

Yapı Bilgi Modelleme Standart ve Kılavuzların İçeriklerinin İncelenmesi

Onur SELÇUK (ORCID: 0000-0003-0470-477X)^{1*}, Gülben ÇALIŞ (ORCID: 0000-0003-3056-4870)^{2*}

^{1*}UKHO Mimarlık Mühendislik İnşaat Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi,
Adalet Mahallesi Manas Bulvarı No:39 Folkart B Kule K:32 Ofis:3201 35000 Bayraklı, İzmir, Türkiye
e-posta: onurselcuk35@gmail.com

^{2*}Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 35040 Bornova, İzmir,
Türkiye
e-posta: gulben.calis@ege.edu.tr

ÖZET

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ile birlikte inşaat sektöründe oldukça ilgi görmeye başlamıştır. YBM adaptasyon süreci dünyada hızlı bir şekilde ilerleme kaydederken, Türkiye’de bu sürecin daha yavaş ilerlediği görülmektedir. Gelişmiş ülkelerin adaptasyon sürecinde ilk önem verdiği konunun YBM yönetmeliklerinin çıkarılması olduğu bilinmektedir. Ancak standartlar veya kılavuzlar geliştirme sürecinin ayrıntılı bir hazırlık gerektirdiği bilinmektedir. Bu nedenle gelişmiş ülkelerdeki kamu kurumları YBM mevzuat hazırlama süreçlerinde özel sektör ve üniversiteler ile işbirliği yapmaktadır. Bu çalışma, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) üniversiteleri tarafından geliştirilen yedi YBM standardını ve / veya kılavuzunu incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, YBM standart ve kılavuzlarının bölüm ve içerikleri karşılaştırılmıştır ve standartların, kılavuzların geliştirilmesi sürecini desteklemeyi planlayan Türkiye’deki kuruluşlara fayda sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), YBM Standartları, YBM Kılavuzları.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) has started to attract a lot of attention in the construction industry with the advancement of technology in recent years. BIM adaptation process is very fast in the world; however, this process proceeds more slowly in Turkey. It is known that the first thing that developed countries give importance during the adaptation process is issuing the BIM regulations. However, it is known that the process of developing standards or guidelines require a detailed preparation. Therefore, public bodies in the developed countries

cooperate with the private sector and universities during BIM legislation preparation processes. This study aims to investigate seven BIM standards and/or guidelines developed by the universities of the United States (U.S.). In this context, the chapters and contents of BIM standards and guidelines were compared. The results of this study will be beneficial to Turkish universities which plan to support the development process of standards and guidelines.

Key words: Building Information Modeling (BIM), BIM Standards, BIM Guidelines.

1.GİRİŞ

Günümüz teknolojisi hızla ilerlemekte ve sektörler iş süreçlerini gelişmelere göre değiştirmektedir. Ancak inşaat sektörünün diğer sektörlerle kıyasla geleneksel yöntemlerden yeni sistemlere oldukça yavaş uyum sağladığı bilinmektedir. Bu yavaş ilerleme inşaat sektöründe yapılan işlerin verimliliğini olumsuz anlamda oldukça etkilemektedir. Son yıllarda, Yapı Bilgi Modelleme (YBM), inşaat sektöründeki verimlilik problemlerine büyük ölçüde çözüm olabilecek bir sistem olarak sektörde büyük bir ilgi ile karşılanmıştır.

YBM, bir tesisin fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsili olmasının yanında bir yapının inşası süreci boyunca alınacak kararlar için güvenilir bir temel oluşturan, müşterek bilgi kaynağı oluşturmaktadır (NBIMS-US,2007). YBM, multidisipliner bir çalışma ortamı sunarak tasarımda karar sürelerini azaltmakta ve hızlı olarak dokümantasyon, planlama ve maliyet tahminleri yapılmasını sağlamaktadır. Söz konusu faydalara ulaşabilmek ve yüksek verimin elde edilebilmesi ise YBM sisteminin etkin ve doğru uygulanmasına bağlıdır. YBM sürecinin etkin ve doğru bir şekilde uygulanabilmesi için ise YBM mevzuatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerin YBM sürecine geçiş aşamaları incelendiğinde, YBM sistemini etkin ve doğru bir şekilde uygulamak için YBM mevzuatlarına oldukça önem

verdikleri görülmüştür. YBM standartları ve kılavuzlarının faydaları şu şekilde özetlenebilir:

- YBM'nin mümkün olduğunca etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.
- Mevcut ve gelecekteki YBM projelerinin uygulanmasına yardımcı olmaktadır.
- YBM projelerinin başlangıcından tamamlanmasına kadar tüm paydaşlar arasında işbirliğine dayalı bir proje ortamının kolaylaştırılmasını sağlamaktadır.
- YBM sistemini kullanan yönetim, tesis yöneticilerine ve çalışanlarına, meslek hayatına hazırlanan öğrencilere doğru bilgilerin aktarılmasını sağlamaktadır.
- Bir teknoloji platformu oluşturarak, gelecekteki teknolojileri dâhil etmek için sürekli destek sağlamaktadır.
- YBM uygulamalarında standart bir yöntem belirlemektedir.
- YBM sürecinin inşaat sektörüne hızlı bir şekilde adapte olmasını sağlamaktadır.

Bütün bu hususlar, YBM standart ve kılavuzlarının inşaat sektörünün YBM'ye geçişini önemli ölçüde etkileyebileceği göstermektedir. Ancak, standart ve kılavuz hazırlama ve yürürlüğe girme süreçlerinin uzun sürdüğü bilinmektedir. ABD'de 2003 yılında "General Service Administration" (GSA) kamu kurumu tarafından YBM'nin oluşturulması ve adaptasyonu için 3D-4D YBM programını oluşturmuştur (Khemlani, 2012). Bu programdan sonra 2007 yılında "National Institute of Building Sciences" (NIBS) tarafından YBM standardı yayımlanmış (NIBS, 2007) ve bu tarihten itibaren tasarım finansmanı alan tüm büyük projelerin proje aşamasında YBM kullanımını gerekli kılınmıştır (Leite ve diğ., 2011). Bu sayede ABD'de kendi YBM standartlarını ve kılavuzlarını oluşturma hükümet politikalarında yer aldıktan sonra, 2007 yılında %28 olan YBM adaptasyon oranının 2009 yılında %49'a yükseldiği görülmüştür (McGraw Hill Construction, 2012). Benzer şekilde İngiltere'de 2009 yılında ilk YBM standardı yayımlanmış ve kamu ihalelerinde Nisan 2016 yılından itibaren YBM uygulanmasını zorunlu hale getirerek kullanımının yaygınlaşmasını sağlanmıştır (Shimonti, 2018). "National Building Specification" (NBS) tarafından yapılan araştırmaya göre inşaat sektöründe YBM'nin kullanım oranı 2011 yılında %13 iken YBM'nin zorunlu kılındığı 2016 tarihinde %54, 2020 yılında %73 olmuştur (NBS, 2020). ABD, İngiltere, İskandinav Bölgesi, Singapur, Güney Kore, Japonya, Avustralya, Brezilya, Çin ve Hindistan ülkelerinde YBM kullanımının incelendiği bir çalışmada, YBM kullanımının ABD ve İngiltere'de ileri düzeyde olduğu ve bu durumun ortaya çıkmasında standartların temel taşı görevi gördüğü saptanmıştır (Smith, 2014).

Birçok ülkenin ulusal standartlarını oluştururken alt yapı olarak ABD ve İngiltere'nin standartları ve protokollerini kullandığı sonucuna varılmıştır. Edirisinghe ve London (2015), yaptıkları çalışmada Amerika, İngiltere, Filanda, Norveç, Singapur, Hong Kong, Güney Kore ve Avustralya ülkelerindeki durumu ulusal düzeyde incelemiştir. Bu kapsamda uluslararası düzeyde YBM standartlarının oluşturulamamasının nedenleri ve karşılaşılan zorluklar incelenmiştir. Harrison ve Thurnell (2014), YBM'ye geçiş sürecinde yaşanan zorlukların başında herkes için kabul görmüş standart veya protokol olmaması ve devletin bu süreci desteklememesi olduğunu belirtmiştir. Çalışma, Yeni Zelanda'da bu zorlukların kendi standart ve protokollerini oluşturmak ve kamu ihalelerinde YBM'nin kullanımını zorunlu hale getirilmesi aracılığıyla aşıldığı belirtilmiştir.

Ademci (2018), Türkiye'de YBM sistemine geçişin yavaş gerçekleşmesi ve YBM projelerinde yaşanan bir çok problemin standart ve kılavuz eksikliğinden yaşandığını tespit etmiştir. Türkiye'de YBM kullanımının yüksek olduğu ülkelere kıyasla YBM projelerinde referans alınacak YBM standartlarının ve kılavuzlarının bulunmadığı belirtilmektedir (Öktem ve Ergen, 2014). Bu doğrultuda YBM sürecine geçmek isteyen kurumlar gereksinimlerini belirlemekte ve bu gereksinimleri giderecek yönetim anlayışını oluşturmada zorluk yaşamaktadırlar. İnşaat sektöründeki şirketlerin, şirket içinde ya da şirketler arası veri transferi için çizim, model ve teslim süreçleri, dosya adlandırma gibi konularda standart eksikliği, YBM'nin mimarlık ve mühendislik şirketlerinde yaygın kullanılmaması, kamu sektöründe YBM projelerinin doğrudan uygulanabilmesi için gerekli mevzuatların eksiklikleri YBM'ye geçiş sürecine engel olduğu saptanmıştır (Ofloğlu, 2014). Oysaki gelişmekte olan teknoloji ile birlikte, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'deki inşaat firmalarının da projeleri için daha etkin planlama yapabilmek adına YBM temelli çalışma yöntemlerine geçiş yapmak istedikleri belirtilmektedir (Bayram, 2020). Bu nedenlere bağlı olarak, Türkiye'de YBM sürecinin doğru ve hızlı bir şekilde inşaat sektörüne entegre edilebilmesi için gerekli olan YBM standartları ve kılavuzlarının içeriklerinin belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'de YBM kılavuz ve standartlarının oluşturulmasına yönelik yapılacak çalışmalara destek olmak amacıyla, ABD'deki toplam 7 üniversitenin hazırladığı YBM standart ve kılavuzları incelenmiştir. İlerleyen bölümlerde sırasıyla materyal, araştırma bulguları, sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.

2. MATERYAL

Bu çalışmada, ABD'deki yedi üniversite tarafından yayımlanan YBM standart ve kılavuzlarının bölümleri ve içerikleri incelenmiş ve

karşılaştırılmıştır. Çalışmada incelenen dokümanlar Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. İncelenen YBM standartları ve kılavuzları

Üniversite	Doküman türü	Başlık	İlk yayım tarihi	Versiyon	Referans
Florida International University	Standart&Kılavuz	BIM Standard & Guide	Aralık 2014	1.0	Florida International University, 2014
Indiana University	Standart&Kılavuz	BIM Standard & Guide for Architects, Engineers and Constructors	Temmuz 2015		Indiana University, 2009
Los Angeles Community College District	Standart	LACCD Building Information Modeling Standards	Haziran 2009		BuildLACCD, 2009
NYC School Construction Authority	Standart&Kılavuz	Building Information Modeling Guidelines and Standards for Architects and Engineers	Nisan 2013	1.1	NYC School Construction Authority, 2013
University of South Florida	Standart&Kılavuz	BIM Guidelines and Standards for Architects, Engineers and Constructors	Şubat 2018	1.0	University of South Florida, 2018
University of Southern California	Kılavuz	Building Information Modeling (BIM) Guidelines	Nisan 2012	1.6	University of Southern California, 2012
Western Michigan University	Standart&Kılavuz	BIM Project Execution Standards Guide for Western Michigan University Facility Management	Kasım 2013	1.0	Western Michigan University, 2013

3. YBM Standart ve Kılavuz Bölümleri

Bu bölümde YBM standart ve kılavuzlarında yer alan bölümlerinin içerikleri sunulmaktadır.

3.1. Uygulama Planı

YBM uygulama planı, YBM sürecinin en önemli bölümlerinden biridir. Uygulama planının hedefi, projede çalışan herkesin ortak bir bölümde işbirliğinde olmasını sağlamaktır. Uygulama planında projeye ait temel bilgiler, YBM tekniklerinin nasıl uygulanması gerektiği, yapılması gereken işlerin hangi sırayla ilerleyeceği, nasıl takip edileceği ve nasıl kontrol edileceği gibi bölümler yer almaktadır. Uygulama planı sayesinde proje sistemli ve düzgün bir şekilde ilerlemektedir. Uygulama planı doğru bir şekilde uygulanırsa projenin zamanında ve bütçe dâhilinde tamamlanma olasılığı yüksek olmaktadır.

Uygulama planı proje boyunca olgunlaşmaya devam etmekte olan bir belgedir.

3.2. Roller ve Sorumluluklar

Bu bölümde YBM projesinde yer alacak olan disiplinlerin ve bu disiplinlerdeki ekiplerin rollerine ve sorumluluklarına yer verilmektedir. YBM ekibinde kimlerin bulunduğu, görevlerinin ve sorumluluklarının neler olduğu, proje ya da doküman teslimatının nasıl yapılacağı ve sorumluluğun kime ait olduğunun detaylı bir biçimde belirtildiği bölümdür.

3.3. Gelişim Seviyeleri

Bu bölümde modellenen elemanların gelişim seviyeleri (LOD) belirtilmektedir. LOD100, LOD200, LOD300, LOD400, LOD500 gibi gelişim seviyeleri bulunmaktadır.

LOD100 gelişim seviyesi konsept tasarım olarak bilinmektedir. Yapının üç boyutlu modeli temel bilgileri temsil etmek için geliştirilir. Bu gelişim seviyesinde alan, yükseklik, hacim, konum ve yön gibi parametrelere yer verilir.

LOD200 gelişim seviyesi genel modelleme ve şematik tasarım olarak bilinmektedir. Malzemelerin boyut, şekil, konumu ile modellendiği genel modeldir.

LOD300 gelişim seviyesi kesin modelleme ve detaylı tasarım seviyesidir. Malzemelerin belirli montajlarla, kesin miktar, boyut, şekil, konumlar ile tanımlandığı modelleme seviyesidir. Yapı elemanlarına bilgiler eklenebilmektedir.

LOD400 gelişim seviyesi imalat ve montaj seviyesidir. Yapı elemanları, kesin miktar, boyut, şekil detaylandırma bilgileri ile modellenmektedir.

LOD500 gelişim seviyesi nihai modelleme, işletme ve bakım seviyesi olarak bilinmektedir. Bu seviyede işletme ve bakımı destekleyecek bilgiler ile eleman modellemesi yapılmaktadır.

3. 4. Teknoloji Platformu ve Yazılım Bilgileri

YBM tabanlı projeler çok disiplinli çalışma ortamı gerektirdiğinden dolayı oluşturulacak projelerde kullanılacak olan yazılımlar ve disiplinler arası dosya aktarımlarının hangi platformlar üzerinden gerçekleşmesi gerektiği önemli bir konudur. İncelenen standartların ve kılavuzların teknoloji platformu ve yazılım bilgileri bölümünde, disiplinlerin YBM projelerinde hangi yazılımları kullanması gerektiği ve bu yazılımların versiyonları belirtilmektedir. Disiplinler arasındaki bilgi aktarımının hangi formatta yapılacağına dair bilgilere de yer verilmektedir. Ayrıca, kullanılacak yazılımların ara yüzleri tanımlanır.

3. 5. Analiz ve Simülasyonlar

Bu bölümde YBM projesinde yapılması gereken analizler ve simülasyonlara yer verilmektedir. Standartlarda bu bölümde, genel olarak YBM uygulama planında gerekli olan analizler belirtilmektedir. YBM projelerinde yer alan bazı analizler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Arazi Analizi: Belirli bir arazide yapı konumunu ve yönelimini belirlemek amacıyla yapılan analizlerdir. Arazi analizleri yapının tasarımı sırasında enerji verimliliğini arttırmaya yarar.

Aydınlatma Analizi: Yapı bilgi modelinin hem doğal hem de yapay ışık altında, yaz ve kış aylarında gölgelerin sınırlarının durumunu analiz

eder. Bu doğrultuda yapının aydınlatma gereksinimleri belirlenir.

Enerji Analizi: Enerji analizlerini gerçekleştirmek için yapı bilgi modelinin tamamlanması gerekmektedir. Enerji analizi, yapıda kullanılan malzemelerde değişiklik önererek yapı enerji verimliliğini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda hem yapının kullanım ömrü uzamaktadır hem de yapının maliyet giderleri optimize edilmektedir.

Mekanik Analiz: Yapı bilgi modelinde tasarlanan mekanik sistemleri değerlendirmek amacıyla yapılan analizlerdir. Yapılan mekanik analizler, yapının ısıtma, soğutma, havalandırma ihtiyaçlarının verimli bir şekilde giderilmesi konusunda bilgi verir. Mekanik analizler, enerji tüketiminde azalma, mekanik sistemlerde kullanılacak yapının malzemelerin ihtiyaç doğrultusunda boyutlandırılması gibi faydalar sağlar.

Çakışma Analizleri: Disiplinler arasındaki modellerin çakışma kontrollerinin yapıldığı analizlerdir. Çakışma analizleri imalat sırasında oluşacak problemleri önceden tespit eder ve zaman, maliyet parametrelerini en verimli bir şekilde organize edilmesini sağlar. Sahada verimliliği artırır ve toplam inşaat süresini azaltır.

