

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ
DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI:
RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semin ERDEM

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

HAZİRAN 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ
DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI:
RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Semin ERDEM
(523211014)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU

HAZİRAN 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**BUILDING INFORMATION MODELLING EXECUTION PLAN BASED ON
CIRCULARITY IN BUILT ENVIRONMENT:
THE CASE OF RAIL SYSTEMS PROJECTS**

M.Sc. THESIS

**Semin ERDEM
(523211014)**

Department of Informatics

Architectural Design Computing Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Meryem Birgöl ÇOLAKOĞLU

JUNE 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 523211014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Semin ERDEM, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI: RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Fatma Pınar ÇAKMAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Koray PEKERİÇLİ
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2024





Anneme ve Babama,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde beni yapılı çevrede döngüsel ekonomi konusu ile tanıştıran, tez konusunun belirlenmesinden itibaren akademik bilgi birikimi ve tecrübeleri aktaran, çok değerli önerileri ve katkıları ile tezi geliştirerek çalışmanın her aşamasında ilerlememi sağlayan danışman hocam Prof.Dr. Birgül Çolakoğlu'na,

Tez savunma jürisinde yer alarak ilgili ve olumlu yaklaşımları ile değerli yorum ve görüşlerini aktararak tezime katkılar sağlayan Doç.Dr. Fatma Pınar Çakmak ve Doç.Dr. Koray Pekeriçli'ye,

Yüksek lisans eğitimim süresince olumlu motivasyonunu esirgemeyen, çeşitli konularda çalışmamı sağlayarak bana yol gösterici olan Doç.Dr. Sema Alaçam'a,

Akademik araştırmalar ile ilgili gerek problem belirleme ve vaka çalışması hazırlama, gerekse akademik makale hazırlığı ve yazımı konusunda çok değerli katkıları ile tecrübe edinmemi sağlayan Prof.Dr. Fatih Terzi'ye,

Yüksek lisans ders döneminde grup çalışmasının önemini anlamamı sağlayan ve beni her zaman motive eden, yüksek lisans sürecinin akademik katkılarına ek olarak bana kazandırdığı değerli arkadaşlarım sevgili Can Müezzinoğlu'na ve Kaan Büyükmihç'i'ye ve tez döneminde de omuz omuza çalıştığım, hiçbir zaman yalnız bırakmayarak yanımda olan sevgili Ceylin Ceyda Hündal'a,

Tezin hazırlanması süreci boyunca bilgi birikimlerini her zaman paylaşan, akademik çalışma konusunda destekleyen ve anlayışlı yaklaşımlarını esirgemeyen İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü değerli yöneticileri ve çalışma arkadaşlarıma,

Tez sürecine ek olarak geçirdiğimiz yoğun dönemde sabrı, anlayışı, yardımları ve desteğiyle bana her zaman güç veren ve yanımda olan sevgili eşim Burak Mesutoğlu'na

Hayatımın her anında olduğu gibi lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca özverili yardımlarını ve teşviklerini eksik etmeyen, beni bugünlere getiren sevgili annem Atiye Erdem ve sevgili babam Mehmet Ziya Erdem'e

teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2024

Semin Erdem
Mimar ve Şehir Plancısı



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezin Yöntem ve Kapsamı	3
2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ.....	5
2.1. Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı	6
3. YAPILI ÇEVREDE DÖNGÜSELLİK	15
3.1. Döngüsel Ekonomi	15
3.2. Yapılı Çevre ve Döngüsel Ekonomi.....	18
3.3. Yapılı Çevrede Döngüsellik ve Yapı Bilgi Modellemesi Entegrasyonu	26
3.3.1. Döngüsellik değerlendirilmesi	29
3.3.2. Malzeme pasaportlarına dair bilgilerin dijital modele işlenmesi	32
3.3.3. Yaşam döngüsü değerlendirmesi	34
4. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI	39
4.1. Tasarım Aşaması Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı Şablonu	41
4.1.1. Giriş.....	41
4.1.2. Proje bilgileri.....	42
4.1.3. YBM hedefleri ve YBM kullanımları	43
4.1.3.1. Döngüsel yapı tasarımı doğrultusunda YBM hedefleri	43
4.1.3.2. YBM kullanımları.....	45
4.1.4. Roller ve sorumluluklar.....	46
4.1.4.1. İdare ve Danışman/Müşavir.....	46
4.1.4.2. Tasarım yüklenicisi.....	47
4.1.5. YBM süreç tasarımı	49
4.1.5.1. Genel YBM süreç şeması	49
4.1.5.2. Detaylı YBM kullanımı süreç akış diyagramları	49
4.1.6. Model eleman bilgi gereksinimleri	50
4.1.7. İş birliği prosedürleri.....	51
4.1.8. Kalite kontrol	51
4.1.9. Model yapılanması	51
4.1.9.1. Model dosya isimlendirmesi ve model elemanlarının isimlendirilmesi.....	51
4.1.9.2. Model yapısı	51
4.1.9.3. Model seviyelerinin isimlendirilmesi	52
4.1.9.4. Model görünümünün isimlendirilmesi ve model pafta isimlendirilmesi.....	52
4.1.9.5. Model ölçü ve koordinat sistemleri	52

4.1.9.6.	Model malzeme isimlendirilmesi.....	52
4.1.9.7.	Döngüsel yapı tasarımı için gereksinimler ve model yapılanması	52
4.2.	Tasarım Aşaması Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı Değerlendirmesi	56
5. SONUÇ		61
KAYNAKLAR		65
ÖZGEÇMİŞ		75



KISALTMALAR

YBM: Yapı Bilgi Modellemesi

YBM-UP: Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı

İBB: İstanbul Büyükşehir Belediyesi





ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: YBM Kılavuzu kapsamı, Ayyera ve diğ. (2021)'den uyarlanmıştır.....	11
Şekil 2.2: BUP Kapsamı, Panagiotidou ve diğ. (2023)'den uyarlanmıştır.....	12
Şekil 2.3: UAB(2022) tarafından hazırlanan BIM Uygulama Planı Kapsamı.	13
Şekil 3.1: Doğrusal Ekonomi.....	15
Şekil 3.2.: Döngüsel Ekonomi.	16
Şekil 3.3: Döngüsellikte 9R kavramı. Krichher ve diğ.'den (2017) uyarlanmıştır....	17
Şekil 3.4: Yapı Ölçeğinde Döngüsellik. Arup (2016)'dan uyarlanmıştır.....	22
Şekil 3.5: Malzeme Pasaportunun içerik listesi, (Heinrich ve Lang, 2019)'dan uyarlanmıştır.	25
Şekil 3.6: YBM plug-in'i CirBIM ile döngüsellik analizi iş akışı şeması, Göswein ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.	30
Şekil 3.7: YBM - YDD entegrasyonun ISO 14040 standardına göre aşamaları, Tam ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.	35
Şekil 3.8: YBM – YDD entegrasyonu, Wastiels ve Decuypere (2019) ‘dan uyarlanmıştır.	36
Şekil 4.1: Mevcut YBM içeriği ve döngüsel yapı tasarımı açısından YBM-UP’ına eklenenler.....	40
Şekil 4.2: Genel YBM süreç şeması.	49
Şekil 4.3: 3 boyutlu koordinasyon akış diyagramı, IBB Raylı Sistem Projeler Müdürlüğüne ait YBM-UP dokümanından uyarlanmıştır.	50
Şekil 4.4: Döngüsel yapı tasarımı süreç akış diyagramı.....	50



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1: Döngüsellik Değerlendirmesi için ürün bilgi formu, Fernandes ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.....	33
Çizelge 4.1: Proje Kapsamında YBM ile ilgili kullanılacak olan standart ve referans kaynaklar.	42
Çizelge 4.2 Projeye aşamalarına ve kilometre taşlarına ait başlangıç ve bitiş tarihleri.	43
Çizelge 4.3: YBM Hedef ve YBM Kullanımları.	44
Çizelge 4.4: Malzeme pasaportundan modele alınacak bilgiler Heinrich ve Lang, 2019; Honic ve diğ., 2019c; Göswein ve diğ., 2022; Fernandes ve diğ., 2022.....	54
Çizelge 4.5 Yapı söküm, bakım, onarım, yenileneme süreçlerinde kullanılacak YBM Modelinde işlenmesi gereken bilgiler, Fernandes ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.	55



YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI: RAYLI SİSTEM PROJELERİ ÖRNEĞİ ÖZET

Sanayi devrimi ile kente göçün artması buna bağlı olarak kentlerde nüfus artışı ve çevre kirliliği, biyolojik çeşitlerin azalması ve iklim değişikliği günümüzün en önemli sorunları haline gelmiştir. Tüketime dayalı doğrusal ekonomi modeli oluşan üretim sırasında oluşan atık miktarı, doğaya bırakılan zararları gazlar, doğal kaynakların kullanımı ve kullanılan enerji miktarı kontrolsüz bir şekilde artmaktadır. İnşaat sektörü de bu çevresel sorunlara olan olumsuz etkisi azımsanamayacak kadar fazladır. İnşaat endüstrisinde kullanılan ham madde miktarı, karbon salınımı, kullanılan enerji ve oluşan katı atık miktarlarına ait değerler diğer sektörlerle göre oldukça fazla olması göze çarpmaktadır. Bu tüketim anlayışının önüne geçmek için kaynakların daha verimli kullanılmasını hedefleyen döngüsel ekonomi modeline geçilmesi gerektiği öngörülmektedir. Üretim sisteminde doğayı örnek olan döngüsel ekonomi ile kaynakların kapalı bir döngü içinde kullanımı, atık oluşumunun önlenmesi, ürünleri yeniden kullanımı ve enerji tüketiminin kontrol altına alınması hedeflenir. Bu nedenlerle inşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçiş kaçınılmazdır. Literatürde, yapıli çevrede döngüsellğe geçişi kolaylaştıracak birçok dijital araç varken bunlarla ilgili çalışma sayılarının azlığına vurgu yapılmaktadır.

Dijital teknolojilere birçok alanda olduğu gibi mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe de ihtiyaç duyulmuştur ardından bilgisayar destekli tasarım olarak sektörün en önemli araçlarından biri haline gelmiştir. Zamanla dijital teknolojiler tasarım ve süreçlerinde sadece temsil olmakla sınırlı kalmayıp tasarım ve tasarım optimizasyonu için çeşitli analizler veya testler yapılmasına olanak sağlamıştır. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) bu dijital araçlardan biri olup, tasarım öncesi sürecinden itibaren etkin rol oynayan, birden fazla paydaşın olduğu tasarım ve inşaat süreçlerinde disiplinler arası koordinasyonu sağlayan ve binanın yaşam döngüsü boyunca kullanılabilen bir teknolojidir. Yapı bilgi modellemesi bu özellikleri ile yapı sektöründe döngüsel ekonominin karşılığı olan döngüsel yapı tasarımı açısından da oldukça iyi bir araçtır.

Bu tez kapsamında yapıli çevrede döngüsellğe geçişte YBM'nin rolü ele alınmıştır. Çalışmanın amacı YBM'nin döngüsel yapı tasarımında kullanımında yol gösterici olması adına YBM Uygulama Planı (YBM-UP) şablonunun hazırlanmasıdır. YBM-UP proje kapsamındaki YBM kullanımlarının tanımlandığı, iş birliği ve disiplinler arası koordinasyonu tarifleyen bir dokümandır.

Tez kapsamında öncelikle girişin ardından ikinci bölümde YBM ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Uluslararası ve ulusal kurumların ve üniversitelerin yayınladığı YBM-UP planı çalışmaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise yapıli çevrede döngüsellik konusu ele alınarak; döngüsel ekonomi, yapıli çevre ve döngüsel ekonomi ve yapıli çevrede döngüsellik ile YBM entegrasyonu araştırılmıştır. Yapıli çevredeki döngüsel ekonomi uygulamalarına değinerek bu uygulamalarda YBM'nin

üstleneceği role ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Ardından bu araştırmalardan elde edilen veriler doğrultusunda YBM-UP dokümanı hazırlanmıştır. Bu YBM-UP dokümanı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü'nün kullanımına yönelik tasarım aşaması YBM-UP dokümanı olarak ele alınmıştır. Mevcut YBM-UP dokümanı geliştirilerek döngüsel yapı tasarımında YBM kullanımı açısından uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan YBM-UP dokümanında döngüsellik hedefleri, yaşam döngüsü değerlendirmesi analizi, döngüsellik değerlendirmesi, malzeme pasaportlarına ilişkin verilerin ve söküm, bakım, onarım ve yenileme aşamalarında kullanılmak üzere gereken bilgilerin modele işlenmesi ile ilgili gereklilikleri ayrıntılı bir şekilde ele alınarak belirtilmiştir.

Elde edilen bu YBM-UP dokümanı ile mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanması ve malzeme pasaportu gibi döngüsel ekonominin temel bileşenlerinin kullanılmasına katkı sunması hedeflenmektedir. Çalışma sonucunda döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınan YBM-UP dokümanı ile literatüre ve raylı sistem projelerinde işveren olan kamu kurumlarına katkı sağlaması beklenmektedir.



BUILDING INFORMATION MODELLING EXECUTION PLAN BASED ON CIRCULARITY IN BUILT ENVIRONMENT: THE CASE OF RAIL SYSTEMS PROJECTS SUMMARY

An Industrial Revolution has led to increased migration to cities, resulting in urban population growth, environmental pollution, a decline in biodiversity, and climate change, which have become some of the most critical problems for today. The linear economy which is based on buying, using and throwing it away has led to increase in waste production, release of harmful gases into environment, use of natural resources and energy consumption. The construction sector also significantly contributes to the environmental problems. The amount of raw materials used, carbon emissions, energy consumption, and solid waste in the construction industry are considerably higher compared to other sectors. Therefore a transition to circular economy model in the sector, which aims for more efficient use of resources, is essential because of unsustainable approach to consumption. The circular economy, inspired by natural ecosystems, focuses on maintaining resources in a closed loop, preventing waste generation, reusing products, and controlling energy consumption. Even though the numerous digital tools in the literature that can facilitate the shift towards circularity in the built environment like other sectors, existing literature highlights a lack of integration of information technologies into circular economy in built environment.

Moreover, digital technologies have become essential in the architecture, engineering, and construction sector, eventually becoming one of the most important tools in the form of computer-aided design since the twentieth century. Over time, digital technologies have evolved beyond simple representation in design processes, enabling various analyses and tests for design and design optimization. Building Information Modelling (BIM) is one such digital tool that plays an effective role from the pre-design phase, facilitates interdisciplinary coordination in design and construction processes involving multiple stakeholders, and can be used throughout the building's lifecycle. Due to these features, Building Information Modelling is also an excellent tool for circular building design, which aligns with the principles of the circular economy in the construction sector.

This thesis explores the crucial role of BIM in facilitating the transition to a circular economy within the built environment. The aim of this research is to develop a BIM Execution Plan (BEP) template, which will serve as a comprehensive guide for integrating BIM into circular building design. The BEP is envisioned as a document that defines the uses of BIM within the project's scope and outlines collaboration and interdisciplinary coordination.

In the thesis, following the introduction, the second chapter presents a literature review on Building Information Modeling (BIM). The review provides BEP studies published by international and national institutions and universities. The third chapter addresses the concept of circularity in the built environment, exploring topics in order of the circular economy, the built environment, the integration of circular economy

principles, and BIM in the built environment. This section includes a review of the literature on the role of BIM in circular economy uses and applications within the built environment.

Based on the data obtained from these studies, a BEP document has been prepared in the fourth chapter of the thesis. This BEP document is tailored for the design phase of projects under the Rail Systems Projects Directorate of the Istanbul Metropolitan Municipality. The BEP template at the design stage is a document prepared by the Rail System Projects Directorate to be provided to the design contractor during the preliminary and final design stages for implementation. The primary reason for preparing these documents as a template by the Administration, which is Rail Systems Projects Directorate of the Istanbul Metropolitan Municipality, is to ensure that there are no project-specific variations in each project, to maintain consistent coordination across projects, to utilize BIM from the pre-design phase of the project, and to standardize the use of BIM. The existing BEP document has been enhanced to be suitable for the use of BIM in circular building design. The prepared BEP document comprehensively details the requirements for integrating circularity goals, life cycle assessment analysis, circularity evaluation, material passports, and information necessary for disassembly, maintenance, repair, and refurbishment stages into the BIM model. In detail; first, it is expected to determine which of the 9 circularity definitions and objectives described by Kricherr et al. (2017) are included in the introduction section of the developed BEP document. Thus, the circularity stages aimed to be achieved through the use of the BIM model will be identified. After, BIM uses and BIM aims defined by adding circularity implementations that are circularity assessment and life cycle assessment (LCA). In the roles and responsibilities section of the, the task of managing circular design practices and checking compliance with the Building Circularity Index objective has been added to the BIM managers of the administration, consultant, and contractor. Additionally, the role of Circular Design BIM responsible has been introduced for the administration/consultant and contractor. This role encompasses responsibilities such as ensuring that the selected materials have a material passport, incorporating the necessary circularity information into the model, conducting life cycle assesment analysis, performing circularity assessments, and entering the required information into the model for use in the event of the building's disassembly or separation. In the BIM planning section of BEP document, the general BIM process diagram has been supplemented with a circular design flowchart, thereby defining the process from a circularity perspective. Subsequently, it is specified that a Level of Development (LOD) 300 is required for the LCA analysis and circularity assessment in the model element information requirements table section. It is also noted that this will be implemented during the final project phase. Final stage of the BEP, in the model structuring section, a subheading for the requirements and model structuring for circular design has been added, outlining the necessary requirements for circularity in the model. Firstly, information regarding spatial flexibility, which is one of the goals of circular design, should be embedded in the spaces and building elements. Areas where the type of use is expected to change should be indicated in the model, and similarly, building elements, such as walls that are in a movable or detachable and attachable system, should be specified in the model. Additionally, it is necessary to specifically include vacant areas in the stations for various reasons in the model. The digital archive indicating unused or vacant areas in existing or ongoing project stations will provide valuable insights for assessing the utilization of unused areas in the stations. Similarly, if the structural design is suitable or if there is potential for public use from a real estate development perspective, areas

above the stations should also be indicated in the model to be evaluated as public spaces instead of backfill. Including this information in the digital archive will provide a valuable opportunity for the directorate to assess rail system lines from this perspective and facilitate informed decision-making. Evaluating the areas within and above the stations in this manner is also a significant approach in terms of circularity. The final chapter of the thesis is conclusion stage which evaluates benefits of BIM for circularity in built environment and the BEP document preparing based on circularity.

The BEP document purposes to facilitate the application of circular economy principles within the architecture, engineering, and construction sectors, particularly through the use of fundamental components of the circular economy, such as material passports. This study seeks to contribute to the literature on circular building design and to provide public institutions as clients in rail system projects, with a valuable resource. The BEP document is expected to enhance the transition and implementation of circular economy practices and support interdisciplinary collaboration in public infrastructure projects.





1. GİRİŞ

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü; disiplinler arası koordinasyonun gerektiği, birden fazla paydaşın olduğu, zaman ve maliyet kontrolü gereken bir alandır. 20. yüzyıldan itibaren çeşitli sebepler ile mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe dijital teknolojilere ihtiyaç duyulmaya ve kullanılmaya başlanmıştır. Dijital teknolojiler ile hem tasarım aşamasında hem yapım aşamasında süreç, yöntemler ve gereksinimler değişmiştir. Dijital teknolojiler inşaat sektörüne ilk olarak Bilgisayar Destekli Tasarım ile girmiştir. Günümüzde yapı endüstrisinde kullanılan dijital teknolojiler; coğrafi bilgi sistemleri, yapı bilgi modellemesi, yapay zekâ uygulamaları, robotik uygulamalar ve üretim, nesnelerin interneti, büyük veri ve dijital ikiz olarak listelenebilir.

Diğer bir yandan, yapılı çevrede inşaat sektörünün olumsuz etkileri; kaynakların kontrolsüz tüketilmesi ve çıkan atık miktarının artması gibi başlıca küresel sorunların etkileri artmaktadır. Bu sorunlar mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe yeniden kullanım, geri dönüştürme ve iyileştirme gibi yöntemleri kapsayan döngüsel ekonomi yaklaşımına geçilmesi gerektiğini göstermektedir. Yapılı çevrede döngüsellğe geçişte ise dijital teknolojileri aracı olarak kullanarak bu ekonomi modeline geçişin sağlanması kolaylaşacak ve belirlenen döngüsellik hedeflerine ulaşmak mümkün olacaktır.

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe kullanılan dijital araçlardan biri olan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) dijital bir temsil olmaktan ziyade yapının fiziksel ve fonksiyonel bilgilerini içeren, yapının yaşam döngüsünün tüm evrelerini kapsayan bir teknolojidir. Tasarım öncesi sürecinden başlayarak, tasarım, yapım, proje yönetimi, fiziksel çevre testleri için simülasyonlar, maliyet ve süre yönetimi, bakım, onarım, işletme ve kullanım sonu evresine kadar kullanılabilir. YBM Uygulama Planı (YBM-UP) ise YBM'nin kullanımından tam fayda sağlanması, bilgi ve veri akışının ve yönetiminin nasıl olacağını, proje paydaşlarını ve sorumluluklarını, ortak veri ortamının, iş birliğinin ve koordinasyonun tanımlandığı, proje kapsamında olan YBM hedeflerinin tariflendiği ve proje süresince güncellenmeye açık bir dokümandır.

Bu tez kapsamında YBM'nin yapılı çevrede döngüsellğe geçışteki katkıları ve rolü ele alınacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde atık ve doğal kaynakların yönetimi oldukça önemlidir. Çünkü tamamen tüketime dayalı doğrusal ekonomi modeli kaynakların kontrolsüz tüketimine, ham maddelerin azalmasına, yenilenemeyen kaynakların kullanımına ve atık miktarının ve katı atıkların toplandığı alanların yetersizliğine neden olarak çevre sorunlarına daha da çözümsüz bir hale getirmektedir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü dünyadaki en çok kaynak tüketen sektör olmakla birlikte yüzde 25-40 oranında karbon emisyonundan sorumludur (Honic ve diğ., 2019b). Bu sorunların çözümü ise inşaat sektöründe doğrusal ekonomi modelinden vazgeçilerek kaynakların kontrollü tüketimini, yenilebilir kaynakların ve enerjinin kullanımını, yapı ve yapı elemanlarının uzun ömürlü olmasını ve oluşan atık miktarını kontrol altına almayı hedefleyen döngüsel ekonomi modelinin inşaat sektöründe benimsenmesi ile mümkün olacaktır.

Yapılı çevrede döngüsel ekonomi modeline geçişe yasal, teknolojik, sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan engeller bulunmaktadır. Dijital teknolojilerin döngüsel ekonomi modeline katkıları yadsınamayacak kadar fazladır. Ancak literatürde yapılı çevrede döngüsellik konusunda bilgi teknolojilerinin kullanımını araştıran çalışma sayısının azlığı üzerinde durulmaktadır. Yapılı çevrede döngüsellik konusunun dijital teknolojiler ile yeterince ele alınmamış olması döngüsel ekonominin benimsenmesini engelleyen bir problem olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı yapılı çevrede döngüsellik kavramının YBM ile entegrasyonunun sağlanmasında yol gösterici olması için döngüsellik açısından ele alınan YBM-UP dokümanının hazırlanmasıdır.

Ülkemizde raylı sistem projelerinde YBM kullanımı zorunlu hale getirilmiş; T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı YBM Şartnamelerini ve eklerinden olan YBM-UP taslaklarını yayınlamışlardır. Tez amacı olan YBM-UP taslağı YBM kullanımında Türkiye'de mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün öncü dallarından olan raylı sistem projeleri YBM-UP dokümanları ele alınacaktır. YBM-UP'na YBM ile yapılı çevrede

döngüsel ekonomi entegrasyonuna ait gereklilikler ve YBM aracılığı ile uygulanabilecek olan YBM hedef ve kullanımları tariflenecektir.

1.2. Tezin Yöntem ve Kapsamı

Tez yöntemi olarak YBM, döngüsel ekonomi, yapıli çevrede döngüsel ekonomi yaklaşımları ve döngüsel yapı tasarımı konularında literatür taramaları ile başlayarak bu konuların entegrasyonun nasıl olabileceği araştırılacak ve YBM-UP'na döngüsel yapı tasarımı gereksinimleri ve uygulamaları dahil edilecektir.

Tezin beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tez boyunca ele alınacak konular tanıtılarak, araştırmaya dair problemin belirlenmesi, tezin amacı, yöntemi ve kapsamı anlatılacaktır. Tezin ikinci bölümünde ise YBM ile ilgili bilgiler verilerek YBM-UP dokümanı ile ilgili literatür araştırmalarına yer verilecektir. Tezin üçüncü bölümünde ise sırasıyla döngüsel ekonomi, yapıli çevrede döngüsel ekonomi, döngüsel yapı tasarımı ve yapıli çevrede döngüsellik ile YBM entegrasyonuna ilişkin literatür araştırmalarına yer verilecektir. Ardından dördüncü bölümde raylı sistem projeleri tasarım aşaması için döngüsel yapı tasarımı açısından YBM-UP taslağı ortaya koyulacaktır. Son bölümde ise oluşturulan YBM-UP taslağı ile yapıli çevrede döngüsel ekonomi konusunda YBM kullanımının hedef ve faydaları belirtilerek bu tez çalışmasının literatüre ve mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörüne katkıları açıklanacaktır.



2. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ

Mimarlık, mühendislik ve inşaat endüstrisinde dijital entegrasyon ihtiyacı olduğu 1970’li yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır (Eastman 1978; Bijl ve diğ. 1979; Björk, 1995). Geleneksel olarak tasarım disiplinleri 3 boyutlu sistemler kullanmasına rağmen disiplinler arası koordinasyon 2 boyutlu çizim ve dokümanlar ile sağlamaktaydı (Singh ve diğ., 2011). Bu durum Bilgisayar Destekli Tasarımın (Computer-Aided Design – CAD) yeni bir boyut kazanmasına neden olmuştur. Bilgisayar Destekli Tasarımın semantik veriler açısından ve disiplinler arası birlikte çalışma konusunda yetersiz olması nedeni ile 2000li yıllarda ise araştırma konuları arasında Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) dikkat çekmeye başlamıştır (Sacks ve diğ., 2018; Bastem ve Çekmiş, 2022).

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü için en önemli ve umut verici değişikliklerinden biri olan Yapı Bilgi Modellemesi; bir yapının yaşam döngüsü boyunca kullanılmak üzere projenin tasarım verilerini sayısal olarak yöneten bir metodoloji olarak bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Volk ve diğ., 2014; Alizadehsalehi, 2020). YBM; yapının tasarım, üretim, iletişim ve analiz süreçlerini kapsayan bir modelleme teknolojisidir (Sacks ve diğ., 2018). Amerika Ulusal Yapı Bilgi Modellemesi Standardı (National Building Information Modelling – NBIMS) Komitesi YBM’i eski veya yeni bir yapı için planlama, tasarım, inşaat, işletme ve bakım süreçlerini içeren standartlaşmış bir bilgi modeli olarak tanımlar (NIBS, 2008; Sacks ve diğ. 2018). Avustralya NATSPEC kuruluşu (2022) AS 19650 standardı doğrultusunda yayımladığı Yapı Bilgi Modellemesi kılavuzunda yapı yönetiminin dijital boyutu olan YBM, bina yaşam döngüsü sürecinde karar alma sürecini ve stratejik ilerlemeyi kolaylaştıran olarak tanımlanır. YBM’nin sağladığı faydalar; koordinasyonu, iletişimi ve veri yönetimini geliştirmesi, analiz ve simülasyonlar yapılabilmesi, çalışma yöntemleri geliştirmesi, yapım sürecinde verimliliği artırması, varlık yönetimi için daha doğru bir bilgi sağlaması, bina yaşam döngüsü yönetimi ve risk ve belirsizliği önlemesi olarak özetlenir (NATSPEC, 2022). Yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini içeren bir temsil olarak tanımlanan YBM modeli yapının tasarım kararlarını, geometrisini, malzeme özelliklerini nicelik ve nitelik bilgi olarak

içermektedir (ISO 29481-1, 2010; Honic ve diğ., 2019b; Çetin ve diğ., 2021). Nesne tabanlı bir yazılım tarafından üretilen YBM Modeli parametrik objeler ile yapı elemanlarının geometrik, mekânsal ve metraj bilgilerini içerirken aynı zamanda yapının maliyet, süre ve yapım tekniği ile ilgili bilgileri içermektedir (Sacks ve diğ., 2018; Honic ve diğ., 2019b). Amerika Ulusal Yapı Bilgi Modellemesi Standart Komitesi (The National Building Information Modeling Standards -NBIMS) YBM'i yapının yaşam döngüsüne ait paylaşımlı bilgi kaynağı olan ve yapının fikir proje aşamasından yıkımına kadar olan süre içinde çok farklı paydaşların koordinasyonu sağlayan dijital bir temsil olarak tanımlar (Messner ve diğ., 2019). YBM geleneksel doğrusal iş akışı sistemi yerine iş birliği hedefli bir çalışma şeklini getirerek bir paradigma değişimini temsil eder (Sudarsan, Gavali, 2024). YBM yapıyı tasarım, yapım, işletme, bakım ve onarım süreçlerinde kullanılan, bilgi alış verişi, süreç takibi ve disiplinler arası koordinasyonu sağlayan sayısal bir modeldir.

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe YBM'den verimli olarak faydalanmak için çeşitli YBM dokümanları ve kılavuzları yayımlanmıştır. Bu dokümanlar arasında standartlar, iş birliği ve koordinasyon kılavuzları ve proje ve yapım aşaması için Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı (YBM-UP) dokümanı bulunmaktadır. Çeşitli kuruluşlar ve üniversiteler YBM-UP yayımlamışlardır.

2.1. Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı

Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı (YBM-UP) YBM'nin nasıl uygulanacağını ve yürütüleceğini gösteren bir dokümandır. YBM-UP, YBM projesi kapsamında farklı paydaşlar arasında yürütülen olan süreç yönetim dokümanı olup, proje süreci boyunca proje genel ekibinin amacını ve uygulama detaylarına ait her ayrıntıyı kapsar. Projenin en erken evresinde geliştirilmesi gereken YBM-UP proje boyunca takip edilen, güncellenen, eklemeler yapılan ve projenin evresine göre gereken durumlarda revize edilen bir dokümandır (Messner ve diğ., 2019). Kısacası, YBM-UP proje yaşam döngüsü boyunca yaşayan bir dokümandır. ISO 19650-2:2018 standardı YBM-UP'nı proje teslim ekibi tarafından bilgi yönetiminin nasıl yürütüleceğini ve görev atanacağını anlatan doküman olarak tanımlar (Panagiotidou ve diğ., 2023). YBM-UP; bilgi akışı ve veri yönetimine ait bilgileri içeren, veri entegrasyonunu sağlayan ve model üreticisinin görev ve sorumluluklarının tanımlandığı ile ilgili bilgi veren resmi bir dokümandır (NATSPEC, 2022). YBM-UP projenin ihale süreçlerinden önce ön-

YBM-UP dokümanı olarak hazırlanarak bilgi ve veri yönetiminin nasıl olacağı anlatılır. İhale süreçleri tamamlanıp yüklenici belirlendikten sonra ön-YBM-UP dokümanı gerekli güncellemeler yapılarak işleme alınır (CDBB, t.y.).

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü çok paydaşı olan, proje odaklı ve değişken bir iş ortamı yapısına sahip olduğundan dolayı bilgi, belge ve verilerin üretilmesi, kullanılması, dağıtımı, paylaşılması ve arşivlenmesi aşamalarında çeşitli sorunlar ve zorluklar yaşanmaktadır (Ökten, 2016). Bu noktada bilgi yönetimi oldukça önemlidir. Gelişen teknolojiler ile elde edilen programlar bilgi oluşturmayı ve bilgiye ulaşmayı kolaylaştırmış ancak doğru ve faydalı bilgiyi seçmeyi ve bulmayı zorlaştırmıştır. YBM ile yapı sektöründe tüm paydaşlara süreç boyunca yol gösterici olan YBM-UP bilgi yönetimi açısından incelendiğinde ise proje değişiklik talepleri ve sonrasındaki süreçlerde gerçekleştirilmesi gereken adımları anlatan kılavuzlar açısından yetersiz kalmaktadır (Aydın ve Koman, 2021). Aydın ve Koman'ın (2021) YBM kapsamında önerdikleri modelde YBM-UP kapsamında yapılan değişikliklerin iş akışı, görevlendirme, yetki ve izin konularında doğrum tanımlamalar yapılarak YBM ekibinin koordinasyon görevi doğru anlatılarak herhangi bir değişiklik talebinin her disiplin tarafından öğrenilmesi ve bunun maliyet ve süre açısından hesabının yapılması güçlü bir koordinasyon ile sağlanmıştır.

Atabay ve Öztürk (2019) disiplinler arası koordinasyonu sağlaması YBM yönetimine ilişkin sorunları; farklı disiplinlerden gelen revizyon isteklerinin yönetecek bir koordinasyonun ve yönetim şeması olmaması, disiplinlere ait güncel kararları gösteren bir modelin oluşturulamaması, görev dağılımının yetersi olması, belirsiz yetki/erişim sistemi, e-posta ve telefon ile iş takibi yapılması, YBM protokolünün olmaması veya tam anlaşılabilmesi, yönetimin YBM-UP üzerinden ilerlenememesi, bilgi ve veri paylaşım problemleri ve yazılımların formatları arasında farklılıklar olarak listelemiştir (Aydın ve Koman, 2021).

YBM'nin doğru bir şekilde kullanılarak verim alınmasını sağlayan YBM-UP; görevlerin ve rollerin tanımlanmasına açıklık getirerek bu konudaki bilgi karmaşasını engeller ve proje paydaşlarını YBM'nin proje sürecinde nasıl kullanılacağı konusunda ortak bir noktada buluşturur (Walker, 2018). Esasında YBM-UP, BIM süreçleri için paydaşlar arasında tasarım ve uygulama arasında bir köprü olarak süreç yönetimine yardımcı olur (Panagiotidou ve diğ., 2023). Buna ek olarak YBM-UP, inşaat sürecinden işletme ve bakım onarım süreçleri arasında da bilgi aktarımına katkı sağlar

(McArthur ve Sun, 2015). YBM-UP; YBM kullanımında yasal ve yönetsel olarak kurallar getirerek ile proje yönetiminde atlanan veya çakışan bilgi ve belgelerin önüne geçilmesine sağlar (Hooper ve Ekholm, 2010).

Çizelge 2.1: YBM-UP içeriğı, McArthur ve Sun (2015)'den uyarlanmıştır.

Başlık	Tanım
YBM-UP Özeti	YBM-UP kapsamını, nasıl ve kim tarafından geliştirileceğini ve revize edileceğı anlatır. Tasarım, yapım, işletme ve bakım aşamalarında nasıl iş birliğı olacağını ve proje – model iletilmesini tarifler.
Proje Bilgileri	Proje kodu, ismi, işveren ismi, konum bilgisi, iş programını ve iş programı için önemli kilometre taşlarını içerir.
Proje Teslimleri	Teslimler için temel gereksinimler tanımlanır.
Proje Amacı	Her alt aşamanın amacı tanımlanır.
Anahtar Personel	Proje müdürü, YBM Müdürü, her disipline ait yöneticiler
Görevler	YBM Modelinde model sahibi, veri girişı yapacak olan ve sorumlu olan personel tanımlanır.
YBM Süreci Şeması	YBM'nin hangi aşamalarda nasıl kullanılacağını gösteren şema.
Teknolojik Altyapı	Gerekli olan yazılım, donanım ve modellerin paylaşılacağı bulut veri ortamı (Aconex, BIM360 vb.) tanımlanır.
Model Yapısı	Farklı disiplinlere ait modellerin elemanlarını ve bunların birbirleri ile nasıl bir arayüz oluşturacağını tanımlar.
İş Birliğı Prosedürleri	Model yönetiminin nasıl olacağını tanımlar. Örneğın, dosyalama sistemi, paydaşlara ait izinler, model yükleme ve bilgi aktarımının nasıl olacağını anlatır.
YBM ve Tesis Verileri	Son kullanıcı olan işveren veya işletmecı kurum için gereken YBM verilerinin nasıl olması gerektiğini tanımlar.
YBM Bilgi Aktarımı	Model aktarımı için her model elemanı için detay seviyensin ne olduğu ve 3. taraf yazılımlar (analiz, imalat veya işletme) için gerekli arayüzlerin ne olduğunu tanımlar.
YBM Kullanımı	Proje aşamalarına göre YBM kullanımını ve LOD seviyelerini tanımlar.
Model Kalite Kontrolü	Proje inceleme kapsamını ve yorumlarını ve çakışma kontrolü gibi aşamaları içerir.

Pensilvanya Eyalet Üniversite'nin yayınlamış olduğu YBM-UP Prosedürleri kitabında YBM-UP'un projeye ve proje ekibine katkıları aşağıdaki şekilde listelenmiştir (Messner ve diğ., 2019):

- Proje sürecinde YBM kullanımı ile ilgili olan stratejik hedeflerin belirlenmesi ve anlaşılması
- Paydaşların kendi üzerlerine düşen görev ve sorumlulukların anlaşılması
- İş akışlarına uygun bir yürütme süreci oluşturulması
- YBM'nin doğru bir şekilde kullanılması adına gerekli olan ek kaynakları, eğitimin ve diğer katkıların belirlenecek olması
- Projeye ilerleyen süreçte katılacak olan ekipler için bir referans kaynak olması
- Proje süresince ilerlemenin takip edilmesi

Her inşaat projesinde maliyet ve risklerin azaltılması, yeniliklere açık, kapsamlı bir koordinasyon, tasarım kalitesi yüksek ve güçlü iletişim hedeflenir. İyi oluşturulmuş YBM-UP bu hedeflere destek sağlarken projeye değer katan YBM kullanımlara, her bir paydaşın kullanacağı verilerin belirlenmesinde, iş koordinasyonunda ve iletişimi ile ilgili protokollerin oluşturulmasına, model elemanların kullanıcılarının tanımlanmasında ve model iletim sisteminin nasıl olacağı ile ilişkin bilgi verir (Çizelge 1) (McArthur ve Sun, 2015).

YBM-UP için izlenecek yol çizelgesi; YBM hedefleri ve kullanımı, YBM süreçlerinin tasarlanması, bilgi alış verişinin akışının belirlenmesi ve YBM kullanımı için altyapının tanımlanması olarak özetlenmektedir. Ek olarak YBM-UP'un içeriğinde olması gerekenler;

- YBM-UP dokümanının amacı
- Projeye ait bilgiler; proje tanımı, konumu, projeye ait önemli tarihler
- Anahtar personel listesi
- Proje ve YBM hedefleri: YBM'nin projedeki stratejik değeri ve hedefleri
- YBM kullanımı yol haritası
- Bilgi iletişimi: Bilgi alışverişinde hangi kullanıcıların hangi bilgilerden sorumlu olduğunun tanımlanması
- İşbirliği Prosedürü: YBM modeli yönetimi, toplantı tarihleri
- Model kalite kontrol prosedürleri
- YBM için teknolojik gereklilikler: yazılım ve donanım ihtiyaçları
- Model bilgisi: model yapısı, model ismi, koordinat sistemi ve model standartları
- Proje çıktıları
- Teslim süreci ve iletişimleri: İşin sözleşme tipine göre (tasarla-yap ve tasarlatarak et- yap gibi) bu aşamalar değişiklik gösterir şeklinde özetlenmektedir (Messner ve diğ, 2019).

Pensilvanya Eyalet Üniversitesi'nin (Mesner ve diğ., 2019) YBM-UP dokümanının yapısına benzer olarak; birçok ülkeden farklı üniversitelerin ve kurumların YBM-UP dokümanlarını inceleyen Abar ve diğ.(2020) YBM-UP kapsamını strateji; YBM hedefleri, proje teslim çıktı dokümanları, süreç; YBM kullanımı, iş programı, iş birliği prosedürü, bilgi; YBM veri tanımları ve LOD seviyeleri, altyapı; teknolojik altyapı gereklilikleri ve ihtiyaçları, personel bilgileri; görev ve sorumluluklar ve organizasyon şeması ve standartlar; model yapısı ve model kalite kontrolü olarak özetlemiştir. YBM-UP yapının yaşam döngüsünün her aşamasında yani tasarım modelinden işletme, bakım ve onarım modeline kadar olan süreçte model elemanlarının hangi paydaş tarafından hangi Nesne Detay Seviyesinde (LOD – Level of Development) kullanılacağını dair bilgiler içermektedir (McArthur ve Sun, 2015). McArthur ve Sun (2015) model elemanının değişme potansiyeli ile LOD seviyesinin arasındaki zıtlığa vurgu yaparak bu şekilde modelleme işinde tekrardan çalışması ve zaman tasarrufu yapmanın önemine vurgu yapar.

Ayerra ve diğ. (2021) YBM Kılavuzu için içerik listesi hazırlarken; proje tasarım yönetimi, doğru sözleşme hazırlanması ve geçmiş projelerden öğrenilenler başlığı ile 3 ana faktör üzerinde durmaktadır. Bu doğrultuda 9 farklı YBM-UP dokümanından alıntılar kullanılarak hazırlanan dokümanda başlıklar; giriş, YBM hedefleri ve kullanımı, YBM görev ve sorumlulukları, teknolojik altyapı ve standartlar, model gereksinimleri, teslimat sistemleri, proje bilgileri, tasarım aşaması ve yapım aşaması olarak 9 ana başlıktan oluşmaktadır. Hazırlanan bu kılavuz içerik listesinde YBM-UP sonuncu başlık olan yapım aşaması kapsamında iş anlaşma ve yapım aşamalarında ayrı olarak ele alınmıştır (Şekil 2.1) (Ayerra ve diğ., 2021). Öte yandan Volk ve diğ. (2014) YBM uygulamasını 5 ana kategori ile tanımlamıştır; fonksiyonel, teknik, kurumsal ve yasal zorunluluklar (Şekil 2.2) (Panagiotidou ve diğ., 2023).

1. Giriş (Güney California Üniversitesi (USC), 2012; Smithsonian Facilities, (Smith.), 2017; NIBS, 2017; Güney Florida Üniversitesi (USF), 2018)

- 1.1. Amaç (USC) / Misyon (USC)
- 1.2. YBM (USC)
- 1.3. Anahtar Bilgiler (USC)

2. YBM Hedefleri ve YBM Kullanımı (Smith.,2017)

- 2.1. YBM Kullanımı Tanımı
- 2.2. Özel YBM Kullanımı
 - 2.2.1. Mevcut Durum Modeli – Lazer Tarama ile Mevcut Durum Modeli Oluşturma
 - 2.2.2. Tasarım
 - 2.2.3. Tasarım Görüşleri
 - 2.2.4. Koordinasyon/ Çakışma Kontrolü
 - 2.2.5. Modelleme
- 2.3. Gelişmiş YBM Kullanımı (NIBS)
 - 2.3.1. Maliyet Hesaplama
 - 2.3.2. Faz, İş Programı ve 4 Boyutlu (B) YBM
 - 2.3.3. Arazi Analizi ve Değerleme
 - 2.3.4. Dijital Üretim
 - 2.3.5. 3B Konum ve Vaziyet Planı
 - 2.3.6. Mühendislik Analizleri
 - 2.3.7. Sürdürülebilirlik Analizi
 - 2.3.8. Kod ve Standart Uyumlulukları
 - 2.3.9. Yapısal Sistem Tasarımı
 - 2.3.10. Sanal Test ve Dengeleme
- 2.4. İşverenin/İdarenin YBM Kullanımı
 - 2.4.1. Değer Yönetimi
 - 2.4.2. Afet Planlaması ve Yönetimi
 - 2.4.3. Alan Yönetimi

3. YBM Görev ve Sorumlulukları

- 3.1. Yönetim Şeması ve YBM Ekini Koordinasyon Yöntemi

4. Teknik Altyapı ve Standartlar (NIBS,2017)

5. Model Gereksinimleri

- 5.1. Standartlar
 - 5.1.1. Çizim Standartları
 - 5.1.1.1. İşveren Kılavuzları ve Standartları
 - 5.1.1.2. Çizim (Font, Çizgi kalınlıkları, Yapı elemanları gösterimi)
 - 5.1.1.3. Pafta Düzeni
 - 5.1.1.4. Mahal İsimleri ve Kodlamaları
 - 5.1.1.5. Ekipman Kodlamaları
 - 5.1.2. Model Koordinatı ve Coğrafi Konumu
- 5.2. Dosyalama Yapısı
- 5.3. Dijital Dosyalama ve Arşivleme

6. Teslim – İş Sözleşmeleri

- 6.1. Tasarla – Tedarik Et - Yap (Geleneksel)
- 6.2. Bütünleşik Proje Teslim Sistemi

- 6.3. Tasarla – Yap
- 6.4. Birden Fazla İş Anlaşması

7. Proje Bilgileri

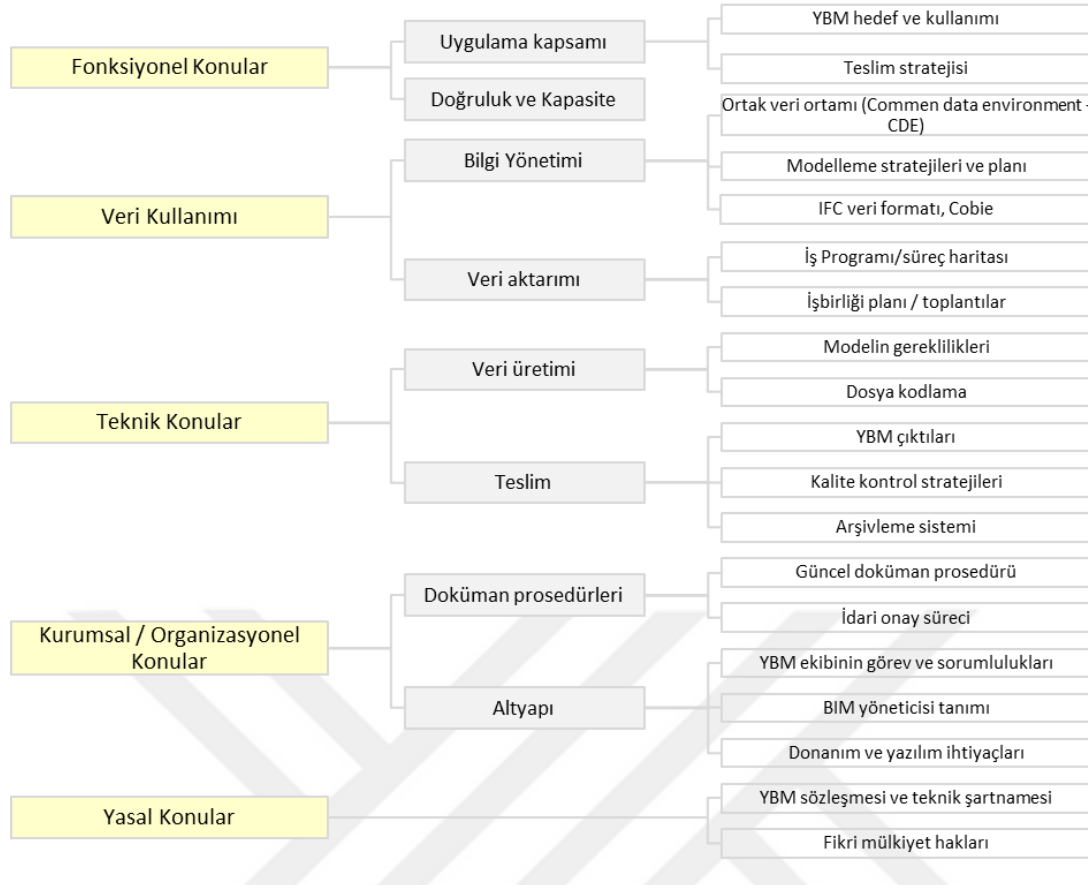
8. Tasarım Aşaması

- 8.1. Etüt Aşaması
 - 8.1.1. Teslim Çizelgesi (USC, 2012)l
 - 8.1.2. Nesne Detay Seviyesi (LOD-Level of Development) (USF,2018)
 - 8.1.3. Kalite Kontrol (USF, 2018)
- 8.2. Ön Proje Aşaması
 - 8.2.1. Teslim Çizelgesi (USC, 2012)
 - 8.2.2. LOD (USF, 2018)
 - 8.2.3. Programlama ve Alan Planlama (USC,2012)
 - 8.2.4. İnşa Edilebilirlik Raporu (USC, 2012)
 - 8.2.5.Kalite Kontrol (USF, 2018)
- 8.3. Kesin Proje Aşaması
 - 8.3.1. Teslim Çizelgesi (USC, 2012)
 - 8.3.2. LOD (USF, 2018)
 - 8.3.3. Programlama ve Alan Planlama (USC,2012)
 - 8.3.4. İnşa Edilebilirlik Raporu (USC, 2012)
 - 8.2.5.Kalite Kontrol (USF, 2018)
- 8.4. Uygulama Projesi Aşaması
 - 8.4.1. Teslim Çizelgesi (USC, 2012)
 - 8.4.2. LOD (USF, 2018)
 - 8.4.3. Programlama ve Alan Planlama (USC,2012)
 - 8.4.4. İnşa Edilebilirlik Raporu (USC, 2012)
 - 8.4.5.Kalite Kontrol (USF, 2018)

9. Yapım Aşaması

- 9.1. İş Sözleşmesi
 - 9.1.1. YBM Tasarım Aşaması Arşivlenmesi
 - 9.1.2. Teslim Çizelgesi
 - 9.1.3. YBM Uygulama Planı (USC, 2012)
 - 9.1.4. Koordinat ve Konum Bilgileri
 - 9.1.5. Tasarım Modeli Güncellemeleri
 - 9.1.6. Bütünleşik Model
- 9.2. Yapım
 - 9.2.1. Teslim Çizelgesi (USC, 2012)
 - 9.2.2. YBM Uygulama Planı Geri Dönüşler ve Revizyonlar (USC, 2012)
 - 9.2.3.Yapım Modeli Güncellemeleri
 - 9.2.4. Tedarik Koordinasyonu
 - 9.2.5. İmalat
 - 9.2.6. 3B Model için Gereksinimler
 - 9.2.6.1. Dosya Formatı
 - 9.2.6.2. LOD
 - 9.2.6.3. Koordinatlıma
 - 9.2.6.4. Doküman Kodlama
- 9.3. Yapım Sonu Aşaması
 - 9.3.1. Teslim Çizelgesi (USC,2012)
 - 9.3.2. As-Built Proje Modelleri
 - 9.3.3. Arşiv Modeli
 - 9.3.4. İşletme ve Bakım Dokümanları-Verileri

Şekil 2.1: YBM Kılavuzu kapsamı, Ayyera ve diğ. (2021)'den uyarlanmıştır.



Şekil 2.2: BUP Kapsamı, Panagiotidou ve diğ. (2023)'den uyarlanmıştır.

