "Review on life cycle inventory: methods, examples and applications", *Journal of Cleaner Production*, vol. 136, pp. 266–278, 2016.
- [113] A. B. Gültekin ve G. Çelebi, "Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, s. 1, 2016.
- [114] A. Petek Gursel, E. Masanet, A. Horvath, and A. Stadel, "Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review," *Cement and Concrete Composites*, vol. 51, pp. 38–48, 2014.
- [115] M. Z. Hauschild and M. A. J. Huijbregts, "Introducing Life Cycle Impact Assessment," *Life Cycle Impact Assessment*, Huijbregts, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, ss. 1–16.
- [116] T. L. Oztas Karaman S., "Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Geliştirilen Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirme Modelinin Sınanması," *The 2nd International International Sustainable Building Symposium*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 866–874.
- [117] A. Ciroth, "Software for Life Cycle Assessment", *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*, New Jersey, USA: Jhon Wiley & Sons, 2012, ch. 6, pp. 143-158.
- [118] O. Jolliet et al., "IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 8, no. 6, pp. 324–330, 2003.
- [119] J. B. Guinee et al., Ed., "Operational Annex," *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2002, pp. 121–393.
- [120] G. K. C. Ding, "Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: An overview," *Eco-efficient Construction and Building Materials*, 2013, pp. 38-62.
- [121] T. Malmqvist, "Environmental rating methods: Selecting indoor environmental quality (IEQ) aspects and indicators," *Building Research & Information*, vol. 36, no. 5, pp. 466-485, 2008.

- [122] A. Azapagic and S. Perdan, "Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 78, no. 4, pp. 243-261, 2000.
- [123] A. Kylili ve P. A. Fokaides, "Policy trends for the sustainability assessment of construction materials: A review," *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp. 280-288, 2017.
- [124] G. Bradley Guy ve C. J. Kibert, "Developing indicators of sustainability: US experience," *Building Research & Information*, vol. 26, no. 1, ss. 39–45, 1998.
- [125] R. M. C. Franca, "Sustainability Assessment Framework for the Residential Construction Sector in the UK," School of Chemical Engineering and Analytical Science, University of Manchester, United Kingdom, 2012.
- [126] M. Sandanayake, G. Zhang, S. Setunge, W. Luo, ve C. Q. Li, "Estimation and comparison of environmental emissions and impacts at foundation and structure construction stages of a building – A case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 319-329, 2017.
- [127] G. K. C. Ding, "Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview," *Eco-efficient Construction and Building Materials*, Sawston, United Kingdom, 2014, pp. 38-62.
- [128] F. Pacheco-Torgal, "Introduction to the environmental impact of construction and building materials," *Eco-efficient Construction and Building Materials*, *Life Cycle Assessment (LCA)*, *Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing, 2014, pp. 1-10.
- [129] N. Pargana, M. D. Pinheiro, J. D. Silvestre, and J. de Brito, "Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 466-481, 2014.
- [130] Tuna-Kayılı, M. ve Çelebi, G., "Yapı Ürünlerinin Kurum ve Sistemlere Göre Çevresel Etki Göstergelerinin ve Önem Ağırlıklarının İncelenmesi," 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Türkiye, 2015.
- [131] L. O. Williams, "Alternative energy sources," *An End to Global Warming*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier Ltd., 2002, ch. 2, pp. 33-56.
- [132] C. B. Aktas and M. M. Bilec, "Impact of lifetime on US residential building LCA results," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 17, no. 3, pp. 337–349, 2012.
- [133] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "2016 Yılı Faaliyet Raporu," Türkiye, 2016.
- [134] I. Yuksel, "Water management for sustainable and clean energy in Turkey," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 129-133, 2015.
- [135] J. Solís-Guzmán, M. Marrero, M. V. Montes-Delgado and A. Ramírez-de-Arellano, "A Spanish model for quantification and management of construction waste," *Waste Management*, vol. 29., no. 9, pp. 2542-2548, 2009.
- [136] R. A. Begum, C. Siwar, J. J. Pereira, ve A. H. Jaafar, "A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: The case of Malaysia," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 48, no. 1, pp. 86-98, 2006.
- [137] T. Esin and N. Cosgun, "A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey," *Building and Environment*, vol. 42, no. 4, pp. 1667-1674,

2007.

- [138] G. Polat, A. Damci, H. Turkoglu, and A. P. Gurgun, "Identification of Root Causes of Construction and Demolition (C&D) Waste: The Case of Turkey," *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 948–955, 2017.
- [139] M. Sandanayake, G. Zhang, and S. Setunge, "A comparative method of air emission impact assessment for building construction activities," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 68, pp. 1–9, 2018.
- [140] Türkiye İstatistik Kurumu. (2017, 26 Ağustos), *Seragazi Emisyon İstatistikleri*, Erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27675>
- [141] S. Lemmet, *Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers*, Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2009, pp. 8-16.
- [142] H. Baumann and A.-M. Tillmann, *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*, Lund , Sweden, 2004, pp. 1–41.
- [143] G. T. Frumin and I. M. Gildeeva, "Eutrophication of water bodies — A global environmental problem," *Russian Journal of General Chemistry* , vol. 84, no. 13, pp. 2483–2488, 2014.
- [144] Ü. Sancar ve N. Çağatay, "Son 20 000 yılda Karadeniz ve Marmara Denizi ' nde oluşan paleo-çevresel değişimler," *İTÜ Dergisi.*, c. 4, s. 212, ss. 141–152, 2011.
- [145] S. K. Öztaş, "Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi," Doktora tezi, Mimarlık bölümü İstanbul Teknik üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [146] S. Rimos, A. F. A. Hoadley, ve D. J. Brennan, "Environmental consequence analysis for resource depletion," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 92, no. 6, pp. 849–861, 2014.
- [147] Türkiye Petrolleri, "Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu," Türkiye Petrolleri, Türkiye, 2015.
- [148] A. İşler, "Aspir Yağı Etil Esteri Ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi," Doktora tezi, Kimya Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [149] Z. Çoyakgil, "Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi," Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2005.
- [150] Ernst & Young Türkiye. (10 Eylül 2017). "Dünyada ve Türkiye ' de Madencilik Sektörü," Ernst & Young, Erişim: http://www.fenimining.com/upload/dosyalar/m_rapor_1347711063.pdf.
- [151] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, "Türkiye Madencilik Sektör Raporu (2007)," Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye, 2008.
- [152] T. Esin, "A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process (in Turkey)," *Building and Environment*, vol. 42, no. 11, pp. 3860–3871, 2007.
- [153] J. Martínez Urreaga, C. González-Sánchez, A. Martínez-Aguirre, C. Fonseca-Valero, J. Acosta, and M. U. de la Orden, "Sustainable eco-composites obtained from agricultural and urban waste plastic blends and residual cellulose fibers,"

- Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 377–384, 2015.
- [154] A. Domínguez, M. I. Domínguez, S. Ivanova, M. A. Centeno, and J. A. Odriozola, “Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials,” *Ceramics International*, vol. 42, no. 14, pp. 15217–15223, 2016.
 - [155] R. Sharma ve P. P. Bansal, “Use of different forms of waste plastic in concrete – a review,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, no. 1, pp. 473–482, 2016.
 - [156] J. S. Lim, Z. Abdul Manan, S. R. Wan Alwi, ve H. Hashim, “A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 3084–3094, 2012.
 - [157] S. Židonienė ve J. Kruopienė, “Life Cycle Assessment in environmental impact assessments of industrial projects: towards the improvement,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 106, pp. 533–540, 2015.
 - [158] F. Berkhout ve R. Howes, “The adoption of life-cycle approaches by industry: patterns and impacts,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 20, no. 2, pp. 71–94, 1997.
 - [159] F. P. La Mantia and M. Morreale, “Green composites: A brief review,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 42, no. 6, pp. 579–588, 2011.
 - [160] H. Mohammadhosseini and J. M. Yatim, “Microstructure and residual properties of green concrete composites incorporating waste carpet fibers and palm oil fuel ash at elevated temperatures,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 144, pp. 8–21, 2017.
 - [161] F. M. AL-Oqla and S. M. Sapuan, “Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 347–354, 2014.
 - [162] B. Dębska, “Modification of Polymer Composites by Polyethylene Terephthalate Waste”, *Poly(Ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites and Nanocomposites*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2015, ch. 10, pp. 195–212.
 - [163] D. R. Carroll, R. B. Stone, A. M. Sirignano, R. M. Saindon, S. C. Gose, and M. A. Friedman, “Structural properties of recycled plastic/sawdust lumber decking planks,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 31, no. 3, pp. 241–251, 2001.
 - [164] W. Gao, T. Ariyama, T. Ojima and A. Meier, “Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 33, no. 6, pp. 553–562, 2001.
 - [165] H. H. Ozturk and A. Bascetincelik, “Energy Exploitation of Agricultural Biomass Potential in Turkey,” *Energy Exploration & Exploitation*, vol. 24, no. 1/2, pp. 95–111, 2006.
 - [166] A. Akpınar, M. İ. Kömürcü, M. Kankal, İ. H. Özölçer, and K. Kaygusuz, “Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 8, pp. 2013–2039, 2008.
 - [167] S. P. Raut, R. V. Ralegaonkar and S. A. Mandavgane, “Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 10, pp.

4037–4042, 2011.

- [168] I. Demir, “An investigation on the production of construction brick with processed waste tea,” *Building and Environment*, vol. 41, no. 9, pp. 1274–1278, 2006.
- [169] V. Vaibhav, U. Vijayalakshmi and S. M. Roopan, “Agricultural waste as a source for the production of silica nanoparticles,” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 139, pp. 515–520, 2015.
- [170] F. M. AL-Oqla and S. M. Sapuan, “Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 347–354, 2014.
- [171] F. M. AL-Oqla, S. M. Sapuan, M. R. Ishak and A. A. Nuraini, “Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision making model,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 113, pp. 116–127, 2015.
- [172] N. A. Mostafa, A. A. Farag, H. M. Abo-dief and A. M. Tayeb, “Production of biodegradable plastic from agricultural wastes,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 11, no. 4, pp. 546–553, 2015.
- [173] R. A. Ibrahim, “Tribological performance of polyester composites reinforced by agricultural wastes,” *Tribology International*, vol. 90, pp. 463–466, 2015.
- [174] J. Y. Park and M. R. Chertow, “Establishing and testing the ‘reuse potential’ indicator for managing wastes as resources,” *Journal of Environmental Management*, vol. 137, pp. 45–53, 2014.
- [175] P. K. Roy, R. Mathur, D. Kumar and C. Rajagopal, “Tertiary recycling of poly(ethylene terephthalate) wastes for production of polyurethane–polyisocyanurate foams,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 1062–1069, 2013.
- [176] A. Z. Ahrabi, İ. Bilici, ve A. Y. Bilgesü, “Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malze Üretimini Araştırılması,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 3, ss. 467–471, 2012.
- [177] A. M. H. Mansour and S. A. Ali, “Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 24, pp. 79–85, 2015.
- [178] F. Andreola, L. Barbieri, I. Lancellotti, C. Leonelli and T. Manfredini, “Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies,” *Ceramics International*, vol. 42, no. 12, pp. 13333–13338, 2016.
- [179] M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo and C. Zanelli, “Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles,” *Waste Management*, vol. 29, no. 6, pp. 1945–1951, 2009.
- [180] V. Loryuenyong, T. Panyachai, K. Kaewsimork and C. Siritai, “Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks,” *Waste Management*, vol. 29, no. 10, pp. 2717–2721, 2009.
- [181] S. T. Cholake, R. Rajarao, P. Henderson, R. R. Rajagopal and V. Sahajwalla, “Composite panels obtained from automotive waste plastics and agricultural macadamia shell waste,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 163–171, 2017.

- [182] I. Zabalza Bribián, A. Valero Capilla and A. Aranda Usón, “Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential,” *Building and Environment*, vol. 46, no. 5, pp. 1133–1140, 2011.
- [183] J. Squalli, “Renewable energy, coal as a baseload power source, and greenhouse gas emissions: Evidence from U.S. state-level data,” *Energy*, vol. 127, pp. 479–488, 2017.
- [184] H. Hondo, “Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case,” *Energy*, vol. 30, no. 11, pp. 2042–2056, 2005.
- [185] B. Atilgan and A. Azapagic, “Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts,” *Renewable Energy*, vol. 89, pp. 649–657, 2016.
- [186] S. Nurşah, “Cephelerde Kullanılan Sandviç Panellerin Üretim Ve Montaj Aşamaları,” Yüksel lisans, Mimarlık bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [187] E. Yılmaz ve H. Arslan, “Poliüretan ve Taşyünü Dolgulu Kompozit Panellerin Çevresel Performanslarının İrdelenmesi,” 9. Ulusal Çatı Cephe Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [188] V. Kuklík and J. Kudláček, "Hot-dip galvanizing" *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*, 1st Ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2016, ch. 2, pp. 7–16.
- [189] F. Ozturk, Z. Evis and S. Kilic, “Hot-Dip Galvanizing Process,” *Comprehensive Materials Finishing*, vol. 3, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017, ch.12, pp. 178–190.
- [190] V. Kuklík and J. Kudláček, “ Hot-dip galvanizing and the environment,” *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*, 1st Ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2016, ch. 13, pp. 199–202.
- [191] American Galvanizers Association, (2018, 12 Feb). Hot-Dip Galvanizing For Sustainable Design, [Online] Available: https://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanizing_for_Sustainable_Design.pdf.
- [192] World Steel Association, (2018, 23 May). Steel and raw materials, [Online] Available: https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:16ad9bcd-dbf5-449f-b42c-b220952767bf/fact_raw%2520materials_2018.pdf.
- [193] Björkman and C. Samuelsson, “Recycling of Steel,” *Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts, and Scientists*, 1st Ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2014, ch. 6, pp. 65–83.
- [194] Borçelik, (2016, 01 Şubat). *Galvaniz Sac Üretim Bandı*. Erişim: <http://www.borcelik.com/turkce/urunlerimiz/hdg.aspx>.
- [195] J. M. Davies, "Materials," *Lightweight Sandwich Construction*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2008, ch. 2, pp. 14-42.
- [196] National Coil Coating Association, (2016, 02 Apr). *The Most Advanced Method For Coating Metal*, [Online]. Available: <https://www.coilcoating.org/how-to-paint-metal-coils>.
- [197] Teknopanel, (2016, Nisan 06). *Hammadde Bilgileri-Boya*, Erişim: <http://www.teknopanel.com.tr/Sayfalar/410/Hammadde-Bilgileri/Boya.aspx>.

