T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIMDA YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN KAÇIŞ MESAFELERİNİN DENETİMİNDE YBM TABANLI KARAR DESTEK MODELİ

Çiğdem FIRAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı

Danışman

Doç Dr. Togan TONG

Mart, 2026

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIMDA YANGIN GÜVENLİĞİ AÇISINDAN KAÇIŞ MESAFELERİNİN DENETİMİNDE YBM TABANLI KARAR DESTEK MODELİ

Çiğdem FIRAT tarafından hazırlanan tez çalışması 02.03.2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Togan TONG
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Togan TONG, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ezgi KORKMAZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Bülent Onur TURAN, Üye
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Togan TONG sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Tasarımda Yangın Güvenliği Açısından Kaçış Mesafelerinin Denetiminde YBM Tabanlı Karar Destek Modeli" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Çiğdem FIRAT

İmza

Anneme

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmam süresince, akademik birikimi ve değerli görüşleriyle bana her zaman yol gösteren, desteğini ve sabrını esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Togan TONG'a; hayatımın her aşamasında temel motivasyon kaynağım olan canım anneme ve aileme; her anımda yanımda olup bana güç veren biricik sevgilim Ozan'a ve bu süreçte desteklerini hissettiğim tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çiğdem FIRAT

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Amacı....2

1.2 Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı....4

2 YANGIN GÜVENLİĞİ ve YBM 6

2.1 Yangın güvenliği....6

2.1.1 Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği ve İlgili Yönetmelikler....7

2.1.2 Yapı Yaşam Döngüsünde Yangın Güvenliği....17

2.2 Yapı bilgi modellemesi (YBM) ve Uygulama Planı....21

2.3 YBM'nin Yangın Güvenliğindeki Yeri....24

2.3.1 Mevcut YBM Uygulama Planlarında Yangın Güvenliği....26

2.3.2 Yangın Güvenliği İçin Kullanılan YBM Yazılım ve Eklentiler....30

2.4. Literatürdeki Çalışmalar....39

2.4.1 YBM ve Yangın Güvenliği Entegrasyonu....39

2.4.2 YBM Yazılımlarının Yangın Güvenliğindeki Kullanım Örnekleri....40

2.4.3 Kod Uyum Kontrolü Örnekleri....42

3 YBM Tabanlı Yangın Güvenliği Süreç Yönetimi ve Otomasyon Modeli 45

3.1 Tasarım Evresinde YBM Tabanlı Yangın Güvenliği....46

3.2 Sayısal Ortamda Yangın Güvenliği Kontrolü ve Otomasyon 49
3.3 Örnek Plan Üzerinden Kaçış Yolunun Denetimi 52
3.3.1 Modele Parametrelerin İşlenmesi 54
3.3.2 Kural Setinin Seçimi ve Modele Entegrasyonu 55
3.3.3 Kural Setinin Programlanması 56
3.3.4 Kural setinin test edilmesi 57
3.4 Yangın Güvenliği Odaklı YBM Uygulama Planı Önerisi 63
3.4.1 Yangın Güvenliği Hedefleri ve Risk Belirleme: 66
3.4.2 YBM Kullanımı Senaryoları: 66
3.4.3 Süreç Haritalama ve İş Akış Şemaları 66
3.4.4 Bilgi Değişim Gereksinimleri ve Veri Standartları 67
3.4.5 Teknik ve Organizasyonel Altyapı 67
4 SONUÇ **74**
KAYNAKÇA **76**
A DYNAMO GÖRSEL PROGRAMLAMA SÜRECİ İŞ AKIŞI **80**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **81**

KISALTMA LİSTESİ

ACC	Automated Compliance Checking
ADB	Approved Document-B
AEC	Architecture, Engineering, and Construction
API	Application Programming Interface
APS	Autodesk Platform Services
BCA	Building Code of Australia
BEP	BIM Execution Plan
BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
CFD	Computational Fluid Dynamics
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
FDS	Fire Dynamics Simulator
FEMS	Fire Evaluation and Modeling System
FS	Fire Safety
gbXML	Green Building XML
IBC	International Building Code
ICC	International Code Council
IFC	Industry Foundation Classes / International Fire Code
IFSS	International Fire Safety Standards
IoT	Internet of Things
LOD	Level of Development
LOI	Level of Information
LOIN	Level of Information Need
MDV	Model Definition View
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NBCC	National Building Code of Canada
NCC	National Construction Code

NFPA	National Fire Protection Association
NLP	Natural Language Processing
RASE	Requirement, Applicability, Selection, and Exception
REI	Resistance, Integrity, Insulation
SEDT	Safety Evaluation and Design Tool
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
SMC	Solibri Model Checker
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜYAK	Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı
UAP	Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
YBM	Yapı Bilgi Modellemesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çalışmanın aşamaları 4
Şekil 2.1 Mimari tasarımda yangın güvenliği adımları 9
Şekil 2.2 Erken tasarımdan itibaren yangın güvenliği önlemleri 10
Şekil 2.3 BYKHY göre yangın güvenliği uygunluk kontrol akışı 12
Şekil 2.4 Her aşamada doğrulama ve uygulama şeması (IFSS , 2020) 20
Şekil 2.5 BEP geliştirme prosedürü (NBIMS-US™ V4) 23
Şekil 2.6 Yangın güvenliği için YBM kullanımı 25
Şekil 2.7 Revit'te seyahat mesafesi (Path of Travel) fonksiyonu 31
Şekil 2.8 Revit'teki bir odadaki kişi sayısını gösteren doluluk programı 31
Şekil 2.9 Revit'te kapı genişliği hesap parametreleri. (Peter Thompson) 31
Şekil 2.10 Yangın güvenliği oyun prototipi (Rüppel vd, 2011) 41
Şekil 2.11 Revit eklentisi Evac4BIM (Yakhou vd., 2023) 42
Şekil 2.12 Vermeulen'in tahliye yolu analizi komut dosyası (Harrell, 2018) 43
Şekil 3.1 Tasarım evresinde itibaren yangın güvenliği 46
Şekil 3.2 YBM tabanlı yangın güvenliği süreci 48
Şekil 3.3 Otomatik kural kontrolünün dört aşaması(Eastman, 2009) 49
Şekil 3.4 Yangın güvenliği değerlendirme sistemi akış şeması 50
Şekil 3.5 Revit ortamında diğer pasif önlemler için modelleme ve doğrulama 51
Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan örnek kat planı 52
Şekil 3.7 Manuel giriş ve otomatik hesaplama sürecinin ilişki ve akış şeması 53
Şekil 3.8 Paylaşımlı parametrelerin hazırlanarak odalara tanımlanması 54
Şekil 3.9 Yönetmeliğe uygun ölçülerin kod bloğu olarak eklenmesi 55
Şekil 3.10 Path of travel, çizgilerinin otomatik oluşturulması ve mesafenin parametreye işlenmesi 56
Şekil 3.11 Fonksiyona göre maksimum kaçış mesafesi değerinin işlenmesi 56
Şekil 3.12 Mevcut ile maksimum değerin karşılaştırması ve hata bildirimi 57
Şekil 3.13 Tek yangın merdivenli planda tahliye yolunun oluşturulması 58
Şekil 3.14 İkinci merdiven eklendiğinde tahliye yolunun güncellenmesi 59
Şekil 3.15 Mahale ait parametre üzerinden fonksiyon değişimi işlemi 60
Şekil 3.16 Fonksiyon değişimi işlemiyle güncel değerlendirme sonucu 61
Şekil 3.17 Mahale çıkış eklendiğinde güncel değerlendirme sonucu 62

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Mimari tasarım aşamalarında yangın güvenliği 7
Tablo 2.2 Yönetmelik uygunluk kontrol maddeleri..... 11
Tablo 2.3 NFPA 101 – Bölüm 7: tahliye yolları..... 15
Tablo 2.4 Tasarım evresinde yangın güvenliği temel ilkeleri 18
Tablo 2.5 YBM uygulama planı ve kılavuzlarının yangın güvenliği içeriği karşılaştırması 27
Tablo 2.6 YBM yazılımlarının yangın güvenliği odaklı karşılaştırması 32
Tablo 2.7 Mevcut yazılım ve eklentilerin yangın güvenliği ve YBM kriterlerine göre karşılaştırılması (Kincelova, 2019)..... 37
Tablo 3.1 NFPA 101 kural seti örneği (sprinklerli bina)..... 55
Tablo 3.2 Döngü aşamaları ve BEP içeriklerinin yangın güvenliği ilişkisi..... 64
Tablo 3.3 Yangın güvenliğini içeren proje hedefleri öneri tablosu 68
Tablo 3.4 Yangın güvenliği entegrasyonu RACI matrisi önerisi 69
Tablo 3.5 Yangın güvenliği YBM kullanım tablosu önerisi 70
Tablo 3.6 Yangın güvenliği bilgi gereksinim tablosu önerisi..... 72

ÖZET

Tasarımda Yangın Güvenliği Açısından Kaçış Mesafelerinin Denetiminde YBM Tabanlı Karar Destek Modeli

Çiğdem FIRAT

Mimarlık Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Togan TONG

Yangın güvenliği mimari tasarım sürecinin yanı sıra yapının tüm yaşam döngüsü boyunca hayati önem taşıyan multidisipliner tasarım bileşenidir. Geleneksel tasarım ve denetim yaklaşımlarında yangın güvenliği çoğunlukla manuel yöntemlerle ve tasarımın ileri aşamalarında ele alınmakta, bu durum zorlu revizyonlara, zaman ve maliyet kayıplarına yol açmaktadır. Günümüzde Yapı Bilgisi Modellemesi (YBM), bir yapının tüm yaşam döngüsünü kapsayan verilerin depolanması ve yönetilmesiyle, yangın güvenliğinin tasarım aşamasından itibaren bütüncül biçimde ele alınmasına olanak tanımaktadır. Tasarımın uygunluğunun doğrulanması, yangın güvenlik sistemleri ile diğer bina bileşenlerinin çakışmasının takibi, disiplinler arası iş birliği, simülasyon ve analiz gibi YBM özellikleri hataların erken aşamada tespit edilmesini ve süreç optimizasyonunu sağlar.

Bu tez çalışmasında, yangın güvenliğinin YBM ile entegrasyonu literatür üzerinden sistematik biçimde incelenmiş; Yüksek ayrıntı düzeyi (LOD) ya da simülasyon yazılımları arasındaki veri şeması farklılığı nedeniyle yangın güvenliğinin YBM ile entegrasyonunun aksadığı ve mevcut YBM uygulama planlarının yangın güvenliği

özelinde gelişime ihtiyacı olduğu görülmüştür. Ulusal ve uluslararası yangın güvenliği yönetmelikleri karşılaştırılarak, YBM tabanlı otomatik kod denetimi için uygun bir çerçeve oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında, sayısal ve parametrik yapısı nedeniyle NFPA standartları referans alınarak, erken tasarım evresinde yangın güvenliği gerekliliklerini otomatik olarak denetleyebilen YBM tabanlı bir kontrol modeli geliştirilmiştir. Autodesk Revit ve Dynamo görsel programlama aracı kullanılarak, tahliye bileşenlerine ilişkin kaçış mesafeleri YBM ortamında otomatik olarak analiz edilmiş ve örnek model üzerindeki değişikliklerde uygunsuzlukların anlık olarak tespit edilebildiği gösterilmiştir. Geliştirilen bu yöntemle, geleneksel manuel kontrollere kıyasla denetim sürelerinde önemli ölçüde zaman kazancı sağlanmış ve karmaşık planlarda insan kaynaklı gözden kaçırma/hata riskleri minimize edilmiştir.

Ayrıca, yangın güvenliğinin yalnızca tasarım aşamasında değil, yapı yaşam döngüsünün tüm evrelerinde sürdürülebilir biçimde yönetilebilmesi amacıyla Yangın Güvenliği Odaklı bir YBM Uygulama Planı (BEP) çerçevesi önerilmiştir. Çalışmanın, yangın güvenliği süreçlerinin dijitalleşmesine katkı sağlayarak, erken tasarım aşamasında karar destek mekanizmaları geliştirilmesine ve geleneksel denetim yaklaşımlarının iyileştirilmesine katkı sunması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın Güvenliği, Yapı Yaşam Döngüsü, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), Otomatik Kod Kontrolü, YBM Uygulama Planı

ABSTRACT

A BIM-Based Decision Support Model For Verifying Escape Distances In Terms Of Fire Safety In Design

Çiğdem FIRAT

Department of Architecture
Master of Science Thesis

Supervisor: Doç. Dr. Togan TONG

Fire safety is a vital multidisciplinary design component during the architectural design process and the entire building life cycle. In traditional design and inspection approaches, fire safety is mostly handled via manual methods in later design stages, leading to difficult revisions and time and cost losses. Today, Building Information Modeling (BIM) enables a holistic approach to fire safety from the design stage onwards by storing and managing life-cycle data. BIM features such as design compliance verification, clash detection, interdisciplinary collaboration, and simulation ensure early error detection and process optimization.

In this thesis, BIM and fire safety integration is systematically examined through literature. It was observed that this integration is hindered by high Level of Development (LOD) requirements or data schema differences between simulation software, and existing BIM Execution Plans need fire safety-specific improvements. By comparing national and international regulations, a suitable framework for BIM-based automated code checking was established.

Within this scope, a BIM-based control model was developed to automatically check fire safety requirements in the early design phase, referencing NFPA standards due to their numerical and parametric structure. Using Autodesk Revit

and the Dynamo visual programming tool, escape distances for evacuation components were automatically analyzed in the BIM environment, demonstrating that non-compliances can be instantly detected upon model changes. With this method, significant time savings in inspection durations were achieved compared to traditional manual checks, and human-induced oversight and error risks in complex plans were minimized.

Furthermore, a Fire Safety-Focused BIM Execution Plan (BEP) framework is proposed to sustainably manage fire safety throughout all life cycle stages. This study aims to contribute to the digitalization of fire safety processes, the development of early-stage decision support mechanisms, and the improvement of traditional inspection approaches.

Keywords: Fire Safety, Building Life Cycle, Building Information Modeling (BIM), Automated Code Checking, BIM Execution Plan (BEP)

1
GİRİŞ

Yangın güvenliği tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hayati önem taşımaktadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı yangın istatistiklerine göre 2024 yılı sonu itibarıyla sadece İstanbul'da 24.948 yangın olayı yaşanmış olup bunların 11.500 kadarı yapısal yangınlardır (İtfaiye D. B. 2025).

Yaşanan bina yangınlarında kullanıcıların kaçışları ve tahliyesi; yapının mimari tasarımı, yapı malzemeleri, yapının kullanımı ve kullanıcının davranışı gibi birçok parametreye bağlıdır. Yapının yangın güvenliğini oluştururken tüm bunların tasarımı, optimizasyonu ve kontrolü çok önemlidir. Ülkelerin binaların yangından korunması hakkında çeşitli mevzuatları bulunmaktadır. Ülkemizde yürürlükte olan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) gibi International Fire Code (IFC)- Uluslararası Yangın Kodu National Fire Protection Association (NFPA) gibi yangın konusunda uluslararası alanda kabul görmüş özelleştirilmiş kodlar da mevcuttur.

Yapı bilgi modellemesi (YBM), bina modelinin dijital bilgi inşasıyla üretildiği, model için bilgi ve verinin temel alındığı, görselleştirme, koordinasyon, simülasyon, optimizasyon gibi özelliklere sahip olan teknolojidir (Li, 2014). Binalarda yangın güvenliği, yalnızca kullanım aşamasında değil, ön tasarımdan başlayarak yapım ve yönetim süreçleri boyunca yapı yaşam döngüsünün tüm evrelerinde önemli bir yere sahiptir. Bu kapsamda, yangın güvenliğine ilişkin kriterlerin daha etkin şekilde belirlenmesi ve uygulanabilmesi için Yapı Bilgi modellemesi teknolojisinin yapı sektöründe önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir (Beşiroğlu & Serteser, 2023). İnsan davranışını incelemek bir yangın esnasında gerçekçi olmadığından, yangının yayılımını ve kaotik acil durumlarda tahliye performansını tahmin etmek amacıyla insan davranışını simüle etmek için de hesaplamalı araçlar, tasarımcılar için iyi bir seçimdir (Schultmann, 2014).

1.1 Çalışmanın Amacı

2017 yılında yaşanan Grenfell Kulesi yangını sonrası bina ve yangın güvenliği incelemesinin sonuçlarını anlatan Hackitt raporu Yangın Güvenliğinin YBM ile entegrasyonu açısından önemli bir eşiktir. Malagnino (2022), bu raporun bina üretiminde hesap verebilirlik, şeffaflık ve iletişimi geliştirmek amacıyla yeni bir bilgi modeline duyulan ihtiyacı vurguladığını belirtmektedir. Yangın güvenliği ve dijitalleşme, son yıllarda ülkemizde ve tüm dünyada gündemdeki yerini korumaktadır. 2023 yılında Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı (TÜYAK) öncülüğünde ‘’Yangın Güvenliğinde Teknolojik Gelişmeler ve Dijitalleşme’’ konulu sempozyum düzenlenmiştir. Benzer şekilde IFC standartlarının geliştiricisi buildingSMART’ın 2020 yılında yaptığı yangın güvenliği disiplininin dijital dönüşüm sürecine entegre edilmesi çağrısına paralel olarak; İsveç Yangın Koruma Derneği’nin 2025 yılı için YBM ortamında yangın koruma bilgilerini sistematize etmek, görselleştirmek ve parametreleştirmek amacıyla başlattığı proje girişimi (Smart Built Environment, 2025) konunun önemini desteklemektedir.

Geleneksel tasarım ve denetim yaklaşımlarında yangın güvenliği, çoğunlukla manuel yöntemlerle ve tasarımın ileri aşamalarında bir "onay mekanizması" olarak ele alınmaktadır. Bu durum, tasarımın olgunlaştığı aşamalarda zorlu revizyonlara, ciddi zaman kayıplarına ve maliyet artışlarına yol açmaktadır. Günümüzde Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), yapının tüm yaşam döngüsünü kapsayan verilerin yönetilmesiyle, bu sorunlara dijital bir çözüm sunma potansiyeline sahiptir.

YBM ile yangın güvenliği entegrasyonu, 3D görselleştirme ile yangın güvenliği önlemlerini netleştirmek, farklı disiplinlerin aynı modelde işbirliğini kolaylaştırmak, yangın simülasyonları ile yayılma ve duman hareketini önceden analiz etmeye olanak tanır. Bunun yanı sıra yangın güvenlik standartlarını tasarıma entegre ederek sorunların tasarım aşamasında belirlenmesini sağlar, çeşitli yangın senaryolarının risk değerlendirmesinin yapılmasına ve acil durum tahliye stratejilerinin optimizasyonuna yardımcı olur.

Teknolojideki ilerlemelerle veri yönetimi ve yazılımların gelişmesi yangın güvenliğinin YBM’e entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada YBM’nin yangın güvenliğine dair katkılarının literatür üzerinden sistematik bir incelemesi

yapılmıştır. YBM'in ayrıntı düzeyi (LOD) ve yazılımlar arasındaki veri alışverişinin entegrasyondaki zorluğuna dair çözüm üretme çalışmaları devam etmektedir.

Güncel çalışmalar incelendiğinde, YBM ve yangın güvenliği entegrasyonunun büyük oranda tahliye simülasyonları (Sun vd., 2020; Li vd., 2024) ve nesnelerin yangın özelliklerinin modelde depolanması (Siddiqui vd., 2021) üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Otomatik kod uyum denetimi üzerine yapılan çalışmalar ise (Kincelova vd., 2020; Ismail vd., 2023) genellikle tekil yönetmelik maddelerinin (sadece kapı genişliği veya merdiven hesabı gibi) statik kontrolüne odaklanmıştır. Bu durum, literatürde yangın güvenliği verisinin yapının tüm yaşam döngüsü boyunca bir süreç yönetimi mantığıyla ele alınarak bütüncül bir modele dönüştürülmesine ihtiyaç duyulduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda, mevcut araştırmanın temelini aşağıdaki araştırma soruları oluşturmaktadır:

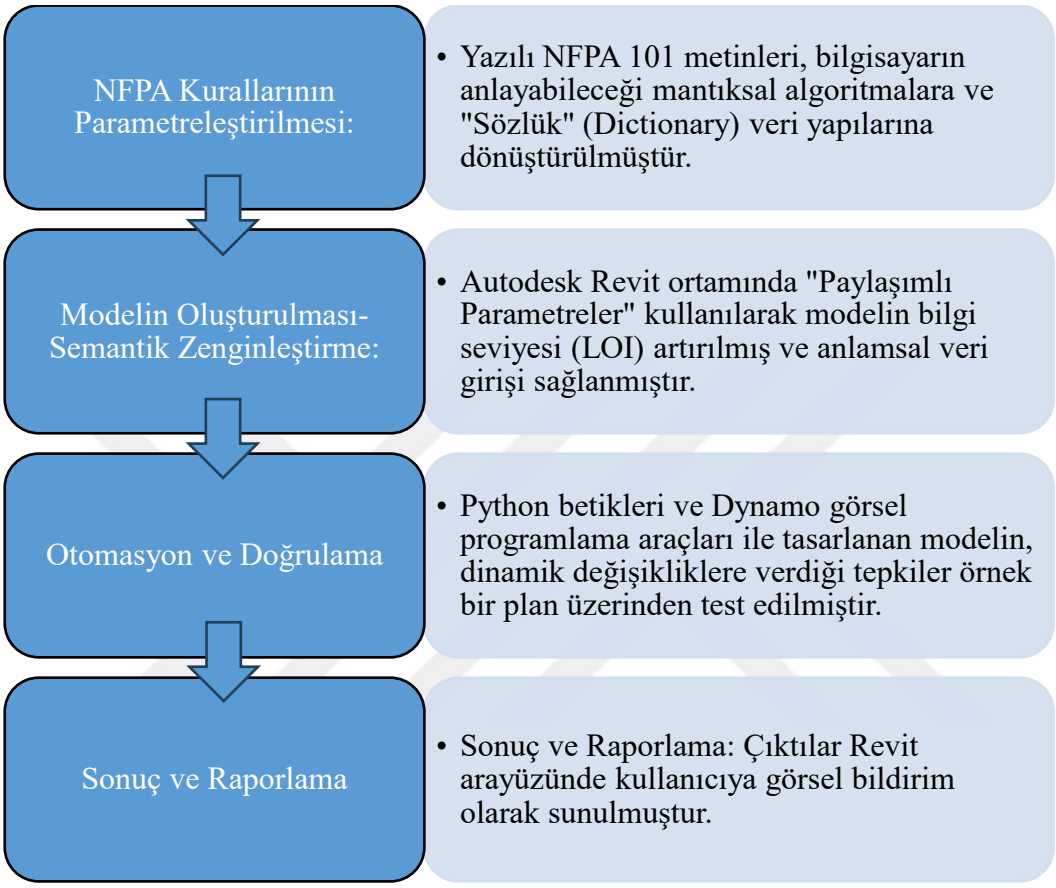
- Geleneksel denetimdeki manuel hatalar, YBM ortamında kural tabanlı otomasyonla (ACC) nasıl minimize edilebilir?
- Yangın güvenliği verisi, yapı yaşam döngüsü boyunca veri kaybı yaşanmadan nasıl yönetilebilir?

Çalışmanın temel amacı; erken tasarım aşamasında yangın güvenliğinin temel gerekliliklerini YBM ortamında otomatik olarak denetleyebilen bir araç geliştirmektir. Geliştirilen model ile yapısal güvenlik ve tahliye bileşenlerinin yanı sıra; algılama, uyarı, söndürme ve elektromekanik sistemlerin de bütünleşik bir tasarım sistemi olarak denetlenmesi hedeflenmektedir. Böylece geleneksel denetim süreçlerinde yaşanan zaman ve maliyet kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda yangın güvenliğinin dijitalleşmesine odaklanan çalışma, bütüncül bir Yangın Güvenliği Odaklı YBM Uygulama Planı (FS-BEP) önerisi de sunmaktadır.

Bu yönetsel çerçeve yangın güvenliğini yapının tüm yaşam döngüsüne entegre etmeyi hedeflerken; geliştirilen teknik araç, bu geniş kapsamlı sürecin uygulanabilirliğini kanıtlamak amacıyla kritik bir parametre olan 'kaçış mesafesi' denetimi üzerinden kurgulanmış ve böylece süreç, salt teknik bir araç geliştirmenin ötesine geçilerek güçlü bir yönetsel zemine oturtulmuştur.

1.2 Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı

Araştırmada otomasyon modelinin geliştirilmesi için, metodolojik temel olarak Eastman (2009) tarafından tanımlanan dört aşamalı otomatik kural denetimi çerçevesi kabul edilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışmanın aşamaları

Çalışmanın teorik altyapısı bütüncül bir yangın yönetimi (FS-BEP) sunarken, teknik uygulama bu çerçevenin çalışabilirliğini test etmek amacıyla bir başlangıç prototipi olarak kurgulanmıştır. Tüm sistemlerin tek bir algoritmada çözülmesi çalışmanın sınırlarını aşacağından; kaçış mesafesi, kural tabanlı denetim mantığını doğrulamak üzere en kritik değişken olarak seçilmiştir. Sistem bütünlüğü korunması amacıyla teknik prototipte yer almayan diğer sistemler ise önerilen FS-BEP yapısı içerisinde, bilgisel gereksinim (LOI) düzeyinde tanımlanmıştır.

Sistemin karar destek ve anlık geri bildirim yeteneğini ölçmek için mekânsal organizasyonda yapılacak anlık değişiklikleri yönetmekte elverişli olacağından örneklem modeli olarak uzun koridorlu ve tek yangın merdivenli bir otel kat planı tipolojisi tercih edilmiştir. Otomatik kontrol sistemindeki manuel veri girişleri ile

kullanıcının inisiyatifinde çalışan kontrollü bir dijital denetim mekanizması oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümde, yangın güvenliği bileşenleri ve YBM ile yangın güvenliği entegrasyonu mevcut durumu literatür üzerinden incelenmektedir. Bu teorik altyapı, üçüncü bölümde sunulan teknik otomasyon modeli ve yönetsel FS-BEP çerçevesi için temel oluşturmaktadır. Dördüncü bölümde ise elde edilen bulgular araştırma soruları ışığında değerlendirilerek gelecek çalışmalar için spesifik öneriler sunulmaktadır.

2
YANGIN GÜVENLİĞİ ve YBM

2.1 Yangın güvenliği

Yapıların yangından korunması için gereken önlemler, pasif yangın güvenlik önlemleri ve aktif yangın güvenlik önlemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif önlemler yangının algılanması, kontrol altına alınması ve söndürülmesi ile ilgili önlemler olup "Yangın alarm ve algılama sistemlerinin, sprinkler, su sisi veya gazlı söndürme gibi söndürme sistemlerinin, duman tahliyesi ve duman kontrolü sistemlerinin tasarımları, taşınabilir yangın söndürücülerin uygun şekilde yerleşimi ve kurulumu" gibi örneklendirilebilir.

