



COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

Akıllı Şehir Rehberlik Uygulamaları Projesi

YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMASI

AKILLI ŞEHİR UYGULAMA REHBERLİK KILAVUZU

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

Tüm hakları saklıdır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın izni olmadan bu belgenin hiçbir kısmı elektronik ya da mekanik yollarla (fotokopi, kayıtların ya da bilgilerin arşivlenmesi, vs.) çoğaltılamaz.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı © 2024

YAPI BİLGİ MODELLEMESİ UYGULAMASI

Bu kılavuz, akıllı şehir uygulamalarından olan “Yapı Bilgi Modellemesi Uygulaması” yapmak isteyen kurum ve kuruluşlara, projenin geliştirme ve uygulama aşamalarında destekleyici rehber doküman olması amacıyla hazırlanmıştır.

Kılavuzda uygulamaya yönelik bir vaka üzerinden aşamalı ve detaylı olarak açıklama yapılmıştır.

Rehberlik kılavuzu ile uygulamanın projelendirilmesine ve fizibilite çalışmalarının yapılmasına destek olunması hedeflenmektedir.

1. Uygulamanın Tanımı

Akıllı şehirler, ulaşım, enerji, çevre, planlama gibi kentsel hizmet alanlarında bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak akıllı yöntemlerle altyapının iyileştirilmesi ve olası sorunların öngörülmesi ve çözümü için çalışan bir yapı topluluğudur. Akıllı şehirlerin oluşturulabilmesi için temel faktör, şehirlerdeki verilerin toplanabilmesi ve bu verilerin işlenebilmesidir. Bu amaçla çeşitli bilgi teknolojileri (IoT, CBS, nokta bulut tarama vb.) kullanılmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi ise yapıların dijital modellerinin oluşturulması, etkili bir bilgi alışverişinin sağlanması ve analiz süreçleri için kullanılan bir teknolojidir [1]. Akıllı şehirlerle ilgili çalışmalar ve Yapı Bilgi Modellemesi çalışmaları başlangıçta ayrı olarak yürütülmüş olsa da, son zamanlarda Yapı Bilgi Modellemesi'nin akıllı şehirlerin önemli bir unsuru olduğu düşüncesi ön plandadır.

1.1. Projenin Adı, Uygulama Yeri ve Süresi

- Yapı Bilgi Modellemesi projesinin hazırlık aşamasında ilk olarak projenin adı belirlenir.
- Proje adı belli olduktan sonra projenin uygulama alanı, büyüklüğü ve yapısı belirlenerek projenin ne kadar sürede biteceği planlanır.
- Proje uygulamaya alınmadan önce projenin tanıtıcı özeti olan Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamındaki Proje Fişi hazırlanır.

| Örnek Vaka | |
|----------------|---|
| Proje Adı | Yapı Bilgi Modellemesi Uygulaması Projesi |
| Uygulama Alanı | 1000 Ha yerleşim alanı – 200.000 kişi |
| Proje Süresi | 7 yıl |

Akıllı Şehir Proje Fişi, Akıllı Şehir Proje Yönetimi Standartları kapsamında hazırlanmış olup doküman www.akillisehirler.gov.tr adresinde yayınlanan Akıllı Şehir Bilgi Paylaşım Portalı'ndan erişilebilmektedir.

1.2. Proje Teknik Bileşenleri

Yapı Bilgi Modellemesine ait teknik bileşenler şunlardan oluşmaktadır:

- BIM yazılımları: YBM projesinde, yapı bileşenlerinin dijital modellerinin oluşturulması, düzenlenmesi ve analiz edilmesi için BIM yazılımları kullanılır. Bu yazılımlar, yapı bileşenlerinin geometrik modellerini oluşturma, özelliklerini tanımlama, veri girişi yapma ve analizler yapma gibi işlemleri gerçekleştirmeyi sağlamaktadır.
- Geometri modelleme: YBM projesinde, yapı bileşenlerinin geometrik modelleri oluşturulur. Bu modeller, yapı bileşenlerinin şekillerini, boyutlarını ve konumlarını dijital olarak temsil eder. Geometri modellemesi, yapı bileşenlerinin 3B modellemesi, katmanlar, boşluklar, bağlantılar ve diğer detayları içerebilir.
- Veri modelleme: YBM projesinde, yapı bileşenlerine ilişkin veri modelleri oluşturulur. Bu veri modelleri, yapı bileşenlerinin özelliklerini, malzeme bilgilerini, maliyet verilerini, zamanlamaları ve diğer ilgili bilgileri içerir. Veri modelleme, yapı bileşenlerinin ilişkilerini ve hiyerarşik yapısını tanımlayarak verilerin organize edilmesini sağlar.
- Veri yönetimi: YBM projesinde büyük miktarda veri yönetimi gerekmektedir. Bu veriler, yapı bileşenlerine, malzemelere, maliyetlere, zamanlamalara ve diğer ilgili bilgilere ilişkin verileri içerir. Veri yönetimi, veri tabanı sistemleri, veri entegrasyonu ve veri paylaşımı yöntemlerini kullanarak verilerin güvenli bir şekilde depolanmasını, güncellenmesini ve paylaşılmasını sağlar.

1.3. Proje Girdileri

Yapı Bilgi Modellemesine ait proje girdileri aşağıda sıralanmıştır:

- Projenin mimari, yapısal ve mekanik tasarımına ilişkin bilgiler, planlar, kesitler, detaylar ve spesifikasyonlar
- Projeye ait arazi, bina konumu, topografya, jeoloji gibi coğrafi veriler
- Bina veya yapı elemanlarının geometrik bilgileri, ölçüleri ve boyutları
- Kullanılacak malzemelerin türü, özellikleri, standartları ve performans verileri

- Yapıya ilişkin teknik şartnameler, yapı standartları ve yönetmelikler

1.4. Beklenen Çıktılar

Yapı Bilgi Modellemesine ait beklenen çıktılar şu şekildedir:

- Yapı Bilgi Modelleri üretilmesi
- YBM modelleri temel alınarak oluşturulan 2 boyutlu (2D) ve 3 boyutlu (3D) görsellerin oluşturulması
- Farklı disiplinlerin tasarımları bir araya getirilirken çakışmaların tespit edilmesine olanak sağlayan çakışma analizi raporlarının oluşturulması
- YBM modelleri, inşaat aşamasında kullanılacak iş planlarının oluşturulmasına olanak sağlar. Bu planlar, yapı bileşenlerinin sıralamasını, işçilik ve ekipman gereksinimlerini, zaman çizelgesini ve proje ilerlemesini içerir.
- YBM modelleri, yapı performans analizleri için kullanılabilir. Bu analizler, enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, yapısal analizler, akustik analizler ve diğer performans ölçütlerini içerir.

1.5. Projenin performans göstergeleri

Yapı Bilgi Modellemesi uygulamasının performans göstergeleri, projenin başarı seviyesini ölçmek için kullanılan ölçülebilir ve belirli hedeflerdir. Bu performans göstergeleri, Yapı Bilgi Modellemesi projesinin amaçlarına ulaşip ulaşmadığını değerlendirmek, etkinliğini ve verimliliğini ölçmek için kullanılır.

Performans göstergeleri aşağıda sıralanmaktadır:

- İnşaat sürecinde RFI (Bilgi Talebi) sayısının düşük olması
- İnşaat sürecinde değişiklik talimatı sayısının düşük olması
- Tasarım süresince çözülen çakışma sayısının yüksek olması
- Bina ve şehir enerji performansı ve diğer ilgili analizlerin doğruluk seviyesinin yüksek olması

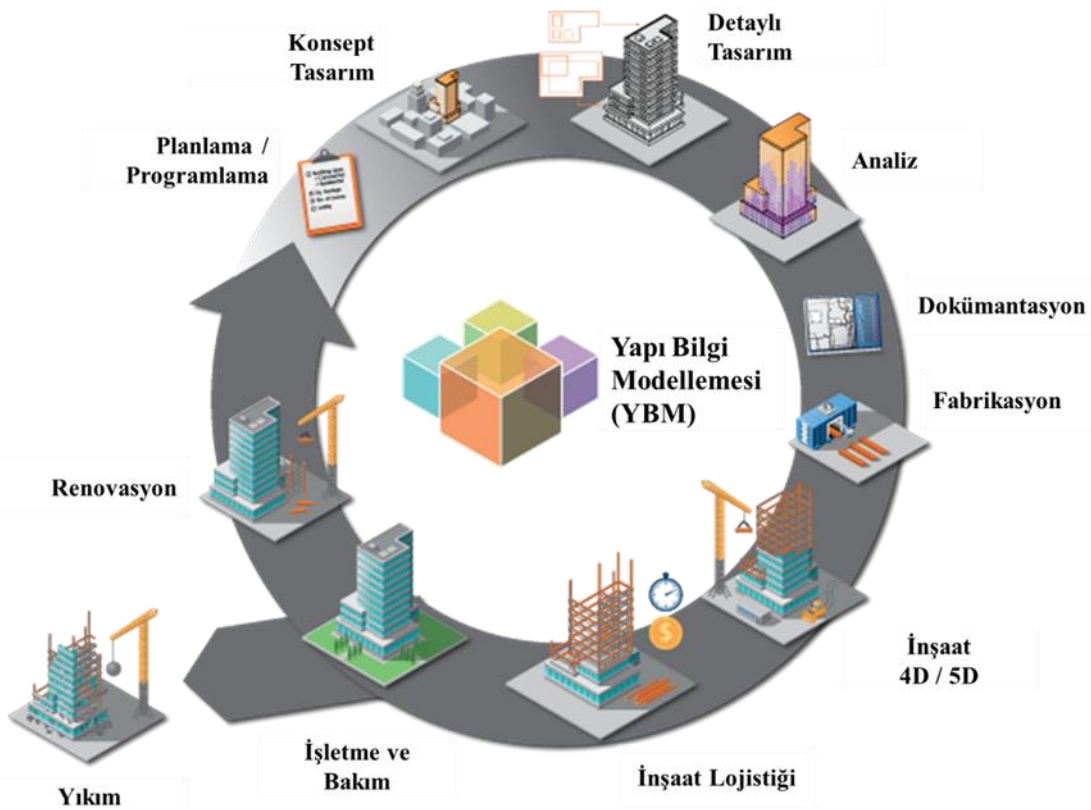
2. Proje Kapsamı ve Gerekçe

2.1. Proje Kapsamı

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) (Building Information Modelling, BIM), bina yaşam döngüsü yönetimine odaklanan bir yaklaşım olup, yapıyla ilgili doğru ve güncel veri elde etmeyi sağlamaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi tabanlı projelerde, yapıların gerçekçi ve hassas bir şekilde temsil edilmesi için geometrik

ve konumsal veri setleri kullanılır. Bu veri setleri, bina elemanlarını tanımlayan ve işlenebilir metaverileri içermektedir [2].

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) sürecinde, tasarım, inşaat ve kullanım aşamalarından elde edilen veriler entegre bir şekilde modele aktarılır (Şekil 1). Bu veriler, yapıya ait gerçek geometri, malzeme ve diğer parametreleri içermektedir. Dolayısıyla oluşturulan model, çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Model, 3B görselleştirme, çakışma analizi, koordinasyon, otomatik metraj, prefabrikasyon, iş programı entegrasyonu, 4B simülasyon oluşturma, enerji simülasyonları, sürdürülebilirlik analizleri ve tesis yönetimi gibi alanlarda kullanılabilir. Ayrıca, malzeme ve teknik donanımlar göz önünde bulundurularak hassas enerji sistem senaryoları oluşturulabilmekte ve yapı yaşam döngüsünün her aşamasındaki maliyetler hesaplanabilmektedir [3]. YBM, tekil yapıların simülasyonunda güçlü bir araç olarak öne çıkmakta, ancak şehir planlaması ve simülasyonu için YBM verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilmesi, yani uzamsal referanslı coğrafi verilerin ortak bir koordinat sistemiyle birleştirilmesi gerekmektedir[4].



Şekil 1. Yapı Bilgi Modellemesi'nin İnşaat Fazlarındaki Döngüsü [5]

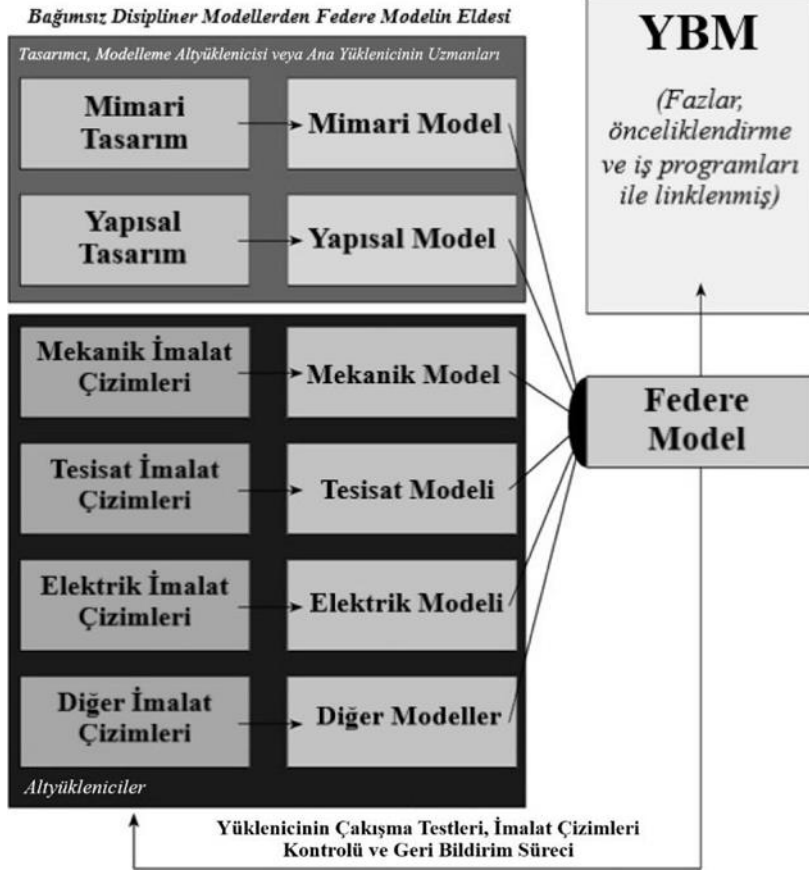
Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), nesneye dayalı (object-oriented) bir uygulamadır. Bu, bir YBM modelinde bulunan tüm öğelerin (kapı, duvar, kolon, mobilya, tesisat vb.) bağımsız olarak modellendiği ve bu öğelerin gerçek hayattaki karşılıklarının modele yansıtıldığı anlamına gelmektedir. YBM modelindeki her bir öğe, ayrı ayrı modellenir ve bu modellerden oluşan bir kütüphane oluşturulur.

Modelleme sürecinde, öğeler bu kütüphaneden alınarak kullanılır, böylece tekrar eden her öge için veriler tek bir kaynaktan gelir ve modelin genelinde bir bütünlük sağlanır.

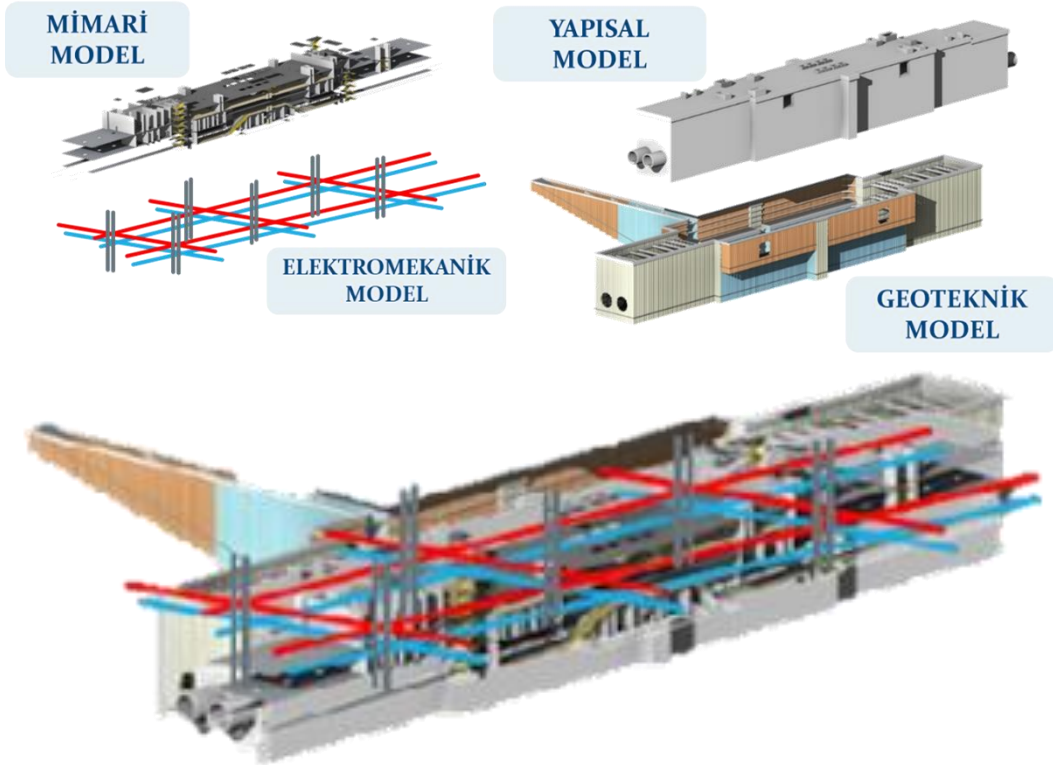
Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulaması, çok parçalı bir yapıya sahiptir ve aşağıdaki öğelerden oluşmaktadır:

- YBM Modelleri: Yapıların sanal temsilleri olan YBM modelleri, yapı bileşenlerini ve ilişkilerini içerir.
- Planlama: Yapı projelerinin başlangıcından sonuna kadar süren planlama sürecini kapsar.
- Koordinasyon: Yapı bileşenlerinin ve paydaşların birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar.
- İmalat Verileri: Yapıların inşasıyla ilgili verileri içerir ve imalat sürecinin yönetimini destekler.
- Geçmiş Bilgi Birikimi: Yapıların geçmişine dair verilerin saklandığı ve gelecekteki projelerde kullanılması için arşivlenen bilgileri içerir.
- Dokümantasyon: Yapı projeleriyle ilgili dokümanların oluşturulması, depolanması ve yönetilmesini sağlar.
- Bilgi Paylaşımı: Yapı bilgilerinin paylaşılması ve ilgili paydaşlar arasında iletişimin sağlanmasını destekler.

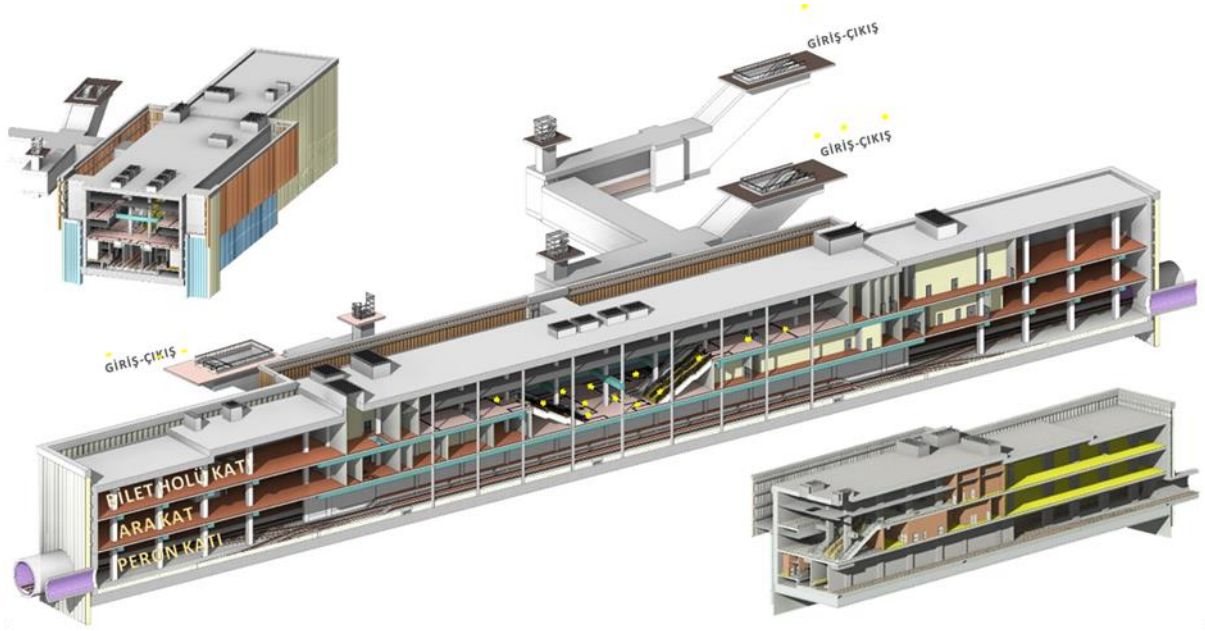
Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulamasının başarılı olabilmesi için farklı disiplinler tarafından oluşturulan YBM modellerinin uyumlu bir şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. Bu modeller, her disiplin için ayrı ayrı tasarlanmalı ve ardından birleştirilerek "federe model" adı verilen ana model oluşturulmalıdır (Şekil 2). Federe model, tüm disiplinlere ait veri ve parametreleri içinde barındırır. Örneğin, Dudullu - Bostancı Metrosu projesi için disiplinler modellerin birleşmesiyle oluşan federe modelin sembolik temsili Şekil 3 ile verilmektedir. Aynı şekilde, Dudullu - Bostancı Metrosu Kayışdağı İstasyonu için hazırlanan federe model de Şekil 4'te yer almaktadır.



