Tasarım Kuram 2020;16(29):117-140 doi: 10.14744/tasarimkuram.2020.08860

Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Envanter Veri Tabanı için Veri Toplama Metodolojisinin Analizi

C. Zeynep Oğuz
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Leyla Tanaçan
İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Başvuru tarihi/*Received*: 17.07.2019, Kabul tarihi/*Final Acceptance*: 11.01.2020

Öz
Gelişmiş ülkelerde, inşaat etkinliklerine ilişkin enerji, su ve hammadde kullanımı ve bu üretimlerin atıkları olarak havaya, toprağa, suya salımlar ve bunların çevreye etkileri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi *(YDD)*, bu girdi ve çıktıların bilimsel bir temelde değerlendirildiği yöntemlerden biridir. YDD çalışmaları günümüzde farklı yöntemler ile oluşturulmuş veri tabanlarından oluşan yazılımlar ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum çalışmalar arasında farklılıklara sebep olmaktadır; karşılıklı kullanılabilirlik için uyumlu olmaları gerekmektedir. Bu çalışmada yapı malzemesi envanter veri tabanına altlık oluşturabilmek amacıyla, veri toplama aşamasındaki temel ölçütlerin varolan veri tabanlarındaki ortak kurallarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dünya çapında sıklıkla kullanılan süreç tabanlı yapı malzemesi envanter veri tabanları incelenmiştir. Bu ortak kurallar belirlendikten sonra Türkiye'de alüminyum profil üretimi üzerinden bu kuralların uygulanıp uygulanamayacağı tartışılmıştır. Verinin uluslarası geçerli kurallara uygun olarak toplanmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu kuralların belirlenmesiyle, yapılacak çalışmaların mümkün olduğu kadar çok veri tabanıyla uyumlu olabilmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir.

Abstract
In developed countries various studies on construction processes are done on energy, water and raw material consumptions together with their emissions to air, water and soil and their effects on environment. One of the methods to evaluate these inputs and outputs upon a scientific basis is Life Cycle Assessment (LCA). At present LCA studies are realized by softwares which are composed of databases produced by varying methods. This situation gives way to differences between studies; for interoperability they must be compatible. In this study, it is aimed to determine joint rules for existing databases of basic criteria in data collection phase with the objective of forming a base for a database regarding construction products. With this objective globally commonly used process-based building materials inventory databases are analyzed. After these joint rules are determined it is discussed whether these rules can be applied or not on aluminium profile production in Turkey. It is determined that collection of data according to internationally accepted rules are suitable. It is expected that with the determination of these rules, future studies will be compatible with as many databases as possible.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemesi, YDE, YDD, Envanter analizi, Veri toplama

Keywords: *Building material, LCI, LCA, Inventory analysis, Data collection*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

1. Giriş

İnşaat sektörü üretim etkinlikleri, hammadde ve enerji kullanımının çok yoğun olmasına ve yüksek miktarda salımlara sebep olmaktadır. İnşaat sektöründe hammadde kullanımı dünya çapında yılda 3 milyar ton ile yaklaşık %40'lık bir paya sahiptir *(URL (1))*. Yapılar ve inşaat sektörü 2017 yılında enerji kullanımının %36'sından ve enerji ve üretim süreçleriyle ilişkili salımların %39'undan sorumludurlar *(International Energy Agency, 2018, 11)*. Yaşam döngüsü değerlendirmesi *(YDD)*, bir ürünün çevresel etkisini, hammaddesinin elde edilmesinden, ürünün yok edilmesi dahil tüm süreçlerini kapsayabilecek sistem sınırları içerisinde, oluşan girdi ve çıktıları üzerinden *(1)* hedef ve kapsamın belirlenmesi, *(2)* envanter analizinin yapılması, *(3)* etki değerlendirme ve *(4)* yorumlama evreleriyle değerlendiren bir yöntemdir *(ISO 14040:2006, 8)*.

Yapı sektörü YDD çalışmalarında ülkeye/yerele özgü çalışmaların gerekliliği vurgulanmaktadır *(Ferreira ve Mainier, 2015, 4)*. Yerel veri tabanlarının oluşturulması, özgün verilerin kullanılmasıyla daha doğru sonuçların elde edilebilmesi açısından önemlidir *(Kellenberger, 2007, 1; Ali, Negm, Bady ve Ibrahim, 2014, 1551)*. Çeşitli ülkelerin geliştirmekte oldukları YDE çalışmaları gelişmiş ülkelerle kıyaslanarak incelenmektedir *(Stinnes, Page ve Fleischer, 1996, 110)*. Yerel çalışmaları destekleyecek özgün verilerin bulunmaması durumunda farklı çözümler önerilmektedir. Bu çözümlerden bazıları nakliye ve yerel şantiye etkinlikleri göz önüne alınarak verilerin yerelleştirilmesi *(Yau, Cheng ve Kam, 2004, 1)* veya eş veri tabanının seçimi şeklindedir *(Lesage ve Samson, 2016, 1282)*.

Yapılar için yaşam döngüsünün temel evreleri: *(1)* malzeme/ürün üretimi, *(2)* yapı üretimi, *(3)* kullanım ve *(4)* yıkım ve geri dönüşüm olarak değerlendirilir *(BS EN 15804:2012, 14)*. Ancak özellikle yapı malzemesi YDD çalışmalarında, yaşam döngüsünün bütünü yerine bazı evrelerinin göz önüne alınması da söz konusudur. Sistem sınırları olarak da tanımlanan bu kavram, genellikle beşikten-kapıya *(hammadde çıkarılmasından fabrika çıkışına kadar olan süreçler)*, kapıdan-kapıya *(fabrika giriş ve çıkışı arasındaki süreçler)* beşikten-mezara *(hammadde çıkarılmasından ürün yok edilmesine kadar olan süreçler)* ve beşikten-beşiğe *(hammadde çıkarılmasından hammaddelere geri dönüşüme kadar olan süreçler)* olarak değerlendirilmektedir *(Wittstock vd., 2011, 98)*.

Günümüzde veri toplama ve hesaplama kolaylığı sağlayan YDD araçları geliştirilmiştir *(Herrmann ve Moltesen, 2015, 163)*. Bu araçlar genellikle hem çalışmanın modellenmesinin ve hesaplamalarının yapıldığı bir yazılım, hem de hesaplamalara kendi

ilkeleriyle derlediği verileri sağlayan veri tabanlarından meydana gelmektedir. YDD araçları, kapsamlı çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için uygun methodoloji ile veri biriktiren ve kalite standartlarını sağlayan başka veri tabanlarını da bünyelerinde barındırmaktadır *(URL (2)*; *URL (3))*. Farklı veri tabanları eksik verilerin derlenebilmesi *(Suh, Leighton, Tomar ve Chen, 2016, 1297; Martinez-Romacora, Solís-Guzmán ve Marrero, 2016, 572)* ve çalışmalara uygun verilerin seçimi için bir depo görevi *(URL (2))* görmektedir. YDD araçlarının incelendiği bir çalışmada YDD yazılımlarından SimaPro ve GaBi sonuçlarının envanter analizi ve etki değerlendirme veri tabanlarındaki farklılıklar nedeniyle karşılaştırılabilir olmadığı görülür *(Herrmann ve Moltesen, 2015, 168)*. İsveç'te yapılan bir diğer çalışmada İsveç yerel YDD aracının GaBi ve SimaPro ile ilişkisinin incelenmesiyle, araçların sonuçları arasında farklılıklar ortaya konmaktadır *(Sinha, Lennartsson ve Frostell, 2016, 165)*. Farklı YDD araçları ile oluşturulan YDD çalışmalarında sistem sınırları, işlevsel birim, bölgesel farklılıklar *(coğrafya ve teknoloji)*, veri zamanı, kapsam ve değerlendirilen çevresel etkilerden kaynaklanan farklılıklar bulunur *(Guinée, De Haes ve Huppes, 1993, 12)*. Farklı malzemelerin YDD çalışmalarının karşılaştırılabilir olması için metodoloji ve sistem sınırlarının tutarlılığını sağlayacak veri tabanlarının kullanımı önemlidir *(Herrmann ve Moltesen, 2015, 168; Dixit, Fernández-Solís, Lavy ve Culp, 2010, 1246)*.

YDD çalışmalarının karşılaştırılabilmesi için kapsamlarının, sistemlerin uygun tanımlanması *(Dixit, Culp ve Fernández-Solís, 2013, 163)* ve sistemlerin denkliğinin aynı işlevsel birim ve denk metodolojik kararlarla sonuçların değerlendirilmesinden önce sağlanması istenir *(ISO 14044:2006, 11)*. Çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için ürün veri setlerinin uygun işlevsel birim *(ya da beyan edilmiş birim)* ile oluşturulması ve veri tabanlarının uygun işlevsel birim *(ve/veya beyan edilmiş birim)* ile derlenmiş veri setlerinden oluşturulması yeterli olmamaktadır. Karşılaştırılabilir çalışmalar için ürün, kullanıcıya-özgü ürün modellemesinin sonucuna göre değerlendirilmelidir *(Kupfer vd., 2017, 30; Frischknecht vd., 2007, 7)*. Bu soruna çözüm olarak ürünlerin EN 15804 standardında belirtilen uygun ürün kategori kuralları *(ÜKK) (PCR: product cathegory rules)* çerçevesinde incelendiği ve gerekli görülen çevre etkilerinin değerlendirildiği çevresel ürün beyanları *(ÇÜB) (EPD: environmental product declaration)* çalışmaları yapılmaktadır *(EN 15804:2012, 5)*. Ancak ÇÜB'lerdeki verilerin derlenmesinde farklı veri tabanları kullanılabilir. Bu durumda iki ürünün ÇÜB bilgilerinin karşılaştırılması doğru olmayabilir. Yapı ürünlerinin değerlendirilmesi amacıyla iki veri tabanından oluşturulmuş dört ayrı çevresel ürün beyanının karşılaştırılmasında, veri tabanlarına ait farklı arka plan verileri nedeniyle farklı sonuçlar elde edilmiştir *(Öztaş ve Tanaçan, 2017, 5)*.

Karşılaştırılabilir çalışmaların ve/veya karşılıklı kullanımın artması için oluşturulacak veri tabanlarının da, veri tabanı yapısı *(örn: metodoloji, format, onay, terimlendirme ve farklı verisetlerinin birarada kullanımı v.b.)*, rehber kitapları ve standartlar açısından mevcut veri tabanları ile uyumlu olacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir *(Suh vd., 2016, 1290; de Eicker vd., 2010, 198; Safaei, 2015, 5; Frischnect, 2006, 47)*. US LCI *(U.S. Life Cycle Inventory)* ve ecoinvent veri tabanlarını incelendiği bir çalışmada, veri tabanlarının karşılıklı kullanılabilmeleri için aralarındaki uyumun ve veri setlerinin buna uygun geliştirilmesinin önemi vurgulanmaktadır *(Suh vd., 2016, 1297)*. Oluşum enerjisinin değerlendirilebilmesi için ortak bir veri toplama yaklaşımının geliştirilmesi gerekliliği de vurgulanmaktadır *(Dixit vd., 2010, 1246)*.

Yapılar ve yapı malzemeleri envanter veri tabanları çeşitli çalışmalarda incelenerek karşılaştırmalar ve ortaklıkların oluşturulması incelenmiştir. Yapı malzemesi ölçeğinde konunun değerlendirildiği bir çalışmada veri tabanları, kapsam, tamlık, güncelleme ve lisans başlıklarının yanısıra izlenilebilirlik ve kapsamlılık açısından da değerlendirilmiştir. Çalışmada bu başlıkların incelenmesi: sistem sınırları başlığı göz önüne alınarak ve kapsam kararları başlığı kısmen içerecek şekilde, envanter analizi metodolojisini üst ölçekte değerlendirilerek yapılmıştır *(Martinez-Romacora vd., 2016)*.

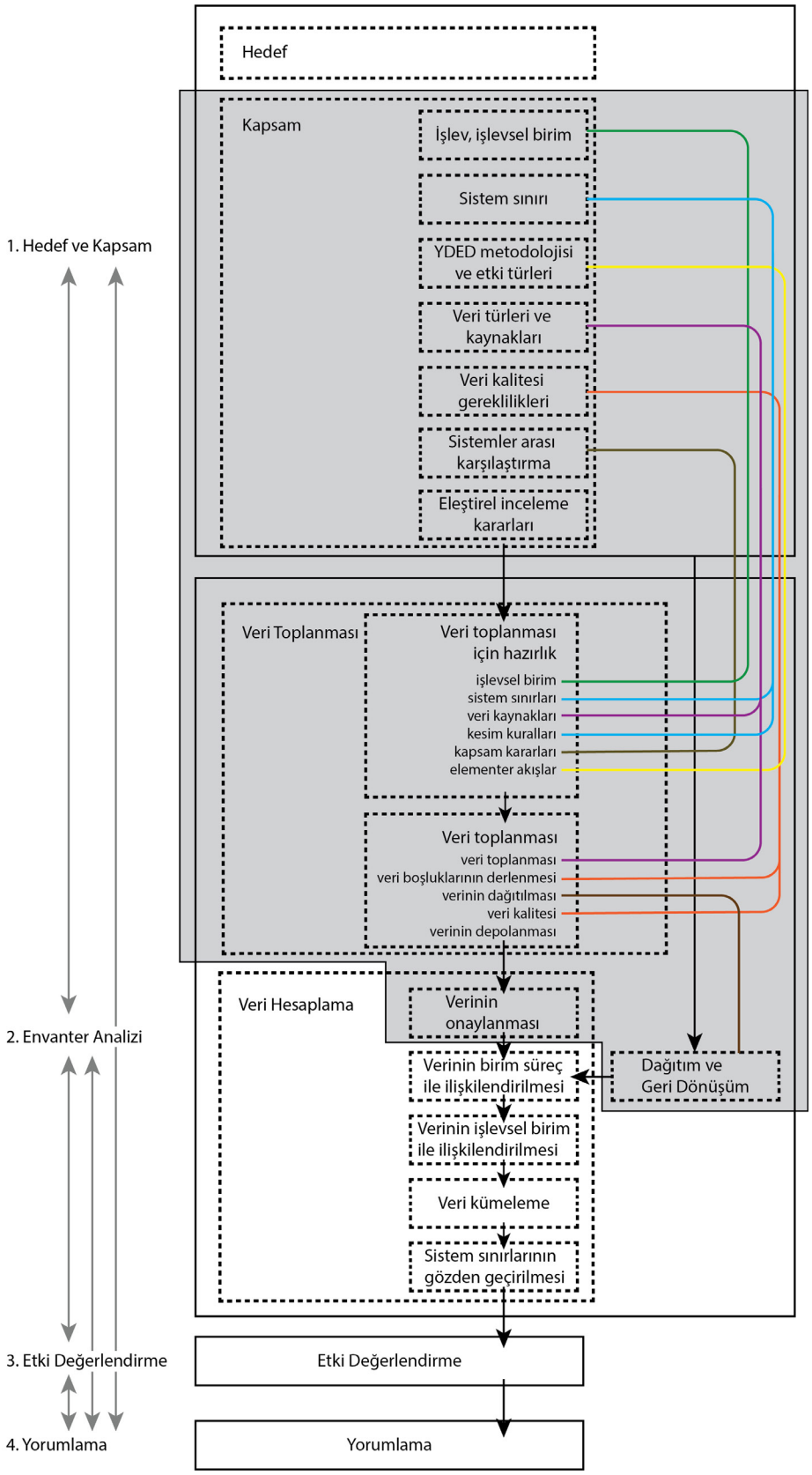
Veri tabanı oluşturulmasına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. YDD veri tabanlarına ilişkin uluslararası ölçekte katılım ile konunun değerlendirildiği kapsamlı bir çalışma olan "Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases" çalışmasında ELCD *(European Platform on Life Cycle Assessment)*, ecoinvent, GaBi, Athena, CPM *(Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems)*, US LCI ve Plastics Europe Eco-profiles değerlendirilen veri tabanları arasında yer almaktadır. Ancak burada veri tabanı oluşturulmasına ilişkin ölçütler bütünüyle incelenmekte ama tekil değerlendirilmeler yapılmamakta, genel bakışlar ortaya konmaktadır *(Sonnemann ve Vigon (Ed.), 2011)*. Bir diğer rehber dokümanda ise enerji verimli binalar göz önüne alınarak YDD çalışmalarına yön verilmeye çalışılmıştır. Bu rehberde binalar ve ürünler için yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarının adımları ve bu adımların çeşitli YDD yöntemlerine bağlı olarak hangi ölçekte nasıl yapılması gerektiği incelenmiştir *(Wittstock vd., 2011)*.