Pasif yangın güvenlik önlemleri ise mimari proje aşamasında tasarlanan, ardından yapımı süreciyle kalıcı işleve sahip olan önlemlere denir. Yangının hızla yayılmasını önlemek, büyüme potansiyelini azaltmak ve güvenli tahliyeyi sağlayabilmek için,

- Tehlikeli gaz ve dumanın yapıdan uzaklaştırılması ve yayılmasının engellenmesi,
- Yangından kaçış rotasının, merdivenlerin ve toplanma alanlarının planlanması,
- Kompartımanlama ile bina içinde yangına geçirimsiz bölmeler oluşturulması,
- Yapı malzemelerinin yangın direnimi, tutuşma ısısı, duman niteliği gibi özelliklerine göre seçilmesi,
- Tahliye bileşenleri olan toplanma alanı, kaçış yolları ve çıkış kapılarının gerekli minimum boyut ve sayıda tasarlanması, kolay algılanır olması.
- Yapısal ve yapısal olmayan elemanların mekanik direnç, bütünlük ve yalıtım gibi kriterlerine göre yangına dirençli olması

gibi özetlen pasif güvenlik önlemleri mevcut olup için multidisipliner çalışmaya ihtiyaç vardır (Başdemir ve Demirel, 2010)

Yangın güvenliğinde farklı disiplinlerin farklı standartlar ve terminolojiler kullanmasının yarattığı karmaşayı çözmek amacıyla kurulan küresel bir koalisyon olarak International Fire Safety Standards Coalition yangın güvenliğinin bina yaşam döngüsünün her aşamasında bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasının bu nedenle küresel bir iş birliği ve standartlaşma gerektiğini belirtir. (IFSS Coalition, 2020)

Pasif yangın güvenliği önlemleri için Mimari tasarımın erken evresinden itibaren dikkat edilecek birçok kriter ile multidisipliner çözümler büyük oranda kolaylaşabilir (E. Korkmaz, 2018).

2.1.1 Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği ve İlgili Yönetmelikler

TMMOB Mimarlar Odası Mimari Proje Hizmetleri İş Aşamalarında mimari proje; Ön proje aşaması, Kesin proje aşaması ve Uygulama projesi aşaması olarak 3 aşama şeklinde sunulmuştur. Bu kapsamdan yola çıkarak yangından korunma konusunda çalışan uzman ve yardımcılarının mimari tasarım sürecindeki rolleri projenin bu üç ana aşamasında sınıflandırılabilir (Serteser ve Beşiroğlu, (2022)). Mimari proje aşamalarının tanımları ve yangın güvenliğinde ele alınan konuları tablolaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Mimari tasarım aşamalarında yangın güvenliği

Proje Aşaması	**Genel Tanım ve Kapsam**	**Yangın Güvenliği Kapsamında Ele Alınan Konular**
1. Ön Proje Aşaması	Uygulama projelerine geçilmeden önce; ihtiyaç programı, arsa, iklim, altyapı verileri ve mimari kararların kesinleştiği, hazırlık etütlerinin projeye yansıtıldığı aşamadır.	Binanın arsaya yerleşimi Binanın plan ve kesit düzlemindeki biçimsel özellikleri İtfaiye araçlarının binaya erişimi.

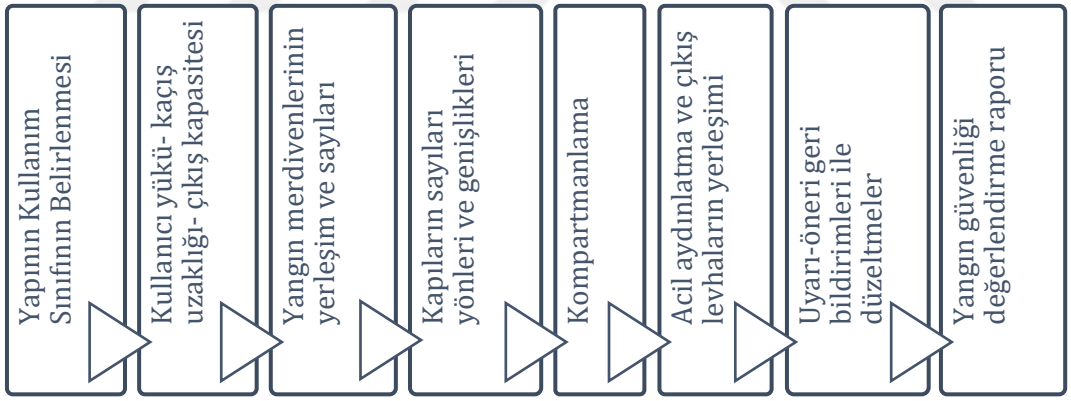
Tablo 2.1 Mimari tasarım aşamalarında yangın güvenliği (devamı)

2. Kesin Proje Aşaması	Onaylanmış ön projeye uygun olarak hazırlanan, yapım tekniği ve mimari konularda daha ayrıntılı bilgilerin içerildiği, ön aşamada değerlendirilemeyen verilerin tasarıma yansıtıldığı aşamadır.	Yangın kaçış yollarının sayısı ve kapasiteleri Yangın kompartımanlarının oluşturulması Yapı elemanlarının yangın dayanım gereklilikleri Yüzey kaplama malzemelerinin seçimi Duman tahliyesi ile aktif algılama ve söndürme sistemleri gereksinimleri.
3. Uygulama Projesi Aşaması	Yapının inşa edilebilmesi için gerekli tüm ölçülerin, malzemelerin, sistem detaylarının ve montaj özelliklerinin yer aldığı, diğer teknik uzmanların verilerinin şematik olarak gösterildiği aşamadır.	Uzman tarafından belirlenen önlemlerin uygulama ölçeğinde doğru işlendiği aşamadır Korunma sistem ve bileşenlerinin projeye doğru aktarılması Malzeme seçimlerinde yangın önlemleri açısından yönlendirmeler yapılması Yangın önlemlerine ilişkin sistem ve montaj detaylarının uygunluğunun sağlanması.

Mimarın yangına güvenli tasarımda işlevi, binanın işlevsel, fiziksel ve estetik özelliklerini henüz tasarımın en erken aşamasında belirleyerek hem yangın önleme hem de yangından korunma koşullarını en etkin şekilde kurgulamasını kapsar. Bu süreçte, kaçış yollarının planlanması ve yangın yayılımını sınırlayıcı yapısal önlemlerin, tasarıma başlangıçtan itibaren entegre edilmesi, hem can güvenliğini en

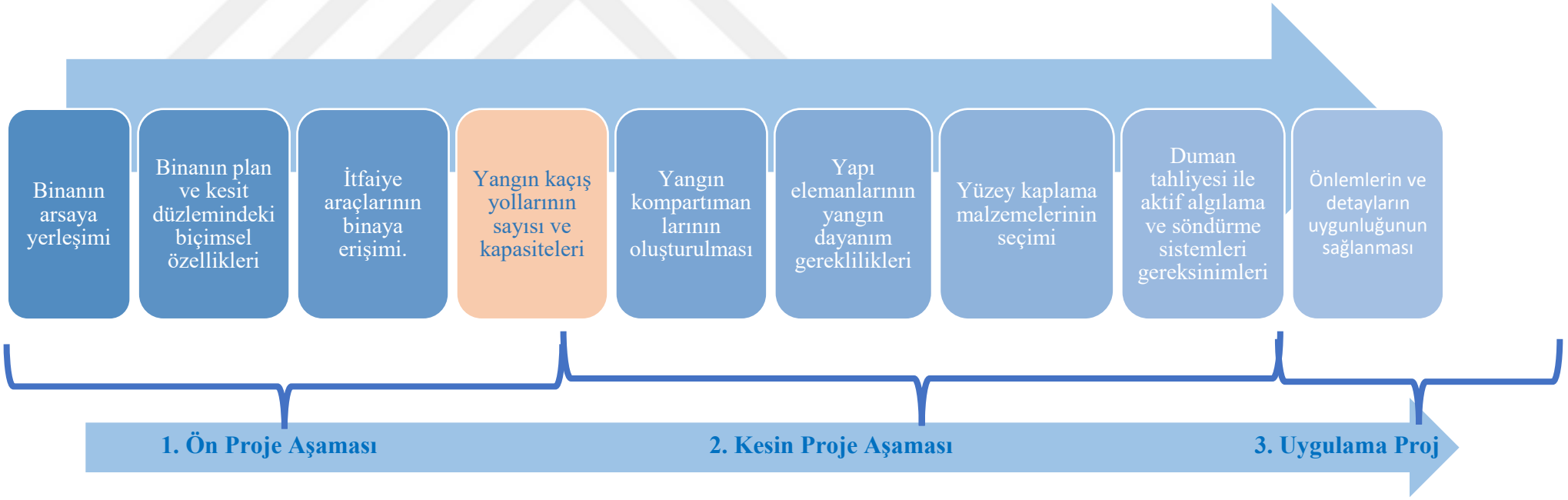
üst düzeye çıkarır hem de ileride ortaya çıkabilecek revizyon zorunluluğunun önüne geçer. (Aydın Özkaya 2003)

Mimarın rolü, yangın güvenliğine dair yasaları, standartları ve uygulama kurallarını bir araya getirmek ve bunları tasarıma yansıtmaktır. Bir mimarın tasarım sürecinde dikkate alması gereken birincil faktörler, binanın güvenliği ve işlevselliğini sağlamak amacıyla, yerleşim düzeni, kullanım amacı, yapı bileşenlerinin konumu ve malzeme seçimi gibi temel parametrelerin tasarımın en erken aşamalarından itibaren öncelikli olarak ele almasıdır. Ön tasarım aşamasında yangın yönetmeliklerine uygun yerleşim kararlarının alınması, komşu yapılara ve saha sınırlarına yeterli mesafelerin bırakılması ve itfaiye erişiminin sağlanması binanın genel güvenliğini doğrudan etkilerken, binanın kullanım türü ve yüksekliği risk senaryolarını, kaçış düzenini ve yangına dayanım gereksinimlerini belirlemekte, merdivenler, koridorlar ve diğer sirkülasyon elemanlarının stratejik konumlandırılması güvenli ve hızlı tahliyeyi mümkün kılmakta ve seçilecek yapı malzemelerinin yangın dayanımı, sertifikasyonu ve gerekli durumlarda yangın geciktirici özelliklerle desteklenmesi yangının oluşumu ve yayılımının sınırlandırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. (Obi, 2015).



Şekil 2.1 Mimari tasarımda yangın güvenliği adımları

Yapının tüm yaşam döngüsü boyunca yangın güvenliğinin etkin biçimde sağlanabilmesi için, temelden planlanmayan veya doğrulama sürecinden geçirilmemiş mimari kararların ilerleyen proje aşamalarında kapsamlı revizyonlara yol açarak maliyet ve zaman kaybına neden olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda, mimari tasarımın erken evrelerinde yangın güvenliğine ilişkin tüm gerekliliklerin bütüncül ve uygun bir şekilde karşılanması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2.2 Erken tasarımdan itibaren yangın güvenliği önlemleri

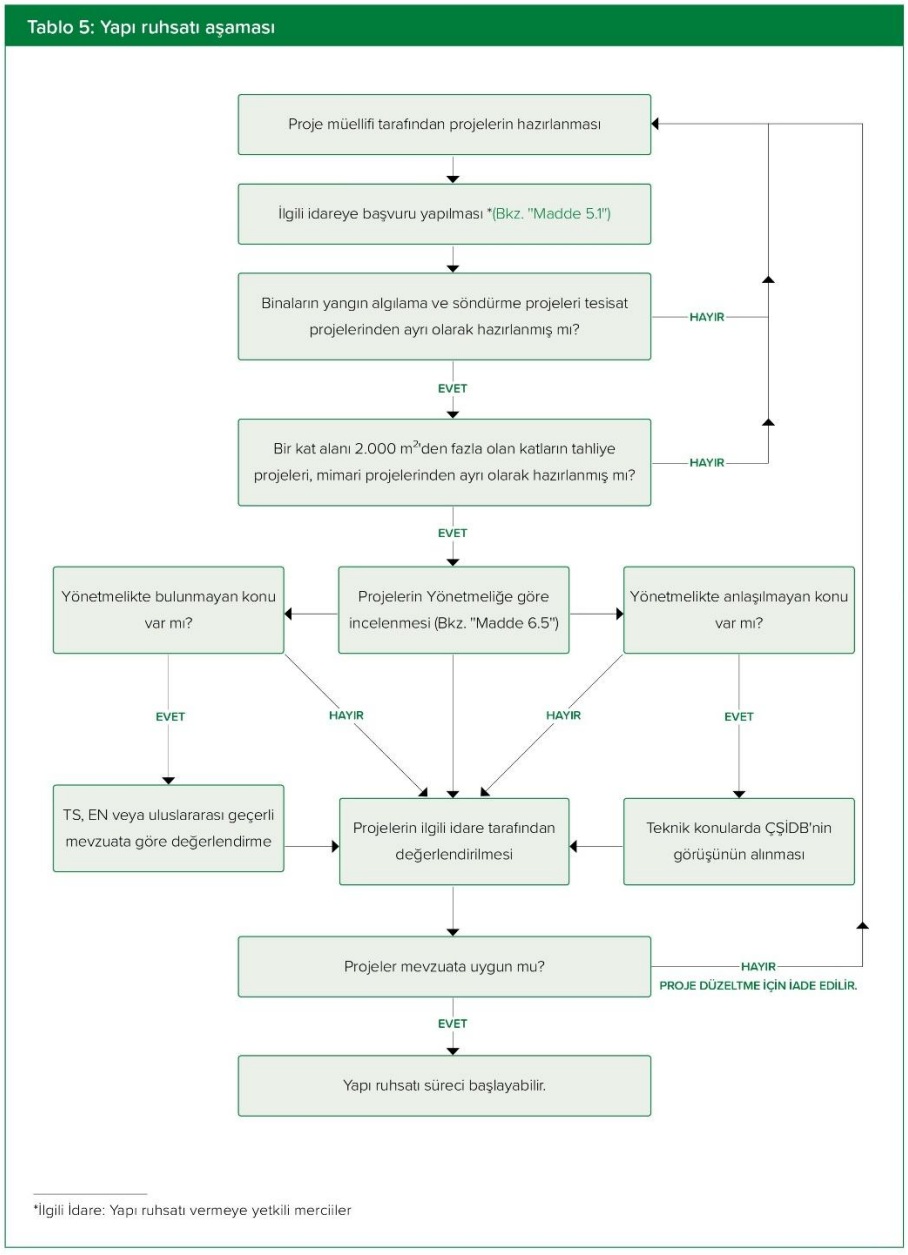
Mimari tasarım süreçlerinde yangın güvenliği, temelde ulusal ve uluslararası yangın yönetmelikleri çerçevesinde şekillenmektedir.

Türkiye'de bina yangın güvenliğine ilişkin temel yasal çerçeveyi oluşturan Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), Bakanlar Kurulu kararı ile 2002 yılında yürürlüğe girmiş olup; mimari, mekanik ve elektrik sistemlerine dair yangın güvenlik tedbirlerini kapsamaktadır. Söz konusu yönetmelik; binaların kullanım sınıfları, kaçış yolları, yangın kompartımanları, elektrik tesisatları, duman kontrol ve söndürme sistemleri, tehlikeli maddelerin yönetimi, yangın güvenlik sorumlulukları ile mevcut ve tarihi yapıların durumu gibi hususları 12 ayrı bölüm altında detaylandırmaktadır. 2025 yılında mevcut yapılarda daha etkili yangın güvenlik önlemleri için bazı güncellemeleri yapılmıştır.

Ülkemizde yapıların yangın güvenliğine uygunlukları için. Yapı ruhsatı verilmesi aşamasında hazırlanan mimari, statik, mekanik ve elektrik tesisat projeleri ile varsa yangın tahliye, algılama ve söndürme projelerinin yönetmeliğe uygunluğundan tasarımda görevli mimar ve mühendisler; hazırlanan projenin uygulanmasından ise uygulamada görevli mimar, mühendisler ve uygulayıcı yükleniciler sorumludur (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2007).

Tablo 2.2 Yönetmelik uygunluk kontrol maddeleri

Denetim Kategorisi	**Temel Kontrol Noktaları**	**BYKHY Maddeleri**
Yapısal Güvenlik	Taşıyıcı sistem direnci, kompartıman duvarları, yangın perdeleri	Madde 23, 24, 25, 26, 27, 28
Tahliye Sistemleri	Yangın merdivenleri, kaçış yolları, panik barlar, acil çıkış levhaları	Madde 31, 32, 33
Algılama ve Uyarı	Duman ve ısı detektörleri, alarm butonları, anons sistemleri	Madde 74, 75, 81
Söndürme Sistemleri	Yangın tüpleri, sprinkler, yangın dolapları, hidrantlar	Madde 92, 94, 96, 99
Elektromekanik	Acil aydınlatma, basınçlandırma fanları, jeneratör entegrasyonu	Madde 67, 72, 89



Şekil 2.3 BYKHY göre yangın güvenliği uygunluk kontrol akışı

Küresel ölçekte ise farklı ülkeler ve bölgeler tarafından benimsenen; ABD' de Uluslararası Kod Konseyi (ICC) tarafından geliştirilen International Building Code (IBC), Ulusal Yangın Koruma Birliği'nin NFPA 101 (Life Safety Code) standartları ve eyaletler için yerel eklemeler, İngiltere'de Yapı Yönetmelikleri (Building Regulations), bunların pratik rehberi olan Approved Document B (ADB) ve

Karmaşık binalar için esneklik sağlayan BS 9999 standardı, Çin'de Zorunlu ulusal standart olan GB 50016 (Code for Fire Protection Design of Buildings) Avustralya' da National Construction Code (NCC) bünyesindeki Building Code of Australia (BCA), gibi çeşitli uluslararası yangın güvenlik kodları ve standartları mevcuttur.

Yangın güvenliği alanında en eski ve en kapsamlı uluslararası otorite olarak kabul edilen National Fire Protection Association (NFPA), 1896 yılında kurulmuş olup, bünyesinde 400'den fazla standart ve kod yayımlanmakta olup; bunlar arasında NFPA 1: Yangın Kodu, NFPA 101: Can Güvenliği Kodu, NFPA 5000: Bina İnşaatı ve Güvenlik Kodu, acil durum müdahale ekiplerine olay öncesi kritik veriler sağlamayı amaçlayan NFPA 1620: Olay Öncesi Planlama Standardı, bina özellikleri ve koruma stratejilerinin temel kaynağı niteliğindeki NFPA 101, NFPA 13: Sprinkler Sistemlerinin Kurulumu Standardı ve NFPA 72: Ulusal Yangın Alarmı ve Sinyalizasyon Kodu gibi temel dokümanlar yer almaktadır. Ayrıca, Yangın Koruma Sistemlerinin Denetimi, Testi ve Bakımı Standardı olan NFPA 25 ile pandemi süreci sonrası geliştirilen NFPA 915: Uzaktan Denetimler Standardı, denetim ve bakım süreçleri için mevcut diğer önemli NFPA düzenlemeleridir.

İngiltere'deki Uluslararası Yapı Standartları (The Building Regulations 2010) tüm inşaat işlerini düzenleyen ana kanundur. Approved Document B, Volume 1 ve Volume 2 şeklinde konut yapıları ve konut dışı yapılar olarak ayrılarak bina yönetmeliklerine uyum için ne yapılması gerektiğini anlatan teknik rehberdir. İngiliz Standartları BS 9999 ise özel kullanım ve işlevine göre risk tabanlı bir yaklaşım sunarak, yangın güvenliği hedeflerine ulaşmada esneklik sağlar. Grenfell Kulesi yangını sonrası mevzuat daha sıkılaştırılmış örneğin yüksek katlı konutlarda tek merdiven standardı terk edilerek 18 metre üzeri binalar için ikinci merdiven zorunluluğu getirilmiştir.

Küresel ölçekte ülkelerin önceliklerine göre standartlarında farklılıklar mevcuttur; Örneğin Singapur, 18 katı aşan konutlarda (veya belirli yükseklikteki ticari binalarda) Sığınak Katları (Refuge Floors) zorunlu kılmaktadır. SP 1.13130 Rusya Federasyonu kodları ise yangın tehlike sınıflarını endüstriyel kökenli bir mantıkla diğer ülkelerden farklı bir şekilde ayırmaktadır.

Türkiye'deki BYKHY yönetmeliği, eş zamanlı tahliye stratejisini benimseyerek, acil durumda tüm kullanıcıların aynı anda kaçış yollarına erişeceği varsayımıyla

hareket etmekte ve buna uygun olarak yapısal dayanımı önceleyen örneğin 60 dakika yangına dayanıklı duvarlar gibi daha katı bir çerçeve çizmektedir. Buna karşın Birleşik Krallık'taki Approved Document B ve ilgili standartlar, binaları risk profillerine göre sınıflandırarak performans bazlı tasarım anlayışıyla tahliyenin hemen başlayamayabileceği senaryoları da kapsayacak şekilde riske duyarlı, kademeli bir tahliye süreci öngörmekte örneğin 3 saatlik acil aydınlatma zorunluluğu getirmektedir.

Aktif güvenlik önlemlerinin mimari sınırları esnetme gücü açısından bakıldığında ise Amerikan NFPA 101 standardı, sprinkler ve gelişmiş algılama sistemlerini mimari kısıtlamalarla bir kolaylaştırma unsuru olarak kullanarak, kaçış mesafelerinin ciddi oranda uzatılmasına ve tasarımın teknolojiye dayalı olarak özgürleşmesine olanak tanımaktadır. Türkiye'deki mevzuat da sprinkler varlığında kaçış mesafelerinde belirli artışlara izin verse de NFPA'nın sunduğu esnekliğin aksine, güvenliği mekanik sistemlerden ziyade pasif yapısal önlemlere dayandıran şekilde korumaya yönlendirmektedir.

Ülkemizde BYKHY'de yeterli hükme yer verilmediğinde, örneğin BJK stadyumu tasarımında seyirci mekânı ve seyircilerin tahliyeleri için NFPA 101 ve toplanma amaçlı binalar için özel hazırlanan smoke- protected assembly seating başlığının referans alındığı görülmüştür (Derman, B. 2022). Literatür incelendiğinde, Çelik (2019) tarafından yapılan çalışmada hastanelerin aktif yangın güvenlik önlemleri bağlamında ulusal mevzuat ile NFPA standartları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; bu doğrultuda en kapsamlı ve teknolojik ilkelere en uygun düzenlemenin NFPA olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir karşılaştırmayı yangın tahliye stratejileri özelinde gerçekleştiren Şimşek (2016) ise, Türkiye'deki 'Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik' hükümlerinin bazı noktalarda yetersiz kaldığı; buna karşın ABD menşeli NFPA standartları ile İngiltere'de uygulanan Uluslararası Yapı Standartları (Building Regulations, UK) kapsamındaki maddelerin çok daha detaylı ve kapsayıcı olduğu sonucuna varmıştır.

Tablo 2.3 NFPA 101 – Bölüm 7: tahliye yolları

No	Başlık	İçerik
7.2	Kaçış Yolu Bileşenleri	Kaçış yolunu oluşturan fiziksel elemanların (Kapılar, merdivenler, rampalar, korkuluklar, döner kapılar, yatay çıkışlar vb.) teknik özelliklerini ve ölçülerini tanımlar.
7.3	Kaçış Yolu Kapasitesi	Kullanıcı yükünün hesaplanması ve bu yüke göre gereken minimum çıkış genişliğinin (kapı ve merdivenler için genişlik faktörleri) belirlenmesini sağlar.
7.4	Kaçış Yolu Sayısı	Bir kattan veya alandan sağlanması gereken minimum çıkış sayısını belirler
7.5	Kaçış yollarının Düzenlenmesi	Çıkışların birbirinden ne kadar uzakta olması gerektiğini, çıkmaz yolları, ortak geçiş yollarını ve çıkışlara erişim kurallarını içerir.
7.6	Çıkışlara Giden Seyahat Mesafesinin Ölçülmesi	Bir kullanıcının bir çıkış kapısına kadar bulunduğu en uzak noktadan kat edeceği maksimum mesafenin nasıl ölçüleceğini ve sınırlarını belirtir.
7.7	Çıkışın Tahliyesi	Çıkışın sona erdiği yerin (dış ortam, halka açık yol veya güvenli alan) özelliklerini ve sokağa kadar çıkışın güvenliğinin nasıl devam edeceğini düzenler.
7,8	Kaçış Yollarının Aydınlatılması	Kaçış yollarının zeminine ulaşan minimum aydınlatma seviyesini belirler.

Tablo 2.3 NFPA 101 – Bölüm 7: tahliye yolları (devamı)

No	Başlık	İçerik
7,9	Acil Durum Aydınlatması	Elektrik kesintisi durumunda devreye girecek aydınlatma sistemlerinin süresi ve performans kriterlerini tanımlar.
7,10	Kaçış Yollarının İşaretlenmesi	Çıkış tabelalarının yerleşimi, görünürlüğü, boyutu, aydınlatılması ve diğer gereksinimlerini kapsar.
7,11	Yüksek Tehlike İçeren Kullanım Alanları için Özel Hükümler	Yanıcı, patlayıcı veya çok hızlı yayılan yangın riski taşıyan alanlarda daha sıkı kaçış kurallarını içerir.
7,12	Tehlikeli Maddeler için Özel Hükümler	Tehlikeli maddelerin depolandığı veya kullanıldığı alanlar için diğer NFPA standartlarına atıfta bulunarak ek güvenlik önlemleri getirir.
7,13	Mekanik Ekipman Odaları, Kazan Daireleri	Bu tür teknik hacimlerin kaçış yolları ve kapı kilit mekanizmaları ile ilgili özel düzenlemeleri içerir.
7,14	Normalde Kullanılmayan Bina Servis Ekipmanları Destek Alanı	Sadece bakım amaçlı girilen, servis alanları (tesisat galerileri vb.) için gevşetilmiş kuralları tanımlar.
7,15	Tahliye Asansörleri	Standart asansörlerin aksine, yangın anında tahliye amaçlı kullanılmasına izin verilen özel asansörlerin tasarım ve korunum kriterlerini belirler.

NFPA kodlarının fiziksel kriterleri açıkça tanımlayarak sayısal ve parametrik veriler sunması, standartların YBM sistemlerine ve parametrik tasarım yazılımlarına entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu çalışma kapsamında önerilen modelde otomatik kontrol için kullanılmak üzere NFPA kuralları tercih edilmiştir.

2.1.2 Yapı Yaşam Döngüsünde Yangın Güvenliği

Yapıda yangın güvenliği sadece mimari tasarım evresinde değil tüm yaşam döngüsü boyunca önem taşımaktadır. IFSS tarafından binanın tüm yaşam döngüsü boyunca uygulanabilen, Önleme, Haberleşme, Sınırlandırma, Kaçış ve Söndürme şeklinde belirlenmiş 5 adet ilke mevcuttur. Önleme, can güvenliği ve bina hasarını önlemek amacıyla yangının çıkmasını engellemek veya etkilerini sınırlandırmaktır. Haberleşme, yangını hızlıca algılama ve bina sakinleri ile itfaiyeyi anında bilgilendirme süreçlerini kapsar. Sınırlandırma ilkesi yangın ve sonuçlarının mümkün olan en küçük alanda tutulmasını hedefler. Tahliye bina sakinlerinin yangın etkilerinden güvenli bir şekilde kaçışını kolaylaştırmayı ifade ederken söndürme ilkesi de yangını bastırmayı ve çevreyi korumayı amaçlar.

IFSS-CP-Consultation-Document belgesinde yangın güvenliği ilkeleri, yapı yaşam döngüsü çerçevesinde tasarım, inşaat, kullanım, değişim ve yıkım aşaması gibi evrelere işlenmiştir. Tasarım aşamasında; yangın güvenliği yönetmeliklerine ve standartlarına uymasını sağlamak amacıyla koda dayalı tasarım yaklaşımı ve yangın güvenliği mühendisliği süreci olarak tanımlanan performansa dayalı tasarım yaklaşımı yer almaktadır. Performansa dayalı tasarım, çeşitli metrikler kullanarak yangın analizleri ve sayısal araçlarla simülasyonlar yapmak ve hedeflenen spesifik yangın güvenliğine ulaşmaya yöneliktir. Koda dayalı tasarım yaklaşımı ise bina yaşam döngüsünün tasarım evresinde en temel ve yaygın yangın güvenliği yaklaşımıdır. Tasarımın, ilgili tüm yasal ve düzenleyici gereklilikleri eksiksiz bir şekilde karşılayıp karşılamadığının incelenmesidir. Binanın yapısal bütünlüğünden, kullanılan inşaat malzemelerinin yangına dayanımına, acil çıkış yollarının boyutlarına ve yangın söndürme sistemlerinin varlığına kadar her şeyi kapsar.