Şekil 2. Bağımsız Disipliner Modellerden Federe Model Elde Edilmesi Akış Şeması [6]



Şekil 3. Disipliner Modeller (üst) ve Federe Model (alt) Temsili Görselleri

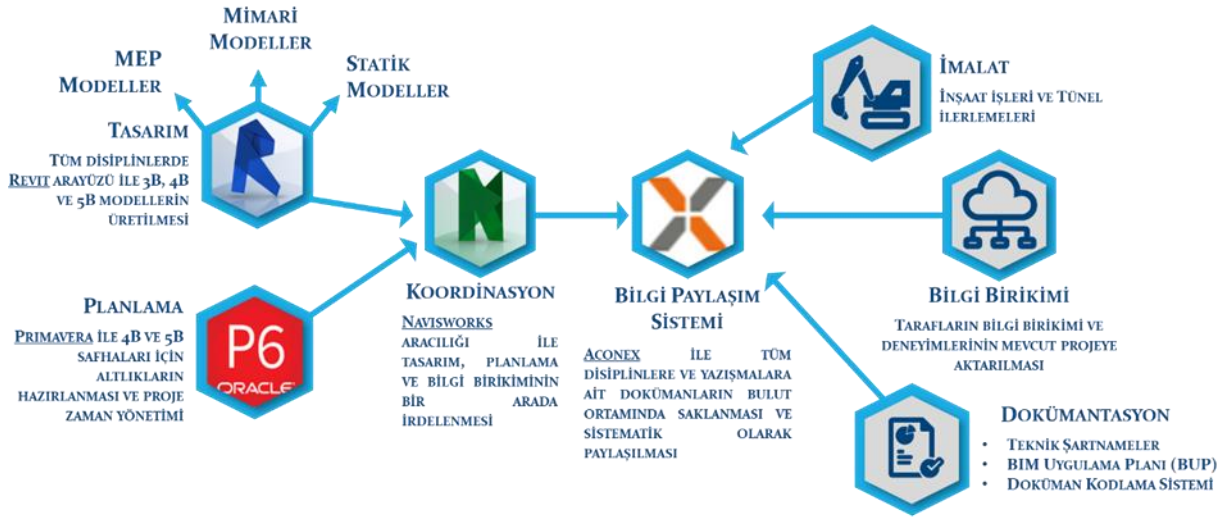


Şekil 4. Dudullu – Bostancı Metrosu Kayışdağı İstasyonu Örnek Federe Modeli

Federe modelin oluşturulmasıyla birlikte Yapı Bilgi Modellemesi'nin modelleme aşaması tamamlanır. Ardından, federe model üzerinde çakışma analizi ve koordinasyon çalışmaları gerçekleştirilir. Bu aşamada çeşitli yazılımlardan faydalanılır. Modeller, koordinasyon çalışmalarının sonuçlarıyla birlikte geçmiş bilgi birikimi, imalat ve teknik şartnameler, standartlar, mevzuatlar gibi dokümanlarla birlikte ortak veri ortamı üzerinde toplanır (Şekil 5). Yapılan açıklamaların bir örneği Dudullu - Bostancı Metrosu'ndan alınmış olup Şekil 6'da Yapı Bilgi Modellemesi ve Ortak Veri Ortamı için bir örnek şema bulunmaktadır.



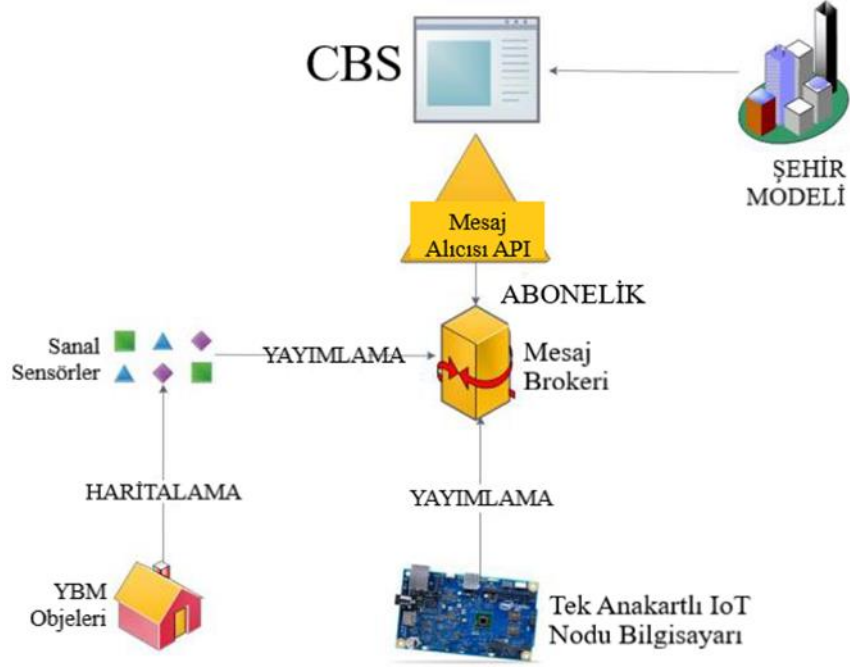
Şekil 5. Ortak Veri Ortamı Şeması



Şekil 6. Dudullu – Bostancı Metrosu Ortak Veri Ortamı (Bilgi Paylaşım Sistemi) İşleyiş Şeması

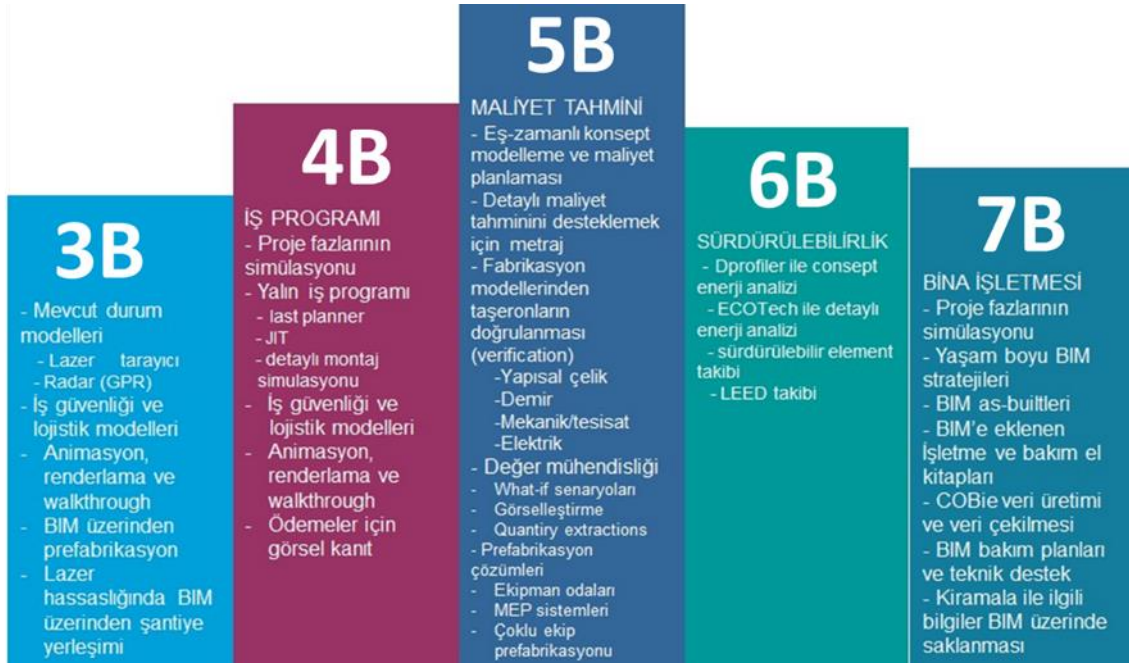
Üretilen YBM, yalnızca CBS veya yalnızca IoT (Nesnelerin interneti) ile entegre edilebilir. Ancak, akıllı kent amacına en üst seviyede katkı sağlamak için Yapı Bilgi Modellemesinin CBS ve IoT ile birleşik bir şekilde entegre edilmesi önerilmektedir. Bu entegrasyonun bir örneği, Isikdag (2015) tarafından Şekil 7’de gösterilen sistemle sağlanabilir [65]:

- Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile yapılan haritalama aktiviteleri, sanal sensörlerle entegre edilerek gerçek dünya verileriyle zenginleştirilmesi
- IoT sensörleri, YBM ile eşleştirilmiş sanal sensörlerin verilerinin Mesaj Brokeri ara yüzü üzerinden yayımlanması
- Mesaj Brokerinin YBM ile entegre edilmiş IoT verilerini toplayarak Mesaj Alıcısı API'ye abonelik yoluyla periyodik olarak iletmesi
- Mesaj Alıcısı API'ye iletilen verilerin API tarafından Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) aktarılması
- CBS'ye veri aktarımı ile tüm faktörlerin entegrasyonu tamamlanması ve kapsamlı 3D şehir modelinin oluşturulması



Şekil 7. YBM – IoT – CBS Entegrasyonu Şeması [65]

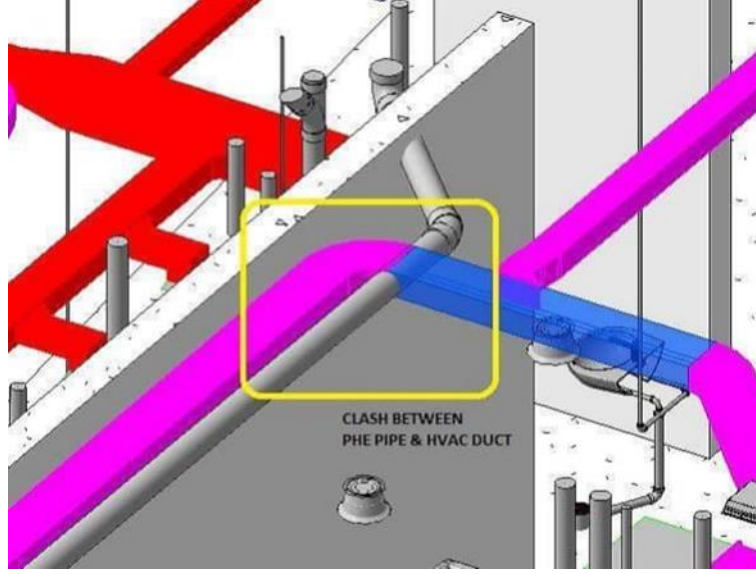
Yapı Bilgi Modellemesinin (YBM) literatürde tanımlanmış beş seviyesi bulunmaktadır (Şekil 8) [6]. En temel düzeyde, 3B yapı modeli olarak adlandırılan bir YBM modeli vardır. Bu model temel tasarım ve inşaat verilerini içermektedir ve görselleştirme amacı gütmektedir. İş programının eklenmesiyle 4B seviyesi, maliyet tahmini için gerekli verilerin eklenmesiyle de 5B seviyesi YBM modelleri oluşturulur. 6B seviyesinde ise enerji analizleri ve yeşil bina konseptleri dahil edilerek sürdürülebilirlik modelleri oluşturulur. 6B modelin tesis yönetimine uygun hale getirilmesiyle 7B düzeyinde bir YBM modeli elde edilir ve bu modelle yapının tüm işletme ve bakım süreçleri yönetilebilir, ayrıca yıkım süreçleri de yönetilebilir.



Şekil 8. Yapı Bilgi Modellemesi Boyutları [6]

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kapsamında, özelleştirilmiş çeşitli uygulamalar gerçekleştirilebilir. Bu uygulamalardan biri, imalat iş programının YBM modeliyle entegre edilmesiyle elde edilen 4B YBM modeli üzerinden imalat süreçlerinin sanal ortamda görsel simülasyonunun gerçekleştirilmesi ve iş programının optimizasyonunun sağlanmasıdır. Daha sonra maliyet verilerinin girilmesiyle 5B düzeyinde bir YBM modeli elde edilebilir ve maliyetin zaman içindeki dağılımı yine görselleştirilebilir ve optimize edilebilir.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile gerçekleştirilebilecek bir diğer uygulama, çakışma testi veya analizidir (clash test/analysis). Çakışma analizi, birden fazla modelin istenen hassasiyet seviyesinde sanal ortamda birbirleriyle karşılaştırılarak bu modeller arasındaki uyumsuzlukların noktasal olarak tespit edilmesini ve görsel, yazılı ve konumsal olarak raporlanmasını sağlamaktadır (Şekil 9). Bu analiz, bina ölçeğinde yapılabilirken, aynı zamanda bina ile kentsel altyapı arasındaki ilişkinin gözlemlenmesi için de uygulanabilir. Örneğin, YBM ile modellemiş bir binanın temelini, yine YBM ile modellemiş olan bina altından geçen enerji hattıyla çakışıp çakışmadığı, çakışma analizi sayesinde sanal olarak kolayca ve kısa sürede kontrol edilebilir.



Şekil 9. Sıhhi Tesisat Borusu ile Havalandırma Kanalı'nın Çakışması

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile ilgili önemli bir kavram, Detay/Gelişmişlik Seviyesi (Level of Development, LOD)'dir. LOD, bir YBM modelindeki tüm öğelerin, hangi aşamada hangi detay seviyesinde tanımlanacağını belirleyen bir sınıflandırma yöntemidir. YBM bağlamında LOD, LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400 ve LOD 500 olmak üzere altı temel seviyede kullanılır [7]. Bu seviyelerin tanımları ve görsel temsilleri Tablo 1'de yer almaktadır [8]. LOD seviyeleri, yapı yaşam sürecinin farklı aşamalarını göz önünde bulundurarak belirlenmiştir. Proje sürecinde genellikle LOD 100, LOD 200 ve LOD 300 tasarım aşamasında; LOD 300, LOD 350 ve LOD 400 inşaat aşamasında; LOD 500 ise tesis yönetimi aşamasında kullanılır. Ancak bu dağılımlar proje ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Genel olarak, LOD 100 konsept ön proje, LOD 200 avan proje, LOD 300 ve LOD 350 uygulama kesin proje ve ihale dokümantasyonu, LOD 400 uygulama projeleri ve LOD 500 as-built projeler ve tesis yönetiminde kullanılır (Şekil 10). Proje kapsamında oluşturulan öğeler, yapı yaşam süreci boyunca kaynak öğeler değiştirilmeden sadece detay seviyesi artırılarak geliştirilir, böylece modelleme ve veri kaynaklarında bütünlük sağlanır. Her aşamadaki LOD seviyelerinin projenin başlangıcında ihtiyaçlara göre belirlenmesi ve belirlenen seviyelerin proje sürecinde planlandığı şekilde uygulanması önemlidir.

Tablo 1. Yapı Bilgi Modellemesi Gelişmişlik Seviyeleri ve Tanımları [8]

Görsel Temsil

LOD Seviyesi ve Tanımı



LOD 100: Model Ögesi, Modelde bir sembol veya başka bir genel temsil ile grafiksel olarak gösterilebilir, ancak LOD 200 için gereksinimleri karşılamaz. Model Ögesiyle ilgili bilgiler (örneğin birim maliyet, HVAC tonajı vb.) diğer Model Ögelerinden türetilmiştir.



LOD 200: Model Ögesi, Model içinde grafiksel olarak yaklaşık nicelikler, boyut, şekil, konum ve yönelimle genel bir sistem, nesne veya montaj olarak temsil edilir. Grafik olmayan bilgiler de Model Ögesine eklenebilir.



LOD 300: Model Ögesi, Model içinde miktar, boyut, şekil, konum ve yön açısından belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edilir. Grafik olmayan bilgiler de Model Ögesine eklenebilir.



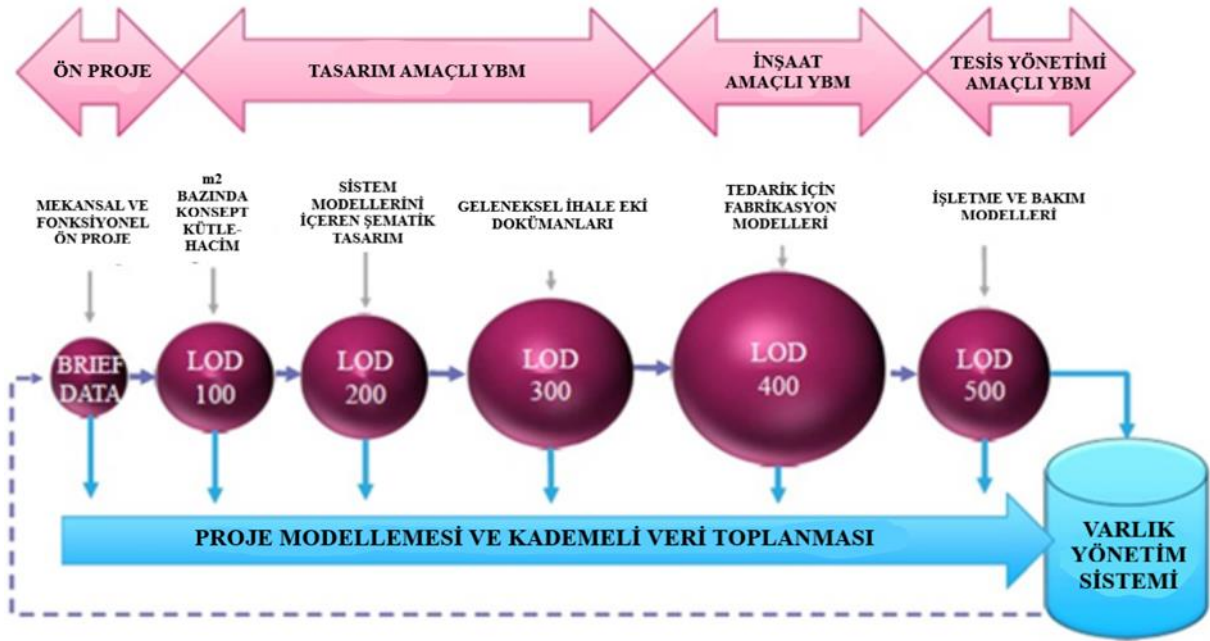
LOD 350: Model Ögesi, Model içinde nicelik, boyut, şekil, konum, yönelim ve diğer bina sistemleriyle arayüzler açısından belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edilir. Grafik olmayan bilgiler de Model Ögesine eklenebilir.



LOD 400: Model Ögesi, Model içinde boyut, şekil, konum, miktar ve yönelim açısından detaylandırma, üretim, montaj ve kurulum bilgileriyle belirli bir sistem, nesne veya montaj olarak grafiksel olarak temsil edilir. Grafik olmayan bilgiler de Model Ögesine eklenebilir.



LOD 500: Model Ögesi, boyut, şekil, konum, miktar ve yön açısından sahada doğrulanmış bir temsildir. Grafik olmayan bilgiler de Model Ögelerine eklenebilir.



Şekil 10. Yapı Yaşam Döngüsünde YBM'ye Ait LOD Seviyelerinin Dağılımı [6]

Dijital İkiz (Digital Twin)

Dijital İkiz, gerçek dünyadaki nesnelerin, süreçlerin ve sistemlerin kapsamlı ve çok boyutlu bir dijital kopyasıdır [9]. Çok fazla tanımı bulunan Dijital İkiz kavramının Bolton ve diğerleri (2018) tarafından yapılan tanımına göre, Dijital İkiz, "doğal veya yapay bir ortamda bulunan varlıkların, süreçlerin veya sistemlerin gerçekçi bir dijital temsili" olarak tanımlanmaktadır [10]. Hamer ve diğerleri (2018) ise dijital ikizi, dijital ve fiziksel varlıkları birbirine bağlayan, en az bir yönde veri aktaran ve fiziksel sistemi gerçek zamanlı olarak kontrol eden bir model olarak tanımlamaktadır [11]. Dijital ikizler farklı ölçeklerde oluşturulabilir ve çeşitli amaçlar için kullanılabilir, ancak hepsi veriye dayanmaktadır [10]. Dijital İkiz oluşturmanın ilk adımı, Yapı Bilgi Modeli'nin (YBM) oluşturulmasıdır. Bu model, planlama ve tasarım aşamasında oluşturulur ve inşaat sürecinde güncellenerek işverene sunulur. Ayrıca, mevcut çizimler kullanılarak ve gerekli parametreler girilerek yapının tesis yönetimi aşamasında da oluşturulabilmektedir. YBM modeli, IoT ve diğer teknolojilerle entegre edilerek dijital ikize dönüştürülmekte ve fiziksel binadan gelen verilerle sürekli olarak beslenerek fiziksel yapının anlık durumunu temsil etmektedir. Dijital İkizler, sensörler, geniş ölçekli veri depolama ve algoritmik işlemlerden oluşan dijital kontrol ve yönetim sistemleri temelinde çalışmaktadır [12]. Yapay zekâ, makine öğrenimi ve mantıksal veri analizi gibi teknolojiler kullanılarak, öğrenen ve fiziksel eşindeki değişiklikleri çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerle güncelleyebilen dinamik dijital modeller oluşturulmasını sağlamaktadır [13].