- [198] H. Aydın ve İ. Ekmekçi, "Isı yalıtım malzemesi olarak poliüretan köpüğün fiziksel ve kimyasal özellikleri, üretimi ve incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 45–50, 2002.
- [199] Assanpanel, (2016, Nisan 25). *Malzeme Spektleri/Poliüretan*, Erişim: <http://www.assanpanel.com.tr/~media/files/pdf/quality/malzemespektleri/poliuretan.ashx>.
- [200] A. Lyons, Insulation materials, *Materials for architects and builders*, 3 th ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier Ltd., 2014, ch. 13, pp. 308-322.
- [201] W. Yang, Q. Dong, S. Liu, H. Xie, L. Liu and J. Li, "Recycling and disposal methods for polyurethane foam wastes," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 16, pp. 167–175, 2012.
- [202] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura and M. Mistretta, "Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board," *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 1, pp. 1–10, 2008.
- [203] SteelConstruction, (2015, Mar 03). *The recycling and reuse survey*, [Online]. Available: https://www.steelconstruction.info/The_recycling_and_reuse_survey.
- [204] Türkiye İstatistik Kurumu. (2017, Şubat 03). Pirinç üretimi, Erişim: <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>.
- [205] Toprak Mahsulleri Ofisi, "2016 Yılı Hububat Sektör Raporu," Toprak Mahsulleri Ofisi, Türkiye, 2017.
- [206] D. Dobrotă ve G. Dobrotă, "An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development", *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 3591-3599, 2017.
- [207] M. Sienkiewicz, H. Janik, K. Borzędowska-Labuda and J. Kucińska-Lipka, "Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 147, pp. 560–571, 2017.
- [208] K. Yan, W. He, M. Chen and W. Liu, "Laboratory investigation of waste tire rubber and amorphous poly alpha olefin modified asphalt," *Construction and Building Materials*, vol. 129, pp. 256–265, 2016.
- [209] N. I. Fattuhi and L. A. Clark, "Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber," *Construction and Building Materials*, vol. 10, no. 4, pp. 229–236, 1996.
- [210] M. Bravo ve J. de Brito, "Concrete made with used tyre aggregate: durability-related performance," *Journal of Cleaner Production*, vol. 25, pp. 42–50, 2012.
- [211] M. Altın, A. Koca, H. Solmaz, ve E. Yılmaz, "Türkiye ' de Otomobillerden Kaynaklanan Lastik Atık Miktarının İncelenmesi," *Politeknik Dergisi*, c. 16, ss. 51–56, 2013.
- [212] R. Zevenhoven, "Treatment and disposal of polyurethane wastes : options for recovery and recycling," Helsinki University of Technology, Finland, Rap. TKK-ENY-19, 2004.
- [213] K. M. Zia, H. N. Bhatti and I. Ahmad Bhatti, "Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 67, no. 8, pp. 675–692, 2007.

- [214] T. Fukaya, H. Watando, S. Fujieda, S. Saya, C. M. Thai and M. Yamamoto, “Reheating decomposition process as chemical recycling for rigid polyurethane foam,” *Polymer Degradation and Stability*, vol. 91, no. 11, pp. 2549–2553, 2006.
- [215] Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30283, 27 Aralık 2017.
- [216] N. Benli Yıldız, “Cam Elyaf Takviyeli Beton (GFRC) Cephe Panelleri İçin Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) Yöntemiyle Bir Sürdürülebilirlik Çerçevesi Geliştirilmesi,” Doktora tezi, Kompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.



7. EKLER

7.1. EK 1: PDKCP'NİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Birim	Üretim Aşaması	Bertaraf Aşaması	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,0294	4,28E-7	0,0294
ADPF	MJ eq.	859	3,1	862
GWP	kg CO ₂ eq.	61	0,402	61,4
ODP	kg CFC-11 eq.	2,79E-6	1,35E-8	2,81E-6
HTP	kg DCB eq.	92,4	1,71	94,1
FAETP	kg DCB eq.	43,2	4,73	48
MAETP	kg DCB eq.	1,06E5	4,49E3	1,11E5
TETP	kg DCB eq.	0,0782	0,00233	0,0805
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0264	7,81E-5	0,0264
AP	kg SO ₂ eq.	1,24	0,000926	1,24
EP	kg PO ₄ eq.	0,325	0,0359	0,361

7.2. EK 2: PDKCP'NİN NORMALİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Üretim Aşaması	Bertaraf Aşaması	Toplam
ADPE	3,47E-10	5,05E-15	3,47E-10
ADPF	2,73E-11	9,85E-14	2,74E-11
GWP	1,21E-11	8E-14	1,22E-11
ODP	3,13E-14	1,52E-16	3,14E-14
HTP	1,19E-11	2,21E-13	1,21E-11
FAETP	8,34E-11	9,12E-12	9,26E-11
MAETP	9,1E-10	3,85E-11	9,48E-10
TETP	1,61E-12	4,8E-14	1,66E-12
POCP	3,11E-12	9,22E-15	3,12E-12
AP	4,39E-11	3,29E-14	4,39E-11
EP	2,47E-11	2,72E-12	2,74E-11

7.3. EK 3: PDKCP ÜRETİM AŞAMASI KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Birim	Galveniz Sac	Poliüretan	Ambalaj	Elektrik	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,02935	1,74E-05	8,2E-08	5,21E-08	0,029367
ADPF	MJ eq.	610,8893	237,0792	3,968296	7,047285	858,9842
GWP	kg CO2 eq.	45,77471	14,63107	0,151336	0,472305	61,02941
ODP	kg CFC-11 eq.	2,72E-06	6,15E-08	2,29E-09	4,83E-09	2,79E-06
HTP	kg DCB eq.	90,83835	1,420026	0,019306	0,108191	92,38588
FAETP	kg DCB eq.	42,04653	1,070789	0,012544	0,106285	43,23615
MAETP	kg DCB eq.	102597,9	2984,682	49,57607	542,8105	106174,9
TETP	kg DCB eq.	0,07696	0,001104	4,78E-05	8,4E-05	0,078196
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,021369	0,004885	3,25E-05	6,76E-05	0,026354
AP	kg SO ₂ eq.	1,1681	0,064845	0,000661	0,001816	1,235423
EP	kg PO ₄ eq.	0,30906	0,015364	9,78E-05	0,000713	0,325235

7.4. EK 4: PDKCP ÜRETİM AŞAMASI NORMALİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Galveniz Sac	Poliüretan	Ambalaj	Elektrik	Toplam
ADPE	3,46E-10	2,05E-13	9,67E-16	6,14E-16	3,47E-10
ADPF	1,94E-11	7,54E-12	1,26E-13	2,24E-13	2,73E-11
GWP	9,11E-12	2,91E-12	3,01E-14	9,4E-14	1,21E-11
ODP	3,05E-14	6,89E-16	2,56E-17	5,41E-17	3,13E-14
HTP	1,17E-11	1,83E-13	2,49E-15	1,4E-14	1,19E-11
FAETP	8,11E-11	2,07E-12	2,42E-14	2,05E-13	8,34E-11
MAETP	8,79E-10	2,56E-11	4,25E-13	4,65E-12	9,1E-10
TETP	1,59E-12	2,27E-14	9,84E-16	1,73E-15	1,61E-12
POCP	2,52E-12	5,76E-13	3,83E-15	7,97E-15	3,11E-12
AP	4,15E-11	2,3E-12	2,35E-14	6,45E-14	4,39E-11
EP	2,34E-11	1,16E-12	7,41E-15	5,4E-14	2,47E-11

