



FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

AFET SONRASI OLUŞACAK BARINMA
İHTİYACINI 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ
İLE ÇÖZÜMLEME ÜZERİNE BİR
DEĞERLENDİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL YILMAZ

İSTANBUL, 2022



FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

AFET SONRASI OLUŞACAK BARINMA
İHTİYACINI 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ
İLE ÇÖZÜMLEME ÜZERİNE BİR
DEĞERLENDİRME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül YILMAZ
(170201033)

Danışman
(Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can ÖZKAN)

İSTANBUL, 2022

20/01/2022

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı'nda 170201033 numaralı Ayşegül YILMAZ'ın hazırladığı “Afet Sonrası Oluşacak Barınma İhtiyacını 3D Yazıcı Teknolojisi İle Çözümleme Üzerine Bir Model Önerisi “ konulu Mimarlık Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 20/01/2022 Perşembe günü saat 17:00'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı .../.../20... tarihinde, saat ...:.... da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının “Afet Sonrası Oluşacak Barınma İhtiyacını 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri İle Çözümleme Üzerine Bir Değerlendirme” şeklinde değiştirilmesi uygundur.

| Jüri Üyesi | Tarih | İmza |
|--|----------------|--------------|
| (Danışman) Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can ÖZKAN | 20/ 01/2022 | KABUL |
| Dr. Öğr. Üyesi Burcu BALABAN ÖKTEN | 20/ 01/2022 | KABUL |
| Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ | 20/ 01/2022 | KABUL |
| (İkinci Danışman) * | .../ .../20... | |
| * | .../ .../20... | |

*2. Danışman varsa doldurulacak

ETİK BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ayşegül YILMAZ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde değerli deneyimleri ve bilgileri ile bana rehberlik eden, danışmanlığıyla yardımlarını eksik etmeyen ve her zaman destek olan hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can Özkan'a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans hayatımın ilk zamanlarından itibaren beni destekleyen hocalarıma, tez çalışmamda ve ihtiyacım olan her anda bana destek olan değerli hocam Prof. Dr. İbrahim Numan'a, değerli fikirleriyle ufkumu açan hocam Dr. Öğr. Üyesi Burcu Balaban Ökten'e teşekkür ederim. Bu süreçte anlayışlı olan ve bana destek olan Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi çalışma arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Hep yanımda olan aileme; eğitimim konusunda beni her zaman destekleyen babam Cabir Yılmaz'a, yanımda olduğu için çok şanslı olduğum annem Gamze Yılmaz'a, zorlukların üstesinden beraber geldiğimiz ağabeyim Osman Serdar Yılmaz'a ve moral kaynağım kardeşim Merve Yılmaz'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında ve hayatımın her anında maddi manevi yardımını esirgemeyen arkadaşım Ferda Abbasoğlu'na teşekkür ederim. Bu süreci beraber geçirdiğimiz kütüphane arkadaşım Behiyye Yılmaz'a, çalışmalarım boyunca her seferinde beni yeniden motive eden ve her sorumu cevaplayan arkadaşlarım ve meslektaşlarım; Rümeysa Betül Akbay, Meryem Betül Bilir ve Gizem Dural'a; her zaman varlıklarını hissettiren sevgili arkadaşlarım; Zahide Nur Berktaş, Merve Saliha Yıldız, Hatice Yıldırım Elibol, Erva Badur, Ümmü Gülsüm Doğan ve Elif Zeynep Deneri'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Mesleki yenilikleri beraber keşfettiğimiz ve ürettiğimiz, bu heyecanı benimle paylaşan ortaklarım Büşra Kolçak ve Sümeyye Şahkulubey'e teşekkür ederim. Fikirleriyle çalışmalarına katkıda bulunan meslektaşlarıma ve yüksek lisans sınıf arkadaşlarıma teşekkürü ayrıca borç bilirim.

Ayşegül YILMAZ

AFET SONRASI OLUŞACAK BARINMA İHTİYACINI 3 BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİ İLE ÇÖZÜMLEME ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Ayőegöl YILMAZ

ÖZET

Bu araştırma, afet sonrası geçici konutların üretiminde 3B yazıcı kullanımını incelemektedir. Yeni bir yapım yöntemi önerisi sunulan tezde; yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından yapı üretim kriterleri belirlenmiş; mevcut kullanılan veya geleneksel yöntemlerle üretilen geçici konutlarla 3B yazdırılmış yapıların karşılaştırılması yapılmıştır. 3B yazdırma; yapım sektöründe son yıllarda kullanılmaya başlanan yenilikçi bir yöntem sunmakla birlikte, teknolojinin yapı yönetimi açısından sağladığı avantajlarla; atık yönetimi, maliyet, süre gibi konularda geleneksel üretim çeşitlerinden ayrışmaya başlamıştır.

Türkiye’de son zamanlarda yaşanan afetler veya mülteci göçleri sonucunda geçici konutlara sık ihtiyaç duyulmaktadır. Yerinden edilmiş nüfus için daha konforlu ve sürdürülebilir bir konut önerisi sunan bu tezde; afet ve acil yardım aşamalarında Türkiye’de çalışmalar yürüten kurumların mevcutta geçici konut olarak kullandığı teknikleri; yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından incelemiştir. Elde edilen veriler ışığında hazırlanan öneriler, bu alanda Türkiye için faydalı ve kullanılabilir olması açısından belirlenmiş kriterler kapsamında analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler; Afet sonrası barınaklar, geçici konutlar, 3B yazdırılmış yapılar, sürdürülebilirlik, yapım yönetimi

AN ASSESSMENT ON RESOLVING THE NEED FOR POST DISASTER SHELTERS WITH 3D PRINTING TECHNOLOGIES

Ayşegül YILMAZ

ABSTRACT

This research examines the use of 3D printers in the production of post-disaster temporary housing. In the thesis, a proposal for a new construction method is presented. Building production criteria were determined in terms of building production, quality and sustainability. In this study, a comparison of 3D-printed structures with temporary residences that are currently used or produced with traditional methods was made. 3D printing; although it offers an innovative method that has been used in the construction sector in recent years, with the advantages of technology in terms of building management; it has begun to separate from traditional production types in matters such as waste management, cost and time.

Temporary housing is frequently needed as a result of recent disasters or refugee migration in Turkey. In this thesis, which offers a more comfortable and sustainable housing proposal for the displaced population. Techniques currently used by institutions working in Turkey as temporary housing in disaster and emergency aid phases; examined in terms of building production, quality and sustainability. The proposal, which was prepared in the light of the data obtained, was analyzed within the scope of the determined criteria in terms of being a useful and usable proposal for Turkey in this field.

Keywords: Post disaster shelter, temporary housing, 3D printed housing, sustainability, construction management

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında afet sonrasında mağdurların ihtiyaç duyduğu barınakların hızlı ve uygun bir şekilde üretilmesinde 3B yazıcı teknolojisini kullanılabilirliği araştırılmıştır. Türkiye’de halihazırda kullanılan çadırlar ve konteynerlerin yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerler 3B yazdırılmış yapıların değerleriyle karşılaştırılarak, bu tekniğin Türkiye’de uygulanabilirliği konusunda öneriler sunulmuştur. Afet sonrası müdahalede; sürdürülebilir ve ileriye yönelik geliştirici bir araştırma ve uygulama içeren bu tezin önemi, ülkemizde son zamanlarda sık meydana gelen doğal afetler veya mülteci göçü gibi durumlarda gereken geçici konut bağlamında 3B yazıcıların kullanımının sürdürülebilir bir önerisidir.

Türkiye’de kullanımına 2019’da başlanan yapı ölçekli 3B yazıcıların araştırılması ve yapım biçimi ile getirdiği avantajların tespit edilmesi açısından büyük önem taşıyan karşılaştırmalı bir çalışmadır. Çalışmanın gerçekleştirildiği İSTON fabrikası, teknolojik gelişmelere yaklaşımı ve ileriye yönelik araştırmalara verdiği destek ile tezin ortaya çıkmasında büyük katkı sunmuştur. İBB, İSTON ve İSTON AR-GE Şefi Halit Dilşad Yılmaz’a çalışmaya kattıkları değerli bilgiler için teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, İdlib’de yerinden edilmiş nüfus için yapılan briket barınaklar hakkında yürüttükleri çalışmalar ve çalışmaya kattıkları değerli bilgiler için Türkiye Diyanet Vakfı’na ve Ümmü Gülsüm DOĞAN’a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | v |
| ABSTRACT | vi |
| ÖNSÖZ | vii |
| KISALTMALAR VE SEMBOLLER | x |
| ŞEKİL LİSTESİ | xi |
| TABLO LİSTESİ | xiv |
| GİRİŞ | 1 |
| BİRİNCİ BÖLÜM | 7 |
| 1. AFET SONRASI KONUT ÜRETİMİ KAVRAMI VE TARİHİ | 7 |
| 1.1. AFET YÖNETİMİ | 9 |
| 1.2. AFET SONRASI BARINMA BİÇİMLERİ..... | 17 |
| İKİNCİ BÖLÜM | 42 |
| 2. 3B YAZICILAR VE KONUT ÜRETİMİ | 42 |
| 2.1. EKLEMELİ İMALAT VE 3 BOYUTLU YAZICILAR | 44 |
| 2.2. YAPI ÖLÇEKLİ 3B YAZICILAR | 51 |
| ÜÇÜNCÜ BÖLÜM | 69 |
| 3. AFET SONRASI GEÇİCİ KONUT ÜRETİMİNDE 3B YAZICI KULLANIMININ GELENEKSEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI | 69 |
| 3.1. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ VE ANALİZİ..... | 79 |
| 3.2. BULGULAR | 113 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| DEĞERLENDİRME VE SONUÇ | 116 |
| KAYNAKÇA | 125 |

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

| | |
|----------------|---|
| 3B (3D) | : Üç Boyutlu (Three Dimensional) |
| AADYM | : Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezleri |
| AFAD | : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu) |
| CAD | : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım) |
| CAM | : Computer Aided Manufacture (Bilgisayar Destekli Üretim) |
| CO2 | : Karbondioksit |
| DP | : Displaced Population (Yerinden Edilmiş Nüfus) |
| FDM | : Fused Deposition Modeling (Malzeme Biriktirme Modellemesi) |
| HVAC | : Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Soğutma) |
| IFRC | : The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (Uluslararası Kızılay-Kızılhaç Teşkilatları Federasyonu) |
| İSTON | : İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları A.Ş. |
| KBRN | : Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer |
| PLA | : Polilaktik Asit |
| STK | : Sivil Toplum Kuruluşları |
| STL | : Stereolithography (Stereolitografi) |
| TAMP | : Türkiye Afet Müdahale Planı |
| TOKİ | : Toplu Konut İdaresi |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil G. 1 Araştırma soruları kapsamı..... | 3 |
| Şekil G. 2 Tezin Metodolojisi Şeması..... | 6 |
| Şekil 1. 1 Gravür, 1755'teki Lizbon depremi: ilk modern afet (Leon, Urquia, D'Urzo, & Ashmore, 2013)..... | 7 |
| Şekil 1. 2 Orlaha'da sel sonrası katılımcı yaklaşımla üretilen kalıcı konutlar (Çetindaş, 2019).. | 9 |
| Şekil 1. 3 Afet Yönetimi Aşamaları (Gökçe & Tetik, 2012). | 10 |
| Şekil 1. 4 Marmara Depremi'ne ait fotoğraflar; 17 Ağustos 1999 (Marmara Depremi Galerisi, 2021). | 11 |
| Şekil 1. 5 2011 Van Depremi'ne ait fotoğraflar (Van depremi galerisi, 2011). | 13 |
| Şekil 1. 6 AADYM'lere bağlı birimler (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018)..... | 14 |
| Şekil 1. 7 AFAD Lojistik depoların Türkiye'deki dağılımı (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018)..... | 16 |
| Şekil 1. 8 Afet yönetimi alanları (Félix, Branco, & Feio, 2013). | 17 |
| Şekil 1. 9 Afet sonrası konut ihtiyaçlarının zaman sıralaması (Perrucci & Baroud, 2020). | 18 |
| Şekil 1. 10 Afet sonrası müdahale aşamaları (Sey & Tapan, 1987; Özge, 2019)..... | 18 |
| Şekil 1. 11 Türkiye'de acil durum aşamasında kullanılan geleneksel çadır tipi (TÜRK KIZILAY, 2019). | 21 |
| Şekil 1. 12 Çadırlar ve çadır kentlerde yaşam şartları ve olumsuz özellikleri. | 22 |
| Şekil 1. 13 Seikaly'nin katlanabilir kumaştan üretilen yapı kabuğu önerisi (Seikaly, 2013)..... | 23 |
| Şekil 1. 14 Seikaly'nin üretilen yapı kabuğu önerisi çalışmaları (Seikaly, 2013)..... | 23 |
| Şekil 1. 15 Barberio Colella ARC Nepal için tasarladığı acil yardım barınağı (Colella, 2015). .. | 24 |
| Şekil 1. 16 Barberio Colella ARC'in Nepal için tasarladığı acil yardım barınağı (Colella, 2015). | 24 |
| Şekil 1. 17 Japonya'daki deprem ve tsunamiden sonra spor salonunda barınan afetzedeler 2011 (Ban, 2013). | 26 |
| Şekil 1. 18 2020 İzmir depremi sonrasında kurulan konteyner kent (Güngör, 2020). | 31 |
| Şekil 1. 19 Beyathl'nın 2010'da önerdiği konteyner modeli (Beyathl, 2010). | 32 |
| Şekil 1. 20 İdlib'de AFAD tarafından yapılan briket barınaklar. | 32 |
| Şekil 1. 21 2004 Hint Okyanusu depremi ve tsunamisi. | 33 |

