



Afet Yönetiminde Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları

Sibel MACİT İLAL

*Dr. Öğr. Üyesi, İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü
sibel.macit@idu.edu.tr*

ÖZET

Afet yönetimi için tasarlanan bilgi ve iletişim teknolojileri, devam eden bir kriz sırasında daha iyi planlama ve koordinasyon için gerekli bilgileri sağlamayı hedeflemektedirler. Bu bağlamda yapılarla ilgili tüm verileri barındırmak üzere geliştirilen Yapı Bilgi Modelleme (YBM) teknolojisinin de afet ve acil durum yönetimi alanı çalışmalarında kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Bu makale, afet yönetimi alanında YBM tabanlı sistemlerin potansiyelini ortaya koymak amacıyla YBM tabanlı yeni teknolojileri geliştirmeye yönelik araştırmaları incelemektedir. Çalışma kapsamında incelenen araştırmalar, afet yönetimi aşamaları ve kullanılan teknolojilere göre sınıflandırılmakta ve son kullanıcılara ulaşılmış önemli dört uygulama örneği tanıtılmaktadır. YBM teknolojisinin afet yönetimi stratejilerine dahil edilmesinin faydaları vurgulanarak gelecekteki araştırma ve uygulama alanları için bir çerçeve sunulmaktadır. Çalışmanın sonucunda, YBM tabanlı uygulama verilerinin, kurtarma ekiplerine kritik bina bilgilerini sağlayabildiği ve yardımın verimliliğini artırarak güvenlik risklerini azaltmaya katkı yaptığı görülmektedir. Ayrıca, kent yönetimlerinin YBM tabanlı sistemlere geçişinin şehirlerimizin dayanıklılığını arttırmak için önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapı bilgi modelleme, afet yönetimi, afet önleme, birlikte işlerlik.

Building Information Modeling Applications in Disaster Management

ABSTRACT

Information and communication technologies designed for disaster management aim to provide the necessary information for better planning and coordination during an ongoing crisis. In this context, it is natural that Building Information Modeling (BIM) technology, which is developed to accommodate all data related to buildings, is also used in the field of disaster and emergency management. This study reviews research articles on developing new technologies using BIM-based systems in the field of disaster management, classifies these studies according to the stages of disaster management and technologies used, and describes four important examples that have reached end users. It provides a framework for future research and application areas, emphasizing the benefits of incorporating BIM technology into disaster management strategies. It is seen that BIM-based data can provide critical building information to rescue teams and contribute to reducing security risks by increasing the efficiency of the response. The transition to BIM-based systems is important for city authorities to increase the resilience of our cities.

Keywords: Building information modeling, disaster management, disaster prevention, interoperability.

GİRİŞ

Afet yönetimi, farklı disiplinlerden gelen çok sayıda aktörün belli bir amaca yönelik sorumluluklarını iş birliği içinde gerçekleştirdiği bir alandır. Afet yönetimi bireyden başlayarak birçok kamu kurum ve kuruluşunun sürecin belirli noktalarında rol almasından ötürü çok katmanlı bir süreçtir. Bu süreç aynı zamanda risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme gibi çeşitli aşamaları içermektedir (Rao v.d., 2007). Etkili afet yönetimi, aktörler arasında doğru bilgi paylaşımını ve koordinasyonu gerektirmektedir. Bu görev için temel eylem, doğru zamanda doğru kararları vermektir. Pek çok alanda olduğu gibi, afet yönetiminde de bilginin doğruluğu ve paylaşımı karar vermenin önemli unsurlarıdır. Afet



meydana gelmeden önce ne olabileceği ve nerede olabileceği, afet anında nerede ne olduğu ve afet sonrası hasar değerlendirmesi ve mevcut kaynaklar ile ilgili bilgilerin doğruluğu, olası yardım senaryolarının hazırlanması açısından afet yönetimi sürecinin temel bileşenidir. Gelişen bilgi teknolojileri, doğru bilgilere doğru kişiler ve kuruluşlar tarafından doğru zamanda erişilmesini kolaylaştırabilmektedir.

Bilgi teknolojileri genel olarak bilgiyi üretmek, yaymak, depolamak ve iletişim kurmak için kullanılan çeşitli dijital araçları ve kaynakları kapsamaktadır. Afet Yönetimi alanında bilgi teknolojilerinin kullanımına olan ilgi son yıllarda giderek artmakta, çeşitli ülkeler (Avustralya, İngiltere) bilgi teknolojilerinin benimsenmesini artırıcı girişimlerde bulunmaktadır. Küresel Konumlandırma Servisi (Global Positioning Systems – GPS), Erken Uyarı Sistemleri (Early Warning Systems – EWS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographical Information Systems – GIS) gibi teknolojiler afet yönetimi alanında bilgi teknolojilerinin potansiyel uygulamalarına yönelik araştırmaların odağında yer almaktadır (Cao ve Zhou, 2008). Afet yönetiminde bilgi teknolojileri genel olarak risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme çalışmalarının gerçekleştirilmesinde rol almaktadır. Güncel çalışmalar arasında NASA araştırma ekibi tarafından geliştirilen, büyük depremleri tahmin edebilen ve ortaya çıkan tsunaminin boyutunu değerlendirebilen bir prototip tsunami tahmin sistemi yer almaktadır (Nasa, 2020). Bir diğer çalışma ise Japonya'da geliştirilen erken uyarı sistemidir. Bu sistem ilk olarak 2004 yılında test edilmiş 2007 yılında uygulamaya konulmuştur (JBP, 2020).

Dayanıklı şehir kavramının gerçekleştirilmesine olanak sağlayan en önemli bilgi teknolojisi Coğrafi Bilgi Sistemleridir (CBS). Bu sistemler grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini gerçekleştirerek verileri işlemeye ve görselleştirmeye yardımcı olurlar. CBS afet yönetiminin dört aşamasında da uygulama alanına sahiptir. Tehlikelerin tanımlanması, potansiyel afetlerin sonuçlarının değerlendirilmesi ve tehlike verilerinin harita verileri (caddeler, işletmeler, depolama tesisleri, boru hatları) üzerine işlenmesi ile afet öncesi hazırlama ve risk azaltma aşamalarında kullanılmaktadır. Köprüler ve hastaneler gibi risk altındaki yapılar hızlı ve kolay bir şekilde görüntülenebilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, riskli bölgeleri ve bu bölgelere yakın mevcut yapıların tespit edilebilmesi ve dolayısıyla riskli yapıların güçlendirme çalışmalarının yapılması veya bu yapıların boşaltılmasının kararı, dahası yeni yapılaşma alanları belirlenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Tomaszweski v.d., 2015). Fakat CBS daha çok kent ölçeğindeki verilere odaklanmaktadır. Ancak, afet yönetiminde birçok uygulama ise yapı ölçeğinde daha detaylı veriye ihtiyaç duymaktadır. Örnek olarak Rong v.d. (2020) selde su altında kalan alanların belirlenmesinde CBS verisinin yapı bilgi modelleme sistemlerinden veriler ile birleştirildiğinde daha doğru sonuçlar elde edilebildiğini göstermişlerdir.

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), inşaat sektörü için geliştirilmiş en temel ve güncel bilgi teknolojisidir. Yapı yaşam döngüsü boyunca sektördeki tüm disiplinler ve aktörler arasında birlikte işlerliğin sağlanmasına ve bütünleşik tasarıma odaklanmaktadır. Özetle, Yapı Bilgi Modellemesi, bina ölçeğinde bilginin modellenmesini ve farklı paydaşlar arasında paylaşılmasını sağlar (Eastman v.d., 2008). Amaç, yapıyla ilgili bilgilere sahip herhangi bir uzmanın bunu bina bilgi modeline ekleyebilmesini sağlamak ve modeldeki mevcut bilgilerin tüm ilgili kişiler tarafından erişilebilir, güncellenebilir ve çıkarılabilir olmasını sağlamaktır.