7.5. EK 5: ÜRETİMİNDE ATIK KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELLERİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Birim	Pirinç kabuğu ikameli kompozit panel (P2)			Lastik tozu ikameli kompozit panel (P3)			Taşyünü ikameli kompozit panel (P4)		
		Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,0294	4,3E-7	0,0294	0,0294	4,3E-7	0,0294	0,0294	4,3E-7	0,0294
ADPF	MJ eq.	800	3,12	803	803	3,12	806	797	3,12	800
GWP	kg CO2 eq.	57,4	0,707	58,1	57,6	0,707	58,3	57,2	0,707	57,9
ODP	kg CFC-11 eq.	2,78E-6	1,36E-8	2,79E-6	2,78E-6	1,36E-8	2,8E-6	2,78E-6	1,36E-8	2,79E-6
HTP	kg DCB eq.	92,2	1,43	93,5	92,3	1,43	93,7	92,2	1,43	93,6
FAETP	kg DCB eq.	43,1	4,99	48,1	43,4	4,99	48,4	43,2	4,99	48,2
MAETP	kg DCB eq.	1,06E5	4,09E3	1,1E5	1,06E5	4,09E3	1,11E5	1,06E5	4,09E3	1,1E5
TETP	kg DCB eq.	0,078	0,00274	0,0807	0,0788	0,00274	0,0815	0,0787	0,00274	0,0814
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0251	0,000164	0,0253	0,0252	0,000164	0,0254	0,0251	0,000164	0,0253
AP	kg SO ₂ eq.	1,22	0,000959	1,22	1,22	0,000959	1,22	1,22	0,000959	1,22
EP	kg PO ₄ eq.	0,322	0,0283	0,35	0,324	0,0283	0,352	0,323	0,0283	0,351

7.6. EK 6: ÜRETİMİNDE ATIK KULLANILMIŞ KOMPOZİT CEPHE PANELLERİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Pirinç kabuğu ikameli kompozit panel (P2)			Lastik tozu ikameli kompozit panel (P3)			Taşyünü ikameli kompozit panel (P4)		
	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	3,46E-10	5,07E-15	3,46E-10	3,46E-10	5,07E-15	3,46E-10	3,46E-10	5,07E-15	3,46E-10
ADPF	2,54E-11	9,91E-14	2,55E-11	2,55E-11	9,91E-14	2,56E-11	2,53E-11	9,91E-14	2,54E-11
GWP	1,14E-11	1,41E-13	1,16E-11	1,15E-11	1,41E-13	1,16E-11	1,14E-11	1,41E-13	1,15E-11
ODP	3,11E-14	1,53E-16	3,13E-14	3,12E-14	1,53E-16	3,13E-14	3,11E-14	1,53E-16	3,13E-14
HTP	1,19E-11	1,85E-13	1,21E-11	1,19E-11	1,85E-13	1,21E-11	1,19E-11	1,85E-13	1,21E-11
FAETP	8,31E-11	9,63E-12	9,28E-11	8,37E-11	9,63E-12	9,34E-11	8,34E-11	9,63E-12	9,31E-11
MAETP	9,07E-10	3,51E-11	9,42E-10	9,12E-10	3,51E-11	9,47E-10	9,07E-10	3,51E-11	9,43E-10
TETP	1,61E-12	5,64E-14	1,66E-12	1,62E-12	5,64E-14	1,68E-12	1,62E-12	5,64E-14	1,68E-12
POCP	2,96E-12	1,94E-14	2,98E-12	2,97E-12	1,94E-14	2,99E-12	2,96E-12	1,94E-14	2,98E-12
AP	4,33E-11	3,40E-14	4,33E-11	4,34E-11	3,40E-14	4,34E-11	4,33E-11	3,4E-14	4,33E-11
EP	2,44E-11	2,14E-12	2,65E-11	2,45E-11	2,14E-12	2,67E-11	2,44E-11	2,14E-12	2,66E-11

**7.7.EK 7: ÜRETİMİNDE ALTERNATİF HAMMADDE KULLANILMIŞ
KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	Birim	%25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı artırılmış kompozit panel (P5)		
		Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,0293	4,27E-7	0,0293
ADPF	MJ eq.	806	3,09	809
GWP	kg CO2 eq.	56,7	0,401	57,1
ODP	kg CFC-11 eq.	2,63E-6	1,35E-8	2,65E-6
HTP	kg DCB eq.	76,6	1,71	78,3
FAETP	kg DCB eq.	38	4,73	42,8
MAETP	kg DCB eq.	9,74E4	4,49E3	1,02E5
TETP	kg DCB eq.	0,0657	0,00233	0,068
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0241	7,8E-5	0,0242
AP	kg SO ₂ eq.	1,21	0,000923	1,21
EP	kg PO ₄ eq.	0,315	0,0359	0,351

**7.8. EK 8: ÜRETİMİNDE ALTERNATİF HAMMADDE KULLANILMIŞ
KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	%25 oranında geri dönüştürülmüş çelik kullanımı artırılmış kompozit panel (P5)		
	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	3,46E-10	5,04E-15	3,46E-10
ADPF	2,56E-11	9,82E-14	2,57E-11
GWP	1,13E-11	7,99E-14	1,14E-11
ODP	2,95E-14	1,51E-16	2,96E-14
HTP	9,88E-12	2,21E-13	1,01E-11
FAETP	7,34E-11	9,12E-12	8,25E-11
MAETP	8,35E-10	3,85E-11	8,73E-10
TETP	1,35E-12	4,8E-14	1,4E-12
POCP	2,85E-12	9,2E-15	2,86E-12
AP	4,31E-11	3,28E-14	4,31E-11
EP	2,39E-11	2,72E-12	2,66E-11

**7.9. EK 9: BERTARAF SENARYOSU İYİLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT CEPHE
PANELİNİN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	Birim	Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit panel (P6)		
		Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,0294	3,73E-7	0,0294
ADPF	MJ eq.	859	2	861
GWP	kg CO ₂ eq.	61	0,171	61,2
ODP	kg CFC-11 eq.	2,79E-6	9,26E-9	2,8E-6
HTP	kg DCB eq.	92,4	0,385	92,8
FAETP	kg DCB eq.	43,2	1,03	44,3
MAETP	kg DCB eq.	1,06E4	1,01E3	1,07E5
TETP	kg DCB eq.	0,0782	0,000474	0,0787
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0264	2,88E-5	0,0264
AP	kg SO ₂ eq.	1,24	0,000561	1,24
EP	kg PO ₄ eq.	0,325	0,00709	0,332

**7.10. EK 10: BERTARAF SENARYOSU İYİLEŞTİRİLMİŞ KOMPOZİT CEPHE
PANELİNİN NORMALİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	Bertaraf senaryosu iyileştirilmiş kompozit panel (P6)		
	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	3,47E-10	4,4E-15	3,47E-10
ADPF	2,73E-11	6,37E-14	2,74E-11
GWP	1,21E-11	3,4E-14	1,22E-11
ODP	3,13E-14	1,04E-16	3,14E-14
HTP	1,19E-11	4,97E-14	1,2E-11
FAETP	8,34E-11	1,98E-12	8,54E-11
MAETP	9,1E-10	8,62E-12	9,19E-10
TETP	1,61E-12	9,77E-15	1,62E-12
POCP	3,11E-12	3,4E-15	3,11E-12
AP	4,39E-11	1,99E-14	4,39E-11
EP	2,47E-11	5,37E-13	2,52E-11

