

DOI: <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2024TR0021>

A Research on Determination of Database and Software Tool in Life Cycle Assessment (LCA) Method: The Sample of Turkish Building Industry

¹ Ph.D. Candidate Naide Sevim Koşan , ² Prof. Figen Beyhan

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, Türkiye

² Department of Architecture, Faculty of Architecture, Gazi University, Ankara, Türkiye

E-mail ¹: naide.kosan@samsun.edu.tr , E-mail ²: fbeyhan@gazi.edu.tr

Abstract

Life cycle assessment (LCA) is a scientific method for quantitatively assessing the environmental, social and economic impacts associated with a product, process or service throughout its life cycle. It is complex and time-consuming as it requires the processing of a large number of data and assumptions. "LCA databases" and "LCA software tools" are being developed to reduce this effort and time. With the increasing interest in the LCA method for the Turkish construction industry, the "TLCID" and "TurComDat" databases has been prepared; however, the software tool to use these databases have not yet been developed. This situation reveals the need for a guiding "decision support mechanism" for the selection of the most appropriate database and software tool to be used. In this study, databases and software tools were critically reviewed to determine their possible adaptation to the Turkish construction industry. It was concluded that the "SimaPro" software tool, which enables international use, and the "Ecoinvent" database supported by the software can be adapted and used with Turkey's energy average and water data. With this study, it is aimed to create guiding evaluations for the choices to be made within the scope of LCA.

Keywords: Life Cycle Assessment; LCA; LCA Software Tools; LCA Databases; Building Industry.

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Yönteminde Veri Tabanının ve Yazılım Aracının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma: Türkiye Yapı Endüstrisi Örneği

Özet

Yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) bir ürün, süreç ve hizmet ile ilişkili; yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerin nicel olarak değerlendirilmesinde kullanılan bilimsel bir yöntemdir. Çok sayıda veri ve varsayımın işlenmesini gerektirdiği için karmaşık ve zaman alıcıdır. Harcanan bu çaba ve süreyi azaltmayı amaçlayan "YDD veri tabanları" ve "YDD yazılım araçları" geliştirilmektedir. YDD yöntemine olan ilginin Türkiye yapı endüstrisi için artması ile, "TLCID" ve "TurComDat" veri tabanları hazırlanmış; ancak bu veri tabanlarının kullanılabilmesi için yazılım aracı henüz geliştirilmemiştir. Bu durum, kullanılacak en uygun veri tabanı ve yazılım aracının seçimine yönelik yol gösterici "karar destek mekanizması" ihtiyacını ortaya koymaktadır. Çalışmada, Türkiye yapı endüstrisine olası adaptasyonlarını belirlemek üzere, veri tabanları ve yazılım araçlarına yönelik eleştirel inceleme yapılmıştır. Uluslararası kullanım olanağı sağlayan "SimaPro" yazılım aracının ve yazılımın desteklediği "Ecoinvent" veri tabanının, Türkiye enerji ortalaması ve su verileri ile uyarlanarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Çalışma ile, YDD kapsamında yapılacak seçimlere yönelik yol gösterici değerlendirmelerin oluşturulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi; YDD; YDD Yazılım Araçları; YDD Veri Tabanları; Yapı Endüstrisi.

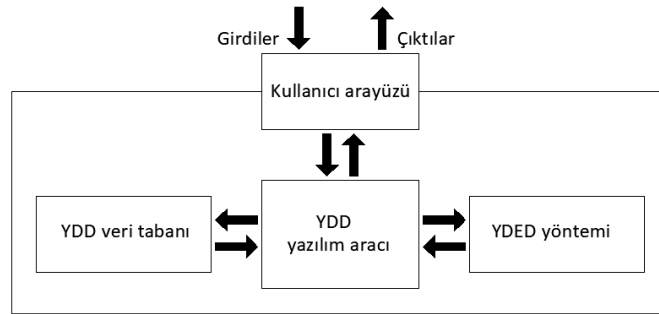
1. Giriş

Yaşam döngüsü; bir ürünün / ürün sisteminin, ham madde çıkarılmasından veya doğal kaynaklardan üretiminden nihai bertarafına kadar birbirini takip eden ve birbiriyle bağlantılı olan evrelerin tümünü ifade etmektedir (ISO, 2006a). Yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) ise; ürünlerin / ürün sistemlerinin yaşam döngüleri boyunca sebep olacağı çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri daha iyi anlamak ve nicel olarak değerlendirmek için kullanılan geniş bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (ISO, 2006a; ISO, 2006b). Bu yöntem, dört aşamalı yinelemeli bir prosedürden oluşmaktadır (ISO, 2006a): amaç ve kapsam tanımı (AKT), yaşam döngüsü veri çözümlemesi (YDVÇ), yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (YDED), yaşam döngüsü yorumu (YDY). AKT, YDD çalışmasının amacı ve çalışma kapsamı ile ilgili bilgi ve varsayımları içermektedir. YDVÇ, veri toplama adıdır. Bu aşamada, ürün / ürün sistemine ait tedarik zincirindeki çeşitli süreçleri içeren tüm girdi ve çıktı akışlarının bir envanteri çıkarılmaktadır. YDED, ürün / ürün sistemi

akışlarının çevresel etkilerini kategorize etmek ve tanımlamak için mevcut bilimsel yöntemlerin uygulanmasına karşılık gelmektedir. YDVÇ aşamasından elde edilen veriler ile beslenen bu aşama, YDY aşamasını besleyecek etki değerleri ile sonuçlanmaktadır. YDY ise, YDD çalışmasının AKT'ye göre sonuçlarını göstermektedir.

Uluslararası Standartlar Örgütü standartları (ISO, 2006a; ISO, 2006b) ile uyumlu bir YDD çalışmasında, çok sayıda veri ve varsayımın işlenmesi gerekmektedir. YDD çalışmasını karmaşık ve zaman alıcı hale getirebilen bu durumu çözmek için "YDD veri tabanları" oluşturulmaktadır. Öte yandan, sebep olunacak çevresel etkinin hesaplanabilmesi için birbirinden farklı "YDED yöntemleri" de geliştirilmektedir. YDD veri tabanı ve YDED yöntemi arasındaki ilişkiyi sağlamak için ise, "YDD yazılım araçları" kullanılmaktadır.