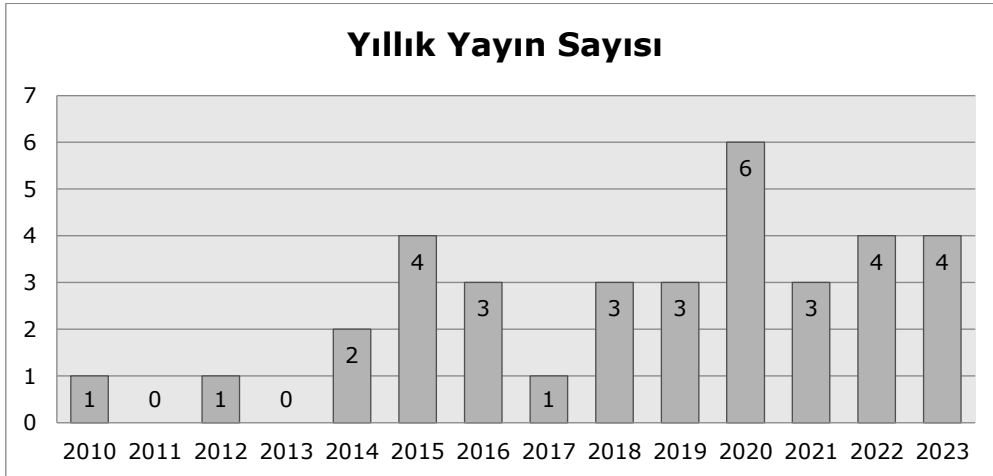
YBM, yapı sektöründeki birçok problemin çözümüne yönelik karar destek mekanizması sağlamaktadır. YBM, yapı ile ilgili tüm bilgileri sağlayan ve yapı sektöründe birlikte çalışabilirliği kolaylaştıran bir platform olarak kabul gören bir bilgi teknolojisidir. YBM ile tasarım ve yapı aşamalarından sonra, yapıların sayısal ikizleri de oluşturulabilmektedir. Bu sayısal ikizler ile yapının işletimine yönelik gerçek zamanlı veri ihtiyacı olan süreçler desteklenebilmektedir. YBM'nin afet yönetimi alanındaki kullanımı ise henüz kısıtlı olmakla beraber, son yıllarda giderek artmaktadır. Bu çalışmada, YBM'nin afet yönetimindeki

uygulamaları araştırılmış ve bu alanda, teknolojinin geldiği noktanın belirlenmesi hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Bu alanda yapılan çalışmaların afet yönetimi aşamalarına göre sınıflandırılması ve literatürdeki araştırma boşluklarının belirlenerek gelecekteki potansiyel araştırma alanlarını ortaya çıkarmak amacıyla araştırma kapsamında sistematik bir literatür taraması yapılmıştır. Science Direct, Web of Science, Taylor and Francis veri tabanları kullanılarak, "disaster management", "disaster prevention" ve "BIM" anahtar kelimeleri ile araştırma makaleleri arasında geniş bir tarama yapılmıştır. Bu taramalar sonucunda Science Direct'te 126, Web of Science'ta 17, Taylor and Francis'te ise 35 araştırma makalesi bulunmuştur. Bu makalelerde içerik incelemesi yapılmış, aynı olanlar, literatür çalışmaları ve afet yönetiminde YBM kullanımı ile doğrudan ilgisi olmayanlar ayıklanmıştır. Sonuçta toplam 34 araştırma makalesi tespit edilmiştir. Tablo 1 de listelenen makalelerin en çok Advanced Engineering Informatics (5 makale) ve Automation in Construction dergilerinde (5 Makale) yayımlandığı görülmektedir. Bu makalelerin yıllara göre dağılımı (**Error! Reference source not found.**) alana olan ilginin son yıllardaki artışını göstermektedir. 2010-2014 arası toplam 4 makale yayınlanmışken, 2015 sonrası 31 makale yayınlanmıştır.

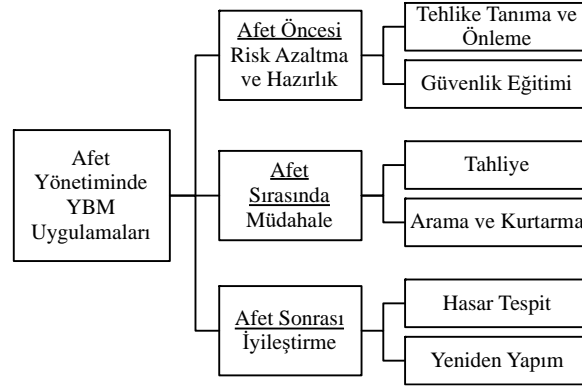
Bu çalışmada incelenen YBM tabanlı uygulamalar afet yönetimi aşamaları temel alınarak sınıflandırılmıştır. Afet yönetiminde üç aşama vardır: 1) Afet öncesi risk azaltma ve hazırlık, 2) afet sırasında müdahale ve 3) afet sonrası iyileştirme (Rao v.d., 2007). Şekil 1 afet yönetiminde kullanılan YBM tabanlı sistemlerin temel uygulama alanlarını ve bunların hangi aşamaya ait olduğunu göstermektedir. Afet öncesi hazırlık afet tehlikesini azaltmak veya afet meydana geldiğinde kayıpları azaltmak için yapılabilecek her türlü hazırlığı kapsar. Bu aşama, tehlike tanıma ve önlemeyi içermektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar binaların hızlı ve güvenli şekilde boşaltılacak şekilde tasarlanmasına ve müdahale ekiplerinin eğitimine odaklanmaktadır. Güvenlik eğitimi uygulamaları, müdahale ekiplerine bir afet sahnesini deneyimlemeleri için sanal ortamlar sağlayabilmektedir. Afet sırasında müdahale, tahliye, arama ve kurtarma için yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu alandaki çalışmalar genellikle iç mekanda konum belirleme ve yol bulma konularına odaklanmışlardır. Afet sonrası iyileştirme, felaketten sonra binaların, toplulukların ve şehirlerin temel işlevlerini tekrar kazanabilmeleri için gereken çalışmaları içerir. Hasar tespiti ve binaların yeniden yapımı bu aşamadaki ana konulardır (Zhu ve Li, 2021; Sertyesilisik, 2017).



