

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

**CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GFRC) CEPHE PANELLERİ İÇİN
YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD) YÖNTEMİYLE BİR
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ GELİŞTİRİLMESİ**

NURAY BENLİ YILDIZ

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HAKAN ARSLAN**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GFRC) CEPHE PANELLERİ
İÇİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD)
YÖNTEMİYLE BİR SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ
GELİŞTİRİLMESİ

Nuray Benli Yıldız 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. Nilay Coşgun

Gebze Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erincik EDGÜ

İstanbul Ticaret Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Latif Onur UĞUR

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECİ

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi:15/12/2017

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.

15 Aralık 2017

Nuray Benli Yıldız

TEŞEKKÜR

Doktora çalışması gibi uzun ve zorluklarla dolu bir süreçte beni destekleyerek çalışmalarımı yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Hakan ARSLAN'a tüm katkıları ve içtenliği için çok teşekkür ederim. Tez çalışması boyunca tecrübelerinden yararlandığım hocalarım Yrd. Doç. Dr. Latif Onur UĞUR ve Yrd. Doç. Dr. Alper BİDECİ'ye yapıcı eleştirileri ve yol gösterici yorumları için sonsuz teşekkür ederim.

Çalışma konum olan cam elyaf takviyeli beton panel üreten “FİBROBETON FİRMAST”adına bilgi paylaşımında bulunan çok değerli müdürleri Muhammed MARAŞLI'ya, malzeme, çelik ve kalıp konularında çalışanları uzman Volkan ÖZDAL, Volkan AKMAZ'a ve Uğur GÜLPU'ya,

Çalışmalarım sırasında benzer konuda doktora ve bana yol arkadaşlığı yapan, verdiği moral ve uzaktan bakabilme yetisiyle bana çok faydası olan Emrah YILMAZ'a,

Manevi destekleriyle hep yanımda olan sevgili annem Şükriye BENLİ ve bana her zaman yol gösterici olan babam Nuri BENLİ'ye, pratik fikirleriyle yardımcı olan ablam Gülay KARABACAK'a, çevirilerime ve tez düzenlemelerime yardımcı olan kardeşim Nihal BENLİ'ye,

Bu zorlu ve uzun süreçte gösterdiği sabır ve anlayış için eşim Serkan YILDIZ'a, en büyük meşguliyetim, umudum, biricik kızım Janset YILDIZ'a, çok teşekkür ederim.

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi BAP-2014.09.04227 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

15 Aralık 2017

Nuray Benli Yıldız

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XVI
ÖZET	XVI
ABSTRACT	XVI
EXTENDED ABSTRACT	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. AMAÇ	3
1.2. KAPSAM	5
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	8
2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	8
2.2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK	10
2.3. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA	12
2.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ.....	13
2.5. KAYNAK ARAŞTIRMASI	19
3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ.....	28
3.1. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD).....	28
3.2. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ.....	30
3.3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN TARİHSEL SÜRECİ.....	31
3.4. ÇEVRESEL ÜRÜN ETİKETLERİ	33
3.4.1. Çevresel Ürün Beyanı (EPD Environmental Product Declaration).....	34
3.4.2. Ürün Kategori Kuralları (Product Category Rules, PCR)	35
3.5. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN AŞAMALARI.....	35
3.5.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Amaç ve Kapsam Tanımı.....	36
3.5.2. Yaşam Döngü Envanter Analizi (YDEA)	38

3.5.2.1. Akış Diyagramının Oluşturulması	39
3.5.2.2. Veri toplama planının geliştirilmesi	39
3.5.2.3. Verilerin Toplanması	41
3.5.2.4. Değerlendirme ve Raporlama.....	41
3.5.3. Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi (YDED).....	41
3.5.3.1. Etki kategorisinin seçilmesi ve tanımlanması.....	42
3.5.3.2. Sınıflandırma:	42
3.6. YAŞAM DÖNGÜ ETKİ DEĞERLENDİRME KATEGORİLERİ.....	42
3.7. CML YÖNTEMİ (CENTER OF ENVIRONMENTAL SCIENCE OF LEIDEN UNIVERSITY).....	43
3.7.1.1. Küresel Isınma	44
3.7.1.2. Asidifikasyon (Su ve Kara)	46
3.7.1.3. Ozon Tabakasının İncelmesi.....	46
3.7.1.4. Ötrofikasyon.....	47
3.7.1.5. İyonlaşmış Radyasyon.....	47
3.7.1.6. Fotokimyasal Ozon Oluşumu.....	48
3.7.1.7. Abiyotik Kaynakların Tüketilmesi (Mineraller).....	48
3.7.1.8. Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Fosil bazlı yakıtlar).....	50
3.7.1.9. Tatlı Su ve Tuzlu Su Ekotoksitesi	52
3.7.1.10. Toprak Ekotoksitesi.....	52
3.7.1.11. İnsan Sağlığı Ekotoksitesi.....	52
3.7.2. Karakterizasyon.....	52
3.7.3. Normalizasyon.....	53
3.7.4. Gruplandırma	54
3.7.5. Ağırlıklandırma	54
3.7.6. YDED Sonuçlarını Yorumlanması.....	54
3.7.7. Yorumlama.....	55
4. BETON ESASLI PREKAST PANELLER.....	56
4.1. BETON ESASLI PREKAST AĞIR CEPHE PANELLERİ.....	58
4.2. BETON ESASLI HAFİF PREKAST CEPHE PANELLERİ.....	58
4.3. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GFRC)	58
4.3.1. GFRC Panellerin Üretim Aşamaları.....	59

4.3.2. Üretici Firma	62
4.4. ÇELİK KARKASLI PANELİN ÜRETİMİ	63
4.5. ISI YALITIMLI PANEL	66
4.6. ÇELİK KARKASLI VE ISI YALITIMLI PANELLERDE KULLANILAN MALZEMELER	70
4.6.1. Beyaz Çimento.....	70
4.6.2. Metakaolin.....	71
4.6.3. Cam Lifler	73
4.6.4. Silis Kumu	74
4.6.5. Köpük Betonu	75
4.6.5.1. Foam Fiberi malzemesi	75
4.6.5.2. Köpük Ajanı (Foam Agent)	76
4.6.6. Su	76
4.6.7. Akışkanlaştırıcı	77
4.6.8. Kalıplar	77
4.6.9. Çelik Karkasla İlgili Veriler	78
5. CAM ELYAF TAKVİYELİ CEPHE PANELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİYLE İNCELENMESİ.....	80
5.1. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON CEPHE PANELLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMİ	80
5.2. ARAŞTIRMA TASARIMI	80
5.3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE SÜREÇLER.....	81
5.3.1. YDD Programının Seçilme Prosedürü	81
5.3.2. YDD’de Etki Değerlendirme Yöntemi Seçimi.....	82
5.3.3. YDD’nin Fonksiyonel Birim ve Sistem Sınırları.....	83
5.3.4. Veri Toplama Prosedürü	85
5.3.5. Tahmin ve Varsayımlar.....	86
5.4. ÇELİK KARKASLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ	87
5.5. ISI YALITIMLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ	93
5.6. ÇELİK KARKASLI PANEL İLE ISI YALITIMLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	97

6.SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ GELİŞTİRİLMESİ.....	100
6.1. YAPI MALZEMELERİNİN GERİ DÖNÜŞÜM POTANSİYELLERİ.....	101
6.2. YAPI MALZEMELERİ KAVRAMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ OLUŞTURULMASI.....	103
6.3. ÇERÇEVE KAPSAMINDA ÜRÜN VE SÜREÇ TASARIMINDAKİ İYİLEŞTİRMELER	106
6.3.1. Çimento Yerine Endüstriyel Atık Malzeme İkame Edilmesi	107
6.3.2. Çimento Yerine Metakoalin İkame Edilmesi	108
6.3.3. Çelik Yerine Alüminyum Kullanılması	111
6.3.4. Isı Yalıtımlı Panelde Köpüklü Betonunda CEM I Yerine CEM IV Çimento Kullanılması.....	113
6.3.5. İnce Agregaya Yerine Uçucu Kül (UK) Kullanılması	114
6.4. SÜREÇ TASARIMI VE İYİLEŞTİRME.....	114
6.5. YENİDEN KULLANIM, GERİ DÖNÜŞÜM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	116
6.5.1. Agregaya Yerine Geri Dönüştürülmüş Agregaya Kullanılması.....	116
6.5.2. Geri Dönüştürülmüş Camın İnce Agregaya Yerine Kullanılması	117
6.5.3. Çeliğin Geri Dönüşümü.....	118
6.5.4. GFRC Panelin Öğütülerek Çimento Yerine Kullanılması	119
6.6. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN TANIMLANMASI.....	119
6.6.1. Uçucu Kül veya Yüksek Fırın Cürufu İkame Edilmesi:	119
6.6.2. Kabuk Beton Üzerindeki İyileştirmeler.....	120
6.6.3. Çelik Üzerindeki İyileştirmeler	123
6.6.4. Ekolojik GFRC Panel Tasarımları	125
6.6.5. Eko- Çelik Karkaslı Panel.....	125
6.6.6. Eko- Isı Yalıtımlı Panel	125
6.7. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ SINANMASI.....	126
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	129
7.1. SONUÇLAR.....	129
7.2. ÖNERİLER	132
8. KAYNAKLAR.....	134
9. EKLER.....	153

9.1. EK 1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (YDED) MODELLERİNİN KIYASLANMASI [69].	153
9.2. EK 2 SIMAPRO PROGRAMI ÇELİK KARKASLI PANEL YDD EKRAN GÖRÜNTÜSÜ	154
9.3. EK 3 ÇELİK KARKASLI PANELİ BİRARAYA GETİREN PROSESLER	155
9.4. EK 4 KABUK BETONU BİRARAYA GETİREN MALZEMELER VE ULAŞIM MİKTARLARI VE MESAFELERİNİN GİRİLDİĞİ SIMAPRO ARAYÜZÜ	156
9.5. EK 5 ÇELİK KARKASLI PANELİN ATIK SENARYOSUNUN SIMAPRO ARA YÜZÜ	157
9.6. EK 6 SIMAPRO EKRAN GÖRÜNTÜSÜ ÇELİK KARKASLI PANEL AYRIŞTIRMA SENARYOSU	158
9.7. EK 7 ÇELİK KARKASLI PANELİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON SONUÇLARI.	159
9.8. EK 8. ÇELİK KARKASLI PANELİ OLUŞTURAN ANA BİLEŞENLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ	160
9.9. EK 9 ÇELİK KARKASIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ	161
9.10. EK 10 ISI YALITIMLI GFRC PANELİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ	162
9.11. EK 11 ISI YALITIMLI PANEL ÜRETİMİ NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ	163
9.12. EK 12 ÇELİK KARKASLI PANEL İLE ISI YALITIMLI PANELİ YDD'LERİNİN CML İA YÖNTEMİNE GÖRE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	164
9.13. EK 13 GALVANİZLI ÇELİĞİN ÇEVRESEL ETKİLERE NEDEN OLAN BİLEŞENLER	165
9.14. EK 14 ÇİMENTO YERINE UK VEYA YFC KULLANILMASININ KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ	166
9.15. EK 15 ÇİMENTO YERINE METAKOALIN EKLENMESİNİN KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.	167

9.16. EK 16 ÇELİK KARKASLI PANELDE ÇELİK YERİNE ALÜMİNYUM KULLANILMASI KARAKTERİZASYONU DEĞERLERİ.	168
9.17. EK 17 FOAMLU BETONDA CEM IVA VE CEM IVB KULLANILMASININ NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.	169
9.18. EK 18 ÇELİK KARKASLI PANELİN İÇİNDEKİ SİLİS KUMU YERİNE UK İKAME EDİLMESİNİN KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.....	170
9.19. EK 19 KABUK BETON KARAKTERİZASYON SONUÇLARI.....	171
9.20. EK 20 ÇELİK KARKAS ÜZERİNDE YAPILABİLECEK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARININ NORMALİZASYON VE KAREKTERİZASYON SONUÇLARI.	172
9.21. EK 21 EKO-ÇELİK KARKASLI BETON PANEL İLE ÇELİK KARKASLI PANELİN NORMALİZASYON/KARAKTERİZASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.	173
9.22. EK 22 ISI YALITIMLI PANEL İLE EKO ISI YALITIMLI PANELİN NORMALİZASYON/KARAKTERİZASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.	174
ÖZGEÇMİŞ.....	175

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tez akış şeması.....	6
Şekil 2.1. Sürdürülebilirliğin çevre, sosyal ve ekonomik ile boyutları	9
Şekil 2.2. Sürdürülebilir tasarım ve yapım için kavramsal çerçeve.....	11
Şekil 2.3. Yapı malzemelerinde yaşam döngüsüne ilişkin dönemler	16
Şekil 3.1. Yaşam döngü değerlendirmesi şeması	29
Şekil 3.2. YDD’de giren ve çıkanlar	32
Şekil 3.3. Yaşam döngü değerlendirmesi metodolojisi	36
Şekil 3.4. YDD sistem sınırları.....	37
Şekil 3.5. Envanter analizi için basitleştirilmiş prosedürler	40
Şekil 3.6. 2014 yılı sektörlere göre sera gazı salımlarının dağılımı (Milyon ton CO ₂)..	45
Şekil 3.7. Türkiye kurulu gücünün Haziran 2016 sonu itibarıyla dağılım.....	51
Şekil 4.1. Haydar Aliyev Kültür Merkezi, Bakü	57
Şekil 4.2. El spreyi ile GFRC karışımın kalıba püskürtülmesi.....	61
Şekil 4.3. Kalıba püskürtülen GFRC’nin rulolarla sıkıştırılması.....	61
Şekil 4.4. Çelik çerçeve sistem ile panel dış katmanın bağlantı detayı	62
Şekil 4.5. Çelik karkaslı panelin planı (ölçü:cm).....	64
Şekil 4.6. Çelik karkaslı panelin aksonometrik çizimi.	64
Şekil 4.7. Çelik karkaslı panelin fotoğrafı [138]	64
Şekil 4.8. Çelik karkaslı panelin beşikten mezara yaşam döngüsü	66
Şekil 4.9. Isı yalıtımlı panel plan çizimi (ölçü birimi cm’dir).	67
Şekil 4.10. Isı yalıtımlı panel aksonometrik çizimi.	67
Şekil 4.11. Isı yalıtımlı panelin görünümü	68
Şekil 4.12. Isı yalıtımlı panel GFRC kabuktan oluşturulmasından sonra içine çeliğin yerleştirilmesi.	68
Şekil 4.13. Köpük betonun donatılı GFRC kabuk panele yerleştirilmesi.....	69
Şekil 4.14. Isı yalıtımlı panelin beşikten mezara yaşam döngüsü.	70
Şekil 4.15. MDF 1 m2 kabuk panel elde etmek için kullanılan kalıpların çizimi.	78
Şekil 4.16. Sıcak daldırma galvaniz proses.	79
Şekil 4.17. Paslanmaz çelik elektrodlar ve kaynağı ve çelik karkas imalat şeması.....	79
Şekil 5.1. Çelik karkaslı panelin küresel ısınma etki ağacı (Kg CO ₂ eşiti)	88
Şekil 5.2. Isı yalıtımlı panelin küresel ısınma etki ağacı (kg CO ₂ eq).	95
Şekil 6.1. Yapı Malzemeleri Kavramsal Sürdürülebilirlik Çerçevesi	105
Şekil 6.2. Puzolan oranlarıyla yarmada çekme dayanımları	1109
Şekil 6.3. Puzolan oranlarıyla yarmada çekme dayanımları.....	110

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Kişi başı seragazı emisyon1990-2014.	10
Çizelge 2.2. CO ₂ emisyonunda en yüksek paya sahip ülkeler ve Türkiye, 2007	14
Çizelge 2.3. Yapı malzemelerinin gömülü enerjileri.	15
Çizelge 2.4. Literatür taraması.....	26
Çizelge 3.1. YDD'nin uygulama alanları.	29
Çizelge 3.2. Yaşam döngü değerlendirmesiyle ilgili ISO standartları	33
Çizelge 3.3. CML IA, zorunlu olan etki kategorilerinin parametre ve birimleri	43
Çizelge 3.4. CML IA, zorunlu olmayan etki kategorilerinin parametre ve birimleri	44
Çizelge 3.5. Türkiye'nin Elektrik enerjisinde ihracat ve ithalat değerlerinin grafiği	51
Çizelge 3.6. YDED örneğinin sınıflandırma ve karakterizasyonu	53
Çizelge 4.1. Çelik karkaslı panel karışım listesi.....	65
Çizelge 4.2. Çelik karkaslı panel ile köpük betonun teknik özellikleri	66
Çizelge 4.3. GFRC Isı Yalıtımlı Panel İçerik Listesi (1 m ²).	69
Çizelge 4.4. Çimento (CEM II/B-L 42,5R)'nun malzeme bilgi formundaki özellikler .	71
Çizelge 4.5. Cam liflerin özelliklerine göre sınıflandırılması.	73
Çizelge 4.6. Cam liflerin alkaliye dayanıklı (AR)'nin fiziksel özellikleri.....	74
Çizelge 4.7. Cam liflerin kimyasal içeriği (kg).	74
Çizelge 4.8. Silis kumu içeriği	75
Çizelge 4.9. Köpük ajanı malzemesi kimyasal içeriği.....	76
Çizelge 4.10. Panellerin ağırlık ve harcanan çelik miktarı.	79
Çizelge 5.1. Panellerin analiz ve geliştirilme şeması.....	81
Çizelge 5.2. YDD'nin sistem sınırları tanımı (X=YDD kapsamında).....	84
Çizelge 5.3. Malzeme ulaşım bilgileri.	86
Çizelge 5.4. Çelik karkaslı panelin CML baseline yöntemine göre çevresel etkilerinin normalizasyon diyagramı.	89
Çizelge 5.5. Çelik karkaslı panelin çevresel etkilerinin karakterizasyon grafiği.....	90
Çizelge 5.6. Çelik karkaslı paneli oluşturan bileşenlerin normalizasyon grafiği.	91
Çizelge 5.7. Çelik karkaslı paneli oluşturan bileşenlerin karakterizasyon grafiği.....	92
Çizelge 5.8. Çelik karkasın çevresel etkilerinin normalizasyon grafiği.	92
Çizelge 5.9. Çelik karkasın çevresel etkilerinin karakterizasyon grafiği.	93
Çizelge 5.10. Isı yalıtımlı GFRC panel çevresel etkilerinin normalizasyon grafiği.....	94
Çizelge 5.11. Isı yalıtımlı panelin karakterizasyon grafiği.....	96
Çizelge 5.12. Isı yalıtımlı panel üretiminde CML yöntemine göre normalizasyon grafiği.	96
Çizelge 5.13. Isı yalıtımlı panel üretim karakterizasyon grafiği.....	97
Çizelge 5.14. İki panelin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Normalizasyon).....	98
Çizelge 5.15. İki panelin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Karakterizasyon).	99
Çizelge 6.1. Bertaraf yöntemlerine göre belediye atık miktarı, 2014	102
Çizelge 6.2. Beton ve tuğla/kiremitin geri kazanım işlemleri ve kullanım alanları ...	103
Çizelge 6.3. Türüne göre atıkların yok edilme türleri.....	103
Çizelge 6.4. Çimento yerine UK veya YFC kullanılmasının karakterizasyon grafiği.	108
Çizelge 6.5. Çimento yerine metakoalin eklenmesinin karakterizasyon grafiği.	111
Çizelge 6.6. Çelik yerine alüminyum kul. karşılaştırmalı karakterizasyon grafiği.	112
Çizelge 6.7. Alüminyum, çelik ve paslanmaz çeliğin GWP ve asidikasyon etkileri ..	113

Çizelge 6.8. Isı yalıtımlı panelde CEM IV A ve B kullanılması karakterizasyon grafiği.	114
Çizelge 6.9. Silis kumu yerine UK ikame edilmesi.	115
Çizelge 6.10. Kabuk betondaki iyileştirme önerileri çevresel etki karşılaştırması normalizasyon grafiği.	121
Çizelge 6.11. Kabuk betondaki iyileştirme önerileri çevresel etki karşılaştırması karakterizasyon grafiği.	122
Çizelge 6.12. Çelik karkas üzerinde yapılabilecek iyileştirme çalışmalarının normalizasyonunun karşılaştırılması.	124
Çizelge 6.13. Çelik karkas üzerinde yapılabilecek iyileştirme çalışmalarının karakterizasyonunun karşılaştırılması.	124
Çizelge 6.14. Eko-çelik karkaslı beton panel ile çelik karkaslı panelin normalizasyonu.	126
Çizelge 6.15. Eko-çelik karkaslı beton panel ile çelik karkaslı panelin karakterizasyonu.	127
Çizelge 6.16. Isı yalıtımlı panel ile eko ısı yalıtımlı panelin normalizasyon sonuçları.	128
Çizelge 6.17. Isı yalıtımlı panel ile eko ısı yalıtımlı panelin karakterizasyon sonuçları.	128

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADPE	Kaynak tüketim oluşumu potansiyeli(fosil olmayan)
ADPF	Kaynak tüketimi oluşumu potansiyeli (fosil kaynaklardan)
AIA	Amerika mimarlar enstitüsü
ANSI	Amerikan ulusal standartlar enstitüsü
AP	Asidifikasyon potansiyeli
ASTM	Amerikan test etme ve ürünler topluluğu
BEES	Yapılar için çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik
BRE	Yapı araştırma kurumu
BREEAM	Yapı araştırma kurumu çevresel değerlendirme kurumu
CASBEE	Yapı çevresel verimliliği için kapsamlı değerlendirme sistemi
CFCs	Klor flor karbon bileşikleri
CML	Institute of environmental sciences/çevre bilimleri enstitüsü
ÇEDBİK	Çevre dostu yeşil binalar derneği
DÇKK	Dünya çevre ve kalkınma komisyonu
DGNB	Alman sürdürülebilir bina konseyi
EMO	Elektrik mühendisleri odası
EP	Ötrofikasyon potansiyeli
EPA	Çevresel koruma derneği
EP	Ötrofikasyon potansiyeli
EPD	Environmental product declaration/ çevresel ürün bildirimi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
ETKHKKY	Endüstri tesislerinden kaynaklanan hava kirliliğini kontrolü yönetmeliği
HT	İnsan zehirlenmesi
GFRC	Cam elyaf takviyeli beton
GRI	Global reporting initiative
GRCA	Uluslararası cam elyaf takviyeli beton birliği
GWP	Küresel ısınma potansiyeli
ISO	Uluslararası standardizasyon örgütü
IUCN	Dünya doğayı koruma birliği
IPCC	Hükümetlerarası iklim değişikliği paneli
FCS	Orman yönetim konseyi
FWAE	Tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi
LEED	Enerji ve çevre tasarımında liderlik
MAE	Tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesi
MDF	Orta yoğunluğa sahip lif levha
MSDS	Malzeme güvenlik bilgi formu
NO _x	Azot oksit
ODP	Ozon incelme potansiyeli
POCP	Fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli
PVC	Polivinil klorür
SETAC	Çevresel zehir ve kimya derneği

SD	Silis dumanı
SimaPro	Ürünlerin bütünleşmiş çevresel değerlendirme sistemi
TE	Karasal zehirlenme
TMMOB	Türkiye mimarlar ve mühendisler odaları birliği
TSE	Türk standartları enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye bilimsel ve teknik araştırma kurumu
UK	Uçucu kül
UNEP	Birleşmiş milletler çevre programı
USGBC	Birleşik devletler yeşil yapı konseyi
VOCs	Uçucu organik bileşikler
YDD	Yaşam döngüsü değerlendirmesi
YDE	Yaşam döngüsü envanteri
YDEA	Yaşam döngü etki değerlendirmesi
YDM	Yaşam döngüsü maliyeti
YDY	Yaşam döngüsü yönetimi
YFC	Yüksek fırın cürufu

ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GFRC) CEPHE PANELLERİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD) YÖNTEMİYLE BİR SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ GELİŞTİRİLMESİ

Nuray BENLİ YILDIZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinlerarası Kompozit Malzeme

Teknolojileri Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hakan ARSLAN

Aralık 2017, 174 sayfa

İnşaat sektörü, dünya hammadde kaynak tüketiminin ve küresel ısınmanın yaklaşık %40'ından sorumludur. Ürün ve hizmetlerin çevresel etkilerinin tespiti ve azaltılabilmesi için “Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD)” yöntemi geliştirilmiştir. YDD bir ürünün malzemelerinin çıkartılması, kullanımı ve bertaraf edilmesine kadar olan sürecin farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini tespit edilmesi için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu tez kapsamında cam elyaf takviyeli beton (GFRC) cephe panellerinden çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı panellerin; YDD yönteminde "beşikten kapıya opsiyonlu" olarak adlandırılan bu süreç zarfında, panellerin çevresel sürdürülebilirlik performansları, CML (Center of Environmental Science of Leiden University) yöntemiyle ortaya konmuştur. Küresel ısınma etki ağaç diyagramları kullanılarak, ürünleri sürdürülebilirlik açısından en olumsuz etkileyen malzeme ve süreçler tespit edilmiştir. Bu noktalarda, panellerin optimizasyon potansiyellerinin geliştirilmesi için literatürde araştırmalar yapılmıştır. Gereken noktalarda yapılan değişikliklerle, ekolojik ürün alternatifleri geliştirilmiş ve YDD yazılımında modellenmiştir. Bu ürünler eko-çelik karkaslı ve eko-ısı yalıtımlı panel olarak isimlendirilerek, ilk ürünlerle çevresel açıdan YDD yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlarda ekolojik ürün olarak adlandırılan ürünlerde, ilk ürünlere kıyasla farklı etki kategorilerinde sürdürülebilirlik performansında % 10-70 arasında gelişme kaydedilmiştir. Cam elyaf takviyeli beton (GFRC) cephe panellerinin YDD'leri baz alınarak, yapı malzemeleri için bir kavramsal sürdürülebilirlik çerçevesi oluşturulmuştur. Sürdürülebilir malzeme veri tabanı oluşturulmasında faydalı olacağı düşünülen bu çerçeve, sürdürülebilir bina üretiminde de sürdürülebilir yapı malzemesi kullanımı olanağı sunmaktadır.

Anahtar sözcükler: Cam Elyaf Takviyeli Beton (GFRC) Cephe Paneli, Kavramsal Sürdürülebilirlik Çerçevesi, Sürdürülebilir Yapı Malzemesi, Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD)

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A SUSTAINABILITY FRAMEWORK FOR GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE (GFRC) FACADE PANELS WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

Nuray BENLİ YILDIZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences,

Department of Composite Material Technologies

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ARSLAN

December 2017, 174 pages

The construction sector is responsible from 40% of global raw resource consumption and global warming. A "Life Cycle Assessment" (YDD) method has been developed to detect and reduce the environmental impacts of products and services. For this reason, it is important to identify and analyze the environmental impact of the sector. LCA is a method of analysis used to determine the environmental impacts of different stages of the process of removing, using, and disposing of a product's material. Within the scope of this thesis, glass fiber reinforced concrete (GFRC) facade panels with steel carcass and heat insulated panels; During the process called "cradle-to-cradle option" in the LCA method, the environmental sustainability performances of the panels are revealed by the CML(Center of Environmental Science of Leiden University) method. By using global warming effect tree diagrams, the materials and processes that have the most negative effects on the sustainability of the products have been identified. With the changes made to the required points, ecological product alternatives have been developed and modeled in YDD software. These products are named as eco-steel carcass and eco-heat insulated panels and compared with the first products in terms of environment in terms of YDD method. Sustainability performance has improved by 10-70% in the different impact categories compared to the first products in the products called ecological products. Based on the LCA of glass fiber reinforced concrete facade panels, sustainability conceptual framework established for building materials. This framework, which will be useful in creating a sustainable material database, also refers to the sustainable building.

Keywords: Conceptual sustainability framework, Glass fiber reinforced concrete (GFRC) facade panel, Life Cycle Assesment (LCA), Sustainable building material.

EXTENDED ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A SUSTAINABILITY FRAMEWORK FOR GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE (GFRC) FACADE PANELS WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

Nuray BENLİ YILDIZ
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Composite Material Technologies
Doctoral Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ARSLAN
December 2017, 175 pages

1. INTRODUCTION

In the first part, the significance of the subject, the aims of the thesis, the methods to be used are explained. Approaches involving proposed innovations are presented in a thesis flow diagram.

2. THEORETICAL FRAMEWORK AND RESOURCE RESEARCH

Sustainability, sustainable architecture, sustainable building and sustainable building material concepts are defined. In addition, environmental factors affecting product sustainability and the literature related to the topic have been included. At the end of chapter, literature are summarized in tabular form.

3. LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD

The definition of the life cycle assessment method is made. The strengths and weaknesses of life cycle assessment have been revealed. The historical process of life cycle assessment has been mentioned. Under the heading environmental product labels, environmental product declaration and product category rules are included. The definitions of objective scope definition, life cycle inventory analysis, lifecycle impact assessment and interpretation stages of life cycle assessment are given. The CML method

and impact categories belonging to CML are explained from the life cycle impact evaluations.

4. INVESTIGATION OF GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE PANELS

The fiber reinforced concrete facade panels examined in the scope of the thesis are described, information about the materials they contain and production processes are given.

5. INVESTIGATION OF GLASS FIBER REINFORCED FACADE PANELS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT

Glass fiber reinforced facade panels were analyzed by life cycle assessment method. The steel framed and heat insulated panels are compared in terms of environmental impacts and sustainability performances.

6. DEVELOPMENT OF SUSTAINABILITY FRAMEWORK

A conceptual sustainability framework was established. In the conceptual framework, sustainability performance is determined according to ISO 14040 and 14044 by the building material life cycle assessment and life cycle impact assessment method. Hot points of production processes are determined by the life cycle assessment method. The improvements that could be made to increase the sustainability of glass fiber reinforced facade panels were determined by literature research. For the given products obtained in this direction, the optimization options in the LCA program are remodeled. At the last stage, the most positive materials were brought together and suggestions were made to put forward a new product and this product was retested.

7. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The results obtained in the thesis have been evaluated and suggestions have been made for future studies. The outcomes of using conceptual sustainability framework have been proposed on sustainable material, sustainable building and sustainable built environment.

1. GİRİŞ

Dünyadaki ekolojik dengenin bozulmasının sektörel bazda etkileri incelendiğinde, inşaat sektörü, küresel ısınmaya sebep olan karbondioksit (CO₂) gazı üretiminin %40'ından; su kullanımının %12'sinden, atıkların %65'inde ve elektrik tüketiminin ise %71'inden sorumlu tutulmaktadır [1]. Bu veriler inşaat sektörünü, kaynak tüketimi ve çevresel zarar bağlamında diğer sektörler arasında ilk sıraya yerleştirmektedir. Bu çerçevede, binaların kaynak kullanımının ve çevresel etkilerinin azaltılması önemli bir hale gelmiş ve "sürdürülebilir bina", "çevreye duyarlı" ya da güncel tanımıyla "yeşil bina" kavramları ortaya çıkmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı "bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak" olarak tanımlanmaktadır [2],[3]. Dünyada "sürdürülebilirlik" kavramı 1960'lardan beri gündemde olmasına rağmen "sürdürülebilir bina" ve onun alt bileşeni olan "sürdürülebilir yapı malzemesi" kavramları son on yılda daha sık gündeme gelmeye başlamıştır [4].

Sürdürülebilir kalkınma söz konusu olduğunda inşaat sektörü, yüksek enerji ve kaynak tüketiminin yanı sıra yüksek oranlarda atık ve sera gazı oluşumuna sebep olmaktadır [5],[6]. İnşaatlar, küresel ölçekte doğal kaynak tüketiminin %24'ünden sorumludur [7]. Hammadde çıkarılması kaynak tüketimiyle birlikte arazilerin zarar görmesine, ekosistemin bozulmasına, toprağın, havanın ve suyun zehirlenmesine yol açmaktadır [8].

İnşaat malzemeleri için hammadde çıkarılması, fabrikada işlenmesi, inşaat alanında yerine takılması ve nakliye edilmeleri sırasında ortaya çıkan emisyon miktarı, toplam havaya verilen emisyonların %86'sını oluşturmaktadır [9], [10]. Bunlara ek olarak inşaat ve yıkım süreçlerinde oluşan atıklar da, şehirlerde oluşan çöp miktarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Avrupa Birliği'nde yapılan araştırmalar, inşaatların, binaların yaşam döngüleri boyunca inşaa edilme, kullanım, bakım ve yıkım aşamaları toplam enerji kullanımının %50'sinden, karbondioksit gazı oluşumunun ise yine neredeyse %50'sinden sorumlu olduğunu raporlamıştır [11]. İnşaat sektörü, çok sayıda vasıflı-vasıfsız işçiye iş ve gelir

sağladığı için, tüm diğer ekonomik sektörleri etkilemektedir. Bu nedenle inşaat sektörü, pek çok ülkede bir ekonomik kalkınma faktörü olarak görülmektedir [12].

Ülkemiz, enerjisinin %75'ini diğer ülkelerden ithal etmektedir. Türkiye'deki binaların enerji verimliliğini arttırarak cari açığın %20'sinin kapatılabileceği, enerji açısından dışa bağımlılığın ise %30'lara kadar indirilebileceği bildirilmektedir [13].

Dünyadaki kaynakların kısıtlı olması ve hızla tükenmesi inşaat sektöründe faaliyet gösteren tasarım, mimarlık, peyzaj mimarlığı uygulayıcı ve malzeme üreticisi firmaların gittikçe artan bir oranda sürdürülebilirlik konusuna olan ilgisini arttırmaktadır. Binaların tasarımı, üretimi, kullanım ve söküm-yıkım süreçlerinde çevrelere verdikleri olumsuz etkilerin belirlenebilmesi, ölçülebilmeleri ve sonrasında azaltılabilmesi için Yaşam Döngü Değerlendirmesi, Karbon Ayakizi Analizi ve Eko Etiketleme gibi bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu bağlamda, Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD), 'ürünleri ve süreçleri tüm yaşamları boyunca değerlendiren, çevresel etkilerini net sonuçlarla ifade eden bilimsel bir yöntem' olarak öne çıkmaktadır.

YDD, bir yapı malzemesi ve binanın üretiminde hammaddenin çıkarılması, üretimi, dağıtımı, kullanımı ve bertarafı sürecinde, sistemdeki malzeme, enerji akışını ve çevresel etkileri tespit etmek için kullanılır [14].

Dünya'da yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinin ölçülmesi ve değerlendirmesinde çevresel etkilerini oransal olarak tanımlayan ve bu bağlamda niteleyen sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler, ürünlerin yaşam döngü değerlendirmesi süreçlerini baz almakta olup, ürünlerin sürdürülebilirliğinin test edilmesi ve kategorilere ayrılmasını sağlamaktadırlar [15].

Binalar insanların sosyal ve fiziksel ihtiyaçlarını karşılarken yapım, kullanım, söküm ve yeniden kullanım aşamalarında çeşitli çevresel etkilere ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu süreç yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan hammaddenin çıkarılmasıyla başlamakta olup, hammaddelerin üretim alanına nakliyesi, fabrikada ürünün imal edilmesi, inşaat alanına nakliyesi, yerine takılması, kullanımı, bakım-onarımı, bertaraf edilmesi ve yeniden kullanımına kadar olan pek çok aşamayı da kapsamaktadır [16].

Bina kabukları, bina ile dış ortam arasındaki ilişkiyi kuran ara yüzlerdir. Gelişmiş teknolojiler kullanılarak oluşturulan cepheler, aynı zamanda binanın mimari dilini

tanımlamakta ve prestij ögesi olarak sembolik performansını belirlemektedir [17]. YDD'nin inşaat malzemeleri, bina cepheleri, binalar ve bina atıkları konusunda gerekli olduğu pek çok çalışmada görülmüştür [18].

Beton, alt ve üst yapılarda olmak üzere binalar, barajlar, köprülere kadar pek çok farklı alanda kullanılabilen bir inşaat malzemesidir. Betonun yıllık tüketimi yaklaşık 6.5 milyar ton olup, sudan sonra insanlar tarafından en çok tüketilen ikinci malzeme haline gelmiştir [10].

Doğal kaynakların azalması, hızlı nüfus artışı, köylerden, doğu illerinden ve komşu ülkelerden büyük şehirlere olan göç miktarlarındaki artış, hızlı sanayileşme, tüketim miktarlarındaki artış gibi sebeplerden dolayı çevre kirliliği Türkiye'de hızla artmaktadır. Nüfus artışının sonucu olarak yapılaşma kaçınılmaz hale gelmektedir. Şehirlerimizde sürdürülebilir kentleşme politikaları izlenmemektedir [19].

Türkiye'de yapıların %90'ı betonarme olarak üretilmektedir. Betonda bağlayıcı özellik gösteren çimento ise Dünyadaki CO₂ emisyonlarının %5'inden sorumludur. 1 ton çimento üretiminde 240 gr kadar SO₂ ve 6 kg'ın üzerinde azot oksit atmosfere salınmaktadır [20]. Türkiye yıllık çimento üretimi 71,3 milyon tonla Dünya'da 5. sırada bulunmaktadır [21].

Betonarme inşaatta çelik donatı yerine zamanla farklı lifler kullanılmaya başlanmıştır. Çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam lifler en çok kullanılan lifler arasındadır. Bu lifli betonlarla daha ince ve daha mukavemetli betonlar elde etmek mümkündür.

GFRC cephe panelleri yoğun çimento kullanılan cephe malzemeleridir. GFRC paneller form serbestliği, dayanımı ve estetik görünümü sebebiyle son yıllarda hem ülkemizde hem de dünyada sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

1.1. AMAÇ

Son yıllarda Dünya'da meydana gelen inşaat temelli çevresel etkiler, insanları, "sürdürülebilir bina" ve "sürdürülebilir yapı malzemesi" tanımı kapsamında havaya, suya ve toprağa daha az zarar veren, daha az enerji harcayan binalar ve yapı malzemeleri

retmeye zorlamaktadır. Ancak, ekolojik açıdan daha faydalı ürünler elde etmek için mevcut malzemelerin etkilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu alışmada “Yapı malzemelerinin çevresel etkileri, YDD yöntemiyle tespit edilerek, çevresel etkileri en olumsuz olan malzeme ve süreçlere müdahale edilmek suretiyle sürdürülebilirlik performansları artabilecektir” hipotezi ortaya konmuştur. Bu savı ispat etmek amacıyla GFRC cephe panellerinden elik karkaslı ve ısı yalıtımlı panel örnek olarak seçilmiştir.

Bu paneller çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik performansları açılarından YDD yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, iki cephe panelinin temiz üretim kapasitesinin arttırılması ve sürdürülebilirlik niteliğinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Sistem sınırları olarak “beşikten kapıya opsiyonlu” değerlendirme yöntemi olarak YDD seçilmiş, çevresel etkilerinin hesaplanmasında ISO standartlarına (14040, 14044, 14047, 14048, 14049, 14067) ve EN 15804 uygunluk esas alınmıştır.

Tez alışması kapsamında yapı sektöründe kullanılan GFRC cephe panellerinin iki farklı türü olan “elik karkaslı panel” ve “ısı yalıtımlı panel” seçilmiş ve çevresel performansları ortaya konmuştur. Sonrasında ise sürdürülebilirlik performanslarının iyileştirilmesi ve yapılabilecek olan değişiklikler için ön araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları YDD programı aracılığıyla yeniden modellenmiştir. Modelleme sonucuna göre en iyi sonucu veren malzeme ve oranları bir araya getirilerek, daha ekolojik ürün tasarımları için önerilerde bulunulmuştur. Bu bağlamda tezin amaçları;

- Özel retim olan GFRC Cephe Panellerinde yaşam dnę değerlendirmesinin çalışmasını bir yazılımla modellemek,
- YDD yöntemiyle ilgili yapı malzemelerinin çevresel etkilerini tespit etmek,
- Çevreye hangi malzeme ve süreçlerin daha çok zarar verdiğini belirlemek,
- Yapılan tespitlere göre sürdürülebilirlik performanslarını iyileştirme seçeneklerini belirlemek ve bu seçeneklerin bir araya getirilerek modellenmesi ile daha ekolojik GFRC cephe panelleri elde etmek,
- Elde edilen ekolojik panellerle mevcut paneller, çevresel performansları açısından karşılaştırılmalı olarak analiz etmektir.
- Bu süreçlerin izlenmesiyle yaşam dnę değerlendirmesi yöntemi kullanılarak sürdürülebilir malzeme geliştirilme ervesi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

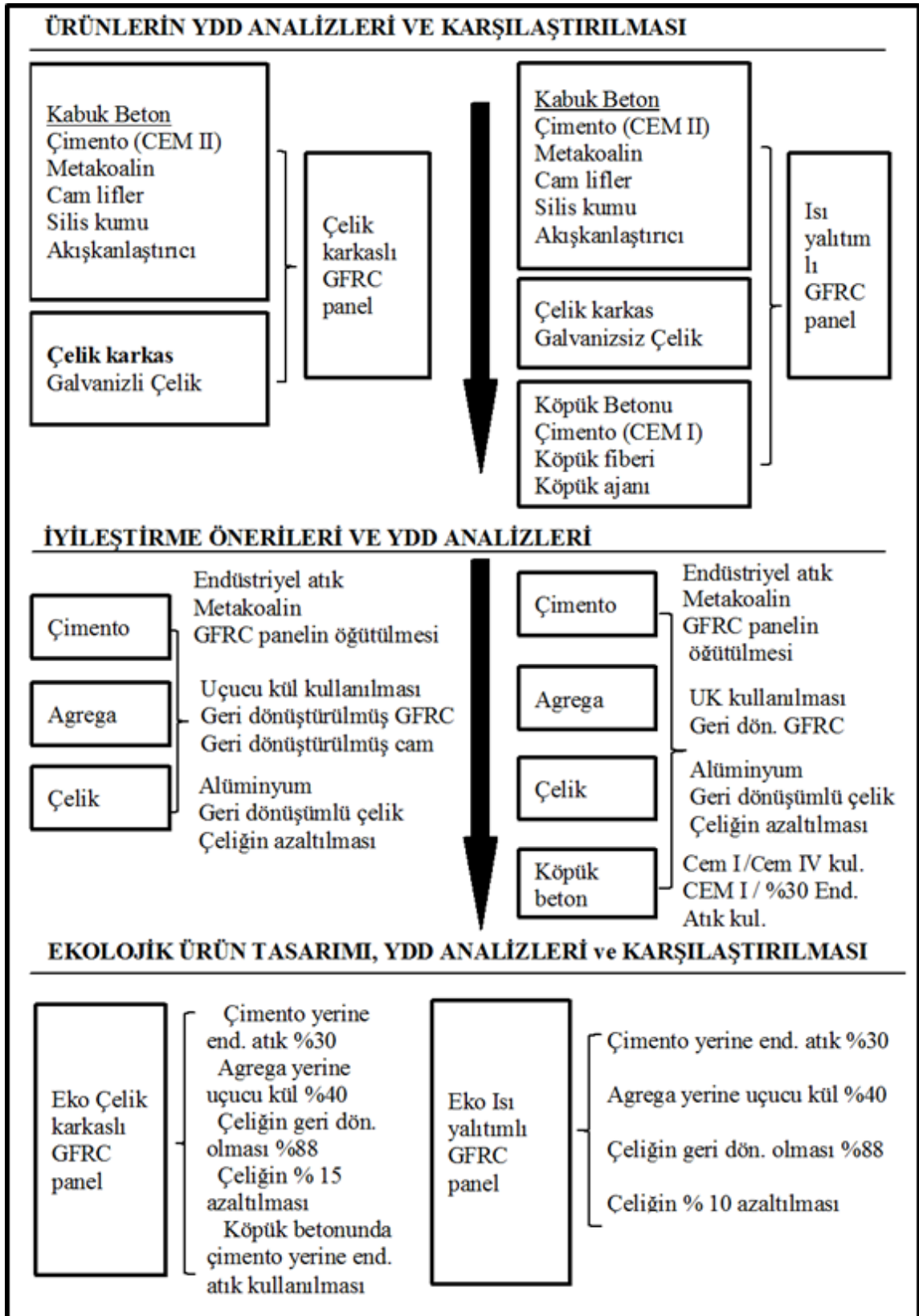
1.2. KAPSAM

Tez kapsamında ele alınan konunun yenilikçi yönleri;

- Türkiye ve Dünya’da GFRC panellere ait kesin YDD çalışması olarak bir ilk olması,
- YDD analizi ve karşılaştırmasıyla sınırlı olmayıp, ekolojik ürün tasarımı ile sonlandırılması,
- % 90 oranında fabrikadan alınan birincil verilere dayalı olarak yapılan YDD çalışmasının gerçeğe en yakın oranda sağlanmasıdır.

Tez kapsamında oluşturulan akış şeması Şekil 1.1’de özetlenmiştir. Akış şemasında seçilen iki panel “çelik karkaslı panel” ve “ısı yalıtımlı panel” üç aşamadan geçirilmiştir. Bu aşamalardan ilki panellerin mevcut durumlarının YDD yöntemiyle analiz edilmesi ve karşılaştırılmasıdır. İkinci aşama ise yapılacak iyileştirmelerin araştırılması ve sınanmasıdır. Üçüncü ve son aşama ise daha ekolojik malzemelerin birleştirilmek suretiyle biraraya getirildiği ekolojik ürünün, YDD yöntemiyle tekrar sınanmasından oluşmaktadır.





Şekil 1.1. Tez akış şeması.

Tez altı bölümden oluşmakta olup, birinci bölümde konunun önemi, tezin amaçları, kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Önerilen yenilikleri içeren yaklaşımlar tez akış şemasıyla sunulmuştur.

İkinci bölümde, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir yapı malzemesi kavramları tanımlanmıştır. Ayrıca ürün sürdürülebilirliğini etkileyen çevresel etkenler ve konuyla ilgili literatür taramasına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, YDD yönteminin tanımı yapılmış, süreçleri ve kapsamı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında incelenen GFRC cephe panellerinin teknik özellikleri tanıtılarak, içerdikleri malzemeler ve üretim süreçlerine ilişkin bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde, GFRC Cephe Panellerinin YDD yöntemiyle analizleri yapılmıştır. Çelik karkaslı ile ısı yalıtımlı paneller çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik performansları açısından karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde, cam elyaf takviyeli cephe panellerinin sürdürülebilirliğini arttırmak için yapılabilecek olan iyileştirmeler literatür taramasıyla tespit edilmiştir. Bu doğrultuda elde edilen verilerle ürünler için yeniden YDD programında iyileştirme seçenekleri modellenmiştir. Modelleme sonucunda ise çevresel açıdan en olumlu olan malzemeler bir araya getirilerek yeni bir ürün ortaya konulması için önerilerde bulunulmuştur. Bu ürünler yeniden YDD yöntemiyle çevresel açıdan sınanmıştır. GFRC panellerde uygulanan yöntem baz alınarak yapı malzemeleri için bir “kavramsal sürdürülebilirlik çerçevesi” oluşturulmuştur. Sözü geçen çerçevenin kullanılmasıyla oluşturulan yapı malzemelerinin daha sürdürülebilir olduğu tespit edilmiştir.

Yedinci ve son bölümde tezde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, ileride yapılabilecek olan çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Tezin eklerinde ise, YDD yazılımının ekran görüntüleri, iyileştirme olanaklarının YDD sonuçlarıyla karakterizasyon ve normalizasyon sonuçları detaylı tablolar halinde sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

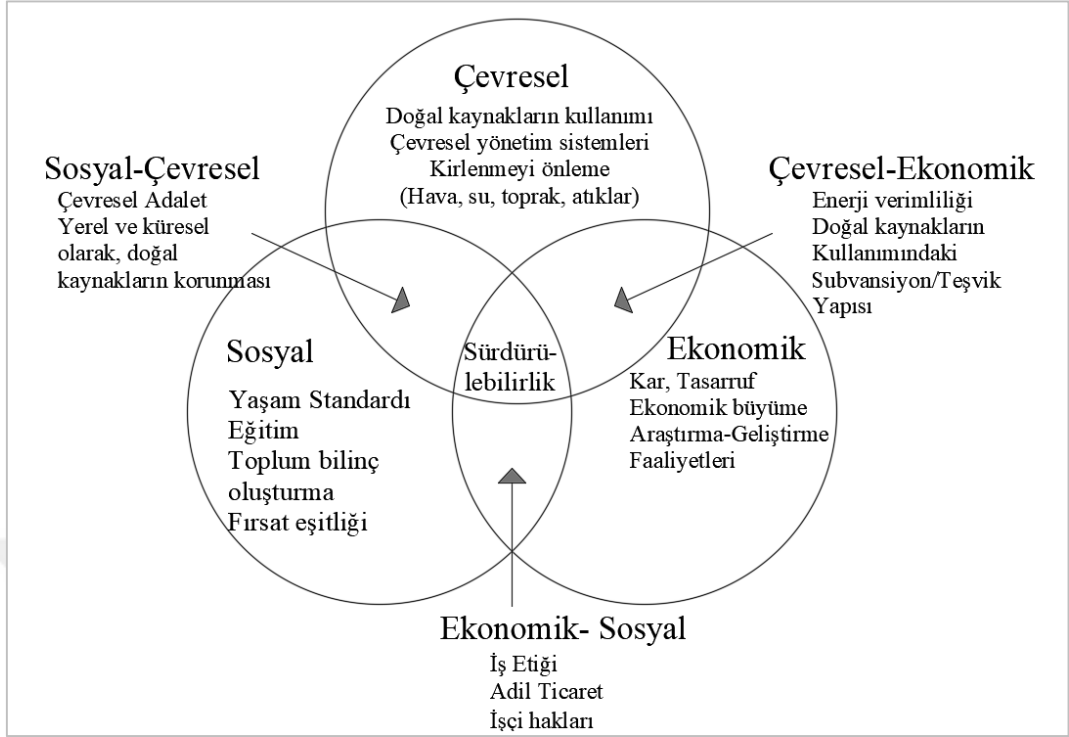
Günümüzde akademiden sanayiye pek çok alanda sürdürülebilirlik konusu ilgi çekmekte ve tartışılmaktadır. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Komisyonu tarafından oluşturulan sürdürülebilirlik göstergeleri (sosyal göstergeler, ekonomik göstergeler, kurumsal göstergeler ve çevresel göstergeler) ile sürdürülebilir toplumun ilkeleri açıklanmıştır [22]. Zamanla sürdürülebilir kalkınma artık ülkesel ya da bölgesel bir hedef olmanın yanı sıra, daha alt ölçeklerde de uygulanabilen bir kavram haline gelmiştir [23].

Tez kapsamında ele alınacak olan kuramsal temeller bölümünde sürdürülebilirlik, sürdürülebilir mimarlık, sürdürülebilir bina ve sürdürülebilir yapı malzemeleri olarak detaylandırılırken daha önce yapılmış olan çalışmalar da özetlenmiştir.

2.1. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik, ilk kez 1987’de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından hazırlanan Brundtland raporunda ayrıntılı olarak ele alınmış ve “bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmıştır [2]. Sürdürülebilirliğin gerçekleşmesi için yenilenebilir doğal kaynakların tüketiminin doğanın üretebilme kapasitesini aşmaması gerekmektedir [24]. Sürdürülebilirlik sadece çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik boyutları olan bir kavramdır. Sürdürülebilirlik tüm bu boyutların kesişiminde ve ara kesitinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Sürdürülebilirlik çok boyutluluğun yanı sıra arazi kullanımından, su yönetimine, bina tasarımından politika üretimine kadar çok geniş bir yelpazeyi de kapsamaktadır [25].

Yeang; tarafından eko tasarım “Ekolojik tasarım ilkeleri ve stratejileri uyarınca yapıları çevremizi ve yaşam tarzımızı, yeryüzündeki tüm yaşam formlarını içinde barındıran biosferin yer aldığı doğal çevreyle uyumlu ve kusursuz şekilde bütünleştirmek üzere tasarlamak” olarak tanımlanmıştır. Bunlara ek olarak insan sağlığının içtiğimiz su, solduğumuz havanın yanı sıra yediğimiz ürünlerin yetiştiği toprağında kirlenmemesi gerektiğini belirtmiştir [26].

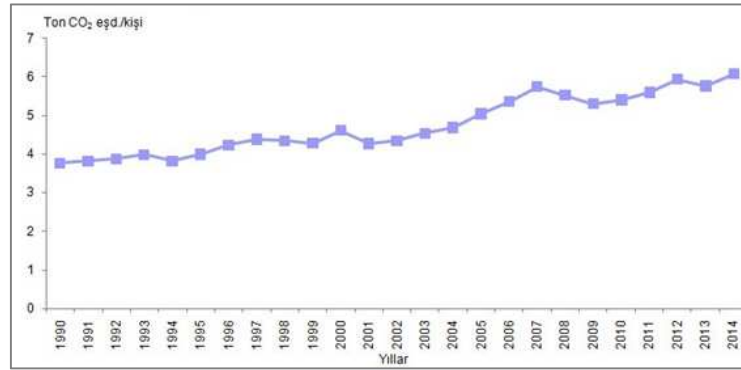


Şekil 2.1. Sürdürülebilirliğin çevre, sosyal ve ekonomik ile boyutları [27].

2007 yılında Türkiye’de kişi başına düşen tüketimin ekolojik ayak izi 2,7 kha ile kişi başına küresel ayak izinin %50 üzerinde gerçekleşmiştir (Çizelge 2.1). Bunun anlamı, Dünya’daki bütün insanların Türkiye kadar tüketimi olması durumunda kaynaklar açısından 1,5 dünya daha olacaktır. TÜİK, Türkiye’de toplam sera gazı emisyonunu 2014 yılında 467,6 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak açıklamıştır. Kişi başına düşen CO₂ salınımı miktarı ise 2014 yılı için 6,08 ton/kişi olarak beyan edilmiştir ki, bu değer 1990 yılı ortalamalarından %125 daha fazladır. Sera gazı emisyonunun CO₂ eşdeğerinde en büyük payı %72,5 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla %13,4 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %10,6 ile tarımsal faaliyetler ve %3,5 ile atıklar takip etmiştir. CO₂ salınımının, 1990-2014 yılları arasındaki artışı çizelge 2.1’de ifade edilmiştir [28].

Sürdürülebilirlik zamanla ülkesel ya da bölgesel hedef olma dışında farklı ve daha alt ölçeklerde de uygulanabilen bir kavram haline gelmiştir [23]. Sürdürülebilirliğin alt unsurları olarak sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir yapı malzemesi kavramları tanımlanmıştır.

Çizelge 2.1. Kişi başı seragazı emisyon 1990-2014 [28].



Sürdürülebilirliği etkileyen ve belirleyen sektörel unsurlar mimarlık alanında “Sürdürülebilir Mimarlık” adı altında kavramlaştırılmış ve yine alt sektörel unsurlar olarak “Sürdürülebilir yapı malzemesi”, “Sürdürülebilir tasarım” kavramları da bu süreçte ortaya çıkmıştır.

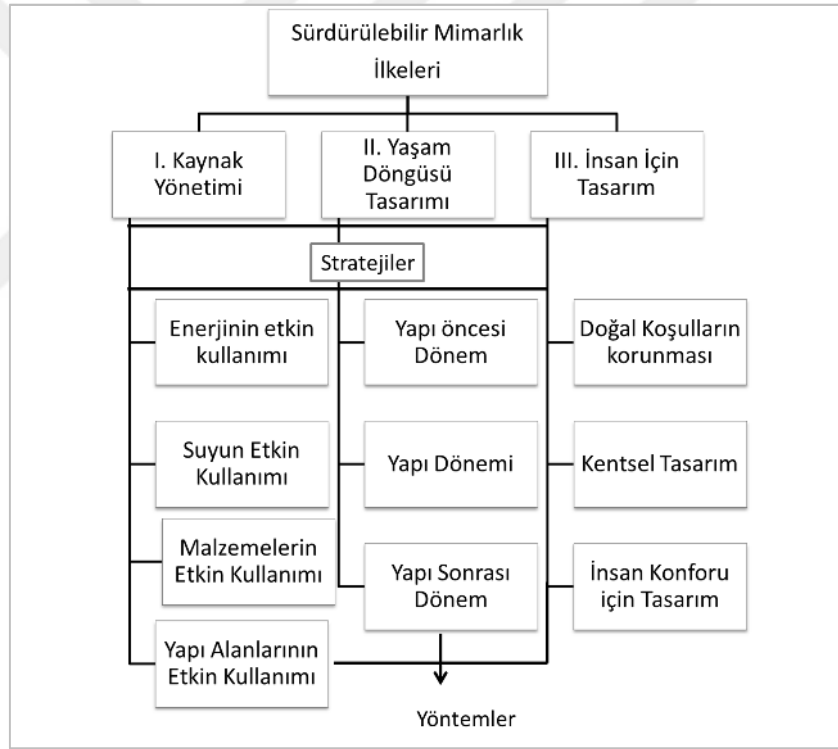
2.2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK

Binalar, insanların fiziksel (dinlenme, barınma), sosyal (çalışma, eğitim gibi kamu hizmeti alma, biraraya gelme) ve tinsel (ibadet etme) gibi ihtiyaçlarını karşılamak için inşa edilmektedir. Kaynak kullanımının ve teknolojik sınırlılıklarının olduğu tarihsel süreçlerden sonraki gelişmeler özellikle endüstri devrimiyle beraber fabrikasyon ve seri üretim tesislerinin yapılmasına neden olmuştur. Tarım işçileri yavaş yavaş sanayi işçilerine dönüşmüştür. Bu sebeple köylerden kentlere büyük oranlarda göç başlamıştır. Türkiye’de ise sanayileşme ve buna bağlı olan kırsaldan kente göç, 1950’li yıllarda artmıştır. Bu göçe bağlı olarak daha çok plansız bina üretilmiş ve sonunda imar planı olmayan birçok alanda çarpık kentleşmeye bağlı sorunlar ortaya çıkmıştır. Şehirlere göç süreci günümüzde de devam etmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu adrese dayalı nüfus verilerine dayanılarak, 2016 yılında Türkiye’deki nüfusun % 92,1’inin il ve ilçe merkezlerinde, %7,7’sinin ise kırsalda yaşadığı açıklanmıştır [29].

Dünya nüfus projeksiyonu incelendiğinde 2050 yılında 9,7 milyar, 2100 yılında ise 11,2 milyar insan olması beklenmektedir. Bu nüfusun, % 70’inin ise 2050 yılında şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir [30]. Bu süreçlerin sonucunda Dünya’nın ekolojik dengesinde bozulmaların küresel ısınma, iklim değişikliği, ötrifikasyon ve asidifikasyon gibi olumsuz etkilere sebep olması beklenmektedir.

Bu noktada sürdürülebilir mimarlık canlı organizmalar ve inorganik öğelerden oluşan küresel ekosistemin varlığını sürdürmesini sağlayacak çözümler üretmeyi amaçlayan bir yaklaşım sağlamaktadır [31]. Bu temel yaklaşım mimarların, inşaat malzemesi tasarlayanların ve yapımcıların faydalanabileceği, sürdürülebilirlik açısından geliştirilmiş olan bir çerçeve de sunmaktadır.

Sürdürülebilir Mimarlığın en önemli bileşenlerinden olan yapı endüstrisi küresel ölçekteki doğal hammadde akışının yaklaşık %50'sinden sorumludur. Ayrıca yapı endüstrisinden kaynaklanan atıkların oranı da bölgelere göre değişmekle birlikte %15-50 arasındadır [31]. Bu durum Sürdürülebilir Mimarlık kavramının tasarım ve uygulama boyutlarının çözüm üretme kapasitelerinin önemini de göstermektedir. Sürdürülebilir tasarım ve yapım için kavramsal çerçeve Şekil 2.2’de şematize edilmiştir [31].



Şekil 2.2. Sürdürülebilir tasarım ve yapım için kavramsal çerçeve.

2.3. SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNA

Sürdürülebilir mimarinin tasarım ve uygulamadaki izdüşümü olan sürdürülebilir binalar, hammadde kaynaklarının az tüketildiği hem yapım hem kullanım hem de bertarafı

aşamasında çevresel zararı minimize eden yapılardır. Sürdürülebilir binalar ile yüksek performanslı binaların yanı sıra iklim verilerine, araziye ve bulunduğu yöreye uyumlu olan binalar da kast edilmektedir. Çevreye duyarlılığı nedeniyle yeşil bina olarak da adlandırılan sürdürülebilir binalardaki ana amaçlardan bir tanesi de binalarda enerji kullanımının düşük tutulması ya da sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi; aynı zamanda insanların sosyal ihtiyaçlarına da cevap vermesi beklenmektedir [32].