**7.11. EK 11: ÜRETİM SÜRECİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN
FAYDALANARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN
KARAKTERİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	Birim	Güneş enerjisinden faydalanarak üretilen kompozit panel (P7)		
		Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	kg Sb eq	0,0294	4,28E-7	0,0294
ADPF	MJ eq.	853	3,1	856
GWP	kg CO2 eq.	60,6	0,402	61
ODP	kg CFC-11 eq.	2,8E-6	1,35E-8	2,81E-6
HTP	kg DCB eq.	92,3	1,71	94,1
FAETP	kg DCB eq.	43,3	4,73	48
MAETP	kg DCB eq.	1,06E5	4,49E3	1,1E5
TETP	kg DCB eq.	0,0782	0,000233	0,0805
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0263	7,81E-5	0,0264
AP	kg SO ₂ eq.	1,23	0,000926	1,24
EP	kg PO ₄ eq.	0,325	0,0359	0,361

**7.12. EK 12: ÜRETİM SÜRECİNDE GÜNEŞ ENERJİSİNDEN
FAYDALANARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELİNİN
NORMALİZASYON SONUÇLARI**

Etki Kategorisi	Güneş enerjisinden faydalananarak üretilen kompozit panel (P7)		
	Üretim Aşaması	Bertaraf aşaması	Toplam
ADPE	3,47E-10	5,05E-15	3,47E-10
ADPF	2,71E-11	9,85E-14	2,72E-11
GWP	1,21E-11	8E-14	1,21E-11
ODP	3,14E-14	1,52E-16	3,15E-14
HTP	1,19E-11	2,21E-13	1,21E-11
FAETP	8,36E-11	9,12E-12	9,27E-11
MAETP	9,08E-10	3,85E-11	9,46E-10
TETP	1,61E-12	4,8E-14	1,66E-12
POCP	3,1E-12	9,22E-15	3,11E-12
AP	4,38E-11	3,29E-14	4,38E-11
EP	2,46E-11	2,72E-12	2,73E-11

7.13. EK 13: PDKCP (P1) VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ SAYESİNDE ELDE EDİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELLERİN (P2, P3, P4, P5, P6, P7) KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	Birim	(P1)	(P2)	(P3)	(P4)	(P5)	(P6)	(P7)
ADPE	kg Sb eq	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294	0,0293	0,0294	0,0294
ADPF	MJ eq.	862	803	806	800	809	861	856
GWP	kg CO2 eq.	61,4	58,1	58,3	57,9	57,1	61,2	61
ODP	kg CFC-11 eq.	2,81E-6	2,79E-6	2,8E-6	2,79E-6	2,65E-6	2,8E-6	2,81E-6
HTP	kg DCB eq.	94,1	93,5	93,7	93,6	78,3	92,8	94,1
FAETP	kg DCB eq.	48	48,1	48,4	48,2	42,8	44,3	48
MAETP	kg DCB eq.	1,11E5	1,1E5	1,11E5	1,1E5	1,02E5	1,07E5	1,1E5
TETP	kg DCB eq.	0,0805	0,0807	0,0815	0,0814	0,068	0,0787	0,0805
POCP	kg C ₂ H ₄ eq.	0,0264	0,0253	0,0254	0,0253	0,0242	0,0264	0,0264
AP	kg SO ₂ eq.	1,24	1,22	1,22	1,22	1,21	1,24	1,24
EP	kg PO ₄ eq.	0,361	0,35	0,352	0,351	0,351	0,332	0,361

7.14. EK 14: PDKCP (P1) VE İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ SAYESİNDE ELDE EDİLEN KOMPOZİT CEPHE PANELLERİN (P2, P3, P4, P5, P6, P7) NORMALİZASYON SONUÇLARI

Etki Kategorisi	(P1)	(P2)	(P3)	(P4)	(P5)	(P6)	(P7)
ADPE	3,47E-10	3,46E-10	3,46E-10	3,46E-10	3,46E-10	3,47E-10	3,47E-10
ADPF	2,74E-11	2,55E-11	2,56E-11	2,54E-11	2,57E-11	2,74E-11	2,72E-11
GWP	1,22E-11	1,16E-11	1,16E-11	1,15E-11	1,14E-11	1,22E-11	1,21E-11
ODP	3,14E-14	3,13E-14	3,13E-14	3,13E-14	2,96E-14	3,14E-14	3,15E-14
HTP	1,21E-11	1,21E-11	1,21E-11	1,21E-11	1,01E-11	1,2E-11	1,21E-11
FAETP	9,26E-11	9,28E-11	9,34E-11	9,31E-11	8,25E-11	8,54E-11	9,27E-11
MAETP	9,48E-10	9,42E-10	9,47E-10	9,43E-10	8,73E-10	9,19E-10	9,46E-10
TETP	1,66E-12	1,66E-12	1,68E-12	1,68E-12	1,4E-12	1,62E-12	1,66E-12
POCP	3,12E-12	2,98E-12	2,99E-12	2,98E-12	2,86E-12	3,11E-12	3,11E-12
AP	4,39E-11	4,33E-11	4,34E-11	4,33E-11	4,31E-11	4,39E-11	4,38E-11
EP	2,74E-11	2,65E-11	2,67E-11	2,66E-11	2,66E-11	2,52E-11	2,73E-11
Toplam (x10⁻¹⁰)	15,154	15,046	15,113	15,058	14,229	14,759	15,129

7.15. EK 15: KULLANILAN SİMAPRO YAZILIMI

YDD, ihtiyaç duyulduğunda malzeme geri dönüşümü de dahil olmak üzere, hammaddelerin üretiminden başlayarak ürünlerin nihai bertarafına kadar tüm yaşam döngüsünü dikkate alarak ürünlerin çevresel performansını ölçmek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımı gerçekleştiren farklı yazılımlar bulunmaktadır. YDD aracı olarak, birçok YDED modeliyle sonuçların değerlendirilmesine olanak tanıyan ve kullanım kolaylığı açısından en uygun yazılımlardan biri olan “SimaPro 8.2” yazılımı kullanılmıştır.

Mevcut YDED modelleri incelendiğinde; orta nokta yaklaşım modelleri, son nokta yaklaşım modelleri ve orta ve son nokta yaklaşımını birleştiren yaklaşım modelleri olmak üzere üç grupta ele alınmaktadır. Orta nokta yaklaşım modellerinde, envanter analizinden elde edilen çevresel veriler; küresel ısınma, ozon tabakasında incelmeye, asidifikasyon, ötrofikasyon, abiyotik kaynakların tükenmesi ve fotokimyasal sis oluşumu etki kategorilerinden oluşmaktadır. Son nokta yaklaşımında ise dönüştürme katsayıları; kaynakların tüketilmesi, iklim değişikliğine etki, ekosistemin zarar görmesi ve insan sağlığının zarar görmesi etki kategorileri için hesaplanmaktadır. Her iki yaklaşımı birleştiren YDED modellerinde, her bir orta nokta kategorisi bir ya da bazı son nokta etki kategorileriyle ilişkilendirilmekte ve nicel sonuçlar hem orta hem de son nokta kategorilerine göre hesaplanmaktadır [118, 145].