Dijital İkiz kavramı, ortaya çıktığı zamandan bu yana kendine özgü bir çalışma alanı oluşturarak genişlemiştir. Bu alanda belirlenen faydalar aşağıda özetlenebilir:

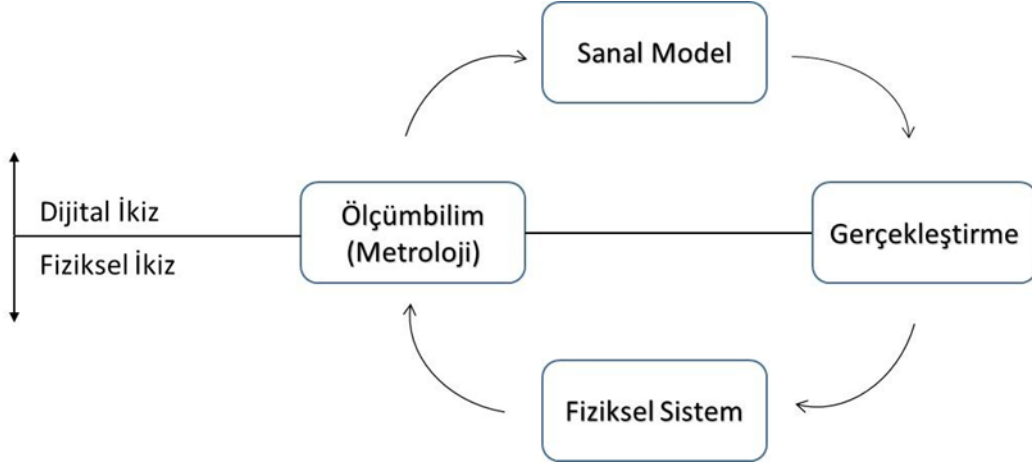
- Tasarım sürecinde simülasyon ve modelleme kullanarak tasarım kararlarının değerlendirilmesi [14]
- Mevcut ürünlerin performansı ve kullanımına dayalı olarak veriye dayalı tasarımın, rasyonel tasarımı bilgilendirmek ve desteklemek için kullanılması [14]
- Verimlilik takibi (health monitoring) ve optimizasyon için performans tahmini [15]
- Dijital ikiz modeli, tam sökme ve onarım için gereken malzeme ve montaj talimatlarını içerdiği için geliştirilmiş geri dönüşüm ve yenileme imkânı sağlamaktadır [16].

Şehir dijital ikizleri, kentsel modellemenin yeni nesil bir kavramı olarak çeşitli dijitalleştirme trendleri sayesinde yapılı çevre ve ötesindeki erişilebilir veriyi kullanılabilir hale getirmektedir. Şehir dijital ikiz modelleri, fiziksel şehir sistemlerinin varlıklarının ve süreçlerinin dijital bir temsilini sağlayarak karar verme süreçlerine yardımcı olmak için dijital simülasyon ve yönetim ortamı sunmaktadır [10].

Dijital İkiye dönüşüm süreci, sanal ortamdan fiziksel ortama veya fiziksel ortamdan sanal ortama, gerçekleştirme yöntemleri veya ölçümbilim (metroloji) yoluyla, sanal veya fiziksel bir nesne olarak başlar. Bu sürecin döngüsü Şekil 11’de gösterilmekte olup döngüde yer alan terimlerin tanımları Tablo 2’de bulunmaktadır [17]. İkizleştirmenin temel faydaları, gerçekleştirme ve ölçümbilim aşamalarında artan doğruluk, artan uyumluluk, azalan zaman maliyeti ve azalan iş yüküdür. Algılama ve üretim teknolojileri aracılığıyla bu aşamaların azaltılması, sistemlerin davranışını ve performansını ayrıntılı olarak anlamak için yüksek doğruluklu simülasyonların kullanılmasını ve bu sistemlerin detaylı gözlemine dayalı olarak hızlı müdahale ve optimizasyonu mümkün kılmaktadır.

Tablo 2. Dijital İkiz Döngüsü Tanımları [17]

| Terim | Tanım |
|-------------------------------------|---|
| Sanal (Virtual) | Fiziksel bir ürünün hem mikro hem de makro düzeyde doğru olan eksiksiz bir sanal açıklaması. |
| Gerçekleştirme (Realization) | Ürünün sanal açıklamasını fiziksel karşılığa dönüştürme araçları. Üretim, harekete geçirici faktörler (ör. Elektronik motorlar) ve insan etkileşimi (ör. Hatalı bir bileşenin değiştirilmesi) yoluyla elde edilir. |
| Fiziksel (Physical) | Devam etmekte olan tasarımın somutlaştırılmış fiziksel ve işlevsel tanımları. |
| Ölçümbilim (Metroloji) | Fiziksel ürünün gerçek zamanlı durumunu kullanarak sanal açıklamayı güncelleme aracı. Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri, mühendislik ölçümleri (örneğin lazer taraması) ve örnekler için kullanıcı geri bildirimini aracılığıyla elde edilir. |

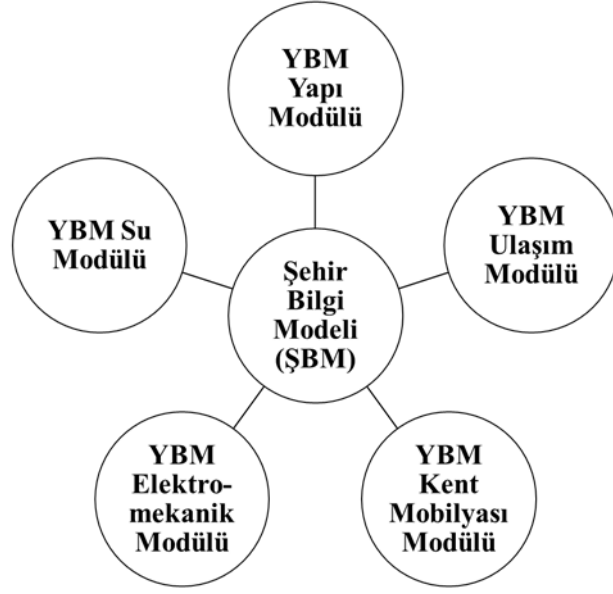


Şekil 11. Dijital İkiz Döngüsü [17]

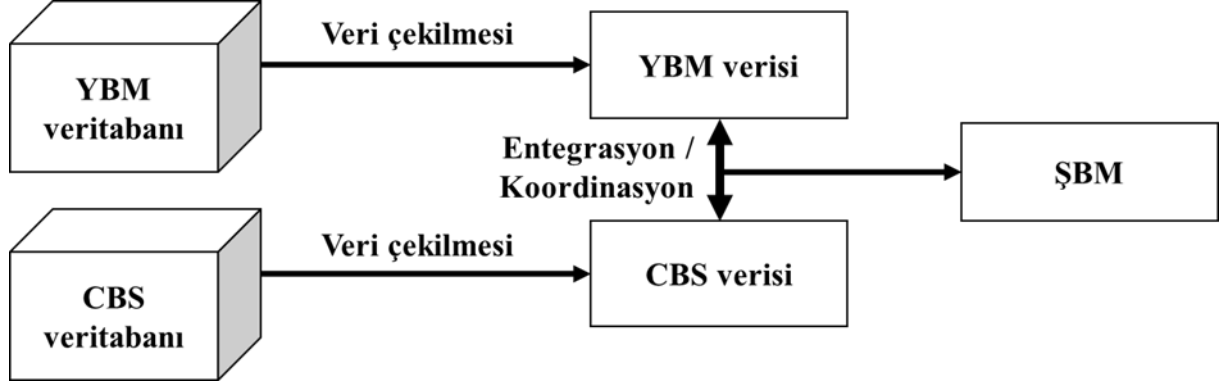
Şehir Bilgi Modellemesi (ŞBM) (City Information Modelling, CIM)

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile geliştirilebilecek çeşitli projeler ve bu projelerden elde edilen gerçek zamanlı veriler, şehir planlaması ve halka yönelik kullanım ve ihtiyaçlar için birçok fırsat sunulmaktadır. YBM ile modellenmiş yapıların verilerinin daha geniş ölçekli şehir planlama ve geliştirme süreçlerine aktarılması kavramı, literatürde Şehir Bilgi Modellemesi (ŞBM) olarak adlandırılmaktadır. YBM ve ŞBM, akıllı şehir geliştirme stratejilerine katkı sağlayan yöntemler olarak tanımlanmaktadır [18]. ŞBM, YBM ve CBS'nin entegrasyonu, şehir modellemesine bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır [19].

Xu ve diğerleri (2014), Şehir Bilgi Modellemesi (ŞBM) modellerini 5 Yapı Bilgi Modeli (YBM) modülünde incelemektedir: (1) Yapı Modülü, (2) Ulaşım Modülü, (3) Kent Mobilyası Modülü, (4) Elektromekanik Modülü, (5) Su Modülü (Şekil 12). Önerilen ŞBM yapısında, öncelikle tüm modüller, YBM ile bilgi taşıyan modeller olarak oluşturulmakta, ardından CBS ile koordine edilerek şehir modelindeki konumlarına yerleştirilmektedir. ŞBM oluşturulmasında benzer farklı yaklaşımlar kullanılsa bile, temel olarak bir ŞBM modeli, YBM modellerinden gelen verilerle CBS verilerinin koordinasyonu ve en az bir yönlü düzenli veri aktarımıyla oluşturulmaktadır (Şekil 13).



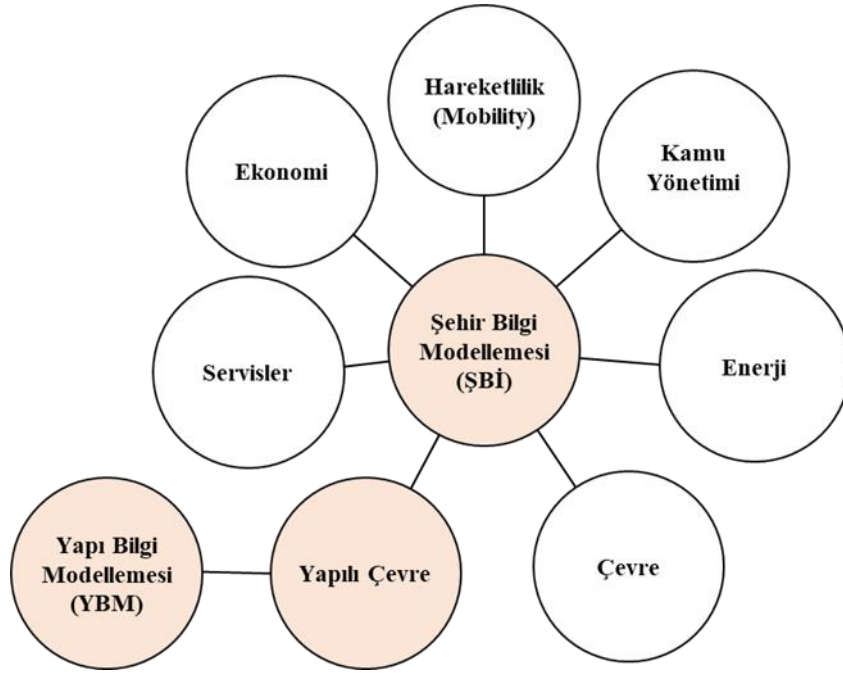
Şekil 12. Şehir Bilgi Modellemesi için Önerilen YBM Tabanlı Modüller [19]



Şekil 13. Şehir Bilgi Modellemesi Veri Akışı [19]

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), bina ve yapıların modellemesine dayandığı için bu iki teknolojinin veri entegrasyonunun karşılıklı fayda sağlayacağı ve 3D şehir modellemesinin geleceği için önem taşıdığı genel olarak kabul edilmektedir [20]. YBM'nin yapılı ortama ait taşıdığı veriler, Şehir Bilgi Modellemesi'nin diğer bileşenlerine gerçek zamanlı ve hassas destek sağlayabilmektedir (Şekil 14). Detaylı YBM verileri ve binaların iç mekân bilgileri CBS'ye aktarılabilir. Dolayısıyla, mevcut modeli tekrar oluşturma zorunluluğu ortadan kalkarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca, CBS'nin kapsamlı ve erişilebilir yapısı, YBM verilerine bağlam ve coğrafi referanslama konusunda destek sağlayarak tasarımcıların ve yöneticilerin yapının çevre ile ilişkisini anlamalarını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra, YBM ve CBS verilerinin entegrasyonu, hava kalitesi, gürültü, altyapı dağılımları gibi birçok mekansal analizi mümkün kılmaktadır [20]. CBS ve YBM, hava koşulları, kentsel geometri ve binaların özellikleri arasındaki dinamik ilişkilerin araştırılmasına yardımcı olabilmektedir. Bu durum, enerji optimizasyonu açısından kentsel planlama ve bina tasarımında ilerlemeyi mümkün kılmaktadır. Niu ve diğerleri (2015), binalar

ve kentsel ölçekte enerji tüketimini görselleştirmek ve incelemek için web tabanlı bir YBM-CBS sistemi geliştirmiştir [70]. Castro-Lacouture ve diğerleri (2014), mahalle ölçeğinde enerji tüketimini iyileştirmek için alg temelli bir enerji üretim sistemi hakkında kavramsal bir CBS-YBM çerçevesi sunmuştur [68].



Şekil 14. Şehir Bilgi Modellemesi Bileşenleri [21]

2.2. Proje Gerekçesi

Bir kentin en üst düzeyde akıllı hale gelebilmesi için, tekil yapılarla ilgili mimari, yapısal, elektromekanik, altyapısal, jeoteknik gibi verilerin bir arada toplanması ve bu verilerin kent yönetimi, planlaması ve inşasında söz sahibi tüm paydaşlara açık bir şekilde depolanması önemlidir. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulamasıyla şunlar amaçlanmaktadır:

- Konut ve diğer yapı tasarımlarında hata payını en aza indirerek, tasarım ve inşaat aşamalarında maliyet ve zaman tasarrufu sağlanması [23];[24];[25];[26];[27];[28];[29]
- Tekil binalardan elde edilen enerji, yapım yöntemi, jeoteknik, maliyet gibi verilerle bölge genelinde bir veritabanının oluşturulması [25];[30];[26];[31];[32]
- Oluşturulan veritabanının potansiyel olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) faktörleriyle entegre edilerek genişletilmesi ve işlevselliğinin artırılması [25];[30];[26];[31] ve bu veritabanıyla planlama, geliştirme ve uygulama aşamalarının verimliliğinin artırılması [33];[26];[27]
- Tekil binalardaki en küçük kullanım birimi düzeyinde toplanan enerji ve su verileriyle enerji ve doğal kaynak üretim ve kullanım veriminin artırılması [34];[35];[36];[37];[38];[39]

- Tasarım aşamasında tekil yapılar ve yapı gruplarına uygulanacak enerji ve kaynak analizleriyle sürdürülebilir yapılar üretilmesi [40];[24];[25];[26];[41];[42];[38];[39];[43];[44]
- Yerel yönetimde ve tasarım/inşaat süreçlerinde paydaşlar arasında karar alma mekanizmalarının kolaylaştırılması ve hızlandırılması [37];[32]
- YBM'nin hızlı alternatif üretimini kolaylaştırması ile birlikte farklı departmanlara ait mimari, yapısal, elektromekanik gibi alternatiflerin hızlıca üretilip değerlendirilerek optimum kalitenin elde edilmesi [26];[28]
- Gelecekte yapılacak gelişim ve dönüşüm çalışmalarında oluşturulan veritabanındaki istatistikler ve alınan kararlar sonucunda ortaya çıkan fayda ve zararların değerlendirilmesiyle yüksek kaliteli ve verimli şehirleşmenin teşvik edilmesi [27];[39].

Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) şehir planlaması ve gelişimi için daha fazla fayda sağlayabilmesi için akıllı şehir stratejilerinden yararlanılması olumlu etkiler yaratacaktır. YBM ile modellenmiş bir yapıdan elde edilen verilerin daha geniş kapsamda şehir planlamasıyla ilişkilendirilmesi, akıllı şehir kavramının gelişimine olanak tanımaktadır [18]. Hem tekil binalarda hem de bölgesel ölçekte veri depolayabilen ve işleyebilen YBM modelleri ile akıllı kent uygulamalarında başarı ve verimlilik oranının artacağı düşünülmektedir. Çünkü YBM'nin sadece bir teknolojiden ibaret olmadığı, teknolojiyle desteklenen ve verimli varlık yönetimini sağlayan bir süreçler bütünü olduğu literatüre geçmiştir [22].

Akıllı şehirler bağlamında, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) bütünlüğü söz konusudur ve birbirlerinden ayrı düşünülemezler. YBM'nin tekil veya sınırlı bölgelerde depolayıp işleyebildiği verilerin CBS'de bir araya getirilmesi, YBM modellerinden bağımsız yapı birimlerinin iç mekan, dış mekan, teknik özellikler ve çevre etkileşimi bilgilerinin CBS'nin doğal kaynaklar, kamusal veriler, çevresel veriler, topoğrafya, doğal afet senaryoları, iklim gibi verileriyle birleştirilerek dinamik ve akıllı bir şehir modeli oluşturulması sağlanmaktadır. Ma ve Ren (2017) tarafından yapılan bir literatür taraması çalışmasında, akıllı şehir uygulamaları kapsamında YBM ve CBS'nin birleştirildiği birçok çalışma olduğu gözlenmiştir [69]. İnceleme yapılan 41 örnek çalışmanın 22'sinde (%53.7), YBM modellerinden CBS'ye tek yönlü veri aktarımı yapıldığı, 13'ünde (%31.7) ise YBM ve CBS arasında karşılıklı veri aktarımının gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Kalan örneklerden 2'sinde CBS'den YBM modellerine tek yönlü veri aktarımı, 4 çalışmada ise herhangi bir veri paylaşım yöntemi belirtilmemiştir. Bu nedenle, günümüzde YBM ve CBS işbirliğinde yaygın olarak YBM'den CBS'ye tek yönlü veri aktarımının olduğu görülmektedir, ancak YBM modelleri ile CBS arasında iki yönlü veri aktarımı da olasıdır. Aynı çalışmada, YBM ve CBS entegrasyonunun en çok yapı yaşam döngüsünün işletme ve bakım aşamasında, yani tesis yönetiminde fayda sağladığı tespit edilmiştir.

2.3. Mevcut Durum

Proje konusu ile ilgili dünyada mevcut durumun tespiti

- Yapı Bilgi Modellemesine yönelik dünyadaki güncel trendler incelenir.
- Bu trenlere bağlı güncel teknoloji, yazılım, otomasyon, ekipman, yapı, ürün vs. incelenir.

Proje konusu ile ilgili Türkiye’de mevcut durumun tespiti

- Türkiye’deki mevcut Yapı Bilgi Modellemesine yönelik alt ve üst yapı uygulamaları incelenir.
- Proje için gerek duyulan alanlarda hizmet alınabilecek firmalar belirlenir.

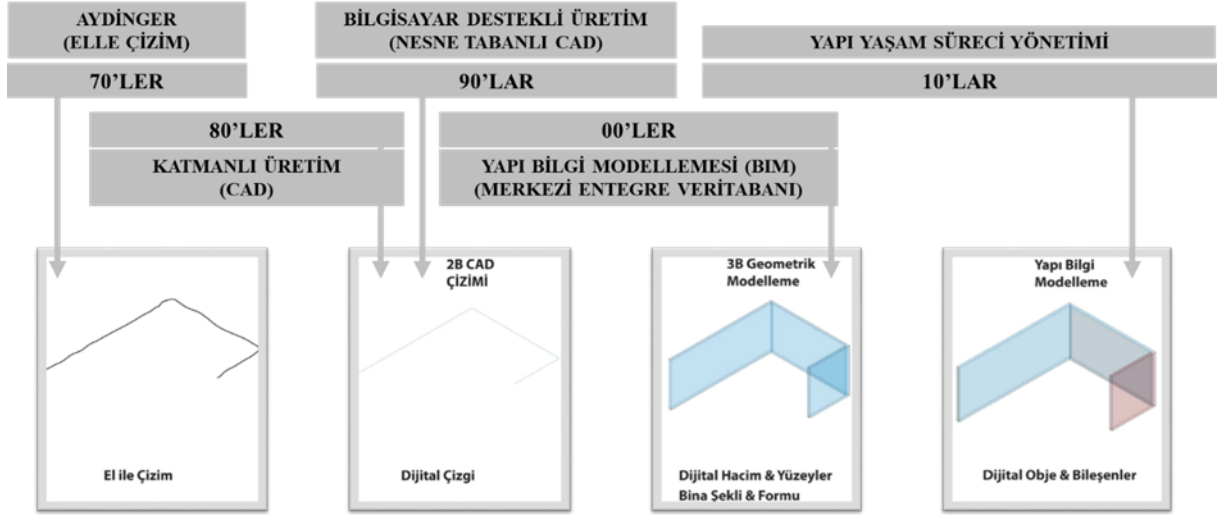
Daha önce yapılan çalışmaların başarı-başarısızlık durumlarının tespiti

- Bu uygulamaları gerçekleştiren kurum ve firmalarla bilgi-tecrübe-fikir alış verişi yapılır.
- Başarılı süreçler arasında kıyaslama yapılarak bölge için en uygun teknoloji, yapı, ekipman, otomasyon, yöntem ve ürün belirlenir.
- Süreç içerisindeki karşılaşılan olumlu ve olumsuz durumlara dair bilgi notları hazırlanır ve bilgi havuzuna eklenir.