YDD sonucuna ulaşabilmek ve sonuçları yorumlayabilmek için, YDD yazılım aracının temel çalışma yapısının anlaşılması çok önemlidir (Şekil 1). Temel olarak, öncelikle; YDD çalışması yapmak üzere seçilen ürün, bir miktarlar listesine dönüştürülerek girdiler oluşturulmaktadır. Oluşturulan girdiler, YDD yazılım aracındaki YDD veri tabanı ve YDED yöntemleri ile ilişkilendirilmekte; YDED sonucunda elde edilen çıktılar ise kullanıcı arayüzüne sunulmaktadır (Bayer vd., 2010: 74).



Şekil 1. YDD'de Kullanılan Bir Yazılım Aracının Temel Çalışma Yapısı

Son dönemlerde yapı endüstrisi üzerinden yapılan çalışmalarda, hem harcanan enerji ve malzemeyi hem de çevre kirliliğini azaltmak amacıyla; diğer dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de YDD yöntemine olan ilgi artmıştır (Benli Yıldız vd., 2020; Duru ve Koç, 2021; Kara ve Tuna Kayılı, 2021; Afara et al., 2024; Amen et al., 2024). Ancak, Türkiye yapı endüstrisi açısından gerçekleştirilecek YDD çalışmaları için hangi veri tabanı ve yazılım aracının uygun olduğuna dair herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Öte yandan, mevcut veri tabanları ve yazılım araçları sürekli güncellenerek geliştirilmektedir. Ayrıca, gün geçtikçe yeni veri tabanları ve yazılım araçları oluşturulmaktadır. Bu durum, konu ile ilgili sürekli olarak güncel bir inceleme yapılmasını gerektirmektedir.

Çalışmada, "Türkiye yapı endüstrisi için uygulanacak çevresel YDD çalışmaları için kullanılacak en uygun YDD veri tabanı ve YDD yazılım aracı seçimine yönelik kriterler belirlenebilir mi?" sorusu araştırılmış; her biri farklı özellik gösteren veri tabanı ve yazılım araçlarından hangilerinin kullanılacağına yönelik karar desteği sağlamak adına, seçim kriterlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, Türkiye yapı endüstrisindeki YDD çalışmalarına olası adaptasyonunu belirlemek için veri tabanları ve yazılım araçlarının eleştirel incelemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma; YDD veri tabanları ve YDD yazılım araçları seçiminde, yol gösterici karar destek mekanizması oluşturması açısından önemlidir.

2. Yöntem

Çalışma, yapı endüstrisi ile ilgili YDD veri tabanları ve YDD yazılım araçlarına ilişkin araştırmayı kapsamaktadır. İlk bölümde (Literatür Araştırması), kapsamlı bir çalışma sağlamak amacıyla literatür araştırması gerçekleştirilmiş; YDD veri tabanı ve YDD yazılım aracı seçimlerine yönelik kriterler belirlenmiştir. İkinci bölümde (Bulgular), elde edilen bilgiler doğrultusunda en önemli seçim kriterleri belirlenmiş; en sık kullanılan ve Türkiye yapı endüstrisine olası adaptasyon potansiyelini içeren veri tabanları ve yazılım araçları bu en önemli kriterler altında incelenmiştir. Üçüncü bölümde (Tartışma ve Sonuçlar), sonuçlar tartışılarak değerlendirilmiş; Türkiye yapı endüstrisi için en uygun YDD veri tabanı ve YDD yazılım aracının ne olduğu belirtilmiştir. Dördüncü bölümde (Sonuç ve Öneriler) ise, bu makalenin ana katkıları belirtilmiş; konu ile ilgili öneriler sunulmuştur.

3. Literatür Araştırması

3.1. YDD Veri Tabanları

YDD çalışmalarında; çalışmanın doğruluğu sağlamak için, daha iyi temellere dayanan veri kaynaklarına, dolayısıyla da güvenilir bir veri tabanı seçimine ihtiyaç duyulmaktadır (Martínez-Rocamora vd., 2016). YDD çalışmalarında kullanılması üzere, YDD veri tabanlarının seçimi için kullanıcılara karar desteği sağlayabilecek kriterler şunlardır:

- **Veri Tabanı Kapsamı:** Veri tabanları içerisindeki veriler, herhangi bir ülkede veya bölgede yer alan nitelikler (örneğin; enerji kaynakları, tedarik varsayımları, ürün özellikleri, üretim farklılıkları, ekonomik faaliyetlerdeki komplikasyonlar) üzerinden elde edilmektedir (Menzies vd., 2007). Tek bir ülkeye veya bölgeye ait verileri barındıran veri tabanları (örneğin, Athena) olduğu gibi; farklı ülkelere veya bölgelere ait verilerin tümünü içinde barındıran ve daha geniş veri olanağı sunan veri tabanları (örneğin, Ecoinvent) da bulunmaktadır.
- **Odak Konusu:** Veri tabanı içerisindeki ürünlerin hangi sınıflandırma başlıklarında (örneğin; yapı malzemeleri, ulaşım) ele alındığını belirtmektedir.
- **İçerdiği Veri Türü:** Veri türleri; çevresel, ekonomik veya sosyal olarak çeşitlenmektedir. Çevresel YDD çalışmaları için çevresel veri türü, ekonomik YDD çalışmaları için ekonomik veri türü, sosyal YDD çalışmaları için ise sosyal veri tabanı türü kullanılmaktadır.
- **Güncel Sürüm Olma Durumu:** Malzeme teknolojilerinin ve enerji kaynaklarının her geçen gün değişmesi ve gelişmesi, veri tabanlarının sürekli olarak güncellenmesini gerektirmektedir. Güncel sürümde olan veri tabanının kullanılması ise, YDD çalışması yapılan ürün sistemine ait daha güncel ve doğru verilere erişebilmemizi sağlamaktadır.
- **Lisans Durumu:** Veri tabanına erişmek için gereken ücretli bir lisansın gerekli olup olmadığını belirtmektedir (Martínez-Rocamora vd., 2016).
- **Erişim Durumu:** Verilere nasıl ulaşılabildiğine ilişkin açıklamalar içermektedir. Bazı veri tabanlarına çevrimiçi şekilde ilgili web sitesine giriş yapılarak erişilebiliyorken; bazı veri tabanlarına ise bilgisayara farklı formatlarda (örneğin, Excel) indirilip ulaşılabilmektedir (Pagnon vd., 2020).
- **Ürün Kapsamı:** Veri tabanında yer alan ürün sayısı ve içerdiği ürün kategorileri (örneğin; metaller, plastikler, ahşap, beton) bilgilerini açıklamaktadır (Martínez-Rocamora vd., 2016).
- **Veri Formatı:** Veri tabanları içerisinde yer alan veri setlerinin bazıları sadece görüntülenebilir özellikte iken, bazıları ise farklı dosya formatlarında indirilebilme imkanı sunmaktadır. En yaygın kullanılan formatlar, bilgisayarlar tarafından okunabilen XML veya Excel formatlarına dayanmaktadır (Pagnon vd., 2020).
- **Kullanıldığı YDD Yazılım Araçları:** Veri tabanının, hangi YDD yazılım aracı içine eklenip kullanılabileceğini belirlemektedir. Veri formatı ile doğrudan ilişkilidir.
- **Şeffaflık / Tutarlılık / Kapsamlılık Durumu:** Şeffaflık, veri çözümlemesinin ve akış diyagramlarının izlenebilirliğini sağlamaktadır. Her bir veri tabanı için, şeffaflık durumunun kontrol edilebildiği belge ve bu belge içerisinde sunulan bilgiler farklılık gösterebilmektedir. Tutarlılık, veri içeriğinde yer alan bilgilerin birbirini destekler şekilde uyumlu olup olmadığını göstermektedir. Kapsamlılık, bilginin eksiksizliğini sağlamak üzere bütünlüğünü ölçmeyi sağlamaktadır. Verilerde değişiklik yapmak ve verileri diğer çalışmalara uyarlamak için bu üç husus önemlidir (Martínez-Rocamora vd., 2016).