IFSS-CP Çerçevesinin Ekler (A-E) bölümünden derlenen tabloda, mimari tasarım sürecinin henüz başında ele alınması gereken yangın güvenliği parametreleri beş, temel ilkeye göre sınıflandırılmış ve bütüncül bir kontrol listesi olarak hazırlanmıştır (Tablo 2.5).

Tablo 2.4 Tasarım evresinde yangın güvenliği temel ilkeleri

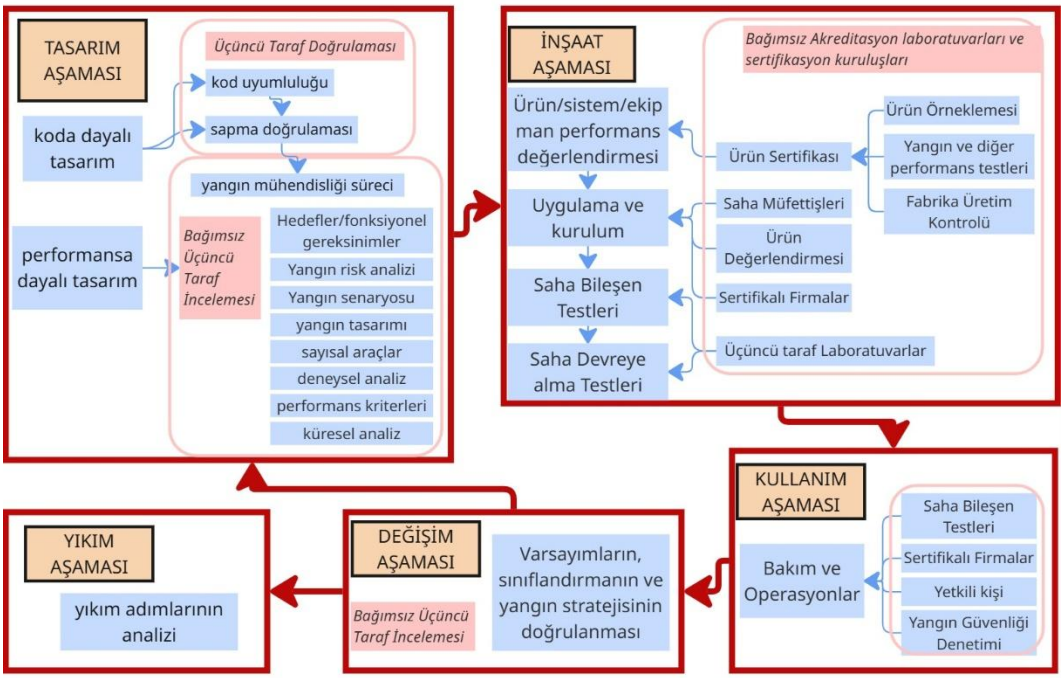
Tasarım İlkesi	**Mimari Tasarım Alanı**	**Tasarımda Dikkate Alınması Gerekenler**
Önleme	Malzeme ve Yerleşim Kararları	• Malzeme Seçimi: İç kaplama malzemeleri, dış cephe kurgusu ve yanıcılık ve duman üretme özellikleri • Dış Tehlikelere Mesafe: Diğer binalara, park halindeki araçlara ve yanıcı madde depolarına olan mesafeler vaziyet planında ayarlanmalıdır •Kullanıcı Davranışları: Sigara içme alanları veya yemek pişirme alanları gibi riskli bölgeler tasarıma entegre edilmelidir. •Doğal ve Kasıtlı Tehditler: Orman yangınları veya kundaklama riskine karşı güvenlik önlemleri planlanmalıdır.
Algılama Ve İletişim	Mekansal Geometri ve Sistem Entegrasyonu	• Bina Konfigürasyonu: İç geometri, görüş ve yön bulma kurgusu, dumanın algılanmasını veya uyarıların görülmesini/duyulmasını kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır •Sistem Planlaması: Otomatik algılama, sesli/görsel alarm sistemleri ve bunların söndürme sistemleriyle entegrasyonu planlanmalıdır • İtfaiye İletişimi: İtfaiye ekiplerinin bina sistemleriyle iletişim kurabileceği altyapı tasarlanmalıdır.

Tablo 2.4 Tasarım evresinde yangın güvenliği temel ilkeleri (devamı)

Kullanıcı Koruma	Sirkülasyon ve Tahliye Planlaması	• Tahliye Prosedürleri: Binanın türüne göre eş zamanlı, aşamalı veya yerinde koruma stratejileri belirlenmelidir • Kaçış Yolları Tasarımı: Kaçış mesafeleri, koridor genişlikleri, çıkış kapasiteleri ve merdiven genişlikleri kullanıcı yüküne göre hesaplanmalıdır, •Mimari Engeller: Asma katlar, dar geçişler veya kaçışı zorlaştıran engeller analiz edilmelidir •Özel Alanlar: Sığınak alanları ve engelliler için bekleme alanları tasarlanmalıdır •Aydınlatma ve İşaretleme: Acil durum aydınlatması ve kaçış yönlendirme işaretlerinin yerleşimi planlanmalıdır.
Sınırlama	Bölümlendirme (Kompartıman)	• Yapısal Bütünlük: Taşıyıcı sistemin yangın direnci ve kompartımanlamaya uyumu sağlanmalıdır •Bölücü Elemanlar: Yangın kapıları, yangın duvarları, tavanlar, döşemeler ve yangına dayanıklı camlar ile yangın bariyerleri oluşturulmalıdır •Tesisat Boşlukları: Boru ve kanal geçişlerinde yangın durdurucu sistemler ve damperler planlanmalıdır • Duman Kontrolü: Dumanın yayılmasını önleyecek duman yönetim sistemleri tasarlanmalıdır.
Söndürme	Erişim ve Lojistik	• İtfaiye Erişimi: Vaziyet planında İtfaiye araçlarının yaklaşabileceği güvenli yollar, park alanları ve müdahale rotaları çözülmeli, İtfaiye ekipleri için bina planlarının ve dijital bilgilerin erişilebilir olması sağlanmalıdır. • Müdahale Donanımları: Islak/kuru boru sistemleri, su temini, itfaiyeci asansörleri ve yangın komuta merkezleri bina çekirdeğine entegre edilmelidir. • Çevresel Koruma: Söndürme suyunun akışının çevreye veya bitişik yapılara zarar vermesini önleyecek tedbirler alınmalıdır.

Oluşturulan bu çerçeve, tüm yaşam döngüsü için yangın güvenliği gerekliliğini içinde barındırmış olup tasarım sonrası aşamalar için sunduğu veriler, mimari kararların binanın tüm yaşam döngüsü boyunca nasıl yaşayan bir güvenlik senaryosuna dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Yaşam döngüsünün diğer evreleri için: İnşaat sürecinde, kalıcı sistemler henüz devreye girmediğinden binada yangın çıkarabilecek ısıl işlemlerle geçici algılama sistemleri gibi şantiye güvenliği önlemleri hayati önem taşımaktadır. Kullanım aşaması, tasarlanan kaçış yollarının açıklığının korunması, sistemlerin düzenli test ve bakımı ile kullanıcı eğitimleri üzerine kuruludur. Binanın değişiklik geçirdiği durumlarda, değişen kullanıcı yükü veya mekânsal kurgu nedeniyle ilk tasarım kararları ile güncel risklerin yeniden değerlendirilmesi gerekmekte ve Yıkım aşaması ise otomatik sistemlerin devre dışı bırakılması ve kaçış yollarının sürekli değişmesi nedeniyle, inşaat sürecine benzer ancak tersine işleyen yüksek riskli manuel kontrol stratejilerini zorunlu kılmaktadır.

Yapı yaşam döngüsünün her aşamasında, Yangın güvenliğinin temel ilkelerinin sağlandığından emin olmak için doğrulama ve kontrol süreçlerinin uygulanması gerekmektedir. YBM bu konuda yapının tüm yaşam döngüsünde iyi bir eşlikçidir.



Şekil 2.4 Her aşamada doğrulama ve uygulama şeması (IFSS , 2020)

2.2 Yapı bilgi modellemesi (YBM) ve Uygulama Planı

Yapı bilgisi modellemesi (YBM), bir yapının fiziksel ve işlevsel özelliklerini çok boyutlu ve veri temelli bir yapıda temsil eden, disiplinler arası bilgi alışverişini mümkün kılan kapsamlı bir dijital yönetim yaklaşımıdır. Mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektörlerinde dijital dönüşümün temel bileşeni hâline gelen YBM, yalnızca bir modelleme aracı değil; tasarım, yapım ve işletme süreçlerinde karar verme mekanizmalarını destekleyen bütüncül bir metodoloji olarak değerlendirilmelidir.

Geleneksel üç boyutlu temsil yöntemlerinden farklı olarak YBM, yapı bileşenlerine özniteliksel veriler (malzeme tanımları, maliyet parametreleri, enerji performans göstergeleri, bakım gereksinimleri vb.) atayarak yapı yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir ve izlenebilir bir bilgi yönetimi sağlamaktadır. Bu veri odaklı yapı sayesinde disiplinler arası koordinasyon güçlenmekte, tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi kolaylaşmakta ve proje süresince maliyet-zaman performansını iyileştiren karar destek süreçleri geliştirilebilmektedir.

YBM ortamında bilgi değişimi, farklı yazılımlar arasındaki veri bütünlüğünü korumayı hedefleyen standartlar aracılığıyla yürütülür. IFC, MDV, gbXML ve COBie gibi formatlar, veri kaybını azaltmak ve birlikte çalışabilirliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Revit, Autodesk BIM 360, ArchiCAD, Bentley Systems ve Navisworks gibi araçlar, kullanılan temel YBM yazılımları arasında yer almakta ve YBM tabanlı iş akışlarının kurumsal düzeyde yönetilmesine imkân tanımaktadır.

BIMForum (2024) tarafından yayınlanan standartlara göre YBM kullanıcıları arasında model elemanlarının özellikleri hakkında iletişimi iyileştirmeyi amaçlayan bir referans aracı olarak tanımlanan LOD (Level of Development), elemanların geometrik güvenilirliğini ve doğruluğunu tanımlayan bir standarttır. LOD 100 seviyesi elemanın sembolik veya genel bir gösterimle sunulduğu ve metrik verilerin diğer bileşenlerden türetildiği kavramsal aşamayı temsil ederken; LOD 200, elemanın yaklaşık miktar, boyut, şekil ve konumuyla tanımlandığı seviyedir. LOD 300 seviyesinde, eleman ölçülebilir spesifik geometrik özellikleriyle modellenirken; LOD 350, elemanın diğer yapı sistemleriyle olan fiziksel arayüzlerini ve bağlantılarını detaylandırarak disiplinler arası koordinasyonu mümkün kılmaktadır. İmalat, montaj ve kuruluma yönelik yeterli detayı barındıran

seviye LOD 400 olarak adlandırılır ve inşa edilmiş durumun geometrik temsiliyeti içinse LOD 500 kullanılmaktadır.

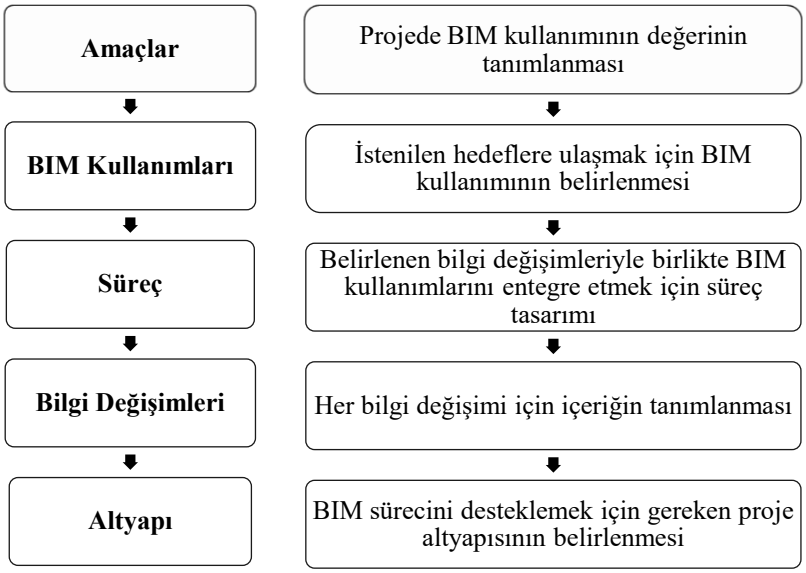
Bir projede YBM süreçlerinin kapsamını, işleyişini, sorumluluk dağılımını ve çıktı gereksinimlerini belirleyen, bu yönüyle hem yönetişim hem de sözleşmesel nitelik taşıyan kritik bir süreç yönetim dokümanı olarak YBM Uygulama Planı (BEP) geliştirilmektedir.

BEP, proje özelinde YBM kullanım amaçlarını, disiplinler arası etkileşim biçimlerini ve bilgi üretim sürecinin zaman-mekânsal organizasyonunu tanımlayarak YBM'in rastlantısal uygulamalar yerine sistematik, izlenebilir ve doğrulanabilir bir yapı içinde yürütülmesini sağlar (Eastman et al., 2018).

BEP'in sistematik bir çerçeveye oturtulması, özellikle tasarım ve inşaat ekipleri arasındaki beklentilerin erken aşamada netleştirilmesini, iş akışlarının ortak bir terminoloji üzerinden yürütülmesini ve çakışma tespiti gibi YBM tabanlı analiz süreçlerinin etkin şekilde uygulanmasını mümkün kılar. Bu sayede, tasarım hatalarının azaltılması, koordinasyon etkinliğinin artırılması ve sahadaki imalat kalitesinin yükseltilmesi gibi proje performans göstergelerinde anlamlı iyileştirmeler sağlanabilmektedir (Ikerd, 2020).

BEP, YBM projelerinde işbirliği ve bilgi yönetimini sistematik biçimde düzenleyen; rol, sorumluluk ve teslimatlara ilişkin netlik sağlayarak kaynak israfını azaltan; paydaşlar arasında YBM kullanımına yönelik ortak bir anlayış geliştiren; proje teslimat süreçlerini iyileştirip koordinasyonu optimize eden; kavramsal YBM süreçleri ile pratik uygulamalar arasında yapısal bir bağ kuran; hukuki ve organizasyonel çerçeveyi tanımlayarak olası uyumsuzlukları azaltan ve YBM'in ne zaman, nasıl ve hangi amaçlarla kullanılacağını belirleyen resmi bir plan sunması nedeniyle, YBM tabanlı projelerde temel gerekliliklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Panagiotidou N, Pitt M, Lu Q ,2023).

ABD Ulusal YBM Standardı (NBIMS-US), BEP geliştirme sürecini kuramsal ve uygulamalı bir çerçeve içinde ele alarak beş aşamalı bir yöntem önermektedir: Proje hedeflerinin belirlenmesi, YBM kullanım alanlarının tanımlanması ve ilgili iş akışlarının oluşturulması, Model çıktılarının ve bilgi içerik seviyelerinin belirlenmesi, Bilgi alışverişi gereksinimlerinin yapılandırılması, Süreçleri destekleyecek teknik ve organizasyonel altyapının tasarlanması.



Şekil 2.5 BEP geliştirme prosedürü (NBIMS-US™ V4)

Örnek YBM Uygulama Planları (BEP) incelenmesi sonucunda: proje kimlik bilgilerinin; YBM kullanım amaçları ve bu kullanımların proje başarısına sağlayacağı potansiyel katkıların; YBM yöneticisi, koordinatörler ve modelleme uzmanı gibi görev tanımları ile iletişim bilgilerinin; tüm süreç boyunca bilginin üretim ve paylaşım iş akışlarının detaylandırıldığı YBM Süreç Tasarımının; bilginin teslim formatı, zamanlaması ve içeriğine dair teknik tanımlamaların; kullanılacak yazılım sürümleri, donanım gereksinimleri ve ortak veri ortamı (CDE) stratejisini kapsayan teknolojik altyapının; model doğruluğunu, standartlara uygunluğu ve çakışma analizlerini temin eden kalite kontrol prosedürlerinin ve toplantı sıklıkları, iletişim kanalları ile dosya paylaşım metotlarını içeren iş birliği protokollerinin söz konusu planlarda yer aldığı görülmüştür.

Genel yapının dışında projelerin niteliğine göre farklılıklar bulunduğu gözlemlenmektedir. Örneğin küçük ölçekli projelerde, temel kuralların konulması ve eğitim/sertifikasyon gereklilikleri önceliklendirilirken; tesis yönetiminin önem taşıdığı karmaşık projelerde, varlık yönetimi ve güvenlik gibi disiplinler için daha spesifik veri gereksinimlerinin tanımlandığı görülmektedir. Ayrıca projenin özgün ihtiyaçları doğrultusunda LOD tanımları, coğrafi koordinat sistemleri ve dosya isimlendirme gibi teknik standartlarının yanı sıra, veri mülkiyeti ve risk yönetimi gibi yasal hususlar da uygulama planlarında farklılaşarak detaylandırılmıştır

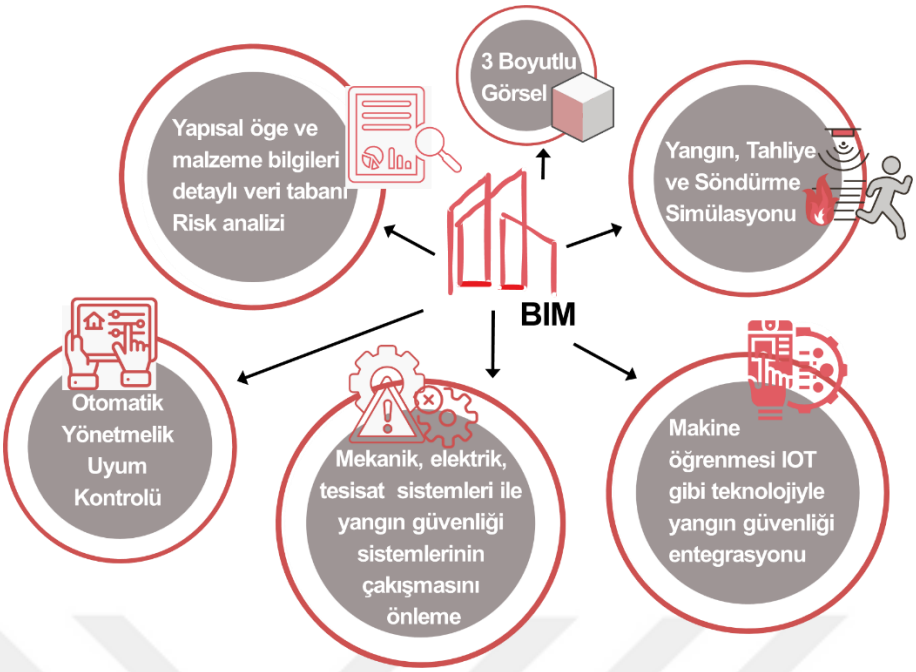
2.3 YBM'nin Yangın Güvenliğindeki Yeri

Yangın güvenliği; mimari tasarımcılar, inşaat mühendisleri, yöneticiler ve itfaiye personeli gibi farklı disiplinlerden uzmanların iş birliğini gerektiren çok boyutlu bir alandır. Yapı bilgisi modellemesi (YBM), bu paydaşlar arasında bütünleşik bilgi akışı sağlayarak, olası risklere daha doğru ve hızlı yanıt verilmesini ve geçmiş projelerden edinilen deneyimlerden sistematik biçimde yararlanılmasını mümkün kılmaktadır.

YBM modelleri, yangın güvenliği planlamasında en önemli bileşenler olan yangın bölmesi sınırları, tahliye yolları ve acil durum aydınlatması gibi unsurlara ilişkin ayrıntılı bilgileri içerebilmektedir (Kincelova vd., 2020). Görselleştirme yeteneği ve veri tabanlı yapısı sayesinde, disiplinler arası koordinasyonu artırmakta; tasarım sürecinde ortaya çıkabilecek olası çakışmaların ve hataların yapım aşamasına geçilmeden önce tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Culp, 2019).

YBM, statik hesaplamaların ötesine geçilerek, yapının tahliye performansının sanal ortamda test edilmesine olanak tanır. Modeller, PyroSim, Pathfinder, FDS (Fire Dynamics Simulator) gibi yangın dinamiği ve acil durum tahliyesi simülasyon yazılımlarıyla entegre biçimde çalışarak geniş kapsamda analizlerin yapılmasını sağlamaktadır (Li vd., 2024). Bu entegrasyon, duman kontrol sistemlerinin performans tabanlı tasarımına olanak tanırken; YBM'in sunduğu üç boyutlu görselleştirme imkanları, teknik altyapıya sahip olmayan paydaşların acil durum senaryolarını daha net kavramalarına yardımcı olmaktadır.

Yangın koruma sistemlerinin modellenmesinde YBM, parametrik veri tabanı sayesinde dinamik bir tasarım süreci sunar. Örneğin, yangın alarm sistemi bileşenleri duvar ve tavanlarla ilişkili modellendiğinde, mimari revizyonlarda cihazlar otomatik olarak yeni konuma uyum sağlar. Ayrıca Dynamo gibi görsel programlama arayüzleri, alan sınırlarının belirlenmesi, kullanıcı yükü ve kaçış yolu genişlik analizleri gibi süreçleri manuel hesaplamalardan otomatikleştirilmiş veri analizine taşır. Aziz (2025)'in de belirttiği gibi, makine öğrenmesi ve yapay zekâ tabanlı yöntemler kullanılarak yangın güvenliği ekipmanlarının tespiti ve denetim etiketlerinin kontrolü de bu otomasyon sürecinin bir parçasıdır.



Şekil 2.6 Yangın güvenliği için YBM kullanımı

YBM aileleri (families), geleneksel CAD bloklarının ötesinde, zengin anlamsal veriler barındıran akıllı bileşenlerdir. Yangın güvenliği sistemlerine ait basınçlandırma şaftları veya yangın dayanımlı yapı elemanları gibi gereksinimlerin, tasarımın erken evrelerinde tanımlanması, mimari kararların doğru yönlendirilmesini sağlar. Ancak otomatik denetimin başarısı, doğrudan bu YBM modelinin kalitesine bağlıdır. Preidel ve Borrmann (2018)'in de vurguladığı gibi; modelin sadece biçimsel olarak değil, içerik olarak da doğru olması gerekir. Özellikle farklı disiplinlerden gelen modellerin birleştirildiği durumlarda, çakışmaların ve veri tutarsızlıklarının yönetilmesi otomasyon süreci için ek bir zorluk teşkil etmektedir. Bu nedenle akıllı bileşenlerin doğru kurgulanması, denetim başarısı için ön koşuldur.

Yangın güvenliği, yapı yaşam döngüsünün tüm aşamalarında bağımsız, nitelikli ve akredite uzmanların doğrulayıcı katılımını gerektiren bir süreçtir. YBM, bu doğrulama süreçlerinde kullanılacak ürün sertifikaları, test raporları ve tasarım hedefleri gibi verileri dijital ortamda saklayarak denetim ve izlenebilirlik açısından güçlü bir altyapı sunmaktadır. YBM modelindeki her bir bileşen, kim tarafından, hangi tarihte ve hangi belgeye dayanarak eklendiği bilgisiyle birlikte parametrik biçimde izlenebilir hâle getirilmektedir. Doğrulama süreçlerinde kural

denetimlerinin YBM araçlarıyla otomatikleştirilmesi, mevzuata uygunluk ve zaman tasarrufu açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Yangın güvenliğinin YBM süreçlerine entegrasyonu, YBM Uygulama Planı (BEP) üzerinden sistematik biçimde yapılandırılabilir. Bu kapsamda:

- BEP hedefleri arasına Yüksek Öncelikli Hedef "Yangın Güvenlik Kodlarına Uyumun Sağlanması" hedefinin eklenmesi,
- YBM Kullanım Tablosu'na "Yaşam Güvenliği Kodu Kontrolü" ve "Tahliye Yolu Analizi" gibi yangın güvenliğine özgü kullanım alanlarının dâhil edilmesi,
- Süreç tasarımında yangın güvenliği bileşenlerinin hangi aşamada, kim tarafından ve ne şekilde modellenmesi gerektiğinin tanımlanması,
- Bilgi alışveriş tablolarında, bir duvarın geometrik detay düzeyi (LOD) ile yangın dayanım süresi veya duman kontrol özelliği gibi niteliksel bilgi gereksinimlerinin (LOI) belirtilmesi,
- Yangın simülasyonu, duman kontrol analizi ve otomatik kod kontrolü gibi uygulamaları destekleyen yazılımların kullanılması;
- Proje sürecinde uyumluluk sertifikaları ve yasal gerekliliklerin sistematik biçimde izlenmesi,

yangın güvenliği sürecinin bütünlüğü ve doğru uygulanması açısından önemlidir.

2.3.1 Mevcut YBM Uygulama Planlarında Yangın Güvenliği

Yangın güvenliği ögelerinin BEP kapsamına dâhil edilmesi, paydaşların süreçlere aktif katılımını güçlendirmekte ve disiplinler arası koordinasyonu artırmaktadır. Rollerin ve sorumlulukların açık biçimde tanımlanması, iletişim protokollerinin standartlaştırılması ve yangın güvenliği performansına ilişkin veri setlerinin süreçlere entegre edilmesi, etkin bir yangın güvenliği yönetimi için temel oluşturmaktadır. Böylece YBM, yangın güvenliği tasarımını yalnızca görselleştirme aracı olmaktan çıkararak, yapı yaşam döngüsünün her aşamasına entegre edilen bir yönetim bileşeni hâline getirmektedir.

Mevcut YBM Uygulama Planlarındaki yangın güvenliği içeriği Singapur (BCA Essential Guide), MIT (BIM Execution Plan), Penn State (BIM Planning Guide V3.0), Kanada (Metrolinx BEP Template) BIMForum (BXP Guide) ve Türkiye (UAP BEP) gibi YBM Uygulama planı ve kılavuzları üzerinden incelenmiştir.