Ülkeler yeşil bina tasarımı ve uygulamalarının daha sağlıklı ve standart olarak yapılabilmesi için teşvik edici unsur arayışına girmişlerdir. Bu kapsamda Amerika Birleşik Devletlerinde Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED), İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Kurumu (BREAM), Almanya’da Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi (DGNB), Japonya’da Yapı Çevresel Verimliliği İçin Kapsamlı Değerlendirme Sistemi (CASBEE) gibi yeşil bina sertifika sistemleri geliştirilmiştir [32]. Bu yeşil bina sertifika sistemlerinde binalar, çevresel unsurlardan başlanarak malzeme seçimine, binaların izolasyonuna, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından, ışık ve su kullanımına kadar geniş bir çerçevede değerlendirilmekte ve derecelendirilmektedir [33]. Bu çerçevede ortaya konan sürdürülebilir bina sertifika sistemleri temelde aynı felsefeye hizmet etmekle birlikte bölgesel farklılıklar ve sürdürülebilirlik kavramının genişliğine bağlı olarak geliştirilmişlerdir. Sürdürülebilir bina tasarım ve yapımının maliyeti arttıran etkileri olmasına rağmen, kullanım aşamasında bu maliyeti geri ödemesi beklenmektedir [34].

Örneğin LEED Amerika Birleşik Devletlerinin Yeşil Bina Puanlama sertifika sistemidir. Binaları; sürdürülebilir alanlar, su verimliliği, enerji ve atmosfer, malzemeler ve kaynaklar, iç mekân kalitesi, yenilik ve tasarım süreci olmak üzere altı alt kategoride inceler [1].

BREEAM; İngiltere’nin yeşil bina derecelendirme sistemidir. Binaları; bina yönetimi, enerji, su, arazi kullanımı, ekoloji, sağlık ve konfor, ulaşım, malzeme, çevre ekolojisi ve kirlilik olmak üzere dokuz alt katagoride inceler [35].

Benzer şekilde Türkiye’de Çevre Dostu Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından yürütülmekte olan yeşil bina sertifika sistemi çalışmaları Haziran 2016 tarihinde “sürdürülebilir konut sertifikası” olarak sonuçlandırılmıştır. Binalar; bütünlük yeşil proje yönetimi, arazi, su, enerji kullanımı, sağlık - konfor, malzeme - kaynak kullanımı,

konutta yaşam, işletme- bakım ve yenilikçilik olmak üzere dokuz alt başlıkta toplanmıştır [36].

2.4. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ

Sürdürülebilir binaların alt bileşeni olan sürdürülebilir yapı malzemeleri ise üretiminde tükenir kaynakların sınırlarına duyarlı ve hammaddeleri etkin kullanan malzemelerdir. Ayrıca toksik bileşen içermedikleri için insan sağlığına zararı ve iç mekân hava kalitesine olumsuz etkileri bulunmamaktadır [31].

Tüm malzemeler ekolojik bağlamda bir yaşam döngüsü içerisinde oluşmakta, yok olmakta veya yeniden oluşturulmaktadır. Bir ürünün yaşam döngüsünün aşamalarından oluşan girdiler (kaynaklar, enerji ve su) ve çıktılar (yayılımlar, atıklar ve katı atıklar) ekosistemi, dünyayı ve insan sağlığını çeşitli şekillerde ve düzeylerde etkilerler. Bu etkiler, inşaat alanlarının çevresindeki biyolojik bölgelerde ve uzak ekosistemlerde kendisini göstermektedir. “Kelebek etkisi” olarak adlandırılan olguda olduğu gibi sistemin herhangi bir noktasında yapılan bir değişiklik bütün ekosistemi etkilemektedir. Dünya nüfusunun hızla artması, tüketici alışkanlıklarının tüketim odaklı olması, enerji ve doğal kaynaklarının hızla azalması çeşitli çevresel etkilere sebep olmaktadır. Küresel ısınma, asitlenme, ozon tabakasının incilmesi, fotokimyasal duman, ötrofikasyon, ormansızlaşma, çölleşme, ekolojik zehirlilik, su kaynaklarının tükenmesi, biyolojik çeşitliliğin kaybolması gibi etkilerin genel sonucu olarak doğal yaşamın değişimi, insan sağlığının bozulması ve fosil yakıtların tükenmesi sonuçlarını oluşturmaktadır [16]. Sürdürülebilir malzemelerin alt başlıkları aşağıda verilmiştir.

Eko-ayakizi;

Tüketilen tüm enerji, su, hammadde, ürün ve hizmetleri üretmek için ihtiyaç olan kara ve denizin ölçümüne eko-ayakizi denilmektedir [37]. Aynı zamanda ülkelerin, kamu kuruluşlarının, sosyal organizasyonların ticari kuruluşların ve bireylerin doğrudan veya dolaylı olarak kullandıkları ürünlerin üretimi esnasında oluşan enerji kullanımıyla küresel ısınmaya neden olma ve sera gazı etkisini artırma yoluyla atmosfere yayılan karbondioksit salımını ifade etmektedir [24].

Ekolojik ayak izini etkileyen bir diğer faktör ise biyolojik kapasitedir. Biyolojik kapasite, o coğrafyada yenilenebilir doğal kaynakları üretme kapasitesinin göstergesi olarak ifade

edilmektedir. Ekolojik ayakizinin; karbon, tarım arazisi, orman, yapılandırılmış alan, balıkçılık sahası ve otlak ayakizi olmak üzere alt bileşenleri bulunmaktadır [38].

Dünyada karbondioksit salınımı yüksek olan ilk 9 ülke ve Türkiye kıyaslanabilmesi açısından Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Çin Halk Cumhuriyeti ve ABD'nin CO₂ emisyonu birbirine yakın olmasına rağmen Çin'in nüfusu 1,4 milyar iken ABD'nin 323 milyon olması sebebiyle kişi başına düşen CO₂ emisyonu arasında 4 kat fark bulunmaktadır. Benzer şekilde Hindistan CO₂ Emisyonunda dünyada 3. sıradayken nüfusunun 1,324 milyar olması sebebiyle listedeki kişi başına en düşük CO₂ emisyonu sıralarında yer almaktadır.

Çizelge 2.2. CO₂ Emisyonunda En Yüksek Paya Sahip Ülkeler ve Türkiye, 2007 [39].

Ülkeler	CO ₂ emisyonu (milyon ton)	Kişi başına Emisyon (ton)
Çin	6.538	4,92
ABD	6.094	19,74
Hindistan	1.610	1,38
Rusya	1.580	11,13
Japonya	1.303	10,00
Almanya	841	10,23
Kanada	590	17,91
İngiltere	546	8,97
Brezilya	368	1,94
Türkiye	304	4,17

Gömülü enerji (Embedded energy);

Yapı malzemelerinin ekolojik ayakizleri dışında doğadan çıkarılmaları, fabrikada işlenmeleri, inşaatlara naklieleri, inşaat alanında yerine yerleştirilme işlemleri, binanın kullanım ömrü boyunca yapılan bakımlar ve onarımlar ile bina ömrü tamamlandığında yıkım ve bertaraf esnasında da büyük miktarda enerji kullanılmaktadır. Tüm bu enerjilerin toplamına ise “gömülü enerji” denir [40].

Gömülü enerji miktarının azatılması ise yapı malzemesinin geri dönüşümü veya yeniden kullanımıyla mümkün olabilmektedir. Örneğin alüminyum elde edilirken çok fazla elektrik enerjisi tüketilmekte ve kullanım sırasında da fazla bakım istemektedir. Fakat bunların yanı sıra alüminyum %95 oranında geri dönüşebilen bir malzemedir. Yeniden kazanılabilir alüminyum kullanılması alüminyumun sıfırdan imal edilmesine oranla %35'e varan enerji tasarrufu sağlamaktadır [41],[42]. Tekrar tekrar geri dönüştürülerek gömülü enerjisini düşürmek mümkündür. Bazı yapı malzemelerindeki gömülü enerji miktarları Çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Yapı malzemelerinin gömülü enerjileri [43].

Malzeme	Gömülü enerji	
	Mj/kg	Mj/m ³
Alüminyum	227.00	515700
Çelik	32.00	251200
Tuğla	2,50	5170
Prekast beton	2,00	2780
Kereste	2,50	1380

Yerel malzeme;

Yapı malzemesi elde edilirken gömülü enerjilerinin azaltılabilmesi amacıyla yeni süreçlere ve enerji kullanımlarına ihtiyaç duyulabilmektedir. Tüm bu süreçlerden kaçınarak binalarda “yerel malzeme” olarak adlandırılan malzemeler tercih edilebilir.

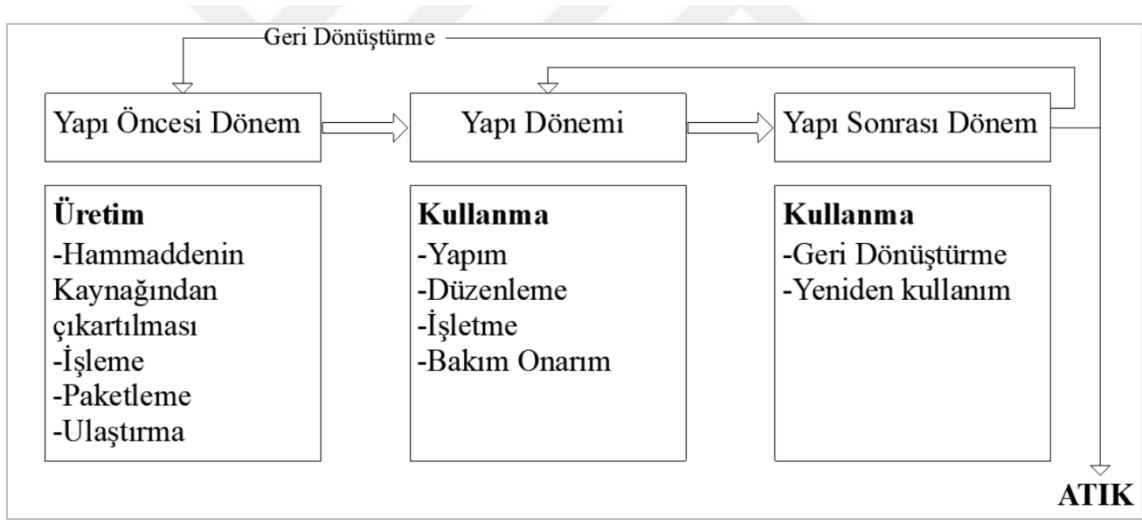
Yerel malzeme; ürün, ara ürün ve hammaddelerin yakın çevreden çıkartılması, işlenmesi, toplanması ve üretilmesini sağlayan malzemeye verilen isimdir. Yerel malzeme kullanımı, ulaşım kaynaklı negatif çevresel etkileri ve karbon salınımını asgari düzeylere çekebilmektedir. Yerel malzeme kullanılması aynı zamanda yerel ekonomiye de katkı sağlamaktadır [44].

Tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım;

Yapı malzemelerinde gömülü enerjiyi azaltmanın bir diğer yolu ise “tekrar kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım”dır. Binaların kullanım ömürlerinin bitmesi ile yerlerinden

sökülmesi ve atıklarının ayrıştırılıp atık alanlarına taşınması söz konusu olmaktadır. Yapı elemanlarından bazıları basit tadilat ve onarımla yeniden kullanılabilirken, bir kısmı geri kazanılabilmekte veya bazı işlemlerden geçirilerek geri dönüştürülebilmektedir. Yapının; yapı öncesi, yapı dönemi ve yapı sonrası dönemlerinin geri dönüşümle ilişkisi Şekil 2.3'te ifade edilmiştir.

Ayrıştırılan atıklar bertaraf edilecekleri alanlarda düzenli olarak istiflenmelidir. Bir binanın molozlarının kapladığı hacim, binanın kapladığı hacmin 3 katına eşdeğerdir. Bu hacmi azaltmak için özellikle mali değeri yüksek olan inşaat malzemeleri inşaat alanında ayrıştırılır. Bunlara en iyi örnek inşaat atıklarından çıkartılan demir ve çeliklerin yeniden ergitilerek kullanılmasıdır [45]. Beton da son yıllarda öğütücülerden geçirilerek, taşıyıcı olmayan beton kullanımlarında çimento veya agrega yerine kullanılabilir [46]. Benzer şekilde eski asfaltlar yerinden çıkartılarak yeniden eritilerek, yeni asfalt yapımında kullanılmaktadır [47].



Şekil 2.3.Yapı malzemelerinde yaşam döngüsüne ilişkin dönemler [31].

Basit tadilat ve onarımla bazı yapı elemanlarının tekrar kullanılması söz konusu olabilmektedir. Faydalı ömrünü tamamlayan ürünlerin, yerinden çıkartılarak bakım ve onarım yapılarak yeniden kullanılması “yeniden kullanım” olarak tanımlanmaktadır [48]. Yıkılacak olan binalardaki kapı kanatlarının yerinden çıkartılarak, boyanarak yeniden başka bina da kullanılması örnek olarak verilebilir. Kullanım dışı kalan binalardan çıkan molozlardan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin seçilerek çeşitli geri dönüşüm

yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasına ise “geri dönüşüm” denilmektedir [45].

Yenilenebilir malzemeler;

Yenilenebilir malzemeler, biyolojik olarak parçalanan, genelde kolay alev alan ve içerisinde karbonu hapseden organik yapıya sahip malzemelerdir. Yenilenebilir malzemeler saman, kerpiç gibi bitkisel kaynakları ve ahşabı içerir. Bu malzemelerin avantajları, kullanım sırasında bakım masraflarının düşük olması, enerjiyi koruması, iç mekân hava kalitesini yükseltmesi, tasarım esnekliği, mekânsal değişimlerdeki kolaylık ve en önemlisi kısa sürede yetişmesi olarak sayılabilir. Bitkisel esaslı yenilenebilir malzemelere örnek; bambu, kereste, kenevir, saman, kireç harcı, buğday çalıları ve diğerleri olarak sayılabilir [49]. Günümüzde bambu hem kıyafetlerde hem de lavabo gibi çok su gören yerlerde bile kullanılabilir. Bambu 3-4 yıl içinde büyürken, mısır, buğday gibi malzemeler yıllık olarak üretilmektedir.

Sertifikalı Ahşap;

Kâr amacı gütmeyen, üyelik tabanına dayalı uluslararası bir kuruluş olan Orman Yönetim Konseyi (FSC Forest Stewardship Council) 1993 yılında kurulmuştur. FSC karbon tutmaya yarayan ormanları korumak; orman biyolojik çeşitliliğini, orman türlerini, su havzalarını korumak, bu sayede su kalitesi ve miktarından ödün vermeyerek “insanların biyosistemden elde edebilecekleri faydaları” en üst düzeyde tutmayı hedeflemektedir [50]. Bu amacı yerine getirmek için ormanların kontrollü olarak üretilip, kesilmesi ve kesilen ağaçların yerine yenilerinin dikilmesi yöntemi kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen kereste veya kereste dışı orman ürünlerine de yeşil sertifika ölçütlerinden biri olarak sayılabilecek olan FSC belgesi verilmektedir [51].

İç Mekân Hava Kalitesi;

Sürdürülebilirliğin bir ölçütü de iç mekân kalitesidir. İç mekân kalitesini; termal konfor, mekânın yeterli ışık alması ve az toz içermesi gibi unsurlar belirler. İç mekân hava kalitesinin içinde yaşayan insanların sağlık, konfor ve performansını olumsuz yönde etkilememesi beklenmektedir [52].

Uçucu Organik Bileşenler;

Uçucu Organik Bileşenler normal şartlar altında havaya buharlaşan uçucu organik kimyasal bileşenlerdir. İç mekânlarda VOC (Volatile Organic Compound) bulunma oranı dış mekâna oranla 2-5 katı arasında değişmektedir. Bunun sebebi iç mekânda kullanılan malzemeler ve ortamın kapalı olmasıdır. VOC'ler genel olarak solunum yolu hastalıklarına sebep olabildikleri gibi, kanserojen ve mutasyonu çabuklaştırıcı etkileri de vardır. VOC'lerin bazıları, güneş ışığında Azot oksitler (NO_x) ile reaksiyona girer ve zemin seviyesinde ozon ve kanserojen dumanı oluşturur; bu da yine canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir [53]. Bununla birlikte VOC'lere vernik, boya, böcek ilaçları, temizlik ürünleri, mobilyalarda sıkça rastlanmaktadır. Bunların dışında ofis ekipmanlarında, yazıcı, fotokopi makineleri, kopya kâğıtları, yapıştırıcı ve renkli çıktılarda VOC miktarları yüksektir [54] .

Temiz Üretim;

Temiz üretim; enerji ve hammadde kullanımını azaltmayı, yeniden kullanım ve geri dönüşümü arttırmayı, atık oluşumunu azaltmayı amaçlayan çevreye duyarlı bir üretim stratejisidir [55]. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından "Temiz Üretim Bilgi Platformu" oluşturulmuştur. Temiz üretim uygulamalarının arttırılarak; sanayinin sürdürülebilir olarak büyümesi, verimliliğin arttırılması ve çevresel risklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, kaynak verimliliğinin arttırılması, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerinin azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı ve endüstriyel simbiyozların oluşturulması araçlar olarak tanımlanmıştır.

Endüstriyel simbiyoz;

Birbirlerinden bağımsız işletmelerin bir araya gelerek çevresel etkilerinin azaltma ve ekonomik kazanç sağlayarak rekabet gücünü artırmaya yönelik gerçekleştirdiği faaliyetlere verilen isimdir. Endüstriyel simbiyozlara örnek olarak bir işletmede ortaya çıkan atığın, diğer işletmede girdi olarak kullanılması ya da ortak kaynak ve lojistik kullanımı verilebilir [55].

Endüstriyel simbiyozları oluşturmak için genelde izlenen yöntem 3 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; bölgesel denetimin yapılarak gerekli bilgilerin toplanması, firmalar

arası potansiyel eşleşmelerin yapılması ve firmalara gerekli bilgilerin verilerek simbiyoz çalışmalarının başlatılması olarak sayılabilir [56].

Sürdürülebilirliğin sağlanması için kaynağından etkin kullanımın gerçekleştirilmesi gereklidir. Geri dönüşüm, geri kazanım ve tekrar kullanım yöntemlerine göre daha faydalı olan tüketimin azaltılmasıdır. Bunun için de gereksiz tüketimin önüne geçilmesi gerekmektedir ya da tüketimin şart olduğu durumlarda kaynakların etkin kullanılmasıyla verimlilik artırılmalıdır. Temiz üretim; ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca kullanılan kaynakların azaltılması, verimliliğinin artırılması, atıkların kaynağında azaltılması, geri kazanılmasına yönelik süreç değişiklikleri, girdi değişimi teknoloji ve ekipman değişimi, gelişmiş proses değişimi, yeni üretim teknolojisi vb. faaliyetlerle sağlanabilmektedir. [57].

Eko tasarım;

Malzeme bilimi anlamında eko tasarım; ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkilerin dikkate alınması, en az çevresel etkiye neden olacak şekilde tasarlanması ve geliştirilmesi olarak tanımlanabilir. Eko tasarım uygulamasının alt ürünleri olan eko-ürün ve eko-süreç yeniliği aracılığıyla enerji ve malzeme kullanımı azalmakta, atık maliyetleri düşmekte ve ürün geri kazanımları artmaktadır [58].

Yukarıda bahsedilen kavramlar ışığında ekolojik ürün elde edilebilmesi için YDD çalışması yapılması gerekmektedir.

2.5. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmasında Türkiye’de ve dünyada 2005-2016 yılları arasında yayınlanmış olan kitap, rehber, yurt içi ve yurt dışında yapılan lisansüstü tezler, makaleler ve bildiriler özetlenmiştir.

Taygun, "Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi" adlı çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi’nde yapılan doktora çalışmasıdır. YDD’ ye yönelik LEED, Athena, BEES, BRE, (EcoHomes, Envest, Environmental Profiles, SMARTWaste, Analytica) , Pre (SimaPro, Eco-Indicator Etki Değerlendirme Yöntemi, IVAM Veritabanı, Eco-Quantum, Ecoinvent Veritabanı), GaBi, TEAM, GB Tool, Woolley modelleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [59]. Sonrasında

model adımları belirlenmiş, yapı ürününün tanımlanmasına yönelik bilgi formu oluşturulmuştur. Tezin ilerleyen bölümlerinde polivinil klorür doğrama üzerinde ise örneklemeye gidilmiştir.

Gültekin , “Yaşam Döngü Değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi” adlı doktora çalışmasında yaşam döngü değerlendirilmesi, yapı sektöründe YDD'nin kullanımı ve model önerisi bulunmaktadır[60]. Bu model "yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik açık uçlu bir model önerisi" olarak yazarı tarafından tanımlanmıştır. Bu modeli duvar kâğıtlarının kullanım evresindeki bakım onarımının sebep olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesiyle somutlaştırılmıştır. Ele alınan duvar kâğıtları firma broşürlerinden ulaşılan verilerle ağırlıklarına göre, standartlardan ulaşılan salınım miktarlarına göre sınıflandırılmış ve bunlara ait verilerle ilişkilendirilmiştir.

Esin,"A study regarding the environmental impact analysis of the building materials production process (in Turkey)" adıyla yayınladığı makalede, Gebze Sanayi Bölgesinden 14 fabrika seçerek, yapı ürünlerinin çevresel etki analizlerini çıkartmaya çalışmıştır [61]. Bu çalışmada çimento, gaz beton, cam, demir, alüminyum, fibreboard, plywood, Polivinil klorür (PVC), boya, su yalıtımı malzemeleri firmalardan alınan bilgiler doğrultusunda çevresel performansları çok iyi, iyi, orta, kötü gibi bazı kriterler belirlenerek puanlama yapılmış, bu puanlamanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda ülkeden ülkeye, teknolojik değişikliklerden ve üretimin yapıldığı yere bağlı olarak bu değerlerin değişebileceği bu sebeple de çalışmaların tek tek yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Özçuhadar, "Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngü sürecinde incelenmesi" adlı İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yapılan yüksek lisans tezinde ise YDD aşamaları tanımlanmış, binalar için YDD içeren LEED, BREEAM gibi sistemler incelenmiştir [43]. Türkiye'deki mevcut konuyla ilgili mevzuatlara değinilmiştir. Malzeme bazlı YDD örnekleme yapılmamış, YDD genel çerçevesi incelenmiştir.

Sev, "Sürdürülebilir Mimarlık" adlı kitabında sürdürülebilir mimarlık kavramının alt kavramı olarak sürdürülebilir malzemeden bahsetmiştir. Bu kitapta sürdürülebilir yapı malzeme seçimi on adıma indirgenerek özetlenmiş, sürdürülebilir mimarlık yöntemleri başlığının altında ise YDD'nin tanımından ve mimarlık açısından nasıl kullanılabileceğine dair bilgiler verilmiştir [31].

Amerika Mimarlar Enstitüsü, "American Institute of Architects (AIA) guide to building Life cycle assessment in practice" adlı rehberinde ise daha çok mimarlara YDD'yi nasıl kullanacakları hakkında bilgi verilmiştir. YDD'nin tarihçesi, çeşitleri, tanımı, etki kategorileri tanıtılmış, inşaat sektörünün YDD'yle ilişkisi malzeme, ürün, bina ve endüstri şeklinde derecelendirilmiştir. Sonrasında YDD yapan programlar incelenmiş olmasına rağmen, binaların YDD'sini yapan programlara daha geniş yer verilmiştir. 8 farklı binanın YDD'lerini yaparak örneklem yoluna gidilmiştir. Son olarak da bina tasarlanması ve iyileştirilmesi aşamalarında YDD'nin nasıl kullanılabileceği hakkında bilgi verilmiştir [62].

Çakmaklı, "Life Cycle Assessment of building materials in hotel refurbishment projects: a case study in Ankara" adlı Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde yapılan doktora tezi özellikle otel yapılarında ömrünü tamamlamadan yapılan dekorasyon değişiklikleri ile ilgili kullanılan malzemeler, örnek tezler üzerinden gidilerek tespit edilmiştir [63]. Ankara ilinde beş yıldızlı üç otelin yenilenme çalışmasında kullanılan malzemeler Athena YDD programı aracılığıyla altı çevresel göstergeye göre karşılaştırılmıştır. YDD kullanılarak bu malzemelerin çevresel etkileri ortaya çıkarılmıştır. Tez kapsamında Yaşam Döngü Maliyetlerine de değinilmiştir.

Bayraktar, "Türkiye' de yapı malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için bir sistem önerisi" adlı İstanbul Teknik Üniversitesinde yapılan yüksek lisans tezinde öncelikle Türkiye'nin mevcut çevresel verileri araştırılmıştır [16]. Ülkenin olanakları ve çevresel etkilerle ilgili getirilen sınırlamalar doğrultusunda yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreçlerinde çevresel etkilerini değerlendiren bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemle Bursa ilindeki bir çimento fabrikasında anket yapılarak çimento malzemesiyle örneklenmiştir. Bu tezin diğer tezlerden farkı, Türk Standart ve yönetmelikleriyle YDD'nin kesiştiği yada yaklaştığı yerleri belirtmesidir. Sonuç olarak da Türkiye için YDD veri havuzunun oluşturulması ve bilimsel bir kurul oluşturularak, etki göstergeleri arasındaki sıralamayı belirleyecek önem katsayılarının tespit edilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Ölmez, "Comparison of sub-processes and final products of iron and steel production with life cycle assessment" adlı ODTÜ'de yapılan yüksek lisans tezinde demir çelik üretimi için gerekli aşamaların (kok yapımı, sinterleme, demir üretimi ve çelik üretimi) SimaPro yazılımıyla birlikte YDD çalışması yapılmıştır. Impact 2002⁺ etki kategorisine

göre çevresel etkileri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir [64]. YDD sınırları olarak beşikten kapıya seçilmiş, fonksiyonel birim olarak da 1 ton ürün veya ara ürün seçilmiştir. Tezin kapsamında demir çelik üretimi detaylarına yer verilmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye için enerji modellemesi de yapılmıştır. Bütün aşamalara ait SimaPro ekran görüntüleri eklerde paylaşılmıştır. Bire bir fabrika verileriyle detaylı ve titiz olarak araştırılmış bir tezdır.

Rajagopalan, "Residential life cycle assessment modeling for green buildings and building products" adlı tezde ise " genleştirilmiş polistren (EPS) kalıplı donatılı beton duvar sistemiyle yapılan bir bina ile ahşap malzeme kullanılarak yapılmış olan bir binayı YDD yöntemiyle karşılaştırmıştır. Ayrıca geleneksel ve yeşil etiketli halı, boya ve linolyum kaplamaları Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) YDD data setiyle karşılaştırılmıştır [65].

Üçer'in, "Life cycle assessment of masonry wall types using simulation technique" adlı ODTÜ'de yapılan yüksek lisans tezinde kâğır duvarlardan; pişmiş kil tuğla, gaz beton blok, doğal taş ve kerpiç tuğlaların yaşam boyu süreçleri incelenmiştir [66]. Bu malzemelerin YDD'lerinde yaşam sonu uygulamalarında atık gömme, yeniden kullanım ve geri dönüşüm olarak senaryolar üretilmiştir. Hazırlanan veriler bir YDD yazılımı olan SimaPro programına aktarılmıştır. Bu yazılım ürünü aracılığı ile tanımlanmış alternatiflerin çevresel etki puanları elde edilmiştir, sonuçları ise tartışılmıştır.

Yiğit, "Life cycle assessment in ferrous foundry industry" adlı ODTÜ'de yapılan yüksek lisans tezinde ise demir dökümhanelerinin çevresel etkisi, YDD'sine yönelik olarak incelenmiştir [67]. Uygulama anlamında farklılık gösteren iki tesisin YDD'leri SimaPro programıyla modellenmiştir. Çevresel etki hesaplama yöntemi olarak Impact 2002⁺ tercih edilmiştir. Altı farklı demir üretim senaryosuyla YDD çalışmaları devam ettirilmiş, sonuç olarak da hangi yöntemin en az çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kahraman (2013),"A Sustainable Building Assessment Model Proposal For New Residential Buildings in Turkey" adlı doktora tezinde ise Türk inşaat sektörü ihtiyaçlarına göre bir sürdürülebilir bina değerlendirme sistemi geliştirilmiştir [68] . Bu kapsamda LEED, BREAM, CASBEE, Open House, LenSe, SBAllience, SBtool gibi pek çok sürdürülebilir bina sertifikalandırma sistemleri incelenmiş, Türkiye için bir sistem önerisinde bulunulmuştur. Bu sistem tam, orta ve öz olarak üç versiyon olarak geliştirilmiştir. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan 241 mimari detayda kullanılan

malzemelerin ağırlıkları belirlenmiş ve bu detayların çevresel etkileri Simapro programıyla Ecoinvent veri tabanı kullanılarak tespit edilmiştir.

Karaman Öztaş, "Türk yapı malzemesi sektörünü için yaşam döngüsü etki değerlendirmesine yönelik bir model önerisi" adlı İTÜ Mimarlık Bölümünde yapılan doktora tezi kapsamında ise, YDD çalışmalarının alt başlıklarından olan yaşam döngü etki değerlendirmesi (YDED)'ne odaklanmıştır [69]. Avrupa ve Amerika'daki gibi bazı ülkelerde geliştirilmiş olan YDED modelleri incelenmiştir. Çalışmada, her ülkenin kendine özgü çevresel hassasiyetleri bulunduğunu belirtmiştir. Bunlara göre Türkiye için 11 etki kategorisi belirlenmiştir. YDED evresi için toplam çevresel performansın hesaplandığı bir bağıntı önerilerek modelin faydaları, kısıtlamaları ve modelde karşılaşılan zorluklar açıklanmıştır. Model genişletilmiş polistren köpük malzemesi üzerinde denenmiş ve modelin sonuçları diğer YDED modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Gürsel, "Life-Cycle Assessment of concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application" adlı California Üniversitesinde yapılan doktora tezinde ise Özel projeler için tasarlanmış olan değişik beton karışımlarının yaşam döngü değerlendirmesini analiz eden bir "araç" (tool) geliştirmiştir [70]. Bu araç hem Microsoft Excel hem de Web tabanlı olarak hesaplama yapabilmektedir. Direkt olarak olmasa da tedarik zinciri, beton üretim süreci ve malzemeleri geliştirilmiştir. Yerel varyasyonlar ve teknolojik alternatiflerin programa adapte edilmesiyle geniş uygulama ve esnekliğe sahip olabilen programın Amerika Birleşik Devletleri ve diğer ülkelerde kullanılabileceği ifade edilmektedir. Normal Portland çimentosu yerine bağlayıcı özellik gösteren (SCMs) uçucu kül veya cüruf gibi maddeler yerleştirilerek, küresel ısınma potansiyeli ve diğer çevresel etkiler üzerinde ciddi düşüşler sağlanabilmektedir. Türk çimento ve beton sektörü için çevresel etkilerin azaltılabilmesi için değişik alternatifler önerilmiştir. Tez kapsamında çimento, beton ve kamusal binalar olmak üzere üç farklı düzeyde YDD çalışması yapılmıştır.

Petek ve diğ., "Life cycle inventory analysis of concrete production: A critical review" adlı makalelerinde çok detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Çalışmada sağlıklı YDD yapılabilmesi için Yaşam Döngü Envanter Analizinin şart olduğu vurgulanmıştır. Çimento ve betonun YDEA'sıyla ilgili çalışmalardan bir özet çalışma oluşturulmuştur. Bu araştırmanın sonucu olarak bütüncül YDD yaklaşımlarının azınlıkta kaldığı genelde enerji, karbondioksit gibi etkilerin üzerinde durulurken VOC (uçucu organik bileşikler) veya ağır metaller gibi konuların pek çalışılmadığı belirtilmiştir. Teknolojik ve yöresel

farklılıkların da üzerinde çok durulmadığı, bunların YDD çalışmalarını çok etkileyebilecek kriterlerden olduğu belirtilmiştir. Beton üretiminin bütün dünyadaki üretimin %2'si oranında olduğu fakat bunun ihmal edildiği, bu üretim miktarının su kaynaklarının tükenmesinde veya toksit salınımlarındaki etkisinin hesaplara katılmadığı kanaatinde olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak çimentomsu özellik gösteren katkıların (SCMs) beton üretimindeki pozitif etkilerinin YDD çalışmalarına çok yansımadağı da paylaşılmaktadır [71].

Souza ve diğeri, “Comparative life cycle assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context” isimli çalışmalarında seramik ve beton çatı kiremitleri YDD yöntemiyle karşılaştırmaktadır. 1 m² çatı örtüsü için yaşam ömrü olarak da 20 yıl kabul edilmiştir. Yapılan araştırmada dokuz farklı hassasiyet analizi Monte Carlo Çevresel Etki Analiz Yöntemiyle yapılmıştır [72].

Seto, “Life cycle assessment and environmental efficiency of concrete materials by materials” adlı yüksek lisans tezinde ise daha sürdürülebilir olarak tanımlanan 7 ayrı çimentomsu malzeme kullanılarak oluşturulan betonların YDD’leri yapılmıştır. Bu malzemeler; geleneksel beton, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, kireç taşı, geri dönüştürülmüş agregalı ve fotokatalitik betondur. Deney sonuçlarına göre belirlenmiş 6 fonksiyonel birim oluşturulmuş ve Gabi programında modellenmiştir [73].

Garcia ve diğeri, “Eco-efficiency analysis of the life cycle of interior partition walls: a comparison of alternative solutions”, adlı makalede alçı panel duvar, tuğla duvar, beton blok duvar, gaz beton ve alçı blok duvar sistemi olarak geçen 5 farklı duvar sistemi ele alınmıştır. Bu duvar sistemlerinin ayrı ayrı YDD, YDM çalışmaları yapılmıştır. [74]. Literatür taramasına ait özet tablosu Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Sürdürülebilirlik ve yaşam döngü değerlendirmesi konularında yapılan kaynak araştırmasında, Türkiye’de yapılan çalışmaların genelde literatür üzerinden yürütüldüğü, sonunda bir malzeme seçilerek etkilerinin yine literatür üzerinden incelendiği görülmektedir. Karaman’ın tezinde yaşam döngü etki değerlendirmesine yönelik bir model önerisinde bulunmuş, yapılan bir anket sonucuna dayanarak, Türkiye için ağırlıklandırma katsayılarını hesap yöntemiyle tespit etmiştir. Üretici firmalarla direkt temasa geçen Esin ise YDD değil, kendisi çevresel kriterler belirleyerek bunlar üzerinden değerlendirmiştir. Bütün bu çalışmaları özetlemek gerekirse YDD’yle ilgili pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Fakat bunlar genellikle ürünün çevresel etkilerinin

tespiti aşamasıyla sonlandırılmakta ve alan verisi bulundurmamaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik performansının arttırıldığı bir çalışma sadece Petek'te bulunmaktadır. Beton içine ikame edilebilecek endüstriyel atıkların etkileri incelenmiştir.

Bu konuda detaylı olarak literatür taraması yapılan Yaşam Döngü değerlendirmesi konusunun tanımı, içeriği, alt başlıkları, etki değerlendirmeleri Bölüm 3'te kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.



Çizelge 2.4. YDD'ye ilişkin literatür taraması.

Yazar	Yıl	Kapsam	Malzeme	Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi
Taygun	2005		YDD modelleri ve programları incelenmiş, yeni bir model oluşturulmuştur. Örnek olarak: polivinil klorür doğrama	–
Gültekin	2006	YDD	Duvar Kâğıtları	–
Esin	2007	Çevresel değerlendirme	14 yapı malzemesi (çimento, gaz beton, cam, demir, alüminyum, fibreboard, plywood, PVC, boya, su yalıtımı gibi yapı malzemeleri)	Yazara ait çok iyi, iyi, orta, kötü gibi bazı kriterler belirlenmiştir.
Özçuhadar	2007	YDD	Teorik olarak YDD incelenmiştir.	–
Çakmaklı	2007	YDD	5 yıldızlı 3 otelin yenilenmesi	Birincil enerji tüketimi, katı atık miktarı, hava ve su kirlilik düzeyi, küresel ısınma potansiyeli ve doğal kaynak kullanımı
Sev	2009	–	Sürdürülebilirlik üzerine kitap	–
Bayraktar	2010	–	Yönetmelikler ve YDD incelenmiştir.	–
AIA	2010	YDD	YDD için rehber kitap, örnek bina YDD'leri bulunmaktadır.	–
Ölmez	2011	YDD	Demir çelik üretimi	Impact 2002+
Üçer	2012	YDD	Pişmiş kil tuğla, gaz beton blok, doğal taş ve kerpiç tuğlaları	Eco-indicator 99
Rajagopalan	2011	YDD	EPS kalıplı donatılı beton duvar sistemiyle yapılan duvar sistemi ve ahşap duvar sisteminin YDD'si karşılaştırılmıştır. Ayrıca halı, boya, linolyum malzemeleri de karşılaştırılmalı olarak YDD'leri verilmiştir.	Traci

Çizelge 2.4. (devam). YDD'ye ilişkin literatür taraması.

Kahraman	2013	YDD	240 Yapı Detayı (Döşeme, duvar gibi)	Eco-indicator 99 (I) V2.08
Yiğit	2013	YDD	Demir dökümhanelerinin çevresel etkisi	Impact 2002+
Petek ve diğerleri	2014	–	YDD konusunda literatür taramasıdır. Beton ve SCM'ler baz alınmıştır.	–
Petek Gürsel	2014	YDD	Çimento, SCM, beton, kamu binası	Küresel Isınma
Karaman Öztaş	2014	YDED modeli	Polistren köpük malzemesi	Türkiye'ye ait yeni bir YDED modeli
Seto	2015	YDD	Geleneksel beton, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, kireç taşı, geri dönüştürülmüş agregalı ve fotokatalitik betonların YDD'leri yapılmıştır.	Asidikasyon, küresel ısınma, kaynak tüketimi, Su tüketimi
Garcia ve diğ.	2016	YDD, YDE	Alçı panel duvar, tuğla duvar, beton blok duvar, gaz beton ve alçı blok duvar sistemi	Hava ve su için asidifikasyon, ötrifikasyon, Küresel ısınma, ozon tabakasında incelme, fotokimyasal sis oluşumu, abiyotik kaynakların tüketilmesi

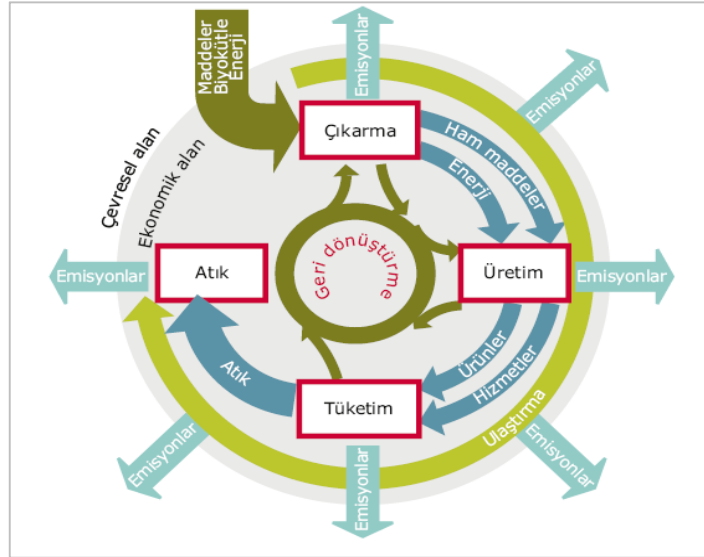
3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ

Sürdürülebilirlik sosyal, ekonomik ve çevresel alt öğelerden oluşmaktadır. Çevresel olarak ürünleri değerlendirebilmek için sadece ürünü değil, ürünün üretim süreçlerini ve muhteviyatını bilmek gerekmektedir. Bu konuların hangi kapsamda, nasıl inceleneceğine ilişkin bir yöntem belirlenmesi gerekmiştir. ‘Çalışmanın yenilenebilmesi’, ‘bilimsel temellere dayanması’ ve bulunduğu bölgeye göre önem durumunun ifade edilebilir’ olması için Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi geliştirilmiştir.

3.1. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ (YDD)

Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) bir ürün ya da hizmetin üretimi için kullanılan hammaddelerin elde edilme süreçlerinden, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertaraf edilmeye kadar olan tüm süreçlerin farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini tespit etmek, raporlamak ve yönetmek için kullanılmaktadır. Söz konusu çevresel etki örnekleri; iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelme, ötrofikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi doğal kaynak tüketimi şeklindedir [57]. YDD hammadde elde edilmesinden yok edilmesine kadar geçen süreçteki her tür çevresel etkiyi bütüncül olarak değerlendirir. YDD çevresel değerlendirmeye kapsamlı ve sistematik bir yaklaşım getirmektedir. Bu sebeple inşaat, gıda, turizm ve hammadde elde edinimi gibi sektörlerde çevresel sürdürülebilirlikler söz konusu olduğunda tercih edilmektedir [75], [76]. Yaşam döngü süreci Şekil 3.1’de ifade edilmiştir.

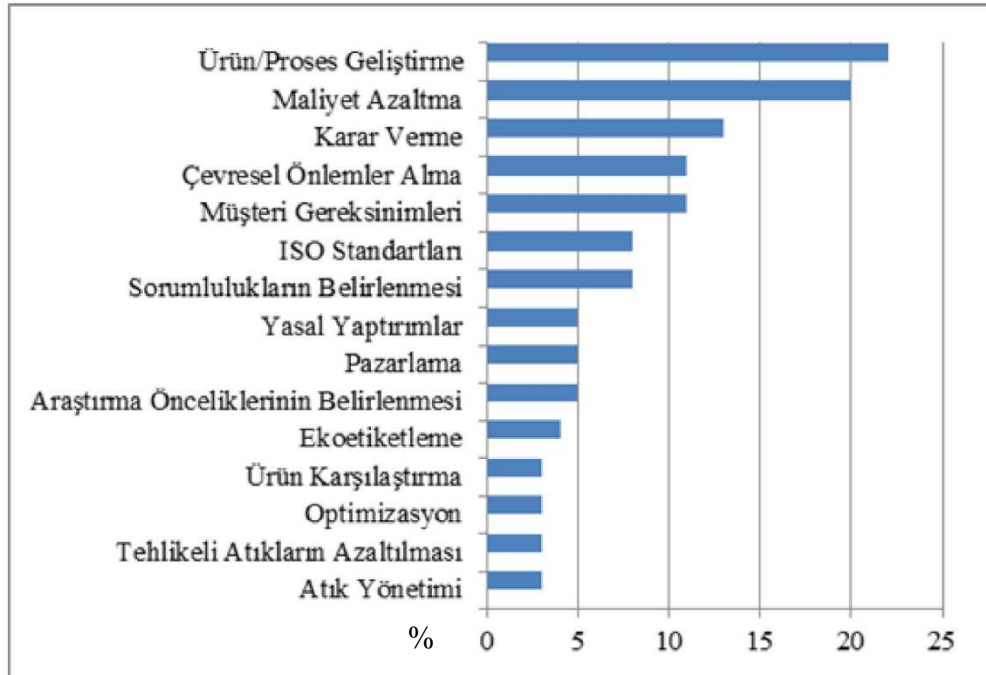
Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarının inşaat sektörünü de kapsamı istenmektedir. İnşaat sektöründe kullanılan enerji iki türlü olmaktadır. Birincil enerji kaynakları inşaat, işletme, yenileme ve yıkım süreçlerinde kullanılırken, ikincil enerji kaynakları ise malzemelerin üretiminde ve teknik alt yapısında kullanılmaktadır [77].



Şekil 3.1. Yaşam döngü değerlendirmesi şeması [78].

Bishop, “Çevre Kirliliğinin Önlenmesi” adlı kitabında Yaşam döngü değerlendirmesi yapılmasının amaçlarını Çizelge 3.1’de özetlemiştir. Bu kitapta YDD yapılmasının ilk amacı bu tezde olduğu gibi ürün veya süreç geliştirmedir. Sonrasında ise “maliyet azaltma”, “karar verme” ve “çevresel önlemler alma” gelmektedir [79].

Çizelge 3.1. YDD’nin uygulama alanları [79],[80].



Ürün veya üretim sisteminin yaşam döngüsündeki her aşama, materyal ve enerji ihtiyacı girdisi, ürün ve atık yayma açısından tanımlanmaktadır. Böylece ekolojik açıdan uygun olan en ideal çözümün bulunması hedeflenmektedir. YDD çalışması yaptıran firmaların amacı; özellikle süreç içinde çevreye en çok zarar veren aşamaların tespit edilmesi ve bu noktalara gerekli müdahale yapılmasını sağlamaktır. Ürünün çevresel açıdan ele alınmasıyla, ürün içerisinde farklı malzemeler ya da farklı teknolojik ürünlerin kullanılması tercihleri ortaya çıkabilmektedir. Yapılan değişikliklerle elde edilen yeşil etiketler de aynı zamanda bir pazarlama aracı olarak kullanılmaktadır.

3.2. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ

Yaşam Döngü Değerlendirmesinin güçlü yönleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

Bir ürün veya hizmetin farklı yaşam döngü evrelerinde çevreyle ilişkisini tanımlar. Bu ürün veya hizmetin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılır. Kamuda ve özel sektörde, stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün ve hizmetlerin tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi konularında karar verilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, ölçüm tekniklerini de içerecek şekilde çevresel performans göstergeleriyle ilgili kamu politikası oluşturulmasında, çevresel bildirgeler ve çevre etiketi gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde, YDD sanayi, hükümet ve tüketici temsilcilerinin alternatif proses, ürün ve malzemeler hakkında bilgi edinebilmesinde kullanılmalarının yanında; bir proses için referans (üretim, kullanım ve bertaraf süreçlerine ilişkin) bilgilerin saptanmasında, ayrıntılı olarak prosesler incelendiği için eksik olan bilgilerin tespit edilmesinde ve eksikliklerin giderilmesinde kullanılmaktadır[57],[81],[82].

Yaşam Döngü Değerlendirmesinin zayıf yönleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

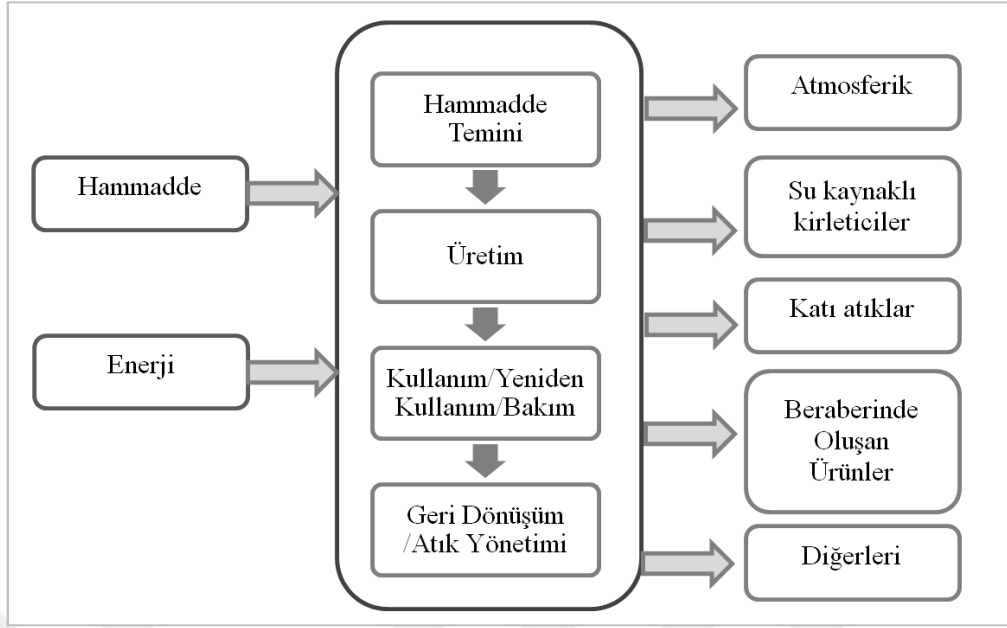
Ürünün ya da hizmetin, veri toplama, yaşam döngü envanteri verilerinin girilmesi, modellenmesi, değerlendirilmesi ve sonuçlarının raporlanması ciddi zaman ve emek harcanmasına sebep olmaktadır. Buna rağmen Yaşam Döngü Maliyeti çalışması yapılmadığında fiyat/performans oranına ilişkin bilgi vermemektedir. Ayrıca, YDD ürün ve hizmetlerin çevresel yönleri ile ilgilenirken, ekonomik veya sosyal nitelikleri ile ilgili herhangi bir çıktı üretememektedir. YDD yönteminde pek çok veri kaynağı, varsayım ve senaryo kullanılması çoğu zaman kaçınılmazdır. Başvurulan bu yöntemler nedeniyle aynı ürünün YDD'si çok farklı sonuçlarla sonlandırılabilir. [82].

3.3. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN TARİHSEL SÜRECİ

Yaşam Döngü Değerlendirmesinin başlangıcı malzeme ve enerji kaynaklarında sıkıntı çekilen 1960'lara dayanmaktadır. Bu yıllarda daha çok değerlendirme ve kıyaslamaya yönelik çalışmalar yaygın olup YDD kullanım aşamasıyla çok fazla ilgilenilmemekteydi [83]. 1979 yılında çevre konusunda çalışan biyolog, kimyager gibi bilim adamları, kâr amacı gütmeyen, dünya çapında kişileri ve enstitüleri biraya getiren Çevre Toksikoloji ve Kimya Örgütünü (SETAC) Amerika'da kurmuştur. Coca Cola firması için Midwest Research Institute 1996'da yaptığı çalışmada kaynaklar, emisyonlar ve farklı paketlemelerden oluşan atıklara ilişkin bir rapor düzenlemiştir. 1980'lerde Bekker'in yenilenebilir kaynaklar üzerine yaptığı çalışma ile YDD inşaat sektörünün de dikkatini çekmiştir [84]. Bu dönemdeki erken çalışmalar, yöntemleri birbirinden farklı teknikler, araştırmalar terminoloji ve sonuçlar barındırmaktaydı.

1990'lara gelindiğinde çalıştayların organize edilmesi, bazı makalelerin ve yardımcı kitapların yayınlanmasıyla birlikte bazı standartlar geliştirilmiştir [83]. 2000 yıllarından sonra SETAC yaşam döngü değerlendirmesi konusunda uzmanları bir araya getirerek, bir çerçevede çalışmaları düzenleyerek, terminoloji ve metodolojiyi "Code of Practice" (Uygulama Kuralları) yayınlamıştır [85]. 1994 yılından sonra International Organization for Standardization (ISO) konuya dâhil olarak 1997 yılında ilk defa basılan 14040 standart serisini oluşturmuştur [86]. Bu standart serisi, yöntem açısından bir çerçeve oluşturmuş ve farklı YDD çalışmalarının karşılaştırılabilmesi açısından kolaylık sağlamıştır. Yaşam Döngü Değerlendirmesinde veriler giren ve çıkan olarak kategorize edilir, bu süreç Şekil 3.2'de şematize edilmiştir.

2000 yılından sonra ISO standartlarına ek olarak inşaat sektörünü hedefleyen gelişmeler oldu. 2003 yılında SETAC "Yaşam Döngü Girişimi" sonucu binalarda ve inşaatlarda yaşam döngü değerlendirmesi adıyla sektöre bir rapor hazırlamıştır [87]. Bu çalışma genel YDD ile binalar için yapılmış olan YDD arasındaki farkları ortaya koymaktadır. Bu standartları ISO ve Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) devam ettirdi. ISO Teknik Komitesi (TC) 59 ve alt komitesi "Bina inşaatında sürdürülebilirlik" adında binaların sürdürülebilirliği hakkında bir çerçeve ve Çevresel Ürün Beyanı (EPD) uygulamaları hazırlayarak, 4 standart olarak yayınladı. ISO standartlarının içerikleri ve sayıları Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. YDD’de giren ve çıkanlar [88].

CEN (TC) 350 “İnşaat işlerinde sürdürülebilirlik” adıyla sürdürülebilirlik için önemli olan ekonomik, ekolojik ve sosyal beklentileri karşılaması için yeni bir standart geliştirmeye başladılar [83]. 21. yüzyılla birlikte YDD’ye verilen önem hızla artmıştır. Yaşam döngü fikri Avrupa ülkelerinde Avrupa Komisyonu’nda “Entegre ürün politikası” kapsamında gittikçe daha önem kazanmaktadır. Bu politikanın sonucu olarak “Uluslararası Referans Yaşam Döngü Data Sistemi El Kitabı” 2010 yılında basılmıştır [89]. Kitap, ISO serisini tamamlayan yaşam döngü değerlendirmesini pratikte uygulamaya yardımcı olmak için yazılmıştır. SETAC, YDD kullanımını kolaylaştırmak, destek araçları ve veri kalitesini artırmak için, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile birlikte “Yaşam döngüsü girişimi”ni başlatmıştır. YDD yöntemiyle yapılabilen Çevresel Ürün Beyanlarının önemi de gittikçe artmaktadır. 2012 yılı Ocak ayında TC 350’nin çalışmaları EN 15804 “İnşaat işlerinde sürdürülebilirlik, çevresel ürün deklarasyonu- İnşaat malzemelerinde Ürün Kategori Kuralları (PCR) olarak tamamlanmıştır [90].

Çizelge 3.2. Yaşam döngü değerlendirmesiyle ilgili ISO standartları [16].

Çevre Yönetim sistemleri	14001, 14002, 14004
Çevre Denetimi	14010, 14011, 14012
Çevresel Performans Değerlendirmesi	14031
Eko Etiketleme	14020, 14021, 14022, 14023, 14024, 14025

3.4. ÇEVRESEL ÜRÜN ETİKETLERİ

Eko etiketler, bir ürünün çevresel ve sosyal olarak istenen özelliklerini tüketicilere iletmek için kullanılan belge ya da deklarasyondur. Sürdürülebilirlik kavramının önem kazanmasıyla birlikte nihai kullanıcılar da daha yeşil ürünleri tercih etmek istemektedirler. Bu tercihi ise eko-etiketler aracılığıyla yapabilmektedirler. Satın alıcı ve üretici açısından ürünün çevresel anlamda tanınması için geliştirilmiş pek çok yeşil etiket (eco-label) bulunmaktadır. 2017 yılı itibarıyla Dünya’da 465 adet eko-etiket bulunmaktadır. Bu kadar çok ve farklı eko-etiket olması sebebiyle, bilimsel yöntemlerle ispat edilmiş verilere dayanan etiketler daha öne çıkmaktadır. Yeşil bina sertifika sistemlerinde olduğu gibi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ulusal etiketlerini oluşturup, yaygınlaştırmak istemektedirler [91].

ISO 14040 adlı standart; “çevre yönetimi - hayat boyu değerlendirme - ilkeler ve çerçeve” adı ile TS EN 14040 olarak 2007 yılında Türkiye’de kabul edilmiştir. Yaşam döngü değerlendirmelerinin baz alındığı döneme göre sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar [92] ;

- Kısa süreli mühendislik iyileştirmeleri
- Yaşam döngüsünde tasarım ve optimizasyon (Tip I, ISO 14024, yıl 1999)
- Ürün tasarımı ve ürün geliştirmesi de dâhil olmak üzere ürün karşılaştırmaları.
- Orta ve uzun vadede eko-etiketleme (Tip II, ISO 14021, yıl 1999).
- Uzun vadeli stratejik planlama (Tip III, ISO 14025, yıl 2006).

Bu sınıflardan Tip I, II ve III aşağıda açıklanmaktadır.

Tip I (ISO 14024 3.1 Çevre etiketleme programı):

Bu program gönüllülüğe bağlı olup, bir ürün kategorisinde ürününü YDD'ne bağlı olarak çevre yönünden tercih edilebilirliğini gösteren etiketlerin, ürünlerin üzerinde kullanılması yetkisi veren, üçüncü (doğrulayıcı) taraflarca yapılan etiketleme tipidir. Bu tipe, Avrupa birliği tarafından verilen “Eco label” örneği gösterilebilir. [93].

Tip II (ISO 14021):

Bu program çevre ile ilgili, öz beyana dayanan verilerin şeffaf ve doğrulanabilir olması koşuluyla verilen beyanlardır. Firmaların kendi çevre kriterleri ve beyanları bu etiket grubuna örnektir.

Tip III (ISO 14025):

YDD'yi esas alan, önceden belirlenmiş PCR ve çevreyle ilgili değerlendirilmiş verileri kullanarak oluşturulan etikettir. Bu etiket grubunun üçüncü kişi ya da kuruluşlarla doğrulanması şarttır. Bu grubun içinde yapı malzemesi üreticileri tarafından en çok kabul edilen EPD'dir.

3.4.1. Çevresel Ürün Beyanı

Çevresel Ürün Beyanı; YDD çalışması yapılması ve ürünün YDD aşamalarını içerecek şekilde çevresel performansının hesaplanması sonucu elde edilir. Uzun bir süreç alan bu aşamadan sonra ürünün YDD raporu hazırlanır. YDD raporundan sonra firmanın kurumsal kimliği de belli olacak şekilde EPD belgeleri hazırlanır. YDD raporu ve EPD belgeleri, konusunda uzman uluslararası bağımsız doğrulayıcılara gönderilerek onaylanır. Onayın ardından EPD belgesi verme yetkisi alan bir kurum kayıt altına alınarak, kayıt numarası ile birlikte yayınlanır [94].

Çevresel ürün beyanı belgesi alınması ülkemizde zorunlu değildir fakat tabi olduğumuz Avrupa Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ile CE işareti gerekliliklerine “kaynakların sürdürülebilir kullanımı” adı altındaki ilavede EPD belgesi alınması tavsiye edilmiştir [94]. Başka bir yönü ise sürdürülebilir bina sertifika sistemlerine olan talebin artmasıyla, sürdürülebilir malzeme kullanılmasının belgelendiriliyor olmasıdır [91].

3.4.2. Ürün Kategori Kuralları (Product Category Rules, PCR)

Ürün kategori kuralları, belirli ürünlerin gruplarında ISO 14025 çerçevesinde şeffaflığı, karşılaştırmayı kolaylaştırması ve EPD belgesine altlık oluşturması amacıyla oluşturulmuştur. Aşağıda daha detaylı olarak PCR'ların işlevlerinden bahsedilmektedir [95].

- Beyan edilecek parametreleri, bunların biraraya getirilişini ve raporlanacak hale getirilme yöntemlerini tanımlar.
- Ürünün hangi yaşam döngülerinin EPD aşamalarının içinde ve hangi aşamalarının yaşam döngü değerlendirmesi sırasında tanımlanacağını içerir.
- Senaryoların geliştirilmesi için kuralları tanımlar, Yaşam Döngü Envanteri ve Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi (YDED), EPD başlığı altında hesaplama kurallarını ve uygulamada kullanılan verilerin kalitesinin tanımlanmasını içerir.
- Daha önceden tanımlanmış, çevre ve sağlığı ilgilendiren bilgileri raporlama kurallarını içerir, YDD kapsamında olmayan, gerekli olduğu durumlarda inşaat süreci ve inşaat hizmetini kapsar.
- Hangi inşaat malzemelerinin EPD tarafından sağlanan bilgilerle karşılaştırılması gerektiğini tanımlar.
- EPD inşaat malzemeleri ve inşaat hizmetleri için aynı kurallar ve gereksinimlerin uygulanmasını sağlar.

