



**HAL**  
open science

# Yapı Bilgi Modellemesinin Kablosuz Algılayıcı Ağ Entegrasyonu ile Gerçek Zamanlı Akıllı Bina Yönetim Sistemi Prototipi

Ozgun Pinarer

► **To cite this version:**

Ozgun Pinarer. Yapı Bilgi Modellemesinin Kablosuz Algılayıcı Ağ Entegrasyonu ile Gerçek Zamanlı Akıllı Bina Yönetim Sistemi Prototipi. Bitlis Eren University Journal of Science and Technology, 2021, 10 (1), pp.207-216. 10.17798/bitlisfen.822604 . hal-04355656

**HAL Id: hal-04355656**

**<https://hal.science/hal-04355656>**

Submitted on 28 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yapı Bilgi Modellemesinin Kablosuz Algılayıcı Ağ Entegrasyonu ile Gerçek Zamanlı Akıllı Bina Yönetim Sistemi Prototipi**

Özgün PINARER\*

*Galatasaray Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
(ORCID: 0000-0002-0280-3689)*

---

### **Öz**

Son yıllarda, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) bilgisayar bilimindeki en sıcak araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Çok çeşitli araştırma alanlarından birçok araştırmacıyı cezbetmektedir. Sadece bilgisayar biliminden araştırmacılar değil, çevre sağlığı, arkeoloji ve kültürel mirastan araştırmacılar da YBM ve Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) ile entegrasyon çalışmalarına başlamışlardır. Bu yazıda, YBM ve KAA'nin entegrasyonu üzerinde çalışmaktayız. Bu entegrasyonun en büyük zorluklarından biri olan, ortamın sayısal bir modelinin kullanılarak algılayıcı düğüm akışlarının nasıl yönetileceği ve algılayıcı düğüm verilerinin çevresel veriler ile nasıl entegre edileceği konusu ele alınmıştır. Çoklu algılayıcı düğüm veri akışını yöneten az sayıda çalışma olsa da bu yaklaşımlar genellikle tek bir uygulamaya uyarlanır ve çoğunlukla bina modelinden bağımsızdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, bu çalışmada YBM ilkelerine dayanan yeni bir gerçek zamanlı çevre izleme sistemi ve sistem mimarisi önerilmektedir. Test ortamı olarak, üniversite kampüsü tercih edilmiş ve prototip için seçilen öğretim üyeleri ofisleri ve derslikler algılayıcı düğüm cihazları ile donatılmıştır. Gerçek veriler, büyük bir veritabanı elde etmek için sanal veriler ile zenginleştirilmiştir. Binanın sayısal modeli YBM dahilinde 3B sayısal model ile tanıtılmakta ve verilen sayısal model üzerinde KAA ile algılayıcı düğüm entegrasyonu sağlanmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** yapı bilgi modellemesi, algılayıcı düğüm, kablosuz ağlar, akıllı bina yönetimi, veri akışı

---

## **Real-Time Smart Building Management System Prototype with Wireless Sensor Network Integration with Building Information Modeling**

---

### **Abstract**

Building Information Modeling (BIM) is one of the most popular research topics not only in computer science but in multidisciplinary studies. In this study, an integration of wireless sensor networks (WSN) and BIM is established. The most crucial challenge in this integration is to manage the sensor data streams and manage such pervasive environment that includes heterogeneous wireless sensor devices. Since the environment (such as smart building or smart city) covers heterogeneous wireless sensor devices for various physical measures, each sensor has its own sensor data stream and data structure. Existing studies in this field bring many dependency and can be adapted to a single application. However, such systems should be more generic and address to multidisciplinary research areas. Here, a BIM based real time smart environment management system is proposed. 3D model of the building is achieved in early stages. A BIM based platform is established and it provides a common workspace for all partners of the studies.

**Keywords:** Building information modelling, Sensor technology, Wireless sensor networks, smart building management system, data streaming

---

### **1. Giriş**

Günlük yaşantımızın son derece gelişmiş teknolojik cihazlarla çevrili olduğu bir çağda yaşamaktayız. Bu sayısal çağın bir kolu da akıllı bina inşaatı ve akıllı bina yönetim sistemleridir. Son yıllarda, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM - Building Information Modelling (BIM)) ve kablosuz algılayıcı ağlarının

---

\*Sorumlu yazar: [opinarer@gsu.edu.tr](mailto:opinarer@gsu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 06.11.2020, Kabul Tarihi: 06.01.2021