Ülkemizde YBM kullanımında öncü kurumlardan biri olan T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) tarafından hazırlanan, 02.09.2022 tarihli YBM Teknik Şartnamesi ve eki BIM Uygulama Planı (Şekil 3) bulunmaktadır. YBM Teknik şartnamesinde YBM Uygulama Planının işin yüklenicisi tarafından hazırlanacağı belirtilmiş olup, şartname eki olan YBM-UP idarenin sözleşme kapsamındaki YBM uygulamaları ile ilgili olarak beklentilerin karşılanması amacıyla hazırlanmıştır. 9 ana bölümden oluşan YBM Uygulama Planı'nın 3. Bölümü olan YBM Kullanım Hedefleri bölümünde Ortak Veri Ortamı, 3B Görselleştirme-Model Üretimi, 2B Proje belgelerinin üretilmesi – Paftalandırma, 3B koordinasyon – Çakışma Kontrolü kapsamaları anlatılır. 5. Bölümü olan YBM Metodolojisi bölümünde ise model dosya isimlendirmeleri, çakışma testleri, model bilgi detay seviyesi bilgilerine değinilmiştir. Ayrıca YBM şartnamesinde kullanılan tüm malzemelerin hangi bilgilerinin verileceği (birim fiyat poz numarası, boyut, tip, konum, malzeme tanımı, renk, yangın sınıfı, akustik değerleri vb.) tarif edilmesi gerektiği belirtilmektedir (UAB, 2022)

1. Giriş 1.1. YBM Uygulama Planı Genel Açıklaması 1.2. Kısaltma ve Terimler 1.3. Referans Kaynak ve Standartlar 2. Proje Bilgileri İdare Adı Proje Adı Müşavir Yüklenici Proje Yeri Proje Tanımı 3. BIM Kullanım Hedefleri Ortak Veri Ortamı 3B Görselleştirme 2B Proje Belgelerinin Hazırlanması 3B Koordinasyon 4. Bilgi Yönetim Altyapısı 4.1. Roller Sorumluluklar 4.2. Teknik Altyapı İhtiyacı 5. BIM Metodolojisi 5.1. Model Bilgi Standartları -Başlangıç Görünümü -Model Dosya İsimlendirmesi -Çakışma Testleri	6. Kalite Kontrol -Model Elemanları -Seviye İsimlendirme -Model Görünümleri -Metraj Tabloları -Malzemeler -Mahal İsimlendirmele -Pafta Düzeni 7. Bilgi Değişimi ve Süreç Tasarımı - Genel Akış Diyagramı - Paydaşların Görev ve Sorumluluk Matrisleri 8. İşbirliği Prosedürleri ve Toplantılar 9. Ekler - BIM Süreç Organizasyon Şeması - Detaylı BIM Kullanımları Süreç Akış Diyagramları - Çakışma Matrisi - Sorumluluk Matrisi - LOD Matrisleri
--	---

Şekil 2.3: UAB(2022) tarafından hazırlanan BIM Uygulama Planı Kapsamı.

YBM'nin ele alındığı bir çok çalışma varken, YBM-UP açısından ele alan çalışmaların azlığı göze çarpmaktadır (Panagiotidou ve diğ., 2023). YBM-UP, tüm YBM süreçlerinin anlatıldığı ve uyulması gerek canlı bir doküman olup, proje sürecinde YBM'nin doğru kullanılarak YBM'den tam fayda sağlanması, süreç ve verinin doğru yönetimi için önemli bir kaynak değeri taşımaktadır. YBM projelerinde; YBM-UP kullanımı proje arşivi, YBM modeli ve YBM model elemanlarının belirli bir doküman kodlama ile arşivlenmesi idarelerin veri yönetimi için oldukça önemlidir.

YBM'nin ele alındığı bir çok çalışma varken, YBM-UP açısından ele alan çalışmaların azlığı göze çarpmaktadır (Panagiotidou ve diğ., 2023). YBM-UP, tüm YBM süreçlerinin anlatıldığı ve uyulması gerek canlı bir doküman olup, proje sürecinde YBM'nin doğru kullanılarak YBM'den tam fayda sağlanması, süreç ve verinin doğru yönetimi için önemli bir kaynak değeri taşımaktadır. YBM projelerinde; YBM-UP kullanımı proje arşivi, YBM modeli ve YBM model elemanlarının belirli bir doküman kodlama ile arşivlenmesi idarelerin veri yönetimi için oldukça önemlidir.



3. YAPILI ÇEVREDE DÖNGÜSELLİK

3.1. Döngüsel Ekonomi

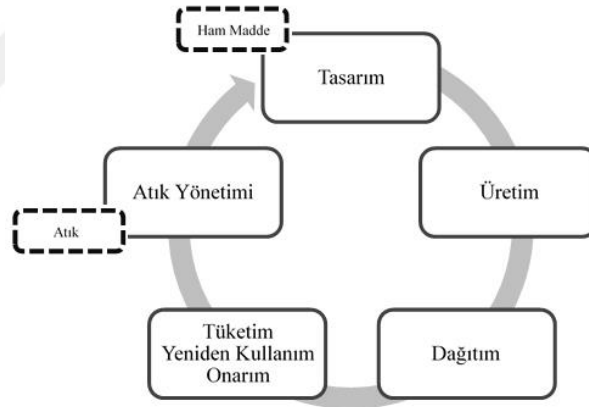
Sanayi devrimi ile kente göçün artması buna bağlı olarak kentlerde nüfus artışı ve çevre kirliliği, biyolojik çeşitlerin azalması ve iklim değişikliği günümüzün en önemli sorunları haline gelmiştir. Tüketime dayalı doğrusal ekonomi (Şekil 3.11) doğal kaynakların verimli kullanımını dikkate almak yerine al-yap-kullan-at modeli bu sorunları çözümsüz hale getirmektedir (EMF, 2013). Son yıllarda bu tüketim anlayışının önüne geçmek için kaynakların daha verimli kullanılmasını hedefleyen döngüsel ekonomi modeline geçilmesi gerektiği öngörülmektedir. Bu modele ise en iyi örnek doğadır. Doğayı düşündüğümüzde bütün kaynaklar ve yaşam birbirine bağlı, döngüseldir, doğa döngüsünde atık yoktur. Bu anlayışı yaşamımıza, tüketim şeklimize dahil etmek gerekmektedir.



Şekil 3.1: Doğrusal Ekonomi.

Döngüsel Ekonomi kavramı (Şekil 3.2.) 1970'lerin sonlarında popüler olmaya başlayan bir ekonomi modelidir Stahel ve Reday (1976) endüstriyel ekonomi çerçevesinde döngüsel ekonomi kavramını ortaya çıkarmışlardır (EMF, 2013). Endüstriyel üretimde kapalı döngü ekonomisi olarak kavramlaştırılan model kapsamında stratejiler israfın ve atığın önlenmesi, bölgesel istihdam sağlanması, kaynak verimliliği ve malzemelerin yeniden kullanılması olarak tanımlanmıştır (Geissdoerfer ve diğ., 2017). Döngüsel ekonomi kavramına ilişkin temel terimlerden biri olan beşikten beşiğe sistemi (cradle to cradle) 2002 yılında kimyager Braungart ve mimar McDonough tarafından ortaya konulmuştur. Beşikten beşiğe sistemi geleneksel beşikten mezara anlayışından koparak genel olarak ürün, malzeme ve hizmet tasarlamayı hedefler (Barungart & McDonough, 2002). Geng ve Doberstein (2008) döngüsel ekonomiyi malzeme akışı kapalı bir döngüde gerçekleştirilen ekonomik yapı olarak tanımlar. Bu ekonomi modeli ham maddelerin ve enerjinin birden fazla kez

kullanıldığı kapalı bir döngü olarak nitelendirilir (Yuan et al., 2008). Döngüsel Ekonomi konusunda temel kaynaklardan bir diğeri olan Ellen MacArthur Foundation (2013) tarafından yayımlanan Towards the Circular Economy kitabında ise döngüsel ekonomi kavramı amaç ve tasarım temelinde onarıcı ve yenileyici olan endüstriyel ekonomi olarak tanımlanmıştır. Döngüsel ekonomi ile “kullanım ömrü sonu (end-of-life)” kavramı yerini “yenileme (restoration)” kavramına bırakmaktadır. Söz konusu olan bu yenileme kavramı ile yenilenebilir enerji kullanımı, yeniden kullanımı engelleyen zehirli maddelerin kullanımının bırakılması ve tasarımda atıkların azaltılması hedeflenir (McArthur Foundation, 2013; Alasmari ve diğ., 2024) . Döngüsel ekonomi konusunda kapsamlı bir araştırma yapan Geissdoerfer ve diğ. (2017) döngüsel ekonomiyi kaynak miktarının, atık malzeme miktarının, emisyonun ve enerji kullanımının yavaşlatılarak, kapalı bir döngü haline getirilerek en aza indirgeyen yenileyici bir sistem olarak tanımlar. Bu sistem uzun ömürlü tasarım, bakım, onarım, yeniden kullanım, yeniden üretim, yenileme ve geri dönüşüm ile sağlanır.



Şekil 3.2.: Döngüsel Ekonomi.

Krichher ve diğ. (2017) döngüsel ekonominin 114 tanımını inceledikleri makalede doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş 9R (dokuz adet re- geri/yeniden terimi) ile anlatılmıştır. Bu 9R terimi (Şekil 3.3) doğrusal ekonomiye yakın olan terimlerden biri malzemeyi aynı seviye kalite veya daha düşük kalitede çevirmek anlamına gelen geri dönüşümken daha ileri seviyelerde ise ürünün başka kullanıcı tarafından, iyi bir durumda gerçek amacı ile yeniden kullanılması ile tanımladır. Döngüsel ekonomi en alt seviye olan ürün ve kullanıcı olarak, orta seviye olan sanayi alanları ve en üst seviye olan şehir, bölge, ulusal ve küresel açıdan geleceğe yönelik sistem olarak değerlendirilir (Krichher ve diğ., 2017). Adams ve diğ. (2017) ise

döngüsellik prensiplerini; az enerji az malzeme, faydalı atık üretimi ve atık miktarının azaltılarak kapalı bir döngü içine alınması, malzemelerinin değerlerinin artırılması olarak listelemiştir (Delgado ve Oydele, 2020).



Şekil 3.3: Döngüsellikte 9R kavramı. Krichher ve diğ.’den (2017) uyarlanmıştır.

2008 yılında yaşanan mali kriz konucunda dünya geneli bu durumdan etkilenmiş ve bu sayede ham madde ihtiyacını azaltan, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını dikkate alan, kaynak verimliliği ve yenilebilir enerji kullanımını hedefleyen döngüsel ekonomi önem kazanmıştır (Ghisellini ve diğ., 2021; Şenkal, 2023). Avrupa Birliği atık yönetimi konusunda güncellemeler yaparak, Avrupa Komisyonu tarafından 2020 senesinde ile “Döngüsel Ekonomi Eylem Planı” olarak son hali yayımlanmıştır (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021) Hızlı şehirleşme, kaynakların kontrolsüz kullanımı ve atık depola alanların yetersizliği sebebi ile döngüsel ekonomi modeli inşaat sektörü için kurtarıcı olma konumundadır. Bu sebeple Avrupa Birliği 2020 senesine kadar inşaatlarda malzemelerin yeniden kullanımını inşaat ve yıkım atıklarını toplam inşaat miktarının yüzde 70’i olarak sınırlamıştır (Kovacac ve diğ., 2020).

Türkiye’de ise 2017 senesinde Sıfır Atık El Kitabı T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanmıştır. Ek olarak ham madde ve doğal kaynakların etkin yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde atık

yönetiminde kaynakların korunmasını hedefleyen sıfır atık yönetim sisteminin kurulması ve yaygınlaştırılması amacı ile 2019 senesinde Sıfır Atık Yönetmeliği yayınlanmıştır (Sıfır Atık Yönetmeliği, 2019). Ayrıca Türkiye'nin 2021 senesinde "Paris İklim Anlaşması" ile taraf olduğu "Avrupa Yeşil Mutabakatı" çerçevesinde yürütülen çalışmalar döngüsel ekonomi kavramının yaygınlaşmasını ve yeni iş modellerinin oluşmasını sağlamıştır (Şenkal, 2023).

Döngüsel ekonomide temel olan konu ürünlerin tasarım aşamasında atık haline gelmeden nasıl ayrışacağını, yeniden nasıl döngüye katılabileceğini düşündürmektir. Basit bir örnek ile açıklamak gerekirse metal bir malzemeyi kullanıp sonrasında onu geri dönüştürmek için doğal kaynakları harcamamaktır. Diğer bir deyişle, döngüsel ekonomi ürünleri hedeflenen kullanımından sonra döngüye yeniden nasıl gireceğini, başka ürünlere nasıl kaynak olabileceğini veya dönüşebileceğini düşünerek tasarlayarak doğal kaynakların tüketimin ve harcanan enerjinin verimliliğinin dikkate alındığı bir ekonomi modelidir.

3.2. Yapılı Çevre ve Döngüsel Ekonomi

Şehirciliğin önemli isimlerinden olan yazar Jane Jacobs şehirleri geleceğin büyük bir hammadde madeni olarak tanımlar (Jacobs, 1969). Günümüzde sanayileşmiş ülkelerde inşaat sektörü en çok kaynak kullanan sektördür (Giljum ve diğ., 2017; Çetin ve diğ., 2021). Dünya genelinde kaynak kullanımının yüzde 30'u ve oluşan toplam katı atığın yüzde 25'ine inşaat sektörü neden olmakta iken inşaat ve yıkım atıklarının sadece yüzde 20-30'u geri dönüştürülmektedir. (Benachio ve diğ., 2020; Fernandes ve diğ., 2022). Dünya Ekonomi Forumu'nun 2016 senesine ait raporunda mühendislik ve inşaat sektörünün diğer sektörler arasındaki en çok ham madde tüketen sektör olduğu, global çelik üretiminin yüzde 50'sinin ve 3 milyar ton ham maddenin inşaat sektöründe harcandığı belirtilmiştir. Aynı zamanda bu raporda; küresel ölçekte inşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin senelik 100.000.000 dolar kazanç sağlayacağına değinilmiştir (Arup, 2016). Küresel ölçekte kullanılan agregaların(kum, çakıl, mıcır) yüzde 65'i ve kullanılan metal malzemelerin yüzde 20'si inşaat sektöründe kullanılmaktadır (Hopkinson ve diğ., 2018). Öte yandan bu boyutlardaki tüketim sebebi ile dünyadaki ham madde seviyesi oldukça azalmaktadır. Avrupa'da inşaat sektöründen çıkan atık toplam atık miktarının yüzde 38'ini oluştururken, karbondioksit (CO2) salınımının yüzde 40'na ve doğal kaynak kullanımının ise yüzde

50'sine neden olmaktadır (EIB,2015; Durmisevic, 2019). Bu oranlar yakın zamanda farklılaşmamış olup Eurostat'ın 2020 senesi için yaptığı araştırmada inşaat sektörü Avrupada'da çıkan toplam atığın yüzde 38.7'sini oluşturmakta olup, toplam sera gazı emisyonu yayma oranının yüzde 39'una neden olmaktadır (Çetin ve diğ., 2021). Ayrıca inşaat ve yıkım atıklarının yüzde 20-30'u kurtarılıp, yeniden işleme alınmaktadır (Honic ve diğ, 2019b). Bu değerlerin de vurguladığı gibi yapıli çevre enerji, malzeme ve maden kullanımının ölçeğı açısından kaynak kullanımının yoğun olduğı bir alandır (Ghisellini ve diğ., 2018; Çimen, 2021). Göswein ve diğ. (2022) Avrupa Birliğı'nin ilgili mevzuatları inşaat sektöründe yüzde 70 geri dönüşüm ve yeniden kullanımı hedeflerken inşaat sektörünün büyük oranda katı atığın oluşmasına vurgu yapmaktadır. Bu nedenle inşaat sektöründeki hedefler ile güncel durum arasında çelişki olduğunu savunmaktadır (Göswein ve diğ., 2022).

Döngüsel ekonomi yapıli çevrede malzeme ve yapı elemanların bir döngü içinde yeniden kullanılması ve atık yaratılmaması ile binaların bir malzeme deposu olarak kullanılmasını sağlayacaktır (Hopkinson ve diğ., 2018). Literatürde; döngüsel ekonomi ve yapı endüstrisinin entegrasyonu ile ilgili olarak yapı elemanlarında, prefabrik yapılarda, tip proje olan konut inşaatlarında, yeni yapı tasarımlarında ve yapımlarında, sürdürülebilir bina yapımlarında ve yapı malzemeleri için kapsamlı bir çerçevede döngüsellik stratejileri çalışılmıştır (Çetin ve diğ., 2021). Ancak bununla birlikte yapıli çevrede döngüselligi ölçen ve değerlendiren ortak bir metodoloji geliştirilmemiş olup, enerji verimliliğı ve döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda yapıların yenilenmesi ile ilgili standartlarda eksiklikler bulunmaktadır (Fernandes ve diğ., 2022). Ek olarak literatürde ise yapıli çevrede döngüsel ekonomi ve yapıli çevrede döngüsellik konusunda dijital teknolojileri kullanımını araştıran yayın sayısının yetersiz olduğuna vurgu yapmaktadır. (Çimen, 2021; Çetin ve diğ, 2021).

Döngüsellik stratejileri; kaynak döngülerinin yavaşlatılması, kaynak döngülerinin kapatılması, kaynak akışlarının daraltılması ve kaynak döngülerinin yenilenmesi olarak dört ana başlıktan oluşur (Koumbarakis ve diğ., 2021).

Kaynak döngülerinin yavaşlatılması stratejisi uzun ömürlü ürünler tasarlanması ve bakım, onarım veya yeniden kullanılma ile ürünün ömrünün uzatılması ile kaynak akışını yavaşlatmayı hedefler (Bocken ve diğ., 2016). Bu stratejinin yapı endüstrisindeki karşılıkları; uzun ömürlü bir tasarım oluşturulması, dönüşebilen yapı

tasarımı (Durmisevic, 2018), mekânsal kurgunun esnek ve uyarlanabilir olması ve yeniden kullanımdır (Çetin ve diğ., 2021).

Kaynak döngülerinin kapatılması stratejisi ile ürünlerin veya yapıların kullanım ömrü sonlarına ulaştıklarında yeniden kaynak olarak döngüye katılmasını amaçlar (Bocken, 2016). Kaynak döngülerinin kapatılması stratejisinin yapılı çevredeki karşılığı geri dönüşüm, kent madenciliği, endüstriyel simbiyoz ve takip et-izle ilkeleridir. Örnek olarak, yapı malzemelerinin kullanım ömrü boyunca takip edilerek kullanım ömrü sonunda belli bir kullanılabilirlik seviyesinde ve kalitesinin takip edilmesidir (Çetin ve diğ., 2021).

Kaynak akışlarının daraltılması stratejisi tasarım ve üretim aşamasında daha az kaynak, malzeme ve enerjinin kullanılmasını hedefler (Konietzo ve diğ., 2020). Daraltma stratejisi kaynak akışının azaltılması yönüyle ilk iki stratejiden farklı bir yaklaşımdır (Bocken ve diğ., 2016).

Kaynak döngülerinin yenilenmesi strateji ise yenilenebilir enerji kullanımını, yenilenebilir ve zararlı olmayan malzeme seçimlerini amaçlar (Konietzo ve diğ., 2020). Yapılı çevredeki karşılığı ise;

- İnsanları doğa ile buluşturan tasarımlar,
- Yenilenebilir ve zararsız yapı malzemelerinin kullanılması,
- Kentsel tasarım açısından kamusal alanların iyileştirilmesi,
- Yenilenebilir bina işletme sistemi ile kazanç elde edilmesi olarak listelenmektedir (Çetin ve diğ., 2021).

Bu dört ana döngüsel ekonomi stratejisine ek olarak Çetin ve diğ. (2021) iş birliği stratejisini eklemiştir. Bu strateji birden fazla paydaşın olduğu inşaat sektöründe koordinasyonun ve birlikte en verimli şekilde çalışmalarının sağlanmasıdır.

Döngüsel ekonomi yaklaşımı yapılı çevreye çeşitli çalışmalar ile entegre edilmiştir. Bu araştırmalardan döngüsel yapı tasarımı, uyum için ve söküm için tasarım ve malzeme pasaportlarına ait çalışmalarına değinilecektir.

Döngüsel ekonominin yapı endüstrisine uygulanmasını Durmisevic (2018) dönüşebilen (reversible) yapı tasarımı ile entegre etmektedir. Durmisevic'e göre dönüşebilen yapı tasarımında iki önemli ölçüt; bağımsızlık ve değişebilirliktir. Bununla birlikte dönüşebilen yapı tasarımı mekânsal, yapısal ve malzeme ölçekleri olarak üç ana parametreden oluşur. İlk olarak mekânsal ölçekte kullanım senaryosu

değişimine açık ve farklı işlev şartlarına uygun olarak tasarlamak ana kurallardan biridir (Durmisevic, 2018). Yapıların kat planı şemalarındaki bu esneklik Le Corbusier'in (1914) Domino System ile "plan libre" yaklaşımı ve Mies van der Rohe'nin de benzer şekilde ortaya koyduğu mekanlarda uyumluluk ve esneklik ile yer değişebilir duvarlar ile kullanımı esnek kat planları kurgusunu hatırlatmaktadır (Estaji, 2017; Figueiroa ve diğ., 2024). Bina mekânsal tasarımı ilk kullanım işlevine uygun iklim ve enerji performanslarından ziyade başka bir fonksiyona geçildiğinde bunların dönüşümüne uygun kurgulanmalıdır. Mekânsal tasarımında dönüşebilen olmayı IR Mimarlık firmasının Passive House tasarımında kentsel veya kırsal alanda kullanıma uygun olmasından ve konuma yerleştikten sonra yapı elemanları ile ara mekânlar yaratarak başka kullanım senaryolarına imkân veren özellikler ile görmek mümkündür (Url-1).

Dönüşebilen yapı tasarımında yapı ölçeğinde değişimi ise işlevsel ve teknik bağımsızlık olarak iki ana özellik ile ele alır. Yapısal sistem ve birleşim sistemleri (detayları) açısından birbirine bağlı olmayan işlevlere sahip olabilecek şekilde tasarım yapılmıştır (Durmisevic, 2019). Malzeme ölçeğinde fiziksel değişilebilirlik ana amaçtır; bir detay sisteminden bir alt eleman ayrılacağına bu durum diğer elemanlara işlev veya kalite olarak zarar vermelidir (Durmisevic, 2018).

Aguiar ve diğ. (2019) yapıyı çevrede döngüsellik açısından "döngüsel ekonominin gerektirdiği paradigma değişimini; binaların malzeme bankası olması" şeklinde açıklamıştır. Yenilenebilir yapıyı olabildiğince uzun süreli kullanılabilen ve çoklu kullanıma, değiştirmeye uygun yapı olarak tanımlar. İnşaat sektöründe döngüsel çözümler için bütüncül bir değişimi hedefleyen Malzeme Bankası Olarak Binalar (BAMB – Building as Material Banks) Projesi döngüsel yapı tasarımını faydalarını aşağıdaki şekilde listeler (Url-2);

- Esneyebilir ve dönüşebilen tasarımlara sahip bakım onarımının kolay ve daha az atık üreten yapılar olması.
- Malzeme deposu olan bu yapıların malzemelerinin kolay bulunabilir ve işlenebilir ve tamir edilebilir olması.
- Bakım onarımı kolay ve tasarımda esneklik sağlayan sistemleri ve mekânları içerir olması.

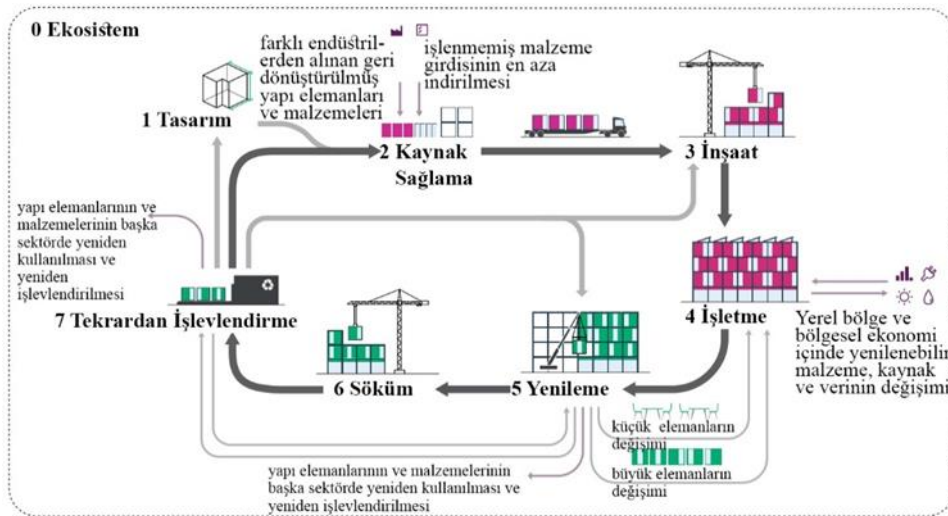
Figueiroa ve diğ. (2024) döngüsel ekonomi çerçevesinde tasarımı Uyum için Tasarım (Design for Adaptability – DfA) ve Söküm/Demonte için Tasarım (Design for Disassembly DfD) olarak iki temel yöntem ile açıklar. Uyum için tasarım yapının iç

kurgusunun herhangi bir işlev değişikliğine göre değiştirilebilir olmasıdır. Söküm için tasarım ise yapı elemanlarının sökülmesi ve ayrılmasıyla ve yeniden kullanılabilir olması yani dönüşebilen yapı olmasıdır (Figueiroa ve diğ., 2024).