Şekil 1. Yayınların Yıllara Göre Dağılımı

Tablo 1. Afet Yönetimi Alanında YBM Tabanlı Teknoloji Geliştiren Araştırmalar

Yazarlar	Yıl	Makale Adı	Dergi
Shariatfar ve Lee	2023	Urban-Level Data Interoperability for Management of Building and Civil Infrastructure Systems during the Disaster Phases Using Model View Definitions	Journal of Computing in Civil Engineering
Kim v.d.	2023	The Prediction of Fire Disaster Using BIM-Based Visualization for Expediting the Management Process	Sustainability
Kanangkaew v.d.	2023	A real-time fire evacuation system based on the integration of Building Information Modeling and Augmented Reality	Journal of Building Engineering
Hsiao ve Hsieh	2023	Real-time fire protection system architecture for building safety	Journal of Building Engineering
Zhou v.d.	2022	CloudFAS: Cloud-based building fire alarm system using Building Information Modelling	Journal of Building Engineering
Lin v.d.	2022	Study of a BIM-Based Cyber-Physical System and Intelligent Disaster Prevention System in Taipei Main Station	Applied Sciences-Basel
Atef ve Bristow	2022	Risk assessment of infrastructure facilities considering spatial and operational interdependencies: temporal simulation model	Structure and Infrastructure Engineering
TohidiFar v.d.	2021	A hybrid BIM and BN-based model to improve the resiliency of hospitals' utility systems in disasters	International Journal of Disaster Risk Reduction
Dao v.d.	2021	Semantic framework for interdependent infrastructure resilience decision support	Automation in Construction
Chen v.d.	2021	A Building Information Model enabled Multiple Traveling Salesman Problem for building interior patrols	Advanced Engineering Informatics
Messaoudi ve Nawari	2020	BIM-based Virtual Permitting Framework (VPF) for post-disaster recovery and rebuilding in the state of Florida	International Journal of Disaster Risk Reduction
Lovreglio ve Kinateter	2020	Augmented reality for pedestrian evacuation research: Promises and limitations	Safety Science
Nikooheemat v.d.	2020	Indoor 3D reconstruction from point clouds for optimal routing in complex buildings to support disaster management	Automation in Construction
Lei v.d.	2020	BIM based cyber-physical systems for intelligent disaster prevention	Journal of Industrial Information Integration
Rong v.d.	2020	Three-dimensional urban flood inundation simulation based on digital aerial photogrammetry	Journal of Hydrology
Feng v.d.	2020	An immersive virtual reality serious game to enhance earthquake behavioral responses and post-earthquake evacuation preparedness in buildings	Advanced Engineering Informatics
Real Ehrlich ve Blankenbach	2019	Indoor localization for pedestrians with real-time capability using multi-sensor smartphones	Geo-spatial Information Science
Chou v.d.	2019	Optimal path planning in real time for dynamic building fire rescue operations using wireless sensors and visual guidance	Automation in Construction
Peng v.d.	2019	A self-learning dynamic path planning method for evacuation in large public buildings based on neural networks	Neurocomputing
Wilson v.d.	2018	3D digital documentation for disaster management in historic buildings	Journal of Cultural Heritage
Franz v.d.	2018	Real-time collaborative reconstruction of digital building models with mobile devices	Advanced Engineering Informatics
Chen v.d.	2018	A BIM-based visualization and warning system for fire rescue	Advanced Engineering Informatics
Cheng v.d.	2017	BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief	Automation in Construction
Gebbeken v.d.	2016	Risk assessment and protection of the built infrastructure for flood events Hochwassergefahr	Bautechnik
Amirebrahimi v.d.	2016	A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIMGIS integration	International Journal of Digital Earth
Bloch, v.d.	2016	Interior models of earthquake damaged buildings for search and rescue	Advanced Engineering Informatics
Tashakkori v.d.	2015	A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation	Building and Environment
Pan v.d.	2015	An Alternate Reality Game for Facility Resilience (ARGFR)	Procedia Engineering
Barazzetti v.d.	2015	Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans	Simulation Modelling Practice and Theory
Hong v.d.	2015	Semi-automated approach to indoor mapping for 3D as-built building information modeling	Computers, Environment and Urban Systems
Choi v.d.	2014	Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings	Automation in Construction
Chen v.d.	2014	The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations	Computers, Environment and Urban Systems
Hijazi v.d.	2012	NIBU: a new approach to representing and analysing interior utility networks within 3D geo-information systems	International Journal of Digital Earth
Varduhn v.d.	2010	Real Time Processing of Large Data Sets from Built Infrastructure	Imeti 2010 Int. Conference



Şekil 1. Afet Yönetiminde Kullanılan YBM Tabanlı Sistemlerin Temel Uygulama Alanları

Literatür taramasıyla belirlenen 35 araştırma makalesinin afet yönetiminde hangi aşamalar üzerine yoğunlaşarak, hangi teknolojilerden yararlandığı incelenmiş, sonuçları Tablo 2 de sunulmuştur

Tablo 2. Afet Yönetimi Aşaması ve Kullanılan Teknolojiye Göre Yayınların Sınıflandırılması

	Risk Azaltma	Eğitim	Tahliye	Arama ve Kurtarma	Hasar Tespit	Yeniden Yapım
Sanal/ Arttırılmış Gerçeklik	Atef ve Bristow (2022); Lin v.d. (2022)	Feng v.d. (2020); Pan v.d. (2015); Lovreglio ve Kinateder (2020)	Kanangkaew v.d. (2023)			
Lazer Tarama	Barazzetti v.d. (2015)		Nikooheemat v.d. (2020)	Hong v.d. (2015); Franz v.d. (2018); Nikooheemat v.d. (2020)	Wilson v.d. (2018)	
Nesnelerin İnterneti	Lei v.d. (2020)		Cheng v.d. (2017); Chen v.d. (2018); Zhou v.d. (2022); Kim v.d. (2023)			
Görüntü İşleme			Chou v.d. (2019)	Bloch v.d. (2016)		
Yapay zeka			Peng v.d. (2019); Chen v.d. (2021)	Varduhn v.d. (2010)		
Semantik Web	Dao v.d. (2021)					
Mobil cihaz				Real Ehrlich ve Blankenbach (2019) Hsiao ve Hsieh (2023)		
CBS	Rong v.d. (2020); Gebbeken v.d. (2016)			Chen v.d. (2014)	Amirebrahimi v.d. (2016)	
IFC	Choi v.d. (2014); Hijazi v.d. (2012); TohidiFar v.d. (2021); Shariatfar ve Lee (2023)			Tashakkori v.d. (2015)		Messaoudi ve Nawari (2020)

Afet öncesi aşamada, risklerin belirlenmesi ve önlem alınmasına yönelik YBM tabanlı çalışmalar konuya farklı açılardan yaklaşmışlardır. Barazzetti v.d. (2015) lazer tarama ile tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerindeki risk oluşturan mevcut hasarları belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Choi v.d. (2014) yüksek yapılarda acil durumda kaçış ile ilgili yönetmelik maddelerine uyumluluk kontrolü için bir sistem geliştirmişlerdir. Hijazi v.d. (2012) yapılarda bulunan çeşitli sistemlerin acil bir durumda birbirlerine olan etkilerinin oluşturduğu risklerin belirlenmesi için bir yöntem tanımlamışlardır. Lei v.d. (2020) ise Siber-Fiziksel Sistem yaklaşımı ile strüktürel felaketlerin engellenmesi ve hafifletilmesi için YBM tabanlı akıllı bir sistem tasarlamışlardır. Ayrıca sel baskınlarında su altında kalma riski



olan hacimlerin belirlenmesi üzerine çalışmalar CBS verisi ile YBM verisini bir arada işlemektedir (Rong v.d., 2020; Gebbeken v.d., 2016). Kentsel altyapı sistemlerinin afetlere karşı dayanıklılığına ilişkin karar alma süreçlerinde kullanılmak üzere dağınık olan bu sistemlerin entegrasyonunu sağlayan semantik web teknolojileri tabanlı bir çerçeve, Dao v.d. (2021) tarafından önerilmiştir. Lin v.d. (2022) ise farklı kurumların afet önleme ve müdahale bilgilerini YBM ve Sanal Gerçeklik uygulaması ile entegre eden bir Siber-Fiziksel Sistem yaklaşımı ile Akıllı Afet Önleme Sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak, afet yönetimi uygulamaları arasında birlikte işlerliği sağlamaya yönelik araştırmalarda standart veri aktarımı için Model Görünüm Tanımları (Model View Definitions – MVD) kullanılmıştır (Shariatfar ve Lee, 2023). Atef ve Bristow (2022) afetlerin bir altyapı tesisinin iç operasyonları üzerindeki ardışık etkilerini anlamak için çok katmanlı bir risk değerlendirme metodolojisine dayanan YBM tabanlı simülasyon modeli geliştirmişlerdir. TohidiFar v.d. (2021) bir hastanenin hizmet sistemlerinin ilişkisel risk bilgisine dayalı olarak afet sonrası tahmini durumlarını 3 boyutlu (3B) model üzerinde gösteren YBM ve Bayes ağları tabanlı entegre bir model geliştirmişlerdir. Afet öncesi müdahale ekiplerinin eğitimine yönelik çalışmalar ise Sanal Gerçeklik ve Arttırılmış Gerçeklik teknolojilerinin üzerine yapılandırılmakta ve veri için YBM sistemleri ile bütünleştirilmektedirler (Feng v.d., 2020; Pan v.d., 2015; Lovreglio ve Kinatader, 2020).