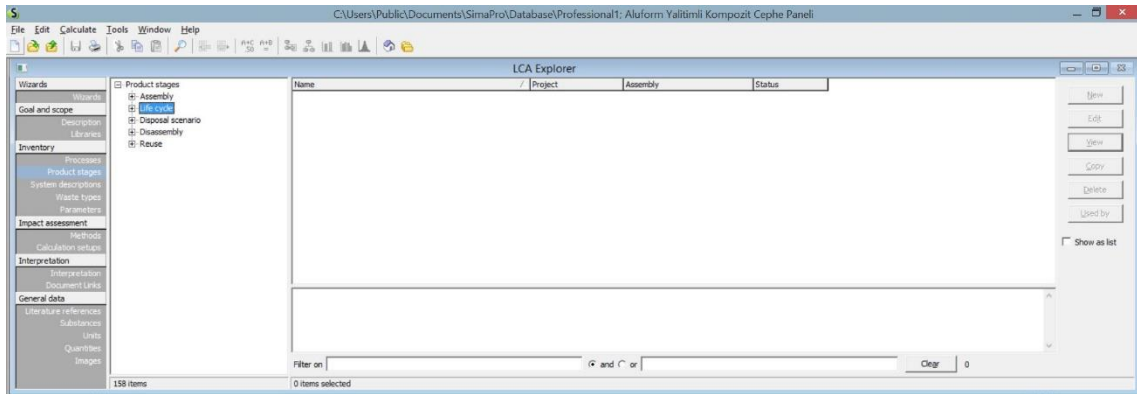
EN 15804 Ürün Kategori Kuralları (PCR)’na göre kompozit inşaat malzemeleri için YDD çalışması yapılabilmektedir. EN 15804 PCR’ında YDED modellerinden CML yöntemi kullanılmakta ve bu çalışmada diğer etki değerlendirme modellerinin yerine CML yöntemi ve CML’nin etki kategorileri baz alınmıştır.

Tez çalışmasında, Hollanda’da Leiden Üniversitesi Çevre Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen orta nokta yaklaşım modeli olan CML metodolojileri kullanılarak hesaplama yapılmıştır. CML’nin ele aldığı çevresel etki kategorileri, zorunlu ve çalışmanın kapsamı gerektirdiğinde ele alınacak zorunlu olmayan etki kategorileri olmak üzere Çizelge 7.1.’de ikiye ayrılmaktadır. Diğer YDED modellerinin büyük çoğunluğu CML modelini esas alarak CML’nin dönüştürme katsayılarını kullanmaktadır [145].

Çizelge 7.1. CML çevresel etki kategorileri

Zorunlu etki kategorileri	Zorunlu olmayan etki kategorileri
Abiyotik kaynak tüketimi	Biyoçeşitlilik kaybı
Arazi kullanımı	İyon radyasyonu
İklim değişikliği	Gürültü ve biyotik kaynakların tüketimi
Ozon tabakasının incilmesi	
İnsan zehirlenmesi	
Tatlı su, deniz ve karasal zehirlilik	
Fotokimyasal sis oluşumu	
Asitleşme	
Ötrofikasyon	

Bir ürünün YDD'si yapılırken programın envanter (Inventory) bölümünün ürün aşamalarında (product stage) ürüne ait verilerin girilmesi gereken fişler (sheet) bulunmaktadır. Bu fişler; montaj (assembly), yaşam döngüsü(life cycle), bertaraf senaryosu (disposal scenario), demontaj (disassembly) ve yeniden kullanım (reuse) adımlarından oluşmaktadır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 SimaPro envanter bölümü, ürün aşaması ve fiş bölümleri

Çalışma kapsamında, PDKCP'nin yaşam döngüsü envanter analizi aşamasında toplanan veriler ürün aşamalarında (product stage) yer alan fişlere detaylı bir şekilde işlenmektedir (Şekil 7.2 ve Şekil 7.3).

Input/output Parameters

Name: PDKCP (P1) 50 mm Assembly

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment
Galvaniz Sac	2	p	Undefined			
Polüretan	1	p	Undefined			
Ambolaj	1	p	Undefined			

(Insert line here)

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment
Electricity, high voltage (TR, 2015) market for Alloc Def, U	0,89	kWh	Undefined			

(Insert line here)

Şekil 7.2. Verilerin fişlere işlenmesi

Input/output Parameters

Name: YDD PDKCP (P1) 50 mm

Status: None

Assembly	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment
PDKCP (P1) 50 mm Assembly	1	p	Undefined			

(Insert line here)

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment
Waste/Disposal scenario PDKCP 50 mm Atık Senaryosu						

(Insert line here)

Additional life cycles	Number	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment

(Insert line here)

Şekil 7.3. Verilerin fişlere işlenmesi

Montaj (assembly) adımı, ürünü oluşturan hammaddelerin bilgileri seçilen fonksiyonel birim doğrultusunda Şekil 7.2’deki gibi işlenmektedir. Bu aşamada PDKCP oluşturan hammaddelerin bileşenleri, hammaddeyi elde etmek için gerekli süreçler ve üretim tesisine taşınması için gereken mesafe gibi veriler fonksiyonel birim doğrultusunda her bir malzeme özelinde işlenmektedir. Örneğin Şekil 7.4’de gösterildiği gibi, PDKCP üretiminde kullanılan galvaniz sacın bileşenleri; çelik ve boya malzemeler (materials/Assemblies) bölümünde, çeliğin galvanizleme işlemi, taşınacağı mesafe süreçler (processes) bölümünde işlenmiştir.

Edit assembly 'Galvaniz Sac'

Name: Galvaniz Sac Image: Comment: 1 m2 levha

Status: None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment
Steel, iron-alloyed, hot-rolled (RER) production Alloc Def, U	4,337	kg	Undefined			Alt ve üst sac ağırlıklarının yarısı
Alkyd paint, white, without water, in 60% solution state (GLO) market for Alloc Def, U	35	g	Undefined			

(Insert line here)

Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment
Zinc coat, cold (GLO) market for Alloc Def, S	2,21	m2	Undefined			Alt Yüzey 1,15 Üst Metal 1,06
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	489*4,337 = 2,12E3	kgkm	Undefined			Erdenir bursa sakarya düzce (489 Km)

(Insert line here)

Şekil 7.4. Galvaniz sac bileşenlerinin SimaPro'ya işlenmesi

Atık senaryosu adımında (Disposal scenario), montaj (assembly) yapılan ürün seçilir. Bu ürünün kullanım ömrü tamamlandıktan sonraki bertarafı için gidilecek mesafe işlenerek ömrü tamamlanan ürünün geri dönüşüm ve atık olarak çevreye bırakılma oranları sisteme girilmektedir (Şekil 7.5).