Literatür Araştırması

Literatür araştırması kısmı, bu projeyi uygulayacak kurum ve kuruluşlara mevcut durum hakkında bilgi vermek ve konu hakkında fikir sahibi olmalarını sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

Dijital yapılı çevre üretimi, 1980’lerde ortaya çıkan Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design, CAD) teknolojisi ile elle çizimlerin terk edilmesiyle başlamıştır. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ise milenyum ile birlikte ortaya çıkmış ve günümüzdeki şeklini almaya başlamıştır. YBM, yapı sektörü ve teknoloji sektörü tarafından sürekli olarak ihtiyaçlara yönelik geliştirilmekte ve 2010’lu yılların başında YBM’nin boyutları genişlemiştir. Bu sayede YBM, yapıların tüm yaşam döngüsünü kapsayacak hale gelmiştir (Şekil 15).

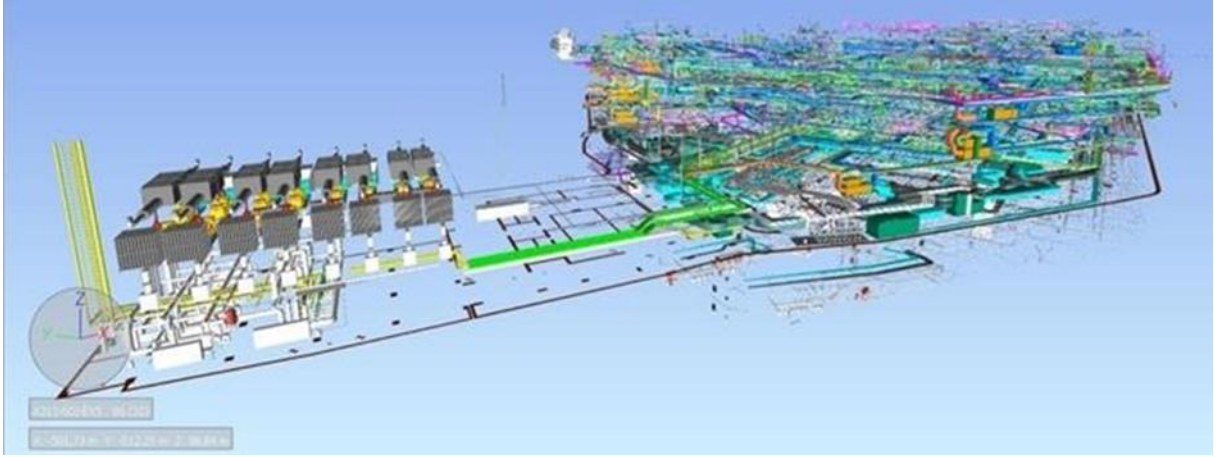


Şekil 15. Yapı Bilgi Modellemesi Kronolojik Tarihi

Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM), 2015 yılından itibaren İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Daire Başkanlığı tarafından tüm tasarım ve inşaat hizmetlerinde kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. İstanbul Yeni Havalimanı projesi de YBM kullanılarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu modellerin tesis yönetiminde kullanılabilmesi için İGA tarafından çalışmalar yürütülmektedir. Ayrıca, Finanskent projesi ve özel sektördeki diğer projelerde de YBM kullanılmaktadır. EMAAR Square tesisinin tasarım ve inşası da YBM kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 16 ve Şekil 17).



Şekil 16. EMAAR Square Yapısal YBM Modeli



Şekil 17. EMAAR Square Elektromekanik YBM Modeli

Akıllı şehir stratejileri üzerine yapılan araştırma, Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) şehir ölçeğinde kullanımıyla ilgili genel olarak bir farkındalık olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, genel olarak BIM teknolojisini kullanan şehirlerde YBM'nin şehir planlaması ve gelişimi için kullanılmasıyla ilgili bir girişim veya strateji olmadığı görülmektedir [18]. Bu araştırma, CDBB'nin Kentsel Planlama ve YBM raporunda [67] belirtilen şehir planlaması paydaşlarının YBM'nin kullanımına dair bir vizyon eksikliğine işaret eden sonuçlarıyla da uyumludur.

Dünya'daki mevcut durum

İngiltere

Mart 2016'da, Dijital Yapılı Britanya (Digital Built Britain, DBB) stratejisi duyurulmuştur. Bu strateji, yapıların ve şehirlerin yaşam maliyetlerini azaltmayı, düşük karbon salınımını teşvik etmeyi ve Yapı Bilgi Modellemesi Seviye 3 ile üretilen akıllı bina modelleri aracılığıyla üretkenliği artırmayı hedeflemektedir [18]. Akıllı Altyapı ve İnşaat Merkezi (Centre for Smart Infrastructure and Construction, CISC) ve IfM Eğitim ve Danışmanlık Servisleri'nin "Geleceğin Şehirleri Katapultu Üzerine Bir Çalışma" [47] adlı raporunda, DBB'nin amacının "*inşaat, üretim, bakım, devreye alma ve devreden çıkarma aşamalarında yapı çevrenin optimize edilmesine imkân tanıyan dijital bilgi ortamının oluşturulması*" olduğu belirtilmiştir.

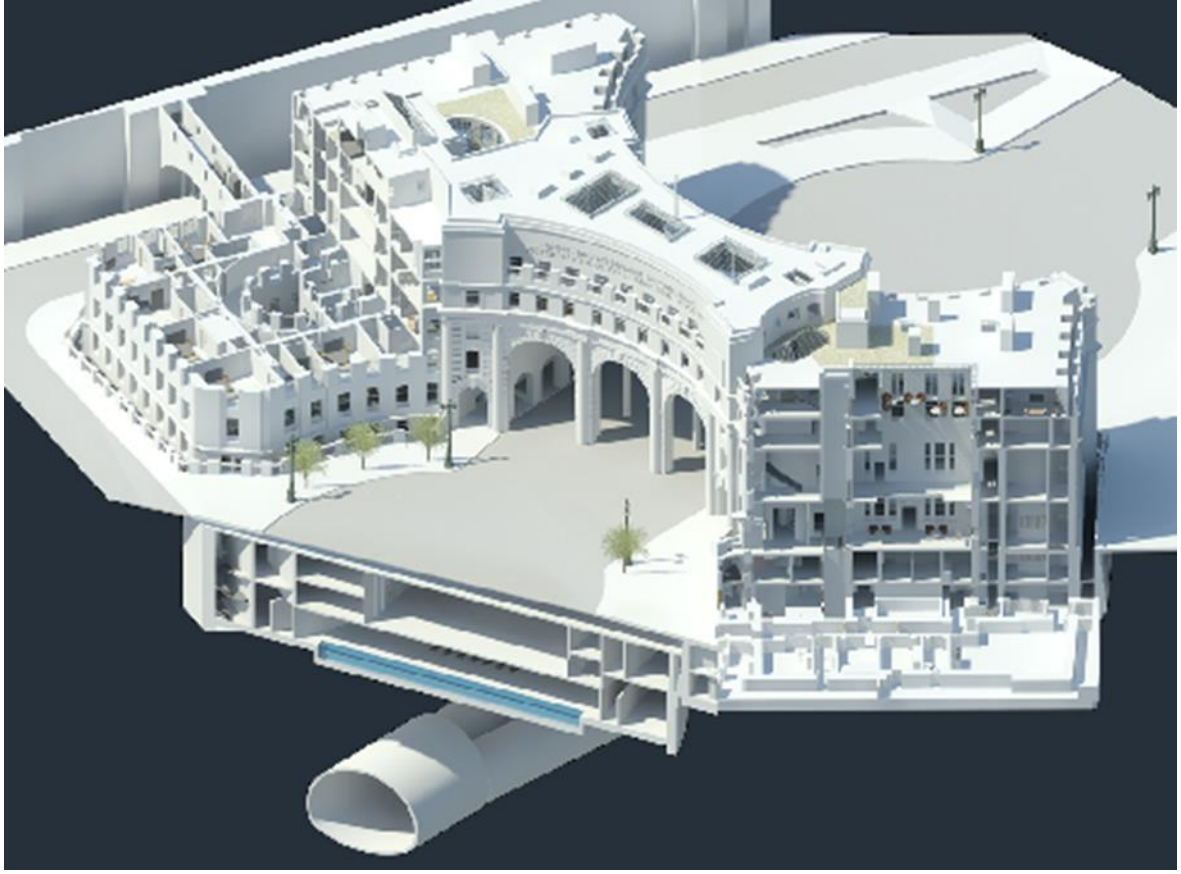
Ayrıca, 2018 yılında DBB çerçevesinde ve CDBB liderliğinde Ulusal Dijital İkiz Programı (National Digital Twin Programme, NDT) başlatılmıştır. Bu programın misyonu, İngiliz endüstrilerini daha akıllı bir millet inşa etmeye ve insanların hayat kalitesini artırarak kamu menfaatine daha sürdürülebilir bir gezegen yaratmaya katkıda bulunmaktır [48]. Bu kapsamda, Bristol ve Exeter şehirleri ile Londra'nın Queen Elizabeth bölgesinde pilot Dijital İkiz uygulamaları hayata geçirilmekte ve CDBB tarafından Cambridge şehri için Dijital İkiz uygulaması planlanmakta olup teorik prototip çalışmaları sürdürülmektedir [49][50][51]. Bu projelerde, Yapı Bilgi Modellemesi kullanılarak akıllı bina modellerinin oluşturulması

ve bu modellerin temeli olarak YBM'nin kullanılmasıyla akıllı şehirlerin veya ulusal Dijital İkizin oluşturulması hedeflenmektedir.

Bir diğer İngiltere örneği, Bentley Systems'in partnerliğinde gerçekleştirilen bir proje olan Admiralty Takı'nın otele dönüştürülmesidir. Bu projede, Tak'ın altına inşa edilecek olan bodrum katların, Tak'a ve altından geçen metro hattı ve diğer altyapı sistemlerine zarar vermeden inşa edilmesi için Yapı Bilgi Modellemesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin entegre edildiği bir ortak model oluşturulmuştur (Şekil 18, Şekil 19 ve Şekil 20) [52]. Bu proje, tarihi bir yapı olan Tak'a ve yer altındaki şehir altyapısına zarar vermeden başarıyla tamamlanmıştır. Bu başarı, projenin 2019 Yapı Mühendisliği dalında Year in Infrastructure 2019 ödülünü almasına yol açmıştır [53].



Şekil 18. 1991'de İnşa Edilmiş Olan Admiralty Takı, Londra [52]



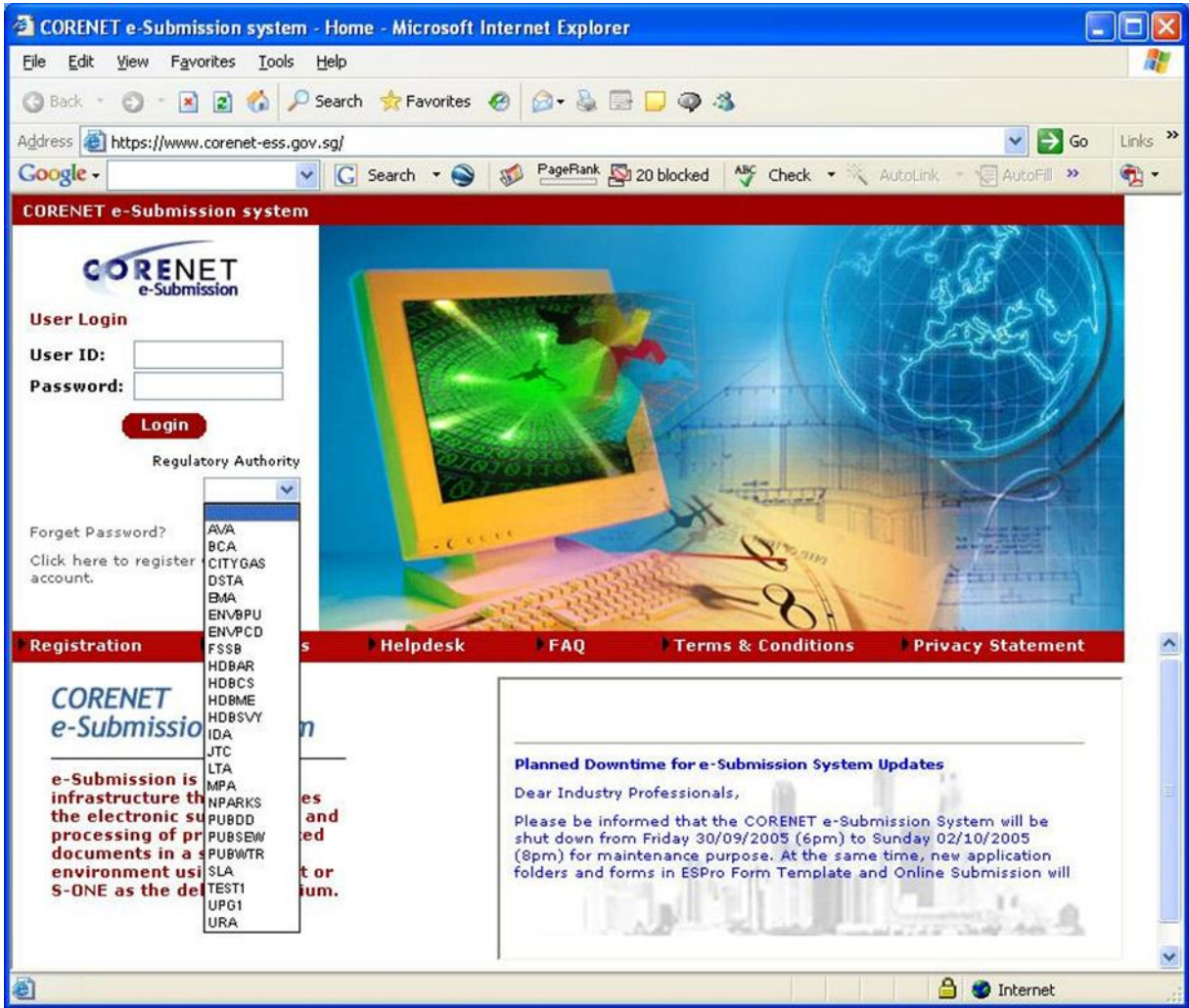
Şekil 19. Admiralty Takı'nın Altına İnşa Edilmesi Gereken Bodrum Katların ve Tak'ın Altından Ggeçen Metro Hattı ile Diğer Altyapıların YBM Modeli (1) [52]



Şekil 20. Admiralty Takı'nın Altına İnşa Edilmesi Gereken Bodrum Katların ve Tak'ın Altından Ggeçen Metro Hattı ile Diğer Altyapıların YBM Modeli (2) [52]

Singapur

Singapur'da Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojisindeki gelişme, 2000 yılında İnşaat ve Gayrimenkul Ağı (Construction and Real Estate Network, CORENET) programının kurulmasıyla başlamıştır (Şekil 21) [18]. Bu program, inşaat sektöründe bilgi paylaşımını artırmak amacıyla bilgi teknolojilerinin kullanılmasını hedeflemektedir [54]. 2016 yılında CORENET programı, "e-Plan" sistemiyle genişletilmiş ve Ekim 2016'da 5.000 m²'den büyük yapılar için mimari projelerde, Ekim 2017'de ise yapısal ve Elektromekanik projelerde kullanılması zorunlu hale getirilmiştir [55]. e-Plan platformu, tasarımcıların yapılarının mevzuata uygunluğunu düzenli olarak kontrol etmelerine ve bürokratik süreçlerini hızlandırmalarına olanak tanımaktadır. Günümüzde Singapur'da, yapıların mevzuata uygunluğunun internet üzerinden kontrol edilmesi için otomatize YBM modellerinin teslimi kamu kuruluşları tarafından zorunlu kılınmıştır. Bu uygulama, akıllı şehirleşme amacı güdülmeyen başlatılmış olmasına rağmen, Singapur'daki inşaat sektörünün akıllılaşmasına katkıda bulunarak akıllı şehirleşmeye destek olmaktadır.



Şekil 21. CORENET Platformu Ekran Görüntüsü [56]

Singapur'da, CORENET ve e-Plan platformlarının yanı sıra Sanal Singapur (Virtual Singapore) projesi uygulamaya konmuştur. Sanal Singapur, üç boyutlu ve dinamik bir şehir modeli olup Singapur'un üç boyutlu haritalarını içeren ve işbirliğine dayalı bir veri platformudur. Bu proje, 2018 yılında tamamlanan ve 73 milyon dolarlık bir maliyetle gerçekleştirilen, kamu, özel sektör, insanlar ve araştırma sektörleri tarafından kullanılan yetkin bir dijital platformdur [57]. Sanal Singapur projesinde, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonundan faydalanılmıştır. Ulusal Araştırma Vakfı (National Research Foundation, NRF) tarafından finanse edilen bu sanal modele, özellikle binalar, iç ve dış mekanlar için otomatik iyileştirme ve güncelleme imkânı sunacak veri dönüşüm metodolojisi oluşturulurken genellikle sadece sanal ortamda bulunan yerel YBM modellerinden derlenen anlamsal ve geometrik bilgileri içeren kaynak verileri entegre edilmiştir [58].

Çengdu, Çin

Çin'in Chengdu şehrinde, 1,38 milyar CNY değerinde bir kentsel gelişim projesi gerçekleştirilmiştir. Bu projede, 4,3 kilometrelik karayolları, yaya yolları ve yer altı altyapıları gibi unsurlar yer almaktadır ve Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegrasyonu aktif olarak kullanılarak dijital ikizler geliştirilmiştir. Dijital ikizler, tasarım disiplinlerinde ve inşaat sürecinde uzmanlık seviyesinde olumlu etkiler yaratarak, gelecekteki şehir ölçeğindeki projeler için bir örnek teşkil etmektedir. Bu projede planlama, inşaat, yıkım ve varlık yönetimi için dijital ikizler kullanılmış ve tüm şehri kapsayan bir gerçeklik ağı modeli (reality mesh model) oluşturulmuştur. Böylelikle Bentley ContextCapture kullanılarak dijital bir bağlam oluşturulmuştur (Şekil 22). Ayrıca, yol ve köprü yapılarının modellenmesinde (Şekil 23 ve Şekil 24) Bentley'nin OpenRoads ve OpenBuildings yazılımları kullanılmış ve ProjectWise yazılımı ile de yol, köprü ve kamu hizmetleri tasarımlarında işbirliği sağlanmıştır. Bu sayede üretim verimliliği %20 oranında artırılmıştır [59].