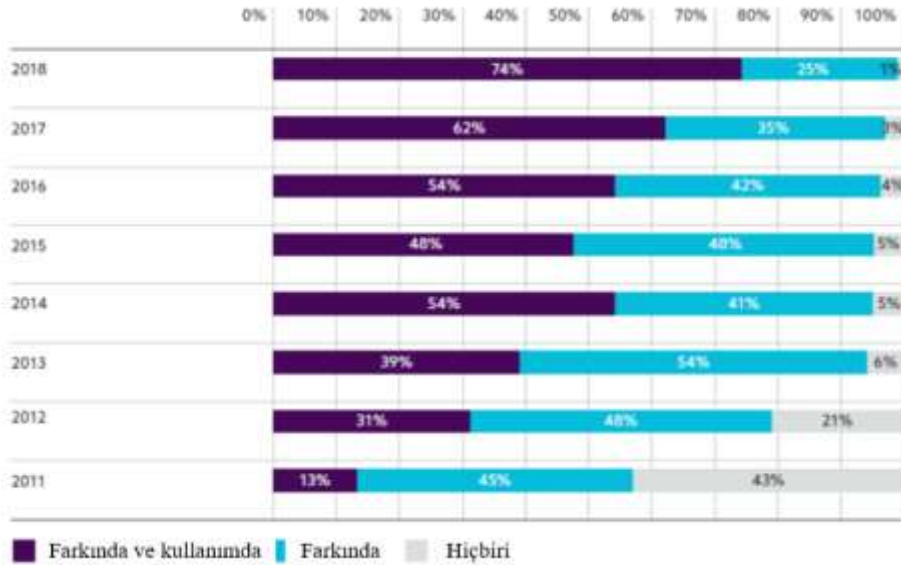
(KAA-Wireless Sensor Network (WSN)) bir binanın sayısal modeline entegrasyonu alanında büyük bir eğilim olmuştur. Her geçen gün artan dünya nüfusu ve kasabadan şehre göçün hızlı artışı, şehirleri daha akıllı hale getirmeye zorlamıştır. Bu gelişmenin ilk etabı olarak da içinde yaşadığımız binanın yönetiminin bilgisayar ve yazılım destekli bir sistem ile gerçekleştirilmesi düşünülmektedir [1].

21. yy'ın ilk yıllarından itibaren akıllı binalara olan ilgi artmıştır. Akıllı bina ve sürdürülebilirlik birbirini tamamlayan iki kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle enerji tüketimi ve kaynakların daha verimli kullanımı ile ilgili analizler ve çalışmalar yapıldığında geleneksel binaların enerji kaynaklarının önemli bir kısmının tüketicileri olduğu ortaya çıkmaktadır. Yeryüzündeki kaynakların daha verimli kullanımı için geleneksel binaların daha az enerji tüketmesi ve doğal çevre üzerindeki etkilerini en aza indirmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve inşaat standartlarına yeni bir boyut getirilmiştir: Akıllı Bina Yönetim Sistemi ve Yapı Bilgi Modellemesi.

Akıllı bina yönetim sistemi, binalarda oturan kişilerin konforunu sağladığı, yaşam standartlarını yükseltmeyi amaçladığı gibi, enerji takibi ve enerji tüketimini iyileştirmeyi de hedeflemektedir. Yeryüzü kaynaklarının bir gün biteceği gerçeğini göz önünde bulundurursak, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak adına enerji kaynaklarını önemseyen, tüketimleri mümkün oldukça asgari düzeye indirmeye çalışan akıllı sistemlere her zaman ihtiyaç vardır [2, 3].

Akıllı bina yönetim sistemleri belirtilen amaçları gerçekleştirmek amacıyla kullanılırken, aynı teknoloji akıllı şehirlerin de temel yapı taşı oluşturmaktadır. Özellikle metrekareye düşen insan sayısı yüksek olan şehirlerde trafik, geri dönüşüm, çöp toplama vb. hizmetlerin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için bilgisayar destekli sistemlere ihtiyaç vardır.

Şekil 1'de Ulusal Yapı Bilgi Modellemesi organizasyonunun 2018 tarihinde yayınladığı raporda 2011 yılından itibaren dünya genelinde YBM üzerine farkındalık ve uygulanma yüzdeleri grafik olarak sunulmuştur. 2011'de inşaatların sadece 13%'ünde YBM'den faydalanırken 2018 senesinde bu oran 74%'e yükselmiştir.



Şekil 1. Yapı Bilgi Modellemesinin yıllar içinde uygulanma yüzdesi

Bu çalışmada, bir binanın 3B modeli oluşturulmuştur. Örnek bina olarak üniversitenin mühendislik binası ele alınmıştır. Binanın seçilen çalışma odaları ve derslikleri sıcaklık, nem, CO<sub>2</sub> emisyonu, doluluk ve parlaklık verisi elde etmek için kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler ile donatılmıştır. Algılayıcı düğümlerin ölçtüğü verileri yönetmek ve gerekli eylem kararlarını alabilmek için bir sistem merkezi geliştirilmiş, gelen verileri depolamak için veri tabanı oluşturulmuştur. Ortamdaki düğümler, aynı zamanda 3B maket üzerinde sanallaştırılmıştır. YBM platformu üzerindeki 3B maket üzerinde gerçekleştirilen çalışma ile ortamda yerleştirilmiş düğümlerin bilgileri ve fiziksel düğümlerden gelen bilgilerin analiz edilmesi gerçek zamanlı olarak sağlanmaktadır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Yapı bilgi modellemesinin günümüz dünyasındaki önemi Bölüm 2'de verilmiştir. Bölüm 3, literatürde bulunan ilgili çalışmaları özetlemektedir. Önerilen gerçek zamanlı akıllı ev yönetim sisteminin detayları Bölüm 4'te

