

BİM İLE BÜTÜNLEŞİK ÇALIŞMA SÜRECİNİN DÖNGÜSEL EKONOMİYE KATKILARININ İNCELENMESİ

Sümeyye ÖZYALÇIN^(ORCID: 0009-0002-7265-3687)1

1.Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta: sumeyye.ozyalcin@gmail.com

ÖZET

Nüfusun hızla artması ve doğal kaynakların hızla tükenişi gibi sebepler yapı sektöründe de önlemler almaya itmiştir. Bu makalede bu önlemler arasında bulunan döngüsel ekonomi kavramı irdelenmiştir. Döngüsel ekonominin Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM) yazılımları ile entegre çalışabilirliği süreci üzerine tartışılmıştır ve bir vaka çalışması üzerinden BIM ile bütünleşik çalışma süreci ile döngüsel ekonomi sürecinin entegrasyonu bir örnek üzerinden incelenmiş ve avantajları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: BIM; Döngüsel Ekonomi; Sürdürülebilirlik; Yıkım Bilgi Modeli;

ABSTRACT

Reasons such as the rapid increase in population and the rapid depletion of natural resources have pushed to take measures in the construction sector. In this article, the concept of circular economy, which is among these measures, is examined. Studies have been carried out on the process of integrated interoperability of the circular economy with Building Information Modeling software. At the same time, the integration of the integrated working process with BIM and the circular economy process was examined through a case study and its advantages were evaluated.

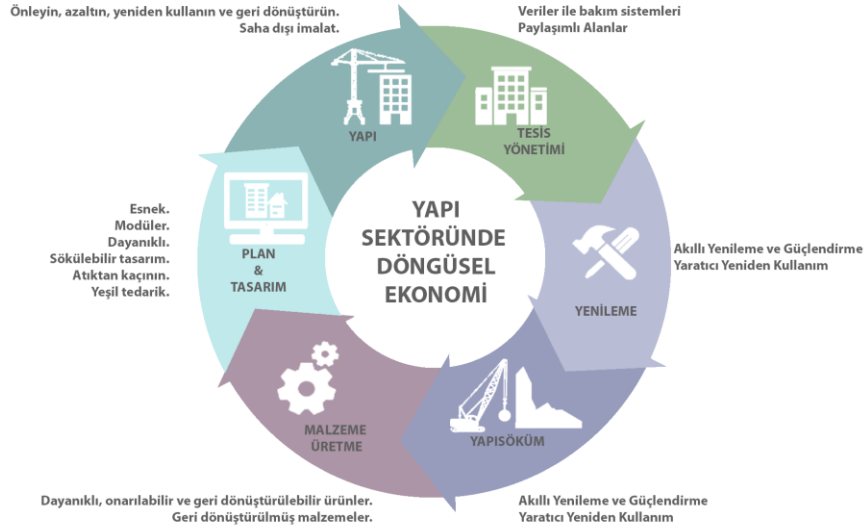
Keywords: BIM; Circular Economy; Sustainability; Demolition Information Model;

1.GİRİŞ

Son yıllarda dünyada hızla artan nüfus artışı ile birlikte kaynak tüketimi de hızla artış göstermektedir. Fosil enerji kaynaklarının kullanımı sonucunda oluşan karbon emisyonu ve sera gazı

etkisi küresel ölçekte çevresel sorunlara sebep olmaktadır. Yapı sektörü de kaynak tüketimi konusunda enerji kaynaklarının yaklaşık %40'ının, su kaynaklarının yaklaşık %25'inin tüketiminden ve dünya sera gazı salımının yaklaşık üçte birinden sorumlu olması nedeniyle öncelikli olarak ele alınması gereken alanların başında yer almaktadır (European Commission, 2019). Entegrasyon eksikliği, iş birliği ve atık kaynaklar gibi sektöre özgü özellikler neden olmaktadır. Günümüzde enerji tasarrufuna çözüm olarak sürdürülebilir yapılaşma yaygınlaşmaktadır; fakat doğrusal ekonomi sistemi yüzünden binanın yıkım aşaması sürecinde oluşan kaynak atığı sorununu göz ardı etmektedirler. Sürdürülebilir yapılaşma sürecini daha etkili kılmak için atık yönetimi, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve malzeme geri dönüşümü ile sürdürülebilir yapılaşma için önerilen stratejilere de odaklanmak gerekmektedir. Bu duruma çözüm olarak, kaynak tüketiminin azaltılmasına, tüketimin gerekli olduğu yerlerde kaynakların yeniden kullanılmasına ve yeniden kullanımın mümkün olmadığı yerlerde kaynakların geri dönüşürülmesine odaklanıldığı Döngüsel Ekonomi (Circular Economy-CE) sisteminin geçiş yapılması gerektiği gündeme gelmektedir.

Döngüsel ekonomi konusunda uygulamaya sokulan Avrupa Yeşil Anlaşması (2019), AB Döngüsel Ekonomi Planı (2020) ve İrlanda'nın Döngüsel Ekonomi için Atık Eylem Planı (2020-2025), İklim Değişikliği Eylem Planı (2023) gibi politikaların tümü, 2050 yılına kadar biyolojik çeşitlilik kaybını durduran iklim açısından nötr bir döngüsel ekonomi hedeflemektedir (RPS Group, 2022). Döngüsel ekonomi sistemini kendi sistemlerine entegre etmek isteyen, sürdürülebilir gelişme ve büyümeyi destekleyen firmalar için döngüsel ekonomi iş modeli oluşturulmaktadır (Kai-Stefan Schober, 2021). Şekil 2'de gösterilen bu iş modeli, gelişmiş yazılım ve çevre odaklı mühendislik ve danışmanlık hizmetlerinin tasarımı optimize edebileceği planlama aşamasından itibaren başlamaktadır. Buradan, hızla büyüyen yenilenebilir ve geri dönüştürülmüş malzeme portföyü, 3D baskı ve prefabrikasyon gibi verimli yeni inşaat yöntemleriyle birleştirilmektedir (Schober, 2021).

