

## Odun esaslı levha sektöründe Yaşam Döngüsü Analizi'ne bir bakış

An overview of Life Cycle Analysis in the wood-based panel industry

Mehmet Eren ŞAHİN<sup>1</sup>   
Hülya KALAYCIOĞLU<sup>1</sup>   
Uğur ARAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman  
Fakültesi, Trabzon

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin  
Meslek Yüksekokulu, Trabzon

**Sorumlu yazar** (Corresponding author)

Mehmet Eren ŞAHİN  
mehmeterensahinn@gmail.com

**Geliş tarihi** (Received)

31.03.2022

**Kabul Tarihi** (Accepted)

18.05.2022

**Sorumlu editör** (Corresponding editor)

Samet DEMİREL  
sdemirel@ktu.edu.tr

**Atıf** (To cite this article): Şahin, M. E. , Kalaycıoğlu, H. & Aras, U. (2022). Odun esaslı levha sektöründe Yaşam Döngüsü Analizi'ne bir bakış . Ormanlık Araştırma Dergisi , Karok 2021 , 342-354 . DOI: 10.17568/ogmoad.1096193



Creative Commons Atıf -  
Türetilmez 4.0 Uluslararası  
Lisansı ile lisanslanmıştır.

### Öz

Hayat Boyu Değerlendirme (LCA) bir ürün sisteminin yaşamı boyunca çevresel yönlerini ve potansiyel çevresel etkilerini ele alan bir teknik olup elde edilen veriler; karar verme, stratejik planlama, öncelik belirleme ve tasarlama çalışmalarında kullanılır. Bu çalışmada; LCA ve odun esaslı levha sektörü ilişkisi, sektörün çevreye etkileri, alınabilecek önlemler ve gelecekte planlanabilecek LCA çalışmaları ile ilgili olarak literatür bilgisi verilmiştir. Özellikle odun hammaddesinin fabrikalara taşınması, üretim ve levhaların satış notlarına taşınması, kullanımı ve ekonomik ömrünü tamamlayan levhaların tekrar değerlendirilmesi sırasındaki çevresel etkilerinin belirlenmesi tanımlanmıştır. Dünya orman ürünleri sektöründe uygulanan LCA yaklaşımları, faydaları, güçlü ve zayıf yönlerine bağlı potansiyel etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak, bir simülasyon uygulaması incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda odun esaslı levhaların yenilenebilir kaynaklardan üretilerek sürdürülebilir olması, potansiyel ikame malzemelerinden düşük enerji gerektirmesi, atık hacminin değerlendirilebilmesi avantajlarına sahip olduğu ve petrokimyasal tutkalların yerine yeşil formülasyonlarla üretim sağlanırsa ekosistem ve iklim değişikliği üzerinde olumlu sonuçlar oluşturacağı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Odun esaslı levhalar, Yaşam Döngüsü Analizi, iklim değişikliği.

### Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) is a technique that considers the environmental aspects and potential environmental impacts of a product system throughout its lifetime. The data obtained are evaluated in decision making, strategic planning, priority setting and design studies. In this study, literature information was given about the relationship between LCA and the wood-based panel sector, the positive and negative effects of the sector on the environment, the measures that can be taken, and the LCA studies that can be planned for the sector in the future. In particular, the methods of determining the effects during the transportation of wood material to the factories, production, transfer of the plates to the sales notes after production, the usage process and the evaluation of the boards that have completed their economic life were defined. The potential effects of the LCA approach applied in the world forest products sector, their benefits, strengths, and weaknesses were evaluated. Finally, a simulation application is examined. As a result of this study, it is seen that wood-based boards have the advantages of being sustainable by being produced from renewable resources, requiring less energy than potential substitute materials, and evaluating the waste volume after use. In addition, it has been determined that if it is produced with green formulations instead of petrochemical adhesives, it will create positive results for the ecosystem and climate change.

**Keywords:** Wood-based panels, Life Cycle Analysis, climate change.

## 1. Giriş

Birleşmiş Milletler (BM) Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (yeni adıyla Brutland Komisyonu) tarafından 1987 yılında yayınlanan (Ortak Geleceğimiz / Our Common Future) adlı ve Brundtland Raporu olarak bilinen raporda Kuzey ve Güney Yarımküre arasındaki uyumsuzluk ve ekolojik farkındalıktan bahsedilmektedir (Burton, 1987). Raporun ardından birçok farklı “sürdürülebilirlik” veya “sürdürülebilir kalkınma” tanımı gündeme gelmiştir. Bu terim 1980 yılında Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (IUCN, iucn.org) tarafından “Our Common Future” yayınlanması sürdürülebilir kalkınma konusunda en bilinen tanımını “Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden günümüz ihtiyaçlarına cevap veren gelişim” şeklinde tanımlanmıştır. Gelişim kavramında; insan ihtiyaçlarını karşılamak için bir araç olarak hizmet etmesi hedeflenmiştir (Moltesen ve Bjorn, 2018). Buna karşılık tanımın çok dar olduğu ve diğer canlı türlerinin de dikkate almak gerektiği savunulmuştur (Pezzey, 1992).

Sürdürülebilirlik, farklı vurgularla aşağıdaki dört boyuttan oluşmaktadır (Moltesen ve Bjorn, 2018).

1. Nüfusun refah ölçüsü, “iyileştirme”, “fayda”, “refah” ve “niyet” gibi birkaç farklı kavramdan oluşur.
2. Nesiller arası eşitlik öz kaynak kaygısıyla ilgilidir.
3. Mevcut neslin eşitliği kuşak içi öz kaynaklarla ilgilidir. Refah önlemlerinin bir nesil içinde makro ve mikro ölçekte eşit ölçüde dağıtılması göz önünde bulundurulur.
4. Türler arasındaki eşitlik sadece insan refahına katkıda bulunma potansiyellerinden bağımsız olarak gelişmesi öz kaynaklarla ilgilidir.

İnsanoğlunun ihtiyaçlarını karşılayabilmenin dünya yaşam destek fonksiyonlarına etkisi; sürdürülebilir kalkınma tanımının doğasında var olan çevre sağlığı için endişe kaynağıdır (Moltesen ve Bjorn, 2018).

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi’ne (WBCSD, wbcso.org) göre “eko-verimlilik, insan ihtiyaçlarını karşılayan ve yaşam kalitesini getiren rekabetçi fiyatlı mal ve hizmetlerin sunulmasını sağlanırken, yaşam döngüsü boyunca mal ve kaynak kullanımının çevresel etkilerini en azından dünyanın tahmini taşıma kapasitesine uygun bir seviyeye indirir” diye tanımlanmaktadır (WBCSD, 2000).

Ürün ve teknolojilerin ekonomik / ekolojik verimliliğini artırıp, aynı veya daha fazlasının tüketile-

bileceği, aynı zamanda tüketimin çevresel yük taşıma kapasitesini aşmayan bir seviyeye düşürmek mümkündür. Doğal kaynakların korunması; atık miktarının sınırlandırılması, kirletici emisyonların azaltılması ve üretim sürecinin tüm aşamalarında çevrenin korunmasına daha fazla dikkat edilip ulaştırılması gereken özel hedeflerdir (Schmidheiny ve Stigson, 2000).

Odun esaslı levhaların üretiminde üre, fenol, melamin formaldehit gibi sentetik esaslı tutkallar kullanılmaktadır. Kimyasal dayanım, yüksek reaktivite ve üstün yapıştırma performansı gibi avantajlarının yanı sıra, tehlikeli uçucu organik bileşikler (VOC’ler), ve özellikle de serbest formaldehit gibi insanlar için kanserojen ve çevreye zararlı olan bileşiklerin salınmasına neden olmaktadır. Bu sebeple odun esaslı levha sektöründe LCA daha fazla önem kazanmaktadır (Kristak ve ark., 2022). Çevreyi nasıl koruyabiliriz? ve Çevresel bozulmaya yol açan durumlar nelerdir? gibi sorular “Life Cycle Analysis”in sürdürülebilir çevre değerlendirme aracı olarak gelişmesine fırsat vermiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada odun esaslı levhalarda gerçekleştirilen güncel Yaşam Döngüsü Analizleri uygulamalarına yer verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 2.1. Yaşam Döngüsü Analizi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi olarak da bilinen Yaşam Döngüsü Analizi; “ürünün yaşam döngüsü boyunca hammadde alımından, üretim ve kullanım aşamalarından atık yönetimine kadar kullanılan potansiyel çevresel etkileri ve kaynakları değerlendirmek için bir araçtır” (ISO, 2006). LCA, çevresel salınımları tanımlamak ve bu etkileri azaltmak amacıyla ürün, süreç veya sistemin ömrünün tüm aşamalarında neden olduğu çevresel etkileri değerlendiren süreçtir (Kohlmaier ve ark., 2013).