Edit disposal scenario 'PDKCP 50 mm Atık Senaryosu'

Name: PDKCP 50 mm Atık Senaryosu Image: Comment:

Status: None

Referring to assembly: PDKCP (P1) 50 mm Assembly Amount: 1 Unit: p Comment:

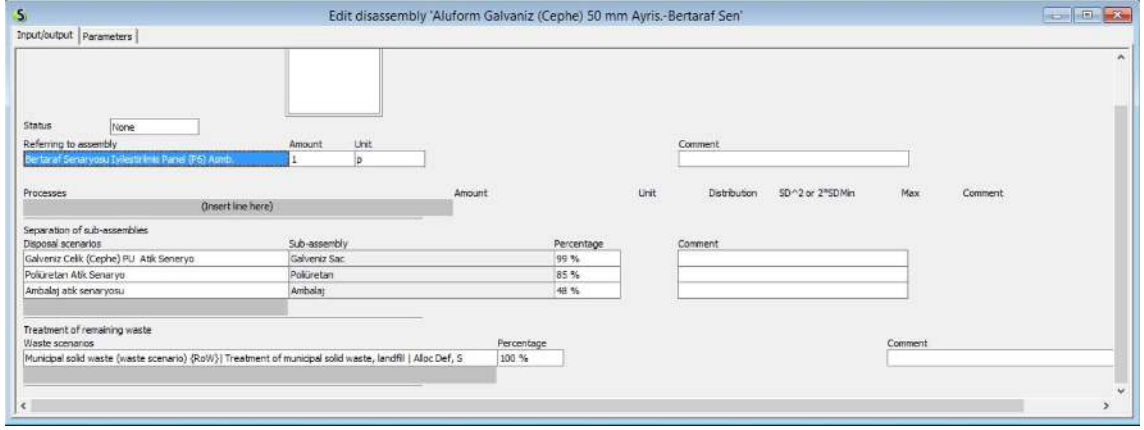
Processes	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	100*10,234 = 1,02E3	kgkm				bertaraf için gidilen mesafe 100 km

(Insert line here)

Waste scenarios	Percentage	Comment
Municipal solid waste (waste scenario) (RoW) Treatment of a	30 %	
(Insert line here)		
Disassemblies	Percentage	Comment
Aluform Galvaniz (Cephe) PU 50 mm Ayırıştırma	70 %	
(Insert line here)		
Reuses	Percentage	Comment
(Insert line here)		

Şekil 7.5. SimaPro'da atık senaryosu oluşturma

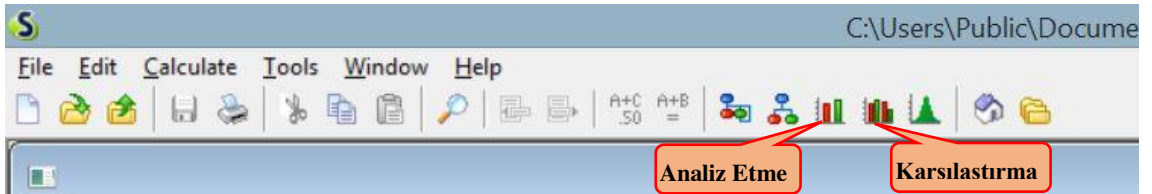
Parçalarına ayırma (disassembly) adımında, ürünü oluşturan malzemelerin bertaraf senaryoları yapılmaktadır. Örneğin, faydalı kullanım ömrünü tamamlandıktan sonra toplanan PDKCP'ni oluşturan hammaddelerden; çeliğin %99 oranında geri dönüştürüldüğü, poliüretanın ve ambalajların tamamının katı atık depolama sahalarına gönderileceği kabul edilerek sisteme işlenmiştir (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. SimaPro’da parçalarına ayırma (disassembly) adımı

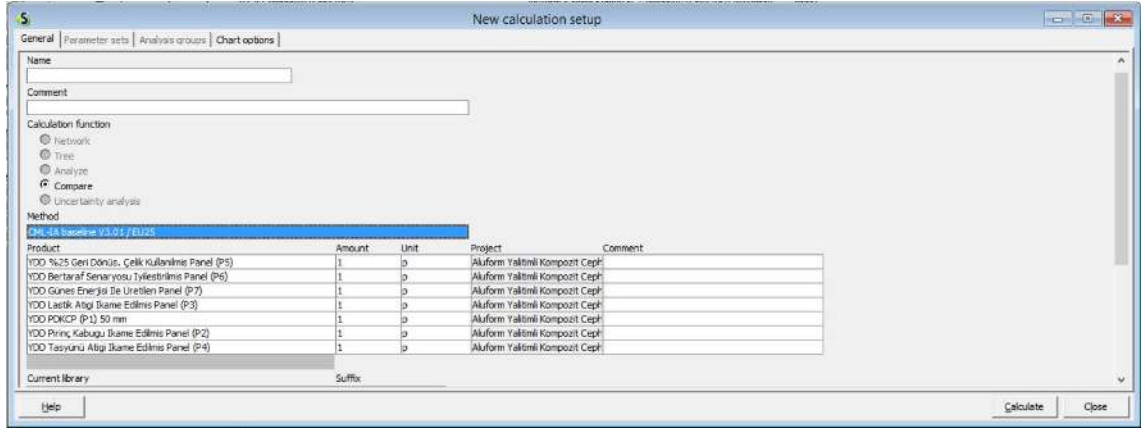
Yaşam döngüsü (Life cycle) adımı, ürünün çevresel etkisinin hesaplanması için diğer adımların hepsi bir arada toplanmaktadır. Verilerin işlendiği montaj (assembly) aşamasında oluşturulan data ve malzemeye ait oluşturulan atık / bertaraf senaryosu (waste/disposal scenario) datası seçilmektedir (Şekil 7.3). Bu adım tamamlandıktan sonra malzeme/malzemelerin çevresel etkisinin hesaplanması/karşılaştırılması aşamasına geçilmektedir.

Oluşturulan modelin çevresel performansının hesaplanması için SimaPro ara yüzünden analiz etme ikonuna tıklanır. Eğer birden fazla malzemenin karşılaştırılması gerekseyse karşılaştırma ikonuna tıklanmaktadır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. SimaPro’da analiz etme ve karşılaştırma ikonları

Çevresel etkinin hesaplanması ya da karşılaştırılması için YDED modeli seçilmesi aşamasına geçilir. P1, P2, P3, P4, P5, P6 ve P7 kompozit panellerin çevresel etkilerinin hesaplanması ve bu etkilerin karşılaştırılması için CML-IA baseline ver.4.2 yöntemi kullanılmıştır (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. SimaPro 8.2 ile YDED modeli olarak CML-IA baseline ver.4.2'nin seçilmesi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah Yılmaz
Doğum Tarihi ve Yeri : Düzce, 13 Aralık 1986
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emrahyilmaz@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2018
Y. Lisans	Yapı Eğitimi	Düzce Üniversitesi	2011
Lisans	Yapı Tasarımı Öğretmenliği	Süleyman Demirel Üniversitesi	2009
Lise		Düzce Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi	2003

MESLEKİ DENEYİM

Mayıs 2018 -	Genel Sekreter Düzce Teknopark A.Ş.
Ekim 2012 -	Öğretim Görevlisi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi
Haziran 2018 -	Teknoloji Transfer Ofisi Koordinatörü Düzce Üniversitesi
Temmuz 2013 -	Teknopark Koordinatörü Düzce Üniversitesi

Mayıs 2012- Mayıs 2018

İşletme Koordinatörü

Düzce Teknopark A.Ş.