Afet sırasında müdahalelere yönelik YBM tabanlı çalışmalar büyük bir oranda yön bulma ve acil kaçışları destekleyen sistemler üzerinedir. Bloch v.d. (2016) yapıların taşıyıcı sistem bileşenlerine dayalı olarak depremde yıkılma düzenini yıkım sonrası fotoğraflardan tahmin ederek kurtarma çalışmaları için olası boşlukları belirleyebilen bir sistem geliştirmeye çalışmışlardır. Real Ehrlich ve Blankenbach (2019) çoklu sensörlü akıllı telefonlar kullanarak gerçek zamanda konum belirleyebilen bir sistem geliştirmişlerdir. Chen v.d. (2014) CBS ve YBM verisini birlikte kullanarak, yangına müdahalede itfaiye araçları için eniyilenmiş konumları önceden belirleyerek müdahalede zaman kazandıran bir yazılım geliştirmişlerdir. Binalarda yangın alarm ve güvenlik sistemlerine yönelik YBM odaklı çalışmalar son iki yılda artmıştır. Zhou v.d. (2022) mevcut geleneksel yangın alarm sistemlerini YBM ve bulut teknolojisini kullanarak iyileştiren CloudFAS adlı bir sistem önermişlerdir. Kanangkaew v.d. (2023) ise bir binadaki yangın hakkındaki bilgilere gerçek zamanlı erişim sağlayan ve kullanıcıların potansiyel tehlikeleri algılamasına imkan veren YBM ve Arttırılmış Gerçekliği (AR) entegre eden bir yangın tahliye sistemi prototipi geliştirdi. Kim v.d. (2023) ise YBM tabanlı yangın müdahale yönetim sistemi geliştirdiler. Ayrıca Hsiao ve Hsieh (2023) yangından korunma, tahliye ve kurtarma operasyonları için gerçek zamanlı bir yangın güvenlik sistemi tasarımı önerdi. Hong v.d. (2015) bina iç mekanlarında lazer tarayıcılar ile elde edilen nokta bulutlarının otomatik olarak üç boyutlu modele dönüştürülebilmeleri için bir yöntem geliştirmiştir. Franz v.d. (2018) ise bir müdahale ekibinde bulunan çok sayıda mobil lazer tarama cihazlarından alınan verileri otomatik birleştirerek yapıların içini haritalayabilen bir sistem önermiştir. Daha sonra da Nikoohemat v.d. (2020) nokta bulutlarından elde edilen bina modeli içinde kaçış rotalarını oluşturan bir algoritma geliştirmişlerdir. Tashakkori v.d. (2015) iç mekanlarda afetlere müdahalede kullanılmak üzere özel bir iç mekan veri modelini YBM verisinden oluşturan bir platform önermiştir. Varduhn v.d. (2010) afet yönetiminde kullanılabilecek büyük veri setlerini, örneğin bölgesel, hatta ülke ölçeğinde bina verisini yönetebilen bir veri yapısı geliştirmişlerdir.

Afet sırasında kaçış ise birçok alanda araştırmacıların ilgisini çeken bir alandır ve YBM sistemleri ile iki boyutlu planlar yerine üç boyutlu modeller kullanılabilen, kaçış planlamada daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Peng v.d. (2019) büyük kamusal yapılarda kullanılabilecek kendi kendine öğrenen yapay sinir ağ tabanlı bir kaçış rotası belirleme algoritması geliştirmişlerdir. Chen v.d. (2021) afet sırasında kurtarılması gereken yerlerinin belirlenmesi ve seyyar satıcı problemi algoritmasına dayanarak kurtarma ekipleri için en kısa rotayı belirleyen bir yazılım üzerine çalışmışlardır. Chou v.d. (2019) çok katlı yapılarda itfaiye ekiplerine dinamik olarak eniyilenmiş rotaları belirleyebilen, görüntü işleme ve bluetooth sensör verileriyle desteklenen bir sistem geliştirmek üzerine çalışmışlardır. Chen v.d. (2018) itfaiye ekiplerine müdahaleden hemen

önce simülasyonlara dayalı olarak yangının durumu hakkında olasılıkları sunan YBM tabanlı bir görselleştirme ve uyarı sistemi geliştirmiştir. Cheng v.d. (2017) çok katlı yapılar için bluetooth teknolojisine dayanan kişisel konum belirleme ve dinamik kaçış rotası çözümlenme algoritmaları barındıran YBM tabanlı bir yangın önleme ve afet yardım sistemi geliştirmişlerdir.

Afet sonrası aşamaya yönelik çalışmalar ise henüz görece kısıtlıdır. Amirebrahimi v.d. (2016) CBS ve YBM verilerini bütünleştirerek sel sonrası hasar belirleme ve görselleştirme sistemi geliştirmiştir. Wilson v.d. (2018) lazer tarayıcılar ile üç boyutlu belgelemeye dayalı bir hasar belirleme sistemi üzerine çalışmışlar ve özellikle tarihi yapılar için önemini vurgulamışlardır. Messaoudi ve Nawari (2020) Florida eyaletine yönelik, afet sonrası yeniden yapım çalışmalarının hızlanması için YBM tabanlı bir Sanal Yapım İzini çerçevesi tanımlamışlardır.

YBM TABANLI AFET YÖNETİM SİSTEMLERİ

Literatürde afet yönetimi için YBM kullanımı konusunda giderek artan sayıda çalışma olmasına rağmen, araştırma sonuçlarının son kullanıcılara açılan yazılımlara dönüşmesi ve bu alandaki uygulamaların geliştirilmesi sınırlı kalmıştır (Khanmohammadi v.d., 2020). Afet yönetiminde YBM'den faydalanan ve son kullanıcılara açılacak olgunluğa erişmiş olan üç alan bulunmaktadır:

1. Üç boyutlu iç mekan tarama: Üç boyutlu lazer tarayıcılarla elde edilen nokta bulutlarından otomatik üç boyutlu modeller oluşturulur.
2. Yaya simülasyonu: Afet sırasında tahliye ve arama kurtarma amaçlı araştırmaların gerçek zamanda kullandığı, rota belirleme algoritmaları, afet öncesi tahliye planlama için kullanılarak kalabalık yaya hareketlerinin simülasyonu yapılır.
3. Arttırılmış gerçeklik: Sanal/arttırılmış gerçeklik ortamlarında eğitim amaçlı simülasyonlar gerçekleştirilir.

Bu üç teknolojiye özellikle yaya simülasyonları alanında çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Lovreglio v.d. (2020) tarafından yaya simülasyonu araçlarının küresel ölçekteki durumunu araştırmak için yapılan uluslararası bir çevrimiçi anket çalışması sonucuna göre en çok tanınan 15 yazılım şunlardır. Pathfinder, FDS+Evac, STEPS, Exodus, Simulex, MassMotion, Legion, VISSIM/Viswalk, EVACNET, EGRESS, Pedestrian Dynamics, SimWalk, FPETool, Evacuationz, EVACSIM. Bu araçlardan sadece Legion ve MassMotion YBM ile birlikte çalışmaktadır (Khemlani, 2018). Diğer yaya simülasyon araçları henüz YBM verisinden yararlanamamakta ve bu uygulamalarda yapı modeli yeniden oluşturulmaktadır. Bu tanınan 15 yazılımın dışında YBM ile çalışan bir diğer yaya simülasyonu ise Vectorworks ile entegre olan SimTread yazılımıdır.

Bu bölümde, bu üç teknolojiye örnek olarak, YBM tabanlı geliştirilen ve afet yönetimi alanında kullanılan dört önemli güncel sistem tanıtılacaktır. Bu sistemler şunlardır: Autodesk firması tarafından geliştirilen Navvis (2020) teknolojisi, Bentley firması'nın Legion (2020) uygulaması, Oasys tarafından geliştirilen MassMotion (2020) ve New York Şehri Acil Durum Yönetimi Ofisi (OEM) tarafından kullanılan Gelişmiş Afet Yönetimi Simülasyonu ADMS (Advanced Disaster Management Simulation) (ETC-Simulation, 2020).