| | |
|--|----|
| Şekil 1. 22 Dünyadan geçiş barınakları örnekleri (IFRC & RCS, 2013)..... | 34 |
| Şekil 1. 23 Kullanımda olan bazı farklı sığınak terminolojileri arasındaki örtüşmelerin gösterimi. (IFRC, 2013; Brogden & Kennedy, 2021)..... | 34 |
| Şekil 1. 24 Çekirdek ve tek oda barınak örnekleri (Post-disaster shelter: Ten designs, 2013)... | 35 |
| Şekil 1. 25 2009 Depremi sonrası İtalya’da yapılan deprem sonrası kalıcı konut örneği (Grozdanic, 2013)..... | 37 |
| Şekil 1. 26 1992 Erzincan depremi (Erzincan Depremi Galerisi 1992, 2021)..... | 38 |
| Şekil 1. 27 2020 Elazığ depremi sonrası yıkılan yapılar..... | 39 |
| Şekil 1. 28 TOKİ Afet Sonrası Toplu Konut Projesi Örneği Elazığ Uydu Kent (TOKİ, 2021).. | 39 |
| Şekil 2. 1 3B baskı teknolojilerinin sınıflandırılması (Redwood, Schöffner, & Garret, 2017)..... | 46 |
| Şekil 2. 2 FDM makinelerin çalışma prensibi (Redwood, Schöffner, & Garret, 2017). | 48 |
| Şekil 2. 3 Kalıplama süreci örneği (2021, Aysegül Yılmaz, Sümeyye Şahkulubey, Büşra Kolçak). | 49 |
| Şekil 2. 4 Mimarlık eğitiminde 3B yazıcı kullanımı örneği (13.11.2021, FSMVÜ Mimarlık Bölümü, Hümeysra KARABACAK Stüdyo 401 maket çalışması. Ölçek:1/500)..... | 50 |
| Şekil 2. 5 BAM 2019 3B yazıcıdan köprü üretimi çalışmaları (BAM, 2021)..... | 52 |
| Şekil 2. 6 İnşaat 3B baskının aşamaları (Labonnote, Ronnquist, Manum, & Rütther, 2016). | 53 |
| Şekil 2. 7 İnşaat 3B Yazıcısı ile yapı üretim süreci (Paul, Tay, Panda, & Tan, 2017) | 53 |
| Şekil 2. 8 “3D WASP” tarafından üretilen oturma birimi [Formnext 2021 Darmstadt Technical University (16.11.2021, Salim ŞAHİN)]. | 55 |
| Şekil 2. 9 Formnext Fuarı 2021’de sunulan cam tuğla duvar (Beghini, ve diğerleri, 2021)..... | 55 |
| Şekil 2. 10 İnşaat 3B Yazıcıların Tipleri (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021)..... | 56 |
| Şekil 2. 11 Kızaklı Sistem (Portal) 3B Yazıcılar (PERI, 2021). | 57 |
| Şekil 2. 12 Delta 3B Yazıcı WASP (Chiusoli, 2021)..... | 57 |
| Şekil 2. 13 “3D WASP” delta sistem yazıcının örnek yapı alanı artırma modülleri (WASP 3D, 2021) | 58 |
| Şekil 2. 14 Robotik kol tipi 3B İnşaat Yazıcısı (Apis Cor, 2021). | 59 |
| Şekil 2. 15 Betonarme karkas yapıda 3B yazdırılmış yapı örneği (Apis Cor, 2019)..... | 61 |
| Şekil 2. 16 Köpük malzeme ile 3B yazdırılmış konut örneği (Laboux, Lineatte, Coiffier, & Toms, 2017) (BATIPRINT3D, 2021). | 62 |
| Şekil 2. 17 BATIPRINT 3D tarafından Nantes’te üretilen yapı (BATIPRINT3D, 2021). | 62 |
| Şekil 2. 18 “3D WASP” Tarafından Yerinde Üretilen 2021 Dubai Expo Dior Mağazası (Moretti, 2021). | 63 |
| Şekil 2. 19 3B yazıcı ile sıkıştırılmış toprak üretimi (Kloft, Gossler, Barba, & Pacillo, 2021) | 64 |
| Şekil 2. 20 Bireysel katman imalatıyla yapısal kereste (ILF) (Talke, Buschmann, Saile, & Henke, 2021) | 65 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 2. 21 3B yazıcı ile üretilmiş beş katlı yapı (Winsun, 2015) | 66 |
| Şekil 2. 22 Office of the Future (Office of the Future, 2016) | 66 |
| Şekil 2. 23 Dubai’de 3B yazıcıyla inşa edilmiş yapı (Apis Cor, 2019). | 67 |
| Şekil 2. 24 TECLA projesi (Chiusoli, 2021) | 67 |
| Şekil 2. 25 İSTON üretimi 3B yazdırılmış yapılar ve kent mobilyaları 2021..... | 68 |
| Şekil 2. 26 İSTON tarafından 3B yazıcılarla üretilmiş beton kent mobilyaları (07.12.2021). | 68 |
| Şekil 3. 1 İSTON tarafından üretilen 3B yazdırılmış yapıların yapım aşamaları. | 81 |
| Şekil 3. 2 İSTON Tuzla fabrikasında üretilen yapının dış cephesinden fotoğraflar. | 81 |
| Şekil 3. 3 İSTON Tuzla fabrikasında üretilen yapının iç mekanından fotoğraflar. | 82 |
| Şekil 3. 4 İSTON’un 3B yapı üretiminde kullandığı 6 eksenli robotik kol..... | 83 |
| Şekil 3. 5 İSTON’un 3B yapı üretiminde kullandığı 6 eksenli robotik kol önden görünüşü. | 83 |
| Şekil 3. 6 Çadırların nakliye sürecindeki kapladığı alan (UNHCR)..... | 92 |
| Şekil 3. 7 3B yazıcı tasarımı önerisi (Doerfler & Dielemans, 2021)..... | 96 |
| Şekil 3. 8 3B yazdırılmış yapılarda ısı yalıtımı modeli (Tahmasebinia, ve diğerleri, 2019). | 101 |
| Şekil 3. 9 İdlib’de yerinden edilmiş nüfusun çadır kentlerde ısıtma sorunları yaşaması (Daily Sabah, 2022)..... | 102 |
| Şekil 3. 10 Bangladeş’te çıkan çadır kent yangını 9 Ocak 2022 (Kamruzzaman, 2022). | 104 |
| Şekil 3. 11 Apis Cor 3B yazıcıdan üretilen duvar örneği (Apis Cor, 2021). | 106 |
| Şekil 3. 12 Bulgulanan avantaj ve dezavantajların % grafikleri. | 114 |
| Şekil 4. 1 Duarte ve diğerleri tarafından önerilen eklemeli inşaat esaslarına göre geliştirilmiş 3B yazdırılmış yapı formları (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021). | 118 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1. 1 TAMP Barınma Hizmet Grubu (AFAD, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), 2013). | 16 |
| Tablo 1. 2 Acil barınma yerlerinin fonksiyonları (Özge, 2019). | 19 |
| Tablo 1. 3 Acil yardım barınakları için uygulama ve tasarım ölçütleri (Özge, 2019). | 20 |
| Tablo 1. 4 Türkiye’de Afet Sonrası Acil Yardım Aşamasında Kullanılan Geleneksel Çadırların Olumsuz Yönleri (Özge, 2019). | 21 |
| Tablo 1. 5 Geçici barınakların tasarım ve üretiminde belirli koşullar (Acerer, 1999). | 28 |
| Tablo 1. 6 Geçici konutların tanımları. | 29 |
| Tablo 1. 7 Geçici konutlara ihtiyaç duyulan durumlar. | 30 |
| Tablo 1. 8 Çadır- Konteyner karşılaştırması (Beyatlı, 2010). | 31 |
| Tablo 1. 9 Kalıcı Konut Uygulamalarının Tasarım ve İnşaat Sürecinde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar (Sey & Tapan, 1987). | 38 |
| Tablo 1. 10 Barınak tipleri tablosu. | 40 |
| Tablo 2. 1 3B baskı teknolojilerinin sınıflandırılması (Redwood, Schöffner, & Garret, 2017). | 47 |
| Tablo 2. 2 Yapı ölçekli 3B yazıcıların tarihçesi. | 51 |
| Tablo 2. 3 İnşaat 3B yazıcılar listesi [Yapı hacimleri gösterge niteliğindedir ve makinenin özel yapılandırmasına göre değişebilir. (Cherdo, 2021)]. | 60 |
| Tablo 3. 1 Afet Sonrası Uygulanan Yapım Sistemlerinin Karşılaştırma Kriterleri (Savaşır, 2008). | 69 |
| Tablo 3. 2 Afet veya savaş sonrası konutların sürdürülebilirlik açısından değerlendirme faktörleri (Pomponi, Moghayedi, Alshawawreh, D’Amico, & Windapo, 2019). | 70 |
| Tablo 3. 3 Geçici konutlarda sürdürülebilirlik faktörleri (Hosseini, Farahzadi, & Pons, 2021). | 71 |
| Tablo 3. 4 Araştırma sorularının belirlenen kriterlere göre oluşturulduğu tablo. | 73 |
| Tablo 3. 5 İnşaat atıkları kökenleri ve sebepleri (Osmani, Glass, & Price, 2008). | 78 |
| Tablo 3. 6 Barınak tiplerinin teslimat süreleri. | 88 |
| Tablo 3. 7 Barınakların süre açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanajaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 90 |
| Tablo 3. 8 Barınakların maliyet açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanajaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 94 |
| Tablo 3. 9 Barınakların lojistik açıdan avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanajaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 97 |

| | |
|---|------------|
| Tablo 3. 10 Barınakların üretim kolaylığı ve iş gücü açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj)..... | 100 |
| Tablo 3. 11 Barınakların yapı kalitesi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 105 |
| Tablo 3. 12 Barınakların yapı kalitesi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 107 |
| Tablo 3. 13 Barınakların enerji tüketimi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj). | 110 |
| Tablo 3. 14 Barınakların CO2 eşdeğer emisyonları açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avanaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj)..... | 112 |
| Tablo 3. 15 Bulgular Avantaj-dezavantaj listesi ((■) avantaj, (■) dezavantaj)..... | 113 |
| Tablo 4. 1 Yerinde 3B yazdırmada süre konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz). | 117 |
| Tablo 4. 2 Yerinde 3B yazdırmada lojistik konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz). | 119 |
| Tablo 4. 3 Yerinde 3B yazdırmada üretim kolaylığı ve iş gücü konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz). | 121 |
| Tablo 4. 4 Yerinde 3B yazdırmada yapı kalitesi ve tasarım olanakları konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz)..... | 123 |

GİRİŞ

Afet sonrasında barınmanın yalnızca çadır veya geçici barınak çözümü gibi bir ürünün sağlanmasından ziyade bir “süreç” olduğu giderek daha fazla kabul görmektedir. Afet dışında, barınma çözümleri, hane halkının demografisine, kaynaklarına ve kapasitelerine, statülerine ve kullanım süresi güvenliğine bağlı olarak zamanla uyum sağlar ve değişir. Bir afet söz konusu olduğunda, etkilenen nüfusun mevcut veya hızla gelişen barınma süreçlerini tanımak ve desteklemek, ihtiyaçların mevcut kaynaklarla etkin ve verimli bir şekilde karşılanmasının anahtarıdır (IFRC & RCS, 2013).

Quarantelli, 1995’te afet sonrası barınma biçimleri ve bu kapsamda geçici konutları açıklarken; “bireyler, yaşanan olaylardan sonra afet öncesi yaşamlarına dönmeye çalışırken, geçici barınaklar kurma, barınakları daimî konuta yükseltme veya yeni evler yapmak gibi farklı barınak kurulumları arasında hareket etme eğilimindedir.” şeklinde ifade etmiştir (Quarantelli E. , 1995). Günümüz şartlarında; afet sonrası geçici konut bağlamında önerilecek yeni yapıım sisteminin; yine günümüz şartlarındaki gelişmiş teknolojiler ve gelişmiş yapı tekniklerinin kullanıldığı; geleneksel yöntemlere kıyasla, yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirliği açısından avantajlı olacak şekilde olması gerekmektedir.

3B yazıcılar yapı üretim alanındaki günümüz teknolojileri arasında son zamanlarda en dikkat çekici ve önemi giderek artmakta olan yeniliklerden biridir. Geleneksel yapı üretim tekniklerinin aksine ilk bakışta bile yapı üretiminde daha planlı, atık yönetimi ve sürdürülebilirlik açısından artıları olan bir üretim sistemi geliştiren bir üretim sistemi oluşturduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda incelenecek tez kapsamında amaç, bu avantajların net bir şekilde gözlemlenebilmesi ve yeni teknolojinin getirileri veya zorlukları üzerinde bir çalışma ortaya koymaktır.

Literatür Taraması:

Afet sonrası konut üretiminde 3B yazıcıların kullanılması ile alakalı çalışmalara odaklanıldığında; Gregory ve diğ., 2016'da afet sonrası konut üretiminde kullanılabilecek bir yöntem olan 3B yazıcı üretiminin maliyet analizini yapmıştır. Bu çalışmanın bulguları arasında belirlenmiş olan üç tür afet sığınağı/ konutu bulunmaktadır. Bunlar; geleneksel barınaklar, prefabrik barınaklar ve 3B baskılı barınaklardır. Çalışma; barınak başına yaklaşık malzeme maliyetini, yapıyı inşa etmek için gereken insan sayısını, yapıyı inşa etme süresini ve öngörülen kullanım ömrünü belirlemiştir. Ayrıca çalışma, yapının sel, deprem ve rüzgârdan etkilenme seviyelerini belirlemek için bir performans özetinin yanı sıra bir risk analizi de sağlamıştır (Gregory, ve diğerleri, 2016).

Türkiye'de yapılmış bir çalışma, Deksi'nin 2016'da İstanbul Aydın Üniversitesi'nde yaptığı yüksek lisans tezidir. Bu çalışma; afet sonrası geçici barınakların tasarımı ve 3B yazıcı teknolojisine bağlı olarak yeni bir çözüm önerisi ortaya koymayı hedeflemiştir. Çadırlar, prefabrik barınaklar ve kerpiç barınaklar incelemiştir ve 3B yazıcıdan kerpiç barınak önerisi yapmıştır (Deksi, 2016).

Çalışmanın Amacı:

Bu tez çalışmasında afet sonrasında mağdurların ihtiyaç duyduğu barınakların hızlı ve uygun bir şekilde üretilmesinde 3B yazıcı teknolojisini kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırmalar sonunda bu tekniğin Türkiye'de uygulanabilirliği konusunda öneriler sunulmuştur.

Bu çalışmada ayrıca bir afetten sonra geçici konut yapılarını inşa etmek için 3B baskı teknolojileri kullanmanın avantajları ve dezavantajlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın hipotezi:

- H: Afet sonrası geçici konut üretiminde, 3B yazıcıların kullanılması avantajlıdır.

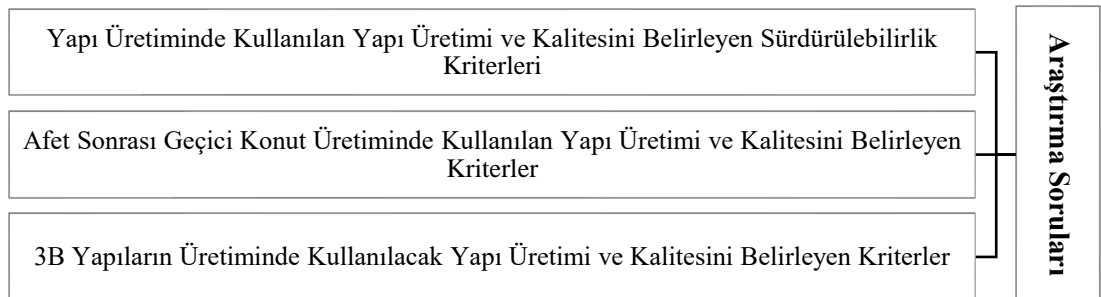
Çalışmanın Kapsamı:

Çalışmanın kapsamı, konut üretiminde afet sonrası geçici konutlar ve 3B beton yazıcılar ile sınırlı tutulmuştur. Bir yapı üretim aracı olarak sunulan 3B yapı üretim sisteminin uygulanması halinde sağlanacak avantajlar ve duyulan ihtiyaçların tespiti sağlanmıştır. Bununla birlikte afet sonrasında oluşan geçici konut ihtiyacına getirilebilecek bir yapı üretim önerisi olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Problem tespitinden sonra karşılaştırma yapılmış ve konu hakkında öneriler geliştirilmiştir.

Tezde, afet sonrası yapıların Türkiye'deki kaynak sağlayıcıları ile yapı ölçekli 3B yazıcıların kullanımı ile oluşturulan yapıların örnekleri incelenmiştir. 3B yazıcılar ile konut üretiminin yöntemleri ve uygulamaları incelenmiştir. Afet sonrası konutlandırmada; geçici konut alanında tez kapsamında önerilen 3B yazıcı kullanımı; iş akışı, maliyeti, malzeme tedariki, tasarım esnekliği, yapı kalitesi, konforu, mimari detayı, izolasyonu, sosyal ortamı, iç mekân kalitesi gibi başlıklar üzerinden avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Kriterlerin belirlenmesi ve önerilerin kullanılması esnasında verilerin ölçülebilir bir hale getirilmesi sağlanmıştır. Önerilerin uygulandığı durumdaki etkileri; süre, maliyet, planlama, iş gücü, yapı kalitesi ve çevresel sürdürülebilirlik kavramları doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Araştırma sorularının kapsamı belirlenirken incelenecek konu ile alakalı soru kriterleri belirlenmiştir. Bu alanda asıl amaç, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, özellikle öneri sunulacak afet sonrası geçici konut üretimi ve yapı üretim yöntemi olarak önerilecek 3B yazıcılardan üretilmiş yapıların yapı üretimi ve kalitesi açısından incelenme kriterlerini belirlemektir.



Şekil G. 1 Araştırma soruları kapsamı

Şekil G. 1'den hareketle araştırma konusunun ortak kapsadığı alanlar belirlenmiştir. Bu alanlar, literatür taramasında bulguların ışığında sınıflandırılarak soru listesi oluşturulmuştur.