Şekil 22. Çengdu Şehri Shanbanqiao Bölgesi Kentsel Dönüşüm Projesi'nde YBM + CBS Uygulaması (1) [59]

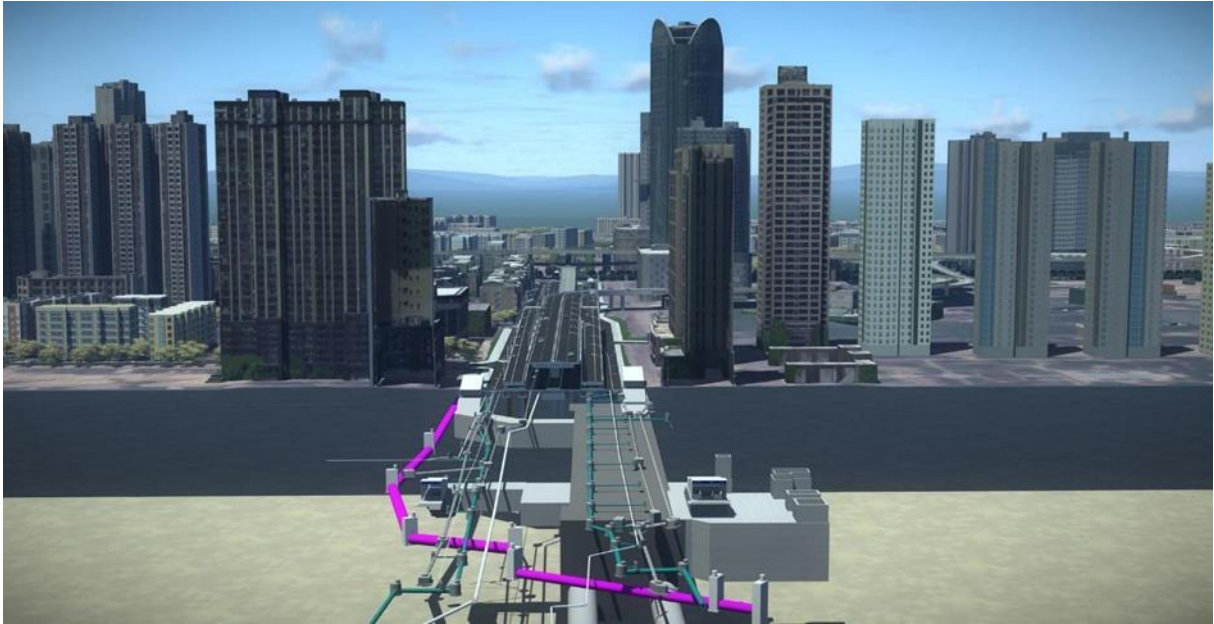


Şekil 23. Çengdu Şehri Shanbanqiao Bölgesi Kentsel Dönüşüm Projesi'nde YBM + CBS Uygulaması (2) [59]



Şekil 24. Çengdu Şehri Shanbanqiao Bölgesi Kentsel Dönüşüm Projesi'nde YBM + CBS Uygulaması (3) [59]

Bentley Systems'in (2019) katkı sağladığı bir başka proje, yine Chengdu şehrinde gerçekleştirilmiştir ve Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) akıllı şehirlerdeki rolünü göstermektedir (Şekil 25). Bu örnekte, mevcut yeraltı boru hatları, arsa kullanımı, uygulama gereklilikleri ve onay süreçlerinin verimli bir şekilde yönetilmesi amacıyla YBM kullanılarak modellenmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilmiştir [52].

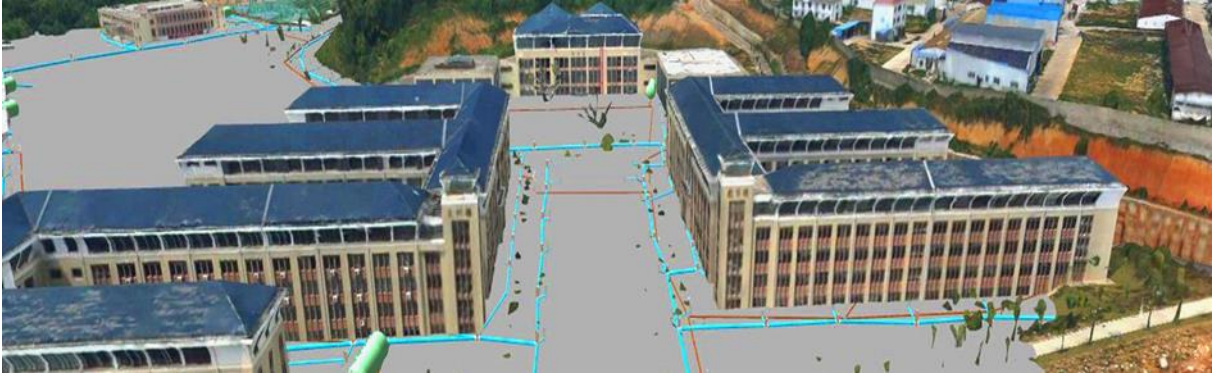


Şekil 25. Çin'in Çengdu Şehrine Ait bir Şehir Bilgi Modeli Görşeli [52]

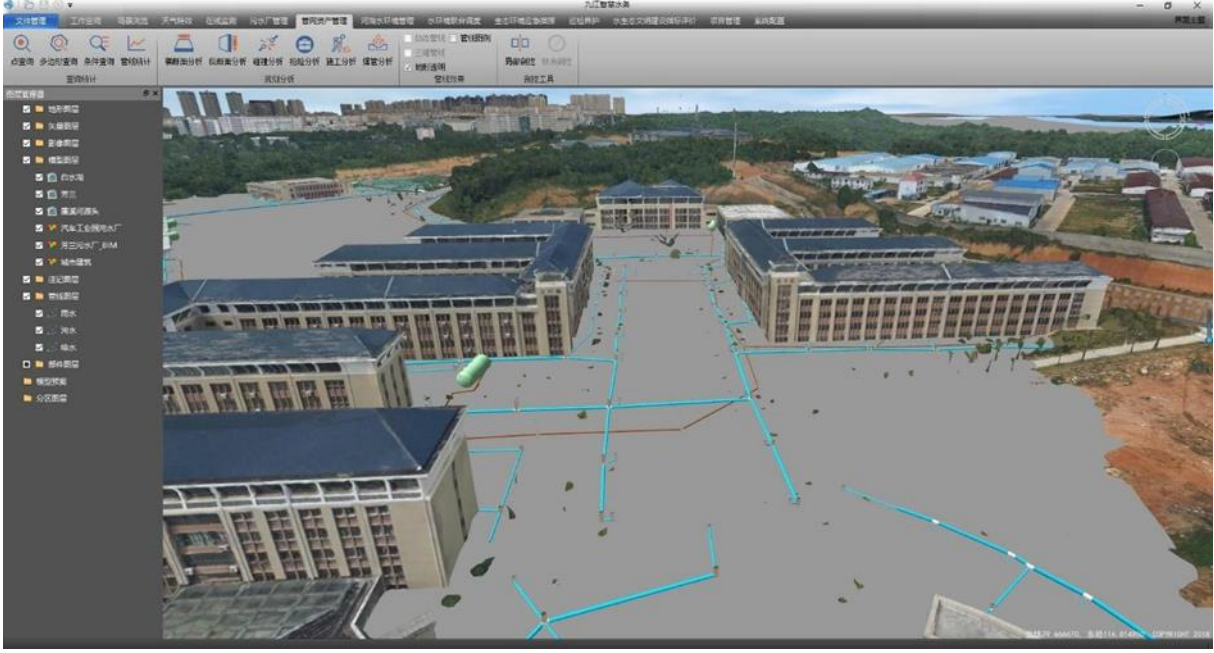
Jiujiang, Çin

Jiujiang şehrinde, akıllı su altyapısı yönetimi için dijital ikiz metodolojisi kullanılmıştır. Bu proje kapsamında, gerçek ağ modelleri, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile oluşturulan modeller, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve su altyapısı verileri entegre edilmiştir. Jiujiang'ın merkezi alanlarındaki su kaynaklarının akıllı bir şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu projede, YBM kullanımı sayesinde tasarım sürecinde 800 iş günü ve 4 milyon CNY tasarruf edilmiştir. Ayrıca, tasarım hataları %80 oranında azalması sağlanmıştır [60].

Dijital ikiz federe modelinin elde edilmesi için öncelikle 220 km²'lik bir alan için 3B gerçek ağ modeli oluşturulmuştur. Ardından kanalizasyon, arıtma tesisi, tesis arazisi ve yapısal, drenaj ve su temini projeleri gibi unsurlar Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kullanılarak modellenmiştir. YBM modelleri, yapısal, mimari, elektromekanik, jeoteknik gibi çeşitli disiplinleri içermektedir. Bu modellerin diğer veri kaynaklarıyla birleştirilmesiyle bir dijital ikiz oluşturulmuştur (Şekil 26 ve Şekil 27). Belediye arşivlerinde bulunan 2B projeler ve diğer dokümanlar da bu dijital ikiz içine entegre edilmiş ve erişilebilir hale getirilmiştir. Bu şekilde, geçmiş verilerin kaybının da engellenmesi sağlanmıştır [60][61].



Şekil 26. Jiujiang Şehri Akıllı Su Altyapısı Yönetimi YBM – CBS federe modeli (1) [61]



Şekil 27. Jiujiang Şehri Akıllı Su Altyapısı Yönetimi YBM – CBS federe modeli (2) [60]

Eindhoven, Hollanda

Hollanda'da bulunan Eindhoven şehri, daha verimli ve düşük maliyetli bir kent yönetimi hedeflenerek kamu yerel yönetimi tarafından bir proje geliştirilmiştir. Bu proje, yeni bina ve iyileştirme projelerinin planlanması, paylaşılması ve arşivlenmesine yardımcı olacak akıllı bir YBM modelinin tasarlanmasını kapsamaktadır. Bu projenin amacı, gerçek ve dijital birlikteliğin sağlandığı merkezi bir sistemden akıllı verilerin çekilmesiyle Eindhoven şehrinin akıllı şehir niteliği kazanmasını sağlamaktır. Akıllı şehir hedefine ulaşmak için, şehrin paydaşlarından kaliteli verilerin toplanması, kente ait tek ve entegre bir YBM modelinin oluşturulması ve bu modelle yapı ve şehir yaşam döngülerinin yönetilmesi planlanmıştır. Üretilen YBM modeli, CBS üzerinde yer alan nokta bulut (point cloud) arazi modellerinden gelen veriler ve şehrin altyapı verileriyle entegre edilerek oluşturulmuştur (Şekil 28 ve Şekil 29) [62].



Şekil 28. Eindhoven Şehri 3B Şehir Modeli (1) [63]



Şekil 29. Eindhoven Şehri 3B Şehir Modeli (2) [63]

Projenin bağlantılı olduğu alanlar

Yapı Bilgi Modellemesi projesinin bağlantılı olduğu alanlar listelenmektedir:

- İnşaat teknolojisi
- İnşaat yönetimi
- Kent yönetimi

- Kalite yönetimi
- Finansman yönetimi
- Tesis yönetimi
- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)
- Nesnelerin İnterneti (IoT)

2.4. İhtiyaç Analizi

Projeye duyulan ihtiyacı ortaya koyan verilerin incelenmesi

Geometrik veriler, coğrafi veriler, malzeme verileri, teknik veriler, performans verileri, proje yönetimi verileri, işletme verileri gibi veriler YBM projesinde doğru ve güncel bilgiye dayalı kararlar almayı sağlamakta, tasarımın optimize edilmesine, yapı hatalarının azaltılmasına, maliyetlerin kontrol edilmesine ve projenin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmaktadır.

Proje ile ilgili beklentiler ve paydaşlara sağlanan faydalar ile çözüm getirilen problem ve sıkıntıların tespiti

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), yapı ve şehirlerin tasarım, üretim ve tesis yönetimi süreçlerinde hassas ve dinamik bir çalışma yöntemi kullanarak malzeme, maliyet, zaman ve süreç takiplerini gerçek zamanlı ve kolay erişilebilir hale getirmektedir. YBM, kentin gelişim sürecinde tüm paydaşlara çeşitli faydalar sunarak sorunların çözümünde etkin bir rol oynamaktadır. Bu faydalar, kamu yönetimi, özel sektör ve toplum bağlamında incelenerek aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

a. Kamu Yönetimi

- Yatırımlar
 - Daha hassas yaklaşık maliyet ve süre tahminleri sayesinde gerçekçi ihale planlamaları yapılabilmesi,
 - İhale sözleşmelerinin daha verimli bir şekilde yönetilmesi,
 - 3D Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile oluşturulan şehir modeli ve entegre sistemlerle kentin ve halkın ihtiyaçlarının doğru bir şekilde belirlenerek yeni yatırımların verimli bir şekilde değerlendirilmesi,
 - Ulaşım altyapılarının YBM ile modellenmesi, 3D bir ulaşım ağı modelinin oluşturulması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyonu sayesinde toplanan verilere dayalı olarak talebe göre tasarlanan ulaşım güzergahlarının artırılması ve ulaşım altyapılarının fayda/maliyet oranının iyileştirilmesi.
- Yönetim

- Yapılı çevre ve tekil yapı düzeyindeki verilerin kullanılarak sorunların etkin bir şekilde çözülmesi ve tespit edilmesi,
- Ruhsat, izin, yapı durum tespiti gibi bürokratik süreçlerin dijitalleştirilerek hızlandırılması,
- Tekil yapılara ait YBM modellerinin IoT sensörleri ile entegrasyonu sayesinde enerji kaynaklarının etkin takibi ve verimli kullanımının sağlanması, potansiyel sorunların önceden tahmin edilerek önlemlerin alınabilmesi,
- Yapı yaşam sürecinin her düzeyinde detay seviyesi ve istatistiki verilerin artmasıyla birlikte YBM modellerinin kullanılarak kentin yakın ve uzun vadeli planlarının daha doğru bir şekilde yapılabilmesi,
- 3D modelleme ve YBM'nin veri işleme yeteneği sayesinde sağlanan görsel algılama ve seri raporlamaların, karar alma süreçlerinin hızlanmasına katkı sağlaması,
- Doğal afetlere karşı uygun analizlerin, yapılı çevrenin en küçük ölçekte dikkate alınması ile yapılması ve güncel raporlama aracılığıyla önlemlerin zamanında alınabilmesi.

b. Özel Sektör

- Kamuya Direkt Hizmet Verilmesi
 - Kamuya hizmet veren özel şirketlerin güncel veri takibi ve analizlerini kullanarak altyapı yatırımlarını doğru bir şekilde planlaması,
 - Kamuya hizmet veren özel şirketlerin güncel veri takibi ve analizlerini kullanarak düzenli altyapı takibi yapması ve tesis yönetimi aşamasında sorunları hızlı bir şekilde tespit etmesi ve çözüm üretmesi.
- Sektörel ve Endüstriyel Gelişim
 - Uzman çalışan talebinin artmasıyla birlikte özel sektörde inşaat, mimarlık, mühendislik, elektrik, mekanik, tesis işletmesi gibi birçok sektörde doğrudan veya dolaylı istihdam artışı,
 - Kamu yönetiminin yerli ve milli talebiyle birlikte tüm sektörlerin bu konuya yatırım yapma eğiliminde olması ve sektöre teknolojik ilerlemenin sağlanması, AR-GE yatırımlarının artması,
 - Kamu ve özel yapım işlerinde yer alan özel şirketlerin sözleşme ve maliyet yönetiminin daha verimli hale gelmesi.

c. Toplumsal

- Kamu ve özel sektördeki yatırım ve yönetim süreçlerinin verimli hale gelmesi ile kent yönetim kalitesinin artması ve dolayısıyla vatandaşların yaşam kalitesinin yükselmesi,

- İzin, ruhsat gibi bürokratik süreçlerin hızlanmasıyla birlikte kamu-vatandaş ilişkilerinin kolaylaşması,
- Aktif enerji ve kaynak analizleri sayesinde küresel ısınma ve kuraklık gibi küresel problemlere karşı önlemler alınması, çevrenin ve halk sağlığının korunması,
- Kamu yönetiminin verimliliğinin artması, vergilerin ihtiyaca yönelik ve etkili bir şekilde kullanılması,
- Kamu ve özel sektördeki istihdam artışıyla ekonomik kalkınmanın sağlanması ve işsizlik oranının azalması,
- Doğal afetlere karşı etkili önlemler alınması, halkın güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunması.

Yukarıda özetlenen faydalar göz önünde bulundurulduğunda Yapı Bilgi Modellemesi projesinin akıllı şehir kapsamında kullanılmasındaki amaçların gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki hedefler tespit edilmiştir:

- a) Proje alanı için Belediye kapsamında YBM modellerinin oluşturulması ve bunların tasarım ile inşaat aşamalarında kullanılması,
- b) Bu altyapıda tüm kent paydaşlarının bir araya getirilmesi ve proje alanına ait YBM modelinin oluşturularak kentin tekil yapı ölçeğinde detaylandırılması,
- c) Kent yönetimine dair her aşamada (tasarım, inşaat, tesis yönetimi vb.) YBM modellerinin güncel ve aktif tutulması için gerekli denetim ve yaptırım mekanizmalarının oluşturulması,
- d) YBM modellerinin diğer sanal kent altyapıları ile entegrasyonunun kurulması ve bu entegrasyonun tüm paydaşlar tarafından güncel ve aktif tutulmasının sağlanması,
- e) Kamu yapıları haricinde kalan yapılara ait modellerden düzenli veri sağlanması için gerekli mevzuat düzenlemelerinin yapılması,
- f) YBM ile çözülebilecek bürokratik süreçlerin (ruhsat verilmesi gibi) dijitalleştirilmesi,
- g) Teknolojik inovasyonun tüm paydaşlar için sürekli ve zorunlu kılınması için gerekli mevzuat düzenlemeleri ve teşviklerin planlanması.

Kent yönetimi, özel sektör ve toplumun çeşitli ihtiyaçlarından dolayı yeniliklere ihtiyaç duyan birçok sorunla karşılaşmaktadır. Bu ihtiyaçlar, kentin her paydaşını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Yapı Bilgi Modellemesi projesinin paydaşlara sağladığı faydaların yanı sıra, projenin çözüm getirdiği problem ve sıkıntıları aşağıdaki gibi örneklemek mümkündür:

a. Kamu Yönetimi

- Yatırım planlamalarının gerçekçi olmamasıyla kaynakların verimsiz kullanılması,
- Yatırımların doğru ve etkili bir şekilde planlanamaması ve önceliklendirilememesi,

- Yapılı çevrenin en küçük ölçekte ele alınamaması nedeniyle çözülemeyen sorunlar,
- Bürokratik süreçlerin uzaması ve iş veriminde azalma yaşanması (ihaleler, ruhsatlar, izinler, protokoller, denetimler),
- Gerçekçi maliyet ve zaman tahminlerinin yapılamaması,
- Kaynakların güncel verilerle değerlendirilememesi ve dolayısıyla kaynak ihtiyaçlarının doğru bir şekilde belirlenememesi,
- Yapılarda doğal afet analizlerinin eksik yapılması ve bu nedenle gerekli önlemlerin alınamaması.

b. Özel Sektör

- Kamuya hizmet veren şirketlerin (elektrik işletmeleri, ulaşım işletmeleri vb.) kamu yönetimiyle yeterli düzeyde entegre olamaması, taleplerin ve çözümlerin zamanında ve doğru bir şekilde gerçekleştirilememesi,
- Sektörde AR-GE yatırımlarının düşük olması, yerli gelişmenin yavaş ilerlemesi ve bu nedenle istihdam ihtiyacının az olması gibi faktörlerin sektördeki gelişmenin yavaş olmasına yol açması,
- Maliyet ve zaman tahminleri ve yönetimleri gerçekçi bir temele dayanmadığında, projelerde bütçe aşmaları ve zamanlama sorunlarının yaşanması.

c. Toplumsal

- Bireysel bürokratik süreçlerin kamu yönetimiyle uzaması, işlerin hızlı ve etkili bir şekilde tamamlanmasını zorlaştırması,
- Doğal afetlere karşı etkin korunma önlemlerinin alınmaması, halkın ve kentin güvenliğini sağlanamaması,
- Doğal kaynakların ve çevrenin verimsiz bir şekilde kullanılması ve zarar görmesinin sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlara yol açması,
- Yüksek işsizlik oranı, ekonomik ve sosyal sorunların yaşanması,
- Kent düzeyinde yapıların özelliklerinin göz ardı edilerek yapılan analizlerin vatandaşların ihtiyaçlarının karşılanmamasına ve olumsuz şehirleşme yapısının ortaya çıkmasına neden olması.

Projenin başarılı olmasını sağlayacak güçlü yönlerin ve başarısızlığa neden olabilecek zayıf yönlerin tespiti

- **Güçlü Yönler:**
 - Tasarım, inşaat ve tesis yönetimi aşamalarında maliyet tasarrufu sağlanabilmesi
 - Tasarım, inşaat ve tesis yönetimi aşamalarında zamandan tasarrufu sağlanabilmesi
 - Disiplinlerarası koordinasyonun kolay ve hassas sağlanması

- Çakışma, enerji ve kaynak analizleri ile yapı yaşam döngüsünün her aşamasında üst düzey verim elde edilebilmesi
- Tasarım, inşaat ve tesis yönetimi aşamalarında paydaşlar arası koordinasyonun ve ilişkinin kuvvetlendirilebilmesi
- Tasarım, inşaat ve tesis yönetimi aşamalarındaki tüm bürokratik ve diğer basılı süreçlerin dijitalleştirilebilmesi
- **Zayıf Yönler:**
 - YBM teknolojisinin ülkemizde yeni gelişmekte olması
 - YBM'nin akıllı şehirlerde yeterince deneyimlenmemiş olması
 - YBM'nin akıllı şehir bağlamında CBS ve IoT entegrasyonunun yeterince deneyimlenmemiş olması
 - Yüksek başlangıç yatırımı
 - Döviz kuruna bağımlı yatırım zorunluluğu
 - Uzman istihdam eksikliği

2.5. Talep Analizi

Proje ile üretilecek ürünlere ve/veya sunulacak hizmetlere yönelik mevcut talebin tespiti

- Nüfus, tüketim alışkanlıkları, dikkate alınarak talep miktarları belirlenir.

Talebin gelecekteki gelişim potansiyeli ve talep için gelecek öngörülerin tespiti

- Geleceğe yönelik nüfus, ekonomi ve teknoloji öngörülerini dikkate alınarak hesaplamalar yapılır.

3. Teknik Analiz ve Alternatif Teknolojilerin Değerlendirilmesi

Fiziki/Mekânsal Büyüklük

- Fiziki/mekânsal büyüklük projenin gerçekleşeceği şehir, kent, mahalle, bölge, yaşam alanına bağlıdır.