3.2. YDD Yazılım Araçlarına İlişkin Temel Özellikler

YDD çalışmalarında; hem veri ve varsayımları işlerken hem de YDED gerçekleştirirken harcanan çabayı ve süreyi azaltmak için, çalışma amacına uygun bir YDD yazılım aracı seçimine ihtiyaç duyulmaktadır (Péchenart ve Roquesalane, 2014). YDD çalışmalarında kullanılması üzere, YDD yazılım araçlarının seçimi için kullanıcılara karar desteği sağlayabilecek kriterler şunlardır:

- **Uygulama Düzeyi:** Kullanım amacını ifade etmektedir. Yapı endüstrisi açısından üç düzeyde ele alınabilmektedir: düzey 1 (ürün düzeyi), düzey 2 (montaj düzeyi / bina bileşen grubu), düzey 3 (tüm bina düzeyi). Düzey 1, ürün araçları oluşturmada kullanılmaktadır. Temel yapıları ve işlevleri açısından yeterince benzer olan ürünleri, bir yapı bağlamında karşılaştırırlarsa değerli bir hizmet sağlayabilir (Bayer vd., 2010: 75). Bu düzeyde yer alan yazılım araçlarını kullanarak yapı elemanı ve binalara yönelik YDD'ler gerçekleştirmek mümkündür. Ancak, bu büyük bir çaba gerektirmektedir. Çünkü, yapı elemanları veya bina bileşenleri için ön yapılar yoktur, dolayısıyla her şeyin küçük parçalar halinde tasarlanması gerekmektedir (Bach vd., 2019). Düzey 2, yapı elemanı veya malzeme seçimine yönelik olan karar destek araçlarıdır. Yeni bir veri girişi için elverişli olmayan araçlardır; içerisine tanımlı veri tabanları ile değerlendirme gerçekleştirilmektedir (Günaydın, 2011: 38). Düzey 3, tüm sistemleri ve montajları bir araya getirmenin çevresel etkisini değerlendirmektedir (Bayer vd., 2010: 75). Bütüncül bir değerlendirmeye yönelik, tüm binayı değerlendiren ve sertifikalandıran karar destek araçlarıdır (Günaydın, 2011: 38). Bu uygulama düzeyleri arasından en basitleştirilmiş araçlar, düzey 3 içerisinde yer almaktadır. Ara ürün gibi bilgilerin, yazılım aracı sisteminin arka planında detaylandırıldığı ve kullanıcının buna dair fazla müdahale gerçekleştirmediği araçlardır. Öte yandan; bu uygulama düzeyleri kesin değildir, yani bazı yazılım araçlarının (örneğin; SimaPro) birden fazla uygulama düzeyi özelliği bulunabilir (Bayer vd., 2010: 74).
- **Kullanıcı Arayüzü Algısı:** YDD yazılım araçları, karmaşık yapısına göre kullanıcı dostu veya kullanıcı dostu olmayan arayüzlere sahip olabilir. Bu nedenle belirli kullanım becerisi ihtiyacını gerektirmekte; bu kullanım becerisi ihtiyacına göre de, YDD uygulayıcıları (örneğin, YDD veri tabanı geliştiricileri) için ve genel kullanıcılar

(örneğin, mimarlar) için olmak üzere kategorize edilebilmektedir (Meex vd., 2018). YDD uygulayıcıları için olan YDD yazılım araçları; kullanıcı tanımlı veya önceden tanımlanmış birim süreçlere (örneğin; standart nakliye, enerji üretimi) yönelik, gerekli analitik ve hesaplama çerçevelerini sağlayarak değerlendirme yapılmasında yardımcı olmaktadır. Böylelikle, kullanıcı tarafından güncellenerek değiştirilebilen YDD veri tabanları üretilmektedir. Bu yazılımlar sonucunda elde edilen veriler, daha karmaşık yapıdaki YDD çalışmalarını kolaylaştırmaktadır. Bu araçları kullanarak bütün bir binanın YDD'sini gerçekleştirmek, karmaşık süreçler içerdiği için yorucu olmaktadır. Genel kullanıcılar için olan YDD yazılım araçları ise; tüm temel YDD işlemlerini arka planda gerçekleştirmektedir. Çoğu durumda, YDD veri tabanları kilitlenerek kullanıcı tarafından değiştirilmesi engellenmektedir. Değerlendirme yaparken yapılandırmaya ihtiyaç duymama durumu ise, kullanıcı dostu bir arayüze sahip olmasını sağlamaktadır (Bayer vd., 2010: 75-76).