Izquierdo ve diğ. (2024) ise detaylı bir literatür sonucunda 12 adet yapıli çevrede uygulanan döngüsel ekonomi tekniğini listelemiştir;

- Malzeme ve ürün seçimi,
- Modüler tasarım,
- Uyumlu ve esnek tasarım,
- Standartlaşmış tasarım,
- Sökülebilir tasarım,
- Prefabrik tasarım,
- İnşaat atıklarının azaltılması,
- Kullanım ömürlerine,
- Tasarım gerekliliklerine ve malzemelerine göre katmanlarına ayrılmış yapı tasarımı,
- Parçalı yıkım,
- Söküm,
- İleri dönüşüm ve geri dönüşüm

şeklinde listelenir. Atıkların dönüşümü sonucu aynı veya daha iyi bir kalitede bir ürün elde edilebiliyorsa bu ileri dönüşüm olarak tanımlanırken ürünün geçirdiği yeniden kazanım işleminden sonra değer kaybettiği dönüşüm geri dönüşüm olarak nitelendirilir (Guerra ve Leite, 2021; Izquierdo ve diğ., 2024).



Şekil 3.4: Yapı Ölçeğinde Döngüsellik. Arup (2016)'dan uyarlanmıştır.

Mühendislik hizmeti veren Arup firması (2016) döngüsel ekonomiyi yapıli çevre kapsamında değerdendirirken farklı ölçeklerde ele almıştır. Bunlar; yapı, altyapı, kent, bölgesel ve ulusal ve küresel ölçeklerdir. Yapı ölçeğini ise yedi alt süreçte değerdendirmiştir; ekosistem, tasarım, kaynak girişi, inşaat, işletme, yenileme, söküm ve yeniden işlevlendirme (şekil 3.4). Ekosistem içinde iş birliği bulut model olan YBM Modeli üzerinden yapılacak, bileşenler ve yapı elemanları satın alınmak yerine kiralanacaktır. Aynı zamanda performansa dayalı anlaşmalar ile kiracılar veya mülk sahipleri bireysel malzeme veya eşyalar yerine aydınlatma gibi hizmetler için ödeme yapacaklardır. Ekosistem içinde alınan tasarım kararları binanın ve bina işletiminin, yenilenmesinin ve yapı elemanlarının yeniden işlevlendirilmesinde etkilerinin olduğunun farkında olunması gerekmektedir. Tasarım aşamasında gelecekteki ihtiyaçlara göre değışebilen genişlemeye veya sökülmeye uygun tasarımlar gerekmektedir. Döngüsel yapı modelinde kullanılan yapı elemanları ve malzemeleri başka sanayi kollarından geri dönüşüm veya yeniden kullanım ile temin edilebilir. Öte yandan doğrusal ekonominin standartlaşmış malzemeleri yeniden kullanıma uygun hale getirilecektir, örneğin; beton plaklar modüler bir hale getirilip farklı binalarda kullanılabilir olacaktır. Aynı zamanda kullanılan malzemeler yerel pazardan temin edilebilen malzemeler olmalıdır. Binalar 7/24 kullanıma uygun olarak fonksiyon açısından çeşitli olmalıdır. Binanın yaşam döngüsünü içeren YBM Modeli ile tüm yapı sektörü paydaşları binanın ayrılması, genişlemesi, yeniden aynı malzemeler ile tasarlanması hakkında bilgi sahibi olabilecektir (Arup, 2016).

Yapılı çevrede döngüsel ekonominin bir diğer unsuru ise malzeme pasaportlarıdır. Atıkların azaltmasını amacı ile yapı malzemeleri için çevrimiçi platform olan Madaster (2019) malzeme pasaportunu binada kullanılan her malzemenin kalitesi, çıkış yeri ve söküm bilgilerini depolayarak yapıların yenilenme veya yeniden kullanılma durumlarında malzemelerin yeniden değerdendirilmelerini sağlayan bilgileri içeren sayısal bir doküman olarak tanımlar (Url-3). BAMB Projesi (2020) kapsamında ise malzeme pasaportları malzemelerin iyileştirme ve yeniden kullanımı açısından sahip olduğu değeri gösteren veri setleri olarak tanımlanmaktadır. Malzeme pasaportları malzemelerin verimli bir şekilde yeniden kullanılması için oldukça önemli dokümanlardır (Alasmari ve diğ.2024).

BAMB Malzeme Pasaportları ile malzemelerin ve yapı bileşenlerinin değeri artar, daha verimli ve sürdürülebilir döngüsel ekonomiye uygun malzemelerin gelişmesini

sağlar, döngüsel yapı tasarımı için doğru malzeme seçimini sağlar ve malzemelerin ve bileşenlerin yeniden kullanımı için tersine lojistik sisteminin gelişmesini sağlar (Url-2). Heinrich ve Lang (2019) Avrupa Birliğinin Horizon 2020 - BAMB projesi kapsamında malzeme pasaportlarında olması gereken bilgileri listelemişlerdir (Şekil 8). BAMB malzeme pasaportu kavramını Hansen ve diğ. (2012)'nin ürünlerin ve/veya malzemelerin döngüsel üretim çerçevesinde yeniden kullanılmasını sağlayan malzemenin kalitesini ve değerini arttıran ve pazar içinde buna uygun üretim açısından talebi artıran Besin Sertifikaları (Nutrient Certificates) tanımından geliştirmiştir (Url-2). Malzeme Pasaportları malzemenin ve yapının yaşam döngüsü ile ilgili kritik bir role sahiptir; malzemelerin yaşam döngüsü ham maddelerinin çıkartılmasından başlar, üretimi ve kullanımı ile devam eder ve kullanım ömrü sonu ile biter (Honic ve diğ., 2024). Malzeme pasaportları malzemelerin sürdürülebilirliğe katkı sunarak malzemelerin kullanım ömrü sonunda yeniden kullanılmasını ve dönüşümünü sağlayarak kapalı bir döngü sistemi kurulmasına katkı sunar (Çetin ve diğ., 2022; Bocken ve diğ., 2016, Honic ve diğ., 2024). Kısacası malzeme pasaportları malzemeler için yapıların sahip olduğu kadastro belgesidir.

Öte yandan malzeme pasaportları sadece malzeme ve yapı ölçeğinde kalmayarak kent ölçeğinde de döngüsel ekonomiye katkı sunmaktadır. Yapı ölçeğine uygun olarak hazırlanan malzeme pasaportları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığı ile kentteki konumlarına işlenerek kent içindeki malzeme ve kaynak aktarımı için kullanılır. İl ve ilçe belediyelerine plan yenileme, yapı stoğu bilgisi, yapıların kullanım ömrü sonu bilgisine yenileme ve yeniden kullanımla ilgili, kaynak kullanımı ve atık malzeme tahmini açısından sayısal ortamda depolama sağlar (Honic ve diğ., 2024). Şehir ölçeğinde malzeme pasaportu verisi elde etmek için lazer veya zemin altı radar tarama yöntemlerinin kullanılması gerekir (Honic ve diğ., 2019a). Kentler için malzeme pasaportları ikincil bir yapı kadastrosu yerine geçmesi için bu veriler CBS aracılığı ile oluşturulabilir. Malzeme pasaportlarının klasik yöntemler yerine YBM aracılığı ile bir veritabanında toplanması daha sistematik bir yöntemdir. Bu şekilde malzeme pasaportları tasarım optimizasyonu sağlamakla sınırlı kalmayarak kent bilgi madenciliği için de oldukça iyi bir kaynak deposu görevini üstlenir (Honic ve diğ., 2019c). Bu noktada YBM ve CBS entegrasyonu önem kazanmaktadır. Her sektörde olduğu gibi yapı endüstrisinde de döngüsellik geçişi engelleyici ve destekleyici etmenler bulunmaktadır.

Malzeme Pasaportu			
Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellikler	
1. Boyut -Ebat -Ağırlık -Alan -Hacim -Yoğunluk 2. Yapısal Özellikler -Basınç ve mukavemet -Taşıyıcılık -Denge -Direnç 3. Yapı Fiziki -U-değeri -Isıl geçirgenlik -Buhar difüzyonu -Gözeneklilik -Akustik -Diğer	4. Yangın Dayanımı 5. Görsel Özellikler -Renk -Yapı -Yüzey dokusu -İletkenlik -Opaklık -Yansıtma 6. Kullanım süresi ve Durabilite 7. Geri Dönüşüm ve Yeniden Kullanım Potansiyeli 8. Diğer	1.Kimyasal Kırışımı 2.Sağlık ve Güvenlik 3.YDD-Çevresel Etki Değerlemesi -Emisyon Oranı -Kaynak Vergilendirilmesi 4.Yaşam Döngüsü Maliyeti – Ekonomik açıdan Değerleme 5.Sosyal YDD 6.Dirençlilik ve Mukavemet 7.Kullanım Ömrü ve Durabilite 8.Geri dönüşüm ve Yeniden Kullanım Potansiyeli	
Sürece ait Özellikler		Biyolojik Özellikler	
1.Ürün Etiketleri ve Sertifikalar - İndeksler ve Değerlendirmeler - Test Yöntemleri 2. Kayıt 3. Politikalar 4. Standartlar ve Yönetmelikler 5. YBM 6. Nesnelerin interneti (IOT) ve blockchain 7. Aktörler - İş Modeli - İşletme ve Bakım - Ulaşım ve Lojistik 8. Mülkiyet 9. Söküm için Tasarlama ve Tersinir Yapılar 10. Kurulum, Kullanım, Söküm 11. Fonksiyon 12. Özel özellikler		1.Yenilenebilirlik/Yenilenemeyen 2.Bakımı Yapılabilir/ Bakımı Yapılamaz 3.Ayrıştırılabilirlik 4.Geri Dönüşüm ve Yeniden Kullanım Potansiyeli 5.Diğer Özellikler	

Şekil 3.5: Malzeme Pasaportunun içerik listesi, (Heinrich ve Lang, 2019)’dan uyarlanmıştır.

Aljaber ve diğ. (2023) yapı sektöründe döngüsel ekonomi modelinin uygulanmasına engelleyici faktörleri farkındalık, teknik faktörler, ekonomik etmenler ve pazar, uygulama, pazarlama ve sosyal etmenler olarak altı kategoride değerlendirmiştir. Aynı zamanda bu çalışma sonucunda döngüsel ekonomi ile ilgili mevzuatın eksikliği, çok parçalı tedarik zinciri ve ön yatırım maliyetinin yüksek olmasını döngüsel ekonominin inşaat sektöründe uygulanamamasına en büyük etmenler olduğunu belirtilmiş olup gerekli yasal çerçevenin oluşturulması, finansal girişimler, teknolojik girişimler ve

gelişmelerin ise döngüsel ekonominin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayacağı belirtilmiştir (Aljaber ve diğ., 2023). Izquierdo ve diğ., (2024) yapıli çevrede uygulanan döngüsel ekonomi uygulamaları için açısından destekleyici ve engelleyici etkiler belirlenmiştir. Çeşitli akademisyenlerin araştırmalarının incelenmesinin sonucunda, destekleyici etmenler; ruhsatlandırma süreci, iş sözleşmesi gereklilikleri, teknoloji, inşaat öncesi aşaması, proje başarı faktörleri (kısa süreli işler, atık üretiminin azaltılması ve tasarruflar), tedarik süreci yönetimi ve eğitimidir. Öte yandan inşaat sektöründe döngüsel ekonominin uygulanması için engelleyici etmenler ise paydaşların tecrübesizliği, yasal mevzuat, arazi fiziki çevre koşulları, yapım iş modeli, kültürel etkiler, tasarım özellikleridir (Izquierdo ve diğ., 2024).

Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörü imar mevzuatı açısından iyi bir yasal çerçeveye sahip bir alandır bu açıdan düşünüldüğünde bu alanda döngüsel ekonomi modeline geçilmesi için öncelikli yasal çerçevenin oluşturulması gerekmektedir. Ardından öncelikle sektördeki tedarik zincirini oluşturan firmaların üretim sistemlerini döngüsel ekonomi modeline geçirmeleri, sonrasında tasarımcı firmaların tasarım anlayışlarının bu sisteme uygun hale getirilmesi ve yapımçı firmaların da uygulamalarında döngüsellik yaklaşımını oturtmaları gerekmektedir. Bu durumda sektördeki firmalarda eğitim ön plana çıkmaktadır.

Bu doğrultuda döngüsel ekonomi yapıli çevrenin önemli gereklilikleri arasında yerini almaktadır. Döngüsel ekonomi yapıli çevrenin yıkım veya söküm aşamasında ele alınması gereken bir model olduğu kadar tasarım aşamasından itibaren önemsenmesi gerektiği çok açıktır.

3.3. Yapıli Çevrede Döngüsellik ve Yapı Bilgi Modellemesi Entegrasyonu

Birçok sektörde dijital teknolojiler; döngüsel ekonomi modelinin en önemli destekleyici etmenlerden biridir. Ancak yapıli çevrede döngüsellik konusunda dijital teknolojilerinin kullanımını araştıran çalışma sayısı oldukça azdır (Çetin ve diğ., 2021). Yasal, teknolojik, sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan yapıli çevrede döngüsel ekonomi uygulamalarını engelleyen çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Ancak, YBM sürdürülebilir kullanım ömrü sonu için bir dijital model olması ve malzemelerin verimli bir şekilde yeniden kullanılmasını sağlayan malzeme pasaportlarına bir altlık olmasıyla önleyici olarak, tüm bu zorluk ve engellere bir çözümdür (Alasmari ve diğ., 2024). YBM gerek paydaşlar arasında bütünleşik proje teslim/iletim sistemi ile

gerekse tasarım optimizasyonu açısından doğal kaynak kullanımı ve atık miktarını azaltarak yapı tasarım optimizasyonu ile sürdürülebilir yapı tasarımına katkı sunarken döngüsel ekonomi açısından da tasarım sürecini ileriye taşıyacaktır (Won ve Fan, 2013; Çetin ve diğ., 2021).

Yapılı çevre ile döngüsel ekonomi konularını birlikte ele alan öncü projelerden olan Bulding as Material Banks (BAMB) Projesi kapsamında yapılan uluslararası bir konferansta, Aguiar ve diğ. (2019) YBM'nin döngüsel tasarım çerçevesinde kullanılması için iki farklı kullanım alanı sunmuştur. Bunlardan biri yapının bakım ve onarım aşamalarında kullanılabilir yaşam döngüsü modeli iken diğeri ise malzeme pasaportuna uygun bilgileri ve verileri içeren döngüsel modeldir. Bunu Ayrıca Aguiar ve diğ. (2019) her iki model için de doğruluk ve güvenilirlik açısından verilerin YBM ve IFC formatında, semantik web tabanlı veri ve bilgi tabanlı veri olmasını önermektedir. YBM döngüsel modelinin malzeme bankası olarak kullanılması için bilgi ve verilerin depolanması, paylaşımı ve yönetimi çok önemlidir. Verilerin ne şekilde yönetileceği ve depolanacağı bir sözleşmeye konu edilmelidir aynı zamanda bu döngüsel model ile yeni bir paydaş gerekecektir. Aguiar ve diğ. (2019) bu yeni döngüsel modelden sorumlu paydaşı “toplayıcı (harvester)” olarak nitelendirmektedir; bu paydaş modelin doğruluğundan, döngüsellik açısından uygunluğundan ve işlenmesinden sorumludur.

İnşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişin kesinlikle YBM ile olması gerektiğini savunan Charef ve Emmitt (2021) ise YBM'nin yapıların kullanım ömrü sonu planlamasının açısından önemine vurgu yapmaktadır. Bu doğrultuda mevcut YBM kullanımlarını ve yeni YBM kullanımlarını döngüsel ekonomi açısından değerlendirmiştir. Mevcut YBM kullanımlarının döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınması tasarım, analiz ve işletme olarak listelenmektedir. YBM'nin döngüsel ekonomi açısından kullanımına basit bir örnek vermek gerekirse yapısal tasarım modeli yapının yıkımı/sökümü açısından altlık oluşturmaktadır. Bir diğeri mevcut YBM kullanıma örnek ise kullanım ömrü sonrası (end-of-life) sürecini değerlendirmek için alan yönetimi ve takiptir. Bu noktada YBM yapı malzemelerinin kullanım ömürlerini takip ederek malzemelerin yeniden kullanılmasına veya yapıdaki renovasyon çalışmalarına katkı sağlayacaktır (Charef ve Emmitt, 2021).

Charef ve Emmitt'in (2021) YBM'nin döngüsel ekonomi yaklaşımı açısından sunduğu yeni kullanımları ise

- Kullanım ömrü sonu için dijital model,
- Malzeme pasaportu,
- Proje veri tabanı,
- Veri kontrolü,
- Döngüsellik değerlendirmesi (8. Boyut – 8B),
- Malzemelerin yeniden değerlendirme süreci
- Malzeme bankası olarak belirtilmektedir.

Bu 7 yeni kullanım ile döngüsel ekonomi uygulamaları önündeki ekonomik, sosyolojik, teknik, çevresel ve organizasyonel engelleri aşacaktır. Örneğin kullanım sonu modeli ile bina katmanlarının hangi aşamalarda kullanılacağını, malzeme detaylarını, yapı yıkımı ile bilgileri içererek teknik engelleri aşmaktadır (Charif ve Emmitt, 2021).

YBM’i Döngüsel ekonomi prensiplerini yapı sektörü entegrasyonunda kullanan Sudarsan ve Gavali (2024) karşılaştırmalı bir analiz yapmıştır. Geleneksel tasarım kararları alınan bir tasarım modeli ile döngüsellik stratejilerine uygun bir tasarım modelini maliyet, atık miktarı ve karbon emisyonu açısından YBM’de metraj bilgilerini kullanarak hesaplamıştır. Örneğin endüstriyel atık olan uçucu külü çimento yerine kullanmış, ahşap malzemesini tercih etmiş ve doğramaların boyutlarını değiştirerek döngüsel ekonomi hedeflerine katkı sağlamıştır (Sudarsan ve Gavali, 2024). Ayrıca inşaat aşamasında çıkacak olarak atıkların hesaplanması için YBM yazılımına makine öğrenmesiyle geliştirilmiş bir eklenti ile yöntem ile potansiyel atık miktarı hesaplanması sayesinde tasarım alternatifleri geliştirilebilir (Akinade ve Oydele, 2019). Kovacic ve diğ. (2020) de dijital teknolojilerin özellikle YBM’nin kaynakların değerlendirilmesi, atık ve geri dönüşüm tahmini ve optimizasyonu sağlamasını mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe döngüsel ekonomi yaklaşımına en büyük desteklerden biri olarak listelemektedir. Ek olarak, süreç tasarımı için YBM temelli malzeme pasaportu ve YBM ile tarama ve veri kullanımı ile bütünleşik kaynak ve enerji değerlemesi açısından YBM kullanıma vurgu yapmaktadır (Kovacic ve diğ., 2020).

YBM’nin nasıl döngüsel yapı tasarımı kapsamında yaşam döngüsü maliyetine (life cycle costing) katkı sağlayacağını inceleyen Alasmari ve diğ. (2024) toplamda 50 adet makale inceleyerek bu entegrasyonu araştırmıştır. Bunun sonucunda YBM’nin proje inceleme, standartlaşma, sertifikasyon, proje tasarımı, mühendislik analizleri, kentsel

tasarım, koordinasyon, planlama ve dokümantasyon açısından kullanılması ve proje enerji analizi ve kaynak verimliliği analizi ile yaşam döngüsü maliyeti açısından döngüsel ekonomiye katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmış olup YBM'nin bina performansı ve optimizasyonu için veri sağlayacağını, malzeme ve sistemlerin döngüsel ekonomiye göre fayda-maliyet analizi olarak katkı sağlayacağı ortaya konmuştur. (Alasmari ve diğ., 2024).

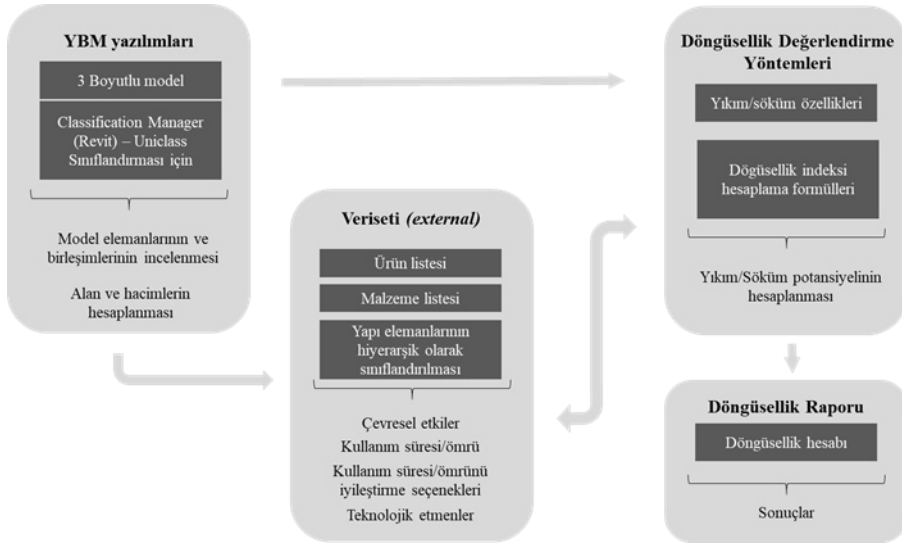
Literatürde YBM'nin yapılı çevrede döngüsellik açısından ele alan çalışmalar incelendiğinde YBM'nin katkıları, döngüsellik değerlendirmesi, malzeme seçimi, malzeme pasaportuna ait bilgilerin YBM'de dijital olarak alınması, yaşam döngüsü değerlendirilmesi, atık yönetimi, kullanım ömrü sonu için dijital model, bakım, onarım ve işletme için dijital modelin oluşturulması olarak listelenebilir.

3.3.1. Döngüsellik değerlendirilmesi

Behun ve Behunova, (2023) YBM'nin 5. boyutu olan maliyet hesaplama, 6. boyutu olan sürdürülebilirlik ve 7. boyutu olan tesis yönetiminin kesişim kümesi olarak YBM'nin döngüsel ekonomi boyutu olarak "CEd BIM" (Circular Economy Dimension of BIM) tanımlamıştır. Göswein ve diğ. (2022) yetersiz veriler, koordineli çalışamama ve uyumlu olmayan yöntemlerden dolayı YBM'nin döngüsellik değerlendirmesi için yetersiz kaldığını savunmaktadır. Bu sorunun giderilerek YBM'nin döngüsel ekonomiye katkı sağlaması için döngüsellik değerlendirilmesini sunmuştur.

YBM tabanlı döngüsellik değerlendirmesi için CirBIM veriseti çerçevesini anlatarak bir iş akışı şeması önermektedir. Sırasıyla,

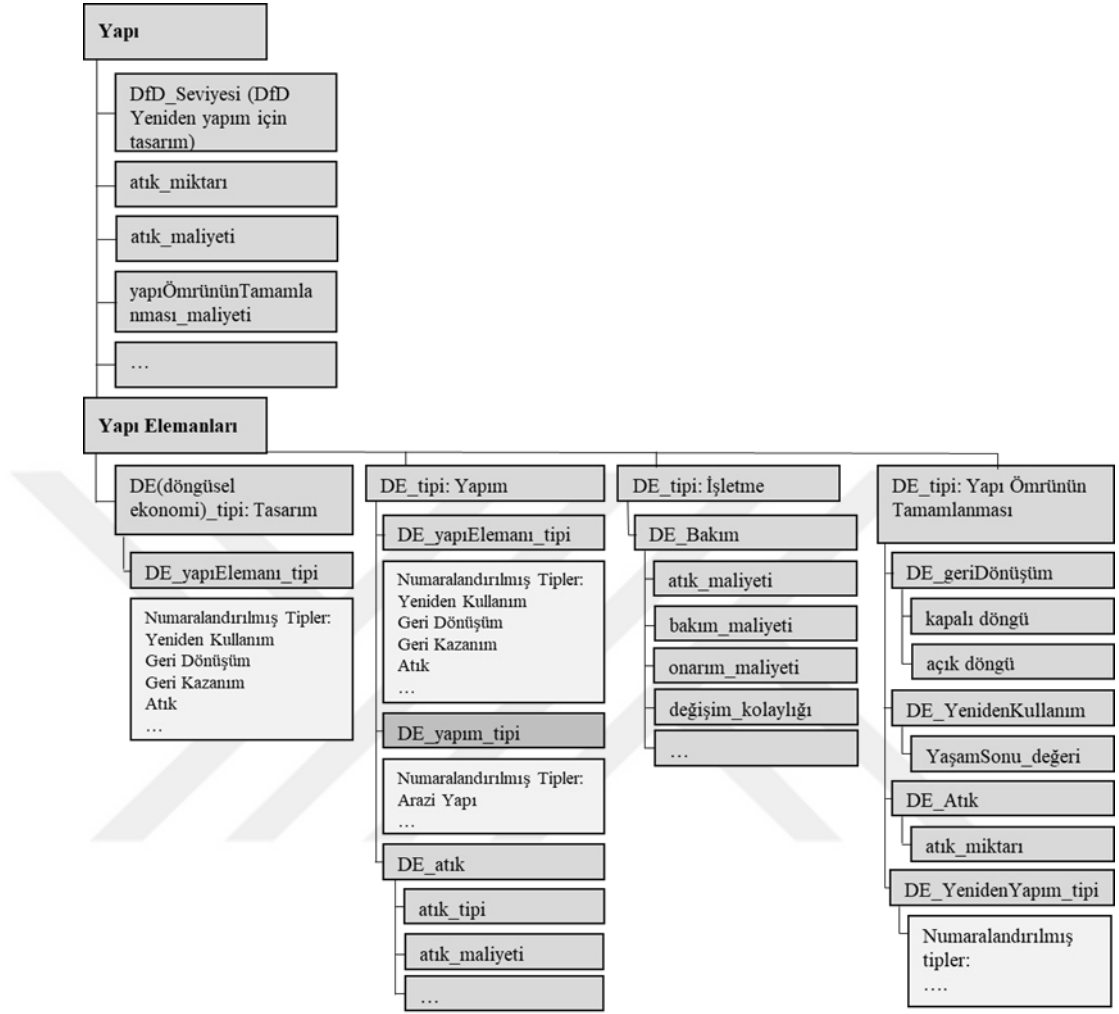
- 1- Ürün Döngüsellik İndeksini (PCI- Product Circularity Indicator) hesaplanır.
- 2- Her bir birleşen katmanı için Sistem Döngüsellik İndeksini (SCI-System Circularitty Indicator) hesaplanır.
- 3- Sonuç olarak Bina Döngüsellik İndeksi hesaplanır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: YBM plug-in'i CirBIM ile döngüsellik analizi iş akışı şeması, Göswein ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.