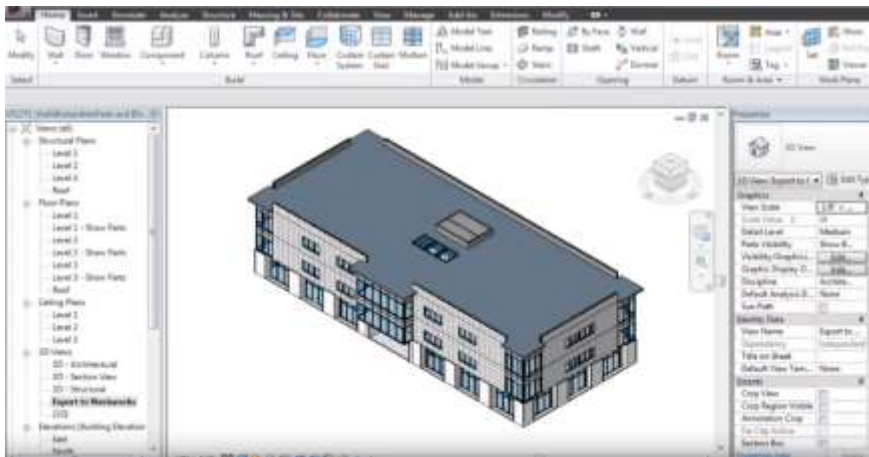
sunulmaktadır. Bölüm 5'te oluşturulan deney ortamı anlatılmış olup, deney sonuçları Bölüm 6'da sunulmuş. Son olarak Bölüm 7'te gerçekleştirilen sistem tartışılmış ve ileriye yönelik çalışma hedefleri belirtilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yapı Bilgi Modellemesi

Geleneksel bina inşaatında mimar, inşaat mühendisi, çevre mühendisi, elektrik mühendisi vb kişiler çalışmaktadır. Mimarlar 2 boyutlu çizimler ile binanın tasarımını yaparken diğer birimler aynı tasarım üzerinde kendi dallarındaki gerekli çalışmaları gerçekleştirirler (elektrik hattı, kolon yerleri, su tahliye şemaları vb). Ancak akıllı bina gerçekleştirmek için binanın gerekli yerlerine algılayıcı düğümlerin (farklı fiziksel ölçümler yapabilen) ve de çalıştırıcı düğümlerin (actuator-mekanik aksamı olan, merkezden gelen sinyale göre fiziksel iş yapan düğüm, otomatik perde mekanizması, klima aç/kapa vb.) yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu düğümler birbirleriyle ve de merkez düğümlerle kablosuz olarak haberleşmekte olup, bina ortamında bir ağ oluşturmaktadırlar. Düğümlerin yerlerinin belirlenmesi, hangi fiziksel ölçümlerin hangi ortamlarda yapılması gerektiğinin tespiti, düğümler arası haberleşmenin sağlanabilmesi için geleneksel 2 boyutlu bina tasarımları yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten akıllı bina inşaatının tasarım aşamasında binanın 3 boyutlu (3B) tasarımının gerçekleştirilmesi gerekmektedir [4]. Literatüre bakıldığında YBM'in birkaç tanımı vardır: Ulusal Yapı Bilimleri Enstitüsü (National Institute of Building Sciences-NIBS) YBM'i "bir tesisin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin sayısal bir temsili" olarak tanımlamaktadır. Eastman vd., YBM'i bir modelleme teknolojisi ve üretim için bir dizi ilişkili süreç olarak tanımlamaktadır [4]. Işıkdağ vd., çalışmalarında YBM ile bina modellerinin iletişim ve analizinin yapılmasının daha kolay olduğunu, oluşturulan model ile yapı elemanları hakkında semantik bilgi içeren sayısal maket yaratıldığını ve yapının inşaatının her aşamasında çalışan ekipler için ortak bir bilgi yönetimi platformu olduğunu belirtmiştir [5].

YBM, geleneksel 3B CAD (Computer-Aided Design-Bilgisayar destekli tasarım) / CAM (Computer-Aided Manufacturing-Bilgisayar destekli üretim) tekniklerinin tüm işlevlerini yerine getiren, nesne yönelimli bir yaklaşıma dayanan güçlü bir teknoloji haline gelmiştir. YBM ile, sayısal olarak inşa edilmiş, planlama, tasarım, yapım öncesi ve yapım sonrası süreçler için çok yararlı olabilecek bir sanal bina modeli oluşturulabilmektedir [6]. YBM, temel olarak 3B tasarım olarak görülse de, aynı zamanda enerji tüketimi simülasyonu, maliyet tahmini, doğal aydınlatma, vb. gibi diğer analiz uygulamaları tarafından kullanılacak verileri de içermektedir. Şekil 2'de örnek bir 3 boyutlu bina modeli verilmektedir.



Şekil 2. Örnek 3 boyutlu bina modeli

Ayrıca YBM, tasarım süreci, inşaat, işletme ve bakım boyunca bina yaşam döngüsü performansını ve üretkenliğini artırmak için kullanılacak Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat sektöründe yükselen bir trenddir. YBM, bir varlık sahibinin inşaat, işletme ve bakım süreçlerinin performansını ve verimliliğini artırmak için kullanılacak yenilikçi bir metodoloji sunmaktadır.

YBM, varlık yaşam döngüsü boyunca proje yönetim ekibi içinde anlamsal ve geometrik bilgileri

paylaşmak için işbirlikçi bir platform sağlamaktadır. Bina verileri hakkında standart bir bilgi paylaşımı ve bilgi alışverişi yapmamıza olanak tanımaktadır. Fiziksel inşaatı öncesinde tüm detayların bulunduğu binanın sanal bir modelini sunar.

Şekil 3'te yapı bilgi modellemesinin sadece akıllı bina yönetiminde değil bir yapının inşaatından son haline ve devamında da yönetimine kadar her etabında kullanılabildiğini gösteren yaşam döngüsü verilmiştir. YBM'in etkili bir şekilde kullanılabilmesi ve başarıya ulaşabilmesi için yapı ile ilgili bütün disiplinlerin (paydaşların çalışmaları) paylaştığı bilgilerin açık standartlara uygun olması gereklidir.