Şubat 2010 – Mayıs 2011

Ücretli Öğretim Elemanı

Kaynaşlı Meslek Yüksek Okulu, Düzce Üniversitesi

Uluslararası Makaleler

1. **Yılmaz, E.** , Arslan, H. , Subaşı, S. , Uğur, L. O. ve Bideci, A. , "Geri Dönüştürülmüş Lastik Atık İkameli Poliüretan Dolgulu Kompozit Panellerin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 1224-1233, 2018.
2. **Yılmaz, E.** , Arslan, H. and Bideci, A. , " Environmental Performance Analysis of Insulated Composite Facade Panels Using Life Cycle Assessment (LCA)," *Construction and Building Materials*, 2018. (Ms. Ref. No.: CONBUILDMAT-D-18-06211/ Under Review)

Uluslararası Bildiriler

1. Benli Yıldız, N., Arslan, H. and **Yılmaz, E.**, “ Life Cycle Assessment of Glass Fiber Reinforced Concrete (Gfrc) Steel Framed Facade Panels,” *International Conference on Sustainable Built Environment (SBE16)*, 13-15 Oct, 2016, İstanbul, Turkey.
2. **Yılmaz, E.** and Arslan, H., “Life Cycle Assessment of Insulated Composite Wall Panel”, *The International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS)*, 23-26 May, 2016, Universitat Autònoma de Barcelona Campus, Barcelona, Spain.
3. Benli Yıldız, N., Arslan, H. and **Yılmaz, E.**, “Life cycle assessment of fiber reinforced concrete panel (Shell panel), *The International Journal of Arts & Sciences Conference (IJAS)*, 12 Jan, 2016, Paris, France.
4. **Yılmaz, E.**, Arslan, H., “Analysis of Spatial Reconstruction of Duzce City After The 1999 Earthquakes”, *International Symposium on Natural Hazard and Hazard Management*, 2-4 Mar, 2016, Karabük, Turkey.
5. **Yılmaz, E.**, Arslan, H., “Analysis Of Long-Term Post Earthquake Reconstruction Processes of Duzce-Turkey” *6th International i-Rec Conference*, 27-30 May, 2013, Ascona, Switzerland.
6. **Yılmaz, E.**, Arslan, H., “The Evaluation of PVC Panel Usage as Cladding and Roofing Materials”, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, 16-18 May, 2011, Elazığ, Turkey.

Ulusal Bildiriler

Yılmaz, E., Arslan, H., "Poliüretan ve Taşyünü Dolgulu Kompozit Panellerin Çevresel Performanslarının İrdelenmesi" 9. *Ulusal Çatı & Cephe Konferansı*, 12-13 Nisan, 2018, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Diğer Yayınlar

Yılmaz, E., “1999 Depremleri Sonrası Düzce İlinin Yeniden Yapılanma Süreçlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce Üniversitesi, 2011.

Bilimsel Araştırma Projeleri

1. *Tarımsal, Endüstriyel Atık Katkılı ve Poliüretan Dolgulu Panel*, Düzce Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri (**DÜBAP**), Proje No: 2018.09.04.745, **Araştırmacı**, Şubat 2018 - Şubat 2020.
2. *Bigg Dünya Uygulayıcı Kuruluş Projesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (**TÜBİTAK**), 1512 kolu proje BİGG, Proje No: 4180044, **Proje Destek Personeli**, Temmuz 2018 – Haziran 2020.
3. *Düzce Teknopark A.Ş. TTO Kapasite Artırımı Projesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (**TÜBİTAK**), 1601 kolu proje, Proje No: 4170026, Farkındalık, Tanıtım, Bilgilendirme ve Eğitim Birimi, **Koordinatör**, Ocak 2017 – Aralık 2019.
4. *İşletmelerin ve KOBİ'lerin Rekabet Edebilirliği Programı (COSME)*, European Commission, EIF-European Investment Fund, Project No: 739695-WB-BIN, **Senior Expert**, Jan 2017 – 2020.
5. *Düzce Teknopark A.Ş. TTO Projesi*, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (**TÜBİTAK**), 1601 kolu proje (Proje No: 4170026), Girişimcilik ve Şirketleşme Birimi, **Uzman**, Mart 2016 – Aralık 2017.
6. *Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi İle Kompozit Cephe Panelleri İçin Çevresel Sürdürülebilirlik Modeli Oluşturulması*, Düzce Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri (**DÜBAP**), Proje No: 2016.09.04.404, **Araştırmacı**, Şubat 2016 - Eylül 2018.
7. *1999 Depremleri Sonrası Düzce İlinin Yeniden Yapılanma Süreçlerinin İncelenmesi*, Düzce Üniversitesi – Bilimsel Araştırma Projeleri (**DÜBAP**), Proje No: 2011.03.HD.013, **Araştırmacı**, Nisan 2011 - Eylül 2011.

Diğer Projeler

1. *Humans Over Borders*, European Project Erasmus+ Key Action 1 (Learning Mobility of Individuals), 24 to 31 of July 2017, İscar, **Spain**.
2. *Erasmus + Staff Training Exchange Program*, Lublin University of Technology, Lublin, **Poland**.
3. *LLP Erasmus Staff Training Exchange Program*, Polytechnic Institute of Coimbra (IPC) and Engineering Institute of Coimbra (ISEC), **Portugal**.

Ödüller

“*Tarımsal Atık İkameli Poliüretan Dolgulu Kompozit Panel*” Düzce-Bolu Ar-Ge Proje Pazarı, Mart 2018, **Çevre ve Sağlık Koordinatörlüğü Özel Ödülü**

Davetli Konferanslar

Yapı Malzemelerinin Sürdürülebilirliğinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yöntemi, Düzce Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, **Konuşmacı**, 2016, Düzce.

Eğitimler

“*Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Mevzuatı*”, TGBD Akademi, 2 Ekim 2018

“*Early Stage Market Research on New Inventions*”, Brett Cornwell (Texas A&M University), Erciyes Teknopark, 6 Eylül 2018

“*Evaluation and Assessment of University Inventions, Cooperation Between Faculty and TTO, Patent and Licensing Strategies*”, Christopher R. Noble (Massachusetts Institute of Technology), Erciyes Teknopark, 6 Eylül 2018

“Kapadokya Uluslararası IP Günleri Semineri ve TTO Modül-4 Çalıştayı”, Erciyes Teknopark, 5-7 Eylül 2018

“Üniversite Sanayi İşbirliği Eğitimi” Sabancı Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi, 15 Mart 2018

“Fikri Sınai Mülkiyet Hakları ve Ticarileştirme Eğitimi”, Sabancı Üniversitesi Teknoloji Transfer Ofisi, 14 Mart 2018

“Ar-Ge Firmalarına Yönelik Teknoloji Geliştirme Bölgelerinde Sağlanan Muafiyetler ve Vergi Uygulamaları Eğitimi”, INDATA Akademi, 6-7 Şubat 2018

“Girişimci Mentorluğu Eğitimi”, Düzce Teknopark A.Ş, 17 Kasım 2017 - 6 Aralık 2017

“Mühendislik ve Fen Bilimlerine Yönelik TÜBİTAK TEYDEB 1505 Proje Hazırlama Eğitimi”, Düzce Üniversitesi, 13 Nisan 2017

“Girişimciler İçin Finansal Okur Yazarlık Eğitimci Eğitimi”, Habitat Derneği, 5-9 Ekim 2016

“İnovasyon Yönetimi ve TÜBİTAK ARDEB Destekleri Eğitimi”, Özyeğin Üniversitesi, 10-11 Mayıs 2016

“Life Cycle Assessment with SimaPro”, Metsims Sustainability Consulting, 11-12 March 2016

“BD+C V4: Understanding The Building Design + Construction Leed Rating Systems”, ERKE sustainable Building design consultancy, 18 Aralık 2015

“Teknoparklarda Vergi Uygulamaları ve Tesis Yönetimi”, TGBD Akademi, 28 Ağustos 2015

“Teknopark Yönetiminin Temelleri”, TGBD Akademi, 8 Haziran 2015

“Proje Hazırlama Eğitimi”, Doğu Marmara Kalkınma Ajansı (MARKA), 11-12 Şubat 2015

“Yapı Malzemelerinde Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Yapılar Eğitimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), 18 Eylül 2014

“Üniversitelerin Girişimcilik Programları Yöneticilerine Yönelik Eğitim Programı”, Özyeğin Üniversitesi, 20-22 Nisan 2014