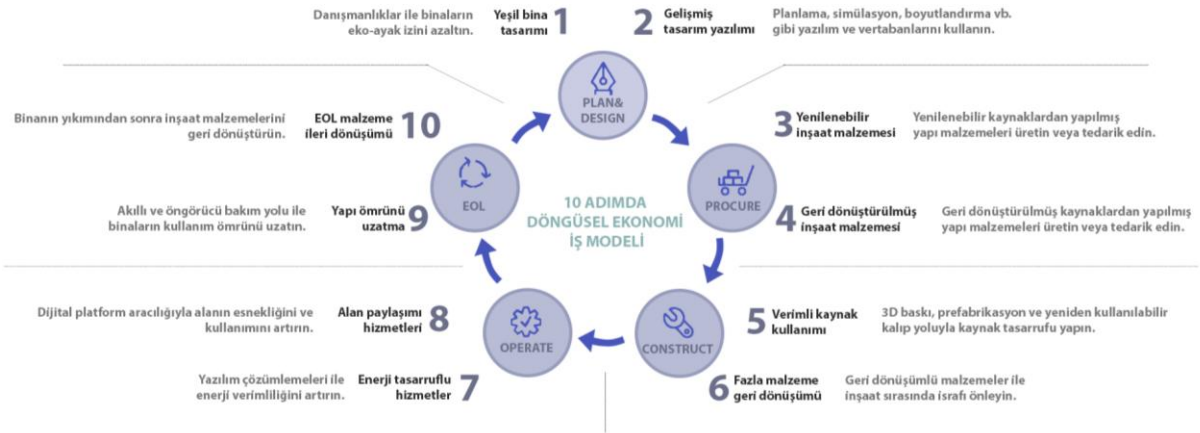


Şekil 1. Yapı Sektöründe Döngüsel Ekonomi (RPS Group, 2022)

Malzemelerin tüm aşamalarda geri dönüştürülmesi ve atıkları en aza indirmesini sağlamaktadır. İşletme sırasında dijital araçlar, enerji verimliliğini ve alan kullanımını büyük ölçüde iyileştirmenin yanı sıra, bir binanın ömrünü uzatmak için akıllı bakıma olanak tanımaktadır. Ömrünün sonunda ileri dönüşüm malzemeleri kullanımda tutulması sayesinde de malzemeleri kapalı bir döngünün içerisine alarak kaynak tüketimini optimize etme konusunda da değer katmaktadır. Yazılım çerçevesinde geliştirilen bu iş modeli için bu süreçte mimari sürdürülebilirliğe en çok katkı sağlayan bilgisayar tabanlı yöntemlerden biri olan Yapı Bilgi Modelleme (Building Information Modeling-BIM) sistemi kullanımı daha çok gündeme gelmektedir.

2. BIM'İN DÖNGÜSEL EKONOMİ'YE KATKISI

Yapı Bilgi Modellemesi, planlamadan işletmeye kadar binanın tüm yaşam yönetimini kolaylaştırmak için bilgisayar tarafından oluşturulan bir parametrik bina modelinin işbirliği içinde geliştirilmesini ve kullanılmasını içeren entegre bir süreçtir. Sürdürülebilirliği yapı çevre BIM'e dahil etmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. CE gündeminde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nin (Life Cycle Assessment-LCA) önemini vurgulamıştır. Örneğin, bazı araştırmacılar CE'nin etkili bir şekilde uygulanması için LCA ve malzeme akış analizinin (Material Flow Analysis-MFA) entegre edilebileceğini ve BIM'in tamamlayıcı bir tasarım aracı olarak kullanılabileceğini öne sürmektedir (Pomponi ve



Şekil 2. Döngüsel Ekonomi süreci için önerilen iş modeli (Schober, 2021).

Genellikle BIM, malzeme seçimi de dahil olmak üzere binaları ve inşaat planlarını tasarlamak için kullanılırken, LCA tasarımcılar tarafından tasarımı modellemek ve gerekli malzeme ve enerji girdisi yoluyla gerektiğinde değişiklik yapmak ve ardından tasarımlarının somutlaşan etkilerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu eklentiler arasındaki farklı dosya biçimlerinin etkileşimli yeteneklerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için BIM ve LCA arasındaki entegrasyonun gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Tasarımcılar için, kavramsal bilgileri doğrudan BIM modelinden değerlendirme aracına (örneğin, enerji analiz yazılımı) aktarmak çok önemlidir (Jalaei ve ark., 2014).

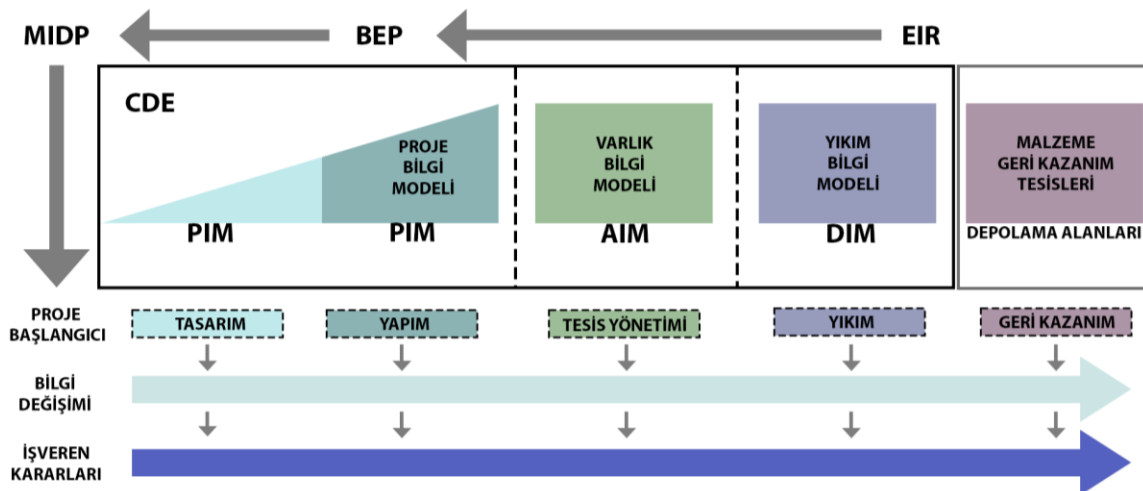
Malzemenin özelliklerinin tanımlanması ve malzemeye kimlik atama işlemi de dikkat çekmektedir. BIM ile entegre olarak çalışan BAMB (Building As Material Bank) uygulaması döngüsel ekonomi konusunda destekleyici olmaktadır (Heinrich ve ark., 2020). Projenin başlangıcında malzeme seçimi aşamasından itibaren sürece dahil olmaktadır. Eklenti sistemleri kullanarak, malzemelerin miktarının çıktısını almak ve bunları LCA'ya bağlamak mümkündür. Binaların çevresel etkilerini erken aşamada değerlendirmek için çeşitli yazılımlar kullanılmıştır. Örneğin; Dprofiller (URL2), minimum bina tasarım girdileri ile malzeme ve enerji kullanımları hakkında bilgi sağlayan çeşitli çalışmalarda seçilen BIM yazılımı olarak kullanılmıştır, ancak oluşturduğu geometrik şekiller açısından sınırlamaları vardır (Garcia, D., 2005). Ek olarak, bir binanın enerji performansını analiz etmek için BIM tabanlı eQUEST ve DOE-2 gibi yazılımlar kullanılmaktadır (Hirsch, 2019), ancak uzun çalışma süreleri gerektirir ve yalnızca enerji performansını analiz edebilmektedir. Bazı araştırmacılar, Avustralya'daki Cooperative Research Center for Construction Innovation tarafından geliştirilen Revit's Tally eklentisi, OneClick eklentisi ve LCA Design gibi BIM'i LCA'ya entegre eden öne çıkan yazılımlardır.