Simülasyonlar, yapı bilgi modellerinde oluşan problemleri inşaat sahasına çıkmadan sanal ortamda tespit etmeye yardımcı olur. Bu tespitler, tasarımlarda oluşan problemleri geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı çözmeye yardımcı olur. Bu doğrultuda inşaat süreci daha hızlı ilerlemektedir. YBM tabanlı projelerde çakışma simülasyonları, enerji simülasyonları, 4B inşaat süreç simülasyonu, 5B maliyet simülasyonu daha sık kullanılmaktadır.

3. 6. Veri Güvenliği

YBM'lerde proje ekibi üyeleri, diğer çalışanlar veya dış kaynaklar tarafından herhangi bir olası veri bozulmasını, virüs bulaşmasını, verilerin kötüye kullanımını veya kasıtlı olarak zarar görmesini önlemek için bir veri güvenliği protokolü oluşturulmalıdır. Veri güvenliği protokolü temel olarak şunları içermelidir:

Olası veri kaybını ya da hasarları önlemek amacıyla, verilere erişimin çeşitli rollerini ve derecelerini, dosyaların değişimini, bakım işlemlerini gerçekleştirecek kullanıcılara erişim hakları ve izinleri oluşturulmalıdır.

Ağ sisteminde bulunacak olan YBM tabanlı proje verilerinin düzenli aralıklarla yedekleme işlemleri gerçekleştirilmelidir.

Verilerin yetki dışında başka bir yere transfer edilmesi, dosyaların virüsler, kötü amaçlı yazılımlar tarafından bozulması, ihmaller, verilere kasıtlı saldırılar gibi çeşitli güvenlik sorunlarında nasıl korunacağı belirtilmelidir.

Verilerin transferi, bakım ayarları, yedekleme prosedürleri ve verilerin arşivlenme kurallarına da güvenlik protokolünde yer verilmelidir.

3. 7. Dosya Yapısı ve Adlandırma Kuralları

Bu bölüm, YBM verilerinin proje dosyalama sisteminde nasıl saklanacağını tanımlar. Tüm disiplinlerin model dosyaları, çizimleri ve veriler, proje boyutu ve türü ne olursa olsun, merkezi bir sunucuda klasör yapısında organize edilmeli ve dosyalanmalıdır.

Modelleri ve veritabanlarını korumak, yedekleme yapmak ve olası veri kayıpları durumunda veri kurtarmak için tüm modeller merkezi bir sunucuda ya da bulut sisteminde saklanmalıdır. Tüm proje verileri, merkezi ağ sunucularında veya uygun bir bulut platformunda bulunan standart proje klasör yapısı içinde tutulmalıdır. Bu işlem, sistem yöneticisi tarafından standartlaştırılarak yapılmalıdır.

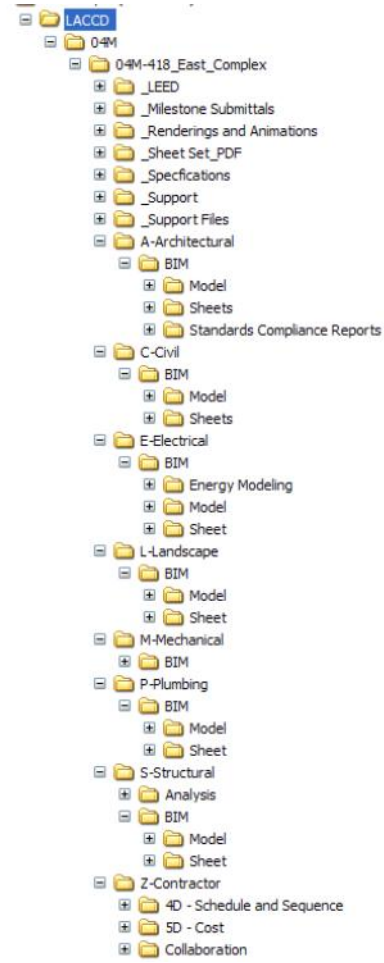
Proje klasörleri her şirkette farklılık gösterebilir. Ancak, proje klasör yapıları, ihtiyaç duyulan verileri kolay ve hızlı bir şekilde bulmaya yardımcı olacak şekilde oluşturulmalıdır. Şekil 1'de Los Angeles Community College District (LACCD) tarafından tasarlanmış örnek bir klasör yapısı gösterilmektedir (BuildLACCD, 2009).

Standartlaştırılan klasör yapısının değiştirilmesine veya bozulmasına karşı diğer personellere kısıtlama getirilmelidir. Personelin alt klasör oluşturma ihtiyacı duyması durumunda, yönetici ile görüşmesi gerekmektedir.

3. 8. İşletme ve Bakım Gereksinimleri

İşletme ve bakım bölümünde bir başka deyişle tesis yönetiminde gerekli olan içeriklerin neler olduğu ve bu içeriklerin hangi formatta olması gerektiği açıklanmaktadır. Bu bölümün amacı, tesisin verimli, ekonomik ve güvenli işletilmesini, bakımını ve onarımını açıklayan ayrıntılı bilgileri sağlamaktır. Sorumlu personelin, işletme ve bakım gereksinimlerini diğer personellerin kolayca kullanabileceği şekilde biçimlendirmesi gerekmektedir. Tesisin işletilmesinin, bakımının ve onarımının kapsamlı bir şekilde

gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan teknik detaylar bu bölümde yer almalıdır.



Şekil 1. LACCD Klasör Yapısı (BuildLACCD, 2009)

3. 9. Proje Evreleri

Standartların proje evreleri bölümlerinde; mimari, yapısal, mekanik, elektrik, sıhhi tesisat modellerinin YBM formatında neleri içermesi gerektiğine yer verilmektedir.

Mimari Projeler: Mimari proje, YBM Uygulama Planında belirtilen kurallar doğrultusunda oluşturulmalıdır. Yapı elemanları, duvarlar, kapılar, pencereler, mobilyalar vb. yazılım bölümünde belirtilen yazılım araçları ve bileşenleri kullanılarak çizilmelidir. Mimari elemanlar her kat seviyesi için ayrı ayrı modellenmelidir. Mimari elemanlar 3B olarak modellenmediğinde, modeli tamamlamak için 2B çizgiler ve semboller mimari modelde kullanılabilir. İhtiyaç halinde mimari bir elemanı doğru bir şekilde modellemek için elemanın gerçek boyutu, kalınlığı ve detayı kullanılmalıdır. Modelde mimari elemanın bilgi ve verileri yer almalıdır.

Yapısal Projeler: Yapısal Modelleme, mimari projeden gelen model doğrultusunda YBM uygulama planında belirtilen kurallara uygun tasarlanmalıdır. Yapı elemanları, perde duvarları, döşemeler, kolonlar ve kirişler belirtilen yazılımlar yardımı ile oluşturulmalı ve analizleri gerçekleştirilmelidir. Yapısal model, betonarme, ahşap, çelik ve prefabrik yapıları içerebilir. Oluşturulacak olan model tipine göre yapı elemanları her kat kotu için ayrı ayrı modellenmelidir.

Mekanik, Elektrik ve Sıhhi Tesisat Projeleri: Bu projeler, oluşturulan mimari ve yapısal model temel alınarak ve YBM uygulama planında belirtilen kurallara uyarak geliştirilmelidir. Bu projelerde elemanların (kanal, tava, boru vb.) YBM veri tabanından doğru seçilmesi ve detaylandırılması gerekmektedir.

3. 10. Koordinasyon

Bir YBM modelini nihai olarak kimin koordine edeceği projenin aşamasına göre değişiklik gösterebilir. Örneğin bir YBM projesinin tasarım aşaması için koordinasyonunu mimari model yöneticisi sağlayacaktır. Ancak, tüm disiplinlerin dahil olduğu aşamada, projelerin koordinasyonunu proje modeli yöneticisi sağlayacaktır.

YBM tabanlı projelerde; teknik elemanlar, müteahhitler ve taşeronlar arasındaki koordinasyonu sağlamak için resmi bir süreç tanımlamak gereklidir. Bu süreci tanımlamak için temel modelleme faaliyetleri, proje verileri, değişim gereksinimleri ve formatı, dokümantasyon gereksinimleri ve gerekli olan disiplin modellerinden oluşan bir proje koordinasyon çizelgesi oluşturulmalıdır. Koordinasyon adımları şu şekildedir:

1. Oluşturulacak modeller ve amaçları tanımlanmalıdır.
2. Modellerin oluşturulacağı ve yöneticiye teslim edileceği zaman planlanmalıdır.
3. Koordinasyonu sağlanacak olan disiplinlere özel dokümantasyon ve veri gereksinimleri tanımlanmalıdır.
4. Modellerin koordinatörleri ve sorumlulukların kimde olduğu tanımlanmalıdır.
5. YBM modeli içeriği hakkında işverene geri bildirim sağlanmalıdır.
6. Disiplinlerden gelen projeleri birleştirmeden önce disiplinlere ait modeller kontrol edilmelidir.
7. Disiplinlerden gelen modeller bir modelde birleştirilmelidir.
8. Birleştirilen projeler kontrol edilip, çakışma kontrolü yapılmalıdır.
9. Yapılan kontroller doğrultusunda çakışmalar tanımlanmalı ve belgelenmelidir.

10. 3B modellerin koordinasyonu için gerekli olan toplantıların zamanı ve koordine edilecek dokümanlar belirlenmelidir.

11. Bu toplantılar doğrultusunda çözümler tanımlanmalı ve belgelenmelidir.

12. Modellerin kullanılması için güncellenmiş modeller teslim edilmelidir.

13. Disiplinler, modellerin onaylandığını ve üretime hazır olduğunu doğrulamalıdır.

14. Modellerin güvenliğini ve disiplinlerin koordinasyonunu sağlamak için alınan her dosyanın bir kopyasını tutmak için verilerin yedeklenip, arşivlenmesi gerekmektedir.

3. 11. Model ve Veri Teslim Süreçleri

YBM uygulama planında, inşaat bitiminde işverene teslim edilecek dosyalar açıkça belirtilmelidir. Bu teslimlerin tipleri ağırlıklı olarak basılı kopya ve elektronik ortamda gerçekleştirilen teslimler olmaktadır. Teslim edilecek olan dosyaların içeriği sözleşmelerde açıkça belirtilmelidir.

Yazılı Kopyalar: Gerçekleştirilen model çizimlerinin nihai basılı kopyaları, işverence yazılı kopya teslim kural kılavuzunda açıkça belirtilmelidir. Bu doğrultuda işverene gerekli olan teslimler eksiksiz olarak yapılmalıdır.

Elektronik Teslimler: Ön tasarım modelinden inşaat aşamasında gerekli olan hizmetlere kadar YBM projelerinin elektronik versiyonları teslim edilmelidir. Elektronik olarak teslim edilen projelerde 3B model dosyaları, 2B model dosyaları ve gerekli olan pdf dosyaları yer almalıdır.

Teslimi yapılacak dosyalar içerisinde aşağıda belirtilenlerin yer alması beklenebilir.

- Arazi modeli
- Kütle modeli
- Mimari, yapısal, mekanik ve elektrik modelleri
- Disiplinlerden gelen modellerin koordinasyonunu sağlamakta gerekli olan çakışma analizleri
- Görselleştirmeler
- Maliyet hesabı için gerekli veriler
- İş programı
- İnşaat ve imalat modelleri
- Proje nihai modelleri
- Tesis yönetimi için gerekli olan veriler

3. 12. İşbirliği Modları

Büyük ve karmaşık projelerde ortak çalışma için izlenecek yollar hakkında bilgiler yer almaktadır. Ayrıca, çakışma kontrollerinin tespitine yer verilmektedir.

3. 13. Arşivleme

YBM tabanlı modellerde dosyaların ne kadar sıklıkla arşivleneceği, arşivlenen dosyaların ne kadar süre ile taraflarda saklanıyor olacağına, tarafların arşivlenmiş YBM projelerine ulaşabileceği erişim sürelerine, arşivlenen dosyaların güvenliğini kimin sağlayacağı ve ortaya çıkacak maliyetin kim tarafından karşılanacağı, arşivleme süresi dolan dosyaların nasıl yok edileceği gibi maddeler bu bölümde belirtilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölüm, karşılaştırma sonucu elde edilen bulguları ve değerlendirmeleri içermektedir.

4.1. Uygulama Planı

İncelenen YBM standartlarının ve kılavuzlarının uygulama planı bölümü detaylı incelendiğinde, alt başlık olarak proje bilgileri, roller ve sorumluluklar, teknoloji altyapı gereksinimleri, disiplinler arası çalışma prosedürleri, analizler ve simülasyonlar, YBM model gereklilikleri, model teslim süreçleri, uygulama planı şablonuna yer verildiği görülmektedir. İncelenen standartların YBM uygulama içeriklerinin karşılaştırması Tablo 2’de sunulmaktadır. Sonuç olarak, dokümanlardan sadece uygulama planı şablonunun bütün kılavuzlarda yer aldığı tespit edilmiştir. Disiplinler arası çalışma prosedürlerinin ise yedi kılavuzdan altısında yer aldığı görülmüştür.

4.2. Roller ve Sorumluluklar

Tablo 3 incelenen standart ve kılavuzlardaki işveren, tasarım ekibi ve inşaat ekibinin rolleri ve sorumluluklarının tanımlanmasına yer verilip verilmediğine ilişkin karşılaştırmayı sunmaktadır.

İncelenen standart ve kılavuzlarda, rollerin ve sorumlulukların nasıl yerine getirilmesi farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklardan en önemlisi ise YBM yöneticilerinin işveren tarafından istihdam edilme şartı koyulması veya YBM yöneticilerinin teknik personel, mimar, mühendisler tarafından atanmasıdır.

İncelenen standart ve kılavuzlarda, tasarım ekibinin rolleri ve sorumluluklarının bütün belgelerde yer aldığı; Indiana University ve NYC School Construction Authority’de işveren rolleri ve sorumluluklarına yer verilmediği ve inşaat ekibinin rollerine ve sorumluluklarına Indiana University dışındaki diğer tüm belgelerde yer verildiği görülmektedir.

4.3. Gelişim Seviyeleri

Bir projenin tasarım ve inşaat yaşam döngüsünün her aşamasına bir YBM modelinin bileşen parçaları için gereken “Gelişim Seviyelerini” tanımlamak, proje katılımcılarının işlerini düzgün bir şekilde planlamasına, koordine emesine ve kontrol etmesine olanak tanır (Reinhardt ve Bedrick, 2015). Proje aşamalarına bağlı gelişim seviyeleri tanımları olmadan, YBM modellerinde yer alan elemanların gelişim seviyelerinden emin olunamaz. Bu nedenle, YBM uygulama planında her projedeki yapı sisteminin ve malzemelerin gelişim seviyeleri detaylı tanımlanmalıdır.

Yapılan incelemede, Florida International University, NYC School Construction Authority, University of Southern California (USC) belgelerinde gelişim seviyeleri özelliklerine ayrıntılı olarak yer verildiği görülmektedir. Örneğin NYC School Construction Authority’de mimari, yapısal, havalandırma, elektrik, mekanik, sıhhi tesisat, yangın sistemlerinde kullanılan yapı elemanlarının, malzemelerin kapsamlı, eksiksiz gelişim seviyeleri tablolarına yer verilmektedir. Diğer belgelerde ise gelişim seviyelerinden yüzeysel olarak bahsedildiği tespit edilmiştir.

4.4 Teknoloji Platformu ve Yazılım Bilgileri

YBM projelerinin oluşturulmasında en önemli gerekliliklerden bir tanesi de teknoloji platformu ve yazılımlardır. İncelenen belgelerin tümünde yazılımlar hakkında ayrıntıya yer verildiği görülmektedir. İncelenen YBM standartları ve kılavuzlarda disiplinlerin kullanması gereken yazılımlarına ait bilgiler Tablo 4’de sunulmaktadır.

4.5. Analiz ve Simülasyonlar

Tablo 5 incelenen standart ve kılavuzlardaki analiz ve simülasyonlara ait karşılaştırmayı sunmaktadır. Sonuçlar, incelenen 5 belgenin enerji modellemesine tasarım süreçlerinde yer verdiğini göstermektedir. Bu doğrultuda tasarım detaylandırıldıkça enerji tahminlerinin daha doğruya yakın olabileceği söylenebilir.

Çakışma analizlerine ve simülasyonlara Indiana University hariç diğer tüm kılavuzlarda yer verildiği tespit edilmiştir. Çakışma analizleri ise maliyet ve zaman parametreleri için oldukça önemlidir. 5B maliyet simülasyonunun ise bütün belgelerde yer aldığı görülmektedir.

4.6. Veri Güvenliği

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte veri güvenliği konusu da en önemli maddelerden biri haline gelmiştir. Özel, gizli projelerin güvenliği sağlamak

amacı ile standart ve kılavuzlarda gerekli açıklamalara yer verilmektedir. Bu kapsamda verilerin transferi, bakım ayarları, yedeklenme prosedürleri ve arşivlenme kuralları olmak üzere dört ana başlıkta ayrıntılar açıklanmaktadır. İncelenen belgelerde, Indiana University ve University of South Florida hariç diğerlerinde veri güvenliği konusuna yer verildiği görülmektedir (Tablo 6).

4.7. Dosya yapısı ve Adlandırma Kuralları

Dosyalama ve adlandırma kuralları, dosyaların otomatik olarak sıralanması ve bu doğrultuda dosyaların bulunmasını sağlamaktadır.