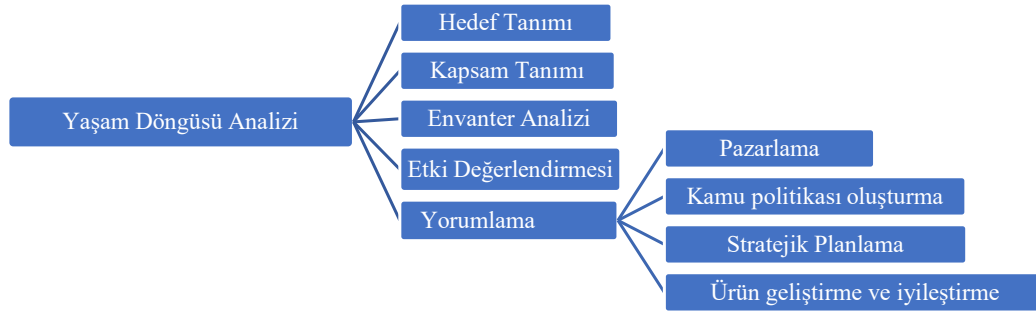
Yaygın olarak kabul gören yönerge; Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC, setac.org) ile Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO, iso.org) tarafından geliştirilen 14000 nolu standartlar gündemde olup; hedef ve kapsam tespiti, envanter analizi, etki değerlendirmesi ve sonuçların yorumlanmasını içermektedir. İyileştirme aşamasının LCA çerçevesinin önemli bir parçası olduğu SETAC önerisinin aksine, olası tüm doğrudan uygulamalar ISO standartlarının kapsamı dışında kalmaktadır (SETAC, 1993; Wirth, 2013; Wu ve ark., 2014). Şekil 1’de Yaşam Döngüsü Değerlendirmesinin aşamaları gösterilmiştir (ISO, 2006).

### 2.1.1. Yaşam döngüsü analizi hedef ve kapsam tanımı

LCA'nın şeffaf, tekrarlanabilir, uyumlu ve tutarlı olmasını sağlamak için doküman oluşturulması hedeflenmiştir. Sistemin sınırları, çalışmaya dahil edilen tüm işlemleri, girdi ve çıktıları belirlemek için hassas bir şekilde izlenir. Veri kalitesi gereksinimleri (istenen özellikleri) ve kalite gereksinimleri tanımlanarak kalite güvencesi için prosedürler oluşturulur (ISO, 1997a).

### 2.1.2. Yaşam Döngü Envanteri (LCI)

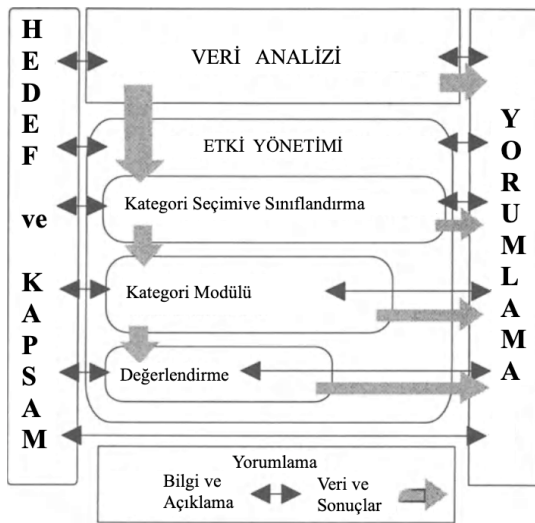
Ürün ömrünün farklı aşamalarını oluşturan süreçler (tüketici ve üretim) birleştirilir ve bireysel modüllere ayrılır. Birden fazla çıkışa sahip sistemlerde, malzeme ve enerji akışları, tercihen fiziksel özelliklere dayalı olarak, açıkça belirtilen kurallara göre tahsis edilir. LCI ile, analiz edilen ürünün fonksiyonel ünitesinden kaynaklanan ekstraksiyon (özütleme) ve emisyon (salınımlar) açısından çevreye olan etkisi belirlenir (ISO, 1997b; ISO, 1997c).



Şekil 1. ISO tanımına göre bir LCA çalışmasının aşamaları (ISO, 2006)  
Figure 1. Stages of an LCA study by the ISO definition shown (ISO, 2006)

### 2.1.3. Yaşam Döngüsü Etki Analizi ve Yorumlama (LCIA)

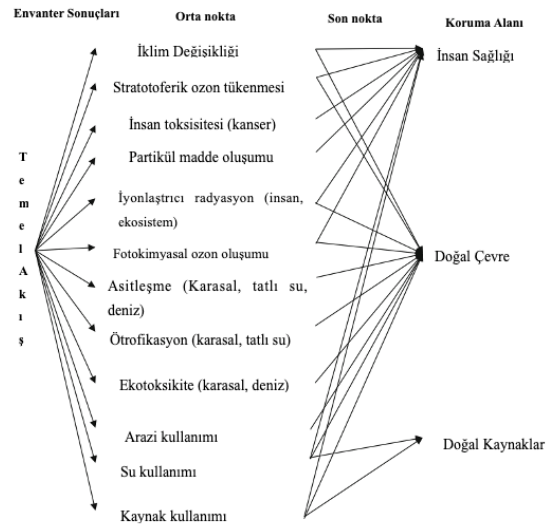
LCIA; toplanan veriler ile sistemin doğal çevreyi ve nüfusu nasıl etkileyebileceğini anlama ilişkisini sağlamayı amaçlar. Envanter verileri, çevresel etki düzeylerini ve önemini daha iyi tanımlamayı sağlar. Bu birkaç bireysel alt göreve ayrılmıştır (ISO, 1997b) (Şekil 2).



Şekil 2. Yaşam Döngüsü Etki Analizi gösterimi (Richter, 1998)

Figure 2. Representation of the Life Cycle Impact Analysis (Richter, 1998)

Yaygın LCA uygulamasında, belirli karakterizasyon modellerine dayanan göstergeler LCIA yöntemleri olarak adlandırılan önceden tanımlanmış kümelerde veya yöntemlerde birleştirilir (ISO, 1997d; Chomkham Sri ve ark., 2011) (Şekil 3).



Şekil 3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesine ait çevresel faktörler (Rosenbaum ve ark., 2018)  
Figure 3. Environmental factors of Life Cycle Impact Assessment (Rosenbaum et al. 2018)

Yaşam Döngüsü Analizinin son aşaması elde edilen sonuçların yorumlanmasıdır. Döngüde; öğeleri

tanımlamak, nitelenmek, kontrol etmek, gözden geçirmek sistematik bir prosedürdür. Amaç ve kapsamını gözden geçirme ve oluşum sıklığı sürecini içerir. Bulguların bir sentezi yapılıır. Sonuç ve öneriler izleyicilerine bildirilir (Tablo 1). Başka bir deyişle daha önce açıklanan öğelerini tanımlamak, nitelenmek, kontrol etmek, gözden geçirmek prosedürüdür. Çalışmanın amacını ve kapsamını gözden geçirme ve gözden geçirmenin yinelemeli sürecini

içerir (Richter, 1998).

Odun esaslı levhaların hammaddesi olan ağacın üretimindeki orman faaliyetleri asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidanların oluşumu doğal çevre ve doğal kaynakları etkilerken, levhaların üretim süreci, satış için taşıma faaliyetleri ve kullanım sırasındaki oluşan formaldehit emisyonunu insan sağlığı ve doğal çevre koruma alanlarını etkilemektedir (Sathre, 2014)

Tablo 1. LCA hedeflerinin özeti (Richter, 1998)  
Table 1. Summary of objectives of the LCA (Richter, 1998)

| LCA Hedefleri | Açıklaması  |
|---------------|---|
| Üreticiler    | Ürünlerinin iyileştirilmesine odaklanmalıdır. Çoğu durumda, ayrıntılı LCIA endüstriyel süreçler, çevresel profil ve ürünlerinin nasıl rafine olabileceği hakkında bilgiler sağlayabilir.  |
| Karşılaştırma | LCA'ların ana sorunu olarak kabul edilmiştir. Ürünün alternatiflere kıyasla ekolojik performansı hakkında bilgi, pazarlamacılar tarafından ürünlerini tanıtmak için kullanılır. LCA sonuçları "bir ürün sistemi çevreyi ne kadar etkiler?" sorusunu yanıtlar. Cevabın bir kısmı "iklim değişikliği üzerindeki etkisi 87 kg CO <sub>2</sub> eşdeğeridir" olabilir. LCA'nın nicel doğası, farklı süreç ve ürün sistemlerinin çevresel etkilerini karşılaştırmak için kullanılabilirliği anlamına gelir. |
| İletişim      | Ürünlerin ekolojik etiketlenmesi veya malzemelerin çevre sertifikasyonu için kriterler ortak bir platforma dayanır. LCA'nın eko-verimli çözümü tanımlamaya yardımcı olacağı anlamına gelir. Ürün veya teknoloji düzeyinde eko-verimlilikte kazanılan artışlar, talepteki artışlarla dengelebilir. LCA kullanılarak ölçülen çevresel etkiler, çevresel taşıma kapasiteleri ile ilişkilendirilerek sürdürülebilirlik perspektifine aktarılır.   |