LCA, Avustralya LCI veri tabanı ile bağlantılı 3B çizim dosyalarıyla erken tasarım aşamasında çevresel etkileri hesaplayabilmektedir (Schultz, J. Ve ark., 2016).

BIM'i döngüsel ekonomi süreci için uygun kılan temel özelliklerinden biri, bir bina hakkında yaşam döngüsü bilgisini toplama yeteneğidir (Sapmaz, 2021). İnşaat sektöründe etkin bir döngüsel ekonomi sağlamak için yapı malzemelerinin ekonomideki durumu ve kalitesi bilinmelidir. Bunu başarmak için, yapı malzemelerinin kullanım ömrü boyunca ve sonunda performans değerlendirmesi gereklidir. Bu nedenle BIM, binaların yaşam boyu performans yönetimine uygun olmasını sağlayan temel özelliklere sahiptir.

3. BIM MODEL İÇERİKLERİ

Bir varlığın yaşam döngüsü boyunca Yapı Bilgi Modellemesi kullanarak bilgilerinin korunması ve yönetilmesi süreci için uluslararası ISO 19650 standardı kullanılmaktadır. Bu standartta da yer aldığı gibi yaşam döngüsü sürecinde Proje Bilgi Modeli (Project Information Model-PIM) ve Varlık Bilgi Modeli (Asset Information Model-AIM) baz alınmaktadır (BS EN ISO 19650-1). Fakat bu modeller varlık yaşam döngüsü süreciyle ilişkilendirildiği için döngüsel ekonomi için varlık yaşam sonu (End of Life-EOL) faaliyetlerini yönetebilecekleri bir model olmadığı vurgulanmaktadır. Bu faz aşamasının eksikliği konusunda tartışmalar sürmektedir. Bazı araştırmacılar EOL aşamasını içeren varlık yaşam döngüsü boyunca geliştirilen üç model türünü baz alan BIM tabanlı teorik bir çerçeve önermektedirler. Bu yeni yaklaşım ile yapı sektöründe döngüsel ekonomi tasarım aşamasından EOL aşamasına kadar irdelenebilmektedir. Bu üç model türü başlangıç ve sona doğru sıralamasıyla; Proje Bilgi Modeli, Varlık Bilgi Modeli ve Yıkım Bilgi Modelidir (Deconstruction Information Model).



Şekil 3. BIM Model Türleri ve Süreç Çizelgesi (Charef ve ark., 2019).

3.1. Proje Bilgi Modeli (Project Information Model-PIM)

Proje Bilgi Modeli (PIM), bir projenin tasarım ve yapım aşamasında Alışveriş Bilgi Gereksinimleri (Exchange Information Requirements-EIR) ile tasarım ekibi tarafından oluşturulan bilgi modelidir. PIM, paydaşlar tarafından zenginleştirilen bir dizi birleşik yapı bilgi modeli içermektedir. Tasarım ve inşaat sürecini kapsayan grafiksel ve grafiksel olmayan verilerden oluşturulur. PIM, devir teslim aşamasında işverene teslim edilen ilk modeldir (BS EN ISO 19650-1).

Döngüsel ekonomi yaklaşımının benimsenmesi ve işveren tarafından bu yaklaşımın talep edilmesi üzerine Proje Bilgi Modeli sürecinde doğru verilerin işlenmesi önem arz etmektedir. Bilgi modeli sürecinde işlediğimiz veri setleri yapının kimliğini oluşturmaktadır. Döngüsel ekonomi için bu aşamada yapı malzemelerinin tanımlanabilmesi için performans analizi yapılabilmek etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle binanın yaşam ve yaşam sonrası döngüsünde döngüsel ekonominin entegrasyonu ilk bu aşamada başlamaktadır. PIM ilerleyen süreçte evrilerek Varlık Bilgi Modeli'ne (AIM) evrilmektedir.

3.2. Varlık Bilgi Modeli (Asset Information Model-AIM)

Varlık Bilgi Modeli (AIM), bir yapının tasarım ve inşaat sürecinden başlayarak kullanım, bakım ve yenileme aşamalarına kadar tüm yaşam döngüsünü kapsayan bir bilgi modeli olarak tanımlanmaktadır (Manning, 2014). AIM, onaylanmış ve güvenilir bilgilerin merkezi bir kaynakta toplanmasını hedeflemekte ve bu nedenle verilerin güncel ve doğru tutulması büyük önem arz etmektedir. Model; tesis yönetimi, bakım süreçleri, işletme kılavuzları, performans verileri, sağlık-güvenlik bilgileri ve teknik özellikler gibi farklı veri gruplarını bünyesinde barındırmaktadır (Navendren ve ark., 2015).

Yaşam döngüsü boyunca gerçekleştirilen tüm değişikliklerin ve düzenlemelerin de bu veri setine dahil edilmesi gerekmektedir. Döngüsel ekonomi bağlamında, yapı bileşenlerinin yeniden kullanılabilirliği ve geri dönüştürülebilirliği açısından doğru bir veri yönetimi kritik rol oynamaktadır. Bu veriler model içerisinde saklanabilmekte veya mevcut modellere entegre edilebilmektedir. Böylece yapının sürdürülebilirliğini destekleyen bir bilgi altyapısı oluşturulmaktadır. Ayrıca, kullanım ömrünün sonunda (EOL) yapı söküm süreçlerinin yönetimi için gerekli veriler de bu modelde yer almakta ve bu aşamada Yıkım Bilgi Modeli'ne (DIM) evrilmektedir.

3.3. Yapı Söküm Bilgi Modeli (Deconstruction Information Model-DIM)

Bina yaşam döngüsünde yer almayan ancak döngüsel ekonominin etkin şekilde uygulanabilmesi için eklenmesi öngörülen en kapsamlı aşama EOL (End of Life) süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu aşama, yıkım ve yapı söküm stratejileri ile zenginleştirilmiş sürdürülebilir EOL faaliyetlerine ilişkin verileri içermektedir. Yapı bileşenlerine dair, ne zaman monte edildikleri, hangi tarihlerde değiştirildikleri, söküm sırasında alınması gereken güvenlik önlemleri ve en yüksek değerde geri kazanımın nasıl sağlanacağına yönelik planlamalar modelde yer almaktadır. Model aynı zamanda farklı senaryolar üzerinden geliştirilebilmekte ve yıkım, yapı söküm ya da söküm stratejileriyle desteklenmektedir. Bu kapsamda, yapı söküm, söküm veya hizmetten çıkarma gibi Sürdürülebilir Yaşam Sonu (SEOL) faaliyetlerine dair bilgiler de modele dahil edilmektedir. Varlığın her bir bileşeni, EOL yöneticilerinin etkin ve verimli bir şekilde söküm sürecini gerçekleştirebilmeleri için gerekli verileri barındırmaktadır. Bu veriler; bileşenlerin geçmişine, kurulum ve değiştirilme tarihlerine, söküm sırasında dikkat edilmesi gereken hususlara ve en az çevresel etkiyle en yüksek düzeyde geri kazanımın nasıl optimize edileceğine dair ayrıntıları içermektedir (Charef, 2022).