Tablo 2.5 YBM uygulama planı ve kılavuzlarının yangın güvenliği içeriği karşılaştırması

YBM Uygulama Planı	Tarih	Hedefler ve YBM Kullanımında	Süreç Yönetiminde	Bilgi Aktarımında (LOI / Parametre)	Sorumlu	Çıkarım
Singapur (BCA Essential Guide)	2013	"Regulatory Submission" (Yönetmelik Onayı)	Modelin resmi makamlara (CORENET) yangın onayı için sunulması süreci tanımlıdır.	Ek B'de yangın güvenliği için detay bilgisi gereken elemanlar ayrı başlıkta listelenmiştir.	YBM öğelerini modellemek için gerekli olan Model Yazarı'nın belirtilmediği notu düşülmüştür.	Yangın güvenliğini bir tasarım onayı ve otomasyon süreci olarak ele almakta, erken tasarımdan itibaren dijital model üzerinden yangın güvenliği onayı sistemi mevcuttur.
MIT (BIM Execution Plan)	2022	MEP/yangın güvenliği 3B Koordinasyon ile çakışmanın önlenmesi	Tasarım ve inşaat süresince yangın koruma sistemlerinin diğer disiplinlerle tam entegrasyonu istenir.	Modeldeki mekanların ve nesnelerin, Bilgisayar Destekli Tesis Yönetimi ile örtüşecek şekilde verilerle zenginleştirilmesi notu düşülmüştür.	Proje aşaması bazında sorumlular değişiklik göstermektedir.	İşletme Odaklı, Binanın yaşam döngüsü boyunca yangın sistemlerinin takibine odaklanır.
Kanada (Metrolinx BEP Template)	2025	Disiplinler arası koordinasyon kapsamında ele alınabilir	Tasarım aşamasında fiziksel çakışmaların yönetimi ön plandadır.	Gereksinimlere göre LOD ve LOI bilgileri tanımlanmalıdır	İlgili disiplin lideri, verinin modele işlenmesinden sorumludur	Yangın güvenliğini bir veri niteliği ve fiziksel çakışma konusu olarak gördüğünü söyleyebiliriz

Tablo 2.5 YBM uygulama planı ve kılavuzlarının yangın güvenliği içeriği karşılaştırması (devamı)

Penn State (BIM Planning Guide V3.0)	2021	Yönetmelik Uyumluluğunu Doğrulama ve Acil Durum Yönetimi Analizi kapsamında kullanımları arasında sayılır.	Acil durum tahliye simülasyonları süreç tasarımına dahildir.	Her bir YBM kullanımı (örneğin Yangın Tahliye Analizi) için ayrı bir "Bilgi Değişim Sayfası" doldurulması gerekmektedir.	EK-7 Bilgi Alışverişi Çalışma Sayfasında Her bir YBM kullanımı için sorumlu sütunu mevcuttur.	Yangını bir afet yönetimi ve kural kontrolü süreci olarak içermektedir. Verinin geometrik detayının artmasındansa veri aktarımı için gereken ölçüde detaylandırılmasını destekler niteliktedir.
BIMForum (BXP Guide)	2020	Yangın güvenliği ayrı bir branş olarak tanımlanmıştır.	Koordinasyon toplantılarında yangın tesisatçısının yer alması zorunluluğu gibi maddeler barındırır	Proje Gereksinimi: BIMForum 2019 Geliştirme Seviyesi Şartnamesi tablosunda yangın güvenliği için 300 LOD şartı mevcuttur.	Fire Protection Trade Partner (Yangın koruma sistemleri yüklenicisi).	Yangın güvenliğini "modelleme ve çakışma yönetimi" disiplini olarak ele almıştır. Analiz simülasyon gibi değil. Metin tabanlı veri" yaklaşımının aksine; burada "Fiziksel Detay"
Türkiye (Taslak BEP Şablonu)	2022	Genel: "Mühendislik Analizleri" ve "3B Koordinasyon" başlıkları altında dolaylı yer alır.	Akış şemasında "Mühendislik Analizleri" kutusu bulunur ancak yangın özelinde bir akış yoktur.	"Model Bilgi Standartları" bölümü boş olup projenin teknik şartnamesine atıf yapılır.	Disiplin Sorumluları (Genellikle Mekanik veya MEP ekibi altındadır).	Yangın güvenliği özelinde yer alan bir içerik bulunamamıştır.

İncelenen uluslararası YBM Uygulama Planları (BEP) ve kılavuzlar (Singapur BCA, Penn State, NBIMS, MIT vb.) bütüncül olarak değerlendirildiğinde Otomatik Kural Kontrolü veri yapılandırması konularında teorik bir olgunluğun varlığıyla birlikte uygulama pratiğinde belirli eksikliklerin devam ettiği görülmektedir. Mevcut dokümanlar yönetmelik doğrulama maddesini bir YBM kullanım hedefi olarak tanımlamakta ve gerekli veri detay seviyelerini (LOD/LOI) belirlemektedir. Ancak, yangın güvenliği disiplini özelinde, yönetmelik kriterlerinin parametrik veriye dönüştürülmesi ve bu verinin binanın yaşam döngüsü boyunca bir "karar destek mekanizması" olarak işletilmesi süreci, mevcut BEP örneklerinde genellikle genel tanımlar düzeyinde kalmaktadır. Bu durum, altyapıyı oluşturan standartların mevcut olduğu, ancak bu standartları yangın güvenliği odağında birleştirerek tasarımdan işletmeye kesintisiz veri akışı sağlayan entegre bir uygulama modeline duyulan ihtiyacı göstermektedir.

Yangın güvenliği incelenen YBM Uygulama Planlarında; otorite onayı, işletme yönetimi, metodoloji ve imalat süreçleri gibi farklı bağlamlarda ele alınmıştır. Singapur örneğinde yasal bir zorunluluk olan Regulatory Submission (Yönetmelik Başvurusu) süreci, modellerin otomatik olarak kontrol edilmesini ve onay makamlarına dijital olarak sunulmasını hedefler. Bu, yangın yönetmeliğine uygunluk kararlarının insan inisiyatifinden sistem kontrolüne geçtiği bir karar destek aşamasıdır. Benzer şekilde Penn State YBM Planlama Kılavuzu da "Code Validation" başlığı altında, modelin bina kodlarına uygunluğunun otomatik veya yarı-otomatik yöntemlerle doğrulanmasını birincil YBM kullanımı olarak tanımlamaktadır. Bu, tasarımcının yangın güvenliği kararlarını doğrulamasına yardımcı olan bir sistemdir.

BIMForum rehberi incelendiğinde, yangın güvenliğinin analiz ve simülasyondan ziyade fiziksel inşa edilebilirlik odağında ele alındığı görülmektedir. Rehberde yer alan özellikle küçük ölçekli firmalar için YBM yetkinliklerindeki eksikliklere yapılan vurgu kuralları otomatik denetleyen hazır bir sistem sunulmasının gerektiğini ortaya koymaktadır. MIT ve Penn State kılavuzları, YBM'i tesisin yaşam döngüsü boyunca bilgi yönetme yöntemi olarak tanımlayarak süreci tasarımdan işletmeye uzanan bir veri akışı olarak kurgular. MIT, "Life Safety" (Yaşam Güvenliği) sistemlerini tesis yönetiminin (FM) kritik bir bileşeni olarak konumlandırırken; Penn State kılavuzu, "Bilgi Değişim Çalışma Sayfası"

(Information Exchange Worksheet) aracılığıyla Geometri ve Bilgi (Information) veri setlerini ayrıştırmaktadır. Bu ayrım, otomatik bir karar destek sisteminin çalışabilmesi için geometrik yoğunluktan ziyade nitelikli öznitelik verisine (LOI) ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Türkiye, YBM ve yangın güvenliği entegrasyonu konusunda bir standartlaşma ve geçiş sürecindedir. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yayımlanan mevcut taslak BEP şablonlarında yangın güvenliği özelinde spesifik bir içeriğe rastlanmamakla birlikte; buildingSMART Türkiye'nin "Yapı Yaşam Döngüsünde Bilgilerin Düzenlenmesi, Sayısallaştırılması ve Yönetimi Rehber Kitabı" bu alanda önemli bir kırılma noktası teşkil etmektedir. Rehberin, Yangın Güvenliği Uygulama Tasarımını, kesin tasarım aşamasında teslim edilmesi gereken bir disiplin olarak tanımlaması; yangın güvenliğini "çakışma kontrolü yapılan bir tesisat branşı" statüsünden çıkarıp, bağımsız bir veri yönetim alanı haline getirmektedir. Yangın güvenliğini veriye dayalı, denetlenebilir ve tüm yapı ömrü boyunca izlenebilir dijital bir sürece dönüştürmeye zemin hazırlayan bu rapor, geometrik detaydan ziyade metin tabanlı veri doğruluğunu ve otomatik kural kontrollerini esas alan modern yaklaşımlar için uygun bir zemin oluşturmaktadır.

2.3.2 Yangın Güvenliği İçin Kullanılan YBM Yazılım ve Eklentiler

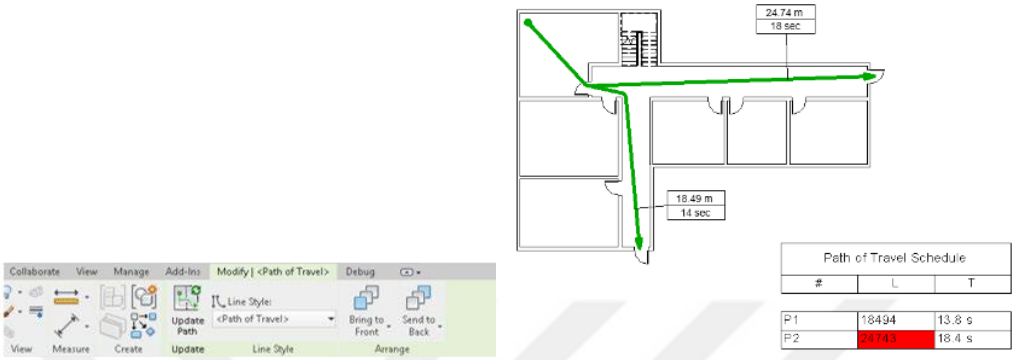
Modelin oluşturulduğu YBM yazarlık araçları, yönetmelik uyumluluğunun denetlendiği otomatik kod kontrol yazılımları, performansın test edildiği analiz ve simülasyon uygulamaları ve spesifik mühendislik hesaplamalarını gerçekleştiren entegre eklentiler ile yangın güvenliği sistematik ve bütüncül olarak ele alınabilmektedir.

- **Yaygın kullanılan YBM Yazılımları**

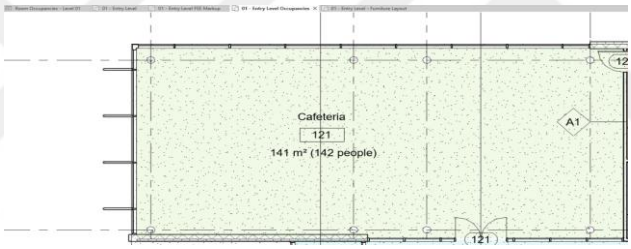
Bentley OpenBuildings Altyapı ve büyük ölçekli projelerde, ileri düzey yaya simülasyonu gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Legion isimli çok gelişmiş bir yaya hareket simülasyon motoru barındırmaktadır.

Graphisoft ArchiCAD: Mimari tasarım ve birlikte çalışabilirlik (interoperability) odaklı bir başka YBM yazılımıdır. Genellikle Revit'ten daha temiz ve düzenli bir IFC verisi üretir. Veri kaybı riski daha düşüktür. Revit gibi otomasyon için dahili bir görsel programlama aracı barındırmaz, Rhino aracılığı ile harici olarak Grasshopper bağlantısı kurabilir.

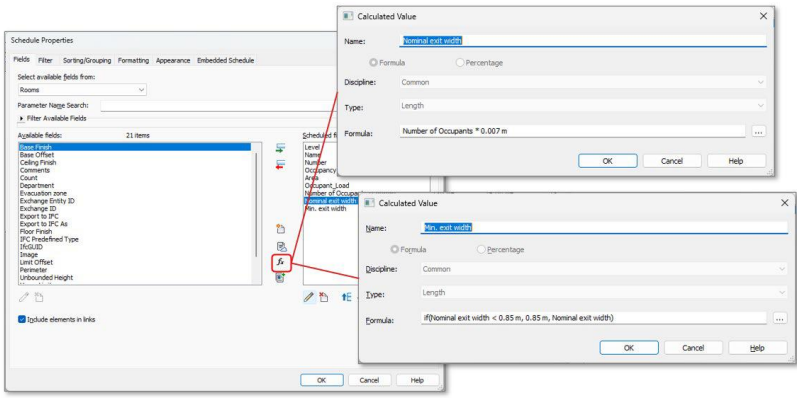
Autodesk Revit: Yangın koruma sistemlerinin 3D modellenmesi, doluluk hesaplamaları ve seyahat mesafesi analizleri için kullanılan temel YBM araçlarındandır. Barındırdığı görsel programlama aracı Dynamo ile çeşitli parametrelerin hesaplamalı şekilde kontrolü ve düzeltilmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 2.7 Revit'te seyahat mesafesi (Path of Travel) fonksiyonu



Şekil 2.8 Revit'teki bir odadaki kişi sayısını gösteren doluluk programı



Şekil 2.9 Revit'te kapı genişliği hesap parametreleri. (Peter Thompson)

Revit ve diğer YBM yazarlık araçları, modelleme becerisi, çakışma tespiti, görsel programlama hizmeti, otomatik kod kontrolü, diğer yazılımlara veri entegrasyonu, eklenti zenginlikleri ve yaygın kullanım seviyesi özelliklerine göre incelenerek karşılaştırma tablosunda sunulmuştur (Tablo 2.7).

Tablo 2.6 YBM yazılımlarının yangın güvenliği odaklı karşılaştırması

KRİTERLER	Autodesk Revit	Graphisoft ArchiCAD	Bentley OpenBuildings
1. Modelleme Becerisi	Yüksek: "Family" editörü ile kod bilmeden parametrik yangın elemanları (kapı, dolap) üretilebilir. Tesisat (Sistem) mantığı güçlüdür.	Orta: Parametrik obje üretimi için GDL kodlama dili bilgisi gerektirir. Tesisat modellemesi daha çok geometrik odaklıdır.	Yüksek (Karmaşık: basit bina bileşenleri için arayüzü ve katalog yapısı karmaşıktır.
2. Çakışma Tespiti	Temel Seviye: Dahili "Interference Check" aracı vardır geometrik çakışmaları bulur.	Temel Seviye: "Collision Detection" aracı mevcuttur. Basit çakışmaları raporlar.	Temel Seviye: Kendi içinde çakışma kontrolü yapar ancak detaylı yönetim için yetersizdir.
3. Görsel Programlama	Dynamo (Yerleşik): Yangın parametrelerini (Fire Rating) toplu atamak için mükemmeldir. Ek yazılım gerektirmez.	Grasshopper (Bağlantı): Rhino-Grasshopper bağlantısı gerektirir. İki ayrı yazılımın çalışmasını zorunlu kılar.	GenerativeComponents: öğrenme eğrisi çok diktir ve az kaynak bulunur.

Tablo 2.6 YBM yazılımlarının yangın güvenliği odaklı karşılaştırması(devamı)

4. Otomatik Kod Kontrolü	"Path of Travel" aracı ile kaçış mesafesi/süresi kontrolünü yerleşik olarak yapar.	Yerleşik bir kural denetim aracı yoktur. Manuel ölçüm veya eklenti gerekir.	Yok: Yerleşik kod kontrolü yoktur. (Simülasyon odaklıdır).
5. Veri Entegrasyonu*)*	İyi: IFC sertifikalıdır. Diğer Autodesk ürünleriyle (Navisworks, CFD) entegredir.	Çok İyi: IFC veri kaybı en az olan yazılımdır.	İyi: Büyük veri setlerini ve farklı formatları yönetmekte başarılıdır.
6. Eklenti Barındırma	Çok Yüksek: Yangın eklentileri (AutoSPRINK, HydraCAD)	Orta: Eklenti sayısı Revit'e göre azdır. Genelde IFC üzerinden çalışılır.	Düşük: Altyapı odaklı olduğu için bina yangın güvenliği eklentileri kısıtlıdır.
7. Kullanım Yaygınlık Durumu	Yüksek	Orta	Düşük

- **Otomatik Kod Kontrolü ve Model Denetim Araçları**

Standartlara uygunluğun hızla denetlenebilmesi için manuel kontrollerdeki hataların önüne geçmek amacıyla kural tabanlı otomatik kontrol yazılımları geliştirilmiştir. Bu araçlar, yangın güvenliği düzenlemeleri gibi karmaşık kuralları model üzerinde otomatik olarak test etmekte aynı zamanda geometrik olmayan veri kalitesini doğrulamaktadır.

Solibri Model Checker (SMC): Nemetschek şirketi tarafından geliştirilen ve sektörde en yaygın kullanılan otomatik kod kontrolü çözümlerinden biridir. IFC modellerini içe aktararak çakışma tespiti, erişilebilirlik kontrolleri ve kural tabanlı yönetmelik denetimi yapabilmektedir. Yangın güvenliği bağlamında, kaçış yollarındaki engelleri tespit etmek veya kapı genişliklerini yönetmeliklere göre kontrol etmek için kullanılsa da türetilmiş verilerin (örneğin malzeme özelliğinden alev yayılma sınıfının türetilmesi) işlenmesinde kısıtlı yeteneklere sahiptir.

dRofus: Yine Nemetschek grubuna ait olan bu yazılım, mekansal program gereksinimlerinin planlanması için kullanılan bir veri tabanı aracıdır. Yangın güvenliği bağlamında geometrik kontrollerden ziyade veri kalitesi ve gereksinim yönetimine odaklanmaktadır.

FORNAX: novaCITYNETS tarafından geliştirilen ve özellikle otomatik kod kontrolü üzerine odaklanmış ticari bir araçtır. Karmaşık geometrik kontrolleri yapabilme ve API desteği ile özelleştirilmiş kurallar oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Yangın güvenliği açısından, geometrik nesnelerin analizi ve yangın damperlerinin konum kontrolü gibi işlemlerde kullanılabilmektedir.

BIM Assure: Invicara tarafından geliştirilen, model verilerinin varlığını ve kalitesini denetleyen bulut tabanlı bir model kalite kontrol aracıdır. Kod kontrolünden ziyade veri bütünlüğü denetiminde kullanılır.

Ayrıca YBM ortamında parametrik tasarım ve kural tabanlı denetim süreçlerini otomatize etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan Autodesk Revit için geliştirilmiş, yazılımın kendi arayüzü içinde bulunan Dynamo, ya da Grasshopper gibi Rhino ile harici bağlantı kurularak kullanılabilen görsel programlama araçları da yangın güvenliğinin kontrolü için elverişli araçlardır.

- **Analiz ve Simülasyon Uygulamaları**

Özellikle performansa dayalı tasarım yaklaşımlarında; dumanın yayılımı, insanların tahliyesi ve mekanik sistemlerin davranışı gibi dinamik süreçlerin test edilmesi gerekmektedir. YBM ortamından elde edilen verileri yangın dinamiği, duman kontrolü, insan tahliyesi ve disiplinler arası koordinasyon analizlerini gerçekleştiren çok sayıda harici yazılım ve simülasyon araçları mevcuttur.

Pathfinder: Thunderhead Engineering tarafından geliştirilen, insan tahliye davranışını modelleyen ajan tabanlı bir simülasyon aracıdır. Geometriyi temsil etmek için navigasyon ağı (navigation mesh) kullanır ve YBM formatlarının aktarılmasını destekler. Görsel çıktı vermesi ve yönetmelik uyumluluğu analizlerinde kullanılmasıyla öne çıkar.

PyroSim: NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından geliştirilen ve yangın kaynaklı akışları modelleyen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) motoru FDS (Fire Dynamics Simulator) için geliştirilmiş grafiksel bir arayüzdür. YBM modellerini geometri olarak içe aktararak, sanal ortamda yangın gelişimi ve duman davranışını simüle etmek için kullanılır.

CYPEFIRE: NIST tarafından geliştirilen Yangın Dinamiği Simülasyonu (FDS) motorunu kullanan bir analiz aracıdır. YBM modellerini geometrik altlık olarak kullanarak yangın yükünü hesaplayabilmekte, yangın güvenliği gereksinimlerini parametrik olarak kontrol edebilmektedir.

CONTAM ve Ventus: NIST tarafından geliştirilen CONTAM, bina içi hava kalitesi, duman kontrolü ve basınçlandırma analizleri yapan hava akış modelleme yazılımıdır. Ventus ise CONTAM motorunu kullanan, YBM verileriyle çalışmayı kolaylaştıran ve analiz sonuçlarını görselleştiren 3D bir arayüzdür.

MassMotion: Arup tarafından geliştirilen, kalabalık simülasyonu ve karmaşık insan çıkış davranışlarını modelleyen ileri düzey bir yazılımdır. YBM verileriyle doğrudan çalışabilmekte olup, özellikle havalimanı ve metro gibi büyük ölçekli projelerin karmaşık tahliye senaryolarını analiz etmekte kullanılır.

Autodesk Navisworks: Farklı disiplinlerden (mimari, mekanik, elektrik, yangın) gelen modelleri tek bir çatı altında birleştirerek geometrik çakışma tespiti ve koordinasyon analizi yapmak için kullanılan denetim aracıdır.

- **Doğrudan YBM Yazılımlarına Entegre Olan Eklentiler**

Dosya transferi gerektirmeden, doğrudan ana yazılımın arayüzü içinde çalışan eklentiler ise YBM modelindeki veriyi anlık olarak işleyerek hidrolik hesaplamalar, sprinkler yerleşimi ve boru sistemi optimizasyonu gibi uzmanlık gerektiren işlemleri tasarım süreciyle eş zamanlı olarak gerçekleştirmektedir.

SprinkCAD: Autodesk Revit ve AutoCAD platformları için geliştirilmiş kapsamlı bir yangın tesisatı çözümüdür. Revit arayüzü içerisinde çalışarak, yangın söndürme boruları ve sprinkler sistemlerinin 3 boyutlu tasarımını, hidrolik hesaplamalarını ve malzeme listesi dökümlerini otomatikleştirir.

AutoSprink: Hem bağımsız hem de Revit ile tam entegre çalışabilen akıllı obje tabanlı bir tasarım ve analiz eklentisidir. Mevcut sistemlerin hidrolik hesaplamalarını eş zamanlı yaparak imalat detaylarını model üzerinde oluşturur.

HydraCAD: Yangın tesisatı sektöründe yaygın kullanılan, boru düzeni, sprinkler başlığı tasarımı ve hidrolik hesaplamalar için geliştirilmiş bir yazılımdır. Revit ve AutoCAD üzerinde eklenti olarak çalışarak, çizim ve hesaplama süreçleri arasındaki veri tutarlılığını sağlar.

- **Gelişmekte Olan Teknolojiler ve Yapay Zekâ Araçları**

Teknolojideki ilerlemeler doğrultusunda yangın güvenliği için kullanılabilecek, gelişmekte olan birçok araç mevcuttur.

CodeComply: Bina planlarını tarayarak yangın güvenliği kodlarına uygunluğu otomatik olarak denetleyen yapay zekâ tabanlı bir araçtır

Autodesk Tandem: Binaların dijital ikizlerini oluşturarak, sensörlerden gelen gerçek zamanlı verilerle (örneğin yangın anında ısı sensörleri) performans izleme ve risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanır.

Ayrıca Yangın anında sensörlerden gelen veriyi YBM modeliyle işleyerek, dijital tabelalar aracılığıyla insanları en güvenli çıkışa yönlendiren YBM Kontrollü Tabela sistemi geliştirilmektedir.

İnşaat sektöründe kullanılmakta olan mevcut bazı yazılım ve eklentiler Kincelova vd (2019) tarafından Yangın Güvenliği ve YBM Kriterlerine göre tablo halinde karşılaştırılmıştır (Tablo 2.8).

Tablo 2.7 Mevcut yazılım ve eklentilerin yangın güvenliği ve YBM kriterlerine göre karşılaştırılması (Kincelova, 2019)

		OTOMATİK KONTROL				**Yangın Mühendisliği**		**Görsel Programlama**
Kriterler		**Solibri Model Checker**	**FORNAX**	**dRofus**	**BIMAssure**	**CYPEFIRE**	**Autodesk CFD**	**Dynamo, Grasshoper**
YANGIN GÜVENLİĞİ	Başka bir kuralın sonucunu kullanma	X	_	X	X	☑	X	☑
	Malzeme özelliğine dayalı alev yayılma derecesi	☑	☑	X	☑	☑	X	☑
	Yangın dayanım sınıfı (Fire-resistance rating)	☑	☑	X	☑	X	X	☑
	Yangın damperleri konum kontrolü	X	☑	X	X	☑	X	☑
	Kompartıman/Bölüm oluşturma	☑ (karmaşık input)	☑	X	X	☑	☑	☑
	İki yangın ayrımının sürekliliği	☑	☑	X	X	☑	☑	☑
	Yangın ayrımı açıklık kontrolü	☑	☑	☑	X	☑	☑	☑
	Kompartıman yangın yükü hesabı	X	_	X	X	☑	X	☑

Tablo 2.7 Mevcut yazılım ve eklentilerin yangın güvenliği ve YBM kriterlerine göre karşılaştırılması (Devamı)

YBM	IFC uyumluluğu	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑YBM yazılımı aracılığıyla
	Doğrudan değişiklik yapabilme imkânı	X	_	☑	☑geometrik olmayan parametreler	X	X	☑
	Modele eksik bilgi ekleme imkânı	X	☑	☑	_	X	X	☑YBM yazılımı aracılığıyla
	Erişilebilirlik (Kodlama bilmeyenler için)	☑	X	☑	☑	☑	☑	☑
	Yangın normlarına uygunluk raporlaması	☑	☑	X	☑	X	X	☑
	Kural oluşturma esnekliği	X	☑	X	X	X	X	☑

2.4. Literatürdeki Çalışmalar

Ulusal ve uluslararası literatürde YBM ve yangın güvenliği entegrasyonu için geliştirilen, kurtarma ekiplerinin, kullanıcıların, inşaat erken evresindeki tüm paydaşların, erken tasarım evresinde tasarımcıların kullanımına sunulabileceği modellerin oluşturulduğu ve değerlendirmelerin yapıldığı çok sayıda akademik çalışma vardır. Yangın kaçış yollarının planlanması, yangın ve personelin konumlandırılması, yangın sahnesi simülasyonlarıyla parametre hesaplamaları ve yangın güvenliği sistemlerinin geliştirilmesi gibi uygulamalar mevcuttur. Scopus ve Web of Science veri tabanları üzerinden Yapı Bilgi Modellemesi, yangın güvenliği, yangın kodları anahtar kelimeleri içeren akademik çalışmalar konularına göre derlenerek incelenmiştir.