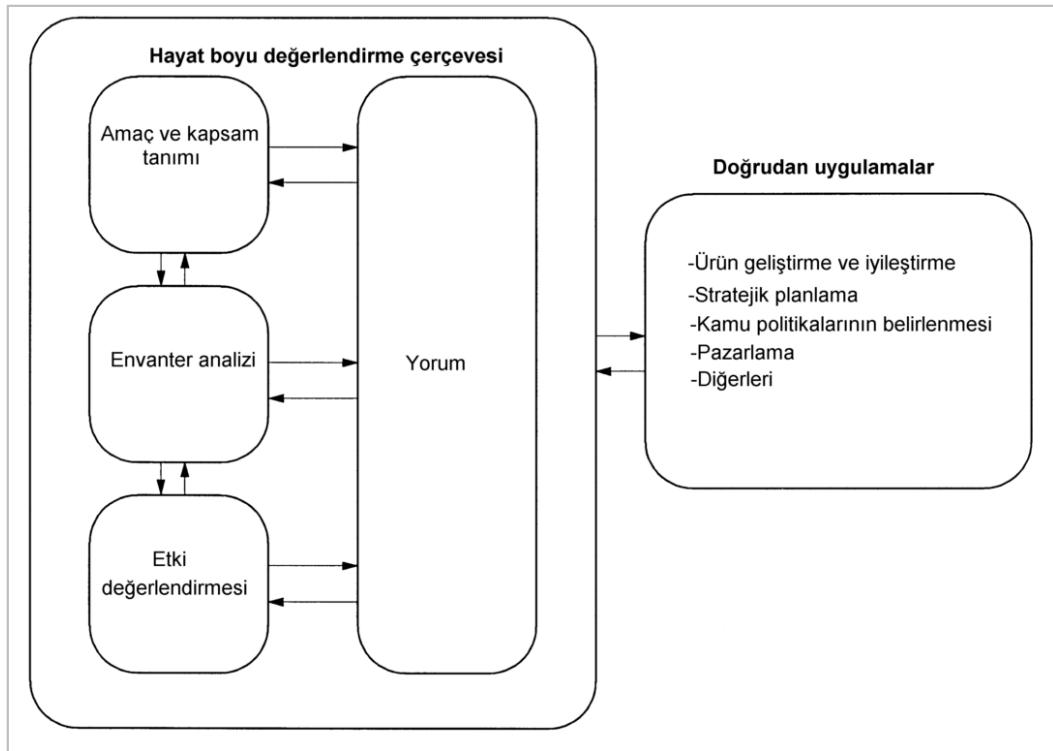
ISO standartları ve SETAC endüstriyel prosesler için temel yaklaşımları oluşturmasına rağmen binalara uygulandığında bazı farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bunlar;

- Her binanın projesi binlerce farklı endüstriyel ürünün bir araya getirilişinden oluştuğu için kendine hastır.
- Endüstriyel bir ürüne kıyasla fonksiyonel birimin karakterize edilmesi ve değerlendirme sınırlarının tespit edilmesi daha güçtür.

3.5. YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİNİN AŞAMALARI

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 4 aşamadan oluşmakta ve belirli sistem sınırları içerisinde değerlendirilmektedir. Bunlar; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi, etki analizi ve yorumlama şeklindedir.

1. Amaç ve Kapsam; çalışmanın amacı, kapsamı, sınırları ve detaylandırma düzeyi tanımlanır.
2. Envanter Analizi; çalışılan sistemin kapsamı dâhilinde gerçekleşecek enerji, su, hammadde kullanımı ve bunlara bağlı olan çevresel emisyonların belirlendiği aşamadır.
3. Etki Analizi; Bir önceki aşamada tespit edilen enerji, su, hammadde kullanımı ile çevresel emisyonların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki olası etkileri değerlendirilir.
4. Yorumlama; envanter ve etki analizi aşamalarının sonuçları değerlendirilir. İki ya da daha fazla YDD arasında karşılaştırma suretiyle çevreye verdiği yük açısından daha az olan ürün, süreç ya da hizmet seçilebilir. Bu seçim esnasında elde edilen verinin kalitesi, tahmin yapılması gerekiyorsa ya da var olan belirsizliklerin net olarak açıklanması gerekmektedir. YDD'nin metodolojisi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Yaşam döngü değerlendirmesi metodolojisi [96] .

3.5.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Amaç ve Kapsam Tanımı

Amaç ve kapsam tanımı, yaşam döngüsü değerlendirmesinin ilk aşamasıdır. YDD'nin amaç tanımı aşamasında; YDD'nin, tasarlanan uygulama, çalışmanın gerçekleştirilme

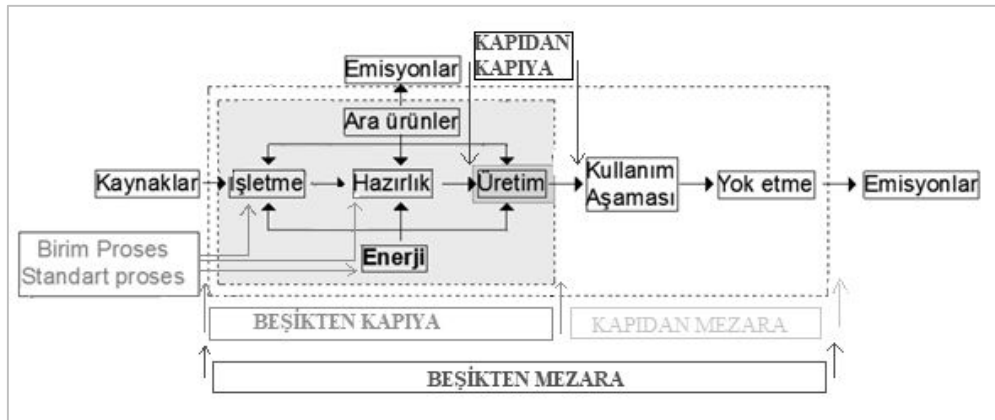
sebepleri ve hedef kitle (çalışmanın sonuçlarının kime iletileceği), şüpheyeye yer vermeyecek şekilde ifade edilmelidir [96].

Kapsam tanımında, sistem ve sınırları (girdiler, çıktılar, üretim, dağıtım, nakliye, atık bertaraf senaryoları gibi işlem birimleri), veri gereksinimleri ve çalışmada yer alan tahminler belirtilmelidir. Kapsam, çalışmanın hedefini desteklemelidir. Kapsam tanımında bulunurken sistemin fonksiyonu, fonksiyonel birim, ayırma (tahsisat) prosedürleri, kullanılacak etki analizi yöntemi, veri kalitesi gereksinimleri (tarih, coğrafya, teknoloji vb.) de verilmelidir [97]. Çalışmanın kapsamı; çalışmanın uygun genişlik, derinlik ve detayda olması ve başlangıçta belirlenen hedefe ulaşılabilmesi için iyi bir şekilde tanımlanmalıdır. YDD'nin tekrarlama gerektiren bir teknik olması nedeniyle, çalışma yürütülürken ilave bilgi toplanması gibi durumlarda, çalışmanın kapsamı revize edilmelidir [80].

3.5.1.1. Yaşam Döngü Analizinin Sistem Sınırları

YDD çalışmalarının sınırları, hangi aşamada başlayıp hangi aşamaya kadar devam ettiğine göre isimlendirilir. Hammadde elde edilmesine (beşik), ürünün kullanımının son bulmasına (mezar), hammadde elde edilmesinden fabrikaya iletildiği aşamaya (kapı) denilmektedir.

Bir ürün ya da prosesin tüm yaşam döngülerini kapsayan YDD'ye 'beşikten mezara'; hammadde çıkartılmasından fabrikaya iletilmesine kadar olana 'beşikten kapıya'; bertarafından sonra atıkların geri kazanımı söz konusu ise 'beşikten beşiğe'; bir ürün ya da prosesin sadece üretim aşaması söz konusu ise 'kapıdan kapıya' olarak isimlendirilmektedir. YDD sistem sınırları Şekil 3.4'de şematize edilmiştir. [98].



Şekil 3.4. YDD sistem sınırları [98].

Beşikten beşiğe olan bir YDD çalışmasının aşamaları; Hammadde ve üretim süreci (A), kullanım aşaması (B), yaşam sonu aşaması (C), geri dönüşüm, atık yönetiminin (D) açılımları aşağıda belirtilmiştir [90].

A-Hammadde temini, Üretim süreci ve İnşaatla yerine yerleştirilmesi;

A1- Hammadde temini, ikincil ürün girişi,

A2- Hammadde ya da ikincil maddenin üreticiye ulaştırılması,

A3-İnşaat malzemesinin üretimi ve beşikten kapıya olan bütün süreçler

İnşaat aşaması;

A4- İnşaat alanına inşaat malzemesinin taşınması

A5-Bina inşaatı

B-Kullanım Aşaması (fabrika ve bina yönetimiyle ilgili olan)

Ürünün kullanım aşaması (Fabrikayla ilgili olan)

B1- Ürünün kullanımı,

B-2 Ürünün bakımı,

B-3 Ürünün tamir edilmesi,

B4- Ürünün değiştirilmesi,

B5- Ürünün yenilenmesi,

Kullanım Aşaması: (Bina yönetimiyle ilgili olan)

B6-Kullanım enerjisi

B7-Kullanım suyu

C-Yaşam sonu aşaması:

C1-Binanın ya da ürünün sökülmesi,

C2-Atık işlemlerinin yapıldığı toplama alanlarına kadar olan ulaşım,

C3-Yeniden kullanım, iyileştirme ve geri dönüşüm için atık işleme operasyonu,

C4- Final atık ve ürünün yaşam sonu

Sistem sınırlarına olan yükü ve faydaları:

D-Geri Dönüşüm, atık yönetimi:

Yeniden kullanım, iyileştirme ve geri dönüşüm potansiyelinin etkileri ve faydalarının değerlendirilmesi

3.5.2. Yaşam Döngü Envanter Analizi (YDEA)

Yaşam döngü envanteri, bir ürünün, sürecin veya aktivitenin tüm yaşam döngüsü için hammadde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik emisyonlarını, su yoluyla taşınan

emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer salımlarını belirleyen bir süreçtir [57]. YDEA çevresel etkiler veya bunlardaki potansiyel değişiklikleri tespit etmeye yarar. Toplanan verilerin detayları ve doğruluk seviyesi YDD çalışmasının diğer aşamalarının sağlıklı yürütülmesini ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler. Yaşam döngü envanter analizinin aşamaları şunlardır:

- Değerlendirilmekte olan sürecin akış diyagramının oluşturulması,
- Veri toplama planının geliştirilmesi,
- Verilerin toplanması,
- Değerlendirme ve raporlama.

3.5.2.1. Akış Diyagramının Oluşturulması

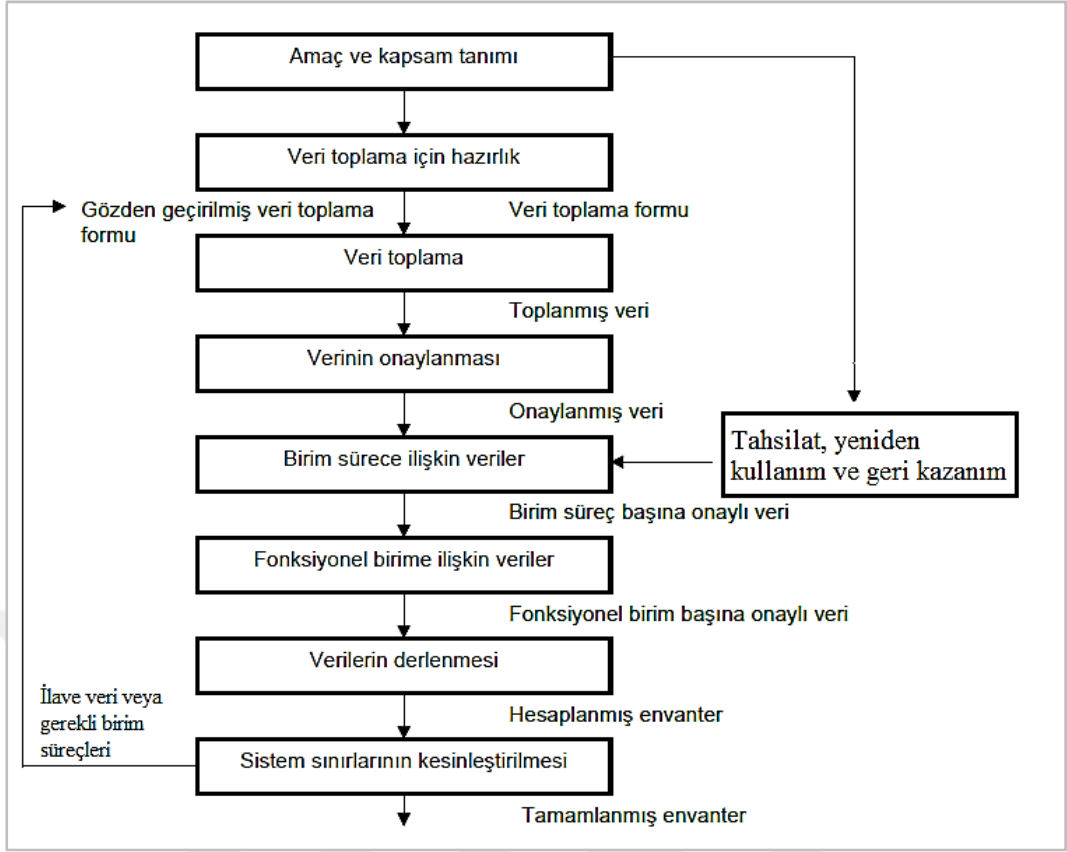
YDD çalışması yapılacak olan ürün ya da servislerin süreçlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Sistem sınırları içerisindeki prosesler birbiriyle bağlantıları da değerlendirilerek sisteme gerekli tüm girdi ve çıktılara ait (malzeme ve enerji) tamamlanmış bir yaşam döngüsü akışı ortaya çıkar.

3.5.2.2. Veri toplama planının geliştirilmesi

Bir yaşam döngü değerlendirmesinde en önemli ve hasas konulardan biri verilerin doğru şekilde toplanmasıdır. Bu sebeple veri toplama yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

Envanter girişi (malzeme ve enerji);

Ürünün yaşamı boyunca oluşan süreçlerin, malzemelerin ve harcanan enerjinin çevresel etkileri tespit edilmelidir. Toplanan veriler birincil ya da ikincil kaynak olarak tanımlanır. Birincil kaynak çalışma sürecinde elde edilen veriler, ikincil kaynaklar ise başkası tarafından hazırlanmış verilere verilen isimlerdir. Ölçmek, modellemek, araştırmak ve tahminlerde bulunmak yaşam döngü değerlendirmesi veri toplama aşaması için yapılması gereken çalışmalardır. Yaşam Döngü Envanter Analizine ait aşamalar Şekil 3.5’de akış şeması şeklinde ifade edilmiştir.



Şekil 3.5. Envanter analizi için basitleştirilmiş prosedürler [96].

Verilerin ölçülmesi;

Malzeme ve enerji bilgisi alım kayıtlarını, faturalarını ya da fiziksel olarak ölçülmesini içermektedir. Elektrik, su, doğalgaz faturaları, fabrika bacası ölçümleri gibi net verilerdir.

Verinin modellenmesi;

Bir yaşam döngü değerlendirmesi yapılacağında gerçek miktarları içeren dokümantasyon elde edilemeyebilir. Analitik model (mesela enerji performans modeli) kullanılarak harcanan enerji tahmin edilebilir. Üretim sistemleri mühendislik prensipleri doğrultusunda modellenebilir. Özel kimyasal reaksiyonlar, enerji ve malzeme her birim için modellenebilir.

Basılı yayınlardan araştırma yapmak;

Devlet veya sanayi, detaylı olarak tipik emisyonları araştırmış ve dokümana dönüştürmüş olabilir. Tipik ulaşım mesafeleri, modelleri ve ülkelerin kendine ait enerji oluşum karışımları bilgileri literatür araştırmasıyla elde edilebilir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında veri ile ilgili daha önce basılmış yayınlardan, araştırmalardan

yararlanılabilir. Buna örnek olarak; ürün içerisinde kullanılan malzemenin geri dönüşüm oranının bulunması verilebilir [89].

Tahmin Edilen Bilgi

Bazı durumlarda yaklaşımlarla ve deneyimle yaklaşık bir tahminde bulunulması gerekmektedir. Mesela geri dönüşümle ilgili genelde yeterli veri bulunamaması durumunda atık senaryoları oluşturulmak suretiyle tahminlerde bulunulabilir [82].

3.5.2.3. Verilerin Toplanması

Verilerin toplanması, sahayı ziyaret ve uzmanlarla görüşme yöntemleriyle olabileceği gibi yaşam döngü envanter veri tabanlarının satın alınmasıyla da yapılabilir. Bu veri tabanları genellikle YDD yazılımlarıyla birlikte kullanıma sunulmaktadır. Bu veri tabanlarının seçiminde, kullanılacağı sektöre ilişkin bilgi barındırması, bölgesel farklılıkları içermesi ve bilgi şeffaflığı gibi konular önem arz etmektedir.

3.5.2.4. Değerlendirme ve Raporlama

YDEA'nın sonuçları raporlanırken, kullanılan yöntemleri belirtmek, analiz edilen sistem ve sınırları tanımlamak gereklidir. Bilgi toplanırken yapılan tahmin ve senaryolar net olarak bildirilmelidir. Farklı sistemler kıyaslanırken kullanılan eşdeğer oranlar ve kıyaslama temelleri açıklanmalıdır [57].

3.5.3. Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Yaşam döngü envanteri sonuçları potansiyel çevresel etkilerin miktarını ve önemini tanımlar ve değerlendirir. Karakterizasyon faktörlerine göre girdiler ve çıktılar; önce etki kategorilerine atanır ve potansiyel etkileri nicelleştirilir [96]. YDE aşaması bize girdi ve çıktılar hakkında pek çok bilgi sağlar. Fakat alternatiflerle ilgili kıyaslama yapılabilmesi için YDED'nin yapılması gerekmektedir. Örneğin 9000 ton karbondioksit veya 5000 ton metanın mı çevreye daha zararlı olduğunun tespit edilebilmesi için YDED çalışması gereklidir.

YDED'nin alt süreçleri ise şunlardır; etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması, sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon, gruplandırma, ağırlıklandırma, YDED sonuçlarını yorumlanmasıdır. Çalışmanın amacına uygun olarak, zorunlu unsurlar, ilgili etki kategorilerinin seçimi, sınıflandırma ve karakterizasyon içermektedir. Normalizasyon, grupta ve ağırlıklandırma ise tercihe bağlı unsurlardandır [98], [96].

3.5.3.1. Etki kategorisinin seçilmesi ve tanımlanması

Etki kategorisi amaç ve kapsamda belirtildiği gibi seçilmelidir. Seçim yapılırken analiz edilen ürün sisteminin çevresel etkilerini değerlendirilebilecek nitelikte olmalıdır [69]. Çalışmanın amacına uygun olarak kullanılan PCR ya da sonrasında alınması düşünülen eko-etiketler de seçimi etkilemektedir.

3.5.3.2. Sınıflandırma:

YDE sonuçları pek çok farklı emisyonu içermektedir. İlgili etki kategorileri seçildikten sonra, YDE sonuçları bir veya birden fazla etki kategorisine atanmaktadır. Ürünün içeriğindeki maddeler birden fazla kategoriye etkiliyorsa sınıflandırılmalıdır. Örnek olarak CO₂ ve CH₄ her ikisi de küresel ısınmayı etkilerken, NO_x hem ötrofikasyonu hem de asidifikasyonu etkilemektedir [98]. Envanter analizinden gelen emisyon miktarının, bu emisyonu kategori göstergesi referans salımına dönüştüren katsayılar ile çarpılmasıyla kategori gösterge sonuçları elde edilmektedir [69].

3.6. YAŞAM DÖNGÜ ETKİ DEĞERLENDİRME KATEGORİLERİ

Yaşam Döngü Etki Değerlendirmesi, YDD'nin önemli bir aşaması olmasına rağmen bileşenlerindeki belirsizliklerinden, modeller arasındaki öznellikten dolayı aynı zamanda en zayıf bölümlerinden biridir [69]. YDED modellerinde yerel öğeler de çevresel etkilerin yorumlanmasında etkili olmaktadır. Bu sebeple belli başlı ülkeler kendi YDED'lerini oluşturmuşlardır. Her ülke coğrafyası gereği farklı kaynak ve ihtiyaçlara sahiptirler. Ayrıca YDED'ler orta nokta, son nokta ve her iki noktayı ele alanlar olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Zamanla farklı YDED modelleri geliştirilmiştir, bunlardan belli başlıları şunlardır: Orta nokta yaklaşımlarına CML, TRACI, EPD; son nokta yaklaşımlarına EPS, Eco Indicator 99; her ikisini içeren YDED modelleri ise Impact 2002⁺, LUCAS ve RECIPE örnek verilebilir. Etki kategorilerine ait ayrıntılı bir tablo EK 1'de verilmiştir.

Yapı malzemeleri için EN 15804 PCR'ına göre YDD çalışması yapılabilmektedir. EPD çalışmalarında da aynı PCR'a göre tanımlanmıştır. EN 15804 PCR'ında ise yaşam döngü etki değerlendirme modellerinden CML yöntemi baz alınmaktadır. Bu sebeple bu tez kapsamında diğer modeller yerine CML yöntemi ve CML'nin etki kategorileri detaylı olarak incelenmiştir.

3.7. CML YÖNTEMİ (CENTER OF ENVIRONMENTAL SCIENCE OF LEIDEN UNIVERSITY)

1992’de Hollanda’da Leiden Üniversitesi Çevre Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen orta nokta yaklaşım modelidir. 2001 yılında CML adı altında bir grup bilim insanı, ISO standartlarına yönelik yeni bir "operasyonel rehber" yayınladı. Bu kılavuzda yazarlar, etki değerlendirme basamağı için bir dizi etki kategorisi ve karakterizasyon yöntemi önermişlerdir. Problem odaklı bir yaklaşımda etki değerlendirme metodu olarak da CML 01 yöntemi geliştirilerek, uygulanmıştır [99]. CML yöntemi, problem odaklı küresel ısınma, ozon tabakasında incelme, asitleşme (hava ve kara), ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu, abiyotik kaynakların tükenmesi-mineraller, abiyotik kaynakların tükenmesi-fosil yakıtlar olmak üzere yedi etki kategorisini değerlendirmektedir. Modelin belirlediği etki kategorilerinin bölgesel geçerliliği, Avrupa değerlerini esas alan asitleşme ve fotokimyasal sis oluşumu hariç küreseldir [69]. Zorunlu olan ve olmayan etki kategorilerinin parametreleri ve birimleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te belirtilmiştir. Farklı etki kategorilerinin aynı birim altında ifade edilebilmesi için bazı maddelerin eşiti olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.3 CML IA, zorunlu olan etki kategorilerinin parametre ve birimleri [100].

Etki kategorisi	Parametre	Birimler
Küresel Isınma	Küresel Isınma, GWP	kg CO ₂ eşiti, 100 yıl
Ozon tabakasının incelmesi	Strasforik ozon tabakasının incelmesi, ODP	kg CFC 11 eşiti
Asitleşme	Toprağın ve suyun asitleşme potansiyeli, AP	kg SO ₂ eşiti
Ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli, EP	kg(PO ₄) ⁻³
Fotokimyasal sis oluşumu	Fotokimyasal sis oluşturma potansiyeli, POCP	kg C ₂ H ₄ eşiti
Abiotic kaynakların tükenmesi- Elemanlar	Fosil kaynaklı olmayan abiyotiklerin tükenme potansiyeli, ADP elemanlar	kg Sb eşiti
Abiotic kaynakların tükenmesi- Fosil yakıtlar	Fosil kaynaklı olan abiyotiklerin tükenme potansiyeli, ADP fosil yakıtlar	

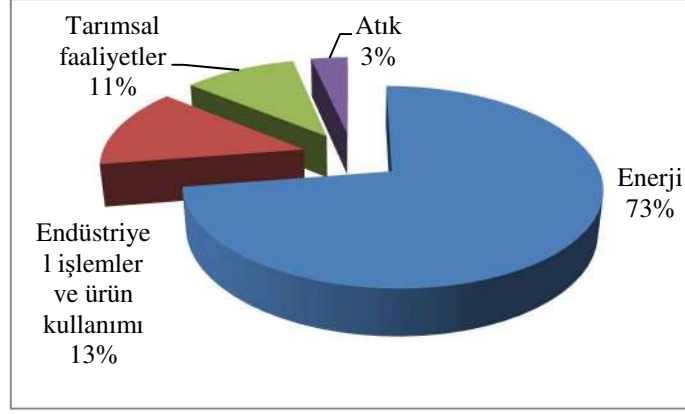
Çizelge 3.4 CML IA, zorunlu olmayan etki kategorilerinin parametre ve birimleri [100].

Etki kategorisi	Parametre	Birimler
Temiz Su Ekotoksosite Potansiyeli	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin su ekosistemine salınması	1,4-Diklorobenzen
Deniz Ekotoksosite Potansiyeli	Su canlıları üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin su ekosistemine salınması	1,4-Diklorobenzen
Toprak Ekotoksosite Potansiyeli	Toprak ekosistemi üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin salınması	1,4-Diklorobenzen
İnsan Toksisite Potansiyeli	İnsan sağlığı üzerinde toksik etkisi olan bileşiklerin hava, su ve toprak yoluyla salınması	1,4-Diklorobenzen

3.7.1.1. Küresel Isınma

Küresel iklim değişikliğine “küresel ısınma” adı verilmektedir. Atmosferdeki Karbon Dioksit (CO₂), Metan (CH₄), Diazotoksit (N₂O), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs), Kükürthekzaflorid (SF₆), Ozon (O₃) ve su buharı gibi gazlar güneşten yeryüzüne gelen ısıнын bir kısmını tutarak yeryüzünün belirli sıcaklık derecesinde kalmasını sağlar. Güneşin dünyamıza gönderdiği enerji eğer atmosferde tutulmasaydı dünyamızın 33°C daha soğuk olacağı tahmin edilmektedir. Daha önceleri insanlar ve doğa daha uyumlu halde yaşarken, özellikle endüstri devrimi sonrası bu denge bozulmuştur. Sanayi sistemleri tarafından atmosfere verilen gazlar, araçların egzozlarından çıkan gazlar sera etkisi oluşturmaktadır. Bu durumda da küresel ısınma dediğimiz olay gerçekleşmektedir [101],[102]. Türkiye İstatistik Kurumunun 2014 yılı için verdiği bilgilere göre sektörel bazda sera gazı emisyonları Şekil 3.6’da gösterilmektedir [103].

Konuyla ilgili “Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988 yılında insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulmuştur. IPCC verilerine göre son 150 yılda sıcaklık 0,8°C artmıştır. IPCC 2100 yılına kadar ise 1,8°C ile 4°C arasında artış öngörmektedir [104].



Şekil 3.6. 2014 yılı sera gazı salımlarının sektörel dağılımı (Milyon ton CO₂) [28].

Küresel ısınmasının olumsuz etkileri:

- Sel, heyelan, toprak kayması, kasırga, hortum gibi doğal afetlerde artış,
- Denizlerdeki çözünmüş CO₂'in artan ısıyla yeniden havaya karışması,
- Buzulların erimesiyle deniz seviyelerinin artması, deniz seviyesinin altında olan topraklarda su basması,
- Dünyanın giderek çölleşmesi, su kaynağı bulmanın zorlaşması,
- Orman yangınlarının artması,
- Gece ve gündüz sıcaklık farklarının azalması, asit yağmurlarının toprak yapısını bozması,
- Oluşan aşırı sıcaklığın insan, hayvan ve bitkilerin iç dengesini bozması ve salgın hastalıkların artması,
- Suyun olmadığı yerde yaşam düşünülemeyeceği için bioçeşitliliğin ciddi oranda azalması beklenmektedir [102].

Yukarıda sayılan sebeplerden ötürü sera gazı salımının azaltılmasına çalışılmalıdır. Yapı malzemesi üretiminde sera gazı üretimlerinin düşürülmesi sayılan olumsuz etkilerin azaltılacağı anlamına gelmektedir. Yapı malzemelerinin üretim sürecinde genelde fosil yakıtların yakılmasıyla enerji elde edilmektedir. Özellikle ilk gömülü enerjisi fazla olan yapı malzemelerinin üretiminde daha fazla sera gazı oluşmaktadır [16].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 17 Mayıs 2014 tarihinde Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazetede yayınlanmıştır. Bu yönetmelik kapsamında yapı sektörünü ilgilendiren bazı ürünlerin üretim aşamalarından ölçümler istenmektedir. Bunlar; demir, çelik, alüminyum (birincil ve ikincil), klinker, cam,

seramik, elyaf yalıtım malzemesi, çatı kiremitleri, tuğlalar, karolar, taş ürünler alçı pano üretimi gibi çoğu yapı malzemesini kapsamaktadır. İstenen ölçümler genelde CO₂ ve N₂O gazlarına yöneliktir.

Küresel ısınma CFs'i (klor flor karbon bileşikleri) sadece hava Emilimi için verilmiştir. CFs'in zararı, havadaki CO₂ kilogramına göre hesaplanmaktadır. Ayrıca CH₄, N₂O ve CO'de IPCC listesinde verilmiştir [105].

3.7.1.2. Asidifikasyon (Su ve Kara)

Küresel ısınma konusunda da bahsedildiği gibi CO₂ oranı atmosferde artmıştır. Yeryüzündeki sular (okyanuslar, denizler, tatlı su kaynakları) havadaki bu CO₂'i erimiş olarak içlerinde muhafaza ederler. Bilim insanlarının yaptığı araştırmalar sonucu son 100 yıl içinde okyanuslardaki CO₂ miktarındaki fark edilir artış, suyun pH değerini de değiştirmektedir. Normalde okyanus yüzeyi 8.1 alkaliye doğru olarak tanımlanabilir. Suyun içinde çözünen CO₂ karbonik asidi (H₂CO₃) oluştur. H₂CO₃ ayrışması sonucu ise hidrojen iyonları (H⁺) meydana çıkar. Suyun içindeki hidrojen iyonlarının artması ile su daha az alkali hale gelir. Asidifikasyon ise suyun içinde çözünen CO₂'in pH seviyesini düşürmesi sonucu ortaya çıkan duruma verilen isimdir. Geçen birkaç yüzyıl içerisinde denizlerin pH derecesi 0.1 azalmıştır. İlk bakışta az gibi gelse de pH derecelendirilmesi logaritmik şekilde artmaktadır ki bu da her 1 sayıda 10 kat anlamına gelmektedir. Bu gelişmeler deniz içindeki özellikle kabuklu canlıların, kabuklarını yapabilmek için gerekli sertliğe ulaşamamasına sebep olmaktadır [106]. Denizler daha asidik hale gelince asit yağmurları da görülmektedir. Asit yağmurları kireçtaşı, granit, beton ve metaller gibi yapı malzemelerini de aşındırmaktadır. Asit yağmurlarına maruz kalan paslanmaz çeliklerin yüzeylerinde bozulmalar görülmekte, kaplama bozulunca çelik de paslanmaktadır [16], [107].

Bilim insanları okyanus ve denizlerde olan bu değişikliğin biyokimyasal döngüleri, deniz organizmalarının fiziksel süreçlerini ve deniz ekosistemlerini bozduğu konusunda endişe duymaktadırlar.

3.7.1.3. Ozon Tabakasının İncelmesi

Ozon tabakası Dünya'daki canlıları kısa dalgadaki ultraviyole güneş radyasyonundan korur. Ozon, fotosentez esnasında güneş radyasyonunun oksijen üzerindeki etkisi sonucu oluşmaktadır ve dolayısıyla doğal azot, klor, brom ve hidrojen içeren bir katalitik

döngüyü içermektedir. Ozon tabakasının incelmesinin sebeplerinden ilki volkanik ve güneş üzerindeki değişikliklerdir. İkincisi ise yirminci yüzyılda yapay olarak sentezlenen maddelerin Kloroflorokarbon (CFC), Hidroklorofluorokarbonlar (HCFC) ve halonlar gibi maddelerin endüstrilerde geniş bir şekilde kullanılmasıdır. Artan radyasyonun canlı organizmalar üzerinde etkileri çok olumsuzdur. Bu gazlar, pek çok çeşit okyanus planktonlarına ve çeşitli arazi mikroorganizmalarına zarar verir; insanlarda cilt kanseri, katarakt ve diğer hastalıklara neden olur ve DNA genetiğine zarar verebilir [108].

Ozon tabakasının incelmeyeine sebep olan ve kloroflorokarbon ihtiva eden maddelerin başında klor türevleri, plastik köpükler (strafor), spreylere, aerasoller, yangın söndürücüler temizlik ve dezenfektan (ethyl bromide), buzdolapları gelmektedir. Jetler de bol miktarda atmosfere nitrojen oksit salmaktadır. Montreal Protokolü'yle ozon incelmeyei için önlemler alınmaya başlanmıştır. [108].

3.7.1.4. Ötrofikasyon

Ötrofikasyon süreci, su kütlesinin içindeki bitkilerin büyümesini hızlandıran besinlerin aşırı miktarda artmasına, balıkların yaşamak için ihtiyaç duyduğu suda çözünmüş olan oksijenin azalmasına, plankton ve alglerin aşırı büyümesine sebep olmaktadır. Bu olumsuz gelişim, uzun vadede suyun içindeki oksijeni azaltarak, suda yaşayan diğer canlıların oksijenini azaltmaktadır [109]. Ötrofikasyon en çok balıkçılıkla uğraşanları, suyun rekreasyonel kullanımını ve su temin eden toptancıları etkilemektedir [110].

Ötrofikasyonun oluşumu yağmur suları, kayaların aşınması, göl tabanının toprak yapısı, orman yangınları, bitki polenleri ve erozyon gibi doğal nedenlerle oluşuyorsa buna “doğal ötrofikasyon” denir. Ama kanalizasyon endüstriyel-evsel atık suları, tarımsal arazilerden gelen drenaj suları ve gübreleme sebebiyle oluşuyorsa buna da “kültürel ötrofikasyon” denir. Doğal ötrofikasyon binlerce yıllık bir geçmişe sahip olan bir süreç olmakla beraber kültürel ötrofikasyonla bu süreç hızlanmaktadır [111].

3.7.1.5. İyonlaşmış Radyasyon

Radyasyon, yüksek hızda partiküllerin ve elektromanyetik dalgaların enerjisi olarak tanımlanır; iyonize ve iyonize olmayan radyasyon olarak iki gruba ayrılır. İyonize radyasyonlar, bir atom ya da molekülden bir elektron kopararak iyonlaşmaya yol açarlar [112]. Radyasyonlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Doğal radyasyonlar dünyanın oluşumuyla birlikte tabiatta yerini alan çok uzun ömürlü

radioaktif elementlerin yaşadığımız çevrede normal ve kaçınılmaz olarak kabul edilen doğal bir radyasyon düzeyi oluşturmalarıdır. Yapay radyasyon, insan aktiviteleri sonucu çevreye ilave olan radioaktif maddeler nedeniyle oluşur. Son yüzyılda silah testleri ve nükleer güç tesisleri gibi aktivitelerle doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur.

Radyoaktif maddelerle temas eden kişilerde radyoaktif yanıklar oluşabilmektedir. Yakın temas halinde değişik kanser çeşitlerine sebep olduğu ve hatta kalıtsal bozukluklar ortaya çıkabildiği kanıtlanmıştır [113].

3.7.1.6. Fotokimyasal Ozon Oluşumu

Ozon (O_3) bilindiği gibi canlı yaşamını güneş radyasyonundan koruyucu özelliği ile atmosferin üst katmanlarında çok önemli işlevleri olmasına rağmen, atmosferin yeryüzüne yakın katmanlarında (stratosfer) zararlı bir gaz olarak kabul edilmektedir. NO_2 'in (NO 'nun baca ve egzozlardan havaya atılmasından hemen sonra oluşan gaz) bulunduğu ortamlarda diğer kirleticilerin ve özellikle O_3 'ün bulunması durumunda, bunların arasında oluşan reaksiyonlar insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Özellikle akciğer fonksiyonları üzerinde önemli ölçüde zararlı olduğu ve her türlü biyolojik materyalle reaksiyona girdiği tespit edilmiştir [114].

Yaz aylarında sık rastlanan bu kirlenme şekli, ozonun yatay hava hareketleriyle dağılması veya harcanabileceği alanların üzerine gitmesiyle sona erer. Bu olayların toplamına 'fotokimyasal sis (duman) oluşumu' adı verilir. Fotokimyasal sis bulunan şehire uzaktan bakıldığında üzeri kırmızı renkli bir duman kaplamış olarak görünür [115].

Bu kategori göstergesi, toksik maddelerin hava, su ve toprak emisyonlarının bir sonucu olarak tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade eder.

Dünya kaynaklarının tükenmesinin sosyal, ekonomik ve çevresel boyutları bulunmaktadır. Kaynak tüketiminin etkileri abiyotik (biyolojik olmayan, cansız) kaynaklar ve abiyotik (fossil bazlı kaynaklar) olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.7.1.7. Abiyotik Kaynakların Tüketilmesi (Mineraller)

Fossil bazlı olmayan abiyotik kaynakların tanımına mineraller, kimyasallar ve madenler girmektedir. CML yöntemiyle etki değerlendirmesinde alt kategorilerinde mevcut nihai rezerv, elde edilebilecek potansiyel rezerv, kullanılan teknoloji, ekonomik sınırlar ve şu an elde edilebilen rezerv olarak raporlanmıştır. Abiyotik kaynaklara eş değer bir malzeme

referans birim olarak kabul edilmiştir. Antimon (Sb) adındaki bu element metale benzeyen, kırılabilen ve kolayca toz durumuna getirilebilen gümüş beyazı renginde bir katıdır. Bu malzeme akü imalatında ana madde, cephane yapımında, cam ve seramik sanayinde renklendirici olarak sıklıkla sanayide kullanılır. CML yönteminde birim olarak Sb_e kg olarak kabul edilmiştir [82].

Kaynak tüketiminin boyutlarının daha iyi anlaşılması için agrega tüketim miktarları şu şekildedir. Ortalama bir konut için yaklaşık 400 ton, 1300 kg'lık bir otomobil için 5 ton, 1 km otoyol için 30.000 ton, orta büyüklükte bir okul ya da hastane için yaklaşık 30.000 ton, 25-30 bin kişi kapasiteli bir stadyum için 300.000 ton agrega gerekmektedir [116].

Türkiye ile birlikte 29 ülkenin üye olduğu Ulusal Enerji Ajansı'na (IEA) göre harcanan tüm enerjinin %8-10'u sadece maden çıkarılması için kullanılmaktadır. Artan nüfus ve hayat standartlarıyla ilişkili olarak 20. yüzyılın sonlarından günümüze kadar hammadde ihtiyacı çok hızlı bir şekilde artmıştır.

Daha önce doğayla çok daha uyumlu şekilde yaşayan insanoğlu, endüstri devrimiyle birlikte doğada yaşayan diğer türlerden çok daha fazla dünyayı kirletmeye başlamıştır. İnsanların gelişen teknolojiyle birlikte elektrik, petrol ve ürünlerine olan bağımlılığı artmıştır [26].

Madenler üzerinde düşünürken her madenin aynı olmadığı da göz önüne alınmalıdır. Öyle ki, bazı maddeler fiziksel olarak az bulunmakta (altın), bazıları politik önem arz etmekte (platin grubu metaller), bazılarında teknolojik kısıtlılıklar yaşanmakta (rodyum), bazıları ekonomik sebeplerden (bakır), bazıları ise çevresel konulardan (kurşun, kadmiyum ve civa) sakıncalar taşımaktadır [117]. Bu yüzden malzemelerin temini sadece madenden çıkartma ve nakliye olacak kadar kısıtlı düşünülmemelidir.

Dünya'da 90 çeşit madenin üretimi yapılırken, Türkiye'de 60 çeşide yakın maden üretimi yapılmaktadır. Başta endüstriyel hammaddeler olmak üzere, bazı metalik madenler, linyit ve jeotermal kaynaklar gibi enerji hammaddeleri açısından ülkemiz zengin kaynaklara sahiptir. Dünya endüstriyel hammadde rezervlerinin %2,5'i; kömür rezervlerinin %1'i; jeotermal potansiyelinin %0,8'i ve metalik maden rezervlerinin %0,4'ü ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizin zengin olduğu madenler arasında ise ilk sırayı dünya rezervlerinin % 72'sini oluşturan bor mineralleri almaktadır. Ancak, birkaç maden dışında dünya ölçeğindeki rezervlerimiz kısıtlıdır.

Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne göre yapım sektöründe kullanılan jips, lületaşı, mermer, diatomit, kireçtaşı, silis kumu, pomza, linyit, feldispat, dolomit, kalsit, asbest Türkiye'de bulunan zengin mineral kaynaklardandır. Civa, krom, tras ve kum-çakıl Türkiye için önemli mineral kaynaklardandır. Bakır, boya toprakları, manganez, maden kömürü, kurşun, çinko, talk, demir, kükürt, mika, fosfat ve kil mineralleri ise yetersiz mineral kaynaklardandır.

3.7.1.8. Abiyotik Kaynakların Tükenmesi (Fosil bazlı yakıtlar)

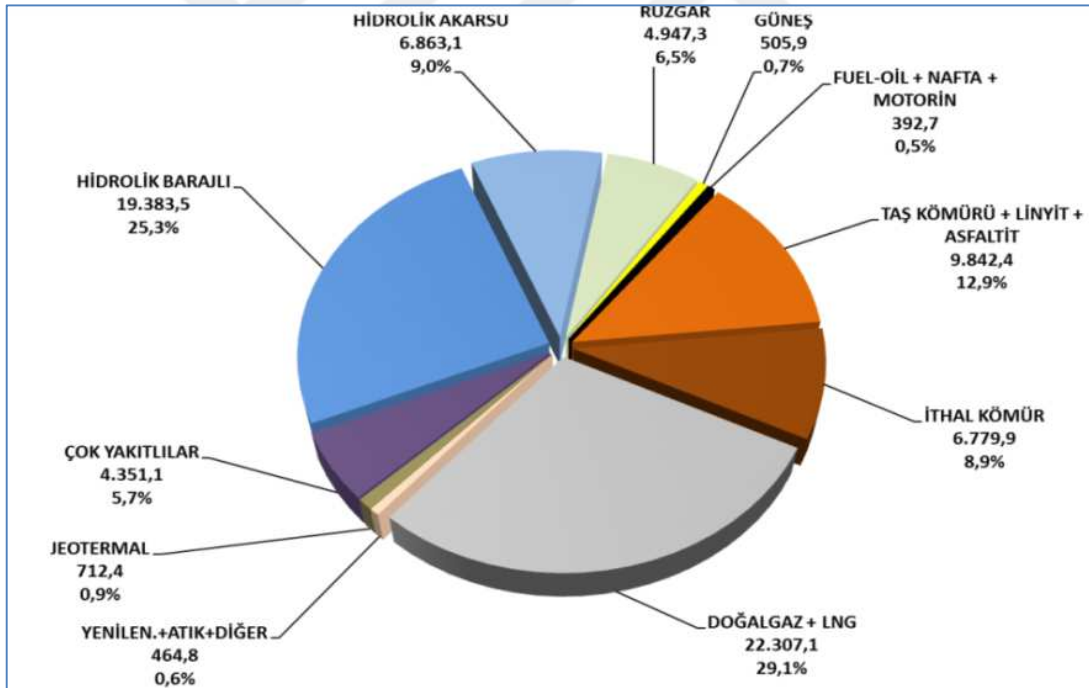
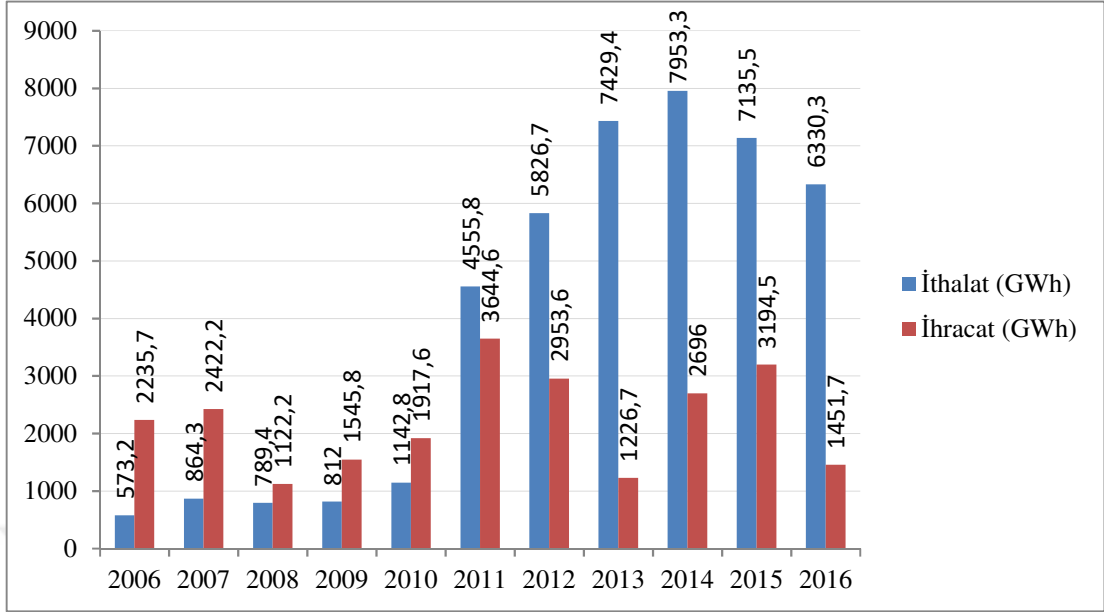
Fosil bazlı yakıtlar yüz milyonlarca yıl önce, denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği hayvan ve bitki kalıntılarında anaerobik bir ortamda, gerekli koşullar altında oluşmuştur. Bu sebeple fosil yakıtlar yenilenemeyen kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. Başka bir deyişle insan ömrünün yeniden petrol elde edilmesini görme şansı bulunmamaktadır [82].

Dünya'daki petrol kaynaklarının azaldığı ve tükenme tehlikesi altında olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. 1973 yılında çıkan petrol krizi, Orta Doğu'da son yıllarda ortaya çıkan savaş ve iç savaşların pek çoğunun temelinde petrol ve doğal gaz kaynakları yatmaktadır.

Yaşam standartlarının ve teknolojik cihazların artmasıyla dünyada enerjiye olan talep artmaktadır. Bu talebin karşılanması için petrol ve doğalgaz dışında diğer kaynaklara yönelim artmıştır [118] Türkiye fosil yakıtlar kaynakları açısından zengin değildir. Türkiye'nin Şekil 3.7'da görüldüğü üzere enerji ithalatı ihracatının çok üzerindedir [69].

Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için Türkiye Enerji Bakanlığı yaptığı çalışmalarda, doğalgaz depolama miktarının uzun vadede yıllık tüketimin %20'sine çıkarılmasını, tesislerin geri üretim kapasitelerinin artırılmasını planlamaktadır [119]. Bakanlık, fosil yakıtlar tüketimini düşürmek, yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirmek istemektedir. Bu enerji kaynakları arasında güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi kaynaklar bulunmaktadır. 2012 yılı itibarıyla bu kaynaklardan elde edilen enerji, toplam enerjinin %8.8'i kadardır [119]. Şekil 3.8'de ise Türkiye'nin kurulu gücünün dağılımı görülmektedir. Türkiye'nin kurulu gücünde sıralama doğal gaz (%29,1), hidrolik baraj (%25,30), taş kömürü linyit gibi madenler (%12,9) ve ithal kömür (%8,9) olarak sıralanan kaynakların hiç biri sürdürülebilir kaynaklar değildir, büyük oranda da yurt dışından ithal edilmektedir.

Çizelge 3.5 Türkiye'nin elektrik enerjisinde ihracat ve ithalat değerlerinin grafiği [120].



Şekil 3.7 Türkiye kurulu gücünün Haziran 2016 sonu itibarıyla dağılımı[121].

Zorunlu olmayan etki kategorileri ise; tatlı su ekotoksosite, tuzlu su ekotoksosite, toprak ekotoksosite, insan toksosite potansiyeli olarak sıralanabilir.

3.7.1.9. Tatlı Su ve Tuzlu Su Ekotoksitesi

Tatlı su kaynakları, insanlar için sadece içmek için değil, aynı zamanda tarım, ulaşım, enerji üretimi ve sanayi için de vazgeçilmezdir. Tuzlu su kaynakları ise deniz canlıları, balıkçılar ve yine ulaşım için önem arz etmektedir.

Bu kategori göstergeleri, toksik maddelerin hava, su ve toprak emisyonlarının bir sonucu olarak tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade eder. Ekotoksosite Potansiyeli, toksik maddelerin son olarak, maruz kaldıkları ve etkilerini tanımlayan hesaplanmaktadır. Etki süresinde bir zaman kısıtlaması bulunmamaktadır. Karakterizasyon faktörleri 1,4-diklorobenzen eşdeğerleri/kg emisyon olarak ifade edilir. Gösterge, küresel / kıtasal / bölgesel ve yerel ölçekte geçerlidir [122].

3.7.1.10. Toprak Ekotoksitesi

Memeliler (esas olarak kemirgenler) için toksisite önlemleri, karasal ortamda yaşayan organizmalar için toksik bir kimyasala maruz kalma sonucu ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri göstermek için kullanılır. Yüzey suyuna verilen kimyasalların özelliğine ve miktarına bağlı olarak etki katsayıları belirlenmiştir. Etki karakterizasyonu, balıklar için akut ve kronik tehlike değerlerine dayanmaktadır. Hem akut hem de kronik etkiler sudaki toksisite terimiyle birleştirilir [123].

3.7.1.11. İnsan Sağlığı Ekotoksitesi

Kimyasal ve partiküler madde emisyonu insan sağlığı üzerinde astım, kalp hastalıkları, kanser gibi önemli hastalıklara neden olmaktadır [82]. Diğer etki kategorilerinin de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Test organizmasının %50'sinin ölmesine sebep olan madde konsantrasyonuna LC₅₀ ismi verilmektedir [124]. İnsan ekotoksitesi kategorisi, LC₅₀ verisini eşdeğerlere dönüştürür; açığa çıkarma ve multimedya modelleme kullanır [57].

3.7.2. Karakterizasyon

Karakterizasyon, analiz edilen ürün sisteminin çevresel etkisini tanımlar ve ölçer. YDE sonuçları etki kategorilerine göre sınıflandırıldıktan sonra, ilgili miktarlara karakterizasyon faktörleri uygulanmalıdır [125]. Karakterizasyon faktörleri, seçilen etki kategorisi yöntemine göre değişmekle birlikte, referans birimlerine dönüştürmeye yararlar. Örneğin, "küresel ısınma potansiyeli" etki kategorisinin referans maddesi

CO₂'dir ve referans birimi "kg CO₂ eşdeğeri" olarak tanımlanır. Küresel ısınmaya katkıda bulunan tüm emisyonlar, kg CO₂'ye dönüştürülür [98]. Çizelge 3.5'te görüldüğü gibi SO₂, CO, HCL, NH₃ gibi bileşenlerin CO₂'e dönüştürülmüştür.

Çizelge 3.6 YDED örneğinin sınıflandırma ve karakterizasyonu [98].

YDE	ETKİ KATEGORİLERİ	FAKTÖRLER	YDED
HAVAYA VERİLEN EMİSYONLAR		1.3 kg CO ₂ * 1 3 kg CO * 3 6 kg CH ₄ * 25	160.3 kg CO ₂ Eq.
CO ₂ 1.3 kg CO 3 kg CH ₄ 6 kg SO ₂ 0.001 kg NO _x 0.08 kg HCl 0.9 kg	GWP AP	0.001 kg SO ₂ * 1 0.08 kg NO _x * 0.7 0.9 kg HCl * 0.88	
SUYA VERİLEN EMİSYONLAR		0.08 kg NO _x * 0.13 2 kg PO ₄ * 1 0.1 kg NH ₃ * 0.33	2.043 kg PO ₄ Eq.
PO ₄ 2 kg NH ₃ 0.1 kg	EP		
SINIFLANDIRMA		KARAKTERİZASYON	
(GWP: Küresel ısınma, AP: Asidifikasyon potansiyeli, EP: Ötrifikasyon potansiyeli)			

3.7.3. Normalizasyon

Normalizasyon, bir referans miktarına göre etki göstergesi sonuçlarının büyüklüğünün görüntülenmesini içerir. Referans bir sisteme göre karşılaştırma yapılmak istendiğinde kullanılabilir. Etki potansiyelleri, çevresel etkilerin potansiyelini miktarını belirtir. Normalleştirme aşamasında etki kategorisi sonuçları, normal olanı veya olmayanı ayırt etmek için referanslarla karşılaştırılır. Normalleştirme için, belirli bir süre (ör. 1 yıl) boyunca bir referans bölge veya ülke için referans miktarlar tespit edilir. Tüm etki kategorilerinin sonuçları referanslarıyla karşılaştırıldığında, hangi etki göstergesi sonucunun bu etki kategorisinin genel varlığına az ya da çok payı bulunduğunu söylemek mümkün olduğundan, birbirleriyle daha kolay karşılaştırılabilirler [82], [98].

Normalize edilmiş etki kategorileri sonuçları; etki kategorisinin normale göre oranını göstermekle birlikte ölçü içermeyen karşılaştırmalar için kullanılırlar [57],[98]. Normalize edilmiş sonuçlar, tek bir grafikte karşılaştırmalı olarak ifade edilebilirler.

3.7.4. Gruplandırma

Etki kategorileri, elde edilen sonuçları belirli ilgi alanları birleştirerek daha iyi yorumlanabilmesini sağlamak üzere bir veya daha çok başlıkta gruplandırılır. Gruplandırma önceden belirlenmiş amaç ve kapsam doğrultusunda sınıflama ve/veya sıralamayı içerebilir. Etki kategorileri isimlendirilerek emisyonlarına veya kaynaklarına göre sıralanabileceği gibi etki kategorileri yüksek, orta ve düşük gibi belirli bir hiyerarşide de gruplandırılabilir [125].

3.7.5. Ağırlıklandırma

Ağırlıklandırma adımında çevresel etki kategorilerine çevresel önem derecelerine göre öznel bir değer verilmektedir. Her çevresel etki kategorisi için puanlar, kendi ağırlıklandırma değeri ile çarpılıp bütün puanlar toplanarak, toplam çevresel performans değeri oluşturulmaktadır. Zorunlu olmayan ağırlıklandırma aşaması için iki prosedür takip edilebilir. Bunlardan ilki gösterge sonuçlarını veya normalizasyon sonuçlarını seçilen ağırlıklandırma faktörlerine dönüştürmektir. İkincisi ise etkilenen gösterge sonuçlarını veya etki kategorileri arasında normalleştirilmiş sonuçları bir araya getirerek gruplandırmaktır [125]. Örnek verilecek olursa hava kirleticiliği yüksek bir ürün imalatı, hava kirliliğinin fazla olduğu bir bölgede, az olduğu bir bölgeye göre daha ciddiye alınır [57].

3.7.6. YDED Sonuçlarını Yorumlanması

Yorum aşamasında sonuçların; hedef ve kapsam tanımıyla uyumuna ve çalışmanın tamamlandığı kontrol edilerek değerlendirilmekte olup olmadığına bakılır. Yorumlama aşaması iki aşamadan oluşur. Bunlar; önemli noktaların belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Yorumlama aşamasında çıkan sonuçlara göre, çevresel açıdan kritik noktalar ortaya çıkmaktadır. Bu çıkan noktaların hangi malzeme ya da aşamadan kaynaklandığı tespit edilir. Bu tespiti göre YDD çalışması raporlanır, yapılabilecek olan değişiklikler üzerinde tavsiyelerde bulunulur. Raporlandırma aşamasında şeffaf olunması önemlidir. Verilerin nerelerden alındığı, yapılan kabuller ve varsayımlar detaylı olarak ifade edilmelidir [98], [125].

Değerlendirmenin sonucu anlaşılabilir ve net olmalıdır. Sonuç ve öneriler bölümünde çalışmanın ulaşılabilirliğine, tekrarlanabilirliğine ve geliştirilmesine katkı sağlanmalıdır.

Ayrıca ürün geliştirme, kullanımın iyileştirilmesi veya atık yönetimi gibi konularda nicel ve nitel ölçütleri kapsamaları beklenir [59],[64].

3.8. YORUMLAMA

Yaşam döngü değerlendirmesinin son aşaması olan yorumlamada, YDE ve YDEA'nın sonuçları değerlendirilir. Bu aşamada beklenen YDD çalışmasının sonuçlarının şeffaf bir şekilde paylaşılması, elde edilen bulguların değerlendirilmesi, sonuçlarının ve kısıtlarının belirlenmesidir. YDD yorumlarının ilk başta tanımlanan amaç ve kapsama uyması beklenmektedir.



4. BETON ESASLI PREKAST PANELLER

Prekast ön imalat, prekast beton ise ön imalatlı beton anlamına gelmektedir. Prekast beton, beton bileşenlerinin fabrikada kalıba dökülerek şekil verilmesi ve üretilen ürünlerin şantiye sahasında yapıya monte edilmesiyle elde edilen yapı ürünleridir [126]. Beton veya betonarme katmandan oluşan ve inşaat alanına hazır olarak getirilen cephe elemanları ise “Beton esaslı prekast cephe panelleri” olarak isimlendirilmektedir. Bu yapı elemanlarına çoğunlukla yalıtım tabakası eklenerek, ısı yalıtım özellikleri iyileştirilmektedir. Binaların dış çeperinde kabuk olarak binayı dışarıdan gelen etkilerden korumalarının yanı sıra, inşaat sırasında montaj edilmesi nedeniyle hem zamandan hem de işçilikten kazanım sağlayan yapı elemanlarıdır. Kalıba dökülebilen ya da püskürtülebilen betona istenilen form verilebilmektedir. Beton esaslı prekast cephe panelleri aynı zamanda “mimari prekast beton (architectural precast)” olarak da adlandırılmaktadır. Bu panellerin ilk kullanımı 1920’lere kadar dayanırken, daha yaygın kullanılmalarına 1950’li yıllarda başlanmıştır. Son yıllarda, gelişen yalıtım ve ankraj yöntemleriyle birlikte ürün çeşitliliği artmıştır. Bu da tasarım sürecinde yer alan teknik elemanlara (mimar, iç mimar vb.) tasarımda esneklik sağlamaktadır [127]. Beton esaslı prekast paneller ile pek çok farklı tasarım ve uygulama yapılabilmektedir. Zaha Hadid’in tasarımı olan Bakü’deki Haydar Aliyev Kültür Merkezi (Şekil 4.1) beton panellerin özgün kullanımına en iyi örnekler arasındadır.

Prekast beton paneller hem seri üretim hem de özel tasarımlar için kullanılabilir. Prekast paneller küçük söveden, tüm duvar ünitelerine kadar geniş bir yelpazeye sahiptir ve sadece mevcut nakliye ve montaj yöntemleri ile sınırlandırılmıştır. Prekast kaplamalar genellikle taşıyıcılara monte edilen duvar panelleri olarak kullanılırlar [128].



Şekil 4.1. Haydar Aliyev Kültür Merkezi, Bakü [129]

Prekast cephelerin panellerinin avantajları [126],

- Binanın strüktürel elemanlarının inşaatı sürecinde cephe panellerinin üretimi, fabrikada yapılabilmesi inşaat hız kazandırır. Hazır beton bileşenler zor hava koşullarından etkilenmeden yıl boyu dökülüp yerine takılabilirler.
- Doku, renk ve kaplama özellikleriyle görsel çeşitlilik sağlanabilir. Prekast son derece plastik bir malzemedir. Beton panellerle granit, kireç taşı, tuğla ve diğer duvar örgü sistemlerini benzeyen daha ekonomik paneller oluşturulabilir.
- Büyük açıklık geçebilme özellikleri sayesinde özgür iç mekânlar yaratarak, tasarım esnekliği sağlayabilirler.
- Yıllar içinde çok az aşınmaya uğrarlar ve çarpmalara karşı dayanıklıdır. Faydalı kullanım ömürleri 50-60 yıl gibi uzun sürelidir.
- Malzemenin yüksek termal kütlesi nedeniyle enerji verimliliği sağlarlar. Isı yalıtımlı panellerde enerji verimliliği daha da artırılabilir.
- Sürdürülebilir bina sertifikalarında (LEED, BREAM vs.) başvurularında sürdürülebilir malzeme bölümü kriterlerini sağlayarak, puan alınabilmesini sağlar.
- Fabrikada kalite kontrolünün standart şekilde yapılabilmesi nedeniyle yüksek kalitede üretilirler.

Beton esaslı prekast cephe elemanları pek çok farklı kritere göre sınıflandırılmakla birlikte, bu çalışma kapsamında ağırlıklarına göre incelenmiştir [130].

4.1. BETON ESASLI PREKAST AĞIR CEPHE PANELLERİ

Beton esaslı ağır prekast cephe panelleri, içerisinde beton harcı ve çelik donatının fabrikada birleştirildiği, prizini aldıktan sonra ise inşaat alanına taşındığı paneller olarak tanımlanmaktadır. Birden çok katmanlı olabilen bu panellerin, m² ağırlıkları 150 kg/m²'den büyük olmaktadır. Bu tez kapsamında incelenen cam elyaf takviyeli paneller ise hafif prekast paneller sınıfına girmektedir [130].