CirBIM veriseti aracı Cottafava ve Ritzen tarafından geliştirilen Döngüsellik Göstergesi Modeli yöntemini kullanır (Göswein ve diğ., 2022). Döngüsellik Göstergesi Modeli ise Malzeme Döngüsellik İndeksini temel alır. Malzeme Döngüsellik İndeksi 2015 senesinde Ellen McArthur Foundation tarafından ortaya konmuştur. Ürünün döngüsellik potansiyelini gösteren Malzeme Döngüsellik İndeksi hesaplanırken üretim esnasında kullanılan ham madde miktarı, üretim ve kullanım sonucunda oluşan atık miktarı ve yeniden kullanılabilir atık miktarı değerleri kullanılır (Fernandes ve diğ., 2022). Fernandes ve diğ. (2022) YBM tabanlı döngüsellik eklentisinde (plug-in) sırasıyla,

- 1- Malzeme Döngüsellik İndeksi ile Sökülebilirlik İndeksi birleştirilerek Ürün Döngüsellik İndeksi hesaplanır. Ürün Döngüsellik İndeksi yapıdaki veya bir sistem birleşimindeki ürünün döngüsellik derecesini gösterir.
- 2- Birden fazla üründen oluşan sistemin Sistem Döngüsellik İndeksi hesaplanır. Burada ürünlerin birbirleri ile olan etkileşimleri değerlendirilir.
- 3- Sistemler bina içinde değerlendirilerek Bina Döngüsellik İndeksi hesaplanır. Ayrıca gömülü enerji ve yaşam döngüsü küresel ısınma potansiyeli EN15978:2011 standardı temel alınarak hesaplanır ve binanın iklim değişikliğindeki etkisi değerlendirilir (Fernandes ve diğ., 2022).



Şekil 3.7: Döngüsel Ekonomi ilkelerini içeren standart veri modelinde olması gereken girdiler, Delgado ve Oyedele (2020)’den uyarlanmıştır.

Döngüsel ekonominin mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe benimsenmesi için iş birliğini başarılı bir hale getirecek olan standartlaşan veri modellerinin gerekliliğini savunan Delgado ve Oyedele (2020) IFC verileri ile YBM modelleri ile döngüsel ekonomi ilkelerini içeren bir çalışma ortaya koymuştur (Şekil 3.7).

Ayrıca Göswein ve diğ. (2022) yapının döngüsellik açısından analiz edilebilmesi için yapının 3 ana katman olarak ele alınması savunmaktadır. Örneğin yapı kabuğu 1. katman, dış kabuk brand layer, cephe 2. katman, dış duvarlar ise 3. katmandır. Aynı şekilde kabuk 1. katman, yapısal elemanlar brand layers, temel strüktürü 2. katman, fore kazık elemanları ise 3. katmandır. Bu katmanlar belirlendikten sonra kullanılan

ürünlerin kimyasal ve biyolojik bilgilerinin olması gerekmektedir. Örneğin, küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon miktarı gibi bilgiler ürünün pasaportunda olması gerekir (Göswein ve diğ.,2022).

Bu gerekliliklere benzer olarak yapıların yenilenmesi için YBM ortamında yürütülen, yapı malzemelerinin yenilenmesini, yeniden kullanımını ve geri dönüşümü için yenileme stratejilerini ortaya koyan bir yöntem çerçevesi hazırlayan Fernandes ve diğ. (2022) döngüsel ekonomi kapsamında küresel ısınma etkilerini ve yapı stokunun neden olduğu karbon salınımını azaltmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda ele aldığı mevcut binanın yenilenmesi aşamasında, YBM temelli döngüsellik analizi için YBM nesnelerin LOD200 seviyesinde modellendiği ve Classification System Database (Uniclass 2015) sınıflandırma sistemini kullanmıştır (Fernandes ve diğ., 2022) (Çizelge 3.1).

3.3.2. Malzeme pasaportlarına dair bilgilerin dijital modele işlenmesi

Honic ve diğ. (2024) de yapı malzemeleri ve yapı elemanlarına dair bilgi ve belge eksikliği ve bu nedenle takiplerinin zor olmasını yapı endüstrisinde döngüsel ekonomiye geçişin en büyük engellerinden olarak belirtmektedir. Döngüsel yapı tasarımını hedefleyen projelerde malzeme pasaportu olan malzemeler seçileceği için pasaportlardan alınan bilgiler model üzerinde yapı malzemelerine işlenecektir. Böylece yapı malzemelerine dair bilgiler dijital arşivde kayıt altına alınacaktır. Bu doğrultuda bu verilerin modele nasıl işlenmesi gerektiği YBM-UP'te detaylı olarak tanımlanması gerekmektedir.

Honic ve diğ. (2019b) tarafından BAMB kapsamında BIMaterial: Process projesi kapsamında YBM tabanlı Malzeme Pasaportuna dayalı optimizasyon çalışması ile yapılarda kullanılan kaynakların ve malzemelerin dokümantasyonunun ve optimizasyonun yapılması ve yapı malzemelerinin geri dönüşüm potansiyelini ve çevreye olan etkilerini hesaplamak ve değerlendirme amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.1: Döngüsellik Değerlendirmesi için ürün bilgi formu, Fernandes ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.

Makro Seviye Hedefleri	Parametre/İndeks	Parametre/İndeks-1.Katman	Parametre/İndeks-2.Katman	
Kullanılan Enerji Performansı	Enerji ihtiyacı değerlendirilmesi Enerji performans değerlendirilmesi sonuçları	Isıtma için - Yakıt veya kullanılan enerji		
		Toplam enerjinin düzenlenmesi		
		Toplam		
Yaşam Döngüsü Küresel Isınma Potansiyeli	Küresel Isınma Potansiyeli	Fosil Yakıt (Petrol, kömür vb)		
		Biyolojik		
		Arazi Kullanımı ve Değişimi		
		Gömülü Enerji*		
	Malzemelerin Yeniden Kullanımı			
	Yıkım Sonucu Çıkan Malzemelerin Geri Dönüşümü			
	Malzeme Dönüşümü			
	Enerji Dönüşümü			
	Etkisiz Malzemeler			
	Zararlı Malzemeler			
	Zararsız Malzemeler			
	Önceden işlem görmemiş malzeme miktarı	Geri dönüştürülmüş malzeme		
		Tekrardan kullanılan malzeme		
		Biyolojik malzeme		
Yapımda ve Yıkımda Atık ve Malzemeler	Yeniden kullanılamayacak malzeme miktarı		Geri dönüşüm streci için toplanan ürün kütle oranı (kütle kesiri)	
		Doğrusal ekonomi sistemine dayalı atıklar	Tekrardan kullanılacak ürün kütle oranı	
			Enerji kazanımı için değerlendirilecek olan ürün kütle oranı	
		Geri dönüşüm sürecinde ham madde olarak kullanılan geri dönüştürülmüş içeriğin üretilmesi sonucunda oluşan atık	Geri dönüştürülmüş ham madde işleminden elde edilen verimlilik Geri dönüştürülmüş kaynaklardan elde edilen ham maddenin kütle oranı	
	Ürün Kullanılabilirliği	Geri dönüşüm streci sonucunda oluşan atık	Süreçte kullanılan geri dönüşüm için toplanan ürün oranının verimliliği Geri dönüşüm için toplanan ürün miktarının kütle oranı	
		Kullanım süresi/ Ürün ömrü		
		Benzer ürünlerin ortalama kullanım süresi		
		Kullanım yoğunluğu		
	Birleşim Tipi	Benzer ürünlerin kullanım yoğunluğu		
		Kuru birleşim		
		Yardımcı elemanların kullanıldığı birleşim detayı		
		Ayrılmaz detaya sahip birleşim		
	Yıkım, Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm için Tasarım	Birleşim Esnekliği	Hafif kimyasal ürün kullanılan birleşim detayları	
			Hafif kimyasal ürün kullanılan birleşim detayları	
Tamamen esnek				
Ek uygulama sonucu zarar göremeyen birleşimler				
Crossing - Birleşim		Ek uygulama sonucu onarılabir hasarlar olan birleşimler		
		Esnek olmayan ve onarımı mümkün olmayan birleşimler		
		Modüler yapıya sahip birleşimler		
		Aralarında bağlantı olan birleşimler		
Crossing - Birleşim		Tamamen entegre olmuş birleşimler		

Honic ve diğ. (2019c) yapmış oldukları YBM tabanlı Malzeme Pasaportu çalışmasında kullandıkları parametreleri; yapı, yapı elemanı ve malzemenin kütlesi veya yoğunluğu, kullanım ömrü, çevresel etki değerleri (GWP- küresel ısınma potansiyeli, AP- Asidifikasyon değeri ve PEI-Birincil enerji yoğunluğu), malzemelerin birleşim özellikleri (yapışkanlı birleşim vb.), geri dönüşebilirlik değeri şeklinde

listelemişlerdir. Çevresel etki değerlerini ve geri dönüşebilirlik değerini (1’den 5’e puanlama ile) Avusturya Yapı Enstitüsünün bir platformu olan Eco2soft aracından ve Yapı ve Ekoloji Enstitüsünden temin etmişlerdir (Honic ve diğ. 2019a, 2019c). Geri dönüşebilirlik değerinin 1 olması malzemenin yüzde 75’i geri dönüşebilir yüzde 25’i ise atık demek iken 5 olması ise yüzde 0 oranında geri dönüşebilir yüzde 125 oranında da atık oluşturur anlamına gelmektedir (Honic ve diğ. 2019a).

Söz konusu çalışmada YBM modeli ile BuildingOne aracı kullanılarak elde edilen malzeme pasaportu çalışması 4 alt katmanda incelenmiştir (Honic ve diğ.,2019b);

- MPa: tasarım öncesi aşamasında malzeme seçimini esnasında testlerin yapılması için gereken bilgileri içeren malzeme pasaportlarıdır.
- MPb: tasarım aşamasında malzeme seçiminde dögüsel tasarım optimizasyonu için testlerin yapılmasını sağlayan bilgileri içeren malzeme pasaportlarıdır.
- MPC: İhale aşamasında malzemelerin birleşenlerinin değerlendirdiği testler için gerekli bilgileri içeren malzeme pasaportlarıdır.
- MPd: Yapıda kullanılan malzemelerin malzeme pasaportlarına dair bilgileri içeren, işletme aşamasında kullanılacak malzeme pasaportlarını içeren ve yapının malzeme envanteri olan malzeme pasaportlarıdır.

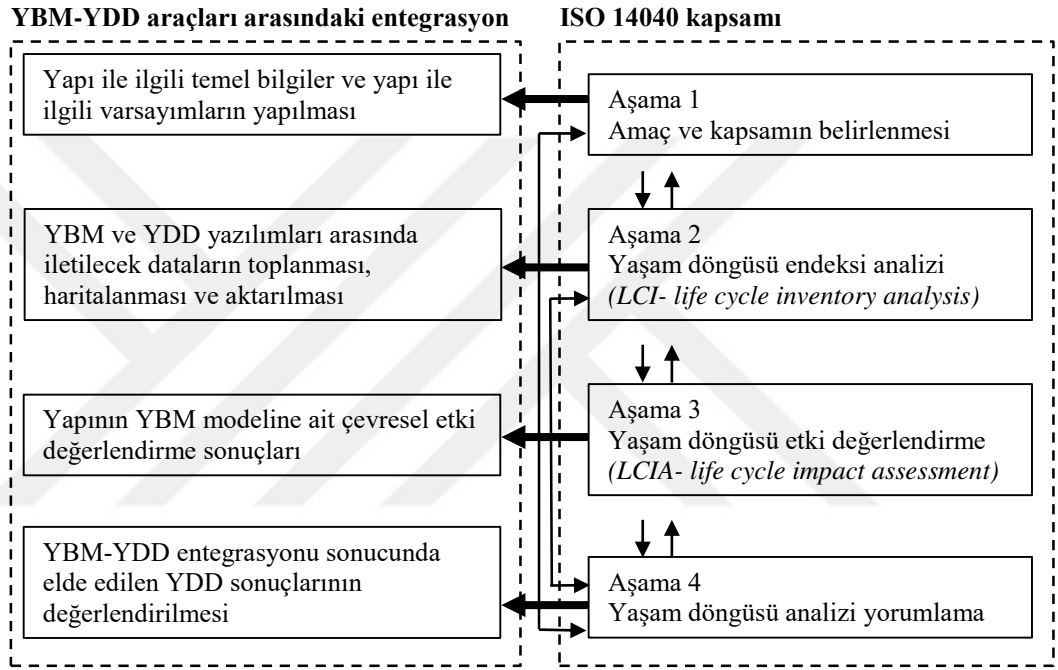
Karar destek aracı amacı ile kullanılan MPa’da yapı elemanları ölçeğinde malzeme seçim kararına katkı sağlayan test yapılır ardından MPb’de ise malzeme katmanlaşması ve boyut bilgileri ile seçilen malzemede optimizasyon sağlanır (Honic ve diğ., 2019b).

3.3.3. Yaşam döngüsü değerlendirmesi

Mimarlık, mühendislik ve yapı sektörünü çevresel etki, kullanılan kaynaklar, sürdürülebilirlik ve dögüsel ekonomi ile entegrasyonunda YBM ile ele alınan konulardan bir diğeri ise Yaşam Döngüsü Değerlendirme (Life Cycle Assessment – LCA) yöntemidir. Öncelikle olarak Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) yapının inşaat, bakım, onarım ve yıkım süreçleri boyunca çevreye olan etkisini hesaplayan ve değerlendiren yöntemdir (Röck ve diğ., 2018).

Kaynak kullanımının ve sürdürülebilirlik kavramının önem kazandığı dönemde literatürde bir çok çalışma tarafından değerlendirilen YDD yapısal çevrenin çevreye olan etkisini ve enerji tüketimini hesaplayan bir yöntemdir (Soust-Verdaguer ve diğ., 2017). Yapının “beşikten mezara” olan sürecini değerlendiren (Asdrubali ve diğ., 2013) diğeri bir deyiş ile hammadde temininden, üretime, inşasına, kullanımına, yeniden kullanım ve geri kazanımına ve yıkımına kadar yaşanan döngüsü boyunca

çevresel etkilerini ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (Aydın ve Erbil, 2023). 2006 senesinde yayımlanan ISO 14040 standartına göre YDD yönetmi 4 aşamada gerçekleşir; amaç ve kapsamın belirlenmesi, yaşam döngüsü endeksi, yaşam döngüsü etki değerlendirme ve yorumlama (Soust-Verdaguer ve diğ., 2017). ISO 14010 standardı özel olarak inşaat sektörünü hedeflemese de çoğu yapı çevrede YBM – YDD entegrasyonu çalışması bu standardın çerçevesinde geliştirilmiştir (Tam ve diğ., 2022). Şekil 3.8’de ISO 14040 çerçevesinde YBM ve YDD entegrasyonu gösterilmektedir.

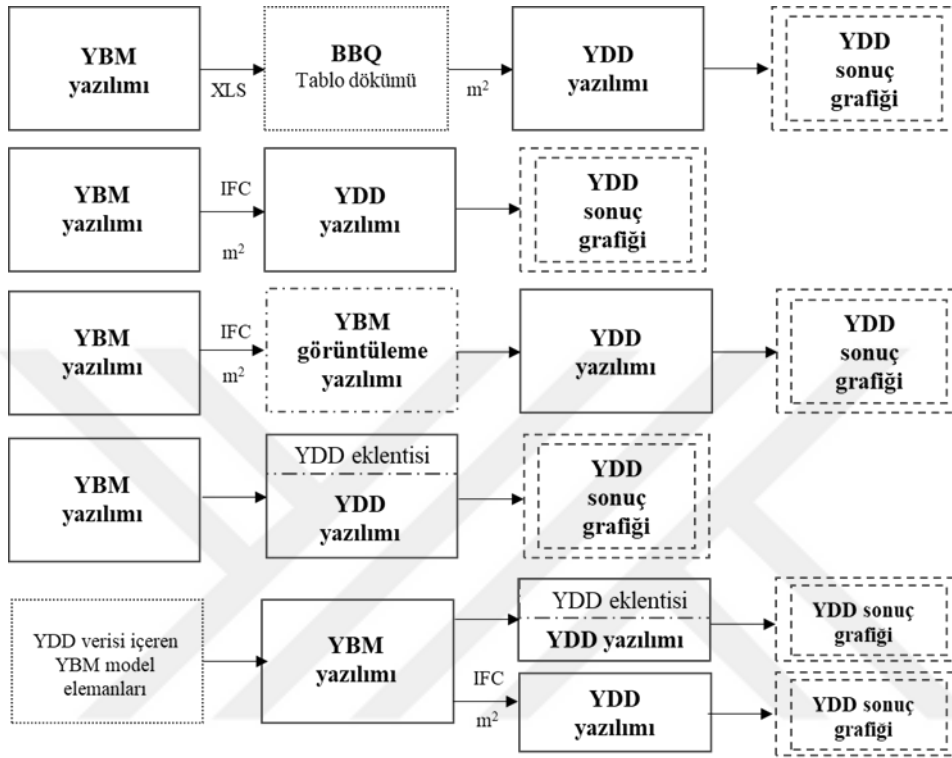


Şekil 3.7: YBM - YDD entegrasyonunun ISO 14040 standardına göre aşamaları, Tam ve diğ. (2022)'den uyarlanmıştır.

Wastiels ve Decuypere (2019) YBM ve YDD entegrasyonu 5 farklı yöntemle olabileceğini listelemiştir (Şekil 3.9).

- Birinci yöntem YBM ortamından metraj bilgilerini içerir metraj listesine benzer bir liste olarak tanımlayabileceğimiz (bill of quantity-BOQ) formatı ile tablo formatında çıkartılıp YDD yazılımına aktarılmasıdır. Gerekli bilgiler modelden BOQ şeklinde belirtilen tablo dökümü olarak alınır.
- İkinci yöntem olarak verilen YBM üzerinden metraj bilgilerini içeren veri industry foundation class (IFC) formatı ile alınarak LCA yazılımına aktarılmasıdır.
- Üçüncü yöntem verilerin YBM modeli üzerinden aracı bir YBM görüntüleyici/okuyucu ortamına alınarak detaylı işlenmesinin ardından farklı bir YDD yazılımına aktarılmasıdır.

- Dördüncü tip YBM yazılımına YDD eklentisi (plug-in) yüklenmesi ile YDD analizinin YBM ortamından tamamlanmasıdır.
- Beşinci yöntem ise YDD verisi elemanlar ile oluşturulan YBM modelinin ya IFC formatında YDD yazılımına aktarılması ya da YDD eklentisi ile YBM ortamında YDD analizinin tamamlanmasıdır (Wastiels ve Decuypere, 2019).



Şekil 3.8: YBM – YDD entegrasyonu, Wastiels ve Decuypere (2019)

‘dan uyarlanmıştır.

YBM modelinden YDD analizine aktarılabacak veriler yapı malzemelerinin ve yapı elemanlarının fiziksel çevre açısından özelliklerini ve kullanım ömrü senaryolarıyla ilgili olan bilgileri içermelidir (Soust-Verdaguer ve diğ., 2017). Aydın ve Erbil (2023) tarafından yapılan sistematik literatür taraması sonucunda YBM ve YDD araçları arasında kusursuz ve tamamen uyumlu bir bilgi alışverişi sağlanamadığı sonucu elde edilmiştir. YBM modellerinin LOD seviyesinin yapılan YDD analizi ile doğrudan ilişkilidir (Safari ve AzariJafari, 2021). Fakat literatürde YDD analizine yönelik LOD seviyelerini tanımlayan bir standart boşluğu bulunmaktadır (Aydın ve Erbil, 2023). Soust-Verdaguer ve diğ. (2017) ise bu entegrasyonda kullanılacak YBM modelinin malzeme, birleşim detaylarının ve ebat bilgilerinin (örneğin duvar kalınlığı), yapısal elemanların doğru konumda ve hesaplanan ölçülerde ve boyutlarda olması gerektiğini açıklayarak, tasarımın erken aşamalarında çevresel etki için doğru

bir sonuç alınması için en uygun LOD seviyesinin LOD300 olduğunu belirtmiştir. LOD seviyeleri ile ilgili olarak Safari ve AzariJafari (2021) ön tasarım aşamasında kullanılacak olan LOD seviyesi (örn. LOD 300) elde edilecek sonucun doğruluğu yapım/imalat sürecinde karar verme aşamasına olan etkisi açısından önemlidir.

Soust-Verdaguer ve diğ. (2017) yaptığı literatür taraması çalışması sonucunda YBM-YDD entegrasyonu ile yapılan uygulamaların ön tasarım aşamasında CO2 emisyonu hesaplama konusunda odaklanıldığını ortaya koymaktadır. YBM ve YDD entegrasyonun belirli kısıtları olduğunu ortaya koyan Soust-Verdaguer (2017) bu nedenle ile ön tasarım aşamasında malzeme seçme aşamasın için kullanabilir olduğunu savunmaktadır. Yapılan YDD analizi yapının geometrisinden seçilen malzemeye kadar alınan tüm kararların çevresel etki açısından öneminin anlaşılması açısından oldukça önemlidir (Röck ve diğ. 2018).



4. YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMA PLANININ DÖNGÜSEL YAPI TASARIMI AÇISINDAN ELE ALINMASI

Tez kapsamında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı çalışmalarında kullanılması hedeflenen YBM Teknik Şartnamesi – YBM Uygulama Planı (YBM-UP) yapılı çevrede döngüsellik çerçevesinde ele alınacaktır. Bu doküman döngüsel yapı tasarımı YBM kullanımının nasıl olması gerektiği konusunda bu entegrasyonda yol gösterici olacaktır.

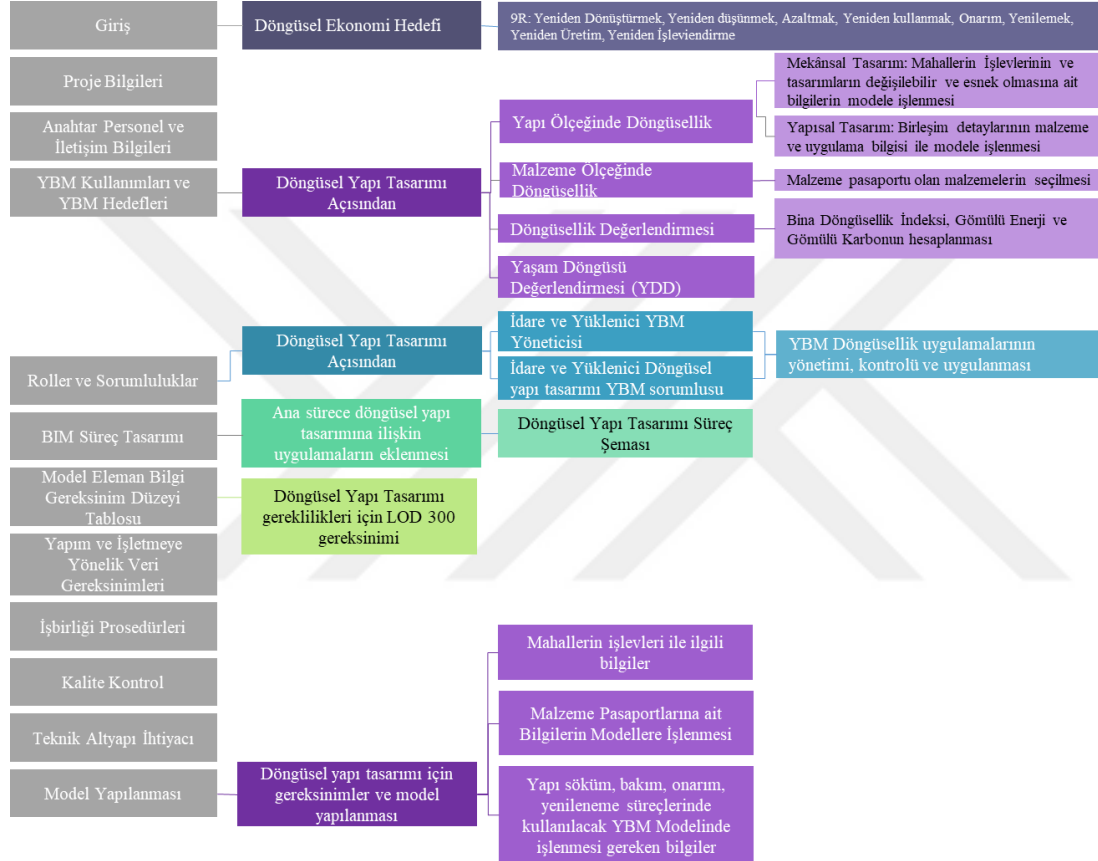
Ülkemizde raylı sistem projelerinde yaklaşık on senedir YBM kullanımı zorunlu olmasından dolayı YBM kullanımı yerleşmiş diye nitelendirebileceğimiz bir alandır. Bu nedenle raylı sistem projeleri örneği ile YBM kullanımı ve YBM-UP açısından ele alınacaktır.