Geçici konut bağlamında yapılan araştırmada; mevcut afet sonrası geçici konutlar ile 3B yazıcı ile üretilenlerin karşılaştırılması için gerekli birçok unsur vardır. Bunlar;

- Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Açısından
- Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları Açısından
- Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından

şeklinde sıralanabilir. Bu alanların her birinin ilkeleri farklılık gösterdiği gibi, bir yapının değerlendirilmesi için gereken daha birçok öge vardır. Tez kapsamında 3B yazıcı ve diğer yapı sistemlerinin yapım yöntemi üzerinden karşılaştırılması yapıldığı için, bu konu kapsamında yer alacak kriterler belirlenmiştir.

Çalışmanın Yöntemi:

Türkiye'de afet sonrası geçici konut üretiminde tespit edilen problemlerin çözümü üzerine tartışılacak ve bu konuda, yapı üretiminde 3B yazıcıların kullanımında bazı öneriler sunulacaktır. İnşaat sektöründe yenilikçi ve teknolojik bir üretim aracı olan ve denemeleri hala sürmekte olan 3B yazıcıların yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirlik temellerinde ele alınması, mevcut uygulamaların değerlendirilmesi ve sorunlarının tespit edilmesi sağlanacaktır. 3B yazıcı ile yapı üretimi sistemi kapsamında, geçici konut üretimi için kullanımı kolay önerileri amaçlayan tez çalışmasında, karma araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için aşağıdaki araştırma adımları izlenmiştir: İlk aşamada, geleneksel afet sonrası uygulanan yapıların özelliklerini araştırmak için literatür taraması yapılmıştır. Yeni bir öneri olacak 3B yazıcıların kullanımı için de literatür taraması yapılmış ve dünyada uygulanan örnekleri araştırılmıştır. İkinci aşamada, afet sonrası Türkiye'de kullanılan geçici konut tipleri ve yine Türkiye'de üretilen 3B yazdırılmış yapıların yöneticilerinden, gerçek hayattan örnekler ve 'öğrenilen dersler' hakkında veri toplamak için bir saha araştırması tasarlanmıştır. Saha araştırması için yapıların değerlendirme kriterleri kapsamlı bir literatür taraması sonucu

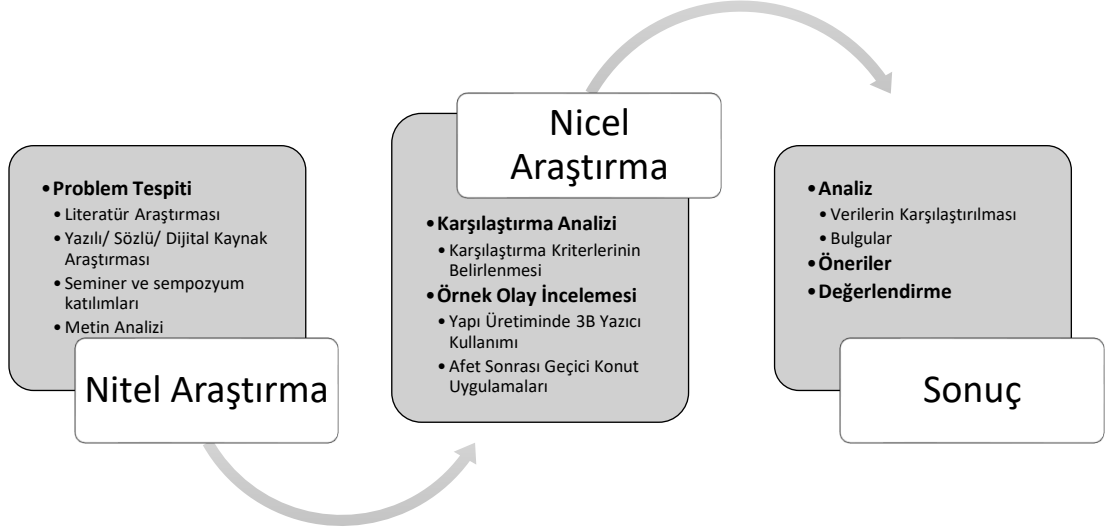
oluşturulmuştur. Kişilerle gerçekleştirilen röportajlar, veri toplama aracının açık uçlu soruları, yanıtlayıcıların deneyimlerine ilişkin derinlemesine veri sağlanmasına olanak sağlamıştır. Az sayıda katılımcıdan elde edilen veriler hem nicel hem de nitel olarak analiz edilmiştir.

Türkiye’de afet sonrası geçici konut üretiminde tespit edilen problemlerin çözümü üzerine tartışılacak ve bu konuda, yapı üretiminde 3B yazıcıları kullanan yapı üretim tekniği önerilmiştir. İnşaat sektöründe yenilikçi ve teknolojik bir üretim aracı olan ve denemeleri hala sürmekte olan 3B yazıcıların yapı üretimi, kalitesi ve sürdürülebilirlik temellerinde ele alınması, mevcut uygulamaların değerlendirilmesi ve sorunlarının tespit edilmesi sağlanacaktır. 3B yazıcı ile yapı üretimi sistemi kapsamında, geçici konut üretimi için kullanımı kolay önerilerin geliştirilmesini amaçlayan tez çalışmasında, karma araştırma yöntemi kullanılmıştır.

Karma araştırma yöntemi, verileri metin temelinde ve nedenlere göre inceleyen nitel ve daha çok sayısal verilerle ve ölçümlerle desteklenen nicel araştırma yöntemlerinin beraber kullanıldığı bir araştırma tasarımıdır (Creswell, 2009). Çalışmada, ilk yöntem olarak nitel araştırma yapılarak duruma ilişkin bilgi edinilmiştir. Literatür araştırması yapılmış ve öncelikli olarak tezin temelini oluşturan; afet sonrası konut üretimi ve 3B yazıcılar ile konut üretimi ile alakalı dolaylı ya da doğrudan ilgili olan yayınlar incelenmiş ve kaynaklar kayıt altına alınmıştır. Elde edilen bilgiler özgün şekline bağlı kalınarak paylaşılmış ve ifadelerden alıntı yapılarak sunulmuştur.

Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için aşağıdaki araştırma adımları izlenmiştir: İlk aşamada, geleneksel afet sonrası uygulanan yapıların özelliklerini araştırmak için literatür taraması yapılmıştır. Yeni bir öneri olacak 3B yazıcıların kullanımı için de literatür taraması yapılmış ve dünyada uygulanan örnekleri araştırılmıştır. İkinci aşamada Türkiye’de üretilen 3B yazdırılmış yapıların uzmanlarından, gerçek hayattan örnekler ve 'öğrenilen dersler' hakkında veri toplamak için bir saha araştırması tasarlanmıştır. Saha araştırması için yapıların değerlendirme kriterleri kapsamlı bir literatür taraması sonucu oluşturulmuştur. Kişilerle gerçekleştirilen röportajlar, veri toplama aracının açık uçlu soruları, yanıtlayıcıların deneyimlerine

ilişkin derinlemesine veri sağlanmasına olanak sağlamıştır. Az sayıda katılımcıdan elde edilen veriler hem nicel hem de nitel olarak analiz edilmiştir (Şekil G. 2).



Şekil G. 2 Tezin Metodolojisi Şeması

Problem tespitinden sonra konu ile ilgili uluslararası literatür taranmış ve çeşitli organizasyon ve kurumların yaptığı raporlar incelenmiştir. Bunun yanında konu ile ilgili Türkiye’de bulunan aktörlerle alan çalışması yapılmış, bunların sonucunda öneriler geliştirilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. AFET SONRASI KONUT ÜRETİMİ KAVRAMI VE TARİHİ

Barınma temel bir insan ihtiyacıdır. Afet sonrasında evleri hasar gören, yıkılan ya da afet sonucu yerinden edilmiş kişiler, ellerinden gelen her türlü imkanla bu ihtiyacı karşılamaya çalışacaklardır. Bu, hasar gören evlerinin geçici olarak onarılması, hasar gören evlerinden veya geçici olarak yerinden edildikleri bölgeden kurtarılan malzemeleri kullanarak geçici barınakların doğaçlama yapılması veya çadırların, sağlanan diğer yardım malzemelerinin kullanılması yoluyla olabilir. **Şekil 1. 1**'deki gravürde, Lizbon depreminden sonra insanların geçici barınak olarak çadırlarda barınması örneği gösterilmiştir. Lizbon'da yaşanan afetten sonraki uygulamalar literatüre modern afet uygulamaları olarak yansımıştır (Dynes, 2003). Afet sonrası barınma yardımlarının planlanması ve müdahale edilene kadarki sürede kamu binalarında geçici toplu barınma alanları da oluşturulabilir.



Şekil 1. 1 Gravür, 1755'teki Lizbon depremi: ilk modern afet (Leon, Urquia, D'Urzo, & Ashmore, 2013).

Afetten etkilenen insanların mümkün olan en kısa sürede güvenli bir alana geçirilmesi gerekmektedir. Hasarlı evlerin onarımı ve yeniden inşası başlatmaya çalışacaklardır. Barınma yardımı, etkilenen hanelerin barınak ihtiyaçlarını karşılama konusundaki tercihlerini destekleyecek şekilde düzenlenmelidir. Bazı aileler, afetten etkilenmemiş arkadaşlarıyla veya akrabalarıyla kalmayı tercih edebilir ve bu tür barındırma düzenlemeleri için destek, yerinden edilmiş hane halkını barındırmak için mevcut bir konutu genişletmek veya uyarlamak için nakit, yardım malzemeleri veya maddi yardım içerebilir.

Afet sonrası konut ihtiyacında çeşitli aşamalar mevcuttur. Bu aşamalardan Uluslararası Kızılhaç ve Kızılay Dernekleri Federasyonu (IFRC), doğal afet mağdurlarına yardım etmek için kullanılan sekiz farklı geçiş sığınağının raporu yayınlamıştır (IFRC & RCS, 2013). Yine aynı yıl içinde yeni bir rapor yayınlayarak bu tasarımlara yeni bir kavram daha eklemiştir. Ek olarak ilerici barınak ifadesinin eklenmesi üzerine acil durum barınakları, geçici konutlar ve kalıcı konut süreçlerinin kavramlarından bahsedilmiş ve kapsamı açıklanmıştır (IFRC, Post-disaster shelter: Ten designs, 2013). Türkiye’de ise AFAD’ın yayınladığı afet müdahale raporunda (AFAD, Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018), Türkiye afet müdahale planı ve işleyişinin açıklaması yapılmıştır. Afetzedelerin konut ihtiyacının karşılanmasında görev yapacak barınma hizmet biriminin görev ve sorumlulukları, olası bir afette Türkiye genelindeki barınak ihtiyacını karşılayacak depoların ve müdahale merkezlerinin konumları ile beraber afet sonrasına dair planlanan eylemleri raporlamışlardır.

Yayımlanan raporlarda, barınmanın yalnızca çadır veya geçici barınak çözümü gibi bir ürünün sağlanmasından ziyade bir “süreç” olduğu ifade edilmiştir. Afet dışında, barınma çözümleri, hane halkının demografisine, kaynaklarına ve kapasitelerine, statülerine ve kullanım süresi güvenliğine bağlı olarak zamanla uyum sağlar ve değişir. Bir afet bağlamında, etkilenen nüfusun mevcut veya hızla gelişen barınma süreçlerini tanımak ve desteklemek, ihtiyaçların mevcut kaynaklarla etkin ve verimli bir şekilde karşılanmasının anahtarıdır (IFRC & RCS, Transitional Shelters Eight Designs, 2013).

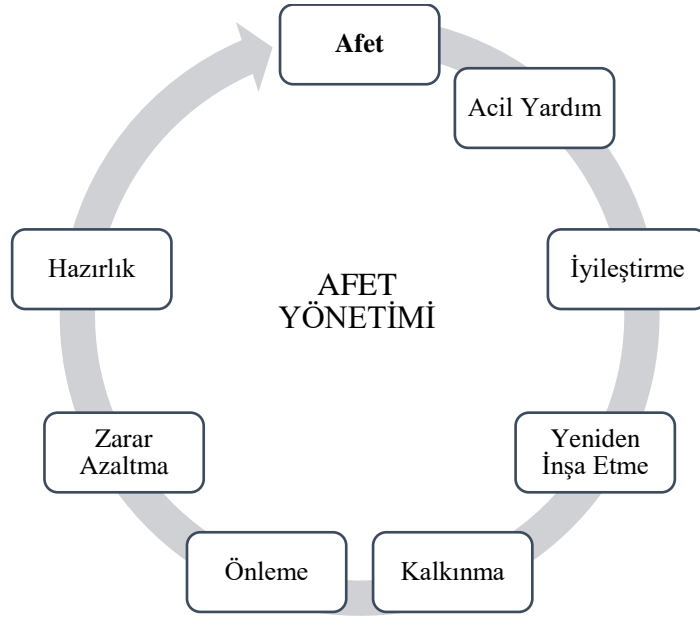
Bu konuda “katımlı yaklaşım” kavramı öne çıkmaktadır. Katımlı yaklaşımla üretilen konutlarla alakalı Çetindaş, 2019’da yaptığı çalışmada bu kavramdan bahsetmiştir. Bu çalışmada, afet sonrası konut uygulamalarında afetzedelerin yeniden yapım aşamasına katılımı araştırılmıştır. Bu doğrultuda çalışma içerisinde, Hindistan, Sri Lanka ve Türkiye’de katımlı yaklaşımın benimsendiği afet sonrası konut projeleri, değerlendirme, planlama ve tasarım, uygulama ve denetim süreçleri ve sonuçlarıyla incelenmiş ve değerlendirilmiştir (Çetindaş, 2019). **Şekil 1. 2**’de gösterilen örnek, katımlı yaklaşımla üretilen konutlara bir örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 1. 2 Orkha’da sel sonrası katımlı yaklaşımla üretilen kalıcı konutlar (Çetindaş, 2019).

1.1. AFET YÖNETİMİ

Afetlerin önlenmesi açısından insanların yapabilecekleri sınırlıdır. Afetler karşısında yapılabilecek eylemler; araştırmalar yaparak afetlerin yıkıcı etkilerini belirlemek, bu etkilerden mümkün olduğunca kurtulmak veya bunların toplum üzerindeki etkilerini en aza indirmektir. Araştırmalar sonucunda önlemler almak, eylem planları geliştirmek ve bunları uygulamaya koymaktır. Bu bağlamda, insanların yaşadıkları çevrede meydana gelen doğal olaylardan haberdar olmaları, bunları ayrıntılı bir şekilde tanımaları ve bu olayların tekrarı durumunda hiç etkilenmemeye ya da en az oranda etkilenmelerine olanak tanıyan çalışmaları gerçekleştirmeleri gerekir. Bu çalışmaların tümüne “Afet Yönetimi” denir (Gökçe & Tetik, 2012), (**Şekil 1. 3**).



Şekil 1. 3 Afet Yönetimi Aşamaları (Gökçe & Tetik, 2012).

Güncel afet yönetimi kavramında; etki analizi, acil müdahale, iyileştirme, yeniden inşa etme ve kalkınma gibi afet sonrası çalışmalar “Kriz Yönetimi” olarak tanımlanmaktadır. Afet önleme, kayıp ve zararların azaltılması, hazırlık, tahmin ve erken uyarı sistemleri, afetleri anlamak gibi afet öncesi korumaya yönelik çalışmalar ise “Risk Yönetimi” olarak tanımlanmaktadır (Kadıoğlu, 2008). Etkili bir afet yönetimi sisteminin; afet öncesi, afet sırası ve afet sonrası ihtiyaç duyulan tüm çalışmaları kapsamaması gerekmektedir (Erkal & Değerliyurt, 2009).

Dünyada her ülkenin afet yönetimi ve koordinasyonu, o ülkenin geçmişte yaşadığı afet deneyimlerinin birikimi sonucunda oluşmuştur. ABD, Kanada, Japonya, Yeni Zelanda, Rusya, İtalya ve Fransa gibi ülkelerin sahip oldukları afet yönetimi sistemlerinin özellikleri aşağıda verilmiştir (Akdağ, 2002), (Freeman, ve diğerleri, 2003).