### 2.1.3.1. Sera gazı emisyonları

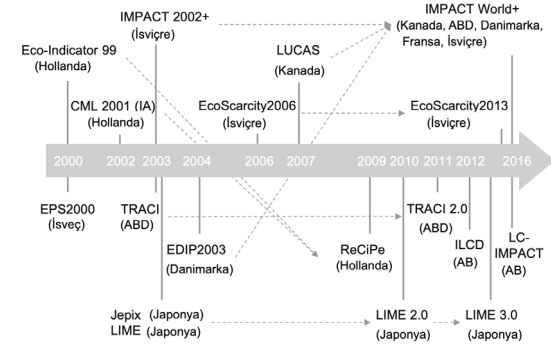
Sera etkisi, atmosferdeki spesifik gaz emisyonlarının artmasından kaynaklanır. Bunlar için ilgili her emisyonun küresel ısınma potansiyeli (GWP) hesaplanır. Bu ise referans madde içerir ve CO<sub>2</sub> ile ilgili olarak kızıllötesi radyasyonu absorplama etkisini ifade eder ve atmosferik reaktivite veya gazın zaman içinde stabilitesi nedeniyle bir zaman faktörü içerir. Ve CO<sub>2</sub> eşdeğeri (kg) = Etki Faktörü x GWPi x hava emisyonu formülünden hesaplanır (Tablo 2) (IPCC, 1994). Diğer çevresel etkiler de benzer şekilde toplanır.

Tablo 2. GWPi değerleri (IPCC, 1994)  
Table 2. GWPi values by IPCC (IPCC, 1994)

| Emisyon                         | GWP 20 | GWP 100 | GWP500 |
|---------------------------------|--------|---------|--------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )        | 62     | 24,5    | 7,5    |
| Karbondiosit (CO <sub>2</sub> ) | 1      | 1       | 1      |
| H-1301                          | 6200   | 5600    | 2200   |
| Diazotmonoksit                  | 290    | 320     | 180    |
| R134aFCKW                       | 3300   | 1300    | 420    |
| R22 FCKW                        | 4300   | 1700    | 520    |

Kaynakların tükenmesi; yenilenebilir ve yenilene-meyen enerji kaynakları (Joule) veya mineral kaynakların (kg veya m<sup>3</sup> olarak) tüketimi ile ölçülür (Heijungs ve ark., 1992) (Tablo 3). Bu amaçla genellikle Şekil 4'te verilen yazılımlar kullanılmak-

tadır (Rosenbaum, 2017).



Şekil 4. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi ülkelere göre kullanılan yazılımlar (Rosenbaum, 2017)  
Figure 4. Life Cycle Impact Assessment software used by countries (Rosenbaum, 2017)

LCA tekniğinin sınırlarını tanımak ve anlamak önemlidir. Bu sınırlamalar şunları içerir:

- LCA'nın detaylandırılmasında yapılacak seçimler ve varsayımlar öznel olabilir.
- İlgili verilerin erişilebilirliği genellikle sınırlı ve veri kalitesi geniş bir aralıkta değişir.
- Etkilerin değerlendirilmesi için kullanılan modeller iddia ile sınırlıdır; tüm olası etkiler ölçülemez.

- Stok verilerine uzamsal ve zamansal boyut dahil değildir. Bu belirsizliğe sebep olur ve sonuçların doğruluğunu sınırlar.
- LCA'nın yürütülmesi tek başına herhangi bir çevresel etkiyi azaltmaz. İyileştirme fırsatlarını gerçekleştirmek gerekir (Kohlmaier ve ark., 2013)

Tablo 3. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi sınıflandırılması ve birimleri (Heijungs ve ark., 1992)  
Table 3. Classification and units of Life Cycle Impact Assessment (Heijungs et al. 1992)

| Çevresel Etki                     | Sınıflandırma faktörü  | Birim                                  |
|-----------------------------------|--|--|
| Küresel Isınma                    | GWP 20/100 yıl Küresel Isınma Potansiyeli  | kg CO <sub>2</sub> -eqv.               |
| Stratosferik Ozon Tabakası Tüken. | ODP Ozon Tükenme Potansiyeli   | kg CFCl <sub>3</sub> -eqv.             |
| Asitleşme                         | ADP Asitleşme Potansiyeli  | kg SO <sub>2</sub> -eqv.               |
| Foto-Kimyasal Sis Oluşumu         | POCP Fotokimyasal Ozon Oluşum Potan.   | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eqv. |
| Ötrofikasyon                      | NP Besleme Potansiyeli   | kg P <sub>0</sub> <sub>4</sub> -eqv.   |
| Sağlık Tehlikesi                  | UCA, HCW, HCS: İnsan Toksikitesi, Hava, su, toprak için sınıflandırma faktörleri | kg toplam insan vücutu kontamine       |
| Ekotoksitise                      | ECA, Sucul Ekotoksitise  | m <sup>3</sup> su                      |

## 2.2. Odun esaslı ürünler ve iklim değişikliği

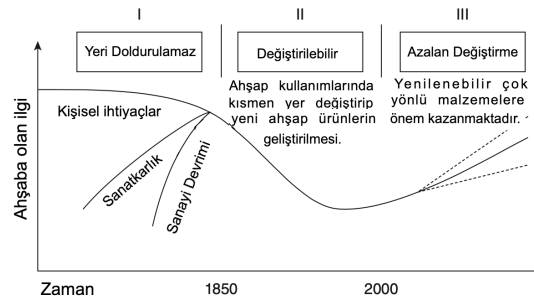
Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, ipcc.ch) tarafından hazırlanan İklim Değişikliğinin Fiziksel Bilim Temeli Raporuna (IPCC, 2013) göre küresel ısınma kaynaklı gözlenen değişimler 1950 yılından itibaren son bin yıllık döneme göre önemli derece belirgin hale gelmiştir. 1850'den sonra kaydedilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında son 30 yılda küresel sıcaklıklar belirgin derece artış göstermektedir (Pearce ve ark., 2014).

Orman ürünlerinin en büyük yararı iklim etkisini azaltmadaki rolüdür. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sera gazı emisyonlarına bağlı olarak iklim değişikliği artmaktadır. Ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin kullanımı; iklim değişikliği, atık ve emisyon azaltılması gibi çevre üzerinde olumlu etkiler oluşturur (Netz ve ark., 2007).

Odun esaslı levha endüstrisi çevre konusunda sorumluluk alıp sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama tavis vermeden günümüz ihtiyaçlarını karşılamalıdır.

Ahşabın; Avrupa Birliğine ait Kaynak-etkin Verimli Yol Haritası (E.C., 2011) için ahşabın olumlu katkısını yenilenebilir, yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir malzeme olması potansiyeli sayesinde ahşap ürünleri üreten şirketlerin çevresel etkilerini incelenmek önem arz eder. Öte yandan nüfus arttıkça orman ürünlerine olan talep artmaktadır (Şekil 5) (Sathre ve Gustavsson, 2009; Schulz, 1993). Arz ve talep dengesini olumlu yönde etkileyebilmek ve ormanlara olan talebi azaltabilmek için en ince materyalin bile kullanımına imkân sağlayan odun esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiştir. Diğer malzemeler yerine (çimento, beton, vb.) odun ve odun esaslı levhaların kullanımı çeşitli mekanizmalarla düzenlenerek iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır

(Sathre ve Gonzalez-Garcia, 2014). Uluslararası çalışmalarda ahşabın alternatif ürünlerine göre ton başına karbon salımını 2.1 ton önleyeceği belirlenmiştir (Sathre ve O'Connor, 2010).



Şekil 5. Odun esaslı malzemelerin kullanımına olan talep (Sathre, 2014)

Figure 5. The demand for the use of wood-based materials (Sathre, 2014)

Kompozit ahşap ürünleri üretilirken formaldehit içeren reçine sistemleri kullanılmaktadır. Formaldehit bazlı yapıştırıcılar üretim ve son kullanım aşamalarında insan ve çevre açısından formaldehit emisyonları ile sonuçlanarak olumsuz çevresel etkilere neden olur (Imam ve ark., 1999; Rivela ve ark., 2007). Yapılan çalışmalarda petrol bazlı yapıştırıcı kullanımı küresel ısınma, fotokimyasal oksidan oluşumu, asitleşme, ötrofikasyon ve toksite etki kategorilerinde önemli katkıları olan kirletici emisyonlardan sorumlu bir çevresel odak noktası olduğu ortaya koyulmuştur (Gonzalez-Garcia ve ark., 2009).