Envanter bilgisinin doğruluğu ve derlenme-değerlendirme yöntemi, etki değerlendirmesinin güvenilirliğini temelden etkilemektedir. Doğru ve uygun kalitede verinin kullanılmaması, çalışmalar arasında ürünlerin yanlış değerlendirilmesine sebep olabilmektedir *(Takano, Winter ve Hughes, 2014, 1)*. Envanter analizinin temeli olan veriler, birim süreçlerin girdileri ve çıktılarıdır *(ISO 14041:1998, 4)*. Envanter analizinde girdiler genellikle kaynak *(hammadde, enerji, su)* ve malzeme kullanımları, çıktılar ise bu girdilerle elde edilecek ürün, üretim süreci içerisinde oluşabilecek yan ürünler, ara-ürünler, üretim sürecine ilişkin havaya, suya ve toprağa yapılabilecek salımlar ve diğer salımlardır *(Babu, 2006, 3)*. Bir ürüne ilişkin YDE bilgisinin derlenmesiyle veri setleri oluşturulur *(Safaei, 2015, 5)*. Birincil kaynaklardan ham veri olarak toplanan bilgiler, gerekli düzenlemeler *(işlevsel birim uygunluğu, birimler vb.)* ile YDE veri seti için uygun hale getirilirler *(European Comission, 2010, 58)*. Veri setinin kalitesi: veri toplamanın türü, kaynakları, tutarlılığı ve uygunluğu ile ilişkilidir *(Kupfer vd., 2017, 93)*. YDE verisetlerinin düzenlenerek bir araya getirilmesi ile YDE veri tabanları oluşturulur *(Safaei, 2015, 5)*.

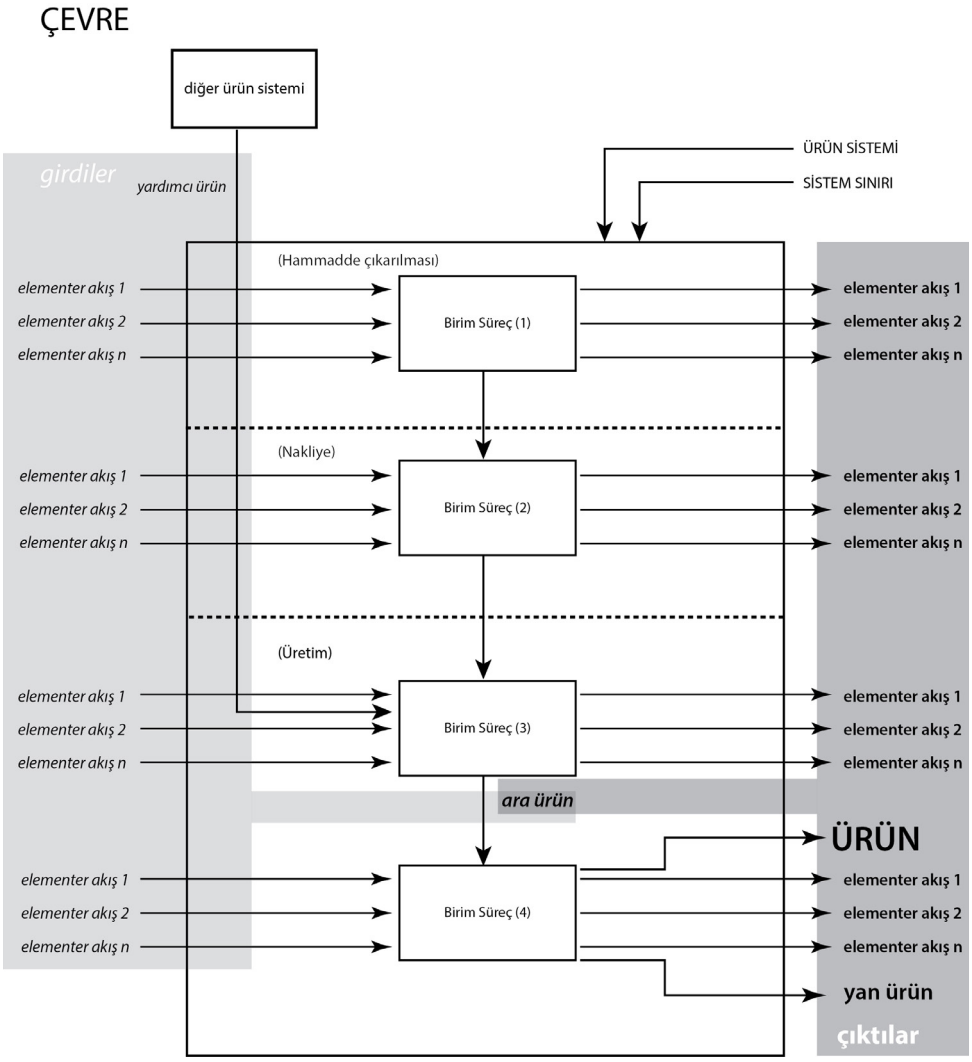
YDE veri setlerinin ve ilişkili olarak YDE veri tabanlarının oluşturulmasında YDD'nin ikinci evresi olan envanter analizi yapılmaktadır. Envanter analizi, hedef ve kapsam ile uyumlu olarak ürün sistemine ilişkin girdi ve çıktı verilerinin derlenerek ürüne ilişkin nicel bir değerlendirilme yapılan ve oluşan çıktıların değerlendirilecek kategorilere göre etki değerlendirmesi evresine iletildiği evredir *(ISO 14040:2006; ISO 14041:1998)*. ISO 14041'de "veri toplanması" ve "veri hesaplanması" işlemleriyle tanımlanmış envanter analizi akışı ve bu akışta envanter analizi evresi ile ilişkili değişkenler Şekil 1'de gösterilmektedir. Veri toplanması aşaması temelde "veri toplanması için hazırlık" ve "veri toplanması" adımlarıyla değerlendirilmektedir *(ISO 14041:1998, 8-9)*. ISO 14041'de "Veri toplanması için hazırlık" adımı, kapsama uygun olarak veri toplanmasına ilişkin hazırlıkların yapıldığı adım olarak tanımlanır. "Veri toplanması" adımı ise veri toplanmasının gerçekleştirildiği ve ardından gelecek hesaplama aşamasına bilgi aktaran adımdır *(ISO 14041:1998, 9)*.

Envanter analizinde ürün sistemi, seçili sistem sınırları içerisinde birim süreçler, elementer akışlar ve ürün akışları ile modellenir *(ISO 14044:2006, 4-5)*. Ürün sistemi içinde YDE girdi ve çıktılarının belirlendiği en küçük bileşen birim süreçtir *(ISO 14044:2006, 5)*. Birim süreçler, ürün sistemi içerisinde birbirlerine ara ürünler ve atıklar ile, başka ürün sistemlerine ürün akışları ile, çevreye elementer akışlar ile bağlanırlar *(ISO 14040:2006, 9)* Şekil 2'de bu ilişkiler şematik olarak ÇÜB için temel gerek olan beşikten-kapıya süreci değerlendirilen bir ürün sistemi için gösterilmektedir.

Bu çalışmada envanter analizi veri tabanlarında veri toplanmasına ilişkin kuralları belirlemek amaçlanmaktadır. Yapı malzemesi ile ilişkili süreç tabanlı 10 veri tabanı, YDD envanter analizi veri toplanması açısından literatürün değerlendirilmesi ile belirlenen temel ölçütler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu ölçütlere uygun veri toplamanın Türkiye koşullarında uygulana-



Şekil: 1
YDD Çalışmalarında Karşılaştırılabilirliğin Sağlanabilmesi İçin Veri Toplama Aşamasında Dikkat Edilmesi Gereken Başlıklar ve Kapsam ile İlişkileri (ISO 14040:2006 ve ISO 14041:1998 standartlarından oluşturulmuştur).



Şekil: 2
Beşikten-Kapıya Ürün Sisteminin Şematik Anlatımı (ISO 14040:2006, Şekil 2 ve Şekil 3'ten üretilmiştir).

bilirliği yapısal alüminyum profil üzerinden değerlendirilmiştir. Türkiye açısından ele alındığında, ülkemiz gibi yerel YDD veri tabanlarını oluşturma aşamasında *(URL (4))* olan ya da veri tabanı bulunmayan ülkelerde oluşturulacak veri tabanlarının bu ölçütler temel alınarak oluşturulması, en çok veri tabanı ile bir arada kullanımına ve karşılaştırılabilir çalışmaların yapılabilmesine destek olacağı düşünülmektedir.

Ancak veri toplama adımının uygunluğu ve veri kalitesinin yüksekliği çalışmaların karşılaştırılabilir olmasının tek koşulu değildir. Ardından gelen adımların *(envanter analizi veri hesaplama, etki değerlendirme)* uyumu ve sistem modellemelerinin bütünüyle buna uygun yapılması gerekmektedir *(Sinha vd., 2016, 170; Kupfer vd., 2017, 30; Frischknecht vd., 2007, 7)*.

2. *Malzeme ve Yöntem*

Seçilmiş veri tabanlarına ilişkin bilgiler, karşılaştırılabilir şekilde bir araya getirilmiştir ve bu bilgiler çerçevesinde veri tabanlarının ortak kuralları belirlenmeye çalışılmıştır. İncelenen veri tabanlarına ilişkin bilgiler öncelikli olarak veri tabanlarının rehberleri ve resmi internet sitelerinden, burada veri elde edilememesi durumunda veri tabanlarını değerlendiren literatür çalışmalarından elde edilmeye çalışılmıştır. Ölçütlere ilişkin bilgi edinilememesi durumu belirtilmiştir. 10 veri tabanında "veri toplanması için hazırlık" ve "veri toplanması" başlıklarında yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda geliştirilecek veri tabanlarının Tablo 2 ve Tablo 4'deki kurallara göre oluşturulma-

	Veri kaynakları	İşlevsel birim	Sistem sınırları	Kesim kuralları	Kapsam kararları	Elementer akışlar
ecoinvent (İsviçre)	Basılı yayınlar, resmi istatistikler, kişilerden elde edilen bilgiler, uzman tahminleri, teorik bilgilerden üretilmiş verilerdir (1 s45).	İşlevsel birim kullanılmaktadır (1 s20).	Beşikten-kapıya (10 s567).	Kütle, enerji veya çevre etkisine bağlı kesim kuralları uzman görüşüne göre uygulanır (1 s10).	Enerji verileri ayrı ayrı ve uygun detay seviyesinde biriktirilir. Nakliye için çoğunlukla genel verilerden faydalanılır. Atık bertarafı değerlendirilmektedir. Altyapının dahil edildiği çalışmalar yayınlanmaktadır (1 s11-18).	Teorik olarak bütün elementer akışlara yer verilmektedir. Metodolojik sebeplerle bazı akışlar göz ardı edilebilir (1 s22).
GaBi (Almanya)	Birincil veri kaynakları: ölçülen, hesaplanan veya tesis kayıtlarından elde edilen bilgilerdir. İkincil veri kaynakları: basılı yayınlar, şirketlerin çevresel raporları, şirketlerin YDD ve YDE çalışmaları, salım limitleri ve resmi istatistiklerdir (2 s22).	Yapı malzemeleri için hem SI birimlerinden oluşan işlevsel birimlerle veri setleri, hem de EN 15804 ile uyumlu veri setleri oluşturulmaktadır (2 s31, 121). EN 15804 içerisinde zorunlu süreçler olan beşikten-kapıya süreçlerde deklare edilmiş birim kullanılmaktadır (3 s14)	Çoğunlukla beşikten- kapıya, beşikten-mezara, kapıdan-kapıya (2 s30-32, 10 s567).	Tanımlı ya da bilinen koşullarda en fazla %5-%1 ölçeğinde kesimlere izin verilir. Bilinmeyen sebepler nedeniyle olan kesimler raporlanmalıdır (2 s39-40).	Enerji ve nakliye detaylandırılarak kaydedilir. Su ve atıklara ilişkin veriler kayıt edilir. Altyapı çalışmaya özgü bir parametredir (2 s41-52, 63-66).	Olası tüm elementer akışlar önceden tanımlanmıştır, Kullanıcının ekleme yapma olasılığı düşüktür (2 s153).
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Birincil veri kaynakları: süreç ya da tesis verileri, faturalar, salım ölçümleri, ürünler ve atıkların bileşenleridir. İkincil veri kaynaklar: tarifler ve formüller, patentler, stokiyometrik modeller, süreç ve ürün spesifikasyonları ve testleri, yasal limitler, benzer süreçler vb.'dir (4 s56-57).	Malzeme için çoğunlukla temel teknik özelliği üzerinden bir referans akış (aynı zamanda deklare edilmiş birim) tanımlanır (4 s19).	Beşikten-kapıya, Beşikten-mezara (4 s26).	Kesim kuralları ya çevresel etkilere bağlı olarak, ya da envanter analizi ölçeğinde (hedefte tanımlanarak ya da tekrarlı süreçler sırasında oluşturulur (4 s27).	Enerji yenilenebilir olan ve olamayan olarak kaydedilir (4, s65). Su ve arazi kullanımı girdiler içerisinde kaydedilmelidir (4, s65-66). Atık yönetimi dahil edilmiştir (4, s39).	Veri setlerinde sadece etki değerlendirmesi ile ilişkili elementer akışlar bulunabilir (4, s9).
Plastics Europe Eco-profiles	Birincil veri kaynakları: özellikle ölçümlere ardından hesap ve tahmine dayanan tesis verisidir. İkincil veri kaynakları: literatür, diğer veritabanlarıdır (5 s18-19; 13 s12).	Referans akış ve beyan edilmiş birim: kapıda 1 kg polimer reçinesidir (5 s12; 13 s4).	Çoğunlukla, Beşikten-kapıya, bazı durumlarda kapıdan kapıya (13 s9).	En fazla %2'lik kütle veya enerji verisi için kesim uygulanabilir. Çevresel etki yüksekse kesim yapılmamalıdır. Uygulanan kesimin uygunluğu, mümkünse hassasiyet analizi ile değerlendirilebilir (5 s18; 13 s11)	Enerji yenilenebilir, fosil yakıt ve biyokütle gibi ayrımlarla kaydedilir. Su kayıt altına alınır. Atık yönetimine dair modelleme yapılmaktadır.Tesis, araçlar dahil edilebilir ya da kapsam dışı kalabilir. Yaşam sonu değerlendirmeleri kapsam dışıdır. (5 s14, 15, 31; 13 s9, 21-26).	Madde akışları, organik bileşenler ve metaller: özellikle ILCD formatı gözönüne alınarak kaydedilir (13 s13). PRTR, CAS/UIPAC sayıları, AB hava ve atık su salımları ve diğer gerekler de gözönüne alınar (5 s20-21).
Athena database (Kuzey Amerika)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Beşikten-mezara (10 s567) (11)	Bilgi bulunamadı.	Enerji şebekesi, ulaşım ve geri dönüşüm kapsama dahildir (10 s567).	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Birincil veriler tesislerden elde edilen verilerdir. İkincil veriler ise (diğer YDE çalışmaları, salım izinleri, genel hükümet istatistikleri vb.) basılı kaynaklardan elde edilen verilerdir (6, s6).	İşlevsel birim kullanılmaktadır (6, s10)	Beşikten-kapıya, kapıdan-kapıya (14, s28)	Birim süreç başına % 5 oranında kütle ya da enerji akışları kapsam dışı bırakılabilir. Ancak zehirli olarak değerlendirilen herhangi bir akış kapsam ne kadar düşük miktarda da olsa kapsam dışı bırakılamaz (6, s7).	Enerji kullanımı içerisinde: belirli enerji kaynakları, bu kaynakların üretimi için gereken enerji elektrik, nakliye için kullanılan enerjiler ayrı ayrı değerlendirilir (6, s8-10). Yaşam sonu değerlendirmesine dair bazı genel modüller YDE içerisine eklenerek kullanıcıların sistemleri geliştirmesi desteklenebilir (14, s18).	TRACI başta olmak üzere diğer sistemlerdeki karakterizasyon yöntemleri için gereken elementer akışların biriktirilmesi önceliklidir (6, s7).
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Beşikten-mezara (10 s568).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Jenerik çevresel veri bankası kullanılır. Ancak üreticilerden gelen veri ile özelleştirme mümkündür (7 s127).	Bilgi bulunamadı.	Beşikten-kapıya (10 s568).	Bilgi bulunamadı.	Atık yönetimi değerlendirilmektedir (12).	Bilgi bulunamadı.
CPM LCA database (İsveç)	Basılı kaynaklar, kişisel iletişim, veri tabanları vb kullanılır (8 s22).	İşlevsel birim ile hesaplamalar yapılmaktadır (8 s17).	Beşikten-kapıya (8 s3).	Elementer akışlar, ara ürün akışları ve süreçler: nedeni ve tanımı yapılarak kapsam dışı bırakılabilir (8 s24-25).	Enerji, elektrik şebekesi, nakliye, atık su kullanımı ve suya salımlara ilişkin verilerin kayıt altına alınması önerilmektedir (8 s35-37).	İlişkili akışların ilgili dokümanda belirtildiği gibi isimlendirilerek kayıt edilmesi beklenmektedir (8 s38).
ProBas (Almanya)	Bilimsel veri kaynakları kullanılmaktadır (9 s6).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Su ve atıklara dair veriler kaydedilmektedir (9 s6).	Bilgi bulunamadı.