İBB Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü tarafından 13 Şubat 2024 tarihinde “YBM Teknik Şartnamesi” tanıtım toplantısı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bu tanıtım toplantısında YBM Teknik Şartnamesi oluşturmadaki amaçlar;

- Mevcut şartnamenin tasarım odaklı olmasından dolayı yapım ve işletme süreçleri özelinde de ele alınmasının gerekliliği
- Daire Başkanlığı işleri arasındaki koordinasyonun sağlanması: İşin tasarımdan yapıma geçişinde tek dilde kalması, YBM kapsamının değişmemesi
- Tasarım, yapım ve işletme olarak 3 ana fazın paydaşlarının görevlerinin belirlenmesi
- YBM teknik şartnamesi ile ihale eki olan teknik şartnamenin ve diğer dokümanların arasında koordinasyonun sağlanması
- İhale dosyası eki olarak iş kapsamında olacak isteklerin net bir şekilde iletilmesi
- Uluslararası doküman ve standartlar ile uyumun yakalanması

şeklinde belirtilmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda İ.B.B. Raylı Sistemler Dairesi Başkanlığı’na düzenlenen YBM Teknik Şartnamesi tanıtım toplantısında; öncelikle ihale hazırlık aşamasında, tasarım ve yapım aşamasına yönelik 3 boyutlu koordinasyonun gereksinimleri belirlendiği, tasarımcılardan bağımsız bütün projelerde koordinasyonun aynı şekilde uygulanması için standartizasyonlar yapıldığı belirtilmiştir. Federe modellerin gereksinimleri belirlenerek federe model gereksinimleri ortaya konmuştur. Federe model tüm disiplinlere ait modellerin bir

modelde birleştirilmesi sonucunda oluşan model anlamına gelmektedir. Ayrıca mevcut durum modellemesinde olması gerekenler tanımlanmıştır; çevresinde bulunan yapılar, entegre istasyonlar, önemli yaya sirkülasyonlar alanları. Tasarım dokümanları oluşturulması ile ilgili olarak bütün projelerde aynı şekilde uygulanması hedefiyle modelden üretilcek ve üretilmeyecek paftalar için gereksinimler belirlenerek pafta ihtiyaç listesi düzenlenmiştir. Son olarak ise model tabanlı metraj listelerinin oluşturulması için gereksinimler belirlenmiştir.



Şekil 4.1: Mevcut YBM içeriği ve döngüsel yapı tasarımı açısından YBM-UP'ına eklenenler

YBM-UP Şablonu İdare tarafından işin yüklenicisine ihale eki dokümanlarından YBM Teknik Şartnamesi eki olarak verilen bir dokümandır. İBB Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı her projde YBM kullanımlarının standardize edilmesi adına YBM Teknik Şartnamesini yayınlamıştır. Yükleniciden YBM Şartnamesi eki YBM-UP şablonunda yazan YBM Kullanımlarına uyması ve şablonu projeye uygun bir şekilde doldurması beklenir.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında İ.B.B. Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü'nün projelendirme işleri kapsamında kullanılmak üzere tasarım aşaması YBM-UP dokümanı döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınacaktır. Mevcut YBM-UP geliştirilerek döngüsel yapı tasarımına uygun kriterler ve uygulamalar eklenerek yenir bir YBM-UP ortaya konacaktır (Şekil 4.1). Tezin 4.1 Bölümünde Tasarım Aşaması YBM-UP Planı Şablonunda uygulama planında olması gereken tüm bölümler verilerek, 4.2. Tasarım Aşaması Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı Değerlendirmesi bölümünde döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınan konular özetlenerek değerlendirilecektir.

4.1. Tasarım Aşaması Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı Şablonu

YBM-UP [PROJE ADI] projesi kapsamında İdarenin YBM kullanım hedefleri doğrultusunda ve döngüsel yapı tasarımı kriterleri göz önünde bulundurularak YBM süreçlerinin doğru bir şekilde uygulanması ile ilgili bilgiler içeren dokümandır. İdarenin ihale eki dokümanlarından olan YBM Teknik Şartnamesine uyumlu olarak hazırlanması gereken bu doküman [PROJE ADI] kapsamında Yüklenici tarafından bu şablona uyumlu olacak şekilde hazırlanmalıdır. YBM-UP dokümanı İdareye “...” iş günü içinde sunulmalıdır. Bu doküman proje boyunca güncellenebilir, projenin YBM kullanımı ihtiyaçlarına göre revize edilmesi gereken bir dokümandır.

4.1.1. Giriş

Bu doküman yapıyı çevrede döngüsel ekonomi kriterlerine uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Döngüsel ekonomi kullanılan doğal kaynak miktarının, çıkan zararlı gaz emisyonunun, enerji kullanımın ve oluşacak olan atık miktarının kontrol altına alınarak azaltılmasını sağlayan malzeme akışını kapalı bir döngü içinde olmasını hedefleyen onarımı ve yenilemeyi amaçlayan ekonomi modelidir.

Döngüsel ekonominin mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründeki karşılığı olan döngüsel yapı tasarımı; işlevi ve kullanımı senaryosu olarak esneyebilir bir tasarıma sahip, kullanılan yapı elemanları arasında birbirlerine bağımlı bir birleşim detayı olmayan, kullanılan malzemeler ise yenilenebilir özelliklere sahip, yapı sökülü sırasında çıkan malzemelerin yeniden nasıl değerlendirilebileceği belli ve yapımı veya sökülü sırasında çıkacak atık miktarı belirlenmiş olan yapı olarak tanımlanır. Döngüsel yapı tasarımının dijital teknolojiler ile entegrasyonunu YBM aracılığı ile

yapan bu doküman [PROJE ADI] kapsamında yürütülecek YBM çalışmalarına yönelik hazırlanmış olan YBM Uygulama Planı (YBM-UP)'dır.

Bu bölümde projenin döngüsel ekonomi hedefleri belirtilmesi gerekmektedir. [PROJE ADI] kapsamında hedeflenen döngüsellik tipleri (bkz. Şekil 3.3.) belirtilmelidir.

Bu alanda projenin kapsamı (istasyon, hat tünelleri, depo yapıları vb. özellikleri, işin kapsamı) tanımlanacaktır.

Ayrıca bu bölümde [PROJE ADI] kapsamında YBM ile ilgili standartlar ve varsa diğer kaynaklar listelenmelidir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1: Proje Kapsamında YBM ile ilgili kullanılacak olan standart ve referans kaynaklar.

Standart / Referans Kaynak	Açıklama
TS EN ISO 19650-1	“Yapı bilgi modellemesi (YBM) de dâhil olmak üzere, bina ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapılar hakkındaki bilgilerin düzenlenmesi ve sayısallaştırılması - Yapı bilgi modellemesi kullanılarak bilgi yönetimi - Bölüm 1: Kavramlar ve prensipler”
TS EN ISO 19650-2	“Yapı bilgi modellemesi (YBM) de dâhil olmak üzere, bina ve inşaat mühendisliği alanına giren diğer yapılar hakkındaki bilgilerin düzenlenmesi ve sayısallaştırılması - Yapı bilgi modellemesi kullanılarak bilgi yönetimi - Bölüm 2: Varlıkların teslim safhası”
Pensilvanya Eyalet Üniversitesi YBM-UP Prosedürleri – Versiyon 2.2.	YBM-UP dokümanı gerekliliklerini gösteren bir rehberdir.
...	

4.1.2. Proje bilgileri

Projeye ait bilgiler bu bölümde verilecektir. Bilgiler

- İdare
- Danışman/Müşavir
- Yüklenici
- Projenin Adı
- Proje Tanımı şeklinde listelenir.

İdare tarafından onaylanmış iş programı doğrultusunda projeye ait proje aşamaları, tahmini başlangıç tarihleri ve bitiş tarihleri Çizelge 4.2’de olduğu gibi listelenecektir.

Güncel iş programlarına göre başlangıç ve bitiş tarihleri düzenlenmelidir.

Çizelge 4.2 Projeye aşamalarına ve kilometre taşlarına ait başlangıç ve bitiş tarihleri.

Proje Aşamaları / Kilometre Taşları	Tahmini Başlama Tarihi	Tahmini Bitiş Tarihi
...	...	...
...	...	

Proje kapsamında görev alacak anahtar personel listesi ve iletişim bilgileri burada listelenecektir.

4.1.3. YBM hedefleri ve YBM kullanımları

Proje süresince YBM 3 boyutlu gösterim ve modellemenin yanı sıra bilgi ve verinin doğru kullanılması ve iletilmesini sağlayan bir araç olarak kullanılacaktır. Projeye ait teknik şartname ve YBM teknik şartnamesi doğrultusunda proje sürecindeki YBM Kullanımları Çizelge 4.3’te olduğu şekildedir.

Döngüsel yapı tasarımına uygun olan bu YBM-UP dokümanında YBM’nin yapılı çevrede döngüsellğe katkıları da ele alınacaktır.

Projeye özel YBM kullanım ve hedeflerinin bulunması durumunda söz konusu hedef ve kullanımlar bu bölümde belirtilecektir.

4.1.3.1. Döngüsel yapı tasarımı doğrultusunda YBM hedefleri

Bu hedeflerden 6.1.4 bölümünde de anlatılacak olan YBM Yöneticileri ve Döngüsel yapı tasarımı YBM sorumluları görev almalıdır.

Döngüsel yapı tasarımına yönelik Yaşam Döngüsü Değerlendirme analizi

Yaşam Döngüsü Değerlendirme(YDD) Analizi; YBM entegrasyonu ile modele uygulanabilen, yapının projelendirme, inşaat, işletme, bakım ve onarım süreçlerini kapsayarak yapının yaşam döngüsünü çevresel etkiler ve kullanım ömrü senaryoları ile ele alan bir analiz yöntemidir. YDD analizi ISO 14040 doğrultusunda

gerçekleştirilmelidir. YDD ve YBM entegrasyonunda Wastiels ve Decuypere’nin (2019) ortaya koyduğu yöntemin adımları izlenecektir (Şekil 3.9);

1- YBM modelinden metraj bilgileri excel formatından alınacaktır.

2- Alan (m2) bilgilerini içerir BBQ formatında tabloya dönüştürülecektir.

3- Bilgileri içeren tablo YDD analizi yapan yazılıma aktarılacaktır.

4- YDD sonuç grafikleri elde edilecektir.

Çizelge 4.3: YBM Hedef ve YBM Kullanımları.

YBM Hedefleri	Potansiyel YBM Kullanımları
Proje paydaşları ve disiplinler arası iletişim ve iş birliğinin artması	Tasarımın oluşturulması 3 Boyutlu koordinasyon Mevcut durum modellemesi Tasarım dokümanlarının oluşturulması Metraj listelerinin oluşturulması / Maliyet tahmini
Tüm disiplin modellerinin birleştirilmesi ile oluşturulan koordinasyon modeli kullanılarak disiplinler arası koordinasyonun sağlanması, Disiplinler arası koordinasyonun sağlanmasıyla gelecekte oluşabilecek sorunların tespiti, revizyon ihtiyaçlarının minimize edilmesi ile zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması,	3 Boyutlu koordinasyon
Tasarıma yönelik bilgi modellerinin oluşturulması ile uygulama aşamasında kalitenin artırılmasının sağlanması	Tasarımın oluşturulması
Yapının çevre yapılar (mevcut raylı sistem/ulaşım yapıları, mevcut binalar, mevcut altyapı hatları vb.) ile etkileşiminin incelenerek, gerekli tasarım ve önlemlerin erken projelendirilmesi,	Mevcut durum modellemesi
Döngüsel yapı tasarımına yönelik Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD) Analizi	YBM ve YDD Analizi entegrasyonu
Döngüsel yapı tasarımına yönelik “Döngüsellik Değerlendirilmesi” yapılması – YBM 8. Boyutu	Bina Döngüsellik İndeksi’nin hesaplanması
Ortak veri kullanımı	Veri, belge ve iletişim yönetimin belirlenmesi
Proje döngüsü boyunca bilgi modellerinden gerekli kısımlarda elde edilebilen adet / maliyet metraj verileri ile tasarım alternatiflerinin veya değişikliklerin maliyete etkisinin doğru ve hızlı bir şekilde tayin edilebilmesi,	Metraj Listelerinin Oluşturulması / Maliyet Tahmini
İhale eki dokümanlar içerisinde teslim edilecek bilgi modellerinin sonraki aşamalarda gerçekleştirilecek kullanımlara uygun olması.	Tasarımın oluşturulması.

Döngüsellik değerlendirilmesi

Tasarım sürecinde kullanılacak olan bu modelde döngüsel yapı tasarımı açısından doğru yapı elemanlarının ve malzemelerin seçilmesi oldukça önemlidir. Örneğin,

yeniden kazanım ile yeniden kullanılan yapı malzemeleri veya dönüşebilirlik potansiyeli yüksek olan malzemelerin tercihi döngüsellik hedefleri arasında yer almaktadır. Döngüsellik değerlendirilmesi literatürde YBM'nin 8. Boyutu olarak nitelendirilmektedir. Bu kapsamda Göswein ve diğ.'nin (2022) yöntemi olan YBM'e CirBIM plug-in eklentisi ile "Döngüsellik Değerlendirmesi" bu proje kapsamında ele alınacaktır.

Öncelikle, YBM modelinde yapı elemanlar Uniclass sınıflandırma sistemine uygun olmalıdır. YBM modelinden analiz için yapı elemanlarına ait sınıf bilgileri (döşeme ise döşeme sınıfında, kapı ise kapı vb.), alan ve hacim bilgileri ve birleşenlerine ait bilgiler alınmalıdır. Ardından hazırlanacak olan veri setinde; yapı malzemelerinin listesi ve yapı elemanlarının hiyerarşik olarak sınıflandırılması olmalıdır. Ayrıca bu veri setinde malzemeye ait üretimi sırasında kullanılan ham madde miktarı, üretimi esnasında oluşan atık miktarı ve malzemenin yeniden kullanılabilir atık miktarı, kullanım ömrü süresine bilgilerini içermelidir. CirBIM uygulamasında YBM modelinden alınan bilgiler ve dışarıda hazırlanan veri setindeki bilgiler birleştirilir. Sonuç olarak Malzeme Döngüsellik İndeksini temel alan döngüsellik değerlendirmesi ile Bina Döngüsellik İndeksi, gömülü enerji ve gömülü karbon hesaplanır.

[Proje Adı] kapsamında YBM'de sağlaması yapılarak Bina Döngüsellik İndeksi "...." oranında olmalıdır.

4.1.3.2. YBM kullanımları

Tasarım aşaması YBM kullanımları; tasarımın oluşturulması, 3 boyutlu koordinasyon, mevcut durum modellenmesi, tasarım dokümanlarının oluşturulması, metraj listelerinin oluşturulması ve maliyet tahmini ve döngüsel yapı tasarımına uygun uygulamalardır.

Tasarımın oluşturulması

Her disiplin (mimari, yapısal, elektrik, mekanik, altyapı, güzergah vb.) proje tasarım sürecinde YBM tabanlı yazılımlar kullanarak parametrik model üzerinden tasarımı gerçekleştirerek 3 boyutlu bilgi modeli elde etme sürecidir. Raylı sistem yapıları (istasyon yapıları, durak yapıları, depo sahası yapıları, istasyon üstü alanlarda yapılacak olan yapılar) ve proje süresince raylı sistem güzergahı üstünde yer alması gereken diğer yapılar (yol, viyadük, altgeçit vb) YBM tabanlı yazılımda tasarlanması ve modellenmesi gerekmektedir.

3 boyutlu koordinasyon

YBM kullanımının en önemli katkılarından olan disiplinler arası koordinasyondur. Bu doğrultuda farklı disiplinlerin bir araya getirildiği koordinasyon modeli üzerinden sayısal ve görsel çakışma testleri uygulanarak, sorunlar tespit edilerek gerekli koordinasyon sağlanacaktır. Yüklenicinin “Çakışma Matrisi” sunması gerekmektedir. Çakışma Matrisi dokümanında testlerde yapılacak olan seçim setleri, toleranslar, çakışmaya alınmayacak disiplin veya model tarifi, kabuller gibi gerekli detaylar tariflenmelidir.

Tasarım dokümanlarının oluşturulması

Projelere ait paftaların, proje görsellerinin (render) 3 boyutlu bilgi modeli üzerinden oluşturulması sürecidir. YBM modeli üzerinden oluşturulmayıp, 2 boyutlu tasarım yani CAD üzerinden oluşturulacak paftalar YBM Teknik Şartnamesi eki Pafta İhtiyaç Listesi’nde belirtilmiştir.

Metraj listelerinin oluşturulması ve maliyet tahmini

İdare tarafından talep edilen kırılımlarda model üzerinden Material Takeoff ve Quantity Takeoff olarak metraj listelerinin alınmasıdır. İhale eki birim fiyat tariflerine uygun hazırlanmalıdır. Her bir poz için adet, alan, hacim, metretül vb. gerekli bilgiler metraj listelerine modelden alınarak işlenmelidir. Metraj bilgileri yaşam döngüsü değerlendirilmesi ve döngüsellik değerlendirilmesi aşamalarında (bkz. 4.1.6.1 Döngüsel yapı tasarımı doğrultusunda YBM hedefleri) da kullanılacaktır.

Mevcut durum modellenmesi

İdarenin talebi ve projenin gereksinimlerine uygun olarak çeşitli veri toplama yöntemleri ile (lazer tarama, fotogrametri, rölove vb.) ve YBM yazılımları kullanılarak güzergâh boyunca gerekli alanların mevcut durum modellenmesidir.

4.1.4. Roller ve sorumluluklar

[Proje Adı] kapsamında tüm paydaşlardaki YBM yöneticilerine ve YBM sorumlularına bu bölümde yer verilecektir.

4.1.4.1. İdare ve Danışman/Müşavir

İdare ve Müşavir tarafındaki YBM yönetim şeması elemanlarına bu bölümde yer verilecektir.

İdare ve Danışman/Müşavir YBM Yöneticisi

- YBM projesine yönelik hazırlık ve süreç yönetimi
- Ortak veri ortamı protokolüne ait kontrollerin yapılması
- YBM koordinasyon toplantılarının organize edilmesi
- Çakışma testlerinin düzenli yapılmasının kontrolü
- İş programına uygunluk kontrolü
- Projenin YBM açısından kalite kontrolü
- YBM Teknik Şartnamesine uygunluk kontrolü
- Döngüsel yapı tasarımı açısından yapılacak olan testlerin kontrolü gereken Bina Döngüsellik İndeksine uygunluk kontrolü yönetimi
- Standartlara ve referans kaynaklara uygunluk kontrolü ve süreç yönetimi
- YBM-UP dokümanlarının geliştirilmesinin yönetimi ve güncellik takibi

İdare ve Danışman/Müşavir YBM Kontrol Mühendisleri

- Tasarım ve YBM süreçleri kontrolü
- Modellerin YBM teknik şartnamesine uygunluğu açısından kontrolü
- Akıllı eleman kütüphanesinin ve akıllı eleman parametrelerinin YBM teknik şartnamesine uygunluğunun denetimi
- Model dosya ve model elemanları isimlendirmesi kontrolü
- Model koordinasyonu ve çakışma testlerinin kontrolü
- Model metraj listelerinin kontrolü
- Döngüsel yapı tasarımı açısından yapılacak olan testlerin kontrolü

4.1.4.2. Tasarım yüklenicisi

[Proje Adı] kapsamında yükleniciye ait YBM yönetim şeması elemanlarına bu bölümde yer verilecektir.

Tasarım yüklenicisi YBM Yöneticisi

- Projeye yönelik YBM gerekliliklerin belirlenmesi, YBM standartlarının oluşturulması, güncellenmesi ve takip edilmesi
- YBM-UP'nın İdare tarafından verilen şablona göre hazırlanması ve proje süreci boyunca güncel tutulması
- Disiplinler arası YBM koordinasyonun sağlanması
- Döngüsel yapı tasarımı açısından gerekli testlerin yönetimi ve gerekli şartların sağlanması

- YBM koordinasyon toplantılarının düzenlenmesi
- Çakışma testlerinin yönetimi
- Modellerin YBM açısından kalite kontrolü
- Model eleman kütüphanesinin kontrolü ve yönetimi

Tasarım yüklenicisi YBM koordinasyon sorumlusu

- Disiplinlerin kendi içinde ve disiplinler arası koordinasyon süreçlerinin takip edilmesi
- İş birliğinin sağlanması
- Çakışma matrisinin oluşturulması
- Disiplinler arası çakışma testlerinin çakışma matrisine göre uygulanması ve gerekli görevlendirmelerin ilgili disipline atanması

Disiplinlere göre YBM uzmanları: Mimari Tasarım, Yapısal Tasarım, Mekanik

Tasarım, Elektrik ve Elektronik Tasarım, Altyapı Tasarımı YBM Uzmanı

- Disiplinine ait tasarım ve modellemenin yürütülmesi
- Disiplinine ait YBM modelinin yönetilmesi
- Disiplinine ait YBM model eleman kütüphanesinin oluşturulması
- Model ve elemanların isimlendirme ve kodlama sistemi standartlarına uygun yapılması ve takip edilmesi
- Disiplin için çakışmaların kontrol edilmesi ve gerekli düzeltmelerinin gerçekleşmesi
- Disiplinine ait yapı elemanlarının/malzemelerinin Model üzerinden metraj listelerinin oluşturulması

Döngüsel yapı tasarımı YBM sorumlusu

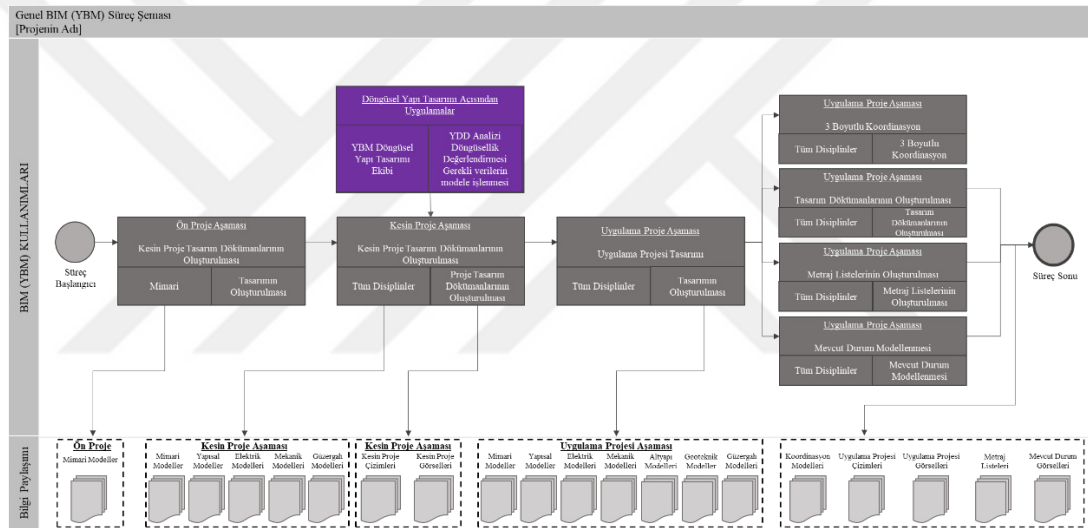
- Malzeme pasaportuna sahip malzemelerin seçilmesinin kontrolü
- Malzeme pasaportuna ilişkin bilgilerin modelde yapı elemanına/malzemesine işlenmesi (Örneğin, malzemenin geri dönüşümü sonucunda oluşacak atık miktarı, geri dönüşebilirlik potansiyeli vb.)
- Model malzeme isimlendirmesi kontrolünün yapılması
- Metraj tablolarının YDD testine yönelik kontrolü ve gerekli formata çevrilmesi
- YDD analizinin yapılması
- Döngüsellik değerlendirmesi için gerekli verisetlerinin hazırlanması ve döngüsellik değerlendirmesi yapılması
- Yapının sökümü veya yapı elemanlarının ayrılması durumunda kullanılması için söküm için gerekli bilgilerin modelde yapı elemanlarına işlenmesi.

4.1.5. YBM süreç tasarımı

YBM kullanımları ve YBM hedeflerine ilişkin süreçlerin arasındaki bağlantıları gösteren, her sürecin sorumlusu olan ekibin belirlendiği ve YBM sürecinde disiplinler arası bilgi aktarımının nasıl olacağını tarifleyen diyagramlardır. Proje kapsamında Genel YBM Süreç Akış Şeması ve Detaylı YBM Kullanımı Süreç Diyagramları hazırlanacaktır.

4.1.5.1. Genel YBM süreç şeması

4.1.6. bölümünde belirlenen YBM hedeflerinin karşılığı olan YBM kullanımlarının süreç içinde nasıl yürütüleceğini ve bu kullanımların birbirleri ile ilişkisinin nasıl olacağını gösteren diyagramdır.

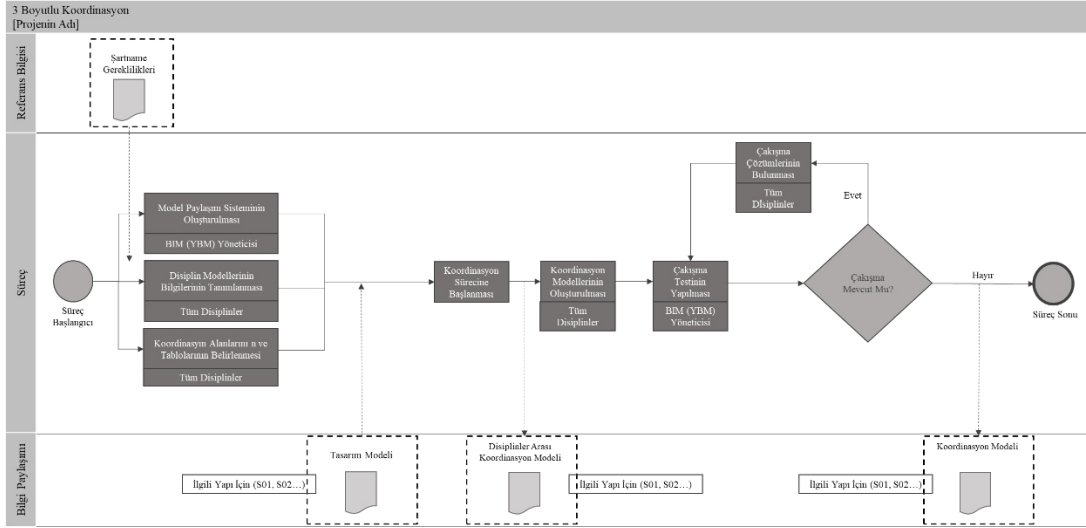


Şekil 4.2: Genel YBM süreç şeması.