Yapılan incelemede Indiana University’i kılavuzu hariç diğer YBM standart ve kılavuzlarının dosyalama ve adlandırma kurallarını içerdiği görülmektedir. Bu kapsamda en detaylı bilgiyi NYC School Construction Authority belgesi ele almakta olup klasör adlandırma kurallarına örnek olacak açıklamaları Tablo 7’de sunulmaktadır.

4.8. İşletme ve Bakım Gereksinimleri

YBM tabanlı projelerde bilginin, yapının inşaat aşamasından işletme aşamasına kadar aktarılması inşaat endüstrisi için oldukça faydalı bir durumdur. İşletme ve bakım sürecinde en önemli iki unsur mevcut bir tesisin işletme ve bakım süreci ve inşa edilecek tesisin işletme ve bakım sürecidir.

İncelenen belgelerde bu kapsamda işletme ve bakım kuralları, restorasyon ve lazer tarama teknolojisi olmak üzere iç farklı içeriğe rastlanılmaktadır. Son yıllarda özellikle mevcut tesislerin işletme ve bakım sürecini gerçekleştirebilmek için lazer tarama teknolojisine ihtiyaç duyulmaya başlanmasının standart ve kılavuzlarda buna yönelik içeriklerin yer almasına yol açtığını görülmektedir. Tablo 8, işletme ve bakım içeriklerine ilişkin karşılaştırmayı sunmaktadır.

4.9. Proje Evreleri

İncelenen belgelerin hepsinin mimari, yapısal, mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat proje evrelerine yer verdiği görülmektedir. Bu kapsamda YBM projelerin oluşturacağı modellerin neler içermesi gerektiği ve tasarım evreleri detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.10. Koordinasyon

Bir YBM tabanlı projenin koordinasyon aşamasında en önemli unsurlardan biri çakışma kontrolleridir. Farklı disiplinlerin gerçekleştirmiş olduğu modeller nihai projede çakıştırıldığı zaman ortaya çıkan problemler koordinasyon süreçlerinde

giderilmektedir. İncelenen belgelerin hepsinde koordinasyon bölümüne yer verildiği görülmektedir. Bu nedenle koordinasyon bölümünde en kapsamlı işlenen konu çakışma kontrolleri olmaktadır. İncelenen belgelerde çakışma kontrolleri için Navisworks programının kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Los Angeles Community College District, NYC School Construction Authority, University of South Florida üniversiteleri belgelerinde, çakışma problemlerini kolay tespit edebilmek için Tablo 9’da örnek olarak gösterilen disiplinlere ait çakışma problemlerine renk tanımlamaları getirilmiştir.

4.11. Model ve Veri Teslim Süreçleri

Tamamlanan projelerin verileri ve modelleri yazılı kopyalar ve elektronik teslimler olarak işverene teslim edilebilmektedir. İncelenen standart ve kılavuzlarda bu iki tip teslim süreçlerine ait ayrıntılara Western Michigan University haricinde diğer tüm belgelerde yer verildiği görülmektedir (Tablo 10). Günümüz teknolojisinde teslim süreçleri elektronik olarak gerçekleştiği ve bu teslim süreci hakkında daha ayrıntılı bilgiler verildiği görülmektedir.

4.12. İşbirliği Modları

YBM’nin en önemli avantajlarından biri de farklı disiplinler arasında işbirliğinin sağlanabilmesidir. Bu kapsamda incelenen standart ve kılavuzlarda ya YBM ekiplerinin işbirliği kurmak amacı ile toplantılar gerçekleştirilmesi zorunlu kılınmakta ya da işbirliğinin sağlanması için dijital platformların kullanımını teşvik etmektedir. Bu platformlar disiplinlerin tasarlamış olduğu modelleri, dosyaları platforma yüklemesi ile diğer disiplinlere modellerin hangi aşamada olduğunu takip etme olanağı sağlamaktadır. Florida International University, Los Angeles Community College District, Indiana University, University of Southern California (USC) dijital platformların kullanımı teşvik edenler arasında yer almaktadır.

4.13. Arşivleme

İncelenen belgelerde, University of South Florida ve Western Michigan University hariç diğer tüm üniversitelerde arşiv bölümü hakkında detaylı bilgiye yer verildiği görülmektedir. Arşiv bölümü YBM proje ve inşaat aşamalarından sonraki evre için önemli bir bölümdür. Çünkü yapının ileriki yıllarda işletme, bakım ve onarım gibi gereksinimleri ortaya çıktığında gerekli olan belgeler, projeler arşivden elde edilebilecektir.

Tablo 2. YBM Uygulama Planı İçerik Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Proje Bilgileri	+	+	+	-	+	+	+
Roller ve Sorumluluklar	+	+	-	-	+	+	+
Teknolojik Altyapı Gereksinimleri	+	-	-	+	+	+	+
Disiplinler Arası Çalışma Prosedürleri	+	+	+	-	+	+	+
Analiz ve Simülasyonlar	-	+	-	-	-	+	+
YBM Model Gereklikleri	+	-	-	-	-	-	+
Model Teslim Süreçleri	+	-	-	+	+	-	+
Uygulama Planı Şablonu	+	+	+	-	+	+	+

Tablo 3. Roller ve Sorumluluk Bilgileri Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
İşverenin Roller ve Sorumlulukları	+	-	+	-	+	+	+
Tasarım Ekibinin Roller ve Sorumlulukları	+	+	+	+	+	+	+
İnşaat Ekibinin Roller ve Sorumlulukları	+	-	+	+	+	+	+

Tablo 4. Teknoloji Platformu ve Yazılım Bilgileri Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Mimari Proje Yazılımı	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Revit Architecture	Revit Architecture, Bentley BIM, ArchiCAD	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Revit Architecture
Yapısal Proje Yazılımı	Autodesk Revit Structure, Civil 3D	Autodesk Revit Structure	Autodesk Revit Structure, Tekla, Civil 3D	Autodesk Revit Structure, Civil 3D	Autodesk Revit Structure	Autodesk Revit Structure, Tekla, Civil 3D	Autodesk Revit Structure, Civil 3D
Mekanik-Elektrik Proje Yazılımı	Autodesk Revit MEP	Autodesk Revit MEP	Revit MEP, AutoCAD MEP, Bentley BIM, CAD-Duct, CAD-Pipe, AutoSprink, PipeDesigner 3D	Autodesk Revit MEP	Autodesk Revit MEP	Autodesk Revit MEP	Autodesk Revit MEP, AutoCAD MEP
Koordinasyon (Çalışma Kontrolü) Yazılımı	Autodesk NavisWorks Manage	Autodesk NavisWorks Manage	NavisWorks Manage, Bentley Navigator	Autodesk NavisWorks Manage	Autodesk NavisWorks Manage	Autodesk NavisWorks Manage	Autodesk NavisWorks Manage
Dosya Aktarımı	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC	IFC

Tablo 5. Analiz ve Simülasyon İçerikleri Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Enerji Analizleri ve Simülasyonları	+	+	+	-	+	-	+
Çakışma Analizleri ve Simülasyonları	+	-	+	+	+	+	+
4B İnşaat Süreç Simülasyonu	+	+	+	+	+	-	+
Arazi Analizi	+	+	+	+	+	-	+
Aydınlatma Analizi	+	+	+	+	+	-	+
Mekanik Analiz	+	+	+	+	-	-	+

Tablo 6. Veri Güvenliği İçerikleri Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Verilerin Transferi	+	-	+	+	-	+	+
Verilerin Bakım Ayarları	+	-	+	+	-	+	+
Verilerin Yedeklenme Prosedürleri	+	-	+	+	-	+	+
Verilerin Arşivlenme Kuralları	+	-	+	+	-	+	-

Tablo 7. Dosya Yapısı ve Adlandırma Kuralları

MADDE	AÇIKLAMA
YYYY	Dört basamaklı yıl
MM	İki basamaklı ay
DD	İki basamaklı gün
Açıklama (isteğe bağlı)	Kısa kullanıcı adı açıklaması (12 karaktere kadar). @ \$ % ^ & < > / \ " ' : ; ? * , ' karakterleri açıklamanın bir parçası olarak kullanılmamalıdır.

Tablo 8. İşletme ve Bakım İçeriklerinin Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
İşletme ve Bakım Kuralları	+	+	+	+	+	+	-
Restorasyon	+	-	+	-	-	-	-
Lazer Tarama Teknolojisi	+	-	+	-	-	+	-

Tablo 9. Navisworks Programı Çakışma Problemleri Renk Şeması

DİSİPLİN	RENK
Mimari	Camgöbeği
Elektrik	Sarı
Yangın Koruma	Kırmızı
Mekanik	Yeşil
Sıhhi Tesisat	Mor
Yapısal	Mavi

Tablo 10. Model ve Veri Teslim Süreçleri Karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Yazılı Kopyalar	+	+	+	+	+	+	-
Elektronik Teslimler	+	+	+	+	+	+	+

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, YBM kullanımına önderlik etmiş ABD'deki üniversitelerin YBM standart ve kılavuzlarının bölümlerini inceleyerek içerik araştırması ve karşılaştırması yapmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki bölümler ve ayrıntıları incelenmiştir:

- Uygulama planı
 - Proje bilgileri
 - Proje hedefleri
 - Personel rolleri ve sorumlulukları
 - YBM süreç tasarımı
 - YBM ve tesis veri gereksinimleri
 - Disiplinler arası çalışma prosedürleri
 - Teknolojik altyapı gereksinimleri
 - Proje çıktıları
 - Proje teslimat stratejisi
- Roller ve sorumluluklar
 - İşveren rolleri ve sorumlulukları
 - Tasarım ekibi rolleri ve sorumlulukları
 - İnşaat ekibi rolleri ve sorumlulukları
- Gelişim seviyeleri
 - Gelişim seviyelerinin ayrıntılı olarak tanımlanması
- Teknoloji platformu ve yazılım bilgileri
 - Mimari proje yazılımları
 - Yapısal proje yazılımları
 - Mekanik, elektrik, sıhhi tesisat proje yazılımları
 - Projelerin paylaşılacağı teknoloji platformu
- Analiz ve simülasyonlar
 - Çakışma analizleri
 - Enerji analizleri
- Veri güvenliği
 - Verilerin transferi
 - Verilerin bakım ayarları
 - Verilerin yedeklenme prosedürleri
 - Verilerin arşivlenme kuralları
- Dosya yapısı ve adlandırma kuralları
 - Klasör adlandırma kuralları
 - Dosya adlandırma kuralları
 - Disiplinlerin kodları

- Projelerin adlandırma kuralları
- İşletme ve bakım gereksinimleri
 - Mevcut bir tesis için işletme ve bakım gereksinimleri
 - Gelecekte yapılacak olan tesis için işletme ve bakım gereksinimleri
- Proje evreleri
 - Mimari projeler
 - Yapısal projeler
 - Mekanik projeler
 - Elektrik projeleri
 - Sıhhi tesisat projeleri
- Koordinasyon
 - Çakışma analizleri
- Model ve veri teslim süreçleri
 - Basılı olarak teslim edilen model teslim süreci
 - Elektronik ortamda teslim edilen model teslim süreci
- İşbirliği modları
 - Farklı disiplinler arası işbirliğinin gerçekleştirilme kuralları
- Arşivleme
 - Dosyaların arşivlenme sıklığı
 - Arşivlenen dosyaların saklanma süresi
 - Arşiv dosyalarına erişim süresi
 - Arşivlenen dosyaların güvenliği
 - Arşivlenen dosyaların yok edilme süreci

YBM standartları ve kılavuzları incelendiğinde içerik olarak birçok bölümde benzer konulara yer verdikleri görülmektedir. Özellikle, uygulama planı, detay seviyeleri, roller ve sorumluluklar, model ve veri teslim süreçleri bölümlerinde yoğun bir içerik olması dikkat çekmektedir. İncelenen YBM standart ve kılavuzlarında yer alan bölümlerin karşılaştırması özet olarak Tablo 11'de sunulmaktadır.

Türkiye'de YBM standart ve kılavuz oluşturulmasına yönelik çalışmaların hızlandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda ABD'de olduğu gibi Türkiye'deki üniversiteler tarafından hazırlanacak dokümanların da bu süreci hızlandıracağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak hazırlanacak

dokümanların en başta “Uygulama planı”, “Roller ve sorumluluklar”, “Gelişim seviyeleri”, “Teknoloji platformu ve yazılım bilgileri”, “Analiz ve simülasyonlar”, “Proje evreleri”, “Koordinasyon”, “Model ve veri teslim süreçleri” ile “Arşivleme” içerikleri üzerine yoğunlaşmaları önerilmektedir. Bu maddelere ek olarak YBM tabanlı projelerde ihale süreci ile ilgili açıklamalara, YBM tabanlı projelerin ödeme planları ile ilgili şablonlara ve

farklı disiplinlerin gerçekleştirecek olduğu YBM projelerindeki çizimlerin prosedürlerinin de hazırlanacak olan standart ve kılavuzlara eklenmesi fayda sağlayacaktır. Ayrıca, bu çalışmaların YBM standart ve kılavuzlarının hazırlanmasına yardımcı olmak yanında ülkelerin YBM sürecine adaptasyon sürecine de hız kazandıracığı düşünülmektedir.

Tablo 11. İncelenen YBM standartları ve YBM kılavuzlarının içerik karşılaştırması

	Florida International University	Indiana University	Los Angeles Community College District	NYC School Construction Authority	University of South Florida	University of Southern California (USC)	Western Michigan University
Uygulama Planı	+	+	+	+	+	+	+
Roller ve Sorumluluklar	+	+	+	+	+	+	+
Gelişim Seviyeleri	+	+	+	+	+	+	+
Teknoloji Platformu ve Yazılım Bilgileri	+	+	+	+	+	+	+
Analiz ve Simülasyonlar	+	+	+	+	+	+	+
Veri Güvenliği	+	-	+	+	-	+	+
Dosya yapısı ve Adlandırma Kuralları	+	-	+	+	+	+	+
İşletme ve Bakım Gereksinimleri	+	+	+	+	+	+	-
Proje Evreleri	+	+	+	+	+	+	+
Koordinasyon	+	+	+	+	+	+	+
Model ve Veri Teslim Süreçleri	+	+	+	+	+	+	+
İşbirliği Modları	+	+	+	+	+	+	+
Arşivleme	+	+	+	+	-	+	-

6.KAYNAKLAR

Ademci, M.E., 2018, An Analysis of BIM Adoption in Turkish Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry, Mimar Sinan Fine Arts University Institute of Science and Technology, M. Sc. Thesis, İstanbul, 115p.

Atay Tosun, B., 2019, YBM Standartlarının Karşılaştırılmalı İncelenmesi ve Ulusal Standardizasyon Çalışmaları Açısından Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul, 127s.

Bayram, S., 2020, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) Kapsamında Geleneksel Metraj ile Yazılımın Karşılaştırılması, Yapı Bilgi Modelleme Uluslararası Hakemli Akademik Dergi, Versiyon 02, Sayı 02, 22-29s.

BuildLACCD, 2009, LACCD Building Information Modeling Standards (LACCD BIMS), Interim Version 2.0, Los Angeles, 30p.

Edirisinghe, R., and London, K., 2015, Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization Efforts and BIM adoption, CIB W78 Conference, 149-158p.

Florida International University, 2014, Building Information Modeling (BIM) Standards & Guide, Florida, 69p.

GSA, 2007, “BIM Guide Overview”, GSA BIM Guide Series, U.S. General Services

Harrison, C. and Thurnell, D., 2014, BIM implementation in a New Zealand consulting quantity surveying practice, international journal of construction supply chain management, Versiyon 5, No:1, 1-15p.

Indiana University, 2009, BIM Guidelines & Standards for Architects, Engineers, and Contractors, Indiana, 30p.

Khemlani, L., 2012, Around the World with BIM, AECbytes,

www.aecbytes.com/feature/2012/Global-BIM.html
(Erişim tarihi: 28.12.2020)

Western Michigan University, 2013, BIM Project Execution Standards Guide For Western Michigan University Facility Management, Kalamazoo, 33p.

Kopuz, B., 2015, İnşaat Projelerinde Etkin Bir BIM Uygulaması İçin Katılımcılar Arasındaki BIM Protokollerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul, 137s.

Leite, F. Akcamete, A. Akinci, B. Atasoy, G. Kiziltas, S., 2011, Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models, Automation in Construction Cilt 20, 601-609s.

McGraw Hill Construction, 2012, The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis an User Ratings (2007-2012), Smart Market Report, 72p.

NBS, 2020, 10th Annual BIM Report, NBS Enterprises Ltd., 40p.

NIBS, 2007, National Building Information Modeling Standard-United States, V1, 183s.

NYC School Construction Authority, 2013, Building Information Modeling Guidelines and Standards for Architects and Engineers, New York, 184p.

Ofluoğlu, S., 2014, Bina Yaşam Döngüsünde BIM Uygulamaları, www.sayisalmimar.com, 22s.

Öktem, S., ve Ergen, E., 2017, BIM'e Geçiş Sürecinin Operasyonel Çerçevesi, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, Samsun, 627-635s.

Reinhardt, J. ve Bedrick, J. (2015), "Level of Development Specification", American Institute of Architects and Association of General Contractors.

Shimonti, P., 2018, BIM adoption around the world: how good are we?, Geospatial World, <https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we/>
(Erişim tarihi: 28.03.2021).