Tablo: 1
"Veri Toplanması için Hazırlık" Adımı Ölçütlerinin Analizi. ((1) Frischknecht vd. 2007. (2) Kupfer vd. 2017. (3) ISO 15804:2012. (4) European Comission 2010. (5) PlasticsEurope 2011. (6) Athena Sustainable Materials Institute 2004. (7) Casademont ve Alfaro 2014. (8) Flemstörm ve Palsson 2003. (9) Severith ve Manthey 2012. (10) Martínez-Rocamora vd. 2016. (11) URL (6) (12) URL (7) (13) PlasticsEurope 2019. (14) Athena Sustainable Materials Institute vd. 2003.).

sının daha verimli olacağı düşünülmüştür. Veri tabanlarının karşılaştırılması Tablo 1 ve Tablo 3'de yer almaktadır. Bu tablolardan elde edilen sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 4'de yer almaktadır.

Envanter analizinde ikinci aşama olan "verinin hesaplanması" bu çalışma kapsamında değerlendirilmemektedir.

Oluşturulan veri toplama methodolojisi, bir akış diyagramında gösterilmiştir.

Bir malzeme örneği *(yapısal alüminyum profil)* üzerinden bu kuralların ve veri toplama akışının Türkiye koşulları için değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın uygulanabilirliğine ilişkin değerlendirme Türkiye'de üretim yapan bir tesisteki güncel işletme koşulları ve elde edilen veriler göz önüne alınarak; Ar-Ge proje yöneticisi ve kalite sistemleri uzmanı ile yapılan görüşmeler sonucu oluşturulmuştur.

2.1. İncelenen Veri Tabanları

Çalışmada kullanılan veri tabanları yapı malzemesine ilişkin süreç tabanlı veri tabanları üzerine yapılmış güncel bir çalışma referans alınarak seçilmiştir *(Martínez-Rocamora vd., 2016, 566)*. Göz önüne alınan ölçütlerin incelendiği 10 veri tabanı: ecoinvent, GaBi, ELCD *(European Platform on Life Cycle*

	Veri kaynakları	İşlevsel birim	Sistem sınırları	Kesim kuralları	Kapsam kararları	Elementer akışlar
Geliştirilecek veri tabanı için belirlenen kurallar	Birincil veri olarak onaylanmış tesis verisi kullanılmalıdır. İkincil veri olarak uygun diğer kaynaklar kullanılabilir.	İşlevsel birim ve beyan edilmiş birim değerlendirilmelidir.	Beşikten-kapıya	Kesim miktarının %1'in altında kalması ve çevresel etkisi yüksek akışların kesilmemesi gereklidir.	Enerji, su, ulaşım, altyapıya ilişkin bilgilerin kaydedilmesi ve atık bertarafının sistemin parçası olarak değerlendirilmesi uygundur.	Değerlendirilecek etki değerlendirme kategorileri ve birlikte kullanılacak veri tabanlarının etki değerlendirme kategorilerine göre belirlenmiş elementer çıkışlar öncelikli olmalıdır.

Tablo: 2
Veri Toplanması İçin Hazırlık Adımına İlişkin Belirlenen Kurallar.

Assessment), Plastics Europe Eco-profiles, Athena, US LCI, Base Carbone, BEDEC, CPM LCA *(Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems)* ve ProBas'tır.

ELCD veri tabanı güncel kullanımda olmamasına rağmen güncel kullanılan veri tabanlarını ve çalışmaları hala beslemekte olduğu için çalışma içerisinde değerlendirilmiştir. ecoinvent veri tabanının değerlendirilmesinde ecoinvent v2'ye ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

2.2. YDE Veri Toplaması Aşamasında Karşılaştırılabilirliğin Sağlanması İçin Değerlendirilen Ölçütler

US LCI ve ecoinvent arasında yapılan bir çalışmada: elementer akışlar, dokümantasyon, üretim teknolojisi, ulaşım, enerji, arazi kullanımı, su, altyapı, veri boşlukları, veri kalitesi, sistem sınırları, metodoloji başlıkları veri tabanlarının karşılıklı kullanımları için yeterli duruma getirilmeye çalışılmıştır *(Suh vd., 2016, 1290)*. Yerel ya da küresel bir veri tabanı oluşturulmasının esaslarını inceleyen bir diğer çalışmada; dağıtım, kesim kuralları, veri boşlukları, kirleticilerin kaydedilmesi gibi modellemeye ilişkin konularda ve isimlendirme konusunda uzlaşılmasının önemi vurgulanmaktadır *(Frischnect, 2006, 42)*. YDE verisi toplanmasına ilişkin yapılan bir başka çalışmada değerlendirilen başlıca ölçütler: kullanılacak format, ham veri toplanması, coğrafi kapsam, zamana ilişkin kapsam, teknik kapsam, kesim kuralları, üretim araçları, nakliye, atık yönetimi, dağıtım ve arazi kullanımıdır. Bunların yanısıra arazi kullanımı, belirsizlikler ve geri dönüşüm, veri toplanmasından önce değerlendirilmesi gereken ölçütler olarak öne çıkmaktadır *(Kellenberger, 2007, 5-11)*. Jenerik ve ürüne-özgü YDD veritabanlarını karşılaştıran bir diğer çalışmada ise göz önüne alınan ölçütler: genel bakış, YDD formatı, kesim kuralları, yan ürünlere ve geri-dönüşüme ilişkin dağıtım, birincil veriler, ikincil veriler ve değerlendirilen elementer akışlardır *(Lasvaux, Habert, Peuportier ve Chevalier, 2015, 1476)*. Yapı malzemelerinin oluşum enerjisine öncelikle etki eden değişkenlerin değerlendirildiği bir çalışmada bu değişkenler: sistem sınırları, üretim teknolojisi, oluşum enerjisi analizi yöntemi, coğrafya, enerji yaklaşımı, veri kaynakları, veri tarihi, verinin bütünlüğü, hammadde enerjisi ve zamana ilişkin farklılıklar olarak belirtilmiştir *(Dixit vd., 2010, 1243)*.

Bu çalışmaların değerlendirilmesi ile: elementer akışlar *(kirleticiler vb.)*, dokümantasyon, üretim, ulaşım, enerji, arazi kullanımı, su, altyapı, veri boşlukları, veri kalitesi *(veri tarihi, verinin bütünlüğü, coğrafi kapsam, zamana ilişkin kapsam, teknik kapsam)* sistem sınırları, dağıtım, kesim kuralları, isimlendirme, format, ham veri toplanması *(birincil veriler ve ikincil veriler)*, veri kaynakları, üretim araçları, nakliye, atık yönetimi, belirsizlikler, geri dönüşüm açısından karşılaştırılmalar yapıldığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen başlıklar; üstteki çalışmalarda gözönüne alınan başlıkların, literatürde uzun zamandır süregelen ve gelişmişliği çeşitli çalışmalarla *(Sinha vd., 2016, 162; Martínez-Rocamora vd., 2016, 569)* kanıtlanmış olan GaBi ve ecoinvent veri tabanlarının rehberleri ile desteklenmesiyle oluşturulmuştur. Veri toplanması için hazırlık adımında incelenen ölçütler: veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kesim kuralları, kapsam kararları *(enerji, su, nakliye, altyapı ve atık yönetimine ilişkin kararlar)* ve elementer akışlardır. Veri toplanması adımında ise: veri toplanması, veri boşluklarının doldurulması, verinin dağıtılması,

	Verinin toplanması yöntemi	Eksik verinin derlenmesi	Verinin dağıtılması	Veri kalitesi	Veri depolanması
ecoinvent (İsviçre)	Genellikle kümelendirme yapılmadan, uygun zaman ve coğrafi kapsama sahip ve genellikle güncel ortalama teknolojik süreçleri değerlendiren veriler biriktirilir (1 s9-10).	Eksik veriler, öncelikle stokiyometri kullanılarak, verinin %95'ine ulaşıldığı kabulüne uygun olacak şekilde hesaplanmaya çalışılır. Eğer akışa ya da malzeme salımına dair veri yoksa eğitimli bir kişi tarafından "makullük değerlendirmeleri"ne uygun üretilen tahmin çalışmayı etkilemiyorsa kullanılabilir. Tersi durumda detaylı çalışma yapılmalıdır (1 s10).	Dağıtımda kullanılabilecek yöntemler: belirsiz, fiziksel ilişki, ekonomik ilişki, diğer yöntemler olabilir. %100 kuralı ile dağıtımın sağlaması yapılır. Dağıtım öncesi ve sonrasının verileri kaydedilmelidir (1 s35-38).	Veri kalitesi göstergeleri Pedigree matrisinde değerlendirilir. Monte Carlo simülasyonu ile bulunan verinin, güven aralığında kalmasıyla veri kalitesi kontrolü sağlanır (1 s43-46)	Veriler Ecospold formatında depolanır. Format içerisinde meta-veriler ve akış verileri bulunur. Temel alınan SETAC çalışmasına göre isimlendirmeler yapılır ve SI birimleri kullanılır. (1 s22-23, 49)
GaBi (Almanya)	Uygun veri toplama kağıtlarının oluşturulması ve verinin kontrolü ile veri toplanır. Orijinal ve EN 15804 ile uyumlu veri setleri bulunur (2 s93-94, 121).	Literatür araştırmaları, stokiyometrik dengelerle hesaplama, benzer süreçlerin değerlendirilmesi veya bu yöntemlerin uzman görüşü ile değerlendirilmesi kullanılır. Hassasiyet analizi ile verinin etkisi yüksek bulunursa veri toplanması gereklidir. (2 s41, 94)	Öncelikle fiziksel ilişkiler, yetersiz kalırsa ekonomik değer üzerinden yapılır ve %100 kuralı uygulanır. Hassasiyet analizi ile yöntem ya da veri setinin uygunluğu belirlenebilir (2 s98-99).	Veri kalitesi göstergeleri ile değerlendirilir. Belirsizliklerin çözümünde ise Monte Carlo yöntemi kullanılabilir (2 s76-90).	Veriler uygun isimlendirme yöntemiyle, uygun detay derecesinde, diğer formatlar (ILCD, Ecospold ve EPD) ile uyumlu ve metrik SI birimlerinin kullanıldığı bir sistem ile biriktirilmektedir (2 s73,153).
ELCD (Avrupa Komisyonu)	Akış diyagramlarına uygun veri toplama formlarıyla veri toplanması önerilmektedir. Ortalama ve jenerik verilerin de uygun temsiliyette olması beklenmektedir. İkincil verilerin gerekli bilgiler ile istenen kaliteyi sağlaması tercih edilir (3 s53-54).	Eksik verinin önemi tespit edilir, ardından ortalama ya da jenerik verilerle, diğer veri tabanlarından, benzetme yöntemi veya uzman görüşüne dayalı yöntemler kullanılır. Verinin elde edilememesi raporlanmalıdır. Veri kalitesi sağlanamazsa veri boşluğu kalitesi yetersiz veri ile doldurulmaz (3 s61).	Dağıtımdan mümkün olduğunca kaçınılır. Gerekli hallerde öncelikle fiziksel ilişkiler, ardından ekonomik değer üzerinden dağıtım kuralları uygulanır (3 s78-81).	Veri kalitesi göstergeleri ile değerlendirilir (3 s106).	SI birimleri ile veri toplanması yapılır (3 s53). Open LCA format dönüştürücüsü ile kullanılan format EcoSpold formatına dönüştürülebilir (44, s1232).
Plastics Europe Eco- profiles	YDE uygulayıcısı uygun formları oluşturarak, firmalarla anket yapar (5 s 14). Ortalama endüstri verileri üreticiye göre ağırlıklandırılarak veriler oluşturulur (7 s578).	Endüstri ortalaması ile eksik veriler doldurulabilir ve ülkeler arası benzetmeler yapılabilir. Sonuç etkide %5'den fazla katkı olmaması halinde bu tahminler kullanılabilir.Verinin üretilmiş olduğu belirtilmelidir (4 s19,22; 5 s14).	Öncelikle kütle veya enerji ile, ardından stokiyometrik dengelere göre, ardından ekonomik değerlere göre dağıtım yapılır. Hassasiyet analizi ile uygun dağıtım yöntemi bulunabilir. Geri dönüşümden faydalanılması halinde uygun dağıtım kuralı ile sürece dahil edilir (4 s28-29; 5 s20).	Tahminler, varsayımlar gibi bilgilerin uygunluğunu değerlendirmek için hassasiyet analizi uygulanır. Veri kalitesi göstergeleri ile veri kalitesi değerlendirilir (4 s19,20; 5 s13).	Uygun terimlerle ve genellikle ILCD formatında ve terimlendirmesine göre, SI birimleri kullanılarak ve CAS sayıları ile kaydedilir (4 s30; 5 s14)
athena database (Kuzey Amerika)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.
US LCI database (Birleşik Devletler)	Birim süreçler için ortalama veriler, tüm teknolojilere ait verilerin toplanması ve ağırlıklı ortalamalarının alınması ile hesaplanır (6, s6). Önemli hammadde ve atık akışlarına dair veriler de toplanmalıdır (6, s7). Veriler mümkün olduğunca kümelendirme yapılmadan kaydedilir (6, s10).	Eksik veriler ya hassasiyet analizi analizi sonucunun uygunluğuna göre kapsam dışı bırakılabilir ya da benzer veriler eksik veri yerine kullanılabilir (6, s14).	Dağıtımdan olabildiğince kaçınılmalıdır. Ardından öncelikle fiziksel ilişkiler, bunun yapılamaması halinde diğer ilişkiler (ekonomik ilişkiler, vb.) üzerinden yapılmalıdır (6, s15-16). Birim süreç seviyesinde kullanıcının kendi uygun gördüğü şekilde dağıtım yapabilmesi mümkündür (12, s28).	Birim süreçler için; büyük örnek olması halinde, dağılım fonksiyonunu içerecek ancak bununla sınırlı olmayacak şekilde, ya da örnek boyutunun yetersiz olması durumunda kaynaklar ya da uzman görüşüne dayanan bir tahmin ile yapılmalıdır. İkincil veri için ana kaynakta belirsizlik için kullanılabilecek veriler değerlendirilmelidir (6, s14).	Ecospold formatı kullanılır (13). Veri depolamasında SI birimleri kullanılır (6, s6) ve ISO 14048 dokümantasyonuna uygun biriktirilir (6, s10; 12 s28). Veriler sadece gerekli durumlarda kümelendirme yapılarak raporlanır (6, s10).
Base Carbone (Fransa)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Belirsizlik değeri verilir (7 s568).	Bilgi bulunamadı.
BEDEC database (İspanya)	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Etki değerlendirilmesi onaylamaya bağlı yapılır. Çeşitli kurumlar su ve CO2 hesaplarını onaylamaktadır, atıklar için benzer çalışma geliştirilmektedir (8 s129).	Sonuçların aktarılması için .pdf, .xls, .jpeg gibi formatlar dışında FIEBDC formatı kullanılmaktadır (8 s126).
CPM LCA database (İsveç)	Veri kaynakları raporlanmalıdır. Başka çalışmaların verileri gerekirse yeniden modellenerekkullanılabilir (9 s22, 32).	Verinin elde edilememe sebebi (orijinal belgelerde kayıp/belirtilmemiş, elde edilmesi makul olmayan, ya da elde edilmesinin imkansız olması gibi) açıkça belirtilmelidir (9 s25,31).	Dağıtılmış yan ürünler belirtilmeli ve dağıtımın tanımı yapılmalıdır. Dağıtım yapılmamış olması durumu da beilrtilmelidir (9 s25).	Uygun bilgiler "kalite boyutları" adı altında ISO 14041 le uyumlu olacak şekilde derlenerek veri kalitesi değerlendirilir (9 s6-8).	14048 ile uyumlu geliştirilmiş SPINE formatı kullanılır (9 s1,6).
ProBas (Almanya)	Genellikle Almanya'ya ait 2000 yılının jenerik verileri kullanılmaktadır (10 s6).	Bilgi bulunamadı.	Bilgi bulunamadı.	Belirsizlik değerlendirilmiyor (10 s6).	Bilgi bulunamadı.