- **Yazılım Kökeni:** YDD yazılım araçları; kullanıcılardan, bina konumu gibi bilgilerin girilmesini isteyebilir. Ulusal nitelikte olan yazılım araçlarında, bu durum; elektrik şebekesi, yapı malzemelerinin kaynağı, nakliye türü ve mesafeleri gibi özellikleri belirlemek için gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, bu yazılım araçlarının kendi yapısına kilitlenmiş bir YDD veri tabanı vardır; bu nedenle, diğer veri tabanları ile genellikle uyumlu değildir. Belirli bir ülkeye / bölgeye özgü olan bu tür araçların (örneğin, Athena), sadece sahip olduğu ülkeye yönelik olan YDD çalışmalarında kullanılması gerekmektedir. Bunun yanında, uluslararası nitelikte olan yazılım araçları da vardır. Bu yazılım araçları, farklı veri tabanlarına olan bağlantılarında daha uyumludur ve bu nedenle bölgeye özgü değildir (Bayer vd., 2010: 76). Yazılım aracı yapısına, genellikle farklı ulusal YDD veri tabanları tanımlanarak YDD çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Bu doğrultuda; YDD çalışmasının yapıldığı konuma göre varsa ulusal YDD yazılım araçlarının kullanılması gerekmektedir. Yoksa da, uluslararası nitelikte olan YDD yazılım araçları seçilerek ve bu yazılım aracı içerisine kendi ulusal YDD verilerini tanımlayarak çalışma gerçekleştirilebilir.
- **Odak Konusu:** YDD yazılım araçları; ürün (örneğin, yapı malzemesi), montaj (örneğin; duvar katmanları montajı), bina, mevcut bina, altyapı gibi farklı odak konularının birini, birkaçını veya tümünü destekleyebilmektedir.
- **Gerçekleştirdiği YDD Türü:** Çevresel, ekonomik veya sosyal YDD çalışma türlerinin birini, birkaçını veya tümünü destekleyebilme durumunu göstermektedir.
- **Güncel Sürüm Olma Durumu:** YDD yazılım araçlarının en güncel sürümüne sahip olması, güncel verileri ve geliştirilen YDED yöntemlerini içerdiğini göstermektedir. Geliştiriciler (örneğin, YDD yazılım şirketi mühendisleri) sayesinde yazılım araçları sürekli olarak güncellenmektedir.
- **Lisans Durumu:** YDD yazılım aracına erişmek için gereken ücretli bir lisansın gerekli olup olmadığını belirtmektedir. Kullanılması üzere ücret talep eden, ücret talep etmesine rağmen deneme yapılabilmesi üzere bir süreliğine ücretsiz erişim sağlayabilen veya ücretsiz sınırsız erişim sağlayabilen yazılım araçları bulunabilmektedir (Prideaux vd., 2022).
- **Erişim Durumu:** YDD verilerinin nasıl işlendiğine ilişkin açıklamalar içermektedir. Bazı YDD yazılım araçları çevrimiçi şeklinde ilgili web sitesine giriş yapılarak kullanılabilirken (web tabanlı yazılım); bazı YDD yazılım araçları ise masaüstü uygulama ile bilgisayara indirilip yüklenilmesini gerektirmektedir. Öte yandan, hem web hem de masaüstü erişim sağlayan yazılım araçları da bulunmaktadır.
- **YDD Yaklaşımı ve Dahil Olabilen Yaşam Döngüsü Evreleri:** YDD yazılım araçlarının tümü, beşikten mezara yaklaşım ile YDD gerçekleştiremeyebilir (Bayer vd., 2010: 76). Bu nedenle; YDD çalışma amacına yönelik belirlenen sistem sınırları çerçevesinde, hangi yaklaşım kullanılması gerektiği ve YDD yazılım aracının bu yaklaşımdaki yaşam döngüsü evrelerini destekleyip desteklemediği iyi analiz edilmelidir (Prideaux vd., 2022).
- **Kapsamı:** Kendi bünyesinde sahip olduğu YDD veri tabanları ile hazır YDED yöntemleri sayısını ve kategorilerini belirtmektedir.
- **Veri Dosya Formatı:** YDD yazılım araçlarının desteklediği veri seti dosya biçimlerini belirtmektedir (Silva vd., 2017).
- **Desteklediği YDD Veri Tabanları ve Farklı YDD Veri Tabanı / Yeni Veri Tanımlama Özelliği:** YDD yazılım araçları, kendi bünyesinde YDD veri tabanları içerebilir (Bach vd., 2019). Bunun yanında, farklı YDD veri tabanları veya yeni veri tanımlamayı sağlayan YDD yazılım araçları da bulunmaktadır. Farklı YDD veri tabanı eklemeye fırsat veren yazılım araçlarında, veri seti dosya formatlarının uyumlu olması gerekmektedir (Xicotencatl vd., 2023). Bu durum, YDD yazılım araçlarının, desteklediği veri dosya formatlarına göre YDD veri tabanlarını çalıştırdığı göstermektedir.
- **İçerdiği YDED Yöntemleri ve Yeni YDED Yöntemi Tanımlama / Mevcut YDED Yöntemi Değiştirme Özelliği:** YDD yazılım araçları, kendi bünyesinde YDED yöntemleri içerebilir. Bunun yanında, farklı YDED yöntemleri tanımlanabilir veya mevcut yöntemlerin değiştirilebilmesi durumu da gerçekleştirilebilmektedir.

- **YDD Sonuçlarının Sunum Formatı:** YDD sonuçlarının, kullanıcı arayüzünde nasıl sunulduğuna (örneğin; grafikler ve / veya yazılı rapor) ilişkin açıklamalar içermektedir (Silva vd., 2017).
- **YDD Sonuçlarının Belirsizlik ve Duyarlılık Analizi İle Desteklenmesi Durumu:** Her bir yazılım aracında, YDD sonuçlarının belirsizliğini ve herhangi bir birim işleme yönelik duyarlılığını yönetebilme durumu hakkında bilgi sunmaktadır (Silva vd., 2017).
- **Kullanıcılar İçin Sağlanan Eğitim Destekleri:** Bir teknik destek kanalının, kılavuzların veya video eğitimlerinin var olup olmadığını belirtmektedir (Silva vd., 2017).

4. Bulgular

4.1. YDD Veri Tabanlarının Karşılaştırılması

Bina bileşenleri ve binalar birçok malzemeden oluşan karmaşık ürünlerdir. Bu nedenle, YDD'lerin oluşturulması arka plan veri seçimine daha duyarlı olabilmektedir. Dolayısıyla, yapı malzemelerine / ürünlerine ilişkin sağlam temellere dayanan en uygun YDD veri tabanının kullanılması, YDD çalışmaları için bir ön koşuldur. Bu noktada, kullanılmasına üzere seçilen YDD veri tabanlarının YDD yazılım araçlarına uyumluluğu ise çok önemlidir. Literatür araştırmasından (Bölüm 3.1) elde edilen bilgilere göre, YDD yazılım araçları ile ilişkili bu uyumluluğu sağlayacak en önemli seçim kriterleri şunlardır: veri tabanı kapsamı, veri formatı, kullanıldığı YDD yazılım araçları. Tablo 1, en sık kullanılan ve Türkiye yapı endüstrisine olası adaptasyon potansiyelini içeren YDD veri tabanlarının bu kriterler doğrultusundaki karşılaştırmasını içermektedir.