Şekil 3. Bir yapının inşaatından yönetimine kadar yapı bilgi modellemesinin kullanılması

## 2.2. Literatür Taraması

Literatür incelemesi, YBM ve KAA'nin entegrasyonu üzerinde büyük bir eğilim olduğunu ve bu alandaki mevcut çalışmaların üç ana alt başlık altında araştırıldığını göstermektedir: bir binanın inşaat aşamasında YBM'in kullanılması, Akıllı bina yönetimi için YBM ve kültürel mirasta YBM kullanımı.

### 2.2.1. Binanın inşaat aşamasında YBM: Sanal Şantiye

Mimarideki son gelişmeler ve bu alanda uzmanlaşmış yazılımlar ve platformlar artık algılayıcı düğüm sistemleri gibi diğer sistemleri kendi bünyesine entegre edebilmektedir. Bu özellik sayesinde, kullanıcılar, binaların yapımının her aşamasında bina/inşaat yönetimini sağlayabilmektedirler. İnşaat safhasındaki yapılarıdaki bina yönetimi sistemleri sayesinde araştırmacılar, inşaatçı çalışan personelin çalışma alanını gerçek zamanlı olarak takip edebilmektedirler. Algılayıcı düğümlerden gelen verileri ile gerçek zamanlı güncellenen sayısal bina modeli sayesinde çalışma ortamının fiziksel koşulları incelenmekte ve gerektiğinde hızlı bir şekilde müdahale edilebilmektedir. İnşaat sahasına yerleştirilebilecek nem, sıcaklık, bulunurluk, gaz vb fiziksel düğümler, sayısal model ile bağlantılı takdirde çalışma ortamından gerçek zamanlı bilgiler toplanabilmektedir ve çevre sağlığı kontrol edilebilmektedir. Birçok sektörde ve çalışma alanında veri toplama teknolojisi vb sistemler bulunmasına ve kullanılmasına rağmen, inşaat sektöründeki uygulamalar çok yaygın değildir [7].

İngiltere başta olmak üzere birçok ülkede inşaat şartnamelerinde zorunlu tutulan YBM'in bilinirliği ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Henüz yasal boyutu ele alınmış olunmamış olsa da yakın zamanda birçok Avrupa ülkesi gibi inşaat sektörü için zorunlu hale gelecektir. YBM'in bina yapım aşamasında kullanımının en temel avantajı tasarım aşamasında olası sorunların belirlenmesi ve tasarım aşamasında iken bu sorunların giderilmesidir. Aynı zamanda projede çalışan görevlilerin ortak kullanabildikleri bir altyapıyı YBM sağlamış olmaktadır. Ortak bir platformda çalışmanın getirdiği bir diğer avantaj ise maliyet hesaplarının daha tutarlı yapılabilmesidir. Yapının tasarımı ve inşaatının yanı sıra, gerçek zamanlı takibinin yapılması ile çalışan personelin sağlığı ve iş güvenliği konularında da YBM yardımcı olmaktadır.

Literatür incelenip var olan çalışmalara bakıldığında ön plana çıkan birkaç çalışma, bu alanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Riaz vd. dar alanlarda çevresel izleme için KAA ve YBM tabanlı bir çözüm sunmaktadır [8]. Yazarlar, personelin fiziksel durumunu ve güvenliğini izlemek için

Cosmos adlı bir prototip önermektedirler. Sunulan sistem, bina/inşaat şefini uyarmak için bir bildirim mekanizması ve gerektiğinde/acil durumlarda gerekli eylemi gerçekleştirmekten sorumludur. Kiani vd. inşaatın gerçek zamanlı çevresel izlenmesi, görselleştirilmesi ve raporlanması için algılayıcı düğüm tabanlı ir prototip sistemi önermektedir [9]. Çalışma, standart YBM yazılımını kullanır ve yerel ortamında algılayıcı düğüm verilerini gerçek zamanlı olarak görüntülemek ve yönetmek için altyapı sağlamaktadır.

Lee vd. kör noktaların kule vinç operatörleri için büyük bir sorun teşkil ettiğini ve kör noktalardan dolayı yaşanabilecek ciddi iş kazalarının önüne geçilebilmesi için algılayıcı düğüm tabanlı bir sistem önermektedir [10]. Önerilen sistem video kamera sistemi içermekte olup, resim işleme teknolojisi ile çarpışma önleme sistemi geliştirilmiştir. Benzer video tabanlı sistemler ve çarpışma önleme sistemleri inşaat sahalarında sıklıkla kullanılsa da doğru mesafe ölçümlerinde başarısız olabiliyorlar. Özellikle vincin çevresi bu tür sistemler için kör nokta haline gelmektedir. Çalışmada bu bilgi sayısal olarak elde edilmekte olup, vincin yer bilgisi kullanılarak hesaba katılmaktadır. Yazarlar, çalışmada, çeşitli algılayıcı düğümler ve 3B bina tasarımı kullanarak, bina ve çevresi hakkında üç boyutlu bilgi ve kaldırılan nesnenin gerçek zamanlı olarak konumunu gösteren bir kule vinç navigasyon sistemi sunmaktadır.