4.2. BETON ESASLI HAFİF PREKAST CEPHE PANELLERİ

Beton esaslı prekast hafif cephe panelleri, donatı çeliği yerine farklı liflerle (cam elyaf, karbon lifler, polimer) takviye edilen betonlara verilen isimdir. Çelikten farklı lifler korozyona uğramamaları, hafif olmaları, yüksek dayanımları ve düşük ısı iletkenlikleri sebebiyle son yıllarda oldukça ilgi uyandıran malzemelerdir. Betonun içindeki donatı çeliğinin zamanla, ısı farklılıklarıyla ve özellikle tuzlu suyla teması halinde korozyona uğruyor olması, lif takviyeli betonların geliştirilme çalışmalarının başlıca sebeplerindendir. Bu kompozit malzemeler, beton matrisi içerisine gömülmüş, yüksek dayanımlı liflerden oluşmaktadırlar [131].

Hafif prekast cephe panelleri binaya daha az yük getirmesi sebebiyle taşıyıcıların daha küçük kesitli olmasına ve dolayısıyla daha düşük maliyetlerle yapılabilmesine yol açmaktadır. Panellerin montajı sırasında ise panelleri yerine kaldırmak için daha küçük vinçlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadırlar [132].

Prekast beton kullanımı, panellerin fabrikada üretilmesi sebebiyle şantiye alanına hazır olarak gelmektedir. Bu paneller vinçlerle yerine takıldığı için, zamandan tasarruf sağlarlar.

4.3. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON (GFRC)

Cam elyaf takviyeli beton, uluslararası literatürde bilinen adıyla GFRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) özel üretim bir yapı malzemesidir. GFRC üretimi ince agrega, yüksek oranda çimento karışımı, özel granülometrideki harmanın alkaliye dayanıklı cam elyafı ve polimer katkıları olarak özel kalıplara püskürtülmesi veya dökülmesi suretiyle oluşturulur [133]. Uygulamalarda içine; beyaz çimento, silis kumu, alkaliye dayanıklı

cam fiber, su, plastik polimer, pigmentler, mermer tozu, ayna sırrı parçaları gibi farklı katkıları da eklenebilmektedir [134].

GFRC dayanıklılık ve mukavemet açısından uzun ömürlü bir malzemedir. Cephe kullanılması durumunda yüksek kompozite ve düşük poroziteli olduğundan su geçirmez. Çelik donatı yerine cam elyafı kullanıldığından kesitler incelmekte, binaya binen yük oldukça azalmaktadır. Malzemenin hafifliği aynı zamanda montaj kolaylığını da beraberinde getirmektedir. GFRC paneller, ağır prekast sistemlerin ağırlığının 1/5'i, granit cephe kaplama ağırlığının ise 1/2'sidir. Paneller, binayı dışarıdan sardığı için yapılan ısı yalıtım malzemesi kesintisiz olarak uygulanabilmektedir [134].

GFRC cephe panelleri üretimi betona benzemekle birlikte çok karmaşık değildir. Dış hava koşullarına dayanıklıdır. Bu paneller düz yüzeyli, tek eğrisellikli, çift eğrisellikli ve serbest şekilli olarak imal edilebilmektedirler. Formun sadece kalıbın üretimine bağlı olması, tasarımcılara özgün tasarımlar yapabilme olanağı vermektedir.

GFRC yapılmasının önemli sebeplerden biri de, Avrupa standartlarında ısı yalıtımlı cephe paneli ve muadili panel sistemleri (55-65 kg/m²) ve cephe kaplamalarına göre %50 oranında binaya daha az yük getirmesidir. Isı izolasyonunda kullanılan taş yünü, cam yünü ile yangın yönetmeliğinin zorunlu tuttuğu A1 yanmazlık sınıfına uygun olduğundan tek bir sistem ile cephe için gerekli kriterleri bünyesinde sağlamaktadır. Uygulanan taş yünü üzerinde bulunan alüminyum folyo ile de TS 825'e göre incelendiğinde yoğunlaşmayı tamamen engellemektedir. Bu sebeplerden ötürü GFRC paneller, inşaat işleri yüklenicilerinin zamandan ve maliyetten tasarruf etmelerini sağlamaktadır. Bütün bu sebeplerden ötürü GFRC paneller bu doktora tezinde çalışma alanı olarak seçilmiştir.

4.3.1. GFRC Panellerin Üretim Aşamaları

Cam elyafının çekme mukavemeti, elastik değerleri, ısı direnci yüksektir. Bunların yanısıra şeffaf olması, kimyasal direnç, inert olması gibi farklı avantajları da bulunmaktadır [135]. GFRC panellerin içerisinde metal olmadığı için korozyona karşı daha dayanıklıdır. Ağır prekast sistemlere oranla daha hafif olması bina taşıyıcılarında ve temellerinde avantaj sağlamaktadır.

GFRC panellerin yapımında iki tip kalıplama sistemi kullanılabilmektedir. Bunlar, açık-kapalı kalıp içerisine premix(önden karışım) ile dökülmesi ve açık kalıp sistemi içine el spreyi ile püskürtülmesidir. Birinci yöntem "önceden karıştırarak vibrasyonlu yerleştirme" yöntemidir. Her iki yöntemde malzemeler kalibre bir tartıyla tartılarak

karıştırılır. Birinci yöntemde aralarında hava kalmasını engellemek için vibrasyonlu şekilde kalıba yerleştirilir. İkinci "direkt sprej" yönteminde çimentolu harçla ince ince doğranmış cam elyaf eşzamanlı olarak el spreji ile kalıba püskürtülür. El spreji, çimento karışımını ve kesilmiş cam elyafı belirlenen miktarlarda eş zamanlı olarak püskürten araçtır. Doğru oranda yerleştiğine emin olmak için işe başlamadan önce kalibrasyonu yapılmalıdır. Uluslararası Cam Elyaf Takviyeli Beton Birliği (GRCA)'nın standartlarına uygun olarak kalibre edilmelidir. Bu testler ekipman kontrolleri herhangi bir değişiklik sonrasında ve test sonuçlarının dışında herhangi yetersiz yıkamadan sonra, her vardiya başında her pompa için yapılmalıdır. Kullanılan ekipman, cam elyaf ve çimento karışımının sürekli okumalarını verebiliyorsa bu testlerin yapılması gerekli değildir [136].

Premix yöntemi ve el spreji yöntemi sürdürülebilirlik açısından karşılaştırıldığında: El spreji yöntemi daha düşük su/çimento oranı gerektirmektedir. Malzemenin üzerine gerekli miktar püskürtüldüğü için daha az atık üretmektedir. Ayrıca kalıbın temizlenmesi daha kolay olduğu için su kullanımını azaltmaktadır. Bunların dışında dayanım, maliyet ve yüzey dokusu çeşitliliği açısından da el spreji daha avantajlıdır [137]. Fakat çekme ve burkulma mukavemeti açısından da premix yöntemi 18 MPa basınca dayanırken, el spreji 10 MPa'ya kadar dayanabilmektedir. Yaşlandırma testi sonuçlarına göre de el sprejinin kullanım ömrü sonunda güvenlik problemi oluşturabilmektedir [137].

Bu tez kapsamında incelenen paneller, açık kalıp sistemi içerisine el spreji ile püskürtme yöntemi kullanılarak elde edilen panellerdir. Bu yöntem boyut, doku, renk ve birden fazla eğrilik düzeyi olan biçimlerin çıkartılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca kalıp malzemesinin kapasitesine bağlı olarak aynı kalıp pek çok kez kullanılabilir. Bu da kalıp maliyeti, üretim hızı ve hammadde kaynaklarının tüketilmesi konularında faydalar sağlamaktadır [133].

Üretilen ürünün tekrar sayısına bağlı olarak, kalıp malzemesi tayin edilir. Buna göre kalıplar projelendirilir ve hazırlanır. Projesine uygun olarak beton karışım oranları ayarlanır. Hazırlanan beton harç ve cam lifler, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi her yere eşit gelecek şekilde, el spreji ile kalıba katman katman püskürtülür. Hemen sonrasında rulolar yardımıyla malzeme katmanları Şekil 4.3'te görüldüğü üzere sıkıştırılır. Bu sırada ürünün kalınlığı farklı yerlerinden kontrol edilir. Ürün kalıp içerisinde küreni aldıktan sonra içerisine çelik karkas yerleştirilir. Malzeme bu karkas sistemi kullanılarak binaya monte edilir. Kompozit malzeme olması sebebiyle binanın kullanım ömrü boyunca ortaya çıkabilecek olan genleşme ve büzülme durumlarında beton kısım ile çelik kısım ayrı ayrı

hareket edebilmektedir. Karkas ile malzemenin birleşim yerlerinde esnek kancalar kullanılmaktadır. Böylece cephe malzemesinde ortaya çıkabilecek farklı gerilimler dengelenmiş olmaktadır [133]. Çelik karkasla GFRC panelin bağlantısı

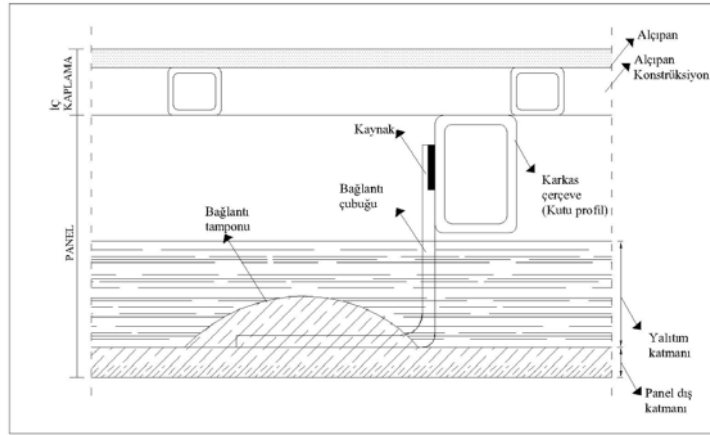
Şekil 4.4'teki plan çiziminde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. El spreyi ile GFRC karışımın kalıba püskürtülmesi.



Şekil 4.3. Kalıba püskürtülen GFRC'nin rulolarla sıkıştırılması.



Şekil 4.4. Çelik çerçeve sistem ile panel dış katmanın bağlantı detayı [130].

Uygulanan cephe sisteminin aralarında kalan derz boşlukları poliüretan fitil, poliüretan mastik ya da şişen bant uygulamaları ile doldurulmaktadır. Bu sayede hava-su akışına engel olduğu gibi cephe elemanları hareketlerine de esneklik sağlamaktadır. Sisteme uygun çelik ankrajlar bulonlar ile binaya monte edilmektedir. Bu sistem, olası bir deprem esnasında ortaya çıkabilecek yüklerin yer değiştirmesinin tolere edilmesini sağlamaktadır.

Proje detaylarına göre uygun kalıplar hazırlanmaktadır. Sistem taşıyıcı karkası detay ve GFRC elemanların boyutlarına göre uygun kesitler seçilerek flex ankraj elemanlarının kaynağı ile GFRC'ye bağlanır. Üretimi tamamlanmış, bakımı ve kontrolleri yapılmış elemanlar uygun istifleme tekniğiyle şantiyelere sevk edilir. Konusunda uzman montaj ekibi ile cephe elemanları ankrajlar ile monte edilir.

4.3.2. Üretici Firma

Tez kapsamında üretici firma olarak Fibrobeton Yapı Elemanları San. İnş. Tic. A.Ş ile çalışılmıştır. Fibrobeton firmasıyla bilgi alma ve paylaşma anlamında protokole bağlanarak, bir gizlilik sözleşmesi kapsamında çalışmalara başlanmıştır. Firmanın imalatının Düzce'de bulunması, 1987 yılından itibaren cephe paneli imalatı yapması, bu sebeple ürünlerinin 30 yıl gibi uzun bir süre uygulanmış olması tercih edilme sebeplerindendir. Firmanın yeniliklere açık, araştırma ve geliştirme bölümünün bulunması, yurt içi ve dışında tercih edilen bir cephe kaplama firması olması ise diğer tercih edilme sebeplerindendir. Fibrobeton Firması, 1,0-1,5 cm kalınlıkta GFRC cephe panelleri üretmektedir. Isı yalıtımlı paneller ise 18 cm kalınlığındadır.

Kalıp: Cephe elemanına ya da yapı malzemesine son şeklini vermesi için kalıp hazırlanır. Kalıplar çelik, ahşap, strafor, kauçuk ya da doğru şekli verebilecek farklı bir malzeme de olabilir. Kalıpların malzemelerine göre kullanım sayıları değişiklik göstermektedir. Ahşap (MDF) kalıplar 10, çelik 200, strafor 2, polyester 60, kauçuk 100 defa kullanılabilir.

Kalıba yerleştirme: Kalıba yerleştirme el spreyi ile yapılmaktadır. İlk katman olarak beyaz çimento, pigment, silis kumu (dokuya göre gerekliyse mermer tozu ya da ayna sırrı parçaları) su, akrilik; polimer fiber eklenmeden püskürtülür ve sertleşmesi için kısa bir süre tanınır.

İlk görünen katman genelde 1,5 -2,5 mm arasında olur ve GFRC elemanın tasarımındaki kalınlığa bağlı olarak 9-19 mm arasında püskürtülür. Eğer GFRC panel (sadece büyük paneller için) sabitleyicilere ihtiyaç duyuluyorsa önceden kesilmiş polistiren pedler yerleştirilir ve bu pedlerin üstü 10-15 mm kapanacak şekilde GFRC püskürtülür. “Beyaz düz” ya da “pigmentli düz” yüzeyli ise ilk ayarlamalardan sonra kalıptan çıkartılarak şantiyeye gideceği zamana kadar şeklini koruması için saklanır.

Üretici firmanın pek çok farklı cephe paneli imalatı yapmaktadır. Bu paneller; çelik karkaslı, ısı yalıtımlı, güneş kırıcı, brüt beton görünümlü, transparan, ışıldayan cephe panelleri olarak sıralanabilir [134].

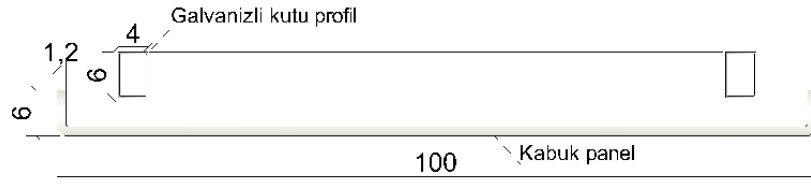
Ancak bu tez kapsamında iki GFRC panel çevresel sürdürülebilirlik açısından incelenmiştir. Tez kapsamında incelenen iki panel, üretici firma tarafından çok daha sık üretildiğini bildirdiği çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı cephe panelleridir.

4.4. ÇELİK KARKASLI PANELİN ÜRETİMİ

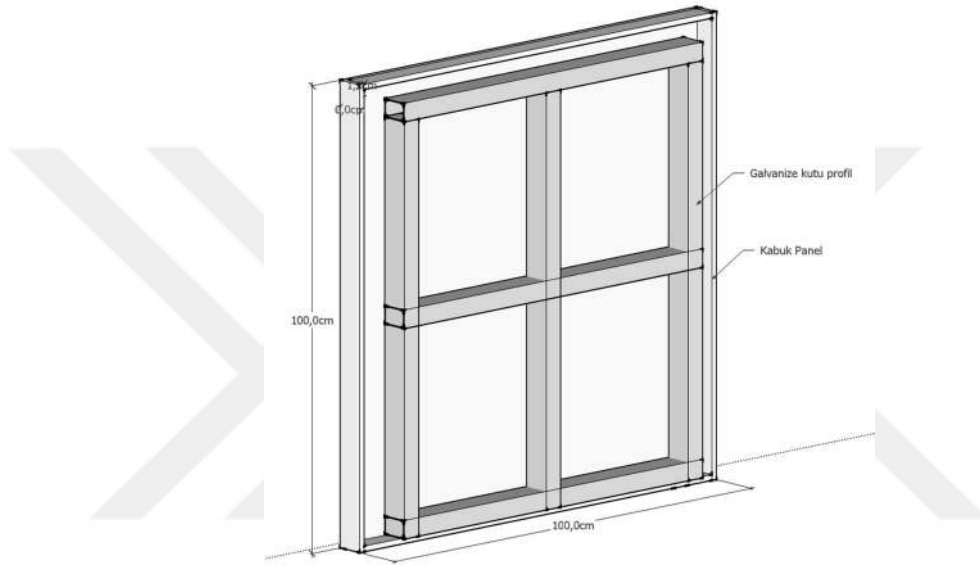
Çelik karkaslı panel üretiminde, GFRC karışım el spreyi ile kalıp yüzeyine püskürtülür, rulolanır ve betonun prizini alması beklenir. Mukavemet kazanan ürüne kabuk panel denir. Kabuk panel esnek kancalarının galvanizli profillere kaynaklanması suretiyle, galvanizli çelik karkasa monte edilir. Çelik karkaslı panelin m² ağırlığı 35 kg iken kalınlığı 12 mm’dir. Bir metrekare çelik karkaslı panel için 4,5 kg galvanizli kutu profil kullanılmaktadır.

Kabuk panelin içindeki malzemeler: Beyaz portland çimentosu, silis kumu, metakoalin, polimer bağlayıcı, akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, su ve cam elyaftır. Şekil 4.5’te çelik

karkaslı panelin planı, Şekil 4.6’da panelin aksonometrik çizimi ve Şekil 4.7’de çelik karkaslı panelin monte edileceği yüzeyden fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.5 Çelik karkaslı panelin planı (ölçü:cm).



Şekil 4.6 Çelik karkaslı panelin aksonometrik çizimi.



Şekil 4.7 Çelik karkaslı panelin fotoğrafı [138].

Üretici firmanın gizlilik sözleşmesi gereği, çelik karkaslı 1 m² panelin üretimi için gerekli malzeme listesi Çizelge 4.1’de aralık değer olarak verilmiştir. Çelik karkaslı panel ile ısı yalıtımlı panele eklenen köpük betonun teknik özellikleri ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

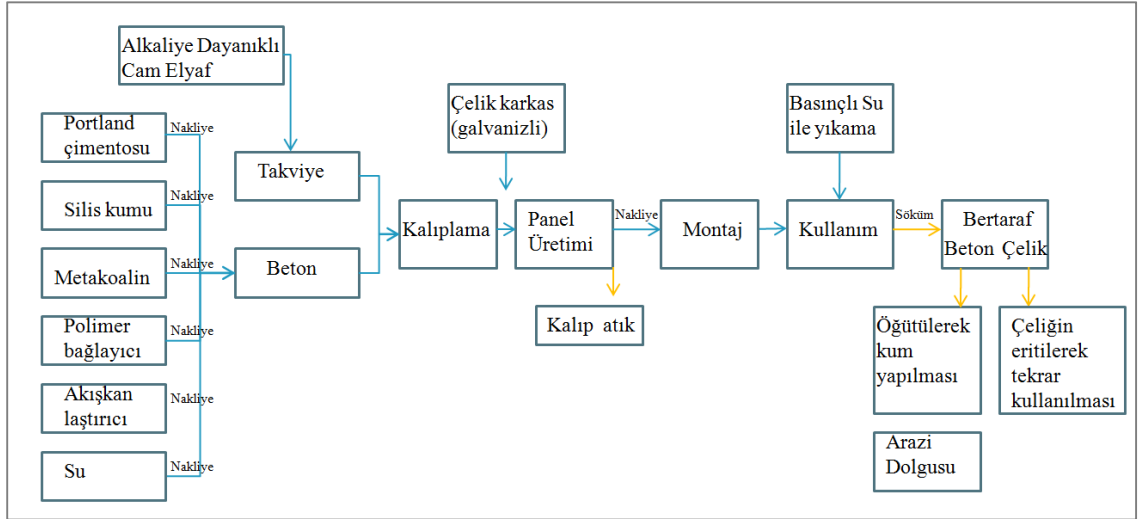
Çizelge 4.1. Çelik karkaslı panel karışım listesi.

Çelik Karkaslı Panel

Beyaz portland çimentosu	14-18 kg
Silis kumu	14-20 kg
Metakoalin	1-3 kg
Polimer bağlayıcı	0.2-1.2 kg
Akışkanlaştırıcı	0,01-0.08 kg
Alkaliye dayanıklı cam fiber	1-3 kg
Su	5-6 kg

Çelik karkaslı panelin içine beyaz Portland Çimentosu, ince agrega, polimerler ve suyun yanısıra el spreyiyle cam lifler kalıba doğru püskürtülür. Kalıplar püskürtülen karışıma ankraj çubukları ile monte edilir. Panellerdeki beton prizini aldıktan sonra çelik karkası monte edilir. Gerekli ürün kodlaması yapılarak, depolarda istiflenir. Sonrasında kullanılacağı alana nakliye edilir.

İnşaat aşamasında monte edileceği yüksekliklere genellikle vinçle çıkartılarak, cepheye kaynatılır ya da monte edilir. GFRC paneller için 60 yıllık ömür öngörülmektedir. Bakım olarak panellerin monte edildikleri cephede basınçlı suyla yıkanmaları yeterli olmaktadır. Kullanım ömrü boyunca panellerin sadece %5'nin değişebileceği varsayımında bulunmaktadır. Paneller kullanım ömrünü tamamlayınca, bulunduğu cepheden sökülürler, beton ve metal olan kısımlar birbirinden ayrılır. Çelik olan bölümler hurdaya ayrılırak, geri dönüşüme sokulur. Beton olan kısımlar ise düzenli istifleme alanlarında depolanır. Çelik karkaslı panelin yaşam döngüsü aşamaları Şekil 4.8'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.8. Çelik karkaslı panelin beşikten mezara yaşam döngüsü.

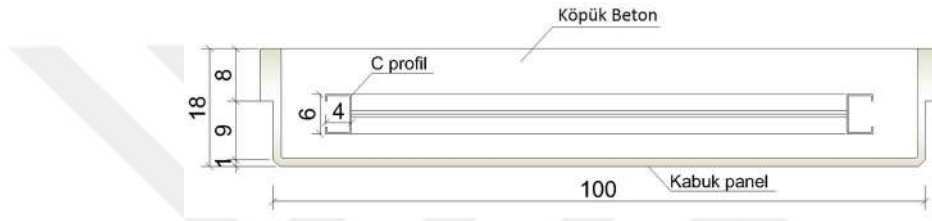
Çizelge 4.2. Çelik karkaslı panel ile köpük betonun teknik özellikleri [139].

Çelik karkaslı panel				Köpük beton	
Özellik	Simge	Birim	Değer aralığı	Değer aralığı	Değer aralığı
Basınç mukavemeti	f_c	N/mm ²	50-80	10 kg/m ²	—
Çekme mukavemeti	f_{ct}	N/mm ²	5-10	1.83 kg/m ²	—
Orantılılık sınırı	LOP	N/mm ²	6-18	—	—
Kırılma Modülü	MOR	N/mm ²	15-25	—	—
Genleşme sınırı	ϵ_u	0%	0.5-4	—	—
Darbe mukavemeti	—	N/mm ²	10-25	—	—
Elastite Modülü	E	kN/mm ²	10-20	—	—
Yoğunluk	?	kg/dm ³	1.9-2.2	300	400 kg/m ³
Isıl genleşme kat. s.	αT		(1.0-1.5)x10 ⁻⁵	0.077	0.85 Kcal/mhc
Isıl iletkenlik	λ	W/mk	0.8-1.2		

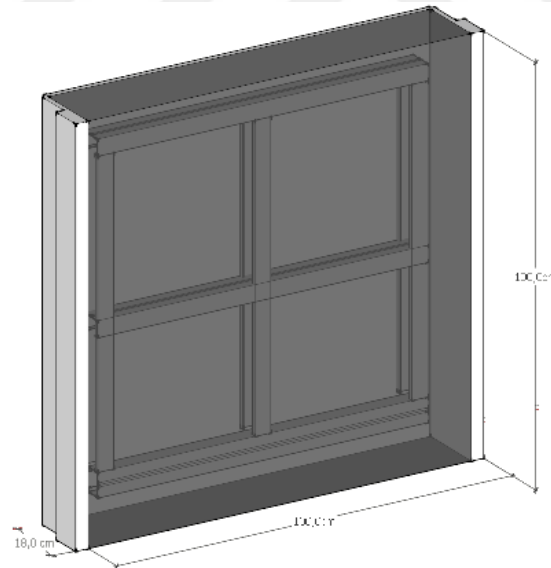
4.5. ISI YALITIMLI PANEL

Cam elyaf takviyeli beton ile ısı yalıtımlı betonun mekanik ve termal özelliklerinden yararlanılarak elde edilen kompozit yapıda hafif bir cephe kaplama panelidir. Isı yalıtımlı panelin plan çizimi Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Isı yalıtımlı panele de kabuk panellerle aynı şekilde el spreysi ile GFRC püskürtülmekte, sonrasında prizini alması beklenmektedir. Bu oluşan GFRC 10-15 mm kalınlığında kabuk beton olarak tanımlanır. Bu kabuk beton, prizini aldıktan sonra kalıp olarak ısı yalıtımlı panel üretimi için kullanılır. Bunun içerisine galvanizsiz C profiller monte edilir. Sonrasında Normal Portland Çimentosu, köpük ajanı ve köpük fiberi karıştırılarak 300-350 kg/m³ yoğunlukta köpük beton elde edilir. Köpük beton kalıbın (kabuk panelin) içine dökülür. Isı yalıtımlı GFRC panelin m²'si 80 kilogramdır. 180 mm kalınlığında m² başına ise 12,5 galvanizsiz C profil kullanılmaktadır. Isı yalıtımlı panelin aksonometrik çizimi Şekil 4.10'da, görünüşü Şekil 4.11'de ve yapım aşamalarına ilişkin resimler ise Şekil 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.9. Isı yalıtımlı panel plan çizimi (ölçü birimi cm'dir).



Şekil 4.10. Isı yalıtımlı panel aksonometrik çizimi.



Şekil 4.11. Isı yalıtımlı panelin görünümü [140].



Şekil 4.12. Isı yalıtımlı panel GFRC kabuktan oluşturulmasından sonra içine çeliğin yerleştirilmesi.



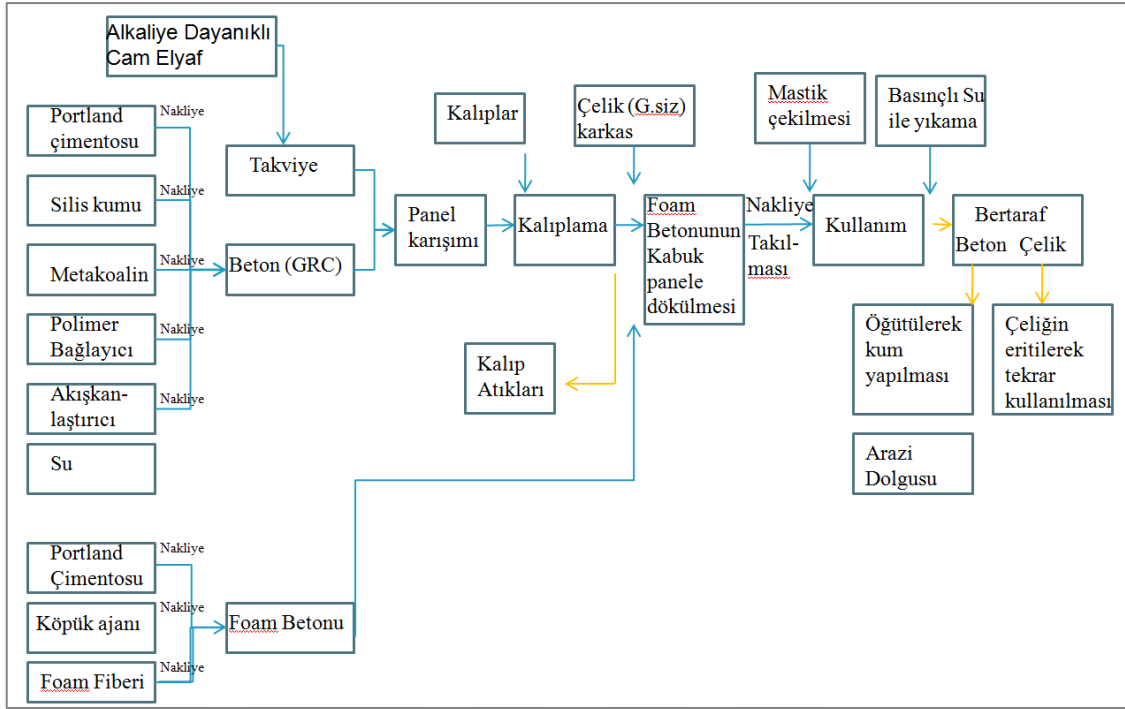
Şekil 4.13. Köpük betonun donatılı GFRC kabuk panele yerleştirilmesi.

Isı yalıtımlı panelin 1 m² için kullanılan yapı malzemeleri Çizelge 4.3'te değer aralığı olarak ifade edilmiştir. Isı yalıtımlı panelin yaşam döngüsü, çelik karkaslı paneller; nakliye, montaj ve söküm aşamaları benzerlik göstermektedir. Isı yalıtımlı panelin yaşam döngüsü Şekil 4.14'te görülmektedir.

Çizelge 4.3 GFRC Isı Yalıtımlı Panel İçerik Listesi (1 m²).

GFRC Isı yalıtımlı panel

Beyaz portland çimentosu	14-17	kg
Silis kumu	16-19	kg
Metakoalin	0,5-2,5	kg
Polimer bağlayıcı	0,5-1	kg
Akışkanlaştırıcı(Su azaltıcı)	0-0,5	kg
Alkaliye dayanıklı cam fiber	0,8-2	kg
Su	5-6	kg
Gri Portland Çimentosu	34-40	kg
Köpük ajanı	0,5-1	kg
Foam Fiberi	0,1-0,5	kg



Şekil 4.14. Isı yalıtımlı panelin beşikten mezara yaşam döngüsü.

4.6. ÇELİK KARKASLI VE ISI YALITIMLI PANELLERDE KULLANILAN MALZEMELER

Çelik karkaslı panel ile ısı yalıtımlı panelde ortak olan kabuk panel içinde beyaz çimento, metakaolin, cam lifler, silis kumu, akışkanlaştırıcı ve su bulunmaktadır. Isı yalıtımlı panel ise foam fiberi, köpük ajanı ve Normal Portland Çimentosu içermektedir.

4.6.1. Beyaz Çimento

Çimento üretiminde ilk aşama, kil ve kalkerin belirli oranlarda birbirleriyle karıştırılarak 1300-1400 °C arasında pişirilmesi sonucu klinker elde edilmesidir. Klinker minör (alçı, FeO₂ vb) katkı maddeleri eklenerek çimento değirmenlerinde öğütülmesi sonucu elde edilen toz halinde bulunan, su ile karıştırıldığında bağlayıcı özellik gösteren ana yapı malzemelerinden biridir. Hamur haline getirildikten sonra önceden hazırlanan kalıpların içine yerleştirilir ve havayla temas ederek prizini alması beklenir [141].

Çimentonun ana bileşenleri kalker, alçı taşı ve silisli kum ayrıca FeO₂ eklenerek çimento bileşimi ayarlanır. Çimentonun tipi ve çeşidine bağlı olarak %3-%6 oranları arasında alçı taşı ilave edildikten sonra öğütülür. Üretici firma beyaz çimento olarak Çimsa Eco-Beyaz (CEM II/B-L 42,5 R) kullanmaktadır.

Kimyasal Kompozisyon;

Beyaz kireçtaşı çimentoya EN 197-1 (CEM II /B-L 42,5 R), göre beyaz kireçtaşı çimentonun kimyasal kompozisyonu Normal Portland Çimento klinkeri %75-79, kalker %21-25, alçı taşı %2-5 konsantrasyon arasındadır. Beyaz kalkerli çimento içinde serbest halde CaO, MgO and Na bileşenleri, krom ve nikel az miktarda rastlanabilir. Çimentonun (CEM II/B-L 42,5R) fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çimento hammaddeleri yüksek sıcaklıkta fırınlarda pişirilir. Pişirilme sonucunda kireç, kilin ayrılması sonucunda ise silis, alimin ve demiroksit ortaya çıkar. Üretici firmada Çimsa Eco-Beyaz (CEM II/B-L 42,5 R) çimento olarak kullanılmaktadır. Buradaki CEM- II ana çimento tipini, B Portland çimentosu klinkerinin oranını orta, L ise kalkerin kütleyle oranının % 21-35 arasında olduğunu, 42,5 standart dayanım sınıfını, R ise hızlı dayanım aldığını göstermektedir [141]. Beyaz kireçtaşı çimentosu beton, çimento hamuru ve harçları vb. üretiminde hidrolik bağlayıcı olarak kullanılır.

Çizelge 4.4 Çimento (CEM II/B-L 42,5R)’nun malzeme bilgi formundaki özellikler.

Ana parçacık boyutu	7-30 μm ,
Sudaki çözünürlüğü	(T= 20°C) : hafif (0,1-1,5 g/l)
Yoğunluk:	2,90-3,05 g/cm ³
Görünür yoğunluk (ES) :	0,8-1,2 g/cm ³
pH (T= 20°C suda) :	11-13
Kaynama/erime noktası:	>1000 °C

4.6.2. Metakaolin

Metakaolin puzolanik mineral bir katkıdır. Çimento bazlı hamurların, betonların ve ilgili diğer ürünlerin performans özelliklerinde önemli değişiklikler sağlamaktadır. Metakaolinin hammaddesi kaolin kilidir. Kaolin ince yapılı, beyaz, kil minerallerinden oluşmaktadır. Kaolin hidratize edilmiş aliminyum disilikat, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, olarak formüle edilmektedir.

Önceleri geleneksel porselen yapımında kullanılan kaolin, sonraları kağıt endüstrisinde dolgu, matlaştırıcı ve yüksek kaliteli kağıtlarda kaplama malzemesi olarak da önem kazanmıştır. Bunlara ek olarak kauçuk, boya, plastik, kimya, ilaç ve seramik sanayinde

de kullanılmaktadır. İnşaat endüstrisinde ise karo imalatı, cam elyaf katkılı beton (GFRC), renkli beton uygulamalarında ve parke taşları yapımı gibi pek çok farklı yapı malzemesinde kullanılmaktadır [142].

Kelime kökü olarak "Meta" ön eki ise değişikliği göstermek için kullanılır. Yunanca'dan gelmekte ve sonra, sırasında ve beraber anlamları katmaktadır. Metakoalin kelimesinde ise değişiklik; belirli bir periyotta ısı verilmesi ile kaolinin dehidrasyonu işlemi için kullanılmıştır.

Kil mineralleri içerisindeki emilmiş suyu 100-200 °C derece aralığında kaybetmektedir. Kaolin ise içindeki suyu 500-800 °C derecelerde kaybetmektedir. Bu sıcaklıklarda 30-60 dakika tutulmalı ve bağlı suyunun tamamen buharlaştırılması gerekmektedir. Mineralin termal aktivasyonu kireçlenme olarak tanımlanmaktadır. Dehidrasyon sıcaklığı sırasında, kaolin kristal yapısını iki boyutta da koruyarak ürün metakaolini oluşturur [143].

Metakaolin kullanılmasının avantajları arasında, yüksek miktarda amorf silis içermesi, alkali-silika reaksiyonu, sülfat saldırısı ve çiçeklenme gibi durabilite sorunlarını önlemesi ve beton elemanlara geçirimsizlik özelliği katmasıdır. Bunlara ek olarak beyaz olduğu için estetik özellikler gereği pek çok mineral katkıyla uyumludur. Metakoalin; silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi malzemelere göre çok daha puzolanik özellik göstermektedir [144].

Metakoalinin dezavantajı olarak sadece betonun işlenebilirliğe etkisi sayılabilir. İçerdiği kil yapısı sebebi ile harcın su ihtiyacını arttırmaktadır. Bu sebeple metakaolin kullanılan karışımlara kimyasal katkı (akışkanlaştırıcı) eklenmesi tavsiye edilmektedir. Hem kabuk panel hem de ısı yalıtımlı panellerde metakaolinin yanı sıra süper akışkanlaştırıcı kullanılmaktadır.

Çimento Reaksiyonu: $P\check{C}(\text{Portland } \check{C}\text{imentosu}) + H_2O \longrightarrow C-S-H \text{ Jel} + Ca(OH)_2$

Metakaolin Etki Mekanizması: $\text{Metakaolin} + SU + Ca(OH)_2 \longrightarrow C-S-H \text{ Jel}$

C-S-H Jel dayanımı arttırdığı için istenen fazdır. $Ca(OH)_2$ ise dayanıma katkısı olmadığı için istenmeyen fazdır. Fabrikada kullanılan ürünün çevresel verilerinde $SiO_2 < \% 76$, $Al_2O_3 > \% 15$, $Fe_2O_3 < \% 0.5$ oranlarında belirtilmiştir.

4.6.3. Cam Lifler

Dünya’da cam fiber lifler ilk defa 1893 yılında üretilmiştir. Cam lif kullanılan beton panellerle dikkat çekici, dayanıklı ve sağlam mimari örnekleri oluşturulmuştur. Kullanım alanları, yeni bina cepheleri, cephe yenileme, prekast elemanlar, elektrik direkleri, konut ve endüstriyel bazlı döşemeler olarak sıralanabilir. Silikon oksit ve başka oksitlerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır.

Genel olarak cam lifler çimento matrisiyle uyumludur. Yüksek dozajlarda bile yüksek işlenebilirlik sağlarlar, kimyasallara karşı dayanımı arttırlar. Betonun durabilitesini uzun vadede uzatırlar. Betonun içinde yüzmez yada batmaz, hızlı ve eşit olarak dağılırlar. Eurapean Directive 99/45/EC, 67/548/EEC safety standartlarına uymak zorundadır [145]. Cam liflerin özelliklerine göre sınıflandırılması Çizelge 4.5’te gösterilmiştir [135], [146].

Çizelge 4.5 Cam liflerin özelliklerine göre sınıflandırılması.

İfade eden harf	Özellik veya niteliği
E, Elektrik	Düşük elektrik iletkenliği
S, Dayanım	Yüksek Dayanım
C, Kimyasal	Yüksek kimyasal dayanıklılık
M, Elastiklik	Yüksek sertlik
AR, Alkali	Yüksek alkaliye dayanım
D, Yalıtkan	Düşük yalıtkanlık sabiti

Cam lifler kompozitlerde kullanılan en yaygın liflerdendir. Cam liflerin en büyük avantajları düşük maliyetleri, kimyasal dayanımları, yüksek gerilme mukavemetlerine olan dayanım ve yüksek ısıya karşı olan dayanımlarıdır. Dezavantajları ise düşük gerilme modülü, kalıba yerleştirme sürecindeki hassasiyet, nispeten düşük yorulma direnci ve kırılgenlik olarak sayılabilir. Cam lifler yüksek ısıya ve korozyonlu ortamlara dayanıklı olmasının yanı sıra radar geçirgenliğine de sahiptir [147].

Cem-fil Alkali Rezistant (AR) glass fiber, alkaliye dayanıklı cam liflerdir. Beton, çimento harçları ve GFRC’leri çatlamaya karşı korumak için geliştirilmiştir. Hidrolik matrisle bağı çok kuvvetlidir. Cam fiberler bütün beton karışımları ve karıştırma yöntemlerine uygulanabilir. Bu esneklik liflerin mükemmel dağılımı, kolay işlenme ve kaliteli yüzey

görünümü sağlar. Cam liflerin beton içindeki oranı; plastik büzülmeyi önlemek için 0,3-0,6 kg/m³; çelik donatı yerine kullanmak için 0,9-1,5 kg/m³ kullanılmalıdır [145].

Lifler, ASTM 1666/0 1666/M-07 ve EN 15455 standardına göre üretilmektedir. Bazı döşeme uygulamalarınca AR cam lifler strüktürel çelik gridin yerini alabilmektedir. AR cam lifler taş ve agregayla aynı özgül ağırlığa sahip olduğu için beton takviyesinde idealdir. AR cam lifler betonun kırılmasını önleyici yüksek esneme modülüne sahiptir ve betonun kalınlığını veya ağırlığını 10 kata kadar düşürebilmektedir.

Cam liflerin üretimi sırasında çoğu minarelerden oluşan hammaddelerle başlar. Daha önceden hazırlanmış, karışım reçetesine göre bir araya getirilir. Standart bir AR cam lifin fiziksel özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Cam liflerin alkaliye dayanıklı (AR)’nin fiziksel özellikleri.

Lif uzunluğu	Görünüm oranı (Boy/çap)	Lif çapı (ISO 1888:2006)	Ateş Sönümlenmesi	Nem (%)
12 MM-3/4"	58	17 µm / 0.00067"	1.00	0.5

Cam liflerin oluşturulması sırasında kullanılan bileşenler ve gerekli enerji Çizelge 4.7’de tablo olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.7 Cam liflerin kimyasal içeriği (kg) [148] .

Enerji	CO ₂	SO _x	NO _x	PM	COD
48.3 MJ	2.04 kg	8.8 g	2.9 g	1.03 mg	0.02 g

4.6.4. Silis Kumu

Silis kumu, kimyasal olarak SiO₂ olarak ifade edilmektedir. Arasındaki sert bağların kuvvetli olması sebebiyle tepkimeye girmez (inert) ve yüksek erime noktasına sahiptir. Cam üretimi, su filtre edilmesi, seramik üretimi ve GRC üretimi gibi uygulamalarda kullanılır [149].

Silis kumu GRC’lerin içinde kullanılan tek agregadır. Doğal kumlar, kırma kumlara oranla daha yuvarlak kesitli oldukları için spreyleme işlemini kolaylaştırmaktadır [150]. ASTM C144 (cephe panelleri için agrega yönetmeliği) gereksinimlerini karşılaması

beklenen, yıkanmış ve kurutulmuş silis kumu spreyleme işleminde püskürtme üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Genellikle, silis içeriği %96 ile %98 arasında olmalı ve agrega içeriğindeki organik maddeler de %0,5'ten (kil dâhil) daha az olmalıdır.

Spreyleme işlemi ile GFRC cephe panellerinin üretiminde kullanılan silis kumlarının maximum partikül büyüklüğü 1,8 mm ile sınırlandırılmalı veya ASTM standartlarında 16 numaralı elekten geçebilecek büyüklük baz alınmalıdır. Üretici firmadan alınan malzeme bilgi formuna göre, silis kumunun içeriği Çizelge 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Silis kumu içeriği.

Bileşimleri	30-35 AFS
% SiO ₂	98,6
% Fe ₂ O ₃	0,13
% MgO	0,03
% CaO	0,01
% K ₂ O	0,09
% Na ₂ O	0,02
% Al ₂ O ₃ ve Diğerleri	1,12

4.6.5. Köpük Betonu

Köpük betonu, hafif beton sınıfları arasında sayılmaktadır. Hafif beton, normal betona oranla daha boşluklu, yüksek ısı yalıtım özelliklerine daha düşük birim ağırlıklara sahip olan betonlara verilen isimdir [151]. Bir protein ya da sentetik esaslı köpük ajanıyla harç ya da beton karışımı içindeki hava baloncuklarının tutulması sağlanır. 300 kg/m³'den 1800 kg/m³'e hafif beton olarak sınıflandırılır. Hafif betonlar yüksek akışkanlıkları, düşük ağırlıkları, agrega tüketimini azaltıcı özellikleri, kontrollü düşük dayanımı, yadsınamayacak ısı izolasyonlarıyla kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Bunlara ek olarak hafif betonlar, agrega kullanımını minimuma indirmesi ve atık malzemelerin birleştirilebilmesi özelleikleri ile çevre dostu bir malzeme olarak görülebilmektedir [152]. Köpük betonun bileşenleri aşağıda daha detaylı olarak incelenmiştir.

4.6.5.1. Foam Fibrer malzemesi

Foam fibrer malzemesi, tozlaştırılmış karbon ya da diğer gaz yapıcı maddelerin ufalanmış cama ilavesi ve çıkan gaz kabarcıklarının camın içinde hapsedildiği bir pişirim sonucu

elde edilen, yüksek yalıtım özelliğine sahip, neme dayanıklı, yanmaz, yüzer, kokusuz camdır [153].

4.6.5.2. Köpük Ajanı (Foam Agent)

Foam betonunun oluşturulmasında en önemli adım, içindeki boşlukların yapısı, boyutu ve betonun içindeki dağılımıdır. Boşlukların oluşturulması için iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisinde, ortaya gaz çıkartan ajanlar, çimentoyla karıştırıldığında H_2O_2 ortaya çıkarırlar. İkinci yöntem ise organik foam ajanı kullanılmasıyla elde edilen büyük hacimlerde hava kabarcığı oluşturulmasıdır [154].

Köpük ajanları çimento hamuru içindeki kabarcıklar oluşturarak betonun yoğunluğunu kontrol ederler. Foam köpükleri köpük ajanı eklenmesiyle oluşan kapalı hava boşluklarıdır. Köpük maddeleri genel olarak sentetik, protein-bazlı, deterjanlar, tutkal reçineleri, hidrolize protein, reçine sabunu ve saponin olarak ayrılabilir. Ancak en çok kullanılan sentetik ve protein esaslı olan köpük ajanlarıdır. Protein bazlı ajanlar daha kuvvetli ve daha kapalı hücreli köpük yapısı oluşturmakla beraber daha büyük boyutlarda hava tutulmasını sağlarlar. Böylece sentetik esaslı köpük ajanlarına oranla daha düşük yoğunluk elde ederken, aynı zamanda daha sabit bir hava boşluğu ağı sağlarlar [155]. Köpük ajanına ait bilgiler Çizelge 4.9 'da tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.9. Köpük ajanı malzemesi kimyasal içeriği.

Isobutanole	%1-2
Kalıyım klorid	%1-3
Mineral genişletici (Extender)	%8-10
Aminoasit	%19-21

4.6.6. Su

Beton içinde kullanılan su, temiz, taze ve içilebilir olmalıdır. Suyun içindeki organik bileşenler protein esaslı foam ajanı kullanılan betonlarda olumsuz etkilere yol açar. Suyun yeterli miktarda kullanılması gerekmektedir. Foamlu betonda az su kullanılması betonun sert olmasına ve karıştırma sırasında baloncukların patlamasına sebep olmaktadır. Bu da tabii ki betonun yoğunluğunun artmasıyla sonuçlanmaktadır. Aynı şekilde fazla su kullanılması ise beton karışımını fazla incelteceği için baloncukları tutamaz, segregasyona uğrar, bu da yine sonuç olarak yoğunluğun artmasına sebep olur [155].

4.6.7. Akışkanlaştırıcı

Güçlü ve kalıcı bir bağ oluşturarak aderans ve elastikiyet sağlar. Kimyasal ve mekanik ataklara karşı direnç elde etmesinin yanısıra ani kuruma çatlaklarını önler. Su geçirimsizlik sağlarken donma ve çözünme döngüsüne olan dayanımı artırır. En büyük etkisi ise işlenebilirliği arttırmasıdır.

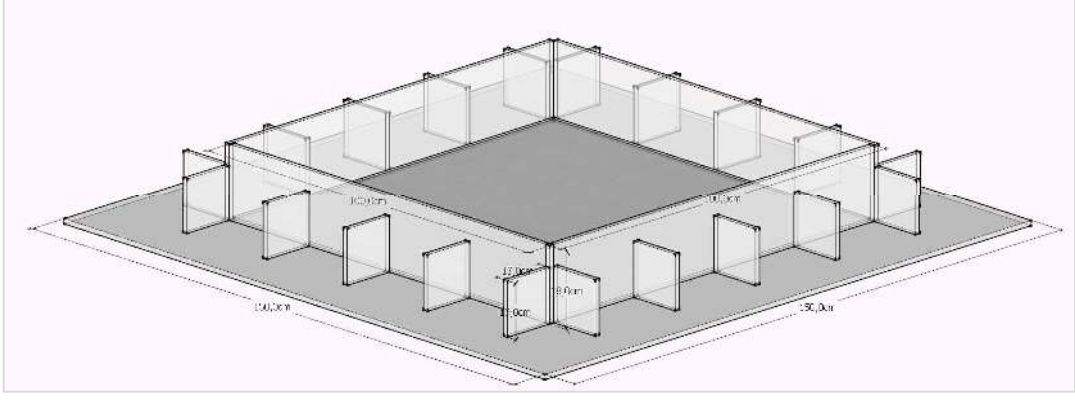
4.6.8. Kalıplar

Üretici firmada ahşap, polyester, çelik, strafor, kauçuk olmak üzere pek çok kalıp sistemi kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında en sık kullanılan ahşap kalıplar üzerinde durulmuştur. Ahşap kalıpları, orta yoğunluğa sahip lif levhalardan (MDF) oluşturulmaktadır.

MDF'ler binalarda iç mekân kaplamalarından mobilyalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Yüzey kalitesi, ölçü standartları ve mekanik özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. MDF'ler ince ahşap liflerin sıcak ve basınçla birlikte reçineli bir yapışkanla yapıştırılması sonucu elde edilir [156]. MDF orta sertlikte bir levha olup, termomekanik olarak odun veya diğer selülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra yaklaşık %9-11 oranında termosetting (sıcaklıkta katılaşılan) karakterli bir tutkal ile tutkallanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle oluşan homojen yapıda levhadır [157].

MDF, yapısı itibarıyla her noktasının homojen yoğunlukta olması, standart boyutlarda elde edilebilmesi, freze işlemleri, yüzey ve kenarlardan uygulanan vidaları iyi tutması nedeniyle tercih edilmektedir [157].

Üretici firma dahilinde üretilen iki panel için de kalıp kullanılmaktadır. YDD modellemesi sırasında ahşap kalıbın daha çok kullanıldığı ve hesaplanmasının kolay olduğu görülmüştür. Ahşap kalıp dışında çelik, strafor, polyester ve kauçuk kalıplar da kullanılmaktadır. Çelik karkaslı panelin üretiminde kullanılan ahşap kalıpların aksonometrik çizimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Ahşap kalıplar 10 defa döküm için kullanılabilir. Sarf malzemesi olarak 8 adet vida ve su bazlı kalıp yağı kullanılmaktadır. Isı yalıtımlı panel için ise kalıp ahşapının %15 daha fazla harcandığı kabul edilmiştir.

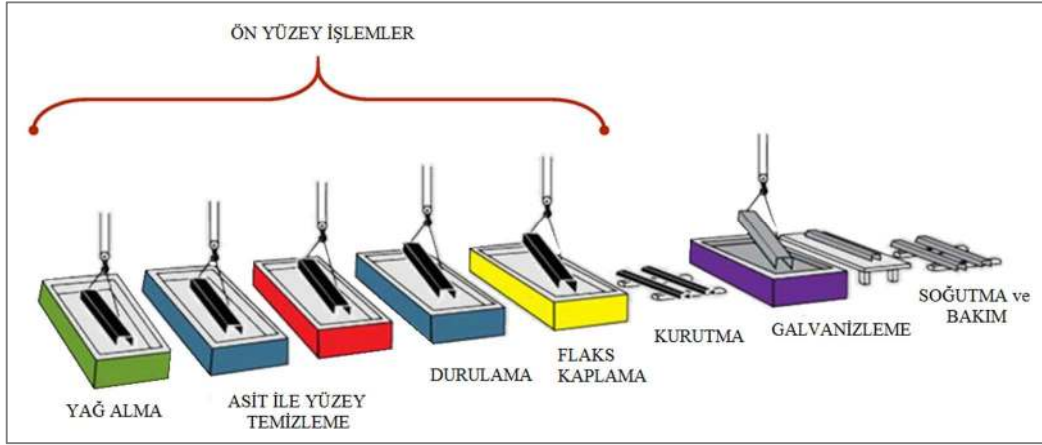


Şekil 4.15. MDF 1 m2 kabuk panel elde etmek için kullanılan kalıpların çizimi.

4.6.9. Çelik Karkasla İlgili Veriler

Galvaniz, 450-455 °C derecedeki erimiş çinkonun içine daldırılan demirin kaplanmasına denir. Çinko, demirle kuvvetli bağlar yaparak üçlü bir faz tabakası meydana getirmektedir. Özellikle paslanmaya karşı yapılan bu işlem dışarıda, açık havada her türlü hava koşulunda bulunacak metallerin ömrünün uzatılması için yapılmaktadır. Galvanize metal kromat kaplanırsa ömrü uzamaktadır. Galvaniz işleminde galvanizin mikron değeri, malzemeye yapışma uygunluğu, deliklerdeki çapaklar, uç kısımlardaki galvaniz birikintileri, birbirine yapışmış malzemeler, dros yapışması, kaplanmamış bölgeler ile kül yapışması ve beyaz paslara dikkat edilmelidir. Demir malzemenin ürün tasarımı galvanizlenmeye uygun olmalıdır. İçi boş olan malzemelerde çinko giriş delikleri ve basınç çıkış delikleri önem kazanmaktadır. Galvanizleme süreci Şekil 4.16’da gösterildiği üzere, yağ alma, yüzey temizleme, su ile durulama, flaks kaplama, ergimiş çinko banyosu, su ile soğutma işlemlerinden oluşur. Galvanizlenebilen bazı küçük parçalar da vardır. Zincir galvanizi, ankraj galvanizi, profil galvanizi, sac galvanizi, saplama galvanizi gibi birçok malzeme galvanizlenebilir. Galvaniz topraklama kazık ve galvaniz topraklama şeritler de topraklama hatlarında kullanılmaktadır. Genel olarak galvanizlenen malzemelerin kimyasal kompozisyonları şu şekildedir: %0,25'ten az karbon, %0,05'ten az fosfor, %1,35'ten az mangan, %0,05'ten az silisyumdur.

Çelik karkaslı panel ve ısı yalıtımlı panelde çelik karkas kullanılmaktadır. Çelik karkaslı panelde galvanizli çelik kullanılırken, ısı yalıtımlı panelde galvanizsiz çelik kullanılmaktadır. Kullanım miktarlarına ilişkin veriler Çizelge 4.10’da belirtilmiştir.



Şekil 4.16. Sıcak daldırma galvaniz prosesi[158].

Çelik imalatıyla ilgili üretici firmanın taşeronu olan firmayla görüşülmüş, kaynak yapılırken giden sarf malzemeleri tespit edilmiştir. Bu malzemeler gaz altı teli ve kaynak makinesidir. Çelik işlenmesine aletlere ilişkin görseller ve üretim şeması Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Çeliğin üretim aşamaları ham maddenin temini, malzeme kesim bükümü, montaj, kaynak, hasır çelik kaynağı ve kaynak ve montaj noktalarının boyanması ile sonlanmaktadır. Kaynak aşamasında çıkan hurda geri dönüşüme verilmektedir.

Çizelge 4.10. Panellerin ağırlık ve harcanan çelik miktarı.

	Metrekare ağırlığı	Kalınlık	m ² başına çelik (kg)
Çelik karkaslı panel	35 kg	1.2 cm	4.5 kg galvanizli çelik
Isı yalıtımlı panel	80 kg	18 cm	12,5 kg galvanizsiz çelik



Şekil 4.17. Paslanmaz çelik elektrodlar ve kaynağı ve çelik karkas imalat şeması.

5. CAM ELYAF TAKVİYELİ CEPHE PANELLERİNİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİYLE İNCELENMESİ

Türkiye inşaat malzemeleri üretiminde dünyada 30. sırada olmakla birlikte, sektörün büyüme hızı beklentileri % 8 gibi yüksek oranlardadır [159]. Yapı malzemesi üretimi istihdam, sanayi ve ihracat açısından büyük önem taşımaktadır. Yapı malzemesi üretimi yapılırken yakın çevresindeki hammadde kaynaklarını tüketmekte, tatlı, tuzlu su kaynaklarına zarar vermekte ve toprağın zehirlenmesine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı yapılan üretimlerin çevresel yüklerinin azaltılması, gelecek kuşaklara yaşanabilir bir çevre bırakmak açısından son derece önemlidir.

5.1. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON CEPHE PANELLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMİ

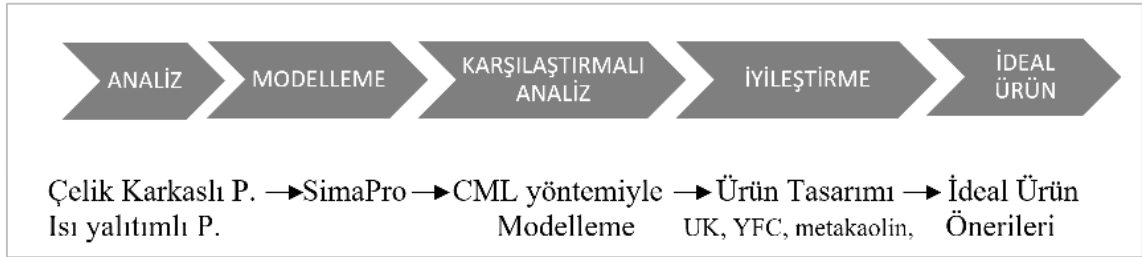
Cam elyaf takviyeli beton cephe panelleri ağır prekast cephe panellerine göre çok daha hafiftir ve içeriğinde kullanılan hammadde miktarı daha azdır. Durabilitesinin yüksek olması, kırılma ve darbeye karşı dayanıklı olmasının yanı sıra, ısı yalıtım kat sayıları da belirlenen sınırlar içinde kalmaktadır. 4. bölümde detaylı olarak bahsedilen paneller, çeşitli beton karışımlarının açık kalıp sistemine püskürtülmesiyle elde edilmektedir. Üretim sürecinde ergitme ya da fırınlama gibi enerji gerektiren yoğun bir süreç bulunmaması sebebiyle fabrika içinde harcanan enerji miktarları da oldukça düşüktür.

5.2. ARAŞTIRMA TASARIMI

Araştırma tasarımı birbirine lineer olarak bağlı beş aşamadan oluşmaktadır. Araştırmanın ilk aşamasında öncelikle mevcut panellerin, içine giren malzemeler, süreçler ve çevresel etkiler detaylı olarak analiz edilmiştir. İkinci aşamasında ürünlerin sürdürülebilirlik performanslarının artırılabilmesi için yapılabilecek olan iyileştirme seçeneklerine literatürden yapılan detaylı araştırmalar sonucunda karar verilmiştir. Üçüncü aşamada iyileştirme olanakları; ürün tasarımı, süreç tasarımı ve geri dönüşüm olarak üç alt başlıkta toplanarak değerlendirilmiştir. Belirlenen alternatiflerin olumlu ve olumsuz yönleri literatürden taranarak yeniden gözden geçirilmiştir. dördüncü aşamada elde edilen

seçenekler elik karkaslı panel ve ısı yalıtımlı panel için olumlu ve olumsuz yönleri litertrden tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonrasında bu kısım için ayrı ayrı YDD modellemesi yapılmıştır. Son aşamada çıkan sonuçlara göre çevresel açıdan sürdürülebilirlik performansının arttırılma yöntemleri tespit edilmiştir. Tüm ıktılar, üretici firmayla olası uygulamalarında kullanılmak üzere raporlanmıştır. Anlatılan süreç izelge 5.1’de tablo haline getirilmiştir.

Çizelge 5.1. Panellerin analiz ve geliştirilme şeması.



5.3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ VE SÜREÇLER

Araştırmanın veri toplama yöntemi birincil ve ikincil verilere dayanmaktadır. Araştırma süresince öncelikle, üretici firmadan fabrikadaki yapı malzemesi üretim sürecinden elde edilen birincil veriler (yaklaşık %90) YDD yazılımında kullanılarak modelleme yapılmıştır. Firmadan direkt elde edilemeyen ikincil veriler, literatürden detaylı olarak yapılan araştırmalar ve YDD yazılımında yeniden bir modelleme yöntemiyle elde edilmiştir. Böylece elik karkaslı ve ısı yalıtımlı panellerin çevresel etkileri tespit edilmiş ve birbirleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçların detaylı olarak incelenmesi sonucu olumsuz çevresel etkileri hangi malzemelerin arttırdığı tespit edilmiştir. Çevresel etkileri yüksek olan ve sürdürülebilirlik performansını olumsuz etkileyen malzemelerin azaltılabilmesi için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu süreçte tez kapsamına alınan yayınların mümkün olduğunca basınç, çekme dayanımı gibi mekanik özelliklere ilişkin deney sonuçlarını da içermelerine dikkat edilmiştir. Geliştirilen zm önerileriyle, malzemelerin mekanik performanslarına olumsuz etkilerinin minimize edilmesi amaçlanmıştır.

5.3.1. YDD Programının Seçilme Prosdr

TS EN 14040’a göre bir ürünün YDD’sinde giren hammadde, enerji (retim süreçleri) havaya, suya ve toprağa verilen salımlar şeklinde girdi ve çıktı olarak ikili bir tanımlama

yapmak gerekmektedir. Bu yaklaşımla çok karışık olarak gözüken YDD sürecini basitleştirmek ve kolay anlaşılır hale getirmek mümkün olmaktadır. Yapı malzemesine ilişkin bilgilerin de bu şekilde toplanması YDD çalışmalarının hızını arttırmış ve değerlendirme sürecini sadeleştirmiştir.