- Afet Yönetimi aşamaları; “relief and first aid” (kurtarma ve ilk yardım), “recovery” (iyileştirme), “reconstruction” (yeniden inşa etme), “mitigation” (zarar azaltma) ve “preparedness” (önceden hazırlık) olarak beş aşama şeklinde ilerlemektedir.
- Afet Yönetiminin disiplinler arası bir konu olduğu kabul edilmektedir.

- Afet Yönetiminde merkezi yönetime ek; yerel yönetimler, STK'lar, medya, özel sektör ve gönüllü vatandaşlar etkili bir şekilde rol almaktadır.
- Afet yönetim sisteminin oluşturulması ve yürütülmesi sorumluluğu merkezi bir kuruluşa verilmiştir. Bu kuruluş, ulusal kaynakların ve ilgili diğer birimlerin faaliyetlerini kesintisiz yürütebilecek güçte ve hiyerarşide yapılanmıştır.
- Bütüncül bir afet yönetimi işleyişi mevcuttur. Kamu kuruluşları ve özel/gönüllü kuruluşlar arasında; esnek yapıda ve gelişmiş düzeyde bir koordinasyon planlaması uygulanmaktadır.
- Kilit işlevleri ve hayati sorumlulukları açıklayan bir ulusal acil durum planı raporu oluşturulmuştur.
- Coğrafi bilgi sistemi teknolojilerine dayalı ve sorumlu kurumlar arasında bilgi paylaşımını sağlayan ve sorunsuz işleyen Afet Bilgi Sistemleri geliştirilmiştir.
- Afet sonrasında haberleşme ve ulaşım sistemlerinin kesintisiz işlemesini sağlayacak uygulamalar ve önlemler aktif bir biçimde ele alınmıştır.
- Afet çeşitlerinin her türünü kapsayacak şekilde geniş çaplı sorun çözümlerine odaklanılmıştır.

Türkiye'de afet yönetimi ve koordinasyonu, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nden sonra tekrar ele alınmıştır (Şekil 1. 4). Geniş çaplı hasara ve can kaybına neden olan bu deprem, Türkiye'de afet yönetimi konusunun tekrar düşünülmesini ve gözden geçirilmesini gerektirmiştir (Gökçe & Tetik, 2012).



Şekil 1. 4 Marmara Depremi'ne ait fotoğraflar; 17 Ağustos 1999 (Marmara Depremi Galerisi, 2021).

Kurumların arasında koordinasyon sağlanması gerektiği anlaşılmış, afetlerle ilgili yetki ve sorumlulukların gözden geçirilmesi ve tanımlanması yapılmıştır. Bunun sonucunda afet ve acil durumlarda gereken yetki ve sorumlulukların tek elde birleştirilmesine karar verilmiştir. Afetlerle ilgili görevler yapan; İçişleri Bakanlığı'na bağlı Sivil Savunma Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'na bağlı Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Başbakanlık'a bağlı Türkiye Acil Durum Yönetimi Genel Müdürlüğü kapatılmıştır (Gökçe & Tetik, 2012). 2009 yılında, 5902 sayılı yasa ile birlikte Başbakanlık'a bağlı AFAD kurularak; yetki ve koordinasyon tek kurum altında toplanmıştır. AFAD, 2018 yılında yayımlanan 4 sayılı Cumhurbaşkanlığı kararnamesi ile birlikte İçişleri Bakanlığı'na bağlanmıştır (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).

Modern afet yönetimi, afetlere hazırlıklı olmakla kalmaz; afetleri önlemenin ve afet sonrasında modern bir iyileştirmenin önemini de vurgulamaktadır. AFAD'ın bu husustaki görevi, merkezde toplanan afet öncesi, sırası ve sonrası hizmetlerin, görev ve sorumlulukların yerel yönetimlerce üstlenilmesini sağlamaktır. Söz konusu hizmetleri denetlemek ve koordine etmektir. AFAD'ın başlıca üç adet amacı sıralanabilir. Bunlar;

- Afetlerin zararlarının azaltılması ve mümkün olduğunca önlenmesi,
- Afet sonrasında acil müdahale edilmesi,
- Afet gerçekleşikten sonraki iyileştirme çalışmalarının hızlı bir şekilde yürütülmesi ve tamamlanması şeklindedir. Bu amaçlar doğrultusunda gereken eylemlerin ve faaliyetlerin planlanması, yönlendirilmesi, desteklenmesi, koordine edilmesi ve etkin uygulanması için ülkedeki tüm kurum ve kuruluşlar arasında iş birliğini sağlayan bir kurumdur (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).

1.1.1. Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP)

AFAD tarafından 2011 Van depreminden sonra gösterildiği gibi sonrasında geliştirilen ve yayımlanan, 2012 yılından sonra da çalışmaları başlatılan TAMP; Türkiye'de her tür ve ölçekte yaşanabilecek afetlere karşı etkin bir şekilde müdahale

etmek için oluşturulmuştur (Şekil 1. 5). Entegre planlama yaklaşımı ve modüler yapısıyla afet sonrasındaki operasyon risklerini en aza indirgeyecek 28 hizmet grubunun görev aldığı bir sistemdir. AFAD, afet ve acil durumlara müdahalede faaliyetlerini yürütecek; bakanlık, kurum ve kuruluşlar, özel kuruluşlar, STK'lar ve gerçek kişileri kapsamaktadır (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).



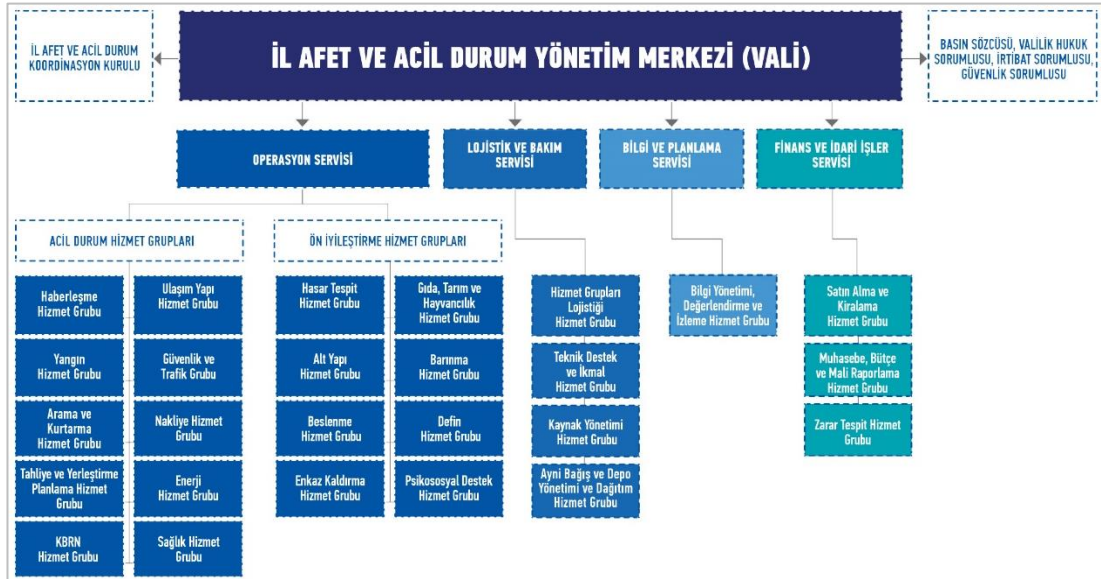
Şekil 1. 5 2011 Van Depremi'ne ait fotoğraflar (Van depremi galerisi, 2011).

TAMP'ın hedefleri şöyle sıralanabilir;

- Afet sonrası acil müdahale faaliyetlerini planlı ve hızlı bir şekilde yürütmek,
- Mümkün olduğu kadar fazla hayat kurtarmak,
- Kesintiye uğrayan hayatın ve yaşam faaliyetlerinin en kısa sürede normale dönmesini sağlamaya çalışmak,
- Afet sonrasında afetzedelerin sağlığını korumak ve sürdürmek,
- Mülkiyeti, kültürel mirası ve çevreyi korumak,
- Ekonomik kayıpları ve sosyal riskleri azaltmak,
- Afet sonrası yaşanabilecek ikincil afetleri önlemek ya da etkilerini azaltmak,
- Kaynakların aktif bir şekilde kullanılmasını sağlamak (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).

TAMP sisteminin genel yönetimi AFAD başkanlığında yürütülmektedir. İllerdeki çalışmaları ise İl Afet ve Acil Durum Müdürlükleri tarafından yapılmaktadır. TAMP sisteminin işlerliği ve koordinasyonu, Afet ve Acil Durum Yönetim Merkezleri (AADYM) üzerinden sağlanır. AADYM'ler; bakanlık, bakanlıklar ve il olmak üzere üçe ayrılmış ve 7/24 çalışır ve erişilebilir bir sistem

esasinda kurulmustur. Gerekli durumlarda ilçeler ve ilgili kuruluslarda da AADYM'ler kurulabilmektedir (Şekil 1. 6).



Şekil 1. 6 AADYM'lere bağlı birimler (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).

İllere bağlı AADYM'lerde beş farklı servis birimi çalışmaktadır. AADYM'lerde ayrıca koordinasyon kurulu bulunmakta ve basın sözcüsü, hukuk sorumlusu, irtibat sorumlusu ve güvenlik sorumlusu gibi alt birimleri de mevcuttur. Söz konusu beş servis; operasyon servisi, lojistik ve bakım servisi, bilgi ve planlama servisi ve finans ve idari işler servisedir.

Operasyon servisi, afet sonrasında alanda acil müdahale sağlayan ve hasar tespit gibi iyileştirme ve tespit çalışmalarını yürüten guruptur. Acil durum ve ön iyileştirme gurupları olarak ikiye ayrılır. Acil durum hizmet gurupları; haberleşme, yangın, arama ve kurtarma, tahliye ve yerleştirme planlama, KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer), ulaşım, güvenlik ve trafik, nakliye, enerji ve sağlık olarak on farklı hizmet gurubundan oluşur. Ön iyileştirme hizmet gurupları ise; hasar tespit, alt yapı, beslenme, enkaz kaldırma, gıda, tarım ve hayvancılık, barınma, defin ve psikososyal destek olarak sekiz farklı hizmet gurubundan oluşur. Ön iyileştirme hizmet gurubu acil müdahale sonrasında gereken; afetten etkilenen insanların yaşam şartlarını iyileştirmek için yine afet alanında çalışmalarını yürüten ekiptir.

Lojistik ve bakım servisi; hizmet gurupları lojistiği, teknik destek ve ikmal, kaynak yönetimi ve ayni bağış ve depo yönetimi ve dağıtım olarak dört farklı hizmet gurubuna ayrılır. Afet alanına taşınacak hizmet guruplarını ve gerekli teknik ekipmanın lojistiğini sağlayan servis birimidir. Afet alanında çalışan hizmet guruplarının alt yapı sistemini sağlayan guruplardan biridir. Bunların yanı sıra yardım dağıtımı ve kaynakların yönetiminden de sorumludur. Özellikle bağışların tek bir sistem üzerinden koordine bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak oluşabilecek usulsüzlüklerin büyük ölçüde önüne geçer.

Bilgi ve planlama servisine bağlı; bilgi yönetimi, değerlendirme ve hizmet gurubu yer almaktadır. Bu hizmet gurubu afet alanında çalışmalarını sürdüren diğer hizmet guruplarının çalışmalarını izleyerek bilgi yönetimi konusunda planlamayı sağlar.

Son olarak finans ve idari işler servisine bağlı; satın alma ve kiralama, muhasebe, bütçe ve mali raporlama ve zarar tespit alanlarında çalışan üç hizmet gurubu bulunmaktadır. Bu hizmet gurupları afet sonrasında yürütülen çalışmalara kaynak oluşturma ve raporlama görevlerini yerine getirir.

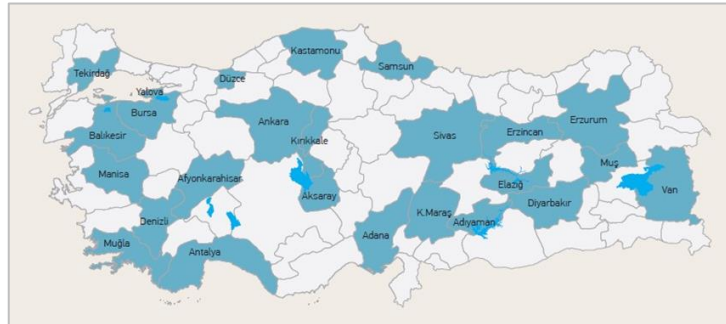
1.1.1.1. Barınma Hizmet Grubu

Bu tezde incelenecek afet sonrası barınma ve konut çalışmaları kapsamında AFAD'ın oluşturduğu hizmet guruplarından barınma hizmet gurubunun çalışmaları ve faaliyetleri **Tablo 1. 1**'de gösterildiği gibidir. Acil müdahalede, koordine çalışma ve hızlı çözüm gerektiren hususlarda destekleyici birimler ile bağlantı kurup çözüme kavuşturan bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin esas amacı mümkün olan en kısa sürede afet bölgesindeki afetzedelerin barınma vb. ihtiyaçlarını karşılamaktır.

Tablo 1. 1 TAMP Barınma Hizmet Grubu (AFAD, Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP), 2013).

| TAMP Operasyon Servisi | | | |
|-------------------------------|--|--|---|
| Hizmet Grubu | Görev ve Sorumluluklar | Ana Çözüm Ortağı | Destek Çözüm Ortakları |
| BARINMA HİZMET GRUBU | <ul style="list-style-type: none"> • Kamu kurum ve kuruluşlarının sosyal tesislerinin kapasitesini belirlemek. • Acil barınma alanlarının standartlarını belirlemek. • Geçici barınma ve bakım ünitelerinin alt yapısının kurulmasını sağlamak. • Afetzedelerin acil barınma ve geçici barınma veya konut hizmetlerine ilişkin faaliyetleri gerçekleştirmek. • Afetzedelerin acil barınma, temizlik, sağlık ve sosyal ihtiyaçları için gerekli tesislerin ve yapıların hazırlanmasını sağlamak. • Çadır kent, konteyner kent vb. barınma merkezlerini koordineli bir şekilde yönetmek ve kayıtlarını tutmak. | <p>AFAD</p> <p>Afetzedelerin acil barınma ve geçici barınma veya konut hizmetlerine yönelik çalışmaların yönetiminden sorumludur.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Genelkurmay Başkanlığı <p>Bakanlıklar</p> <ul style="list-style-type: none"> • İçişleri Bakanlığı • Çevre ve Şehircilik Bakanlığı • Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı • Gençlik ve Spor Bakanlığı • Millî Eğitim Bakanlığı <p>Kamu ve Özel Kuruluşlar</p> <ul style="list-style-type: none"> • KIZILAY • TOKİ • STK • Özel Sektör |

Afet sonrasında afet alanında aktif görev yapacak hizmet guruplarından olan barınma hizmet gurubu, afetzedelerin temel barınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çalışmaktadır. Bu hususta yapılması gereken görevlerin ve üstlenilen sorumlulukların yerine getirilmesi için AFAD koordinasyonluğunda çalışan çeşitli bakanlıklar ve kamu veya özel sektör kuruluşları bulunmaktadır. Afet sonrasında acil müdahale edecek barınma hizmet gurubuna kaynak sağlayan AFAD depolarının dağılımı **Şekil 1. 7**'de gösterildiği gibidir.