Smith, P., 2014, BIM Implementation – Global Strategies, Procedia Engineering, Versiyon 85, 482 - 492p.

University of South Florida, 2018, BIM Guidelines and Standards For Architects, Engineers and Contractors, Florida, 30p.

University of Southern California, 2012, Building Information Modeling (BIM) Guidelines, California, 66p.

Nesnelerin İnterneti Özellikli Sensörlerin Akıllı Atık Yönetimine Katkısı

Tuğay ÖZCAN (ORCID:0000-0003-0022-0268)
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
e-posta: tuayozcan@gmail.com

ÖZET

Katı atık miktarındaki artış, atık yönetiminde verimlilik arayışlarını beraberinde getirmektedir. Akıllı Şehir uygulamalarından olan Akıllı Atık Yönetimi atık toplama faaliyetlerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Son zamanlarda Akıllı Atık Yönetimi uygulamalarında Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) özellikli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri olan elektronik sensörler, Nesnelerin İnterneti aracılığıyla veri aktarımı yapabilmeye özelliği sayesinde dağıtık noktalardan veri toplamayı kolaylaştırma ve verimliliği artırma hedefiyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu makalede Nesnelerin İnterneti özelliğine sahip sensörlerin Akıllı Atık Yönetiminde kullanıldığı örnekler incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şehirler, Akıllı Atık Yönetimi, Nesnelerin İnterneti (IoT), Sensörler, Kentsel Veri

ABSTRACT

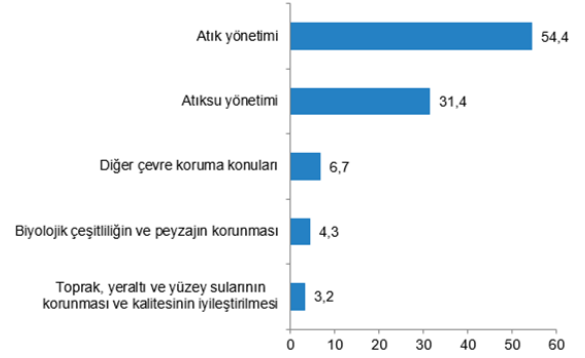
The increase in the amount of solid waste released day by day necessitates the search for efficiency in waste management. Smart Waste Management, one of the Smart City applications, aims at optimizations in waste collection activities. Recently, technologies with the Internet of Things are used in Smart Waste Management applications. Electronic sensors, one of these technologies, are used with the aim of facilitating data collection from distributed points and increasing efficiency, thanks to their ability to transfer data via the Internet of Things. In this article, examples of using sensors with the Internet of Things feature in Smart Waste Management will be examined.

Keywords: Smart Cities, Smart Waste Management, Internet of Things (IoT), Sensors, Urban Data

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde yılda 2,01 milyar ton kentsel atık oluşmaktadır. 2050 yılına kadar bu miktarın 3,40 milyar tona çıkması beklenmektedir (Kaza vd., 2018). Bu durum şehirlerin katı atık toplama ihtiyacında artışı da beraberinde getirmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 27 Ekim 2021 tarihinde yayınlamış olduğu verilere göre Çevre Koruma harcamaları 2020 yılında bir önceki yıla göre %8,9 artarak toplam 41,7 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. Bu harcamaların %54,4'ünü Atık Yönetimi Hizmetleri oluşturmaktadır.



Şekil 1. 2020 Türkiye Çevre Koruma Harcamaları Oranları (TÜİK, 2020)

Atık yönetimi sistemlerine yapılan harcamanın Çevre Koruma harcamalarının yarısından fazlasını oluşturması ve üretilen atık miktarının her yıl artış göstermesi mevcut atık yönetimi sisteminde iyileştirmeler yapılabileceğine işaret etmektedir.

Geleneksel Atık Yönetimi sistemlerini geliştirmek ve verimliliğini arttırmak hedefiyle bilişim teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden birisi İnternet aracılığıyla veri aktarımını mümkün kılan IoT (Internet of Things) cihazlarıdır. Günümüzde IoT cihazlarının yaygınlaşması dağıtık noktalardan veriye ulaşımı kolaylaştırmıştır (Park vd., 2018). Geniş kullanım alanı imkanları sayesinde IoT cihazları veri toplama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT cihazlarının kullanım alanlarından biri de sorunun belirlenmesi ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesi için gerekli analizlerin yapılabilmesine olanak sağladığından Akıllı Şehir Sistemleridir. Kent analizleri yapılması için gereken veriler IoT özellikli cihazlar aracılığı ile toplanmaktadır (Rajab ve Cinkir, 2018).

IoT cihazları çeşitli teknolojileri barındırabilmektedirler. Bunların başında IoT özellikli sensörler gelmektedir. IoT sensörlerden toplanan veriler Akıllı Park Sulama, Akıllı Otopark Sistemleri gibi Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılmaktadır (Talari vd., 2017). Bu makalede incelenen Akıllı Atık Yönetimi de IoT sensörlerin kullanıldığı uygulama alanlarından biridir.

2. NESNELERİN İNTERNETİ (IoT)

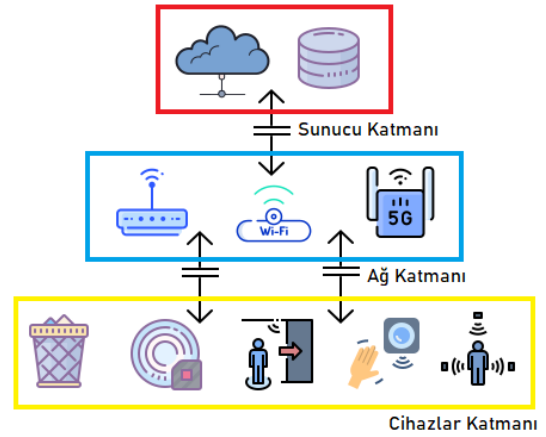
Nesnelerin İnterneti (IoT) terimi ilk olarak 1999 yılında Kevin Ashton tarafından kullanılmıştır (Ashton, 2009). Ashton bir firma için hazırladığı sunumunda, Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisinin (Radio Frequency Identification-RFID) yararlarından bahsetmiştir. 1991 yılında Cambridge Üniversitesinde görevli akademisyenler tarafından kahve makinasını görüntüleyen ve bu görüntüleri İnternet üzerinden paylaşan sistem ise IoT teknolojisinin ilk uygulama örneği olarak gösterilmektedir. Kurulan sistem, kahve makinasının görüntüsünü dakikada üç kez olacak şekilde İnternet üzerinden aktarmaktadır. Gerçek zamanlı ve İnternet aracılığıyla veri aktaran bu sistem Nesnelerin İnterneti uygulaması kabul edilmektedir.

Nesnelerin İnterneti teknolojisinin birçok tanımları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir:

“Nesnelerin İnterneti (IoT), modern kablosuz telekomünikasyon senaryosunda hızla zemin kazanan yeni bir paradigmadır. Bu konseptin temel fikri, benzersiz adresleme şemaları aracılığıyla, Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) etiketleri, sensörler, eyleyiciler, cep telefonları vb. gibi çeşitli şeylerin veya nesnelerin etrafımızda yaygın olarak bulunmasıdır. Ortak hedeflere ulaşmak için birbirleriyle etkileşime girmek ve komşularıyla işbirliği yapmaktır” (Atzori vd., 2010).

“IoT, genellikle her yerde bulunan zeka ile donatılmış günlük nesnelerin ağ bağlantılı ara bağlantılarını ifade eder. IoT, gömülü sistemler aracılığıyla etkileşim için her nesneyi entegre ederek İnternet'in her yerde bulunabilmesini artıracak ve bu da diğer cihazlarla olduğu kadar insanlarla iletişim kuran yüksek oranda dağıtılmış bir cihaz ağına yol açacaktır.” (Xia vd., 2012).

Nesnelerin İnterneti, sensör ve eyleyici gibi kabiliyetleri, yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi modern teknolojileri barındırabilir. Kendi başına çalışabilen bu cihazlar İnternet ağları kullanarak sistemlere ve hatta diğer cihazlara veri aktarımında bulunabilir.



Şekil 2. IoT Sistemlerin Mimari Katmanları

IoT sistemlerinin mimarisi üç ana katmandan oluşmaktadır. Bunlar; cihazlar, ağ ve sunuculardır (Şekil 2). IoT özellikli cihazlara sensörler, eyleyiciler, aktif ya da pasif RFID (Radio Frequency Identification) etiketleri, NFC özellikli cihazlar, GPS (Global Positioning Systems) cihazları ve mobil cihazlar örnek olarak gösterilebilir. Bu cihazların ortak özellikleri eşsiz adresleme sistemi kullanarak İnternet aracılığıyla birbirleri ile etkileşim halinde olmalarıdır. Kullandıkları teknoloji altyapıları ile de birbirlerinden ayrılırlar. Mimarinin ikinci katmanı olan ağ katmanı, cihazlardan elde edilen verinin sunuculara aktarımında görev alan katmandır. IoT cihazlardan elde edilen veriler kablolulu veya kablosuz ethernet üzerinden aktarabildiği gibi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave, Lora, NB-IoT gibi haberleşme protokolleri kullanarak da aktarabilmektedir (Tablo 1). Bu protokoller arasında Bluetooth ve Zigbee kısa menzilli mesafelere veri aktarımında bulunurken diğer ağ iletişim teknolojileri veriyi daha uzak mesafelere taşımaktadır. Fazla sayıda IoT cihazın bağlantı ve veri aktarımında olması sebebiyle kablolulu sistemler yerine kablosuz haberleşme sistemleri tercih edilmektedir. Sunucular IoT mimarisinin son katmanıdır. Bu katman verilerin saklandığı ve işlendiği yerdir (Talari vd., 2017).

	ZigBee	LTE	3G	NFC
Standart	IEEE 802.15.4	3GPP-LTE	Çok Çeşitli	ISO/IEC 18092
Frekans (MHz)	868/915/2400	700-2600	700-2600	13.56
Kullanım Yaygınlığı	Düşük	Düşük/Yüksek	Düşük/Yüksek	Yüksek
Menzil	500 km	Severel kms	Severel kms	10 cm
Veri Hızı	250 Kbps	100 Mbps +	3.6-21 Mbps	106-424 Mbps

Tablo 1. Bazı haberleşme protokollerinin karşılaştırılması (Hancke vd., 2013)

IoT özellikli sensörler veri toplama işlemleri için kullanılan cihazlardan biridir. Akıllı kontrol sistemlerinin önemli bileşenlerindedir. Gelişen IoT teknolojileri sayesinde sensörler iletecekleri elektrik sinyallerini birer veriye dönüştürerek İnternet ortamında iletebilir düzeye gelmiştir. Bu cihazlar mimarileri doğrultusunda gerekli işlemleri yaparak ağ aracılığıyla sunuculara aktarım yapmaktadır. Sensörler buldukları ortamlarda tıpkı duyu organları gibi hareket ederek değişim ve olayları tespit eder ve bunları elektrik sinyallerine çevirip gerekli işlemleri gerçekleştirirler. Sensörler, çalışma prensiplerine göre veri ileten ve iletilen veri doğrultusunda komut alan sistemlerle entegre bir şekilde çalışmaktadır. Kullanılabilirliğinin kapsamlı olması Akıllı Şehirlerden lokal uygulamalara birçok uygulamada kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

IoT özellikli sensörler kullanım alanlarına göre çeşitlenmektedir. Bunlar:

- Sıcaklık Sensörleri
- Işık Sensörleri
- Nem Sensörleri
- Ses Sensörleri
- Gaz Sensörleri
- Akış Sensörleri
- Basınç/Ağırlık Sensörleri
- Seviye Sensörleri
- Elektrik Sensörleri
- İvme Sensörleri
- Optik Sensörler
- Mesafe(Yakınlık)
- Jiroskop Sensörleri

Sensörler fiziki parametreleri insanlar tarafından okunabilecek ve yorumlanabilecek birer elektronik sinyale dönüştürürler. Işık, sıcaklık, basınç, nem sensörleri konvansiyonel sensörlerdendir. İvme, jiroskop sensörleri ise daha karmaşık yapıları sensörler arasında gösterilmektedir. Bir sensör üzerinden birden fazla parametre de alınabilmektedir (Hancke vd., 2013). IoT özellikli sensörlerin kullanıldığı bazı uygulama alanları şunlardır:

- Tarım alanlarına yerleştirilen nem sensörleri, nem miktarı düzenli olarak kontrol etmekte ve sulama sistemlerinin daha verimli yapılmasını sağlamaktadır (Cambra vd., 2017).
- Otonom araç teknolojilerinde kullanılan mesafe sensörleri aracın çevresini algılama kabiliyetini arttırmak ve doğru hareket kararları almakta kullanılmaktadır (Taştan ve Kaymaz, 2021).
- Birden fazla fizyolojik parametreyi aynı anda takip eden sensörler ile özellikle yaşlı insanların sağlık durumlarının anlık takibi mümkündür (Oğuz ve Doğru, 2021; Wu vd., 2018).

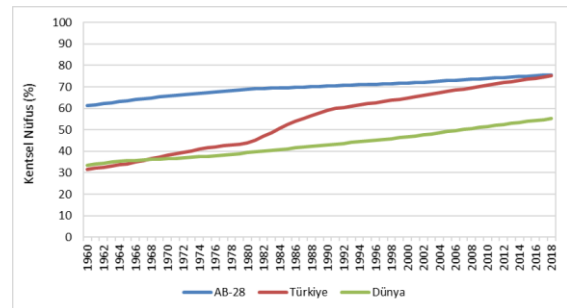
- IoT sensörler aracılığı ile elde edilen mikro iklim parametreleri değerlendirilerek seralarda üretim belirsizliklerinin önüne geçilebilmektedir (Shamshiri vd., 2020).
- Afet yönetimi ve tahminleri konusunda IoT sensörler ile toplanan büyük veri analizlerinden yararlanmak mümkündür (Adeel vd., 2019).
- Giyilebilir IoT sensör teknolojisi aracılığı ile hastaların gösterdiği semptomlar takip edilebilir ve bu veriler aracılığıyla hastalık tahmininde bulunmak için kullanılabilir (Muthu vd., 2020).
- IoT sensörler Akıllı Ulaşım Sistemlerinde veri toplamak, yollarda daha güvenli ve daha akıcı trafik sağlamak için devreye alınabilmektedir (Al-Turjman ve Lemayian, 2020).
- Giyilebilir IoT sensörler, bir kişinin en yaygın günlük aktivitelerini tanımak amacıyla derin öğrenme tekniklerini kullanmak üzere veri aktarımında bulunabilmektedir. Bu yöntem ile dokuz farklı aktivite %97 oranıyla doğrulanabilmektedir (Bianchi vd., 2019).

Veri aktarımında bulunabilecek cihazlar arasında yaygın günlük kullanımı olan akıllı telefonlar da gelmektedir. GPS, jiroskoplar, ivmeölçerler ve pusulalar gibi çeşitli sensörlerle donatılan akıllı telefonlar Nesnelerin İnterneti tarafından geliştirilecek olan çeşitli uygulamalara olanak tanır.

IoT sensörler, yukarıda bahsedilen çeşitli lokal uygulamalar haricinde geniş ölçekli Akıllı Şehir uygulamalarında da kullanılmaktadır.

3. AKILLI ŞEHİRLER

Dünyada kentlerde yaşayan insan sayısı her geçen gün artmaktadır (Şekil 3). Türkiye nüfusunun %75,1'i, Avrupa nüfusunun ise %73'ü kentlerde yaşamaktadır (The World Bank, 2018). Günümüzde Dünya nüfusunun yaklaşık yarısı kentlerde yaşarken, 2050 yılına gelindiğinde bu oranın üçte ikie çıkması beklenmektedir.



Şekil 3. 2018 Yılları Göre Türkiye ve Dünyada Kentsel Nüfus Oranları (The World Bank, 2018)

Artan kentsel nüfus, kaynak yetersizliği ve maliyet artışları gibi problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu durum Yerel Yönetim

hizmetlerini daha az maliyet ve daha verimli kaynak kullanımı ile sürdürmek amacıyla bilgi iletişim teknolojileri kullanarak çözümler geliştirilmeye yönlendirmiştir. Bu amaçla Akıllı Şehir kavramı ortaya çıkmıştır (Shelton vd., 2015).

Akıllı Şehir, kaynaklarını verimli kullanmak, sunduğu hizmetleri optimize etmek ve sakinlerinin yaşam kalitesini arttırmak hedefiyle veri toplayan ve topladığı verilerden elde ettiği bilgiler doğrultusunda hizmetlerini geliştiren kentsel yaşam alanlarıdır (Bakıcı, 2013). Akıllı şehirler konusunda standartlaştırılmış bir tanımlama bulunmamaktadır fakat tüm Akıllı Şehir çalışmalarının ortak noktaları olarak şehir kaynaklarını daha verimli kullanmak, sayısı her geçen gün artan kent sakinlerine daha iyi hizmetler vermeyi amaçlamak ve araç olarak bilgi teknolojilerini kullanmak gösterilebilir (Elvan, 2017).