YDD yazılımları araştırıldığında SimaPro, Gabi, Athena, eTool gibi pek çok farklı seçenekle karşılaşılmaktadır. Bu yazılımlardan bazıları sadece bina YDD'si için hazırlanmışken, bazıları da sadece inşaat malzemeleri için tanımlanmıştır. Bu tez kapsamında panellerin çevresel etkilerini tespit etmek amacıyla YDD yazılımı olarak SimaPro Programı seçilmiştir. Bu yazılım inşaat malzemeleri, ulaşım, enerji, kimyasallar, yemek ve tarıma kadar pek çok alanda kapsamlı bir veri tabanına sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. [65]. Simapro 8 içerisinde; Ecoinvent , Agri-footprint, US LCI, ELCD, EU and Danish Input Output, Industry data v.2 and Swiss Input Output veri tabanları bulunmaktadır. Ayrıca Simapro programı modelleme yapılması ve analiz sonuçlarının alınması basit bir arayüzle sağlanmaktadır. Bütün yaşam döngü aşamalarının çevresel etkileri bulunabilmekte ve sistemde en çok çevreye zarar veren işlemlerin tespiti kolaylıkla yapılabilmektedir. SimaPro programının kullanıldığı uygulamalar; ürün tasarımı, sürdürülebilirlik tasarımı, çevresel ürün beyanı (EPD), anahtar performans göstergelerinin belirlenmesi, karbon ve su ayak izidir [160]. Bunların yanı sıra çoklu etki kategorilerine göre değerlendirme olanağı da sağlamaktadır. Etki değerlendirmesi içinse CML IA; Traci, IPCC 2013 GWP, Eco indicator 99, Impact 2002+ gibi pek çok yöntemle değerlendirme ve analizler yapabilmektedir [161]. Yaklaşık 80 ülkede endüstri tesislerinde, akademik çalışmalarda ve sürdürülebilirlik danışmanlığı veren firmalarda kullanılmaktadır. Programın yaygın kullanılmasının sebepleri arasında bilgilerin şeffaf olarak paylaşılması, diğer ofis programlarıyla uyumlu olması ve teknik bilgi desteği alınabilmesidir. Yaşam döngü etki değerlendirmeleriyle ilgili ayrıntılı bilgi EK 1'de sunulmuştur.

5.3.2. YDD'de Etki Değerlendirme Yöntemi Seçimi

Yapı malzemelerinin EPD belgesi için TS EN 15804:2012 standardına göre etki değerlendirmesi için CML yöntemi kabul edilmektedir. Bütün diğer değerlendirmeler bu standarta göre yapıldığı için etki kategorisi seçiminde de bu standart izlenmiştir.

CML yöntemi 1992'de Hollanda'da Leiden Üniversitesi Çevre Bilimler Enstitüsü tarafından geliştirilen orta nokta yaklaşım modelidir. CML yönteminde küresel ısınma,

ozon tabakasında incelme, asitleşme (hava ve kara), ötrofikasyon, fotokimyasal sis oluşumu ve abiyotik kaynakların tükenmesi (mineraller ve fosil yakıtlar) olmak üzere yedi etki kategorisini değerlendirmektedir. Modelin belirlediği etki kategorilerinin bölgesel geçerliliği, Avrupa değerlerini esas alan asitleşme ve fotokimyasal sis oluşumu hariç küreseldir [69]. Yaşam döngü değerlendirmesinde kullanılan etki değerlendirmelerine ait ayrıntılı analiz tablosu Çizelge 3.3’de verilmiştir.

5.3.3. YDD’nin Fonksiyonel Birim ve Sistem Sınırları

Bu tez çalışmasında fonksiyonel birim “bir metrekare cam elyaf takviyeli beton ile Çelik karkaslı panel oluşturulması” ve “bir metrekare cam elyaf takviyeli beton ile Isı yalıtımlı panel oluşturulması” olarak tanımlanmıştır.

1. Sistem sınırları

Hammaddelerin kaynağından çıkartılması, fabrikaya getirilmesi, fabrikada uygulanan işlemler, enerji, su tüketimi, ürünün üretilmesi, sökülmesi ve bertaraf işlemleri olarak özetlenmiştir. Bunun terminolojideki adı ise beşikten kapıya (opsiyonlu) YDD olarak geçmektedir.

2. Ürünlerin montaj ve kullanım aşamaları

Sabit verilerinin bulunmaması, üretici firmanın her projeye göre tasarım, üretim, detay çözümü yapması ve monte edilecek binanın taşıyıcı sisteminin betonarme ya da çelik olmasına göre çeşitlilik göstermesi sebebiyle bu aşamalar değerlendirme dışında bırakılmıştır. Bu çalışmanın YDD sistem sınırları Çizelge 5.2’de ifade edilmiştir.

3. Üretim öncesi (A1: Hammadde temini)

Üretici firmanın ürünleri için üretim yerel kaynaklı hammadde kullanımı ile başlar. Cam lifler ve akışkanlaştırıcı gibi kimyasallar da tercih edilen firmalardan temin edilir. ‘Hammadde temini’ süreci ön işlem proseslerini de kapsamaktadır.

4. Üretim aşaması (A2: Nakliye ve A3:Üretim)

Çelik karkaslı beton panelde nakliye süreci hammaddelerin tesise nakliyesi ve tesis içinde forklift kullanımı süreçlerini kapsamaktadır. Üretim süreci beton karışımın hazırlanması, kalıpların hazırlanması, kalıpların yağlanması, el spreyi yöntemiyle kalıba püskürtülmesi, kürlenmesi, galvanizli çelik karkasın hazırlanması, panele monte edilmesi süreçlerini kapsamaktadır.

Çizelge 5.2 YDD'nin sistem sınırları tanımı (X=YDD kapsamında).

Hammaddeler			Üretim süreçleri		Kullanım								Yaşam sonu			Sistem dışı yarar ve yükler	
Hammadde temini	Nakliye	Üretim	Kapıdan tesise nakliye	Kurulum	Kullanım	Bakım	Tamir	Yenileme	Yenileştirme	Operasyonel enerji tüketimi	Operasyonel su tüketimi	Yıkım	Nakliye	Atık Prosesi	Tasfiye	Tekrar kullanım-geri dönüşüm-eri kazanma potansiyeli	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	X	X	X	X	

Isı yalıtımlı beton cephe panelleri, çelik karkaslı beton panele, panel üretimine kadar aynı olmakla birlikte galvanizsiz çelik montajından sonra köpük betonu hazırlanır, önceden yapılan kabuk panelin içine dökülür.

5. Üretim sonrası (C4: Bertaraf)

Binaların ömrü 60 yıl olarak kabul edildiği için bütün ürünlerin binayla birlikte bertaraf işlemlerine geçildiği kabul edilmiştir [162]. Bertaraf işlemleri öncelikle ayırmayla başlamaktadır. Panellerin, bütün parçalarına ayrılabilirdikleri kabul edilmiş, ayrıştırma sırasında kullanılan enerji ihmal edilmiştir.

6. Geri Dönüşüm (D: Tekrar Kullanım- Geri Dönüşüm-Geri kazanma potansiyeli)

Çelik karkaslı beton panel için çelik karkasla beton panelin ayrıştırıldığı, beton kabuğun ve çeliğin katı atık depolama alanına götürüldüğü kabul edilmiştir. Isı yalıtımlı beton panel de ayrıca köpük betonu ile çeliğin ayrıştırılarak köpük betonun yine katı atık depolama alanına götürüldüğü kabul edilmiştir.

5.3.4. Veri Toplama Prosedürü

Beton panellere ilişkin verilerin % 90'ı üretici firma yetkilileri tarafından verilmiş olan birincil verilerdir. Üretici firmanın 2014-2015 yılına ait üretim, doğal gaz, enerji ve su tüketimlerine ilişkin veriler firma tarafından paylaşılmıştır. Bu verilerden çelik karkas panel ve ısı yalıtımlı panel için metrekare başına harcanan malzeme ve enerji bilgilerine ulaşılmıştır. Bu veriler Simapro programında Ecoinvent 3 Data Seti kullanarak modellenmiş ve geliştirilmiştir.

Bütün malzemelerin geldiği yerlere ilişkin veriler firma yetkililerinden alınmıştır. Bunun dışında ulaşımı sağlayan araç türü ve kapasitesi de öğrenilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada malzemeleri taşıyan araç bilgilerinin tonaj ve ulaşım mesafelerine ulaşılırken, yakıt türüne ulaşmak mümkün olmamıştır. Bu sebeple yakıt türü hepsinde Euro disesel 4 olarak kabul edilmiştir. Hammade teminine ilişkin bilgiler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Her ülkenin elektiriği nasıl ürettiği kaynaklarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin petrol esaslı yakıtların yakılması, hidrolik enerji kullanılması ya da yenilenebilir enerjiye yer vermesi gibi; harcanan enerji miktarının aynı kalmasına rağmen çevresel etkilerini değiştirmektedir. Türkiye'nin elektrik üretimiyle ilgili veriler ise Elektrik mühendisleri odası aylık bülteninden alınmış ve Simapro programında Türkiye enerji karışımı (Enerji TR) olarak modellenmiştir [163]. Şekil 3.7'den de anlaşılacağı üzere en büyük enerji kaynağımız doğalgaz, sonrasında ise hidrolik barajlardır.

Bölüm 4'te detaylı olarak bahsedilen çimento, Çim-Sa Firmasının ürettiği Eko Beyaz - CEM II / B-L 42,5 R - Portland kalkerli çimentodur. Firma, bu çimentonun YDD'sini sürdürülebilirlik çalışmaları sırasında Metsims Danışmanlık firmasına yaptırmıştır. Firmanın izni alınarak Metsims firmasından ürünün YDD'si giren ve çıkan (kapalı kutu) şeklinde temin edilmiştir.

Panellerde kullanılan harcanan enerjiyi ve çelik miktarını bulmak için taşeron olarak imalat yapan "Öztekin Metal" firmasıyla görüşülmüştür. Bu görüşme sonucu izin alınarak, yıllık elektrik faturaları Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin kuruluşundan temin edilmiştir. Aynı süre zarfında üretici firmaya kaç kilogram iş yaptıkları, üretici firmanın muhasebe biriminde tutulan kayıtlara göre tespit edilmiştir. Böylece her 1 m² ürüne giden galvanizli ya da galvanizsiz çelik, kaynak için kullanılan elektrod ve gaz altı teli miktarı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3 Malzeme ulaşım bilgileri.

Malzeme İsmi	Km	Ulaşım Aracı
Çimento	732	Gemi+Silobas
Silis kumu	168	Silobas
Mineral Genişletici (Extender)	392	Kamyon
Metakoalin	250	Kamyon (20 tonluk)
Polimer bağlayıcı	250	Kamyon (20 tonluk)
Foam Fiberi	8527	Gemi+Kamyon
Cam lifler	8527	Gemi+Kamyon
Su	0	Pompa

Bunların dışında malzemelerin fabrikaya getirildiği araç tipleri ve getirildiği yerler öğrenilmiş, internet aracılığıyla ulaşım mesafeleri tespit edilmiştir [164]. Firmadan elde edilemeyen bilgiler için literatüre başvurulmuştur.

5.3.5. Tahmin ve Varsayımlar

Isı yalıtımlı panelin içindeki köpük betonunda Eskişehir Çimento Fabrikasından gelen çimento kullanılmaktadır. Fakat bu firmanın verilerine ulaşamamış, Eco invent data setindeki bilgiler, Türkiye enerjisi kullanılarak yeniden modellenmiş ve kullanılmıştır. Çelik üretimiyle ilgili bilgiler de Eco invent datası Türkiye enerjisi kullanılarak revize edilmiştir.

Metakoalin, Ecoinvent Data Setinde bulunmadığı için, literatürden araştırmak suretiyle elde edilen verilerle YDD yazılımında tekrar modellenmiştir. Metakoalin yüksek ısıyla birlikte ağırlık kaybına uğradığı için 1 kg metakoalin için 1,16 kg kaolin gereklidir. Önceki çalışmalardan faydalananarak, eklenecek enerji ise 2,5 MJ/kg gaz enerji eklenerek temin edilme yoluna gidilmiştir.

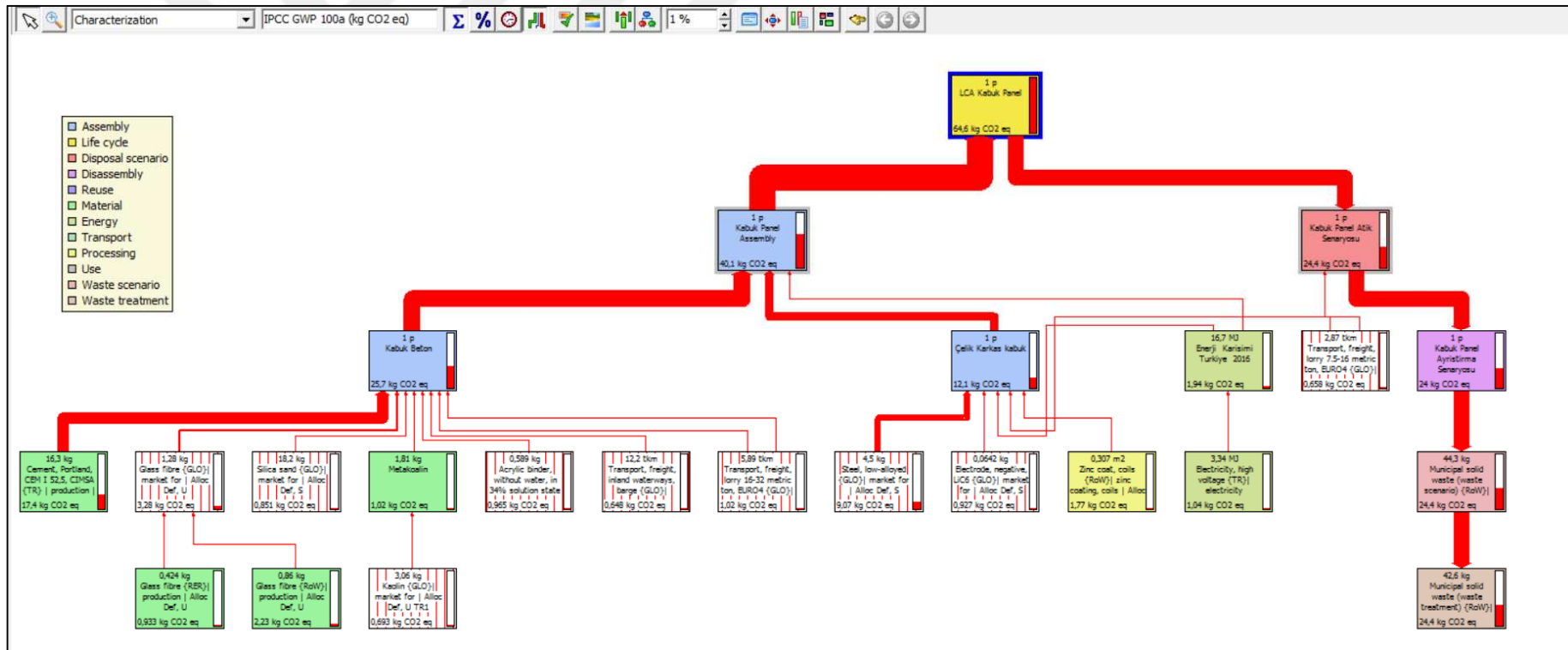
Bunların dışında özellikle elektrik enerji girdileriyle ilgili ayrı ayrı envanter olmadığı için üretim miktarları ve elektrikte harcanan kw/saat'ler oranlama yöntemiyle bulunmuştur. Su tüketimi için kuyu suyu pompayla çıkartılmaktadır. Bu süreçte kullanılan elektrik ihmal edilmiştir.

5.4. ÇELİK KARKASLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ

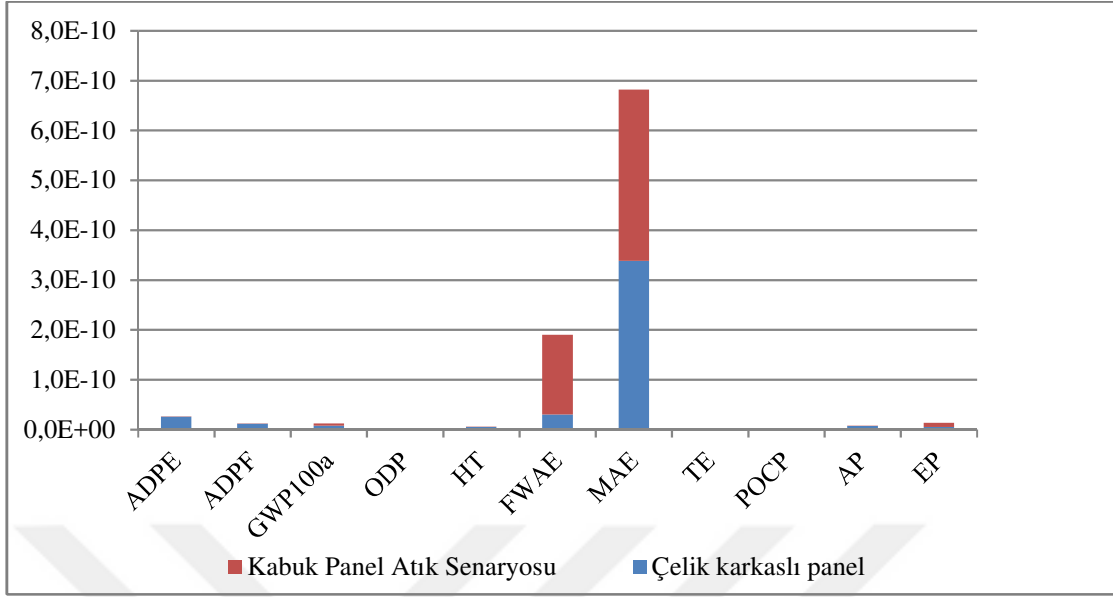
Bölüm 4 ve 5’te anlatılan malzeme bilgi ve oranları, Bölüm 3’te tanımları yapılan YDD yöntemiyle Çelik karkaslı panel modellenmiştir. Simapro programında yapılan YDD çalışması sonraki çalışmalara ışık tutması açısından kısaca özetlenmiş ve ekran görüntüleriyle desteklenmiştir. Çelik karkaslı panelin modellenme detayları şu şekildedir:

Yaşam Döngüleri (LCA) başlığı altında ‘kabuk panel LCA’ adında yeni yaşam döngüsü oluşturulmuştur. Assembly başlığının altında ‘kabuk panel assembly’ adıyla yeni bir ürün oluşturulmuştur. Ürünün alt başlıkları ise kabuk beton, çelik karkas ve MDF olarak tanımlanmıştır (EK 2). Kabuk paneli oluşturan malzemeler ve ulaşım bilgileri girilerek, kabuk beton ürünü elde edilmiştir (EK 3). Çelik karkaslı panelin atık senaryosu ve atık alanına olan ulaşımı modellenmiştir (EK 4). Çelik karkaslı panelin biraraya geldiği malzemeler ayrıştırma senaryosunda yine kabuk beton, çelik karkas ve MDF olarak birbirinden ayrılarak modellenmiştir. Çelik karkaslı panelin YDD’si yapılırken bertaraf aşamasında panellerin malzemelerine ayrıştığı ve bu malzemelerin ayrı ayrı katı atık depolama alanlarına gönderildiği kabul edilmiştir (EK 5, EK 6). Çelik karkaslı panelin küresel ısınma etki ağacı ise Şekil 5.1’de görülmektedir. Bu ağaç diyagramda ürünler arasındaki çizgiler kalınlaştıkça olumsuz çevresel etkileri artmaktadır. Çelik karkaslı panel YDD’sinde çevreyi en olumsuz etkileyen süreç atık senaryosu, malzeme olarak da sırasıyla çelik ve çimento gelmektedir. Çimentonun olumsuz etkisi kabuk betonu etkilerken o da kabuk beton paneli etkilemektedir. Atık senaryosu ve çimentodan sonra çelik malzemesi gelmektedir. Çelik malzemesi de çelik karkası çevresel açıdan olumsuz etkilemektedir.

Bu kapsamda çelik karkaslı panel için çıkan normalizasyon grafiği Çizelge 5.4’te, karakterizasyon grafiği ise Çizelge 5.5’te, değerleri ise EK 7’de ifade edilmiştir. Çelik karkaslı panelin çevresel etkileri incelendiğinde, atık senaryosunun kendinden daha çok çevreye zarar verdiği görülmektedir. Çevresel etkilerden en çok tatlı ve tuzlu su kaynaklarına olan etkileri dikkat çekmektedir. Sonrasında fosil olmayan kaynak tüketimi ve fosil olan kaynak tüketimi gelmektedir.



Çizelge 5.4 Çelik Karkaslı panelin CML IA'ya göre çevresel etkilerinin norm. grafiği



Tablodaki kısaltmaların açılımı şu şekildedir:

ADPE (Abiotic Depletion Potential for Nonfossil Resources): Fosil bazlı olmayan kaynak tüketim potansiyeli,

ADPF (Abiotic Depletion Potential for Fossil Resources): Fosil bazlı olan kaynak tüketim potansiyeli,

GWP (Global Warming Potential): Küresel ısınma potansiyeli,

ODP (Ozone Depletion Potential): Ozon incelme potansiyeli,

HT (Human Toksity): İnsan zehirlenmesi

FWAE (Fresh Water Aquatic Ecotoxicity): Temiz su kaynaklarının zehirlenmesi

MAE (Marine Aquatic Ecotoxicity): Tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesi

TE (Terrestrial Ecotoxicity): Karasal zehirlilik

POCP (Photochemical Ozone Creation Potential): Fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli

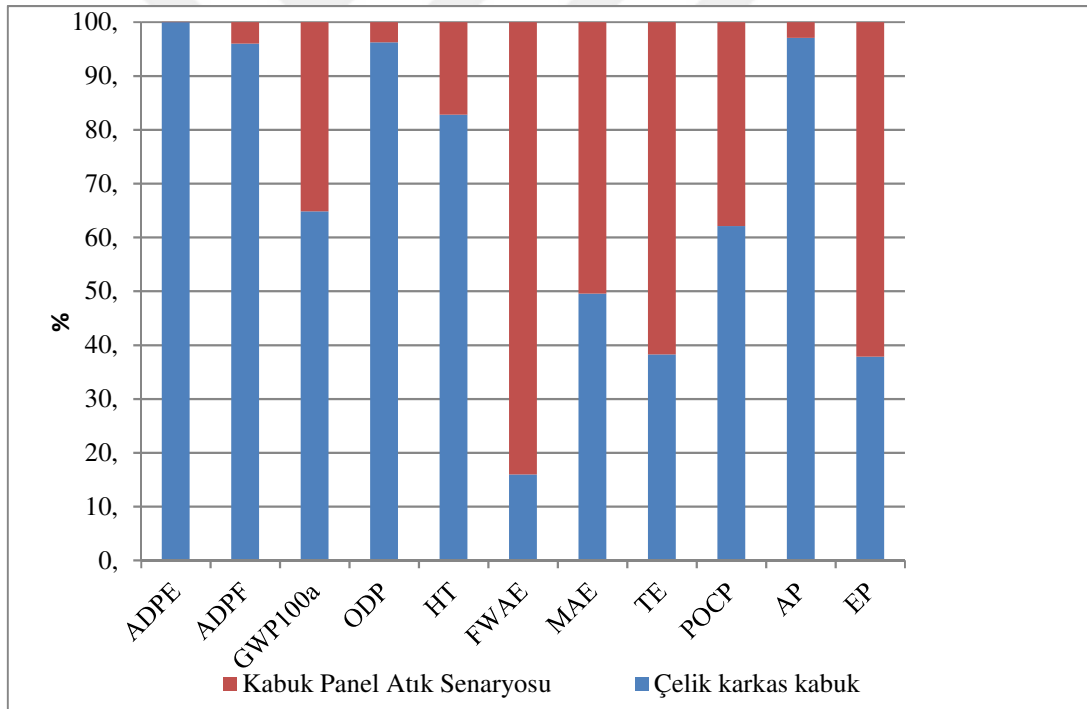
AP (Acidification Potential): Asidifikasyon potansiyeli,

EP (Eutrophication Potantial): Ötrofikasyon Potansiyeli olarak ifade edilmiştir.

Bundan sonraki normalizasyon ve karakterizasyon çizelgelerde de aynı kısaltmalar kullanılacaktır.

Çelik karkaslı panelin normalizasyon ve karakterizasyon değerleri EK 7’dedir. Normalizasyon değerleri incelendiğinde 3,44 E-10 ile atık senaryosu, tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinde en büyük etkiyi göstermektedir. Çelik karkaslı panelin karakterizasyon grafiği Çizelge 5.5’te ifade edilmiştir. Atık senaryosu, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesinin %84, kara zehirlenmesinin % 61, tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinin %50’sinden sorumludur. Aynı çizelgede çelik karkasın fosil olmayan kaynak tüketim oluşumu potansiyelinde %99, asidifikasyon potansiyelinde %97; ozon incelme potansiyelinde %96 ve fosil olan kaynak tüketim oluşumu potansiyelinde ise %96, insan zehirlenmesinin ise %83’inden sorumlu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar GFRC panelin oluşturulmasının, atık senaryosuna kıyasla çevreyi daha olumsuz etkilediği anlamına gelmektedir. Bu durumda çelik karkaslı panelin oluşturulma süresince en etken olan aşamaların tespit edilmesi yerinde olacaktır.

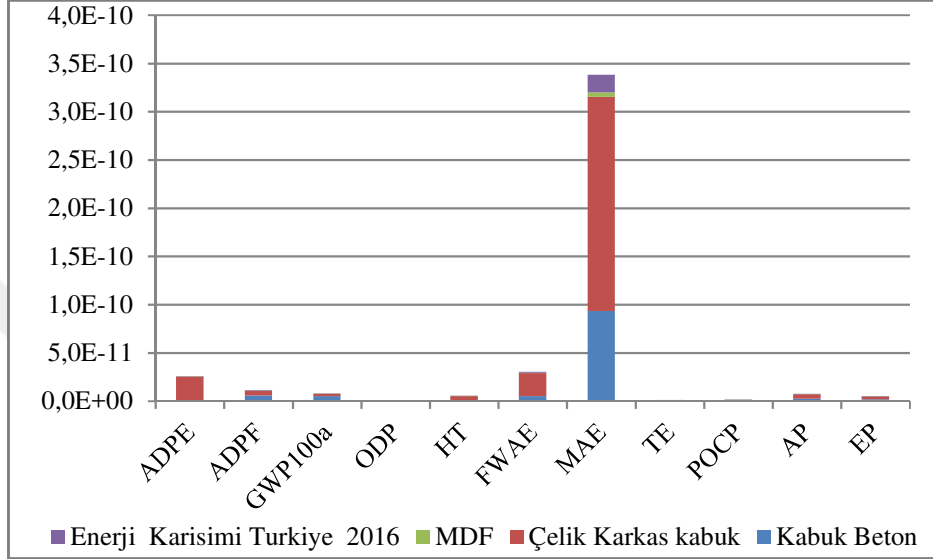
Çizelge 5.5. Çelik karkaslı panelin çevresel etkilerinin karakterizasyon grafiği.



Çelik karkaslı paneli oluşturan öğelerinin normalizasyon grafiği Çizelge 5.6’da verilmiştir. Bu öğeler, çelik karkas kabuk, kabuk beton, Türkiye’nin enerji karışımı ve MDF olarak sınırlandırılmıştır. Bu öğelerde en zararlı olan bileşenin çelik karkasın oluşturulması olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu öğelerden çevresel açıdan yine olumsuz olanlar tuzlu, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi akabinde fosil olmayan kaynak

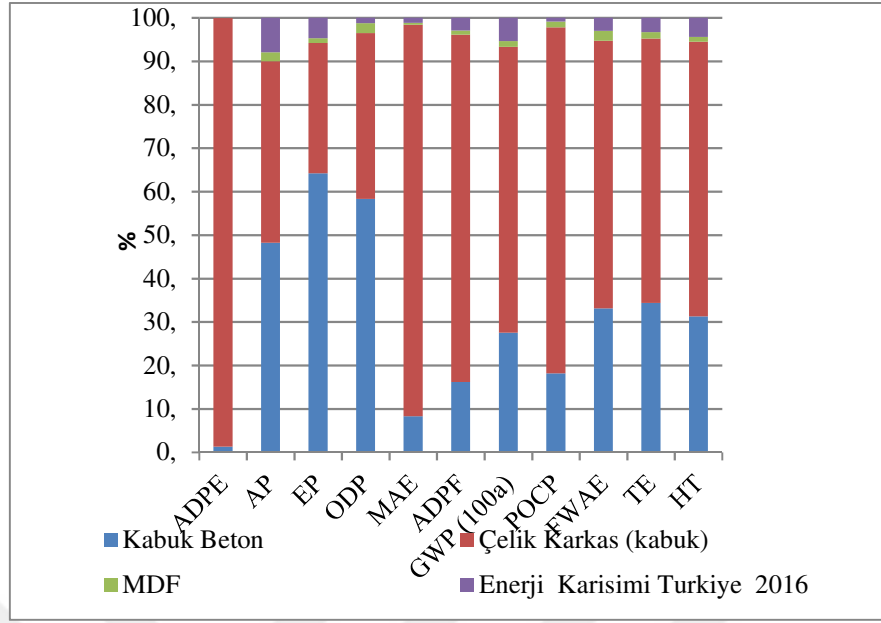
tüketim oluşum potansiyeli gelmektedir. Normalizasyon grafiği ve değerleri incelendiğinde, çelik karkasın oluşturulması tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinde $2,22E-10$, fosil olmayan kaynak tüketimi açısından $2,51E-11$ değerleriyle dikkat çekmektedir. Çelik karkasın oluşturulması, insan zehirlenmesinde $4,53E-12$ değerine eşdeğer olarak görülmektedir.

Çizelge 5.6. Çelik karkaslı paneli oluşturan bileşenlerin normalizasyon grafiği.



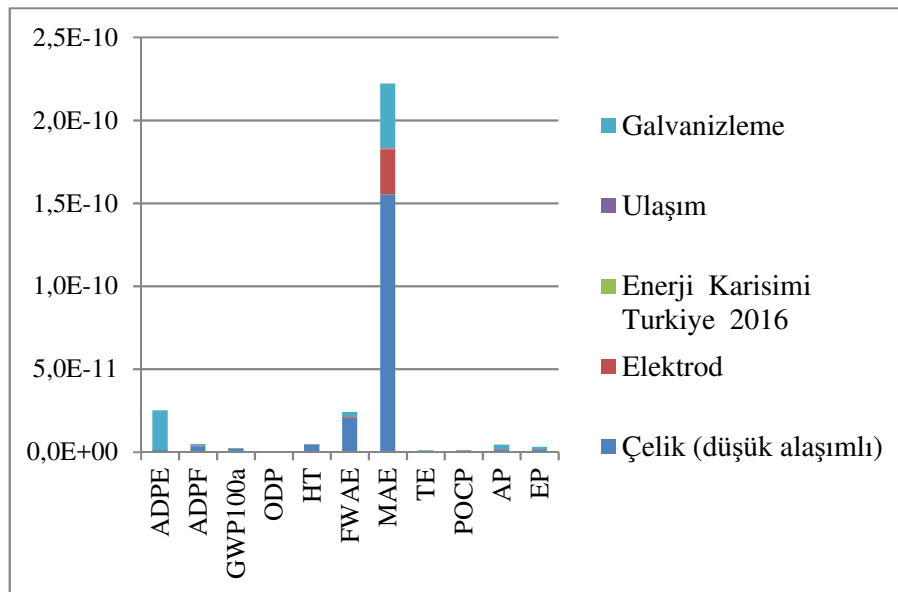
Çelik karkaslı paneli oluşturan ana bileşenlerin normalizasyon ve karakterizasyon değerleri ise EK 8’de verilmiştir. Çelik karkaslı paneli oluşturan malzemelerin karakterizasyon grafiği ise Çizelge 5.7’de ifade edilmiştir. Çelik karkas oluşturulması, fosil olmayan kaynak tüketim oluşum potansiyelinin %98, insan zehirlenmesinin %90; temiz su kaynaklarının ve karasal zehirlenmenin %80’ininden sorumludur. Çelik karkastan sonra kabuk betonun oluşturulması gelmektedir. Kabuk beton panel ise küresel ısınmanın %64, ozon incelme potansiyelinin %58 ve fosil kaynak tüketim oluşumu potansiyelinin ise %48’inden sorumludur. Bu sıralamanın ardından sırasıyla Türkiye’nin enerji karışımı ve MDF kalıp sarfiyatı gelmektedir.

Çizelge 5.7. Çelik karkaslı paneli oluşturan bileşenlerin karakterizasyon grafiği.



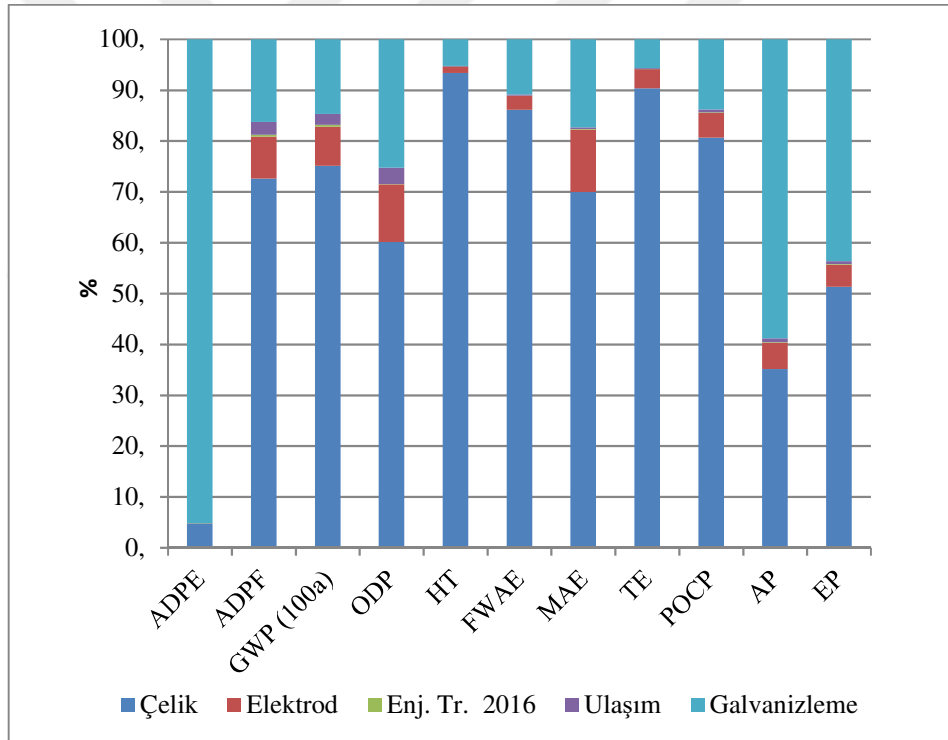
Çelik karkasın alt açılımlarının çevresel etkilerinin normalizasyon grafiği Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çelik karkaslı panelin alt öğelerinden çevreyi en çok etkileyen çeliktir. Çeliğin etkileri; tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesi üzerinde $1,55E-10$, insan zehirlenmesinde $4,23E-12$ ve karasal zehirlilikte ise $5,34E-13$ değerlerine ulaşmaktadır. Galvanizlemenin etkisi ise fosil olmayan kaynakların tüketilmesinde $1,17E-12$ değerlerine kadar yükselmektedir.

Çizelge 5.8. Çelik karkasın çevresel etkilerinin normalizasyon grafiği.



Çelik karkasın alt açılımlarının çevresel etkilerinin karakterizasyon grafiği Çizelge 5.9'da, normalizasyon ve karakterizasyon değerleri ise EK 9'da ifade edilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarına bakıldığında; galvanizlemenin fosil bazlı olmayan kaynak tüketim potansiyeli %95, asidifikasyon potansiyelinde %59 ve ötrifikasyon potansiyelinde ise %43 ile en etken madde olarak gözükmektedir diğer etki kategorilerinde ise çelik malzemesi ön plana çıkmaktadır. Çelik, insan zehirlenmesinde %93, karasal zehirlenmede %90, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesinde ise %86, ve fotokimyasal sis oluşumunda ise %80 etkili olmaktadır. Bunun yanısıra elektrod kullanılması fosil olmayan kaynak tüketim oluşumu potansiyeli açısından etkisi %8'e kadar çıkabilmektedir. Ulaşım ve Türkiye enerji karışımının etkisi ise düşük seviyelerde (% 0,003 ile % 0,790 arasında) kalmaktadır.

Çizelge 5.9. Çelik karkasın çevresel etkilerinin karakterizasyon grafiği.



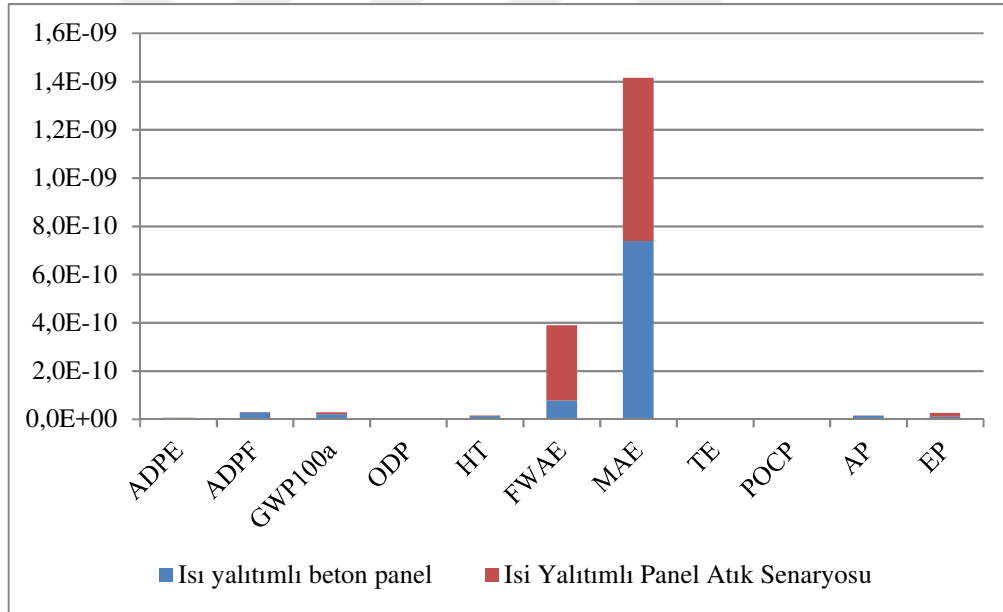
5.5. ISI YALITIMLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMESİ

Isı yalıtımlı panel Simapro programında modellenirken, kabuk panellerle ilgili olan bölüm %15 oranında arttırılmıştır. Çelik karkaslı panelin ise ağırlığı arttırılmış ve galvanizsiz çelik kullanılmıştır. Kalıp bölümünde ise yine kalıbın %15 fazla kullanıldığı kabul

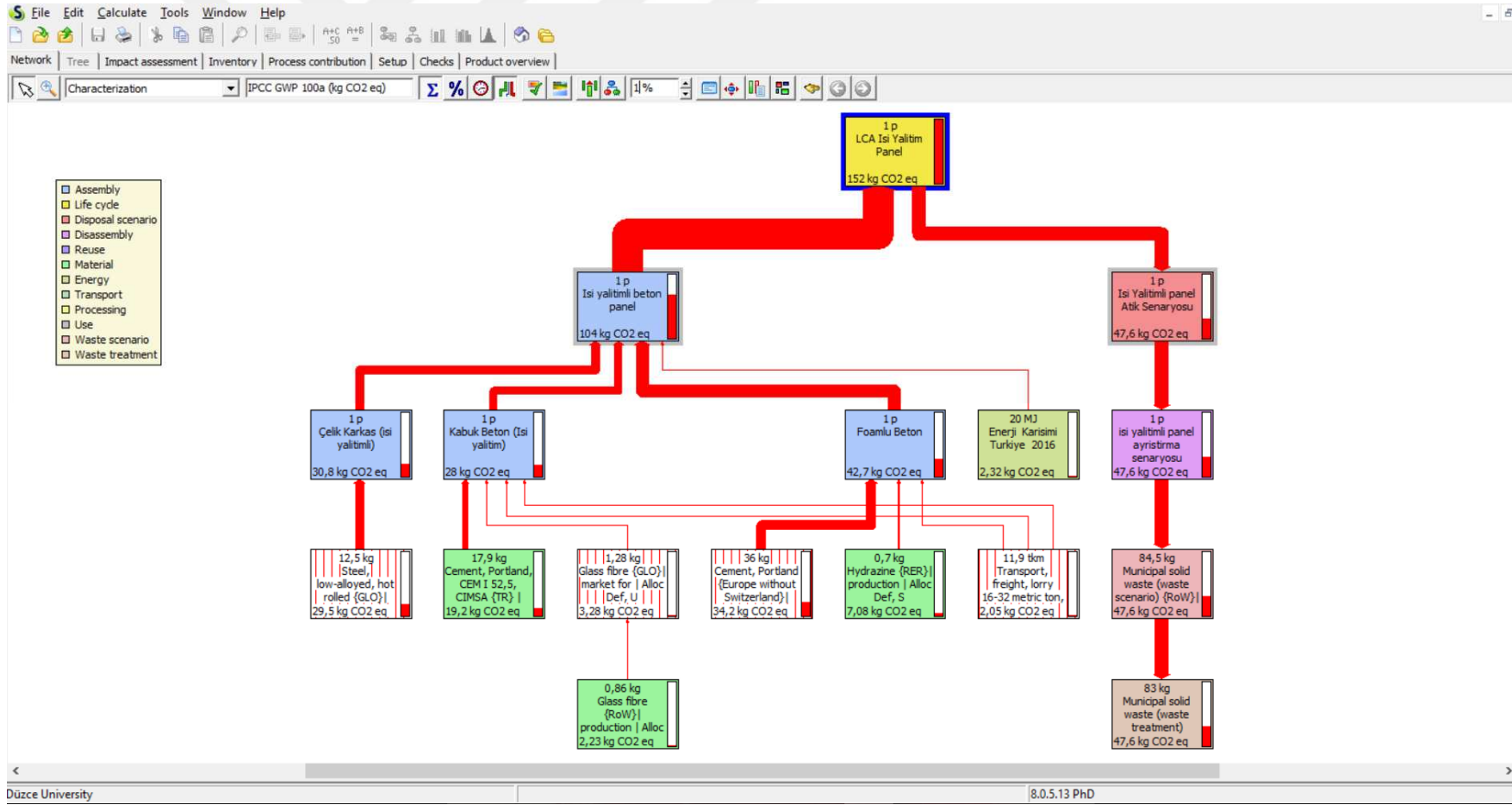
edilmiştir. Aynı kalıbın 10 kez kullanılabildiği kabul edilmiştir. 10. kullanımdan sonra kalıplar atık depolama alanlarında istiflenmektedir. Atık kalıplar, civardaki köylüler tarafından atık depolama alanından alınmakta ve yakılarak yok edilmektedir. Atık senaryosu olarak da yine panelin malzemelerine ayrıştırılarak, katı atık depolama alanlarına gönderildiği kabul edilmiştir.

Isı yalıtımlı panelin Şekil 5.2'deki küresel ısınma etki ağacı incelendiğinde en olumsuz etkiler atık senaryosu, köpük beton, çelik ve kabuk beton olarak sıralanmaktadır. Isı yalıtımlı panelin atık senaryosu ise bu iki etki kategorisinde ürünün kendisinden daha olumsuzdur. Isı yalıtımlı panelin normalizasyon sonuçları Çizelge 5.10'da grafik olarak, değerleri ise EK 10'da tablo halinde gösterilmiştir. Değerlerine bakıldığında, yine en büyük etkilerin tuzlu ($7,39E-10$) ve tatlı su ($3,11E-10$) kaynaklarının zehirlenmesinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.10. Isı yalıtımlı GFRC panel çevresel etkilerinin normalizasyon grafiği.

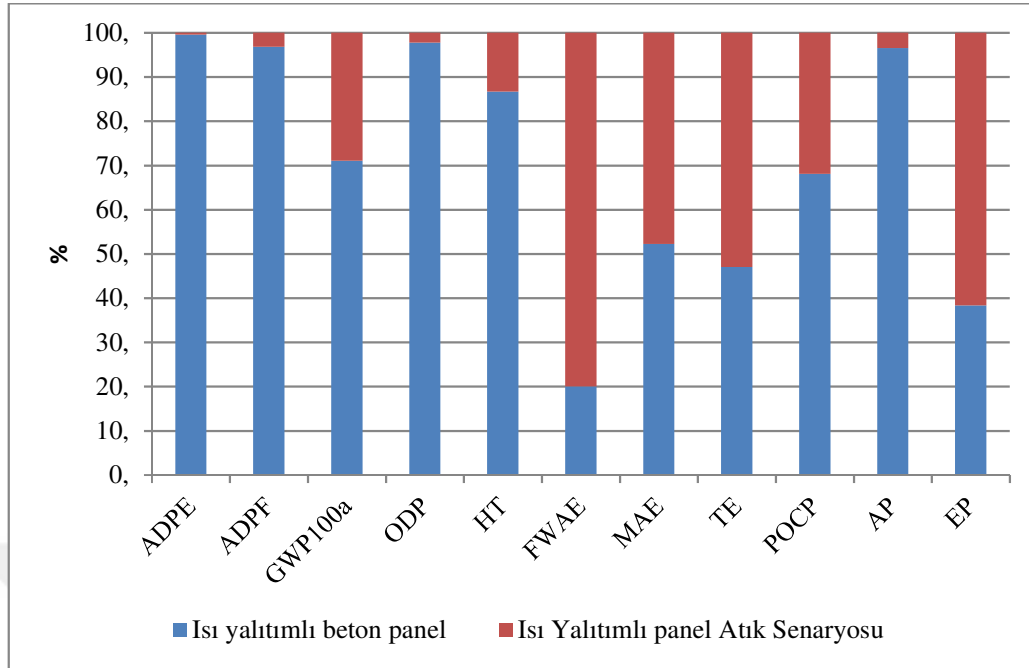


Isı yalıtımlı panelin karakterizasyon grafiği Çizelge 5.11'de, değerleri ise EK-10'da ifade edilmiştir. Isı yalıtımlı panelin çevresel etkisi fosil esaslı olan ve olmayan kaynak tüketiminde, ozon tabakası incelmesinde ve asidifikasyona olan etkisinde %95'in üzerindedir. Isı yalıtımlı panelin atık senaryosu ise temiz su kaynaklarının zehirlenmesinin %79, ötrofikasyonun %61 ve karasal zehirliliğin %52'sinden sorumludur.



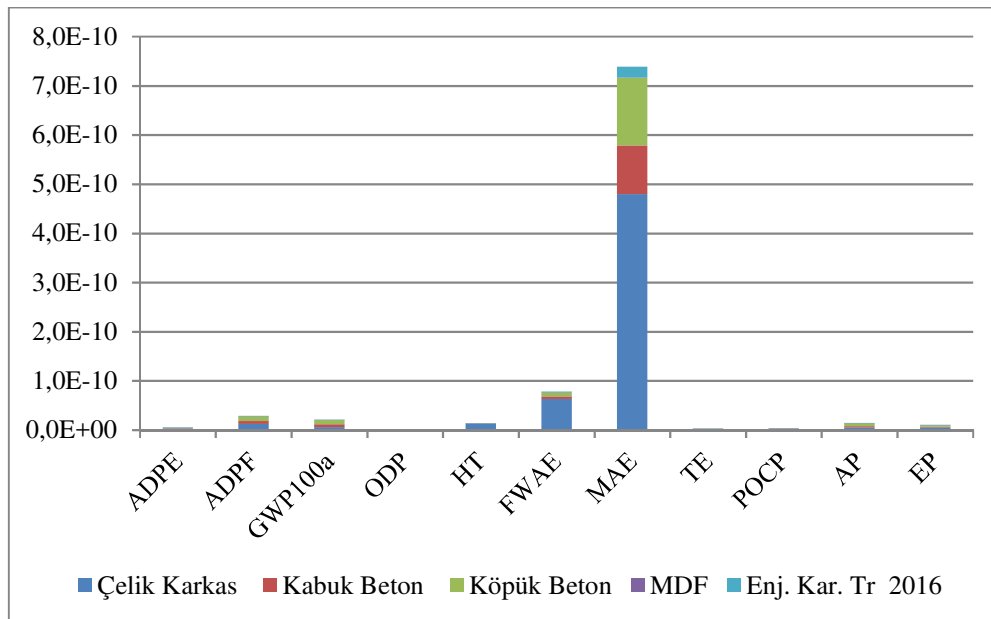
Şekil 5.2. Isı yalitimlı panelin küresel ısınma etki ağacı (kg CO₂ eq).

Çizelge 5.11. Isı yalıtımlı panelin karakterizasyon grafiği.



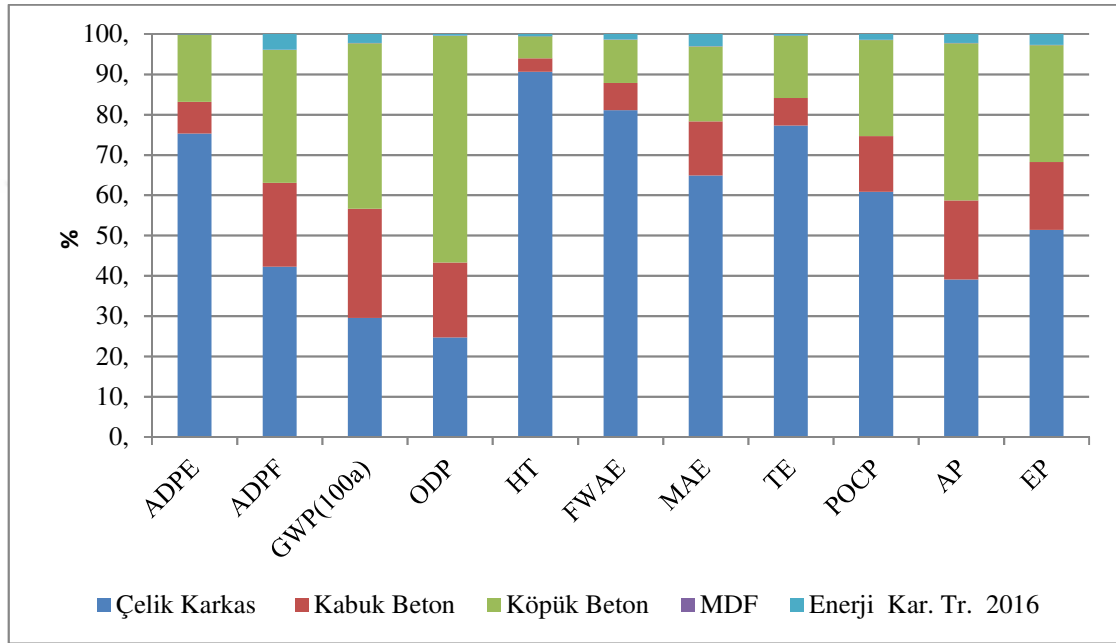
Isı yalıtımlı panel üretiminin çevresel açıdan bileşenlerine bakıldığında çelik karkaslı panel bileşenlerine benzer sonuçlar çıkmaktadır. Çevresel açıdan en olumsuz etkiyi çelik karkas göstermektedir. Özellikle tuzlu, tatlı su kaynaklarında ve fosil esaslı kaynakların tüketilmesi konusunda diğer bileşenlerden daha fazla ettiği Çizelge 5.12’de anlaşılmaktadır. Çelik karkası, köpük beton ve kabuk beton sırayla izlemektedir.

Çizelge 5.12. Isı yalıtımlı panel üretiminde CML yöntemine göre normalizasyon grafiği



Isı yalıtımlı panel üretiminin karakterizasyon sonuçlarına bakıldığında (Çizelge 5.13 ve EK 10) çelik karkasın giren malzeme ve enerji toplamına oranında insan zehirlenmesi %90, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi %81, karasal zehirlilik ise %77 oranlarındadır. Köpük betonun ozon tabakası incelmesine %56, küresel ısınmaya %41 ve asidifikasyona etkisi ise %39 oranlarındadır. Kabuk betonun ise küresel ısınmaya etkisi %27, fosil yakıt içeren kaynakların tükenmesinde %21 ve asidifikasyonda etkisi ise %20’dir.

Çizelge 5.13. Isı yalıtımlı panel üretim karakterizasyon grafiği.



5.6. ÇELİK KARKASLI PANEL İLE ISI YALITIMLI PANELİN YAŞAM DÖNGÜ DEĞERLENDİRMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

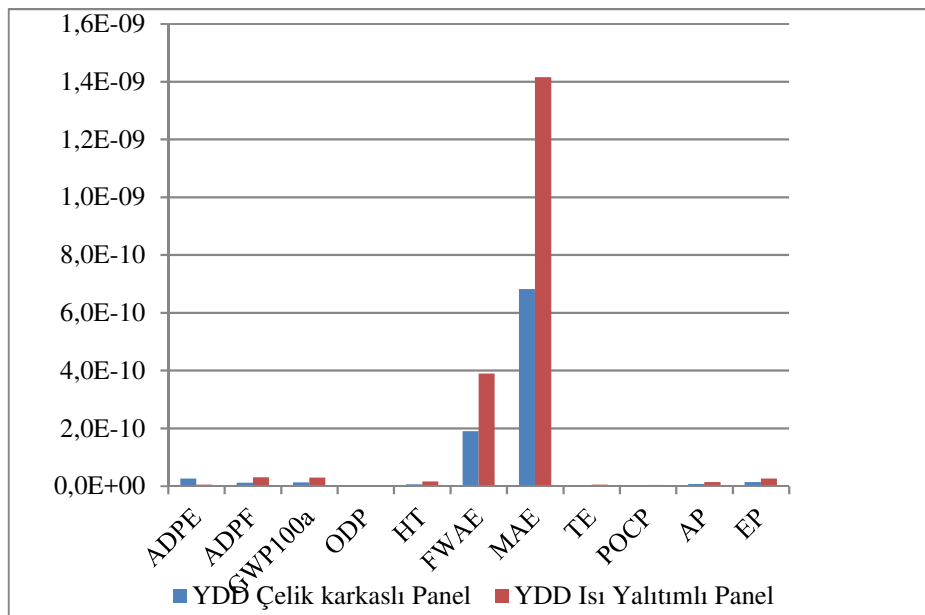
Çelik karkaslı panel ile ısı yalıtımlı panellerin YDD’lerinin yapılarak, CML IA Baseline yöntemine göre çevresel etkileri karşılaştırıldığında, en çok tuzlu ve tatlı su kaynaklarının zehirlenmesini etkiledikleri net bir şekilde gözükmemektedir. İki panelin çevresel etkilerinin karşılaştırılmasına ilişkin normalizasyon grafiği Çizelge 5.14, normalizasyon ve karakterizasyon değerleri ise EK 12’de verilmiştir. Isı yalıtımlı panelin fosil bazlı olmayan kaynakların tüketimi hariç bütün diğer etki kategorilerinde etkisi daha fazladır. Isı yalıtımlı panellerin çevresel etkisi, tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesi konusunda $1,41E-09$, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi konusunda ise $3,9E-10$ değerine ulaşmaktadır. Çelik karkas panel ise fosil bazlı olmayan kaynak tüketiminde $2,54E-11$

değerine ulaşmaktadır. Isı yalıtımlı panelde, gerek çelik gerekse beton anlamında daha çok malzeme kullanılması sebebiyle, bütün bu etki kategorilerinde çevresel açıdan yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Fosil kaynaklı olmayan kaynakların tüketiminde çıkan sonuç ise tamamen çelik karkaslı panelde kullanılan çeliğin dış etkilerden etkilanmemesi için yapılan galvanizleme işleminden kaynaklanmaktadır. Fosil olmayan kaynak tüketimine sebep olan maddelerin detayları EK 13'te incelendiğinde, bu açıkça gözükmemektedir.

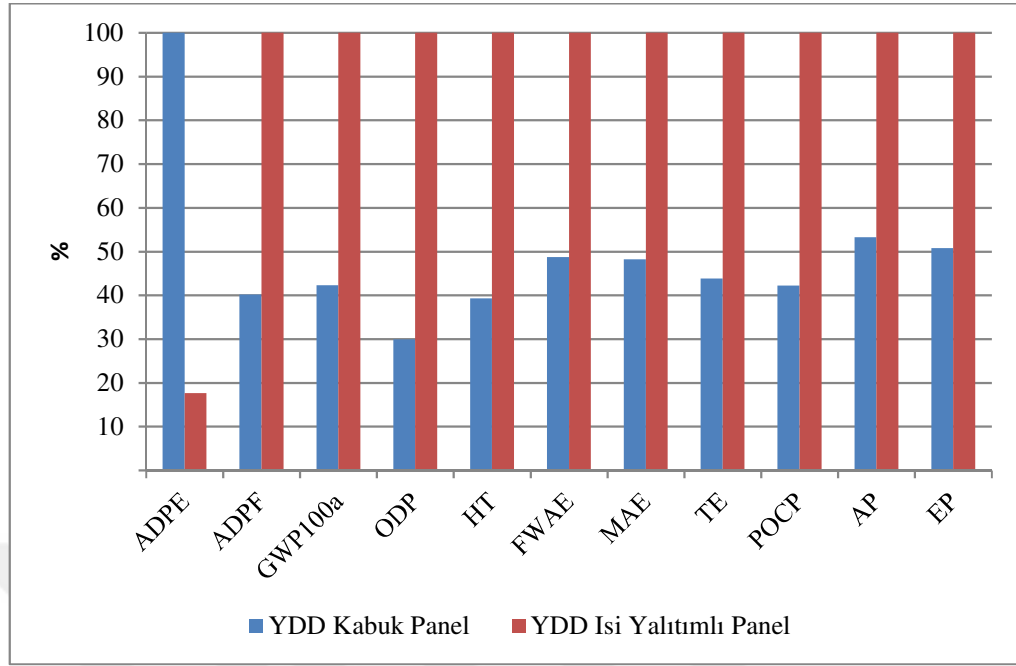
Çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı panellerin çevresel açıdan karşılaştırılmasının karakterizasyon sonuçları Çizelge 5.15'de ifade edilmiştir. Çelik karkaslı panelin asidifikasyonun %53, ötrofikasyonun %50 ve temiz su kaynaklarının zehirlenmesinde ise %48 etki ettiği görülmektedir. Isı yalıtımlı panel, fosil yakıt içermeyen kaynakların tüketilmesinin %17'sinden sorumlu gözükmemektedir. Bu karşılaştırmada ısı yalıtımlı panelin çelik karkaslı panele göre düşük kaldığı tek kategoridir.

Karşılaştırmalı sonuçlar incelenirken, tuzlu ve tatlı su kaynaklarının kaynaklarının zehirlenmesine bakıldığında diğer etki kategorilerinin iki katını aşan bir fark gözükmemektedir. Bu etkilerin her iki panelde de yüksek çıkmasının temel kaynağı çeliktir. Katı atık depolama alanlarında, çeliğin içinde bulunan krom, arsenik ve fosfor gibi maddeler yağın yağmurlarla birlikte suya karışmaktadır. Bu sayılan maddeler temiz su kaynaklarını olumsuz etkilememektedir.

Çizelge 5.14. İki panelin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Normalizasyon).



Çizelge 5.15. İki panelin çevresel etkilerinin karşılaştırılması (Karakterizasyon).



6. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ GELİŞTİRİLMESİ

Yapı malzemelerinin üretilme süreçleri kadar bertaraf yöntemleri de çevresel etkilerini değiştirmektedir. Üretilirken çok enerji veya kaynak tüketen bir ürün, kullanım ömrünün uzun olması ya da geri dönüştürülebilir olması sebebiyle ekolojik bir ürün olarak değerlendirilebilir. Bir ürünün sürdürülebilir olması için farklı kriterleri sağlıyor olması gerekmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalarda, sektörel anlamda bazı farklılıklar göstermekle birlikte ürün veya üretim sistemi geliştirmek için World Industry Council for the Environment tarafından tanımlanmış bazı ortak noktalar bulunmaktadır [97].