Buna ek olarak, Khaw-ngern ve ekibi tarafından geliştirilen 9Rs atık hiyerarşisi (reddet, yeniden düşün, azalt, yeniden kullan, tamir et, yenile, yeniden üret, yeniden tasarla, geri dönüştür, kurtar) modelin temelinde kullanılmaktadır (Khaw-ngern ve ark., 2021). Bu hiyerarşi doğrultusunda, yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve geri dönüşüm süreçleri için her bir bileşenin yaşam planı oluşturulmaktadır. Yönetim planı kapsamında atık ayırma, atık analizi, bileşenlerin sınıflandırılması, miktar hesaplamaları, yıkım öncesi denetimler ve senaryo analizleri yapılabilmektedir. Böylece, beklenmedik maliyetlerden ve risklerden kaçınmak amacıyla faaliyetler önceden planlanmakta ve süreç sanal ortamda simüle edilebilmektedir. Her bileşene bağlı veriler aracılığıyla yapı söküm maliyetleri kolaylıkla belirlenebilmektedir. Bu sayede, yapı söküm yöneticileri dijital bir veri tabanına erişmekte, yıkım atıklarını azaltmakta, hammadde tüketimini önlemekte ve çevresel etkileri kontrol altına alınabilmektedir. Ayrıca, EOL sürecinin BIM aracılığıyla yönetilmesi, yapı söküm müteahhitlerine daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir uygulamalar sunma imkânı sağlayacaktır.

4. SÜREÇ HARİTASI

Döngüsel ekonominin BIM sürecine entegre olma süreci en ilk sözleşme aşamasından başlamaktadır.

BIM bağlamında proje başlamadan önce teslimat ve sözleşme yöntemlerine dikkat edilmelidir. Herhangi bir projenin tasarım aşamasından önce üç temel sözleşme belgesinin oluşturulması ve bu belgelerin içeriklerinin CE yaklaşımına göre uyarlanması gerekir (Khawaja and Mustapha, 2021).

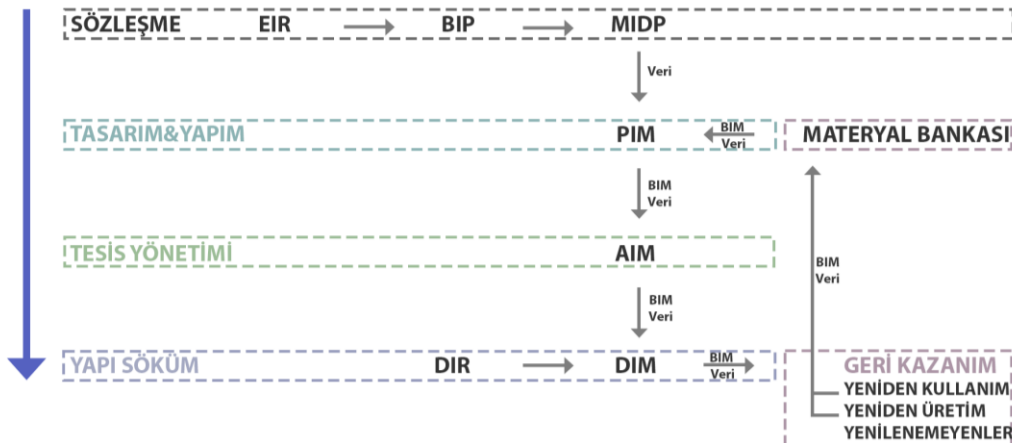
Bu belgelerden ilki Alışveriş Bilgi Gereksinimleri (Exchange Information Requirements-EIR). Projenin başlangıcında oluşturulması gerekir ve müşterinin ihtiyaçları, varlık ömrü yönetimi için beklentileri özellikle yapısöküm stratejileri ile ilgili olan maddeleri içermelidir. (Ashworth ve ark, 2019). İyi bir EIR oluşturulabilmesi için endüstri standartları yakından takip edilmelidir. İkinci sözleşme belgesi ise BIM Yürütme Planıdır (BIM Execution Plan-BEP). Bu belge müşteri tarafından üretilen EIR'ye dayalı süreçleri ve protokolleri belirlemektedir. EIR'de ortaya çıkan sorunları ele almak için önce bir Ön Sözleşme sunulmaktadır. Ardından Proje Bilgi Planı (Building Information Plan-BIP), projenin amaçları ve hedefleri, işbirlikçi çalışma metodolojisi ve Proje Bilgi Modeli (Project Information Model-PIM) çıktılarının stratejisi gibi BIM metodolojileri açıklanmaktadır. Sözleşme sonrası BEP EIR'de talep edilen bilgileri içermektedir. Sonuç olarak EOL'ün ana hatlarını EIR'de belirtilen taleplerin karşılanması ve yönetimin BEP'te açıkça belirtilmesinin gerekliliği oluşturmaktadır. Son sözleşme belgesi Ana Bilgi Teslim Planı (Master Information Delivery Plan-MIDP). Bu belge sözleşme verildikten sonra tedarikçi tarafından oluşturulur ve tasarım aşamasından önce yürürlükte olmalıdır. Belge, hazırlanması gereken bilgileri, kimin hazırlaması gerektiğini ve bilgiyi üretmek ve yayınlamak için gerekli prosedürler ve protokolleri belirleyebilmektedirler. Tüm bu belgeler hazır olduğunda, tasarım ekibi bu belgelere göre modeli geliştirmeye başlayabilmektedir.

PIM aşamasından itibaren sözleşmede belirlenen CE koşullarına uygun tasarım, malzeme ve yöntem seçimi gibi detaylar işlenmeye başlanır. PIM sürecinde materyal bankalarından seçimler yapılarak döngüye katkıyı ilk döngüsel sürece

katılmış malzemeleri kullanıma katabilmektedir. PIM sürecinden sonra AIM sürecine geçildiğinde ise tesis yönetimi konusunda sözleşme ve projelendirme aşamasında işlenen veriler aktarılmaktadır. Bu veriler sayesinde onarım ve yenileme konularında alacağı önlemler ile bina yaşam ömrünü uzatmaktadır. AIM'den sonraki evre olarak EOL öngörülmektedir.