Üç Boyutlu İç Mekan Tarama - Autodesk NavVis

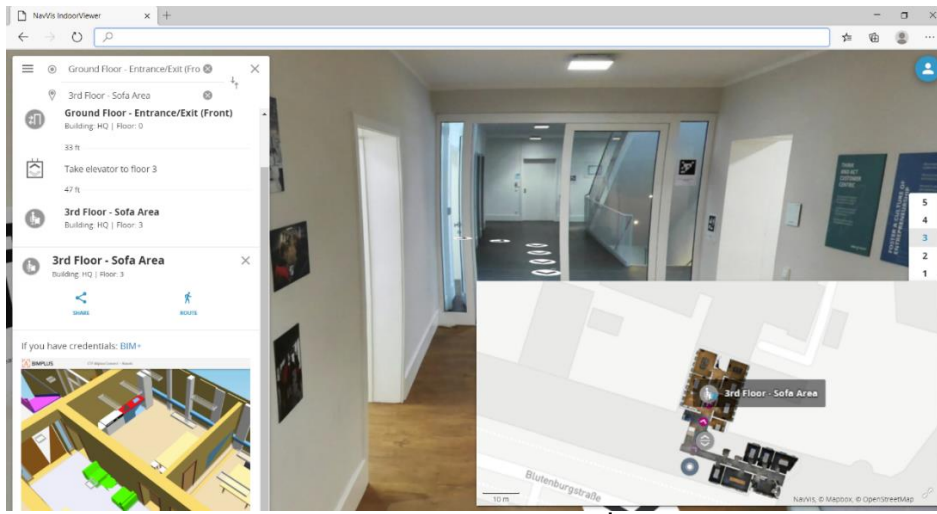
Alman NavVis GmbH, mevcut binalardan yapı bilgi modelleri için verimli bir şekilde veri toplamak ve tasarım modelleriyle karşılaştırmak için teknoloji geliştiren bir şirkettir. NavVis, iç mekan verilerini yakalamaya yönelik iç mekan haritalama, görselleştirme ve gezinme araçları geliştirmiştir. Bu araçlar; 3 boyutlu mobil tarama ve haritalama araçları olan M6 Trolley (Şekil 3a) ve VLX (Şekil 3b) ile mobil tarama cihazları tarafından yakalanan verilerin 3 boyutlu görüntülerini gösteren, tarayıcı tabanlı bir yazılım olan IndoorViewer'dır (Şekil 4).



Şekil 3a. NavVis M6 Trolley



Şekil 3b. NavVis VLX



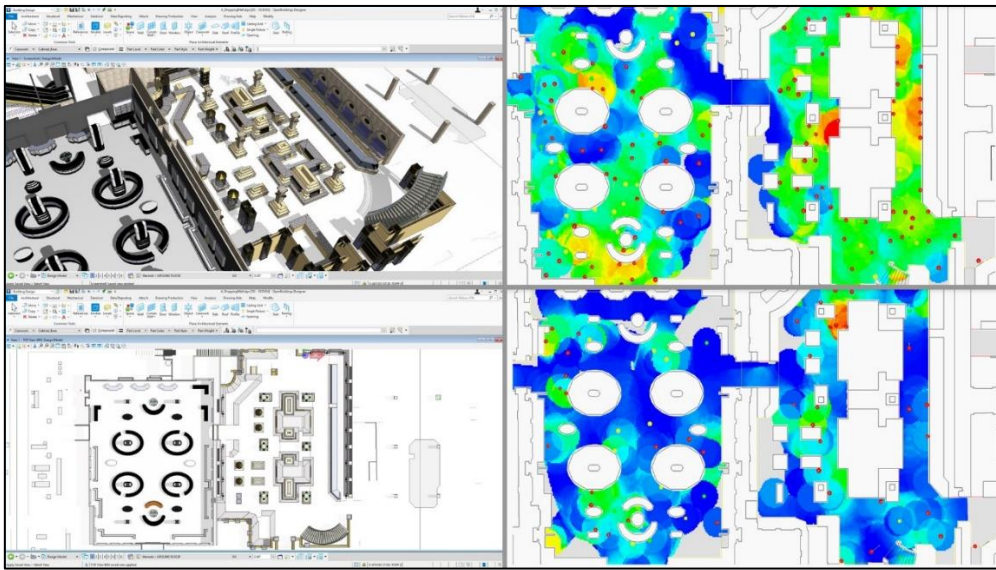
Şekil 4. NavVis IndoorViewer ile Taranan İç Mekanda Sanal Tur.

Mevcut yapıların 3B tarama ve haritalaması, otomatik olarak lazer tarayıcılar ve kameralarla donatılmış M6 Trolley ve VLX kullanılarak yapılmaktadır. M6 Trolley boşluklar arasında hareket ederken nokta bulutları oluşturmakta ve panoramik görüntüler üretmektedir. Bina kullanıcıları, IndoorViewer yazılımını kullanarak mekansal yerleşimlerdeki değişiklikleri belirleyebilmekte, modele yeni elemanlar ekleyebilmekte ve dolayısıyla yapı bilgi modellerindeki farklılıkları belirleyebilmektedirler. Böylelikle YBM modelleri düzenli olarak kontrol edilebilir ve binadaki değişimleri yansıtabilecek şekilde güncel tutulabilir.

NavVis Acil Durum Müdahale Pilot Projesi, NavVis araçlarını kullanarak acil müdahale süresini kısaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Proje, GPS teknolojisi itfaiye araçlarının bir konuma ulaşma hızını önemli ölçüde artırır da, acil bir durumda iç mekanlarda gezinmek için böyle bir eşdeğer teknolojinin olmadığı fikri ile ortaya çıkmıştır. Bu projede, ofis mekanları ve üretim alanından oluşan bir sandalye imalat binası test senaryosu olarak kullanılmıştır. 50.000 m²'lik alan, NavVis M3 Trolley kullanılarak üç boyutlu olarak taranmıştır. Elde edilen iç mekan verileri, binanın görselleştirilmesi ve içinde sanal olarak gezinilmesi için IndoorViewer yazılımı tarafından kullanılır. Örnek olay incelemesi için, beş farklı şehirden itfaiyeciler NavVis kullanımıyla ilgili herhangi bir teknik eğitim almadan teste katılmıştır. Test sonuçları, itfaiyecilerin ilk defa kullanmalarına rağmen tabletlere yüklü NavVis teknolojisi ile ilk alarm konumuna ulaşma süresinin, geleneksel 2 boyutlu planların kullanımına kıyasla %25 oranında azaldığını göstermiştir. Bu test, 3 boyutlu ve YBM tabanlı navigasyon araçlarının, ilk müdahale ekiplerinin verimliliğini artırmada yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Yaya Simülasyonu – Bentley Legion

Legion, 1997 yılında yaya simülasyon yazılımı geliştiricisi olarak kurulmuş ve 2018'de Bentley Systems tarafından satın alınmıştır. Yaya simülasyonu, mimari tasarımın çeşitli boyutlardaki kalabalıklar için yeterli olup olmadığının test edilmesine imkan sağladığı için genellikle stadyumlar, hava alanları, tren istasyonları gibi büyük bina ve altyapı projeleri için kullanılmaktadır. Legion'un yaya simülasyon uygulamaları Bentley'in YBM araçlarıyla entegre edilmiştir. YBM teknolojisi ile birlikte çalışan Legion uygulaması, yayaların birbirleriyle ve fiziksel bariyerler ile etkileşimi, tren istasyonları, havaalanları, spor sahaları, yüksek binalar dahil olmak üzere kamusal alanlarda sirkülasyon ve tahliye gibi çok çeşitli senaryolar için modelleme imkanı sunmaktadır. Şekil 5'de bir alışveriş merkezinin üç boyutlu görünümü, planı ve iki ayrı kullanım senaryosunda oluşan yaya yoğunlukları görülmektedir. YBM tabanlı tasarım ortamlarıyla yaya simülasyon araçlarını kullanan mimarlar, yayaların ve kalabalığın altyapı ile nasıl etkileşim kurduğunu araştırabilmekte ve farklı tasarım alternatiflerinde yaya trafiği senaryolarını değerlendirebilmektedir.