## 3. Bulgular

### 3.1. Orman ürünleri sektörü yaşam döngüsü ilişkisi

İnsanoğlu sürdürülebilir yaşama geçişte zorlanmaktadır. Toplum doğal kaynakların genel



kullanımı artırıp, sera gazı emisyonları da dahil olmak üzere çevresel etkilerin azaltılmasında yenilenebilir malzemeleri kullanmalıdır. Örneğin Avrupa inşaat sektöründe ahşap kullanımını azalttığı için enerji kullanımını %42 olup sera gazı emisyonu ise %35 artmıştır. LCA raporları diğer endüstrilerde olduğu gibi esas olarak üretim süreçlerinde enerji tüketimine odaklanmaktadır (Boyd ve ark., 1976).

Ahşap yapı malzemelerinin yaşam döngüsü; tohum ekimi, ağaçların büyümesi, biyokütlenin hasadı, taşınması ve işlenmesi, odun esaslı ürünlerin üretimini, mobilya üretim hatlarına taşınması ve mobilya elemanlarına dönüştürülmesi, montaj alanına nakledilmesi ve montajı, kullanımı, bakımı ve bertarafını içerir (Diederichs ve ark., 2014).

Avrupa mobilya endüstrisi dünya çapında üretimin %28'ine karşılık gelen dinamik bir sektördür (Forrest ve ark., 2017). Mobilya endüstrisinde en yaygın kullanılanlar arasında yongalevha, yönlendirilmiş yongalevha (OSB), orta yoğunluklu lif levha (MDF) ve yüksek yoğunluklu lif levha (HDF) gelir (Barata ve ark., 2016; Gonzalez-Garcia ve ark., 2012; Linkosalmi ve ark., 2016; Piekarski ve ark., 2017). AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nda yenilenebilir ve dönüştürülebilir avantajları açısından biyolojik ürünlerin petrol bazlı ürünlerle değiştirilmesi öncelikli alan olarak tanımlanmıştır (E.C., 2015). Ayrıca, 2020 AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planında biyolojik çeşitlilik ve ormanlar konusuna atıfta bulunarak iklim nötr ve döngüsel ekonomiye dikkat çekilmektedir (E.C., 2020).

De Carvalho Araujo ve ark. (2019) ahşap panellerin yaşam döngüsünde uygulanan Döngüsel Ekonominin bazı ilkelerini belirlemiştir. Hoxha ve Jusselme (2017) sıfır enerjili bir binada mobilyaların etkisi ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğunu, küresel ısınma üzerindeki etkisini yaklaşık %10 olarak belirlemiştir. Özellikle, malzeme seçimi iklim değişikliğinin azaltılmasında önemli bir rol oynar (Brunet-Navarro ve ark., 2021; Geng ve ark., 2019). Ek olarak, Paris İklim Anlaşması çerçevesinde mobilya sektörü 2050'ye kadar küresel ısınmaya 1,5°C ile sınırlama hedefine katkıda bulunabilir (<https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>).

Hammadde tedarikinden mobilya üretimine, kullanımından ve kullanım ömrü sonuna kadar tüm değer zinciri boyunca ürün yaşam döngüsüne bağlı çevresel etkilere dikkat edilmelidir (Donatello ve ark., 2017). Özellikle çevresel faydaların mobilya tasarım aşamasında ekonomik ve inovasyon (değer katan yenilik) stratejilerinin benimsenmesiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Mirabella ve ark., 2014).

Hammadde türü ile arazi kullanımı, tarım ve ormancılık üretimi ile yakından ilgilidir (Forsell ve ark., 2018). Orman Yönetim Konseyi (FSC, [fsc.org](http://fsc.org)) ve Orman Belgelendirme Onay Programı (PEFC, [pefc.org](http://pefc.org)) sertifikalarına uygun mahsul yönetimi, toprak hazırlama, gübreleme ve sulama sırasında karbondioksit emisyonlarını azaltabilecek sürdürülebilir bir model sağlamaktadır (Chiarabaglio ve ark., 2020; Lovarelli ve ark., 2018).

### 3.2. Odun esaslı levhaların yaşam döngüsü

Levha üretim ve kullanımının çevresel etkisinin yanı sıra 'hizmet ömürlerinin sonunda sürdürülebilir şekilde nasıl geri dönüştürüleceği sorusu da LCA uygulanmasına aracı olmuştur. LCA uygulanma sebebi; malzeme ve süreçlerin çevresel etkileri hakkında daha iyi bilgi sahibi olmak, yeşil üretim süreçleri ve pazarlara yönelme çabalarıdır (Crafford ve ark., 2021).

Yongalevha, lif levha, mobilya, kâğıt hamuru ve ahşap esaslı malzemeler ve farklı kullanımlara yönelik ürünlerin çevresel performansı uzmanlarca araştırılmıştır (Gonzalez-Garcia, 2019; Penalver ve ark., 2014; Del Borghi ve ark., 2021; Gonzalez-Garcia, 2009; Pommier ve ark., 2016).

Ahşap esaslı levha LCA çalışmaları arasındaki farklar birincil (üretim ve öncesi) ve ikincil (tüketim ve sonrası) verileri içermektedir. Ürünlerin ekolojik etkisinin azalması veya ortadan kaldırılması nedeniyle işletmeler üzerindeki baskı artmıştır (Remmen, A., 2007). Levha üretim aşamaları ve tüketim sonrası Yaşam Döngüsü Analizi İspanya (Rivela ve ark., 2006), ABD (Wilson, 2010; Oneil ve Wilson, 2013a), Brezilya (Silva ve ark., 2013) ve İran (Kouchaki-Penchah ve ark., 2016a)'da kapsamlı olarak araştırılmıştır. Ayrıca, mobilya sektöründe en çok tercih edilen yongalevha üzerine formaldehit emisyonu ve alternatif hammadde kullanımını içeren çalışmalar yapılmıştır (Baharoglu ve ark., 2012; Ciannamea ve ark., 2017; Hossain ve ark., 2018; Shang ve ark., 2020). Çalışmalarda lif levha sera gazı emisyonları belirlenerek çevresel etkileri değerlendirilmiştir (Wang ve ark., 2018; Gonzalez-Garcia ve ark., 2009; Piekarski ve ark., 2014; Puettmann ve ark., 2016; Oneil ve Wilson, 2013b).

İşletmeler mobilya üretiminde mobilyaların genel etkisine önemli katkılardan sorumlu olabilecek reçine, yapıştırıcı, kaplama, metalik parça ve tekstiller gibi ahşap olmayan malzemeler kullanır (Dos Santos ve ark., 2014; Iritani ve ark., 2015; Silva ve ark., 2013). Bu bağlamda mobilya işletme ve tüketicileri, mobilya sektörünün neden olduğu çevresel etkilerin en aza indirilmesinde kilit

rol oynamaktadır. Sürdürülebilir mobilyaların tasarımında ürünün farklı yaşam döngüsü aşamalarıyla ilgili çevresel, ekonomik ve teknik yönleri entegre edebilen çok yönlü bir yaklaşım gerektirir (Cordella ve Hidalgo, 2016; Wenker ve ark., 2018).

#### 4. Tartışma

##### 4.1. Örnek LCA incelemesi

Nakano ve ark. (2018) yongalevha (YL), yüksek yoğunluklu lif levha (HDF), orta yoğunluklu lif

levha (MDF) ve izolasyon lif levhasının (İLF) çevreye duyarlı tasarımında kapsamlı bir Yaşam Döngüsü Analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; levhaların ormandan fabrikaya (cradle-to-gate) ve kullanımından bertarafına (cradle-to-grave) kadar geçen üretim süreci verileriyle Japonya formaldehit emisyonu standardına göre iklim değişikliği, abiyotik kaynak tükenmesi, insan toksisitesi ve eko-toksisite etkileri değerlendirilmiş (JIS A 5908, 2015; JIS A 5905, 2014) ve yapılan çalışmada odun esaslı levhaların özellikleri (Tablo 4), üretim süreçleri (Şekil 6), hedef ve işlevsel birim (Tablo 5) belirlenmiştir