Tablo 1. YDD veri tabanları karşılaştırması.

YDD VERİ TABANI	VERİ TABANI KAPSAMI	VERİ FORMATI		KULLANILDIĞI YDD YAZILIM ARAÇLARI
		VERİ SETİ FORMATI	VERİ DOSYA FORMATI	
Ecoinvent ¹	Avrupa	Belirtilmemiş	ecoSpold, XML, Excel	SimaPro, Sphera, Umberto, openLCA
GaBi ²		Belirtilmemiş	Belirtilmemiş	Sphera, openLCA
U.S. LCI ³	Amerika	Sadece Kanada ve ABD Bölgesi verilerini içerdiği için detaylı olarak incelenmemiştir.		
Athena ⁴				
TurCoMDat ⁵	Türkiye	XML, CSV, SimaPro desktop	PDF, XML, Online, ILCD+EPD	-
TLCID ⁶		SimaPro	Online (kısıtlı)	SimaPro

¹ <https://ecoinvent.org/>

² <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-database/>

^{3,4} Martínez-Rocamora vd., 2016

⁵ <https://turcomdat.com/>

⁶ <https://tlcid.org/>

YDED'de önemli farklılıklar oluşturma durumundan kaynaklı ülkeler, kendi ulusal verilerini oluşturmaktadır. Türkiye'de buna dair geliştirilmekte olan iki YDD veri tabanı bulunmaktadır (Url-1): Türkiye Yapı Malzemeleri Çevresel Performans Veri Tabanı (TurCoMDat), Türkiye Yaşam Döngüsü Veri Tabanı (TLCID). TurCoMDat, en yaygın kullanılan veri kaynakları arasında yer alan Çevresel Ürün Beyanları (EPD)'ndan oluşmaktadır. EPD verileri, her ne kadar birçok çevrimiçi kaynaktan bulunması rağmen, çoğu durumda henüz makine tarafından okunabilir bir formatta değildir (Pagnon vd., 2020). Bu durum, YDD yazılım araçları içine eklenmesinde problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle, TurCoMDat veri tabanının herhangi bir YDD yazılım aracı içinde kullanımı şu anlık mümkün değildir. TLCID ise, SimaPro yazılım aracı ile uyumludur; ancak, az sayıda (400) ürün için veri olanağı sunmaktadır (Url-2). Bu da yapılacak YDD çalışmasının kapsamını sınırlandırmaktadır.

Ulusal veri tabanları dışında, bölgesel kapsamda olan Avrupa ve Amerika verileri de yer almaktadır. En sık kullanılan Avrupa veri tabanları, Ecoinvent ve GaBi'dir. Ecoinvent, yapı endüstrisi de dahil olmak üzere birçok farklı alanlarda 20.000'den fazla veri seti ile şeffaf ve kapsamlı YDD veri tabanı sağlama konusunda en büyük ve en tutarlı veri tabanı olarak geniş çapta tanınmaktadır (Pan ve Teng, 2021; Url-3). GaBi ise, 12.000 veri seti ile Ecoinvent veri tabanından sonra en fazla veri içeren bir diğer veri tabanıdır (Url-4). Öte yandan, en sık kullanılan Amerika veri tabanları; U.S. LCI ve Athena'dır. Bu veri tabanları, sadece Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri Bölgesine ait verileri içerdiği için Türkiye için kullanılamamaktadır (Martínez-Rocamora vd., 2016).

4.2. YDD Yazılım Araçlarının Karşılaştırılması

YDD yazılım aracı, YDED sonucunu elde etmek için YDD veri tabanı ve YDED yöntemleri ile ilişkilendirilmeyi sağlamaktadır (Şekil 1). Literatür araştırmasından (Bölüm 3.2) elde edilen bilgilere göre, YDD veri tabanları ile ilişkili bu uyumluluğu sağlayacak en önemli seçim kriterleri şunlardır: uygulama düzeyi, yazılım kökeni, veri dosya formatı, desteklediği YDD veri tabanları ve farklı YDD veri tabanı / yeni veri tanımlama özelliği. Tablo 2, en sık kullanılan ve Türkiye yapı endüstrisine olası adaptasyon potansiyelini içeren YDD yazılım araçlarının bu kriterler doğrultusundaki karşılaştırmasını içermektedir.

Tablo 2. YDD yazılım araçları karşılaştırması.

YDD YAZILIM ARACI	UYGULAMA DÜZEYİ	YAZILIM KÖKENİ	VERİ DOSYA FORMATI	DESTEKLEDİĞİ YDD VERİ TABANLARI	FARKLI YDD VERİ TABANI / YENİ VERİ TANIMLAMA ÖZELLİĞİ
SimaPro ¹	Düzen 1 (ürün düzeyi)	Hollanda	CSV, XML, Excel formatı (XLSX)	Ecoinvent, European and Danish Input Output database, Industry data 2.0, USLCl, Agri-footprint	Var
Sphera ² (Eski adı: GaBi)		Almanya	Belirtilmemiş	Environmental Footprint (EF), GaBi datasets	Belirtilmemiş
Umberto ³			Belirtilmemiş	Ecoinvent, Integrated LCI databases, USLCl, Carbon Minds, cm.chemicals	Belirtilmemiş
openLCA ⁴			CSV	OzLCI2019, EF, EXIOBASE, ARVI, AGRIBALYSE, NEEDS, ELCd, BioEnergieDat	Var
eConLCA ⁵ (Geliştirilme aşamasında)		Türkiye	CSV, XML, Excel formatı (XLSX), SimaPro formatı	Ecoinvent, UKCoMDat	Var
Envest ⁶	Düzen 2 (montaj düzeyi / bina bileşen grubu)	İngiltere	Bina montajlarını / bina bileşen gruplarını değerlendirmek amaçlı kullanılmaktadır. Sadece ulusal kullanım olanağı sunmaktadır. Türkiye için bu düzeyde herhangi bir yazılım aracı bulunmadığı için detaylı olarak incelenmemiştir.		
BEES ⁷		ABD			
Athena ⁸		Kanada			
BREAM ⁹	Düzen 3 (tüm bina düzeyi)	İngiltere	Tüm binanın derecelendirilmesi amaçlı bina sertifikalandırılmasında kullanılmaktadır. Hem ulusal hem de uluslararası kullanım olanağı sunmaktadır. Türkiye için bu düzeyde iki adet araç bulunmaktadır. Yes-TR aracı, B.E.S.T aracına kıyasla daha güncel ve kapsamlıdır.		
DGNB ¹⁰		Almanya			
LEED ¹¹		ABD			
B.E.S.T ¹²		Türkiye			
Yes-TR ¹³					