Bu bölümdeki çalışmalar, binaların yapım aşamasında, inşaat işlemleri süresince personelin çalışma ortamının gerçek zamanlı takibi üzerine yoğunlaşmışlardır. Özellikle kapalı alanlarda çalışan personelin sağlığının yakın takibi oldukça önemli olup bu tür sistemler olası iş kazalarını da önüne geçmektedir.

### 2.2.2. Akıllı bina yönetim sistemi olarak YBM

Binanın inşaat aşamasının yanı sıra YBM ağırlıklı olarak akıllı ev izleme ve yönetim sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu bölümdeki çalışmalar algılayıcı düğümlerin veri akışlarını yönetmeye ve YBM'in düğümleri ile entegrasyonu üzerine odaklanmışlardır.

Liu vd., bir binanın sayısal modelinin ortam yönetimi açısından faydalı bilgiler sağladığını ortaya koymaktadır [11]. Yazarlar, çalışmada düğüm ile sayısal tasarım arasındaki entegrasyonun tam olarak sağlanmadığını ve bu eksiklik sebebiyle tam anlamıyla bina yönetiminin yapılamamasına yer vermişlerdir. Çalışmada ayrıca algılayıcı düğüm verilerinin ve metaverilerinin bir bina model analizi için ne kadar gerekli olduğunu ortaya konulmuştur.

Park vd., projelerinde bluetooth işaretlerinden ve hareket düğümlerinden gelen bilgileri birleştiren, YBM'den harita bilgilerini çıkaran ve bir hedefin konumunu tahmin eden izleme sistemi geliştirmişlerdir [12]. Çalışmada toplanan düğüm verilerini harita bilgisiyle entegre eden bir yaklaşım önerilmektedir. Çalışmada sunulan izleme sistemi üç ana bileşenden oluşmaktadır. BLE - Bluetooth Düşük Enerji – fiziksel algılayıcı düğümler - YBM. Gerçek zamanlı konum bilgisini tahmin etmek için BLE düğümleri, hareket bilgisi elde etmek için hareket düğümleri ve bu verileri geometrik ortamda temsil edebilmek için YBM kullanılmıştır.

Hu vd. gelişmiş aydınlatma sistemi üzerinde çalışmışlardır. Yanlış yerleştirilen algılayıcı düğümler sistem başarısını düşürmesinin yanı sıra çalıştırıcı düğümlerin yanlış yerle bağlanması yolculuk halinde olan insanları rahatsız edebilmektedir [13]. Çalışmada doluluk algılayıcı düğümler ile fotoelektrik düğümler kullanılmış olup düğümlerin yerlerinin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlar oluşturulan model üzerinde incelenmiştir.

Bir başka çalışmada EnerISS (Enerji planlama ve entegre kentsel yönetim sistemi) adlı bir enerji yönetim sistemi sunulmaktadır [14]. Akıllı binalardan alınan verileri akıllı şehirler için geliştirilen platform üzerinde binaların 3 boyutlu modelleri üzerinde işleyerek, enerji tasarrufu çalışmaları yapılmaktadır.

Bu kısımda, literatürde ön plana çıkan, içinde yaşayan insanların yaşam standartlarını yükseltmeyi ve oturanlara daha iyi bir hizmet sunmayı amaçlayan, aynı zamanda enerji tüketimini iyileştirmeye çalışan sistemler tanıtılmıştır. Bu çalışmalarda en büyük sorun, ortama yerleştirilen düğümlerin heterojen özelliklerinden dolayı hepsini kabul eden ortak bir altyapının tam olarak sağlanamamış olmasıdır. Bina modeli ile entegrasyonda bu sorun daha somut bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

### 2.2.3. Kültürel mirasların korunmasında ve sayısallaşmasında YBM

YBM, sadece akıllı bina inşaatında veya onların yönetilmesinde değil aynı zamanda her ülkenin sahip olduğu kültürel mirasları korunmasında da kullanmak mümkündür. Bu alanda çalışan çok az araştırmacı ve araştırma ekibi olması sebebiyle oldukça gelişime açık bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Kültür mirası kapsamında tarihi yapılar ve yapı içi süslemeler de bu kapsamda değerlendirilmektedir. Örneğin Galatasaray Üniversitesi Ortaköy kampüsündeki tarihi saray binasında Ocak 2013'te yaşanan yangından dolayı, bina içerisindeki birçok tarihi tablo ve duvar süslemeleri yok olmuştur. Ayrıca Paris, Fransa'da bulunan 675 senelik Notre Dame Katedrali Nisan 2019'da yangın neticesinde ağır hasar almıştır. Bu tür yapılar insanlığın ortak mirası olarak nesilden nesille aktarılması gereken yapılar olup, en ince detayına kadar korunması gerekmektedir. Bu gelişme ve araştırmalar literatürde Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (Historic Building Information Modelling-HYBM) olarak geçmektedir [15-17].

Bu anlamda YBM, bu tür yapıların kaybolmaması için sayısal bir çözüm sunmaktadır. YBM, tanımı gereği ortamın 3 boyutlu detaylı modelini sayısal ortama aktarma teknolojidir. Bu sayede ortamda bulunan her bir nesnenin detaylı bilgileri kaydedilmiş olmaktadır. YBM, kültürel miras kapsamında yapıların detaylı 3 boyutlu modellerini sağlayabildiği için, yangın gibi kaza vakalarının sonrasında gerçekleştirilen tamir/baştan inşa vb durumlarda çok önemli kaynak durumundadır. Lee vd., çalışmalarında kültürel miras kapsamındaki yapıların sayısalleşebilmesine kolaylık sağlamak amacıyla yeni bir metaveri önermektedir [18]. Sunulan yeni veri yapısı ile sanal ortamda binanın risk yönetimi üzerinde gerçek zamanlı hesaplamalar yapılabileceği düşünülmektedir.