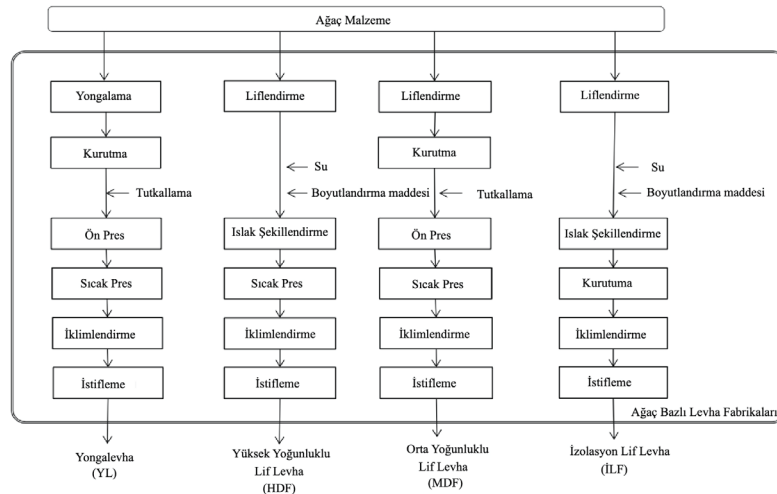
Tablo 4. Ağaç bazlı panellerin özellikleri (Nakano ve ark., 2018)  
Table 4. Properties of wood-based panels (Nakano et al. 2018)

|   | YL                      | HDF                    | MDF                     | İLF                    |
|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Standart  | JIS A 5908:2015         | JIS A 5905:2014        | JIS A 5905:2014         | JIS A 5905:2014        |
| Standart özgül ağırlık ( $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> ) | $0.40 \leq \rho < 0.90$ | $0.80 \leq \rho$       | $0.35 \leq \rho < 0.80$ | $\rho < 0.35$          |
| Hacim (1000 m <sup>3</sup> )                          | 1041                    | 48                     | 404                     | 399                    |
| Belirtilen alan (1000 m <sup>2</sup> )                | 67.618                  | 16.596                 | 58.355                  | 40.205                 |
| Özgül ağırlık   | 0.75 g/cm <sup>3</sup>  | 0.85 g/cm <sup>3</sup> | 0.72 g/cm <sup>3</sup>  | 0.32 g/cm <sup>3</sup> |
| Beşikten kapıya                                       | 1.0 m <sup>3</sup>      | 1.0 m <sup>3</sup>     | 1.0 m <sup>3</sup>      | 1.0 m <sup>3</sup>     |
| Üretim payı   | 6 fabrika (>%50)        | 3 fabrika (>%50)       | 2 fabrika (>%60)        | 3 fabrika (>%80)       |

Japonya Endüstriyel Standartları (JIS, jsa.or.jp), YL; Yongalevha, HDF; Yüksek Yoğunluklu Lif Levha; MDF; Orta Yoğunluklu Lif Levha, İLF; İzolasyon Lif Levha

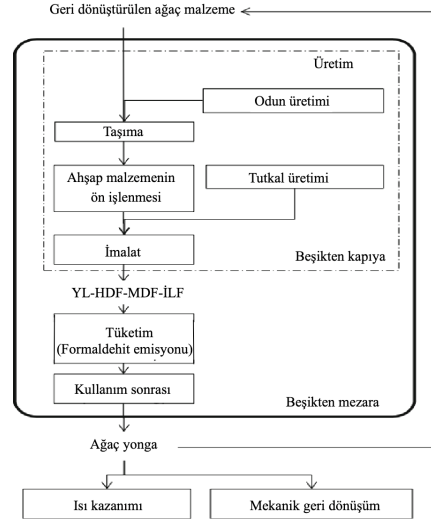
Tablo 5. Hedef ve işlevsel birim (Nakano ve ark., 2018)  
Table 5. Target and functional unit (Nakano et al. 2018)

|                       | Beşikten kapıya   | Beşikten mezara  |
|-----------------------|---|--|
| Hedef                 | Japonya'da genel LCA verileri geliştirmek<br>Çevreye duyarlı tasarımı desteklemek | Formaldehit emisyon düzenlemesinin başarısını netleştirmek                                       |
| Değerlendirilen levha | YL, HDF, MDF, İLF   | YL   |
| Fonksiyonel birim     | 1.0 m <sup>3</sup>  | 7,0 m <sup>2</sup> açık yüzey alanı ve 16 mm kalınlıktaki 40 yıl hizmet ömrüne sahip ahşap levha |



Şekil 6. Ağaç Bazlı Levha Fabrikalarının üretim süreci (Nakano ve ark., 2018)  
Figure 6. Production process of Wood-Based Panel Factories (Nakano et al. 2018).

Ormandan fabrikaya üretim aşaması hesapları; odun üretimi, tutkal üretimi, taşıma, ahşap malzemenin ön işlenmesi, levhaların hazırlanması, fabrikadan tüketiciye levhaların sınırı ise kullanım aşamasında formaldehit emisyonu oluşumu ve geri dönüştürülmesi (mekanik ve ısı kazanımı) bölümüdür (Şekil 7). Lignoselülozik materyal olarak yıkılmış bina ve ahşap ürün üreten fabrika atıklarından yararlanılmıştır. Üretimde 2014 yılı Japonya Yonga ve Lif Levha Üreticileri Birliği (JFPMA)'nden alınan veriler kullanılmıştır (JFPMA, jfpma.jp). Tablo 6'da üretim süreci girdi ve çıktı değerleri verilmiş olup, kimyasal emisyonların belirlenmesinde Kirletici Salınım ve Aktarım Kaydı Yasasına (PRTR) ve yıllık üretim miktarı ele alınmıştır (Nakano ve ark., 2018).



Şekil 7. Beşikten kapiya ve beşikten mezara sistem sınırları (Nakano ve ark., 2018)  
Figure 7. Cradle-to-gate and cradle-to-grave system boundaries (Nakano et al. 2018)

Tablo 6. Japonya ağşap bazlı levha üreticileri üretim süreci girdi ve çıktı değerleri (Nakano ve ark., 2018)  
Table 6. Inventory data for the production processes of wood-based panels (Nakano et al. 2018)

|                       |                           |                                | YL                    | HDF                   | MDF                   | İLF                   |                    |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Girdi                 | Malzeme                   | Odun yonga (kg)                | $7.95 \times 10^2$    | $8.93 \times 10^2$    | $7.98 \times 10^2$    | $3.01 \times 10^2$    |                    |
|                       |                           | ÜF (kg)                        | $3.50 \times 10^1$    |                       | $7.83 \times 10^1$    |                       |                    |
|                       |                           | Melamine-formaldehit (kg)      | $2.39 \times 10^1$    |                       |                       |                       |                    |
|                       |                           | MÜF (kg)                       |                       |                       | $5.32 \times 10^1$    |                       |                    |
|                       |                           | FF (kg)                        | $1.61 \times 10^1$    | $1.20 \times 10^1$    |                       | $1.09 \times 10^1$    |                    |
|                       |                           | Metilendifenildiizosiyonat(kg) | 9.30                  |                       | $1.84 \times 10^1$    |                       |                    |
|                       |                           | Parafin vaks (kg)              |                       | $1.31 \times 10^1$    | 9.58                  | $1.14 \times 10^1$    |                    |
|                       |                           | Alüminyum sülfat (kg)          |                       |                       |                       | 3.18                  |                    |
|                       |                           | Enerji ve su                   | Elektrik (kWh)        | $1.82 \times 10^2$    | $2.41 \times 10^2$    | $2.82 \times 10^2$    | $1.64 \times 10^2$ |
|                       |                           |                                | Dizel (L)             | $8.85 \times 10^{-1}$ | 1.08                  | $6.77 \times 10^{-1}$ |                    |
| Ağır yağ (L)          | $1.85 \times 10^1$        |                                | $2.25 \times 10^1$    |                       | $1.55 \times 10^1$    |                       |                    |
| Gaz (m <sup>3</sup> ) | 8.63                      |                                |                       | $3.42 \times 10^1$    | 7.68                  |                       |                    |
| Odun yakıtı (kg)      | $1.20 \times 10^2$        |                                | $5.36 \times 10^2$    | $1.11 \times 10^2$    | $1.42 \times 10^{-2}$ |                       |                    |
| Su (m <sup>3</sup> )  | 1.04                      |                                | 5.05                  | 1.44                  | 2.32                  |                       |                    |
| Taşıma                | 4-t kamyon (tkm)          | $5.75 \times 10^{-2}$          | 5.45                  | 1.69                  | $6.88 \times 10^{-2}$ |                       |                    |
|                       | 10-t kamyon (tkm)         | $1.45 \times 10^1$             | $4.30 \times 10^1$    | $1.69 \times 10^1$    | $3.58 \times 10^1$    |                       |                    |
|                       | 15-t kamyon (tkm)         |                                |                       |                       | $1.66 \times 10^{-1}$ |                       |                    |
|                       | Gemi (tkm)                |                                |                       | $3.50 \times 10^3$    | $3.23 \times 10^1$    |                       |                    |
| Çıktı                 | Üretim (m <sup>3</sup> )  |                                | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                  | 1.00                  |                    |
|                       |                           | Emisyon                        |                       |                       |                       |                       |                    |
|                       | Formaldehit (kg)          | $1.72 \times 10^{-2}$          |                       | $1.63 \times 10^{-2}$ |                       |                       |                    |
|                       | Klorometan (kg)           | $6.63 \times 10^{-6}$          |                       |                       |                       |                       |                    |
|                       | Fenol (kg)                | $6.73 \times 10^{-7}$          |                       |                       |                       |                       |                    |
|                       | n-Heksan (kg)             |                                |                       | $7.42 \times 10^{-5}$ |                       |                       |                    |
|                       | 1,2,4-Trimetilbenzen (kg) |                                |                       | $2.72 \times 10^{-5}$ |                       |                       |                    |
| Ksilen (kg)           | $2.59 \times 10^{-6}$     |                                | $3.71 \times 10^{-5}$ |                       |                       |                       |                    |
| Atık                  | Kül (atık sahası, kg)     | $1.66 \times 10$               |                       | 5.35                  | $3.04 \times 10^1$    |                       |                    |