Şehir hizmetlerini akıllılaştırmaya yönelik çalışmaların takip ettiği yaklaşımlardan biri Cohen'in Akıllı Şehirler Çarkı (Smart Cities Wheel)'dir. Avrupa Birliği tarafından da kabul gören bu yaklaşım Akıllı Şehir yaklaşımlarını anlamak için bir çerçeve niteliğindedir. Bu yaklaşıma göre Akıllı Şehirler altı bileşenden oluşmaktadır. Bileşenler birbirlerini destekleyen ve besleyen noktalar olup Akıllı Şehir uygulamalarının tasarlanması bütüncül olarak düşünülmelidir (Elvan, 2017). Bunlar:

- Akıllı ulaşım: Ulaşım hizmetlerinde akıllılaştırma ve çevre dostu uygulamaların IoT cihazlar aracılığıyla gerçek zamanlı trafik verilerinin takibi ve bu verilerin sürücüler ve yolcular ile paylaşımı hedeflenmelidir.
- Akıllı yaşam: Akıllı şehir teknolojilerinin kent sakinlerinin yaşamını kolaylaştırması ve konfor ve güven ortamının sağlanması hedeflenmelidir.
- Akıllı yönetim: Akıllı Şehir uygulamalarını gerçekleştirmek için toplanacak verilerin esas kaynağı olan kentlilerin; kamu yönetiminde alınacak kararlara katılması ve ulaşmasında şeffaflık hedeflenmelidir.
- Akıllı çevre: Akıllı kent planlama sistemlerinden Akıllı Atık Yönetimi sistemlerine şehirlerin sunduğu tüm çevre hizmetlerinde gelişim ve verimlilik hedeflenmelidir.
- Akıllı ekonomi: Bilgi iletişim teknolojileri kullanılan şehir ve ticaret sistemlerinde verimlilik hedeflenmelidir.
- Akıllı insanlar: Kent sakinlerinin Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılacak olan verilerin elde edilmesi konusunda kaynak olması ve geliştirilen uygulamaları kullanarak şehrin parçası olması hedeflenmelidir.

Akıllı Şehirler için şekillenecek uygulamaların ihtiyaç duyduğu verilere kablolu ve yaygın olarak kablosuz haberleşme teknolojileri ile erişim mümkündür (Baloğlu ve Karademiroğlu, 2019). Bu teknolojileri kullanan cihazlar ile altyapı oluşturulması sayesinde hedeflenen amaca hizmet edecek verilerin toplanması, işlenmesi ve kentliye hizmet etmesi sağlanabilmektedir (Capdevila ve Zarlenga, 2015). Yaygın olarak kullanılan kablosuz haberleşme teknolojileri arasında yukarıda ele alınan IoT cihazlar haricinde RFID etiketleri gibi teknolojiler de yer almaktadır (Rahmani vd., 2021).

Radyo frekansı teknolojisi kullanan RFID etiketler ve İnternet üzerinden veri aktarabilen okuyucuları sayesinde Mekansal Adres Kayıt Sistemi uygulaması, toplu taşıma araçlarının duraklardan geçişlerinin takibi, çöp konteynerlerinin boşaltımının takibi, bina içi konum belirleme gibi Akıllı Şehir uygulamalarında kullanılabilir (Delioğlu, 2019).

Kablosuz haberleşme teknolojileri kullanan IoT sensörlerin veri aktarımında bulunduğu Akıllı Şehir uygulamalarına Akıllı Park Sulama Sistemleri (Rawal, 2017), Akıllı Otopark Yönetimi Sistemleri (Khanna ve Anand, 2016), Akıllı Trafik Kontrol Sistemleri (Balakrishna ve Thirumaran, 2018) ve Akıllı Sokak Aydınlatma Sistemleri (Yang vd., 2018) örnek olarak verilebilir. Aşağıda ele alınacak olan Akıllı Atık Yönetimi de İot Sensörler kullanılan Akıllı Şehir uygulamalarından biridir.

4. NESNELERİN İNTERNETİ(İoT) ÖZELLİKLİ SENSÖRLERİN AKILLI ATIK YÖNETİMİNDE KULLANIMI

Yukarıda da bahsedildiği gibi artan şehir nüfusu ve Atık Yönetimi maliyetlerinin miktarı her geçen gün artmaktadır. Atık yönetimi maliyetlerinin Çevre Koruma harcamalarının büyük bir miktarını oluşturması gelişen IoT teknolojilerini bu alanda da kullanılması konusunda motivasyon kaynağıdır. Dünyada birçok şehir atık yönetimi sistemlerinin verimliliğini artırmak amacıyla geleneksel katı atık toplama sistemleri yerine Akıllı Şehir uygulamalarından olan Akıllı Atık Yönetimine yönelmektedir (Omar vd., 2016).

Atık Yönetimi Sistemleri üç basamaklı işlemde oluşmaktadır. Bunlar: atık toplama, aktarma ve depolama işlemleridir (Azaddar, 2021). Geleneksel atık toplama sistemlerinde temizlik araçları geniş bir rotaya sahiptir ve araçlara insan gücü ile hizmet verilmektedir. Temizlik araçları rotaları ihtiyaç duyulan noktalardan geçse bile henüz atık toplanmasına gerek duyulmayan noktalara da uğramaktadır. Bu durum yakıt ve işgücü israfını beraberinde getirmektedir.

Akıllı atık yönetiminde, çöp konteynerlerine yerleştirilen ağırlık ve seviye sensörleri konteynerin boşaltılması gerektiği bilgisini İnternet aracılığı ile veri alıcılara iletilmektedir (Vishnu vd., 2021). Doluluk bilgisini alan toplama birimleri rotalarını güncelleyerek ihtiyaç dahilinde hareket etmektedir. Bu sayede zaman ve enerji tasarrufu sağlanırken, atık toplama maliyetleri düşmektedir.

Atık toplama sistemi, bir kent alanındaki çöp kutularından gelen atık seviyesi verilerine dayanmaktadır. Sensörler tarafından iletilen veriler, İnternet üzerinden depolandığı ve işlendiği bir sunucuya gönderilir. Toplanan veriler daha sonra toplanacak çöp konteynerlerinin günlük doluluk seviyelerini izlemek ve optimize etmek için kullanılır. Bu verilere göre çöp toplama araçlarının rotaları hesaplanır. Her gün işçiler, navigasyon cihazlarında yeni hesaplanan rotaları alırlar. Bu rota oluşumunun amacı günlük olarak hangi konteynerlerin toplanması gerektiği seçimini optimize etmektir. Böylece ihtiyaç duyulmayan noktalara uğranmaz.

Akıllı Atık Yönetimi çalışmaları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arasında yer alan çalışmada, Kopenhag şehrinde 18 alanda toplam 3046 adet çöp konteynerinde gerçekçi bir Akıllı Atık Toplama senaryosu simüle edilmiştir (Gutierrez vd., 2015). Kablosuz bir bağlantı yoluyla İnternete bilgi aktarma kabiliyetine sahip çöp kutuları veya konteynerlerdeki atık hacmini ölçen sensörler yerleştirilmiş IoT tabanlı sistemler bütününden oluşur. Bu veriler, atık toplama lojistiğinin yönetimini ve stratejilerini optimize etmek için kullanılır. Bu çalışmada Akıllı Atık toplama için entegre bir sistem modeli geliştirmek, gerçek bir Akıllı Şehir uygulaması olarak fizibilitesini değerlendirmek ve ekonomik maliyetlerin ölçmek hedefleri arasındadır. Yapılan çalışmada sensörler tarafından toplanan verilerin, depolanabileceği, işlenebileceği, ve nihayetinde altyapı veya hizmet yönetimi için akıllı kararlar almakta kullanılacak uzak sunuculara gönderilebileceği belirtilmiştir. Gutierrez vd. 2015 yılında yaptığı çalışmadan yola çıkılarak hazırlanan Akıllı Atık Yönetimi sistemi akış diyagramı aşağıda yer almaktadır (Şekil 4).

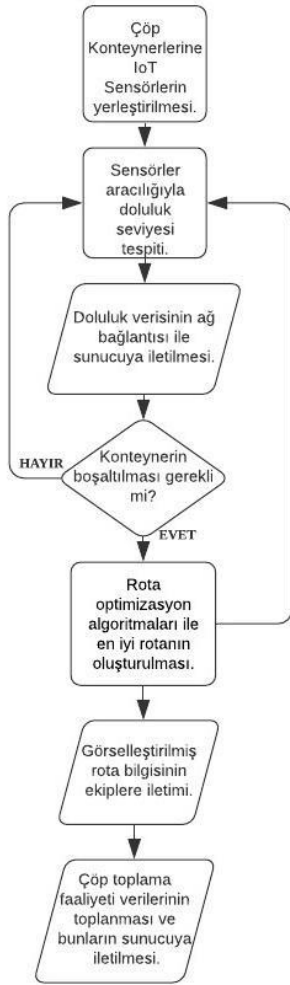
Bu çalışmada oluşturulan Akıllı Çöp Toplama Sistemi prototipi şu şekildedir:

- Sensörler: Çöp konteynerlerinde HC-SR04 tipi 2 cm'den 400 cm'ye kadar hassas ölçüm yapabilen ultrasonik sensör kullanılmıştır.
- Mikrodenetleyici: Kullanılan Arduino Uno mikrodenetleyici sensörlerden veri toplamak ve bunları bir ağ arayüzü üzerinden İnternete göndermek için kullanılmıştır.

- Ağ: Toplanan veriler, WiFi ağ bağlantısı aracılığıyla uzak bir sunucuya gönderilmiştir.
- Veritabanı: Sensörler tarafından toplanan tüm verilerin depolanması için MySQL kullanılmıştır.
- Optimizasyon algoritmaları: Boşaltılacak konteynerler seçildikten sonra rota optimizasyon algoritmaları ve CBS verileri yardımıyla en iyi rota hesaplanmaktadır.
- Rota bilgisinin iletimi: Nihai rotalar, çalışanlara görselleştirilmiş (örn. KML dosya türü) şekilde iletilmektedir. Görselleştirilmiş rotaya cep telefonları, tabletler veya navigasyon sistemleri gibi yaygın cihazlar aracılığıyla erişilebilir. Bu sayede sürücü rotaları kolayca takip edebilir.
- Görselleştirme: İletilen güzergahlar veri erişimi olan cep telefonları, tabletler veya navigasyon sistemleri gibi yaygın cihazlar aracılığıyla son kullanıcı tarafından görüntülenebilir. Bu sayede sürücü rotaları kolayca takip edebilir.
- Veri toplama: Çöp toplama faaliyeti esnasında farklı caddelerdeki trafik akışını belirlemek için çöp kamyonlarından GPS konumları ve geçiş zamanları gibi ek veriler toplanabilir. Bu ve diğer veriler, daha iyi ve daha verimli çöp toplama rotaları belirlemek için Yapay Zeka ve Optimizasyon Algoritmaları modülleri tarafından kullanılabilir.

Bu çalışmada 18 alana ayrılan şehirde üç çöp toplama kriteri olarak karşılaştırılmıştır. İlk kriter grubunda haftanın belli günlerinde toplama işlemi yapılmıştır (Geleneksel çöp toplama yöntemini temsil eden grup). İkinci kriter grubunda olan alanlarda doluluk oranına ulaşan belirli sayıda konteyner toplanmıştır. Üçüncü kriter grubunda bulunan alanlarda ise dolan tüm konteynerler toplanmıştır. Böylece 5 haftanın sonunda toplanan veriler her bir kriter grubu için maliyet (para ve zaman) hesaplaması için kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda toplanan verilere göre geleneksel yöntemi takip eden grubun çok daha uzun sürüş alanını katettiği ve ayrıca daha yüksek günlük toplama maliyetleri oluşturduğu gözlenmiştir. Dinamik stratejiler ise benzer verimlilik rakamları sağlamıştır. 2 yıl sonrası için hesaplanan maliyet karşılaştırmasında birinci ve ikinci kriter karşılaştırıldığında, sistemin devreye alınması ve sürdürülmesi için ekstra masrafları karşılayabileceğini görülmüştür. Bu çalışmada Gutierrez ve arkadaşları akıllı bir çözümün hem verimlilik hem de maliyet açısından geleneksel stratejilerden daha iyi performans gösterebileceğine dair çıkarımlarda bulunmuştur.

Akıllı Atık Yönetimi sistemlerine örnek olarak aşağıdaki çalışmalar da gösterilebilir. Bunlar:



Şekil 4. Akıllı Atık Yönetimi sistemi akış diyagramı.

Avrupa komisyonu tarafından Avrupa İnovasyon Başkenti seçilen Barcelona (İspanya), 'Barcelona Smart City' projesi kapsamında akıllı atık yönetimi sistemine geçiş yapmıştır. Bu sistemde çöp konteynerlerine yerleştirilmiş olan sensörler, doluluk oranları %80'in üzerinde olduğunda boşaltılması gerektiğini belirten sinyaller yollamaktadır. Bu sinyalleri takip eden web tabanlı yazılım konteynerlerin kapasitesini trafik ışıkları modelinde görselleştirmiştir. Model aracılığı ile konteynerlere en uygun rotadan ulaşılır ve boşaltım işlemi gerçekleştirilir. Bu uygulamada Ultrasonik IoT sensörler GSM iletişim teknolojisi ile birlikte hareket etmektedir (Madakam ve Ramachandran, 2015).

Tuzla belediyesi için geliştirilen proje çalışmada, yer üstü (60 adet) ve yer altı (40 adet) çöp konteynerlerine doluluk oranlarını ölçecek ultrasonik sensörler yerleştirilmiştir. Bu sensörler doluluk oranlarını verilerini çöp toplama araçlarına aktarmaktadır. Aktarılan veriler günlük çöp toplama rotasının oluşturulması için işlenmektedir. Oluşturulan rotalar atık toplama maliyetlerini

azaltmaktadır. Bu sistem sayesinde konteynerlerin dolduktan sonra taşması ve çöp toplama araçlarının boşaltılması gerekmeyen konteynerleri boşaltılmasının önüne geçilmektedir. (Tuzla Belediyesi, 2016).

Kayseri şehrinde gerçekleştirilmiş bir araştırmada 200 adet konteyner yerleştirilen sensörler aracılığıyla çöp doluluk seviyeleri takip edilmektedir ve hazırlanan android uygulaması ile oranlar takip edilmektedir. Dolan konteynerleri toplamak için hazırlanan rotada gruplama sistemi geliştirilerek en yakın rota oluşması hedeflenmektedir. Altı ay boyunca takip edilen bu sistemde geleneksel yöntemle takip edilen sisteme göre yaklaşık %30 maliyet düşüşleri gözlenmiştir (Oralhan vd., 2017).

Unesco Dünya Mirası listesinde yer alan Amsterdam şehir merkezi konteynerlerin konulacağı alanın yetersizliği, boşaltılması için gelen araçların trafik yükü oluşturması ve kanalların doğal manzarasını bozması sebebiyle yerine alternatif bir atık yönetimi sistemi gereksinimi duymaktadır. MIT ve AMS enstitüsü 'Roboat Araştırma Projesi' kapsamında konteynerler yerine IoT sensörlere sahip bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Şehir sakinleri ve ziyaretçilerinin kullanımı için geliştirilen Otonom Çöp Filosu, IoT sensörler içeren ve İnternet üzerinden bilgi aktaran yüzen Çöp Bidonlarını kanallardaki belirlenen alanlara yerleştirilmektedir. Doluluk oranını takip eden sensörlerden alınan verilere göre boşaltılması gereken Yüzen Çöp Bidonlarını geri toplamak için kanal üzerinden erişim sağlanmaktadır. Dolu olan bidonlar çöp aktarma merkezine iletilmekte ve yerlerine boş olanlar yerleştirilmektedir. Bu proje ile şehir merkezinde bulunan konut ve otellerin atıklarının toplanması işlemine verimliliği yüksek bir çözüm getirilmesi hedeflenmektedir (Duarte vd., 2020).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada şehirlerin nüfusu her geçen gün artmaktadır. Bu durum aynı zamanda Atık yönetimi maliyetlerinde de artışı beraberinde getirmektedir. Şehirler yönetimleri verimli sistemler geliştirmek amacıyla akıllı projelere yönelmektedir. Bu makalede Akıllı Atık Toplama siber sisteminin Akıllı Şehir uygulaması olarak kullanım durumu incelenmektedir. Nesnelere İnterneti özellikli cihazlardan elde edilen veriler bu konuda bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ele alınan IoT özellikli sensörler Akıllı Şehir uygulamalarında yaygın olarak kullanılan veri toplama araçlarındandır.

Detayları yukarıda yer alan çalışmada da olduğu gibi Akıllı Atık Yönetimi Sistemi, çöp konteynerlerinin atık seviyesini ölçen ve bu verileri depolama ve işleme için İnternet üzerinden bir sunucuya gönderen

bir Nesnelerin İnterneti algılama prototipine (IoT sensörlere) dayanmaktadır. Bu verilere dayanarak bir optimizasyon süreci geliştirilmesi ve en verimli toplama rotalarının oluşturulması sağlanmaktadır. Bu rota görselleştirilerek çalışanlara iletilir. Çöp toplama işlemi esnasında da veri toplama yapılarak değerlendirmelerde bulunulur. Örnek gösterilen diğer uygulamalarda da atık yönetimi sistemleri benzer şekilde işlemektedir. Bu çalışmalarda da atık yönetimi maliyetleri konusunda optimizasyonlar görülmektedir.