2.4.1 YBM ve Yangın Güvenliği Entegrasyonu

Rüppel ve diğerleri (2010), acil kurtarma ekiplerinin karmaşık bir binadaki bir yere en kısa yolu bulmalarına yardımcı olabilecek, ekiplere binanın içindeyken yakın çevreleri hakkında bilgi sağlamak için YBM ile entegre edilen bir sistem geliştirmiştir. Li ve arkadaşları (2014) ise oda düzeyinde konum belirleyen, yangın anında ilk müdahale ekiplerini ve mahsur kalanları bulmak için geometrik bilgiler sağlayan EASBL adlı YBM ile bütünleşmiş bir algoritma geliştirmiş, P. Abolghasemzadeh (2013) çalışmasında, bir binadaki yangın durumunda, sakinlerin çeşitli çevresel koşullara tepkilerini dikkate alarak farklı bina kullanıcılarının her biri için uygun çıkış yolunu hesaplamaktadır. YBM ortamına entegre ettiği özel bir yön bulma algoritması ile dijital bina modeline doğrudan erişim sağlamış ve her çıkış senaryosu için uygun sayısal yangın simülasyonlarının sonuçlarını kullanarak çıkış analizleri oluşturmuştur. Guofeng Ma, Zhijiang Wu (2020) çalışmalarında yine bina kullanıcılarının davranış kararlarını dikkate alan bir yangın acil durum yönetim sistemi üretmiştir. YBM ortamında üretilen bu sistem, bina yangınlarının dinamik izlenmesini, yangın kategorisinin değerlendirilmesini, kullanıcıların konumlarını ve yangın noktalarını üç boyutlu bir modelde görüntüleme yeteneğine sahiptir. Bu çalışmalar acil durum tepkilerini ve tahliyeyi iyileştirmek için YBM'in potansiyelini göstermektedir. Khan ve arkadaşları (2020) Yapı Bilgi Modellemesi ve görsel programlama dillerini birleştirerek taşınabilir yangın söndürme cihazlarının yerleşimini ve tahliye rotalarını otomatik olarak planlayan bir sistem

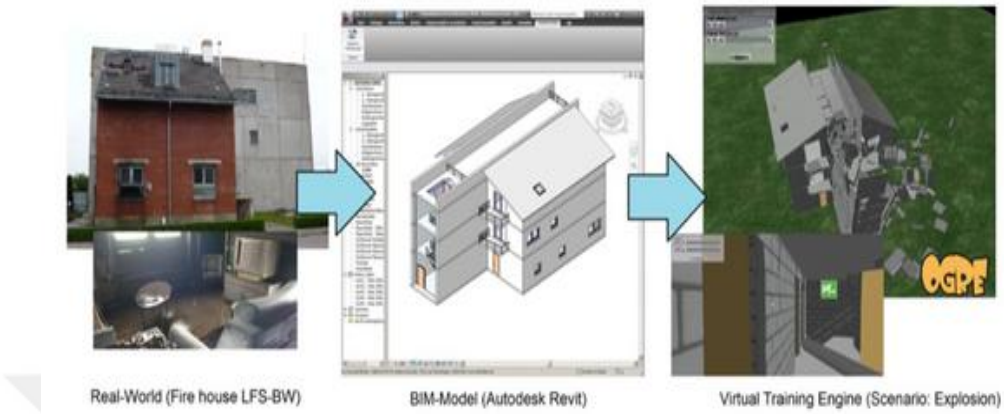
sunmuşlardır. Sun, Q. Turkan, Y. Fischer, E. (2022) çalışmalarında, inşaat halindeki binalardaki yangınları simüle etmek ve riskleri değerlendirmek için Dört Boyutlu (4D) (3D + zaman) YBM ile Yangın Dinamik Simülatörü (FDS) aracını kullanan bir modelleme çözümü önermiştir. Böylece, inşaat katılımcılarının yangın risklerini anlamalarına ve belirlemelerine yardımcı olarak YBM in inşaat projesinin erken aşamalarında yangın emniyetine katkı sağlayacağını öngörmüştür. Walter, J. Diaz, J, (2024) Makalesinde bir binanın dijital modelinin temsili üzerinden geometrisi, malzemeleri ve nesneler arasındaki ilişkilerini tanımlandığında IFC ile kompartmanlamanın dijital olarak yönetilebileceğini göstermiştir. Kincelova, K. & diğerleri (2019) farklı araçların potansiyelini karşılaştırarak YBM' de yangın güvenliği entegrasyonunun sınırlarını gösterdikleri makalede yangın koruma bağlamında bina modellerinin semantiğinden yararlanma açısından daha fazla gelişime ihtiyaç olduğuna dikkat çekmiştir. Kong, L ve arkadaşları (2022) yine bu konudaki araştırmaları ve uygulamalarını incelerken Yangın acil durum yönetimi sürecinin otomatik kontrolü için bilgi alışverişi gereksinimlerini olduğunu kanıtlayarak bu gereksinimi karşılamak üzere mevcut IFC veri modelinin genişletilmesi üzerine çalışmışlardır.

Yangın Koruma Mühendisleri Derneği olan SFPE Vakfı tarafından yayınlanan kapsamlı kullanıcı kılavuzunda (Roth, 2024), yangın mühendisliği paydaşlarıyla yapılan görüşmeler ışığında, mevcut iş akışlarındaki temel sorunun geometri eksiklikleri ve veri kaybı olduğu vurgulanmıştır. Çalışma, IFC tabanlı veri alışverişindeki bu kısıtlamaların aşılması için API tabanlı doğrudan entegrasyonların önemine dikkat çekerken; gelecekteki iş akışlarının Yapay Zekâ destekli uyumluluk denetimleri ve Dijital İkizler üzerinden şekilleneceğini öngörmektedir

2.4.2 YBM Yazılımlarının Yangın Güvenliğindeki Kullanım Örnekleri

YBM yazılımlarından tasarımcılar arasında yaygın olan Revit uygulaması, yangın güvenliği entegrasyonunda da çokça kullanılmıştır. Sun & Turkan (2020) çalışmasında, Revit ortamında bir gece klübünden çıkan yangını ele alarak YBM'in, yangın simülasyonları ve tahliye planları için etkili bir görselleştirme aracı olarak işlevini vurgulamış ayrıca simülasyon tasarımını yürütmek için etkili bir platform olarak kullanılabilirliğini doğrulamışlardır. Rüppel & Schatz (2011), tahliye simülasyonu ile ilgili araştırmalar kapsamında, çeşitli acil durum

senaryolarında insan davranışını incelemek amacıyla Revit ortamında modelledikleri etkileşimli bir oyun prototipi geliştirmiş, binanın tasarımcıları, yaratıcıları, işletmecileri ve kullanıcıları ile kurtarma ekiplerinin, çeşitli senaryoları YBM ile en kısa sürede simüle edebilmesini sağlamıştır.



Şekil 2.10 Yangın güvenliği oyun prototipi (Rüppel vd, 2011)

Choi vd. (2014) önerdikleri otomatik tahliye düzenlemesi kontrol sisteminde sundukları metodoloji ve senaryoya dayanarak, InSightBIM-Evacuation adında prototip geliştirmiştir. Tahliye modeli kapsamında Revit ortamında her bir ögenin yangına dair özelliklerinin ayrıntılı açıklamaları veya tanımları bulunmaktadır. Bir diğer Hızlı Modelleme ve Etki Değerlendirme Aracı (SEDT), Tang vd. (2021) tarafından, metro istasyonu tasarımcıları için Revit ortamında geliştirilmiş ve DFS (güvenlik için tasarım) ile ilgili veriler ve kriterleri YBM'e entegre edilerek ön tasarım süreci dahil olmak üzere tüm aşamalarda, yangın güvenliğinin işlenebildiğini doğrulamıştır.

Siddiqui ve diğerleri (2021) tarafından yangın güvenliği verilerinin yönetiminin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmada YBM ortamında IFC aracılığıyla bir elemanın (örneğin bir duvarın) sadece geometrik bilgisinin değil, yangın dayanım süresi, yanıcılık özelliği ve tahliye simülasyonu sonuçlarının da modelin içine kaydedilmesi gerekliliği ve YBM in asıl burada önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. Yakhou vd. (2023)'nin bu bağlamda YBM ve tahliye modelleri arasında iki yönlü veri değişimini sağlamak için Prototip olarak geliştirdikleri eklenti Evac4BIM ise Revit'teki mimari verilerin Pathfinder ve PyroSim gibi araçlara aktarımını otomatize ederek; tahliye tasarımı ve değerlendirmesi için gerekli girdi-çıktı süreçlerini hızlandırmayı ve manuel veri kaybını önlemeyi amaçlamaktadır.



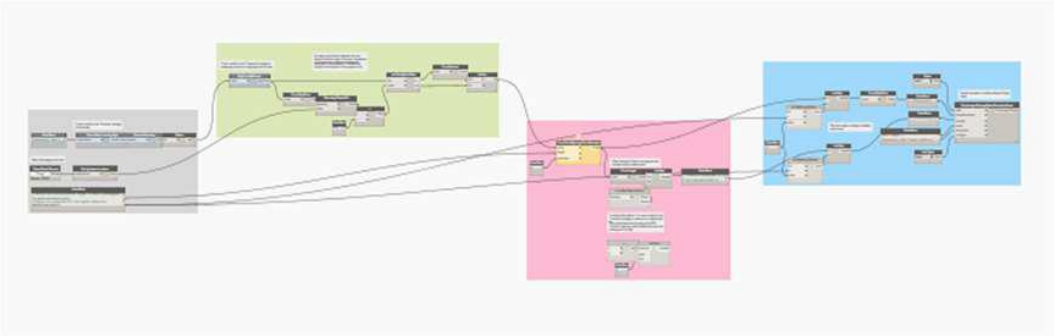
Şekil 2.11 Revit eklentisi Evac4BIM (Yakhou vd., 2023)

Beşiroğlu, Ş., & Serteser, N. (2024) çalışmasında Revitte tasarlanan bir ofis yapısının YBM ortamında CYPEFIRE Design ve FINEFIRE gibi araçlar kullanarak, araçların yangın güvenliği yönetmeliklerine ve EN ISO 9241-11 standartlarına uyumunu değerlendirmiş ve YBM teknolojisinin, yangın emniyeti önlemlerinin projeye entegre edilmesi sürecini hızlandırdığı ve interaktif bir proje yönetimi sağladığı sonucuna varmıştır.

2.4.3 Kod Uyum Kontrolü Örnekleri

Tüm YBM özellikli modelleme programlarında olduğu gibi IFC ile bilgi alışverişi sağlayan Revit aynı zamanda arayüzünde yer alan açık kaynaklı görsel modelleme programı olan Dynamo eklentisi ile kodların parametre olarak kullanıldığı hesaplamalı tasarıma da elverişlidir. Clayton vd(2013) Bina Kodu Uyumluluğu için Otomatik Plan İncelemesi ismiyle yayınladıkları çalışmalarında; bina tasarımlarının, International Building Code (IBC) uyumluluğunu otomatik olarak kontrol eden bir yazılım aracı olan SMARTreview APR™'ı Revit' e entegre etmiş, Uluslararası Bina Kodu'nun (IBC) yangın güvenliği hükümlerine odaklanarak C# yazılımı geliştirmişlerdir.

Harrell & Mathews, (2018) YBM yazılımlarının yangın güvenliği kodlarını otomatik olarak denetleyebilme potansiyelini, dynamo kullanarak İrlanda yönetmeliği üzerinden kanıtlamış, Revit şablon dosyalarının uyumluluk verilerini raporlamak ve tasarım sürecini iyileştirmek için nasıl kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 2.12 Vermeulen'in tahliye yolu analizi komut dosyası (Harrell, 2018)

Kincelova, K ve diğerleri (2020) Dynamo eklentisini kullanarak Kanada Ulusal Bina Kodu (NBCC) özelinde otomatik kod denetimi üzerine çalışmışlar ve kural kontrolü için asıl zorluğun modelleme standartlarının ve elemanların ayrıntı düzeylerinin işlenmesi olduğunu ifade etmişlerdir. Ismail vd. (2023), Malezya yangın güvenliği yönetmeliklerine odaklanan, mevcut otomatik mevzuat denetim sistemlerinin karmaşıklığına karşın metinlerin bilgisayarların anlayabileceği kurallara dönüştürmek için kullanılan RASE metodu ile kullanıcı dostu ve şeffaf bir Otomatik Kod Uyumluluk Denetimi sistemi geliştirmiştir. Yangın kapıları ve merdivenler üzerinde prototipi test edilen sistem, uzmanlar tarafından yapılan doğrulamada yüksek kullanılabilirlik ve doğruluk puanlarına ulaşarak, tasarımcıların kural tabanına erişebildiği ve insan-makine iş birliğini temel alan pratik bir çözüm sunmuştur. Xu vd. (2025) yine Dynamo tabanlı görsel programlama ile YBM mimari modellerinde yangın yönetmeliği kontrollerini otomatikleştirmek için Çin bina yangın yönetmeliği 7.4.7 maddesindeki tahliye genişliği verilerine göre model verilerinin uyumluluğunu denetlemişler ve YBM ortamında yangına güvenli mimari tasarım incelenmesinin kısa sürede doğrulanabilir hale getirildiğini kanıtlamışlardır. Wang vd (2023), binaların yangın güvenliği yönetmeliklerine uygunluğunu denetlemek için YBM (Yapı Bilgi Modellemesi) ve NLP (Doğal Dil İşleme) tekniklerini birlikte kullanarak yeni bir otomatik uyum kontrolü çerçevesi geliştirmiştir. Bigdeli vd. (2025), ise çalışmalarında metin tabanlı değil, binanın geometrik özelliklerinden yola çıkarak eksik anlamsal veriyi (bir kapının "yangın çıkışı" olup olmadığını) tahmin eden bir Makine Öğrenimi yöntemi önermektedir. Böylece Revit kullanarak düşük LOD seviyesindeki modelde manuel veri girişine gerek duyulmadan yangın güvenliği yönetmeliklerine uyumun otomatik kontrolünü sağlamışlardır.

Literatür taramasında yer alan çalışmalar incelendiğinde yangın güvenliğinin ve denetimlerin dijitalleşmesi sürecinde, YBM' nin yangın güvenliğinde yüksek bir potansiyel taşıdığı görülmekle birlikte, görsel programlama ve verileri anlamsal zenginleştirme gibi tekniklerin manuel yöntemlere kıyasla hız ve doğruluk sağladığı kanıtlanmıştır. Mevcut çalışmaların ağırlıklı olarak tahliye simülasyonlarına odaklandığı, otomatik kod kontrolü üzerine yapılan çalışmaların ise tekil yönetmelik maddelerinin statik kontrolüne odaklandığı görülmüştür. Bu bağlamda, YBM araçlarının ve standartlarının yapı yaşam döngüsündeki veri sürekliliğini kesintiye uğratan kısıtlılıklarının; gelişmiş teknolojiler kullanarak iyileştirilmesi ile, yangın güvenliğinin tasarımdan işletmeye kadar yönetilebilir, şeffaf ve sürdürülebilir bir süreç otomasyonuna dönüştürülmesi gerekmektedir.

Mevcut YBM uygulama planlarının yangın güvenliği özelinde incelenmesi sonucunda ise gereken altyapıyı oluşturan mevcut standartların yangın güvenliği odağında birleştirilerek yapının tüm yaşam döngüsünde kesintisiz veri akışı sağlayan entegre bir uygulama modeline ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Çalışmalarda modelleme sürecinde YBM aracı olarak büyük oranda Autodesk Revit'in tercih edildiği tespit edilmiştir. Revit; detay seviyesinin artmasıyla oluşan dosya boyutu fazlalığı ve IFC veri aktarımında karşılaşılan geometrik süreklilik gibi sorunlar nedeniyle eleştirilse de (Roth, 2024), sahip olduğu programlanabilir altyapı bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Özellikle Autodesk Platform Services (APS) gibi API'ler sayesinde veri kaybı yaşanmadan eklenti geliştirilebilmesi ve Dynamo görsel programlama aracı ile harici bir yazılıma ihtiyaç duyulmadan otomasyon sağlanabilmesi, Revit'i diğerlerinden ayırmaktadır. Harrel(2018) çalışmasında Vermeluen(2016) in en kısa yol için geliştirdiği dynamo scriptini kullanmıştır ancak günümüzde revit içerisinde yer alan path of travel ile çok daha kısa sürede ve doğru şekilde bu analizler mümkündür.

Bu teknik avantajlar göz önüne alındığında, 3. Bölümde sunulacak olan kural tabanlı otomatik uygunluk denetimi prototipinde ana YBM aracı olarak Revit'in kullanılmasına karar verilmiştir. Farklı senaryolarla test edilen bu teknik altyapı; çalışmanın yönetsel ayağını oluşturan Yangın Güvenliği Odaklı YBM Uygulama Planı Önerisi ile birleştirilecek ve tasarımdan işletmeye uzanan bütüncül bir süreç yönetimi olarak detaylandırılacaktır.

3 YBM Tabanlı Yangın Güvenliği Süreç Yönetimi ve Otomasyon Modeli

Geleneksel mimari tasarım sürecinde yangın güvenliği gereksinimlerden öncelikle yapısal güvenlik ve tahliye sistemleri ele alınmaktadır (Tablo 2.2). Oysa yapı yaşam döngüsünde yangın güvenliği gereksinimlerini bir bütün olarak düşünüp yangın algılama ve söndürme gibi yan disiplinlerin de model tasarımına eklenerek tasarımcıyı beslemesi önemlidir. Literatür, Yapı Bilgi Modellemesi tabanlı süreç yönetimi ile tüm bunların mümkün olduğunu, tasarım evresinden itibaren yangın güvenliğinin uygunluğunun otomatik olarak denetlenebileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım can güvenliği başta olmak üzere, proje sürecinde zaman ve maliyet verimliliğine de katkı sağlayacaktır.

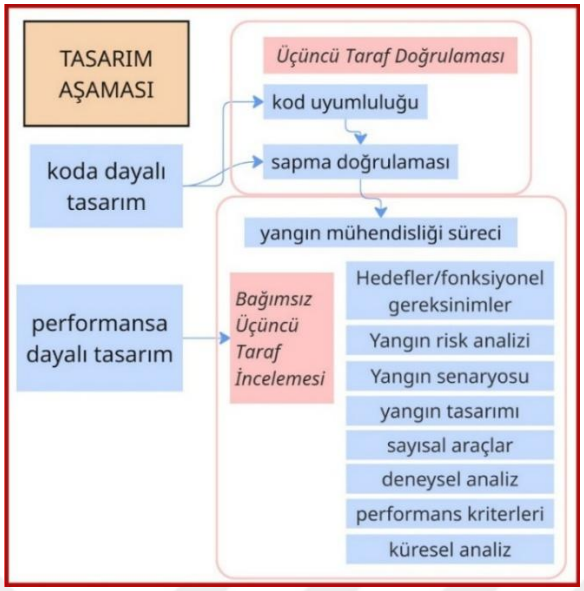
Bu bölümde, Yapı Bilgi Modellemesinin binaların yangın güvenliğindeki rolü temel alınarak hem teknik otomasyonu hem de süreç yönetimini kapsayan bütüncül bir model kurgulanmıştır. Tahliye bileşenleri üzerinden otomatik uygunluk denetimi yapan bir model ve yangın güvenliği parametrelerinin YBM Uygulama Planlarına entegrasyonu için öneri bir çerçeve sunulmuştur.

İlk olarak Revit ortamında mimari tasarımın ilk evrelerinden itibaren pasif önlemlerin modellenmesi ve doğrulanması adımları belirlenmiş, kapsamlı bir otomatik kural denetim sistemi için gerekenler açıklanmıştır.

Ardından kural setinin programlanması ve test edilmesini kapsayan süreçler, örnek bir plan üzerinden kaçış yollarının otomatik denetimi uygulamasıyla doğrulanmıştır.

Son olarak, tüm bu teknik süreçlerin standart bir zemine oturtulması ve yönetilebilir kılınması amacıyla yangın güvenliği odaklı bir YBM Uygulama Planı (BEP) önerisi sunulmuş; hedef belirleme, YBM kullanımları, bilgi değişim gereksinimleri, süreç haritaları ve gereken teknik altyapı ile sorumluluklar detaylandırılmıştır.

3.1 Tasarım Evresinde YBM Tabanlı Yangın Güvenliği



Şekil 3.1 Tasarım evresinde itibaren yangın güvenliği

IFSS-CP Çerçevesine göre Tasarım aşaması, bina yaşam döngüsünün 1. Aşaması olarak tanımlanır ve binanın yangın güvenliği stratejilerinin temelinin atıldığı kritik evredir. Yangın güvenliğinin 5 ortak ilkelerinin uygunluklarının değerlendirilmesini sağlayarak yangın güvenliğinin tüm döngüde başarıyla gerçekleşmesi hedeflenir. Bunun için ideal bir sistem olan yapı bilgi modellemesi iş akışı ile hem kod uyumluluğu hem de performans tabanlı analiz değerlendirmelerinin geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha şeffaf, otomatik ve sürdürülebilir olması mümkündür. YBM tabanlı yangın güvenliği iş akışı, pasif ve aktif sistemlerin entegre edilmesini, disiplinler arası koordinasyonu ve performans tabanlı doğrulamanın model içine dahil edilmesini gerektirmektedir.

Roth (2024) tarafından hazırlanan raporda yer alan YBM tabanlı bir yangın güvenliği süresince izlenmesi gerekenler için önerilenler Revit ortamında mimari tasarıma uyarlandığında şu şekilde sıralanır:

1. Süreç, sadece geometrik veriyi değil, anlamsal veriyi de barındıran zenginleştirilmiş bir model kurulumu ile başlar. Bu aşamada mimari ve mühendislik disiplinlerinin (AEC) ortak bir veri ortamında (CDE) çalışması esastır.

• Akıllı Nesneler Kullanımı: Yangın pompaları, sprinkler başlıkları veya yangın alarmları gibi bileşenler için doğru "aileler" (Revit Families) seçilmelidir. Bu ailelerin aşırı detaylı olması yerine, aşırı geometrik detay (LOD 400) yerine,

bağlantı çapları ve akış hızları gibi kritik bilgi detaylarını (LOI) içermesi performans analizi için önceliklidir.

• Parametrelerin İşlenmesi: Mahallerin fonksiyon bilgileri, duvarların yangın dayanım sınıfları (Örn: REI 60, REI 120) ve malzemelerin yanıcılıkları gibi özellikler model elemanlarına parametre olarak işlenmelidir.

2. Model başka bir yazılıma aktarılmadan önce, Revit'in kendi içindeki analiz ve görsel programlama araçları kullanılmalıdır:

• Seyahat Mesafesi Hesaplayıcı (Path of Travel): Kaçış rotalarını optimize etmek ve en kısa mesafeyi hesaplamak için bu araç kullanılabilir. Engellerin etrafından dolaşarak gerçekçi yürüme yolları çizebilir.

• Dynamo eklentisinin görsel programlama gücüyle otomatik konrol ve görselleştirme sağlanabilir. Doluluk çizelgeleri oluşturularak kişi yoğunlukları görselleştirilebilir ve kapı genişlikleri gibi tahliye bileşenlerinin yönetmeliklere uygunluğu otomatik hesaplatılabilir. Yangın dayanımına sahip duvarlar renk kodlarıyla (örneğin 60 dk duvarlar mor renk) planda otomatik olarak boyanması gibi görsel kontrol sağlanabilir.

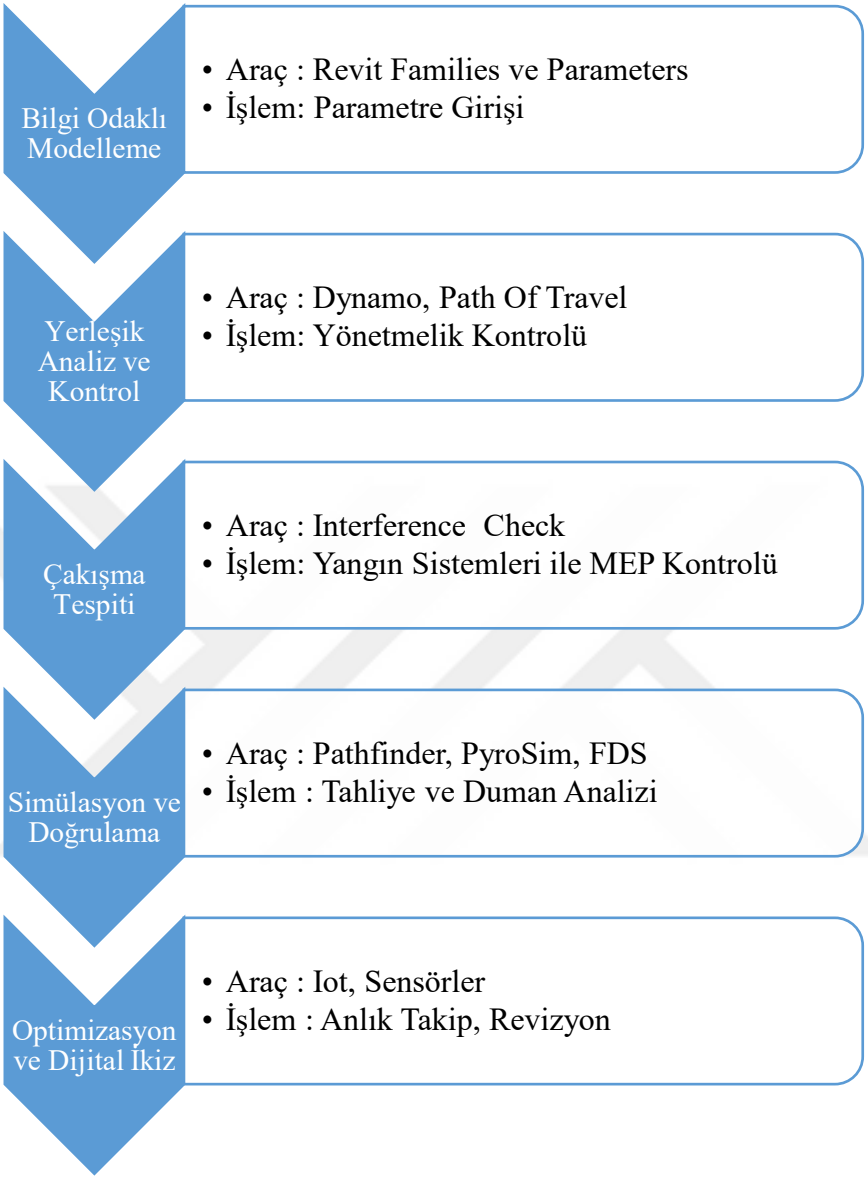
3. Bu çakışma tespiti: Mekanik, elektrik ve tesisat sistemleri ile yangın koruma sistemleri arasındaki fiziksel çakışmalar, henüz tasarım aşamasındayken tespit edilip çözülerek inşaat evresindeyken hatalar minimalize edilir.

4. Simülasyon ve Performans Doğrulama: YBM modelinin, statik kural kontrolünün ötesine geçerek dinamik analizlere tabi tutulması gerekmektedir. Model verileri, IFC formatı aracılığıyla Pathfinder, PyroSim veya FDS (Fire Dynamics Simulator) gibi uzman mühendislik yazılımlarına aktarılır.

- Tahliye Analizi: Kullanıcı yükleri ve kapı genişlikleri baz alınarak, acil durum tahliye süreleri (RSET) ve olası sıkışma noktaları simüle edilir.
- Veri Bütünlüğü: Veri kaybını minimize etmek için Revit eklentileri kullanılarak ya da dynamo scriptleri ile geometri ve doluluk verisinin analiz yazılımına kayıpsız aktarımı sağlanır.

5. Simülasyon sonuçlarına göre gerekiyorsa tasarım revize edilmelidir. (Örneğin merdivenin yerinin değiştirilmesi veya kapı genişliğinin artırılması). İnşaat sonrasında ise bu YBM modeli, sensörlerle entegre edilerek binanın "Dijital

İkizi" haline getirilebilir. Bu sayede yangın anında sensörlerden gelen verilerle en güvenli kaçış rotaları anlık olarak belirlenebilir veya bakım süreçleri yönetilebilir.