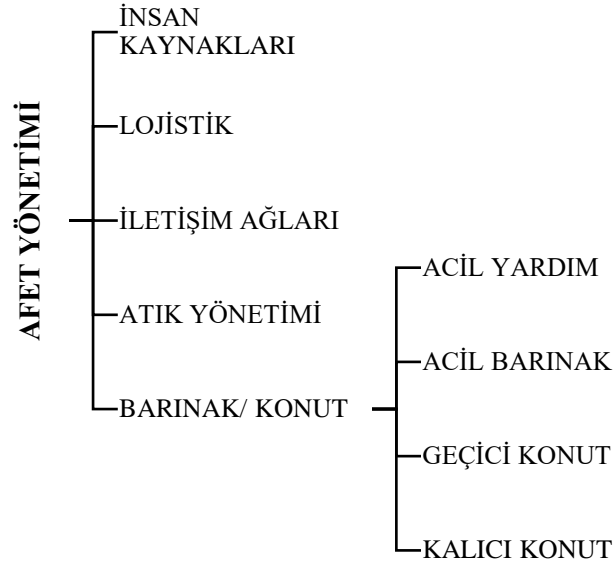


Şekil 1. 7 AFAD Lojistik depoların Türkiye'deki dağılımı (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018).

Bu depolar, afet sonrası oluşan geçici barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla çadır ve çadır içi malzemelerin bulunduğu ve bir afet esnasında en yakın bölgeye hizmet edecek depolardır.

1.2. AFET SONRASI BARINMA BİÇİMLERİ

Afet yönetiminde çeşitli alanlardan biri olan barınak/konut alanı diğer çalışmalarla eş yürütülen ve afet yönetiminde acil çözülmesi gereken konulardan biridir. Afet sonrasında çeşitli barınak çözümleri mevcuttur. Bunlar; acil müdahale, acil barınaklar, geçici konutlar ve kalıcı konutlar olarak dört kategoriye ayrılabilir (Şekil 1. 8), (Félix, Branco, & Feio, 2013).



Şekil 1. 8 Afet yönetimi alanları (Félix, Branco, & Feio, 2013).

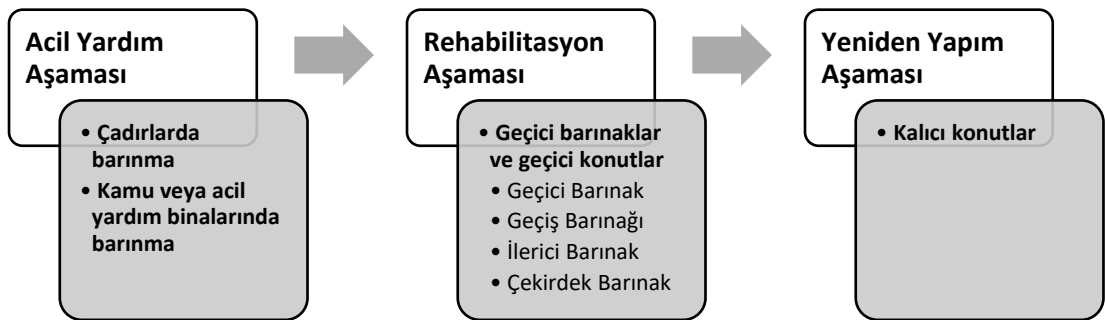
Acil durum barınağı, hayat kurtarıcı destek sağlamak için tek bir gece ile birkaç gün arasında kullanılmak üzere tasarlanan ve en temel barınak türüdür (IFRC & RCS, 2013). Bir felaketin ardından birkaç haftaya kadar ya da daha uzun süre kullanılan geçici barınaklar, basit bir çadır veya halka açık barınak türleridir. Öte yandan, afetten etkilenmeyen mevcut kiralık evler ve prefabrik birimler gibi geçici konutlar genellikle altı ay ila üç yıl gibi uzun vadeli bir süre için kullanılır (Félix, Branco, & Feio, 2013). Geçici konut, hem afet sonrası yeniden inşa sürecinin bir parçası olarak hem de yeniden inşa çalışmaları sırasında aileler tarafından geçici

olarak kullanılan fiziksel bir yapı türü olarak tanımlanabilir (Johnson, Lizarralde, & Davidson, 2006). Bireyler, önceki daimî ikametgahlarına geri dönmeden önce, geçici barınakları kalıcı evlere yükseltmek veya yeni evler inşa etmek arasında hareket etme eğilimindedir. Bu aşama birkaç yıl süren kalıcı konut aşamasıdır.



Şekil 1. 9 Afet sonrası konut ihtiyaçlarının zaman sıralaması (Perrucci & Baroud, 2020).

Şekil 1. 9’da konutların sağlanması gereken zaman dilimlerinin göstergesinde, afet sonrası gereken konut kategorilerinin muhtemel yapım süresinden de ayrıştırıldığı görülmektedir. Zaman kavramının afet sonrası konutlandırmada önemli olması, konut tiplerinin çeşitlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Afet sonrasındaki müdahalelerin aşamalarında da zamanın önemli etkisi vardır. Bir süreç olan afet sonrası müdahalede önemli olan, afetzedelerin en kısa sürede normal yaşantılarına dönmeleridir. Afet sonrasında, iyileştirilmiş bir konut standardıyla aşamalı ve organik şekilde bu sürecin yönetilmesi gerekir. Şekil 1. 10’da gösterilen şemada, afet sonrası müdahale aşamalarına konut süreci eklenerek sınıflandırma, afet sonrası müdahale üzerinden ele alınmıştır (Özge, 2019).



Şekil 1. 10 Afet sonrası müdahale aşamaları (Sey & Tapan, 1987; Özge, 2019).

Afet sonrası konutların uygulama aşamaları; acil yardım aşaması, rehabilitasyon aşaması ve yeniden yapım aşaması şeklinde sınıflandırılabilir.

1.2.1. Acil Yardım Aşamasında Barınma Biçimleri

Acil yardım aşamasında başlıca hedefler; hasarın azaltılması, arama kurtarma çalışmalarının yürütülmesi ve acil ihtiyaçların karşılanmasıdır. Yaşanan afetin sonlanması ile başlatılan acil yardım aşamasının süreci birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişebilir (Sey & Tapan, 1987). Acil yardım aşamasında, afetzedelerin barınması için iki alternatiften bahsedilebilir. Bu biçimlerin birincisi; afetzedelerin, çok kısa süre içerisinde kurulabilen çadır vb. yapılarda; diğer biçim ise afeti hasarsız atlattığı tespit edilmiş kamu binalarında veya afet sonrası için özel olarak tasarlanıp üretilmiş binalarda geçici olarak barınmasıdır (Özge, 2019).

Acil yardım esnasında barınma uygulamalarının amacı; acil barınma birimleri ve yapıları ile birçok hayati fonksiyonun devam etmesini gerçekleştirilmesini sağlamaktır ve faydası sadece birkaç gün sürebilecek fonksiyonlara sahiptir (Tablo 1. 2).

Tablo 1. 2 Acil barınma yerlerinin fonksiyonları (Özge, 2019).

| <i>Acil barınma alanlarının fonksiyonları;</i> | |
|--|--|
| 1 | Soğuk, sıcak, rüzgâr ve yağmur gibi olumsuz iklim şartlarına karşı afetzedeleri koruma |
| 2 | Afetzedelerin güvenlik ve mahremiyet gibi ihtiyaçlarına cevap verilmesi |
| 3 | Afetzedelere; tıbbi yardım, yiyecek sağlanması gibi faaliyetlerin yerine getirilmesi |
| 4 | Hasar korkusuyla geçici olarak tahliye edilmiş afetzedeleri ağırlama |
| 5 | Mülkiyetin korunması ve kurtarılan eşyaların depolanması |

Acil yardım aşamasında, afet sonrasında fiziksel ve psikolojik olarak travma görmüş afetzedelerin bir an önce barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmek için hızlı ve kolay ulaşılabilen ve kurulan barınma biçimleri kullanılmalıdır. Barınakların teslim zamanlaması hayati önem taşır. Bu sürecin uzamasında veya barınakların geç teslim edildiği durumlarda, rehabilitasyon ve yeniden yapım aşamalarının başlaması aksayabilir. Acil yardım barınakları için gerekli uygulama ve tasarım ölçütleri **Tablo 1. 3**'te gösterilmiştir.

Tablo 1. 3 Acil yardım barınakları için uygulama ve tasarım ölçütleri (Özge, 2019).

| <i>Acil yardım barınakları için uygulama ve tasarım ölçütleri;</i> | |
|--|--|
| 1 | Afet gerçekleştikten hemen sonra müdahale edilmesi ve aynı gün içinde acil durum barınaklarının teslim edilmesi gerekir. |
| 2 | Barınakların hızlı şekilde temin edilebilmesi ve afet bölgesine fazla sayıda ulaşması için kolay taşınabilen ve hafif malzemelerden üretilmiş olması. Taşıma hacmi açısından kompakt olması. |
| 3 | Afet bölgesinde kurulacak barınakların, kurulumlarının fazla iş gücü gerektirmeden hızlı ve basit olacak şekilde sağlanabilmesi. |
| 4 | Afet bölgesinde; barınakların dağıtımı, kurulumu, denetimi ve sökme işlemlerini yapacak yardım guruplarının bulunması. |
| 5 | Barınak malzemesinin olumsuz çevresel etkilere dayanıklı olması. |
| 6 | Barınakların söküm işlemlerinin kolay yapılabilmesi ve barınakların tekrar kullanılabilmesi. |

1.2.1.1. Çadırlarda Barınma

Acil yardım aşamasında barınma gereksiniminin karşılanmasında en pratik ve hızlı çözüm olarak çadırlar tercih edilmektedir. Çadırlar, genellikle yatma ve oturma işlevlerini aynı mekan içinde barındıran ve genellikle tek mekândan oluşan barınaklardır. Tesisat gibi çözümleri genellikle bulundurmayan çadırların, ortak tuvalet ve mutfak hacimleri gibi diğer gereksinimler için oluşturulan birimler ile birlikte kullanılmaları gerekir. Bu nedenle çok sayıda çadırın bir arada kurulduğu “çadır kentler” şeklinde kullanılırlar (Savaşır, 2008).

Türkiye’de acil yardım aşamasında genelde çadırlar kullanılır. Kurulumu kolay ve ekonomik olmaları nedeniyle geleneksel çadır tipleri kullanılmaktadır (**Şekil 1. 11**). Ancak çadırlar, uzun süreli kullanımlarda birçok soruna neden olmaktadır. Yalnızca geçici barınak ya da konutların yapımı tamamlanana kadar geçen süreçte insanların konut ihtiyacını karşılayabilen bu birimler, malzemelerinin yeterince dayanıklı olmaması sebebiyle uzun süreli kullanıma uygun değildir.



Şekil 1. 11 Türkiye’de acil durum aşamasında kullanılan geleneksel çadır tipi (TÜRK KIZILAY, 2019).

Türkiye’de kullanılan çadırların olumsuz yönlerinden bahsedilmiştir (Özge, 2019), (**Tablo 1. 4**). Çadır gibi hafif yapılı barınakların dezavantajlarından biri, çevresel koşullardan kolayca etkilenmeleridir. Taşıyıcıları ya da üzerlerindeki örtü, yağmur veya fırtına gibi dış etkenlere dayanıklı değildir. Zamanla yırtılarak kullanılamaz hale gelirler. Ayrıca çadırlarda mahremiyet kavramı ortadan kalkar ve afetzedelerin gerekli bütün sosyal ihtiyaçları karşılanamaz hale gelir.

Tablo 1. 4 Türkiye’de Afet Sonrası Acil Yardım Aşamasında Kullanılan Geleneksel Çadırların Olumsuz Yönleri (Özge, 2019).

| <i>Türkiye’de acil yardım aşamasında kullanılan geleneksel çadırların olumsuz özellikleri;</i> | |
|--|---|
| 1 | Farklı iklim koşullarına uyumlu olmaması |
| 2 | Birçok yaşamsal işlevin ortak alanlar içerisinde bulunması. |
| 3 | Aile büyüklüklerine göre genişletilebilecek fonksiyonlara sahip olmaması |
| 4 | Yeniden kullanım ve dönüşüme uygun olmayıp ekonomik ve çevresel dezavantaj sağlaması. |

Soğuk iklimlerde ısıtmada yetersiz kalan çadırların içinde soba yakılarak sağlanan geçici çözümler, yangın gibi daha riskli durumlara sebep olabilir. Afetzedelerin uzun süre bu yaşam şartlarında bırakılmaması gerekir (**Şekil 1. 12**).



Şekil 1. 12 Çadırlar ve çadır kentlerde yaşam şartları ve olumsuz özellikleri.

Acil Yardım Barınaklarına Dünyadan Çözümler

Acil yardım barınakları olarak kullanılan çadırların yukarıda anlatılan olumsuzluklarının çözümlenmesi üzerine; dünyadan çeşitli çalışmalar yapılmış ve yeni öneriler geliştirilmiştir. Bunlara verilecek örneklerden biri, 2013'te Abeer Seikaly tarafından geliştirilen “*Weaving A Home*” adlı kavramsal acil durum sığınağıdır. Katlanabilir kumaştan üretilen yapı kabuğu, çeşitli iklimlere uyum sağlarken, ısıtma, su tesisatı ve elektrik tesisatı gibi çözümler de sunmuştur (Şekil 1. 13), (Seikaly, 2013).



Şekil 1. 13 Seikaly'nin katlanabilir kumaştan üretilen yapı kabuğu önerisi (Seikaly, 2013).

Bu örnekte; yapı sistemi dalgalı şekilde monte edilmiş yüksek mukavemetli plastik borulardan oluşur ve kumaş membran gerilerek kinetik yapılı açılıp kapanan bir sistem ortaya çıkar (Şekil 1. 14). Yapının çeperindeki hücreler, kapılar veya sıcak havalarda hava sirkülasyonunu desteklemek için oluşturulacak pencereler için kullanılabilir. Soğuktan korumak içinse tüm bölümler kapalı tutulabilir. Yapının strüktürünü oluşturan içi boş plastik boru, elektrik ve su gibi hizmetlerin sağlanması için kanallar oluşturur. Seikaly, güneş ışınlarını elektriğe dönüştüren ve sisteme entegre bir pili şarj eden yapı tasarlamış ve sığınak için güç ihtiyacını sağlayacağını dile getirmiştir (Seikaly, 2013).



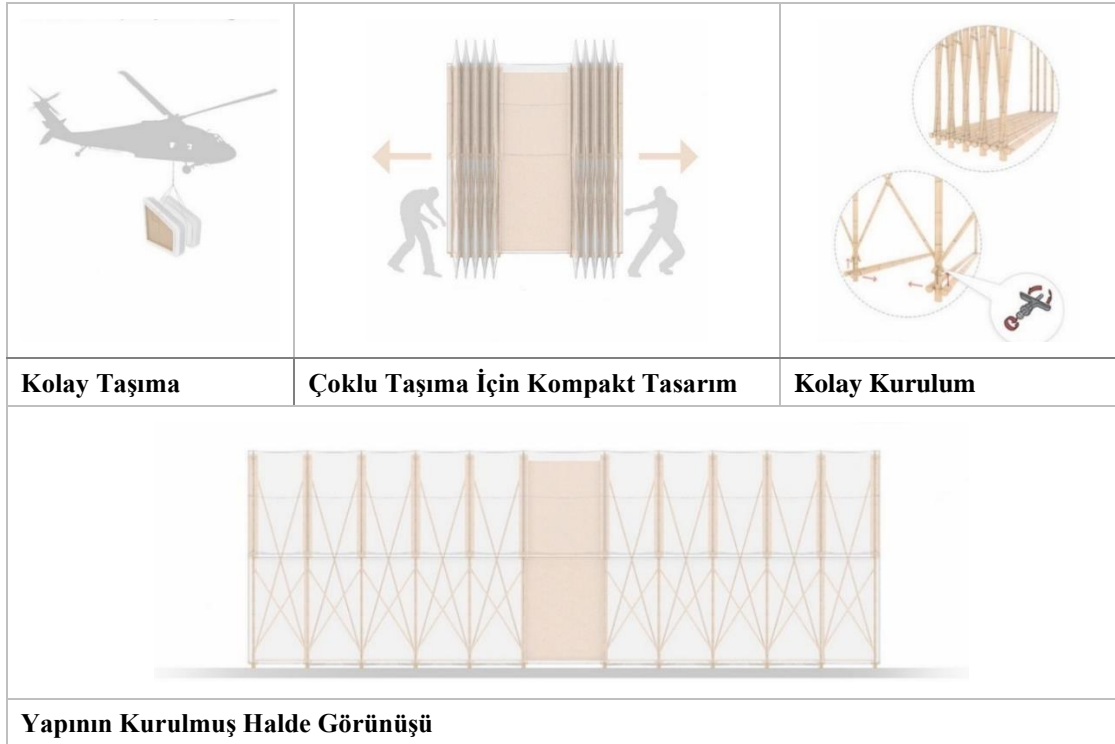
Şekil 1. 14 Seikaly'nin üretilen yapı kabuğu önerisi çalışmaları (Seikaly, 2013).