1. Malzeme seçimi

- Hammadde kullanımının azaltılması
- Toksik kimyasal içeriğin minimize edilmesi
- Geri kazanılmış ve kazanılabilir malzemelerin sisteme dâhil edilmesi
- Daha dayanıklı malzemelerin kullanılması

2. Üretimin etkileri

- Prosesden kaynaklanan atığın azaltılması
- Enerji tüketiminin azaltılması
- Toksik kimyasalların kullanımının azaltılması

3. Ürün kullanımı

- Enerjinin verimi
- Üründen kaynaklanan emisyonların ve atığın azaltılması
- Ambalajlamanın minimize edilmesi

4. Geri kazanım ve yeniden kullanım

- Geri kazanılabilir malzemelerin sisteme dâhil edilmesi
- Kolay geri dönüşümün sağlanması
- Malzeme çeşitliliğinin azaltılması
- Parçaların etiketlenmesi

- Ürünlerin basitleştirilmesi (örneğin parça sayısı)
- Malzeme tipinin standardize edilmesi

5. Ürün ve bileşenlerinin ömrünün uzatılması

- Yeniden üretim için tasarım
- Kalitesini yükseltebilecek şekilde tasarım
- Kolay bakım ve onarımı sağlayacak şekilde parçaların yapılması
- Tamir edilip yenilenmiş parçaların veya alt montajın sisteme dâhil edilmesi

6. Ürün ömrünün bitmesi

- Güvenli bertaraf

7. Geri dönüşüm

- Bertaraf edilen ürünlerin ayrıştırılması
- Ayrılan ürünlerin geri dönüşüme tabi tutulması

Yukarıdaki maddelerden de anlaşılacağı üzere bir yapı malzemesi, sistemi ya da yapı ölçeğinde konu incelendiğinde sürdürülebilir bir sonuç elde etmek için malzeme seçimi, ürün tasarımı ve bertaraf süreçleri önem kazanmaktadır.

6.1. YAPI MALZEMELERİNİN GERİ DÖNÜŞÜM POTANSİYELLERİ

Türkiye’de en yaygın ve geçerli geri kazanım yöntemi “sahada ayıklama”dır. Ancak düzenli katı atık ayrıştırma ve geri kazanım ünitelerinin sayısı yetersizdir. Yapısal atıkları taşıma ve depolama alanı ücretleri, depolama alanlarına atılmaları, geri kazanımın maliyetine göre çok daha pahalıdır. Ülkemizde yılda 125 milyon ton hafriyat bertaraf edilmektedir [165]. Belediyelerde bertaraf edilen atıklar yöntemlerine göre Şekil 6.1’de özetlenmiştir.

Geri dönüşümde atıkların sınıflandırılması ve ona göre istiflenmesi önemlidir. Temel yaklaşımla atıklar beş gruba ayrılır. Bunları sırasına göre inşaat atıkları (% 34), maden atıkları (% 27), sanayi atıkları (% 17), ev atıkları (% 16), enerji sektörü atıkları (% 4)’ünü oluşturmaktadır.

Yapı malzemelerinden betonun geri dönüşümünde izlenen yöntem ise şu şekildedir: Beton sabit ya da mobil kırma makinalarında parçalandıktan sonra demir gibi metallerin

mıknastıslarla çekilmesiyle ayrıştırılmaktadır. Geriye kalan betonun agregası; dolgu malzemesi, yol yapımında alt yapı malzemesi, kırmataş, grobeton, döşeme altlarında yastık, parke taşı, sıva ve peyzaj elemanlarının yapımında kullanılabilmektedir [166].

Çizelge 6.1. Bertaraf yöntemlerine göre belediye atık miktarı, 2014 [28].

Bertaraf yöntemi	bin ton/yıl	%
Toplanan belediye atık miktarı	28 011	100,0
Belediye çöplüğüne dökülen	9 936	35,50
Düzenli depolama sahalarına gönderilen	17 807	63,60
Kompost tesisine gönderilen	126	0,04
Açıkta yakılan	4	0,01
Dereye ve göle dökülen	16	0,06
Gömülen	7	0,02
Diğer	114	0,41

İnşaat malzemeleri atıklarının büyük olması sebebiyle daha çok dikkat çekmekte ve yer kaplamaktadır. Bir binanın molozu, binanın kendi kapladığı hacminden üç kat daha fazladır. Büyük şehirlerimizde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm projeleri kapsamında kullanım ömrünü tamamlamış binaların yıkılması söz konusu olmaktadır. Bu durumda da çok büyük miktarlarda inşaat atığı oluşmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar bu atığın depolama alanına giderken de çevresel açıdan hayli yük getirdiğini göstermektedir. Bu sebeple molozun bulunduğu yerde bertaraf edilmesi daha ekonomik bir çözüm yoludur. Çizelge 6.2’de ise beton ve metal malzemelerinin geri dönüşüm işlemi ve geri dönüştürülmüş ürünler listelenmiştir.

Türkiye’de yapılan uygulamalardan daha farklı gelişimler de mevcuttur. Atıklar; katı, sıvı veya gaz olmasına bağlı olarak farklı işlemlerden geçirilirler. Bu işlemlere örnekler Çizelge 6.3’te biraraya getirilmiştir.

Çizelge 6.2. Beton ve metallerin geri kazanım işlemleri ve kullanım alanları [165].

Yapı Malzemeleri	Geri Dönüşüm İşlemi	Geri Dönüştürülmüş Ürün
Beton	Kırma, ufalama	Geri dönüştürülmüş agregası (kırmataş), dolgu malzemesi, düşük dayanımlı beton bileşiminde agregası (grobeton), yol yapımında alt yapı malzemesi, parke taşı, sıva ve peyzaj elemanlarında
Metaller	Doğrudan kullanım, eritme	Yeniden kullanılacak metal, yeni metal üretimi

Çizelge 6.3. Türüne göre atıkların yok edilme türleri [59].

Katı Atıklar	Sıvı Atıklar	Hava Emisyonları
Toprak altında biriktirme (zararsız atıklar)	Kanalizasyon akıtma	Fırında yakma/yakma
Toprak altında biriktirme (zararlı atıklar)	Endüstriyel işlemde geçirme	Aktif karbon
Biyolojik çürütme	Yer altına atma	Havadaki tozu toplama
Toprak yüzeyinde toplama	Denize akıtma	Havadaki gazı temizleme
Camlaştırma	Filtreleme	Filtreleme
Çimentolama	Katılaştırma	
Arındırma		
Geri dönüşüm		

6.2. YAPI MALZEMELERİ KAVRAMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİ OLUŞTURULMASI

Bu doktora tezinde bir örneklemden yola çıkarak, sürdürülebilir malzeme elde etmek için bir yöntem, sonrasında da sürdürülebilir bina tasarımına katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sürecinde, iki cam elyaf takviyeli beton cephe paneli seçilerek hammaddeleri, üretim süreci, bertaraf ve geri dönüşüm aşamaları ayrıntılı olarak incelenmiş, çevresel etkileri YDD yöntemiyle tespit edilmiş, iki ürün birbirleriyle

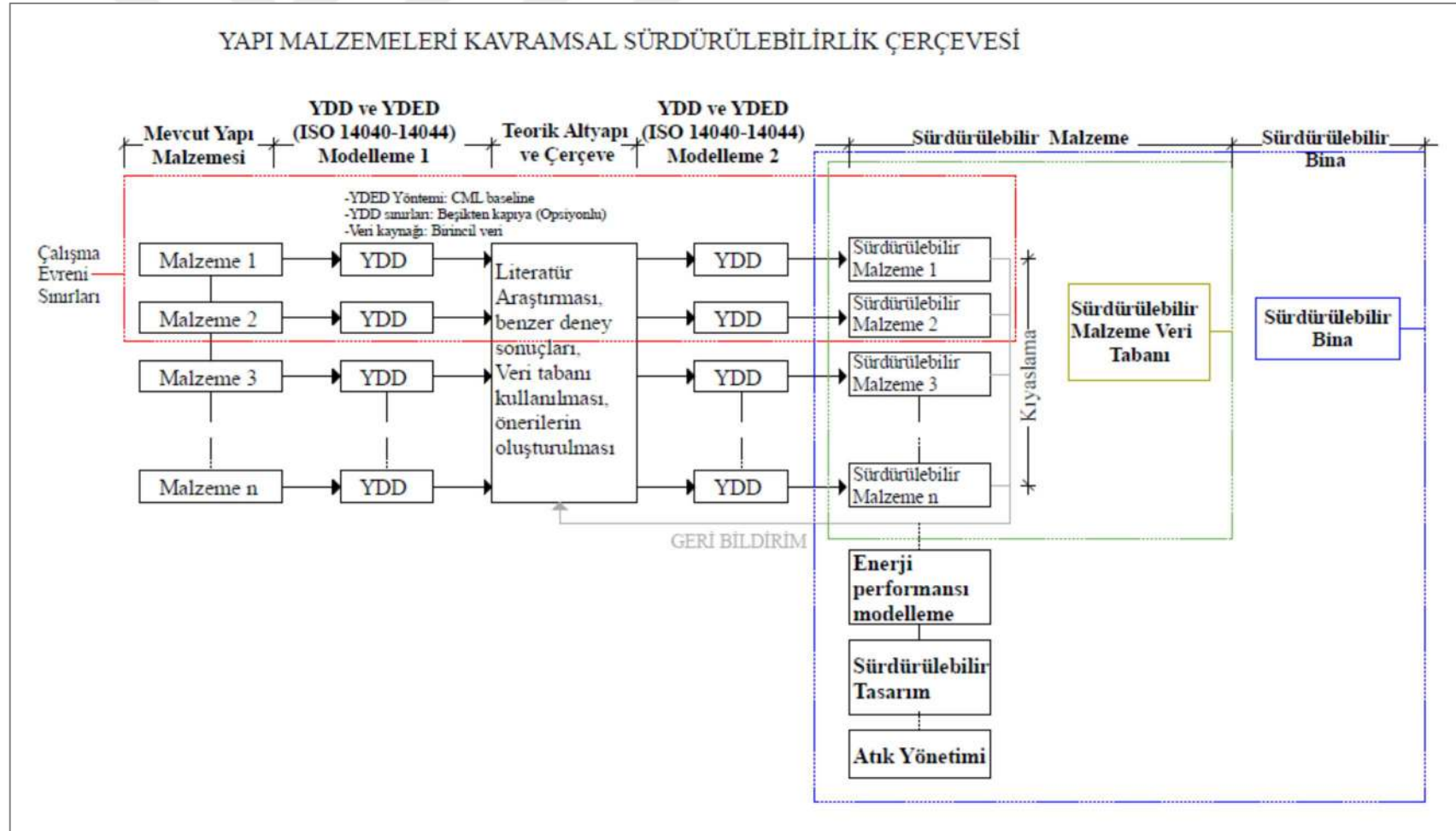
kıyaslanmış, yüksek çıkan çevresel noktalara yapılabilecek olan iyileştirme seçenekleri tespit edilmiş, iyileştirme önerilen seçeneklerden en olumlu sonuç verenler bir araya getirilmek suretiyle ekolojik ürünler oluşturulmuştur. İlk ürünlerle üzerinde iyileştirilme yapılmış olan ekolojik ürünler yine karşılaştırılmıştır. Bu sayede ne kadar ilerleme kaydedildiği belirlenmiştir.

Bu örneklem cam elyaf takviyeli beton cephe panellerinden seçilmiş olmasının sebepleri bütün dünyada sudan sonra en çok kullanılan malzeme olan betondan yapılması, tasarımcılar için farklı tip, detay, eğrisellik, renk ve dokuda üretilme olanağı sağlamaları, cephelerde görsel açıdan binaya prestij sağlamaları olarak özetlenebilir.

Örneklem aracılığıyla “yapı malzemeleri kavramsal sürdürülebilirlik çerçevesi” oluşturulmuştur. Bu kavramsal çerçevenin oluşturulmasında yöntem olarak yaşam döngü değerlendirmesinden faydalanılmıştır. Ürünlerin çevresel etkilerinin tespit edilmesiyle başlanan çerçevede ulaşılmak istenen uzam “sürdürülebilir malzeme veri tabanı”dır. Bu veri tabanının Türkiye için geliştirilmesi durumunda, diğer ülkelere ait malzeme, teknoloji, bertaraf ve geri dönüşüm oranlarını kullanmak zorunda kalınmayacaktır. Yapı malzemeleri kavramsal sürdürülebilirlik çerçevesinde ürünlerin karşılaştırılması, malzeme seçimlerinin yapılabilmesi açısından tercih edilmiştir. (Şekil 6.1)

Sürdürülebilir veri tabanı, enerji performans modelleri, atık yönetimi ve sürdürülebilir tasarımlarla “sürdürülebilir bina” yapmak mümkün olabilmektedir. ÇEDBİK’in yayınladığı konut sertifika kılavuzunda malzemeye ayrılan bölüm 14, LEED’de 14 ve BREEAM’de 12,5 puandır [15], [36]. Buradan da görüleceği üzere sürdürülebilir bina kavramında, malzemenin yeri oldukça büyük yer tutmaktadır. Gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir çevre bırakmak için bugünden gerekli önlemlerin alınması, yapı malzemesi gibi alt ölçeklerden başlayarak, sürdürülebilir bina ve sürdürülebilir şehir gibi üst ölçeklere çıkılmalıdır.

Üretici firmayla yapılan görüşmeler sonucu, ortaya çıkan YDD çalışması sonucu yapılabilecek iyileştirmeler arasında aşağıdaki seçenekler üzerinde durulmuştur. [167].



Şekil 6.1. Yapı malzemeleri kavramsal sürdürülebilirlik çerçevesi.

Günümüzde binalarda kullanılan mevcut yapı malzemeleri evren sınırlarını oluştururken, çalışma evreni sınırları iki malzemeyle sınırlandırılmıştır. YDD ve YDED aşamasında; yapı malzemelerinin YDD sınırları, yaşam döngü etki değerlendirmesi yöntemi ve veri toplama tekniğine karar verilmiş olması gerekmektedir. YDD ve YDED sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda, kritik olan malzeme, süreç ya da bertaraf tekniği tespit edilebilecektir. Teorik alt yapı ve çerçeve aşamasında bu noktalara yapılabilecek olan müdahaleler üzerinde literatür üzerinden araştırma yapılabilecektir. Çıkan bulgular üzerinden yapılacak olan değişikliklere karar verilebilir. Bu değişikliklerle oluşan malzeme ve süreç tasarımına “sürdürülebilir malzeme” olarak adlandırılır. Bu malzemeler kendi içlerinde kıyaslama yöntemiyle değerlendirilebilir. Değerlendirme sonuçları, literatür araştırmasına geri bildirim olarak dönebilecektir. Bu noktadan itibaren daha sürdürülebilir olarak tasarlanan malzemeler ekolojik yapı malzemesi olarak isimlendirilerek, sürdürülebilir yapı veri tabanında yerini alabilecektir. Bu katalogun oluşturulması ve geliştirilmesiyle sürdürülebilir malzeme seçimi çok daha kolaylaşacaktır.

Sürdürülebilir malzemelerin kullanıldığı, enerji performansı modellemesi, sürdürülebilir tasarım ve atık yönetimi gibi konuların da eklenmesiyle sürdürülebilir bina tasarımı söz konusu olmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında çalışma evreni sınırı olarak GFRC çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı panel seçilmiştir. Bu malzemelerin alt bileşenleri birincil kaynaklardan toplanmıştır. YDD sınırları olarak da beşikten kapıya alınırken opsiyon olarak bertaraf süreci de içine katılmıştır. YDED yöntemi olarak da CML baseline seçilmiş, çevresel etki kategorileri buna göre değerlendirilmiştir.

6.3. ÇERÇEVE KAPSAMINDA ÜRÜN VE SÜREÇ TASARIMINDAKİ İYİLEŞTİRMELER

Bu konuda yapılabilecek değişikliklere ilişkin literatürde araştırmalar yapılmış, yapılan araştırmalar aşağıda özetlenmiştir. Çevreye daha az zarar veren madde ve endüstriyel atıklar ürün içeriğinde kullanılarak daha ekolojik ürünler elde edilmesi hedeflenmiştir.

6.3.1. Çimento Yerine Endüstriyel Atık Malzeme İkame Edilmesi

Sürdürülebilirlik çalışmalarıyla birlikte betonun çevresel etkileri de düşürülmeye çalışılmaktadır. Bu sebeple doğal puzolanlar ve endüstriyel atıkların kullanılması söz konusu olmaktadır. Daha önce yapılan deneysel çalışmalarda bu malzemelerin kullanılmasının ekonomik ve çevresel açıdan faydalar sağladığı görülmüştür. Yapılan kaynak araştırmasında özellikle uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atıkların sıkça kullanıldığı görülmüştür.

Topçu ve Karakurt'un makalesinde betona CEM I 42,5 çimentosu yerine ikameli olarak artırılmak üzere %10, 20, 30, 40, 45 şeklinde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ayrı ayrı, sonrasında da iki ürün birlikte öğütülüp, karıştırılarak da %10, 20, 30 oranlarında karıştırılmıştır. Çıkan sonuçlar UK ve YFC'li betonların ilk 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarının referansa göre düşük çıktığı fakat 180 günlük sonuçlarda ise referanstan daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Bu tespit, uzun vadede ürünün katkılı olarak oluşturulmasının durabilite anlamında faydalı olacağı sonucunu ortaya çıkarmıştır. UK katkılı betonların basınç dayanımlarına bakıldığında ise ilk priz alma oranları referansın oldukça altındadır. Fakat % 40'a kadar YFC katkılı betonların 28 günlük basınç dayanımları ise referans betondan daha iyi çıkmıştır. İki ürünün karıştırılmasıyla elde edilen sonuçlarda ise 28 günlük dayanımlarda referans betona yakın değerler verirken 180 günlük veriler yine referanstan iyi çıkmıştır [168].

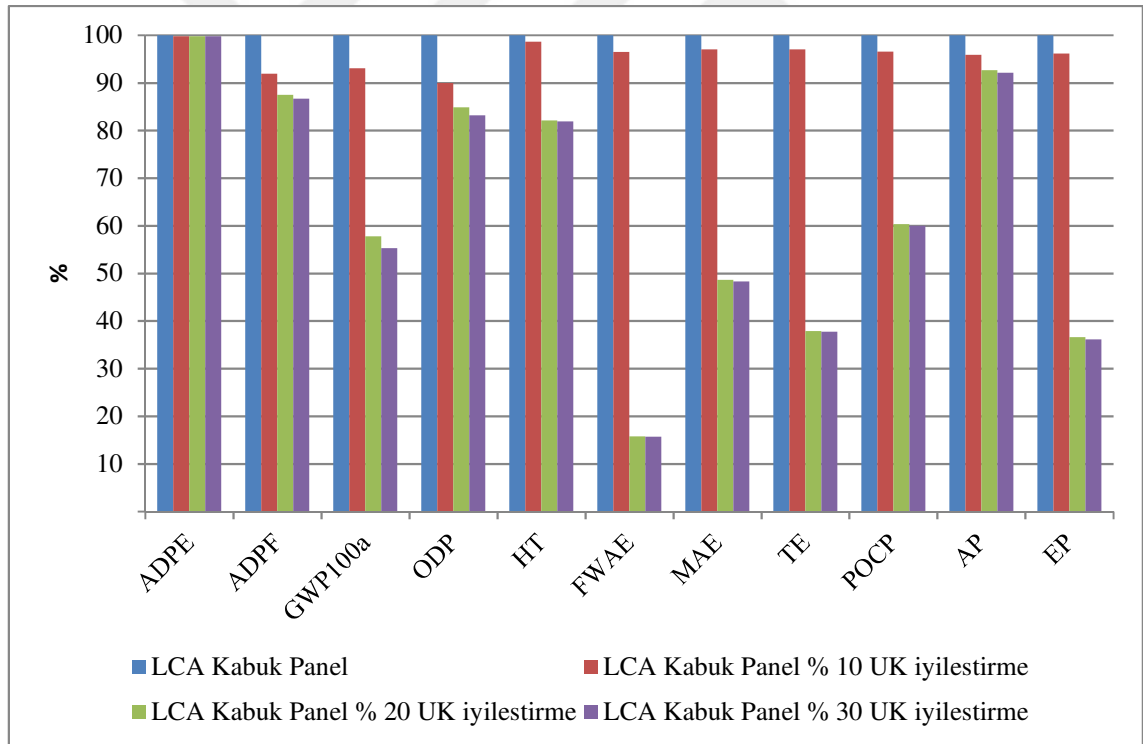
Özdemir, doktora tezinde UK, YFC ve silis dumanı (SD) çimento yerine ikame ederek deneyler yapmış çıkan sonuçları yorumlamıştır. Bu deneylerde farklı olarak dayanım süresine 360 gün sonraki değerler de verilmiştir. Basınç, eğilme, aşınma dayanımı sonuçlarına göre karışımlarda % 5-% 30 arasında UK, % 5-% 20 arasında SD ve % 5-% 50 arasında YFC'nun çimento katkı malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. 1 yılın sonunda ikili mineral karışımlardan SD+UK içeren numuneler % 1-% 13, SD+YFC içeren numuneler % 1-% 9 ve üçlü mineral karışımlar içeren numuneler ise % 2-% 15 oranında referans numuneden daha yüksek basınç değerleri ortaya çıkmıştır [169].

Yapılan çalışmalarda genelde YFC kullanımında elde edilen değerler daha iyi olmakla birlikte yüksek fırın cürufunun öğütülmesi gerektiği için enerji girdisi daha yüksek çıkmaktadır. Her iki malzeme için yapılan modelde çimento miktarı ikame miktarı kadar azaltılmıştır, UK ve YFC'nin ulaşım bilgileri eklenmiştir. Bu malzemeler endüstriyel atık

oldukları için çevresel yükleri “0” olarak kabul edilmektedir. UK ve YFC malzemelerinin aksi takdirde depolanmaları gerekmektedir ki, depolama büyük hacim gerektiren ve maliyetli bir işlemdir.

Bu tez çalışmasında da çimento yerine, farklı oranlarda Uçucu Kül (UK) kullanılmasıyla elde edilen betonun çevresel etkileri modellenmiştir. Bu süreç beton, çimento oranlarının azaltılarak (% 0, 10, 20, 30) endüstriyel atıkların aynı oranda ikame edilmesiyle oluşturulmuştur. Uçucu külün Ankara Nallıhan Termik santralinden getirildiği kabul edilmiş, nakliye mesafesi buna göre girilmiştir. Uçucu kül bir endüstriyel atık olduğu için çevresel etkileri “0” olarak kabul edilmesi sebebiyle tüm etki kategorilerinde düşüş gerçekleşmiştir. Bunlardan en olumlu etkilenen küresel ısınma (% 88) ve temiz su kaynaklarının zehirlenmesidir (% 90). Çimento yerine UK kullanılmasının karakterizasyon grafiği Çizelge 6.4’te karakterizasyon değerleri ise EK 14’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Çimento yerine UK veya YFC kullanılmasının karakterizasyon grafiği.



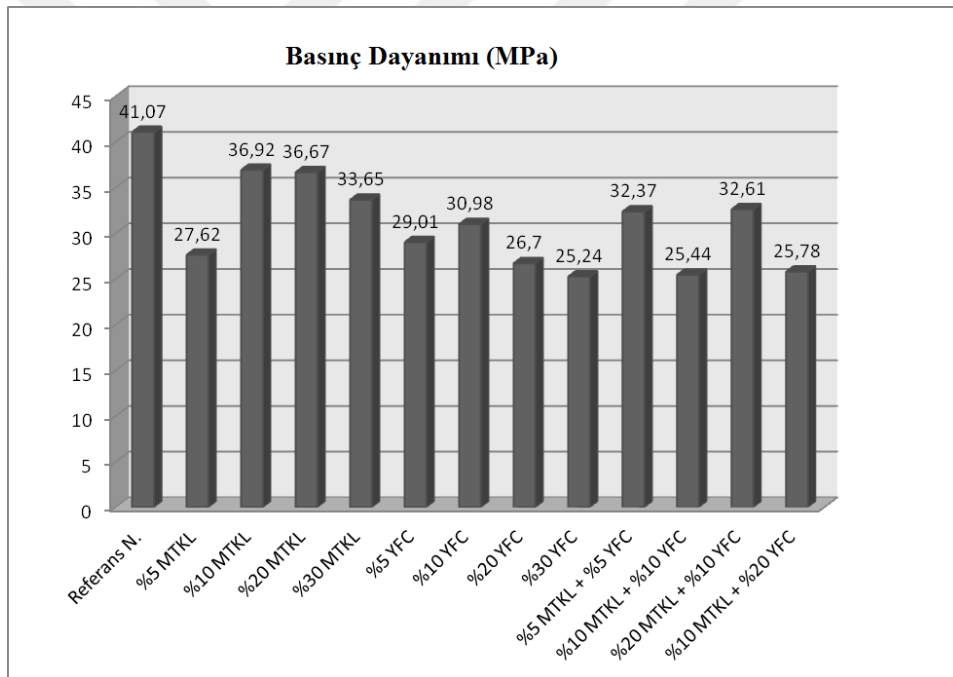
6.3.2. Çimento Yerine Metakoalin İkame Edilmesi

Metakoalinin elde edilme yöntemleri malzemeler bölümünde detaylı olarak verilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımında, işlenebilirlikte, durabilitede ve görünüm olarak daha iyi sonuçlar verebilmektedir [170].

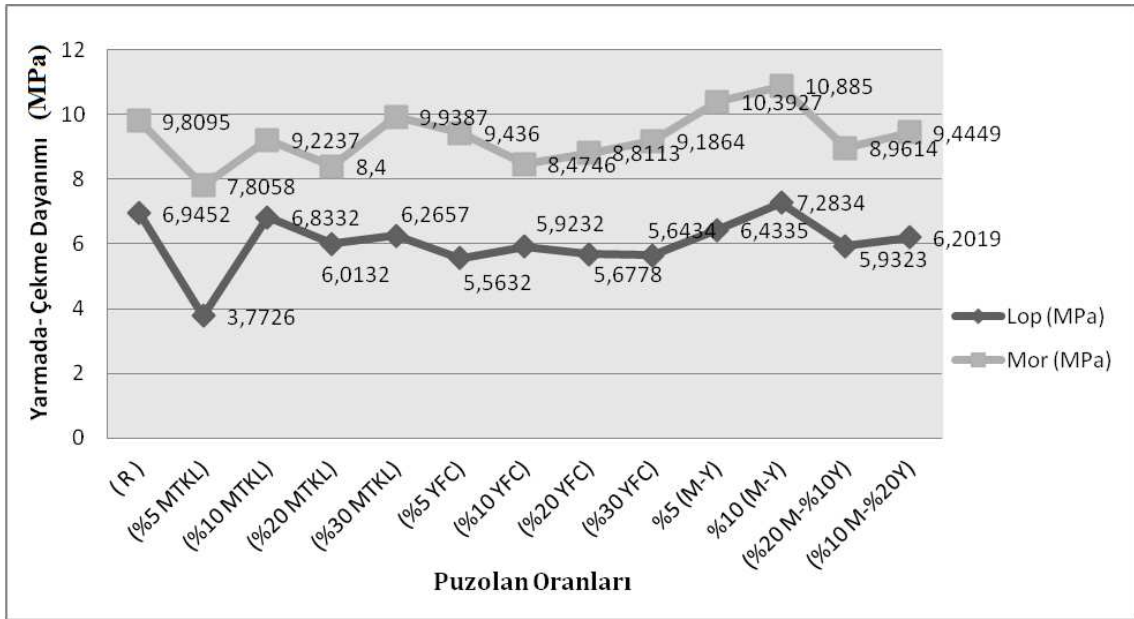
Brooks ve Johari, 2001'deki çalışmasına göre 3 gün ile 90 gün arasında yapılan kırma deneylerinde, referans betona göre % 10 metakoalin eklenmiş olan betonun basınç dayanımları % 20 daha iyi çıkmıştır [171]. Li ve Ding 'in çalışması da benzer sonuçlar içermekle birlikte, % 10 metakoalin eklenmesi ideal olarak ifade edilmektedir [172].

Fabrika bünyesinde üretilen GFRC paneller üzerinde, endüstriyel atıklar ve metakoalin eklenmesinin deneysel olarak denenmiştir. Özdal ve diğerlerinin 2013 yılında yayınlanan bildirisine göre basınç dayanımları Şekil 6.2'de verilmiştir. Yarmada çekme dayanımları ise Şekil 6.3'te verilmiştir. Çimento yerine %20 metakaolin ikame edilmiş olan karışım; %5 YFC, %5 metakaolin ve %20 metakaolin, %10 YFC eklenmiş olan karışımların basınç değerlerinde çok fark çıkmamaktadır.

Bu grafiklere bakıldığında metakoalin ve YFC'nin beraber kullanıldığı betonların hem basınç hem de çekmede daha başarılı olduğu görülmektedir [173].



Şekil 6.2. Katkılı betonların basınç dayanımları [173].

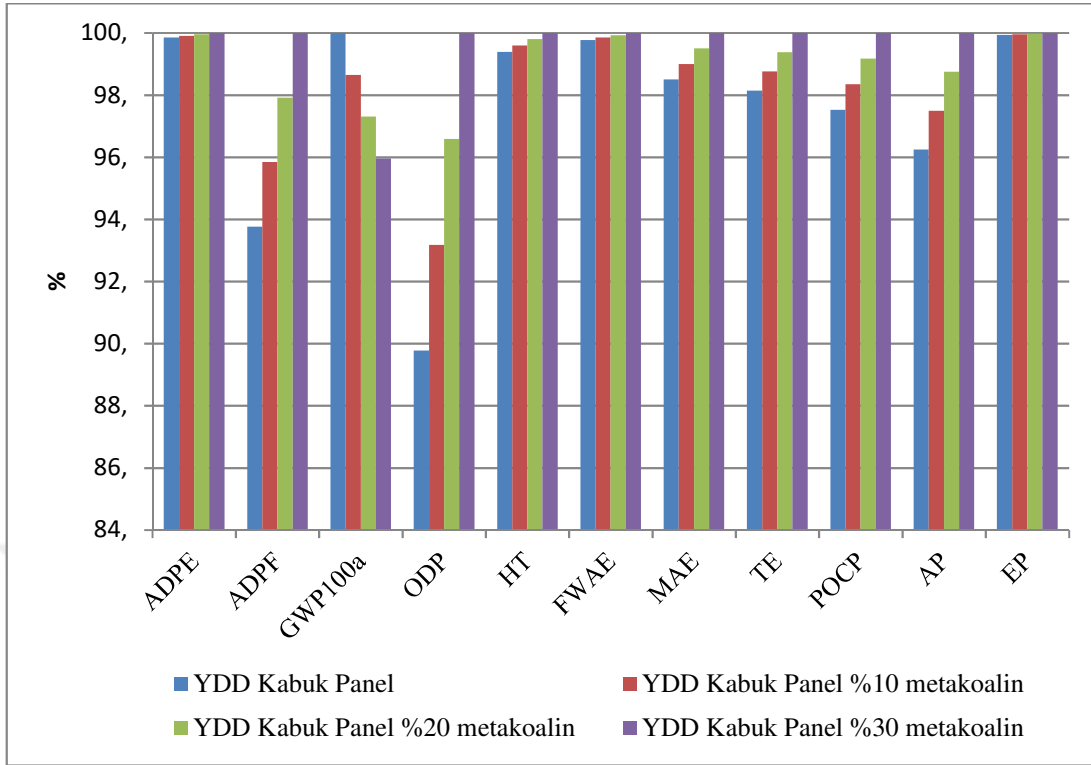


Şekil 6.3. Puzolan oranlarıyla yarmada çekme dayanımları [173].

Metakoalin diğer endüstriyel atıklar gibi çimento yerine ikame edilebilmektedir. Fakat endüstriyel atık olmadığı için çevresel etkisi “0” olarak kabul edilemez. Kabuk beton içerisinde metakoalin malzemesi YDD yazılımında daha önceden modellendiği için aynı ürüne ekleme yapılma şeklinde çalışma ilerletilmiştir. Metakoalin miktarını %10, %20, %30 olarak arttırarak ve çimento miktarı aynı oranda azaltılarak modellenmiştir. Karakterizasyon sonuçları Çizelge 6.5’de metakoalin eklemenin tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinde daha da olumsuz etkilediği görülmektedir.

Karakterizasyon değerleri EK 15, incelendiğinde ise küresel ısınmada %30 metakoalin eklemenin %5 fayda sağladığı, ozon tabakası incelme potansiyelinin ise en olumsuz şekilde etkilendiği gözükmemektedir (%11). Ayrıca metakoalinin çevresel etkilerinin küresel ısınma dışında diğer etkileri arttırdığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak ise kaolinin metakoalin haline dönüştürülürken kullanılan ısı, 500-800 °C civarında çimentonun klinkerleşme için harcadığı ısının 1300-1400 °C olması sebebiyle küresel ısınma anlamında %5’lik iyileştirme yapılabilmiştir. Fakat diğer çevresel etkiler ise negatif olarak etkilenmiştir.

Çizelge 6.5. Çimento yerine metakoalin eklenmesinin karakterizasyon grafiği.



6.3.3. Çelik Yerine Alüminyum Kullanılması

Alüminyum doğada en çok boksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) olarak bulunmaktadır. Boksit 1000 °C'ye kadar ısıtılarak, içerisinden su buharlaştırılarak, saf oksit olan Al_2O_3 elde edilir. Bu metalden elektroliz yöntemiyle alüminyum elde edilir. Alüminyumlar farklı metallerle alaşımlı olarak kullanılabilir [141].

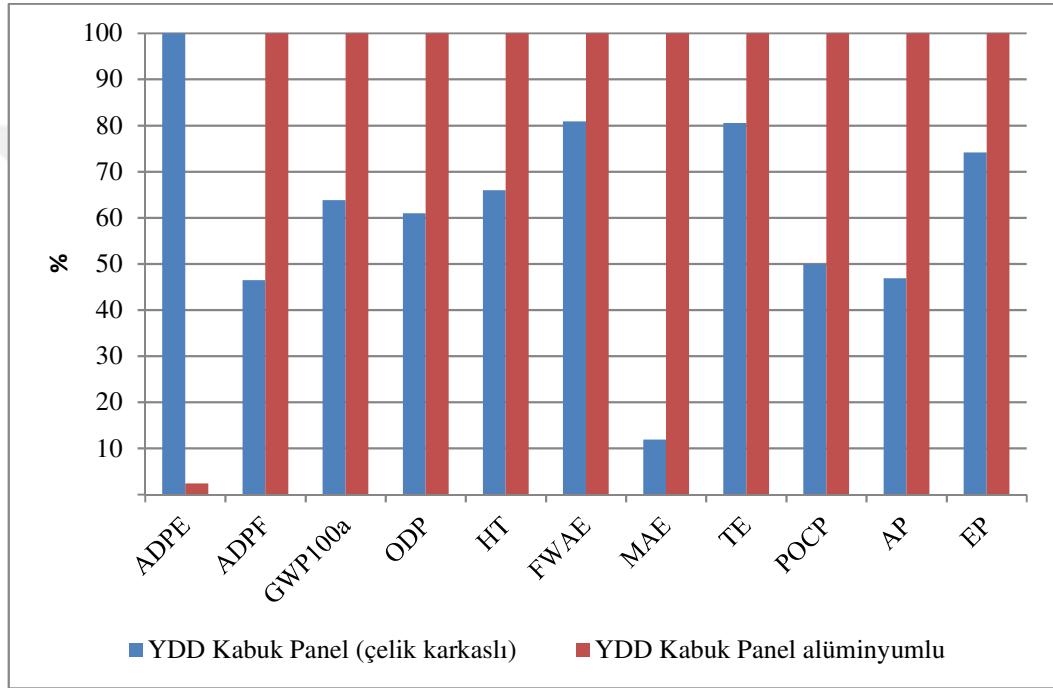
Çelik karkaslı panel ile ısı yalıtımlı panel arasındaki fark hatırlanacağı üzere çeliğin galvanizleme işleminden kaynaklanmaktadır. Galvanizli çelik kullanımı bu etkileri arttırmaktadır. Bu sebeple galvanizleme işleminin daldırma yöntemiyle sadece kaplama şeklinde yapılması daha faydalı bir yaklaşım olacaktır.

Çelik yerine alüminyum malzemesi modellenirken aynı ağırlıkta alınmamıştır. Bilindiği üzere alüminyumun yoğunluğu 2,6–2,85 gr/cm³ iken çeliğin 7,7–7,85 gr/cm³'dir. Aynı hacmin farklı yoğunlukla çarpılması sonucu kütle ağırlığı daha düşüktür.

Mukavemetlerinin aynı olmaması sebebiyle de çıkan ağırlık 1,5 katıyla çarpılarak, yaklaşık olarak çelik ağırlığının 0,6 katı alınabileceği kabul edilmiştir [173].

Yaşam döngü değerlendirmesinin iyileştirme amacıyla çelik yerine alüminyum kullanılmıştır. Karşılaştırmının normalizasyon grafiği Çizelge 6.6’da ve karakterizasyon değerleri ise EK 16’da ifade edilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere alüminyum kullanılması, çelik kullanılmasına oranla tuzlu su üzerindeki zehirlenme etkisini çok daha fazla arttırmıştır. Alüminyum kullanılmasının, olumlu etkilediği tek çevresel etki abiyotik kaynakların tüketilmesidir. Fakat fosil bazlı abiyotiklerin tüketilmesi ve asidifikasyon potansiyeli konusunda alüminyumun etkisi %46 oranında olumsuz etkilenmiştir.

Çizelge 6.6. Çelik yerine alüminyum kul. karşılaştırmalı karakterizasyon grafiği.



Alüminyum, çelik ve galvanizli çelik elde edilme yöntemi, küresel ısınma ve asidifikasyon açısından karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.7 ‘de verilmiştir. Bu tabloda da anlaşılabacağı üzere alüminyumun çevresel etkileri her iki paneldeki çelik türünden de fazladır. Diğer etki kategorilerinden çelik karkaslı panele en yakın olumlu değer tatlı su kaynakları ve karasal zehirlilik açısından %80 oranlarındadır (EK 16). Alüminyumun özellikle tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesine etkisinin çok yüksek çıkması, diğer değerlerin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Çevresel açıdan da bir fayda sağlamayacağı için sürdürülebilirlik modelinin tanımlanması bölümünde verilen karşılaştırmadan alüminyum çıkartılmıştır.

Çizelge 6.7. Alüminyum, çelik ve paslanmaz çeliğin GWP ve AP etkisi [174].

Metal	Elde edilme süreci	GWP(kg/CO ₂)	AP (kg/SO _{2e} /kg)
Alüminyum	Bayer ve Hal-Heroult yöntemi kullanılarak	22,4	0,131
Çelik	Entegre yöntem	2,3	0,02
Paslanmaz çelik	Elektrikli fırın ve Argon-Oksijenli dekarbonizasyon	6,8	0,051

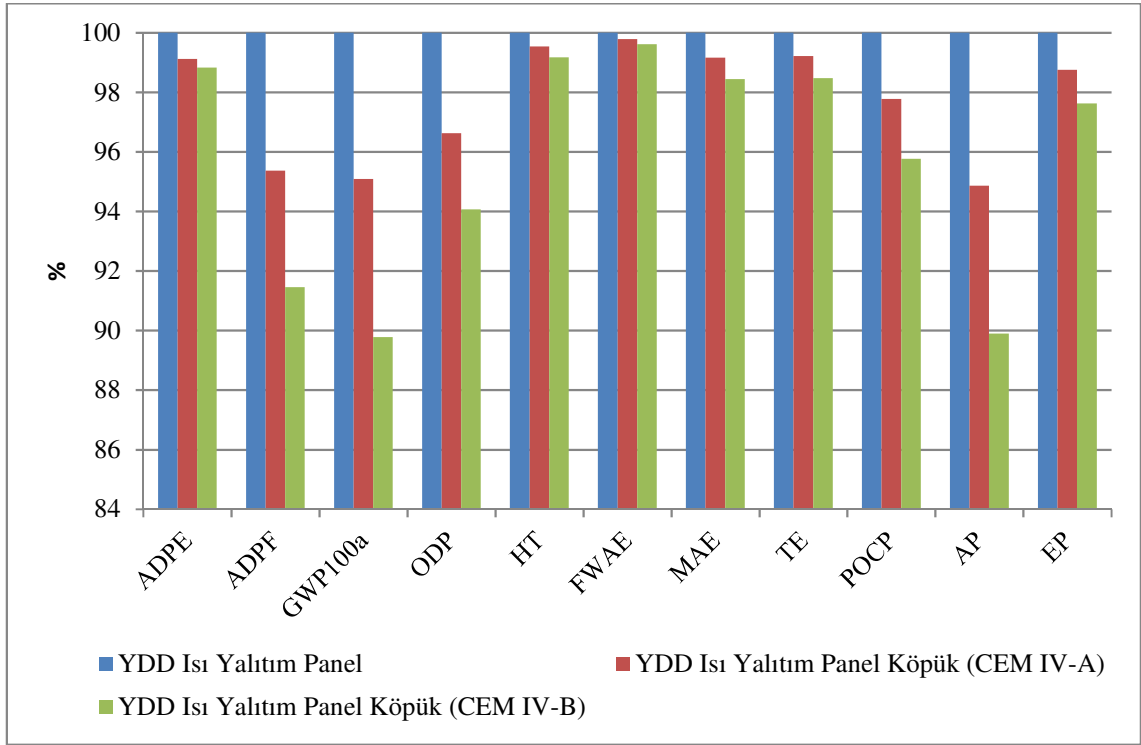
6.3.4. Isı Yalıtımlı Panelde Köpüklü Betonunda CEM I Yerine CEM IV Çimento Kullanılması

Isı yalıtımlı panelde kaynak ve enerji kullanımını olumlu yönde etkileyeceğini düşünerek köpüklü betonun ağırlığının düşürülmesi hedeflenmiştir. Kabuk betonda uçucu kül ya da yüksek fırın cürufu kullanılarak, çimento miktarı azaltılmaya çalışıldığı gibi burada da köpük betonun içindeki çimento puzolan katkı CEM IV (A ve B) olarak değiştirilmiştir. Bu durumda kullanılan çelik miktarında da azalma olması beklenmektedir, bu olasılık sürdürülebilirlik modelinin tanımlanması, 6.6 bölümünde modellenmiştir.

Cem IV A olarak kabul edilen %11-35 arasında puzolanlı çimentodur. Cem IV B olarak kabul edilen de %36-55 arasında puzolanlı çimentodur. Katkı miktarları CEM IVA grubunda en fazla %5 fosil bazlı abiyotiklerin tükenmesi konusunda fark ederken CEM IVB grubunda %11'e kadar fark ettirmektedir. Küresel ısınma ve asidifikasyonda %89, fosil bazlı abiyotik kaynakların tükenmesi %91 etkilenmektedir. Bu ürünler için en hasas olunması gereken tuzlu su ve tatlı su kaynaklarının zehirlenmesine ise %1,5 oranında fayda sağlamaktadırlar. Puzolanlı çimento kullanımı, diğerler etki kategorilerini de olumlu olarak etkilemektedir (Çizelge 6.8, EK 17).

Isı yalıtımlı panelde CEM I yerine CEM IV normalizasyon sonuçlarına EK 17'ye göre incelendiğinde ise yine tuzlu su ve temiz su kaynaklarının tükenmesinin etkilerini azaltmakla birlikte ciddi bir düşüş sağlamamaktadır.

Çizelge 6.8. Isı yalıtımlı panelde CEM IV A ve B kullanılması karakterizasyon grafiği.



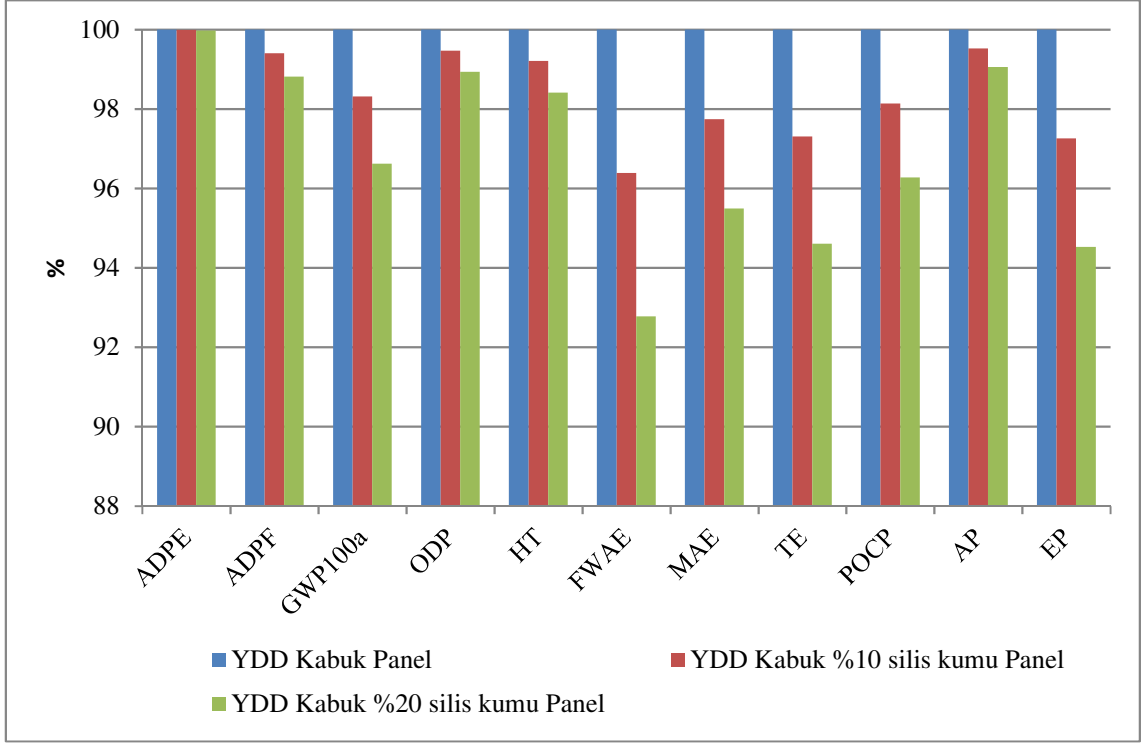
6.3.5. İnce Agrega Yerine Uçucu Kül (UK) Kullanılması

Bilir ve diğerleri (2015)'nin yaptığı çalışma ince agregaya yerine Uçucu Kül (UK) ikame edilmesi konusundadır. Bu çalışmada kum yerine UK %10'ar artırarak, %100'e kadar ikame edilmiştir. Bu sayede doğal bir kaynak olan kumun kullanım oranı azaltılarak, mekanik dayanım sonuçlarına bakılmıştır. UK'ün yoğunluğunun kumdan az olması ($1,8 \text{ g/cm}^3$) sebebiyle betonun daha hafif olmasını sağlamaktadır. Yapılan deneylerde %20-30 arasında UK kullanılırsa basınç dayanımı referans betonunkine yakın hatta daha iyi çıkmaktadır. %70'e kadar ikamesinde ise Türkiye'deki Deprem Yönetmeliği (2007) standartlarını sağladığı belirtilmiştir. Özellikle UK kullanılmasıyla betonun yoğunluğu da düştüğü için hafif beton ($8-14 \text{ kg/dm}^3$) olarak ifade edilen beton üretimine çok uygun olduğu belirtilmektedir. Bu durumda UK'nın kabuk betonda kullanılabileceği gibi köpük betonda da kullanılması da söz konusu olabilir [175].

Uçucu küllü harçların ısı yalıtım özellikleri incelendiğinde çimento kireç veya çimentonun kireç bağlayıcılarla kullanıldığı harçların, yalıtım amaçlı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Uçucu küllü betonların ısı yalıtım amacıyla kullanılan kabuk betonda silis kumu yerine uçucu külün %10 ve 20 oranlarında ikame edilmesine

ilişkin karakterizasyon grafiği, Çizelge 6.9'da ve değerleri ise EK 15'te ifade edilmiştir. Uçucu kül endüstriyel atık olarak görüldüğü için her etki kategorisinde düşüşe sebep olmaktadır. Tatlı su kaynaklarının zehirlenmesinde %92, ötrifikasyon potansiyelinde ve karasal zehirlilikte %94 oranlarına kadar düşmektedir.

Çizelge 6.9. Silis kumu yerine UK ikame edilmesi.



6.4. SÜREÇ TASARIMI VE İYİLEŞTİRME

Fabrikada yapılan çalışmada hammaddeler karıştırılmakta, el spreyleleriyle püskürtme yapılmaktadır. Sonrasında alt yüklenicide imal edilen çelik profiller monte edilmektedir. Bu süreç enerji tüketim ağacında incelendiğinde (Şekil 5.1, Şekil 5.2) fabrikada kullanılan enerji dikkate alınmaya değer değildir. Sürece ilişkin iyileştirme ancak atık beton miktarını azaltmak konusunda olabilir. Bu da dökülecek panellere göre daha hassas hesaplanarak karışımların ayarlanmasıyla mümkün olabilir.

Çimento üretim süreçlerinde iyileştirmeler yapılabilir. Çimento üretimini çevresel açıdan incelediğimizde içinde kalsiyumoksit, alüminyumoksit, silisyumoksit, demiroksit ve bu gibi metaloksitlerden oluşan hammadde, kireç taşının kalsine edilmesiyle CO₂ ve yakıtın yanması sonucu yanma ürünleri ortaya çıkmaktadır. Yanma ürünlerinden küresel

ısınmaya etki eden SO₂, çimento üretim süreci sırasında CaO ve CaCO₃ ile reaksiyona girerek çimentoya bağlanır. Dolayısıyla çevre kirliliği açısından ortaya çıkan SO₂ miktarı emisyon sınır değerlerinin çok altında kalmaktadır [159].

Çimento üretimindeki sakıncalardan biri de otağa çıkan toz miktarıdır. Oluşan toz elektrostatik ve torbalı filtreler yardımıyla tutulabilir ve üretim sürecine yeniden kazandırılabilir [159].

Sürece ilişkin panel üretiminde kullanılan elektrik Türkiye karışımı olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bu karışımda oranının yüksek olmaması (%8,7) sebebiyle çevresel etkileri arttırmaktadır [163]. Fabrikanın üstüne güneş enerji panelleri yerleştirilerek elektrik elde edilmesiyle enerji verimliliği artırılabilir.

Ürün tasarımı bölümünde bahsi geçen uçucu kül eklenmesiyle elde edilebilecek olan betonlarda priz kazanımının geç olduğu belirtilmiştir. GFRC’de de prizi geç kazanabileceği düşünülerek, panelleri kalıptan alma süreleri artabilir ya da kürleme gerekebilir. Kürleme işlemi gerekli olursa fazladan enerji harcanması anlamına gelmektedir. Kürleme olmadan da, panelin kalıpta kaldığı süre uzayacağı için fabrika içinde ek depolama alanına ihtiyaç duyulacaktır. YFC kullanılmasında, priz süresinde gecikme görülmemesi depolama alanının artmaması açısından daha faydalı bir model olacaktır.

6.5. YENİDEN KULLANIM, GERİ DÖNÜŞÜM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çelik karkas panelin çevresel performansının artırılması için geri dönüşüm alternatifleri araştırılmıştır. Bu alternatiflerden en çok dikkat çeken çelik ve betonun geri dönüşümüdür. Bu alternatifler üzerinde literatürde araştırma yapılmıştır.

6.5.1. Agregaya Yerine Geri Dönüştürülmüş Agregaya Kullanılması

TAKEUCHI ve diğ., 2008’de yayınladıkları makaleleri yaşlandırma testine tâbî tutulmuş, GFRC panellerin geri dönüşümüyle ilgilidir. Makale sonucunda öğütülmüş GFRC’lerin agregaya ya da çimento olarak yeniden GFRC yada beton karışımı içinde başarıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Yeni üretilen panellerin içine %10 çimento yerine kullanılabileceği gibi, %40’da ince agregaya yerine kullanılabilmektedir. Cam

liflerin yüksek elastisitesine bağılı olarak GFRC organik lifli takviyeli betona oranla iyi bir kırılabilme özelliğı göstermekle beraber donma çözölme ve akışkanlıkta düşüş olmaktadır. Bu sebeple hava sürükleyici ajan kullanılması tavsiye edilmektedir [176].

Marinkovic ve diğlerleri yaptıkları çalışmanın sonucunda geri dönüştürölmiş agreganın ancak inşaat alanına yakın kırma ve öğütme merkezi kullanıldığında çevresel açıdan faydalı olacağını, diğler türlü molozun taşınması sırasında ortaya çıkan CO₂'in etkisinin daha olumsuz olduğunu belirtmiştir [18].

Hossain ve diğlerlerinin çalışmasına göre ise geri dönüştürölmiş agrega kullanımı, doğal agrega kullanımına oranla %65 sera gazı salınımının azaltılmasına, %58 yenilenemeyen enerji kaynakların korunmasına yardımcı olduğunu belirtmektedir [177].

Betonun geri dönüşümü konusunda Ding ve diğlerleri geri dönüştürölmiş agreganın yaşam döngü değlerlendirmesinin sınırları beşikten beşiğıe olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmada normal betonla % 50 ve % 100 geri dönüştürölmiş agrega kullanılmıştır. Geri dönüşüm sırasında agreganın kilogramı için 0,00740 MJ dizel ve 0,01584 MJ elektrik enerjisi kullanarak toplamda 0,02324 MJ enerji harcandığı tespit edilmiştir. Ding'in makalesinde agrega olarak kullanmanın çimento, su ve akışkanlaştırıcı oranında artışa sebep olduğu belirtilmiştir [178].

Üretici firmanın ürettiğı kabuk panel, konkasörde kırılmış ve elenmiştir. Yapılan ölçümlere göre bir kilogram GFRC panelin öğütölmesi için 0,06624 MJ enerji kullanılması gerekmektedir. Bu değler Ding'in bulduğu değlerin yaklaşık 3 katıdır, seri üretim olmadığı için enerji farklılıkları çıktığını düşündürmektedir. Geri dönüşüm senaryosu olarak betonun %20 sinin kırılıp öğütölerek, yeniden panelin içinde kullanılması modellenmiştir. Beton karışımının içinde bulunan çimento, su ve akışkanlaştırıcı gibi diğler malzemelerin ne kadar artırılması gerektiğı net olarak tespit edilemediğı için herhangi bir değışik yapılmamıştır. Bu geri dönüşüm modeli üretilirken mantıken en büyük faydalar birincil mineral kaynakların korunması ve atık miktarının azaltılmasıdır.

6.5.2. Geri Dönüştürölmiş Camın İnce Agregaya Yerine Kullanılması

Maier ve Durham'ın çalışmasında UK, YFC ve geri dönüştürölmiş camın ince agregaya yerine kullanılması deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada geri dönüştürölmiş cam

için agrega yerine %50 kullanılması ideal sonuçlar verdiğini, yalnız Normal Portland çimentosuyla yapılacak olan uygulamalarda geri dönüştürülmüş camın çok genişlediği, %50 oranında YFC'nin NPC erine kullanılmasında ise bu sorunun ortadan kalktığını bildirmektedir. Bu alışmada NPC yerine %50 YFC ve agrega yerine de %50 geri dönüştürülmüş cam atık kullanılması, tamamen birincil hammaddeyle yapılmış olan betonla çok benzer özellikler göstermiştir. 28 günlük basınç dayanımı 48,3 MPa basınç dayanımı göstermiştir. NPC çimentosuyla yapılmış olan referans betondan 7. günden itibaren daha fazla basınç dayanımı göstermiştir [179].

M. Adaway ve Wang'e göre ince agrega yerine %30 cam agrega kullanılması işlenebilirliği azaltması dışında mekanik özellikleri genelde arttırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte yapılan deneylerin sonucunda basınç dayanımının ise %40 düştüğü gözlenmiştir [180].

Du ve Tan'ın makalesinde, geri dönüştürülmüş camın %100'e kadar kullanılmasının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve statik modül de dahil olmak üzere mekanik özelliklerine olumlu etki ettiğini belirtmektedir. Sadece bazı durumlarda mineral katkı eklenmesi önermektedir [181].

Camın geri dönüşümü incelendiğinde 1 ton geri dönüştürülmüş camın 1,2 ton hammadde yerine geçtiği, 314 kg CO₂'in havaya karışmasına engel olarak küresel ısınmaya fayda sağladığı belirtilmektedir [182].

Silika dumanı, öğütülmüş molozlar, atık lastikler, alt kl, öğütülmüş kiremit, tuğla, ferrokrom cürufu, mermer atıkları, atık cam, Polietilen Tereftalat (PET) şişe atıkları, pirinç kabuğu külü vb. malzemeler agrega olarak kullanılabilir [175]. Camın geri dönüştürülmesi silis kumu kullanılmasıyla neredeyse eşdeğer olduğu için bu isim altında çalışmalar devam ettirilmiştir.

6.5.3. Çeliğin Geri Dönüşümü

Çeliğin üretilme aşamasında iki türlü malzeme kullanılır, biri demir cevheri, diğer i se hurda çeliktir. Paslanmaz eliklerin üretimi ise iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisinde üretilmesi istenen çeliğin alaşımlarını içeren malzemeler ve hurdalar birlikte eritilirler. Ergimiş metal çoğunlukla argon-oksijen dikarbonizasyonuna tb tutulur. Özellikle karbondan ayrıştırılarak, istenen çeliğin sağlığına ulaştırılır [174].

Betonun geri dönüşümüne benzer şekilde, çeliğin geri dönüşümü akla gelen diğer çözümdür. Bu çözüm Türkiye’de ve dünyada sıkça uygulanmaktadır. Çelik gömülü enerjisi yüksek bir malzemedir. Çeliğin geri dönüşümü sayesinde gömülü enerjisini düşürmek de söz konusu olabilmektedir. Çelik, Dünya Çelik Enstitüsünün verilerine göre %88 oranında geri dönüştürülmektedir. Bu kadar yüksek oranda geri dönüştüğü için atık miktarı da oldukça azalmaktadır. Fakat geri dönüşümü sırasında çelik yeniden enerji verilerek ergitilmek zorundadır.

Çeliğin geri dönüşümüne ilişkin enerji verilerinde Lanfang ve diğerlerinin makalesinden faydalanılmıştır. Makelede çeliğin beşikten beşiğe yaşam döngüsü değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 1 kg çeliğin geri dönüşümü sırasında 1,682 MJ enerji gerektiği belirtilmiştir [183]. Bu enerji değeri betonun öğütülme değerinin yaklaşık 8 katıdır.

6.5.4. GFRC Panelin Öğütülerek Çimento Yerine Kullanılması

Bölüm 6.5.1’de belirtildiği üzere GFRC panelin kırılarak öğütülmesi sonucu ortaya çıkan ürün çimento yerine kullanılması durumunda, yoğunluk, akışkanlık ve eğilme direnci GFRC için düşmektedir. Maksimum kullanılabilir miktar %10 olarak tespit edilmiştir [176].

6.6. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN TANIMLANMASI

Ürün tasarımı, iyileştirme tasarımı ve geri dönüşüm potansiyelleri literatürden elde edilen bilgiler ışığında YDD yazılımında tekrar modellenmiştir. Modelleme yapılırken kabul edilen bilgiler aşağıda tanımlanmıştır.

6.6.1. Uçucu Kül veya Yüksek Fırın Cürufu İkame Edilmesi

Çimento, agrega, çelik yerine endüstriyel atıkların veya geri dönüşümlü malzemelerin ikame edildiği çalışmalardan önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bunlara ek olarak çelik yerine alüminyum kullanılması ve geri dönüşüm potansiyelinin değerlendirilmesi şeklinde bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu seçenekler YDD yazılımında modellenmiştir. Modellenirken aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır.

Uçucu kül ya da yüksek fırın cürufunun çimento yerine ikame edilmesi durumunda çimentonun aynı oranda azaltıldığı kabul edilmiştir. Uçucu küllerin Çayırhan Termik santralinden alındığı kabul edilmiştir. Çimento yerine ikame edilen malzemelerden

uçucu kül için bir öğütme söz konusu olmazken, YFC için eklenmeden önce öğütülmelidir. Hatta çimentoyla birlikte öğütüldüğünde daha az enerji harcandığı belirtilmektedir. Mesafe olarak Nallıhan (Ankara)-Gümüşova (Düzce) arası mesafe 180 km kabul edilmiştir [164].