¹ <https://simapro.com/>² https://sphera.com/product-sustainability-software/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F³ <https://www.ifu.com/umberto/>⁴ <https://www.openlca.org/>⁵ <https://www.theepdregistry.com/econlca/>⁶ <http://clarityenv.com.au/envest/>⁷ <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>⁸ <https://www.athenasmi.org/what-we-do/lca-data-software/>⁹ <https://bregroup.com/products/breem/>¹⁰ <https://www.dgnb.de/en/certification/buildings>¹¹ <https://www.usgbc.org/leed>¹² <https://www.cedbik.org/yesilbina>¹³ <https://yestr.org/>

Uygulama düzeyi açısından düzen 1'e bakıldığında; SimaPro (SimaPro Cloud)'nun alt yapısından Türkiye'deki kullanım için geliştirilen eConLCA yazılım aracının içine henüz Türkiye ulusal YDD veri tabanı (TurCoMDat) tanımlanamadığı için Türkiye'deki kullanımının şu anlık mümkün olmadığı ve geliştirilme aşamasında olduğu söylenebilir (Url-5).

Geliştirilmekte olan ulusal yazılım aracı dışında, farklı ulusal veri tabanlarını eklenmesini destekleyerek uluslararası kullanım olanağı sağlayan yazılım araçları da yer almaktadır. Dünyada en geniş kullanım olanağı sunan bu yazılım araçlarının; SimaPro, Sphera (Eski adı: GaBi), Umberto ve OpenLCA olduğu söylenebilir (Silva vd., 2017; Silva vd., 2019). SimaPro, karmaşık bina modelleriyle baş etmede daha esnek ve 80'den fazla ülkede kullanılmaktadır. Sphera, daha çok Amerika Birleşik Devletleri'ne özgü veri elde edilmesini sağlamaktadır. Umberto, ağırlıklı olarak Almanya ve birçok Latin Amerika ülkesindeki kullanıcılar için geçerlidir. OpenLCA ise, verilerin güvenilirliğini garanti etmemektedir (Pan ve Teng, 2021).

Düzen 2 için geliştirilen yazılım araçları, sadece ulusal kullanım olanağı sağlamaktadır ve Türkiye için bu düzeyde herhangi bir yazılım aracı bulunmamaktadır.

Düzen 3 için geliştirilen ve bina sertifikalandırılmasında kullanılan araçlar, hem ulusal hem uluslararası kullanım olanağı sağlamaktadır. Türkiye için bu düzeyde, B.E.S.T ve Yes-TR olmak üzere iki adet araç bulunmaktadır (Url-6).

5. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışma sonucunda, Türkiye yapı endüstrisi için uygulanacak çevresel YDD çalışmalarında kullanılması üzere, YDD veri tabanlarının ve YDD yazılım araçlarının seçimi için kullanıcılara karar desteği sağlayabilecek kriterler belirlenmiştir. YDD veri tabanı seçimine yönelik kriterler; veri tabanı kapsamı, odak konusu, içerdiği veri türü, güncel sürüm olma durumu, lisans durumu, erişim durumu, ürün kapsamı, veri formatı, kullanıldığı YDD yazılım araçları, şeffaflık / tutarlılık / kapsamlılık durumu'dur. YDD yazılım aracı seçimine yönelik kriterler ise; uygulama düzeyi, kullanıcı arayüzü algısı, yazılım kökeni, odak konusu, gerçekleştirdiği YDD türü, güncel sürüm olma durumu, lisans durumu, erişim durumu, YDD yaklaşımı ve dahil olabilen yaşam döngüsü evreleri, kapsamı, veri dosya formatı, desteklediği

YDD veri tabanları ve farklı YDD veri tabanı / yeni veri tanımlama özelliği, içerdiği YDED yöntemleri ve yeni YDED yöntemi tanımlama / mevcut YDED yöntemi değiştirme özelliği, YDD sonuçlarının sunum formatı, YDD sonuçlarının belirsizlik ve duyarlılık analizi ile desteklenmesi durumu, kullanıcılar için sağlanan eğitim destekleri'dir.

Türkiye yapı endüstrisi için uygulanacak çevresel YDD çalışmalarında, TurCoMDat veri tabanının herhangi bir YDD yazılım aracı içinde kullanımının şu anlık mümkün olmaması ve TLCID veri tabanının az sayıda ürün için veri olanağı sağlaması problemlerine karşın; çok sayıda veri içeren Ecoinvent veri tabanının kullanılmasının avantaj oluşturacağı düşünülmektedir. Ecoinvent veri tabanı içerisinde, mevcutta, Türkiye'ye ait ulusal ürün verileri bulunmamaktadır. Ancak, Türkiye enerji ortalaması ve su verileri yer almaktadır. Bu nedenle, Türkiye yapı endüstrisi için yapılacak çevresel YDD çalışmalarında; Ecoinvent veri tabanı içerisindeki Avrupa'ya ait bölgesel / kıtalararası veriler (Avrupa ülkeleri ortalaması olan "RER" verileri, İsviçre ortalaması olan "CH" verileri, İsviçre haricindeki Avrupa ülkeleri ortalaması olan "Europe without Switzerland" verileri), Türkiye enerji ortalaması ve su verileri ile uyarlanarak (ürün verileri içinde yer alan enerji ve su verileri, Türkiye enerji ve su verileri ile değiştirilerek) kullanılabilir (Şekil 2). Ancak, bu durumun, veri kalite gerekleri kapsamında, YDD çalışmasının AKT aşamasında kesinlikle belirtilmesi gerekmektedir.