Acil yardım barınaklarına bir başka örnek ise Collella'nın 2015'te önerdiği Nepal depreminden sonra afetten etkilenen insanlar için tasarlanan barınak tasarımıdır (Colella, 2015), (Şekil 1. 15). Afetzedelerin yeniden organize olmalarına ve tanıdıkları yaşam biçimlerine geri dönmelerine yardımcı olmak için Barberio Colella ARC, "hızlı, hafif ve kompakt, dayanıklı ve ekonomik bir şekilde inşa edilebilecek bir ev yapmak için" yerel malzemeleri kullanarak geçici bir yapı tasarımı yapmıştır.



Şekil 1. 15 Barberio Colella ARC Nepal için tasarladığı acil yardım barınağı (Colella, 2015).

Çinli web sitesi Ikuku tarafından yürütülen bir yarışmanın parçası olarak tasarlanan “Sadece Bir Dakika” evi sadece altı malzemeden inşa edilecek şekilde tasarlanmıştır (Colella, 2015) . Bunlar: OSB panelleri, bambu, lamine bambu, beyaz jüt, geri dönüştürülmüş yün ve su geçirmez membrandır. Bu şekilde sınırlandırılmış malzeme kullanımı, tedariklerin daha kolay ve ekonomik olmasını sağlar. Barınağın kalifiye işgücü veya karmaşık teknolojiler olmadan inşa edilmesini sağlar (Colella, 2015). Şekil 1. 16’da gösterildiği gibi kolay taşınan, çoklu taşıma için kompakt tasarlanmış ve kolay kurulum özelliği olan bir tasarımdır.



Şekil 1. 16 Barberio Colella ARC’in Nepal için tasarladığı acil yardım barınağı (Colella, 2015).

1.2.1.2. Kamu veya Acil Yardım Binalarında Barınma

Afetten sonra ilk birkaç günde afetzedeler, varsa afeti hasar almadan atlatan sağlam kamu yapılarına; eğlence merkezleri, üniversite yurtları, ibadet yerleri, spor salonları, okullar, spor tesisleri, dinlenme tesisleri, lojmanlar vb. yerleştirilebilir (Özge, 2019). Bu yöntem; ilk aşamada binaların hasar tespitinin detaylı bir şekilde yapılması gerektiği için, Türkiye’de bu yöntem; depremlerden sonra seyrek yaşansa bile sel, çığ düşmesi ve fırtına gibi afetlerden sonra kullanabilmektedir. Bunların dışında afetin yaşandığı bölgede özel olarak afet sonrası kullanıma hazır şekilde inşa edilmiş “acil yardım binaları” bulunabilir (Özge, 2019). Bu durumlarda afetzedeler, bu afet sonrası binalara yerleştirilir. Yaygın olarak kullanılmamakla beraber bu yöntem, bir öneri olarak her zaman dikkate alınmalıdır.

Acil yardım aşamasında kamu yapılarında barınmanın dezavantajı, çok sayıda insanın genellikle geniş açıklıklı sağlam yapıların altında tek mekanda barınma sağlamaya çalışmasıdır. Bu durum hayati faaliyetleri yerinde getirirken mahremiyet ve güvenlik kaybı gibi durumlar oluşturur. Bu dezavantaja çözüm sunan uygulanmış örnekler mevcuttur.

Ban, 2013’te karton tüpler ve kâğıt gibi ekolojik açıdan çevreye duyarlı ve sağlam yapı malzemeleriyle tasarımlar ve uygulamalar yapmaktadır. Dikkat çekici yapıları genellikle geçici konutlar olarak tasarlanmıştır. Haiti, Ruanda veya Japonya gibi afetlerden etkilenen ülkelerdeki afetzedelere yardım etmek için tasarlanmıştır. Geçici olarak tasarlanan yapılar, amaçlanan amaçlarına hizmet ettikten çok sonra bile peyzajın sevilen bir parçası olarak kalırlar. **Şekil 1. 17**’de afet sonrasında afetzedelerin spor salonunda barınması ile alakalı bir örnek verilmiştir. Bu durumda mahremiyetin ortadan kalktığı ve afetzedelerin güvenli hissetmedikleri bir ortam oluştuğu ifade edilmiştir. Ban ve öğrencilerinin kâğıt tüplerle strüktürünü kurduğu ve kumaş seperatörler ile ayırdığı birimlerle afetzedelerin mahremiyet ihtiyacına çözüm üretilmiştir (Ban, 2013).



2011'de Japonya'daki deprem ve tsunamiden sonra spor salonunda barınan afetzedeler.



Spor salonunda barınan afetzedelerin mahremiyet ihtiyacını karşılayan ayırıcıların uygulanması.

Şekil 1. 17 Japonya'daki deprem ve tsunamiden sonra spor salonunda barınan afetzedeler 2011 (Ban, 2013).

Acil yardım aşamasından sonra geçen sürede; afetzedelerin yaşamlarının tekrardan afet öncesi döneme veya daha iyi bir koşula dönebilmesi için konut çalışmaları yapılır. Bu çalışmalar;

1. Geçici barınaklar veya konutların yapılması,
2. Kalıcı konutların yapılması şeklinde ikiye ayrılır.

Bunlardan birinin tek başına uygulanması en uygun çözüm olarak makul olmamaktadır. Bu sebeple, ilk aşamada geçici konutları yapmak ve daha sonraki süreçlerde bu konutları geliştirerek kalıcı konutlara dönüştürmek veya kalıcı konutları yeniden yapmak önerilmektedir (Songür, 2000).

1.2.2. İyileştirme (Rehabilitasyon) Aşamasında Barınma Biçimleri

İyileştirme yani rehabilitasyon aşamasında ihtiyaç duyulan barınma biçimi, afetten etkilenen ailelere birer barınak sağlanması şeklinde çözümlenmektedir (Limoncu & Bayülgen, 2005). Acil yardım barınaklarının kullanımından sonra kalıcı konutların yapımının tamamlanmasına kadar olan süreçte afetzedelerin barınma ihtiyaçları, geçici barınaklarla karşılanmaktadır. Geçici barınak kavramının farklı tanımları bulunmaktadır.

Quarantelli, 1995'te afet sonrası iyileştirme aşamasındaki barınma sürecini; "Bireyler, yaşanan olaylardan sonra afet öncesi yaşamlarına dönmeye çalışırken,

geçici barınaklar kurma, barınakları daimî konuta yükseltme veya yeni evler yapmak gibi farklı barınak kurulumları arasında hareket etme eğilimindedir.” şeklinde tanımlamaktadır (Quarantelli E. , 1995). Afet sonrası barınma biçimlerini ise; “geçici barınaklarda barınma” (Temporary Shelter) ve “geçici konutlarda barınma” (Temporary Housing) şeklinde ikiye ayırır (Quarantelli E. , 1995).

Barınma ve konut kavramlarına farklı yönlerden yaklaşan bu sınıflandırmada, “**barınak**” günlük faaliyetlerin askıya alındığı ve afetten hemen sonra barınacak bir mekânı ifade ederken, “**konut**” hane halkı sorumluluklarına ve günlük rutine geri dönülen bir mekânın tanımını ifade etmektedir (Félix, Branco, & Feio, 2013).

IFRC,’nin ve Quarantelli’nin bahsettiği geçici barınak ve geçici konut kavramlarını tekrar ele alıp daha fazla detaylandırmıştır. IFRC, rehabilitasyon aşamasında uygulanabilecek barınma biçimlerini; geçici barınak, geçiş barınağı, ilerici barınak ve çekirdek barınaklar olarak dört farklı yöntemde incelemiştir (IFRC & RCS, 2013; Quarantelli E. , 1991).

1.2.2.1. Geçici Barınak ve Geçici Konut Kavramları (Temporary Shelter/ Housing)

Geçici barınak ve geçici konut kavramları birbirinden ayrılmayan farklı tanımlara sahiptir. Genelde birbiri yerine de kullanılan bu kavramları Quarantelli’nin, 1995’te iki ayrı tanımla ayırmıştır (Quarantelli E. , 1995). Barınma ve konut kavramlarına farklı yönlerden yaklaşan bu sınıflandırmada, “**barınak**” günlük faaliyetlerin askıya alındığı ve afetten hemen sonra barınacak bir mekânı ifade ederken, “**konut**” hane halkı sorumluluklarına ve günlük rutine geri dönülen bir mekânın tanımını ifade etmektedir (Félix, Branco, & Feio, 2013).

Geçici yerleşim biçimlerinin ve terimlerinin tamamı genelde kavramsal olarak somut biçimde ayrıştırılmaksızın birbirinin yerine kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanım biçimi ise BM tarafından da desteklenen Quarantelli’nin, 1995’te önerdiği “*geçici barınak*” ve “*geçici konut*” sınıflandırmasının yapıldığı anlatımdır (Quarantelli E. , 1995).

Geçici barınaklar, bir afetten etkilenen afetzedeleri barındıran yapılar olarak tanımlanabilir. Acil yardım barınaklarının işlevsel olarak uzun süre yaşamaya

elverişli olmaması ve yeni kalıcı konutların yapımının henüz sağlanamadığı durumlarda geçici barınaklara ihtiyaç duyulur.

Geçici barınaklar, “insanların karşılaşılabileceği olağanüstü bir durum ortaya çıktığı zaman, barınma gereksinmesini karşılayan, uzun süre kullanmaya elverişli olmayan konutlar” olarak tanımlanır (Beyatlı, 2010). Afet sonrasında yaşanan fiziksel ve psikolojik travmalar sonucunda yardıma ihtiyaç duyan aynı zamanda konutları kullanılmaz durumda olan afetzedelere geçici barınma hizmetlerinin sağlanması gerekir. Afetten sonra birkaç hafta süresince yakınının sağlam olan evinde barınmak veya toplu barınak ve başka bir prefabrik muhafazada barınmak gibi durumlar geçici bir sığınak durumu oluşturur (Quarantelli E. , 1991). Bu barınaklar genellikle afet bölgesine yakın belirlenen bir yerde toplu olarak kurulmaktadır. Bunun sebepleri arasında, konut yıkıntılarının temizlenmesi ve gerekli altyapının sağlanabilmesi gibi etkenler vardır (Limoncu, 2004). Aşağıda gösterilen tabloda, (Acerer, 1999)’da bahsettiği geçici barınakların sahip olması gereken fonksiyonlar ve özellikler verilmiştir (**Tablo 1. 5**).

Tablo 1. 5 Geçici barınakların tasarım ve üretiminde belirli koşullar (Acerer, 1999).

| <i>Geçici Barınakların Üretim Kriterleri;</i> | |
|---|---|
| 1 | Kurulumu pratik olmalı ve kullanıldıktan sonra sökülmesi kolay olmalıdır. |
| 2 | İklim farklılıklarına ve çevre koşullarına uyum sağlamalıdır. |
| 3 | Arazi farklılıklarına adapte olabilmeli ve uyum sağlayabilmelidir. |
| 4 | Hafif olmalı ve paketleme, taşıma, depolama kolaylıkları olmalıdır. |
| 5 | Sağlam yapıda ve fiziksel dayanıklılığa sahip olmalıdır. |
| 6 | Yangına karşı dayanımı olmalıdır. |
| 7 | Çevresel faktörlere karşı güvenli olmalıdır. |
| 8 | Uzun ömürlü kullanılabilirliktedir. |
| 9 | Yaşam için gerekli günlük gereksinimleri sağlayabilmelidir. |

IFRC’ye göre; geçici barınaklarda barınma süresi sınırlı olmalıdır. Bu sebeple geçici türde barınaklar üretilirken, hızlı üretime ve maliyet sınırlarına dikkat edilmesi gerekmektedir (IFRC & RCS, 2013). Geçici barınak ihtiyaçları genel olarak, daha

yüksek yaşam şartları sağlayan geçici konutlar veya yeni kalıcı konutların tamamlanmasından sonra sonlanmaktadır. İnsanların evlerinin zarar gördüğü veya yıkıldığı afet sonrasında, kalıcı bir konut üretimi yapılana kadar alternatif bir konut aranmaktadır. Bu dönemde, afetzedelerin yaşaması için geçici konutlar sağlanmaktadır.

Geçici konutlar; rehabilitasyon aşamasının uzadığı durumlarda, yeniden yapılanma sürecine başlayana kadar, afetzedelerin günlük faaliyetlerinin devam edebilmesi adına tasarlanan barınaklardır. Geçici konut, afet sonrasındaki barınma seçeneklerinden biridir. Uluslararası örgütler, yardım kuruluşları veya araştırmacılar tarafından farklı tanımları bulunmakta ve çeşitli biçimlerde olduğu ifade edilmektedir (**Tablo 1. 6**). Geçici konut kavramı; acil müdahale evresinden sonra rehabilitasyon aşamasında, geçici barınmadan sonra kalıcı yapılanmanın başlamasına kadar geçen süreçte, afetzedelerin daha iyi yaşam koşullarında barındırılması için önerilen, geçiş barınakları, ilerici barınaklar, çekirdek/ tek oda barınaklar, yarı geçici-kalıcı konutlar vb. birçok barınak kavramının yerine kullanılır.

Tablo 1. 6 Geçici konutların tanımları.

| <i>Geçici konutların tanımları;</i> | |
|-------------------------------------|---|
| 1 | “Geçici konut, afet sonrası barınma koşullarının sekiz temel türünden biridir” (UNDRO, 1982) |
| 2 | “Afet sonrası yeniden yerleştirme programının bir parçasıdır” (Johnson, 2007). |
| 3 | “İnsanların bir felaketten sonra içinde bulunduğu fiziksel yapıyı ifade eden bir nesnedir.” (Johnson, 2007). |
| 4 | “Afetin gerçekleştiği süre zarfında insanlara barınma işlevini yerine getiren, yaşayacakları kalıcı bir yere yerleştirilene kadar hizmet veren bir yerdir” (Johnson, 2007). |
| 5 | “Geçici konutlar afet olduktan sonra kısa süre içinde yapılan, acil yardım barınağı ve geçici barınmaya göre daha iyi yaşam imkânı sunan hafif ve düşük konfora sahip yapılarıdır” (Dikmen, 2005; Savaşır, 2008). |

Geçici konutlara ihtiyaç duyulan durumlardan ise literatürde aşağıdaki şekilde bahsedilmiştir (**Tablo 1. 7**), (Özge, 2019).