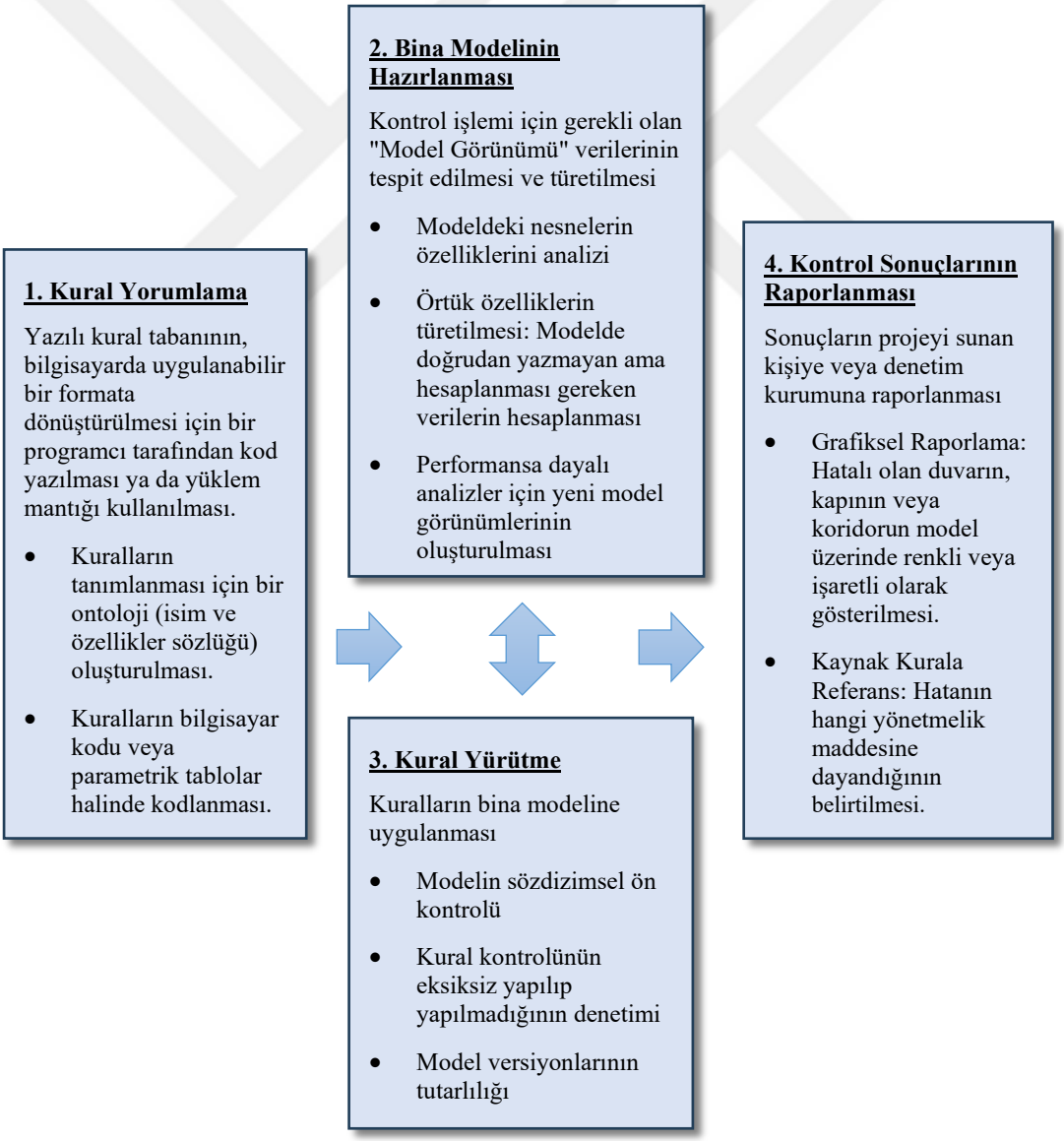


Şekil 3.2 YBM tabanlı yangın güvenliği süreci

Bu çalışmada sunulan yöntem, tasarım modelinin YBM tabanlı Revit ortamında oluşturulmasını temel almaktadır. Modelde farklı bir yazılıma aktarılmaksızın, Revit'in yerleşik analiz ve görsel programlama araçları kullanılarak; tahliye bileşenlerinin pasif yangın güvenlik önlemleri ve ilgili yönetmeliklere uygunluğunun kontrol edilebildiği gösterilmiştir. Bu kapsamda, otel yapısının modeli üzerinden elde edilen verilerle; kaçış mesafelerinin NFPA standartlarına uygunluğu, Revit 'Path of Travel' aracı ve Dynamo entegrasyonu ile doğrulanmıştır.

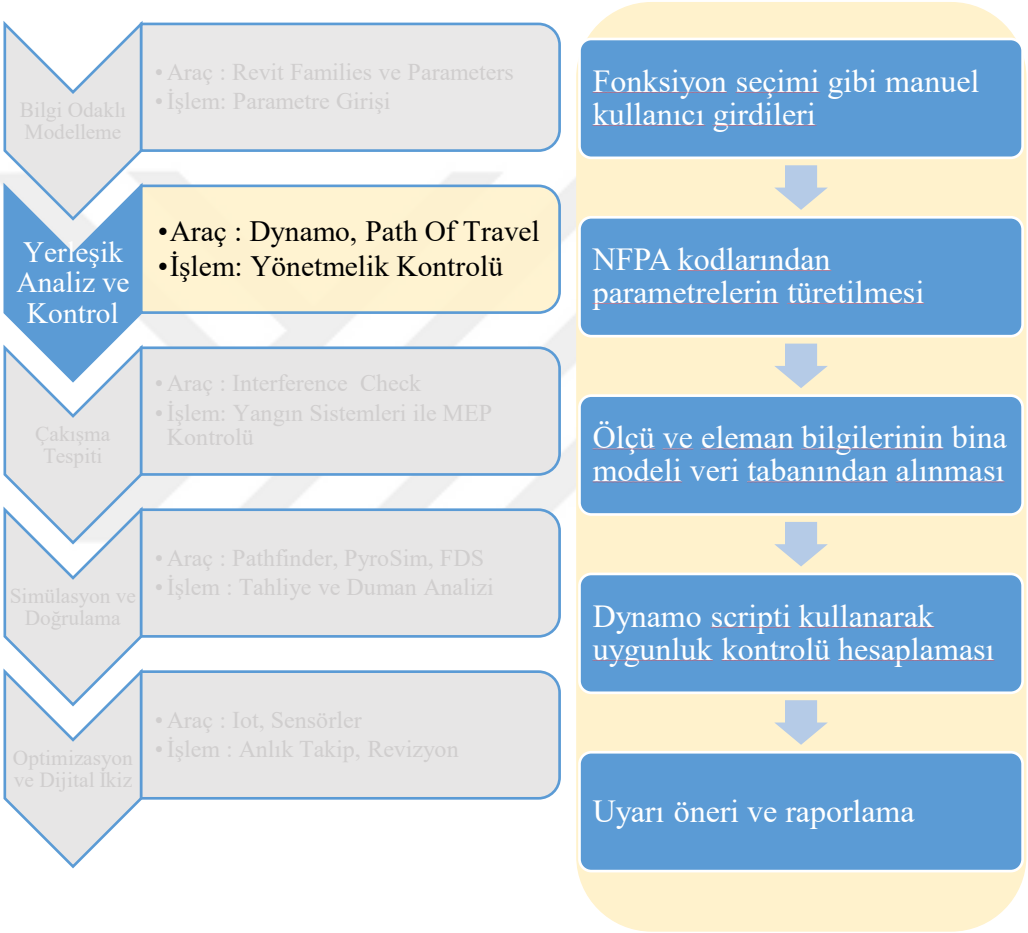
3.2 Sayısal Ortamda Yangın Güvenliği Kontrolü ve Otomasyon

Eastman vd (2009) tarafından kurgulanan çerçeveye göre, kapsamlı bir otomatik kural denetim sistemi birbirini tamamlayan dört temel işlevsellik sınıfı üzerine inşa edilmelidir. Bu süreç, yönetmelik metinlerinin makine tarafından işlenebilir mantıksal algoritmalara ve nesne ontolojilerine dönüştürüldüğü Kural Türetme aşamasıyla başlar; ardından tasarım verilerinin denetime uygun hale getirilmesi amacıyla Model hazırlanarak örtük veriler açık hale getirilir. Hazırlanan verilerin doğruluk kontrollerinden geçirilerek ilgili kurallarla eşleştirildiği ve sürecin yönetildiği Kural Yürütme aşamasının ardından elde edilen analiz sonuçlarının üç boyutlu model üzerinde görselleştirilerek yönetmelik metinlerine atıflarla belgelendiği Raporlama aşamasıyla denetim döngüsü tamamlanır.



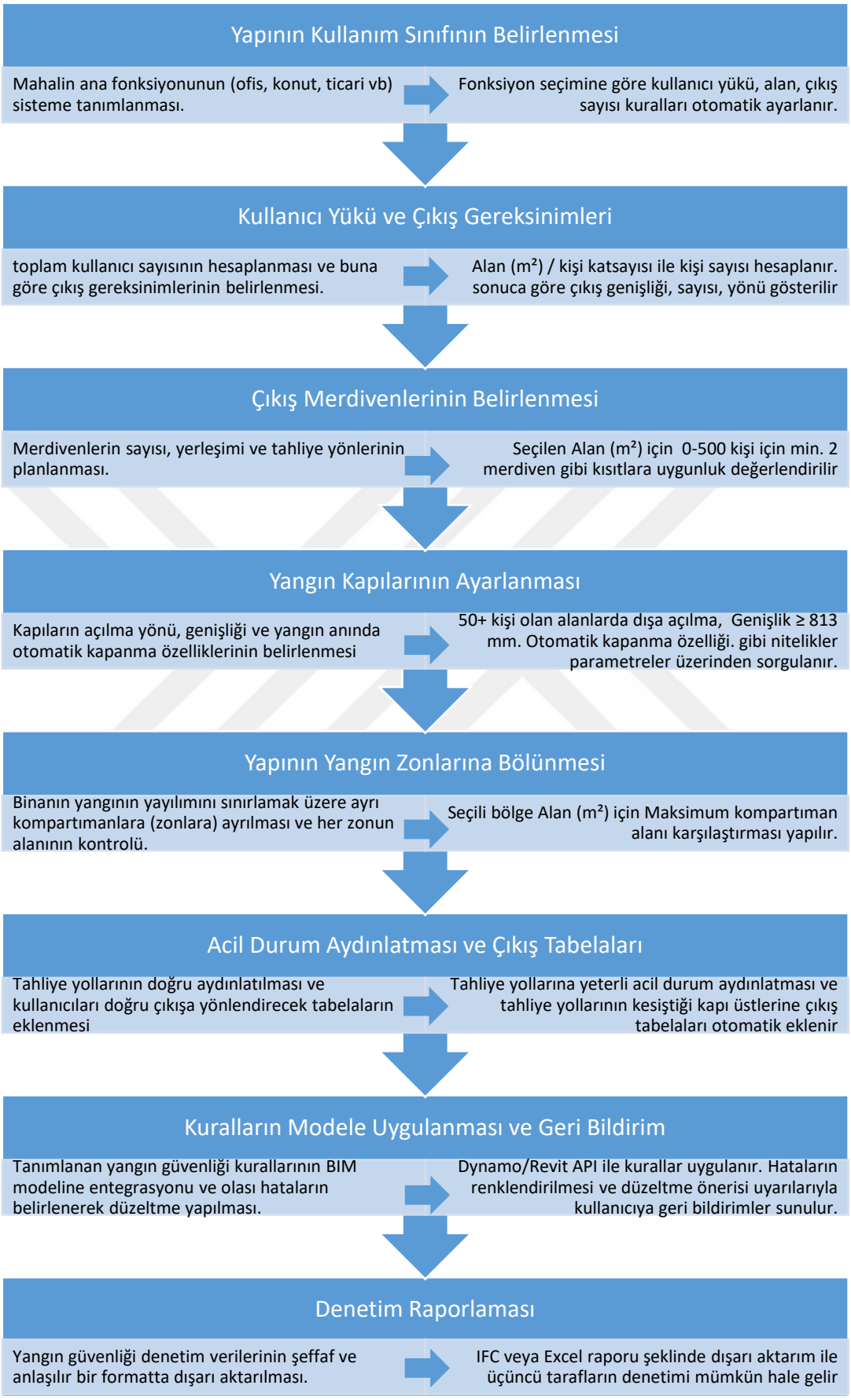
Şekil 3.3 Otomatik kural kontrolünün dört aşaması(Eastman, 2009)

Eastman vd. (2009) tarafından tanımlanan otomatik kural denetim çerçevesi, bu çalışmanın omurgasını oluşturmaktadır. Çalışmada, YBM tabanlı Yangın Güvenliği Tasarım Modülünün işleyişi için: İlk olarak kullanılacak Yönetmelik Kural Seti Belirlenmiş, ardından seçilen kurallar Semantik Parametrelere dönüştürülerek tablolaştırılmıştır. Revit ortamında Modelde Yangın güvenliği tasarımı için gerekli nitelikler için paylaşımlı parametreler tanımlanmış, kontrol adımları belirlenmiş ve son olarak Dynamo eklentisi görsel programlama ve yazılan kodlar ile kaçış mesafeleri üzerinden yangın güvenliğine uygunluğu test edilmiştir.



Şekil 3.4 Yangın güvenliği değerlendirme sistemi akış şeması

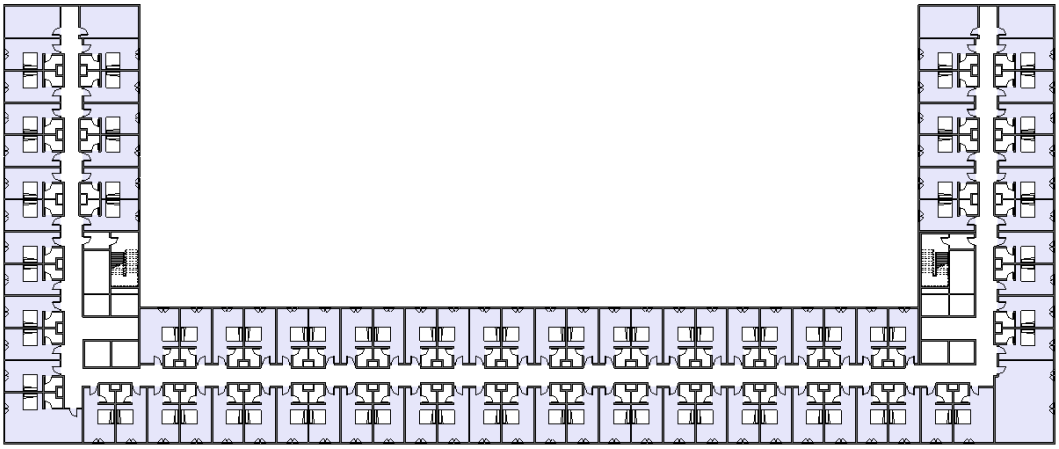
Çalışma kaçış mesafesi doğrulaması özelinde denenmiş olsa da diğer tasarım unsurları için de yangın güvenliği yönetmeliklerine uygunluğunu otomatik olarak denetlemek bu akış şeması ile mümkündür. Örneğin Dynamo scripti, Mahal Alanı'nı okuyabilecek, Fonksiyon seçimi üzerine Kullanıcı Yükü Faktörü ile işlem yaparak gereken çıkış kapasitesini hesaplayarak bu mahale bağlı çıkış sayısı ve genişlikleri yine NFPA kriterlerine göre kontrol ederek uyumsuzluk durumunda kullanıcıya görsel/metinsel uyarı verebilecektir.



Şekil 3.5 Revit ortamında diğer pasif önlemler için modelleme ve doğrulama

3.3 Örnek Plan Üzerinden Kaçış Yolunun Denetimi

Önerilen yöntemin doğrulanması amacıyla, örneklem modeli olarak uzun koridorlu ve tek yangın merdivenli bir otel kat planı tasarımı ele alınmıştır. Bu tipolojinin tercih edilme nedeni; kaçış merdiveni konumu, kullanıcı sayısı, mahal fonksiyonu veya kapı yerleşimi gibi mekânsal organizasyonda yapılacak anlık değişikliklerin, kaçış mesafesi üzerindeki etkilerinin ölçülebilmesidir.

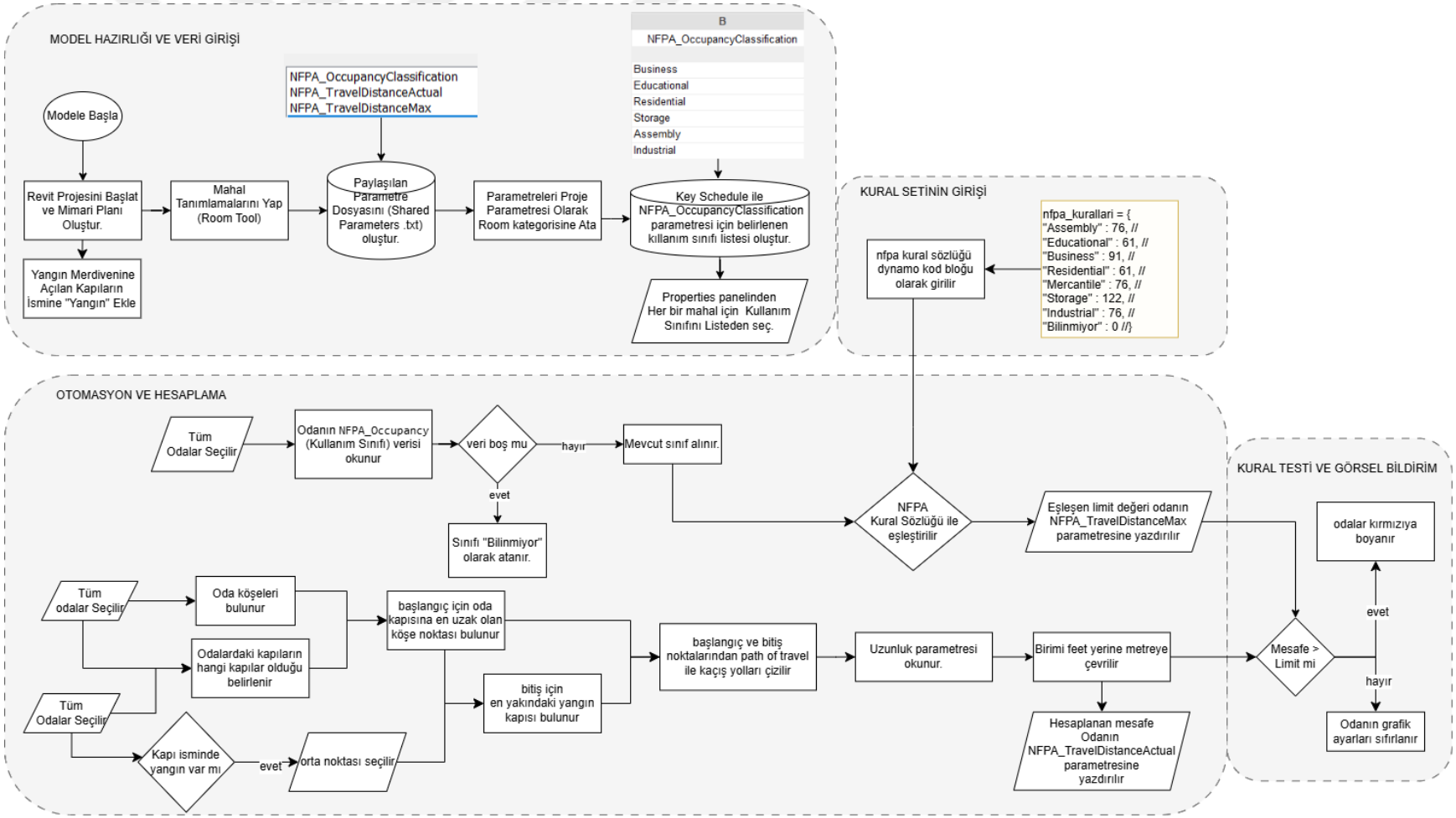


Şekil 3.6 Çalışmada kullanılan örnek kat planı

Çalışma kurgusunda; kullanıcının plan düzleminde mahallerin fonksiyonlarını tanımladığı ve yangın kapılarını belirlediği manuel veri girişi aşamasını, otomasyon algoritmalarının devreye girdiği analiz aşaması takip etmektedir. Sürecin genel akış şeması Şekil 3.7'de sunulmuştur.

Analiz sürecinde Autodesk Revit arayüzünde bulunan "Path of Travel" (Seyahat Yolu) aracı kullanılmıştır. Bu araç, analiz edilen bölgedeki yapısal engelleri (duvar, kolon vb.) algılayarak seçilen iki nokta arasındaki en kısa rotayı hesaplamakta; seyahat mesafesi ve süresini ölçmektedir (Autodesk Help, 2025).

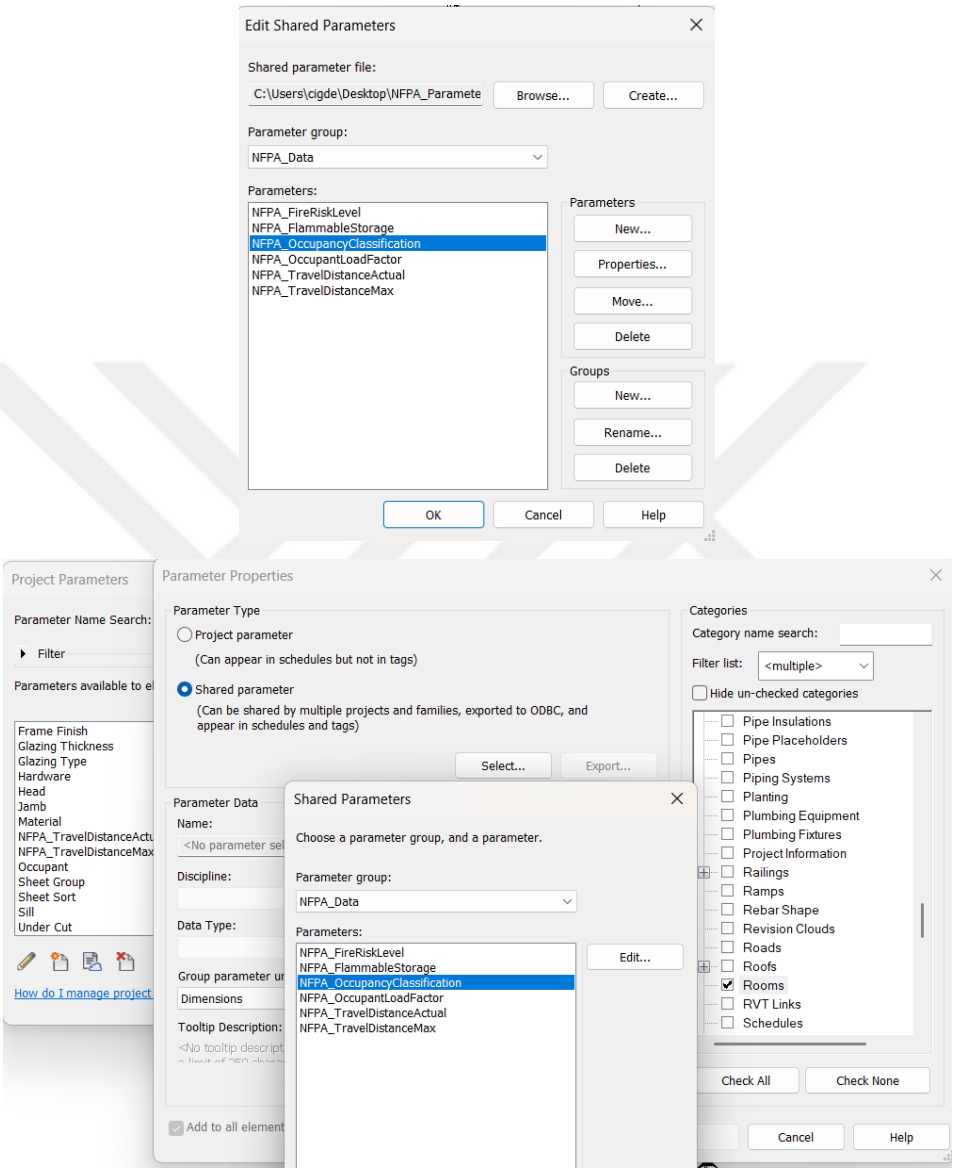
Sistemin otomasyonu için ise görsel programlama aracı Dynamo devreye alınmıştır. Dynamo, tanımlanan paylaşımlı parametreler aracılığıyla Revit'in geometrik verilerini okumakta ve arka planda matematiksel uygunluk kontrollerini gerçekleştirmektedir. Bu süreçte, mekânsal değişikliklerle eş zamanlı güncellenen kaçış rotalarının uzunlukları ölçülmekte (Şekil 3.10) ve yönetmelik sınırlarına uygunluğu test edilerek sonuçlar görsel bildirimlere dönüştürülmektedir. Böylece statik bir hesaplama yerine dinamik bir denetim mekanizması elde edilmiştir.



Şekil 3.7 Manuel giriş ve otomatik hesaplama sürecinin ilişki ve akış şeması

3.3.1 Modele Parametrelerin İşlenmesi

Analiz sürecinin veri tabanını oluşturmak amacıyla, Revit arayüzünde "Paylaşılan Parametreler" (Shared Parameters) tanımlanmış ve bu parametreler proje dosyasındaki "Odalar" (Rooms) kategorisine atanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Paylaşımlı parametrelerin hazırlanarak odalara tanımlanması

Kaçış mesafesi analizlerinde kullanılmak üzere; *NFPA_TravelDistanceMax* (Maksimum Seyahat Mesafesi), *NFPA_TravelDistanceActual* (Gerçekleşen Seyahat Mesafesi) ve *NFPA_OccupancyClassification* (Kullanıcı Sınıfı) parametreleri oluşturulmuştur.

Dynamo ortamında, mahallerin kapıya en uzak noktasını başlangıç; yangın kaçışı olarak nitelendirilen kapıları ise bitiş noktası kabul eden kaçış rotalarının (Path of

Travel) otomatik olarak çizilmesi sağlanmıştır. Bu işlem için özel Python betikleri (scripts) geliştirilmiştir. Algoritmanın hedef kapıları doğru ayırt edebilmesi için, model içerisindeki yangın merdivenine açılan kapıların kullanıcı tarafından önceden "yangın kapısı" olarak tanımlanması bir ön koşuldur..

3.3.2 Kural Setinin Seçimi ve Modele Entegrasyonu

Çalışmada kullanılan kural seti, NFPA 101 standartlarının "Means of Egress" (Kaçış Yolları) bölümü referans alınarak oluşturulmuştur. Bir otel binası için kullanıcı sınıfına dayalı maksimum seyahat mesafesi sınırları derlenerek tablolaştırılmış (Tablo 3.1) ve sayısal veriler bir kural setine dönüştürülmüştür. Hazırlanan bu veri seti, Dynamo algoritmasına Kod Bloğu olarak eklenerek hesaplama sürecine dahil edilmiştir (Şekil 3.9).