Tablo: 3
"Veri Toplanması" Adımı Ölçütlerinin Analizi. ((1) Frischknecht vd. 2007. (2) Kupfer vd. 2017. (3) European Comission 2010. (4) PlasticsEurope 2011. (5) PlasticsEurope 2019. (6) Athena Sustainable Materials Institute 2004. (7) Martínez-Rocamora vd. 2016. (8) Casademont ve Alfaro 2014. (9) Flemstörm ve Palsson 2003. (10) Severith ve Manthey 2012. (11) Meinshasen vd. 2016. (12) Athena Sustainable Materials Institute vd. 2003. (13) National Renewable Energy Laboratory 2005.).

veri kalitesi ve verinin depolanması ölçütleri değerlendirilmektedir.

2.2.1. "Veri Toplanması için Hazırlık" Adımında Değerlendirilen Ölçütler

Veri toplanmasına ilişkin ön kararları içeren değişkenler olarak değerlendirilen ölçütler, veri toplanması için hazırlık adımında gözönüne alınmıştır. Bu ölçütler: veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kesim kuralları, kapsam kararları ve elementer akışlardır.

Veri kaynakları: Ürüne özgü veriler olan birincil veriler: ölçümler, hesaplamalar, formüller gibi kaynaklardan ham veriler olarak elde edilir *(URL (5))*. İkincil veriler, eksik verilerin tamamlanması gibi işlemlerde kullanılacak, ürüne özgü olmayan bilgilerdir *(Kupfer vd., 2017, 72)*. Özellikle ikincil veri kaynağı olarak kullanılan

	Verinin toplanması yöntemi	Eksik verinin derlenmesi	Verinin dağıtılması	Veri kalitesi	Veri depolanması
Geliştirilecek veri tabanı için belirlenen kurallar	Gerekli ön çalışma ile ürün akışının değerlendirildiği, buna uygun formların oluşturulduğu, gerekli ham verilerin kümelendirme yapılmadan, meta verileriyle beraber kaydedildiği veri toplama yöntemi kullanılmalıdır.	Öncelikle yerinde ölçüm, ardından stokiyometrik dengeler, uzman görüşleri, benzer süreçler, literatür çalışmaları ve ortalama veriler ile hesaplamalar yapılabilir. Sonuçların uygunluğu hesaplar ve uzmanlar tarafından değerlendirilmelidir.	Dağıtımın zorunlu olması durumunda öncelikle fiziksel akışlar, ardından ekonomik veriler üzerinden dağıtım yapılmalıdır.	Birlikte kullanılacak veri tabanlarına dair veri kalitesi göstergeleri oluşturulmalıdır ve Pedigree matrisinde değerlendirilebilir. Gerekli durumlarda Monte Carlo yöntemi kullanılmalıdır.	EcoSPold formatı. SI birimleri. CAS sayıları ve gerekli kodlarla veri depolanması.

Tablo: 4
Veri Toplanması Adımına İlişkin Belirlenen Kurallar.

yayınlanmış kataloglar, istatistikler gibi kaynakların güvenilirliği tartışmalı olabilir ve değerlendirmeden geçirilerek kullanılması önerilmektedir *(Li vd., 2014, 205; Kupfer vd., 2017, 72)*. Veriler kamusal kaynaklardan elde edildiğinde de kaynak belirtilmelidir *(ISO 14044:2006, 11)*. Envanter verileri, çalışma kapsamına bağlı olarak ürüne-özgü, ortalama ya da jenerik veriler olabilir *(European Commission, 2010, 53-54; Kupfer vd., 2017, 30, 72)*. Ürünler arası farklılıkları temsil edecek bilgileri içeren ürüne-özgü veriler, yapı ürününün tekil olarak inceleneceği veya ürünler arası karşılaştırılma yapılacak çalışmalarda birincil veriler olarak kullanılmalıdır *(Kupfer vd., 2017, 30)*. Çalışmanın ortalama bir ürünü temsil etmesi durumunda bileşen, teknoloji gibi alanlarda temsiliyeti uygun jenerik verilerin kullanılması uygundur *(Kupfer vd., 2017, 30)*.

Sistem sınırları: Çalışmanın başlangıcında, hedef ve kapsamla ilişkili olarak hangi birim süreçlerin çalışmaya dahil edileceği belirlenir ancak çalışmanın akışında sistem sınırlarının yeniden düzenlenmesi gerekebilir *(ISO 14041:1998, 5, 10)*. Yapı malzemesi çalışmalarında sistem sınırlarının genellikle beşikten-kapıya sistem sınırları olduğu görülür *(Puettmann vd., 2010, 19-20; Li vd., 2014, 204)*. Beşikten-kapıya sistem sınırları genişleten *(dağıtım sürecini de çalışmaya dahil eden) (Almeida, Dias, Arroja ve Dias 2010, 479; Bovea, Saura, Ferrero ve Giner, 2007, 441)* çalışmalar da bulunmaktadır. Çalışmalar arasında oluşum enerjisine katkısı sebebiyle dahil edilen, ya da çevresel etkilere katkısının düşüklüğü nedeniyle kapsam dışı bırakılan alanlar gibi farklı sistem sınırları da göze çarpmaktadır *(Harris, 1999, 756; Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska ve Strykowski, 2014, 26)*.

İşlevsel birim: ISO standardında çalışmanın hedef ve kapsamıyla uyumlu olacak şekilde beklenen işlevi yerine getirecek ürün miktarı olarak tanımlanır ve uygulamada referans akış ile gösterilir *(ISO 14041:1998, 5)*. İşlevsel birim, veri setinin hedefini doğru temsil edebilmeli ve karşılaştırmalara imkan vermelidir *(Kupfer vd. 2017, 31)*. Yapı malzemesine ilişkin çalışmalarda işlevsel birim yerine beyan edilmiş birimin de kullanılmakta olduğu görülmektedir *(European Commission 2010, 19)*. Yapı malzemesi ÇÜB için temel gereklilik olan A1-A2-A3 modüllerinin hesaplanmasında kullanılan "beyan edilmiş birim", ÇÜB için referans birim olarak kullanılan yapı malzemesi miktarı olarak tanımlanır *(BS EN 15804:2012, 8, 14)*.

Kesim kuralları: Birim süreç ya da ürün sistemi ile ilişkili ancak çalışmaya ilişkin veri toplanması dışında bırakılabilecek malzeme, enerji akışları veya akışlara ilişkin çevresel önem seviyesinin belirlenmesidir *(ISO 14040:2006, 4, Kupfer vd. 2017, 39)*. Çalışmanın kapsamı içerisinde kesim kuralları tanımlanmalı ve kapsam dışı bırakılan süreçler belirtilmelidir *(ISO 14040:2006, 12; BS EN 15804:2012, 42)*.

Kapsam kararları: Veri toplanmasında çalışmalar arasında farklılıklar yaratan değişkenler içerisinde enerji, nakliye, su, altyapı ve atıklar başta olmak üzere çeşitli başlıklara ilişkin verilen kararlar bulunur *(Kellenberger, 2007, 5-11; Suh vd., 2016, 1290)*. Bu

çalışmada yapı malzemesi üretimi içerisindeki bu başlıklar "kapsam kararları" altında incelenmektedir.

Elementer akışlar: Birim süreçlerin bağlantılarını sağlayan, insan müdahalesine uğramamış malzeme veya enerji girdisi veya insan müdahalesine uğramayacak seviyeye indirgenmiş olan malzeme veya enerji çıktısıdır *(ISO 14040:2006, 3)*. Elementer akışların teorik olarak bütün akışları kapsaması gereklidir, ancak pratikte *(özelikle elementer çıkışlar)* bilgi toplama ve hesaplama kolaylığı açısından veri tabanında veya çalışma kapsamında değerlendirilecek etki değerlendirme kategorileri çerçevesinde oluşturulurlar *(Frischknecht vd., 2007, 6, 22)*.

3.2.2. "Veri Toplanması" Adımında Değerlendirilen Ölçütler

Verinin uygun şekilde toplanması pratiği ile ilişkili olan ölçütler, veri toplanması adımında değerlendirilmiştir. Bu başlık altında "veri toplanması" ve "veri boşluklarının derlenmesi" ölçütlerinin yanısıra hesaplama aşaması içerisinde değerlendirilen "verinin dağıtılması", "verinin kalitesi" ve "verinin depolanması" ölçütleri de değerlendirilmektedir. Hesaplama aşaması içerisinde de değerlendirilen bu ölçütlere ilişkin kararların, veri toplanması adımında verilmesinin de uygun olması nedeniyle bu ölçütler çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Verinin toplanması yöntemi: Veri toplanması birim süreçlerle ilgili akışların *(elementer akışlar, ürün akışları ve atık akışları)* ve kapsamda tanımlanmış diğer verilerin *(etki değerlendirmesi ile doğrudan ilişkili olanlar dışında)* derlenmesidir *(European Commission, 2010, 39)*. Veri toplama birincil veriye ilişkin yapılan bir işlemdir *(Kupfer vd., 2017, 72)*. YDD çalışması için veya veri tabanlarının geliştirilmesi için toplanan veriler genellikle ham verilerdir ve bunların önceden derlenmiş verilerle uyumlu bir şekilde biriktirilmesi önemlidir *(Kupfer vd., 2017, 29)*. Veri kalitesinin sağlanması için tutarlı bir yöntemle toplanması ve belirsizliklerin azaltılması önemlidir *(Kupfer vd., 2017, 83)*. Bu ölçütte veri tabanları, verilere ilişkin tutarlılığı sağlamak için veri toplanmasına ilişkin akışı belirler.

Veri boşluklarının derlenmesi: Verinin olmaması, elde edilememesi veya gizlilik prensipleri gibi sebeplerle eksik/yetersiz kalması halinde çeşitli yöntemlerle veri üretilmesidir *(Kupfer vd. 2017, 72, 94; Frischknecht vd., 2007, 10)*.

Verinin dağıtılması: Temel ürünün yanısıra farklı ürünler ve/veya ekonomik değeri olan yarı-ürünler olması durumunda girdi ve çıktıların paylaştırılmasıdır *(ISO 14040:2006, 4; Kupfer vd., 2017, 143)*. Dağıtıma ilişkin kontrol mekanizması olan %100 kuralına göre: bir birim sürecin dağıtılmış girdilerinin ve çıktılarının toplamı, dağıtım yapılmamış girdi ve çıktılarının toplamına eşit olmalıdır (*Frischknecht vd., 2007, 35-36; Kupfer vd., 2017, 99)*.

Veri Kalitesi: Verinin nitel ve nicel özelliklerinin değerlendirilmesidir *(Flemstörm ve Palsson, 2003, 5)*. Verinin çalışma için doğru veri olmasının yanısıra veri kalitesi başarılı YDD çalışmaları için çok önemlidir *(Coulon, Camobreco, Teulon ve Besnainou 1997, 178; Guinee vd., 1993, 12)*. Veri kalitesinin, verinin elde edilişine ilişkin bilgilerden üretilen "veri kalitesi göstergeleri" ile veri seti ölçeğinde değerlendirilmesi ve raporlanması sık uygulanan bir yöntemdir *(Coulon vd., 1997, 178; Frischknecht vd., 2007, 43, 45; Kupfer vd., 2017, 86)*. ISO veri kalitesinin değerlendirilmesinde zamana dair, coğrafi, teknolojik kapsamlara ve verinin elde edilme yöntemine ilişkin bilgilerin değerlendirilmesininin yanısıra hassasiyet, tamlık, temsiliyet, üretilebilirlik ve tutarlılık da değerlendirilmelidir *(ISO 14041:1998, 7)*. Veri toplanmasına ilişkin meta verilerden *(veriye ilişkin verilerden)* oluşturularan göstergeler, Pedigree matrisinde değerlendirilerek, hem veriye ilişkin belirsizlik değerlendirilebilir, hem de çalışmaya daha uygun verilerin seçilmesi mümkün olabilir *(Edelen ve Ingwersen, 2016, 3)*. YDE veri kalitesini etkileyen önemli bir unsur belirsizliklerdir *(Weidema vd., 2012, 75)*. Envanter analizlerinde kullanılan jenerik veya ortalama verilerin incelenen ürünün verileri olmaması nedeniyle belirli ölçüde belirsizlik içermekte oldukları öngörülebilir *(Frischknecht vd., 2007, 41)*. Ürüne özgü verilerde ise ölçülen *(ya da hesaplanan)* ortalama değerler

gerçek değerlerden farklılık göstererek belirsizlik içerirler *(Frischknecht vd., 2007, 42)*. Veri kalitesinin arttırılması için, belirsizliklerin çözümü de sağlanmalıdır *(Suh vd., 2016, 1296; Coulon vd., 1997, 178)*. Belirsizliklerin çözümü çoğunlukla Monte Carlo yöntemi ile üretilen ve uygun güven aralığında olduğunun kontrolü yapılan veriler ile sağlanmaktadır *(Frischknecht vd., 2007, 46)*. Belirsizliğe ilişkin bilgilerin kaynakların hepsinde belirtilmemesi, farklı kaynaklardan veri alan bir çalışmada belirsizliğin değerlendirilememesine neden olur *(Dong ve Ng, 2015, 190)*.

Verinin depolanması: Veri setlerine ilişkin yeterli ve güvenilir bilginin uygun formatta ve detay derecesinde biriktirilmesidir. Bu amaçla oluşturulan veri formatının işlevi, veri içeriğini depolaması, işlemesi ve aktarabilmesidir *(Meinshausen, Müller-Beilschmidt ve Viere, 2016, 1232)*. Veri tabanları farklı formatları kullanmaktadır. Formatlar arasında dönüşümler yapılabilir, ancak denk başlıkların bulunmaması veri kaybına sebep olabilmektedir *(Flemstörm ve Palsson, 2003, 33)*. Veri depolanmasının uygun sistematik ile yapılması veri tabanlarının karşılıklı kullanılabilirliği açısından önemlidir *(Suh vd., 2016, 1296)*. Bu kapsamda net tanımlı bir terimlendirmenin uygulanması, farklı sistemlerin veri aktarımını kolaylaştırır *(Suh vd., 2016, 1297)*. Terimlendirme konusunda ortak bir platformun oluşmamış olması ve konuya ilişkin çalışmalarda farklı terimlendirme yöntemlerinin uygulanması verinin karşılıklı kullanılabilmesi açısından sorundur *(Kupfer vd., 2017, 95)*.

Çalışma kapsamında seçilmiş veri tabanları, veri toplamasıyla ilişkili ölçütler *(veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kesim kuralları, kapsam kararları, elementer akışlar, veri toplanması, veri boşluklarının doldurulması, verinin dağıtılması, veri kalitesi ve verinin depolanması)* altında değerlendirilmiştir.

3. Bulguların Tartışılması

Çalışma içerisinde veri toplanması aşaması ve incelenen ölçütler, "veri toplanması için hazırlık" ve "veri toplanması" adımları olarak iki alt başlık altında değerlendirilmiştir.

3.1. Veri Tabanlarının "Veri Toplanması için Hazırlık" Açısından Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Veri toplanması için hazırlık adımında değerlendirilen ölçütler olan veri kaynakları, sistem sınırları, işlevsel birim, kesim kuralları, kapsam kararları ve elementer akışlara ilişkin karşılaştırma Tablo 1'de yer almaktadır.