Şekil 5. LEGION Yaya Simülasyon Yazılımı

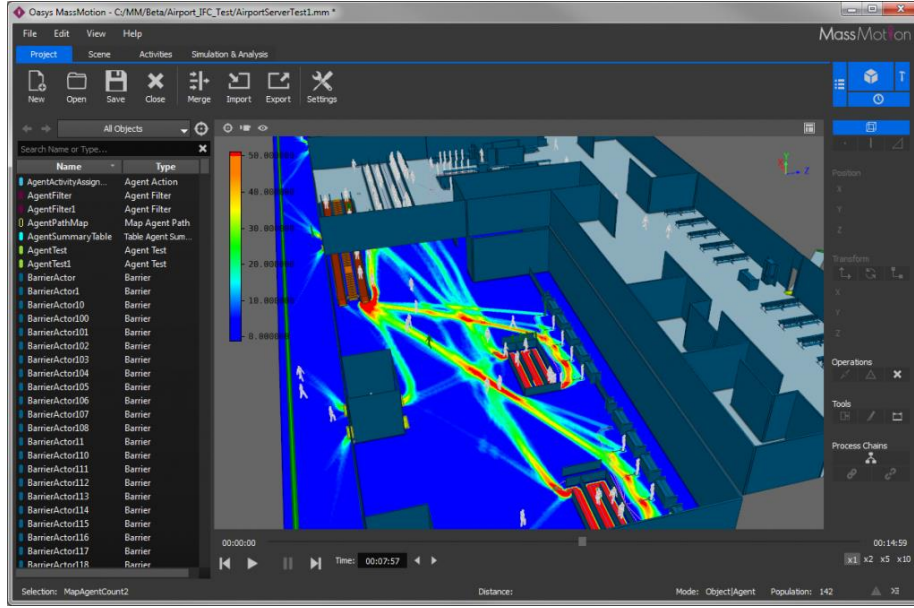
Yaya simülasyon yazılımı kullanılarak, deprem gibi afet ve acil durum tahliye senaryoları büyük ölçekli binalar için incelenebilmekte ve tasarım alternatifleri değerlendirilebilmektedir. Yayaları simüle etmek, özellikle havalimanları, tren istasyonları, stadyumlar ve oditoryum binaları gibi büyük ve yoğun insan trafiğine sahip kamu binalarında acil bir durumda yaya trafiğinin düzene konmasına, tıkanıklıkların önlenmesine, kalabalıkların kontrol edilmesine ve tahliyelerin iyileştirilmesine imkan sağlamaktadır. Günümüzde yapıların, son yıllarda artan bina stoğu ve yaşanan afetler de göz önünde bulundurularak deprem ve yangın gibi afet durumlarındaki tahliye senaryolarının dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir.

Yaya Simülasyonu - Oasis MassMotion

MassMotion, YBM ile entegrasyon sunan bir başka yaya simülasyon yazılımıdır. Bu uygulama AutoCAD, MicroStation, Archicad ve Revit gibi YBM yazılımlarında oluşturulan 3B modeller ile çalışabilmektedir. Binaların afet ve acil durum anlarında, hızlı ve güvenli tahliyenin sağlanmasına yönelik tasarlanması ihtiyacının artan önemi ile yaya simülasyon yazılımlarının tasarım aşamasında kullanımı kritik bir rol almaktadır. MassMotion, yapı sektörünün farklı disiplinleri arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak için geliştirilen IFC standardını da desteklemektedir.

MassMotion, 3 boyutlu karmaşık ortamlarda kalabalıkların hareketini tahmin etmek için kullanılmaktadır. MassMotion'un yaya simülasyonları, analiz ve modelleme araçları bir arada kullanılarak kalabalıklar gerçek yaşam durumlarında yeniden oluşturulur.

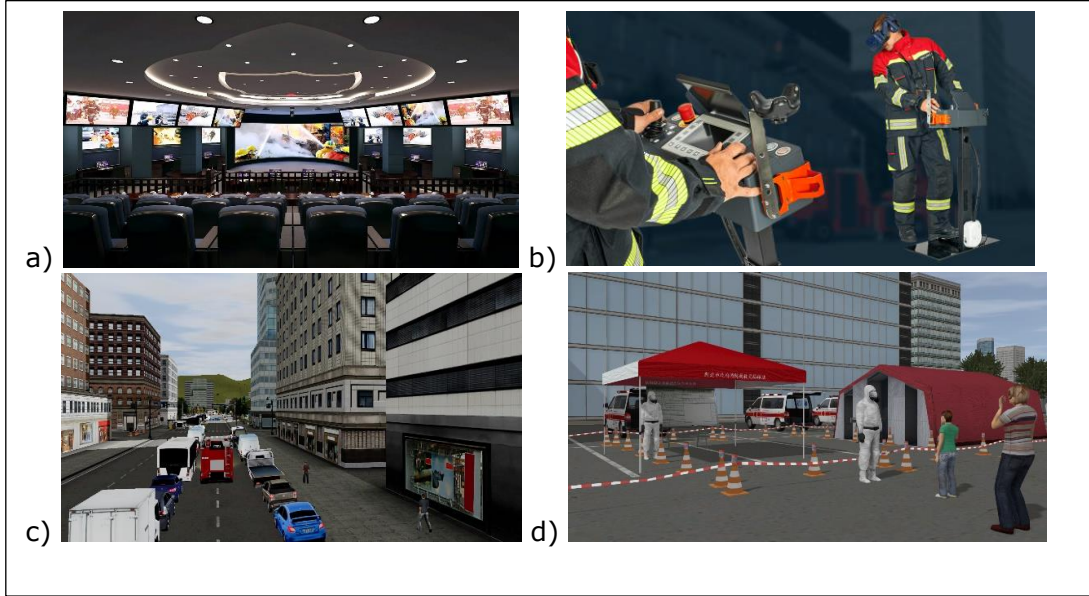
Kullanıcıların binayı veya büyük bir alanı nasıl kullanacağı simüle edilerek yerleşim planları daha güvenli ve kullanışlı bir ortam için optimize edilebilmektedir. MassMotion, tasarımcılar ve tesis yöneticileri için kalabalıklar ve kullanım alışkanlıkları hakkında bilgi sağlamak için kalabalık modelleme teknolojisini kullanan bir simülasyon yazılımıdır. Ulaşım merkezleri, fuar alanları, planlı etkinlikler, havaalanı tasarımı ve planlaması (Şekil 6), tahliye planlaması, stadyum planlaması ve bakım projeleri için kullanılmaktadır. MassMotion, stadyum yapıları için yangın tahliye planlaması, Kabe'nin yaya simülasyon çalışması, ofis binaları için tahliye modellemesi, havalimanları ve tren istasyonlarındaki yolcu akışları gibi birçok örnek olay çalışmasında kullanılmıştır.



Şekil 6. MassMotion yaya simülasyonu ile havaalanı planlaması

Arttırılmış Gerçeklik – ETC ADMS

Environmental Tectonics Corporation tarafından geliştirilen ADMS (Advanced Disaster Management Simulator - Gelişmiş Afet Yönetimi Simülatorü) New York Şehri Acil Durum Yönetimi Ofisi (Office of Emergency Management - OEM), tarafından kullanılmaktadır. ADMS, sanal ortamda tüm afet ve acil durum yönetimi ekiplerinin ve ilk müdahale ekiplerinin davranışlarını koordine etmek ve yönetmek için simülasyon tabanlı bir eğitim programıdır. Bir afet veya acil durumda, hasarı azaltmak için birden fazla acil müdahale ekibinin birlikte çalışması gerekir. Kontrol, koordinasyon ve iletişim konusunda yeterli eğitim sağlanmadan afet ve acil durum yönetimi ekipleri, birden fazla kurum arasında koordinasyonu sağlamakta yetersiz kalabilmektedirler. ADMS, acil durum yöneticileri, kamu güvenliği görevlileri, ekip liderleri, hazırlıktan müdahale ve iyileştirmeye kadar ilk müdahale ekipleri dahil olmak üzere tüm afet ve acil durum personelinin eğitiminde gerçek durum simülasyonlarının kullanılması için geliştirilmiştir. Bu yazılımda, depremler, seller, yangınlar, kasırgalar, terör saldırıları gibi çok çeşitli felaketler oluşturulabilmekte ve simülasyonları yapılabilmektedir. Arttırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılan oyun motorlarına veriler YBM modellerinden aktarılabilir. Eğitim senaryoları, tek bir kullanıcı için olabileceği gibi, birden çok kullanıcı veya birden çok kurumun işbirliği içinde olacağı şekilde özelleştirilebilmektedir. Şekil 7'de sistem ile oluşturulabilecek çeşitli eğitim senaryolarına dört örnek görülmektedir. Bunlar koordinasyon merkezinde işbirliği eğitimi, arttırılmış gerçeklikle operatör eğitimi, yangına müdahale ve COVID-19 tarama istasyonu eğitimidir.



Şekil 7. ADMS Eğitim Amaçlı Sanal Ortamları
a) koordinasyon merkezinde eğitim b) artırılmış gerçeklikle operatör eğitimi
c) yangın müdahale senaryosu d) COVID-19 eğitimi

Simülasyonlar sadece afet eğitimi odaklı değil, aynı zamanda acil durum planlaması ve yönetimi alanlarında da karar destek mekanizması sağlamaktadırlar. Kaynak dağıtımları daha verimli bir şekilde organize edilebilmekte, standart işletim prosedürleri belirlenebilmekte ve düzenli olarak güncellenebilmekte, acil durum müdahale planları test edilebilmekte, doğrulanabilmekte, büyük ölçekli tatbikatlar daha iyi planlanabilmekte ve uygulanabilmektedir.

SONUÇ

Afet ve acil durum yönetimi için tasarlanmış bilgi teknolojileri, devam eden bir kriz sırasında daha iyi planlama ve koordinasyon için yararlı bilgiler sağlayabilmektedir. YBM tabanlı sistemlerin afet ve acil durum yönetimi için etkili bir bilgi teknolojisi olarak kullanımı henüz erken bir evrededir. Bu çalışmada yapılan sistematik taramada ulaşılan, teknoloji geliştirmeye yönelik özgün araştırma makalelerinde özellikle 2015'ten sonra bir artış gözlemlenmiştir. Afet ve acil durum yönetiminin tüm aşamalarını kapsayan çalışmalar bulunmaktadır. Fakat araştırmaların son kullanıcılara ulaşan teknolojilere dönüşenleri henüz sınırlı sayıdadır. En çok yaya simülasyonları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar ile risk belirleme ve tahliye planlama mümkün olabilmekte, tasarım aşamasında problemler giderilebilmektedir. İkinci olarak restorasyon alanında da sık kullanılan lazer tarayıcılar ile otomatik iç mekan modeli oluşturma yazılımları gelişmektedir. Bu teknolojilerle hem planlama hem de acil durumda ilk müdahale ekipleri için rota belirlemek mümkün olabilmektedir. Son olarak sanal ve artırılmış gerçeklik ortamlarının eğitim amaçlı kullanılmasına yönelik çalışmaların hızlandığı anlaşılmaktadır.

YBM ile, acil durum müdahale ekiplerine kritik bina bilgileri sağlayarak yardımın etkinliğini artıran sistemler geliştirilmektedir. Bununla beraber YBM tabanlı sistemler daha tasarım aşamasında güvenlik risklerini en aza indirecek seçenekleri belirleme potansiyeline sahiptir. Ayrıca afet sonrası hasar değerlendirme süreçlerini kolaylaştırmada da YBM sistemlerinden faydalanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma, inşaat sektörü için geliştirilen bilgi teknolojilerinden biri olan YBM teknolojisinin afet ve acil durum yönetimi alanındaki kullanımlarını incelemekte ve gelişen teknolojilerin birlikte kullanımıyla gelen potansiyel avantajları vurgulamaktadır. YBM ile çalışan dört güncel yazılım örnek olarak tanıtılmıştır. Afet ve acil durum yönetimi alanında YBM tabanlı sistemlerin geliştirilmesi yeni bir araştırma alanıdır ve bu çalışma, alanı tanımlamaya yardımcı olmayı ve gelecekteki araştırmalar için bir çerçeve sunmaktadır. Geleceğin dayanıklı şehirlerindeki akıllı

sistemlerin CBS ve YBM tabanlı veriyi beraber kullanacağı açıktır. Kent yönetimlerinde gereken dönüşümün sağlanabilmesi için YBM tabanlı sistemlere geçişin hızlanması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Amirebrahimi, Sam, Abbas Rajabifard, Priyan Mendis ve Tuan Ngo. 2016. "A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM-GIS integration." *International Journal of Digital Earth* 9 (4):363-386. doi: 10.1080/17538947.2015.1034201.
- Atef, Ahmed ve David Bristow. 2022. "Risk assessment of infrastructure facilities considering spatial and operational interdependencies: temporal simulation model." *Structure and Infrastructure Engineering* 18 (8):1138-1151. doi: 10.1080/15732479.2021.1877737.
- Barazzetti, Luigi, Fabrizio Banfi, Raffaella Brumana, Gaia Gusmeroli, Mattia Previtali ve Giuseppe Schiantarelli. 2015. "Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans." *Simulation Modelling Practice and Theory* 57:71-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.06.004>.
- Bloch, Tanya, Rafael Sacks ve Oded Rabinovitch. 2016. "Interior models of earthquake damaged buildings for search and rescue." *Advanced Engineering Informatics* 30 (1):65-76. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.12.001>.
- Cao, L. ve G. Zhou, "Research on Emergency Response Mechanisms for Meteorological Disasters", 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 3-4 Aug. 2008, 2008.
- Chen, Chun-Hao, Yu-Ching Lee ve Albert Y. Chen. 2021. "A Building Information Model enabled Multiple Traveling Salesman Problem for building interior patrols." *Advanced Engineering Informatics* 47:101237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101237>.
- Chen, Liang-Chien, Chia-Hao Wu, Tzu-Sheng Shen ve Chien-Cheng Chou. 2014. "The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations." *Computers, Environment and Urban Systems* 45:1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.01.003>.
- Chen, Xiu-Shan, Chi-Chang Liu ve I. Chen Wu. 2018. "A BIM-based visualization and warning system for fire rescue." *Advanced Engineering Informatics* 37:42-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.04.015>.
- Cheng, Min-Yuan, Kuan-Chang Chiu, Yo-Ming Hsieh, I. Tung Yang, Jui-Sheng Chou ve Yu-Wei Wu. 2017. "BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief." *Automation in Construction* 84:14-30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.027>.
- Choi, Jungsik, Junho Choi ve Inhan Kim. 2014. "Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings." *Automation in Construction* 46:38-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.005>.
- Chou, Jui-Sheng, Min-Yuan Cheng, Yo-Min Hsieh, I. Tung Yang ve Hsin-Ting Hsu. 2019. "Optimal path planning in real time for dynamic building fire rescue operations using wireless sensors and visual guidance." *Automation in Construction* 99:1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.020>.
- Dao, Jicao, S. Thomas Ng, Yifan Yang, Shenghua Zhou, Frank J. Xu ve Martin Skitmore. 2021. "Semantic framework for interdependent infrastructure resilience decision support." *Automation in Construction* 130:103852. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103852>.
- Eastman, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks ve Kathleen Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*: Wiley Publishing, 2008.
- ETC-Simulation, "Advanced Disaster Management Simulator", <http://www.trainingfordisastermanagement.com>, Son güncelleme 20 Kasım 2020.



- Feng, Zhenan, Vicente A. González, Robert Amor, Michael Spearpoint, Jared Thomas, Rafael Sacks, Ruggiero Lovreglio ve Guillermo Cabrera-Guerrero. 2020. "An immersive virtual reality serious game to enhance earthquake behavioral responses and post-earthquake evacuation preparedness in buildings." *Advanced Engineering Informatics* 45:101118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101118>.
- Franz, Steffen, Robert Irmeler ve Uwe Rüppel. 2018. "Real-time collaborative reconstruction of digital building models with mobile devices." *Advanced Engineering Informatics* 38:569-580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.08.012>.
- Gebbeken, N., I. Videkhina, E. Pfeiffer, M. Garsch ve L. Rudiger. 2016. "Risk assessment and protection of the built infrastructure for flood eventsHochwassergefahr." *Bautechnik* 93 (4):199-213. doi: 10.1002/bate.201600003.
- Hijazi, Ihab Hamzi, Manfred Ehlers ve Sisi Zlatanova. 2012. "NIBU: a new approach to representing and analysing interior utility networks within 3D geo-information systems." *International Journal of Digital Earth* 5 (1):22-42. doi: 10.1080/17538947.2011.564661.
- Hong, Sungchul, Jaehoon Jung, Sangmin Kim, Hyoungsig Cho, Jeongho Lee ve Joon Heo. 2015. "Semi-automated approach to indoor mapping for 3D as-built building information modeling." *Computers, Environment and Urban Systems* 51:34-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.01.005>.
- Hsiao, Chung-Jung ve Shang-Hsien Hsieh. 2023. "Real-time fire protection system architecture for building safety." *Journal of Building Engineering* 67:105913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105913>.
- JBP, "Japan Bosai Platform", <https://bosai-jp.org/sp/solutionmap/solution/Earthquake/Mitigation/76> Son güncelleme 20 Kasım 2020.
- Kanangkaew, Somjintana, Noppadon Jokkaw ve Tanit Tongthong. 2023. "A real-time fire evacuation system based on the integration of Building Information Modeling and Augmented Reality." *Journal of Building Engineering* 67:105883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105883>.
- Khanmohammadi, Sadegh, Mehrdad Arashpour ve Yu Bai, *Applications of Building Information Modeling (BIM) in Disaster Resilience: Present Status and Future Trends*, 2020.
- Khemlani, Lachmi, "LEGION and the Technology of Pedestrian Simulation" *AECbytes*, 6 Aralık 2018, 2018.
- Kim, Dahee, Hee-sung Cha ve Shaohua Jiang. 2023. "The Prediction of Fire Disaster Using BIM-Based Visualization for Expediting the Management Process." *Sustainability* 15 (4). doi: 10.3390/su15043719.
- Legion, "Simulation and Modeling Software", <https://www.bentley.com/en/products/brands/legion>, Son güncelleme 20 Kasım 2020.
- Lei, Ying, Yongping Rao, Jiamin Wu ve Chao-Hsiu Lin. 2020. "BIM based cyber-physical systems for intelligent disaster prevention." *Journal of Industrial Information Integration* 20:100171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100171>.
- Lin, Chao-Hsiu, Ming-Chin Ho, Po-Chuan Hsieh, Yan-Chyuan Shiau ve Ming-Ling Yang. 2022. "Study of a BIM-Based Cyber-Physical System and Intelligent Disaster Prevention System in Taipei Main Station." *Applied Sciences-Basel* 12 (21). doi: 10.3390/app122110730.
- Lovreglio, Ruggiero ve Max Kinateder. 2020. "Augmented reality for pedestrian evacuation research: Promises and limitations." *Safety Science* 128:104750. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104750>.
- Lovreglio, Ruggiero, Enrico Ronchi ve Michael J. Kinsey. 2020. "An Online Survey of Pedestrian Evacuation Model Usage and Users." *Fire Technology* 56 (3):1133-1153. doi: 10.1007/s10694-019-00923-8.



- MassMotion, "Crowd Simulation Software", <https://www.oasys-software.com/products/pedestrian-simulation/massmotion/>, Son güncelleme 20 Kasım 2020.
- Messaoudi, Mouloud ve Nawari O. Nawari. 2020. "BIM-based Virtual Permitting Framework (VPF) for post-disaster recovery and rebuilding in the state of Florida." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 42:101349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101349>.
- Nasa, "NASA Demonstrates Tsunami Prediction System", <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2010-198> Son güncelleme 20 Kasım 2020.
- Navvis, "Navvis Indoor Mobile Mapping Systems", <https://www.navvis.com>, Son güncelleme 20 Kasım 2020.
- Nikoohemat, Shayan, Abdoulaye A. Diakité, Sisi Zlatanova ve George Vosselman. 2020. "Indoor 3D reconstruction from point clouds for optimal routing in complex buildings to support disaster management." *Automation in Construction* 113:103109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103109>.
- Pan, Jing, Xing Su ve Zheng Zhou. 2015. "An Alternate Reality Game for Facility Resilience (ARGFR)." *Procedia Engineering* 118:296-303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.430>.
- Peng, Yang, Sun-Wei Li ve Zhen-Zhong Hu. 2019. "A self-learning dynamic path planning method for evacuation in large public buildings based on neural networks." *Neurocomputing* 365:71-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.06.099>.
- Rao, Ramesh R., Jon Eisenberg ve Ted Schmitt, *Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery*. Washington, DC: The National Academies Press, 2007.
- Real Ehrlich, Catia ve Jörg Blankenbach. 2019. "Indoor localization for pedestrians with real-time capability using multi-sensor smartphones." *Geo-spatial Information Science* 22 (2):73-88. doi: 10.1080/10095020.2019.1613778.
- Rong, Youtong, Ting Zhang, Yan Chen Zheng, Chunqi Hu, Ling Peng ve Ping Feng. 2020. "Three-dimensional urban flood inundation simulation based on digital aerial photogrammetry." *Journal of Hydrology* 584:124308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124308>.
- Sertyesilisik, Begum. 2017. "Building Information Modeling as a Tool for Enhancing Disaster Resilience of the Construction Industry." *Transactions of the VŠB: Technical University of Ostrava, Safety Engineering Series* 12. doi: 10.1515/tvsbses-2017-0002.
- Shariatfar, Moeid ve Yong-Cheol Lee. 2023. "Urban-Level Data Interoperability for Management of Building and Civil Infrastructure Systems during the Disaster Phases Using Model View Definitions." *Journal of Computing in Civil Engineering* 37 (1). doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001040.
- Tashakkori, Hosna, Abbas Rajabifard ve Mohsen Kalantari. 2015. "A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation." *Building and Environment* 89:170-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.036>.
- TohidiFar, Ali, Milad Mousavi ve Amin Alvanchi. 2021. "A hybrid BIM and BN-based model to improve the resiliency of hospitals' utility systems in disasters." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 57:102176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102176>.
- Tomaszweski, Brian, Michael Judex, Jörg Szarzynski, Christine Radestock ve Lars Wirkus. 2015. "Geographic Information Systems for Disaster Response: A Review." *Journal of Homeland Security and Emergency Management* Volume 12:571-602. doi: 10.1515/jhsem-2014-0082.
- Varduhn, V., R. P. Mundani ve E. Rank, *Real Time Processing of Large Data Sets from Built Infrastructure*. Edited by J. Baralt, N. Callaos, H. W. Chu, J. Ferrer, W. Lesso and M. J. Savoie, *Imeti 2010: 3rd International Multi-Conference on Engineering*



- and Technological Innovation, Vol II*. Orlando: Int Inst Informatics & Systemics, 2010.
- Wilson, Lyn, Alastair Rawlinson, Adam Frost ve James Hepher. 2018. "3D digital documentation for disaster management in historic buildings: Applications following fire damage at the Mackintosh building, The Glasgow School of Art." *Journal of Cultural Heritage* 31:24-32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.012>.
- Zhou, Xiaoping, Haoran Li, Jia Wang, Jichao Zhao, Qingsheng Xie, Lei Li, Jiayin Liu ve Jun Yu. 2022. "CloudFAS: Cloud-based building fire alarm system using Building Information Modelling." *Journal of Building Engineering* 53:104571. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104571>.
- Zhu, Yiqing ve Nan Li. 2021. "Virtual and augmented reality technologies for emergency management in the built environments: A state-of-the-art review." *Journal of Safety Science and Resilience* 2 (1):1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2020.11.004>.