Bu sistemlerin ortak amacı yalnızca günlük atık düzeyinin takibi ve toplama işleminin rotasının oluşturulması hakkında olmamalıdır. Geliştirilen sistemleri bir adım öteye taşıyarak toplama işlemi sırasındaki verileri de algoritma hesaplarına dahil ederek aynı zamanda gelecekteki doluluk durumu tahmininde de bulunabilir. Deneyimlerden elde edilecek bu çıktılar aracılığıyla çöp toplama noktalarındaki seviye ölçüm sıklıkları azaltılabilir. Ölçüm sıklığını azaltmak hem ölçüm esnasında harcanacak enerji konusunda hem de sunuculara iletilecek veri aktarımı sırasında harcanacak enerji konusunda tasarruflar sağlayacaktır.

Ayrıca Akıllı Çöp Toplama Sisteminde kullanılan sistemler evsel atık toplama sistemi dışında başka sistemlere de entegre edilmesi mümkündür. Örneğin Tıbbi Atık konteynerlerine yerleştirilebilecek IoT özellikli sensörlerin toplama işlemini sağlayacak birimlere gerekli bilginin iletiminde önemli bir rol oynayacaktır. Tıbbi Atıkların doluluk oranının %100'ü geçmemesi ve taşma yapmaması önem arz etmektedir. Bu durumun önüne geçilmesi için Akıllı Tıbbi Atık Yönetimi Sistemi kullanımı hem tehlike önlenmesi açısından hem de verimlilik açısından yararlı olacaktır. Benzer olarak yaygınlaşan Giysi Toplama Noktalarına da Akıllı Çöp Toplama sistemlerindeki IoT sistemler yerleştirilebilir. Bu sayede dolma seviyesine yaklaşan giysi kutularının boşaltım zamanı için bilgi sahibi olunabilir.

6. KAYNAKLAR

Adeel, A., Gogate, M., Farooq, S., Ieracitano, C., Dashtipour, K., Larijani, H. ve Hussain, A., 2019. A survey on the role of wireless sensor networks and IoT in disaster management. *In Geological disaster monitoring based on sensor networks (ss. 57-66). Springer, Singapore.*

Al-Turjman, F. ve Lemayian, J. P., 2020. Intelligence, security, and vehicular sensor networks in internet of things (IoT)-enabled smart-cities: An overview. *Computers & Electrical Engineering, 87, 106776.*

Ashton, K., 2009. That 'Internet of Things' Thing. *RFID journal, 22(7), 97-114.*

Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., 2010. The Internet of things: A survey. *Computer networks, 54(15), 2787-2805.*

Azaddar, H., 2021. Akıllı Şehirlerde Atık Yönetimi Amaçlı Akıllı Çöp Kutusu Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Bakıcı, T., Almirall, E., Wareham, J., 2013. A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the knowledge economy, 4(2), 135-148.*

Balakrishna, S. ve Thirumaran, M., 2018. Semantic interoperable traffic management framework for IoT smart city applications. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 4(13), e4-e4.*

Baloğlu, A. ve Karademiroğlu, O., 2019. Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri Ve Doğru Teknoloji Seçimi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (1), 22-29.*

Bianchi, V., Bassoli, M., Lombardo, G., Fornacciari, P., Mordonini, M. ve De Munari, I., 2019. IoT wearable sensor and deep learning: An integrated approach for personalized human activity recognition in a smart home environment. *IEEE Internet of Things Journal, 6(5), 8553-8562.*

Cambra, C., Sendra, S., Lloret, J., Garcia, L., 2017. An IoT service-oriented system for agriculture monitoring. *IEEE International Conference on Communications (ICC) (1-6).*

Capdevila, I., Zarlenga, M. I., 2015. Smart city or smart citizens? The Barcelona case. *Journal of Strategy and Management.*

Delioğlu, P., 2019. RFID Teknolojisinin CBS Projelerinde Kullanımı. *Yapı Bilgi Modelleme, 1(1), 27-38.*

Duarte, F., Johnsen, L., Ratti, C., 2020. Reimagining urban infrastructure through design and experimentation. *The Routledge Companion to Smart Cities, 52.*

Elvan, L., 2017. Akıllı Şehirler: Lüks Değil İhtiyaç. *İTÜ Vakfı Dergisi, S.77, ss.6-9.*

Gutierrez, J. M., Jensen, M., Henius, M., Riaz, T., 2015. Smart waste collection system based on location intelligence. *Procedia Computer Science, 61, 120-127.*

- Hancke, G. P., Hancke Jr, G. P., 2013. The role of advanced sensing in smart cities. *Sensors*, 13(1), 393-425.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Woerden, F. V., 2018. 'What a waste 2.0, *World Bank Publications*, vol. 30317.
- Khanna, A. ve Anand, R., 2016. IoT based smart parking system. In *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)* (266-270).
- Madakam, S., & Ramachandran, R., 2015. Barcelona smart city: the Heaven on Earth (Internet of Things: Technological God). *ZTE Communications*, 13(4), 3-9.
- Muthu, B., Sivaparthipan, C. B., Manogaran, G., Sundarasekar, R., Kadry, S., Shanthini, A. ve Dasel, A., 2020. IOT based wearable sensor for diseases prediction and symptom analysis in healthcare sector. *Peer-to-peer networking and applications*, 13(6), 2123-2134.
- Oğuz, F. E. ve Doğru Bolat, E., 2021. Nesnelerin İnterneti Tabanlı Akıllı Uzaktan Hasta Sağlık Takip ve Uyarı Sistemi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , 4 (1) , 14-21.
- Omar, M. F., Termizi, A. A., Zainal, D., Wahap, N. A., Ismail, N. M., Ahmad, N., Haziran 2016. Implementation of spatial smart waste management system in Malaysia. *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 37, No. 1, 012059).
- Oralhan, Z., Oralhan, B., Yiğit, Y., 2017. Smart city application: Internet of things (IoT) technologies based smart waste collection using data mining approach and ant colony optimization. *Internet Things*, 14(4), 5.
- Park, E., Del Pobil, A.P., Kwon, S.J., 2018. The Role of Internet of Things (IoT) in Smart Cities: Technology Roadmap-oriented Approaches. *Sustainability*, 10(5):1388.
- Rahmani, A. M., Bayramov, S., Kiani Kalejahi, B., 2022. Internet of Things Applications: Opportunities and Threats. *Wireless Personal Communications*, 122(1), 451-476.
- Rajab, H., Cinkelr, T., Haziran, 2018. IoT based smart cities. In *2018 international symposium on networks, computers and communications (ISNCC)* (ss. 1-4). IEEE.
- Rawal, S., 2017. IOT based smart irrigation system. *International Journal of Computer Applications*, 159(8), 7-11.
- Shamshiri, R. R., Bojic, I., van Henten, E., Balasundram, S. K., Dworak, V., Sultan, M., ve Weltzien, C., 2020. Model-based evaluation of greenhouse microclimate using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121303.
- Shelton, T., Zook, M., Wiig, A., 2015. The 'actually existing smart city'. *Cambridge journal of regions, economy and society*, 8(1), 13-25.
- Sunitha, C., Asha Priya, B., Lavanya, S., 2019. Need of Internet of Things for smart cities. *Int. J. Trend Sci. Res. Develop.*, 3(4), 218-222.
- Talari, S., Shafie-khah, M., Siano, P., Loia, V., Tommasetti, A., Catalão, J.P.S., 2017. A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept, *Energies*, 10(4):421.
- Kansara, K., Zaveri, V., Shah, S., Delwadkar, S., Jani, K., 2015. Sensor based automated irrigation system with IOT: A technical review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(6), 5331-5333.
- Tastan, Y., ve Kaymaz, H., 2021. Otonom Araçların Önündeki Zorluklar. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences* , 33 (2), 195-209.
- Weber, R. H., Weber, R., 2010. Internet of things (Vol. 12). *Heidelberg: Springer*.
- Wortmann, F., Flüchter, K., 2015. Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224.
- Wu, F., Redouté, J. M. ve Yuce, M. R., 2018. We-safe: A self-powered wearable iot sensor network for safety applications based on lora. *IEEE Access*, 6, 40846-40853.
- Xia, F., Yang, L. T., Wang, L., Vinel, A., 2012. Internet of things. *International journal of communication systems*, 25(9), 1101.
- Vishnu, S., Ramson, S.R.J., Senith, S., Anagnostopoulos, T., Abu-Mahfouz, A.M., Fan, Z., Srinivasan, S.; Kirubaraj, 2021. A.A. IoT-Enabled Solid Waste Management in Smart Cities. *Smart Cities* 4, 1004–1017.
- Yang, Y. S., Lee, S. H., Chen, G. S., Yang, C. S., Huang, Y. M. ve Hou, T. W., 2020. An implementation of high efficient smart street light management system for smart city. *IEEE Access*, 8, 38568-38585.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L.,
Zorzi, M., 2014. Internet of things for smart cities.
IEEE Internet of Things journal, 1(1), 22-32.

URL-1

Tuzla belediyesi, 2016.

<https://www.tuzla.bel.tr/icerik/107/4559/tuzla-belediyesi-konteynerleri-akillandirdi.aspx>

Erişim: 19.01.2021

Tesis Yönetiminde BIM Entegrasyonunun Enerji Analizi ve Proaktif Bakıma Etkileri

Özgür TELLİEL (ORCID:0000-0002-1575-3721)
Mott Macdonald
e-posta:ozgurtelliel@gmail.com

ÖZET

Bir tesisin yaşam döngüsündeki maliyetinin büyük bir kısmı işletme döneminde oluşmaktadır. Bu maliyetleri düşürebilmek için tesis yönetimi sistemlerinin BIM modelleri ile entegrasyonu sektörde yeni olanaklar sağlamaktadır. Bu çalışmada BIM tesis yönetimi entegrasyonu ile daha verimli enerji tüketim analizleri ve daha başarılı bakım planları oluşturmak için bir yol gösterilecektir.

Anahtar Kelimeler: Tesis Yönetimi; BIM; Enerji Analizi; Proaktif Bakım; Verimlilik.

ABSTRACT

A large part of the life cycle cost of a facility occurs during the operation period. In order to reduce these costs, the integration of facility management systems with BIM models provides new opportunities in the sector. This article shows a way to create more efficient energy consumption analyses and more successful maintenance plans with BIM and facility management integration.

Keywords: Facility Management; BIM; Energy Analysis; Proactive Maintenance; Productivity.

1.GİRİŞ

Bir tesisin işletme dönemi, tüm yaşam döngüsü dikkate alındığında en büyük maliyeti oluşturan dönemdir. Tesisin işletme döneminde ise %65 ile bakım faaliyetleri en maliyetli kısmı oluşturur (Demirdöğen vd., 2020). Tesis işletmesinin yüksek maliyetli olmasının başlıca sebepleri ise kullanılan araçların verimsiz olması ve bu araçların entegre şekilde kullanılmamasıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda tesis yönetiminde verimliliğin artırılması için birçok teknolojiye faydalanılmaya başlanmıştır (Al-Shalabi ve Turkan, 2015). Bunlardan en önemlileri BIM, bina otomasyon sistemleri, tesis yönetim yazılımları ve sensörlerdir.

Bu teknolojilerin bir ya da birkaç tanesinin tesislerde kullanılması ile tesislerin işletme maliyetlerinde düşüşler olmuştur (Demirdöğen vd., 2020). Fakat sürekli artan maliyetler ile birlikte tesis yöneticileri daha fazla tasarruf etme yollarını bulmak zorunda kalmıştır. Tesislerin inşaat ve tasarım aşamalarında BIM kullanımının artması ile tesis yöneticilerinin BIM modelini bir veri deposu olarak kullanan ve tüm bu teknolojilerin birbiri ile çift yönlü haberleşebildiği yeni daha verimli bir konseptin varlığı ortaya çıkmıştır. Bu yeni model ile çok daha fazla verinin aralarındaki ilişki daha az iş gücü yardımıyla yorumlanabilmekte ve ciddi tasarruf oranları sağlanmaktadır (Al-Shalabi ve Turkan, 2015).

2. TESİS YÖNETİMİNDE KULLANILAN SİSTEMLER

Tesis yönetiminde ve operasyonunda, tesis yöneticilerin doğru karar alabilmesi birçok sistemden gelen verilere bağlıdır. Doğru ve yorumlanabilir verilere erişim tesis yöneticisinin önündeki zorluklardan biridir (Al-Shalabi ve Turkan, 2015). Bu verilerin doğru yönetimi için aşağıda açıklanmış olan başlıca sistemlerden faydalanılır. Bu sistemlerin kullanımı ile tesis yöneticisi tesisin doğru ve optimize olarak çalışmasını sağlar.

2.1. BEMS (Building Energy Management Systems)

Bina enerji yönetim sistemi, bina geneline yayılmış kontrol cihazları ve yazılımlardan oluşan mikrobilgisayarlardan gelen veriler ile tesisin performansının izlenmesini ve optimize edilmesini sağlar. Sistem ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi tesisin operasyon konforunu etkileyecek durumları kontrol eder. Tesis yöneticisi sistem üzerinde yaptığı optimizasyonlar ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir. Sistemin gerçek zamanlı veri sağlamaması ve arızaya geçmesi gibi durumlar tesisin enerji performansının düşmesindeki başlıca sebeplerdendir.

2.2. CCMS (Computerized Maintenance Management Systems)

Tesisin bakım verilerinin depolandığı ve yönetildiği sisteme bilgisayar destekli bakım yönetim sistemleri denir. Sistem aracılığı ile bakım planlama, bakım değerlendirme ve bakım takibi gibi işlemler yönetilir. Sistemin içinde tesisin sahip olduğu varlıkların dokümantasyonları, garanti belgeleri, yedek parça bilgileri ve bakımı uygulayan personel bilgilerine gibi birçok bilgi depolanmış durumdadır. Bu bilgiler ve sistem aracılığı ile doğru bakım kararları verilmeye çalışılmaktadır.

2.3. DDC (Direct Digital Controllers)

Direkt dijital kontrol sistemleri, tesis konforunu etkileyecek verileri (hava durumu, hava akışı, mahal doluluk oranları, karbondioksit oranları vb.) sensörler aracılığı ile toplayan ve bu toplanan verilerin bina yönetim sistemine aktarılması ile izlenmesi ve bir uygunsuzluk durumunda sistemin sahip olduğu kontrolörler aracılığı ile uygunsuzluklara müdahale edilmesini sağlayan sistemdir. Sisteme ait sensörler ve kontrolörler tesisin belirli alanlarına yayılmış durumdadır. Bina enerji yönetim sisteminden gelen komutlar yardımı ve sahip oldukları kontrolörler ile elektromekanik varlıkların ayarlarını optimize ederler.

2.3. BAS (Building Automation Systems)

Bina otomasyon sistemi DDC sistemindeki sensör ve kontrolörler aracılığı ile tesisin yönetimini sağlayan sistemdir. BMS (Building Management System) olarak da adlandırılır. Bina enerji yönetim sisteminden farkı güvenlik, yangın algılama ve söndürme gibi enerji bazlı olmayan tesislerdeki yaşanan canlıları ilgilendiren konuları da kapsar.

2.4. CAFM (Computer-aided Facility Management)

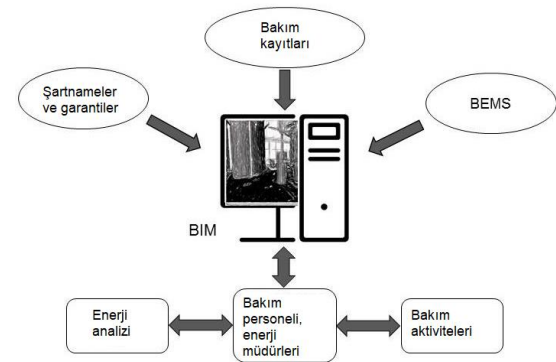
Bilgisayar destekli tesis yönetim sistemleri genellikle alan ve varlık yönetimi amacı ile kullanılır. Büyük çoğunluğu iki boyutlu sistemlerdir. BIM modeli kullanan Ecodomus gibi sistemler de mevcuttur. Geleneksel kullanımlarında BEMS veya BAS gibi sistemler ile aralarında bir bilgi alışverişi olmaz. Sistem içindeki veriler manuel olarak sorgulanır ve güncellenir.

3. TESİS YÖNETİMİNDE BIM KULLANIMI

Tesis yönetiminde BIM kullanımı, BIM Modelinin çift yönlü veri alışverişinin gerçekleştiği bir veri deposu olarak kullanılması çerçevesinde ele alınacaktır. Öncelikle sistemin yapısı ve entegrasyonu üzerinde durulacak ardından da bu sistemin faydaları ve önündeki kısıtlardan bahsedilecektir.

3.1. Sistemin Yapısı ve Entegrasyonu

BIM destekli tesis yönetiminde sistemin merkezinde 3 boyutlu bir ara yüze sahip veri deposu olarak kullanılan BIM modeli bulunmaktadır. Bu BIM Modeli tesisteki tüm ekipmanların garanti belgelerini, şartnamelerini ve tesisin tüm geometrik bilgisini içermektedir. BIM Modelinin diğer tesis yönetimi yazılımları ile birlikte çalışabilmesi için haberleşmeyi ve uyumluluk sorunlarını çözen yazılımlar ile desteklenmelidir. BIM Modeli tesisteki diğer BEMS ve CCMS sisteminden gelen canlı veriler ile güncel tutularak dinamik bir yapıya kavuşmaktadır (Al-Shalabi, 2016).