YL; Yongalevha, HDF; Yüksek Yoğunluklu Lif Levha; MDF; Orta Yoğunluklu Lif Levha, İLF; İzolasyon Lif Levha



PRTR yasasına göre matematiksel model geliştirilerek formaldehit emisyonlarının zamanla ilişkisi belirlenmiştir. Levhaların kullanım süresi 40 yıl varsayılarak toplam formaldehit emisyonu  $m_{top} = \int EF(t)dt$  formülünden hesaplanmıştır. Burada ( $m_{top}$ ) toplam formaldehit emisyonu,  $EF(t)$  ise  $kg/m^2h$  formaldehit emisyonudur (Nakano ve ark., 2018).

F-1;  $1.64 \times 10^{-2} kg/m^2$ ,

F-2;  $7.66 \times 10^{-3} kg/m^2$ ,

F-3;  $1.37 \times 10^{-3} kg/m^2$  ve

F-4;  $4.38 \times 10^{-4} kg/m^2$  olarak belirlenmiştir.

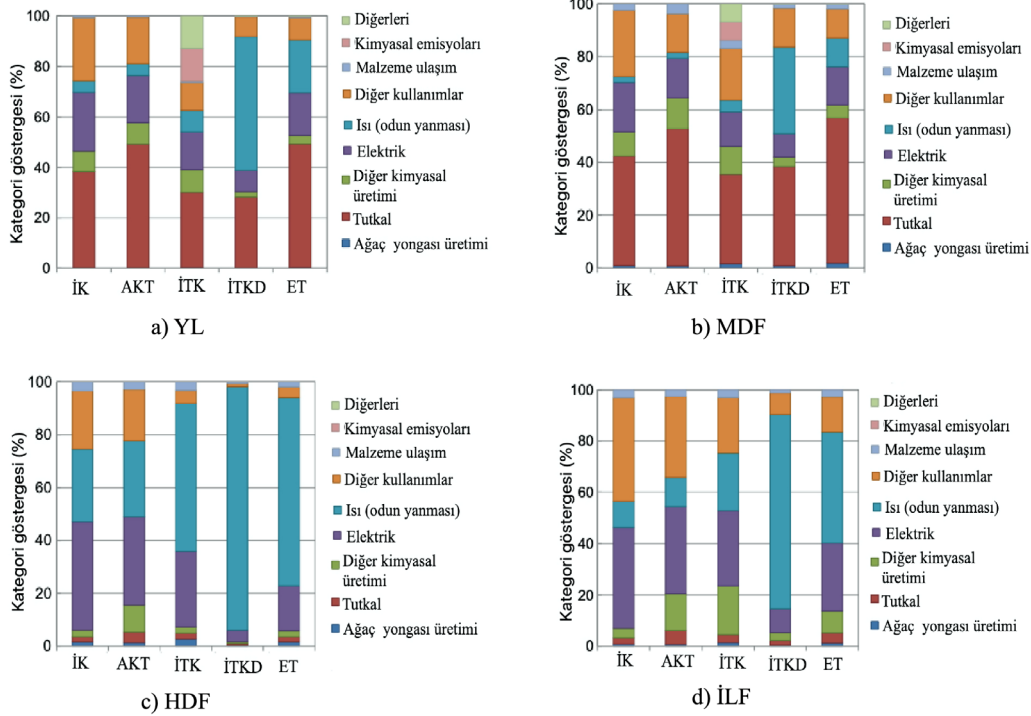
Arka plan verileri malzemelerin ve enerjinin çevresel etkileri değerlendirilmesinde Ecoinvent v.3.2, IDEA v.1.1 ve USEtox sistemi kullanılmıştır.

Beşikten kapıya etki göstergeleri iklim değişikliği (climate change), abiyotik kaynak tükenmesi (abiotic resource depletion), ekotoksisite (ecotoxicity) ve insan toksisitesi kanser / kanser dışı etkileri (human toxicity cancer or non cancer) Tablo 7’de, bileşimi Şekil 8’de verilmiştir. F-1\* ürünlerden F-4\* ürünlerine geçiş yapılarak, insan sağlığına etkileri önemli ölçüde azaltılabileceği belirtilmiştir (Şekil 9).

Tablo 7. Ahşap esaslı levhaların Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi sonuçları (Nakano ve ark., 2018)  
Table 7. Results of the Life Cycle Impact Assessment of wood-based panels (Nakano et al. 2018)

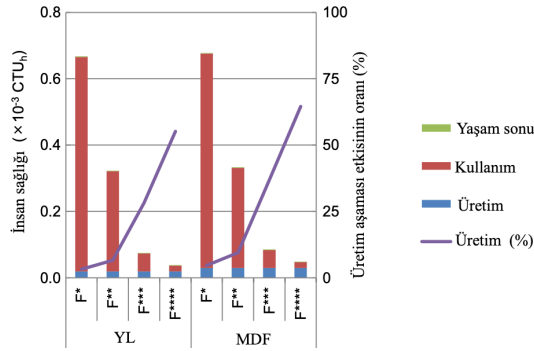
| Etki Kategorisi                        | LCIA yöntemi        | Birim ( $m^3$ )        | YL                    | HDF                   | MDF                   | İLF                   |
|--|---------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| İklim Değişikliği                      | 100 <sub>a</sub>    | kg CO <sub>2</sub> eq. | $4.44 \times 10^2$    | $3.31 \times 10^2$    | $8.50 \times 10^2$    | $2.35 \times 10^2$    |
| Abiyotik kaynak tüketimi               | CML                 | kg Sb eq.              | 4.32                  | 3.18                  | 8.24                  | 2.12                  |
| İnsan toksisitesi- kanser etkileri     | USEtox <sup>a</sup> | CTU <sub>h</sub>       | $1.70 \times 10^{-5}$ | $1.35 \times 10^{-5}$ | $3.24 \times 10^{-5}$ | $8.88 \times 10^{-6}$ |
| İnsan toksisitesi- kanser dışı etkiler | USEtox <sup>a</sup> | CTU <sub>h</sub>       | $1.55 \times 10^{-4}$ | $3.98 \times 10^{-4}$ | $2.31 \times 10^{-4}$ | $1.28 \times 10^{-4}$ |
| Ekotoksitise                           | USEtox <sup>a</sup> | CTU <sub>eco</sub>     | $1.64 \times 10^3$    | $2.15 \times 10^3$    | $2.94 \times 10^2$    | $9.36 \times 10^2$    |

Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi için insan CTU<sub>h</sub> karşılaştırmalı toksisite birimi, ekotoksitise ise CTU<sub>eco</sub> karşılaştırmalı toksisite birimi kullanılmıştır. <sup>a</sup> İç mekân emisyonları ve diğer emisyonları belirlenmiştir.



Şekil 8. Beşikten kapıya çevresel etki değerlendirme sonuçları (İK; İklim değişikliği, AKT; Abiyotik kaynak tükenmesi, İTK; İnsan toksisitesi-kanser etkileri, İTKD; İnsan toksisitesi-kanser olmayan etkiler, ET; Ekotoksitise) (Nakano ve ark., 2018)

Figure 8. Cradle-to-gate environmental impact assessment results (HR; Climate change, AKT; Abiotic resource depletion, TLC; Human toxicity-cancer effects, TLC; Human toxicity-non-cancer effects, ET; Ecotoxicity) (Nakano et al. 2018)



Şekil 9. İnsan sağlığı üzerindeki etkilerin beşikten mezara değerlendirme sonucu (toplam kanser ve kanser dışı etkiler) (Nakano ve ark., 2018)

Figure 9. Cradle-to-grave assessment of effects on human health (total cancer and non-cancer effects) (Nakano et al. 2018)