Logothetis vd., kültürel miras alanında yapı bilgi modellemesinin kullanımını ve evrimini tartışmaktadır [19]. Bilimsel toplulukların yapıların tasarımı ve yaşam döngüsü yönetimi için YBM teknolojisini benimseme eğilimine rağmen, kültürel miras anıtlarının yönetimi ve dokümantasyonunda YBM'in değerini keşfetmek için çok az araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte, araştırmacılar son zamanlarda kültürel mirasla ilgili bilgilerin güvenilir ve tutarlı yönetimi için farklı teknikler geliştirdiler [20, 21].

Literatürdeki mevcut çalışmalar çevre sağlığı ve izlenmesi için yerel bir çözüm önermektedirler. Bununla birlikte, önerilen yaklaşımların çoğu prototip olma düzeyindedir ve her çevre için uygun değildir. Ayrıca, bu çalışmalarda çoklu algılayıcı düğüm ve çalıştırıcıların veri yönetimi ele alınmamaktadır ve bunlar önceden tanımlanmış bina uygulamaları ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada ise, birden fazla kullanıcının birden çok hizmet almasına olanak veren, heterojen düğüm ağının ürettiği veri akışlarını yönetebilen, çoklu uygulama izleme sistemi mimarisi sunulmaktadır.

### 2.3. Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmada YBM teknolojisi kullanılarak akıllı ortam yönetimi için bir altyapı ve sistem sunulmaktadır. Önerilen sistem, takip edilmesi istenilen ortamın 3 boyutlu sayısal modeli ile gerçek ortam arasındaki bağı kurmakta, ortama yerleştirilen düğümler ile sanal model üzerinde gerçek zamanlı veri akışına bağlı bilgi haberleşmesini gerçekleştirmektedir. Bu sayede önerilen altyapı sadece akıllı bina ortamları ile kısıtlı kalmayarak yönetilmek istenilen fiziki düğümlerin yerleştirildiği herhangi bir ortam için yönetimsel ve çevresel çözüm sunmaktadır.

YBM platformunda yaratılan ortamın 3 boyutlu modeli ile gerçek ortam sanal ortama aktarılmış olup, ortama yerleştirilmiş olan farklı tipte fiziksel düğümler (kablolu veya kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler) yine aynı sanal model üzerinde temsil edilmektedir.

#### 2.3.1. Sistem Mimarisi

Bu çalışmada önerilen yaklaşım mimari açıdan incelendiğinde 3 ana katmandan oluşmaktadır:

**Uygulama Katmanı:** Bu katman, kullanıcı ile önerilen yaklaşımın temelini oluşturan altyapı iskeleti ile arasındaki bağlantıdan sorumludur. Kullanıcıdan gelen istekler bu katmanda yönetilir ve aşağı katmanlara uygun hale çevrilerek iletilir. Aynı şekilde aşağı katmanlardan gelen bilgiler, uygulama katmanında ayıklanır ve ilgili kullanıcılara veya birimlere iletilir.

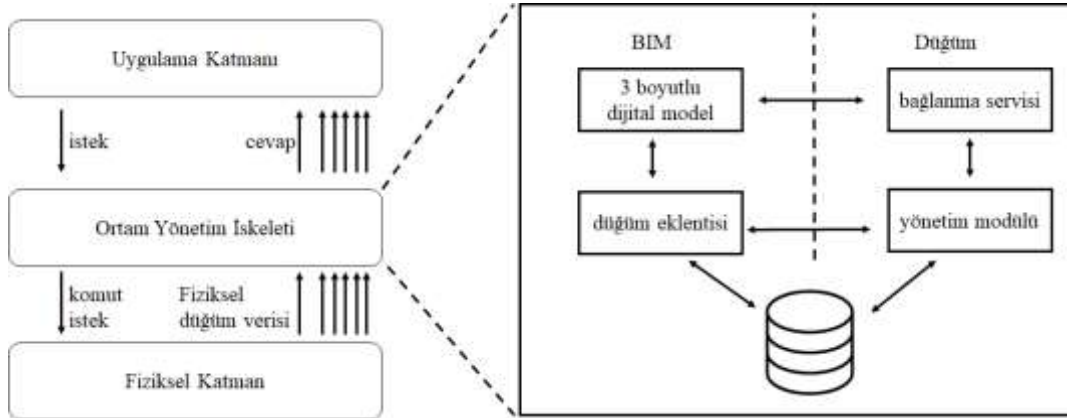
**Ortam Yönetim Katmanı:** Bu katman, çalışmanın merkezini oluşturmaktadır. Bünyesinde birçok alt yapı ve servis barındırmaktadır. YBM ile alakalı servis ve platformlar yine bu katmanda yer almakta olup, ortamda bulunan fiziksel algılayıcı düğümlerin ve çalıştırıcıların sisteme bağlama servisleri ve yönetimi bu katmandan yönetilmektedir. Bu katman aynı zamanda uygulama katmanı ile fiziksel katman arasındaki bilgi alışverişinden de sorumludur.

**Fiziksel Katman:** Bu katman mimarinin en alt katmanı olup fiziksel ortamı temsil etmektedir. Yönetilmesi hedeflenen ortama yerleştirilen kablolu/kablosuz algılayıcı ve çalıştırıcı düğümler bu katmanın şemsiyesi altındadır.