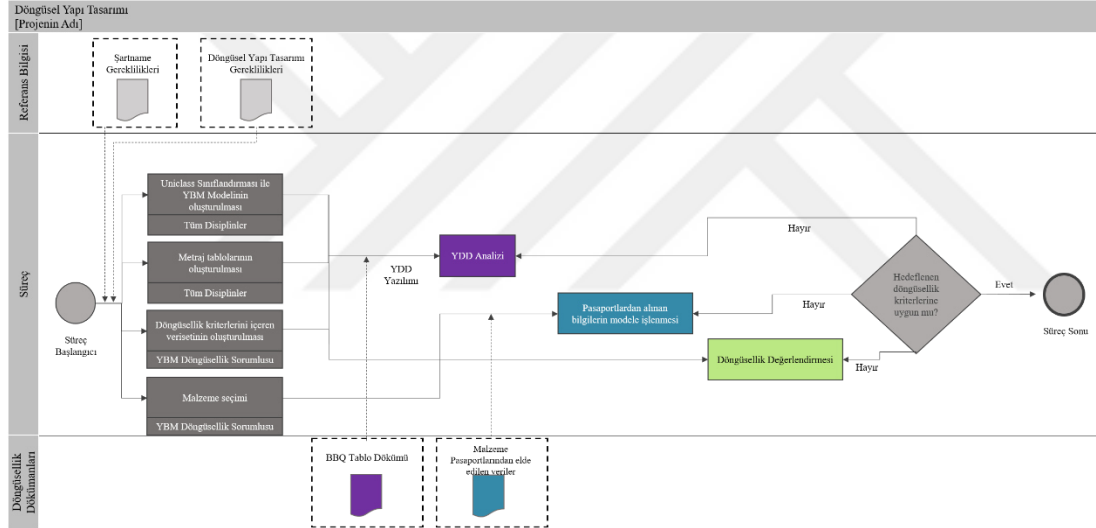
4.1.5.2. Detaylı YBM kullanımı süreç akış diyagramları

YBM kullanımları olan tasarımın oluşturulması, 3 boyutlu koordinasyon, tasarım dokümanlarının oluşturulması, mevcut durum modellenmesi, metraj listelerinin oluşturulması ve döngüsel yapı tasarımı doğrultusunda YBM uygulamalarına ait süreçlerin nasıl yürütüleceğini gösterir diyagramlar oluşturulacaktır.

Örnek olarak 3 boyutlu koordinasyon ve döngüsel yapı tasarımı açısından YBM süreç diyagramları verilmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3.)



Şekil 4.3: 3 boyutlu koordinasyon akış diyagramı, IBB Raylı Sistem Projeler Müdürlüğüne ait YBM-UP dokümanından uyarlanmıştır.



Şekil 4.4: Döngüsel yapı tasarımı süreç akış diyagramı

4.1.6. Model eleman bilgi gereksinimleri

Bu bölümde YBM Teknik Şartnamesi Ek: Model Eleman Bilgi Gereksinim Düzeyi Tablosu gereksinimlerine göre hazırlanacaktır. Aşağıda bu kapsama yönelik örnekler verilmiştir. Model gereksinim düzeylerinde değişikliklerin yapılması İdare onayına bağlıdır.

Örnekler:

- Gereksinimler proje süreçlerine göre ayrılmalıdır; ön proje, kesin proje ve uygulama projesi.

- Model elemanları projede bulunan yapılara göre (istasyon yapısı, durak yapısı, depo sahası yapıları veya hat yapıları) düzenlenmelidir. İstasyon modeli ön kesin, uygulama projelerine göre detaylandırılırken hat yapılarına ait model elemanlar kesin ve uygulama projelerinde detaylandırılmalıdır.
- Proje genelinde ön projede LOD 200, kesin projede ve uygulama projesinde LOD 300 kullanılacaktır.
 - LOD 200: Bu seviyede model elemanları modele lokasyon bilgileri ile işlenir. Modele temsil ettikleri elemanlar olarak tanımlanırlar. Bu elemanlardan türetilen bilgiler yaklaşık olarak dikkate alınmalıdır.
 - LOD 300: Model elemanları ölçü, ebat, boyut, şekil, konum ve not bilgilerinin kesin olarak tanımlandığı model seviyesidir. Proje koordinatları tanımlanır ve eleman doğru koordinata yerleştirilmelidir.
- Malzeme pasaportlarından alınan detaylı bilgilerin modele işlenmesi, YDD analizi ve döngüsellik değerlendirilmesi için modelin eleman detay seviyesi LOD 300 olması gerekmektedir. Özellikle döngüsel yapı tasarımının aşamalarından olan ayrılma, koparma veya sökme gibi süreçler için model elemanlarının tespit tipleri, varsa tespit elemanları modele işlenmelidir.

4.1.7. İş birliği prosedürleri

İdare, müşavir/danışman ve tasarım yüklenicisinin katılacağı haftalık koordinasyon toplantıları, disiplin tasarım toplantıları ve YBM koordinasyon toplantıları proje aşamalarına göre belirlenecektir.

4.1.8. Kalite kontrol

Yazılımlarla ilgili olarak yazılım olarak (versiyon, boyut, gereksiz elemanlar vb.), bağlantılı modeller, isimlendirme ve doküman kodlama, model yapılanması, standart ve referans kaynaklara uyma, döngüsel yapı tasarım kriterlerine uygun verilerin doğru işlenmesi ve çakışma kontrolleri olarak yapılacaktır.

4.1.9. Model yapılanması

4.1.9.1. Model dosya isimlendirmesi ve model elemanlarının isimlendirilmesi

Proje boyunca uyulması gereken Doküman Kodlama Kılavuzuna uyulacaktır.

4.1.9.2. Model yapısı

Proje kapsamında olan yapılar ve disiplinlere göre model yapıları oluşturulacaktır. Örneğin istasyon yapılarında her bir istasyon için her disiplinin modeli ayrı olacak çakışma testleri için birleştirilecektir. Hat yapılarında ise yapısal ve geoteknik modeller ilgili alana göre modellenecektir.

4.1.9.3. Model seviyelerinin isimlendirilmesi

YBM teknik şartnamesi ve proje gereksinimleri doğrultusunda proje kotları işlevine göre isimlendirilebilir. Örnek olarak;

- Ray üstü kotu: $\pm 0.00 = \dots$ (R.Ü.K.)
- Yapısal kot seviyesi: $\pm \dots$ Tanım (SSL)
- Mimari kot seviyesi: $\pm \dots$ Tanım (FFL)

4.1.9.4. Model görünümünün isimlendirilmesi ve model pafta isimlendirilmesi

YBM teknik şartnamesi ve proje gereksinimleri doğrultusunda görünüm tipi (kat planı, kesit, görünüş, 3 boyut vb), kot bilgisi ve açıklamasını içerecek şekilde olacaktır. Örneğin; +7.40 Bilet Holü Katı Döşeme Planı, 3B Peron Katı vb.

Paftalarda da YBM teknik şartnamesi ve proje ait doküman kodlama kılavuzu doğrultusunda isimlendirmeler yapılacaktır.

4.1.9.5. Model ölçü ve koordinat sistemleri

Proje kapsamındaki modellerde ölçü sistemi metrik birim sistemi, koordinat sistemi ise ITRF 96 Türkiye koordinat sistemi olacaktır.

Her proje yapısı özelinde (istasyon, durak veya depo sahası yapıları) model referans noktalarının nasıl belirlendiği bu bölümde tariflenmelidir.

4.1.9.6. Model malzeme isimlendirilmesi

YBM teknik şartnamesine göre yapı malzemelerinin isimlendirilmesi bu bölümde tariflenecektir.

Malzeme kodlaması “Proje kodu-Kategori Kodu-Açıklama” şeklinde ve proje kodu ve kategori kodu 3 karakterden oluşacak şekilde verilebilir. Örneğin; UKM-FFN-Marble-30*30 şeklindedir.

4.1.9.7. Döngüsel yapı tasarımı için gereksinimler ve model yapılanması

Tasarım öncesi aşamasından itibaren yapının yaşam döngüsü perspektifinde yapı elemanlarının ve yapı malzemeleri ile ilgili bilgilerin depolanması ve bir verisetinde yer alması gerek döngüsel yapı tasarımı kriterleri için gerekse kent bilgi madenciliği için oldukça önemlidir. Mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün kullandığı doğal kaynaklar ve ürettiği atık miktarı düşünüldüğünde bu bilgiler daha da değer

kazanmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek adına yapı malzemelerinin geri kazanımı, yeniden kullanımı, ileri/geri dönüşümü için veya başka sektörlerle ait atıkların yapı malzemeleri üretiminde kullanımı gibi stratejilerin belgelenmesi için metodolojik bir çerçeve sunulması gerekmektedir.

Mahallerin işlevleri ile ilgili bilgiler

Döngüsel yapı tasarımında esnek tasarım en önemli hedefler arasında gelmektedir. Yapının veya yapının bir kısmının işlev değişikliği gerektiğinde burada gerçekleşmesi gereken sökme takma gibi işlemler sonucunda atık çıkmaması gerekmektedir.

Raylı sistem hatlarına ait istasyonlarında bilet holü katlarında veya peron katlarında bulunan tanımsız alanların işlev açısından esnek olduğu belirtilmelidir. Ayrıca [PROJE ADI] kapsamındaki istasyonlarda istasyon üstü alan bir kamusal mekan olarak değerlendirilecek ve istasyon üstüne bir yapı yapılacaksa belirlenen kamusal mekan kullanımının planlama kararları veya kullanıcı talepleri dolayısıyla değişmesi durumunda tasarımın farklı kullanım senaryosuna uygun olduğu modele işlenmelidir.

Malzeme pasaportlarına ait bilgilerin modellere işlenmesi

Yapı malzemeleri ve yapı elemanlarına ait bilgiler sayısal bir şekilde arşivlenmesi ile mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün döngüsel ekonomi modeline geçişi kolaylaşacaktır. Bu nedenle bu proje kapsamında gerek YBM modelinde gerekse YBM modelinden Excel formatına alınmış şekilde dijital malzeme pasaportları oluşturulması gerekmektedir. Malzeme pasaportları kullanılan yapı malzemelerinin yenilenen, yenilenebilir, ileri dönüşüm ve geri dönüşüme uygun ve sonucunda elde edilmiş olduğunu gösterir. Aynı zamanda pasaportlarda yer alan bilgilerin kent ölçeğinde arşivleneceği düşünüldüğünde yıllara göre çıkacak olan atık miktarı hakkında da bilgi verecektir.

- Döngüsel yapı tasarıma uygun bu proje kapsamında kullanılacak olan malzemelerin malzeme pasaportlarına sahip olmaları gerekmektedir.

Çizelge 4.4: Malzeme pasaportundan modele alınacak bilgiler Heinrich ve Lang, 2019; Honic ve diğ., 2019c; Göswein ve diğ., 2022; Fernandes ve diğ., 2022.

Malzeme Pasaportu											
Kaynak Kodu		Kategori		Malzeme Açıklama			Malzeme İsimlendirme			Mahal Bilgileri	
HRY XXX		FFN XXX		Ceramic_Blue_30*30 Mlz_Renk_Ölçü			UAG-FFN- Ceramic_Blue_30*30 Kaynak_Kategori_Açıklama			P002,C001, ...	
Fiziksel Özellikler						Kimyasal Özellikler					
Boyut Bilgileri	Ebat		Döngüsel Yapı Tasarımı Açısından Özellikler	Kullanım Ömrü		Kimyasal içerik					
	Alan			Durabilite		Çevresel etki değerleri	Geri dönüştürülebilirlik değeri				
	Kütle			Yenilenme ve/veya geri dönüşüm durumu			Küresel ısınma potansiyeli (GWP)	Fosil yakıt			
				Yeniden kullanılacak olan ürünün kütle oranı				Biyolojik yakıt			
				Enerji kazanımı için kullanılacak ürün miktarı				Toplam			
	Hacim			Geri dönüşümü sonucunda oluşacak olan atık miktarı			Asidifiyasyon değeri (AP)				
Yapısal Özellikler	Basınç			Öncesinde yenilenme ve/veya geri dönüşüm durumu			Birincil enerji yoğunluğu (PEI)				
	Mukavemet			Tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıkların bertaraf edilme miktarları			Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan birincil enerji kullanımı				
	Direnç			Kullanım Ömrü			Ötrifikasyon potansiyeli	Tatlı su			
				Durabilite				Deniz			
				Yenilenme ve/veya geri dönüşüm durumu				Karasal			
				Yeniden kullanılacak olan ürünün kütle oranı				Toplam			
	Yapı Fiziki	Isıl geçirgenlik katsayısı			Malzeme Döngüsellik İndeksi		Yenilenme ve/veya geri dönüşümünde kullanılacak olan toplam su ve enerji miktarı				
Buhar Difüzyonu			Proje Sürecine ait Bilgiler			Yaşam döngüsü maliyeti					
Porozite			Sertifikaları (varsa)		Biyolojik Özellikler						
Ses yalıtımı özelliği			Uygun olduğu standartlar		Yenilenme ve/veya geridönüşüm durumunda hangi amaçla nerede değerlendirilmesi gerektiği						
Yangın dayanımı			Mülkiyet bilgisi		Ayrıştırılabilirlik						

Çizelge 4.5 Yapı söküm, bakım, onarım, yenileneme süreçlerinde kullanılacak YBM Modelinde işlenmesi gereken bilgiler, Fernandes ve diğ. (2022)’den uyarlanmıştır.

Yapı katmanı	Bileşim detayına ait bilgiler							
	Kateg ori	Malzeme açıklama	Malzeme isimlendirme	Birleşim elemanı	Birleşim türü	Birleşim esnekliği	Birleşim tipi	Sınırlayıcı elemanlar
İstasyon çıkış yapısı	FFN	GFRC	XXX-FFN-GFRC	Kaplama malzemesi _dış	Ağır kimyasal ürün kullanılan birleşim	Ayrılması/onarılma ası için ek uygulamalar gereklidir.	Yapı elemanları iç içe geçmiş şekilde birleşim detayına sahip	3 tarafında farklı elemanlar yer alıyor.
	WFN	Ceramic_blue_30*30	XXX-WFN-Ceramic_Blue_30*30	Kaplama malzemesi -iç	Kuru birleşim	Çıkartılarak ayrılabilir (Ek uygulamaya gerek yok.)	Yapı elemanları modüler olarak tak-çıkart sistemi ile birleşim detayına sahip	Sınırlayıcı yok.
Bağlantı tünelleri	...	...	...	Köşe elemanı	Yardımcı eleman ile monte edilen birleşim	Diğer elemanlara kalıcı zarar verilmeden elemana erişilmesi imkânsız	Aralarında bağlantı olan birleşimler	Bir tarafında farklı eleman yer alıyor
Peron	...	...	...	Döşeme malzemesi	Hafif kimyasal ürün kullanılan birleşim			

- Malzeme pasaportundan modele aktarılması gereken bilgiler yapı malzemesine ait fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri, proje ve yapım süreci ve biyolojik özellikleri ile ilgili bilgiler olacaktır.

Malzeme pasaportunda olması gereken bilgileri Çizelge 4.4'te listelenmiştir (Heinrich ve Lang, 2019; Honic ve diğ., 2019c; Göswein ve diğ., 2022; Fernandes ve diğ., 2022). Bu bilgilerin olması sadece mikro ölçekte değil mezo yani kent ölçeğinde de bilgilerin sayısal bir arşiv modelde depolanması açısından önemlidir.

Söküm süreci için gerekli bilgiler

Bu bölümde yapıda kullanılan yapı malzemelerinin kullanım ömürlerini tamamlanması durumunda ayırma ve sökme aşamalarında kullanılacak bilgilerin verilmesi gerekmektedir. Döngüsel yapı tasarımında yapı elemanlarının birleşim tipleri ve detayları yenileme, bakım ve onarım açısından oldukça önemlidir. Hedeflenen birleşim tipi malzemelerden birinin ömrü bittiğinde veya onarılması gerektiği için birleşim detayından ayrılması durumunda birleşimdeki diğer elemanların bu söküm işleminden zarar görmemeleridir. Örneğin yapışkanlı birleşimler yapışkanın kimyasal özelliğinden dolayı malzemelerinde kullanım ömrünü ve yeniden kullanılmasını olumsuz anlamda etkileyebilir veya iki yapı elemanının birden yapıdan ayrılmasına ve oluşan atık miktarının artmasına neden olabilir. Bu nedenle bu bilgilerin malzemelerin yapıdaki konumları ile birlikte dijital bir arşiv sisteminde tutulması oldukça önemlidir. Bu nedenle oluşturulacak olan YBM modeli Çizelge 4.5'te yer alan bilgileri içermelidir. Çizelge 4.5'te yer alan bilgiler 4.1.12.7. Model Malzeme İsimlendirmesi bölümünde belirtildiği şekilde olmalıdır.

4.2. Tasarım Aşaması Yapı Bilgi Modellemesi Uygulama Planı

Değerlendirmesi

Bölüm 4 kapsamında döngüsel yapı tasarımı açısından YBM-UP ele alınmıştır. Öncelikle bu çalışmada 13 Şubat 2024 tarihinde İBB Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan YBM Teknik Şartnamesi ve eki Tasarım Aşaması YBM Uygulama Planı dokümanı ele alınmıştır. Söz konusu olan YBM Teknik Şartnamesine ait tasarım aşaması ve yapım aşaması için olmak üzere iki adet YBM-UP Şablonu bulunmakta olup bu dokümanlar ihale eki olarak yüklenici firma/firmalara verilerek teknik şartnamelere ve YBM şartnamesine uyumlu olarak ve projedeki YBM hedefleri

doğrultusunda yüklenici firmalar tarafından tamamlanması beklenir. İki YBM-UP arasındaki farklar yapım aşaması YBM-UP dokümanında inşaat süreçlerine ait faz planlama, ilerleme takibi ve inşaat alanları kullanım planlanmasıdır.

Tasarım aşaması YBM-UP şablonu Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü tarafından yürütülen ön proje ve uygulamaya esas kesin proje aşamalarında kullanılan ve tasarım yüklenicisine verilmek üzere hazırlanan bir dokümandır. Bu dokümanların İdare tarafından şablon olarak hazırlanmasındaki ana sebep her projede proje özelinde farklı kullanımlar olmaması, projelerde koordinasyonun aynı şekilde olması, YBM'nin projenin tasarım öncesi aşamasından itibaren kullanılması ve YBM kullanımının standardize edilmesidir.

Bu tez kapsamında ise ana hedef Tasarım Aşaması YBM-UP Şablonu dokümanının döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınırken döngüsellik kriterleri ve YBM'nin döngüsellikle ilgili uygulamalarının YBM-UP dokümanına eklenerek bu entegrasyonu tariflemek adına yol gösterici bir doküman hazırlanmasıdır (Şekil 4.1). Mevcut YBM-UP dokümanı geliştirilerek, döngüsel yapı tasarımına uygun uygulamalar eklenmiştir. Bu dokümanın geliştirilmesi ile inşaat sektöründe döngüsel ekonomiye geçişle ilgili farkındalık uyandırılması ve malzeme pasaportları gibi döngüsel yapı tasarımına ilişkin uygulamaların kullanılmaya başlanmasına katkı sağlanması beklenmektedir.

Öncelikle geliştirilen YBM-UP dokümanında giriş bölümünde döngüsel yapı tasarımına ilişkin Kricherr ve diğ.'nin (2017) tanımladığı 9 döngüsellik tanımı ve hedeflerinden hangilerini içerdiğinin belirlenmesi beklenmektedir. Böylece YBM modelinin kullanılması hedeflenen döngüsellik aşamaları belirlenmiş olacaktır.

Ardından YBM-UP şablonunun YBM Kullanımları ve YBM hedefleri bölümüne temel tasarım aşaması YBM kullanımlarından olan tasarımın oluşturulması, 3 boyutlu koordinasyon, mevcut durum modellenmesi, tasarım dokümanlarının oluşturulması, metraj listelerinin oluşturulması gibi kullanımlara ek olarak yaşam döngüsü Analizi (YDD) ve döngüsellik değerlendirme açısından YBM kullanımları eklenmiştir. İlk olarak YDD analizi ile tasarlanan projenin yaşam döngüsünün çevresel etkileri ve kullanım ömrü senaryoları ile ilgili değerlendirmeler yapılarak tasarım aşamasında malzeme seçimi ile ilgili belirsizlikleri ortadan kaldırmayı sağlayacaktır. YDD analizi için YBM modelinden bilgiler excel formatında çıkartılır, ardından alan (m2) bilgilerini içeren metraj listelerine benzer BOQ listeleri oluşturularak, YDD

uygulamalara aktarılacaktır. Analiz sonucunda yapının kullanım ömrü süresi ve çevresel etki değerlendirmesi açısından neden olacağı zararlı emisyonlar çıkarımı, enerji tüketimi su kullanımı ve atık oluşumuna dair bilgi verir. Ayrıca YDD analizi ile bina birleşenlerinin yaşam döngüsünü ve dönüşüm potansiyeli ile ilgili bilgi verir. Öte yandan bu kapsamda YDD analizi zorunlu getirilerek, inşaat sektöründe ilgili firmaların yapı malzemelerinin Çevresel Ürün Beyannamesi (EPD) belgesi almaya yönelik çalışmalarda bulunması beklenmektedir. EPD sertifikaları ürünlerin çeşitli etki değerlerini kullanarak, enerji tüketimi, emisyonlar ve atık oluşturma gibi parametreleri kullanarak, ürünün yaşam döngüsü boyunca olacak olan çevresel etkilerini gösterir (url-4).

YBM-UP şablonunun YBM Kullanımları ve YBM hedefleri bölümüne döngüsel yapı tasarımı ile ilgili eklenen ikinci başlık ise döngüsellik değerlendirmesidir. Döngüsellik değerlendirmesi YBM Döngüsellik Eklentisi kullanılarak yapılır. Bu hesaplama Malzeme Döngüsellik İndeksini temel alarak, Bina Döngüsellik İndeksini hesaplar ve yapının çevresel etkisini ve iklim değişikliğine olan etkisi hakkında bilgi vermesi adına kullanılan malzemelerin gömülü enerji ve gömülü karbon miktarını hesaplar.

YBM-UP dokümanının dördüncü bölümü olan roller ve sorumluluklar bölümüne idare, danışman ve yüklenici YBM yöneticisine döngüsel yapı tasarımına ait uygulamaların yönetimi ve Bina Döngüsellik İndeksi hedefine uygunluk kontrolü görevi eklenmiştir. Bununla birlikte idare/müşavir ve yüklenici için Döngüsel yapı tasarımı YBM sorumlusu rolü eklenerek döngüsel yapı tasarımına yönelik gerek seçilen malzemelerin malzeme pasaportuna sahip olması, gerekli döngüsellik bilgilerinin modele eklenmesi gerekse YDD analizi, döngüsellik değerlendirmesi yapılması veya yapının sökülmesi/ayrılması durumunda kullanılmak üzere olması gereken bilgilerin modele işlenmesi işlemlerini yapan ve kontrol etme sorumlulukları tanımlanır.

YBM süreç tasarımı bölümüne ise genel YBM süreç şemasına döngüsel yapı tasarımı akış şeması eklenerek döngüsellik açısından süreç tariflenmiştir. Ardından model eleman bilgi gereksinim tablosu bölümüne YDD analizi ve döngüsellik değerlendirmesi için LOD300 seviyesinin gerekli olduğu tanımlanır. Kesin proje aşamasının sürecinde uygulanacak olduğu belirtilir.

Son olarak ise model yapılanması bölümünde döngüsel yapı tasarımı için gereksinimler ve model yapılanması alt başlığı eklenerek modelde döngüsellğe yönelik olması gereken gereklilikler ortaya konmuştur. Öncelikle döngüsel yapı tasarımının hedeflerinden olan mekânsal esnekliğe dair bilgiler mahallere ve yapı elemanlarına işlenmelidir. Kullanım türünün değişebilir olacağı düşünülen mahaller modelde belirtilir aynı şekilde yapı elemanı örneğin duvarın taşınabilir veya sökülebilir takılabilir sistemde olduğu modele işlenmelidir. Ek olarak istasyonlarda farklı sebeplerle oluşan boş alanların da modele özel olarak işlenmesi gerekir. Bu şekilde mevcut veya projelendirmesi devam eden hatlara ilişkin istasyonlarda bulunan kullanılmayan veya boş alanların olduğunu gösterir bilgilerin dijital arşivlenmesi istasyonlarda bulunan kullanılmayan alanların değerlendirilmesi açısından değerli bir katkı sunacaktır. Aynı şekilde istasyon üstü alanların geri dolgu yerine kamusal alan olarak değerlendirilmesi yapısal tasarım açısından uygun ise veya gayrimenkul değerlendirme açısından kamusal kullanıma uygun potansiyeli var ise bu alanların da model üzerinde belirtilmesi istasyon üstü alanların kamusal alan olarak değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Dijital arşivde depolanacak olan bu bilgiler daire başkanlığına raylı sistem hatlarını bu açıdan değerlendirmesi açısından değerli bir imkan sağlayacak ve doğru kararlar alınmasına olanak tanıyacaktır. Söz konusu istasyon içi ve üstü alanların değerlendirilmesi döngüsellik açısından da önemli bir yaklaşımdır.