Veri kaynakları: Veri tabanları çoğunlukla (*ecoinvent, ELCD veri tabanı, plastic Europe, base carbone, CPM LCA veri tabanı)* birincil kaynaklar olarak süreç/tesis kayıtları *(faturalar, salım ölçümleri, kişilerden elde edilen bilgiler vb.)*, ürünler ve atıkların bileşenlerinden elde edilen bilgileri; ikincil kaynaklar olarak da basılı yayınlar, şirketlerin çevresel raporları, şirketlerin YDD ve YDE çalışmaları, yasal limitler, resmi istatistikler, tarifler ve formüller, patentler, stokiyometrik modeller *(tepkimeye giren bileşen ya da elementlerin oranları üzerinden bilgi edinilmesi)*, ürün şartnameleri ve deneyleri, benzer birim süreçler, diğer veritabanları, tedarikçi/müşteri/kullanıcı verilerini göz önüne almaktadır.

İşlevsel birim: Veri tabanlarını içerisinde Plastics Europe ve ISO 15804 ile uyumlu GaBi veri setlerinde beyan edilmiş birimin kullanıldığı görülmektedir, diğerlerinde işlevsel birim üzerinden referans ve elementer akışların hesaplamalarının yapıldığı görülmektedir. Bu ölçütte *(ve raporlamada)* diğer veri tabanları ile uyumu da sağlayan SI birimlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Sistem sınırları: Yapı malzemesi ölçeğindeki veri tabanları daha çok beşikten-kapıya süreçleri değerlendirmektedir. Ancak yapı ölçeğinde değerlendirmelerin yapıldığı veri tabanları ise beşikten-mezara süreçleri de kapsarlar. Bunların yanısıra kapıdan-kapıya sistem sınırları da gözlenmektedir.

Kesim kuralları: Veri tabanlarında %5 ile %1 sınırlarında kesimlerin uygun bulunduğu görülmektedir. Veri tabanının yaklaşımı ve kesim sebebine bağlı olarak, boşluğun doldurulması söz konusu olabilir. Kesim yüzdesi değerlendirilirken, kapsam dışı bırakılacak kütle ve enerji miktarının yanısıra çevresel etki büyüklüğü de göz önüne alınmalıdır.

Kapsam kararları: Veri tabanları içerisinde en detaylı biriktirilen ve değerlendirilen değişken enerjidir. Bazı veri tabanlarında yenilenebilir enerjinin çevresel etkiyle ilişkisini değerlendirilebilmek için bu veri ayrı kaydedilmektedir *(Kupfer vd., 2017, 63; European Commission, 2010, 65; PlasticsEurope, 2011, 14, 39)*. Farklı enerji türlerinin değerlendirilmesi ve bu enerji türlerine ilişkin bilgi derlemesinin detaylandırılması veri tabanları arasındaki farklılıkları oluşturur.

Su verilerinin değerlendirilmesinde: suya ilişkin verilerin kayıt altına alınıp alınmadığı; bu verilerin sınıflandırılması arasındaki farklılıklar veri tabanları arasında farklılıklar yaratmaktadır *(Kupfer vd., 2017, 44-52; European Comission, 2010, 66)*.

Nakliye başlığı altında nakliye verilerinin hangi kapsamda dahil edileceği, nakliye türleri, mesafelerin özel mesafeler ya da genel hesaplamalar içerisinden seçilip seçilmediği farklılıkları yaratan unsurlardır *(Kupfer vd., 2017, 106-112; Frischknecht vd., 2007, 12-15; Flemstörm ve Palsson, 2003, 23; PlasticsEurope, 2011, 14)*.

Altyapı konusuna farklı veri tabanlarının yaklaşımı incelendiğinde: altyapının hesaplamalara dahil edilip edilmediği; makine, techizat, işletim masrafları gibi değişkenlerin altyapı içerisinde değerlendirilip değerlendirilmediği; arazi kulanımı ve dönüşümünün bu başlığa ilişkin olup olmadığı çalışmalar arasında farklılıklara yol açar *(Frischknecht vd., 2007, 15; Kupfer vd., 2017, 43; PlasticsEurope, 2011, 15)*.

Atık bertarafı irdelendiğinde: atık bertarafının sistemin bir parçası olarak görülüp görülmediği; atık ve geri dönüşümde değerlendirilen ürünlerin farklılaşması; ülkelere ilişkin atık bertaraf senaryoları *(yöntem, yüzde, mesafe vb.)* konuları farklılaşmalara yol açabilir *(Frischknecht vd., 2007, 18; Kupfer vd., 2017, 52; European Comission, 2010, 39; PlasticsEurope, 2011, 14)*.

Elementer Akışlar: Özellikle kapsamı geniş veri tabanlarında *(GaBi ve ecoinvent)* bu akışların hemen hemen tümünün veri tabanı içerisinde eklenmiş olduğu görülür. Çalışma kolaylığı açısından, özellikle elementer çıkışların, genellikle gözönüne alınan etki değerlendirme kategorilerine uygun seçilmesi söz konusudur.

Veri toplanması için hazırlık açısından ortak kurallara ilişkin değerlendirme Tablo 2'de özetlenmiştir. İncelenen veri tabanlarından elde edilen bilgilerden üretilen sonuçlar ve kurallar, oluşturulacak veri tabanının diğer veri tabanları ile uyumunun sağlanması için önemlidir.

- Veri kaynakları açısından veri tabanlarının kapsayacağı ortak platform, birincil veri kaynakları olarak tesislerde ölçülmüş ya da hesaplanmış verilerin onaylanması koşuludur. Bu veriler tesise ait ya da tesislere ilişkin ortalama veriler olarak kullanılabilir. İkincil veriler olarak veri kaynaklarında bahsedilen bütün diğer kaynaklar çalışma ile uygunlukları değerlendirilerek kullanılabilir.
- Uygun işlevsel birimin *(ya da beyan edilmiş birimin)* seçimi ve kullanımı veri tabanları arasında ortak bir görüştür. 15804 standartları gereği uygun geliştirilmiş GaBi veri setlerinde ve Plastics Europe Eco-profiles içerisinde beyan edilmiş birim kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin beşikten-kapıya değerlendirilmesinde ortaya çıkan bu farklılık işlevsel birim ve beyan edilmiş birim için veri setleri oluşturulması ile çözülebilir *(Kupfer vd., 2017, 121)*.
- Yapı malzemesi sistem sınırları için en uygun kapsam beşikten-kapıya sınırlardır. Bu sistem sınırları her veri tabanında kapsam dahilindedir.
- Kesim kuralları göz önüne alındığında %1'lik kesime izin verilmesi durumunda bütün veri tabanları ile uyumlu sınırlarda kalınabilmesi sağlanacaktır. Kesim kuralları çoğunlukla uzman görüşüne göre uygulanmaktadır. Burada enerji, kütle ya da çevresel etkiler üzerinden karar verilmektedir.
- Kapsam kararları değerlendirildiğinde veri tabanları arasında farklı bakış açıları görülür. Bu kararlara ilişkin olabildiğince detaylı *(çalışmanın imkan-*

ları ölçüsünde) veri toplanması, gerekli verilerin seçilerek, kapsama uygun olarak çalışmada kullanılabilmesini sağlar. Kapsam kararları konusunda olabildiğince çok başlığa ilişkin veri derlenmesi, farklı veri tabanları ile uyumun sağlanabilmesi açısından önemlidir. Enerjiye ilişkin veri toplanmasında yenilenebilir kaynakların ayrımı, elektrik şebekesine ilişkin gerekli ayrımlar gibi detaylandırmalar yapılmalıdır. Su kullanımına ilişkin bilgiler girdi, çıktı, su kalitesi gibi başlıklar altında biriktirilmelidir. Nakliye türü, mesafe, yakıt tipi gibi bilgilerin derlenmesi önemlidir. Altyapının çalışmaya katılmasının gerekliliği ya da çalışmaya özel olduğu gibi iki farklı yaklaşım mevcuttur. Bu koşullarda, bu bilgilerin biriktirilmesi daha sonra gerekli görüleceği durumlarda kullanılabilmesi açısından önemlidir. Arazi kullanımı ve dönüşümüne ilişkin bilgiler de altyapı içerisinde biriktirilmelidir. Atıklar konusunda, atık bertarafına ilişkin modelleme sistemin bir parçası olarak düşünülmelidir. Bu şekilde özellikle geri dönüşüme uygun ürünlerde çevresel etkinin daha doğru değerlendirilmesi mümkün olacaktır *(Kupfer vd., 2017, 52)*.

- Elementer akışların derlenmesinde zaman ve emeğin verimli kullanımı açısından, beraber çalışılacak veri tabanları da göz önüne alınarak, değerlendirilecek etki değerlendirme kategorileri ile ilişkili akışların bilgilerinin oluşturulması öncelikli olmalıdır.

3.2 Veri Tabanlarının "Verinin Toplanması" Açısından Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Verinin toplanması adımı için değerlendirilen ölçütler olan veri toplama yöntemi, eksik verinin derlenmesi, verinin dağıtılması, veri kalitesi ve veri depolamasına ilişkin karşılaştırma Tablo 3'de gösterilmiştir.

Verinin Toplanması Yöntemi: Konuya ilişkin detaylı bilgiye ulaşılabilen veri tabanlarında *(GaBi ve ILCD)*, veri toplamanın akış diyagramlarının oluşturulması ile başladığı görülür. Jenerik ve ürüne-özgü verilerin değerlendirilmesinin ardından, ürüne-özgü verilerin toplanması için, çalışmaya özgü veri toplama formları oluşturulur *(Kupfer vd., 2017, 93)*. Veri tabanlarında, veri toplanmasında mümkün olduğu kadar meta veriler de derlenmektedir *(Frischknecht vd., 2007, 55)* ve verinin elde edildiği koşullar, daha sonra yapılacak çalışmalar ve verinin kalitesinin değerlendirilmesi için raporlanmalıdır *(European Commission, 2010, 55)*. Yapı malzemesi veri tabanlarında üretim süreci veri toplanmasında bir yıllık zaman dilimini kapsayan ve yeterince örnek üzerinden yapılmış ölçümlerin ortalamasının tercih edildiği görülmüştür *(European Commission, 2010, 58)*.

Eksik verinin derlenmesi: Veritabanları çoğunlukla eksik bilginin olabildiğince tamamlanmasını önerirler. Bu konuda veri tabanları arasında farklı yöntemler göze çarpar. Genellikle stokiyometrik dengeler ile hesaplamalar yapılması *(Frischknecht vd., 2007, 10; Kupfer vd., 2017, 94; European Comission, 2010, 57)* öncelikli yöntemdir. Ardından uzman görüşleri ile veri boşluklarının doldurulması *(Frischknecht vd., 2007, 10; Kupfer vd. 2017, 94; European Comission 2010, 61)* ve benzer birim süreçlerden faydalanarak veri üretilmesi de söz konusudur *(Kupfer vd. 2017, 94; European Comission 2010, 61; PlasticsEurope 2019, 15)*. Üretilen verinin kalitesinin eldeki veri kalitesinden düşük olmaması da gereklidir *(European Commission, 2010, 61)*.

Verinin dağıtılması: Veri tabanlarında dağıtımdan mümkün olduğunca kaçınılmaktır. Gerekli olması halinde genellikle önce fiziksel ilişkiler üzerinden dağıtımın yapıldığı görülmektedir. Dağıtım yöntemi ve yüzdelerinin önemi hassasiyet analizi ile değerlendirilerek daha uygun tercihler yapılması önerilmektedir. %100 kuralı ile sistemin kendi içerisinde sağlaması birçok veri tabanında yapılmaktadır.

Veri kalitesi: Veri kalitesinin değerlendirilmesinde belirsizliklerin çözümü önemlidir ve belirsizlikler genellikle veri tabanları içerisinde Monte Carlo yöntemi ile üretilen değerlerle çözümlenirler. ecoinvent veri tabanında, veri setlerine ilişkin veri kalitesi göstergeleri Pedigree matrisinde değerlendi-

rilerek veri kalitesi değeri elde edilir *(Frischknecht vd. 2007, 43)*. Pedigree matrisi, Weidema ve Wesnaes'in 1996'daki çalışması sonucunda veriye ilişkin belirsizliğin çeşitli başlıklar altında değerlendirildiği ve bu değerlendirme sonucunda nicel bir değer üretilen bir yöntemdir *(Weidema ve Wesnaes, 1996; Frischknecht vd., 2007, 43)*. ecoinvent içerisinde değerlendirilen veri kalitesi göstergeleri: güvenilirlik, tamlık, zamana bağlı korelasyon, coğrafi korelasyon, ileri teknik korelasyon ve ölçüm sayısıdır *(Frischknecht vd., 2007, 45)*. GaBi ve ILCD içerisinde kullanılan veri kalitesi göstergeleri: teknik temsiliyet, coğrafi temsiliyet, zamana bağlı temsiliyet, tamlık, tutarlılık ve belirsizlik/netliktir *(Kupfer vd., 2017, 79-82, 150-153; European Comission, 2010, 107)*. Plastics Europe Eco-profiles içerisinde veri kalitesi göstergeleri: teknolojik kapsam, zamana ilişkin kapsam, coğrafi kapsam, ilişkililik ve temsiliyet, tutarlılık, üretilebilirlik, hassasiyet ve kesinlik, tamlık, veri kaynakları, güvenilirlik ve belirsizliktir *(Plastics Europe, 2019, 13)*. US LCI içerisinde veri kalitesinin değerlendirilmesi ISO 14041 ve ISO 14048 ile uyumlu olarak, ISO 14041'de değerlendirilen göstergeleri: zamana ilişkin kapsam, coğrafi kapsam, teknolojik kapsam, tamlık, bütünlük, temsiliyet, tutarlılık ve üretilebilirliğe dair başlıkları içerir *(Athena Sustainable Materials Institute, 2004, 13-14)*. CPM veri tabanında SPINE formatında, kalite boyutları olarak isimlendirilen güvenilirlik, ulaşılabilirlik ve ilişkililik aslında ISO 14041 standartlarında istenen teknolojik, bölgeye ilişkin ve zamana ilişkin kapsamların yanısıra, tamlık, bütünlük, temsiliyet, tutarlılık ve üretilebilirliğe ilişkin bilgileri içerir *(Flemstörm ve Palsson, 2003, 7)*. Sonuç olarak çalışmalar arasında farklılıklar gösterseler de veri kalitesi göstergelerinin temelde standartların yaklaşımına uygun olacak şekilde birbirlerine benzer seçildiği görülmektedir.

Verinin depolanması: ecoinvent içerisinde meta veri üst başlığı altında: süreç bilgisi, modelleme ve onaylama ve idari bilgiler sekmeleri yer alır. Akış verileri içerisinde ise değişimler ve dağıtım bilgileri verilir *(Frischknecht vd., 2007, 48)*. SETAC çalışma grubunun çalışmasıyla şekillenen elementer akışların isimlendirilmesinde, yeni maddelerin eklenmesinde CAS *(Chemical Abstracts Service)* sayıları, formülleri ve IUPAC *(Union of Pure and Applied Chemistry)* isimleri ile eklenmeleri beklenir ve isimlendirme tüm çevresel kompartmanlarda aynı olmalıdır *(Frischknecht vd., 2007, 22)*. ecoinvent veri tabanında, yapı malzemesi hesaplamalarında birim olarak beton ve ahşap için m3, diğerleri için kg kullanılmaktadır *(Frischknecht vd., 2007, 20, 23)*. GaBi içerisinde meta verinin dokümantasyonu International Reference Life Cycle Data System *(ILCD 2010)* rehberi çerçevesinde şekillenmiştir *(Kupfer vd., 2017, 153)*. YDE süreç verilerinin dökümantasyonunda da gerekli teknik, arka plan verileri v.b. veriler raporlanarak EPD, EcoSpold gibi formatlarla uyumlu olması sağlanmıştır *(Kupfer vd., 2017, 154)*. Aynı rehberde GaBi içerisinde akışlar ya teknik olarak *(elementer olmayan akışlar ve kaynaklar)* ya da salım kompartmanları *(havaya, suya ve toprağa)* olarak düzenlenmiştir *(Kupfer vd., 2017, 153)*. GaBi içerisinde akışlar için en temel bilgiler olarak: isim, CAS kodu, kısaltma, kimyasal formül, teknik özellikler *(kalorifik değer, element içeriği, etki kategorisi)*, referans birim belirtilmelidir. Süreçler için ise: ülke, isim *(genellikle işlevsel birimi de içerecek şekilde ürünün adı)*, isme eklemeler, üretim teknolojisi, referans yıl, veri kalitesi ve tamlık verilmesi gereken bilgilerdir. Planlar için en temel bilgiler olarak ilişkili sistem sınırları, temel teknoloji akışı ve operasyonun bölgesi belirtilmelidir *(Kupfer vd., 2017, 95-96)*. Ayrıca veri tabanlarının hepsinde metrik SI birimlerinin kullanılmaktadır.