Kapasitenin Belirlenmesi

YBM projesinde kapasitenin hesaplanırken aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmaktadır:

- YBM'ye erişim sağlayacak olan kullanıcı sayısı
- Veri paylaşım yoğunluğu
- Analiz ve simülasyon ihtiyacı

- Projenin tamamlanması ve yönetimi için belirlenen süre
- Kullanılacak olan verinin boyutu
- Proje ölçeği

Yapısal Proje Gereksinimleri

Yapı Bilgi Modellemesi uygulaması için yapısal proje gereksinimleri aşağıda verilmektedir:

- YBM Danışmanı firmanın seçilmesi ve YBM altyapısının kurulması: Bu aşama, modellerin oluşturulup kullanılabilir hale gelmesi için atılması gereken ilk ve en önemli adımdır. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Danışmanı firmasının yeterliliğinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve bu firma ile işbirliği yaparak belediye için en uygun YBM altyapısının oluşturulması, projenin sürdürülebilirliği için hayati öneme sahiptir. Ancak ülkemizdeki YBM Danışmanlığı konusunda uzman kişi ve firmaların azlığı, rekabeti düşürmekte ve aranan yeterlilik düzeyinin sınırlı olmasına neden olmaktadır. Altyapı oluşturma aşamasında ise ihtiyaçların doğru bir şekilde belirlenmesi ve planlamaların bu ihtiyaçlara göre yapılması, deneyimli uzmanlarla birlikte gerçekleştirilmesi gereken önemli yatırım kararlarıdır.
- YBM Tasarım Modellerinin oluşturulması: Türkiye'de, tasarım aşamasında Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kullanan firmaların sayısı giderek artmaktadır, ancak henüz ciddi bir rekabet ortamı oluşturacak düzeye gelmemiştir. Ayrıca, YBM kültürü hala kamu kurumları, firmalar ve çalışanlar arasında yerleşik ve kabul görmüş bir kültür olmadığından, yeterli hizmet kapasitesini sağlamak zor olmaktadır. Gerekli uzman ekip sağlandığında, tasarım aşamasında YBM uygulamasının hayata geçirilmesi kolay olacaktır.
- YBM Uygulama (LOD 400) ve As-Built (LOD 500) Modellerinin oluşturulması: Türkiye'de, imalat aşamasında Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulaması konusunda tasarım aşamasına göre daha az tecrübe bulunmaktadır. Ayrıca, YBM kültürünün henüz yerleşik ve kabul edilmiş olmaması, imalat aşamasındaki zorluk seviyesini artıran bir etkidir. İmalat aşamasındaki YBM uygulaması, tasarım aşamasına kıyasla daha fazla paydaş içermekte, daha detaylı bir model üretimini gerektirmekte ve koordinasyon düzeyini yükseltmektedir. Bu nedenle, imalat aşamasında YBM uygulamasının zorluk seviyesi de tasarım aşamasına göre daha yüksektir.
- YBM 7B Tesis Yönetimi Modellerinin oluşturulması: Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile tesis yönetimi, sadece Türkiye için değil, küresel ölçek için de yeni bir konudur. Tesis yönetiminde, YBM modellerinin diğer tesis yönetim arayüzleriyle entegre edilmesi, ayrı bir uzmanlık alanı gerektirmekte ve her bir tesisin entegrasyonu ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir.

- YBM'nin CBS ve IoT ile entegrasyonunun sağlanması: Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) ile entegrasyonu, küresel düzeyde henüz yeni başlamıştır ve girişimler deneysel düzeydedir. Bu entegrasyon süreci, YBM, CBS ve IoT uzmanlarının bir araya gelerek teknik ve teknolojik bir işbirliği oluşturmasına bağlıdır. Deneyim eksikliği ve teknolojik yenilik ihtiyacı, bu aşamada zorluk seviyesini artırmaktadır.

Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), uluslararası standartlara sahip ve çeşitli yazılımlar tarafından desteklenen, hem sanal hem gerçek varlıkları kapsayan tasarım, imalat, dokümantasyon, planlama, raporlama gibi bir yapının üretim süreçlerini içine alan bir sistemdir [22]. YBM teknolojisi, her projenin ihtiyaçlarına göre mevcut YBM tabanlı yazılımlar arasından seçilmektedir. Bu yazılımlardan biri, yapı bilgi modellerinin üretilmesi için kullanılan modelleme yazılımlarıdır. Bu alanda Autodesk Revit, Nemetschek Allplan, Bentley OpenBuildings ve Graphisoft ArchiCAD gibi programlar küresel olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin ulaştırma sektörüne yönelik yapılan bir araştırmada (Yiğiter, 2020), ankete katılanların %75'inin Autodesk ürünlerinde deneyim sahibi olduğu ve Bentley ürünlerinin ise %25 ile ikinci sırada olduğu sonucuna ulaşılmıştır [72]. Çakışma analizi, 4B ve 5B YBM uygulamalarında genellikle Autodesk Navisworks kullanılmaktadır. Bentley Synchro ise 4B ve 5B analizlerinde kullanılmaktadır. YBM modelleme yazılımlarının sağlayamadığı işlevler için Dynamo gibi grafik programlama araçları da kullanılmaktadır. Önemli olan, YBM uygulamasının yapılacak analizlerin kapsamının ve akıllı kent bağlamında elde edilmek istenen faydaların belirlenmesidir. Bu faktörlerin belirlenmesiyle, ihtiyaç duyulan yazılımlar seçilebilir.

Yapı Bilgi Modellemesi'nin tamamen dijital bir ortamda gerçekleştirilmesi, belediye tarafından ayrılan ve sadece YBM için kullanılacak sunucuların temin edilmesini gerektirir. Bu sunucular, verilerin güvenli bir şekilde depolanması, paylaşılması ve işlenmesi için büyük önem taşır. Sunucuların uygun iklimlendirme özelliklerine sahip özel bir alanda bulunması ve düzenli yazılım ve donanım bakımlarının yapılması, belediyenin sorumluluğunda olmalıdır. Bu sayede veri güvenliği en üst seviyede sağlanır.

Yapı Bilgi Modellemesi uygulamasının gerçekleştirilmesi için belediye ve danışmanlar tarafından, kullanılan donanımların YBM dosyalarının işlenebilmesine olanak sağlayacak seviyede olması önemlidir. Bu kapsamda, işlemci ve grafik kartlarının güncel olması ve YBM dosyalarının gereksinimlerini karşılayabilecek kapasitede bilgisayar ve workstationların (iş istasyonlarının) sağlanması gerekmektedir.

Sunucu ve kişisel bilgisayar gereksinimleri, kullanılacak YBM programlarına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, dünya çapında yaygın bir YBM arayüzü olan Autodesk Revit'in 2021 sürümü için üreticinin web sitesinde " karmaşık modeller için minimum gereksinimler" başlığı altında geniş bir liste

sunulmuştur. Bu listede, örnek olarak Tablo 3 ve Tablo 4'te verilen minimum gereksinimler bulunmaktadır [64]. Bu gereksinimler, programın etkin bir şekilde çalışabilmesi için kullanıcının bilgisayarının sahip olması gereken özellikleri belirtmektedir.

Tablo 3. Autodesk Revit 2021 için Minimum Sunucu Gereklilikleri [64]

| | |
|--|---|
| İşletim Sistemi | Microsoft® Windows Server® 2019 64-bit Microsoft® Windows Server® 2016 64-bit Microsoft® Windows Server® 2012 R2 64-bit |
| İnternet Sunucusu | Microsoft® Internet Information Server 7.0 veya daha yüksek sürüm |
| .NET Framework | .NET Framework Version 4.8 veya daha yüksek sürüm |
| CPU Tipi | 6+ çekirdek, 3.0 GHz veya üstü |
| 100'den az eşzamanlı kullanıcı için: | |
| Bellek | 32 GB RAM |
| Depolama | 15.000 veya üstü DDS |
| 100'den fazla eşzamanlı kullanıcı için: | |
| Bellek | 32 GB RAM |
| Depolama | Yüksek hızlı RAID (Bağımsız Diskler Yedek Dizisi) |
| Görselleştirme | VMware® ve Hyper-V® Support |

Tablo 4. Autodesk Revit 2021 için minimum kişisel bilgisayar gereklilikleri [64]

| | |
|--------------------------------------|--|
| İşletim Sistemi | 64-bit Microsoft® Windows® 10 |
| CPU Tipi | Tek veya çok Çekirdekli Intel® Xeon® veya i-Serisi işlemci ya da SSE2 teknolojisine sahip AMD® eşdeğeri. Temin edilebilen en yüksek CPU hız derecesi önerilir. |
| Bellek | 32 GB RAM |
| Video Görüntüleme Çözünürlüğü | En Az: 1920 x 1200, gerçek renk En İyi: UHD (4k) Monitör |
| Video Adaptörü | Shader Model 5 ve minimum 4 GB video belleğine sahip DirectX® 11 uyumlu grafik kartı |
| Depolama Alanı | 30 GB boş disk alanı |

| | |
|------------------------|---|
| | 10.000'den fazla RPM Sabit Sürücü (Nokta Bulut etkileşimleri için) veya Katı Hal Sürücüsü |
| Gösterme Aygıtı | MS-Mouse veya 3Bconnexion® uyumlu cihaz |
| .NET Framework | .NET Framework Version 4.8 veya daha yüksek sürüm |
| Tarayıcı | Microsoft® Internet Explorer® 10 veya üstü |

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) kullanımında, tasarım ve inşaat sürecindeki doküman paylaşımının gerçekleştirildiği ortak veri paylaşım sistemleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, yerel veya bulut tabanlı (cloud-based) olarak kullanılabilir. Doküman paylaşım sistemleri, YBM modelleri ve diğer dokümanların depolanması, paylaşılması ve arşivlenmesi için kullanılmaktadır. Bu sistemler, doküman kodu, tarih, revizyon sayısı, nitelik, onay durumu gibi arşivsel verilerin saklanması sağlamak ve filtreleme ve sıralama işlevleriyle analiz edilmesine imkân tanımaktadır. Günümüzde bulut tabanlı doküman paylaşım sistemleri tercih edilmektedir.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulaması, tüm kaynakların sanal olduğundan dolayı sürdürülebilir bir yapıya sahiptir ve verilerin ve altyapının korunması büyük önem taşımaktadır. Sunucu ve doküman paylaşım sistemlerinin uygun niteliklerde kurulması, donanımsal hatalar veya arızalar durumunda bile veri kaybını önlemektedir. Verilerin ve altyapının sürekliliğini sağlamak için düzenli bakım ve onarım çalışmaları yapılmalı, sunucular uygun ortam ve iklim şartlarında korunmalı, yazılımlar ise düzenli olarak güncellenmelidir. Yazılım ve donanım sistemlerinin korunması, devamlılığı ve güvenliği için uzman bilgi işlem ekibi görevlendirilmesi önemlidir. Bu ekip, güvenlik önlemlerini uygulamak, sorunları çözmek ve sistemlerin verimli çalışmasını sağlamak konusunda uzmanlığa sahip olmalıdır.

Alternatif teknolojiler nelerdir? Karşılaştırma yapınız.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) dışında, tekil binaların verilerle modellenmesini, bu verilerin depolanmasını, işlenmesini ve yapı yaşam döngüsü boyunca güncellenmesini sağlayan bir alternatif teknoloji bulunmamaktadır. YBM, tek bir yazılımdan veya yöntemden oluşmayan bir kavramdır. Bu nedenle, Yapı Bilgi Modellemesinin çok çeşitli yazılımlar ve yöntemler tarafından desteklenen bir dizi teknoloji ve süreç olduğunun vurgulanması gerekmektedir.

Teknoloji seçiminin dayandığı kriterler nelerdir? Açıklayınız.

- 1) Teknoloji yeni mi?
- 2) Teknoloji yerli mi?
- 3) Teknoloji yerli değilse yerleştirilebilir mi?

- 4) Kullanılabilirlik ve öğrenme kolaylığı
- 5) Maliyet ve yatırım getirisi
- 6) Gelecek perspektifi
- 7) Uyumluluk
- 8) Çalışma ortamı ve işbirliği
- 9) Proje gereksinimleri
- 10) Çalışma ortamı ve işbirliği

Teknik tasarım süreçlerini (süreç tasarımı, makine-donanım, inşaat işleri, arazi düzenleme, yerleşim düzeni vb.) açıklayınız.

1. Belediye tarafından hem tasarım hem de yapım ihaleleri için YBM Teknik Şartnamesi hazırlanması
2. YBM modelinin hangi amaçlarla kullanılacağına belirlenmesi

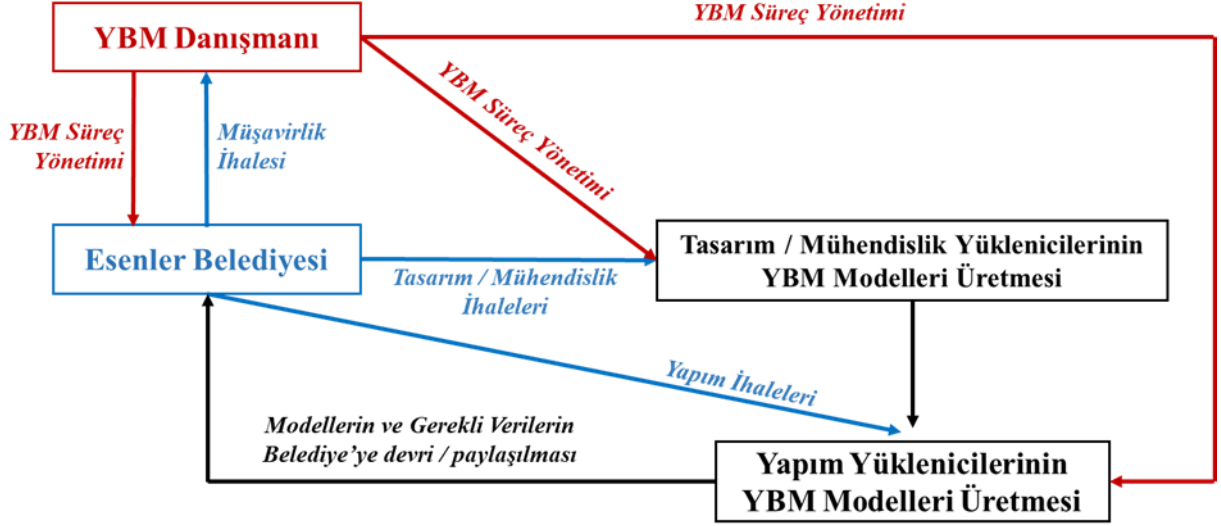
Bu amaçlar aşağıda verilmiştir:

- 3B Görselleştirme
- Çakışma Analizi
- Koordinasyon
- Otomatik Metraj ve Raporlama
- 4B Simülasyon – İş Programı ile Entegrasyon
- Maliyet Analizi
- Sürdürülebilirlik Analizi
- Nihai Modellerin Oluşturulması
- Tesis yönetimi

3. Belirtilen amaçlar doğrultusunda modelin detay seviyesinin (LOD) belirlenmesi
4. Paydaşlar arasında görev paylaşımının yapılması
5. YBM uygulama planı hazırlanarak işverenin onayına sunulması

YBM Danışmanı firmanın diğer tüm paydaşlardan önce belirlenmesi ve görevi başına getirilmesi, süreci kolaylaştıracaktır. Ayrıca sürecin hakimiyeti ve yönetimi için önemli bir adımdır.

Önerilen YBM süreç yönetimi yapısı Şekil 30 ile gösterilmektedir.



Şekil 30. Önerilen YBM Süreç Yönetimi Yapısı

4. Finansal Analiz

Finansal analizin yapılabilmesi için çeşitli parametreler kabul edilmiştir. Bu kabul şartları, ilgili açıklamalarıyla birlikte Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. YBM Uygulaması Finansal Analizi için Finansal Hesap Kabulleri

| FİNANSAL KABULLER: | | |
|------------------------------------|--------|---|
| İskonto Oranı | 15,75% | TCMB 24.06.2023 tarihli Reeskont oranı [45] |
| Yazılım / Donanım Yıllık Zam Oranı | 5% | Autodesk Revit 2022 USD fiyatının Autodesk Revit 2023 USD fiyatına oranı |
| Asgari ücret zam oranı | 34% | 2022 Yılı Günlük Asgari Ücret Değerinin 2023 Yılı Günlük Asgari Ücret Değerine Oranı [46] |
| Dolar Kuru (11.07.2023) | ₺26,11 | 27.08.2020 TCMB Gösterge Niteliğindeki USD Kuru |
| Yatırım Süresi (yıl) | 7,00 | |

Örnek Vaka

Finansal analiz kapsamında 1000 hektarlık bir alanda 200.000 kişinin yaşayacağı, 6 katlı ve 24 daireden, toplamda 2.708 adet bina ve 65.000 konuttan oluşacağı varsayılmaktadır. Her katında 4 adet 2+1 daire olduğu öngörülen bu binaların taban alanı yaklaşık 500 m² olarak ele alınmıştır. Ayrıca, 100 adet tipleştirilmiş mimari plan üretileceği varsayılmıştır. Son olarak, 18 kişilik bir uzman kadrosu ile YBM danışmanlık hizmetinin ve 6 kişilik bir uzman kadrosu ile bilgi işlem hizmetinin yürütülebileceği öngörülmüştür.

Proje maliyet parametreleri arasında tasarım birim fiyatı, YBM Uygulaması birim fiyatları (tasarım, imalat ve tesis yönetimi aşamaları için), doküman yönetim sistemi aylık hesap ücreti birim fiyatı, YBM uzmanı aylık brüt maaşı ve bilgi işlem uzmanı aylık brüt maaşı yer almaktadır (Tablo 6). Bu parametrelere atanan değerler, güncel piyasa analizleri sonucunda elde edilen yaklaşık değerlerdir. YBM Uygulaması birim fiyatları, tasarım hizmetleri birim fiyatının belirli bir yüzdesi olarak hesaplanmıştır. YBM Uygulaması için tasarım aşamasında %5, imalat aşamasında %25 ve tesis yönetimi aşamasında %20 olarak belirlenen bu yüzdeler, YBM Uygulaması hizmetinin bedelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak bu birim fiyatlar, tasarım, imalat ve tesis yönetimi aşamalarındaki asıl maliyetleri içermemektedir.

Tablo 6. YBM Uygulaması Finansal Analizi için Proje Maliyet Birim Fiyatı Kabulleri

| PROJELENDİRME BİRİM FİYAT KABULLERİ: | | |
|---|---------|---|
| Tasarım Birim Fiyatı (TL) | ₺ 20 | Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım m ² birim fiyatı varsayım TL değeri |
| Tasarım Birim Fiyatı (USD) | \$ 0,74 | Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım m ² birim fiyatı varsayım USD değeri (24.07.2023 TCMB USD Kuru'na göre) [73] |
| Tasarım ve Model Koordinasyon Aşamaları YBM Uygulaması Birim Fiyatı | \$ 0,14 | Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım aşamasında YBM Uygulaması m ² birim fiyatı varsayım değeri Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım m ² birim fiyatı varsayım değerinin %5'i |
| İmalat Aşaması YBM Uygulaması Birim Fiyatı | \$ 0,71 | Mimari ve mühendislik hizmetleri imalat aşamasında YBM Uygulaması m ² birim fiyatı varsayım değeri Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım m ² birim fiyatı varsayım değerinin %25'i |
| Tesis Yönetimi Aşaması YBM Uygulaması Birim Fiyatı | \$ 0,57 | Mimari ve mühendislik hizmetleri tesis yönetimi aşamasında YBM Uygulaması m ² birim fiyatı varsayım değeri Mimari ve mühendislik hizmetleri tasarım m ² birim fiyatı varsayım değerinin %20'si |
| Doküman Yönetim Sistemi Aylık Hesap Ücreti | \$ 90 | Doküman Yönetim Sistemi Varsayılan Aylık Hesap (Account) Ücreti |

| | | |
|---|----------|--|
| Çalışan Yıllık Brüt Asgari Ücreti (TMMOB) (YBM Uzmanı) | \$ 2.000 | Güncel piyasadan yola çıkılarak öngörülen YBM uzmanı mimar/mühendis aylık brüt maaşı |
| Çalışan Yıllık Brüt Asgari Ücreti (TMMOB) (Bilgi İşlem Uzmanı) | \$ 1.500 | Güncel piyasadan yola çıkılarak öngörülen bilgi işlem uzmanı mühendis aylık brüt maaşı |

(1\$ = 26,8944 TL olduğu kabul edilerek hesaplar yapılmıştır.)

Kabul edilen parametreler arasında, yazılım ve donanım kapasiteleri de yer almaktadır. Revit, InfraWorks, AutoCAD, Navisworks ve Civil 3D gibi programları içeren Autodesk AEC Collection yazılım paketinin, YBM uzmanlarının ihtiyaçlarını uygun fiyat/performans oranıyla karşılayabileceği düşünülmektedir. Sunucu temini, sunucu odası ve sunucu bakım-onarımı gibi kalemlerin maliyeti, ihtiyaçlara bağlı olarak belirlenecek olan sunucu ve ağ sistemlerinin kapasitesine göre değişeceğinden değerlendirilememiştir. Donanım için ise Tablo 4'te belirtilen minimum kişisel bilgisayar gerekliliklerinden hareketle yaklaşık bir maliyet hesaplanmıştır [64],[71].