Şekil 1. Tesis yönetimi için dinamik BIM konsepti.
(Al-Shalabi ve Turkan, 2015)

3.2. Entegrasyonun Faydaları

BIM destekli tesis yönetiminin, karar verme süreçlerini iyileştiren ve mevcut verilerin analizini ve sunumunu kolaylaştıran bir yanı vardır. (Azhar, 2011) 3 boyutlu kullanıcı dostu ara yüzü ile ihtiyaç duyulan verilere ve tesis ekipmanlarına daha hızlı ulaşım sağlayarak iş emirlerinin daha verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar.

BIM ve BEMS sistemlerinin gerçek zamanlı veri alışverişi sayesinde BIM modelinde yüklü olan tasarımcı, üretici ve bakım bilgilerini kıyaslayarak enerji tüketimini analiz edebilir ve daha proaktif bakım planları hazırlayabiliriz.

Mevcut manuel bilgi aktarım süreçlerini veri deposu olarak kullanılan BIM modeli sayesinde işletme ve bakım süreçlerindeki manuel veri girişini azaltarak zaman ve maliyet avantajı sağlar (Al-Shalabi ve Turkan, 2015).

3.3. Entegrasyonun Kısıtları

Tesis yönetiminde BIM entegrasyonunun önünde birçok engel vardır. Bu engellerin başında BIM modelinin tesis yönetimine uygun hale getirmek

için gereken süreçlerin belirsizliği yer almaktadır. BIM modelinde, tesisteki ekipmanlar ve sistemler, ekipmanların sayısal ve teknik özellikleri ve ekipmanlar ile ilgili dokümanların (şartnameler, kılavuzlar vb.) yer alması gerektiği belirtilmektedir (Becerik-Gerber vd., 2012). Ancak bu ekipmanların LoD seviyelerinin ne olacağı ile ilgili belirsizlikler vardır. Bunun dışında tesis yönetiminde dinamik bir BIM modeli oluşturabilmek için, Pennsylvania Eyalet Üniversitesi bilgisayarla bütünleşik inşaat araştırma programı raporu her model için LoD seviyelerinin de tanımlanması gerektiğini belirtmektedir (CIC, 2013).

BIM modeli ile ilgili bir diğer sıkıntı ise tesis yönetimi öncesinde teslim alınan as-built modelleri ile alakalıdır. As-built modellerindeki eksiklikler ve yanlışlıklar süreci daha da zorlaştırmaktadır. Bunun çözümü için FM personelinin yapının tasarım ve yapım aşamasında sürece daha erken katılımı sağlanmalıdır. (Al-Shalabi ve Turkan, 2015) Ancak FM sektörünün BIM süreçleri hakkındaki bilgi eksikliği (Kelly vd., 2013) ve BIM'in tesis yönetiminde kullanımının nasıl olacağı hakkındaki belirsizlikler bu erken aşamadaki işbirliğinin önüne geçmektedir.

Bir diğer kısıt ise işbirliği yapan paydaşların kullandıkları metod, program ve protokollerin birlikte çalışabilirliğinin olmamasıdır. Özellikle BEMS ve BIM programlarının kullandıkları protokoller ve veri yapıları arasında uyumluluk sorunları vardır (Al-Shalabi ve Turkan, 2015). Bu iki yapı arasındaki veri aktarımları otomatikleştirilmedikçe ve aralarındaki haberleşmelerinin sağlanacağı ortak bir protokol belirlenmedikçe BIM'in tesis yönetimindeki kullanımının yaygınlaşması beklenmemektedir.

Tüm bu teknik kısıtlar dışında BIM ve FM entegrasyonu ile ilgili bir zorunluluk olmaması ve bu sürecin belirli bir yasal mevzuat sınırları çerçevesinde kurallara dayanmamış olması tüm paydaşlar açısından risk teşkil etmektedir (Becerik-Gerber vd., 2012).

4.BIM TABANLI TESİS YÖNETİMİNDE ENERJİ ANALİZİ

Binalar, dünyadaki toplam enerjinin %30'undan fazlasını tüketmektedir (Liu vd., 2011). Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC), binaların enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır (Liu vd., 2011). Ancak İklimlendirme için tüketilen enerjinin %5 ila %20'si, arızalar ve bakım eksikliği nedeniyle boşa harcanmaktadır (Liu vd., 2011). Yukarıdaki sebeplerden dolayı tesis yöneticilerinin bina enerjisini yönetmek için daha verimli yollar bulması gerekmektedir.

Tesis yönetim personeli, birden fazla sistem kullanarak iklimlendirme sistemlerini ve diğer enerji harcayan sistemleri yönetir. Amaçları, bina sakinleri için termal olarak konforlu bir ortam sağlamak ve işletme bütçesinin sınırlarında kalırken binanın işlevselliğini korumaktır. Bu amaçla tesis yönetiminde kullanılan başlıca sistemlerden ikisi BEMS ve CMMS'dir.

Tesis yönetiminde kullanılan sistemler, bina işletimi sırasında bina sakinleri ve tesis yönetim personeli dahil olmak üzere birden fazla kullanıcı ve paydaş ile doğrudan ve dolaylı olarak etkileşime girer (Roper ve Payant, 2014). Bina sakinlerinin eylemleri enerji tüketimini etkiler ve BEMS tarafından bildirilen problemler binadaki sensörler aracılığı ile tesis yöneticilerine iletilir (Doty ve Turner, 2009). Bina sakinlerinin neden olduğu bazı iyi bilinen problemler arasında: kışın, binanın talep gücünü arttıran kişisel elektrikli ısıtıcıların kullanılması (Beltran vd., 2013) ve tesis yönetim sistemlerine yanlış okumalar veren termostatları ve sensörleri bloke eden mobilya ve cihazlar yer alır. Bunlara ek olarak tesis yönetimindeki insan gücü eksikliği, bir binanın bakımını ve enerji tüketimini büyük ölçüde etkiler (Roper ve Payant, 2014; Teraoka vd., 2014). Sonuç olarak, tesis çalışanları, düzeltmeleri gereken arıza alarmlarının sayısı karşısında bunalmış hissederler ve yalnızca bina sakinleri tarafından yapılan kritik arızalara ve şikayetlere odaklanırlar. Ayrıca, tesis yöneticileri sorunu çözen ancak daha fazla enerji israfına yol açan veya daha fazla arızanın ortaya çıkmasına izin veren geçici düzeltmeler yapabilirler (Teraoka vd., 2014).

Tesis yaşam döngüsü boyunca BIM, çok disiplinli ve çok katmanlı işbirliği yaklaşımını destekler ve projede mimarlar, mühendisler, müteahhitler, tesis yöneticileri ve teknikerler de dahil olmak üzere çok sayıda paydaşı bir araya getirir. BIM'i kullanmak, projenin yaşam döngüsü boyunca bilgi kaybını azaltır (Al-Shalabi ve Turkan, 2015; Eastman vd., 2011).

BIM, BEMS, CMMS ve enerji simülasyon çıktıları gibi üç sistem tarafından toplanan ve üretilen verileri koordine eder. BEMS, doğru enerji simülasyonlarını çalıştırmak için gerekli olduğu düşünülen iç ve dış ortam verilerini kaydeder ve saklar. Ayrıca radyatör vanaları, fan hızları, taze hava girişi vb. gibi ısıtma ve soğutma çıkışlarını kontrol ederek ısıtma ve soğutma modellerini kaydeder. BIM, enerji simülasyonu çıktı verileri, geometrik veriler, malzeme özellikleri, enerji yükleri, iklimlendirme sistemleri ve bileşenleri, çalışma stratejileri ve programları dahil olmak üzere değerli ve önemli bilgileri depolayabilir. Ayrıca, bina ekipmanının önceki davranışı ve bakım ihtiyaçları hakkında sistemlerden bilgi

sunma yeteneğine sahiptir (Katranuschkov vd., 2014; Kim vd., 2016).

Yukarıda önerilen çerçeve, aşağıda ayrıntıları verilen üç ana seviyeden oluşmaktadır:

Bina Bilgi Seviyesi: Bu seviyede farklı sistemlerden bina verileri toplanır ve BIM'de saklanır (Shalabi ve Turkan, 2015). Toplanan veriler geometri, malzeme ve montaj verileri, BEMS alarm verileri ve CMMS verilerine bölünür. Geometri ve montaj bilgileri tipik olarak BIM'de depolanırken, arızalı alanları tespit etmek için BEMS ve CMMS verilerinin toplanması ve geçici olarak BIM'de saklanması gerekir (Al-Shalabi, 2016).

Enerji Simülasyon Seviyesi: BEMS tarafından bir önceki seviyede toplanan ve saklanan ortam verileri kullanılır. Ortam verileri, termometre sıcaklığını, bağıl nemi, çığ noktalarını, atmosferik basıncı, rüzgar hızını ve rüzgar yönünü içerir. Bu veriler, simülasyonu çalıştırmak için gerekli olan hava durumu dosyasını oluşturmak için kullanılır. Ayrıca, enerji modelini geliştirmek için önceki seviyeden bina bilgi verileri yüklenir; bu tür veriler bina oryantasyonu, bina açıklıkları, iklimlendirme sistemleri, malzeme iletkenliği, duvar montajı ve kalınlıkları içerir. Daha sonra enerji simülasyonları gerçekleştirilir ve sonuçlar bir sonraki seviyeye rapor edilir (Al-Shalabi, 2016).

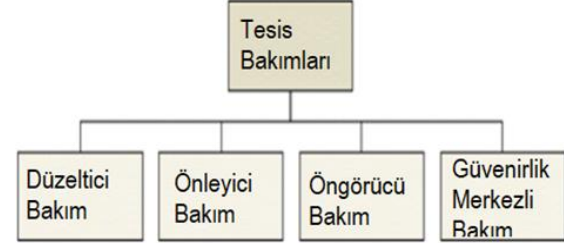
Analitik Karşılaştırma Seviyesi: Bu seviyede, her mahal için gerçek ısıtma ve soğutma modelleri, enerji simülasyonlarının ısıtma ve soğutma yükü sonuçları ile karşılaştırılır. İkisi arasında bir tutarsızlık veya büyük bir kusur varsa, bu, söz konusu alanı daha yakından gözleme ihtiyacını vurgular. Bu, tesis yöneticilerinin simülasyon sonucuna ve diğer sistemlerden toplanan bilgilere bağlı olarak belirli bir alana odaklanacakları için arızanın olası nedenleri hakkında daha iyi bir fikre sahip olmalarını sağlayacaktır (Al-Shalabi, 2016).

Önerilen çerçeve, sorunlu alanların tespit edilmesi, olası nedenlerin belirlenmesi ve bu belirli alanlardan ilgili verilerin toplanması sorunların kök nedenine inme imkânı sağladığı için avantajlıdır. Geleneksel sistemlerde arızaların doğası, otomatik BEMS alarm sistemi tarafından tespit edilemez. Bina ekipmanlarının gerçek performansı ile amaçlanan enerji performansının karşılaştırılması, binalardaki hataları ve sorunları vurgular.

5.BİM TABANLI TESİS YÖNETİMİNDE BAKIMLAR

Bina bakım ve onarımı, herhangi bir tesiste ekipmanın çalışması için hayati öneme sahiptir. Bina bakım faaliyetleri, bina ekipmanları ile ilgili

verileri toplamak ve almak için birden fazla paydaşı içeren uzun süreli kapsamlı bir çalışma gerektirir (Motawa ve Almarshad, 2013). Bakımlar; önleyici, düzeltici, öngörücü ve güvenilirlik merkezli olabilir. Önleyici bakım için gereken bilgiler genellikle üreticilerden sağlanırken, düzeltici ve öngörücü bakım için gereken bilgilerin bulunması ve toplanması daha zor olabilir. (Motawa ve Almarshad, 2013).



Şekil 2. Bakım çeşitleri.

Mevcut çoğu binadaki bakım çalışmalarının çoğu reaktiftir (Mobley, 2008; Sullivan vd., 2004). Bu bakım türü tesisler için etkili değildir, çünkü reaktif bakım görevleri planlı bakım olarak gerçekleştirilecek olsaydı aynı onarım faaliyetinden üç ila dört kat daha az maliyetli olabilirdi (Mobley, 2008; Sullivan vd., 2004). Ayrıca, reaktif bakım tipik olarak mevcut semptomların onarımını hedeflediğinden, arızanın temel nedenini bulmaz, onarım ve bakımın sıklığını ve maliyetini artırır (Mobley, 2008). Bu nedenle arızalara tepki vermek yerine daha planlı bakım çalışmalarını (önleyici, öngörücü veya güvenilirlik merkezli bakım) desteklemeye ihtiyaç vardır. Reaktif bakım faaliyetlerinin sayısını azaltmak, proaktif bakım faaliyetlerini belirlemek etkili planlama stratejileri gerektirir. Planlamayı yapmak için ilk adımlar, tesis bilgilerini depolamak, sürdürmek ve bir binanın nasıl davrandığına ilişkin güvenilir bilgileri yakalamaktır. Güvenirlik merkezli bakımı başlatmak için tesisteki bileşenlerin önceliklendirmek, makine geçmişini tutmak, arızaların temel nedenlerini kaydetmek ve ekipman arıza modlarını ve etkilerini analiz etmek gerekir (Sullivan vd., 2004). Bu nedenle, bakım çalışmasına öncelik verirken aynı zamanda bakım planlama kararlarını desteklemek için onarım ve bakım çalışmalarının geçmişini ve ilgili değişiklik bilgilerini depolayan güvenilir bir bakım veritabanı gereklidir (Akcamete vd., 2010).

Mevcut uygulamalarda yer alan verimsizliklere atfedilen önemli harcamaları gözlemleyerek, operasyon aşamasında büyük tasarruflar sağlamak olasıdır. Ancak, bunu sağlamak için mal sahipleri ve tesis yöneticilerin, tesislerinin operasyon ve bakımını yapma biçimlerini iyileştirecek bir bilgisayar destekli çözüme ihtiyaçları vardır (Akcamete vd., 2010).

Geleneksel veri gösterim biçimlerinin (örneğin kağıt ve CAD) aksine BIM, tüm bina bilgilerini depolamak için tek bir model sağlar ve dolayısıyla entegre görünümde elde edilir. BIM ayrıca bir bina ve sistemleri hakkında 3B uzamsal bilgileri sağlar; bu nedenle tesiste gerçekleşen çeşitli bakım faaliyetlerinin görselleştirilmesini ve mekansal analizlerini destekleme potansiyeline sahiptir. Bu tür analizler geleneksel veri tabanları ile kolayca gerçekleştirilemeyebilir. BIM modelleri ayrıca tasarım ve inşaat aşamalarından işletme aşamasına kadar tesis bilgilerinin oluşturulmasını ve aktarılmasını sağlayabilir. Şu anda bazı ticari programlar, tesis bilgilerinin BIM'den Bilgisayarlı Bakım ve Yönetim Sistemlerine (CMMS) ve/veya Bilgisayar Destekli Tesis Yönetimi (CAFM) Sistemlerine otomatik olarak aktarılmasını sağlar. Benzer şekilde tasarımcıların, müteahhitlerin ve üreticilerin, bina yaşam döngüsünün ilk aşamalarında oluşturulan İnşaat-Operasyon Bina Bilgi Değişimi (COBIE) spesifikasyonu bilgisayar tarafından yorumlanabilir bir formatta veri aktarmalarını sağlayan bir platformdur. Bu şekilde gerekli tesis bilgilerinin yeniden oluşturulmasına veya hatırlanmasına gerek kalmaz (East, 2007). COBIE, bir BIM modelinden gerekli tesis bilgilerinin, bakım planının ve sistem talimatlarının bir elektronik tablo aracılığıyla, bir tesis yöneticisinin tüm bu bilgileri CMMS'e aktarmasına olanak tanır (East vd., 2009). Böylece mimarlar, mühendisler ve müteahhitler tarafından bilgilerin yeniden elde edilmesi ve aktarılması için her yıl harcanacağı tahmin edilen yaklaşık 67 milyon dolardan tasarruf etmesi sağlanır (Gallaher vd., 2004).

Genel olarak yukarıda bahsedilen veri aktarım yöntemleri ile mekânlar, duvarlar, kapılar, pencereler, mobilyalar ve ekipmanlar hakkında bazı bilgilerin aktarılması sağlanır, ancak mekansal ve topolojik ilişkiler bu yöntemler ile sağlanamaz. Bu tür bilgiler, geleneksel veritabanlarından veya CMMS sistemlerinden elde edilemeyecek içgörüler (ör., kök nedenler, olası etkiler) sağlayabilen arıza/onarımların modellerinin ve ilişkilerinin analizi için gereklidir. Sonuç olarak, şu anda mevcut tesis yönetim sistemleri, bakım bilgilerinin mekansal analizlerini desteklemek için BIM modellerinin 3B görselleştirme yeteneklerinden ve bileşenler arasındaki topolojik ilişkiler bilgisinden tam olarak yararlanamamaktadır (Akcamete vd., 2010).