Tablo 3.1 NFPA 101 kural seti örneği (sprinklerli bina)

Fonksiyon Tipi	NFPA Sınıfı (Occupancy Class)	İlgil NFPA Bölümü	Maks. Seyahat Mesafesi
Toplantı Odası / Konferans	Assembly (Toplanma)	Bölüm 12/13	76 m
Kafe / Restoran	Assembly (Toplanma)	Bölüm 12/13	76 m
Otel Odası	Residential (Hotel/Dorm)	Bölüm 28/29	99 m
Ofis / Resepsiyon	Business (İş)	Bölüm 38/39	91 m
Depo / Teknik Hacim	Storage (Depolama)	Bölüm 42	122 m

Code Block

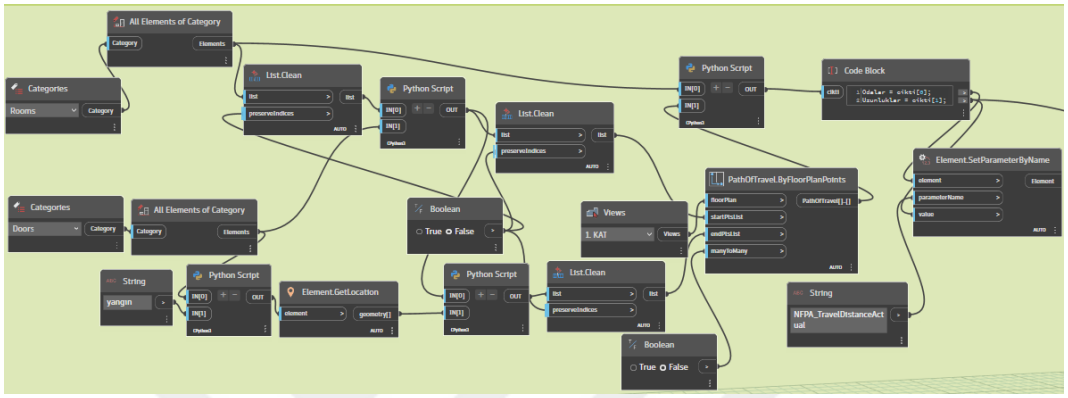
```
// NFPA 101 Kural Seti (Örnek: Sprinklerli Bina - Metre)
// "Kullanım Sınıfı" : Mesafe Limiti

nfpa_kurallari = {
    "Assembly" : 76,      // Toplanma
    "Bilinmiyor" :0,      // Fonksiyon girilmeyen oda
    "Business" : 91,      // İş Yeri
    "Educational" : 61,   // Eğitim
    "Mercantile" : 61,    // Ticari
    "Residential" : 99,   // Konut
    "Storage" : 122,      // Depolama
    "Industrial" : 76     // Endüstriyel
};
```

Şekil 3.9 Yönetmeliğe uygun ölçülerin kod bloğu olarak eklenmesi

3.3.3 Kural Setinin Programlanması

Dynamo görsel programlama ortamında, Revit modelindeki tüm "Odalar" (Rooms) ve otomatik olarak oluşturulan "Hareket Yolları" (Path of Travel) verileri seçilerek işleme alınmıştır. Algoritma, modeldeki hareket yollarını başlangıç noktalarının bulunduğu odalar ile eşleştirmekte; hesaplanan rota uzunluklarını NFPA_TravelDistanceActual parametresine yazdırmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Path of travel, çizgilerinin otomatik oluşturulması ve mesafenin parametreye işlenmesi

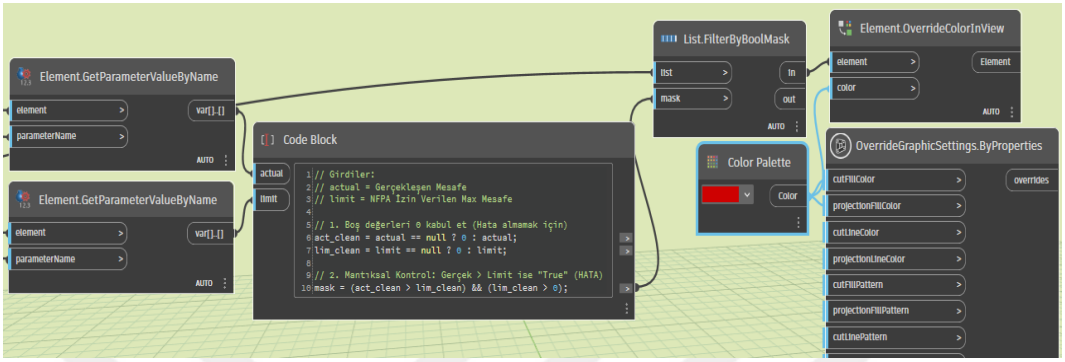
Her bir odanın fonksiyonuna karşılık gelen maksimum kaçış mesafesi sınırlarını belirlemek için, değerlerin manuel girilmesi yerine Dynamo içerisinde "Sözlük" (Dictionary) veri yapısı kullanılmıştır. Yönetmelik verileri, bir tablo formatında kod bloğuna dönüştürülerek algoritmaya entegre edilmiştir. Sistem, odanın kullanım sınıfını (Occupancy Class) okuyarak ilgili sınır değerini bu tablodan otomatik olarak çekmekte ve parametrelere işlemektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Fonksiyona göre maksimum kaçış mesafesi değerinin işlenmesi

3.3.4 Kural setinin test edilmesi

Analiz sonucunda hesaplanan gerçek kaçış mesafesi ile yönetmelik tablosundaki maksimum sınır değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde, uygunluk sağlamayan odalar plan düzleminde otomatik olarak renklendirilmiş; böylece yangın güvenliği denetimi görselleştirilerek otomatize edilmiştir.



Şekil 3.12 Mevcut ile maksimum değerin karşılaştırması ve hata bildirimi

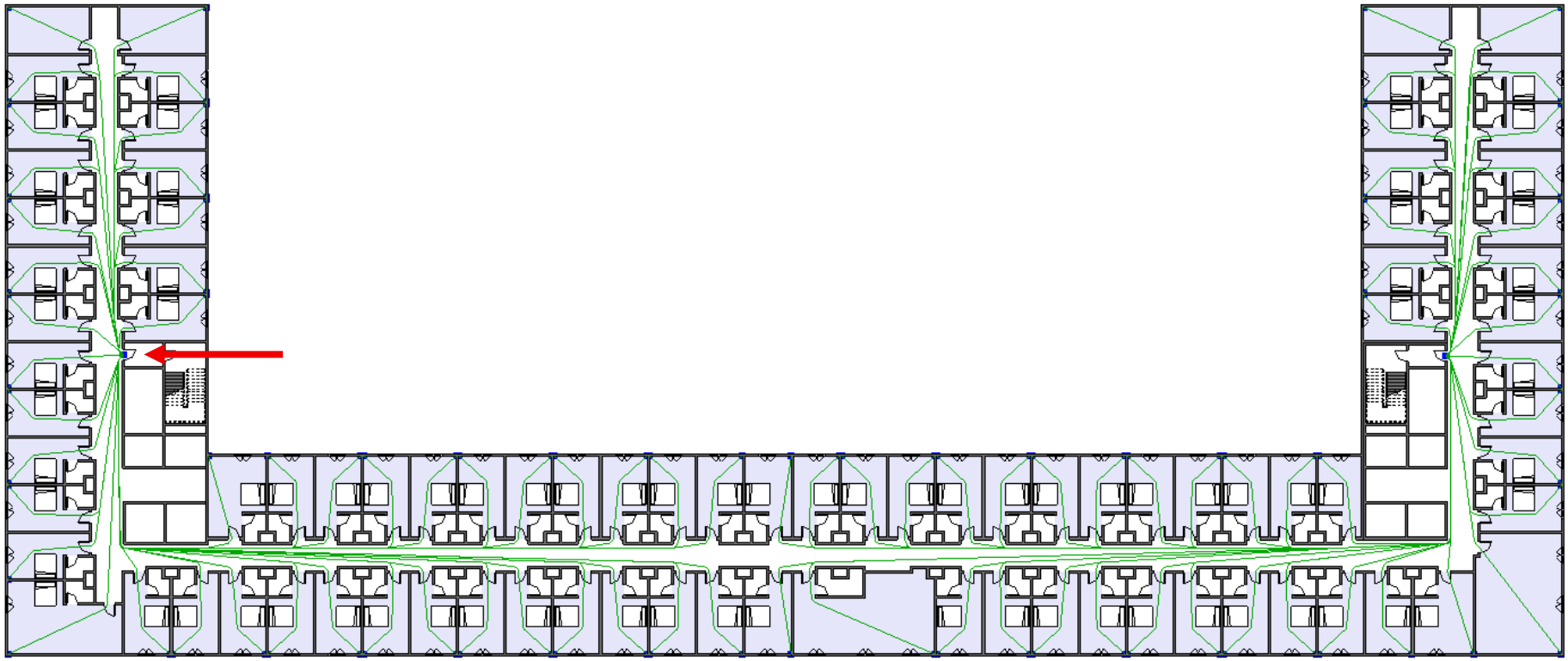
Dynamo arayüzünde kurgulanan görsel programlama sürecinin detaylı akış şeması Ekte sunulmuştur. Sistemin dinamik yapısını test etmek amacıyla farklı senaryolar uygulanmıştır:

1. Yangın Merdiveni Ekleme: Başlangıçta (Şekil 3.13) "uygun değil" uyarısı veren (kırmızı) bir bölgeye yeni bir yangın merdiveni eklendiğinde, *Path of Travel* rotası otomatik olarak güncellenmiş ve mesafe sınıra uygun hale gelerek uyarı rengi kaldırılmıştır (Şekil 3.14).
2. Fonksiyon Değişikliği: Mahallerin kullanım amacı (fonksiyonu) değiştirildiğinde (Şekil 15), sistem yeni fonksiyona ait sınır değerleri tablodan çekerek analizi tekrarlamış ve uygunsuzluk durumunda kullanıcıyı tekrar uyarmıştır (Şekil 3.16).
3. Mekânsal Düzenleme: Bir mahalden koridora açılan ek bir kapı tanımlandığında, kaçış rotası kısalarak güncellenmiş ve denetim süreci anlık olarak sonuç vermiştir (Şekil 3.17).

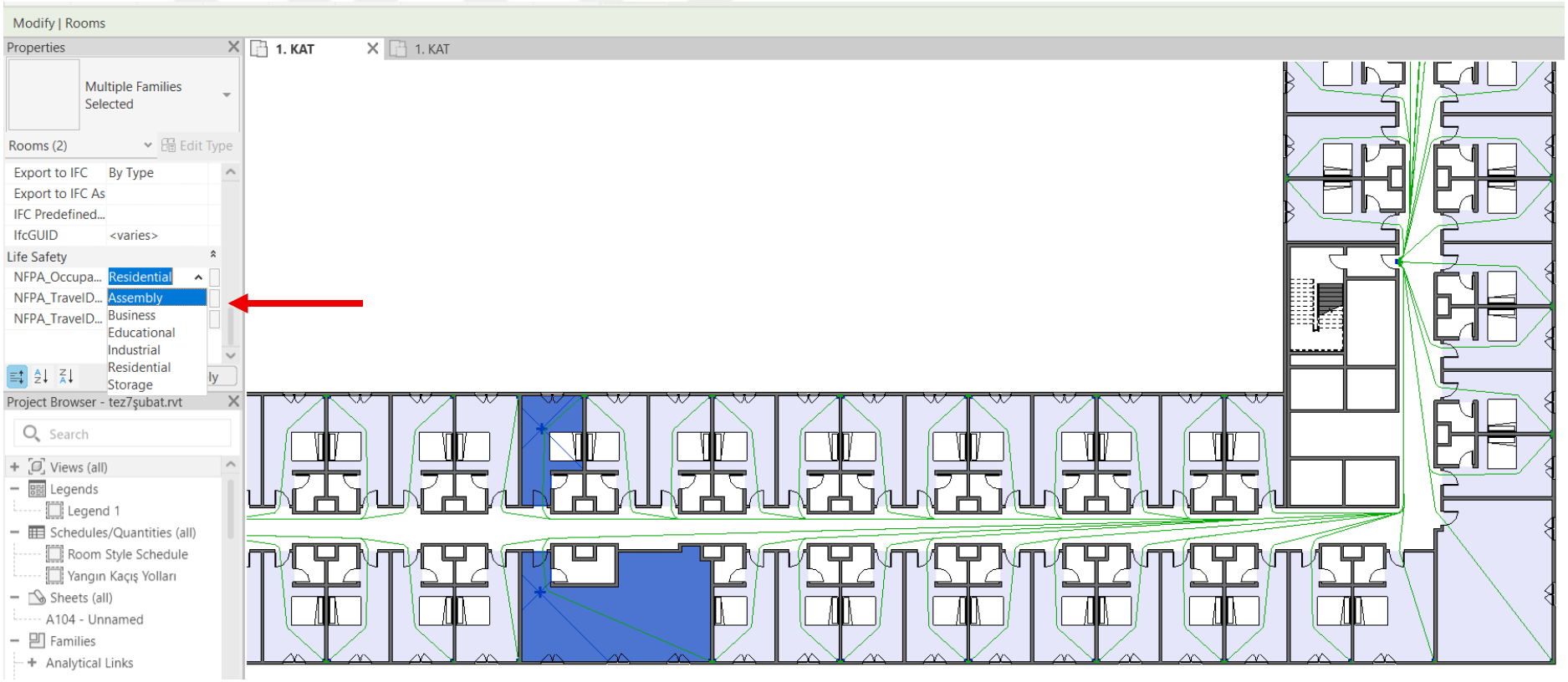
Bu testler sonucunda, geliştirilen sistemin tasarımcıya anlık geri bildirim sağlayan bir karar destek aracı niteliği kazandığı görülmüştür.



Şekil 3.13 Tek yangın merdivenli planda tahliye yolunun oluşturulması



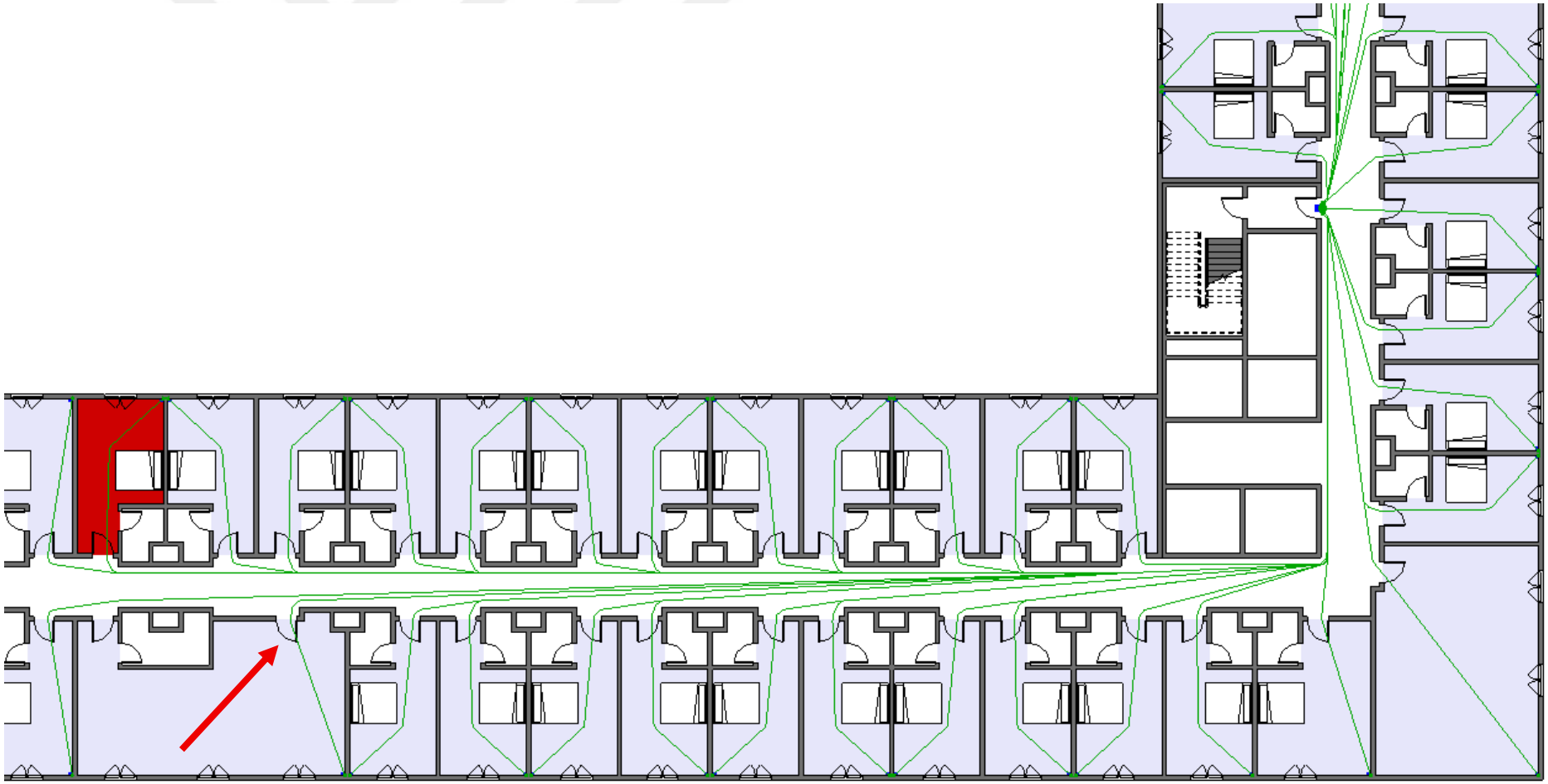
Şekil 3.14 İkinci merdiven eklendiğinde tahliye yolunun güncellenmesi



Şekil 3.15 Mahale ait parametre üzerinden fonksiyon değişimi işlemi



Şekil 3.16 Fonksiyon değişimi işlemiyle güncel değerlendirme sonucu



Şekil 3.17 Mahale çıkış eklendiğinde güncel değerlendirme sonucu

Örnek plan üzerinden test edilen uygulama ile, kaçış mesafesi üzerinden yangın güvenliği kurallarının YBM (Revit) ortamında yerleşik özellikler kullanarak veri kaybı yaşanmadan kısa sürede otomatik olarak denetlenebildiği ve tasarımcıya erken evrede anlık geri bildirim sağlayan dinamik bir karar destek sisteminin çalışabilirliği kanıtlanmıştır.

Çalışmanın teknik uygulaması, karmaşık yangın dinamiği simülasyonlarını içeren performansa dayalı bir tasarım sunmak yerine, kısıtlılıklar dâhilinde kural tabanlı bir otomatik uygunluk denetimi ile sınırlandırılmıştır. Bu modelin yalnızca tekil bir kural kontrolü aracı olarak kalmaması; yangın güvenliğinin standart, izlenebilir ve sürdürülebilir bir uygulamaya dönüşmesi için bütüncül bir süreç yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Başlangıç prototipi kabul edilebilecek bu teknik uygulamanın ardından söz konusu otomasyonun sadece tasarım evresinde değil, yapının inşaat ve tesis yönetimi dâhil tüm yaşam döngüsünde teknik ve yönetimsel olarak güvence altına alınabilmesi amacıyla, takip eden bölümde Yangın Güvenliği YBM (F-BIM) entegrasyon çerçevesi ile desteklenmiş kapsamlı bir YBM Uygulama Planı (BEP) önerisi sunulmaktadır.

3.4 Yangın Güvenliği Odaklı YBM Uygulama Planı Önerisi

BEP YBM'in rastgele uygulanmasını önleyerek, proje hedeflerini YBM kullanımlarıyla eşleştiren, detaylı süreç haritaları oluşturan ve bilgi alışverişi gereksinimlerini net bir şekilde tanımlayan yapılandırılmış bir metodoloji sunar. Bu standart, tüm proje paydaşlarının rollerini ve beklentilerini şeffaf bir şekilde belirleyerek proje riskini azaltmayı ve teslimat değerini artırmayı amaçlar.

Geleneksel süreçlerde yangın güvenliği, genellikle tasarımın sonunda ele alınan statik bir onay süreci olarak görülmektedir. Ancak yangın güvenliğinin bütünleşik bir yaşam döngüsü yaklaşımıyla ele alınması, verinin tasarımdan işletmeye kadar kesintisiz akışını zorunlu kılar. Bu bağlamda tez kapsamında yaşam döngüsünün sadece tasarım evresi için değil tümünde önceliklendirilmesi için önerilen 'Yangın Güvenliği Odaklı BEP' çerçevesi; standart YBM prosedürlerini özelleştirerek, yangın güvenliği parametrelerinin modelin yaşam döngüsü boyunca korunmasını, denetlenmesini ve işletme aşamasına doğru şekilde aktarılmasını hedeflemektedir.

Tablo 3.2 Döngü aşamaları ve BEP içeriklerinin yangın güvenliği ilişkisi

Yaşam Döngüsü Aşaması	**Yangın Güvenliği İlkesi**	**YBM Uygulama Planı (Bep) İçeriği**
1. Tasarım	**Tüm İlkeler**	Kod tabanlı veya performansa dayalı tasarımın üçüncü tarafça doğrulanması için model bilgisi.
	Önleme	Yangın yüklerinin, kaçış yollarının, duman senaryolarının ve yangın riski analizlerinin dijital model üzerinde görselleştirilmesi ve analiz çıktılarının modelle ilişkisi.
	Bina Sakini Koruması	Kaçış yolu analizleri, duman kontrol sistemlerinin modellemesi ve güvenli kaçış için gerekli zaman/fırsatın tasarım kritiği verilerinin modele eklenmesi.
2. İnşaat	**Tüm İlkeler**	Ürün sertifikasyonu ve sertifikalı montajcılar tarafından yapılan yerinde kurulumların dijital kanıtı (fotoğraflar, taramalar, sertifika bağlantıları).
	Sınırlama	Yangın bölmelerinin ve düşük yanıcılığa sahip malzemelerin doğru kullanıldığını gösteren as-built model güncellemeleri; Yangın durdurucuların konum ve ürün bilgileri.
	Söndürme / Tespit	Sabit yangın söndürme sistemlerinin performans testlerinin ve devreye alma testlerinin sonuçlarının model nesnelerine bağlanması.

Tablo 3.2 Döngü aşamaları ve BEP içeriklerinin yangın güvenliği ilişkisi(devamı)

Yaşam Döngüsü Aşaması	Yangın Güvenliği İlkesi	YBM Uygulama Planı (Bep) İçeriği
3. Kullanım	**Tüm İlkeler**	Bakım/operasyonlar ve yangın güvenliği denetimlerinin kayıtları. Modelin, güncel risk değerlendirmeleri için bilgi akışını sağlaması.
	Tespit ve İletişim	Sistemler arasındaki iletişimi ve otomatik tespit alarm sistemlerinin periyodik test kayıtlarının tutulması
4. Değişiklik	**Tüm İlkeler**	YBM modelinin değişiklik evresinde güncellenmesi ve bağımsız üçüncü taraf incelemesine sunulması. Yapılan her değişikliğin yangın güvenliği hedeflerine uygunluğunun kanıtlanması yükümlülüğü.
5. Yıkım	**Önleme**	Yıkım adımlarının analizini desteklemek için yapısal ve malzeme bilgisinin (tehlikeli veya yanıcı maddeler dahil) YBM modeli üzerinden sağlanması

NFPA standartlarını temel alarak, yangın güvenliği mühendisliğinin YBM süreçlerine entegrasyonunu sağlayan kapsamlı, uygulanabilir ve denetlenebilir bir YBM Uygulama Planı (FS-BEP) modeli sunmak için ABD Ulusal BIM Standardı (NBIMS-US), BEP geliştirme sürecini için önerdiği beş aşamalı yöntem üzerine çalışılmıştır. Bunlar: Proje hedeflerinin belirlenmesi, YBM kullanım alanlarının tanımlanması ve ilgili iş akışlarının oluşturulması, Model çıktılarının ve bilgi içerik seviyelerinin belirlenmesi, Bilgi alışverişi gereksinimlerinin yapılandırılması, Süreçleri destekleyecek teknik ve organizasyonel altyapının tasarlanmasıdır.

Bu beş adımlı BEP sürecinin yapı yaşam döngüsünde teknik olarak etkin şekilde işletilebilmesi için, Yangın Güvenliği YBM (F-BIM) entegrasyon çerçevesi geliştirilmiş ve aşağıdaki başlıklarla BEP adımlarına entegre edilmiştir

3.4.1 Yangın Güvenliği Hedefleri ve Risk Belirleme:

Hedefler, yangın güvenliğinin genel proje kalitesini artırma ve riskleri azaltma gibi iki ana alana odaklanmalıdır. Tasarım aşamasında yangın yönetmeliklerine tam uyumun otomatik kontrollerle doğrulanmasını, inşaat sürecinde yangın sistemlerinin diğer disiplinlerle hatasız koordinasyonu sayesinde saha risklerinin ve revizyonların minimize edilmesini ve işletme aşamasında tesis yönetimi için kritik yangın varlık verilerinin eksiksiz teslim edilmesini kapsamalıdır. Bu kapsamda YBM hedefleri öneri tablosu hazırlanmıştır (Tablo 3.3).

3.4.2 YBM Kullanımı Senaryoları:

Belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla zorunlu tutulması gereken Yangın güvenliğiyle ilgili aşağıdaki beş temel YBM kullanım durumu için öneri YBM Kullanım tablosu hazırlanmıştır (Tablo 3.5).

- Çakışma Tespiti ve Koordinasyon: Mekanik, elektrik, su ve yangın koruma sistemleri arasında geometrik ve mantıksal çakışmaların erken tespiti.
- Otomatik Kod Uyum Kontrolü (ACC): Yangın kompartımanasyonu, kaçış yolları, yangın direnç periyotları (FRP) ve yangın durdurma uygulamaları için yönetmeliklere karşı dijital doğrulama.
- Performans Tabanlı Simülasyon: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) kullanarak duman yayılımı ve Fire Dynamics Simulator (FDS) ile agent tabanlı tahliye modellemesi (Pathfinder)
- Maliyet Kontrolü: Yangın koruma sistemleri için otomatik keşif listeleri ve malzeme tahminlerinin oluşturulması.
- As-Built Model Oluşturma ve Tesis Yönetimine Devir: İnşa edilen halinin doğru bir kaydının oluşturulması ve operasyonel verilerin (O&M) FM sistemlerine aktarılması.

3.4.3 Süreç Haritalama ve İş Akış Şemaları

Yangın güvenliği odaklı YBM kullanım senaryolarını belirledikten sonra; her bir kullanım durumunun sırasını ve sonucunu tanımlayan kapsamlı bir süreç haritası geliştirmelidir. Bu haritalama; mimar, yangın mühendisi ve MEP uzmanı gibi tüm paydaşların kendi tasarım kararlarının (örneğin yangın bölmesi sınırının), diğer disiplinler tarafından yürütülen sprinkler yerleşimi veya duman analizi gibi görevlerle nasıl bir etkileşim içinde olduğunu net bir şekilde kavramalarını sağlar.

3.4.4 Bilgi Değişim Gereksinimleri ve Veri Standartları

Bilgi alışverişinin içeriği bir Model Eleman Tablosu kullanılarak belirlenmelidir.

Yangın koruma parametrelerinin gelişimi, projenin "Bilgi ve Detay Seviyesi"ne (LoD) paralel olarak ilerler. Ön Tasarım aşamasında bina sınıfı ve yangın yükü gibi genel "kontrol parametrelerinin" ve oda bazlı temel verilerin belirlendiği Seviye 1 ile başlar. Tasarımın olgunlaştığı Proje Planlama aşamasında, yani Seviye 2'de, bu gereksinimler spesifik nesnelere tanımlanarak görselleştirilir. Son olarak Yapım Belgesi aşamasına denk gelen Seviye 3'te, modeldeki veriler kapı donanımları, damper türleri, kablo sınıfları ve montaj detayları gibi ürüne özgü teknik bilgilerle en üst detaya ulaşır (Norén vd 2018).

Geometrik verilerin proje boyutunu artırdığı ve veri akışının optimizasyonunda verilerin doğru biçimde aktarılması göz önünde bulundurularak model eleman tablosu önerisi Tablo 3.6'daki gibi oluşturulmuştur. Geometrik LOD seviyesini 100-200 bandında tutup, bilgisel LOI seviyesini yangın yönetmeliklerine göre 350-400 seviyesinde tutmak; modeli hafifletirken yangın güvenliği analizleri için gereken veriyi programlanabilir ve sorgulanabilir hale getirecektir.

3.4.5 Teknik ve Organizasyonel Altyapı

Yangın güvenliği verilerinin tüm yaşam döngüsü boyunca korunmasını sağlamak için Teknik Altyapı ve Veri Sürekliliğinde tüm disiplinlerin eş zamanlı erişimine açık bir Ortak Veri Ortamında çalışılmalı, veri kaybını önlemek ve yazılımlar arası uyumluluğu sağlamak amacıyla açık standartlar benimsenmelidir. İnşaat aşamasındaki dinamik verinin hatasız bir şekilde Tesis Yönetimine devredilmesi kapsamında; ekipmanların as-built verileri ile bakım çizelgeleri COBie formatında yapılandırılarak işletme aşamasına aktarılmalıdır. Bu dijital veri akışı, gelecekte gerçek zamanlı yangın güvenliği yönetimi için binanın bir Dijital İkiz ekosistemine entegre edilmesine stratejik bir zemin hazırlayacaktır.