#### 4.2. Sonuçlar

- Ahşabın diğer malzemelere göre en önemli avantajı ekosistem içinde yenilenebilir olmasıdır. Bu olumlu yön talep için yeterli hammadde tedariki sağlanan uygun orman yönetimi ve hasadı uygulamaları gerçekleştiğinde söz konusudur (Richter, 1995; Lippke ve ark., 2011).
- Ahşabın ham veya temel bir malzeme olarak enerji ihtiyacı potansiyel ikame malzemelerden azdır (Werner ve Richter, 2007). Örneğin; doğal gaz yerine jeotermal enerji kullanılırsa sera gazlarının salınımı ortalama yıllık 13.13 ton CO<sub>2</sub>/GWh düşürülür (Richter, 1995; Sathre ve O'Connor, 2013; IEA, 2018).
- Ahşabın atık hacmi küçüktür. Çoğu atık ve ahşap bazlı malzeme hizmet ömründen sonra yakılabilir. Genel olarak, doğal kaynağın %95'i kullanılır (Richter, 1995; Eriksson ve ark., 2007). İleriki çalışmalar için öneri Yakılması yerine kullanım ömrü sonrası toprak altına gömülmesi sera gazı salınımını azaltacak ve depolanan karbon miktarı artacaktır.
- Ahşap ürünler oluşturulurken tutkal ve formaldehit gibi petrol bazlı yapıştırıcılar kullanıldığında üretim ve kullanım süreçlerinde oluşan formaldehit ve diğer uçucu organik emisyonlar çevresel etkileri olumsuz etkiler. Yapıştırıcılar yeni yeşil formülasyonlarla (lignosülfonat, organosolv lignin, kraft lignin, flavonoid bazlı tanenler, nişasta veya kazein vb.) değiştirilirse potansiyel çevresel iyileştirme mümkün olur (Richter, 1995; Mathias ve ark., 2016; Tserpes ve Tzatzadakis, 2022).

#### Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi ve Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş. arasındaki Sanayi-Doktora Programı kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 118C101).

#### Açıklama

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi'nin 50. yılına özel etkinlikleri kapsamında, 6 - 9 Aralık 2021 tarihleri arasında düzenlenen IV. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Ancak, tam metin halinde hiçbir yerde yayımlanmamıştır.

#### Kaynaklar

- Baharoglu, M., Nemli, G., Sarı, B., Bardak, S., Ayrılmış, N., 2012. The influence of moisture content of raw material on the physical and mechanical properties, surface roughness, wettability, and formaldehyde emission of particleboard composite. *Composites Part B: Engineering*, 43(5), 2448-2451.
- Barata, T., Q., F., Rodrigues, O., V., Matos, B., M., Pinto, R., S., 2016. Furniture design using MDF boards applying concepts of sustainability. *Product: Management and Development* 14(1), 68-83.
- Brunet-Navarro, P., Jochheim, H., Cardellini, G., Richter, K., Muys, B., 2021. Climate mitigation by energy and material substitution of wood products has an expiry date. *Journal of Cleaner Production* 303, 127026.
- Burton, I., 1987. Report on reports: Our Common Future: the World Commission on Environment and Development. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 29(5), 25-29.
- Boyd C., W., Koch, P., McKean H., B., Morschauer C., R., Preston S., B., Wanggaard F., F., 1976. Wood for structural and architectural purposes. *Forest Products Journal* 27: 10-20.
- Chiarabaglio, P., M., Deidda, A., Bergante, S., Castro, G., Faciotto, G., Giorcelli, A., Carbonaro, C., 2020. Life Cycle Assessment (LCA): new poplar clones allow an environmentally sustainable cultivation. *Annals of Silvicultural Research* 45(1), 76-82.
- Chomkhamri, K., Wolf, M., A., Pant, R., 2011. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: review schemes for Life Cycle Assessment. Towards Life Cycle Sustainability Management, 107-117.
- Ciannamea, E., M., Marin, D., C., Ruseckaite, R., A., Stefani, P., M., 2017. Particleboard based on rice husk: effect of binder content and processing conditions. *Journal of renewable materials*, 5(5), 357-362.
- Cordella, M., Hidalgo, C., 2016. analysis of key envi-

- ronmental areas in the design and labelling of furniture products: application of a screening approach based on a literature review of LCA studies. *Sustainable Production and Consumption* 8, 64-77.
- Crafford, P., L., Wessels, C., B., Blumentritt, M., 2021. Sustainability and wood constructions: a review of Green Building Rating Systems and Life-Cycle Assessment Methods from a South African and developing world perspective. *Advances in Building Energy Research* 15 (1), 67-86.
- De Carvalho Araujo, C. K., Salvador, R., Moro Piekarski, C., Sokulski, C., C., de Francisco, A. C., de Carvalho Araujo Camargo, S., K., 2019. Circular economy practices on wood panels: a bibliographic analysis. *Sustainability* 11(4), 1057.
- Diederichs, S., K., 2014. 2010 Status Quo for Life Cycle Inventory and Environmental Impact Assessment of wood-based panel products in Germany, *Wood and Fiber Science* 46(3), 340-355.
- Del Borghi, A., Parodi, S., Moreschi, L., Gallo, M., 2021. Sustainable packaging: an evaluation of crates for food through a life cycle approach. *The International Journal of LCA* 26(4), 753-766.
- Donatello, S., Moons, H., Wolf, O., 2017. Revision of EU ecolabel criteria for furniture products. European Commission. Available online: [http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/technical\\_report\\_furniture.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/technical_report_furniture.pdf) (Ziyaret tarihi: 1 Şubat 2021).
- Dos Santos, M., F., N., Rosane Ap G, B., Bezerra, B., S., Varum, H., S., 2014. Comparative Study of the Life Cycle Assessment of particleboards made of residues from Sugarcane Bagasse (*Saccharum spp.*) and Pine Wood shavings (*Pinus elliottii*). *Journal of Cleaner Production* 64, 345-355.
- Eriksson, E., Gillespie, A. R., Gustavsson, L., Langvall, O., Olsson, M., Sathre, R., Stendahl, J., 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 37(3), 671-681.
- E.C., 2011. Roadmap to a resource efficient Europe.
- E.C., 2015. Closing the Loop-An EU action Plan for the Circular Economy. COM/2015/0614 final.
- E.C., 2020. A new Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and More Competitive Europe. E.C, Brussels, Belgium. [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm) (Ziyaret tarihi: 27 Nisan 2020).
- Forrest, A., Hilton, M., Ballinger, A., Whittaker, D., 2017. Circular economy opportunities in the Furniture Sector. European Environmental Bureau: Brussels, Belgium.
- Forsell, N., Korosuo, A., Fedeirici, S., Gusti, M., Rincón-Cristóbal, J. J., Rüter, S., Gardiner, J., 2018. Guidance on developing and reporting the Forest Reference Levels in accordance with Regulation (EU) 2018/841.
- Geng, A., Ning, Z., Zhang, H., Yang, H., 2019. Quantifying the climate change mitigation potential of China's Furniture Sector: Wood Substitution Benefits on Emission Reduction. *Ecological Indicators* 103, 363-372.
- Gonzalez-Garcia, S., Feijoo, G., Widsten, P., Kandelbauer, A., Zikulnig-Rusch, E., Moreira, M., T., 2009. Environmental performance assessment of hardboard manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 456-466.
- Gonzalez-Garcia, S., Ferro, F., S., Silva, D., A., L., Feijoo, G., Lahr, F., A., R., Moreira, M., T., 2019. Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. *Resources, Conservation and Recycling* 150, 104434.
- Gonzalez-Garcia, S., Bacenetti, J., Murphy, R., J., Fiala, M., 2012. Present and future environmental impact of Poplar cultivation in the Po Valley (Italy) under different crop management systems. *Journal of Cleaner Production* 26, 56-66.
- Gonzalez-Garcia, S., Hospido, A., Moreira, M., T., Romero, J., Feijoo, G., 2009. Environmental impact assessment of total chlorine free pulp from *Eucalyptus globulus* in Spain. *Journal of Cleaner Production* 17(11): 1010-1016.
- Heijungs, R., Guinee J., B., Huppes G., Lankreijer R., M., Udo de Haes H., A., Wegener G., Sieswijk, A., Ansems A., M., M., Eggels P.G., Van Duin R., De Goede H., P., 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products, guide and backgrounds. Centre of Environmental Science, Leiden.
- Hossain, M., U., Wang, L., Iris, K., M., Tsang, D., C., Poon, C., S., 2018. Environmental and technical feasibility study of upcycling wood waste into cement-bonded particleboard. *Construction and Building Materials*, 173, 474-480.
- Hoxha, E., Jusselme, T., 2017. On the necessity of improving the environmental impacts of furniture and appliances in net-zero energy buildings. *Science of the Total Environment* 596, 405-416.
- IEA, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion highlights, 2018. [www.iea.org/CO2emissions-from-fuel-combustion-2018-highlights](http://www.iea.org/CO2emissions-from-fuel-combustion-2018-highlights). (Erişim Tarihi:25 Haziran 2019).
- IPCC, 1994. Intergovernmental Panel on Climate Change. Radiative Forcing of Climate Change (IPCC, ipcc.ch). The 1994 report to the Scientific Assessment Working Group of IPCC, *Summary for Policymakers*.
- IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. contribution of working group 1 to the fifth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University.
- ISO, 2006. International Organization for Standardization (ISO, iso.org), Environmental management: life cycle