Veri toplanmasına ilişkin incelenen ölçütlerin incelenmesiyle, veri tabanlarının kararlarıyla uyumlu, en geniş kapsamı sağlayan kurallar Tablo 4'de özetlenmiştir.

- Veri toplanması ölçütleri incelendiğinde, sürecin uygun modellenmesi, veri kalitesi ve verimlilik gözönüne alınarak uygun abakların oluşturulması gereklidir. Şeffaflık, teknolojik kapsam, bölgesel kapsam ve zamana ilişkin kapsamlar dikkat edilmesi gereken unsurlardır. Ardından veriler gerekli onaylardan geçirilmeli ve geri beslemeler yapılmalıdır.

- Eksik verinin derlenmesi öncelikli olarak yerinde ölçümler ve ardından temel ilişkilere bağlı olarak, en son varsayımsal hesaplar ile yapılmalıdır. Veri derleme yöntemlerini kabul etmeyen veri tabanları için veri setlerinin üretilmiş verileri içermeyen versiyonlarının da bulunması uygundur.
- Dağıtımdan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Gerekli durumlarda dağıtım öncelikle fiziksel ilişkiler, ardından ekonomik değerler ile yapılmalıdır. Sonraki çalışmalar için veriler dağıtım yapılmamış olarak da kayıt altına alınmalıdır. Veri dağıtımını uygulamayan veri tabanlarının, orijinal veriden faydalanması gerekli dokümantasyon ile sağlanmalıdır.
- Veri kalitesi, veri kalitesi göstergeleriyle değerlendirilmektedir ancak veri tabanlarının kısmen farklı göstergeleri kullandığı görülmüştür. Belirsizlik/netlik, coğrafi kapsam *(coğrafi korelasyon, coğrafi temsiliyet)*, güvenilirlik *(farklı tanımları karşılayacak şekilde)*, güvenilirlik ve belirsizlik hassasiyet, hassasiyet ve kesinlik, ileri teknik korelasyon *(teknolojik kapsam, teknolojik temsiliyet)*, ilişkililik, ilişkililik ve temsiliyet, ölçüm sayısı, tamlık *(farklı tanımları karşılayacak şekilde)*, temsiliyet, tutarlılık, ulaşılabilirlik, üretilebilirlik, veri kaynakları ve zamana dair kapsam *(zamana bağlı korelasyon, zamana bağlı temsiliyet)* değişkenlerinin tümünün veri kalitesi göstergeleri olarak kaydedilmesiyle en geniş sınırlar oluşturulabilir. Tüm veri kalitesi göstergelerinin veri setlerinde tanımlanmasıyla ve ilişkilendirilecek veri tabanına göre gerekli olanların seçimiyle veri kalitesi değeri diğer veri tabanı ile denk verilebilir.
- Veri depolanmasında ise farklı formatların kullanıldığı görülmektedir. En yoğun kullanılan formatın seçilmesi en çok veri tabanı ile eksiksiz ilişkilenebilmek açısından önemlidir. EcoSpold incelenen veritabanlarının ikisinde *(ecoinvent ve US LCI)* kullanımıyla öne çıkmaktadır. Verinin isimlendirilmesi ve birimlerin kullanımında küresel uygunluk sağlanmalıdır. SI birimlerinin kullanımı, veri tabanlarının ortaklaştığı bir konu olarak geliştirilecek veri tabanları için de önerilmektedir.

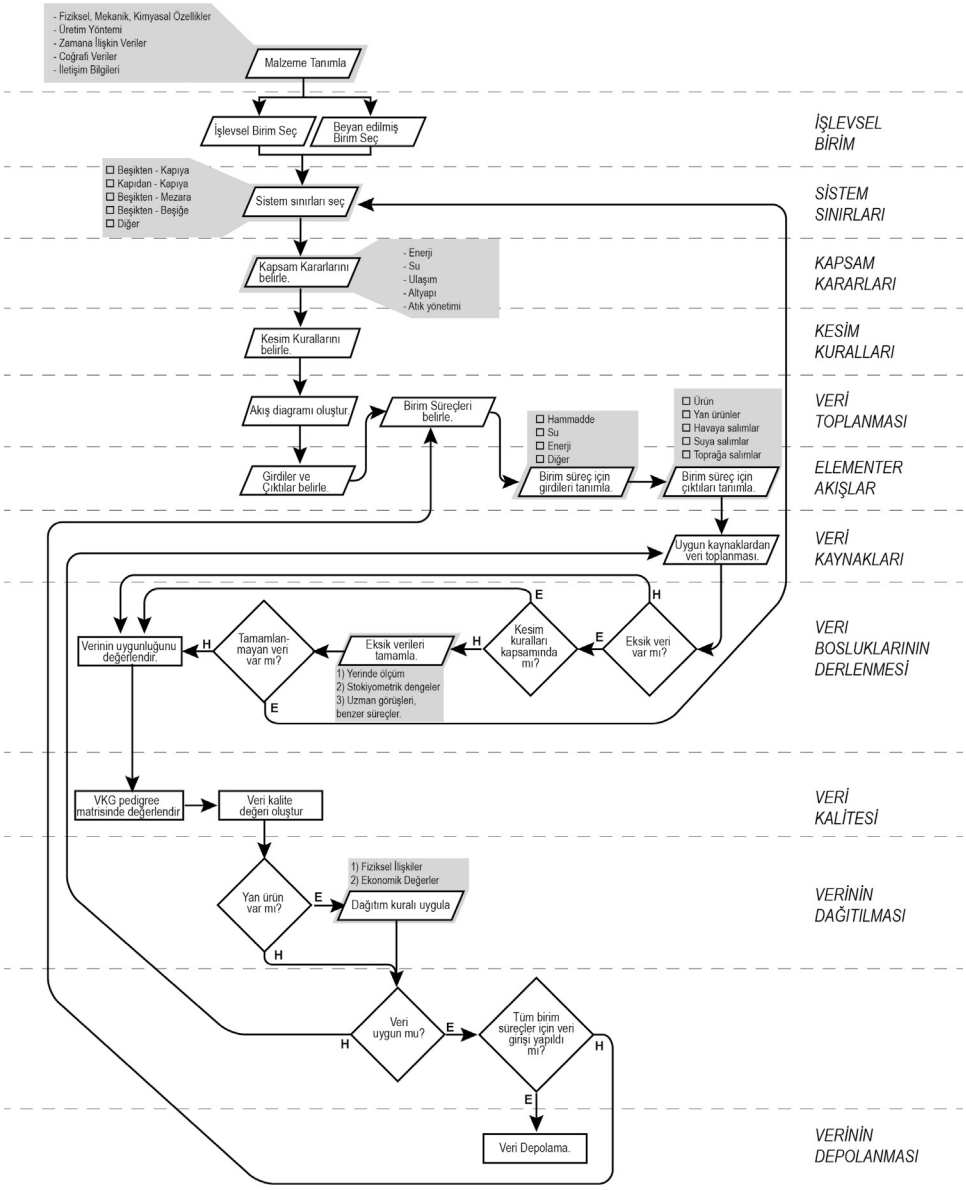
Tablo 2 ve Tablo 4'de özetlenen kurallar ve yöntemler çerçevesinde veri toplanmasıyla veri tabanları arasında uyum ve karşılıklı kullanılabilirlik arttırılabilir. Ancak bunun sağlanabilmesi için temel gereklerden birisi veri tabanlarının ölçütlerinin ve yöntemlerinin detaylı bir şekilde diğer araştırmacılara ulaştırılmasıdır. Sinha vd.'nin çalışmasında da vurgulandığı gibi, veri tabanına ilişkin dökümantasyonun açıkça yapılması gerekmektedir *(2016, 169)*. Çalışmada "bilgi edinilemeyen" başlıklar belirtilmiştir ve bilgi elde edilip edinilememesi Martinez-Romacora vd.'nin çalışmasının sonuçları ile uyumludur *(2016, 569)*. Sonuç olarak veri tabanlarına ilişkin bilgilerin bulunması, ileride üretilecek veri tabanlarının uyumlu üretilebilmesini sağlar.

Bir başka sorun olarak veri tabanlarının tanım farklılıklarının denkleştirilmesi gerekliliği literatürde irdelenmiştir *(Suh vd., 2016, 1297)*. Bu çalışma sırasında benzer konular için literatürde farklı terimlerin kullanıldığı ve konuların farklı başlıklar altında değerlendirildiği görülmüştür. YDD literatüründe bir dilbirliği oluşturulması, ortaklığın oluşturulmasını ve veri tabanları arasında karşılıklı kullanımı kolaylaştıracak unsurlardan biridir *(Kupfer vd., 2017, 95)*.

Yukarıda irdelenen başlıklar gözönüne alınarak bir yapı malzemesi için oluşturulan veri toplama akışı Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu şekilde çalışmada ölçüt alınan başlıkların akış ile ilişkisi, çeşitli öçütlere ilişkin biriktirilmesi gereken temel veriler, yapılması gereken seçimler ve hiyerarşik olarak uygulanması gereken kurallar (*1, 2, 3 ile)* gösterilmiştir.

4. Veri Toplanması Aşamasının Yapısal Alüminyum Profil Örneğinde Değerlendirilmesi

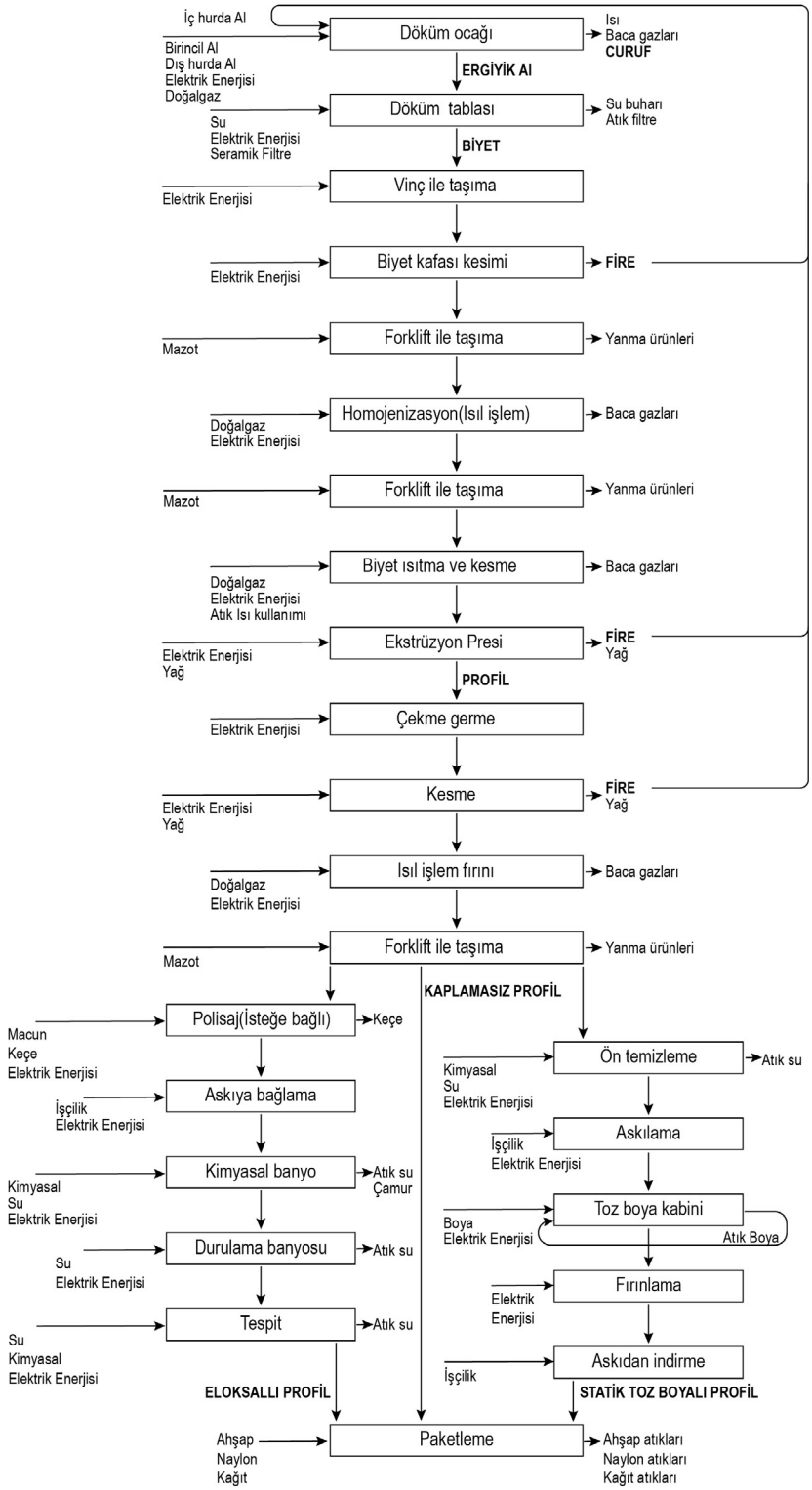
Alüminyum günümüzde yapı sektöründe giderek artan kullanım oranı ile önemli bir yapı malzemesidir. Ancak hammaddenin



Şekil: 3
Bir Yapı Malzemesi için Oluşturulan Veri Toplama Akışı Taslağı (ISO 14040:2006; ISO 14041:1998; Frischknecht vd., 2007; Kupfer vd., 2017; European Comission, 2010; PlasticsEurope, 2019; Athena Sustainable Materials Institute 2004; Athena Sustainable Materials Institute vd. 2003; Flemstörm ve Palsson, 2003 çalışmalarından üretilmiştir.).

ve ilişkili yapı malzemelerinin üretiminde: hem Türkiye'de hammadde üretiminin fazla olmaması, hem ikincil Al kullanımının yoğunluğu *(URL (8)) (dolayısıyla malzeme için geri-dönüşümün çeşitli aşamalarda kullanılmakta olması)* ve bu süreçlerin çevresel etkilere olumlu, olumsuz katkılarının incelenebilmesi için alüminyum sektörünün uygun olduğu düşünülerek örnek çalışma olarak alüminyum *(Al)* alaşımlarından yapısal profil üretim süreci incelenmiştir.

Veri Toplanması için hazırlık adımı: Veri kaynakları olarak tesiste birincil olarak tesis verilerinin kullanılabileceği görülmüştür. Üretim sürecinde ölçümlerin uygun aralıklarla, yeterli sayıda yapılması ve bunlardan elde edilen tesis ortalaması değerlerinin kullanılması, tek ölçüme ilişkin hataların azaltılması açısından önemlidir. İşletmede doğalgaz ve elektrik kullanımlarının ölçümleri sayaçlar ile yapılmaktadır. Bu durum birincil veri kullanımını olumlu etkilemektedir. Güncel bilgilerle Al profil üretiminde sadece tesis içi süreç *(kapıdan-kapıya)* gözönüne alındığı ve malzemenin hangi özellikte bir ürüne dönüşeceği bilinmediği için: malzemeyi beyan edilmiş birim



Şekil: 4
İncelenen Yapısal Al Profil İçin Üretim Şeması.

üzerinden tanımlamak uygundur. Kesim kuralları açısından değerlendirmede, ilk analizde göz ardı edilen işlemlerin; ergitme alanından Al biyetin vinç ve forkliftlerle profil hattına aktarılması, profil kalıbının ısıtılması, germe işlemi, taşıma için sepete dizilmiş profillerin vinç ve forkliftlerle yüzey işlemlerine aktarılması süreçlerinin %5 oranının altında kaldığı düşünülmektedir. Sonraki çalışmalarda %1 oranının altında kalabilmek ve daha net sayısal değerlere ulaşmak için tesis ile beraber çalışmalar yapılması gerekmektedir. Kapsam kararlarının değerlendirilmesinde: enerji, su ve tesis içi nakliyeye ilişkin veriler oldukça detaylı biriktirildiği ve bu başlıkların çalışmaya dahil edilebileceği görülmüştür. Tesis yönetimi için planlanan atık miktarları ve atık bertaraf yöntemlerini içeren "Endüstriyel Atık Yönetim Planı" yapılmalıdır. Atık yönetimi bu çalışmada oluşan iç hurda Al'nin kullanımı, geri dönüştürülen çeşitli malzemeler ve yönetmelikler gereği yapılan arıtmalar olarak düşünülmektedir. Alt yapı ilk analizde kapsam kararlarında göz önüne alınamamıştır.