Products								
Outputs to technosphere: Products and co-products								
	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment	
Akrilik Kopolimer Esaslı Su Bazlı Ahşap Koruyucu / Vernik Kaplama	1	kg	Mass	100 %	Paint	Construction/Paints/Transformation		
Add								
Outputs to technosphere: Avoided products								
	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment	
Add								
Inputs								
Inputs from nature								
	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Water, unspecified natural origin, TR	in water	0,000235	m3	Lognormal	1,5638999999999999			*DEĞİŞTİRİLEN VERİ: RER verisi ile değiştirildi.
Add								
Inputs from technosphere: materials/fuels								
Ammonia, anhydrous, liquid [RER] market for ammonia, anhydrous, liquid Conseq, U		0,00125	kg	Lognormal	1,5638999999999999			
Chemical factory, organics [RER] construction Conseq, U		4,0E-10	p	Lognormal	3,7117			
Ethylene glycol [GLO] market for Conseq, U		0,05	kg	Lognormal	1,5638999999999999			
Titanium dioxide [RER] market for Conseq, U		0,2	kg	Lognormal	1,5638999999999999			
Tap water [RER] market group for Conseq, U		0,1428571428571429	kg	Lognormal	1,5638999999			*EKLENİLEN VERİ: %12,5 su verisi eklendi.
Add								
Inputs from technosphere: electricity/heat								
Electricity, medium voltage (TR) market for Conseq, U		0,3	kWh	Lognormal	1,5638999999999999			*DEĞİŞTİRİLEN VERİ: RER verisi ile değiştirildi.
Add								
Outputs								
Emissions to air								
	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment

Şekil 2. Ecoinvent Veri Tabanı İçerisinde Yer Alan Bir Ürüne Ait Verilerin Türkiye Enerji Ortalaması ve Su Verileri İle Uyarlanması (Uyarlanan veriler kırmızı dikdörtgen içinde belirtilmiştir)

Sunulan çözüm yolu, Aral (2012)'in "İzmir'de çok katlı bir konut yapısının yaşam döngüsü çevresel etki değerlendirmesi" adlı yüksek lisans çalışmasında izlenen yol ile örtüşmektedir. Ecoinvent veri tabanı ve SimaPro yazılım aracının kullanıldığı çalışmada; veri tabanı olarak, Türkiye'nin enerji verisi yerel girdi şeklinde oluşturulmuştur. Bu çalışma ile temel farkı ise; bu çalışmada, enerji ortalaması yanında su verilerinin de değiştirilmesi gerektiğidir.

Türkiye yapı endüstrisi için uygulanacak çevresel YDD çalışmalarında, eConLCA yazılım aracı henüz geliştirilme aşamasında olduğu için şu anlık kullanımı mümkün olmaması problemine karşın ise; Ecoinvent veri tabanını içinde barındırabilen ve dünyada en geniş kullanım olanağı sunan SimaPro yazılım aracının kullanılmasının avantaj oluşturacağı düşünülmektedir. YDD uygulama düzeyi açısından düzey 1 ve düzey 2 için sunulan bu çözüm yolu, Aral (2012)'in yüksek lisans çalışmasında izlediği yol ile örtüşmektedir. Düzey 3 için ise, Türkiye için bu düzeyde oluşturulan ve B.E.S.T'e göre daha kapsamlı olan Yes-TR kullanılabilir.

6. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde, kaynak korunumunu sağlayabilmek ve enerjiyi verimli kullanabilmek için; yapı malzemesi / ürünü, yapı bileşeni ve yapı tasarım süreçlerindeki yaşam döngüsü etkilerinin hesaplanması bir tercih olmaktan çıkıp bir gereklilik haline gelmiştir. Çevresel, ekonomik veya sosyal açıdan değerlendirmelerin yapıldığı YDD çalışmaları; genellikle çok sayıda veri ve varsayımın işlenmesini gerektirdiği için karmaşık ve zaman alıcı yapıya sahiptir. Bu durum, harcanan çabayı azaltmayı amaçlayan çeşitli YDD veri tabanları ve YDD yazılım araçlarının geliştirilmesini sağlamıştır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırması ile, YDD veri tabanı ve YDD yazılım araçlarının değerlendirilmesine ilişkin temel özellikler aktarılmıştır. Bu özellikler, Türkiye üzerinden gerçekleştirilecek bir YDD çalışmasındaki YDD veri tabanı ve YDD yazılım aracı seçimleri için büyük önem taşımaktadır.

Pek çok ülkede yapı malzemelerine / ürünlerine ait çevresel bilgilerin hala eksik veya yetersiz olmasından dolayı, ecoinvent ve GaBi gibi geniş kapsamlı veri tabanları sıklıkla kullanılmakta ve uygun şekilde geliştirilmektedir. Ancak, her bir ülkenin sahip olduğu özelliklerin (örneğin; enerji kaynakları, tedarik varsayımları, ürün özellikleri, üretim farklılıkları, ekonomik faaliyetlerdeki komplikasyonlar) farklı olması, ülkelerin kendi ulusal veri tabanlarını geliştirme veya mevcut veri tabanlarını iyileştirme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, Türkiye'deki YDD çalışmaları önündeki iki büyük engeli vurgulamaktadır. İlk olarak, YDD için veri sağlanmasında, özellikle coğrafi kapsam açısından önemli zorluklar vardır. İkinci olarak ise, en yaygın kullanılan veri kaynakları arasında yer alan EPD verilerinin, çoğu durumda henüz YDD yazılım araçları tarafından okunabilir bir formatta olmamasıdır.

Çalışma sonucunda birtakım öneriler geliştirilmiştir:

- YDD veri tabanı ve YDD yazılım aracı seçimi, gerçekleştirilecek YDD çalışmasının AKT'sine göre bu çalışmada belirtilen kriterler göz önüne alınarak yapılabilir.
- Her geçen gün yeni YDD veri tabanlarının ve YDD yazılım araçlarının oluşturulması, mevcuttakilerin ise güncellenerek geliştirilmesi nedenlerinden dolayı; araştırmacıların bu seçimleri yapmadan önce güncel bir inceleme yapması gerekmektedir.
- Türkiye'de uygulanacak YDD çalışmalarına yönelik geliştirilen YDD veri tabanları (TurCoMDat ve TLCID) kapsam olarak (ürün sayısı ve kategorileri açısından) geliştirilmelidir. Bu YDD veri tabanlarının, ayrıca; Türkiye için mevcutta geliştirilmekte olan YDD yazılım aracı (eConLCA) içine tanımlanma süreci tamamlanmalıdır.