EOL'a geçişte alınan modelde AIM'nin güncellenmiş içeriği, özellikle de yapısöküm faaliyetlerini yürütmek için hangi bilgilerin yararlı olabileceği kontrol edebilmektedir. Bu aşamada Yıkım Bilgi Modeli devreye girmektedir. Burada DIM varlığın tüm yaşam döngüsü boyunca toplanan verileriyle beslenecektir. EOL faaliyetleriyle ilgili gereklilikler, Yıkım Bilgi Gereksinimlerinde (Deconstruction Information Requirement-DIR) belirtilmelidir. Charef araştırmasında DIM' in içeriği ve nasıl besleneceği, Batı Avrupa'dan 20 BIM ve CE uzmanının öne sürdüğü argümanlara dayanarak oluşturmaya çalışmıştır (Charef, 2022). Bir kısım araştırmacı ayrıca binanın kullanımdan kaldırılması, yapısökümü, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ile ilgili faaliyetleri ele alan 8. aşama "Kullanım sonu, geri dönüşüm"ün eklenmesini önermiştir (Hollberg ve ark, 2021). Bir vaka incelemesine dayanan başka bir çalışma, binanın kullanım ömrü sonunda bir malzeme pasaportuna sahip olmanın önemini vurgulamaktadır. Malzeme pasaportlarının, döngüsellik ve sürdürülebilirliği destekleyen temel araçlar olduğunu öne sürmektedirler (Honick ve ark, 2021).

Bilgi Teslim Döngüsü boyunca verilerin doğrulanmasıyla ilgili olarak, iki tür bilgi alışverişi vardır: tedarikçinin bilgi alışveriş noktaları ve İşveren karar noktalarıdır. AIM ve PIM'den gelen verileri içeren DIM, yapısöküm faaliyetlerinin nasıl yönetileceğinin araştırılması için kullanılmaktadır. İkinci veri düşüşü, yapısöküm sürecinin kendisi sırasında gerçekleşmektedir. Tüm faaliyetlerin, özellikle döngüsellik yönüyle, EIR ile uyumlu olmasını sağlamak önem arz etmektedir.



Şekil 4. Süreç Haritası (Charef ve ark., 2019).

Son adım, devir teslim de dahil olmak üzere yapışökümün sona erdiği zamandır. Yani DIM'in müşteriye teslim edileceği aşamadır. Alınan modelin içeriği, yapışöküme ulaşmak için hangi bilgilerin gerekli olduğunu doğrulamak için kontrol edilmektedir. Bu, olası yöntemlerin, yapışöküm için gerekliliklerin ve döngüsellik hedeflerinin tartışıldığı adımdır. Yıkım faaliyetleri sona erdiğinde, müşteri DIM'i alacaktır. DIM, müşterinin gereksinimlerine uygun olarak gerçekleştirilen Yapışöküm süreciyle ilgili tüm verileri içermelidir.

Uyarlanmış Bilgi Dağıtım Döngüsü, tüm sistemin EOL fazının dahil edilmesinden sonra bile iyi bir uyum içinde kalır. Yapışöküm aşaması, inşaatın tersidir ve benzer şekilde düzenlenmektedir: bir başlangıç noktası, yapışöküm birkaç kez kontrol edilmesi ve bir devir teslim aşamasını içermektedir (Kanters, 2018). Değiştirilmiş Bilgi Teslim Döngüsü, inşaat uygulayıcıları arasında farkındalık yaratmak ve döngüsel düşüncenin ne olması gerektiği konusundaki anlayışı geliştirmek için kullanılabilir. Döngüsel ekonomi yaklaşımında gerekli olan döngüsel düşünce, diğerlerinin yanı sıra organizasyonel, sosyal, teknik ve politik birçok alanda önemli bir değişikliğe yol açacaktır (Giorgi ve ark, 2022). Bazı araştırmacılar, tasarım ile EOL aşamaları arasında yapılması gereken bağlantıyı desteklemektedirler. Kapsamlı bir literatür taraması yoluyla araştırmacılar, yapışöküm için en kapsayıcı ve sürdürülebilir eko tasarımın, uyarlanabilirlik ve sökme tasarımı olduğu sonucuna varmaktadırlar (Munaro ve ark, 2021).

5. DÖNGÜSEL EKONOMİ SÜRECİNDE VERİNİN ÖNEMİ

Döngüsel ekonomi sürecini uygulamada kullanmaya çalışanlara uygulanan bir ankette katılımcıların çoğunluğunun veri çokluğundan kaynaklanan zorlukları ve verilerin doğru ve güncel olmasının veri yönetimindeki önemini vurgulamaktadır. Döngüsel ekonominin BIM sürecine entegre edilmesi aslında bu sürecin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Bina yaşam döngüsü boyunca yapıyı, yenileme hatta yaşam döngüsü sonundaki yıkım ve geri dönüşüm süreci boyunca yaşanan tüm senaryoya hâkim olmaktadır. Bu da veri merkezi olarak kritik bir rol oynamasını sağlamaktadır. Bu süreçte farklı paydaşlar tarafından farklı modeller oluşturulmaktadır. Bu dosyalara işlenen veri alışverişi için ortak bir format kullanılması önerilmektedir. Bu da buildingSMART International tarafından bir "veri standardı" olarak geliştirilen ve sürdürülen Industry Foundation Classes (IFC) biçiminde yapılandırılmalıdır. Birlikte çalışabilirlik süreci için Ortak Veri Ortamı (Common Data Environment-CDE) verimli veri

alışverişi için bir ön koşuldur. Bu süreçte veri güncellenmesi ve doğru verinin işlenmesi zorunlu kılınmalıdır. Süreçteki tüm model türleri güncellenmelidir. Tesis yönetimi süreci içinde sorumlu olacak tesis yöneticileri ile güncelleme süreçleri uygulamaya konmalıdır. Tüm varlık yaşam döngüsü boyunca AIM'yi güncellenmenin çok önemli olduğu konusunda söz konusudur. AIM'de güncellenen bilgiler DIM'de de değiştirilmelidir. Diğer bir zorluk, varlık yaşam döngüsü sırasında üretilen verilerin birden fazla paydaş ve bazen varlık ömrü boyunca değişen birkaç varlık sahibi arasında nasıl paylaşılacağıdır. Çeşitli BIM modellerinin kalitesi, birbiriyle bağlantılı ve karmaşık bilgilerin doğru olmasını gerektirdiği için büyük bir endişe kaynağıdır.