Veri toplanması aşamasında: Tesis işleyişine uygun olarak ürün akışı şeması üzerinden toplanması gerekli verilere dair formlar oluşturularak gerekli ham verilerin toplanabileceği görülmüştür. Öncelikle akış diyagramı oluşturularak, girdiler ve çıktılar, birincil ve ikincil verilere dair değerlendirme yapılmıştır. Şekil 4'te tesisteki yapısal Al profil üretim süreci gösterilmektedir. Girdi ve çıktılara ilişkin ölçümlere dair bilgiler Tablo 5'de gösterilmektedir. Girdi ve çıktılara ilişkin ölçümler, verilerin sağlamasının yapılması için kullanılabilir. Verilerin çevresel etkilerinin elde edilmesi *(elektrik üretiminden oluşan çevresel etkiler vb.)* farklı uzmanlıklar gerektirmektedir. Burada uzmanların gerekli hesaplamalar yapması ya da farklı veri tabanlarının üretmiş olduğu hesaplar kullanılmalıdır. Beyan edilmiş birim için kullanılan girdi miktarlarının, ölçülen tesis verisinden fiziksel ilişkilerle elde edilebileceği düşünülmektedir. Eksik verinin derlenmesi için de öncelikli olarak tesis verilerinden faydalanılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Bunun ardından gerekirse diğer veri derleme yöntemleri kullanılabilir. Dağıtım gerektiren süreçlerde fiziksel ilişkiler üzerinden dağıtımın yapılmasının

	Değişken	Tesis içi Denetim Yöntemi	Ölçüm Sıklığı	Bir takvim yılındaki ölçüm sayısı
GİRDİLER	**Hammadde kullanımı** (birincil)	Stok kontrolünden okunabiliyor	Günlük	365
	Hammadde kullanımı (hurda)	Stok kontrolünden okunabiliyor	Günlük	365
	Doğalgaz kullanımı	Sayaç olan cihazlardan istenildiğinde okunabilir.	Sürekli takip edilebilir (standart ölçüm aylık)	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm sayısı 12)
	Elektrik kullanımı	Sayaç olan cihazlara sahip birimlerde istenildiğinde okunabilir.	Sürekli takip edilebilir	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm aylık)
	Su kullanımı	Üretime dair ayrı sayaçtan okunur.	Aylık fatura ile	12
	Mazot kullanımı	Stok koşullarına göre alınıyor.	Aylıktan sık aralıklar	12'den fazla
	Sarf malzemesi kullanımı (yağ, keçe, macun)	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
	Flaks kullanımı	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
	Kimyasal kullanımı	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Aylık	12
	Boya kullanımı	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Günlük	365
	Paketleme malzemesi kullanımı (Naylon film dışında)	Üretim raporları ile tüketim takip edilebilir.	Ürün bazında biliniyor.	İstenildiği sıklıkta (standart ölçüm sayısı 12)
	Paketleme malzemesi kullanımı (Naylon film)	Stok kontrolü takibi ile bulunabilir.	Aylık	12
ÇIKTILAR	**Emisyon ölçümü**	Baca gazı emisyon ölçüm raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi yılda 1	1 (en az)
	Atık su analizi	Atık su analizi raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi ayda 1	12
	Çamur analizi	Üretimdeki atık maddenin belirlenmesi için bir kere. Üretim değişikliğinde yenilenmeli.	Bakanlık takibi için her üretim koşulunda tek ölçüm yeterli	Üretimin aynı kalması sürecinde 1 kere
	Atık çamur miktarı takibi	Atık çamur takibi raporu ile belirlenir.	Bakanlık takibi gereklilik halinde	66 (2018 yılı ölçüm sayısı)

Tablo: 5
Tesiste Ölçülen Veriler, Ölçüm Yöntemi, Aralığı, Bir Yıl İçerisindeki Ölçüm Sıklığı.

uygun olduğu görülmüştür. ISO 14041 standardının ve incelenen veri tabanlarının göz önüne aldığı veri kalitesi göstergeleri ve tesiste bu verilere ulaşılabilirlik Tablo 6'da değerlendirilmiştir. Tabloda ISO 14041 standardı içerisinde yanıtlanması gereken veri kalitesi göstergeleri *(gri ile)* ve diğer veritabanlarındaki veri kalitesi

Tablo: 6
Olası Tüm Veri Kalitesi Göstergelerinin Tesiste Yanıtlanabilirliği (ISO 14041:2006; Frischknecht vd. 2007, 45; Kupfer vd., 2017, 79-83; European Comission, 2010; Athena Sustainable Materials Institute, 2004, 13; PlasticsEurope, 2019, 13; Flemström ve Pålsson, 2003, 6-7 çalışmalarından derlenmiştir.).

Veri Kalitesi Göstergesi	İçerik	Standart/ Veri Tabanı	Yanıt verilebilirliği
Belirsizlik/Netlik	Veri kaynaklarına dair bilgi	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Coğrafi kapsam	Konum bilgisi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Coğrafi kapsam	Konum bilgisi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Coğrafi kapsam	Konum bilgisi	US LCI	Yanıtlanabilir
Coğrafi korelasyon	Konum bilgisi	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Coğrafi temsiliyet	Konum bilgisi	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik	Kaynak güvenilirliği	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik	Hassasiyet ve tutarlılığı içerir	CPM	Yanıtlanabilir
Güvenilirlik ve belirsizlik	Verinin belirsizliği	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Hassasiyet	Veri değişkenliğinin ölçümü	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Hassasiyet	Veri değişkenliğinin ölçümü	US LCI	Yanıtlanabilir
Hassiyet ve kesinlik	Verilerin değişkenliği	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
İleri teknik korelasyon	Teknolojik bilgi	ecoinvent	Yanıtlanabilir
İlişkililik	Zaman, konum ve teknik bilgiler ile tamlık ve temsiliyet	CPM	Yanıtlanabilir
İlişkililik ve temsiliyet	Doğru grubu temsil ettiğinin bilgisi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Ölçüm sayısı	Ölçüm sayısı	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Tamlık	Birincil verilerin yüzdesi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Tamlık	Birincil verilerin yüzdesi	US LCI	Yanıtlanabilir
Tamlık	Süreç ve zaman açısından	ecoinvent	Yanıtlanabilir
Tamlık	Akışların tümünün içerilmesi	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Tamlık	Ölçülmüş ya da tahmini akışların yüzdesi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Teknik temsiliyet	Teknolojik bilgi	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Teknolojik kapsam	Teknolojik bilgi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Teknolojik kapsam	Teknolojik bilgi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Teknolojik kapsam	Teknolojik bilgi	US LCI	Yanıtlanabilir
Temsiliyet	Verinin doğru grubu temsiliyeti	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Temsiliyet	Verinin doğru grubu temsiliyeti	US LCI	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojik tutarlılık	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojik tutarlılık	US LCI	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojiye uygunluk	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Tutarlılık	Metodolojiye uygunluk	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Ulaşılabilirlik	Üretilebilirlik ve tutarlılığı içerir	CPM	Yanıtlanabilir
Üretilebilirlik	Verinin yeniden üretilebilmesi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Üretilebilirlik	Verinin yeniden üretilebilmesi	US LCI	Yanıtlanabilir
Üretilebilirlik	Yeniden üretilebilir olması	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Veri kaynakları	Kaynakların belgelenmesi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Zamana dair kapsam	Zaman bilgisi	ISO 14041	Yanıtlanabilir
Zamana dair kapsam	Zaman bilgisi	US LCI	Yanıtlanabilir
Zamana bağlı temsiliyet	Zaman bilgisi	GaBi, ILCD	Yanıtlanabilir
Zamana ilişkin kapsam	Zaman bilgisi	Eco-profiles	Yanıtlanabilir
Zamana bağlı korelasyon	Zaman bilgisi	ecoinvent	Yanıtlanabilir

göstergeleri tablodan okunabilir. Tablo 6'da farklı veri tabanlarının veri kalitesi göstergelerini aynı, benzer ya da farklı isimlendirdiği ve kapsamların aynı, benzer ya da kısmen farklı olduğu görülmektedir. Bu sebeple tüm olası veri kalitesi göstergeleri listelenmiştir. Tesiste gerekli veri kalitesi göstergelerine ilişkin bilgilerin, veri toplama adımında meta veriler olarak kaydedilebileceği düşünülmektedir.

Tablo 7 ve Tablo 8'de örnek olarak incelenen yapısal Al profile ilişkin sonuçlar irdelenmiştir. İşlevsel birim yerine öncelikle beyan edilmiş birimin kullanılması,

	Veri kaynakları	İşlevsel birim	Sistem sınırları	Kesim kuralları	Kapsam kararları	Elementer akışlar
Al profil örneğinde çalışmanın gerçekleştirilebileceği sınırlar (güncel)	Birincil veri olarak tesis verilerinin kullanılabileceği, ikincil veri için uygun diğer kaynakların kullanılabileceği görülmüştür.	Beyan edilmiş birim	Kapıdan-kapıya	Güncel koşullarda çalışma sınırlarının %5 ölçeğinde kaldığı düşünülmektedir.	Enerji, su, ulaşıma ilişkin bilgiler kaydedilmektedir ve atık yönetiminin sistemin parçası olarak değerlendirilebilir. Altyapı ilk analizde kapsam dışı tutulmaktadır.	Tr için ön görülen veya amaçlanan ÇÜB formu için gerekli elementer akışların değerlendirilmesi mümkündür.
Al profil örneğinde çalışmanın gerçekleştirilebileceği sınırlar (öneri)	Verilerin ölçümlerinin tesiste ve onaylanarak yapılmasının özendirilmesi ile birincil veri kaynaklarının arttırılması hedeflenmelidir.	Beyan edilmiş birim ve ürün kullanım amacına göre işlevsel birimin bir arada değerlendirilmesi	Beşikten-kapıya	Kesim miktarının %1'in altında kalması ve çevresel etkisi yüksek akışların kesilmemesi gözönüne alınarak veriler derlenebilir.	Daha detaylı bir çalışma ile altyapı da çalışma sürecinde değerlendirilebilir.	Teorik olarak tüm akışların süre içerisinde değerlendilmesi çalışma bütünlüğü açısından tercih edilebilir.

	Veri toplama yöntemi	Eksik bilginin toplanması	Verinin dağıtılması	Veri kalitesi	Veri depolanması
Al profil örneğinde çalışmanın gerçekleştirilebileceği sınırlar (güncel)	Gerekli ön çalışma ile üretim akışına uygun formlar oluşturulabileceği ve ham veriler kümelendirme yapılmadan, meta verileriyle beraber kaydedilebileceği görülmüştür.	Öncelikle yerinde ölçüm olanaklarından faydalanılabileceği düşünülmektedir. Ardından gerekli hallerde stokiyometrik dengeler, literatür çalışmaları, benzer süreçler ve ortalama verilerin kullanılması uygundur.	Dağıtım mümkün olduğu kadar fiziksel ilişkiler (ağırlık) ile yapılabileceği görülmüştür.	Çalışılan veri tabanlarındaki tüm veri kalitesi göstergeleri için gerekli bilgilerin derlenebileceği ve Pedigree matrisinde değerlendirebileceği düşünülmektedir.	EcoSpold formatına uygun veri depolanması yapılabileceği düşünülmektedir. SI birimlerinin kullanımı ve bir çok verinin evrensel sayılar ve kodlarla biriktirildiği görülmüştür.
Al profil örneğinde çalışmanın gerçekleştirilebileceği sınırlar (öneri)	Ürün üretim akışları, ilişkili ürün süreçlerini kapsayacak şekilde genişletilerek daha kapsamlı ve doğru bir sonuca ulaşılabilir.	Türkiye üretim süreçlerine ilişkin benzer verilerin oluşturulması bener süreçler ve ortalama veriler üzerinden eksik verinin toplanmasını kolaylaştıracaktır. Sonuçların uygunluğu uzman değerlendirmeleri ve diğer yöntemlerle yapılmalıdır.	Dağıtımın fiziksel ilişkilerin yeterli/uygun olmadığı durumlarda ekonomik değerler üzerinden yapılması için gerekli bilgiler de derlenmelidir.	Birlikte kullanılacak veri tabanlarına ilişkin veri kalitesi göstergeleri oluşturulmalı ve sadece ilişkili olanlar Pedigree matrisinde değerlendirilmelidir.	CAS sayıları gibi envanter analizinde yaygın kullanılan evrensel kodlar ve sayılarla veri depolanması veri toplanması sürecinde mümkün olduğu kadar yaygınlaştırılmalıdır.

Tablo: 7
Yapısal Al Profil Üretimi Üzerinden "Veri Toplanması İçin Hazırlık" Adımına İlişkin Belirlenen Kuralların Tartışılması.

Tablo: 8
Yapısal Al Profil Üretimi Üzerinden "Veri Toplanması" Adımına İlişkin Belirlenen Kuralların Tartışılması.

gerekirse bunun işlevsel birim ile ilişkilendirilmesi uygundur. Çalışılan ürün içerisinde hammadde üretimi olmaması nedeniyle sonuçlar kapıdan-kapıya ölçeğinde kalmıştır. Gerekli görülmesi halinde jenerik bilgiler ile bu eksik tamamlanarak çalışma beşikten-kapıya sınırlarına getirilebilir. Ancak bu durumda jenerik bilgiler, sonuçları ürüne özgü olmaktan uzaklaştıracaktır. Veri toplanmasında kimi verilerin çevresel etkiye katkısı azdır. Bu verilerin toplanmasına ilişkin çalışmalar yerine kesim kuralları uygulanabilir. Enerji, su, ulaşım ve atık yönetimine ilişkin veriler çalışmaya dahil edilmiştir. İlk çalışmada alt yapıya dair bilgi edinilmesi kapsam dışı bırakılmıştır ve ileri bir çalışma olarak değerlendirilmiştir. Elementer akışların oluşturulmasında öncelikli olarak Türkiye için ön görülen gerekli kategoriler ya da ÇÜB için gerekli akışlar düşünülebilir. Veri toplanması, malzeme üretim sürecine göre uygun formların oluşturulmasıyla yapılabilir. Eksik verilerin derlenmesinde ilk olarak tesisten bu verilerin elde edilmesine çalışılması uygundur, elde edilememesi halinde uygun yöntemler ile tamamlanabilir. Malzemeye ilişkin veri toplanmasında çeşitli süreçlerde dağıtım gerekmektedir. Bu dağıtımlar fiziksel ilişkiler *(özellikle ağırlık, ardından üretim*

miktarı) üzerinden yapılabilir. Veri kalitesi göstergeleri beraber kullanılacak bir veri tabanı varsa buna uygun seçilmelidir. Aksi takdirde ISO'da belirtilen veri kalitesi göstergeleri Pedigree matrisinde değerlendirilerek kullanılmalıdır. Veri toplanması ecoSpold formatında, SI birimleri ile ve uygun kodlarla kaydedilerek yapılmalıdır. Veri kalitesine ilişkin tercihlerin diğer veri tabanları ile ilişkiler, veri depolanmasına ilişkin tercihlerin ise daha evrensel kararlar üzerinden yapılması uygundur.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada veri tabanlarının elde edilen ölçütler ve bu ölçütlerin Al yapısal profil üzerinden örneklenmesi yapıldı.