Şekil 4. Sistem mimarisine genel bakış

Çalışmada sunulan yaklaşıma ait mimariye genel bakış Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 5. Ortam yönetim iskeleti katmanının detaylı mimarisi

Çalışmanın detaylı mimarisi ve katmanlar arası haberleşmeleri Şekil 5’te sunulmuştur. Uygulama katmanındaki kullanıcılar, kullanıcı dostu arayüzü kullanarak diledikleri lokasyonun verilerini sistemden talep edebilirler. Bu noktada, kullanıcılar lokasyonda yerleştirilmiş olan düğümlerin tiplerine uygun olan servisleri talep edebilmektedirler. Ortam Yönetim İskeleti ve oluşturulan teknolojik altyapı, bu istekleri bünyesinde işleyerek, algılayıcı düğümlerden gelen verileri filtrelemede kullanılmaktadır. Fiziksel düğüm verisini kullanıcıya iletmektedir. Her düğümün farklı veri tipi olmasına rağmen oluşturulan altyapı, olası veri yapılarını başarılı bir şekilde yönetebilmektedir.

## 2.4. Deney Ortamı

YBM şu anda tasarım ve mühendislik aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak algılayıcı düğüm teknolojisi ve YBM’in entegrasyonu üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Gerçek zamanlı akıllı ev izleme sistemleri ve çevreye bağlı kalmak / diğer sistemlere bağlı kalmak için YBM ve KAA'nin tam entegrasyonu son derece gereklidir.

Bu çalışmada, bir binanın (prototip olarak üniversitemizin bir binası) 3B modeli oluşturulmuş ve seçilen odalara sıcaklık, nem, CO<sub>2</sub> emisyonu, doluluk ve parlaklık için gerekli kablosuz algılayıcı düğümler yerleştirilmiştir. Sınırlı elektronik bileşenlere sahip olduğundan, proje dahilinde veri çeşitliliği ve yüksek veri akışı sağlayabilmek adına gerçek veriler, sanal veriler ile zenginleştirilmiş ve çeşitlendirilmiştir. Bu sayede, veritabanında çok sayıda örneklenmiş veri elde edilmesi başarılmıştır.



Tüm düğümlerden ve de sanal veri kaynaklarından ölçülen veya üretilen verileri veritabanına kaydetmek için bir veritabanı sistemi (Açık Kaynak MySQL platformu kullanılarak) oluşturulmuştur. Her algılayıcı düğümün fiziksel ölçüyü periyodik olarak ölçtüğü ve genel merkeze (sink) gönderdiği sürekli bir düğüm veri akışı sağlanmıştır. Bir veritabanı mimarisi başarılı bir şekilde oluşturulması sayesinde farklı yapılarıdaki, farklı periyotlarda gelen verileri başarılı bir şekilde yönetebilmektedir.

Binayı ve çevresini modellemek için Autodesk Revit yazılım mimarisi platformu tercih edilmiştir. Oluşturulan bina modeli, düğümlerin yerleştirildiği çevre ve ortam hakkında çok ayrıntılı bilgi verdiğinden, yerleştirilen (gerçek ve sanal) algılayıcı cihazlarının ve konumların açıklamaları da sayısal model tarafından kapsamaktadır. Python programlama ile gerçekleştirilen entegrasyon işlemi ile ortaya çıkan eklenti sayesinde gelen veriler, veritabanına yerleştirilirken 3B model kullanılmaktadır.

### 3. Bulgular

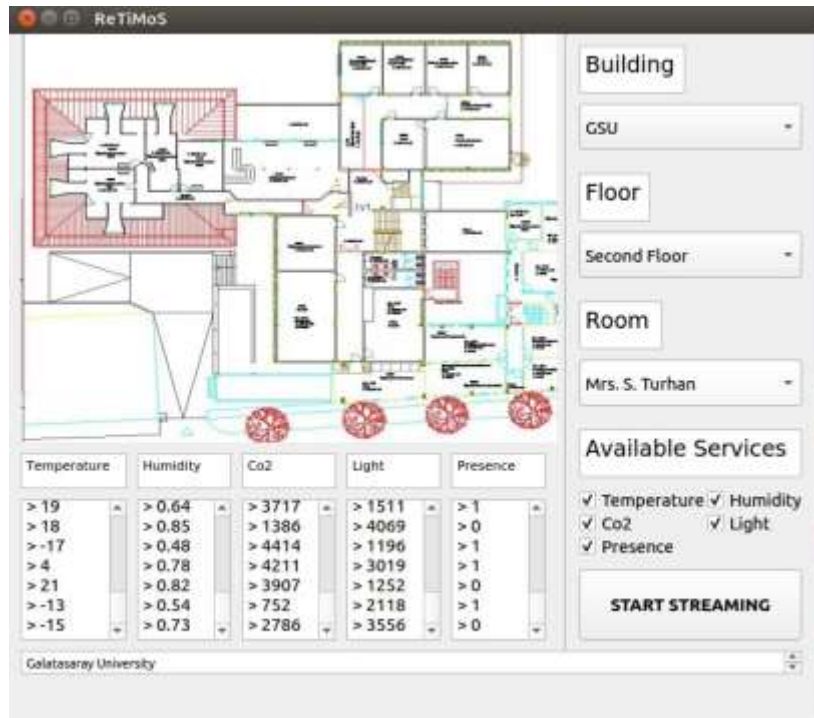
#### 3.1. Deneyler ve Sonuçları

Üniversite kampüsünde gerçekleştirilen çalışmada üniversite binasının modeli kullanılmıştır. Kullanılan modelin ön cepheden kesiti Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Üniversite binası çizimi