Tablo 7. YBM Uygulaması Finansal Analizi için Yazılım ve Donanım Maliyeti Kabulleri

| YAZILIM – DONANIM KABULLERİ: | | |
|---|----------|---|
| Autodesk AEC Collection (Set/kişisi) | \$ 2.825 | Autodesk Revit, Civil 3B, AutoCAD, InfraWorks ve Navisworks arayüzlerini içeren AEC Koleksiyonu tüm YBM Uzmanlarının ihtiyaçlarını karşılamaktadır (Autodesk, 2020a). |
| Kişisel Bilgisayar Maliyeti (\$/PC) | \$ 1.605 | Tablo 4'te belirtilen minimum özelliklere sahip kişisel bilgisayar (Autodesk, 2020d) |

Tüm bu varsayımların yedi yıllık bir proje süreci için değerlendirilmesi sonucunda (Tablo 8):

- YBM Danışmanı Firma Maliyetinin \$ 641.180 (₺ 295.072.023,74) (detaylar için bkz. Tablo 9),
- YBM Uygulama Maliyetinin \$ 552.721,09 (₺ 396.801.770,56) (detaylar için bkz. Tablo 10),
- Toplam maliyetin ise \$ 1.193.901,09 (₺ 691.873.794,3) olduğu hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu maliyetlerin sadece YBM Uygulaması için yapılması gereken ek yatırımlar olduğunu ve bu değerlerin tasarım, imalat ve tesis yönetiminin asıl kalemlerini içermediğinin altını tekrar çizmek gerekmektedir.

Tablo 8. Finansal Analiz Özet Tablosu

| | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| YBM Danışmanı Yatırımı Bugünkü Değeri | -\$ 11.348.923,99 | -₺ 305.222.501,36 |
| YBM Uygulaması Yatırımı Bugünkü Değeri | -\$ 15.261.606,56 | -₺ 410.451.751,47 |
| Toplam | -\$ 26.610.530,55 | -₺ 715.674.252,83 |

Tablo 9. YBM Danışmanı Giderleri 7 Yıllık Finansal Analizi

| YBM DANIŞMANI FİRMA MALİYETİ | YIL 0 | YIL 1 | YIL 2 | YIL 3 | YIL 4 | YIL 5 | YIL 6 |
|---|--------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Modelleme Yazılımları | -\$ 50.850 | -\$ 53.392,5 | -\$ 56.062,12 | -\$ 58.865,23 | -\$ 61.808,49 | -\$ 64.898,91 | -\$ 68.143,85 |
| Doküman Yönetim Sistemi | -\$ 19.440 | -\$ 20.412 | -\$ 21.432,60 | -\$ 22.504,23 | -\$ 23.629,44 | -\$ 24.810,91 | -\$ 26.051,45 |
| YBM Uzman Ekibi Maaşı | -\$ 432.000 | -\$ 578.880 | -\$ 775.699,2 | -\$ 1.039.436,93 | -\$ 1.392.845,49 | -\$ 1.866.412,96 | -\$ 2.500.993,36 |
| Kişisel Bilgisayar (Başlangıç yatırımı) | -\$ 28.890 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| Kişisel Bilgisayar Bakım - Onarım - Yedek Parça | -\$ 2.000 | -\$ 2.100 | -\$ 2.205 | -\$ 2.315,25 | -\$ 2.431,01 | -\$ 2.552,56 | -\$ 2.680,19 |
| Bilgi İşlem Ekibi Maaşı | -\$ 108.000 | -\$ 144.720 | -\$ 193.924,8 | -\$ 259.859,23 | -\$ 347.941,36 | -\$ 466.241,42 | -\$ 624.763,5 |
| Toplam Giderler | -\$ 641.180 | -\$ 799.504,5 | -\$ 1.049.323,72 | -\$ 1.382.710,87 | -\$ 1.828.655,79 | -\$ 2.424.916,76 | -\$ 3.222.632,35 |

| | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Yatırım Bugünkü Değer (BD) (Present Value, PV) | -\$ 11.348.923,99 | -₺ 305.222.501,36 |
|---|--------------------------|--------------------------|

Tablo 10. YBM Uygulaması Giderleri 7 Yıllık Finansal Analizi

| YBM UYGULAMASI MALİYETİ | YIL 0 | YIL 1 | YIL 2 | YIL 3 | YIL 4 | YIL 5 | YIL 6 |
|--|------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Tasarım YBM Uygulaması Maliyeti | İlk 50 Tip Plan Grubu | İkinci 50 Tip Plan Grubu | | | | | |
| | -\$ 552.721,09 | -\$ 602.465,99 | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - | \$ - |
| İmalat (LOD 400) ve As-Built (LOD 500) YBM Uygulaması Maliyeti | | -\$ 1.581.473,21 | -\$ 1.723.805,80 | -\$ 1.878.948,33 | -\$ 2.048.053,68 | \$ - | \$ - |
| 7B Tesis Yönetimi YBM Uygulaması Maliyeti | \$ - | \$ - | \$ - | -\$ 1.503.158,66 | -\$ 1.638.442,94 | -\$ 1.785.902,80 | -\$ 1.946.634,06 |
| Toplam YBM Uygulaması Maliyeti | -\$ 552.721,09 | -\$ 2.183.939,20 | -\$ 1.723.805,80 | -\$ 3.382.106,99 | -\$ 3.686.496,62 | -\$ 1.785.902,80 | -\$ 1.946.634,06 |

| | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Yatırım Bugünkü Değer (BD) (Present Value, PV) | -\$ 15.261.606,56 | -₺ 410.451.751,47 |
|---|--------------------------|--------------------------|

Toplam Bugünkü Değer (BD)
(Present Value, PV)

-\$ 26.610.530,55

-₺ 715.674.252,83

5. Ekonomik Analiz

Arup şirketinin Akıllı Şehirler Lideri Léan Doody, Yapı Bilgi Modellemesi'nin (YBM) şehir ölçeğinde ele alınmasının, daha önce görülmemiş çevresel ve ekonomik sorunlara çözüm bulunmasında sürdürülebilir büyüme sağlayacağını belirtmektedir. YBM'nin, teknoloji, altyapı ve kamusal verilerin birleştirilmesiyle yeni değer zincirlerinin oluşturulmasına, yenilikçi uygulamaların gelişmesine ve sürdürülebilir şehir yaşamını mümkün kılan bilgi teknolojilerinin gelişimine katkı sağlayacağını ifade etmektedir. YBM'nin ekonomiye doğrudan ve dolaylı olarak sağlayabileceği çeşitli katkılar aşağıda verilmiştir:

- YBM'nin yaygınlaşması ile uzman ihtiyacı artar, bu nedenle eğitime yapılan yatırım ve istihdam artar.
- YBM ve YBM'ye bağlı akıllı şehir uygulamaları üzerine yapılan AR-GE yatırımları artar, ilgili sektörler teknolojik dönüşüm sayesinde modernleşir.
- Doğal kaynakların ve çevrenin duyarlı kullanılmasıyla çevre dostu kent yönetimi elde edilir, tahribat azalır.
- Daha doğru sürdürülebilirlik analizleri ile karbon salınımı azaltılabilir.
- İstisraf azalır, daha az maliyetle daha çok yatırım yapılabilir.
- Doğru değerlendirmelerle yatırımlardaki fırsat maliyetleri (opportunity cost) en aza indirgenir.

Bu nitel tasarrufların ve ekonomik katkıların para birimi cinsinden değerlendirilmesi, Yapı Bilgi Modellemesi'nin (BIM) süreçlerde yarattığı etkinin izole edilememesi ve sayısallaştırılamaması, mevcut uygulamaların ve akademik çalışmaların yeterince ilerlememiş olması nedeniyle şu anda sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilememektedir. Literatürde de vurgulandığı gibi, yatırım getirisi (ROI) hesabı için BIM entegrasyonunun tesis yönetimi aşamasındaki faydalarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır [66]. Bu nedenle, ekonomik faydalar sayısal olarak değerlendirilmemiştir. Bununla birlikte, belirtilen çıktıların kente, endüstriye ve topluma olumlu katkıda bulunacağı açıktır.

6. Sosyal Etkinin Analizi

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), toplum ve bireyler için bir dizi sosyal avantaj sağlamaktadır. YBM'nin sunduğu sosyal faydalar şunlardır:

- İş ortamında artan işbirliği ve koordinasyon ile kişilerin ortak karara varmasını kolaylaştırması,
- Taraflar arasındaki belirsizliklerden kaynaklanan kişisel gerginlikleri azaltması,
- Hem aynı çatı altındaki çalışanlar hem de paydaşlar arasındaki işten kaynaklanan olumsuz durumların önüne geçilmesi,
- Uygun planlamalar ve geliştirmeler ile bürokratik süreçlerin kısalması ile çalışanların, proje paydaşlarının ve vatandaşların zamandan tasarruf etmesi,
- Ruhsat, izin gibi süreçlerin dijitalleştirilmesi, bu işlemlerle görevli memur, çalışan ve vatandaşların işlerinin kolaylaşması, süreçlerin hızlanması,
- Ruhsat, izin gibi işlemlerin uzaktan yapılabilmesi ile Belediyedeki çalışan sirkülasyonunun azaltılması.

Dünya genelinde, akıllı şehirlerde Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulamalarına dair yaygın örnekler bulunmamaktadır. Ancak, Türkiye'de YBM uygulamasına yer verilmesi, kamu yönetimi, akademik kurumlar ve teknoloji paydaşlarının dikkatini çekecektir. Akıllı kent kapsamında YBM'nin uygulanması, Türkiye'nin gelecekteki teknolojik gelişmelere yönelik önemli bir örnek olmasını sağlayacak ve kent yönetimi ile inşaat sektöründe küresel bir liderlik pozisyonu elde etmesinin yolunu açacaktır.

7. Çevresel Etkinin Analizi

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), yapılı çevrenin doğal çevreyle ilişkisine ve kaynak kullanımına olumlu katkılar sağlamaktadır. Bu katkılar şunlardır:

- YBM, gerçek zamanlı süreç takibiyle tasarım ve inşaat aşamalarında çakışma analizleri ve malzeme hesapları gibi raporlamaların kolayca yapılmasını sağlayarak kaynak israfını azaltır. Bu israf, yapı malzemeleri, enerji ve doğal kaynakları içerir.
- Yapı malzemelerinin, enerji ve doğal kaynakların ihtiyaç düzeyinde kullanılabilmesi için kontrollü ve planlı bir şekilde ilerleyen imalat süreçleri sayesinde su, agrega, ahşap gibi doğal kaynakların israfı önlenir.
- YBM'nin dijitalleşen tasarım, imalat ve tesis yönetimi süreçleri, kâğıt israfını azaltır.
- CBS üzerinde yer altı ve yer üstü doğal kaynaklarının ve doğal çevrenin kayıtlı olması, YBM ile üretilen projelerin CBS entegrasyonu sayesinde proje alanı çevresindeki doğal kaynakların ve doğal çevrenin korunarak tasarlanmasını ve imal edilmesini sağlar.

- CBS entegrasyonu, yapılı çevre ve altyapılara zarar vermeden tasarım ve imalat yapılmasını sağlar. Bu şekilde, projelerin doğal ve yapılı çevreye verebileceği tahribatlar, tasarım aşamasında önceden engellenir.

8. Risk Analizi

Uygulamada karşılaşılabilecek riskler ve bu risklerin Gerçekleşme Olasılıkları ve Öneriye Potansiyel Etkileri Tablo 12’de değerlendirilmiştir. Belirlenen risklerin Gerçekleşme Olasılıkları ve Öneriye Potansiyel Etkileri, 5 seviyeli Likert Ölçeği ile değerlendirilmiştir. Risk faktörleri için düzenlenen 5 seviyeli Likert Ölçeği’nin sözel denkliği Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. YBM Uygulaması Risk Faktörleri Likert Ölçeği Seviyeleri

| Likert Seviyesi | Sözel Zorluk Düzeyi |
|-----------------|---------------------|
| 1 | Düşük |
| 2 | Düşük – Orta |
| 3 | Orta |
| 4 | Orta – Yüksek |
| 5 | Yüksek |

Tablo 12. YBM Uygulaması Risk Faktörleri Değerlendirmesi

| Risk Faktörü | Gerçekleşme Olasılığı | Öneriye Potansiyel Etkisi |
|-----------------------------|---|---|
| Döviz kurlarında dalgalanma | 4/5 Küresel çaptaki ekonomik ve sosyal krizler nedeniyle TL’nin diğer para birimleriyle paritesi sürekli olarak değişmektedir. | 3/5 Uygulamada kullanılacak tüm donanım ve yazılımlar yurtdışı menşeli olduğundan kurlardaki dengesizlik dövizle temin edilecek olan maliyetlerdeki değişimin öngörülememesine neden olur. |

| Risk Faktörü | Gerçekleşme Olasılığı | Öneriye Potansiyel Etkisi |
|-------------------------|---|---|
| Sosyal önyargı oluşması | 5/5 <p>Bu uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için bu projedeki tüm paydaşların klasik tasarım, inşaat ve yönetim yöntemlerinden uzaklaşarak yenilikçi bir bakış açısı benimsemesi ve proje gerekliliklerine uyum sağlaması gerekmektedir. Bu zorunlu kültür değişiminin getireceği zorluklar, projede yer almak isteyen paydaşlar için bariyer teşkil edebilir ve YBM'nin etkin bir şekilde kullanılmasını engelleyebilir.</p> | 2/5 <p>Uygulamada ön yeterlilik şartı ile sadece YBM teknolojisine adapte olmuş firmaların projeye dahil olması sağlanır ancak yeterlilik sağlayan firmaların azlığı nedeniyle rekabet azalabilir. YBM'ye adapte olmamış firmalar ise bu teknolojiyi bir bariyer olarak görmek yerine adapte olmayı seçebilir ve sektöre devinim kazandırılabilir.</p> |
| Teknolojini eskimesi | 1/5 <p>YBM yazılımları günümüzde her sene güncellenmektedir ve bu tüm firmalar arasında standartlaşmıştır. Bu nedenle sahip olunan yazılımların güncellenmesi önceden planlanabilir ve bütçelere dahil edilebilir.</p> | 1/5 <p>Kullanılan yazılımların güncellenmesi ihtiyaca bağlıdır. YBM uygulaması için her zaman en son çıkan sürümlerin kullanılması zorunlu değildir. Tüm paydaşlar aynı sürümü kullandığı sürece, yazılım firması o sürüme destek sağlamayı kesmediği sürece eski tarihli yazılımlar kullanılmaya devam edilebilir.</p> |

| Risk Faktörü | Gerçekleşme Olasılığı | Öneriye Potansiyel Etkisi |
|---|---|--|
| Alternatif Teknoloji çıkması | 1/5 <p>YBM teknolojisinin temelleri çok eskiye dayanmaktadır ve son 20 yılda geliştirilmiştir. Yakın gelecekte alternatif bir teknolojinin ortaya çıkması düşüktür. Alternatif bir teknoloji ortaya çıksa bile YBM birlikte işlerlik prensibi ile çalıştığı için bu alternatif teknolojiyle de uyumlu olması beklenmektedir.</p> | 3/5 <p>Alternatif bir teknoloji çıkması halinde ihtiyaçlar gözetilerek var olan sistem korunabilir veya yeni yatırım riski göze alınarak yeni teknolojiye geçiş yapılabilir.</p> |
| Yazılım ve donanımda hatalı seçimler | 1/5 <p>Tecrübesizlik, yanlış iletişim ve hesap hataları nedeniyle sunucu, kişisel bilgisayar ve yazılımlarda yanlış tercihler yapılabilir ancak doğru danışmanlık ile bu risk düşük seviyede tutulabilir.</p> | 5/5 <p>Yanlış donanım, ve yazılım kullanılması sistemin işleyememesine, veri kaybına ve entegrasyon problemlerine sebep olabilir. Bu nedenle hem maddi hem de sistemsel zararlar oluşabilir.</p> |
| Yeterli uzman işgücü bulunamaması | 1/5 <p>YBM ülkemizde gelişmekte olan bir teknolojidir, bu nedenle var olan uzman işgücü sınırlıdır. Ancak, proje ihalesinde ön yeterlilik şartı konulmasıyla bu sorun aşılabılır.</p> | 5/5 <p>Uzman işgücü YBM uygulamasının en önemli faktördür. İşgücü olmadan yazılım ve donanıma yapılan yatırımlar da boşa gidecektir. Ayrıca, ihtiyaç duyulandan daha az bir işgücü ile planlanan uygulama devreye alınmaya çalışılırsa projede hedeflenen zaman ve işgücü tasarrufları elde edilemeyecek, çalışanlara aşırı iş yüklemesi nedeniyle işgücü kaybı yaşanacaktır.</p> |

| Risk Faktörü | Gerçekleşme Olasılığı | Öneriye Potansiyel Etkisi |
|---|--|---|
| YBM'nin CBS ile entegrasyonunda yaşanacak zorluklar | 3/5 YBM CBS entegrasyonunun büyük ölçekte yapıldığı örnekler fazla olmadığı için Ar-Ge çalışması gerektirmektedir. Ancak uzmanların yardımıyla ve entegrasyona uygun YBM uygulamasının gerçekleştirilmesiyle CBS entegrasyonunda problemlerin aşılacağı öngörülmektedir. | 5/5 YBM ile CBS'nin entegre edilememesi, akıllı şehir bağlamında oluşturulmak istenen 3B şehir modelinin elde edilmesini engelleyecek ve uygulamanın amacına ulaşamamasına sebep olacaktır. |
| YBM'nin IoT ile entegrasyonu | 3/5 CBS'den farklı olarak IoT elemanları tamamıyla kamuya ait olmadığından entegrasyonda aksaklıklar yaşanabilir. Hem YBM hem de IoT uygulamalarının en başında entegrasyon için gerekli mevzuat ve teknik düzenlemeler yapılması halinde entegrasyon problemi yaşanması ihtimali düşük olarak öngörülmüştür. | 5/5 YBM ile IoT'nin entegre edilememesi, akıllı şehir bağlamında sağlanması amaçlanan kent genelindeki güncel veri akışının verimliliğini düşürecek ve her iki uygulamanın da amacına ulaşamamasına sebep olacaktır. |

9. Genel Değerlendirme ve Sonuç

Akıllı şehirler, anlık ve güncel veriyi taşıyabilen ve işleyebilen sistemlerden oluşmaktadır. Bir şehrin akıllı olabilmesi için, şehirle ilgili tüm verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi ve işlenmiş verinin kullanılması gerekmektedir. Şehir öğeleri düşünüldüğünde, yapılı çevrenin bir şehri oluşturan en önemli ve en büyük hacme sahip öğe olduğu açıktır. Akıllı şehirlerin oluşturulmasında, yapılı çevre bütünsel olarak ele alınabileceği gibi, daha detaylı bir şekilde tekil yapılar olarak da akıllı şehirlere dahil edilebilir. Bunun için, bölgede bulunan tüm tekil yapılarla ilgili verilere sahip olmak gerekmektedir. Tekil yapılarla ilgili verilerin oluşturulması, depolanması ve işlenmesi için en uygun ve tek seçenek Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) teknolojisi olarak öne çıkmaktadır. YBM ile yapılı çevrenin tüm unsurları (binalar, yollar ve ulaşım yapıları, altyapılar vb.) birbirinden bağımsız olarak modellenebilmekte ve bu modeller

üzerinden veri toplanabilmektedir. Modeller bir araya getirildiğinde, yapı çevrenin tümüyle ilgili veriler, en küçük birim ölçüğünde elde edilmektedir. Bu modellerin hangi detaylarda veri içereceği ve bu verilerin hangi paydaşlar tarafından toplanacağı, projenin başlangıcında, tüm paydaşların ortak katılımıyla belirlenmelidir.

Akıllı şehir kavramında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) yaklaşımlarının Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) ile entegrasyonu, en yüksek verimliliği elde etmek için önemlidir. YBM'nin yapılarla ilişkin detaylı verileri, CBS'den gelen kentin büyük ölçekli verileri ve IoT'den gelen ölçüm bilgileri bir araya getirildiğinde, kente dair her ayrıntı kapsanmış olmaktadır. Bu işbirliği sayesinde enerji analizleri, çevresel etki analizleri, planlama ve gelişim süreçleri ve kararları, sorunların hızlı tespiti ve çözümü gibi birçok ihtiyaç kolaylaşmaktadır. YBM'nin hem tekil düzeyde hem de kentsel ölçekte uygulanması, yatırımcılar, yükleniciler ve kamu yönetimi için maddi tasarruf, zaman tasarrufu, proje sürelerinin kısalması, yapı kaynakları ve enerji tasarrufu, doğru ve zamanında yatırım gibi birçok avantajlar sağlamaktadır.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yalnızca inşaat teknolojilerinde değil, aynı zamanda yapı imalatı alanında da bir değişim ve yenilikçi bir yaklaşımı benimsemeyi gerektirmektedir. YBM, inşaat sektöründeki tüm kurumları, sektörleri, bireyleri, ekonomiyi ve akademiye doğrudan ve dolaylı olarak etkilemekte, bu birimlerde değişimi ve dönüşümü beraberinde getirmektedir. YBM uygulaması, bireysel gelişimi, sektörel gelişimi ve ekonomik kalkınmayı desteklemektedir.