Sonrasında malzeme pasaportu olan malzemelerin seçilmesi gerek döngüsel yapı tasarımını hedefleyen bu proje kapsamında malzeme pasaportlarından modele işlenmesi gereken bilgiler listelenmiştir. Ayrıca bu zorunlulukla Türkiye’de yapı malzemelerin malzeme pasaportuna ve/veya Çevresel Ürün Beyannamesine sahip olması ile inşaat sektöründe döngüsellğe geçiş açısından bir farkındalık oluşturulacağı düşünülmektedir. Son olarak ise döngüsel tasarımın diğer bir hedefi olan sökülebilirlik ile ilgilidir. Yapının işletmesi sırasında bakım, onarım ve yenilenme durumunda birleşimden çıkartılması gerek yapı elemanının birleşim detaylarının modele işlenmesi gerektiği belirtilir. Yapı elemanlarının birleşimleri kuru birleşim veya kimyasal ürün kullanılan birleşim olması, söküldüğü zaman kullanılabilirlik ve dönüşebilirlik durumu veya birleşimden ayrılması ile birleşimdeki diğer elemanların kullanılabilirlik durumu dönüşebilirlik ve atık oluşumu açısından önemli olduğu için bunların modele işlenmesi kritik bir rol oynamaktadır.



5. SONUÇ

Tez çalışmasında yapılı çevrede döngüsel ekonomi yaklaşımının uygulanmasında YBM teknolojisinin katkılarını ortaya koymak ve YBM ile yapılı çevrede döngüsellik konusunun entegrasyonu ile ilgili bir kılavuz oluşturulması amacıyla YBM-UP dokümanı hazırlanmıştır. YBM-UP dokümanında YBM'nin yapılı çevrede döngüsellik açısından kullanımları ele alınmış ve tariflenmiştir.

Sanayileşme, kente göç, hızlı kentleşme ve bunlara bağlı kontrolsüz yapılaşma, çevre kirliliği, kaynakların tüketilmesi gibi sorunlar her geçen gün etkilerini daha da göstermektedir. Bu durum üretimde ve tüketimde alışkanlıkların değiştirilmesini gerektiğini ortaya koymaktadır. Döngüsel ekonomi kaynakların kullanımının kontrol altına alınması, yeniden kullanım, kullanım ömürlerinin uzatılması gibi yaklaşımlarla bu önemli küresel sorunları çözüm olarak kabul edilmektedir. Dünyada kullanılan ham madde miktarının ve oluşan atıkların öncelikli sebeplerinden biri inşaat sektörüdür. Bu nedenle mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe üretim, kullanım ve tüketim yaklaşımlarının değiştirilerek döngüsel ekonomiye geçilmesi gerekmektedir.

Döngüsel ekonominin yapılı çevrede karşılığı olan konular; malzeme pasaportları, yapı malzemelerinin yeniden kullanılması, yapıların bir malzeme bankası olarak kabul edilmesi, yaşam döngüsü değerlendirmesi, döngüsel yapı tasarımı, uyum için tasarım, söküm için tasarım ve yapılı çevrede döngüsellğe geçişte aracı olan dijital teknolojilerdir.

Yapılı çevrede döngüsellik üç farklı ölçekte; şehir ölçeği, yapı ölçeği ve malzeme ölçeği olarak değerlendirilir. Şehir ölçeğinde kentte atık yönetimi, endüstriyel simbiyoz, yerel ürünlerin kullanılmasında teşvik edilmesi, kullanılmayan veya köhne/bakımsız alanların kamusal alanlara dönüştürülmesi, kendine yetebilen yerleşimlerin kurulması gibi planlama konularından CBS ile yeniden kullanım veya geri dönüşüm için yapı stoklarının gömülü kaynak olarak dijital ortamda depolanması, kent madenciliği ve dijital ikiz gibi dijital konularla ilgili olarak döngüsellik ele alınmaktadır. Yapım ve yıkım süreçlerinde kullanılan ham maddenin ve çıkacak olan atığın kontrol altına alınması yenileme, değişim dönüşüm kavramların ön planda

olduğu yapı ölçeğinde ise tasarımların esnek çeşitli kullanıma uygun olması, kullanım ömrü, bakım onarım veya söküm süreçlerinde döngüsellik kriterlerinin gözetilmesi konuları değerlendirilmektedir. Malzemelerin kadastro su olarak tanımlanan malzeme pasaportları ise döngüsel ekonominin yapıllı çevrede mikro ölçekteki karşılığı olarak kabul edilmektedir.

Dijital teknolojiler 20. yüzyıldan itibaren her konuda olduğu gibi mimarlık, mühendislik ve inşaat sektörünün de bir parçası haline gelmiştir. Önceleri sadece çizim ve sunum konularında kolaylık sağlayan bir araçken bilgisayar destekli tasarım kavramı ile dijital araçların yapıllı çevreye sunduğu katkılar oldukça gelişmiştir. Bu dijital araçlardan biri olan YBM yapıların bina yaşam döngüsü boyunca kullanılabilir parametrik bir modelleme teknolojisidir. Yapının tasarım veya yapım için gerekli olan geometrik bilgiler sağlaması ile birlikte fiziksel çevre testleri, süreç yönetimi ve maliyet hesabı dâhil olmak üzere inşaat sektörüne katkı sağlar. Aynı zamanda yapı yaşam döngüsü süresince iş birliği ve koordinasyonu sağlamaya aracı olarak önemli bir rolü üstlenmektedir.

Yapıllı çevrede döngüsel ekonomiye geçişte YBM'den faydalanarak gerek tasarım gerekse yapım ve yıkım süreçlerinde kullanmak döngüsellik hedeflerine ulaşılmasına yardım sağlayacaktır. Bu tez kapsamında literatür taraması aşamasında YBM'nin bu geçiş sürecindeki faydası ve potansiyeli araştırılmış olup dijital modelleme, arşivleme ve iş birliği açısından nasıl katkı sağlayabileceği değerlendirilmeye çalışılmıştır. Öte yandan literatürde yapıllı çevrede döngüsel ekonomi ve dijital teknolojilerin entegrasyonu ile ilgili yeterince çalışma olmadığına dikkat çekilmektedir.

YBM, yapıllı çevrede döngüsel ekonomi konusunda sürdürülebilir yapı tasarımı, tasarım optimizasyonu, yaşam döngüsü değerlendirmesi, malzemelere dair bilgilerin sayısal ortamda modele işlenerek kaynak kullanımı ve tahmini atık miktarının hesaplanması, geri dönüşen veya geri dönüşebilir, yenilenebilir malzemelere ait bilgilerin arşivlenmesi, malzemelerin kullanım ömürlerinin takibi, döngüsel yapı tasarımı açısından hesaplamalara destek sağlaması ve paydaşlar arasında iş birliğini artırarak döngüsel ekonomiye geçişte kritik bir rol oynamaktadır.

YBM-UP; YBM'nin verimli kullanılmasını sağlayan, bilgi ve veri yönetimini, disiplinler içi ve disiplinler arası koordinasyonun ve iş birliğinin tanımlandığı, model yapılanmasını, model elamanının gereksinimlerini, proje aşamalarına göre LOD

seviyesinin ve modelin içermesi gereken bilgilerin tariflendiği dokümandır. Kısaca, YBM-UP YBM'nin kullanımını ve yönetimini anlatan bir belge niteliğindedir. Projenin erken evresinde tamamlanması beklenen bu dokümanın proje süresince proje ihtiyaçlarına iş programı doğrultusunda güncellenmesi gerekir. Dünyada çeşitli üniversiteler ve kurumlar ülkemizde ise kurumlar tarafından YBM kılavuzları ve YBM-UP şablonları yayınlanmıştır. YBM-UP tasarım, yapım ve bakım – onarım aşamasında ayrıca hazırlanması gereken bir dokümandır. İdare tarafından ihale dosyası kapsamında YBM şartnamesinin eki olarak hazırlanarak işverenin YBM kullanım ve hedeflerini tanımlar.

Bu tez çalışmasında ise yapılı çevrede döngüsellik konusuna bir katkıda bulunmak amacıyla, YBM'nin döngüsel yapı tasarımına olan kullanımları ortaya konularak bu doğrultuda yol gösterici bir çalışma hedeflenmiştir. Bu doğrultuda döngüsel yapı tasarımı açısından YBM-UP dokümanı ele alınarak raylı sistem projeleri örneği YBM kullanımı açısından çalışılmıştır.

Elde edilen YBM- UP dokümanı ile proje sürecinde yapılı çevrede döngüsel ekonomi kriterleri YBM hedef ve kullanımları açısından ele alınmıştır. İlk olarak YBM-UP dokümanın giriş bölümünde yapılı çevrede döngüsellik ve proje kapsamında uygulanacak olan döngüsel ekonomi yöntemleri belirlenmelidir. Ardından YBM-UP ve proje YBM süreçlerinde kullanılacak olan standart ve referans kaynaklar belirtilir. Proje bilgileri ve proje anahtar personel bilgileri tamamlanır. Koordinasyon açısından sorun olmaması adına bu bilgilerin güncelliği önemlidir. YBM-UP 6. Bölümünde ise projeye uygun olarak belirlenmiş YBM kullanımları ve hedefleri anlatılarak döngüsel yapı tasarımına ait kullanımlara ayrıca detaylandırılır. Döngüsellik açısından YBM iki ana YBM kullanımı YDD ve döngüsellik analizidir. YDD analizi ve döngüsellik için gerekli bilgilerin temin edilmesi için Çevresel Ürün Beyannamesi veri tabanı veya ona benzer ulusal veri tabanları oluşturulması gerektiği açığa çıkarak inşaat sektöründe döngüsellğe geçişte katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çok paydaşlı projenin her paydaşının çalışanlarına ait görev sorumluluklar işlenerek paydaşlar arasındaki ve disiplinler arasındaki koordinasyon tariflenir. Bu görev ve sorumluluklar çakışma testlerinin kontrolleri ve sorumluluklarının paylaşılması açısından oldukça önemli bir rol oynar. YBM ana süreç şemasına ek olarak belirlenen YBM kullanımlarına ait süreç şemalarının oluşturulacağı bölümünde ise döngüsel yapı tasarımı süreç akış şeması da eklenmelidir. Sonrasında model elemanlarının bilgi gereksinimlerinin açıkça

belirlenmelidir. Son olarak model yapılanması bölümünde ise model yapılanmalarına ait isimlendirmeler tanımlanarak proje sürecince kullanılacak ölçü ve koordinat sistemi belirlenir. Bu bölüm döngüsel yapı tasarımı açısından modeldeki mahallere ve yapı elemanlarına işlenecek bilgiler ve sökülme süreci için gerekli olan bilgiler açısından son derece önemlidir. Bu YBM-UP dokümanı ile mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe malzeme seçiminde malzeme pasaportu olan malzemelerin kullanılması şartı ile döngüsellğe geçiş ile ilgili farkındalığın artması öngörülmektedir. Ayrıca bu veriler ile oluşturulan model ile dijital ikiz projelerine de katkı sağlanması beklenmektedir.

Bu tez kapsamında döngüsel yapı tasarımı ve ilgili YBM kullanımları değerlendirilerek bir YBM-UP dokümanı hazırlanmıştır. Çalışması sonucunda elde edilen döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınan YBM-UP ile ilgili olarak mimarlık, mühendislik literatürüne ve YBM projelerinde işveren olan kamu kurumlarına katkı sunulması beklenmektedir. Ayrıca oluşturulan YBM-UP dokümanının yapı sektörünün döngüsel ekonomi uygulamalarına teşvik etmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Aguiar, A., Vonk, R. & Kamp, F.** (2019). BIM and Circular Design. IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science 225, SBE19 Brussels - BAMB-CIRCPATH "Buildings as Material Banks - A Pathway For A Circular Future, Brussels, Belgium, February 5-7.
- Akinade, O.O. & Oyedele, L.O.** (2019). Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). *Journal of Cleaner Production*, 229, 863-873. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.232
- Alasmari, E., AlJaber, A., Martinez-Vazquez, P. & Baniotopoulos, C.** (2024). Enhancing Life Cycle Costing (LCC) in Circular Construction of Buildings by Applying BIM: A Literature Review. In: Bragança, L., Cvetkovska, M., Askar, R., Ungureanu, V. (eds) *Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment*. Springer Tracts in Civil Engineering . Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-031-45980-1_33
- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A. & Huang, J. C.** (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, 116(2020), 103254. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103254.
- Aljaber, A., Martinez-Vazques, P. & Baniotopoulos, C.** (2023). Barriers and Enablers to the Adoption of Circular Economy Concept in the Building Sector: A Systematic Literature Review. *Buildings* 13, 2778. doi:10.3390/buildings13112778
- Attia, S.** (2018). *Regenerative and Positive Impact Architecture—Learning from Case Studies*; Springer: Liège, Belgium. (Retrieved from: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-66718-8>)
- Asdrubali, F., Baldassarri, C. & Fthenakis, V.** (2013). Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy and Buildings*, 64, 73-89. doi: j.enbuild.2013.04.018.

- ARUP (2016).** The Circular Economy in the Built Environment. Available online: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment> (Erişim tarihi: 14.01.2024).
- Aydın, M. ve Erbil, Y. (2023).** YBM ve YDD Entegrasyonuna Yönelik SistematiK Bir Literatür İncelemesi. Uluslararası Bilim, Teknoloji Ve Tasarım Dergisi, 4(1), 28-45.
- Aydın Kötüşli, T. ve Koman, İ. (2021).** Yapi bilgi modeli ile yürütölen projelerdedeğişikliklerin yönetimi için bir model önerisi. Yapı Bilgi Modelleme, 3(1), 35-50.
- Bakar, A.R.A., Haron, A. T. & Rahman, R. A. (2020).** Building information modelling execution plan (bep):a comparison of global practice. International Journal Of Engineering Technology And Sciences (IJETS), 7(2), 63-73. doi: 10.15282/ijets.7.2.2020.1005
- Bastem, S. S. and Cekmis, A. (2022).** Development of historic building information modelling: a systematic literature review. Building Research & Information, 50 (5), 527-558. doi: 10.1080/09613218.2021.1983754
- Benachio, G., Freitas, M. & Tavares, S. (2020).** Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production, 260. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121046
- Behun, M. & Behunova, A. (2023).** Advanced innovation technology of bim in a circular economy. Applied Sciences, 13, 7989. doi: 10.3390/app13137989
- Bijl, A., Stone, D. and Rosenthal, D. (1979).** Integrated CAAD systems. EdCAAD Studies, University of Edinburgh.
- Björk, B.C. (1995).** Requirements and Information Structures for Building Product Models. Helsinki: VTT Technical Research Center of Finland.
- Bocken, N.M.P., Pauw, I., Bakker, C. & Grinten, B. (2016).** Product design and business model strategies for a circular economy, Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308-320, Doi: 10.1080/21681015.2016.1172124

- Çimen, Ö.** (2021). Construction and built environment in circular economy: A comprehensive literature review. *Journal of Cleaner Production*, 305(2021). doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127180
- Çetin, S., De Wolf, C. & Bocken, N.** (2021). Circular digital built environment: An emerging framework. *Sustainability* 13(11), 6348. doi: 10.3390/su13116348
- Charef, R. & Emmitt, S.** (2021). Uses of Building Information Modelling for overcoming barriers to a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 285 (2021), 124854. doi: j.jclepro.2020.124854
- Delgado, D. J.M. & Oyedele, L.O.** (2020). BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(5) 1269-1285. Doi:10.1108/JEDT-10-2019-0284
- Durmisevic, E.** (2019). Reversible building design guideline. In Martin Charter (Eds.) *Designing for the Circular Economy*. (vol.1, pp.344-359). Retrieved from <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315113067-32/reversible-building-design-elma-durmi%C5%A1evic%C2%B4>
- Eastman, C.** (1978). The Representation of Design Problems and Maintenance of Their Structure. In: Latcombe (ed), *Application of AI and PR to CAD*. Amsterdam: North-Holland.
- Ellen MacArthur Foundation (EMF).** (2013). *Towards the circular economy Vol. 2: opportunities for the consumer goods sector*.
- Fernandes, J.B., Ferrão P.C., Silvestre J. D., Costa A. A. & Göswein V.** (2022). Advancing circular economy in the existing building stock: a methodology to support building characterisation for sustainable refurbishment design. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38, (pp.599-605). Prague, Czech Republic: Czech Technical University in Prague. Doi: 10.14311/APP.2022.38.0599.
- Geissdoerfer, M.; Savaget, P., Bocken, N.M.P. & Hultink, E. J.** (2017). The Circular Economy e A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143(2017), 757-768. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048

- Geng, Y. & Doberstein, B.** (2008). Developing the circular economy in China: challenges and opportunities for achieving “leapfrog development.”. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15, 231-239. doi: 10.3843/SusDev.15.3:6
- Ghisellini, P., Ripa, M., Ulgiati, S.** (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. *Journal of Cleaner Production*. 178, 618-643. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.207.
- Giljum, S., Wieland, H., Lutter, S., Bruckner, M., Wood, R., Tukker, A. & Stadler, K.** (2016). Identifying priority areas for European resource policies: a MRIO-based material footprint assessment. *Journal of Economic Structures*, 5(17). doi:10.1186/s40008-016-0048-5
- Göswein, V., Carvalho, S., Lorena, A., Fernandes J. & Ferrão, P.** (2022). Bridging the gap – A database tool for BIM-based circularity assessment. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, 1078, SBE22 Berlin, D-A-CH Conferences: Built Environment within Planetary Boundaries, September 20-23: Berlin, Germany. doi: 10.1088/1755-1315/1078/1/012099
- Heinrich, M., Lang, W.** (2019). *Material passports - best practices*. Munich: Technical University of Munich in association with BAMB.
- Honic, M., Kovacic, I., & Rechberger, H.** (2019a). Concept for a BIM-based Material Passport for buildings. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* 225, SBE19 Brussels - BAMB-CIRCPATH "Buildings as Material Banks - A Pathway For A Circular Future, February 5-7: Brussels, Belgium.
- Honic, M., Kovacic, I., & Rechberger, H.** (2019c). Improving the recycling potential of buildings through Material Passports (MP): An Austrian case study. *Journal of Cleaner Production* 217(2019) , 787-797. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.212
- Honic, M., Kovacic, I., Sibenik, G. & Rechberger, H.** (2019b). Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-

based Material Passports. *Journal of Building Engineering*, 23(2019), 341-350. doi: 10.1016/j.jobe.2019.01.017

Honic, M., Magalhaes, P. M. & Bosch P. V. (2024). From Data Templates to Material Passports and Digital Product Passports. In C. De Wolf, S. Çetin & N. Bocken (Eds.), *A Circular Built Environment in the Digital Age*. (pp. 79-97). Cham: Springer. Doi: /10.1007/978-3-031-39675-5

Hooper, M. & Ekholm, A. (2010). A pilot study: towards BIM integration – an analysis of design information exchange & coordination. *Proceedings of CIB W78 2010: 27th International Conference*, Egypt: Cairo. November 16-18.

Hopkinson, P., Chen, H.M., Zhou, K., Wang, Y., Lam, D. (2018). Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability*, 172(3), 119–128. Doi:10.1680/jensu.18.00007

Konietzko, J., Bocken, N. & Hultink, E. (2020). A tool to analyze, ideate and develop circular innovation ecosystems. *Sustainability*, 12(1), 147. Doi: 10.3390/su12010417

Kovacic, I., Honic, M. & Sreckovic, M. (2020). Digital Platform for Circular Economy in AEC Industry. *Engineering Project Organization Journal*, 9 (2020).

Koumbarakis, A., Bocken, N., Stahel, W.R., Obst, M. & Matzdorf, P. (2021). Circularity as the new normal – whitepaper. Switzerland: PwC & WWF

Kricherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(2017), 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

McArthur, J.J. & Sun, X. (2015). Best practices for BIM Execution Plan development for a Public–Private Partnership Design-Build-Finance-Operate-Maintain Project. In L. Mahdjoubi, C.A. Breabbia & R. Laing (Eds.), *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*. (Vo.149, pp.119-130). Southampton, Boston: WIT Press. doi: 10.2495/BIM150111

- McDonough, W., & Braungart, M.** (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press: New York.
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., and Zikic, N.** (2019). *BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2*. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, August, Available at <http://bim.psu.edu>. Erişim: 26.12.2023
- NATSPEC** (2022). *NATSPEC National BIM Guide*. Sydney: NATSPEC. Retrieved from <https://bim.natspec.org/documents/natspec-national-bim-guide>
- NIBS** (2008). *United States National Building Information Modeling Standard, Version 1, Part 1: Overview, Principles, and Methodologies*. <http://nbimsdoc.opengeospatial.org/>
- Ökten Balaban, B.** (2016). *Türk inşaat sektöründe küçük ve orta ölçekli firmalarda bilgi yönetimi. (Doktora tezi)*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- International Organization for Standardization (2010)**. *ISO 29481-1: Building Information Modeling - Information Delivery Manual - Part 1: Methodology and Format*.
- ISO (International Organization for Standardization)** (2018a). *ISO 19650-2:2018: Organization and digitisation of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)– information management using building information modelling – Part 2: delivery phase of the assets*. ISO, Geneva, Switzerland.
- Izquierdo, R.S., Soliu, I. & Migliaccio, G.C.** (2024). Enablers and barriers to implementation of circular economy practices in the built environment: an exploratory study. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 16(2). doi: 10.1061/JLADAH
- Jacobs, J.** (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Random House

- Panagiotidou, N., Pitt, M. and Lu, Q. (2023).** Building information modelling execution plans: a global review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction*, 176(3): 126–147. doi: 10.1680/jsmic.22.00012
- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G. & Passer, A. (2018).** LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and Environment* 140, 153-161. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.05.006
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G & Teicholz, P. (2018).** Introduction.. In R. Sacks, C. Eastman, G. Lee and P. Teicholz (Eds.), *BIM Handbook*. New Jersey: Wiley. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119287568>
- Safari, K. & AzariJafari, H. (2021).** Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. *Sustainable Cities and Society*, 67. Doi: 10.1016/j.scs.2021.102728
- Sıfır Atık Yönetmeliği. (2019).** T.C. Resmi Gazete, 30829, 12 Temmuz 2019
- Singh, V., Gu, N. And Wang, X. (2011).** A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction*, 20 (2011), 134-144.
- Şenkal, H. (2023).** Mobilya endüstrisinde döngüsel ekonomiye geçiş: değerlendirme yaklaşımı. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 146-161. doi: 10.33725/mamad.1316221
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. & Garcia-Martinez, A. (2017).** Critical review of bim-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110-120. Doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.009
- Sudarsan, J. S. & Gavali, H. (2024).** Application of BIM in conjunction with circular economy principles for sustainable construction. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 7455-7468. Doi: 10.1007/s10668-023-03015-4.

- T.C. Ticaret Bakanlığı** (2021). “Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021”
<https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKA>
T%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf Erişim tarihi: 18.01.2024.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı** (2022). BIM Teknik Şartnamesi ve Eki:BIM
Uygulama Planı. Erişim adresi: [https://sgb.uab.gov.tr/dijital-](https://sgb.uab.gov.tr/dijital-yonetim?PageSpeed=noscript)
yonetim?PageSpeed=noscript Erişim tarihi: 10.04.2024.
- Tam, V. WY., Zhou, Y., Illankoon, C. & Le, K.N.** (2022). A critical review on BIM
and LCA integration using the ISO 14040 framework. *Building and*
Environment, 213. Doi: 10.1016/j.buildenv.2022.108865
- Volk, R., Stengel, J. & Schultman, F.** (2014). Building Information Modeling (BIM)
for existing buildings — Literature review and future needs.
Automation in Construction, 38(2014), 109-127.
- Walker, D.** (2018). [Review of book Integrating project delivery, by M. Fischer, A.
Khanzode, D. Reed & H.W. Ashcraft]. *International Journal of*
Managing Projects in Business 11(2): 548–554. doi: 10.1108/IJMPB-
05-2018-166
- Wastiels, L. & Decuypere, R.** (2019). Identification and comparison of LCA-BIM
integration strategies. *IOP Conferences Series: Earth and*
Environmental Science 323, Sustainable Built Environment D-A-Ch
Conference, SBE19, Graz, Austria, September 11-14. Doi:
10.1088/1755-1315/323/1/012101
- Yuan, Z., Bi, J. & Moriguichi, Y.** (2008). The circular economy: a new development
Strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2). doi:
10.1162/108819806775545321
- Url-1** <[https://www.detail.de/en/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-](https://www.detail.de/en/de_en/passive-house-in-mini-format-modular-building-by-ir-arquitectura-33840)
building-by-ir-arquitectura-33840> Erişim tarihi: 04.02.2024
- Url-2** <<https://www.bamb2020.eu/>> Erişim tarihi: 10.02.2024
- Url-3** < [https://madaster.com/inspiration/engie-and-madaster-join-forces-to-combat-](https://madaster.com/inspiration/engie-and-madaster-join-forces-to-combat-waste/)
waste/> Erişim tarihi: 10.02.2024
- Url-4** <https://epdturkey.org/tr> Erişim tarihi: 19.05.2024





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Semin ERDEM

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans:** 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama (%100 İngilizce)
- **Lisans:** 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık

MESLEKİ DENEYİMLER

- 2017-2018: Proje Mimarı – Yüksel Proje
- 2019: BIM Mimarı – Prota Mühendislik
- 2020- Devam ediyor: Mimar - İstanbul Büyükşehir Belediyesi - Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı - Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR

- **Erdem, S., Çolakoğlu, M.B.** (2024). Yapı bilgi modellemesi uygulama planının döngüsel yapı tasarımı açısından ele alınması: raylı sistem projeleri örneği. *4. Yapı Fiziği Kongresi*. Yapı Fiziği Derneği, 2-3 Mayıs: İstanbul.

DİĞER YAYINLAR

- **Erdem, S., & Terzi, F.** (2024). Assessing public space complexity: a comparative study of waterfront areas in İstanbul's Bosphorus district. *Livenarch+ journal*, 1(1), 14-33.