Projede binanın 3B modeli, AutoCad ortamında çizilmiş 2B çizimlerden oluşturulmuştur. Şekil 7'de oluşturulan prototipin arayüzü verilmiştir. Seçilen lokasyondaki servislerin tespit edildikten sonra aktif olan servisler arasında yapılan seçimler sonucunda veri akışı başlatılmaktadır. Aynı şekilde yapılan seçimlerden herhangi birinde yapılan değişiklik sistem tarafından gerçek zamanlı olarak cevap verilmektedir.



Şekil 7. Sistem arayüzü ve düğümlerden veri alımı

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, akıllı bina izleme sistemleri alanında yaşanan en büyük sorunlardan birine odaklanılmıştır. Birbirinden farklı veri türlerini aynı platform üzerinde binanın/ortamın 3B modeli ile entegre bir şekilde gerçek zamanlı işlemek için alt yapı oluşturulmuştur. Önerilen yaklaşım dahiliden YBM ve KAA'ı akıllı ev ortamlarına ve bağlı sistemlere entegre etmeye çalışılmıştır. Akıllı ortam yönetim sistemlerinin temel ilkelerine dayanarak, binanın sayısal bir modelinin yardımıyla algılayıcı düğümlerden toplanan büyük ham verilerin işlenmesine izin veren sürdürülebilir bir gözetim mimarisi sunulmaktadır.

Bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında, kullanıcı gereksinimlerini karşılamak amacıyla algılayıcı düğüm verilerini almak için sürekli bir istek (continuous query) yapısı entegre etmek planlanmaktadır. Ayrıca, bu alandaki araştırmaların en büyük sıkıntısı, oluşturulan algoritma ve prototipleri test etme ortamı olmayışıdır. İlerleyen çalışmalarda, kullanıcıların uzaktan bağlanıp kendi algoritmalarını çalıştırabilecekleri bir platform haline getirilmesi hedeflenmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. 2013. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29 (7): 1645-1660.
- [2] Wu W., Yang X., Fan, Q. 2014. GIS-BIM based virtual facility energy assessment (VFEA)-Framework development and use case of California State University, Fresno. In *Computing in Civil and Building Engineering*, 339-346.
- [3] Pınarer O., Gripay Y., Servigne S., Ozgovde A., Baskurt A. 2017. Dynamic energy-aware sensor configuration in multi-application monitoring systems. *Pervasive and Mobile Computing*, 41: 192-204.
- [4] Eastman C.M., Eastman C., Teicholz P., Sacks R, Liston K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- [5] Isikdag U. 2015. *Building Information Models: An Introduction*. Enhanced Building Information Models Springer, Cham., 1-12.
- [6] Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. 2012. Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building*, 12 (4):15-28.
- [7] Vähä P., Heikkilä T., Kilpeläinen P., Järviluoma M., Gambao E. 2013. Extending automation of building construction-Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, 36: 168-178.
- [8] Riaz Z., Arslan M., Kiani A.K., Azhar S. 2014. CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces. *Automation in construction*, 45: 96-106.
- [9] Kiani A., Salman A., Riaz Z. 2014. Real-time environmental monitoring, visualization, and notification system for construction H&S management. *Journal of Information Technology in Construction*, 19: 72-91.
- [10] Lee G., Cho J., Ham S., Lee T., Lee G., Yun S.H., Yang H.J. 2012. A BIM-and sensor-based tower crane navigation system for blind lifts. *Automation in construction*, 26: 1-10.

- [11] Liu X., Akinci B. 2009. Requirements and evaluation of standards for integration of sensor data with building information models. *Computing in Civil Engineering*, 95-104.
- [12] Park J., Cho Y.K., Ahn C.R. 2016, May. A wireless tracking system integrated with BIM for indoor construction applications. *Construction Research Congress 2016*, 2660-2668.
- [13] Hu J., Patel M. 2014. Optimized selection and placement of sensors using building information models (BIM). In *Proceedings of 2014 IES Annual Conference*, 02-04 November, Pittsburgh, PA, 198-202.
- [14] Kim S.A., Shin D., Choe Y., Seibert T., Walz S.P. 2012. Integrated energy monitoring and visualization system for Smart Green City development: Designing a spatial information integrated energy monitoring model in the context of massive data management on a web based platform. *Automation in Construction*, 22: 51-59.
- [15] Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2009. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 (4): 311-327.
- [16] Dore C., Murphy M. 2012. September. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, IEEE*, 369-376.
- [17] Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R. 2011, September. Building information modelling and heritage documentation. In *Proceedings of the 23rd International Symposium, International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA)*, Prague, Czech Republic, 12-16.
- [18] Lee J., Kim J., Ahn J., Woo W. 2019. Context-aware risk management for architectural heritage using historic building information modeling and virtual reality. *Journal of Cultural Heritage*, 38: 242-252.
- [19] Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E. 2015. Building information modelling for cultural heritage: a review. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (5): 177.
- [20] Murphy M., McGovern E., Pavia S. 2013. Historic Building Information Modelling–Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76: 89-102.
- [21] Oreni D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Previtali M. 2014. Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2 (5): 267.