Teknik altyapının etkin işletilebilmesi için süreç bazlı kalite kontrol faaliyetleri ve net sorumluluk alanları tanımlanmalıdır. Yangın güvenliği model verilerinin doğruluğunu sağlamak adına periyodik olarak denetlenmelidir. Bu organizasyonel yapıda paydaşlar arası onay hiyerarşisine örnek olarak hazırlanan Tablo 3.4: Yangın Güvenliği Entegrasyonu RACI Matrisi, her bir görev adımı için yetki ve sorumlulukları netleştirerek "bilgi yönetimi risklerini" minimize etmeyi amaçlar.

Tablo 3.3 Yangın güvenliğini içeren proje hedefleri öneri tablosu

HEDEF AÇIKLAMASI	YBM KULLANIMI	SORUMLU	KISITLAMALAR	AŞAMA
1. Tasarım Kalitesi ve Kod Uyumunun Sağlanması: Binanın yangın güvenliği yönetmeliklerine tam ve otomatik olarak uyumunun sağlanması.	Tasarımı İnceleme Tasarım Kodlama Model Bazlı Kod Konrolü	Mimar, Yangın Mühendisi	Yangın yönetmeliği verilerinin model elementlerine doğru bir şekilde dahil edilmesi	Ön Tasarım Tasarım Geliştirme
2. Yangın Sistemleri Koordinasyonu: Yangın söndürme ve alarm sistemlerinin diğer disiplinlerle çarpışma yaşamadan başarılı bir şekilde koordine edilmesi ve sahada revizyon riskinin azaltılması.	Tasarım ve İnşaatı Koordine Etme Tasarımı İnceleme	Koordinasyon Yöneticisi, MEP Mühendisi	Tüm disiplin modellerinin zamanında paylaşılması Federasyon stratejisi.	Tasarım Geliştirme, İnşaat Belgeleri
3. Operasyonel Hazırlık: Tüm yangın güvenliği ekipmanları için doğru varlık bilgisinin Tesis Yönetim Sistemine (FM) aktarılması.	Kayıt Teslimatlarını Derleme, Tesis Operasyon Bilgisi Oluşturma	Yüklenici, Tesis	Geliştirme Seviyesinin (LOD) ve Bilgi Seviyesinin (LOI) Operasyonel gereklilikleri karşılayacak düzeyde olması.	Devreye Alma operasyon

Tablo 3.4 Yangın güvenliği entegrasyonu RACI matrisi önerisi

Görev / Süreç Adımı	Yangın Müh.	Mimar	MEP Müh.	BIM Yönet.	Yüklenici
Yangın Stratejisi ve Tahliye Planının Oluşturulması	A/R	C	C	I	I
Yapısal Yangın Dayanım (FRR) Verisinin Modele İşlenmesi	C	R	I	I	I
Kullanıcı Yükü (Occupant Load) Hesabı ve Parametre Girişi	R	C	I	I	I
Sprinkler/Alarm Sistemlerinin Modellenmesi	I	I	R	C	C
Çakışma Tespiti (Yangın Tesisatı vs Yapısal)	I	I	I	A/R	I
(ACC)kurallarının Tanımlanması	R	C	C	R	I
4D İnşaat Yangın Güvenliği Simülasyonu	C	I	I	C	R
Varlık Verilerinin (COBie) FM Sistemine Aktarımı	I	I	R	A	R

A: Hesap Veren R: Yapan C: Danışılan I: Bilgilendirilen şeklinde harfler ile oluşturulan RACI matrisi

Tablo 3.5 Yangın güvenliği YBM kullanım tablosu önerisi

YBM Kullanımı	Standartlar	Uygulama Detayı ve Beklenen Çıktı	Yazılımlar
Mevcut Durum Modellemesi (Existing Conditions)	NFPA 1620	Mevcut yapıların lazer tarama (Lidar) ile dijital ikizinin çıkarılması. İtfaiye erişimi ve tehlike noktalarının olay öncesi planlama için görselleştirilmesi	Revit, Recap, FlowMSP, Leica Cyclone
Kod Doğrulaması (Code Validation)	NFPA 101, NFPA 5000	Kaçış mesafeleri çıkmaz koridorlar kapı genişlikleri ve kullanıcı yüklerinin algoritmik kontrolü.	Solibri, Verifi3D, Revit (Dynamo/API), CodeComply.ai
3D Koordinasyon ve Çakışma Analizi	NFPA 13, NFPA 72, NFPA 20	Yangın tesisatının diğer disiplinlerle çakışmasının önlenmesi. Sprinkler püskürtme konilerinin dedektör algılama alanlarının fiziksel engellerden arındırılması	Navisworks Manage, BIM Track, Revizto
Mühendislik Analizi (Simülasyon)	NFPA 92, NFPA 101	Duman kontrol sistemlerinin CFD analizi ve insan tahliye simülasyonları. Tasarımın RSET/ASET kriterlerine göre doğrulanması.	FDS, PyroSim, Pathfinder, MassMotion

Tablo 3.5 Yangın güvenliği YBM kullanım tablosu önerisi(devamı)

Saha Planlaması (4D BIM)	NFPA 241	İnşaat aşamalarındaki geçici kaçış yollarının, yanıcı malzeme depolama alanlarının ve yangın tesisatı aktivasyon takviminin simüle edilmesi.	Synchro 4D, Navisworks Simulate, Bexel Manager
Varlık Yönetimi (Asset Management)	NFPA 25, NFPA 20	Bakım, test ve denetim (ITM) prosedürleri için varlık verilerinin (seri no, garanti, test sıklığı) COBie formatında FM sistemine aktarılması.	Ecodomus, IBM Maximo, Dalux FM
Dijital İzin ve Sertifika Takibi	NFPA 51B, NFPA 241	Sıcak çalışma izinlerinin, yangın durdurucu montaj sertifikalarının ve mühendislik kararlarının model üzerinde takibi.	PlanRadar, BIM 360 Build, Procore
Afet ve Acil Durum Planlaması	NFPA 1620	Bina verilerinin acil durum ekiplerinin terminallerine aktarılması. Dinamik veri (doluluk, sensör durumu) entegrasyonu.	ArcGIS Indoors, FlowMSP

Tablo 3.6 Yangın güvenliği bilgi gereksinim tablosu önerisi

Eleman Adı	**LOD (Geometri)**	**LOI (Bilgi Seviyesi)**	**Bilgi Formatı (Format)**	**Sorumlu Yazar (Author)**	**Kritik Yangın Güvenliği Verileri (Programlama İçin)**
Yangın Kapıları	LOD 200 (Şematik)	LOI 400 Seviyesinde Bilgi	Data (Veri)	Mimar / Tedarikçi	Yangın Dayanım Süresi (dakika), Kapanma Mekanizması Tipi, Donanım Sertifikası, Akustik Değer.
Sprinkler Başlıkları	LOD 200 (Konum Bazlı)	LOI 350 Seviyesinde Bilgi	Data (Veri)	MEP Mühendisi	Tepki Tipi (Hızlı/Standart), K-Faktörü, Aktivasyon Sıcaklığı, Üretici Model No.
Yangın Bölme Duvarları	LOD 200 (Genel Hacim)	LOI 350 Seviyesinde Bilgi	Data / 2D	Mimar	Yangın Derecesi (saat), Malzeme Yanıcılık Sınıfı, Montaj Detay Kodu.
Duman Dedektörleri	LOD 100 (Sembolik)	LOI 400 Seviyesinde Bilgi	Data (Veri)	Elektrik Mühendisi	Algılama Tipi, Adreslenebilir Kimlik (ID), Sistem Voltajı, Bakım Periyodu.

Bu bölümde önerilen Yangın Güvenliği Odaklı YBM Uygulama Planı (FS-BEP) yangın güvenliği parametrelerini binanın tüm yaşam döngüsü boyunca izlenebilir, denetlenebilir ve yönetilebilir bir yapıya kavuşturarak yangın güvenliğini projenin başlangıcından yıkım evresine kadar uzanan dinamik bir veri yönetimi sürecine dönüştürmeyi hedeflemiştir.

Sunulan yaşam döngüsü matrisi (Tablo 3.2), yangın güvenliği ilkelerinin tasarımdan yıkıma kadar hangi BEP içerikleriyle eşleşeceğini metodolojik olarak tanımlayarak verinin kesintisiz akışını garanti altına almaktadır. Tablo 3.3'teki proje hedefleri; tasarımda kod uyumunun otomatik kontrolü, inşaatta disiplinler arası tam koordinasyon ve işletme aşamasında operasyonel hazırlık olmak üzere üç ana sütun üzerine inşa edilmiştir. Önerilen RACI matrisi (Tablo 3.4), paydaşlar arasındaki yetki ve sorumluluk belirsizliklerini ortadan kaldırarak disiplinler arası koordinasyonu optimize ederken, uygulama bazlı YBM kullanım tablosu (Tablo 3.5) ise simülasyondan varlık yönetimine kadar geniş bir teknik yol haritası sunmaktadır. Özellikle Tablo 3.6'da önerilen LOD 200 geometrik detay seviyesine karşılık LOI 350-400 bilgi seviyesi dengesi, modellerin veri yükünü hafifletmeyi ve otomatik kod kontrolü (ACC) süreçleri için gereken nitelikli veriyi (yangın dayanım süresi, donanım sertifikası vb.) sağlamayı hedeflemektedir.

Sonuç olarak bu çerçeveyle, yangın güvenliği tasarım sonunda ele alınan statik bir onay aşaması olmaktan çıkıp, dijital tabanlı bütünleşik bir yönetim disiplinine dönüştürülmüştür. Mevcut çalışmada kurgulanan bu statik veri altyapısı; gelecek aşamalarda IoT sensörleri, canlı bina verileri ve yapay zekâ destekli tahliye senaryoları ile entegre edilerek, pasif birer kayıt aracı olmaktan çıkıp afet anında dinamik kararlar üretebilen 'akıllı yangın yönetim sistemlerine' evrilme potansiyeline sahiptir. Bu dönüşüm, önerilen FS-BEP modelinin dijital ikiz ekosistemleri içerisinde yaşayan bir güvenlik mekanizmasına dönüşmesinin önünü açacaktır.

4
SONUÇ

Bu çalışma, yangın güvenliğinin dijitalleşme sürecinde yalnızca bir uygunluk kontrolü aracı olmadığını; tasarım, denetim ve yönetim süreçlerini kapsayan bütünleşik bir süreç otomasyonu yaklaşımı olarak ele alınabileceğini ortaya koymuştur. Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) tabanlı yöntemler, AEC (Mimarlık, Mühendislik ve İnşaat) sektöründe disiplinler arası koordinasyonu güçlendirirken, tasarım kararlarının şeffaflığını artırmakta ve proje süreçlerinde zaman ile maliyet açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerde manuel olarak yürütülen yangın güvenliği denetimlerinin neden olduğu hata riskleri, YBM tabanlı dijitalleşme sayesinde azaltılmakta; üç boyutlu görselleştirme ve raporlama olanakları ile güvenlik farkındalığı artırılmaktadır.

Tez kapsamında, mimari tasarım sürecini erken aşamadan itibaren yangın güvenliği perspektifiyle yönlendirebilen, parametrik veri altyapısına sahip ve uluslararası standartlara dayalı YBM tabanlı bir otomatik denetim modeli geliştirilmiştir.

Böylece birinci araştırma sorusuna yanıt olarak; geleneksel denetimdeki manuel hataların, YBM ortamında kural tabanlı otomasyonla nasıl minimize edilebileceği geliştirilen model üzerinden kanıtlanmıştır.

Autodesk Revit ve Dynamo görsel programlama aracı kullanılarak, NFPA standartlarına dayalı otomatik bir denetim mekanizması kurgulanmıştır. Örnek bir otel planı üzerinde yapılan testler sonucunda; kaçış mesafelerinin hesaplanması ve uygunsuzlukların tespiti saniyeler içinde otomatikleştirilmiş; böylece manuel yöntemlerin neden olduğu hata riski ve zaman kaybı büyük ölçüde ortadan kaldırılarak tasarımcıya dinamik bir karar destek sistemi sunulmuştur. Modeldeki manuel veri gereksinimleri bu sistemi tasarımcının kontrolünde olan bir dijital denetim mekanizması haline getirmiştir.

Bir başlangıç prototipi olarak yalnızca "kaçış mesafesi" analizi ile sınırlandırılmış olan bu çalışma, literatürde saptanan 'yangın güvenliği verisinin dijital süreçlerdeki kopukluğu' sorununa karşı hem teknik (otomasyon) hem de yönetsel (FS-BEP) bir çözüm sunmaktadır.

Yangın güvenliği verisinin yapı yaşam döngüsü boyunca veri kaybı yaşanmadan nasıl yönetilebileceği şeklindeki ikinci araştırma sorusuna yanıt olarak ise, çalışma kapsamında Yangın Güvenliği odaklı YBM Uygulama planı kurgulanmış ve detaylandırılmıştır.

Sunulan bu beş adımlı kılavuz çerçevesinde; öncelikle projenin yangın güvenliği hedefleri ve riskleri tanımlanmış, ardından otomatik kod kontrolü ve çakışma tespiti gibi YBM kullanım senaryoları belirlenerek paydaşlar arası süreç haritaları oluşturulmuştur. Modelin gereksiz geometrik yüklerden arındırılarak (LOD) yangın dayanım süresi gibi kritik bilgi seviyelerinin (LOI) maksimize edilmesi stratejisiyle bilgi değişim gereksinimleri standartlaştırılmıştır. Son adımda ise oluşturulan RACI matrisi ile organizasyonel sorumluluklar netleştirilmiş ve elde edilen as-built verilerin COBie formatıyla Tesis Yönetimine (FM) aktarılmasını sağlayan çift katmanlı bir altyapı tasarlanmıştır. Sonuç olarak, beş adımda sunulan bu kılavuz çerçevesiyle yangın güvenliği; tasarımın sonunda ele alınan statik bir onay aşaması olmaktan çıkarılıp, yapının tüm yaşam döngüsüne entegre edilen dijital, izlenebilir ve dinamik bir yönetim disiplinine dönüştürülmüştür.

Gelecekte yapılacak çalışmalar kapsamında, geliştirilen modelin Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri ile entegre edilerek dijital ikiz yapılarına dönüştürülmesi önerilmektedir. Bu sayede, yangın anında gerçek zamanlı verilerle beslenen ve dinamik tahliye senaryolarını yönetebilen sistemlerin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, yazılımlar arası veri aktarımında yaşanan anlamsal veri kayıplarının azaltılması amacıyla Açık Kaynaklı BIM (OpenBIM) standartlarının yaygınlaştırılması; makine öğrenmesi ve doğal dil işleme (NLP) tabanlı yaklaşımların sürece dahil edilmesiyle mevzuatın makine tarafından okunabilir hale getirilmesi ve yorumsal farklılıkların önüne geçilmesi yangın güvenliğinin uygunluk denetiminden optimizasyon odaklı bir yapıya evrilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abolghasemzadeh, P. (2013). A comprehensive method for environmentally sensitive and behavioral microscopic egress analysis in case of fire in buildings. Safety Science, 59, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.04.008

Abu Bakar, A. R., Haron, A. T., & Rahman, R. A. (2021). Building Information Modelling Execution Plan (BEP): A comparison of global practice. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, *7*(2), 63-73. https://doi.org/10.15282/ijets.7.2.2020.1005

Aziz, A., Gard, N., König, M., Eisert, P., Heinbach, J. H., & Trost, L. (2025). Visual Fire Safety Inspection Framework Using Computer Vision Algorithms. Journal of Computing in Civil Engineering, 39(5), 04025068. https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-6492

Başdemir, H., & Demirel, F. (2010). Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması. Politeknik Dergisi, 13(2), 101-109.

Beşiroğlu, Ş., & Serteser, N. (2023). Bina tasarımında yangın emniyetinin dijital dönüşümü ve yapı bilgi modelleme (BIM) üzerine bir inceleme. İçinde Mimarlık ve Yangın Sempozyumu (ss 63-74).

Beşiroğlu, Ş., & Serteser, N. (2024). Yapı bilgi modelleme (BIM) ile binaların yangın emniyeti performansının değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 40(1), 501-514. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1377660

Bigdeli, S., Pauwels, P., Verstockt, S., Van de Weghe, N., & Merci, B. (2025). Semantic Enrichment of a BIM Model Using Revit: Automatic Annotation of Doors in High-Rise Residential Building Models Using Machine Learning: Semantic Enrichment of a BIM. Fire Technology, 61(4), 1579-1611. https://doi.org/10.1007/s10694-024-01655-0

BIMForum. (2024). *Level of development (LOD) specification part I*. https://bimforum.org/wp-content/uploads/2024/11/LOD-Spec-2024-Part-I-official-English.pdf

Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik. (2007, 19 Aralık). Resmî Gazete (Sayı: 26735).

buildingSMART. (2025). Fire safety – Calls for participation. https://www.buildingsmart.org/standards/calls-for-participation/fire-safety/

Choi, J., Choi, J., & Kim, I. (2014). Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings. Automation in construction, 46, 38-49. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.005

Clayton, M. (2013). Automated Plan Review for Building Code Compliance Using BIM. EG-ICE. https://www.researchgate.net/publication/254862600

Culp, C. (2019). Yangın koruma mühendisinin BIM deneyimi [Sunum video kaydı]. Youtube. https://youtu.be/gAUl1p9Ko9A

Çelik, G. (2019). Üniversite araştırma hastanelerinde aktif yangın önlemleri [Yüksek lisans tezi, Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mersin].

Derman, B. (2022). Bir tasarım girdisi olarak yönetmelikler (Yangın). İçinde *Yangın emniyeti mimari tasarımın neresinde çalıştay sunum metinleri kitabı* (s. 87). İTÜ Yayınevi.

Harrell, R., & Mathews, M. (2018). *Could Autodesk Revit be automated for code compliance checking and demonstration with a focus on fire safety regulations?* (Technical Report). Technological University Dublin

Ikerd, W. (2020). *BIM Project Execution Plan Guide: An Introduction For Those New to BIM* (Version 2.00). BIMForum & Charles Pankow Foundation. https://bimforum.org/bxp

International Fire Safety Standards Coalition. (2020). *International fire safety standards: Common principles "Safe buildings save lives"* (Consultation Document).

Ismail, A. S., Ali, K. N., Iahad, N. A., Kassem, M. A., & Al-Ashwal, N. T. (2023). BIM-Based Automated Code Compliance Checking System in Malaysian Fire Safety Regulations: A User-Friendly Approach. Buildings, 13(6), 1404. https://doi.org/10.3390/buildings13061404

İstanbul İtfaiyesi. (2025). *2020-2024 dönemi detaylı istatistik kitapçığı*. https://itfaiye.ibb.gov.tr/tr/istatistikler.html

Khan, N., Ali, A. K., Van-Tien Tran, S., Lee, D., & Park, C. (2020). Visual Language-Aided Construction Fire Safety Planning Approach in Building Information Modeling. Applied Sciences, 10(5), 1704. https://doi.org/10.3390/app10051704

Kincelova, K., Boton, C., Blanchet, P., & Dagenais, C. (2019). BIM-based code compliance checking for fire safety in timber buildings: A comparison of existing tools. In Proceedings of the CSCE/CRC Construction Specialty Conference

Kincelova, K., Boton, C., Blanchet, P., & Dagenais, C. (2020). Fire safety in tall timber building: A BIM-based automated code-checking approach. Buildings, 10(7). https://doi.org/10.3390/buildings10070121

Kong, L., Yang, Q., Zhou, Q., Xing, J., Sun, X., & Zou, R. (2022). Embedding knowledge into BIM: A case study of extending BIM with firefighting plans. Journal of Building Engineering, 49, 103999. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.103999

Korkmaz, E. (2019). Mimari tasarımda yangın güvenliği [Sunum]. Youtube. https://youtu.be/AzOAO0B6hyg

Li, J. (2014). Building Information Modeling (BIM) and analysis of more traditional CAD. Applied Mechanics and Materials, 580, 3171–3174.

Li, N., Becerik-Gerber, B., Krishnamachari, B., & Soibelman, L. (2014). A BIM-centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations. Automation in Construction, 42, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019

Li, X., Chen, R., Zhu, Y., & Jim, C. Y. (2024). Emergency fire evacuation simulation of underground commercial street. Simulation Modelling Practice and Theory, 134, 102929. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102929

Ma, G., & Wu, Z. (2020). BIM-based building fire emergency management: Combining building users' behavior decisions. *Automation in Construction*, *109*, 102975. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102975

Malagnino, A., Corallo, A., Lazoi, M., & Zavarise, G. (2022). The digital transformation in fire safety engineering over the past decade through building information modelling: A review. Fire Technology, 58(6), 3317-3351. https://doi.org/10.1007/s10694-022-01313-3

Massachusetts Institute of Technology. (t.y.). *BIM execution plan (Version 3.2)*. MIT Department of Facilities.

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., Zikic, N., & Bhawani, S. (2021). *BIM project execution planning guide (Version 3.0)*. Penn State University, Computer Integrated Construction Program.

Ministry of Housing, Communities & Local Government. (2025). *Approved Document B, volume 2: Buildings other than dwellings*. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/67d17064a005e6f9841a1d50/Approved_Document_B_volume_2_Buildings_other_than_Dwellings_2019_edition_incorporating_2020_2022_and_2025_amendments_collated_with_2026_and_2029_amendments.pdf

National Fire Protection Association. (2018). *Life safety code handbook* (14. baskı). NFPA.

National Institute of Building Sciences (NIBS) (t.y.). National BIM Standard- U.S., Version 4: BIM Execution Plan Template.

Norén, J., Brand, B., Riskingenjörerna, A., Nystedt, F., Strömgren, M., & Möllard, R. (2018). Fire protection engineering in a BIM environment.

Obi, N.I. (2015). Fire Protection Measures in Buildings: The Architect's Design Role. Civil and Environmental Research, Vol. 7, No. 7, s. 27-30.

Özkaya, A. (2003) Mimar ve Mimarlık Yangın Güvenliğinin Neresindedir? Mimarlık Teknik, vol 1, s 8-10.

Preidel, C., & Borrmann, A. (2018). BIM-based code compliance checking. N. O. Nawari (Ed.), Building information modeling: Automated code checking and compliance processes içinde (Bölüm 24). CRC Press.

Roth, S. B. (2024). *The integration of building information modeling with fire protection systems, software, and workflows: A user guide*. SFPE Foundation

Rüppel, U., & Schatz, K. (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulation. Advanced Engineering Informatics, 25(4), 600–611. https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001

Rüppel, U., Stübbe, K. M., & Zwinger, U. (2010, September). Indoor navigation integration platform for firefighting purposes. In 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (pp. 1-6). IEEE.

Siddiqui, A. A., Ewer, J. A., Lawrence, P. J., Galea, E. R., & Frost, I. R. (2021). Building Information Modelling for performance-based Fire Safety Engineering analysis – A strategy for data sharing. Journal of Building Engineering, 42, 102794. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102794

Smart Built Environment. (t.y.). *Digitalt brandskydd – parametrik* [Dijital yangın koruması – parametrik]. https://www.smartbuilt.se/projekt/informationsinfrastruktur/digitalt-brandskydd-parametrik/

Sun, Q., & Turkan, Y. (2020). A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance. Advanced Engineering Informatics, 44, 101093. https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101093

Sun, Q., Turkan, Y., & Fischer, E. (2022). Integrating 4D BIM and FDS to simulate and assess fires in buildings under construction. In Construction Research Congress 2022 (pp. 977-986).

Şimşek, Z., & Akıncıtürk, N. (2016). Sağlık yapılarının yangından korunma yönetmelik hükümlerinin eksik yönleri ve öneriler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21(2), 283–298.

Tang, Y., Xia, N., Lu, Y., Varga, L., Li, Q., Chen, G., & Luo, J. (2021). BIM-based safety design for emergency evacuation of metro stations. Automation in Construction, 123, 103545. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103511

Vermeulen, D. (2016). Evacuation Path Analysis with Dynamo. Erişim 19 Ocak 2026, Revit Beyond BIM: https://revitbeyondbim.wordpress.com/2016/04/22/evacuation-path-analysis-with-dynamo/

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building information modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. Automation in Construction, 38, 109–127. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023

Walter, J., & Diaz, J. (2024). An approach for fire and smoke compartmentation using the IFC-structure. İçinde Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering (ss. 567–575). Lecture Notes in Civil Engineering.

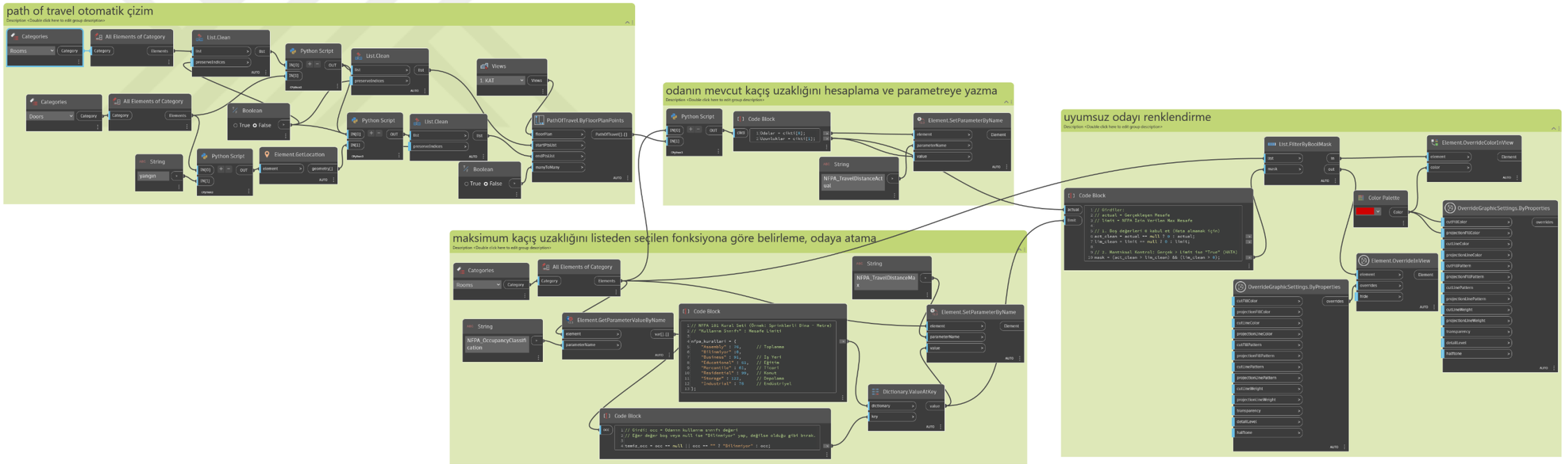
Wang, Y., Liu, Y., Cai, H., Wang, J., & Zhou, X. (2023). An Automated Fire Code Compliance Checking Jointly Using Building Information Models and Natural Language Processing. Fire, 6(9), 358. https://doi.org/10.3390/fire6090358

Xu, Y., Liu, M., Zhang, T., Tang, H., & Zhang, Y. (2025). Application of a dynamo-based intelligent drawing review program in the general code for building fire protection - Case study of subsection 7.4.7. Results in Engineering, 27, 106444. https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2025.106444

Yakhou, N., Thompson, P., Siddiqui, A., Abualdenien, J., & Ronchi, E. (2023). The integration of building information modelling and fire evacuation models. Journal of Building Engineering, 63, 105557. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105557

A

DYNAMO GÖRSEL PROGRAMLAMA SÜRECİ İŞ AKIŞI



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. FIRAT, Ç., & Tong, T. (2025). Yangın Güvenliğinin Bina Bilgi Modellemesinde Entegrasyonu Model Önerisi. *11. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi Bildiri Kitabı* (ss. 154-162). İstanbul: BZT Akademi Yayınları.