Tablo 1. 7 Geçici konutlara ihtiyaç duyulan durumlar.

| Geçici Konutlara İhtiyaç Duyulan Durumlar; | |
|---|---|
| 1 | Yardım kuruluşlarının bağışçılara; bir şeylerin yapıldığını göstermek istediği zamanlarda (Davis, 1978). |
| 2 | İnsanların afet bölgesinden göç etmesinin önlenmesi gerektiğinde (UNDRO, 1982). |
| 3 | Kalıcı konutlar inşa etmek için yeterli kaynaklar bulunmadığında (UNDRO, 1982). |
| 4 | Barınakların hasarları oldukça yaygın olduğunda ve ara barınma olanaklarının mümkün olmadığı zamanlarda (Quarantelli E. , 1995) |

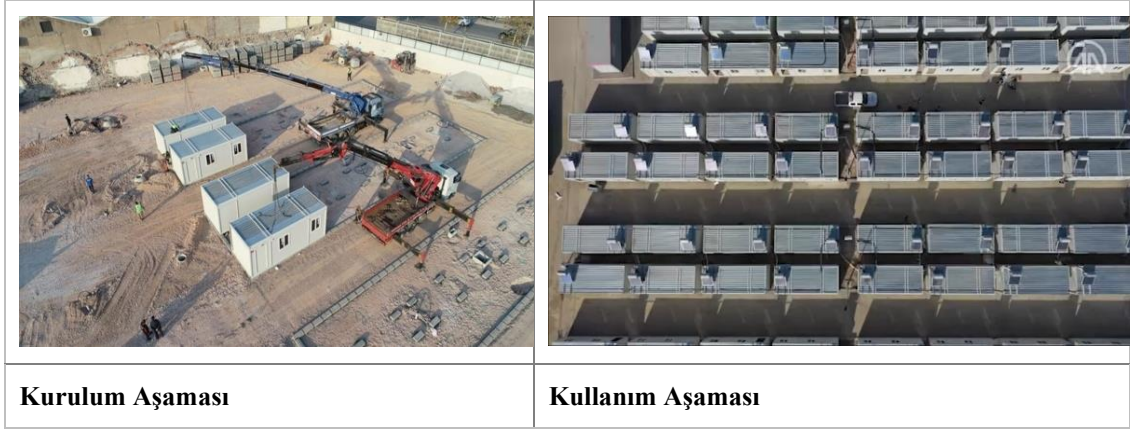
Geçici konut, (Davis, 1978)'in afet sonrası yapılarla alakalı tanımlamış olduğu üç tanımdan ikincisidir. Bu tanım; "*boşluğu doldurma*" olarak adlandırılırken, "*hayatta kalma*" ve "*hızlandırılmış yeniden yapılanma*" tanımları arasında konumlanmakta ve normal konutlar hasar gördüğünde veya tahrip edildiğinde ihtiyaç duyulmaktadır. Bu boşluk; geçici barınak sağlayarak veya bu süre yeterince uzunsa, geçici konut sağlayarak doldurulmaktadır.

Genellikle; kiralık evlerden veya prefabrik, konteyner vb. ünitelerden oluşan geçici konutlar, afetzedelerin normal günlük aktivitelerine, yani iş, okul, yemek pişirme, alışveriş gibi normal yaşam faaliyetlerine dönmelerini sağlamaktadır. Çoğu durumda; geçici konutlar, geçici arazilerde konumlandırılmaktadır.

Çoğunlukla afetlerin ardından büyük yıkımlar yaşayan ülkelerin, ekonomik bakımdan az gelişmiş ve dolayısıyla da inşaat teknolojilerinde geri kalmış ülkeler olduğu kabul edildiğinde, özellikle bir afetten sonra kısa bir süre içerisinde etkilenen nüfusa çok sayıda kalıcı konut üretmek yıllarca sürebildiği varsayılır. Bu nedenle geçici konutlar, uzun sürelerde kullanılacak şekilde tasarlanmalıdır (Özge, 2019).

Konteyner:

Afet sonrasında hızlı ve pratik bir barınak çözümü olarak kullanılmaktadır. Bu terim genellikle, halihazırda Türkiye'de de sıkça kullanılan konteyner evler gibi daha sonra kullanılmayacak veya dönüştürülemeyecek yapılar için kullanılmaktadır. En güncel örnek olarak 30 Ekim 2020'de yaşanan İzmir depremi sonrası yapılan 493 adet konteyner barınağın bulunduğu konteyner kent verilebilir (**Şekil 1. 18**).



Şekil 1. 18 2020 İzmir depremi sonrasında kurulan konteyner kent (Güngör, 2020).

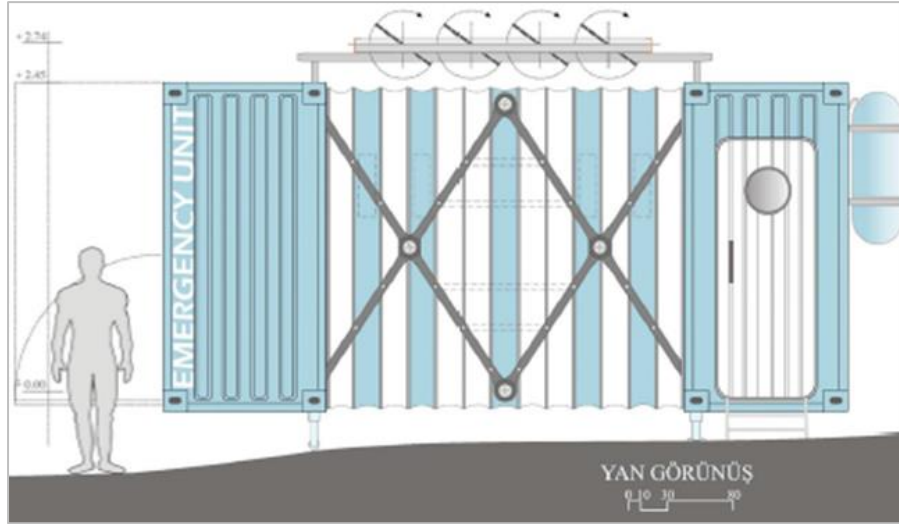
Yukarıda gösterilen örnek, evleri deprem esnasında veya hasar tespiti yapıldıktan sonra yıkılan afetzedelerin kalıcı konutlarına yerleştirilmeden önce geçici bir süreç içinde yaşamlarını sürdürecekleri konteyner yapılarıdır. Bu geçici barınaklar, su tesisatı bulundurmakta ve belirlenmiş bir alanda toplu halde konumlanmaktadır.

Konteyner konusunda Beyatlı, 2010'da çalışma yapmıştır. Çadırların dayanıksız olması ve konteynerlerin taşıma zorluklarından bahsetmiş (**Tablo 1. 8**) ve bunun üzerine yeni bir konteyner tasarımı önermiştir (Beyatlı, 2010).

Tablo 1. 8 Çadır- Konteyner karşılaştırması (Beyatlı, 2010)

| Sürtüktür | Avantaj | Dezavantaj |
|----------------------|---|---|
| Çadır | Hızlı biçimde kurulur ve taşınabilir. | Çadır bezi dış etkenlere dayanıklı değildir. Büyük çadırlarda havalandırma sorunu bulunur. |
| Yük Konteyner | Hızlı biçimde kurulur ve taşınabilir. Dayanıklısıdır. Güvenlidir. | Pahalı, taşınması zor ve bir yük tır üstünde sadece bir adet taşınabilmektedir. Isıya duyarlıdır. Yemek ünitesi olarak kullanılamaz (küçüktür). |

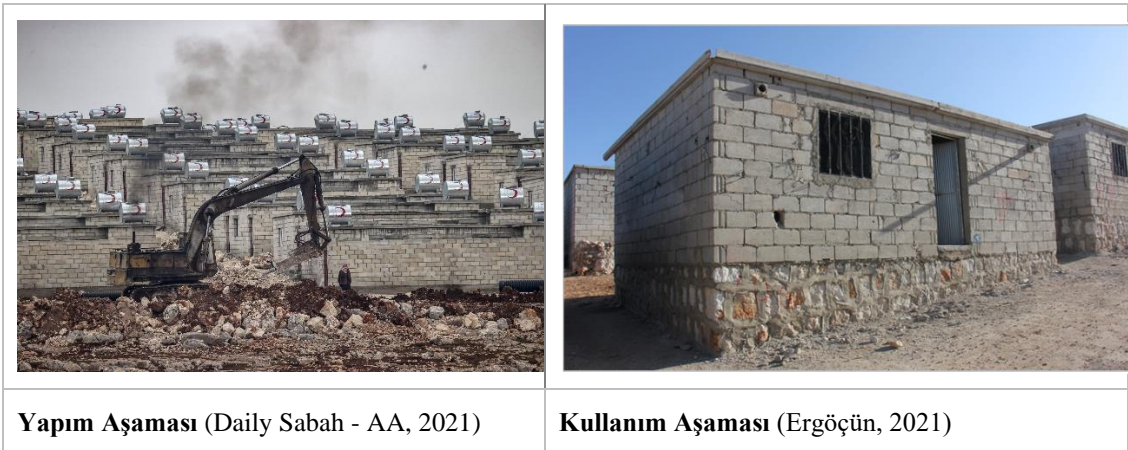
Bu öneri, konteynerleri dönüştürerek daha kompakt bir hale getirmiş ve konteynerlerin dezavantajlarından biri olan taşıma zorluklarının çözümü olduğu ifade edilmiştir (Beyatlı, 2010). Atık konteynerler kullanılarak oluşturulmuş katlanabilir model önerisi **Şekil 1. 19**'da gösterilmiştir.



Şekil 1. 19 Beyatlı'nın 2010'da önerdiği konteyner modeli (Beyatlı, 2010).

Briket Barınaklar:

Afet sonrasında kullanımından çok yerinden edilmiş nüfus için yapılmış geçici barınak örnekleri daha fazladır. Bu barınaklar genellikle, Türkiye tarafından sıkça kullanılan ve belirli savaş ve mülteci bölgelerinde kullanılan tipte barınaklardır. Bu barınakların kullanımına en güncel örnek ise 2021'de İdlib'de AFAD tarafından yapılan briket barınaklardır (Şekil 1. 20), (Ergöçün, 2021).



Şekil 1. 20 İdlib'de AFAD tarafından yapılan briket barınaklar.

Geçiş Barınakları (Transitional Shelters):

Farklı yaklaşımları kapsayan bu terim; ilk olarak 9,3 şiddetinde gerçekleşen 2004 Hint Okyanusu depremi ve tsunamisinden sonra (Şekil 1. 21), insani yardım

kuruluşları tarafından çözümledikleri afet sonrası acil durum barınakları ve yeniden inşa projelerinde yaptıkları yöntemleri tanımlamak için kullanılmıştır.



Şekil 1. 21 2004 Hint Okyanusu depremi ve tsunamisi.

Kalıcı yapılara dönüştürülebilen, tekrar kullanılabilen malzemelerle üretilen ve geçici barınma alanından kalıcı konut alanlarına taşınabilecek malzemelerden yapılmış barınaklardır. Bu barınakların yapımı ve temini kolaydır. Afetten etkilenen nüfusun, ilerleyen süreçte daha sağlam barınaklara geçişlerini kolaylaştıracak biçimde tasarlanmıştır. Geçiş barınakları, afet sonrası sığınaklarda genelde katılımcı yaklaşımla oluşturulur. Yani afetten etkilenen nüfus tarafından üretilir ve insanların yapı üretimindeki becerilerinin desteklenmesi sağlanır.

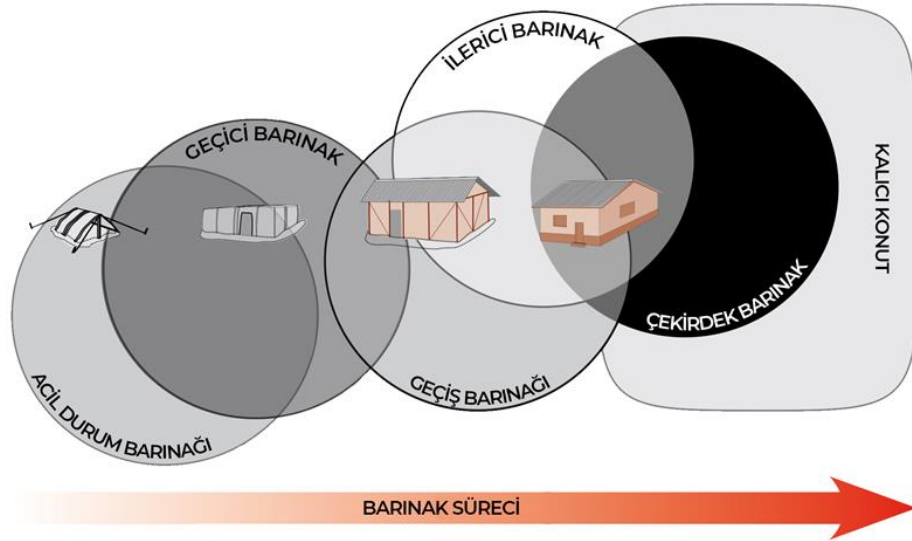
Yerinden edilmiş nüfus genellikle bir afet sonrasında geçiş barınağı geliştirir. Bu türde beceriler ve yerel yönetimler desteklenmelidir. IFRC, geçiş barınaklarının, değiştirilebilir yapısal bileşenler aracılığıyla gelecekte daha kalıcı ve yükseltilebilir olacak şekilde tasarlandığını ve inşa edildiğini belirtmektedir (IFRC & RCS, 2013). Aylarca veya yıllarca hizmet vermesinin beklendiğine dikkat çekilmiştir. Geçiş barınağı genellikle geçici bir bölgeden kalıcı bir yere taşınır, kalıcı bir evin bir parçası haline getirilir, iyileşmeye yardımcı olmak için gelir elde etmek için yeniden satılır, yeniden yapılanma için geri dönüştürülür ve başka amaçlar için yeniden kullanılır (IFRC & RCS, 2013). Şekil 1. 22’de dünyadan geçiş barınakları örnekleri gösterilmiştir. Bunlar, yerel yöntemlerle yapılan veya yardım kuruluşları tarafından geliştirilen yöntemlerle yapılan yapı sistemleridir.

| Bambu Çerçeve | Ahşap Çerçeve | Çelik Çerçeve |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Endonezya/ Kuzey Jawa | Endonezya/ Sumatra, Padang | Haiti (2010) |

Şekil 1. 22 Dünyadan geçiş barınakları örnekleri (IFRC & RCS, 2013).

İlerici Barınaklar (Progressive shelters):

Afet sonrasındaki süreçte kolay ve hızlı temin edilen bu barınaklar, afet öncesindeki aşamada yani hazırlık aşamasında tasarlanır. Bu barınaklar, ileriki aşamada daha kalıcı bir yapıya dönüştürmek üzerine planlanmış ve tasarlanmıştır. Yapılacak dönüşümler ve tasarım değişiklikleri, ilerici barınak ünitesinin yapısal temeline entegre edilmesiyle sağlanır (Post-disaster shelter: Ten designs, 2013).



Şekil 1. 23 Kullanımda olan bazı farklı sığınak terminolojileri arasındaki örtüşmelerin gösterimi. (IFRC, 2013; Brogden & Kennedy, 2021).

Şekil 1. 23'te, afet sonrası barınak kavramlarının örtüşme durumları ve terminolojilerin bağlantılarının gösterimi verilmiştir. Yeni yapılacak tasarımlar, bu sınırları belirsiz terminolojiye eklenirken, birden fazla birçok kategoriye girebilir. Terminolojiyi kabul etmede önemli olan bağlamdır (IFRC, 2013).

Çekirdek Barınaklar ve Tek Oda Barınaklar (Core shelters & One Room Shelters):

Çekirdek barınaklar; bazı kaynaklarda yarı geçici barınaklar (semi-permanent shelters) olarak da adlandırılırlar. Afetten sonraki süreçte geçici barınak olarak kullanılan bu barınaklar, afet öncesi hazırlık aşamasında tasarlanmıştır. (IFRC & RCS, 2013). Çekirdek sığınaklar (tek odalı sığınak); sıhhi tesisat ve çeşitli kamu hizmetleri gibi temel hizmetlerin tümü veya bir kısmı dahil olmak üzere temel birtakım özellikler barındırır (Corsellis, 2012). Bu sığınaklar, kalıcı konut standartlarını karşılamak ve iyileştirmeyi kolaylaştırmak için en az bir veya iki oda inşa etmeyi amaçlamaktadır. Ancak, bu sığınakların tam kalıcı bir ev olması amaçlanmamıştır. Bu tür barınaklar, bir vakıf ve sıhhi tesisat ve çeşitli kamu hizmetleri gibi temel hizmetlerin tümü veya bir kısmı dahil olmak üzere gelecekte kalıcı konut olma niyetiyle tasarlanmış ve inşa edilmiştir (Şekil 1. 24), (IFRC & RCS, 2013).

| | | |
|---|---|---|
| Betonarme taşıyıcı ve metal çatı örtüsü. Tuğla ve bambu hasır duvarlar. | Betonarme takviyesiz kagir dış duvarlar, ahşap kirişler üzerinde metal çatı kaplama. | Betonarme takviyesiz tuğla dış duvarlar, çelik karkas sistem ile desteklenen kiremit çatı. |
|  |  |  |
| Bangladeş (2007) | Sri Lanka (2007) | Pakistan (2010) |

Şekil 1. 24 Çekirdek ve tek oda barınak örnekleri (Post-disaster shelter: Ten designs, 2013).