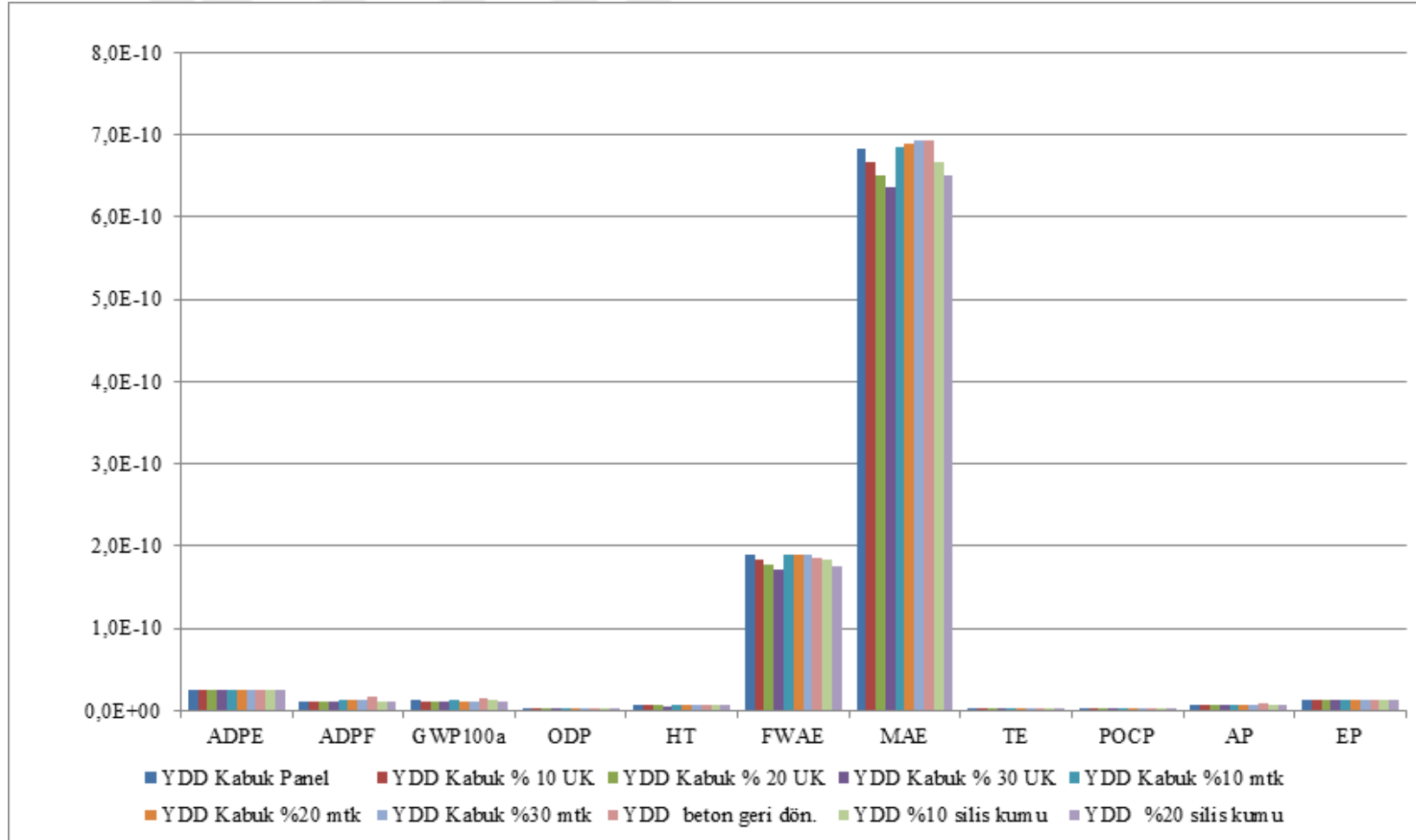
Çimento kullanımı yerine yapılabilecek olan alternatifler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırmalar yapılırken malzemeler ayrı ayrı ele alınmıştır. İlk başta kabuk beton, sonrasında ise çelik karkas üzerinde yapılabilecek değişiklikler ele alınmıştır.

6.6.2. Kabuk Beton Üzerindeki İyileştirmeler

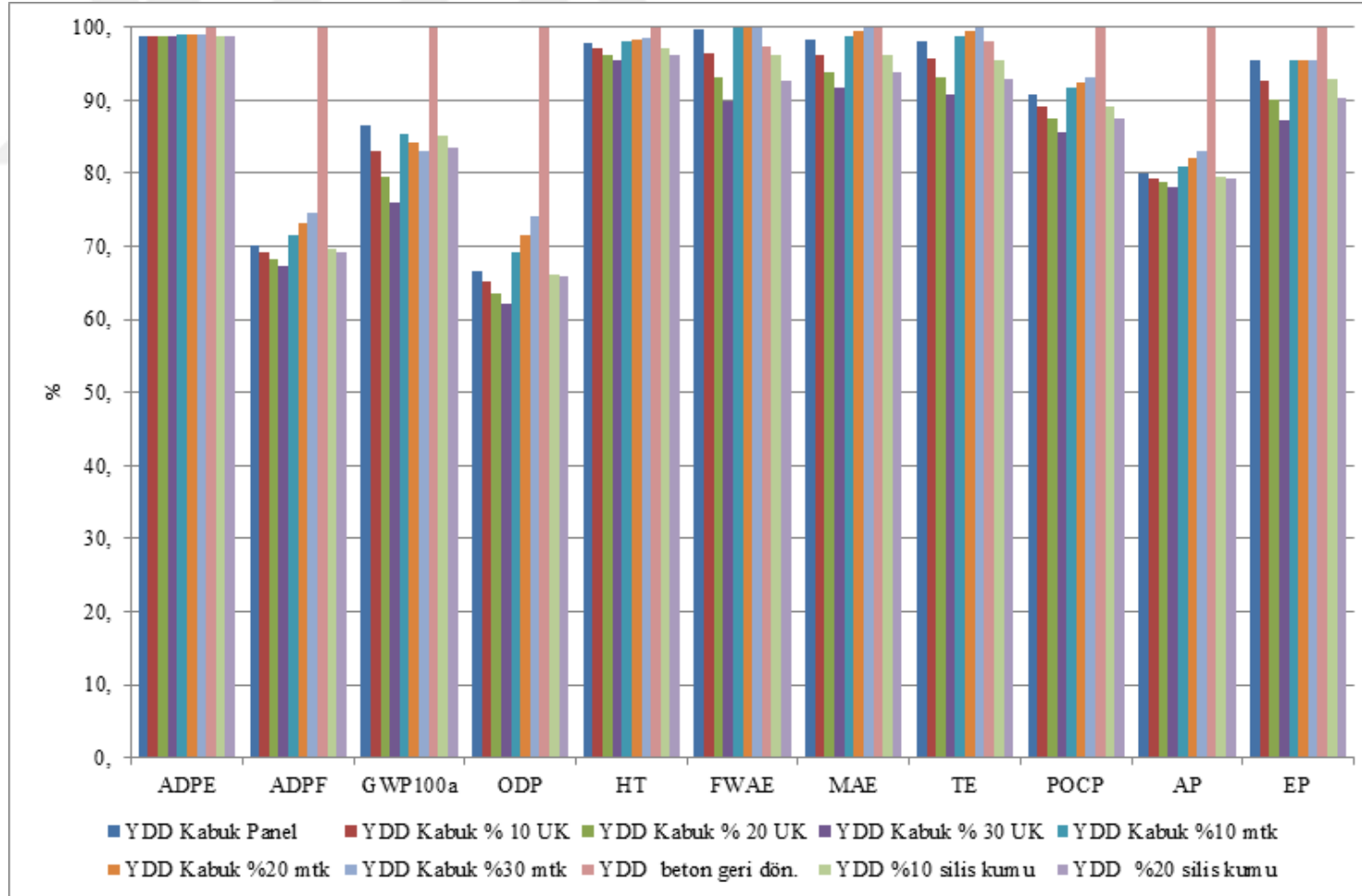
Kabuk beton üzerinde yapılacak olan iyileştirmeleri tespit etmek amacıyla; kabuk beton, %10, 20, 30 uçucu kül eklenmesi, %10, 20, 30 metakoalin eklenmesi, betonun geri dönüşümlü kullanılması, silis kumunun %10, 20 azaltılması olarak YDD yazılımında modellenmiştir. Çevresel açıdan kabuk betonların normalizasyonlarının karşılaştırılması Çizelge 6.10'da görsel olarak ifade edilmiştir. Çizelgeden anlaşıldığı üzere en faydalı senaryo çimento yerine uçucu kül ilave edilmesidir. Çimento yerine metakoalin eklenmesinin de çevresel yükler açısından çok fark etmediği gözükmektedir. Silis kumunun daha az eklenmesiyle oluşabilecek olan faydalar da endüstriyel atık eklenmesinin altında kalmaktadır. Betonun geri dönüştürülerek %10 agrega yerine kullanılmasında ise kırılma ve öğütülme enerjileri devreye girdiği için, çevresel yükler normal kabuk betonlu panelden yüksek çıkmaktadır.

Aynı altı ürünün karakterizasyon sonuçları Şekil 6.11'de ifade edilmiştir. Karşılaştırmalı olarak verilen sonuçlara göre, betonun geri dönüştürülmüş olarak kullanılması en yüksek çevresel etkiyi oluşturmaktadır. Temiz su kaynaklarının zehirlenmesi ve karasal zehirlenme kategorileri hariç %100 olarak görülmektedir. Metakoalin eklenmesi ise fosil bazlı kaynak tüketiminde %74, küresel ısınmaya olan etkisi ise %83'lerde kalmaktadır. Fakat temiz su kaynaklarının zehirlenmesi ve karasal zehirlenme kategorilerinde ise en zararlı seçenek olarak gözükmektedir. Silis kumunun %20 azaltılmasıyla birlikte ozon incelme potansiyelinde %65 ve fosil kaynaklı tüketimi açısından %69'luk bir düşüş görülmekle birlikte en düşük çevresel etkiyi UK eklemenin yaptığı gözükmektedir. UK'ün %30 olarak ikame edilmesi; ozon tabakası incelme potansiyelinde %62'ye, fosil bazlı kaynak tüketiminde ise %67'ye, asidifikasyon potansiyeline %78'e, küresel ısınmaya %76 etki etmektedir.

Çizelge 6.10. Kabuk betondaki iyileştirme önerileri çevresel etki karşılaştırması normalizasyon grafiği.



Çizelge 6.11. Kabuk betondaki iyileştirme önerileri çevresel etki karşılaştırması karakterizasyon grafiği.



6.6.3. Çelik Üzerindeki İyileştirmeler

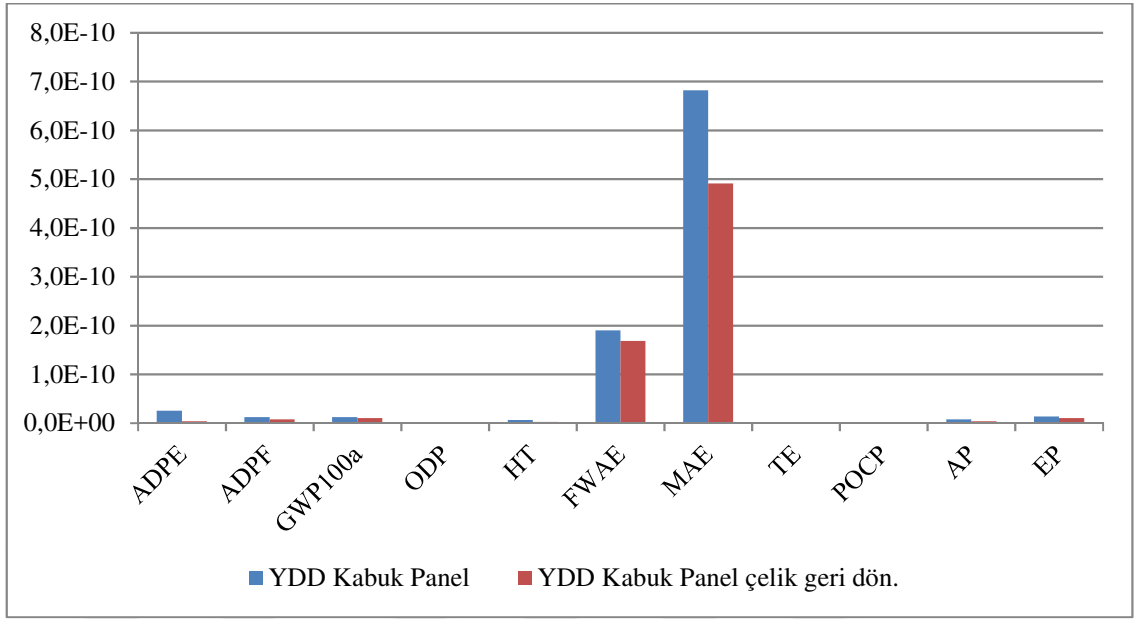
Çelik karkas üzerinde yapılabilecek iyileştirmelerden alüminyum eklenmesi ve geri dönüştürülmüş çelik kullanılması karşılaştırıldığında çelik yerine alüminyum kullanılması çevresel açıdan çok zararlı görülmektedir. Bu konu Bölüm 6.3.3'te detaylı olarak açıklanmıştır. Alüminyum yapılan karşılaştırmaları çok olumsuz yönde etkilediği için bu bölümdeki 'çelik üzerindeki iyileştirme' karşılaştırmalardan çıkartılmıştır.

Çelik karkaslı panelde çelik yerine alüminyum kullanılmasının etkisi kaynak tüketimi konusu hariç çevresel etkileri çok artırmıştır. Çeliğin %88 oranında geri dönüştürülmüş olduğu geri dönüşüm senaryosunda enerji ve ulaşım verileri eklenmiş olmasına rağmen çok olumlu şekilde etkilemiştir.

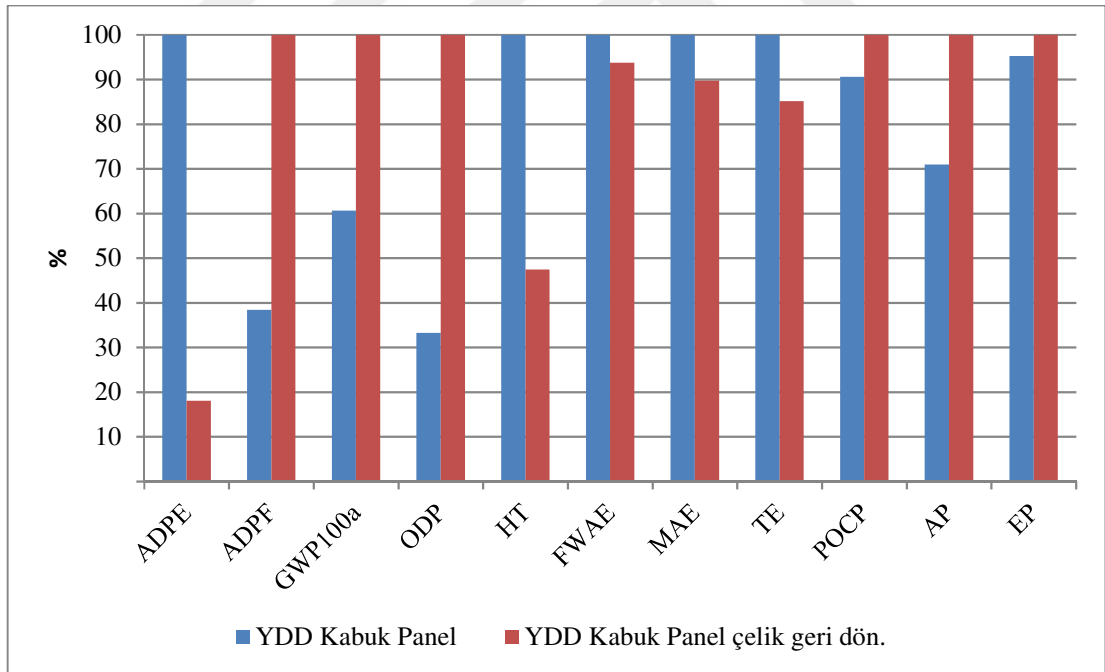
Çeliğin geri dönüşümlü olarak kullanılması Çizelge 6.12 ve Çizelge 6.13'te görüldüğü üzere bütün çevresel kategorilerde olumlu etki göstermiştir. Çelik ile ilgili normalizasyon ve karakterizasyon tabloları EK 20'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde ise, en olumlu etkileri sırasıyla fosil bazlı olamayan kaynak tüketiminde %13, insan sağlığında %34 ve asidifikasyon potansiyelinde %51 olarak gerçekleşmiştir. Çelik karkaslı paneli inceleme aşamasında en yüksek etki tuzlu ve tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi olarak anlaşılmaktadır. Kabuk panelde yapılan iyileştirmeler çelik kadar olumlu olmamıştır. Çevresel etkileri tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinde, tatlı su kaynaklarının zehirlenmesinde ise %88'e kadar düşürmüştür.

Demir çelik sektöründe en önemli çevre problemi fırınlardaki kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan SO_2 , NO_x , CO ve CO_2 gazları ve ağır metal içeren toz emisyonudur. Demir çelik tesislerinden kaynaklanan emisyonlar baca gazı filtreleme sistemleriyle azaltılabilmektedir. Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğini Kontrolü Yönetmeliği (ETKHKKY), ortaya çıkan emisyonlara sınırlama getirmiş ve alınacak tedbirleri belirlemiştir. Sektörün toz emisyonu ve ağır metallerin oranını azaltmak için yüksek verimlilikte toz tutma üniteleri kurulması karbonmonoksit emisyonunun ise entegre demir çelik tesislerinde değerlendirilmesi, elektrikli ark ocaklı tesislerinde ise yakılarak bertarafı söz konusudur [159]. Sektör tesislerinde en son teknolojinin kullanımı, atığın kaynağında minimize edilmesi, takip edilen çevre politikaları gereği öncelikli olarak ele alınmaktadır.

Çizelge 6.12. Çelik karkas üzerinde yapılabilecek iyileştirme norm. karşılaştırılması.



Çizelge 6.13. Çelik karkas üzerinde yapılabilecek iyileştirme karakterizasyon karşılaştırılması.



İkincil olarak, atıkların üretim süreçlerinde ya da diğer endüstri tesislerinde hammadde girdisi olarak kullanılması öncelikli gelmektedir. Geri dönüşüm sağlandığı takdirde de, doğal kaynak tüketimi büyük oranda azalmakta, hava, su ve toprak gibi alıcı ortamlara verilen emisyonlar oldukça azalmaktadır.

Türkiye’deki demir çelik sektörünün kullandığı teknoloji, AB üretim teknolojisiyle kıyaslandığında ‘orta’, arıtma teknolojisiyle kıyaslandığında ise ‘düşük’ olarak ifade edilmektedir. 2005 tarihinde yürürlüğe giren Kyoto Protokolü gereği CO₂ emisyon envanterleri oluşturulmaktadır. Sonraki süreçte CO₂ emisyonunun azaltılması söz konusu olması beklenmektedir [159].

6.6.4. Ekolojik GFRC Panel Tasarımları

Bölüm 6.6.2 ve 6.6.3’deki karşılaştırma tablolarından çıkan sonuçlar ve daha öncesinde literatürde yer verilen çalışmalar bir arada düşünülerek çevresel yükü daha az olan bir sürdürülebilirlik çerçevesi geliştirilmiştir. Çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı panel olmak üzere iki model önerisinde bulunulmuştur. Bu ürünler ilk incelenen ürünlerden farklı olduğunun anlaşılması için “Eko” ön ekiyle ifade edilmiştir.

6.6.5. Eko- Çelik Karkaslı Panel

Kabuk betonda karşılaştırılmalı olarak verilerden en faydalı iyileştirme önerilerini bir araya toplayarak elde edilmiştir. Seçeneklerden çimento yerine %30 UK ikame edilmesi, atıklardan UK veya YFC kullanılması olarak algılanmalıdır. UK’nin silis kumu yerine %40 oranında kullanılmasının camın geri dönüşüm enerjileri hesaba katıldığında daha faydalı olacaktır. Mekanik sonuçların YFC’de daha iyi çıkması sebebiyle buna göre modellenmiştir. Beton harcın içine koyulan akışkanlaştırıcı ve suda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Kullanılan çelik %88 oranında geri dönüştürülmüş olarak kabul edilmiştir. Kum yerine UK, çimento yerine de puzolanlı çimento kullanılmasının betonu hafiflettiği; bunun da panelin ağırlığını azalttığı öngörülerek, paneldeki çelik ağırlığının %10’u oranında hafifletilmiştir.

6.6.6. Eko- Isı Yalıtımlı Panel

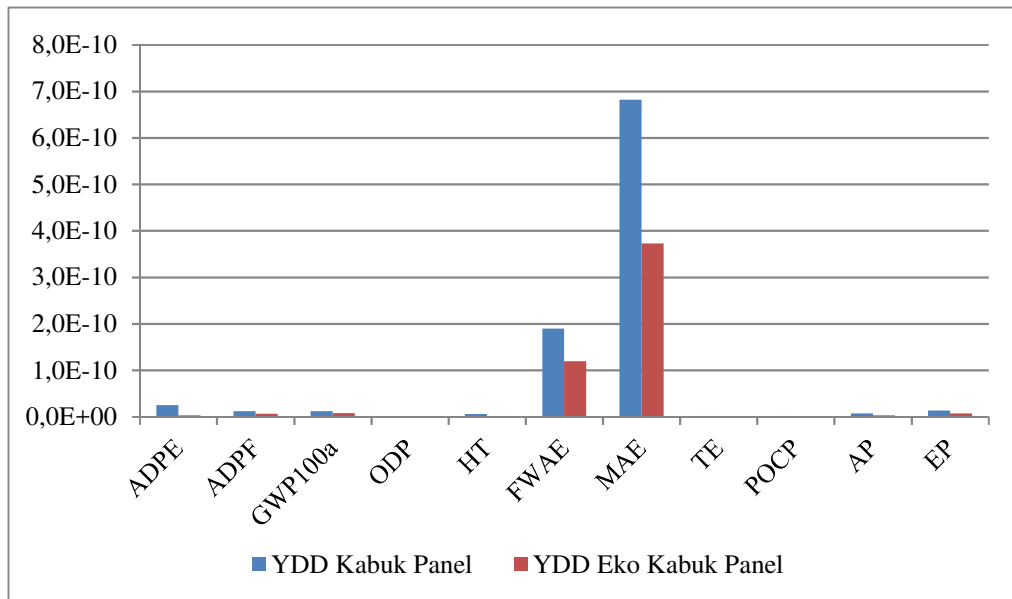
Isı yalıtımlı panel, süreç olarak kabuk beton oluşuma kadar aynı olmakla birlikte sadece %15 oranında daha fazla malzeme içermektedir. Eko-çelik karkaslı paneldeki değişiklikleri burada da aynen kabul ederek, köpük betonda çimento yerine % 30 oranında endüstriyel atık kullanılarak sürdürülebilirlik çerçevesi oluşturulmuştur. Burada da kabuk betonun ve köpük betonun hafiflemesi sebebiyle çeliğin ağırlığı % 15 azaltılmıştır.

6.7. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ SINANMASI

Çimento üretiminin, özellikle klinkerleşme aşamasında çok yüksek sıcaklıklar gerektiği için küresel ısınmaya olan etkisi yüksektir. Bu sebeple çimentonun beton paneller içindeki oranını düşürmek çevresel açıdan faydalı olacaktır.

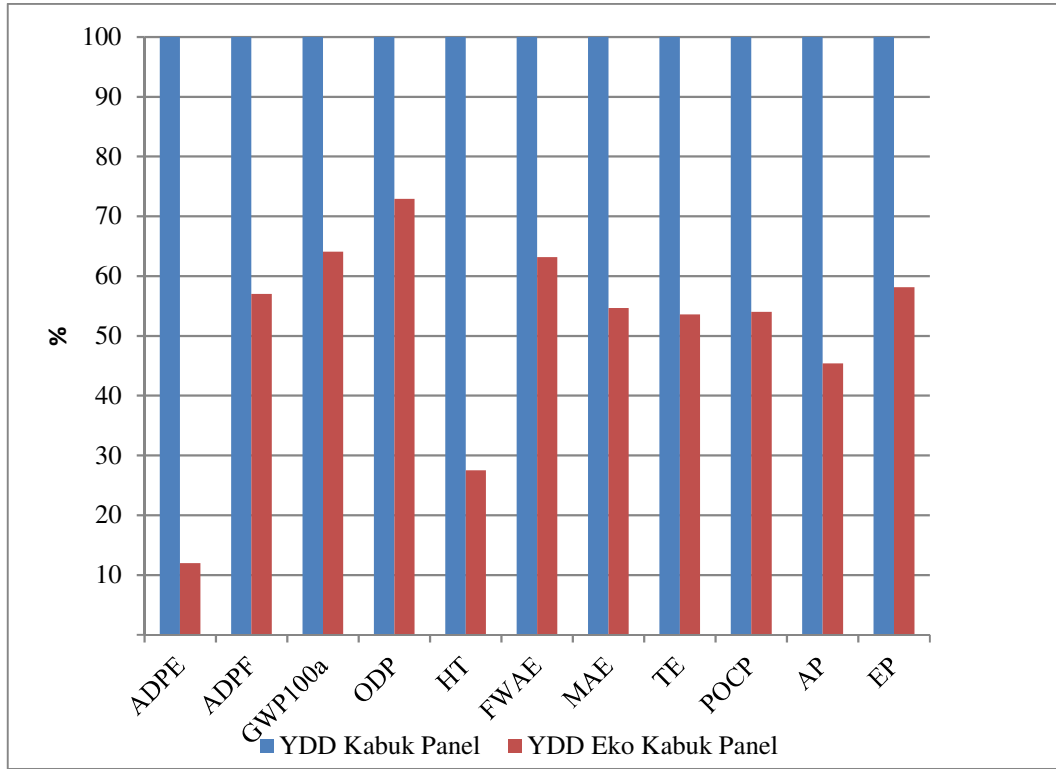
Çelik karkaslı panelde çimento yerine %30 oranında uçucu kül veya yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellik gösteren endüstriyel atıklardan ikame edildiği kabul edilmiştir. Kullanılacak olan endüstriyel atığın mümkün olduğunca hafif olanı tercih edilmelidir. Silis kumu yerine de %40 oranında uçucu küllle ikame edildiği düşünülmektedir. Bu ikamelerdeki amaçlar hammadde miktarının azaltılması ve yüksek karbon salınımı yapan çimento yerine çevresel etkisi olmayan atıkların kullanılmasıdır. Bu değişikliklerle beton panelin ağırlığının düşürülerek kullanılan çelik miktarında da azalma hedeflenmektedir. Tuzlu su ve tatlı su kaynaklarının zehirlenmesinde en büyük etkiyi çelikten kaynaklandığı için çelik miktarını azaltarak, bu kategorilerde iyileştirme sağlanması amaçlanmaktadır. Bu anlamda çelik karkaslı panelin daha hafif olduğu kabul edilerek çelik miktarı %10 azaltılmıştır. Çelik ürünlerin %88 oranında geri dönüştürülmesi, bunun için de nakliyeyle edilmesi ve enerji verilerek ergitilmesine de çerçevede yer verilmiştir. Üretiminde betondaki zayıt %5'e indirilmiştir. Bu kabullerle elde edilen ürün Eko-çelik karkaslı beton panel olarak isimlendirilmiştir. Çelik karkaslı panel ile Eko-çelik karkaslı panelin çevresel açıdan normalizasyon karşılaştırılmasının grafiği Çizelge 6.14'te görülmektedir.

Çizelge 6.14. Eko-çelik karkaslı beton panel ile çelik karkaslı panelin normalizasyonu.



Bütün etki kategorilerinde ekolojik olarak geliştirilmiş model, normal çelik karkaslı beton panele göre çevresel açıdan daha faydalıdır. Karakterizasyon grafiğine Çizelge 6.15 ve değerlerine EK 21'e bakıldığında karşılaştırmak daha kolay olmaktadır. Bu iyileşme, abiyotik kaynakların tükenmesinde %11; insan sağlığında %27; asidifikasyon potansiyelinde %45; karasal ve tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesi, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyellerinde %53 oranlarına kadar düşmektedir. En az düşüş ise ozon incelme potansiyelinde %72 olarak gerçekleşmiştir.

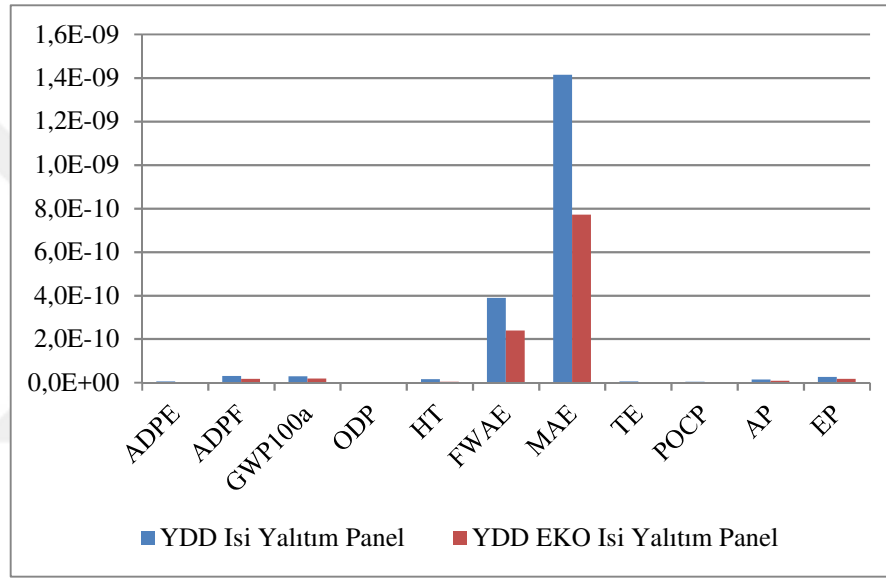
Çizelge 6.15. Eko-çelik karkaslı beton panel ile çelik karkaslı panelin karakterizasyonu.



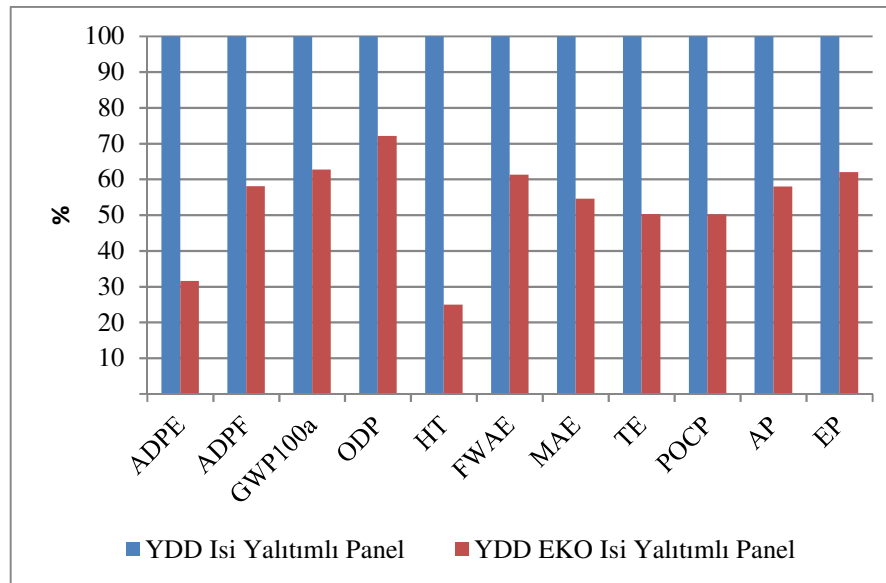
Isı yalıtımlı panelde de benzer iyileştirmeler öngörülmüştür. Kabuk betonda çelik karkaslı panelde yapılan aynı değişiklikler yapılmıştır. Çimento %30 oranında endüstriyel atıkla ikame edilmiş, silis kumu %40 oranında uçucu külle ikame edilmiştir. Köpüklü betonda da kullanılan çimento miktarının %30 endüstriyel atıkla ikame edildiği kabul edilmiştir. Bu değişikliklerle kullanılan çelik miktarında %15 azalma sağlandığı kabul edilmiştir. Çelik ürünlerin % 88 oranında geri dönüştürülmesi, bunun için de nakliye edilmesi ve enerji verilerek ergitilmesine de modelde yer verilmiştir. Bu şekilde YDD yazılımında modellenmiş ve Eko-ısı yalıtımlı panel olarak isimlendirilmiştir. Bu ürünle normal ısı yalıtımlı panel çevresel açıdan karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.16, Çizelge 6.17).

Normalizasyon sonuçları incelendiğinde Çizelge 6.16 en çok iyileştirme yapmak istenilen tuzlu ve tatlı su kaynaklarının zehirlenmesi konusunda % 50-60'lar civarında iyileşme kaydedilmiştir. Diğer etki kategorilerini karakterizasyon sonuçlarına EK 22'ye bakılarak karşılaştırıldığında; insan sağlığında %24, abiyotik kaynakların tükenmesinde %31, toprağın zehirlenmesinde ve fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyelinde %50, tuzlu su kaynaklarının zehirlenmesinde ise %54 oranlarına kadar düşmektedir. Ekolojik ürünlerdeki bu oranlar Çizelge 6.15 daha net olarak görülmektedir. En az düşüş ise yine ozon incelme potansiyelinde %72 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.16. Isı yalıtımlı panel ile eko ısı yalıtımlı panelin normalizasyon sonuçları.



Çizelge 6.17. Isı yalıtımlı panel ile eko ısı yalıtımlı panelin karakterizasyon sonuçları.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında iki adet cam elyaf takviyeli beton kompozit cephe paneli malzemesi yaklaşık %90 birincil veriler kullanılarak yaşam döngü değerlendirmesi yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu analiz sonrasında önerilen yöntemler yaşam döngü değerlendirme yazılımıyla modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile ilgili yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik performans değişimleri ölçülmüştür. İki farklı malzeme seçimiyle malzemelerin sürdürülebilirlik performanslarının uyumluluğu ve olası sapmalar hakkında daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.

Tüm bu kavramsal çerçeve oluşturulması ve modelleme çalışmaları ile yapı malzemeleri için bir sürdürülebilirlik performansı tespit etme ve geliştirme alt yapısı oluşturulmuştur. Yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik performansının artırılabilmesi için literatürden alternatif yaklaşımlar ve çözüm yolları araştırılmıştır. Çalışmanın sınırları ISO 14040 - 14044'te belirlenen sistemsal yaklaşım ile 1 m² panel için, beşikten kapıya (opsiyonlu) olarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan çevresel etkiler, CML baseline yöntemiyle ağırlıklandırılarak ifade edilmiştir. Tüm bu değerler ışığında elde edilen çıktılar ve gelecek senaryolarına ilişkin öneriler başlıklar halinde özetlenmiştir.

Yapılan pek çok model önerilerden sadece faydalı olanlar ekolojik ürün modellerinde kullanılmıştır.

7.1. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında YDD yöntemiyle incelenen yapı malzemeleri özelinde çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı GFRC cephe panelleri çevresel sürdürülebilirlik çerçevesinden değerlendirildiğinde; küresel ısınma etki ağaçlarının incelenmesi sonucu iki panelin de atık senaryolarının ürünlerin çevresel performanslarını olumsuz etkiledikleri ve her iki panelde de çelik karkas konstrüksiyon ve betonun, atık senaryosundan sonra gelen olumsuz ara ürünler olduğu belirlenmiştir.

İkinci aşamada literatür araştırması ile desteklenen alternatifler ürün tasarımı, süreç tasarımı ve geri dönüşüm potansiyelleri ana başlıkları altında incelendiğinde; Ürün

tasarımı üzerinde daha çok durulmak suretiyle kabuk betonda ve çelikte yapılabilecek değişiklikler aşağıda gösterilmiştir. Bunlar;

- Kabuk betonda çimento yerine UK, YFC gibi endüstriyel atıkların ikame edilmesiyle çevresel etkilerde azalma sağlandığı,
- Çimento yerine metakaolin ikame edilmesi, küresel ısınma kategorisini olumlu etkilerken, diğer etki kategorilerini olumsuz etkilediği,
- Isı yalıtımlı panelde ise Normal Portland çimentosu yerine puzolan içeren Cem IVA ve B kullanılmasının bütün kategorilerde olumlu sonuç verdiği,
- İnce agrega (silis kumu) yerine UK kullanılmasının pozitif yönde katkı sağladığı,
- Çelik karkas yerine alüminyum malzeme kullanılmasının, çevresel etkileri her etki kategorisinde çok olumsuz etkilediği,
- Çeliğin dünya ve Türkiye verilerine dayanılarak geri dönüşüm oranları sisteme girildiğinde çevresel açıdan önemli bir azalma kaydedildiği,
- Geri dönüşüm sırasında betonun kırılıp, öğütülerek yeniden çimento veya agrega olarak kullanılmasının, abiyotik kaynakların tüketilme potansiyeli dışında çevresel açıdan olumsuz etkilediği,
- Eko-Çelik karkaslı panelde %11-72 arasında, eko-ısı yalıtımlı panelde %24-%72 oranlarında iyileşme kaydedilirken, olumsuz etkilenen etki kategorisi gözlenmediği,
- Çelik karkaslı panel ve ısı yalıtımlı panelin çevresel açıdan karşılaştırılması sonucu, ısı yalıtımlı panelde daha fazla malzeme kullanılması sebebiyle çevresel yükünün daha fazla çıktığı,
- Isı yalıtımlı panel uygulama alanında sadece sıva ve boyayla uygulamasıyla bitirilirken, çelik karkas panelde detayına bağlı olmakla birlikte cam yünü veya taş yünü gibi bir ısı yalıtım malzemesi de eklenmek zorunluluğu ve iki panelin ısı geçirgenlik katsayılarının farklı olması nedeniyle seçim yapılırken bu detayın da düşünülmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Bu doktora tezi çalışması ile “yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin YDD yöntemiyle analiz edilmesiyle belirlenen, en olumsuz çevresel etkilere sahip süreçlere müdahale edilerek malzemelerin çevresel sürdürülebilirlik performanslarının önerilen çerçeve ile farklı oranlarda artırılabilceği” belirlenmiştir.

7.2. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının sınırlılıkları nedeniyle yapılamayan ancak ileride yapılabilecek olan çalışmalara ilişkin öneriler, sürdürülebilir yapı malzemesi ölçeğinde ve sürdürülebilir bina ölçeğinde aşağıda belirtilmiştir. Sürdürülebilir yapı malzemesi üretiminin sağlanabilmesi için;

- Üretici firma, çelik karkaslı ve ısı yalıtımlı panel dışında ürettiği panellerin önerilen çerçeve ile incelenmesi ve performanslarının belirlenmesi gerekir.
- Panellerin YDD'si yapılırken en çok kullanılan ahşap kalıp üzerinden gidilmiştir. İstenilen eğrilik, süs ya da bezeme için farklı kalıp sistemleri de kullanılmaktadır. Panellerin üretimine farklı kalıpların çevresel etkileri tespit edilmesi gerekir.
- YDD çalışmaları özellikle çevresel sürdürülebilirlik açısından ürünü incelerken ürünün ekonomik ve sosyal boyutlarını ele almamaktadır. Ürün seçiminde bu konularında etkisi büyük olduğu için yapılan çalışmaya ekonomik ve sosyal yaşam döngü değerlendirmesi eklenerek genişletilebilir.
- Tez kapsamında yapılan iyileştirmelerin çoğunluğu literatür araştırmasıyla desteklenmiş senaryolardır. Bu senaryoların deneysel olarak da sınanması ve üretimde kullanılması yerinde olacaktır. Farklı malzemelerin birarada kullanılması sürdürülebilirlik performansında beklenildiği etkiyi yapabileceği gibi malzemelerin mekanik özelliklerinde (aderans, geçirimsizlik, işlenebilirlik gibi) farklı sonuçlar da çıkarabileceği, bu gibi durumlarda su ve katkı oranları nı değiştirmek gibi alternatifler denenebilir.
- Metallerin elde edilmesi sırasında arsenik, civa, kadmiyum, uranyum veya toryum gibi toksit malzemeler açığa çıkabileceği ve bu maddelerin havaya, suya karışımını engelleyerek çeliğin üretiminin daha çevre dostu haline getirilebilir.
- Çeliğin geri dönüşümü, ürünlerin çevresel etkilerini çok değiştirmektedir. Geri dönüşümün sağlıklı yapılabilmesi için ilk kaynakta ayıklanması, dönüşüm verimini oldukça arttırmaktadır. Bu sebeple üretici firmalar ürettikleri ürünlerin yaşam sonuna gelmesiyle birlikte alt yükleniciler aracılığıyla da olsa, bu ürünlerden sorumlu tutulmalıdır. Bu durum mümkün olursa, hammadde kullanımını, katı atık depolama alanları ve çevreye verdiği olumsuz etkiler oldukça azalacaktır.

Sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi bağlamında yapılabilecekler;

- Türkiye'de YDD veri eksikliğinin tamamlanabilmesi için pek çok ürünün YDD'sinin yapılarak bir bilgi bankası oluşturulması gerekmektedir. Bu da Türkiye'de yapılan YDD sayısı ve çeşidiyle orantılı olarak gelişmektedir. Bilim insanlarının YDD üzerine branşlaşması, ekipler oluşturması, bu konu üzerinde çalışmalar yapmasıyla konudaki veri eksikliği hızlı bir şekilde giderilmelidir.
- Tasarımcılar bir binayı tasarlarlarken kullandıkları malzemenin estetik, ekonomiklik, uygulama kolaylığı, işçilik gibi konuların yanı sıra çevresel etkilerini de bilerek seçim yapmalılardır. Bu sebeple Türkiye'ye ait sürdürülebilir malzeme kütüphanesi geliştirilmeli, pek çok bilgi ulaşılabilir şekilde aynı ortamda paylaşılmalıdır.
- İnşaat malzemeleri üreticileri sadece ekolojik ürün etiketleri almak için değil, ürünlerinin çevresel yüklerini azaltma yöntemlerini öğrenmek için de yaşam döngü değerlendirmesi yaptırmalıdır. Çıkan sonuçlar ışığında araştırma geliştirme birimleri daha sürdürülebilir ürünler elde edilmelidir.
- Atık olarak depolama alanlarına gönderdiğimiz atıklar karada, suda ve havada kirlenmeye yol açmaktadır. Atığın uzun mesafe taşınmasının, onun sürdürülebilirlik sınırlarından çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durumlarda atığın, kent merkezlerinden çok uzaklaştırılmadan geri dönüşüm merkezlerine nakledilmesi sağlanmalı, ulaşımdan kaynaklanan gereksiz sera gazı salımını da önlenmelidir.

Yaşam döngü değerlendirmesi uzmanlık isteyen kapsamlı bir konudur. Bu sebeple tasarımcıların YDD detaylarının hepsine hakim olması olası değildir. Tasarımcıların çevresel, ekonomik ve sosyal YDD'lere daha kolay ulaşımı sağlanmalıdır. Sürdürülebilir bina üretimi bağlamında yapılabilecekler;

- Binalarda en çok kullanılan malzemeler üzerinde yoğunlaşılabilir.
- Küresel ısınma gibi belli başlı etki kategorilerinde tasarımda gerekli değerler elde edilebilir.
- Yapı Bilgi Modelleri (BIM) olarak isimlendirilen bilgisayarlı çizim programlarına bu verilerin işlenerek, tasarımcının erken tasarım evrelerine sürdürülebilirlik değerlerine ulaşımı sağlanabilir. Bu sayede tasarımın ilk aşamalarından itibaren yapılan malzeme, boyut ve detay seçimlerine yön verilebilir.

- Bina içinde kullanılacak olan malzemeler sadece inşaatla sınırlı değildir. Seçilecek olan elektrik, ısıtma, havalandırma ve mekanik tesisat elemanları da binanın toplam enerji ve su kullanımını etkileyecektir. Bu seçimlerde de binayla ilgili mühendislerin daha az tüketen ürünler seçerek, tasarım evresini tamamlanmaları sağlanmalıdır.
- Binanın sadece tasarım değil aynı zamanda kullanım aşamasında da gerekli itina gösterilmelidir. Kullanıcıların dünyanın kaynaklarının tüketendiğinin bilincinde olarak kullanım alışkanlıkları ‘daha az tüketmek’ amacına göre değiştirmelilerdir.

Bir inşaa edilmiş çevrede tek etken binalar olmadığı için konuya daha geniş bakılmalıdır. Sürdürülebilir inşaa edilmiş çevre üretimi bağlamında yapılabilecekler;

- Kamu alanlarında açık alanların büyük oranda yeşil kalmaları sağlanmalıdır. Sadece insanlar değil, hayvanların ve bitkilerin de yaşam alanlarına ihtiyaç duymaktalar. Bu alanların birbirlerine yakın tutularak fauna ve floralarının yaşam alanlarından birbirlerine geçiş görevi üstlenecek koridorlar bırakılmalıdır.
- Birincil kullanımı olmayan ikincil konut gibi yapılaşmaların kıyı ekosistemlerini çok olumsuz etkilediği göz önüne alınarak, çok kısıtlı süreler için kullanılan mekânlar üretilmemelidir.
- Otoyol, kaldırım, meydan gibi doğaya müdahale edilmiş alanlarda yağmur suları da düşülmelidir. Yağmur yağış ve buharlaşma döngüsünü olumsuz etkileyecek sert zemin ve suyun kanalizasyon borularına sevk edilmesi gibi uygulamalardan kaçınılmalıdır.

8. KAYNAKLAR

- [1] "LEED U.S. Green Building Council" (2017, February 06).[Online]. Available: <http://www.usgbc.org/leed>.
- [2] G. H. Brundtland, "Our Common Future" Report Of The World Commission On Environment and Development", United Nations, Oslo, Norway, Rap.1987.
- [3] H. Tıraş, "Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: teorik bir inceleme", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 57–73, 2012.
- [4] M. Çipoğlu ve İ. Kahraman, "Sürdürülebilir yapı tasarımı ve sürdürülebilirlik kavramlarının yapım ve tez yönetimi açısından değerlendirilmesi", *Sürdürülebilir Yapı Tasarım Kongresi*, 2012, ss. 123–137.
- [5] R. Feiz, J. Ammenberg, L. Baas, M. Eklund, A. Helgstrand, and R. Marshall, "Improving the CO₂ performance of cement , part I : utilizing life-cycle assessment and key performance indicators to assess development within the cement industry", *Journal of Cleaner Production*, vol. 98, pp. 272–281, 2015.
- [6] M. Zimmermann, H. Althaus, and A. Haas, "Benchmarks for sustainable construction: a contribution to develop a standard", *Energy and Buildings*, vol. 37, pp. 1147–1157, 2005.
- [7] 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.
- [8] T. Blankendaal, P. Schuur, and H. Voordijk, "Reducing the environmental impact of concrete and asphalt : a scenario approach", *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 27–36, 2014.
- [9] H. Yan, Q. Shen, L. C. H. Fan, Y. Wang, and L. Zhang, "Greenhouse gas emissions in building construction : a case study of One Peking in Hong Kong", *Building and Environment*, vol. 45, no. 4, pp. 949–955, 2010.
- [10] D. R. Vieira, J. L. Calmon, and F. Z. Coelho, "Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review", *Construction and Building Materials*, vol. 124, pp. 656–666, 2016.
- [11] A. Dimoudi and C. Tompa, "Energy and environmental indicators related to construction of office buildings", *Resources, Conservation and Recycling journal*, vol. 53, pp. 86–95, 2008.
- [12] P. T. I. Lam, E. H. W. Chan, C. K. Chau, C. S. Poon, and K. P. Chun, "Environmental management system vs green specifications : How do they complement each other in the construction industry ?", *Journal of Environmental Management*, vol. 92, no. 3, pp. 788–795, 2011.

- [13] E. Acuner, *Binalarda enerji verimliliği finansmanı*, 1. Baskı. İstanbul, Türkiye: İMSAD, 2012.
- [14] E. C. Gentil, D. Gallo, and T. H. Christensen, "Environmental evaluation of municipal waste prevention", *Waste Management*, vol. 31, no. 12, pp. 2371–2379, 2011.
- [15] N. Benli Yıldız, A. Beycioğlu ve S. Subaşı, "Bina sertifikalama sistemlerinde (LEED VE BREEAM) yeşil yapı malzemesi seçimi ve puanlaması", *Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Ulusal Konferansı*, 2012, ss. 12–13.
- [16] F. T. Bayraktar, "Türkiye’de Yapı Malzemeleri Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İçin Bir Sistem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık ABD, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [17] N. Özeler Kanan, A. B. Gültekin ve G. Çelebi, "Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında enerji verimli cephe sistemlerine ilişkin bir literatür araştırması", 2. *International Sustainable Building Symposium*, 2015, ss. 858–865.
- [18] S. Marinković, V. Radonjanin, M. Malešev, and I. Ignjatović, "Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete", *Waste Management*, vol. 30, no. 11, pp. 2255–2264, 2010.
- [19] T. Polat, "Sürdürülebilir kentsel politikaları ve Türkiye", *Electronic Turkish Studies*, c. 11, s. 2, ss. 1267–1300, 2016.
- [20] I. Yüksek ve E. Mıhlayanlar, 'Yaşam Döngüsü sürecinde yapı malzemesi çevre etkileşimi', 2.nd *International Sustainable Buildings Symposium*, 2015, ss. 975–983.
- [21] Çimento, cam, seramik ve toprak ürünleri ihracatçıları birliği "Dünya çimento üretimi ve tüketimine ilişkin genel değerlendirme", İstanbul, Türkiye, Rap. 2014.
- [22] E. Özmehmet, "Dünya ve Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları", *e-Journal of Yasar University*, c. 3, s. 12, ss. 1853–1876, 2008.
- [23] C. Altuntaş ve D. Türker, "Sürdürülebilir tedarik zincirleri: sürdürülebilirlik raporlarının içerik analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 14, s. 3, ss. 39–64, 2012.
- [24] C. Erden Özsoy, "Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye’nin Karbon Ayak İzi", *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, c. 4, s. 9, ss. 199–215, 2014.
- [25] C. Ayas, Filiz Demir ve F. Karaosmanoğlu, *İklim çözümleri 2050 Türkiye Vizyonu*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: WWF-Türkiye, 2009, ss.54-59
- [26] K. Yeang, *Eko tasarım*, 1. Baskı. İstanbul, Türkiye: Yapı-Endüstri Merkezi, 2012, ss.10-14
- [27] Anonim, (2017, 4 Şubat). "Sürdürülebilir Yaşam Portalı". Erişim: <http://benkoltd.com/suyapo/surdurulebilir/surdurulebilirlik.asp>.
- [28] Türkiye İstatistik Kurumu. (2017, 16 Şubat). *Seragazi Emisyon Envanteri, 2014’*. Erişim:<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?jsessionid=329FYCsfxG2ksQNhHZ3H3Mc1nWpc5VpzRH2Vpk3Cp3mtXh1X1Fk!1422178582?id=21582>.
- [29] ‘Türkiye İstatistik Kurumu. (2017, 8 Mart). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi*

- Sonuçları 2016*. Erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24638>.
- [30] R. Becker, "2050 yılında dünya nüfusunun 9,7 milyar olması bekleniyor", *National Geographic*, İstanbul, s.8, 2015.
- [31] A. Sev, *Sürdürülebilir Mimarlık*, 1. Baskı, İstanbul: Yem Kitabevi, 2009 , ss.10
- [32] N. Benli Yıldız ve H. Arslan, "Sürdürülebilir Bina Değerlendirme ve Sertifika Sistemlerinin Süreç Açısından Karşılaştırılmalı Analizi", *Gazi Üniversitesi Akıllı ve Yeşil Binalar Kongresi ve Sergisi*, 2013, ss. 12–14.
- [33] A. Özdemir, M. Pınarlık ve Emre Ercan, "Dünyada sürdürülebilir yapılarla ilgili devlet teşvikleri ve uygulamalarının incelenmesi", 2. *International Sustainable Building Symposium*, 2015, ss. 1036–1043.
- [34] L. O. Uğur and N. Leblebici, "An examination of the LEED green building certification system in terms of construction costs", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, Part 1, 2018, pp. 1476-1483
- [35] BREEAM,(2017, Feb 06) [Online]. Available: <http://www.breeam.com/>.
- [36] ÇEDBİK, "Sertifika kılavuzu yeni konutlar", İstanbul, Türkiye, 2016.
- [37] Ç. Çetinkaya, "Eko- kentler : kent ve doğa ilişkisinde yeni bir sistem tasarımı", *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 12–16, 2013.
- [38] World Wide Fund for Nature (WWF), "Yaşayan gezegen raporu 2016: özet", Gland, İsviçre, Tech. Rap. 2016.
- [39] "United Nations Statistics Division - Environment Statistics", (2017, Mar. 09) [Online]. Available: https://unstats.un.org/unsd/environment/air_co2_emissions.htm.
- [40] M. K. Dixit, J. L. Fernández-Solís, S. Lavy, and C. H. Culp, "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review", *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 8, pp. 1238–1247, 2010.
- [41] J. Le Duigou, S. Gulbrandsen-Dahl, F. Vallet, R. Söderberg, B. Eynard, and N. Perry, "Optimization and lifecycle engineering for design and manufacture of recycled aluminium parts", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 65, no. 1, pp. 149–152, 2016.
- [42] Vikipedi, (2017, Feb 06), *Geri dönüşüm*, Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Geri_dönüşüm.
- [43] T. Özçuhadar, "Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarım yaşam döngüsü sürecinde incelenmesi", Yüksek Lisans, Mimarlık, İstanbul Teknik üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [44] K. S. Kayhan ve S. Tönük, "Sürdürülebilirlik bilincinin inşa edileceği binalar olma yönü ile temel eğitim okulları", *Politeknik Dergisi*, c. 14, s. 2, ss. 163–171, 2011.
- [45] W. Y. Ng and C. K. Chau, "New life of the building materials- recycle, reuse and recovery", *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 2884–2891, 2015.
- [46] C. Zhou and Z. Chen, "Mechanical properties of recycled concrete made with different types of coarse aggregate", *Construction and Building Materials*, vol. 134, pp. 497–506, 2017.

- [47] M. Hoy, S. Horpibulsuk, R. Rachan, A. Chinkulkijniwat, and A. Arulrajah, "Recycled asphalt pavement - fly ash geopolymers as a sustainable pavement base material: Strength and toxic leaching investigations", *Science of the Total Environment*, vol. 573, pp. 19–26, 2016.
- [48] J. D. Silvestre, J. de Brito, and M. D. Pinheiro, "Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials – calculation rules, results and contribution to a 'cradle to cradle' life cycle", *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 37–45, 2014.
- [49] I. Choudhury, 'Renewable and sustainable materials', in *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, Elsevier, 2016, pp. 1–2.
- [50] W. Jaung, L. Putzel, G. Q. Bull, M. R. Guariguata, and U. R. Sumaila, 'Estimating demand for certification of forest ecosystem services: A choice experiment with Forest Stewardship Council certificate holders', *Ecosystem Services*, vol. 22, pp. 193–201, 2016.
- [51] "Principles and Criteria". (2017, Feb. 06) [Online]. Available: <https://ic.fsc.org/en/certification/principles-and-criteria>.
- [52] A. Mikuckas *et al.*, "A grey model approach to indoor air quality management in rooms based on real-time sensing of particles and volatile organic compounds", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 42, pp. 290-299, 2017.
- [53] X. Wang, J. Chen, T. Cheng, R. Zhang, and X. Wang, "Particle number concentration, size distribution and chemical composition during haze and photochemical smog episodes in Shanghai", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 26, no. 9, pp. 1894–1902, 2014.
- [54] V. K. Saini and J. Pires, 'Development of metal organic framework-199 immobilized zeolite foam for adsorption of common indoor VOCs', *Journal of Environmental Sciences*, Volume 55, May 2017, pp. 321-330.
- [55] "Temiz Üretim", (2017, 06 Şubat) Erişim: <http://www.temizuretim.gov.tr/kavramsalcerceve.aspx>.
- [56] T. Ç. Gümüş, "Eko-endüstriyel parklar için temiz üretim ve endüstriyel simbiyoz karar destek sisteminin geliştirilmesi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği ABD, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
- [57] G. N. Demirer, *Yaşam Döngüsü Analizi*, 1. Baskı, Ankara, Türkiye: Bölgesel Çevre Merkezi- REC, Türkiye, 2011.
- [58] S. Y. Çankaya and B. Sezen, "Ekolojik yenilik ile sürdürülebilirlik performansı arasındaki ilişkide çevresel belirsizliğin moderatör etkisi", *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, c. 11, s. 24, ss. 111–134, 2015.
- [59] G. Tuna Taygun, "Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi", Doktora tezi, Mimarlık ABD, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [60] A. B. Gültekin, "Yaşam döngü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi", Doktora tezi, Mimarlık ABD, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [61] 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.
- [62] The American Institute of Architects, *AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. Washington, USA, Georgia Institute of Technology, 2010.
 - [63] A. B. Çakmaklı, "Life cycle assessment of building materials in hotel refurbishment projects: a case study in Ankara", Ph.D. dissertation, Architecture, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 2007.
 - [64] G. Ölmez, "Comparison of sub-processes and final products of iron and steel production with life cycle assessment", M.S. thesis, Environmental Engineering, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 2011.
 - [65] N. Rajagopalan, "Residential life cycle assessment modeling for green buildings and building products", Ph.D. dissertation, Civil Engineering, University of Pittsburgh, USA, 2011.
 - [66] D. Üçer, "Life cycle assessment of masonry wall types using simulation technique", M.S. Thesis, Architecture, METU, Ankara, Türkiye, 2012.
 - [67] Ç. Yiğit, "Life cycle assessment in ferrous Foundry Industry", M.S. Thesis, Environmental Engineering, METU, Ankara, Türkiye, ODTÜ, 2013.
 - [68] İ. Kahraman, "A sustainable building assessment model proposal for new residential a sustainable building in Turkey", Ph.D. dissertation, Architecture, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye, 2013.
 - [69] S. K. Öztaş, "Türk yapı malzemesi sektörü için yaşam döngüsü etki değerlendirmesine yönelik bir model önerisi", Ph.D. dissertation, Architecture, İTÜ, İstanbul, Türkiye, 2014.
 - [70] A. P. Gürsel, "Life-Cycle Assessment of Concrete : Decision-Support Tool and Case Study Application", Ph.D. dissertation, Architecture, University of California, USA, 2014.
 - [71] A. P. Gursel, E. Masanet, A. Horvath, and A. Stadel, "Cement & Concrete Composites Life-cycle inventory analysis of concrete production : A critical review", *Cement And Concrete Composites*, vol. 51, pp. 38–48, 2014.
 - [72] D. Maia *et al.*, "Comparative life cycle assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context", *Journal of Cleaner Production*, vol. 89, pp. 165–173, 2015.
 - [73] K. E. Seto, "Life cycle assessment and environmental efficiency of concrete materials", M.S. Thesis, Civil Engineering, University of Toronto, Canada, 2015.
 - [74] M. D. B. Antonio Ferrandez-García, Valeria Ibanez-Fores, "Eco-efficiency analysis of the life cycle of interior partition walls : a comparison of alternative solutions", *Journal of Cleaner Production Journal*, vol. 112, pp. 649–665, 2016.
 - [75] F. Asdrubali, C. Baldassarri, and V. Fthenakis, "Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings", *Energy and Buildings*, vol. 64, pp. 73–89, Sep. 2013.
 - [76] M. Guo, *Life cycle assessment (LCA) of Light-Weight Eco-composites*, London, UK: Springer, 2012.