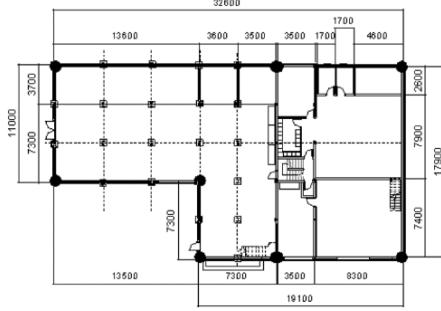
Sonuç olarak, hatalar tüm varlık yaşam döngüsü boyunca birikecektir. Veri sürdürülebilirliğini sağlamak için, projenin başlangıcında ve varlık yaşam döngüsüne dahil olan her paydaş için gereksinimler belirlenmelidir. Bazı araştırmacılar, yazılım kullanımı, bilgi paylaşımı veya inşaat süreci bilgileri ile ilişkili olanlar olmak üzere üç tür kodlama zorluğu tanımladılar. "Doğruluk, eksiksizlik, erişilebilirlik, tutarlılık, güncellik ve kaynak gibi" verilerin kalitesi üzerindeki bu zorlukların imalarını gündeme getirdiler (Soman ve Whyte, 2020).

6. ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI İNCELEMESİ

BIM'i döngüsel ekonomi süreci için uygun kılan temel özelliklerinden biri, bir bina hakkında yaşam döngüsü bilgilerini toplama yeteneğidir (Eadie ve ark., 2013). İnşaat sektöründe döngüsel ekonominin etkin olabilmesi için yapı malzemelerinin ekonomideki durumu ve kalitesinin bilinmesi gerekmektedir. Bunu başarmak için, yapı malzemelerinin kullanım ömrü boyunca ve kullanım ömrü sonunda performans değerlendirmesi gereklidir. Bu nedenle BIM, onu binaların ömür boy performans yönetimine uygun hale getiren üç temel özellik sunar (Bilal ve ark., 2016). Bu temel özellikler şunları içerir: nesne parametrik modelleme, çift yönlü ilişkilendirme ve akıllı modellemedir.

Parametrik modelleme, parametreler ve kurallar kullanarak tasarım formunu ve işlevselliği yakalamanın özel bir yoludur (Eastman ve ark., 2011; Zeng ve Tan, 2006). Parametrik gösterim, bağlamsal değişime yanıt olarak tasarımların biçiminin ve işlevselliğinin korunmasını sağlar (Bilal ve ark., 2016). Çift yönlü ilişkilendirilebilirlik, bina modellerinde meydana gelebilecek değişiklikler için yeterli desteği sağlar. Bunun nedeni, yapı elemanlarından birindeki değişikliğin diğer elemanlarda da değişikliğe neden

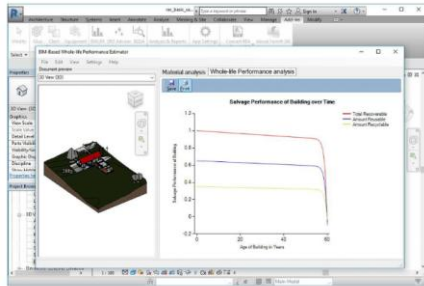
olabilmesidir. Bu tür senaryolara örnek olarak bir duvarın gerilmesi, bir modele yeni bileşenlerin yerleştirilmesi ve malzeme özelliklerinde değişiklikler verilebilmektedir (Bilal ve ark., 2016).



Şekil-5 Projenin planı

BIM'i binanın ömür boyu değerlendirilmesi için uygun kılan üç temel özellikten biri olan Akıllı modelleme, ek bilgilerin sağlanmasına ve 3B geometrik verilere entegre edilmesine olanak tanır.

Bu örnek vaka incelemesi Lukman A. Akanbia ve arkadaşları tarafından incelenen bir vaka üzerinden BIM ile entegre edilmiş döngüsel ekonomi kavramını değerlendirmektedir (Akanbi ve ark., 2018). Bir ofis binası üzerinden malzemelerinin geri dönüştürülebilirlik oranlarını hesaplamaya çalışmışlardır. Bu sebepten vaka da değişken olarak yapı malzemesi türünü ele almışlardır. Kütle formu sabit tutulmuş ve üç ana yapısal bileşen üzerinden vaka çalışması değerlendirilmiştir. Yapıların özelliği çelik yapı, ahşap yapı ve beton yapı olmasıdır. Yazılım seçimi olarak Autodesk Revit eklentisi olan LCA tabanlı BIM-based Whole-life Performance Estimator (BWPE) kullanılmıştır. BWPE'nin çalışması için gerekli olan sökülebilir bağlantının tanımlanması, prefabrik montajların kullanımı gibi parametrelerin modelde işlenmesi gerekmektedir. Bir bina modelinde tüm ömür performans değerlendirmesini çalıştırmak için parametrelerin uygun şekilde olması gerekmektedir.



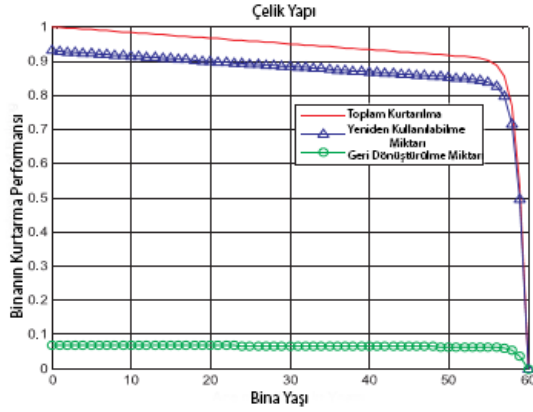
Şekil-6 BWPE Malzeme Raporları

Tablo 1: Malzemelerin Kurtarıma Performansı

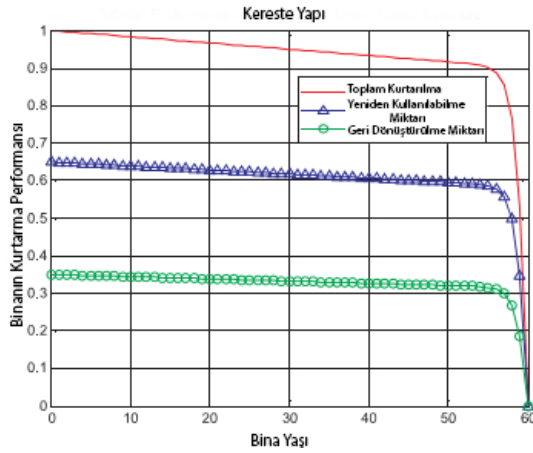
Vaka Çalışması	nc	ndc	ne	nfb	vme	v _{sf}	v _{ft}	S _{re}	S _{re}
Çelik	256.00	206.00	64.00	64.00	10000.00	9000.00	10000.00	0.93	0.07
Kereste	256.00	20.00	64.00	40.00	10000.00	9000.00	10000.00	0.65	0.35
Beton	256.00	20.00	64.00	0.00	10000.00	8000.00	8000.00	0.42	0.58