Akıllı kent konseptinde, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) dünya genelinde henüz yaygınlaşmamış olsa da, YBM'nin akıllı şehirlerde entegre bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu alanda akademik ve pratik çalışmalar devam etmektedir, bu nedenle YBM uygulamasının ülkemizde benimsenmesi küresel bir ilgi görecektir. YBM'nin Türkiye'de uygulanması, ülkenin kamu, akademik, sektörel ve yenilikçi liderlik rolünü destekleyecektir. Ayrıca, YBM'nin inşaat sektöründe kamusal bir gereklilik haline gelmesi, geleceğin inşaat teknolojisi olarak kabul edilen YBM'nin ülkemizde yaygınlaşmasına, uzmanlığının artmasına ve küresel alanda tanınmasına önemli bir destek sağlayacaktır.

YBM'nin kullanım amaçları, maliyet ve zaman tasarrufu, bölge çapında bir veritabanı oluşturma, veritabanının CBS ve IoT faktörleriyle işlevselliğini artırma, enerji ve doğal kaynakların verimli kullanımı, yapı ve kent sürdürülebilirliğini artırma, karar alma mekanizmalarını kolaylaştırma, hızlı alternatif üretimi ve yüksek kaliteli şehirleşmenin sağlanmasıdır.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Uygulamasının amaçları, projenin başlangıcında YBM danışmanı tarafından belirlenmelidir ve bu amaçların değişmesiyle hedefler ve dolayısıyla iş kalemleri değişebilmektedir. Finansal analiz kapsamında hesaplanan maliyetleri değiştirebilecek bir diğer faktör, projeye ilişkin nitel ve nicel kabullerdir. Finansal Analiz başlığı altında hesaplanan maliyetler, 65.000

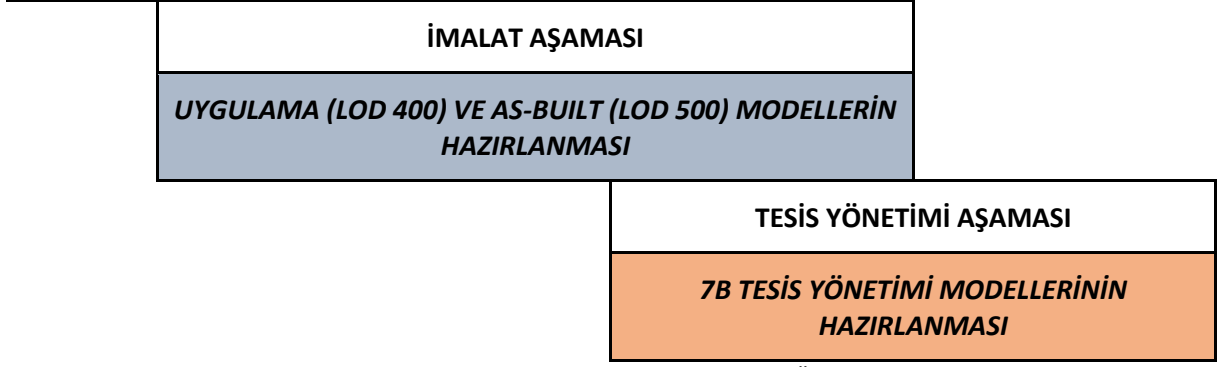
konut için her biri 6 kat ve 24 daireden oluşan 2.708 konut binasıyla ve bu binaların inşası için 100 adet tip konut planının üretilmesi varsayımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu varsayımlarla toplam inşaat alanı 1.000 hektar olarak varsayılmıştır. Çalışan giderleri, yazılım donanım temini, bakım ve onarım giderleri gibi birim fiyatlar, güncel piyasa fiyatları araştırılarak finansal analize dahil edilmiştir. Bu nedenle, konut yapılarının kat, daire ve bina sayısındaki değişiklikler, bina tipi sayısındaki değişiklikler ve hesaplarda kullanılan birim fiyatlarının değişimi, raporda yer alan maliyetlerin değişmesine neden olacaktır.

Özetlemek gerekirse, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulaması, etkili, kaliteli ve en üst düzeyde fayda sağlayan bir akıllı kent yatırımı için vazgeçilmezdir. YBM'nin kolaylaştırıcı etkisi, akıllı şehir yatırımından maksimum verim elde etmek ve uygulama maliyetini uzun vadede en düşük seviyede tutmak uygulamanın önemli çıkarımlarındandır. Bu nedenlerle, Yapı Bilgi Modellemesi'nin göz ardı edilmemesi ve akıllı kent uygulamasının başlangıcında YBM altyapısına yatırım yapılması önerilmektedir.

10. Yol Haritası

Yapı Bilgi Modellemesi uygulamasının faaliyetleri, yapı yaşam döngüsünün farklı aşamalarına dağıtılmıştır (Şekil 31 **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Bu faaliyet akışı her projede uygulanabilir, ancak her proje için zaman planlaması farklı olacaktır. Bu kılavuzda kesin bir zaman planına yer verilmemektedir. Yapı Bilgi Modellemesi'nin CBS ve IoT ile entegrasyon aktivitelerine ise faaliyet akışında yer verilmemiştir. Bunun nedeni, bu entegrasyon aktivitelerine ait zaman planının, Yapı Bilgi Modellemesi'nin kendi zaman planıyla ilişkili olmasına rağmen, CBS ve IoT faktörlerinin zaman planlarının henüz belirlenmemiş olmasıdır. Bu nedenle, bu aşamada bu entegrasyon aktiviteleri dikkate alınmamıştır.

| YIL 0 | YIL 1 | YIL 2 | YIL 3 | YIL 4 | YIL 5 | YIL 6 | YIL 7 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| YBM DANIŞMANLIĞI | | | | | | | |
| <i>YBM DANIŞMANI FİRMA İLE BELEDİYEDE YBM ALTYAPISININ KURULMASI VE YBM MODELLEME AŞAMALARINA KONTROLLÜK VE DANIŞMANLIK HİZMETİ VERİLMESİ</i> | | | | | | | |
| TASARIM AŞAMASI | | | | | | | |
| <i>LOD 100, LOD 200, LOD 300 YBM MODELLERİNİN HAZIRLANMASI AKTİVİTELERİ</i> | | | | | | | |



Şekil 31. YBM Uygulamasının Yapı Yaşam Döngüsündeki Özet Faaliyet Akışı

11. Kaynakça

- [1] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM Handbook. İçinde BIM Handbook. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- [2] Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. Automation in Construction, 101(January), 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- [3] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Wolisz, H., Böse, L., Harb, H., Streblov, R., & Müller, D. (2014). City District Information Modeling as a Foundation for Simulation and Evaluation of Smart City Approaches. Building Simulation and Optimization Conference. <https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-206004>
- [5] Corekci, M., Pinarer, O., & Servigne, S. (2019). DESIGNING A NOVEL SMART HOMEMONITORING SYSTEM WITH THE INTEGRATION OF BIM AND WSN. Proceedings of the International Conferences ICT, Society, and Human Beings 2019; Connected Smart Cities 2019; and Web Based Communities and Social Media 2019, 184–190. https://doi.org/10.33965/csc2019_201908L023
- [6] Ergen, E., & Kazado, D. (2018). YBM Uzmanı Sertifika Programı 1. Modül: YBM Süreçleri Eğitimi.
- [7] BIM Forum. (2019). Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. April, 254. <https://bimforum.org/lod/>
- [8] American Institute of Architects. (2013). Building Project Modeling Information Form Protocol. 1–5. <http://content.aia.org/sites/default/files/2016-09/AIA-G202-2013-Free-Sample-Preview.pdf>
- [9] Knapp, G. L., Mukherjee, T., Zuback, J. S., Wei, H. L., Palmer, T. A., De, A., & DebRoy, T. (2017). Building blocks for a digital twin of additive manufacturing. Acta Materialia, 135, 390–399. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.06.039>

- [10] Bolton, A., Butler, L., Dabson, I., Enzer, M., Evans, M., Fenemore, T., & Harradence, F. (2018). The Gemini Principles. University of Cambridge, UK 2018, 15. <https://doi.org/10.17863/CAM.32260>
- [11] Hamer, C., Zwierzak, I., Eyre, J., Freeman, C., & Scott, R. (2018). Feasibility of an immersive digital twin: The definition of a digital twin and discussions around the benefit of immersion. September, 16–17. https://www.amrc.co.uk/files/document/219/1536919984_HVM_CATAPULT_DIGITAL_TWIN_DL.pdf
- [12] Dourish, P. (2016). Algorithms and their others: Algorithmic culture in context. *Big Data & Society*, 3(2), 205395171666512. <https://doi.org/10.1177/2053951716665128>
- [13] Lu, Y., Liu, C., Wang, K. I.-K., Huang, H., & Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>
- [14] Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9–12), 3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- [15] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012, Nisan 23). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>
- [16] Ayani, M., Ganebäck, M., & Ng, A. H. C. (2018). Digital Twin: Applying emulation for machine reconditioning. *Procedia CIRP*, 72, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.139>
- [17] Jones, D., Snider, C., Kent, L., & Hicks, B. (2019). Early Stage Digital Twins for Early Stage Engineering Design. 22nd International Conference on Engineering Design.
- [18] Sielker, F., & Allmendinger, P. (2018). International experiences: Future cities and BIM. May, 30. https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/FutureCitiesandBuildingInformationManagement_Report.pdf%0Ahttps://www.cdbb.cam.ac.uk/CDBBResearchBridgehead/2018MiniProjects/2018MP_Allmendinger2
- [19] Xu, X., Ding, L., Luo, H., & Ma, L. (2014). From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, 19 (December 2013), 292–307.
- [20] Arroyo Otori, K., Biljecki, F., Kumar, K., Ledoux, H., & Jantien, S. (2018). Modeling Cities and Landscapes in 3D with CityGML. İçinde A. Borrmann, M. König, C. Koch, & J. Beetz (Ed.), *Building*

Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice (ss. 199–213). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>

- [21] Siountri, K., Skondras, E., Mavroeidakos, T., & Vergados, D. D. (2020). The Convergence of Blockchain , Internet of Things (IoT) and Building Information Modeling (BIM): The smart museum case. WTS 2019 - Wireless Telecommunications Symposium, January. [https://doi.org/ISBN: 978-1-5386-8381-1](https://doi.org/ISBN:978-1-5386-8381-1)
- [22] Dhopte, S. (2020). Keeping BIM at the Heart of Smart Cities. Excelize. <https://excelize.com/blog/keeping-bim-at-the-heart-of-smart-cities>
- [23] Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- [24] Abrishami, S., Goulding, J. S., Rahimian, F. P., & Ganah, A. (2014). Integration of BIM and generative design to exploit AEC conceptual design innovation. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 350–359.
- [25] McGraw Hill Construction. (2014). The Business Value of BIM in Australia and New Zealand: How Building Information Modeling is Transforming the Design and Construction Industry. Smartmarket Report. İçinde McGraw Hill Construction. <http://www.consultaustralia.com.au/docs/default-source/bim/the-business-value-of-bim-in-australia-new-zealand.pdf%0Ahttps://www.construction.com/toolkit/reports/bim-business-value-status-australia-new-zealand>
- [26] Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75 (September), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- [27] Enshassi, A. A., Abuhamra, L., & Alkilani, S. (2018). Studying the benefits of building information modeling (BIM) in architecture, engineering and construction (AEC) industry in the Gaza strip. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 12(1), 87–98.
- [28] Koseoglu, O., Sakin, M., & Arayici, Y. (2018). Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(10), 1339–1354. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0186>

- [29] Shin, M. H., Lee, H. K., & Kim, H. Y. (2018). Benefit-Cost analysis of Building Information Modeling (BIM) in a Railway Site. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su10114303>
- [30] Mohd-Nor, M. F. I., & Grant, M. P. (2014). Building information modelling (BIM) in the Malaysian architecture industry. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 10, 264–273.
- [31] Musa, S., Marshall-Ponting, A., Nifa, F. A. A., & Shahron, S. A. (2018). Building information modeling (BIM) in Malaysian construction industry: Benefits and future challenges. *AIP Conference Proceedings*, 2016(September). <https://doi.org/10.1063/1.5055507>
- [32] Akçay, C., İliş, İ. A., & Öktem, S. (2020). A public BIM project: Cerrahpaşa healthcare and education facility. *Communications in Computer and Information Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42852-5_4
- [33] Lee, G., Park, H. K., & Won, J. (2012). D3 City project — Economic impact of BIM-assisted design validation. *Automation in Construction*, 22, 577–586. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.12.003>
- [34] Azhar, S., & Brown, J. (2009). BIM for Sustainability Analyses. *International Journal of Construction Education and Research*, 5(4), 276–292. <https://doi.org/10.1080/15578770903355657>
- [35] Torregrosa-Jaime, B., Martínez, P. J., González, B., & Payá-Ballester, G. (2018). Modelling of a Variable Refrigerant Flow System in EnergyPlus for Building Energy Simulation in an Open Building Information Modelling Environment. *Energies*, 12(1), 22. <https://doi.org/10.3390/en12010022>
- [36] Ahsan, M. M., Zulqernain, M., Ahmad, H., Wajid, B. A., Shahzad, S., & Hussain, M. (2019). Reducing the operational energy consumption in buildings by passive cooling techniques using building information modelling tools. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(1), 343–353.
- [37] Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*, 238, 320–343. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>
- [38] Dall’O’, G. (Ed.). (2020). *Green Planning for Cities and Communities: Novel Incisive Approaches to Sustainability*. Springer International Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8>
- [39] Dall’O’, G., Zichi, A., & Torri, M. (2020). Green BIM and CIM: Sustainable Planning Using Building Information Modelling (ss. 383–409). https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_17

- [40] Kivits, R. A., & Furneaux, C. (2013). BIM: Enabling Sustainability and Asset Management through Knowledge Management. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2013/983721>
- [41] Mohammed, A. B. (2019). Applying BIM to achieve sustainability throughout a building life cycle towards a sustainable BIM model. *International Journal of Construction Management*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1615755>
- [42] Doan, D. T., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Ghaffarianhoseini, A., Zhang, T., & Tookey, J. (2019). Examining Green Star certification uptake and its relationship with Building Information Modelling (BIM) adoption in New Zealand. *Journal of Environmental Management*, 250, 109508. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109508>
- [43] McAuley, B., Behan, A., McCormack, P., Hamilton, A., Rebelo, E., Neilson, B., Beckett, G., Costa, A. A., Carreira, P., Likar, D., Taneva-Veshoska, A., Lynch, S., Hynes, W., & Borkovic, T. (2020). Delivering Energy Savings for the Supply Chain Through Building Information Modelling as a Result of the Horizon 2020 Energy BIMcert Project. *Çinde Sustainable Ecological Engineering Design* (ss. 157–168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44381-8_12
- [44] Ayman, R., Alwan, Z., & McIntyre, L. (2020). BIM for sustainable project delivery: review paper and future development areas. *Architectural Science Review*, 63(1), 15–33. <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1669525>
- [45] <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Reeskont+ve+Avans+Faiz+Oranlari>
- [46] <https://www.muhasibetr.com/asgari-ucret/#:~:text=2023%2D2022-,Asgari%20%C3%9Ccret%202023%20%2D%20Asgari%20%C3%9Ccret%20Ne%20Kadar%3F,447%2C15%20TL%20olarak%20belirlendi.>
- [47] CISC, & IfM. (2017). Digital Built Britain-R&D Work Stream A study for the Future Cities Catapult Summary of Research Report. file:///E:/Google Drive/02_EDU/04_ITU/02_1920_SPRING/00_PHD_ADV_ERGEN/02_TUSSIDE/resources/ugurlu and sertyesilisk 2019 references/DigitalBuiltBritain2017ResearchReportssummary.pdf
- [48] Centre for Digital Built Britain. (2020). National Digital Twin Programme. <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme>
- [49] Nochta, T., Badstuber, N., & Wahby, N. (2019). On the Governance of City Digital Twins Insights from the Cambridge case study. July, 23. <https://doi.org/10.17863/CAM.41083>

- [50] Nochta, T., Parlikad, A., Schooling, J., Badstuber, N., & Wahby, N. (2019). The local governance of digital technology – Implications for the city-scale digital twin (Sayı July). <https://doi.org/10.17863/CAM.41083>
- [51] Wan, L., & Parlikad, A. (2019). City-Level Digital Twin Experiment for Exploring the Impacts of Digital Transformation on Journeys to Work in the Cambridge Sub-region. <https://doi.org/https://doi.org/10.17863/CAM.43317>
- [52] Bentley Systems. (2019a). Cities Advance Digitally to Support Smart City Initiatives. <https://www.bentley.com/en/about-us/news/2019/october/21/1026-ai-cities-advance-digitally-to-support-smart-city-initiatives>
- [53] Padilla Philipps, D. (2020). Delivering a complex basement build beneath Admiralty Arch. BIM Today. <https://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/admiralty-arch/72225/>
- [54] Smith, P. (2014). BIM Implementation – Global Strategies. Procedia Engineering, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- [55] Singapore Government. (2017). Building Information Modeling (BIM) e-Submission. [https://www.corenet.gov.sg/general/building-information-modeling-\(bim\)-e-submission.aspx](https://www.corenet.gov.sg/general/building-information-modeling-(bim)-e-submission.aspx)
- [56] Khemlani, L. (2005). CORENET e-PlanCheck: Singapore’s Automated Code Checking System. AECbytes. <http://www.aecbytes.com/feature/2005/CORENETePlanCheck.html>
- [57] National Research Foundation. (2020). Virtual Singapore. Singapore Government. <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- [58] Crawford, J. (2018). Enhancing Virtual Singapore with BIM Data. <https://www.geomatics-world.co.uk/content/article/enhancing-virtual-singapore-with-bim-data>
- [59] Bentley Systems. (2020). Chengdu Going Digital with Bentley. <https://www.bentley.com/en/goingdigital/going-digital-in-cities/chengdu>
- [60] Bentley Systems. (2019c). Jiujiang Smart Water Management Project Adopts Digital Twins, Saving 800 Design Days and RMB 4 Million. <https://www.bentley.com/en/about-us/news/2019/october/21/728-ai-shanghai-investigation-jiujiang-smart-water-management>
- [61] Bentley Systems. (2019b). Jiujiang Smart Water Management Platform. https://www.bentley.com/fr/project-profiles/2019/sidri-yangtze-ecology_jiujiang-smart-water
- [62] Bentley Systems. (2014). City of Eindhoven. https://www.bentley.com/en/project-profiles/city-of-eindhoven_3d-city-and-ifc-integrated

- [63] LuxCarta. (2017). Eindhoven, Netherlands. https://3dcitymap.luxcarta.com/locations/Netherlands_Eindhoven.htm
- [64] Autodesk. (2020d). System requirements for Revit 2021 products. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2021-products.html>
- [65] Isikdag, U. (2015). BIM and IoT: A synopsis from GIS perspective. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 40(2W4), 33–38. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W4-33-2015>
- [66] Gao, X., Pishdad-Bozorgi, P. (2019). "BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review." Advanced Engineering Informatics, 39, 227-247.
- [67] Allmendinger, P., & Sielker, F. (2018). Urban Planning and BIM Final Report. May. <https://www.cdbb.cam.ac.uk/Downloads/ResearchBridgeheadDownloads/UrbanPlanningandBuildingInformationManagementInterim.pdf>
- [68] Castro-Lacouture, D., Quan, S. J., & Yang, P. P. J. (2014). GIS-BIM framework for integrating urban systems, waste stream and algal cultivation in residential construction. 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014 - Proceedings, September 2019, 576–583. <https://doi.org/10.22260/isarc2014/0077>
- [69] Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and GIS: An Overview. Procedia Engineering, 196(January), 1072–1079. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064>
- [70] Niu, S., Pan, W., & Zhao, Y. (2015). A BIM-GIS Integrated Web-based Visualization System for Low Energy Building Design. Procedia Engineering, 121, 2184–2192. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.091>
- [71] PC Part Picker. (2020). System Builder. <https://pcpartpicker.com/list/QjKdsk>
- [72] Yiğiter, F. (2020). Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamasının Türk Ulaştırma Altyapı Sektörü İçin Bir Değerlendirmesi [Istanbul Technical University]. https://www.researchgate.net/publication/343879149_AN_ASSESSMENT_OF_BUILDING_INFORMATION_MODELING_IMPLEMENTATION_FOR_THE_TURKISH_TRANSPORTATION_INFRASTRUCTURE_INDUSTRY_Transportation_Engineering_Programme
- [73] <https://www.turkiye.gov.tr/doviz-kurlari>