- [77] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez, and A. Castell, "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 394–416, 2014.
- [78] Baltic University, (2017, Mar. 01), "5a. Manufacturing – sustainable production Baltic University Programme - Baltic University Programme - A regional university network". [Online]. Available: <http://www.balticuniv.uu.se/index.php/5a-manufacturing--sustainable.production>.
- [79] P. L. Bishop, *Pollution Prevention: Fundamentals and practice*, 1. baskı. Singapore: McGraw-Hill, 2000.
- [80] Z. Çokaygil, "Atık yönetimi planlamasında yaşam döngüsü analizi", Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2005.
- [81] A. S. Williams, "Life cycle analysis: a step by step approach", Illinois Sustainable Technology Center, Illinois, USA, Rep.TR-040, 2009.
- [82] K. Simonen, *Pocket Architect: Technic Design Series Life Cycle Assessment*, 2. Ed, New York, USA: Routledge, 2014.
- [83] M. Buyle, J. Braet, and A. Audenaert, "Life cycle assessment in the construction sector: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 379–388, Oct. 2013.
- [84] P. C. Bekker, "A life-cycle approach in building", *Building and Environment*, vol. 17, no. 1, pp. 55–61, 1982.
- [85] SETAC, *Guidelines for Life-cycle Assessment: A Code of Practice*. Portugal: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993.
- [86] *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. International Standart Organization, 14040, 2006
- [87] Scientific Applications International Corporation (SAIC), "Life cycle assessment: principles and practice", USEPA, Tech. Rapor, 2006.
- [88] SETAC, "Life-Cycle Assessment in Building And Construction: A State of the Art Report", North Caroline, USA: SETAC Press, 2003.
- [89] D. R. Tobergte and S. Curtis, *ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment-Detailed Guidance*, 1st ed., Ispra, Italya: European Union, 2010.
- [90] BRE, *Product Category Rule for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804*. 2012, pp. 1–43.
- [91] B. M. A. Delmas, N. Nairn-birch, and M. Balzarova, "Choosing the Right Eco-Label for Your Product Eco-Label" , no. 54410, pp. 10–12, 2013.
- [92] I. Zbicinski and J. Stavenuiter, *Product Design and Life Cycle Assessment*. 2006.
- [93] "Sürdürülebilirlik için Eko Etiketler", İstanbul, 2014.
- [94] H. Kara, (2017, 2 Mart) "*EPD Belgeli Yapı Ürünleri Yeşil Bina Üretimine Katkı Sağlıyor*", Eko Yapı Dergisi, Erişim: <http://www.ekoyapidergisi.org/1787-epd-belgeli-yapi-urunleri-yesil-bina-uretimine-katki-sagliyor.html>.
- [95] A. M. Fet, C. Skaar, and O. Michelsen, *Product category rules and environmental*

product declarations as tools to promote sustainable products: Experiences from a case study of furniture production, vol. 11, no. 2. 2009, pp. 201–207.

- [96] Çevre yönetimi-Hayat boyu değerlendirme-İlkeler ve çerçeve, TS EN ISO 14040 Türkiye, 2006.
- [97] F. Balpetek Gündüz, E. Özdoğan ve E. Alay, "Sürdürülebilir kalkınma için yaşam döngüsü değerlendirmesi ve tekstil", *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 37–49, 2012.
- [98] PE International, (2017, 23 Mart). "GaBi Paper Clip Tutorial", [Online]. Available:http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf
- [99] R. Hischer and B. Weidema "Implementation of life cycle impact assessment methods", Ecoinvent center, Swiss, Tech. Rep.3, 2010.
- [100] E. Kılıç, "Deri endüstrisi arıtma çamurlarından kromun oksidatif yöntemle geri kazanılması ve çevresel etkisinin yaşam döngüsü analizi ile değerlendirilmesi", Doktora tezi, Deri Mühendisliği, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.
- [101] M. E. Schoen, X. Xue, A. Wood, T. R. Hawkins, J. Garland, and N. J. Ashbolt, "Cost, energy, global warming, eutrophication and local human health impacts of community water and sanitation service options", *Water Research*, vol. 109, pp. 186–195, 2017.
- [102] G. Akın, "Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları", *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, vol. 2, pp. 29–43, 2006.
- [103] DSİ Genel Müdürlüğü Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, "Küresel ısınma ve iklim değişikliği raporu", Türkiye, Rap., 2016
- [104] B. Hekimoğlu ve M. Altındeğer, "Küresel Isınma ve İklim Değişikliği", Samsun İl Tarım Müdürlüğü, Türkiye, Rap. 2008.
- [105] M. Türkeş, Ö. L. Şen, L. Kurnaz, Ö. Madra ve Ü. Şahin, "Değişikliğinde son gelişmeler : IPCC 2013 Raporu", 2013.
- [106] S. Raisman and D. T. Murphy, Eds., *Ocean Acidification: Elements and Considerations*. Hauppauge, New York, USA: Nova Science Publishers, 2013.
- [107] M. Kurtay, "İnşaat sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında asit yağmurlarının etkisiyle oluşan korozyonun incelenmesi", Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [108] V. I. Vermishev and M. K. Danilov-Danilyan, "Ozone layer depletion", *Value Inquiry Book Series*, vol. 276, pp. 360, 2014.
- [109] Vikipedi, 'Ötrofikasyon'. (2017, 31 Mart) Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Ötrofikasyon#cite_note-2.
- [110] L.-A. Meyer-Reil and M. Köster, "Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 41, no. 1, pp. 255–263, 2000.
- [111] S. Yiğit, "Göllerde ötrofikasyon problemleri ve çözüm yolları", *Mavi gezegen*, ss. 32–35, 2002.

- [112] Ö. Coşkun, "İyonize Radyasyonun Biyolojik Etkileri", *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, c.1, s.2, ss. 13-17, 2011.
- [113] J.-L. Ravanat and T. Douki, "UV and ionizing radiations induced DNA damage, differences and similarities", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 128, pp. 92–102, 2016.
- [114] A. Sharma, A. Saxena, M. Sethi, and V. Shree, "Life cycle assessment of buildings: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 1, pp. 871–875, 2011.
- [115] S. A. Şenay Çetin, Bilge Alyüz ve S. Ayberk, "Troposferik ozon oluşumu, olumsuz etkileri ve Kocaeli ili'ndeki mevcut durum", *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli-2008*, Kocaeli, Türkiye, 2008, ss. 311–314.
- [116] Türkiye Büyük Millet Meclisi, "Madencilik sektöründeki sorunların araştırılarak alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla kurulan meclis araştırması komisyonu rapor", Türkiye, Rap., 2010.
- [117] A.V. Capilla and A.V. Delgado, *Thanatia The Density of The Earth's Mineral Resources*, 1 Ed., Singapoure: World Scientific Publishing Company; pp. 3-25. 2014.
- [118] TUBİTAK, "Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu", Türkiye, Rap., 2003.
- [119] Türkiye Elektrik İletim A.Ş., (2017, 30 Ekim), "*Elektrik enerjisi üretimi -tüketimi-kayıplar*", Erişim: <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar>.
- [120] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2015-2019 Stratejik Planı", Türkiye, Rap., 2015.
- [121] Türkiye Elektrik İletim A.Ş., "Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü -2016 Haziran sonu", Türkiye, Rap., 2016
- [122] European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, "Freshwater ecotoxicity as an impact category in life cycle assessment", Belgium, Technical report 127, 2016.
- [123] M. L. Socolof, L. E. Kincaid, and J. R. Geibig, "Desktop computer displays : a life-cycle assessment", Rap. vol.1, pp.3.19-20, USA, 2001.
- [124] W. Klöpffer and B. Grahl, *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2014.
- [125] *.Environmental management—Life cycle assessment—Life cycle impact assessment. Management environnemental*, ISO 14042: 2000, pp. 24.
- [126] PCI, "*Designing with Precast and Prestressed Concrete*", 1. Ed. Chicago, USA, 2016. pp. 3H 23-24
- [127] Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC), "Architectural Precast Concrete Walls; Best Practice Guide", Ottawa, Canada, Tech. Rep., 2002. pp. 1-30
- [128] Center for Clean Products, University of Tennessee, "Life-cycle assessment of cladding products", Tennessee, USA, Tech. Rep., 2009.

- [129] "Fibrobeto", (2017, 15 Nisan) Erişim: <http://www.fibrobeton.com.tr/proje-detay/gori-adalet-sarayi/200/>.
- [130] G. Altınay, "Beton esaslı prekast cephe panellerinin üretimi, uygulaması, yapısal performansının değerlendirilmesi ve bir alan araştırması ile incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [131] G. Yavuz, "Lif takviyeli polimerlerin betonarme kirişlerde donatı olarak kullanımı", *e-Journal of New World Sciences Academy*, vol. 6, no. 4, 2011.
- [132] B. Brownell, *Trans Material* 2, 1st ed. New York, USA: Princeton architectural press, 2008, pp. 15-30.
- [133] B. Kohen, 'Yapı kabuğu olarak GRC', *Mimarlıkta Malzeme*, s. 24, ss. 29–32, 2013.
- [134] PCI, "Designing with Precast and Prestressed Concrete", Northampton, İngiltere, 2016, pp. 4c-1.
- [135] F. T. Wallenberger, J. C. Watson, and L. Hong, "Glass Fibers", *ASM Handbook*, vol. 21, no. Ref 19, pp. 27–34, 2001.
- [136] GRCA International, "Specification for the manufacture, curing & testing of glassfibre reinforced concrete (GRC) Products.", pp. 1-3, 2016.
- [137] I. D. Peter, "Sprayed premix - The new GRC", *Concrete*, pp. 13–14, 2008.
- [138] "Fibrobeton" (2017, 31 Ekim) Erişim: <http://www.fibrobeton.com.tr/urun-detay/celik-karkasli/4/>.
- [139] Fibrobeton, (2017, 31 Ekim). "Teknik Özellikler"
Erişim: <http://www.fibrobeton.com.tr/Upload/Pdf/fibrofombeton.pdf>.
- [140] "Fibrobeton". (2017, 31 Ekim). Erişim: <http://www.fibrobeton.com.tr/urun-detay/fibrofombeton/3/>.
- [141] O. şimşek, *Yapı Malzemeleri II*, 4. Baskı. Ankara, Türkiye: Seçkin yayınevi, 2013, ss. 25-39.
- [142] Çimento Araştırma ve Uygulama Merkezi, (2017, 19 Nisan) "*Mineral Katkılar-Metakaolin*". Erişim: <https://www.cimsa.com.tr/ca/docs/4FE58AA58E3A4B7B85FA9E4EE011A8/2F1F16CC23ED4D44AF2BAE31D85C1A94.pdf>
- [143] Advanced Cement Technologies, (2017, Dec. 1) '*Metakaolin description*', [Online], Available: http://www.bigfreshcontrol.com/documents/act_documents/MetakaolinDescription.pdf
- [144] S. Mistry, "Metacem- metakaolin: a high strength creation", *The Masterbuilder*, no. July, pp. 218–222, 2010.
- [145] Owens Corning, "Composite solutions transforming the world with advanced solutions", USA, Tech. Rep., 2011, ss.16.
- [146] G. KURT, "Lif içeriği ve su/çimento oranının Fibrobetonun mekanik davranışına etkileri", Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.

- [147] P. Balaguru, A. Nanni, and J. Giancaspro, *FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*, 1. Ed. New York and London: Taylor and Francis Group, 2009.
- [148] T. Corbière-Nicollier, B. Gfeller Laban, L. Lundquist, Y. Leterrier, J. A. E. Månson, and O. Joliet, "Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 33, no. 4, pp. 267–287, 2001.
- [149] K. S. Ariffin, "What is Silica", *Mineral Perindustrian*, no. 425, pp. 1–7, 2004.
- [150] Ş. Tuna, "Dış cephede kullanılan cam elyaf takviyeli beton panellerin durabilitesi", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [151] A. Bideci, Ö. Sallı Bideci, H. Yıldırım, S. Oymael, and S. Subaşı, "Pomza Agregasına Polimer Kaplamanın Hafif Betonun Mühendislik Özelliklerine Etkisi", *9. Ulusal Beton Kongresi*, 2015, pp. 152–163.
- [152] H. Awang, M. H. Ahmad, and A. Materials, "Durability Properties of Foamed Concrete with Fiber Inclusion", vol. 8, no. 3, pp. 273–276, 2014.
- [153] "TÜBA - Türkçe Bilim Terimleri Sözlüğü" (2017, 21 Nisan). Erişim: <http://www.tubaterim.gov.tr/>.
- [154] Z. Zhang, J. L. Provis, A. Reid, and H. Wang, "Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction", *Construction and Building Materials*, vol. 56, pp. 113–127, 2014.
- [155] Y. H. M. Amran, N. Farzadnia, and A. A. Abang Ali, "Properties and applications of foamed concrete; A review", *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 990–1005, 2015.
- [156] K. Palanikumar, S. Prakash, and J. Paulo Davim, "Investigation of Optimum Parameters for Multiple Performance Characteristics in Drilling Wood Composites (MDF) Using Grey-Taguchi Method", *Wood and Wood Products*, 1., J. Paulo Davim, Ed. New York: Nova Science Publishers, 2012, pp. 87–105.
- [157] "esen orman ürünleri pdf, MDF" (2015, 5 Haziran) Erişim: <http://www.esenorman.com.tr/urunler/mdf>.
- [158] Kırac galvaniz, (2017, 31 Kasım) "*Sıcak Daldırma Galvanizleme | Kırac Galvaniz*", Erişim: <http://kiracgalvaniz.com.tr/sicak-daldirma-galvanizleme/>.
- [159] E. Ekti, "Yapı malzemeleri sektör raporu", Sektörel raporlar serisi VI, Türkiye, Rap., 2010.
- [160] Simapro, Bilgisayar programı, "Introduction to LCA with SimaPro", 2014.
- [161] M. Hung, H. Ma, and C. Chao, "Screening the life cycle impact assessment methods and modifying environmental impact model to determine environmental burdens", *J. Environ. Eng. Manage*, vol. 19, no. 3, pp. 155–164, 2009.
- [162] C. B. Aktas, "Impact of product lifetime on life cycle assessment results", Ph.D. dissertation, Engineering, University of Pittsburgh, USA, 2011.
- [163] TEİAŞ "Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü - 2016 haziran sonu", 2016.
- [164] ViaMichelin, (2017, May 02) "Michelin route planner and maps, restaurants,

traffic news and hotel booking". [Online]. Available: <https://www.viamichelin.com/>.

- [165] A. Heath, K. Paine, and M. McManus, "Minimising the global warming potential of clay based geopolymers", *Journal of Cleaner Production*, vol. 78, pp. 75–83, 2014.
- [166] C. Aydın İpekci, N. Coşgun ve T. Esin, "İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi", 2. *International Sustainable Building Symposium*, 2015, ss. 679–684.
- [167] N. Kılıç, "Kentsel dönüşümde geri dönüşüm atağı", *İzmir Ticaret Odası, Ar&Ge bülten*, s. Aralık, ss. 12–20, 2012.
- [168] M. Maraşlı, "kişisel görüşme", Ekim 2016.
- [169] İ. B. Topçu ve C. Karakurt, "Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı", 7. *Ulusal Beton Kongresi*, 2007, ss. 395–404.
- [170] E. Özdemir, "PÇ ve mineral katkı maddelerinin ikili, üçlü ve dörtlü kombinasyonlarını içeren harç numunelerinin bazı özelliklerinin incelenmesi", Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [171] R. Siddique and J. Klaus, "Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: a review", *Applied Clay Science*, vol. 43, no. 3–4, pp. 392–400, 2009.
- [172] J. J. Brooks and M. A. Megat Johari, "Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete", *Cement and Concrete Composites*, vol. 23, no. 6, pp. 495–502, 2001.
- [173] Z. Li and Z. Ding, "Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag", *Cement and Concrete Research*, vol. 33, no. 4, pp. 579–584, 2003.
- [174] V. Özdal, M. Maraşlı ve S. Subaşı, "Karma Puzolan Kullanarak Üretilen GRC Betonun Mekanik Özellikleri", *KompEge Sempozyumu*, 2013.
- [175] T. E. Norgate, S. Jahanshahi, and W. J. Rankin, "Assessing the environmental impact of metal production processes", *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 8–9, pp. 838–848, 2006.
- [176] T. Bilir, O. Gencel, and I. B. Topcu, "Properties of mortars with fly ash as fine aggregate", *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 782–789, 2015.
- [177] Y. Takeuchi, S. Nishibori, M. Sugiyama, and M. Kobayashi, "Basic research on GRC recycling", *GRCA 2008 Kongre*, İstanbul, Türkiye, pp. 30–36, 2008.
- [178] M. U. Hossain, C. S. Poon, I. M. C. Lo, and J. C. P. Cheng, "Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 109, pp. 67–77, 2016.
- [179] T. Ding, J. Xiao, and V. W. Y. Tam, "A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China", *Waste Management*, vol. 56, pp. 367–375, 2016.
- [180] V. Özdal, Kişisel görüşme, Temmuz, 2017.

- [181] P. L. Maier and S. A. Durham, "Beneficial use of recycled materials in concrete mixtures", *Construction and Building Materials*, vol. 29, pp. 428–437, 2012.
- [182] M. Adaway and Y. Wang, "Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete -Effects on compressive strength", *Electronic Journal of Structural Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 116–122, 2015.
- [183] H. Du and K. H. Tan, "Waste Glass Powder as Cement Replacement in Concrete", *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 12, no. 10, pp. 468–477, 2014.
- [184] "Environmental benefits of closed-loop glass recycling | wrap uk"(2017, May 01). [Online]. Available: <http://www.wrap.org.uk/content/environmental-benefits-closed-loop-glass-recycling>.
- [185] L. Lanfang, S. Issam, W. K. Chong, and H. Christopher, "Integrating G2G, C2C and resource flow analysis into life cycle assessment framework: A case of construction steel's resource loop", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 102, pp. 143–152, 2015.

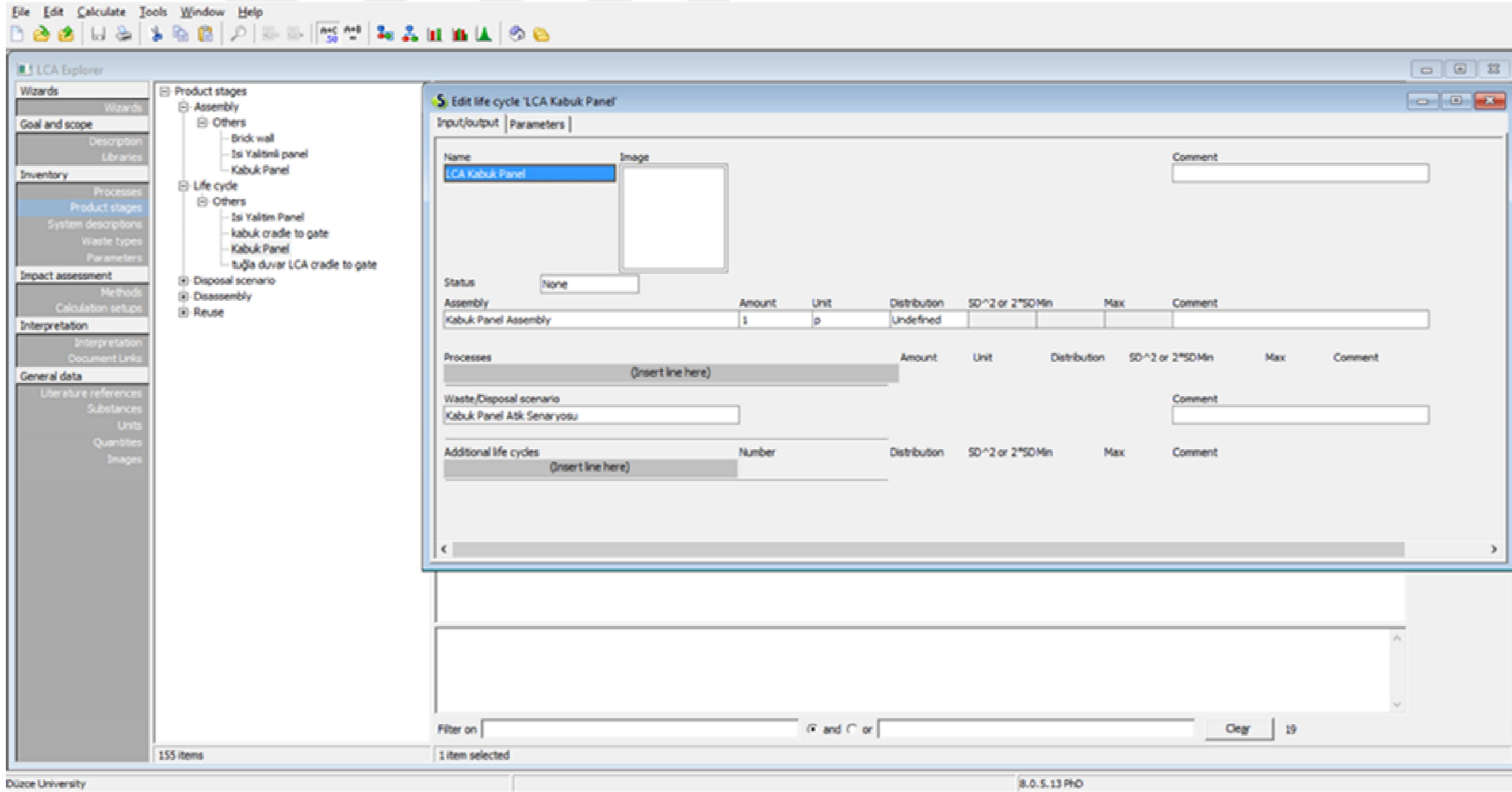


9. EKLER

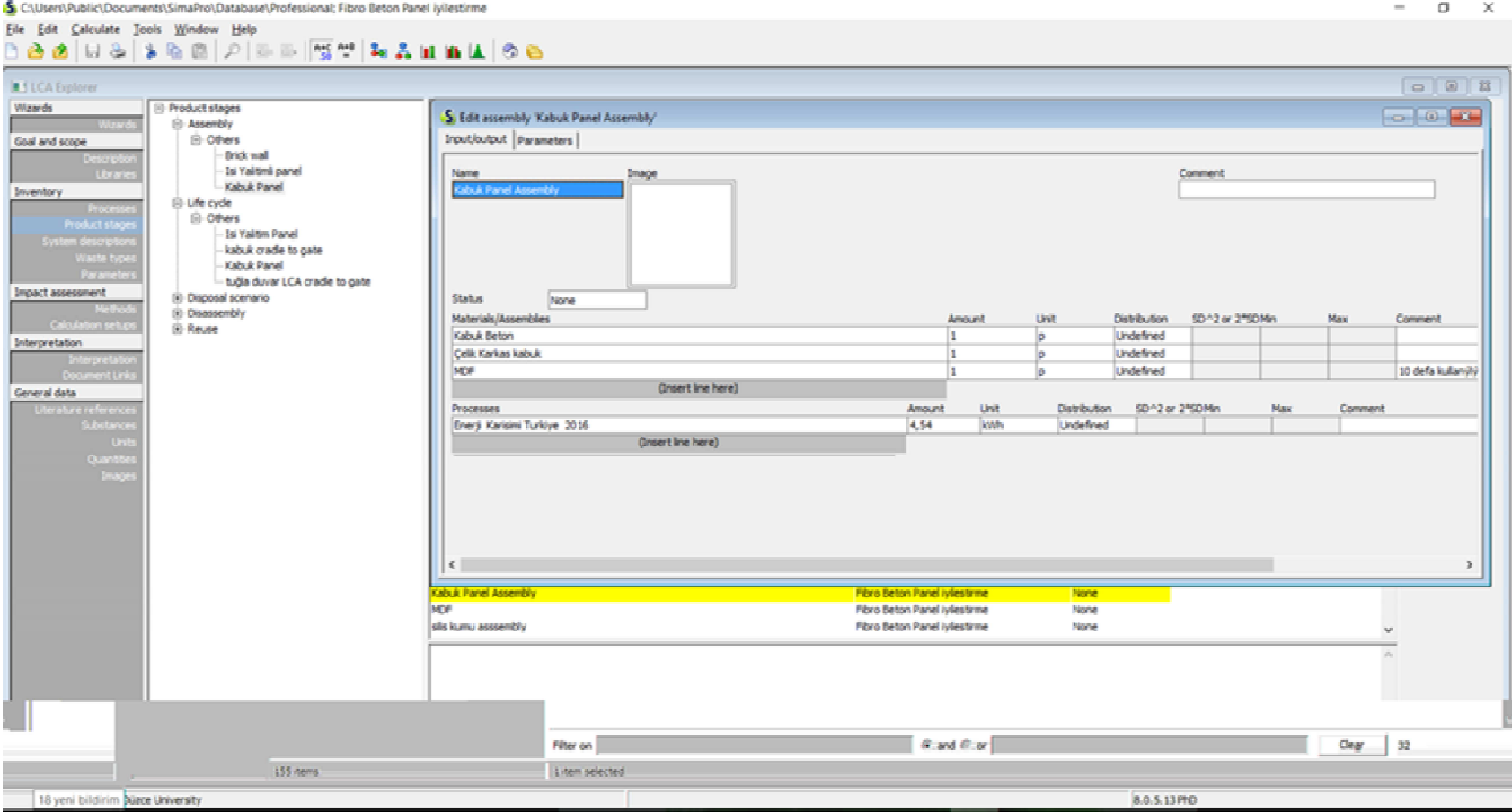
K 1 YAŞAM DÖNGÜSÜ ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (YDED) M

			Orta Nokta Yaklaşımları																								Son Nokta Yaklaş.												
			Çevresel Etid Kategorileri																																				
		Ülke	Küresel Isınma	Ozon Tabakasının İncelməsi	Otrotokasyon	Asitlenme	Fotokimyasal Kirlili sis oluşumu	Fosil yakıtların tüketilmesi	İnsan Zehirlenmesi	Ekolojik zehirlilik	Doğal ortam değışimi/ Arazi kullanımı	Mineral kaynakların tüketilmesi	İnsan sağlığı	İyon radyasyonu	Karasal zehirlilik	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Aküler Güçtürüş	Deniz suyu kirliliği	Tatlı su kirliliği	Biyoetik kay nahlarm tüketilmesi	Partikül madde oluşumu	Tarım sal alan igradi	Kentsel alan igradi	İç Hava Kalitesi	Koku	Bölgesel Hava Kirliliği	Hava Kirliliçleri	Ulaşım Kirliliği	İnsan Sağlığına Hasar	Ekosistem Havary	Kay nahlr	Biyovesililik	İklim Değışimi	Birincil Üretim	Sosyal refah	Enerji Tüketimi	TOPLAM	
YDED MODELLERİ	ORTA NOKTA YAKLAŞIM MODELLERİ	CML	Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1						1												14
		MEEup	Hollanda	1	1	1	1							1	1	1	1						1						1										10
		EDIP	Danimarka	1	1	1	1	1		1	1									1				1															8
		TRACI	Amerika	1	1	1	1	1	1		1		1																									8	
		EPD	İsviçe																																			6	
		Ecological Footprint	İsviçe							1																												1	
		Cumulative Energy D.	İsviçe						1																													1	
		Cumulative Exergy D.	İsviçe						1																													1	
	USEtox	*							1	1																											2		
	ORTA VE SON NOK. BİRLEŞTİREN MODELLER	RECIPE (CML- Eİ99)	Hollanda	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1							21
		LIME	Japonya	1	1	1	1	1		1	1	1	1			1		1	1			1				1	1			1		1	1	1	1	1		19	
		IMPACT 2002+ (Eİ99, CML, IPCC)	İsviçe	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1				1	1									1	1	1	1	1			18	
		LUCAS (EDIP, Impact2002+, TRACI)	Kanada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1															1	1	1						14	
	SON NOKTA YAKLAŞIM MODELLERİ	Eco-Indicator 99	Hollanda																												1	1	1						3
		EPS 2000	İsviçe																												1	1	1	1				4	
		Eco-Scarcity	İsviçe																											1	1	1					3		
		EDP	İsviçe																													1					1		
		JEPIX	Japonya																											1	1	1					3		
		IPCC	**																														1				1		
		TOPLAM		9	9	9	9	9	8	8	8	7	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	8	7	7	3	2	1	1

9.2. EK 2 SİMAPRO PROGRAMI ÇELİK KARKASLI PANEL YDD EKRAN GÖRÜNTÜSÜ



K 3 ÇELİK KARKASLI PANELİ BİRARAYA GETİREN PROSE



9.4. EK 4 KABUK BETONU BİRARAYA GETİREN MALZEMELER VE ULAŞIM MİKTARLARI VE MESAFELERİNİN GİRİLDİĞİ SİMAPRO ARAYÜZÜ

File Edit Calculate Tools Window Help

LCA Explorer

Wizards
Goal and scope
Description
Libraries
Inventory
Processes
Product stages
System descriptions
Waste types
Parameters
Impact assessment
Methods
Calculation setup
Interpretation
Interpretation
Document links
General data
Literature references
Substances
Units
Quantities
Images

Product stages
Assembly
Others
Brick wall
İzci Yalıtım panel
Kabuk Panel
Life cycle
Others
İzci Yalıtım Panel
kabuk cradle to gate
Kabuk Panel
tuğla duvar LCA cradle to gate
Disposal scenario
Disassembly
Reuse

Edit assembly 'Kabuk Beton'

Input/output Parameters

Name Image Comment

Kabuk Beton

Status None

Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2*SDMin	Max	Comment
Cement, Portland, CEM I 52,5, CEMSA (TR) production Alloc Def, S	18,2	kg				
Glass fibre (GLO) market for Alloc Def, U	1,28	kg				
Silica sand (GLO) market for Alloc Def, S	18,2	kg				
Polycarboxylates, 40% active substance (GLO) market for Alloc Def, S	0,0498	kg				
Metakolın	1,81	kg				
Kıyma suyu TR	5,7	kg				
Acrylic binder, without water, in 34% solution state (GLO) market for Alloc Def, S	0,088	kg				
(Insert line here)						
Processes	Amount	Unit	Distribution	SD+2 or 2*SDMin	Max	Comment
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, U	453	kgkm				Metakolın
Transport, freight, inland waterways, barge (GLO) market for Alloc Def, S	1,22E4	kgkm				Çimento gemi
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	4,08E3	kgkm				çimento İstanbul düzce karayolu
Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market for Alloc Def, S	1,09E4	kgkm				Cem İf Japonya İstanbul gemi
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	320	kgkm				Cem İd İstanbul Düzce karayolu
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	1,82E3	kgkm				Sils kumu Kocaeli Düzce
(Insert line here)						

Filter on and or Clear 32

155 items 1 item selected

Düzce University 8.0.5.13 PRO 18 years old

9.5. EK 5 ÇELİK KARKASLI PANELİN ATIK SENARYOSUNUN SİMAPRO ARA YÜZÜ

Simapro Software Interface Screenshot:

File Edit Calculate Tools Window Help

LCA Explorer

- Wizards
 - Wizards
 - Goal and scope
 - Description
 - Libraries
 - Inventory
 - Processes
 - Product stages
 - System descriptions
 - Waste types
 - Parameters
 - Impact assessment
 - Methods
 - Calculation setups
 - Interpretation
 - Interpretation
 - Document Links
 - General data
 - Literature references
 - Substances
 - Units
 - Quantities
 - Images
- Product stages
 - Assembly
 - Others
 - Brick wall
 - Isi Yalıtım panel
 - Kabuk Panel
 - Life cycle
 - Others
 - Isi Yalıtım Panel
 - kabuk cradle to gate
 - Kabuk Panel
 - tuğla duvar LCA cradle to gate
 - Disposal scenario
 - Others
 - Isi Yalıtım Panel
 - Kabuk Panel
 - tuğla duvar
 - Disassembly
 - Others
 - Reuse
 - Others

Name: Alüminyum Atık Senaryosu
 Çelik Atık Senaryosu
 Çelik Atık Senaryosu %10 UK
 Çelik Atık Senaryosu %10 UK doğru
 Çelik Atık Senaryosu %10UK
 Çelik Atık Senaryosu %20 UK
 Çelik Atık Senaryosu geri dön.
 eko Çelik Atık Senaryosu geri dön.
 eko kabuk panel çelik geri dön.
 Kabuk Panel %20 metakozalın Atık Senaryosu
 Kabuk Panel %30 metakozalın Atık Senaryosu
 Kabuk Panel (Alüminyumlu) Atık Senaryosu
 Kabuk Panel Atık Sen. beton geri dön.
 kabuk panel atık sen2.
Kabuk Panel Atık Senaryosu
 Kabuk Panel Atık Senaryosu her kıs geri dönüş
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %10 metakozalın
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %10 alıs kumu
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %10UK
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %20 alıs kumu
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %20UK
 Kabuk Panel Atık Senaryosu %30UK
 Kabuk Panel Atık Senaryosu bet. geri dön.
 Kabuk Panel Atık Senaryosu çelik geri dönüşüm
 MDF Atık Senaryosu

Edit disposal scenario "Kabuk Panel Atık Senaryosu"

Name: Kabuk Panel Atık Senaryosu

Status: None

Referring to assembly: Kabuk Panel Assembly

Amount: 1

Unit: p

Processes:

Process	Amount	Unit	Distribution
Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 (GLO) market for Alloc Def, S	1.75E3	kgkm	

Waste scenarios:

Waste scenario	Percentage
(Insert line here)	

Disassemblies:

Disassembly	Percentage
Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu	100 %
(Insert line here)	

Reuses:

Reuse	Percentage
(Insert line here)	

Filter on: G and C or

Clear 25

155 items **1 item selected**

Düzce University **8.0.5.13 PhD**

9.6. EK 6 SİMAPRO EKRAN GÖRÜNTÜSÜ ÇELİK KARKASLI PANEL AYRIŞTIRMA SENARYOSU

File Edit Calculate Tools Window Help

LCA Explorer

Wizards
Goal and scope
Description
Libraries
Inventory
Processes
Product stages
System descriptions
Waste types
Parameters
Impact assessment
Methods
Calculation setups
Interpretation
Interpretation
Document Links
General data
Literature references
Substances
Units
Quantities
Images

Product stages
Assembly
Others
Brick wall
Isi Yalıtım panel
Kabuk Panel
Life cycle
Others
Isi Yalıtım Panel
kabuk cradle to gate
Kabuk Panel
tuğla duvar LCA cradle to gate
Disposal scenario
Others
Isi Yalıtım Panel
Kabuk Panel
tuğla duvar
Disassembly
Others
Isi Yalıtım Panel
Kabuk Panel
tuğla duvar
Reuse
Others

155 items

Name	Project	Assembly	Status
eko Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Eko Kabuk Panel Assembly	None
Kabuk alüminyum Panel Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel alüminyum Assembly	None
Kabuk Panel % 10 metakolın Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel % 10 metakolın Assen	None
Kabuk Panel % 20 metakolın Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel % 20 metakolın Assen	None
Kabuk Panel % 30 metakolın Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel % 30 metakolın Assen	None
Kabuk Panel Ayrıştırma Sen. her ikisi Geri	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel Assembly	None
Kabuk Panel Ayrıştırma Sen. her ikisi geri dön.	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel Assembly	None
Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel Assembly	None
Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu %10 silis kumu	Fibro Beton Panel iyileştirme	Kabuk Panel %10 silis kumu Assemb	None

Edit disassembly 'Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu'

Input/output Parameters

Name: Kabuk Panel Ayrıştırma Senaryosu Image: Comment:

Status: None

Referring to assembly: Kabuk Panel Assembly Amount: 1 Unit: 0 Comment:

Processes (Insert line here) Amount Unit Distribution SD^2 or 2*SD Min Max Comment

Separation of sub-assemblies

Disposal scenarios	Sub-assembly	Percentage	Comment
Kabuk beton ayrıştırma senaryosu	Kabuk Beton	0 %	
Çelik Atık Senaryosu	Çelik Karkas kabuk	100 %	
MDF Atık Senaryosu	MDF	100 %	

Treatment of remaining waste

Waste scenarios Percentage Comment

Municipal solid waste (waste scenario) (Row) Treatment of 100 %

9.7. EK 7 ÇELİK KARKASLI PANELİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON SONUÇLARI.

Çevresel etkiler	Çelik karkaslı panel	Kabuk Panel Atık Senaryosu	Çelik karkas panel	Kabuk Panel Atık Senaryosu
ADPE	2,54E-11	1,79E-15	99,993	0,007
ADPF	1,15E-11	4,77E-13	96,0162	3,9838
GWP100a	7,96E-12	4,32E-12	64,8213	35,1787
ODP	1,62E-14	6,37E-16	96,2112	3,7888
HT	5,03E-12	1,04E-12	82,8056	17,1944
FWAE	3,02E-11	1,6E-10	15,9168	84,0832
MAE	3,38E-10	3,44E-10	49,569	50,4309
TE	7,43E-13	1,2E-12	38,2741	61,7259
POCP	1,1E-12	6,71E-13	62,0694	37,9306
AP	7,37E-12	2,22E-13	97,073	2,9269
EP	5,02E-12	8,25E-12	37,8436	62,1564
Normalizasyon			Karakterizasyon	

9.8. EK 8. ÇELİK KARKASLI PANELİ OLUŞTURAN ANA BİLEŞENLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ

Etki	Kabuk Beton	Çelik Karkas (kabuk)	MDF	Enerji Karışımı Türkiye 2016	Kabuk Beton	Çelik Karkas	MDF	Enerji Karışımı Türkiye 2016
ADPE	3,29E-13	2,51E-11	2,06E-14	3,82E-15	1,292	98,612	0,0809	0,015
ADPF	5,54E-12	4,81E-12	2,33E-13	9,19E-13	48,1956	41,7901	2,0293	7,985
GWP100a	5,11E-12	2,38E-12	8,91E-14	3,75E-13	64,2205	29,9429	1,1199	4,7166
ODP	9,43E-15	6,17E-15	3,76E-16	1,98E-16	58,2942	38,1607	2,3222	1,2229
HT	4,17E-13	4,53E-12	2,04E-14	6,09E-14	8,2842	90,0992	0,4058	1,2108
FWAE	4,88E-12	2,41E-11	3,01E-13	8,90E-13	16,1671	79,8908	0,997	2,9451
MAE	9,32E-11	2,22E-10	4,45E-12	1,82E-11	27,551	65,7407	1,3155	5,3927
TE	1,35E-13	5,92E-13	9,83E-15	6,66E-15	18,1784	79,6031	1,3225	0,896
POCP	3,64E-13	6,77E-13	2,46E-14	3,33E-14	33,1325	61,594	2,242	3,0314
AP	2,53E-12	4,49E-12	1,03E-13	2,47E-13	34,3766	60,87	1,4013	3,3521
EP	1,57E-12	3,17E-12	5,83E-14	2,20E-13	31,3045	63,15	1,1602	4,3853
Normalizasyon					Karakterizasyon			

9.9. EK 9 ÇELİK KARKASIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ

Etki	Çelik (düşük alaşımli)	Elektrod	Enerji Karışımı Türkiye 2016	Ulaşım	Galvanizleme	Çelik	Elektrod	Enj. Tr. 2016	Ulaşım	Galvanizleme
ADPE	1,17E-12	1,98E-14	7,94E-17	6,25E-15	2,39E-11	4,6658	0,0789	0,0003	0,0249	95,2302
ADPF	3,49E-12	3,96E-13	1,91E-14	1,20E-13	7,83E-13	72,5775	8,2475	0,3977	2,4892	16,2882
GWP100a	1,79E-12	1,83E-13	7,81E-15	5,12E-14	3,50E-13	75,124	7,6978	0,3279	2,148	14,7022
ODP	3,71E-15	7,02E-16	4,12E-18	1,97E-16	1,56E-15	60,1037	11,3707	0,0667	3,197	25,2618
HT	4,23E-12	5,83E-14	1,27E-15	4,06E-15	2,38E-13	93,3468	1,2874	0,028	0,0897	5,2481
FWAE	2,08E-11	6,63E-13	1,85E-14	4,77E-14	2,62E-12	86,1065	2,7467	0,0767	0,1977	10,8723
MAE	1,55E-10	2,72E-11	3,80E-13	6,35E-13	3,85E-11	69,9509	12,2501	0,1707	0,2855	17,3427
TE	5,34E-13	2,24E-14	1,39E-16	1,20E-15	3,35E-14	90,3196	3,789	0,0234	0,2034	5,6646
POCP	5,46E-13	3,30E-14	6,93E-16	3,90E-15	9,34E-14	80,6462	4,878	0,1024	0,5758	13,7974
AP	1,58E-12	2,32E-13	5,14E-15	3,55E-14	2,64E-12	35,1397	5,163	0,1146	0,7908	58,7918
EP	1,63E-12	1,38E-13	4,58E-15	1,76E-14	1,38E-12	51,2955	4,3377	0,1445	0,5563	43,666
Normalizasyon						Karakterizasyon				

9.10. EK 10 ISI YALITIMLI GFRC PANELİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.

Etki	Isı yalıtımlı beton panel	Isı Yalıtımlı Panel Atık Senaryosu	Isı yalıtımlı beton panel	Isı Yalıtımlı panel Atık Senaryosu
ADPE	4,47E-12	1,85E-14	99,5887	0,4113
ADPF	2,89E-11	9,50E-13	96,8189	3,1811
GWP100a	2,06E-11	8,40E-12	71,0325	28,9675
ODP	5,50E-14	1,26E-15	97,7627	2,2373
HT	1,34E-11	2,06E-12	86,702	13,298
FWAE	7,82E-11	3,11E-10	20,0596	79,9404
MAE	7,39E-10	6,76E-10	52,2317	47,7683
TE	2,09E-12	2,35E-12	47,032	52,968
POCP	2,85E-12	1,34E-12	68,0863	31,9137
AP	1,38E-11	4,95E-13	96,5295	3,4705
EP	1,00E-11	1,61E-11	38,357	61,6429
Normalizasyon			Karakterizasyon	

9.11. EK 11 ISI YALITIMLI PANEL ÜRETİMİ NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.

Etki	Çelik Karkas	Kabuk Beton	Foamlu Beton	MDF	Enj. Kar. Tr 2016	Çelik Karkas	Kabuk Beton	Foamlu Beton	MDF	Enerji Kar. Tr. 2016
ADPE	3,37E-12	3,53E-13	7,45E-13	2,37E-15	4,67E-15	75,2972	7,886	16,6595	0,0529	0,1043
ADPF	1,22E-11	6,01E-12	9,53E-12	2,68E-14	1,12E-12	42,2589	20,7833	32,9795	0,0929	3,8854
GWP100a	6,09E-12	5,57E-12	8,48E-12	1,02E-14	4,59E-13	29,5624	27,0139	41,1474	0,0497	2,2266
ODP	1,36E-14	1,02E-14	3,09E-14	4,32E-17	2,42E-16	24,7112	18,5862	56,1841	0,0786	0,4399
HT	1,21E-11	4,45E-13	7,34E-13	2,35E-15	7,44E-14	90,6294	3,3199	5,478	0,0175	0,5553
FWAE	6,34E-11	5,26E-12	8,37E-12	3,46E-14	1,09E-12	81,1183	6,7306	10,7148	0,0443	1,3919
MAE	4,80E-10	9,90E-11	1,38E-10	5,12E-13	2,23E-11	64,9046	13,3951	18,6144	0,0692	3,0166
TE	1,61E-12	1,44E-13	3,22E-13	1,13E-15	8,14E-15	77,233	6,8976	15,4248	0,0542	0,3903
POCP	1,74E-12	3,93E-13	6,80E-13	2,83E-15	4,07E-14	60,8494	13,7928	23,8314	0,0993	1,427
AP	5,38E-12	2,70E-12	5,37E-12	1,19E-14	3,02E-13	39,0841	19,6165	39,0179	0,0863	2,195
EP	5,15E-12	1,70E-12	2,91E-12	6,70E-15	2,69E-13	51,3378	16,9096	29,0016	0,0668	2,6842
Normalizasyon						Karakterizasyon				

9.12. EK 12 ÇELİK KARKASLI PANEL İLE ISI YALITIMLI PANELİ YDD'LERİNİN CML İA YÖNTEMİNE GÖRE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çevresel Etki	YDD Çelik Karkaslı Panel	YDD Isı Yalıtımlı Panel	YDD Çelik Karkaslı Panel	YDD Isı Yalıtımlı Panel
ADPE	2,54E-11	4,49E-12	100	17,64
ADPF	1,20E-11	2,99E-11	40,1369	100
GWP(100a)	1,23E-11	2,90E-11	42,316	100
ODP	1,68E-14	5,62E-14	29,9002	100
HT	6,07E-12	1,55E-11	39,2784	100
FWAE	1,90E-10	3,90E-10	48,7249	100
MAE	6,82E-10	1,41E-09	48,217	100
TE	1,94E-12	4,43E-12	43,7896	100
POCP	1,77E-12	4,19E-12	42,2409	100
AP	7,59E-12	1,43E-11	53,2663	100
EP	1,33E-11	2,61E-11	50,7507	100
Normalizasyon			Karakterizasyon	

9.13. EK 13 GALVANİZLİ ÇELİĞİN ÇEVRESEL ETKİLERE NEDEN OLAN BİLEŞENLER.

No	Process	Unit	LCA Panel	Kabuk	LCA Isı Yalıtım Panel
		kg Sb eq	0,002156447		0,000380587
1	Zinc coat, coils {RoW} zinc coating, coils Alloc Def, S	kg Sb eq	0,002024942		0
2	Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, S	kg Sb eq	9,92114E-05		4,62986E-06
3	Acrylic binder, without water, in 34% solution state {GLO} market for Alloc Def, S	kg Sb eq	6,01914E-06		7,22297E-06
4	Sulfuric acid {GLO} primary lead production from concentrate Alloc Def, U	kg Sb eq	4,04581E-06		4,11447E-06
5	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO} market for Alloc Def, S	kg Sb eq	2,56113E-06		5,15919E-06
6	Cement, Portland, CEM I 52,5, CIMS {TR} production Alloc Def, S	kg Sb eq	2,33841E-06		2,57225E-06
7	Zinc concentrate {GLO} zinc-lead mine operation Alloc Def, U	kg Sb eq	1,84416E-06		1,86983E-06

9.14. EK 14 ÇİMENTO YERİNE UK VEYA YFC KULLANILMASININ KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ

Çevresel Etkiler	YDDKabuk Panel	YDD Kabuk Panel 10 % UK iyileştirme	YDD Kabuk Panel 20 % UK iyileştirme	YDD Kabuk Panel 30 % UK iyileştirme
ADPE	100	99,8116	99,8047	99,8063
ADPF	100	91,95	87,4956	86,6917
GWP100a	100	93,0742	57,7785	55,2514
ODP	100	89,9451	84,8306	83,1817
HT	100	98,676	82,0796	81,9273
FWAE	100	96,5203	15,7467	15,6663
MAE	100	97,0388	48,6324	48,3054
TE	100	97,0477	37,8609	37,7412
POCP	100	96,5296	60,3536	60,0017
AP	100	95,9039	92,6439	92,1346
EP	100	96,1632	36,5649	36,0924

9.15. EK 15 ÇİMENTO YERİNE METAKOALİN EKLENMESİNİN KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.

Çevresel Etkiler	YDD Kabuk Panel	YDD Kabuk Panel %10 metakoalin	YDD Kabuk Panel %20 metakoalin	YDD Kabuk Panel %30 metakoalin
ADPE	99,8579	99,9053	99,9526	100
ADPF	93,764	95,8427	97,9214	100
GWP100a	100	98,6534	97,3068	95,9602
ODP	89,7729	93,182	96,591	100
HT	99,3925	99,595	99,7975	100
FWAE	99,7764	99,8509	99,9255	100
MAE	98,5046	99,003	99,5015	100
TE	98,1427	98,7618	99,3809	100
POCP	97,5268	98,3512	99,1756	100
AP	96,2476	97,4984	98,7492	100
EP	99,9351	99,9568	99,9784	100

9.16. EK 16 ÇELİK KARKASLI PANELDE ÇELİK YERİNE ALÜMİNYUM KULLANILMASI KARAKTERİZASYONU DEĞERLERİ.

Çevresel etkiler	LCA Kabuk Panel (çelik karkaslı)	LCA Kabuk Panel (alüminyumlu)
ADPE	100	2,3711
ADPF	46,4384	100
GWP100a	63,7932	100
ODP	60,9265	100
HT	65,9728	100
FWAE	80,8716	100
MAE	11,881	100
TE	80,5337	100
POCP	49,8969	100
AP	46,8765	100
EP	74,1686	100

9.17. EK 17 FOAMLU BETONDA CEM IVA VE CEM IVB KULLANILMASININ NORMALİZASYON VE KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.

Çevresel Etkiler	YDD Isı Yalıtım Panel	YDD Isı Köpük (CEM IV-A)	YDD Isı Köpük (CEM IV-B)	YDD Isı Yalıtım Panel	YDD Isı Köpük (CEM IV-A)	YDD Isı Köpük (CEM IV-B)
ADPE	4,49E-12	4,45E-12	4,44E-12	100	99,1152	98,8269
ADPF	2,99E-11	2,85E-11	2,73E-11	100	95,3699	91,4604
GWP100a	2,9E-11	2,76E-11	2,6E-11	100	95,0929	89,7802
ODP	5,62E-14	5,43E-14	5,29E-14	100	96,6219	94,062
HT	1,55E-11	1,54E-11	1,53E-11	100	99,541	99,1719
FWAE	3,9E-10	3,89E-10	3,88E-10	100	99,7892	99,6134
MAE	1,41E-09	1,4E-09	1,39E-09	100	99,1575	98,439
TE	4,43E-12	4,4E-12	4,37E-12	100	99,214	98,4764
POCP	4,19E-12	4,1E-12	4,01E-12	100	97,7773	95,7656
AP	1,43E-11	1,35E-11	1,28E-11	100	94,8633	89,893
EP	2,61E-11	2,58E-11	2,55E-11	100	98,749	97,6247
Normalizasyon				Karakterizasyon		

9.18. EK 18 ÇELİK KARKASLI PANELİN İÇİNDEKİ SİLİS KUMU YERİNE UK İKAME EDİLMESİNİN KARAKTERİZASYON DEĞERLERİ.

Çevresel Etkiler	YDD Panel	Kabuk %10 silis kumu	YDD Panel	Kabuk %20 silis kumu
ADPE	100	99,988	99,9761	
ADPF	100	99,4067	98,8134	
GWP100a	100	98,3122	96,6245	
ODP	100	99,4666	98,9333	
HT	100	99,207	98,4142	
FWAE	100	96,3892	92,7784	
MAE	100	97,7457	95,4915	
TE	100	97,3051	94,6102	
POCP	100	98,1384	96,2768	
AP	100	99,5273	99,0545	
EP	100	97,2612	94,5224	

9.19. EK 19 KABUK BETON KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD	YDD
Çevresel Etkiler	Kabuk Panel	Kabuk % 10 UK	Kabuk % 20 UK	Kabuk % 30 UK	Kabuk %10 mtk	Kabuk %20 mtk	Kabuk %30 mtk	beton geri dön.	%10 silis kumu	%20 silis kumu
ADPE	98,8504	98,8476	98,8405	98,835	98,8972	98,9441	98,991	100	98,8386	98,8268
ADPF	70,0125	69,2136	68,288	67,4101	71,5646	73,1167	74,6688	100	69,597	69,1817
GWP100a	86,5056	83,043	79,5149	76,0115	85,3407	84,1759	83,011	100	85,0456	83,5856
ODP	66,5576	65,1713	63,644	62,1698	69,085	71,6125	74,1399	100	66,2026	65,8476
HT	97,8302	97,0236	96,2052	95,3912	98,0296	98,2289	98,4282	100	97,0545	96,2788
FWAE	99,7764	96,4868	93,1928	89,9005	99,8509	99,9255	100	97,4528	96,1737	92,571
MAE	98,353	96,1086	93,8476	91,5928	98,8507	99,3484	99,8461	100	96,1359	93,9188
TE	98,1427	95,6919	93,2301	90,7725	98,7618	99,3809	100	97,9905	95,4979	92,853
POCP	90,8418	89,1472	87,416	85,6986	91,6097	92,3775	93,1454	100	89,1507	87,4596
AP	79,9335	79,3644	78,727	78,1154	80,9723	82,011	83,0498	100	79,5556	79,1777
EP	95,4609	92,7188	89,9536	87,1972	95,4816	95,5022	95,5229	100	92,8464	90,2319

9.20. EK 20 ÇELİK KARKAS ÜZERİNDE YAPILABİLECEK İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARININ NORMALİZASYON VE KAREKTERİZASYON SONUÇLARI.

Çevresel Etkiler	YDD Kabuk Panel	YDD Kabuk Panel çelik geri dön.	YDD Kabuk Panel	YDD Kabuk Panel çelik geri dön.
ADPE	2,54E-11	3,37E-12	100	13,2504
ADPF	1,2E-11	7,86E-12	100	65,5739
GWP100a	1,23E-11	1,04E-11	100	84,972
ODP	1,68E-14	1,45E-14	100	86,0995
HT	6,07E-12	2,1E-12	100	34,5217
FWAE	1,9E-10	1,69E-10	100	88,8364
MAE	6,82E-10	4,91E-10	100	71,9929
TE	1,94E-12	1,42E-12	100	73,2716
POCP	1,77E-12	1,22E-12	100	68,9307
AP	7,59E-12	3,94E-12	100	51,9354
EP	1,33E-11	1,05E-11	100	79,2493
Normalizasyon			Karakterizasyon	

**9.21. EK 21 EKO-ÇELİK KARKASLI BETON PANEL İLE ÇELİK KARKASLI PANELİN
NORMALİZASYON/KARAKTERİZASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.**

Çevresel Etkiler	YDD Kabuk Panel	YDD Eko Kabuk Panel	YDD Kabuk Panel	YDD eko Kabuk Panel
ADPE	2,54E-11	3,04E-12	100	11,96
ADPF	1,2E-11	6,83E-12	100	56,9847
GWP100a	1,23E-11	7,86E-12	100	64,0659
ODP	1,68E-14	1,23E-14	100	72,8828
HT	6,07E-12	1,67E-12	100	27,4961
FWAE	1,9E-10	1,2E-10	100	63,1421
MAE	6,82E-10	3,73E-10	100	54,6188
TE	1,94E-12	1,04E-12	100	53,5689
POCP	1,77E-12	9,56E-13	100	53,9974
AP	7,59E-12	3,45E-12	100	45,373
EP	1,33E-11	7,71E-12	100	58,1025
Normalizasyon			Karakterizasyon	

9.22. EK 22 ISI YALITIMLI PANEL İLE EKO ISI YALITIMLI PANELİN NORMALİZASYON/KARAKTERİZASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.

Çevresel Etkiler	YDD Isı Yalıtım Panel	YDD EKO Isı Yalıtım Panel	YDD Isı Yalıtım Panel	YDD EKO Isı Yalıtım Panel
ADPE	4,49E-12	1,42E-12	100	31,594
ADPF	2,99E-11	1,73E-11	100	58,0483
GWP100a	2,9E-11	1,82E-11	100	62,684
ODP	5,62E-14	4,05E-14	100	72,0745
HT	1,55E-11	3,85E-12	100	24,9257
FWAE	3,9E-10	2,39E-10	100	61,2844
MAE	1,41E-09	7,72E-10	100	54,562
TE	4,43E-12	2,23E-12	100	50,2891
POCP	4,19E-12	2,1E-12	100	50,2326
AP	1,43E-11	8,27E-12	100	57,9666
EP	2,61E-11	1,62E-11	100	62,035
Normalizasyon			Karakterizasyon	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nuray BENLİ YILDIZ

Doğum Tarihi ve Yeri :Isparta, 1979

Yabancı Dili :İyi derecede İngilizce

E-posta :nuraybenli@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2017
Y. Lisans	Yapı Bilgisi	Dokuz Eylül Üniversitesi	2005
Lisans	Mimarlık	Dokuz Eylül Üniversitesi	2002
Lise		60. Yıl Anadolu Lisesi	1997

İŞ TECRÜBESİ :

2001-2007 İzmir’de özel inşaat şirketlerinde mimari proje ve uygulamalar

2007-2010 Düzce Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı

2011-..... Düzce Üniversitesi Kaynaşlı Meslek MYO Öğretim Görevlisi

Akademik Yayınlar :

- UMÇÖS 2012 “Lumion İle Mimari Görselleştirme Uygulamaları”,
- UMÇÖS 2012 “Mimari Mekân Tasarımında Renk Unsuru”,
- UMÇÖS 2012 “Yeşil Çatı Uygulamaları ve Güncel Örnekler”
- Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Ulusal Sempozyumu 2012, Yaşar Üniversitesi (İzmir)“Bina Sertifikalama Sistemlerinde (LEED ve BREEAM) Yeşil Yapı Malzemesi Seçimi ve Puanlaması” Doç. Dr. Serkan Subaşı ile birlikte
- Dizayn Konstrüksiyon Dergisi 2009 yılı; sayı, 284; “Çok Katlı Yüksek Yapılarda Kalıp Sistemi Seçimi” Yrd. Doç. Dr. Neslihan Güzel ile birlikte
- Gazi Üniversitesi, Akıllı ve Yeşil Binalar Kongresi ve Sergisi, 2013 “Sürdürülebilir Binaların Değerlendirilmesinde Kullanılan Sertifika Sistemlerinin Süreçsel Olarak Karşılaştırılması ve Analizi”
- IJAS Conferences “Life cycle assessment of fiber reinforced concrete panel (shell panel) Paris 12.01.2016 Paris, Fransa (Doç. Dr. Hakan Arslan ve Emrah Yılmaz ile birlikte)
- SBE 2016, İstanbul, Life cycle assessment of glass fiber reinforced concrete (GFRC) steel framed facade panels (Doç. Dr. Hakan Arslan ve Emrah Yılmaz ile birlikte)
- DOCOMOMA 2016, “Öney Evi”, (Hande Ceylan, Elif Sahtiyancı, Hüseyin Bayraktar ile beraber)
- UMYOS 2017, “Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Stajdan Yararlanma Derecelerinin Ve Davranışlarının Değerlendirilmesi, Kaynaşlı MYO Örneği” (Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Bayraktar, Hande Ceylan ve Hakan Öztürk’le beraber)
- 3. Uluslararası Düzce Tarih Kültür ve Sanat Sempozyumu, 2017 Düzce’de Bir Modern Sivil Mimari Örneği: ‘Öney Evi’ ve Mimar Çetin Kaya Arsal (Hande Ceylan, Elif Sahtiyancı, Yrd. Doç. Hüseyin Bayraktar ile beraber) (Kitap Bölümü)
- Bina cephe elemanlarının Yaşam döngü değerlendirmesinde kullanılan methodların incelenmesi, Sosyo ekonomik Stratejiler IV, Tasarım Stratejileri kitabı, Doç. Dr. Hakan Arslan ve Mine Kurtay’la birlikte
- Yüksek Lisans Tez konusu: Çok katlı yüksek yapılarda kullanılan kalıp sistemlerinin irdelenmesi

Vermekte Olduğum Dersler:

Temel Tasarım I,II; Mimari Projeye Giriş, Mimari Proje I, Bina Bilgisi, Bilgisayar destekli çizim I, II, III; Mimari uygulama projesi I,II; İç mekân tasarımı, Mimaride detay I,II; Maket yapımı, İmar bilgisi, Rölöve ve restorasyon, Mimarlık Bilgisi

Kullandığım Bilgisayar Programları:

ArchiCAD, AutoCAD, İde-Mimar, 3DS Max, Sketch-Up, Vray for Sketch-Up, Lumion Oska Hakediş, Photoshop, Ofis Programları

Rölöve çalışmalarım:

Doktorun Evinin (Şirince/Aydın), Özbek evi (Muğla), Şapel (Kayaköy/Muğla), Konuralp evleri (Düzce, öğrencilerimle birlikte), Akçakoca Yukarı Mahhale(Düzce, öğrencilerimle birlikte), Yalı Mahallesi Sokak Sağlıklaştırma Projesi (Danışmanlık)

Mimari Proje Kontrollüğü:

Düzce Üniversitesi Rektörlük Binası, Kapalı Yüzme Havuzu, Merkezi Amfi ve Derslikler I, Fen-Edebiyat Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Kapalı ve Açık Spor Sahaları Projesi, Araştırma ve Uygulama Hastanesi Ek Binası, Nükleer Tıp Binası ve Konuralp Ana Yerleşkesi İmar Planı ve Vaziyet Planı.

İnşaat Kontrollüğü:

Düzce Araştırma ve Uygulama Hastanesi, Merkezi Amfi ve Derslikler I, Teknoloji Fakültesi A, B ve C Blokları, Kapalı Yüzme Havuzu (Yarı Olimpik), Tören Alanı ve Alt Yapı Çalışmaları, Mühendislik Fakültesi, Üniversite Ana Okulu Binası, Düzce Üniversitesi Teknopark İnşaatı

Akademik Etkinlikler:

- GABI, SimaPro, NetCAD, 3DS max programı eğitim sertifikası
- Yapı Malzemelerinde Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Yapılar Semp., 2014
- EPD Türkiye Çalıştayı, 21 Nisan 2014
- İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi “Total Quality Managment” dersi 2002,
- Dokuz Eylül Üniversitesi Fotoğrafçılık dersi 2005, 14 hafta
- İzmir Mimarlar Odası 2006 “Proje Yönetimi” Eğitimi
- “Life cycle assessment (GABİ)” eğitimi 2 gün

- “Life cycle assessment (Simapro) eğitimi 2 gün
- “Sürdürülebilir Bina Eğitimi (LEED)” 1 gün
- Yeşil Binalar Zirvesi 2016 İstanbul 2 gün
- KOSGEB proje yazım eğitimi 2014 (10 gün)
- Doğu Marmara Kalkınma Ajansı proje yazım eğitimi 2015 (2 gün) Bolu
- Yeşil Binalar Zirvesi 04-05.02.2016 İstanbul
- Integrated solutions for Sustainable and Smart Buildings & Cities 2016, İstanbul;

