

# 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)

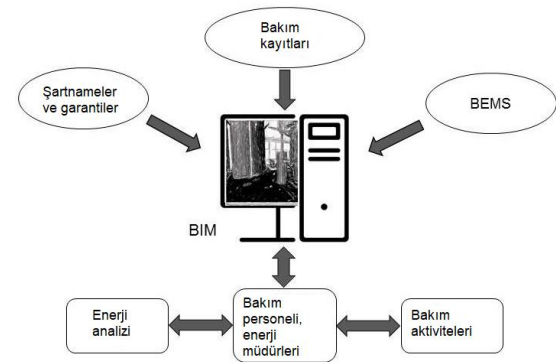
Bilgisayar destekli tesis yönetim sistemleri genellikle alan ve varlık yönetimi amacı ile kullanılır. Büyük çoğunluğu iki boyutlu sistemlerdir. BIM modeli kullanan Ecodomus gibi sistemler de mevcuttur. Geleneksel kullanımlarında BEMS veya BAS gibi sistemler ile aralarında bir bilgi alışverişi olmaz.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

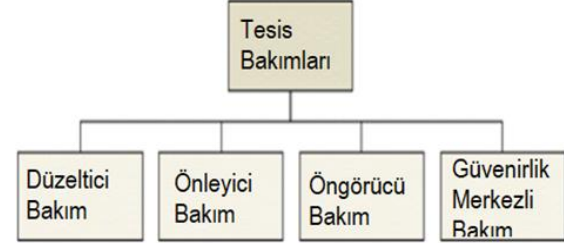
**Analitik Karşılaştırma Seviyesi:** Bu seviyede, her mahal için gerçek ısıtma ve soğutma modelleri, enerji simülasyonlarının ısıtma ve soğutma yükü sonuçları ile karşılaştırılır. İkisi arasında bir tutarsızlık veya büyük bir kusur varsa, bu, söz konusu alanı daha yakından gözleme ihtiyacını vurgular. 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 saklanmasına 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 geçmişini 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 m<sup>2</sup> 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, *13<sup>th</sup> 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, *5<sup>th</sup> International/11<sup>th</sup> 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 5<sup>th</sup> 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, *14<sup>th</sup> 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, *13<sup>th</sup> 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.