Tablo 1, tasarım ve inşaat faktörlerinin, binaların kurtarma performansı üzerindeki etkisinin sonucunu göstermektedir. Şekil 7–9, binanın yapısal bileşeninin büyük ölçüde sırasıyla çelik, ahşap ve betondan oluştuğu durum çalışmasının genel kurtarma performansını göstermektedir. Eskimenin binaların kurtarma performansı üzerindeki etkisi, üç grafiğin kurtarılabirlik eğrilerinde yansıtılmaktadır. Rakamlardan, yapısal bileşenleri büyük ölçüde çelikten oluşan bina 0,93 yeniden kullanılabilirlik ve 0,07 geri dönüştürülebilirliğe sahipken, ahşap yapıya sahip bina 0,65 yeniden kullanılabilirlik ve 0,35 geri dönüştürülebilirliğe sahiptir. Betonarme yapıya sahip bina 0,42 tekrar kullanılabilirlik ve 0,58 geri dönüştürülebilirliğe sahiptir. Elde edilen sonuçlara göre çelik yapıya sahip bina en yüksek tekrar kullanılabilirlik oranına sahiptir. Bunun nedeni çoğunlukla demonte bağlantıların ve prefabrik montajların kullanılmasıdır. Ahşap esaslı yapılar çoğunlukla yeniden kullanılabilir olsa da bu durumda yeniden kullanılabilirlik oranı 0,65'tir. Bu, binadaki bağlantıların çoğu için çivi kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Beton en az yeniden kullanılabilirliğe 0,42 değeri ile sahiptir, bu genellikle beton yapı için geçerlidir, yeniden kullanımı genellikle zor ve esnek değildir (Davison ve Tingley, 2011). Ancak kolayca geri dönüştürülebilmektedir. BWPE aracının, yapı tasarımcılarına faktörlerin farklı kombinasyonlarını deneme ve binaların kurtarma performansı üzerindeki etkisini inceleme fırsatı sunduğuna dikkat edilmelidir. Bu, bir binanın ömrünün sonuna geldiğinde destekleyeceği yapı malzemesi döngüsellik derecesinin belirlenmesinde özellikle faydalı olacaktır. Buna göre araç, tasarım aşamasında bir bina için olası sürdürülebilirlik seçeneklerini değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Olası spesifikasyon seçenek, sabit bağlantılı ve ikincil kaplamalı çelik yapıyı, çoğu bileşen prefabrike ve ikincil kaplamasız beton yapıyı, ikincil kaplamasız ve çoğunlukla sökülebilir bağlantılı ahşap yapıyı içermektedir. Bu çalışma, modelin, alınan tasarım kararının kullanım ömrü sonu etkisini anlamada tasarımcıya destek sağlayacağını göstermektedir.

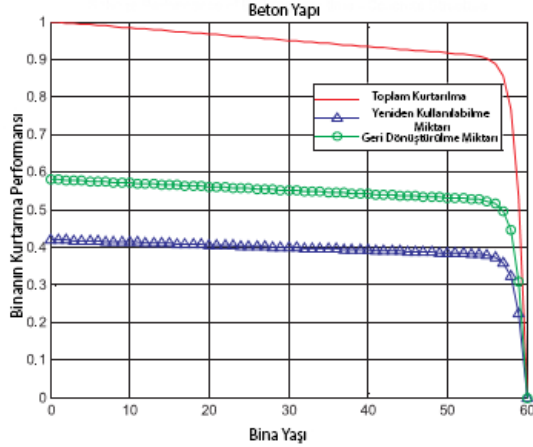
Bu vakada sunulan matematiksel model, binanın tüm ömrü boyunca herhangi bir zamanda binadan geri kazanılabilecek malzeme miktarını tahmin etmek için tasarım aşamasında kullanılabilecek bir araçtır. Model ayrıca, yeniden kullanılabilecek geri kazanılabilir malzeme miktarı ve geri dönüştürülebilirlik miktarı hakkında bilgi sağlamaktadır.



Şekil-7 Çelik Malzeme Kurtarıma Raporu



Şekil-8 Kereste Malzeme Kurtarıma Raporu



Şekil-9 Beton Malzeme Kurtarıma Raporu

Şekil 7-9'daki geri kazanılabilirlik eğrileri, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca geri kazanılabilir malzeme miktarında kademeli ve istikrarlı bir düşüş göstermektedir, ancak bozulma oranı, bina ömrünün sonuna yaklaştıkça keskin bir şekilde artmaktadır. Yeniden kullanılabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik eğrileri, bina modelindeki tasarım ve malzeme özelliklerinin yansımasıdır. Döngüsel bir ekonominin birincil amacı, malzemeleri yeniden kullanmaktır, BWPE modeli, bina tasarımcılarına binaların tüm yaşam

performansını simüle etme ve tasarımda gerekli ayarlamaları yapma fırsatı sağlayarak, döngüsel ekonomi için verimli malzeme geri kazanımına sahip binalara yol açar. Vaka incelemelerinden elde edilen sonuçlar, çelik yapıya ve sökülebilir bağlantılara sahip binaların çoğunlukla yeniden kullanılabilir geri kazanılabilir malzemeler sağladığını göstermektedir. Beton yapıya sahip binalar ise çoğunlukla geri dönüştürülebilir olan geri kazanılabilir malzemeler üretmektedir. Ahşap yapıya sahip binalardan geri kazanılabilir malzemeler %65 yeniden kullanılabilir ve %35 geri dönüştürülebilir. Bu performans, çoğu bağlantı için çivi yerine dübel ve cıvata ve somun gibi sökülebilir bağlantıların kullanılmasıyla iyileştirilebilmektedir. Çelik yapı ve demonte bağlantılı binaların maliyetleri yüksek olsa da döngüsel ekonomide sürekli olarak binadan malzeme tutularak maliyetler geri ödenebilmektedir. Bu, böylece malzemelerin içerdiği enerjiyi korur ve çöplüklere atık oluşumunu önleyerek, malzemenin çevre üzerindeki karbon ayak izini azaltacaktır. Prefabrikte montajların binalarda kullanılması inşaat ve yıkım atıklarının azaltılmasına da büyük katkı sağlamaktadır (Baldwin ve ark., 2008; Tam ve ark., 2005; Lu ve Yuan, 2013).