Bu çalışma, akademik literatürün ve yazılım belgelerinin gözden geçirilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. YDD veri tabanları ve YDD yazılım araçlarına yönelik kullanıcı testleri yapılmamıştır; bu nedenle sonuçların doğrulanması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

İleriki çalışmalarda, bu çalışma kapsamında ele alınmayan, ama YDD sonucunu etkileyen bir diğer seçim olan "YDED yöntemi seçimindeki karar kriterlerinin belirlenmesi ve mevcut YDED yöntemlerinin karşılaştırılması" konusunun araştırılması öngörülmektedir.

Teşekkürler

Bu araştırma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü birinci yazara ait devam etmekte olan "Doktora Tezi" çalışmasından üretilmiştir. Çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından "FDK-2022-7876" kodlu ve "Nakliye konteynerlerinin enerji verimliliği bağlamında yeniden kullanımını öngören bir model önerisi" başlıklı proje ile desteklenmektedir. Yazarlar, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi'ne ve birim çalışanlarına teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olduğunu beyan etmemektedir.

Kaynaklar

- Aral, D. (2012). *İzmir'de çok katlı bir konut yapısının yaşam döngüsü çevresel etki değerlendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Afara, A., Amen, M. A., Ayoubi, M. El, Ramadhan, D., & Alani, J. (2024). Arguing Faux Biophilia Concepts in F&B Interior Design: A Case Study Applied in Duhok City. *Civil Engineering and Architecture*, 12(2), 1091–1103. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120231>
- Amen, M. A., Afara, A., & Muhy-Al-din, S. S. (2024). The Persuasibility of Globe Thermometer in Predicting Indoor Thermal Comfort Using Non-standard Globe Diameter: Row Houses of Semi-Arid Climates as Case Studies. *Civil Engineering and Architecture*, 12(1), 425–435. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120132>
- Bach, R., Mohtashami, N., & Hildebrand, L. (2019). Comparative Overview on LCA Software Programs for Application in the Façade Design Process. *Journal of Façade Design & Engineering*, 7(1), 13-26. <https://doi.org/10.7480/jfde.2019.1.2657>
- Bayer, C., Gamble, M., & Gentry, R. (2010). *AIA guide to building life cycle assessment in practice*. Washington: The American Institute of Architects. <https://content.aia.org/sites/default/files/2016-04/Building-Life-Cycle-Assessment-Guide.pdf>
- Benli Yıldız, N., Arslan, H., & Yılmaz, E. (2020). Life Cycle Assessment of Building Materials: Literature Review. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 210-219. <https://doi.org/10.29130/dubited.572810>

- Duru, M. O., & Koç, İ. (2021). Sürdürülebilir Yapı Üretiminde Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) Hesaplamalarının Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) İle Entegrasyonuna Yönelik Bir Araştırma. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 107-121. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2030663>
- Günaydın, G., (2011). *Sürdürülebilirlik kapsamında çevresel ürün bildirelerinin yapı sektöründe uygulanması: Türkiye için öneri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ISO (ISO / TC 207). (2006a). *ISO 14040: 2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework* (Second edition) (pp. 1-20). Geneva: ISO. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO (ISO / TC 207). (2006b). *ISO 14044: 2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines* (pp. 1-46). Geneva: ISO. <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- Kara, F. Ç. & Tuna Kayılı, M. (2021). Yapı Malzemelerine Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Bütüncül Bir Bakış: Duvar Malzemelerinin Çevresel Etkilerinin ve Enerji Performansının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 583-593. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1015367>
- Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2016). LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 565-573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>
- Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>
- Menzies, G., Turan, S., & Banfill, P. (2007). LCA, methodologies, inventories and embodied energy: A review. *Construction Materials*, 160(4), 135-143. <https://doi.org/10.1680/coma.2007.160.4.135>
- Pagnon, F., Mathern, A., & Ek, K. (2020). A review of online sources of open-access life cycle assessment data for the construction sector. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588: 042051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042051>
- Pan, W., & Teng, Y. (2021). A systematic investigation into the methodological variables of embodied carbon assessment of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141: 110840. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110840>
- Péchenart, É., & Roquesalane, A. (2014). SimaPro: Logiciel d'analyse de cycle de vie [SimaPro: Life cycle analysis software]. *Techniques de l'Ingénieur*, 1, 1-20. <https://doi.org/10.51257/a-v1-ag6781>
- Prideaux, F., Allacker, K., Crawford, R. H., & Stephan, A. (2022). A review of embodied life cycle assessment tools used to support the building design process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1122: 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1122/1/012031>
- Silva, D. A. L., Nunes, A. O., Moris, V. A. S., Piekarski, C. M., & Rodrigues, T. O. (2017, June). How important is the LCA software tool you choose? Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto. In *VII Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en Latinoamérica* (pp. 1-6). https://www.researchgate.net/publication/318217178_How_important_is_the_LCA_software_tool_you_choose_Comparative_results_from_GaBi_openLCA_SimaPro_and_Umberto
- Silva, D. A. L., Nunes, A. O., Piekarski, C. M., Moris, V. A. S., & Souza, L. S. M. (2019). Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause-effect analysis of the problem. *Sustainable Production and Consumption*, 20, 304-315. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.07.005>
- Url-1, Süratam Sustainability Servives: TLCID, TurComDat. URL: <https://suratam.org/hizmetler/veritabanlari/> Son Erişim Tarihi: 28.03.2024.
- Url-2, TLCID-Türkiye Yaşam Döngüsü Veri Tabanı. URL: <https://tlcid.org/hakkinda/> Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
- Url-3, ecoinvent. URL: <https://ecoinvent.org/database/> Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
- Url-4, FSLCI: GaBi LCA Databases. URL: <https://fslci.org/databases/gabi-lca-databases/> Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
- Url-5, The EPD Registry: eConLCA - Building Life Cycle Assessment and Design Tool. URL: <https://www.theepdregistry.com/econlca/> Son Erişim Tarihi: 22.04.2024.
- Url-6, ÇEDBİK: Yeşil Binalar. URL: <https://www.cedbik.org/yesilbina> Son Erişim Tarihi: 28.04.2024.
- Xicotencatl, B. M., Kleijn, R., Nielen, S., Donati, F., Sprecher, B., & Tukker, A. (2023). Data implementation matters: Effect of software choice and LCI database evolution on a comparative LCA study of permanent magnets. *Journal of Industrial Ecology*, 27(5), 1252-1265. <https://doi.org/10.1111/jiec.13410>