Tesislerin işletmeleri sırasında güncel tesis bilgilerinin depolanmasını sağlamak ve bakım planlama kararlarını desteklemek için bakım ve onarım çalışmaları sırasında tesislerde meydana gelen değişiklikler hakkında bilgi toplamaya ihtiyaç vardır. Değişiklikler hakkında bilgi toplamak, aynı

zamanda tesis değişikliklerinin geçmişinin ve tesis arızalarının bir kaydının saklanması da olanak tanır. Büyük onarım ve proje mali analizlerine veri sağlamak için günlük tesis yönetimi operasyonlarının izlenmesi gerekir (Klammt, 2001). Buna ek olarak, bir geçmiş kaydı, bakım çalışmalarına öncelik verilmesine yardımcı olabilir. Tesislerin finansmanı sınırlıdır ve tesis yöneticilerinin daha yüksek önceliğe sahip sorunları belirlemesi gerekir. Bir tesiste yapılan bakım ve onarımlara dayalı bina performansı ve bozulmanın tam bir dokümantasyonu olmadığında, bu tür kararların tesis yönetim personelinin kişisel bilgisine dayanması gerekir. Bu kararlar bazen etkili olmayabilir. Bir tesiste gerçekleştirilen bakım onarım çalışmasının değişiklik geçmişi ve analizleri, bu tür kararların desteklenmesine yardımcı olabilir. Bu nedenle, yalnızca bir tesisin durumunu olduğu gibi gösteren güncel tesis bilgilerine değil, aynı zamanda bakım planlamasını desteklemek için tesiste meydana gelen değişikliklerin geçmişine de erişmek gerekir (Akcamete vd., 2010).

Öngörülen yaklaşım, değişiklikleri kaydetmek için özelleştirilmiş şablonlar üreterek ve bu tesis değişiklik geçmişi bir BIM modeli içinde otomatik olarak depolayarak, bakım onarım çalışması sonucunda oluşan sahadaki değişiklik bilgilerinin yakalanmasını amaçlamaktadır. Bu yöntem, bakım onarım faaliyetlerinin görselleştirilmesini ve bakımın önceliklendirilmesine ilişkin kararları destekleyebilen binanın mekansal analizlerini mümkün kılabilir. Önceki bakım onarım faaliyetleri mekansal olarak görselleştirildiğinde, bir binanın belirli bir bölgesi veya odası için arıza modellerini belirlemek ve daha etkili bakım uygulaması ve planlaması yapmak için mekansal ilişkileri analiz etmek ile mümkün olacaktır (Akcamete vd., 2010).

6.ÖRNEK VAKA ÇALIŞMALARI

Bu bölümde literatürde varolan iki adet vaka çalışması incelendi. İlk vaka çalışması, tesis bakım verilerini bir BIM modeli ile entegre ederek elde edilebilecek bazı olası faydaları göstermek için seçilmiştir (Akcamete vd., 2010). İkinci vaka çalışması ise, Iowa Eyalet Üniversitesi ana kampüsünde bulunan LEED platin sertifikalı bir eğitim tesisi olan King Pavilion binasında gerçekleştirilmiştir. Bu vaka analizi ise BIM ortamında enerji simülasyonu ile bina konforunun artırılabilirliğini göstermek için seçilmiştir. (Al-Shalabi, 2016).

İlk vaka çalışmasında, üç katlı yüksek bir kampüs binası seçilmiştir. Bir yıllık bir süre boyunca sabit varlıklar üzerinde gerçekleştirilen günlük bakım faaliyetlerini ve tüm (reaktif/arızalı bakım) iş

emirleri kayıt altına alındı. Gerçekleştirilen tüm faaliyetler, değiştirme, kurulum veya durum değişikliği (örn. tıkanıklığı açma, temizleme, kapatma, sıfırlama) listelendi ve kategorilere ayrıldı. Daha sonra binadaki belirli bir bileşen veya konumla ilişkili bakım ve onarım faaliyetleri, aynı binanın BIM modeli ile manuel olarak entegre edildi. Bir tesisin davranışını, meydana gelen arızalar ve zaman içinde gerçekleştirilen onarımlar açısından görselleştirmenin bazı anlık faydalarını göstermek için ilk adım olarak manuel haritalama yapıldı (Akcamete vd., 2010).

İlk olarak, iş emirlerinde verilen açıklamalara bakılarak bakım onarım çalışmasının yapıldığı bileşenler belirlendi. Ardından, tesiste onarılan bileşenlerin çoğu BIM modelinde açık bir temsile sahip olmadığı için tesiste her bileşen için bir renk kodu seçildi. Mevcut tesis yönetim sistemlerinde kullanılan tesis bilgilerine ve BIM modelinden bu sistemlere aktarılan bilgilere göre sadece duvarlar, döşemeler, kapılar ve pencereler bu vaka çalışması için modellenmiştir. Ardından, gerçekleştirilen faaliyetler değiştirme, kurulum veya durum değişikliği altında kategorize edildi ve bu bakım faaliyetleri kategorilerini göstermek için belirli semboller atandı. Bunların sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır (Akcamete vd., 2010):

1. Tüm odaların sadece %25'inin penceresiz olduğu binada, penceresiz odalarda aydınlatma armatürü değişimlerinin %85'i yapılmıştır.
2. Tavan döşemelerinin %90'ı çatının hemen altındaki 2. katta yapılmıştır.
3. Tavan karosu değişimi yapılan odalarda zemin temizliği/değiştirilmesinin %60'ı yapılmıştır.
4. Zemin temizliği/değiştirmelerinin %80'i laboratuvarlarda yapılmıştır.

Mekansal-zamansal analiz, bina bağlamıyla ilişkilendirilebilecek belirli bileşenlere veya alanlara zaman içinde onarım eğilimleri sağlar. Bu bakım bilgilerini görselleştirmek, pencereci odaları dikkate alacak veya penceresiz odalardaki ampulleri enerji verimli olanlarla değiştirmek için bir gerekçe sağlayacak gelecekteki tasarım kararlarında yardımcı olabileceği görülmüştür.

BIM modeli bağlamında bakım onarım bilgilerinin analiz edilmesi, üçüncü modeldeki örnek gibi farklı bakım onarım faaliyetleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesini de sağlar. Zemin temizleme/değiştirme işlerinin çoğunun tavan karosu değişimi yapılan odalarda yapıldığı görülmektedir. Bu bilgi, bu alanlardaki tavan problemlerini çözerek zemin (halı koymak) temizleme veya değiştirme ihtiyacının azaltılıp

azaltılamayacağını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (Akcamete vd., 2010).

İkinci vaka çalışmasında, tesis yönetimi uygulanacak bina toplam 2073.3 m² olan iki kattan oluşmaktadır (Al-Shalabi, 2016). Bakım geçmişi, BEMS verileri, BIM modeli ve inşaat ve devreye alma belgeleri dahil olmak üzere tüm bina bilgileri ve modelleri araştırma ekibi tarafından kullanılmıştır. Özgün tasarımda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır, yani sistemler ve mekanlar tasarlandığı gibi çalışmaktadır. Binanın HVAC sistemi, çalışmanın amaçları için yeterince karmaşıktır. Tüm bina sadece bir termal bölgeye sahiptir ve her stüdyo alanı ayrı bir ısıtma ve soğutma çıkışına sahiptir.

King Pavilion binası için hava durumu verileri, binanın bir ay boş, diğer ay ise dolu olduğu iki aylık bir süre için toplanmıştır. BEMS sensörleri tarafından yakalanan veriler, on beş dakikalık aralıklarla ölçülen hava durumu verileridir. Toplanan hava durumu verileri, dış mekan termometre sıcaklığını, bağıl nemi, çiy noktalarını, atmosfer basıncını, rüzgar hızı ve rüzgar yönünü içeriyordu. BEMS tarafından belirli bir alan için toplanan diğer veriler ise, valf yuvası açıklığının yüzdesini, iç sıcaklığını, temiz hava değişim oranını ve CO2 seviyelerini içeriyordu. Toplandıktan sonra, gerçek hava durumu veri dosyası EnergyPlusTM simülasyon yazılımıyla uyumlu .epw dosya formatına dönüştürüldü (Al-Shalabi, 2016).

Bu bina için bir as-built BIM modeli geliştirildi. Modelleme, geometrik modelleme ve nitelik veri girişi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Geometri modellemesi, farklı elemanlar arasındaki uzamsal ilişkileri belirlemek için gerekli olan HVAC ekipmanını, açıklıkları, odaları vb. konumlandırmak için önemlidir. Nitelik veri girişi ise, FM ekibine bina ekipmanı ve elemanları ile ilgili gerekli bilgileri sağlar; bu tür veriler, satıcılar, termal özellikler, konum, kalınlıklar, boyutlar vb. dahil olmak üzere farklı unsurların niteliklerini tanımlar. Bu model FM görevleri ve enerji modellemesi için gereklidir. Daha sonra BIM modeli, bir gbXML içe aktarma işlemi aracılığıyla Revit'in EnergyPlusTM tabanlı DesignBuilder enerji modelleme yazılımına yüklendi (Al-Shalabi, 2016).

Binanın performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek ve bina sakinlerinin konfor düzeylerini araştırmak için bir anket yapıldı. Anket, bina sakinlerinin termal konfor seviyelerini ve bunları iyileştirmek için yaptıkları eylemleri ölçmek için hazırlandı. Anket aynı zamanda bina sakinlerinin, yani öğrencilerin resmi ders saatleri dışında binada geçirdikleri süreye ilişkin soruları da

içeriyordu. Bu ekstra süreler de enerji modeline yansıtıldı (Al-Shalabi, 2016).

Binanın dolu ve boş senaryolarını iki aylık bir süre zarfında incelemek için iki adet enerji simülasyonu oluşturuldu. Dolu senaryo için oluşturulan simülasyonda, sınıf çizelgelerine ve anket sonuçlarına bağlı olarak her bir özel alan için gerçek sakinlerin sayısını ve çizelgelerini içeren bir enerji modeli kullanılmıştır. Her iki senaryo için simülasyonlar iki aylık sürenin tamamını kapsarken, bina ilk ay fiilen boş ve ikinci ay dolu olmasına rağmen, bina ısıtma vanalarının fiili izleme ve kaydı eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir (Al-Shalabi, 2016).

Binanın davranışına ilişkin daha geniş bir perspektif, binadaki 4. ve 5. alanlar incelenerek elde edilebilir. 4. alan aşırı ısıtma davranışı gösterirken, 5. alan yetersiz ısıtma davranışı gösterdi. BIM ortamından yapılan mekansal analiz ile her iki işlev bozukluğunun birbirine bağlı olduğu tespit edilmiştir. BEMS, 5. alanın radyatör vanasında bir arıza olduğunu bildirdi. Öte yandan, 4 numaralı alandaki radyatör, 5 numaralı alandaki yetersiz ısıtmayı telafi etmek için alanı aşırı derecede ısıtıyordu. Bu durum sonuç olarak her iki mekanda da termal rahatsızlık yaratır ve tesis yönetim ekibine bina sakinlerinin şikayetlerini artırır. Anket sonuçlarında ise, 4 numaralı alanda oturanların yaklaşık %60'ının rahatsız edici derecede sıcak hissettiklerini bildirdiğini göstermektedir. Diğer tarafta ise, 5 numaralı alan sakinlerinin %65'i üşüdüklerini bildirdi.

Bu vaka çalışmasının sonuçları, enerji simülasyonu sonuçlarının ve BIM'in mevcut FM işlevini desteklediğini göstermektedir. Ayrıca sistem arızalarından kaynaklanan enerji anormalliklerini tespit ederek mevcut uygulamaları iyileştirmektedir.

7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BIM ile tesis yönetimi sistemlerinin entegrasyon süreci bir binanın yaşam döngüsü düşünüldüğünde daha uzun soluklu araştırmaların yapılması gereken bir alandır. Mevcut çalışmalar gelecek adına bu entegrasyon sürecinin tesis yönetimi sistemlerini daha kullanıcı dostu, otomatize ve anlık veri alışverişine imkan verecek şekle dönüştüreceğini göstermektedir. Fakat mevcut binaların birçoğunun BIM modelinin olmaması, mevcut kullanılan yazılımların birbirleri ile uyumsuz olması ve sektördeki aktörlerin henüz bu değişime hazır olmaması gibi nedenlerden dolayı bu geçiş süreci yavaş ilerlemektedir. Ancak bu alanda yapılan vaka analizleri bize BIM ile tesis yönetimi sistemlerinin entegrasyonu hakkında erken aşamada bile entegrasyonun fayda sağladığına dair somut veriler

sunmaktadır. Tesisin işletmesi sürecinde kök nedeni anlaşılacak birçok sorun BIM ortamında mekansal ve zamansal analizler yardımıyla çözülebilmektedir. Tesis yöneticileri, bu sorunların çözümü ile enerji verimliliklerinde ve tesis bütçelerinde olumlu değişimleri gördükçe tesis yönetiminde BIM kullanımını tercih edeceklerdir. Sektördeki bilinç düzeyi arttıkça ve bu alanla ilgili daha uzun soluklu araştırmaların sonuçları yayımlandıkça BIM ile tesis yönetiminin entegrasyon süreci ivme kazanacaktır.

8.KAYNAKLAR

Akcamete, A., Akinci, B., and Garrett, J., 2010. Potential utilization of building information models for planning maintenance activities, *13th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom, 30 June-2 July.

Al-Shalabi, F. and Turkan, Y., 2015. A Novel Framework for BIM Enabled Facility Energy Management – A Concept Paper, *5th International/11th Construction Specialty Conference*, Vancouver, British Columbia, June 8-10.

Al-Shalabi, F., 2016. BIM Framework for Energy and Maintenance Performance Assessment for Facility Management, *Ph.D. Thesis*, Iowa State University, Ames, Iowa, United States.

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.

Barlish, K., 2011. How to Measure the Benefits of BIM, *MSc Thesis*, Arizona State University, Tempe, Arizona, United States.

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., and Calis, G. 2011. Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management, *Journal of construction engineering and management*, 138(3), 431-442.

Beltran, A., Erickson, V. L., and Cerpa, A. E. ,2013. "Thermosense: Occupancy thermal based sensing for HVAC control." *Proc., Proceedings of the 5th ACM Workshop on Embedded Systems For Energy-Efficient Buildings*, ACM, 1-8.

Cahill, B., Menzel K. and Flynn D., 2012. BIM as a centerpiece for optimized building operation, *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, 549-555.

- Computer Integrated Construction Research Program, CIC (2013). "BIM Planning Guide for Facility Owners".
Version 2.0, June, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. Available at <http://bim.psu.edu>
- Demirdöğen, G., Işık, Z. and Arayıcı, Y., 2020. Lean Management Framework for Healthcare Facilities Integrating BIM, BEPS and Big Data Analytics, *Sustainability*, 12, 7061
- Doty, S., and Turner, W. C., 2009. Energy management handbook, *The Fairmont Press, Inc*, Georgia.
- East, E.W., 2007. Construction Operations Building Information Exchange (COBIE): Requirements definition and pilot implementation standard, *ERDC/CERL TR-07-30*.
- East, E.W., Nisbet, N., and Wix, J., 2009. Lightweight capture of as-built construction information, *In: 26th International Conference on IT in Construction*, Istanbul, Turkey.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K., 2011. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, *John Wiley & Sons*.
- Edirisinghe, R., London, K., Kalutara, P. and Aranda-Mena, G., 2017. Building information modeling for facility management: are we there yet?, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24, 6, 1119-1154.
- Gallaher, M.P., O'Connor, A.C., Dettbarn, J.L., Jr., Gilday, L.T., 2004. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. *U.S. Department of Commerce, NIST GCR 04-867*.
- Jones, R., Fuertes., A. and Wilde, P., 2015. The Gap Between Simulated and Measured Energy Performance: A Case Study Across Six Identical New-Build Flats in the UK, *14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Hyderabad, India, 7-9 December, 2248-2255.
- Katranuschkov, P., Scherer, R., Weise and Liebich, T., 2014. Extending BIM for Energy Simulation and Design Tasks, *2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Orlando, Florida, United States, June 23-25, 625-632.
- Kelly, G., Serginson, M., Lockley, S., Dawood N. and Kassem M., 2013. BIM for Facility Management: A Review and a Case Study Investigating the Value and Challenges, *13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, London, United Kingdom, October 30-31.
- Kim, H., Shen, Z., Kim, I., Kim, K., Stumpf, A., and Yu, J., 2016. "BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information." *Automation in Construction*, 68, 183-193.
- Klammt, F., 2001. Financial Management for Facility Managers. In TEICHOLZ E., ed. *Facility Design and Management Handbook, McGraw-Hill Companies Inc*, pp. 5.1-5.37, New York.
- Liu, X., Akinci, B., Garrett, J., and Bergés, M. 2011. "Requirements and development of a computerized approach for analyzing functional relationships among HVAC components using building information models." *Proceedings of the CIB W78-W102 Carnegie Mellon University*, Pittsburgh, PA, USA.
- Mobley, R.K., 2008. Corrective Maintenance. In: Mobley R.K., Higgins, L.R., Wikoff, D.J, eds. *Maintenance Engineering Handbook.: McGraw-Hill Companies Inc.*, pp. 2.3-2.6, New York.
- Roper, K. O., and Payant, R. P., 2014. The Facility Management Handbook, *AMACOM Div American Mgmt Assn*.
- Sanvido, V., 2013. Computer Integrated Construction Research Program, *BIM Planning Guide for Facility Owners*, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.
- Suprabhas, K., 2016. Integration of BIM and Utility Sensor Data for Facilities Management, *MSc Thesis*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, United States.
- Sullivan, G.P., Pugh, R., Melendez, A.P., and Hunt, W.D., 2004. Operations and Maintenance Best Practices: A
- Teraoka, H., Balaji, B., Zhang, R., Nwokafor, A., Narayanaswamy, B., and Agarwal, Y., 2014. "BuildingSherlock: Fault Management Framework for HVAC Systems in Commercial Buildings." *Technical Report*, CSE, UCSD.
- Trabulci, M., 2020. Interoperability framework for BIM-FM based on a relational database, *MSc Thesis*, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga.