



RESILIENCE

e-ISSN: 2602-4667

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Resilience

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/resilience>

Acil Durum Hastanelerinin Üretim Sürecinde Kalitenin Arttırılmasında Yeni Teknolojinin Kullanımı

The Use of New Technology in Improving the Quality in the Production Process of Emergency Field Hospitals

Mahmoud ABDALLA¹ ,*, Nilüfer TAŞ² , Murat TAŞ² ¹ Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, 16059, Bursa, Türkiye² Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye

ORCID 0009-0000-7513-3148

ORCID 0000-0002-3627-2011

ORCID 0000-0001-6152-5650

Öne Çıkanlar / Highlights

- Acil durum hastanelerin inşasında ve üretiminde kullanılan en son yeni teknolojiler (Bina bilgi modellemesi (BIM), yapay zeka, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve dron).
- Acil durum hastanesi inşaatının çeşitli aşamalarında (planlama ve tasarım süreci, uygulama, teslim, kullanım, söküm ve geri dönüşüm) inşaat işinin istenilen kalitede tamamlanmasındaki engeller ve sorunlar
- İnşaat ve üretimde yeni teknolojilerin kullanımı ve bunların inşaat kalitesi, bina verimliliği ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri.



Makale Bilgisi / Article Info

Gönderim / Received:

18/09/2024

Kabul / Accepted:

27/06/2025

Anahtar Kelimeler

Acil Durum Hastaneleri
Bina Kalitesi, Teknoloji
Kullanımı, Üretim
Süreci, Yeni Teknoloji

Keywords

Emergency field
Hospitals, Building
Quality, New
Technology, Production
Process, Use of
Technology

Özet

Bina üretiminde yeni teknolojilerin kullanımı daha verimli, sürdürülebilir ve kaliteli çözümlerin oluşturulmasına yol açmaktadır. Yeni teknolojilerin bina üretimde kullanılmasıyla üretim süreci daha planlı ve izlenebilir olabilmekte; yapım öncesi farklı disiplinlerdeki aktörler dijital ortamda entegre çalışarak hata oranı azaltılıp, tasarım sürecinde kalite artırılabilir; yapım aşamasında problemler hızlı tespit edilerek müdahale edilmesi, kalite standartlarına uyum, yapım hızının ve verimliliğin artırılması vb. olanaklar sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında belirlenen üç farklı ülkede (Çin, Türkiye ve Brezilya) inşa edilen acil durum hastaneleri incelenerek; tasarım ve yapım süreçlerinde karşılaşılan zorluklar analiz edilmiş, yeni teknolojilerin süreç içindeki rolü ortaya konmuştur. Bina üretim sürecinin farklı aşamalarında (planlama ve tasarım, uygulama, teslim, kullanım, sökme ve geri dönüşüm) yeni teknolojilerin kullanım alanları, projelerin sınırlı bir süre içinde ve istenilen kalitede üretilmesindeki katkısı araştırılmıştır. Son olarak, acil durum hastaneleri inşa etme sürecindeki engellerin ve sorunların aşılmasında yeni teknoloji ve tekniklerin kullanılmasının inşaat kalitesi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak, bu çalışma ürün, organizasyon ve süreç modelleme (POP) yaklaşımına bağlı kalmanın yanı sıra, Bina Bilgi Modellemesi (BIM), yapay zekâ ve insansız hava araçlarının (İHA) kullanımının, projelere ilişkin bilgilerin hızlı bir şekilde oluşturulması, yönetilmesi ve iletilmesini sağladığını ortaya koymuştur. COVID-19 pandemisinin uluslararası düzeyde yayılmaya devam etmesiyle birlikte, birçok ülke ve bölge bu hastanelerin kapasitesi, inşa hızı ve kalite açısından benzer sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, bu tür hastanelerin tasarımı, inşası ve işletilmesinde yeni teknolojilerin kullanımından elde edilen deneyimlerin, diğer ülke ve bölgelerde uzmanlaşmış acil durum hastanelerinin geliştirilmesi için değerli bir referans olması beklenmektedir.

Abstract

The use of new technologies in building production leads to more efficient, sustainable, and high-quality solutions. With the integration of these technologies into building processes, the production phase can become more planned and traceable; actors from different disciplines can collaborate in a digital environment before construction begins, thereby reducing error rates and enhancing design quality. Moreover, during the construction phase, problems can be identified and addressed rapidly, compliance with quality standards can be ensured, and both the speed and efficiency of construction can be increased. Emergency hospitals constructed in three different countries (China, Turkey, and Brazil) were examined, and the challenges encountered in their design and construction processes were analyzed. The study investigated how the use of new technologies in different phases of the building production process (planning and design, implementation, delivery, use, dismantling, and recycling) contributed to the timely and quality-oriented completion of these projects. Based on the findings, this study reveals that, in addition to adhering to the Product–Organization–Process (POP) modeling approach, the use of Building Information Modeling (BIM), artificial intelligence (AI), and unmanned aerial vehicles (UAVs) facilitates the rapid generation, management, and communication of project-related information. As the COVID-19 pandemic continues to spread globally, many countries and regions face similar challenges regarding the capacity, speed of construction, and quality of these hospitals. Therefore, the experience gained from the use of modern technologies in the design, construction, and operation of such hospitals is expected to serve as a valuable reference for the development of specialized emergency hospitals in other countries and regions.

1. GİRİŞ

Bilgi, bilgisayar, bilişim ve iletişim teknolojilerindeki gelişme ve ilerlemeler yaşamımızdaki birçok işi hızlandırarak gerçekleşmesini kolaylaştırmaktadır. Çok sayıda farklı disiplinin bir arada çalışarak ürünü ortaya çıkarmak durumunda olduğu inşaat sektöründe doğru yönetilmesi gereken farklı iş süreçleri bulunmaktadır (Keleş,A.ve Keleş,M., 2018). Bina üretiminde yeni teknolojilerin kullanımı daha verimli ve sürdürülebilir, kaliteli çözümlerin oluşturulmasına yol açmaktadır. Süreçteki paydaşlara tasarım ve inşaat sürecini daha iyi anlama, etkileşimde bulunma, karar alma, iyileştirme, maliyeti düşürmek, yapım hızını arttırmak gibi olanaklar sunmaktadır (Mignone, Hosseini, Chileshe, ve Arashpour, 2016).

Bina Bilgi Modelleme (BIM) ve yeni inşaat teknolojilerinin projenin planlanmasında, tasarlanmasında, yapımında, geri dönüştürülmesinde ve yönetimindeki farklı iş süreçlerinde etkin olarak kullanıldığı görülmektedir (Abdullah vd., 2018). Mimarlar ve mühendisler projeleri maliyet, süre ve kapsam açısından daha etkin tasarlayabilmekte ve analiz edebilmektedir(Ökten,A.B ve Arıcı Ü., 2023). Bina üretiminde pek çok zor görevi gerçekleştirmek günümüzde yapay zeka, makine öğrenmesi, sanal ve artırılmış gerçeklik, robotlar ve dronlardan vb. yararlanılmaktadır(Luo, Liu, Li, Chen, ve Zhang, 2020a). Son yıllarda inşaat sürecinde yaygın olarak kullanılan bazı teknolojik uygulamalar Tablo 1, 2, 3 ve 4’te detaylı olarak sunulmaktadır.

Sağlık sistemleri ve özel hastane tesisleri (acil durum hastaneleri vb.) dünyanın birçok ülkesinde sağlık sistemlerinin çökmesine ve eskimesine yol açan yapısal, organizasyonel ve teknolojik zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır (Sohrabi vd., 2020).

Bu zorluklar arasında, hastaları tedavi etmek için gereken alan ve kaynakların tükenmesi, hastane ve kritik bakım yataklarının yetersizliği, ayrıca enfeksiyon önleme ve kontrolüne yönelik idari, planlama ve operasyonel zorluklarla birlikte yatan hasta sayısındaki beklenmedik artış yer almaktadır (Ribeiro, de Matos Ferreira, Chinelli, ve Soares, 2020a). İhtiyacın en kısa sürede ve istenilen kalitede karşılanması için, BIM gibi gelişmiş yazılımları kullanan birçok dijital teknoloji ve araç, verimliliğin ve kalitenin artırılmasına, çeşitli bina sistemlerinin entegrasyonuna, yapım işlemlerinin kolaylaştırılmasına ve inşaat projelerinin daha iyi yönetilmesine katkıda bulunmaktadır (Akbay vd., 2023).

Acil durum hastanesi projelerinde yer alan çok sayıda ve farklı uzmanlık alanı, bilgi paylaşımını zorlaştırmakta; eşzamanlı yürütülen tasarım ve inşaat süreçleri ise yoğun iş yüküyle birleşerek son derece karmaşık bir yapı oluşturmaktadır(Sohrabi vd., 2020). Bu süreçte, sahada 15.000’den fazla işçi ve yüzlerce makinenin görev aldığı, ondan fazla sürecin eşzamanlı yürütüldüğü gözlemlenmektedir. Ekipler arası etkin koordinasyonun sağlanması, proje ilerlemesinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir (UNDP, 2023). Bu bağlamda, uzun menzilli dron teknolojileri, üretim sürecinin bütüncül bir perspektiften izlenmesi ve değerlendirilmesi için kullanılabilir (Chen vd., 2021a).

Ayrıca BIM, yalnızca mimari ve mühendislik bileşenlerini değil; aynı zamanda fonksiyonel alanlar ile yapı sahasına ilişkin detaylı verileri de kapsamaktadır(Davies ve Harty, 2013). Bu sayede, sağlık ve güvenlik

gereksinimleri doğrultusunda tasarımlar kontrol ve optimize edilebilmektedir. Bina Bilgi Modellemesi modeli ile sanal gerçeklik (VR/AR) teknolojisinin entegrasyonu sayesinde, hasta ve sağlık personeli yollarının doğru biçimde ayrıştırılması sağlanarak bulaşma riskleri en aza indirilebilmektedir (Chen vd., 2021a). Böylece temiz malzemeler ile atık akışları ayrılabilir ve tampon bölgeler etkin biçimde yerleştirilebilir.

Acil durum hastaneleri; Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC), su temini, aydınlatma ve zayıf akım sistemleri gibi yaklaşık on farklı alt sisteme sahip karmaşık hizmet yapıları içermektedir (Tan ve Papadonikolaki, 2019). BIM ve yapay zekâ tabanlı analizler sayesinde, farklı sistemler arasındaki olası problemler önceden tespit edilerek tasarım sürecinde giderilmekte, böylece inşaat aşamasında ihtiyaç duyulan revizyonlar en aza indirilmektedir (Sultana, Shahriar Dipro, ve Khan, 2024). Bu durum, iç mekân kullanımının optimize edilmesine ve kurulum görevlerinin daha verimli planlanmasına olanak tanımaktadır. BIM, aynı zamanda atık suyun toplanması, arıtılması ve boşaltılması süreçlerinin görselleştirilmesini sağlamakta; kirli hava ve atık gaz yayılımına ilişkin nicel analizlerin gerçekleştirilmesine de olanak sunmaktadır (Chen vd., 2021a). Bu kapsamda, egzoz noktalarının konumu ve bina formu gibi unsurlar optimize edilerek çevresel etkiler en aza indirilebilmektedir.

Son olarak, organizasyon ve süreç modelleme verileri ile entegre edilen BIM modeli sayesinde, tasarım, üretim ve inşaat süreçleri arasında kesintisiz ve doğru bilgi akışı sağlanmaktadır (Luo vd., 2020a). Birden fazla tedarikçinin görev aldığı prefabrikasyon sürecinde, BIM modeli aracılığıyla üretim çizimleri, lojistik planlaması ve malzeme yönetimi gibi adımlar ürün bilgileri doğrultusunda doğrudan desteklenmekte; böylece inşaat süresi önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

2019'da COVID-19 salgını, dünyanın birçok ülkesindeki yetkililerin sıkı enfeksiyon kontrol önlemlerini uygulamaya ve çok sayıda hastayı barındırabilecek acil durum hastanelerinin kurulması konusunda hızlı bir şekilde karar almaya ve acil müdahalesine yol açmıştır (Ribeiro vd., 2020). Acil durum hastanesi konsepti yeni olmayıp, savaş alanında, doğal afetler ve hızla gelişen hastalık salgınları gibi acil durumlarda uygulanmaktadır (HAP, 2023).

Ancak Brezilya'daki Lagoa Barra Hastanesi'nin, Çin'deki Leishenshan Hastanesi'nin ve Türkiye'deki Yeşilköy Hastanesi'nin tasarımı ve inşasında diğer acil durumlarda kullanılan hastanelere göre farklılıklar bulunmaktadır. Devlet medyasının canlı yayınladığı inşaat çalışmalarına çok sayıda kişi tanık olmuştur (Naser, 2023). Hızlı ve başarılı gelişme hem yönetsel hem de teknolojik açıdan dikkat çekmiştir. Örneğin, tasarımcı, ana yüklenici ve ilgili devlet daireleri de dahil olmak üzere kilit paydaşlar birbirleriyle sorunsuz bir şekilde işbirliği yapmış ve kısa bir süre içinde yeterli kaynak tahsis edilmiştir (Chen vd., 2021a; Luo vd., 2020a; Ribeiro vd., 2020).

İnşaat sürecini hızlandırmak için on binden fazla inşaat işçisi vardiyalı çalışmıştır (Ribeiro vd., 2020). Projenin uygulanmasını kolaylaştıran teknolojiler konusunda acil durum hastanelerinde, şantiyede zaman alan inşaat işlerinden kaçınmak ve birçok zor görevi gerçekleştirmek için prefabrikasyon teknolojisini yanı sıra yeni profesyonel teknolojiler de kullanılmıştır (Chen vd., 2021a; Tan ve Papadonikolaki, 2019).

İnşaat firmalarının, yeni teknolojileri hızlıca bünyelerine entegre ederek bu teknolojilerin sunduğu tasarım, yapım ve süreç yönetimi alanlarındaki iyileştirmeler sayesinde yüksek kaliteli ve afetlere dayanıklı yapılar inşa etmesi mümkündür (Akbay vd., 2023). Bu doğrultuda ise özellikle normal zamanda veya afet sonrasında özellikle zamanın ön plana çıktığı, kaliteden de ödün vermeden inşa edilmesi gereken bina üretimlerine yeni teknolojileri entegre ederek yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulacağından, ihtiyaç duyulan yeni teknolojilerin süreçte kullanılırken karşılaşılan sorunların, zorlukların ve gerekliliklerin ortaya konulmuş olması önemlidir. Çalışma kapsamında acil durum hastanelerinin üretim sürecinde kalitenin arttırılmasında yeni teknolojinin hangi aşamada nasıl kullanılabileceğinin araştırılması hedeflenmektedir.

2. İNŞAATTA KULLANILAN YENİ TEKNOLOJİLER

İnşaatte teknoloji kullanımı, proje planlaması, tasarımı, uygulanması ve yönetiminde, hassas kontrol sağlayarak inşaat kalitesini büyük ölçüde arttıracaktır (Woo, Shin, Asutosh, Li, ve Kibert, 2021a). Hata, kusur ve beklenmedik maliyet olasılığını azaltarak, tesislerin kalitesini, sürdürülebilirliğini ve operasyonların verimliliğini artırıp, birçok görevi otomatikleştirebilecektir. Verimliliğin artması projenin genel maliyetini azaltacaktır (Akbay vd., 2023). Aşağıda acil durum hastanesi projelerinin inşaat kalitesine katkıda bulunan farklı teknikler ve yeni teknolojiler (BIM, AI, VR, AR ve Dronlar) yer almaktadır.

2.1 Bina Bilgi Modellemesi (BIM)

Bina Bilgi Modellemesi yöntemi, tasarım aşamasından işletme ve hatta yıkım aşamasına kadar ki tüm bina yaşam döngüsünün bina tasarım aşamasında kurgulanarak 3 boyutlu sanal bir model üzerinden oluşturulmasına dayanmaktadır (Davies ve Harty, 2013). Sahada yapılacak herhangi bir değişiklik proje aşamasına göre çok daha

maliyetli ve fazla zaman alıcıdır. Sahada yapılan her revizyon planlanan tasarımdan uzaklaşılması anlamına gelir. Bu da kaliteyi düşürücü bir etkidir. BIM kullanımı, farklı paydaşlar arasında (mimar ve mühendisler vb.) oluşturulacak model üzerinden işbirliği içinde olmalarını ve birbirlerinin projelerinden haberdar olarak kendi projelerini oluşturmalarını ve kullanılan bina sistemlerinin entegre edilmesini kolaylaştırır (Mignone, Hosseini, Chileshe, ve Arashpour, 2016). Yapım aşamasında sahada yaşanacak olası çakışmalar, riskler daha tasarım aşamasındayken model üzerinde tespit ederek sanal ortamda çözüme kavuşturabilir (Merschbrock ve Munkvold, 2015). Böylece daha verimli ve sürdürülebilir inşaat süreçlerinin gerçekleşmesini olanak tanır. Yapı sahibine sunulan ve yapı sahibi tarafından kabul gören sanal modelin gerçekte inşa edilecek yapıya daha uyumlu olması sağlanabilir (Demirtaş, 2019). Bina üretim sürecindeki her aşamada BIM teknolojisinin kullanımına ilişkin potansiyel yararlar Tablo 1'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. Bina üretim sürecindeki aşamalarda Bina Bilgi Modellemesi (BIM) teknolojisinin kullanılmasının sağlayacağı faydalar

1- Planlama ve Tasarım Aşaması	2- Uygulama Aşaması	3- Tamamlama ve Kullanım Aşaması	4- Sökme ve Geri Dönüşüm Aşaması
3D oluşturma ve sanal gerçeklik simülasyonu yeteneği nedeniyle, bir dizi alanda tasarım kalitesini ve üretkenliği artırabilir (Luo vd. 2020; Manning ve Messner 2008) .	Acil hastane projesinde proje katılımcıları arasında mevcut işbirlikçi tasarımın verimliliğini artırmaya yönelik bütünsel tasarım sağlanabilir (Naser. 2023; Chen vd. 2021).	Bina bilgi modellemesi acil hastane projelerinde bilgi sağlayabildiği ve proje paydaşları arasındaki işbirliğini geliştirebildiği, ancak bu tür etkili işbirliğinin yönetim için yapılandırılmış sıralı bir koordinasyon süreci gerektirdiği bulunmuştur (Mignone vd. 2016).	BIM ile birimlerin yapı sökümünün numaralandırılabilirdiği ve düzenlenebildiği bulunmuştur. Bu da yeniden kullanım sürecinde kolaylık sağlayabilir
Bina bilgi modelleme teknolojisi, tasarımcının patojenik mikroorganizmaları izole etmek amacıyla hava dolaşımını ve viral kontaminasyonu analiz etmek için bir simülasyon oluşturmaya olanak sağlayabilir (Luo vd. 2020).	Farklı sektörler arasında zamanında bilgi iletilir, bu da saha hazırlığından MEP kurulumuna ve iç dekorasyona kadar paralel inşaat işlerindeki çatışmaları azaltabilir.		Taşıma aracına konulabilecek ünite sayısı ve yerleştirme yönteminin belirlenerek taşıma sürecinin yönetilebilir.
Bina bilgi modellemesi sistemleri, atık su ve yağmur suyunun nasıl toplandığı, arıtıldığı, dezenfekte edildiği ve hastane dışındaki boru ağlarına nasıl deşarj edildiğine dair resimli bir sunum sağlayabilir	İnşaat sırasında malzemeleri taşımak için gereken çabayı azaltmak amacıyla sahadaki malzeme deposu dikkatli bir şekilde yerleştirilebilir (Chen vd. 2021).		
Sorunsuz inşaat koordinasyonu ve program yönetimi için ürün modelini inşaat ilerlemesiyle bütünleştirebilir.	Ağır ekipmanların (mobil vinçler gibi) hareketi ve konumları analiz edilebilir ve inşaat sürecinin ilerleyişini sağlamak için kullanımları zamanında kaydedilebilir.		
Tasarım, üretim ve inşaat arasında kesintisiz bir bağlantı kurulabilir (Park, Lee, Kwon, ve Wang, 2013a).	Onaylanmış bina bilgi modellemesi modeli kullanılarak inşaat sahasındaki kağıt çizimler ile sahada uygulananlar arasında inşaat sürecinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir.		
Acil durum hastanesine en uygun prefabrikasyon teknolojisini seçilmesiyle üretim, nakliye ve prefabrik montajın koordinasyonu sağlanarak genel inşaat süresi kısaltılabilir.			

2.2 Yapay Zeka (AI)

Yapay zeka kullanımı, bina üretim süreçlerini iyileştirmek, akıllı kara alma ve otomasyona olanak tanıdığı için kentsel tasarım ve mimari projelerinin uygulanmasında verimliliği arttırmak, olası problemlerin ortaya çıkmadan

önce belirlenmesini sağlamak için yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm olarak kabul edildiğinden, hızla artmaktadır(Varnali, 2024). Yapay zeka teknolojileri, bina üretim sürecinin farklı aşamalarında kullanılabilmekte, planlama aşamasından itibaren verilerin analizini yapılarak inşaat programlarının optimize edilmesine, işgücü ve malzeme gereksinimlerinin tahmin edilmesi gibi hızlı ve etkili karar almaya, potansiyel ihtiyaçları ve zorlukları tahmin edebilmeye olanak tanımaktadır(Sofiat O. Abioye vd., 2021). Bina üretim sürecindeki aşamalarda yapay zeka teknolojilerinin kullanımına ilişkin potansiyel yararlar, Tablo 2'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Bina üretim sürecindeki aşamalarda yapay zeka teknolojisinin kullanılmasının sağlayacağı faydalar

1- Planlama ve Tasarım Aşaması	2- Uygulama Aşaması	3- Tamamlama ve Kullanım Aşaması	4- Sökme ve Geri Dönüşüm Aşaması
Yapay zeka verileri analiz edebilir ve planlama ve tasarım aşamasından itibaren potansiyel ihtiyaçları ve zorlukları tahmin edebilir(Chen vd. 2021). Yapay zekanın yardımıyla büyük miktarda coğrafi, iklimsel ve ekonomik veri ve bilgi analiz edilebilir, bu da kentsel planlamanın iyileştirilmesine ve en iyi konumların belirlenmesine yardımcı olabilir. Verilerin yapay zeka yardımıyla analiz edilmesiyle şantiyelerde kendi kendini izleyen sistemler kullanılarak emniyet ve güvenlik düzeyi artırılabilir.	Yapay zeka kullanılarak, tasarım ile acil durum hastanesi sahasında uygulanan unsurlar arasında inşaat sürecinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir (Chen vd. 2021).	Verilerin yapay zeka yardımıyla analiz edilmesiyle, arızaları ve olası sorunları tahmin etme, önleyici ve etkili önlemler alma yeteneği sayesinde binaların durumunu izlemek ve olası arızaları daha oluşmadan tespit etmek mümkün olabilir (Sofiat O. Abioye vd., 2021).	Verilerin yapay zeka yardımıyla analiz edilmesiyle olası arıza ve sorunları önceden tahmin edip önleyici ve etkili önlemler alabilme yeteneği sayesinde söküm durumunu izlemek ve hasarlı parçaları tespit etmek mümkün olabilir. Yapay zeka yardımıyla veriler analiz edilerek yükleme ve indirme sırasında oluşabilecek riskler belirlenerek, kazaların önlenmesi ve azaltılması için gerekli önlemler alınabilir (Sofiat O. Abioye vd., 2021).
Verilerin yapay zeka yardımıyla analiz edilmesiyle olası riskler belirlenerek, kazaların önlenmesi ve azaltılması için gerekli önlemler alınabilir (Sofiat O. Abioye vd., 2021).			

2.3 Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR)

Bina üretim aşamalarında VR ve AR teknolojilerinin kullanılması, görselleştirme, paydaşların(mimar, mühendis, mal sahibi vb.) tasarım ve yapım sürecini daha iyi anlamalarına, verimliliği arttırmak için işbirliği yapmalarına olanak sağlayabilir (Kim ve Kano, 2008). Bina üretim sürecindeki aşamalarda VR/ AR teknolojilerinin kullanımına ilişkin potansiyel yararlar, Tablo 3'te detaylı olarak gösterilmiştir.

(VR): Temel konsepti, kullanıcıların bilgisayarlarla, programlarla ilgili benzersiz simüle edilmiş bir ortam yaratmaktır. Ayrıca, gerçek bir ortam olarak simüle edilebilir (Woo vd., 2021b). İnşaat sektöründe sanal gerçekliğin kullanımı 1980'lerin sonlarından itibaren hızla yaygınlaşmıştır. Sanal gerçeklik, AEC tasarımında iletişim, güvenlik ve bilgi yönetimi, değişiklik takibi ve hem tasarım hem de inşaat aşamalarında bulut tabanlı modelleme dahil olmak üzere birçok açıdan yaygın olarak kullanılmaktadır (Kim and Kano, 2008). Kim & Kano (2008), sabit konum ve yönelime sahip bir kamera tarafından kaydedilen inşaat görüntüleri ile sanal gerçeklik (VR) görüntülerini karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmada, VR görüntüleri ile gerçek bina görüntülerinin üç boyutlu bir bakış açısıyla eşleştirilerek uyumlandırılması sağlanmıştır.

(AR): Gelişen bir teknoloji olarak AR, sanal nesnelerin görüntülerini gerçek dünyayla birleştirebilmektedir. AR teknolojisi, sanal simüle edilmiş prototipleri gerçek dünyaya getirerek ve artırılmış bir sahne yaratarak, kişinin sanal

prototiplere ilişkin algısını gerçek varlıklarla geliştirme hedefine ulaşabilmektedir (Woo vd., 2021a). Park, Lee, Kwon, & Wang (2013b), yöneticilerin daha verimli iş performansı elde etmek için maliyetleri ve zamanı incelemesine ve kontrol etmesine olanak tanıyan bir denetim sistemi olarak artırılmış gerçeklik teknolojilerini bina bilgi modellemesi ile birleştirmiştir (Park vd., 2013). Bu birleştirme ile tesis bakım yönteminin verimliliğini artırılması hedeflenmiştir.

Tablo 3. Bina üretim sürecindeki aşamalarda VR ve AR teknolojisinin kullanılmasının sağlayacağı faydalar

1- Planlama ve Tasarım Aşaması	2- Uygulama Aşaması	3- Tamamlama ve Kullanım Aşaması	4- Sökme ve Geri Dönüşüm Aşaması
Sanal gerçeklik (VR ve AR), etkileşimli 3 boyutlu simülasyon ortamları oluşturmak için bilgisayar teknolojisini kullanabilir.	VR kullanılarak, tasarım ile acil durum hastanesi sahasında uygulanan unsurlar arasında inşaat sürecinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir.	Verilerin VR yardımıyla analiz edilmesiyle, arızaları ve olası sorunları tahmin etme, önleyici ve etkili önlemler alma yeteneği sayesinde binaların durumunu izlemek ve olası arızaları daha oluşmadan tespit etmek mümkün olabilir.	Sanal gerçeklik (VR ve AR), farklı çalışma ekiplerinin yanı sıra binanın veya tesisin sahibi ve hatta kullanıcıları arasındaki iletişimin iyileştirilmesine ve yeniden kullanım sürecinin kolaylaştırılmasına katkıda bulunabilir.
Mühendislerin ve proje yöneticilerinin inşaat başlamadan önce potansiyel tasarım kusurlarını ve gerekli değişiklikleri tespit etmelerine, zamandan ve paradan tasarruf etmelerine ve projelerin kalitesini artırmalarına olanak tanıyabilir.			

2.4 Dronlar

İnsansız hava aracı olarak da bilinen dron'lar, uzaktan kumanda sistemi sayesinde uçuşa yeteneği kazandırılan minyatür robotlardır (Varnali, 2024). Sensör teknolojilerindeki ilerlemeler, kameralar, GPS(Küresel Konumlandırma Sistemi) ve yeni gelişmiş pillerle birlikte, dörtlü helikopterler, son on yılda eğlence ve ticari amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır(Kumar, 2024). Dronlar, fotoğrafçılık ve acil durum gibi çeşitli uygulama türlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mülkleri inceleme, tutarlı ve doğru proje uyarıları verme, güvenliği artırma ve şantiyelerde her türlü kazayı önleme yetenekleri nedeniyle gayrimenkul ve inşaat sektörlerinde de yoğun talep görülmektedir(Kumar, 2024). Bu tür sistemler ölçüm ve izleme amaçlı kullanılmaktadır. Dronların sahada kullanımı, geleneksel ölçme ve izleme yöntemlerine göre saha koşulları, malzeme miktarı ve inşaatın ilerlemesi hakkında daha ayrıntılı ve doğru veriler sağlayarak maliyet, zaman ve işgücünden tasarruf sağlayabilir (Varnali, 2024). Ayrıca inşaatın ilerlemesinin izlenmesinde ve güvenlik denetiminde de kullanılmaktadır(Woo vd. 2021). Bina üretim sürecindeki aşamalarda dron teknolojilerinin kullanımına ilişkin potansiyel yararlar, Tablo 4'te detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. Bina üretim sürecindeki aşamalarda dronların kullanılmasının sağlayacağı faydalar

1- Planlama ve Tasarım Aşaması	2- Uygulama Aşaması	3- Tamamlama ve Kullanım Aşaması	4- Sökme ve Geri Dönüşüm Aşaması
Uzun menzilli dron teknolojisinin yüksek irtifalarda kullanılması verimli ve doğru yer ölçümleri sağlayabilmektedir.	Uzun menzilli, yüksek irtifalı dron teknolojisi, acil durum hastanesinin üretim ve inşaat sürecini bir bütün olarak daha geniş bir perspektiften izlemek ve takip etmek için kullanılabilir(Varnali, 2024).	Dron kullanımı sayesinde, özellikle insanların girmesi zor olan yerlerde, binaların durumunu izlemek ve olası arızaları ortaya çıktıkça tespit etmek ve bunların nedenlerini bulmak mümkün olabilir.	Dron kullanımı sayesinde özellikle insanların girmesi zor olan yerlerde söküm işleminin takip edilmesi ve hasarlı ünitelerin tespit edilmesi mümkün olabilir.
Yüksek çözünürlüklü bir model oluşturmak, elde edilen verileri senkronize etmek, inşaat işi miktarını hesaplamak ve bunu proje programıyla karşılaştırarak inşaat bilgilerini toplamak için dron kullanabilir.			

Dron denetimi ve izleme yoluyla, sahanın inşaat durumu ve ilerlemesi gerçek zamanlı olarak yansıtılır ve farklı inşaat aşamalarına ait ayrıntılı veriler açıkça anlaşılır; böylece mühendisler inşaat durumunu izleyebilir ve bunları tasarım çizimleriyle karşılaştırabilir.

Şantiyenin panoramik takibini sağlamak için dron teknolojisini kullanabilir.

3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

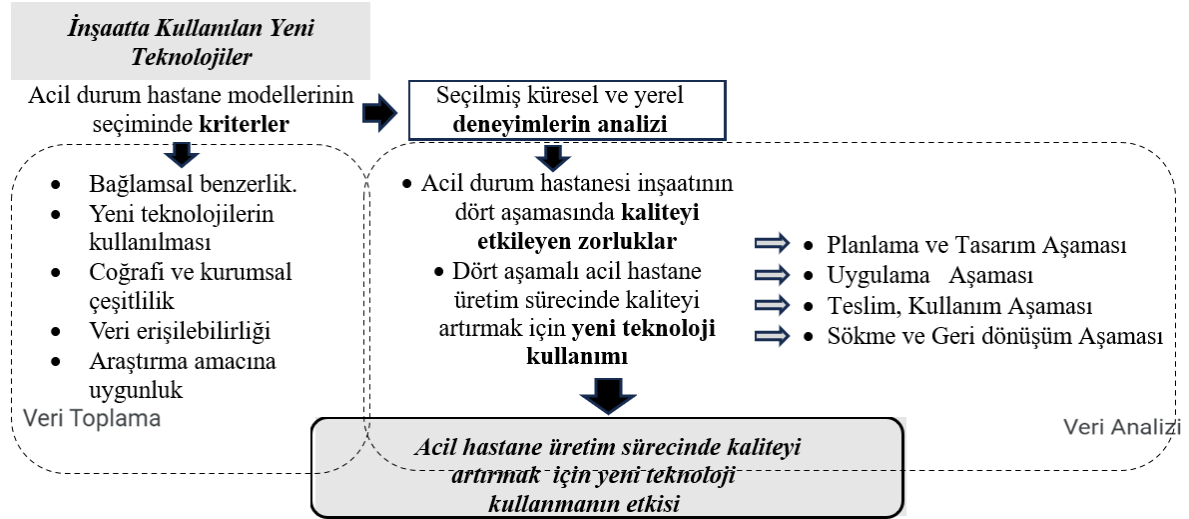
Bu çalışmanın amacı, yapımı gerçekleşen acil durum hastanelerinin incelenerek; tasarım ve yapım süreçlerinde karşılaşılan zorluklar analiz etmek ve yeni teknolojilerin süreç içindeki rolünü belirlemektir. Literatür taramasından sonra, inşa edilen acil durum (afet) hastaneleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 2014-2024 tarihleri arasında yayınlanan uluslararası (WOS, Scopus) ve yerel veritabanında (TR dizini, Ulusal tez kataloğu) yeralan dergilerdeki literatür çalışmalarını incelemek için farklı temel kavramlar (Acil durum hastanesi inşaatı, Geçici mimarlık, geçici hastane, COVID-19) kullanılmıştır. Araştırma alanına ilişkin bazı kavramlar ayrı ayrı ve/veya farklı kombinasyonlarla oluşturulmuştur. Yazarlar, konuyla ilgili 57 bilimsel çalışmayı sistematik ve nicel bir yöntemle belirlemiştir. Bu çalışmalar, projelerin çeşitli aşamalarında (planlama ve tasarım, uygulama, teslim, kullanım, sökme ve geri dönüşüm) kullanılan teknolojilere göre sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Dünya genelinde, 1000'den fazla hasta yatağına sahip büyük ölçekli acil durum hastanelerinde kullanılan teknolojiler (Bina bilgi modellemesi, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, Yapay zeka ve insansız hava araçları) ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu teknolojilerin inşaat süreçlerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, belirlenen ölçütlerle örtüşen üç uluslararası projeye (Çin, Türkiye ve Brezilya) odaklanan 7 temel çalışma seçilmiştir. Bu projeler, Şekil 1'de sunulan metodolojik çerçeve doğrultusunda ele alınmış olup, vaka seçiminde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

Bağlamsal benzerlik: Seçilen tüm hastaneler, küresel bir sağlık krizi olan COVID-19 salgını sürecinde inşa edilmiş olup, hızlı ve etkili müdahale ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu durum, benzer operasyonel zorlukların ve gereksinimlerin gözlemlenmesini mümkün kılmaktadır.

- Yeni teknolojilerin kullanımı: Her bir projede, inşaat süresini kısaltmak ve kaliteyi artırmak amacıyla farklı düzeylerde yenilikçi teknolojiler kullanılmıştır. Özellikle, modüler yapı sistemleri, prefabrik bileşenler ve bina bilgi modellemesi gibi teknolojiler ön plana çıkmaktadır.
- Coğrafi ve kurumsal çeşitlilik: Farklı ülkelerde (Çin, Brezilya ve Türkiye) gerçekleştirilmiş olmaları sayesinde, vaka çalışmaları, teknolojik uygulamaların farklı coğrafi, kültürel ve idari bağlamlarda nasıl işlediğine dair karşılaştırmalı bir analiz imkânı sunmaktadır.
- Veri erişilebilirliği: Seçilen projelere ilişkin açık kaynaklı raporlar, akademik yayınlar ve medya içerikleri gibi bilgi kaynaklarına ulaşılabilir olması, veri toplama ve analiz süreçlerinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesini mümkün kılmıştır.
- Araştırma amacına uygunluk: Tüm vakalar, acil durum hastanesi inşaatında kaliteyi artırmak amacıyla yeni teknolojilerin uygulanmasını içermektedir. Bu yönüyle araştırmanın temel amacına doğrudan hizmet etmektedirler.

Bu araştırma kapsamında ilk olarak dünyanın birçok ülkesinde afet zamanlarında (salgın, doğal vb.) acil durum hastanelerinin inşası alanında yapılan son araştırmalar ve bu hastanelerde kullanılan teknolojiler (BIM, AI, VR, AR ve Dronlar) incelenmiştir. Daha sonra proje inşaatının çeşitli aşamalarında (planlama ve tasarım, uygulama, teslim, kullanım, sökme ve geri dönüşüm) inşaat işinin istenilen kalitede tamamlanmasına engel teşkil eden ana engel ve sorunlara yer verilmiştir.

Acil durum hastanesi projelerinde kullanılan yeni teknoloji, bina bilgi modellemesi'nin modelleme yaklaşımıyla entegre edilmesinin gerekliliği ve bu teknoloji ve teknolojilerin proje takvimi ve proje inşaat kalitesi üzerindeki faydalarına değinilmiştir. Son olarak, acil durum hastaneleri inşa etme sürecindeki engellerin ve sorunların aşılmasında teknoloji ve yeni tekniklerin kullanılmasının etkisi ve bunların bu projelerin inşaat kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1. Araştırma metodolojisinin adımları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 İncelenen Örnekler

COVID-19 pandemisi sürecinde farklı coğrafyalarda inşa edilen Leishenshan, Yeşilköy ve Lagoa-Barra acil durum hastaneleri; hızlı inşaat uygulamaları, modüler yapı sistemleri, disiplinler arası entegrasyon ve modern teknolojilerin etkin kullanımıyla, kriz dönemlerinde sağlık altyapısının güçlendirilmesine yönelik örnek teşkil eden başarılı uygulamaları gözler önüne sermektedir. Aşağıda bu hastaneler hakkında genel bilgiler ve Tablo 5'te bu hastanelerin yapımında kullanılan teknolojiler yer almaktadır.

Leishenshan Hastanesi (Çin)

Wuhan kentinde, kullanılmayan bir otopark alanı üzerinde inşa edilen Leishenshan Hastanesi, yaklaşık 220.000 m² arazi ve 80.000 m² kapalı alana sahiptir (Chen vd., 2021a; Luo vd., 2020a). Hastane; tedavi, lojistik destek ve sağlık personeli yaşam alanları olmak üzere üç temel bölümden oluşmuştur. Tedavi bölgesi, bulaşıcı hastaneler için belirlenen “Üç bölge ve iki koridor” ilkesine uygun şekilde ve tamamen ön üretimli konteyner modüllerle inşa edilmiştir. Yaklaşık 3000 konteyner birimi, vinçlerle sahaya monte edilmiştir (Luo vd., 2020a). İzolasyon birimleri özel havalandırma sistemleri, çift taraflı dolaplar ve temel yaşam ekipmanları ile donatılmıştır. Proje, zaman kısıtı, güvenli çalışma koşulları sağlama ve karmaşık lojistik yönetimi gibi birçok teknik ve yönetsel zorlukla karşı karşıya kalmıştır (Chen vd., 2021a).

Yeşilköy Hastanesi (Türkiye)

İstanbul'da Atatürk Havalimanı arazisinde kurulan Yeşilköy acil durum hastanesi, 125.000 m² arazi üzerinde, 75.000 m² kapalı alan sunarak toplam 1008 yatak kapasitesiyle (432 yoğun bakım) hizmet vermektedir (Naser, 2023). 45 gün gibi kısa bir sürede tamamlanan hastane, yüksek teknoloji tıbbi altyapısı (Ameliyathaneler, MR, tomografi ve CPR odaları vb.) ile dikkat çekmektedir (Naser, 2023). Proje, üç vardiya halinde yürütülen yoğun bir çalışma temposu ile hayata geçirilmiş; disiplinler arası koordinasyon, hızlı inşaat gerekliliği ve lojistik planlamadaki zorluklar proje sürecini şekillendirmiştir.

Lagoa Barra Hastanesi (Brezilya)

Rio de Janeiro'da, kamu-özel sektör iş birliğiyle inşa edilen Lagoa-Barra Hastanesi, yalnızca 19 gün içerisinde tamamlanmıştır (Ribeiro vd., 2020). Lagoa-Barra Hastanesi, entübasyon, dolaşım desteği ve hemodiyaliz gibi ileri tıbbi müdahaleler için uygun altyapıya sahiptir (Ribeiro vd., 2020).

ABNT NBR 9050:2015 standardına uygun şekilde erişilebilirlik kriterlerine de özen gösterilmiştir (URL1). Proje süreci, kısa zaman dilimi içinde büyük ölçekli inşaatı tamamlama, farklı disiplinlerin uyumu ve enfeksiyon riski altındaki güvenli çalışma koşulları gibi önemli zorlukları içermiştir.

Tablo 5. Acil Durum Hastanelerindeki Deneyimler ve Teknolojiler – Vaka Çalışması

Çalışmalar			İnşaat aşamalarında kullanılan teknoloji				
			BIM	Yapay Zeka	VR	AR	Dron
Korona dönemi	Leishenshan Hastanesi	Ultra-rapid delivery of specialty field hospitals to combat COVID-19: lessons learned from the Leishenshan hospital project in wuhan (Hanbin Luo, Jiajing Liu, Chengqian Li, Ke Chen, Ming Zhang.2020. Wuhan, Çin)					
Korona dönemi		Modular composite building in urgent emergency engineering projects: a case study of accelerated design and construction of wuhan thunder god mountain Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic (Ling-Kun Chen , Rui-Peng Yuan, Xing-Jun Ji , Xing-Yu Lu , Jiang Xiao , Jun-Bo Tao , Xin Kang , Xin Li , Zhen-Hua He , Shu Quan , Li-Zhong Jiang . 2020. Wuhan, Çin.)	●	●	●	●	●
Proje Süreci		10 Gün					
Korona dönemi	Yeşilköy Afet Hastanesi	Salgın hastalıkların tedavisinde hastanelerde mimari mekanın dönüşümü. Yeşilköy acil durum hastanesi / İstanbul, Turkey (Naser,S . İstanbul . 2023)	●	○	○	○	●
Proje Süreci		45 Gün					
Korona dönemi	Lagoa Barra Hastanesi	Field hospitals to face COVID-19: requirements and lessons learned in the design an construction of the Lagoa Barra hospital – Brazil (Alexandre Passos Ribeiro , Kemmylle Sanny de Matos Ferreira , Christine Kowal Chinelli , Carlos Alberto Pereira Soares. Brazil . 2020)	●	○	○	○	○
Proje Süreci		20 Gün					
Not	●	İşaretili daire: "İlgili teknolojinin projede kullanıldığını göstermektedir".					
	○	Boş daire: "İlgili teknolojinin projede kullanılmadığını göstermektedir".					

Hanbin Luo, Jiajing Liu, Chengqian Li, Ke Chen ve Ming Zhang (2020) tarafından Çin'deki Leishenshan Hastanesi uygulamasından (Foto1) elde edilen sonuçlar aktarılmıştır. BIM teknolojisinin kullanılması sayesinde tasarım, çevredeki ortamın sağlığını ve güvenliğini, hastalar ve tıbbi personel için sterilizasyon düzenlemelerini korumak için gerekli olan işlevsel gereksinimleri karşılayacak şekilde düzenlenmiş ve optimize edilmiştir. Ayrıca bina bilgi modellemesi modeli, kirli hava ve egzoz gazı kirliliği risklerini niceliksel olarak değerlendiren difüzyon mekanizması analizi için güvenilir bir bilgi temeli görevi görmüştür.

Naser(2023), yaptığı çalışmada Yeşilköy Acil Durum Hastanesi'nin (Foto 2) Türkiye'deki uygulama aşamasında BIM teknolojisi kullanımından bahsetmiştir. BIM teknolojisi, yerinde denetim ve yönetimin gerçekleştirilmesini ve farklı sektörler arasında zamanında bilgi iletişimini mümkün kılmıştır. Bu da saha hazırlığından MEP (mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat) kurulumuna ve iç dekorasyona kadar paralel inşaat işlerinde çatışmaların azalmasına yol açmıştır. Projenin 45 gün içinde teslim edilmesi zorunluluğu göz önüne alındığında izolasyon için prefabrik konteyner tipi ünite seçilmiş ve bu ünitelerin üretimi için ondan fazla tedarikçiyle anlaşma sağlanmıştır. Üreticilere, geleneksel çizimlere alternatif olarak kendileri için doğru bilgileri içeren ve üretilen her sipariş için üretim görevlerinin planlanması, üretim malzemelerinin hazırlanması, depolama ve lojistik hizmetlerinin yönetilmesini içeren bir bina bilgi modellemesi modeli aracılığıyla tüm ürün bilgileri sağlanmıştır. Bu da tüm bu birimlerin üretim, uygulama ve depolama sürecini kolaylaştırmıştır.

Dron ve yapay zeka teknolojisinin kullanımı için, Lingkun Chen, Chencheng Zhai, Lu Wang, Xiaolun Hu ve Xiaoming Huang(2021), Çin'de bir acil durum hastanesinin hayata geçirilmesinde dron ve yapay zeka teknolojisi kullanılarak çekilen fotoğrafların, hastanenin yapısına birçok faydası olduğunu belirtmiştir: Dron'lar inşaat sahasının özelleştirilmiş panoramik takibini sağlamakta; etkili ve doğru zemin ölçümleri elde edilmektedir. Ayrıca arsa bilgilerini otomatik olarak toplamakta, elde edilen verileri bulutla senkronize etmekte ve yüksek hassasiyetli model oluşturma ve verimli bulut bilişim yoluyla hafriyat miktarını hesaplamaktadır.



Foto 1. Leishenshan hastanesi yapım aşaması. Fotoğraf Huang Lei tarafından sağlanmıştır (Chen vd., 2021b)



Foto 2. Yeşilköy Acil Durum Hastanesi kuruluş kronolojisi (Naser, 2023)

4.2 Acil Durum Hastanesi İnşaat Kalitesini Etkileyen Zorluklar

Acil durum, afet zamanlarında hastaneler önemli bir rol oynamaktadır. Olası doğal ve pandemik krizi yönetirken, mümkün olduğu kadar çok hayat kurtarmak için gelecekteki hastane tasarımlarına ilişkin algılarımız ve karar verme hızımız değişmelidir. Mimari proje tasarımcıları ile yapılan ampirik çalışmalara göre, acil durum hastaneleri tasarımında çeşitli zorluklar bulunmaktadır (Chen vd., 2021a; Luo vd., 2020a; Mignone vd., 2016; Ribeiro vd., 2020; Smolova ve Smolova, 2021; Sultana vd., 2024; Tan ve Papadonikolaki, 2019).

4.2.1 Planlama ve Tasarım Aşaması

Proje kapsamında, hastane için uygun konumun ve kapasitenin yanı sıra genel bütçenin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Enfeksiyon riskinin azaltılması amacıyla, temiz ve kirli havalandırma yolları ile kirli katı atık ve kanalizasyon çıktıları arasındaki etkileşimlerin düzenlenmesi; ayrıca hava kirliliği ve katı atık risklerinin niceliksel analizinin yapılması gerekmektedir.

Tasarım sürecinde, inşaat başlamadan önce planlanan binalar üzerinde simülasyon gerçekleştirilmesi; böylece olası tasarım kusurlarının ve gerekli değişikliklerin önceden tespit edilmesi sağlanmalıdır. Havalandırma sistemleri ile mekanik, elektrik ve sıhhi tesisat sistemleri ve iç kaplamalar arasındaki tasarım ve uygulama ilişkilerinin düzenlenmesi, yapının işlevselliği açısından kritik öneme sahiptir.

Hasta yolları ile tıbbi personel yolları arasındaki geçişlerin planlanması, bulaş riskinin en aza indirilmesine katkı sağlar. Ayrıca, standart yapı bileşenlerinden maksimum verim elde edilebilmesi için modüler tasarım yaklaşımının benimsenmesi önerilmektedir. Son olarak, standart inşaat işleri ve gerekli miktardaki yapı malzemeleri için üretim görevlerinin ayrıntılı biçimde planlanması, sürecin verimliliğini artıracaktır. Bu aşamada ortaya çıkabilecek potansiyel riskler ile acil hastanenin planlama ve tasarım sürecinde karşılaşılması muhtemel risklerin etkili bir şekilde yönetilememesi durumunda oluşabilecek sonuçlar, Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6. Acil durum hastanesi planlama ve tasarım aşamasında karşılaşılan zorlukları ve olası riskler.

Karşılaşılan Zorlukları	Olası Riskler
Proje için hastane konumunun ve kapasitesinin yanı sıra genel bütçenin seçilmesi	Proje hedefine ulaşılamaması
Temiz ve kirli havalandırma yollarının yanı sıra kirli katı atık ve kanalizasyon çıktıları arasındaki etkileşimlerin düzenlenmesi ve hava kirliliği ve katı atık risklerinin niceliksel analizi yoluyla enfeksiyondan korunmanın sağlanması	Enfeksiyonun yayılması ve bulaşma kolaylaşması.
Tasarımın fiili inşaatı başlamadan önce planlanan binalarda simülasyon yapılması	Hastanenin temel fonksiyonunun etkisizleşmesi
İnşaat başlamadan önce olası tasarım kusurlarını ve gerekli değişiklikleri belirlenmesi	Hastanenin temel fonksiyonunun etkisizleşmesi
Havalandırma sistemleri, mekanik ve elektrik sistemleri, sıhhi tesisat sistemleri ve iç kaplamalar arasındaki tasarım ve uygulama ilişkileri düzenlenmesi	Projenin maliyetinde artış
Hasta yolları ile tıbbi personel yolları arasındaki görtüşmenin düzenlenmesi	Enfeksiyonun yayılması ve bulaşma kolaylaşması.
Standart yapı bileşenlerinden maksimum fayda sağlayacak modüler tasarımın benimsenmesi	Maliyet, zaman ve çabada artış.
Kapı, pencere ve tüm iç kaplama bileşenlerinin sayılarının bir envanteri ve üreticiye gerekli teknik özelliklerin sağlanması	Maliyet, zaman ve çabada artış
Montajı, taşımayı ve kurulumu kolaylaştırmak için standart birimlerin sınıflandırılması, numaralandırılması ve serileştirilmesi	Proje takviminde gecikme ve maliyetin artması.
Standart inşaat işleri ve gerekli miktarda inşaat malzemesi için üretim görevlerini planlanması	Proje takviminde gecikme.

4.2.2 Uygulama Aşaması

Sahadaki inşaat sürecinin ve ilerleyişin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi, farklı inşaat aşamalarına ilişkin ayrıntılı ve kapsamlı verilerin sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Uygulama sürecinde, şantiyelerdeki emniyet ve güvenlik düzeyinin artırılmasına yönelik verilerin analiz edilmesi, iş sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Tasarım ve uygulama süreçleri arasındaki ilişkinin etkin bir şekilde koordine edilmesi ve tüm proje aşamaları ile katılımcıları arasında bilgi akışının düzenli bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapı malzemeleri için yeterli ve uygun depolama alanlarının sağlanması, lojistik planlamayı desteklemektedir. Sahadaki ağır ekipmanlar arasındaki olası çatışmaların önlenmesi ve bu ekipmanların kullanım süreçlerinin optimize edilmesi, operasyonel verimliliği artıracaktır. Yapı malzemelerinin tüketim oranlarının sürekli izlenmesi ve yönetilmesi, kaynak kullanımının kontrolü açısından önemlidir. Uygulama sırasında ortaya çıkabilecek acil durum değişikliklerinin anlık olarak güncellenmesi ve bu değişikliklerin proje kapsamındaki diğer bileşenlerle uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Son olarak, iş gücünün etkin bir şekilde organize edilmesiyle maksimum verimlilik oranına ulaşılması hedeflenmelidir. Bu aşamada ortaya çıkabilecek potansiyel riskler ile acil uygulama sürecinde karşılaşılabilecek muhtemel risklerin etkili bir şekilde yönetilememesi durumunda oluşabilecek sonuçlar, Tablo 7’de özetlenmiştir.

Tablo 7. Acil durum hastanesi uygulama aşamasında karşılaşılan zorluklar ve olası riskler

Karşılaşılan Zorluklar	Olası Riskler
Sahadaki inşaat durumunu ve ilerlemeyi gerçek zamanlı olarak görüntüleyin ve çeşitli inşaat aşamaları için kapsamlı bir şekilde ayrıntılı veriler sağlanması	Proje hedefine ulaşılamaması
Uygulama sürecinde şantiyelerdeki emniyet ve güvenlik düzeyinin artırılmasına yönelik verilerin analiz edilmesi	Projeyi uygulayan işçilerin güvenliğini riske girmesi
Tasarım ve uygulama süreci arasındaki ilişkiyi koordine etmek ve tüm aşamalar ile proje katılımcıları arasındaki bilgi akışını düzenlemesi	Maliyet, zaman ve çabada artış
Tüm malzemeleri için depolama alanı sağlanması	Maliyet, zaman ve çabada artış
Sahadaki ağır ekipmanlar arasındaki çatışmanın düzenlenmesi ve kullanım sürecinin iyileştirilmesi	Proje takviminde bozulma
Yapı malzemesi tüketim oranlarını yönetmek ve izlenmesi	Maliyet, zaman ve çabada artış
Acil durum değişikliklerinin uygulama sırasında sürekli güncellenmesi ve projeyi oluşturan diğer bileşenlerde meydana gelecek değişikliklerle eşleştirilmesi	Proje hedefine ulaşılamaması ve Maliyet, zaman ve çabada artış
İşgücünün organize edilmesi ve maksimum verimlilik oranına ulaşılması	Proje takviminde gecikme

4.2.3 Teslim ve Kullanım Aşaması

Proje yönetiminin etkinliğini artırmak ve sürdürülebilir bir uygulama süreci sağlamak amacıyla, tüm proje bilgileri, imalat çizimleri, tedarikçi verileri ve uygulamaya ilişkin tüm teknik spesifikasyonların sistematik biçimde belgelenmesi ve arşivlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu süreç, proje boyunca bilgiye hızlı erişimi kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kalite kontrol ve denetim mekanizmalarının da sağlıklı işlemlerini destekler. Buna ek olarak, ilerleyen aşamalarda oluşabilecek arıza ve sorunların önceden tahmin edilmesi sayesinde, projenin gecikmesini veya maliyet artışını önlemeye yönelik önleyici ve etkili stratejilerin geliştirilmesi mümkündür. Böylece, hem operasyonel riskler azaltılmakta hem de proje uygulama sürecinde süreklilik ve güvenlik sağlanmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkabilecek potansiyel riskler ile acil teslim ve kullanım sürecinde karşılaşılabilecek muhtemel risklerin etkili bir şekilde yönetilememesi durumunda oluşabilecek sonuçlar, Tablo 8’de özetlenmiştir.

Tablo 8. Acil durum hastanesi teslim ve kullanım aşaması karşılaşılan zorluklar ve olası riskler

Karşılaşılan Zorluklar	Olası Riskler
Tüm proje bilgileri, imalat çizimleri, tedarikçi verileri ve tüm uygulama spesifikasyonların belgelenmesi ve arşivlenmesi	Proje takviminde bozulma
Olası arıza ve sorunları önceden tahmin ederek önleyici ve etkili önlemler alınması	Proje maliyetinde artış

4.2.4 Sökme ve Geri Dönüşüm Aşaması

Modüler yapıların söküm, taşıma ve depolama süreçlerinin etkinliğini artırmak amacıyla, standart ünitelerin sınıflandırılması ve numaralandırılması büyük önem taşımaktadır. Ünitelerin boyut, ağırlık ve taşıma yöntemlerine ilişkin teknik özelliklerinin önceden tanımlanması, montaj ve demontaj işlemlerinde operasyonel verimliliği ve güvenliği artırmakta; aynı zamanda proje sürecinde sürdürülebilirlik ve yapım standardizasyonunu desteklemektedir. Tablo 9’da bu aşamadaki potansiyel riskler ile söküm ve geri dönüşüm sürecindeki risklerin etkin bir şekilde yönetilememesi durumunda ortaya çıkabilecek olumsuz sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 9. Acil durum hastanesi söküm ve geri dönüşüm aşaması karşılaşılan zorluklar ve olası riskler

Karşılaşılan Zorluklar	Olası Riskler
Sökmeyi, taşımayı ve depolamayı kolaylaştırmak için standart ünite dizisinin sınıflandırılması ve numaralandırılması	Parça kaybının ve hasarın artması
Sökmeden sonra bir ünitenin boyutunu, ağırlığını, yerden kaldırma yöntemini ve indirme işlemini belirlenmesi	Parça kaybının ve hasarın artması

4.3 Acil Durum Hastanelerinin Üretim Sürecinde Kalitenin Arttırılmasında Yeni Teknolojinin Kullanımı

Çin, Türkiye ve Brezilya’nın özellikle salgın hastalıkların tedavisi için acil durum afet hastaneleri inşa etmede yeni teknoloji ve teknikleri kullanma konusundaki deneyimine dayanarak, örneğin COVID-19 tedavi hastanelerinin daha karmaşık olduğu ve tasarım açısından ve daha fazla spesifikasyon ve özellik gerektirdiği düşünülmektedir (Luo vd., 2020a). Acil durum hastanelerinin yapımında yeni teknoloji ve tekniklerin kullanılması, hastaların ve çalışanların güvenliğini sağlamak için özel altyapı sağlamanın yanı sıra, enfeksiyon önleme ve kontrol, malzeme temini, su temini, sanitasyon, katı atık toplama ve farklı karmaşıklık düzeylerinde tıbbi bakımın sağlanmasın da önemli bir araçtır. Bu bölümde yeni teknolojilerin ve tekniklerin Çin, Türkiye ve Brezilya’daki acil durum hastanelerin inşaat kalitesinin iyileştirilmesine nasıl katkıda bulunduğu incelenmiştir. Aşağıda her bir teknolojinin farklı aşamalarındaki (planlama ve tasarım, uygulama, tamamlama ve kullanım, sökme ve geri dönüşüm) katkısı tablo olarak ifade edilmiştir (Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12 ve Tablo 13).

Tablo 10. Planlama ve tasarım aşamasında kullanılan teknolojilerin sağlayacağı faydalar

Yapılacak iş	Planlama ve Tasarım aşamasında yeni teknoloji ve tekniklerin kullanımı				
	BIM	AI	VR	AR	Dronlar
Proje için hastane konumunun ve kapasitesinin yanı sıra genel bütçenin belirlenmesi		Acil durum hastanelerinin inşası için en iyi yerlerin belirlenmesine yardımcı olabilecek büyük miktarda coğrafi, iklimsel ve ekonomik veri ve bilgi analiz edilebilir.			Uzun menzilli dron teknolojisinin yüksek irtifalarda kullanılması etkili ve doğru yer ölçümleri sağlanabilir.
Temiz ve kirli havalandırma yollarının yanı sıra kirli katı atık ve kanalizasyon çıktıları arasındaki etkileşimlerin düzenlenmesi ve hava kirliliği ve katı atık risklerinin niceliksel analizi yoluyla enfeksiyondan korunmanın sağlanması	BIM teknolojisi, tasarımcının patojenik mikroorganizmaları izole etmek amacıyla hava dolaşımını ve viral kontaminasyonu analiz etmek için bir simülasyon oluşturmasına olanak tanıyabilir. Ayrıca bina bilgi modellemesi modeli, kirli hava ve egzoz gazı kirliliği risklerini niceliksel olarak değerlendiren difüzyon mekanizması analizi için güvenilir bir bilgi temeli görevi görebilir.				
Havalandırma sistemleri, mekanik ve elektrik sistemleri, sıhhi tesisat sistemleri ve iç kaplamalar arasındaki tasarım ve uygulama ilişkilerinin düzenlenmesi	BIM sistemleri tasarım, üretim ve inşaat arasında kesintisiz bir bağlantı sağlayabilir ve tasarımı oluşturan mekanik, elektrik ve diğerleri gibi birçok sistem arasındaki etkileşimi netleştirebilir.	Verilerin yapay zeka yardımıyla analiz edilmesiyle mekanik ve elektrik sistemleri arasındaki etkileşimler uygulama başlamadan önce belirlenebilir.	Yöneticilerinin inşaat başlamadan önce potansiyel tasarım kusurlarını ve gerekli değişiklikleri tespit etmelerine, zamandan ve paradan tasarruf etmelerine ve projelerin kalitesini arttırmalarına olanak tanıyabilir.		
Kapı, pencere ve tüm iç kaplama bileşenlerinin sayılarının bir envanteri ve üreticiye gerekli teknik özelliklerin sağlanması. Montajı, taşımayı ve kurulumu kolaylaştırmak için standart birimlerin sınıflandırılması, numaralandırılması ve serileştirilmesi.		BIM ve AI teknolojisi sayesinde kapı, pencere ve iç dekorasyona ait tüm bileşenlerin adetlerinin belirlenmesi, üreticiye gerekli özelliklerin sağlanması, standart birimlerin sınıflandırılması, numaralandırılması ve sıralanması, montaj, nakliye ve montajın kolaylaştırılması amacıyla kullanılabilir.			
Hasta yolları ile tıbbi personel yolları arasındaki örtüşmenin düzenlenmesi				Sanal gerçeklik (VR ve AR), tıbbi personel ile hastaların koridorları arasındaki örtüşmeyi belirlemek ve aralarındaki etkileşimi önlemek amacıyla etkileşimli 3 boyutlu simülasyon ortamları oluşturmak için bilgisayar teknolojisini kullanabilir.	

Tablo 11. Uygulama aşamasında kullanılan teknolojilerin sağlayacağı faydalar

		Uygulama sürecinde teknoloji ve yeni tekniklerin kullanımı				
Yapılacak iş		BIM	AI	VR	AR	Dronlar
Uygulama Aşaması	Acil durum değişikliklerinin uygulama sırasında sürekli güncellenmesi ve projeyi oluşturan diğer bileşenlerde meydana gelecek değişikliklerle eşleştirilmesi	Onaylanmış bina bilgi modellemesi modeli kullanılarak inşaat sahasındaki kağıt çizimler ile sahada uygulananlar arasında inşaat sürecinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir.	Yapay zeka kullanılarak, tasarım ile acil durum hastanesi sahasında uygulanan unsurlar arasında inşaat sürecinin karşılaştırmalı analizleri yapılabilir.			Uzun menzilli ve yüksek irtifalı dronlar, acil durum hastanesinin üretim ve inşaat sürecini bütüncül ve geniş bir bakış açısıyla izlemek amacıyla kullanılabilir.
	Tüm malzemeleri için depolama alanının sağlanması	azaltmak amacıyla sahadaki malzeme deposu dikkatli bir şekilde yerleştirilebilir.				Uzun menzilli, yüksek irtifalı dron teknolojisi, ağır ekipmanları ve daha fazlasını izlemek ve izlemek için kullanılabilir.
	Sahadaki ağır ekipmanlar arasındaki çatışmanın düzenlenmesi ve kullanım sürecinin iyileştirilmesi	Ağır ekipmanların (mobil vinçler gibi) hareketi ve konumları analiz edilebilir ve inşaat sürecinin ilerleyişini sağlamak için kullanımları zamanında kaydedilebilir.		Sanal gerçeklik teknolojisi sayesinde ağır ekipmanların şantiyedeki hareketi simüle edilebilir, böylece taşıma süreci iyileştirilir ve maksimum kullanım sağlanabilir.		
	Yapı malzemesi tüketim oranlarını yönetmek ve izlenmesi	Bina bilgi modellemesi teknolojisi, yürütülen miktarlar ile projenin ön stok miktarlarını karşılaştırarak malzeme miktarlarının tüketim oranını izlemek ve takip etmek için kullanılabilir.				
	İşgücünün organize edilmesi ve maksimum verimlilik oranına ulaşılması	Bina bilgi modellemesi teknolojisi sayesinde iş gücünü organize etmek ve maksimum verim elde etmek mümkündür. Proje takvimine uygunluk sağlanabilir.				

Tablo 12. Tamamlama ve Kullanım sürecinde kullanılan teknolojinin sağlayacağı faydalar

		Tamamlama ve kullanma aşamasında teknoloji ve yeni tekniklerin kullanımı				
Yapılacak iş		BIM	AI	VR	AR	Dronlar
Kapanış ve Kullanım Aşaması	Tüm proje bilgileri, imalat çizimleri, tedarikçi verileri ve tüm uygulama spesifikasyonlarının belgelenmesi ve arşivlenmesi	Bina bilgi modellemesi kullanımı, acil hastane projelerinde bilgiyi muhafaza edebilir ve proje paydaşları arasındaki işbirliğini geliştirebilir.				
	Olası arıza ve sorunları önceden tahmin ederek önleyici ve etkili önlemlerin alınması		Yapay zeka destekli veri analiziyle, binaların durumu izlenebilir; olası arızalar oluşmadan önce tahmin edilerek önleyici tedbirler alınabilir.	VR destekli veri analizi sayesinde, binaların durumu izlenebilir; arızalar henüz oluşmadan tahmin edilerek önleyici ve etkili önlemler alınabilir.		Dron teknolojisi, zor erişilen alanlarda bina durumunun izlenmesini ve arızaların erken tespitini sağlar.

Tablo 13. Sökme ve geri dönüşüm aşamasında kullanılan teknolojinin sağlayacağı faydalar

Sökme ve geri dönüşüm aşaması	Yapılacak iş	Sökme ve geri dönüşüm aşamasında teknoloji ve yeni tekniklerin kullanımı				
		BIM	AI	VR	AR	Dronlar
	Sökmeyi, taşımayı ve depolamayı kolaylaştırmak için standart ünite dizisinin sınıflandırılması ve numaralandırılması	Bina bilgi modellemesi birimlerin yapı sökümünü numaralandırabildiği ve düzenleyebildiği bulunmuştur. Bu da yeniden kullanım kolaylığı sürecine yardımcı olacaktır.	Yapay zeka destekli veri analizi sayesinde, söküm süreci izlenebilir ve olası arıza ile hasarlı parçalar önceden tespit edilerek önleyici müdahaleler yapılabilir.	Sanal gerçeklik (VR ve AR), birimlerin depolama yerlerine taşınması ve boşaltılması sürecini düzenlemek için farklı çalışma ekipleri arasındaki iletişimin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.		Dron kullanımı sayesinde özellikle insanların girmesi zor olan yerlerde söküm işleminin takip edilmesi ve hasarlı ünitelerin tespit edilmesi mümkün olabilecektir.
	Sökmeden sonra bir ünitenin boyutunu, ağırlığını, yerden kaldırma yönteminin ve indirme işleminin belirlenmesi	Taşıma aracına konulabilecek ünite sayısı ve yerleştirme yönteminin belirlenerek taşıma süreci yönetilmektedir.	Yapay zeka destekli veri analizi ile yükleme ve boşaltma süreçlerinde oluşabilecek riskler tespit edilerek, kazaların önlenmesi ve azaltılması için önlemler alınmaktadır.	Sanal gerçeklik (VR ve AR), birimlerin depolanma biçimi ve kara, deniz ya da hava yoluyla taşınan birim sayısının görselleştirilmesini sağlar.		

Çin, Türkiye ve Brezilya'daki önceki vaka analizlerinin incelenmesinin ardından, acil durum hastanelerinin inşasında en sık karşılaşılan zorluklar belirlenmiş ve bu zorlukların nasıl aşıldığı analiz edilerek projelerin en yüksek kalite ve verimlilik düzeyine ulaşması sağlanmıştır. Bu doğrultuda, söz konusu projelerde kullanılan teknoloji türleri, projenin dört ana aşamasına göre (tasarım ve planlama aşaması, uygulama aşaması, kullanım aşaması, söküm ve yeniden kullanım aşaması) sınıflandırılmış ve tablo 14'te sunulmuştur. Yapılan araştırmaya göre, incelenen tüm vaka çalışmalarında proje aşamalarının büyük çoğunluğunda bina bilgi modellemesi teknolojisinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bina bilgi modellemesi, özellikle tasarım, planlama ve uygulama aşamalarında yaygın olarak kullanılan yapay zekâ ve sanal gerçeklik simülasyonları takip etmektedir. Öte yandan, insansız hava araçlarının (dron) kullanımı ise özellikle planlama ve yeniden kullanım aşamalarında projelere sağladığı belirgin katkılarla öne çıkmaktadır.

Türkiye'de afet hastanelerine ilişkin mevcut mevzuatta bina bilgi modellemesi, yapay zekâ ve dron teknolojilerinin kullanımını zorunlu kılan doğrudan bir düzenleme bulunmamaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Ancak, sağlık altyapısının dijitalleşmesine yönelik ulusal stratejiler doğrultusunda bu teknolojilerin entegrasyonu giderek önem kazanmaktadır. Bina bilgi modellemesi kamu projelerinde yaygınlaşmakta, yapay zekâ sağlık hizmetlerinde pilot düzeyde uygulanmakta ve dron teknolojisi ise sınırlı operasyonel alanlarda kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, ileri teknolojilerin acil durum hastanelerine entegre edilmesine yönelik kurumsal bir zemin oluşturmaktadır.

Teknolojik ilerleme, özellikle afet zamanlarında insan hayatını birçok yönden değiştirmiştir. Yeni inşaat teknolojileri (**BIM, yapay zeka, dron ve VR-AR**), proje tipinin seçiminden başlayarak tamamlanması, teslimi süreci, sökülmesi ve yeniden kullanımına kadar inşaatın tüm aşamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bina üretiminde yeni teknolojilerin kullanımı daha verimli ve sürdürülebilir, kaliteli çözümlerin oluşturulmasına yol açmaktadır. Süreçteki paydaşların tasarım ve inşaat sürecini daha iyi anlama, etkileşimde bulunma, karar alma, iyileştirme, maliyeti düşürmek, yapım hızını arttırmak gibi olanaklara fırsat sunmaktadır. En kısa sürede, en uygun maliyette ve kalitede bina inşa edebilmek proje yönetiminin temelini oluşturur. Ayrıca mühendislerin ve proje yöneticilerinin potansiyel tasarım kusurlarını ve inşaat başlamadan önce gerekli değişiklikleri tespit etmelerine, zamandan ve paradan tasarruf etmelerine ve projelerin kalitesini arttırmalarına olanak tanıyabilir. Acil durum hastane inşaatında yeni teknolojinin kullanılması, şirketlerin büyük veri, yapay zeka, dron ve VR gibi büyük miktarda yüksek teknoloji kullanarak tüm inşaat sürecini izlemesine olanak tanımaktadır.

Tablo 14. Acil durum hastanelerinin kurulmasının dört aşamasına göre vaka çalışmalarında kullanılan teknoloji .

Aşama	Karşılaşılan Zorlukları	Vaka çalışması												
		Leishenshan Hastanesi				Yeşilköy Afet Hastanesi				Lagoa Barra Hastanesi				DR.
		BIM	AI	VR AR	DR.	BIM	AI	VR AR	DR.	BIM	AI	VR AR	DR.	
Planlama ve Tasarım Aşaması	Proje için hastane konumunun ve kapasitesinin yanı sıra genel bütçenin seçilmesi	●		●	●	●			●	●				
	Enfeksiyonu önlemek için havalandırma ve atık sistemleri arasındaki etkileşimler düzenlenip riskler sayısal olarak analiz edilmelidir.	●	●			●				●				
	Tasarımın fiili inşaatı başlamadan önce planlanan binalarda simülasyon yapılması		●	●										
	İnşaat başlamadan önce olası tasarım kusurlarını ve gerekli değişiklikleri belirlenmesi	●	●	●		●				●				
	Havalandırma sistemleri, mekanik ve elektrik sistemleri, sıhhi tesisat sistemleri ve iç kaplamalar arasındaki tasarım ve uygulama ilişkileri düzenlenmesi	●				●				●				
	Hasta yolları ile tıbbi personel yolları arasındaki götüşmenin düzenlenmesi	●	●	●		●				●				
	Standart yapı bileşenlerinden maksimum fayda sağlayacak modüler tasarımın benimsenmesi	●	●	●		●				●				
	Kapı, pencere ve tüm iç kaplama bileşenlerinin sayılarının bir envanteri ve üreticiye gerekli teknik özelliklerin sağlanması	●				●				●				
	Montajı, taşımayı ve kurulumu kolaylaştırmak için standart birimlerin sınıflandırılması, numaralandırılması ve serileştirilmesi	●				●				●				
	Standart inşaat işleri ve gerekli miktarda inşaat malzemesi için üretim görevlerini planlanması	●	●		●	●			●	●	●	●	●	
	Sahadaki inşaat durumunu ve ilerlemeyi gerçek zamanlı olarak görüntüleyin ve çeşitli inşaat aşamaları için kapsamlı bir şekilde ayrıntılı veriler sağlanması	●	●	●	●					●	●	●	●	
	Uygulama sürecinde şantiyelerdeki emniyet ve güvenlik düzeyinin artırılmasına yönelik verilerin analiz edilmesi	●	●			●				●	●			
Uygulama Aşaması	Tasarım ve uygulama süreci arasındaki ilişkiyi koordine etmek ve tüm aşamalar ile proje katılımcıları arasındaki bilgi akışını düzenlemesi	●				●				●				
	Tüm malzemeleri için depolama alanı sağlanması	●	●		●	●				●				
	Sahadaki ağır ekipmanlar arasındaki çatışmanın düzenlenmesi ve kullanım sürecinin iyileştirilmesi	●	●		●	●			●	●				
	Yapı malzemesi tüketim oranlarını yönetmek ve izlenmesi	●			●	●				●				
	Acil durum değişikliklerinin uygulama sırasında sürekli güncellenmesi ve projeyi oluşturan diğer bileşenlerde meydana gelecek değişikliklerle eşleştirilmesi	●			●	●				●				
	İşgücünün organize edilmesi ve maksimum verimlilik oranına ulaşılması	●			●	●				●				
	Tüm proje bilgileri, imalat çizimleri, tedarikçi verileri ve tüm uygulama spesifikasyonların arşivlenmesi	●				●				●				
	Olası arıza ve sorunları önceden tahmin ederek önleyici ve etkili önlemler alınması	●	●			●				●				
Teslim ve Kullanım Aşaması	Sökmeyi, taşımayı ve depolamayı kolaylaştırmak için standart ünite dizisinin sınıflandırılması ve numaralandırılması	●				●				●				
	Sökmeden sonra bir ünitenin boyutunu, ağırlığını, yerden kaldırma yöntemini ve indirme işlemini belirlenmesi	●				●				●				

5. SONUÇLAR

Acil durum hastaneleri, doğaları gereği zaman içinde değişim göstermiş ve özellikle afet, salgın veya savaş gibi kriz durumlarında hızla inşa edilmesi gereken yapılar hâline gelmiştir. Bu süreç, yer seçimi, kapasite belirleme, söküm ve yeniden kullanım gibi birçok zorluğu içermektedir. Yeni teknolojiler (BIM, Yapay zekâ, Dron ve VR/AR) tüm inşaat aşamalarında önemli roller üstlenerek süreci hızlandırmakta ve kaliteyi artırmaktadır.

Bina bilgi modellemesi , tasarım doğruluğunu koruyarak farklı disiplinlerden gelen verileri entegre eder;

fonksiyonel alanlardan altyapı sistemlerine kadar tüm yapı bileşenlerini kapsar. Yapay zekâ ve dron teknolojileri, doğru yer seçimi ve zemin analizine katkı sağlarken; VR/AR teknolojisi, hasta-personel yollarının ayrımını ve enfeksiyon risklerinin azaltılmasını destekler.

Acil hastaneler, karmaşık hizmet sistemlerine sahiptir ve bina bilgi modellemesi ile bu sistemler arasındaki çatışmalar önceden tespit edilerek inşaat süreci optimize edilir. Ayrıca, üretim ve montaj süreçlerinin koordinasyonu, POP modeli ile desteklenen bina bilgi modellemesi sayesinde sağlanır. Prefabrik üretimde çoklu tedarikçilerle çalışılması durumunda, bina bilgi modellemesi modeli üretim ve lojistik yönetimini kolaylaştırır.

Çin, Türkiye ve Brezilya'daki örnek hastanelerin incelenmesinin ardından, acil durum hastanelerinin inşasında en sık karşılaşılan zorluklar belirlenmiş (Tablo 6,7,8,9) ve bu zorlukların nasıl aşıldığı analiz edilerek projelerin en yüksek kalite ve verimlilik düzeyine ulaşması sağlanması için olanaklar belirlenmiştir. Bu çalışmada, ele alınan projelerde kullanılan teknoloji türleri, projenin dört temel aşaması (tasarım ve planlama, uygulama, kullanım, söküm ve yeniden kullanım) baz alınarak sınıflandırılmıştır (Tablo 1,2,3,4). Yapılan analizler göstermiştir ki, incelenen vaka çalışmalarının tablo 14'te büyük çoğunluğunda bina bilgi modellemesi teknolojisi, proje süreçlerinin hemen hemen her aşamasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, bina bilgi modellemesi özellikle tasarım, planlama ve uygulama aşamalarında yapay zekâ ve sanal gerçeklik simülasyonları takip etmektedir. Bunun yanı sıra, insansız hava araçları kullanımı ise özellikle planlama ve yeniden kullanım aşamalarında projelere önemli katkılar sağlamaktadır.

Pandeminin yeni çağına yaşayan mimarlar ve mühendisler artık acil durumlarda hızlı tasarım çözümleri sunma sorumluluğuna sahiptirler. Acil durum hastanesi üretim sürecinde, özellikle olası bir afet sonrasındaki müdahalelerdeki etkinliği arttırabilmek için yeni teknolojilerin kullanılması zaman, maliyet, kalite ve sürdürülebilirlik açısından beklenen hedefe ulaşmayı kolaylaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- Akbay, R. B., Balaban Ökten, B., & Arıcı Üstüner, Y., 2023. Şantiyelerde Bilgi Modellemesi ve Dijital Teknolojilerin Kullanımı. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 14(54), 298-319. <https://doi.org/10.5824/ajite.2023.03.007>.
- Chen, L. K., Yuan, R. P., Ji, X. J., Lu, X. Y., Xiao, J., Tao, J. B., ... Jiang, L. Z. , 2021. Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic. *Automation in Construction*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103555>.
- Davies, R., & Harty, C., 2013. Implementing “site BIM”: A case study of ICT innovation on a large hospital project. *Automation in Construction*, 30, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.024>
- Faruk, M. M., 2019. Using BIM (Building Information Modeling) system in hospital building construction. Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, karadeniz teknik üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü.
- HAP., 2023. Sağlık Araştırma ve Uygulama Merkezi. Geliş tarihi gönderen www.hastane.kafkas.edu.tr T.C. Kafkas Üniversitesi.
- Kim, H., & Kano, N., 2008. Comparison of construction photograph and VR image in construction progress. *Automation in Construction*, 17(2), 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.12.005>.
- Keleş,A.E ve Keleş.M.K, 2018. İnşaat Sektöründe Kullanımı Artan Bilgisayar Yazılımları ve Bilgi Teknolojilerinin İrdelenmesi. Geliş tarihi gönderen, www.dergipark.gov.tr El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2018, 5(2); 610-617.).
- Kumar, V., 2023. Drones: Anatomy, Regulations, and the Future in India. Geliş tarihi gönderen <https://www.researchgate.net/publication/370903093>.
- Luo, H., Liu, J., Li, C., Chen, K., & Zhang, M., 2020. Ultra-rapid delivery of specialty field hospitals to combat COVID-19: Lessons learned from the Leishenshan Hospital project in Wuhan. *Automation in Construction*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103345>.
- Manning, R., Student, G., & Messner, J. I., 2008. Case studies in BIM implementation for programming of

healthcare facilities. John I. Messner, Assistant Professor of Architectural Engineering The Pennsylvania State University. Vol. 13 (2008), Manning & Messner, pg. 446

Merschbrock, C., & Munkvold, B. E., 2015. Effective digital collaboration in the construction industry - A case study of BIIM deployment in a hospital construction project. *Computers in Industry*, 73, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.003>.

Mignone, G., Hosseini, M. R., Chileshe, N., & Arashpour, M., 2016. Enhancing collaboration in BIM-based construction networks through organisational discontinuity theory: a case study of the new Royal Adelaide Hospital. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(5), 333-352. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1169987>.

Naser, S., 2023. Transforming architectural space in hospitals in the treatment of epidemic diseases. Yüksek Lisans Tezi, Mimar sinan güzel sanatlar üniversitesi fen bilimleri enstitüsü mimarlık anabilim dalı.

Park, C. S., Lee, D. Y., Kwon, O. S., & Wang, X., 2013. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in Construction*, 33, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.010>.

Ribeiro, A. P., de Matos Ferreira, K. S., Chinelli, C. K., & Soares, C. A. P., 2020. Field hospitals to face COVID-19: Requirements and lessons learned in the design and construction of the Lagoa Barra Hospital-Brazil. *Strategic Design Research Journal*, 13(3), 387-400. <https://doi.org/10.4013/sdrj.2020.133.08>.

Smolova, M., & Smolova, D., 2021. Emergency architecture. Modular construction of healthcare facilities as a response to pandemic outbreak. *E3S Web of Conferences*, 274. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401013>.

Sofiat O. Abioye, Lukumon O. Oyedele, Lukman Akanbi, Anuoluwapo Ajayi, Juan Manuel Davila Delgado, & Juan Manuel Davila Delgado, 2021. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44.

Sohrabi, C., Alsafi, Z., O'Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Agha, R., 2020. World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19). *International Journal of Surgery*, C. 76, ss. 71-76. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.02.034>.

Sultana, Z., Shahriar Dipro, F., & Khan, M., 2024. Exploring the Leishan and Huoshenshan temporary hospital buildings (constructed during the COVID-19 pandemic in China) as a model: Lessons learned, applicability, and barriers for engineering professionals in Bangladesh.

Tan, T., & Papadonikolaki, E., 2019." Integrated Approaches to Digital-enabled Design for Manufacture and Assembly: A Modularity Perspective and Case Study of Huoshenshan Hospital in Wuhan, China Declaration of Ownership" A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, The Bartlett School of Sustainable Construction University College London.

T.C. Sağlık Bakanlığı (2022). Sağlıkta Dijital Dönüşüm Strateji Belgesi (2022–2026). Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları. Erişim adresi: <https://shgm.saglik.gov.tr>.

UNDP, & Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı., 2023. Afet Yönetimi, Risk Yönetimi ve İş Sürekliliği Model Fabrika ve Organize Sanayi Bölgelerine Deprem Sonrası Erken Toparlanma Desteği Programı. Geliş tarihi gönderen <https://www.undp.org/turkiye>.

URL1 Devlet Lagoa-Barra sahra hastanesini açıyor https://diariodorio.com/estado-inaugura-hospital-de-campanha-lagoa-barra-neste-sabado/?utm_source=chatgpt.com.

Varnali, T., 2024. Technological transformation in the construction industry: artificial intelligence and innovative solutions using robotics. *İçinde Journal of Management Theory and Practices Research Cilt*.

Woo, J., Shin, S., Asutosh, A. T., Li, J., & Kibert, C. J., 2021. An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction. *İçinde Lecture Notes in Civil Engineering* (C. 98, ss. 1323-1334). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_94.