Veri tabanlarının ölçütler açısından değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar:

- Veri tabanlarına ilişkin bilgi elde edilebilmesinde: GaBi ve ecoinvent diğer veri tabanları ile karşılaştırıldığında büyük farklılıklar göze çarpmıştır. ecoinvent ve GaBi veri tabanlarında çalışmanın nasıl yürütüldüğüne ilişkin bilgiler açıkça ve detaylı bir şekilde ifade edilmektedir. Dolayısıyla irdelenen başlıklara ilişkin tartışılan bilginin büyük çoğunluğu bu veri tabanlarından kaynaklanmaktadır. ELCD, CPM LCA veri tabanı, US LCI veri tabanı bunların ardından bilgi edinilebilen veri tabanlarıdır.
- Veri toplanması için hazırlık aşamasında:

  Veri tabanlarının farklı bakış açıları ile çok farklı veri kaynaklarından yararlandığı görülmüştür. Sistem sınırlarının da veri tabanı çalışma alanına bağlı olarak dar ya da geniş tutulduğu görülmüştür. İşlevsel birim ölçütü, beyan edilmiş birim ile beraber değerlendirilirse veri tabanları arasında en kapsayıcı alana ulaşılmaktadır. Kesim kurallarında farklı veri tabanlarının farklı sınırlar kabul etmekte olması, daha hassas çalışan veri tabanlarının malzemeye ilişkin etki değerlendirme değerlerinin daha hassas ancak daha yüksek olmasına yol açabilir. Kapsam kararları ve elementer akışların: uzun süredir geliştirilen veri tabanlarında veri tabanının genişliği dolayısıyla, daha detaylı olarak değerlendirildiği düşünülmektedir.
- Veri toplanması aşamasında:

  Verinin toplanması yönteminde veri tabanlarının kapsamı nedeniyle farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Eksik verinin derlenmesi ve verinin dağıtılması veri tabanlarının çoğunda benzer yöntemler ile çözülmektedir. Veri kalitesi göstergelerinin derlenmesinde, veri tabanlarının her birindeki göstergelerin değerlendirilmesi ve uygun koşula göre Pedigree matrisinde hesaplanması en güvenilir sonuca ulaşmanın yöntemi olabilir. Ancak bu yöntem zaten emek yoğun bir çalışma olan veri toplama adımının daha da detaylandırılmasını gerektirmektedir. Bunun yerine veri kalitesi göstergelerinde ortak bir yaklaşım geliştirilmesiyle, veri tabanları arasında veri kalitesi açısından daha tutarlı sonuçlara ulaşılması sağlanabilir. Veri depolanması için formatlar genellikle veri tabanlarına özgü olarak geliştirilmiştir.

Veri toplanmasının genel kurallarının yapılabilirliği Türkiye'de yapısal alüminyum profil örneği üzerinden değerlendirildiğinde:

- Veri toplanması için hazırlık aşamasında:

  Veri kaynakları değerlendirildiğinde: Ekonomik önemi olan girdilerin *(hammadde, enerji, paketleme malzemesi, sarf malzemeleri vb.)* ölçümlerinin ciddiyetle yapıldığı görülmüştür. Bu ölçümlere ilişkin güvenilir verilerin oluşturulması kolaydır. Kesim kuralları: Kesim oranının %1 sınırında tutulması olasıdır. Ancak bunun sağlanması için çalışmanın derinleştirilmesi gerekmektedir. İşlevsel birim, sistem sınırları, kapsam kararları ve elementer akışların ileriki çalışmalarda diğer veri tabanları ile uyumlu hale getirilmesi için daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

- Veri toplanması aşamasında:

  Veri toplama yöntemi: Tesis kapsamına göre yönetmeliklerdeki bazı verilerin yıllık veya daha uzun süreçlerde ölçülmesi söz konusudur. Ölçüm sıklığı, hata payının düşmesi için önemlidir. Sık ölçümü özendirici durumlar veri kalitesini arttıracaktır. Eksik bilginin toplanması, verinin dağıtımı ve veri kalitesi ölçütlerinde diğer veri tabanları ile benzer yöntemelerin izlenmesi mümkündür. Veri depolanması açısından SI birimleri ve zaman zaman CAS sayılarının ölçümlerde ve analizlerde kullanılması evrensel dilbirliğinin sağlanması açısından olumludur.

Bu çalışmada etki değerlendirme evresine veri aktarımı açısından gerekli bilginin toplanması, derlenmesi ve üretilmesi için ortak bir yaklaşım geliştirilmesi ve veri tabanları arasındaki ortaklık ve farklılıklardan oluşabilecek en geniş kapsam belirlenmeye çalışılmıştır. Bu ortak kapsamın elde edilebilir olması küresel ölçekte veri tabanlarının beraber kullanımını yaygınlaştırabilir. Çalışmada ortaya çıkan sonuçlar, yeni oluşturulacak veri tabanlarının en fazla veri tabanı ile ortaklığı anlamında bir ön çalışma olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın devamı olarak her başlık için kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır●

Kaynakça

Ali, A. M. M., Negm A. M., Bady M. F. ve Ibrahim M. G. E., (2014). Moving towards an Egyptian national life cycle inventory Database. *Int J Life Cycle Assessment*, 19, 1551–1558. DOI 10.1007/s11367-014-0760-z.

Almeida, M., Dias, A., Arroja, L. ve Dias, A. (2010). *Life cycle assessment (cradle to gate) of a Portuguese brick.* Portugal SB10 Sustainable Building Affordable to All Konferansında sunulmuş bildiri, Vilamoura, Portekiz.

Athena Sustainable Materials Institute. (2004). *U.S. LCI Database Project Development Guidelines.* Erişim Adresi: https://www.nrel.gov/lci/publications.html

Athena Sustainable Materials Institute, Franklin Associates, Ltd., Sylvatica. (2003). *U.S. LCI Database Project— Phase I Final Report.* Erişim Adresi: https://www.nrel.gov/lci/publications.html

Babu, B. V. (2006). *Life Cycle Inventory Analysis.* Life Cycle Assessment & Life Cycle Management Methodologies Uluslararası Konferansında sunulmuş bildiri, Kuala Lumpur, Malezya.

Bovea, M-D., Saura, Ú., Ferrero, J. L. ve Giner, J. (2007). Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 12(6), 439-447. DOI 10.1065/lca2006.06.252

Casademont, X. ve Alfaro, L. (2014). *New tool to identify enviromental impacts on the construction works.* BEDEC & TCQGMA. Sustainable Building 2014 Konferansında sunulmuş bildiri, Barcelona, İspanya.

CEN (Comité Européen de Normalisation). (2012). *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products BS EN 15804.* Brüksel.

Coulon, R., Camobreco, V., Teulon, H., ve Besnainou, J. (1997). Data quality and uncertainty in LCI. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 2(3), 178.

de Eicker, M. O., Hischier, R., Kulay, L. A., Lehmann, M., Zah, R., ve Hurni, H. (2010). The applicability of non-local LCI data for LCA. *Environmental Impact Assessment Review,* 30(3), 192-199. DOI 10.1016/j.eiar.2009.08.007

Dixit, M. K., Culp, C. H., ve Fernández-Solís, J. L. (2013). System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 21, 153-164. DOI 10.1016/j.rser.2012.12.037

Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., ve Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A *literature review. Energy and buildings,* 42(8), 1238-1247. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.02.016

Dong, Y. H., ve Ng, S. T. (2015). A life cycle assessment model for evaluating the environmental impacts of building construction in Hong Kong. *Building and Environment,* 89, 183-191. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.016

Edelen, A. ve Ingwersen, W. (2016). *Guidance on data quality assessment for life cycle inventory data.* US EPA web sayfasından erişildi: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=528687&Lab=NRMRL

European Commission; Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. (2010).

International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Specific guide for Life Cycle Inventory data sets. (1. Sürüm Mart 2010). Erişim adresi: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-Specific-guide-for-LCI-12March2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf

Ferreira, A. D. D., ve Mainier, F. B. (2015). Application of Life Cycle Assessment (LCA) in Construction Industry *International Journal of Civil & Environmental Engineering* IJCEE-IJENS Vol: 15 No: 05

Flemström, K. ve Pålsson, A. C. (2003). *Introduction and guide to LCA data documentation using the CPM documentation criteria and the ISO/TS 14048 data documentation format* (CPM Report 2003:3). Swedish Life Cycle Center web sitesinden erişildi: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2003_3.pdf

Frischknecht, R. (2006). Notions on the design and use of an ideal regional or global LCA database. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 11(1), 40-48. DOI: 10.1065/lca2006.04.010

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H., Hischier, R., Doka, G., Dones, R. Heck, T., Hellweg, S., Hischier, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., Spielmann, M. ve Wernet, G. (2007). *Overview and methodology. Data v2.0 (ecoinvent report No 1).* ecoinvent web sitesinden erişildi: https://www.ecoinvent.org/files/200712_frischknecht_jungbluth_overview_methodology_ecoinvent2.pdf

Guinée, J., De Haes, H. U., ve Huppes, G. (1993). Quantitative life cycle assessment of products: 1: Goal definition and inventory. *Journal of Cleaner Production*, 1(1), 3-13.

Harris, D. (1999). A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. *Building and environment,* 34(6), 751-758.

Herrmann, I. T., ve Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production,* 86, 163-169. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.08.004

ISO (International Standarts Organization). (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework ISO 14040*. İsviçre.

ISO (International Standarts Organization). (1998). *Environmental management — Life cycle assessment — Goal and scope definition and inventory analysis ISO 14041*. İsviçre.

ISO (International Standarts Organization). (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines ISO 14044*. İsviçre.

Kellenberger, D. (2007). *Modelling principles for the collection of consistent and comprehensive LCI data.* The New Zealand Sustainable Building Konferansında sunulmuş bildiri, Yeni Zellanda.

Kupfer, T., Baitz, D., Colodel, C. M., Kokborg, M., Schôll, S., Rudolf, M., Thellier L., Gonzalez, M., Schuller, O., Hengstler, J., Stoffregen, A., Köhler, ve A., Thylmann, D. (2017). *GaBi Database & Modelling Principles.* Almanya: thinkstep.

Lasvaux, S., Habert, G., Peuportier, B., ve Chevalier, J. (2015). Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: Application to construction materials used in building LCA studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 20(11), 1473-1490. DOI 10.1007/s11367-015-0938-z

Lesage, P., ve Samson, R. (2016). The Quebec life cycle inventory database project. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 21(9), 1282-1289. DOI 10.1007/s11367-013-0593-1

Li, C., Nie, Z., Cui, S., Gong, X., Wang, Z. ve Meng, X. (2014). The life cycle inventory study of cement manufacture in China. *Journal of Cleaner Production,* 72, 204-211. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.02.048

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. ve Marrero, M. (2016). LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 58, 565-573. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.243

Meinshausen, I., Müller-Beilschmidt, P. ve Viere, T. (2016). The EcoSpold 2 format—why a new format? *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 21(9), 1231-1235. DOI 10.1007/s11367-014-0789-z

National Renewable Energy Laboratory. (2005). *The U.S. Life-Cycle Inventory Database Project — Helping Us Find Answers to Environmental Impact Concerns.* Erişim Adresi: https://www.nrel.gov/lci/publications.html

Öztaş S. K. ve Tanaçan L. (2017). The Importance of Local Factors for Inventory Analysis. Pellicer, E., Adam, J. M., Yepes, V., Singh, A., and Yazdani, S. (Ed.) Resilient Structures and Sustainable Construction içinde. ISEC Press. ISBN: 978-0-9960437-4-8

Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A. ve Strykowski, W. (2014). Materials composition or energy characteristic–What is more important in environmental life cycle of buildings? *Building and Environment,* 72, 15-27. DOI 10.1016/j.buildenv.2013.10.012

PlasticsEurope. (2011). *PlasticsEurope: Eco-profiles and Environmental Declarations, – LCI Methodology and PCR for Uncompounded Polymer Resins and Reactive Polymer Precursors* (Sürüm 2.0). Erişim adresi: https://www.plasticseurope.org/application/files/7415/1747/5136/eco-profile_methodology_version2-0_April2011.pdf

PlasticsEurope (2019). *Eco-profiles program and methodology PlasticsEurope* (Sürüm 3.0). Erişim adresi: https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles

Puettmann, M. E., Bergman, R., Hubbard, S., Johnson, L., Lippke, B., Oneil, E. ve Wagner, F. G. (2010). Cradle-to-gate life-cycle inventory of US wood products production: CORRIM Phase I and Phase II products. *Wood and fiber science*, 42, 15-28.

Safaei, A. (2015, Haziran). *Life cycle inventory databases: importance and challenges.* GreenCo Zirvesinde sunulmuş sunum, Hindistan.

Severith, M. ve Manthey, C. (2012). Comparing Data Management in LCI Databases. In: Arndt, H.-K., Knetsch, G. ve Pillmann, W. (Ed.), EnviroInfo Dessau 2012, Part 2: Open Data and Industrial Ecological Management. Aachen: Shaker Verlag.

Sinha, R., Lennartsson, M. ve Frostell, B. (2016). Environmental footprint assessment of building structures: A comparative study. *Building and Environment,* 104, 162-171. DOI 10.1016/j.buildenv.2016.05.012

Stinnes, I. A., Page, D. C. ve Fleischer, G. (1996). Comparison of LCI studies in South Africa and Germany. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(2), 110.

Suh, S., Leighton, M., Tomar, S. ve Chen, C. (2016). Interoperability between ecoinvent ver. 3 and

US LCI database: a case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 21(9), 1290-1298. DOI 10.1007/s11367-013-0592-2

Sonnemann, G. ve Vigon, B. (Ed.). (2011). *Global Guidance Principles For Life Cycle Assessment Databases - A Basis for Greener Processes and Products.* UNEP-SETAC Life Cycle Initiative web sayfasından erişildi: http://www.unep.org/pdf/Global-Guidance-Principles-for-LCA.pdf

Takano, A., Winter, S. ve Hughes, M. (2014). *Comparison of life cycle assessment databases for building assessment.* Sustainable Building 2014 Konferansında sunulmuş bildiri, Barcelona, İspanya.

Weidema BP, Bauer C, Hischier R, Mutel C, Nemecek T, Vadenbo C.O. ve Wernet G. (2012). *Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database Sürüm 3. (Ecoinvent Report 1(v3)).* ecoinvent centre web sitesinden erişildi: https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf

Wittstock, B., Gantner J., Lenz, K., Saunders, T, Anderson, J.,Carter, C., Gyetvai, Z., Kreißig, J., Braune, A., Lasvaux, S., Bosdevigie, B., Bazzana, M., Schiopu, N., Jayr, E., Nibel, S., Chevalier, J., Hans, J., Fullana-i-Palmer, P. , Gazulla, C., Mundy, J., Barrow-Williams, T. ve Sjöström, C. (2011). *EeBGuide Guidance Document, Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Buildings Initiative, Part A: Products.* EeBGuide Project websitesinden erişildi: www.eebguide.eu

Weidema, B. P. ve Wesnaes, M. S. (1996). Data quality management for life cycle inventories—An example of using data quality indicators. *Journal of cleaner production,* 4(3-4), 167-174.

Yau, R., Cheng, V. ve Kam, G. (2004). *Developing life cycle assessment tool for buildings in Hong Kong.* Sustainable Building Konferansında sunulmuş bildiri, Şangay.

İnternet Kaynakları

URL (1). University of Nottingham. *6.2 Environmental Impact of Construction Materials* [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://rdmc.nottingham.ac.uk/bitstream/handle/internal/112/Engineering%20Sustailability/62_environmental_impact_of_construction_materials.html. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (2). GaBi. *GaBi Databases* [çevrimiçi]. Erişim yeri: http://www.gabi-software.com/databases/gabi-databases/. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (3). SimaPro. *LCI databases in SimaPro* [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://simapro.com/databases/. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (4). Kalkınmada Anahtar Verimlilik. 2019. *"ULUSAL Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Veri Tabanının Geliştirilmesi İçin Teknik Ve İdari Altyapının Oluşturulması" Projesi Başladı* [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/ulusal-yasam-dongusu-degerlendirmesi-veri-tabaninin-gelistirilmesi-icin-teknik-ve-idari-altyapinin-olusturulmasi-projesi-basladi/9501 [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (5). Life Cycle Initiative. *Life Cycle Terminology – Life Cycle Initiative* [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://www.lifecycleinitiative.org/resources/life-cycle-terminology-2/. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (6). The Engineered Wood Association. *Life-Cycle Assessment (LCA) Software from Athena Sustainable Materials Institute - APA –.* [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://www.apawood.org/LCA-software (2019). [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (7). The Catalonia Institut of Construction Technology. Database - ITeC [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://en.itec.cat/database/. [Erişim tarihi: 14 Temmuz 2019]

URL (8). Arkitera. 2020. "Alüminyum Geleceğin Yapı Taşlarından Olabilir" [çevrimiçi]. Erişim yeri: https://www.arkitera.com/haber/konut-konferansi-aluminyum-gelecegin-yapi-taslarindan-olabilir/ [Erişim tarihi: 12 Ocak 2020]