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen bu çalışma, BIM tabanlı bir araç geliştirerek bina tasarım aşamasında malzeme kurtarma performansını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, farklı yapı türlerinin geri kazanılabilirlik oranlarını değerlendirerek, döngüsel ekonomi hedeflerine uyumlu bina tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Döngüsel ekonomi, yapı sektörünün neden olduğu çevresel sorunlara bir çözüm yaklaşımı olarak ele alınmakta ve sektöre entegrasyonu için çeşitli iş modelleri geliştirilmektedir. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, BIM ile entegre yürütülen süreçlerin döngüsel ekonominin işleyişine önemli katkılar sunduğu görülmektedir. Bu işleyişin etkinliği açısından doğru ve güncel verilerle ilerlemek kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

BIM ile birlikte çalışmanın avantajlarından biri olan veri yönetimi konusu projenin bilgilerinin güncelliği ve doğruluğuna dayandırılmaktadır. BIM ile çalışmak proje süreçlerinde hata payını en aza indirgeyerek kaliteli, zamandan tasarruf edilmiş ve maliyet açısından zarara uğratmamayı hedeflemektedir. İncelediğimiz süreç haritasında da

görüldüğü üzere model süreçleri birbiriyle bağlantılı olarak ilerlemektedir. Bu sebepten projenin her aşamasında veri setleri çok önemlidir. Yapı bileşenlerinin ömrünün takibi modele gömülen veri setlerinden takip edilmektedir. Döngüsel ekonomi süreci için de BIM ile entegrasyonu sağlamak bu süreci daha doğru, güncel ve hata payını azaltacak şekilde uygulanmasına ön ayak olmaktadır.

Bu iş modeli ile sürdürülebilir yapılaşma sürecini daha etkili kılarak atık yönetimi, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve malzeme geri dönüşümü ile sürdürülebilir yapılaşma stratejilerini daha sistematik bir şekilde sürece dahil edebilmektedir. Bunun sonucunda kaynak tüketiminin azaltılmasına, tüketimin gerekli olduğu yerlerde kaynakların yeniden kullanılmasına ve yeniden kullanımın mümkün olmadığı yerlerde ise kaynakların geri dönüştürülmesi sağlanabilmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Bilal, M., Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175–186.
- Alwan, Z., Jones, P., & Holgate, P. (2017). Strategic sustainable development in the UK construction industry, through the framework for strategic sustainable development, using building information modelling. *Journal of Cleaner Production*, 140, 349–358.
- Ashworth, S., Tucker, M., & Druhmman, C. K. (2019). Critical success factors for facility management employer's information requirements (EIR) for BIM. *Facilities*, 37, 103–118.
- Baldwin, A. N., Shen, L. Y., Poon, C. S., Austin, S. A., Wong, I. (2008). Modelling design information to evaluate pre-fabricated and pre-cast design solutions for reducing construction waste in high rise residential buildings. *Automation in Construction*, 17(3), 333–341.
- Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Akinade, O. O., Ajayi, S. O., Owolabi, H. A. (2016). Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 7628(January).
- Charef, R. (2022). The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414.
- Charef, R., Lu, W., & Chimay, A. (Eds.). (2022). Circular economy and building information modeling. In *Research Companion on Building Information Modeling* (Chapter 28). Edward Elgar Publishing.
- Charef, R., Alaka, H., & Ganjian, E. (2019). A BIM-based theoretical framework for the integration of the asset end-of-life phase. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Dallas: Beck Technology, L. DProfiler. Version 2.0. 2012. Available online: <https://beck-technology.com/category/destini-profiler/> (Erişim Tarihi: 23.05.2019).
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons.
- Farzad Jalaei, A. J. (2014). An automated BIM model to conceptually design, analyze, simulate, and assess sustainable building projects. *Journal of Construction Engineering*, 2014, 672896.
- Garcia, D. (2015). Cost performance based design—Using digital technology for cost performance simulation in the conceptual phase of design. Available online: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_306.content.pdf (Erişim Tarihi: 23.05.2019).
- Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G., & Campioli, A. (2022). Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices. *Journal of Cleaner Production*, 130395.
- Hirsch, J. J. (2010). *eQUEST, Version 3.64*. Available online: <http://www.doe2.com/eQUEST> (Erişim Tarihi: 23.05.2019).
- Hollberg, A., Kiss, B., Rock, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A. H., Lasvaux, S., Galimshina, A., & Habert, G. (2021). Review of visualising LCA

results in the design process of buildings. *Building and Environment*, 190, 107530.

Honic, M., Kovacic, I., Aschenbrenner, P., & Ragossnig, A. (2021). Material passports for the end-of-life stage of buildings: challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 319.

Kanters, J. (2018). Design for deconstruction in the design process: State of the art. *Buildings*, 8(11), 150.

Khawaja, E. U. R., & Mustapha, A. (2021). Mitigating disputes and managing legal issues in the era of building information modelling. *Journal of Construction and Development Countries*, 26, 111–130.

Liu, S., Meng, Z., & Tam, C. (2015). Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy and Buildings*, 105, 139–153.

Lu, W., & Yuan, H. (2013). Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 804–811.

Manning, R. (2014). The Asset Information Model using BIM (42nd Ed.). *BIS BIM Task Group Newsletter*, 1–15.

Munaro, M., Tavares, S., & L.B.-S.P. (2021). Ecodesign methodologies to achieve buildings' deconstruction: A review and framework. Elsevier.

Munaro, M. R., & Tavares, S. F. (2021). Materials passport's review: Challenges and opportunities toward a circular economy building sector. *Built Environment Project and Asset Management*, 11, 767–782.

Navendren, D., Mahjoubi, L., Shelbourn, M., & Mason, J. (2015). An examination of clients and project teams developing Information Requirements for the Asset Information Model (AIM). *Conference Proceedings*.

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710–718.

Phoenix Integration. (2008). *ModelCenter, Version 10.0*. Available online: <https://www.phoenix-int.com/product/modelcenter-integrate/> (Erişim Tarihi: 23.05.2019).

RPS Group. (2022). What does the circular economy mean for the built environment?

Available online: <https://www.rpsgroup.com/services/environment/sustainability-and-climate-resilience/expertise/what-does-the-circular-economy-mean-for-the-built-environment/> (Erişim Tarihi: 23.05.2019).

Sapmaz Veral, E. (2021). Döngüsel ekonomi: Engeller, stratejiler ve iş modelleri. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 8(1), 7–18.

Schultz, J., Ku, K., Gindlesparger, M., & Doerflor, J. (2016). A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 7, 219–229.

Schober, K.S. (2021). It's time for construction to embrace the circular economy. Roland Berger. Available online: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/It%E2%80%99s-time-for-construction-to-embrace-the-circular-economy.html> (Erişim Tarihi: 23.05.2019).

Tam, C. M., Tam, V. W. Y., Chan, J. K. W., & Ng, W. C. Y. (2005). Use of prefabrication to minimize construction waste: A case study approach. *International Journal of Construction Management*, 5(1), 91–101.

Zeng, X. D., & Tan, J. (2006). BIM based on intelligent parametric modeling technology. *Journal of Chongqing University*, 6, p.027, Natural Science Edition.

URL1: BAMB. (2017): Materials Passports. BAMB – Building as Material Banks Consortium. <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>. (Erişim Tarihi: 02.12.2022).

URL2: <https://www.beck-technology.com/> (Erişim Tarihi: 02.12.2022).