- assessment; requirements and guidelines (Vol. 14044). Geneva, Switzerland.
- ISO, 1997a. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, prEN ISO 14040.
- ISO, 1997b. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis, DIS 14041.
- ISO, 1997c. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment. CD 14042.
- ISO, 1997d. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation. CD 14043.
- Imam, S., H., Mao, L., Chen, L., Greene, R., V., 1999. Wood adhesive from crosslinked poly (vinyl alcohol) and partially gelatinized starch: preparation and properties. *Starch-Stärke*, 51(6), 225-229.
- Iritani, D., R., Silva, D., L., Saavedra, Y., M., B., Granel, P., F., F., Ometto, A., R., 2015. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production* 96, 308-318.
- Japanese Standards Association, 2014. JIS A 5905: fiberboards. Japanese Standards Association, Tokyo.
- Japanese Standards Association, 2015. JIS A 5908: particleboards. Japanese Standards Association, Tokyo.
- Kohlmaier, G., H., Weber, M., Houghton, R., A., 2013. Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry. Springer Science, Business Media.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseinabadi, H., Nabavi-Pelesaraei, A. (2016). Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of cleaner production*, 112, 343-350.
- Kristak, L., Antov, P., Bekhta, P., Lubis, M., A., R., Iswanto, A., H., Reh, R., Hejna, A., 2022. Recent progress in ultra-low formaldehyde emitting adhesive systems and formaldehyde scavengers in wood-based panels: a review. *Wood Material Science & Engineering*, 1-20.
- Linkosalmi, L., Husgafvel, R., Fomkin, A., Junnikkala, H., Witikkala, T., Kairi, M., Dahl, O. 2016. Main Greenhouse Gas Emissions of Wood-Based Furniture Industry in Finland. *Journal of Cleaner Production* 113, 596-605.
- Lippke, B., Oneil, E., Harrison, R., Skog, K., Gustavsson, L., Sathre, R., 2011. Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns, *Carbon Management* 2(3), 303-333.
- Lovarelli, D., Fusi, A., Pretolani, R., Bacenetti, J., 2018. Delving the environmental impact of Roundwood production from Poplar Plantations. *Science of the Total Environment* 645, 646-654.
- Mathias, J., D., Grediac, M., Michaud, P., 2016. Bio-based adhesives. In biopolymers and biotech admixtures for eco-efficient construction materials 369-385. Woodhead Publishing.
- Mirabella, N., Castellani, V., Sala, S., 2014. LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: a furniture case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19(8), 1536-1550.
- Moltesen, A., Bjorn, A., 2018. LCA and Sustainability. *In Life Cycle Assessment*, 43-55, Springer, Cham.
- Nakano, K., Ando, K., Takigawa, M., Hattori, N., 2018. Life Cycle Assessment of wood-based boards produced in Japan and impact of formaldehyde emissions during the use stage. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23(4), 957-969.
- Netz, B., Davidson, O., R., Bosch, P., R., Dave, R., Meyer, L., A., 2007. Climate change 2007: mitigation. contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Summary for Policymakers*.
- Oneil, E., Wilson, C., J., 2013a. Cradle to gate life cycle assessment of US particleboard production, Teknik Rapor. DOI: 10.13140/RG.2.2.12807.60327
- Oneil, E., Wilson, C., J., 2013b. Cradle to gate life cycle assessment of US medium density fiberboard production. Final Raporu. <https://corrim.org/wp-content/uploads/2018/06/MDF-LCA-final-Sept-2013.pdf>
- Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., Nerlich, B., 2014. Climate change on twitter: topics, communities and conversations about the 2013 IPCC Working Group 1 report. *PLoS one* 9(4), e94785.
- Pezzey, J., 1992. Sustainable development concepts—an economic analysis. World Bank Environment, 2. The World Bank, Washington DC.
- Penalver, S., M., R., Molina, M., R., Ballesta, J., A., C., 2014. Direct and indirect generation of waste in the Spanish Paper Industry. *Waste management* 34(1), 3-11.
- Piekarski, C., M., Francisco, A., C., D., Luz, L., M., D., Alvarenga, T., H., D., P., Bittencourt, J., V., M., 2014. Environmental profile analysis of MDF panels production: study in a Brazilian technological condition. *Cerne* 20(3), 409-418.
- Piekarski, C., M., de Francisco, A., C., da Luz, L., M., Kovaleski, J., L., Silva, D. A. L., 2017. Life Cycle Assessment of Medium-Density Fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. *Science of the Total Environment* 575, 103-111.
- Puettmann, M., Bergman, R., Oneil, E., 2016. Cradle to gate Life Cycle Assessment of North American cellulosic fiberboard production. CORRIM Final Report. University of Washington. Seattle, 1-66.
- Pommier, R., Grimaud, G., Prinçaud, M., Perry, N.,



- Sonnemann, G., 2016. LCA (Life Cycle Assessment) of EVP—engineering veneer product: plywood glued using a vacuum moulding technology from green veneers. *Journal of Cleaner Production* 124, 383-394.
- Remmen, A., 2007. Life cycle management: a business guide to sustainability. UNEP/Earthprint.
- Richter, K., 1995. Life Cycle Analysis of Wood Products. *Life-Cycle Analysis* 69.
- Richter, K., 1998. Life cycle assessment of wood products. In Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry 219-248. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rivela, B., Hospido, A., Moreira, T., Feijoo, G., 2006. Life Cycle Inventory of particleboard: a case study in the wood sector (8 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11(2), 106-113.
- Rivela, B., Moreira, M., T., Feijoo, G., 2007. Life cycle inventory of medium density fibreboard. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(3), 143-150.
- Rosenbaum, R., K., 2017. Selection of impact categories, category indicators and characterization models in goal and scope definition. In goal and scope definition in Life Cycle Assessment. 63-122, Springer, Dordrecht.
- Rosenbaum, R., K., Hauschild, M., Z., Boulay, A., M., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., Vieira, M., 2018. Life cycle impact assessment. In Life cycle assessment 167-270. Springer, Cham.
- Sathre, R., Gonzalez-Garcia, S., 2014. Life cycle assessment (LCA) of wood-based building materials. In Eco-efficient construction and building materials, Woodhead Publishing, 311-337. DOI: 10.1533/9780857097729.2.311
- Sathre, R., Gustavsson, L., 2009. Using wood products to mitigate climate change: external costs and structural change. *Applied Energy* 86(2), 251–257.
- Sathre, R., O'Connor, J., 2013. A synthesis of research on wood products and greenhouse gas impacts, desLibris.
- Sathre, R., O'Connor, J., 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental science & policy* 13(2), 104-114.
- Schmidheiny, S., Stigson, B., 2000. Eco-efficiency: creating more value with less impact. World Business Council for Sustainable Development.
- Schulz, H., 1993. The development of wood utilization in the 19<sup>th</sup>, 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries. *The Forestry Chronicle* 69(4), 413-418.
- SETAC, 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: a code of practice, the SETAC Workshop Held at Sesimbra, Portugal, 31 March-3 April 1993.
- Shang, X., Song, S., Yang, J., 2020. Comparative environmental evaluation of straw resources by LCA in China. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- Silva, D., A., L., Lahr, F., A., R., Garcia, R., P., Freire, F., M., C., S., Ometto, A., R., 2013. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18(7), 1404-1411.
- Tserpes, K., Tzatzadakis, V. 2022. Life-Cycle Analysis and evaluation of mechanical properties of a bio-based structural adhesive. *Aerospace* 9(2), 64.
- Wang, S., Wang, W., Yang, H., 2018. Comparison of product carbon footprint protocols: case study on medium-density fiberboard in China. *International Journal Of Environmental Research And Public Health* 15(10), 2060.
- WBCSD, 2000. *Eco-efficiency—creating more value with less impact*. World Business Council for Sustainable Development, Washington DC.
- Wenker, J., L., Richter, K., Rüter, S., 2018. A methodical approach for systematic life cycle assessment of wood-based furniture. *Journal of Industrial Ecology* 22(4), 671-685.
- Werner, F., Richter, K., 2007. Wooden building products in comparative LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12(7), 470-479.
- Wilson, J., B., 2010. Life-cycle inventory of medium density fiberboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science* 42, 107-124.
- Wirth, D., A., 2013. The International Organization for Standardization: Private voluntary standards as swords and shields. In Research Handbook on Environment, Health and the WTO. Edward Elgar Publishing.
- Wu, P., Xia, B., Zhao, X., 2014. The importance of use and end-of-life phases to the life cycle greenhouse gas (GHG) emissions of concrete—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37, 360-369.