Sonuç olarak, kalıcı konut, bir geçiş barınağından veya bir çekirdek sığınma evinden yükseltilebilir. Hatta yeniden inşa edilmiş bir ev olabilir (Félix, Branco, & Feio, 2013).

1.2.3. Yeniden Yapım Aşamasında Barınma Biçimleri

Afetten sonra yeniden yapım aşaması; afetten etkilenen bir yerin gelecekte benzer olaylarla karşılaşmaları esnasında hazırlıklı olmak ve aynı şekilde olumsuz sonuçların oluşmasını önlemektir (Ergünay, 1995). Bu aşama, çoğu araştırmacı tarafından; “*toplumun afetten önceki düzeyden daha iyi bir düzeye çıkarılması için fırsat*” olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple kalıcı konutların öncekinden daha iyi düzeyde ve sağlam yapılması gerekir.

1.2.3.1. Kalıcı Konutlar

Afet sonrası aşamalardan yeniden yapım aşamasında üretilen kalıcı konutlar, afetzedelerin afetten sonra kalıcı olarak barınacakları ve yaşamlarını sürdürecekleri konutları ifade eder (Savaşır, 2008). Kalıcı konutlar, afet bölgesindeki afetzedelerin normal yaşamlarına dönme sürecinde yaşamsal tüm ihtiyaçlarını karşılayabilen konut tipleridir (Baradan, 2002). Kalıcı konutlar; geçici barınaklardan, ilerici barınaklardan, çekirdek barınaklardan veya geçici konutlardan dönüştürülebilmektedir (IFRC, 2013). Kalıcı konutların yapı konforları ve konut yaşı, geçici barınaklar, konutlar veya acil durum barınaklarına göre daha yüksektir. Kalıcı konutların yapım amaçları, sadece barınmak için kullanılan bir yer olmaktan çok kullanıcıların konuttan tüm ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılamaktır.

İtalya’da 2009 depremi sonrasında yapılan bir kalıcı konut örnek gösterilebilir. 2013 yılında yapımı tamamlanan konut, Mimar Pierluigi Bonomo tarafından yapılmıştır. Hasarlı yığma yapının yerine CLT (Cross Laminated Timber/Çapraz Lamine Ahşap) kullanılmıştır. Kalıntıların içine bir kutu inşa etme fikri ile tasarlanan yapı, CLT’ye ek olarak; sahada bulunan ahşap, alçı, ağaç lifi, geri kazanılmış çelik ve taşlardan yararlanarak yapılmıştır. “Passivhaus (pasif ev)” ilkeleri ile binanın karbon ayak izini en aza indirme amacı ile üretim yapılmıştır. Konut tamamen şebekeden bağımsız çalışacak şekilde tasarlanmasa da enerji gereksinimleri ve karbon ayak izi minimum düzeyde olduğu ifade edilmiştir (**Şekil 1.25**), (Grozdanic, 2013).



Şekil 1. 25 2009 Depremi sonrası İtalya’da yapılan deprem sonrası kalıcı konut örneği (Grozdanic, 2013).

Afet sonrasında kalıcı konut uygulamaları problemlerini, mevcut konut üretimi problemlerinden ayıran önemli özelliklerden biri; afet sonrası barınma ihtiyacının karşılanması ve geçici birimlerden normal hayata geçilmesi adına konutların normal yapım sürelerine oranla daha kısa sürede tamamlanması gerektiğidir. Bu sebeple, kalıcı konutların tasarımını ve konutların inşa edileceği yerleşimleri planlamak, çok fazla veriyi dikkate alacak bir hazırlık ve tasarım dönemi gerektirmektedir.

Düşünülmeden ve üzerinde çalışılmadan yapılan aceleci programlar, problemleri çözmeyip ileri aşamalara bırakılmasına neden olur. Bu durum, yapım standartları düşük kalitede konutların üretilmesine sebep olur (Tüzün, 2002). Bu durumun engellenmesi için; ülkelerin geçerli yapı endüstri ve yapım tekniklerinin bu üretimi gerçekleştirebilmesi, üretim alanının yaygınlaştırması ve ulaşım olanaklarını sağlanmış olması gerekmektedir (Sey & Tapan, 1987).

Kalıcı konutların üretiminde amaç; yalnızca temel barınmayı karşılamak değil, afetzedeleri ve kullanıcıları memnun edici bir seviyede karşılayabilen konutların sağlanmasıdır. Aynı zamanda çok sayıda, kısa bir süre içerisinde ve ekonomik olmaları gerekmektedir (Tüzün, 2002). Kalıcı konutların aynı zamanda gelecekte gerçekleşebilecek tehlikelere ve afetlere karşı dirençli ve dayanıklı olmaları gerekmektedir. Kalıcı konutların tasarım ve inşaat sürecinde dikkat edilmesi gereken unsurlar **Tablo 1. 9**’da sıralanmıştır (Sey & Tapan, 1987).

Tablo 1. 9 Kalıcı Konut Uygulamalarının Tasarım ve İnşaat Sürecinde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar (Sey & Tapan, 1987).

| <i>Kalıcı Konutların Tasarımı ve İnşaat Sürecinde Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar</i> | |
|---|--|
| 1 | Afet öncesi süreçte özellikle afet riski taşıyan bölgelerde, afetten önce de hazırlıklı olunmalı ve afetlere uygun planlama yapılmalıdır. |
| 2 | Konutların tasarlanması ve yapımları süresince bölgenin yerel özellikleri, çevre koşulları ve afetzedelerin yaşam biçimleri göz önünde bulundurulmalıdır. |
| 3 | Konut üretimi aşamasında, kullanıcıların katılımı teşvik edilmeli ve toplumsal bütünlük desteklenmelidir. |
| 4 | Konutların üretiminde; geleneksel yapım sistemleri yerine, hızlı ve endüstrileşmiş yapım sistemleri tercih edilmeli ve yerel kaynakların kullanımı teşvik edilmelidir. |
| 5 | Afet öncesinde ve sonrasında halkın toplumsal bilinçlendirilmesine önem verilmelidir. |
| 6 | Konutların üretilmesinde insan yaşantısında gereken tüm sosyal ve toplumsal ihtiyaçlara cevap verebilen bir çevre oluşturulmalıdır. |

TOKİ (Afet Konutları Projesi)

Türkiye’de, afetlerden zarar gören bölgelere toplu konut sağlama, altyapı ve kamu hizmetleri inşa etme ve yenileme gibi gerekliliklerde TOKİ’nin çalışmaları bulunmaktadır. Afet yönetimi, yeniden konut üretimi ve yapılandırma alanlarındaki faaliyetlerini 1992’de Erzincan depremi ile başlatmıştır (**Şekil 1. 26**). TOKİ, bugün de güncel çalışmalarını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile iş birliği ile yürüterek afetlerden etkilenen bölgelerde sürdürmektedir (TOKİ Afet Konutları, 2021).



Şekil 1. 26 1992 Erzincan depremi (Erzincan Depremi Galerisi 1992, 2021).

TOKİ’nin yaptığı afet sonrası kalıcı konut örneklerine en güncel örnek; 2020’de yaşanan Elazığ depremi (**Şekil 1. 27**) sonrasında TOKİ’nin uyguladığı; yıkılan veya hasar tespiti yapılan binaların yıkılmasının ardından yerinde veya uydu kent olarak inşa edilen toplu konutlar verilebilir (**Şekil 1. 28**).



Şekil 1. 27 2020 Elazığ depremi sonrası yıkılan yapılar.

Elazığ depremi sonrasında TOKİ Başkanlığı tarafından Elazığ’da 19 bin 190, Malatya’da 4 bin 544 olmak üzere toplam 23 bin 734 konut inşa edilmesi planlanmıştır. Depremden bir ay sonra TOKİ tarafından Sürsürü Mahallesi ile Bizmişen bölgesinde yaklaşık bin konutun yapımı hızlı bir şekilde başlatılmıştır. Depremden sonra 2021 Eylül ayında depremzedeler bu konutlara yerleştirilmeye başlamıştır (Elazığ Hakimiyet, 2021).



Şekil 1. 28 TOKİ Afet Sonrası Toplu Konut Projesi Örneği Elazığ Uydu Kent (TOKİ, 2021).

Sonuç olarak, afet sonrası konut tipleri ihtiyaç çeşitlerine ve yapılış hızlarına göre ayrılmaktadır. Yukarıda bahsedilen başlıklarda açıklanan barınak ve konut tipleri **Tablo 1. 10**’da listelenmiştir.

Tablo 1. 10 Barınak tipleri tablosu.

| Afet Sonrası Aşama | Barınak Kategorisi | Barınak Çeşitleri | Açıklama | Kaynak |
|-------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| Acil Yardım Aşaması | Çadırlar | AFAD ve UNHCR vb. kurumların çadırları | Afetzedelerin ve yerinden edilmiş nüfusun barınması için kullanılan en yaygın barınak çeşididir. | (Savaşır, 2008) (Özge, 2019) (TÜRK KIZILAY, 2019) |
| | Kamu veya Acil Yardım Yapıları | Okullar, spor salonları vb. kamu yapıları | Afet sonrasında hasar görmemiş kamu yapıları, acil durum barınakları arasında yer almaktadır. | (Ban, 2013) (Özge, 2019) |
| | | Acil yardım yapıları | Afetten önceki hazırlık aşamasında inşa edilmiş yapılardır. Acil durum aşamasında kullanılacak sığınaklar vb. yapı tiplerini içerir. | (Özge, 2019) |
| Rehabilitasyon Aşaması | Geçici Barınaklar/ Konutlar | Konteyner | Türkiye’de afet sonrasında kullanılan geçici konutlara en yaygın örnektir. | (Beyatlı, 2010) (Güngör, 2020) |
| | | Briket Barınaklar | Afet sonrası kullanım örneklerinden çok yerinden edilmiş nüfusun barınması için kullanımları daha fazladır. Türkiye’de kullanımı yaygındır. | (Ergöçün, 2021) |
| | | Geçiş Barınakları | Dünya’da afetzedelerin ve yerinden edilmiş nüfusun barınmasında kullanılmıştır (IFRC). | (IFRC & RCS, 2013) |
| | | İlerici Barınaklar | Afetten önceki hazırlık aşamasında tasarlanan yapılardır (IFRC). Afetten önceki hazırlık döneminde belli kurumlar veya yarışmalar kapsamında tasarlanmış barınak çeşitleridir. | (IFRC & RCS, 2013) (Seikaly, 2013) (Colella, 2015) |
| | | Çekirdek Barınaklar | Dünya’da afetzedelerin ve yerinden edilmiş nüfusun barınmasında kullanılmıştır (IFRC). | (IFRC & RCS, 2013) |

Tablo 1. 10 Barınak tipleri tablosu (devamı).

| Afet Sonrası Aşama | Barınak Kategorisi | Barınak Çeşitleri | Açıklama | Kaynak |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|
| Yeniden Yapım Aşaması | Kalıcı Konutlar | Yerinde Dönüşüm Yapılar | Afetten etkilenen yapıların yerinde tekrar inşa edilmesidir. | (Sey & Tapan, 1987) (Tüzün, 2002) (Savaşır, 2008) |
| | | Uydu Kentler | Afetten etkilenen bölgelerde yıkılan alanlara yakın kurulan toplu yerleşim yerleridir. Türkiye’de TOKİ vb. toplu konut üretimleri örnek olarak verilebilir. | (Grozdanic, 2013) (TOKİ, 2021) |

Tabloda, halihazırda yaygın kullanıldığı tespit edilen yapı tipleri ve örnekleri gösterilmiştir. Türkiye’de yaygın kullanılan barınak sistemleri bu çalışmanın kapsamı içerisindedir. Bu tabloya, literatürde anlatılan bağlama girebilecek yeni yapı tipleri de eklenebilir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. 3B YAZICILAR VE KONUT ÜRETİMİ

2014 - 2019 yılları arasında 3B yazıcı kullanımı, inşaat sektörünü önemli ölçüde etkilemiştir. Bu yıllarda da etkisi hala sürmektedir. 3B yazıcıların şu anda tasarım ve geliştirme döngülerini kısaltabildiği, iletişim ve iş birliğini iyileştirdiği ve tasarım ile uygulama arasındaki sorunları çözebildiği dile getirilmektedir 3B baskı, prototiplemede uzun yıllardır münferit olarak uygulanmış olsa da “3B baskı” terimi artık belirli teknoloji, malzeme ve amaçlanan uygulamadan bağımsız olarak eklemeli imalat yöntemleri için yaygın olarak kullanılan genel bir terim haline gelmiştir (ISO/ASTM 52900).

Dünyanın önde gelen bilgi teknolojisi araştırma şirketlerinden biri olan Gartner, 3B baskıyı hem “kendi başına yıkıcı hale gelen tek bir teknolojinin nadir bir örneği” hem de “ortaya çıkacağına inanılan beş yeni teknoloji akımlarından biri” olarak tanımlamıştır (Prentice, 2014).

Tekstil ürünleri, tıbbi implantlar, endüstriyel ürünler, gıda ürünleri ve mimari yapılar son zamanlarda 3B yazıcı ile üretilmiş örneklerden birkaçıdır. Çeşitli alanlarda, çeşitli malzemelerle üretim yapabilen 3B yazıcıların da kullanıldıkları alana uygun tasarımları ve malzemelerine göre çeşitleri bulunmaktadır. Genel olarak eklemeli imalatla beraber anılan bir teknolojidir. Bu kapsamda boyutları ve çalışma prensipleri, çok küçük ölçeklerden ve detaylı ürünlerden çok büyük ölçeklere kadar değişebilen 3B yazıcılar mevcuttur.

Robotik üretimin bir parçası olan 3B yazıcılar, temel olarak bir ürünün ham malzemesine şekil verip son ürün aşamasına kadar olan süreci tek seferde ortaya çıkarma prensibine dayalı bir sistemdir. Bu özellikleri, şimdiye kadar daha çok bir CAD sisteminde oluşturulmuş tasarımın ilk ürününü çıkarmak için kullanılmış ve en yaygın kullanım olarak endüstriyel bir ürünün ilk prototipleri ve denemeleri

aşamalarında kullanılmıştır. Ayrıca, kalıplayarak üretilmeyecek bazı kompleks tasarımları ve parçaları üretmede de oldukça yaygındır.

3B yazıcı teknolojisi son yıllarda hızla gelişmekte olan bir teknoloji olduğu için literatür taramasında güncel çalışmalara daha çok odaklanılmıştır. 3B yazıcıların konut üretimi alanında kullanılması konusunda yapılan araştırmalar incelenmiştir. “Construction 3D printer” yani yapı ölçekli 3B yazıcılar sayesinde yapı üretimini mümkün kılan ve yapı üretimi alanına katkı sağlayan ve daha çok beton vb. malzemeler kullanılan büyük boyutlu yazıcılar incelenmiştir. Yapı üretim yazıcıları hakkında yayımlanmış literatür ve proje örnekleri incelenmiştir. Araştırmacılar, yapısal bileşenleri ve/veya tüm yapıyı inşa etmek için bu tekniği ileriye taşımak için farklı tipte 3B yazıcılar, malzemeler ve yapım prosedürleri üzerinde çalışmışlardır. Bu konularda literatürde bulunan güncel çalışmalardan bazılarında bahsedilmiştir.

Bos ve diğerleri, 2016’da betonun eklemeli imalatının gelişimini sunmuş ve Eindhoven Teknoloji Üniversitesi'nin 3B beton baskı tesisini ayrıntılı olarak anlatmıştır. Ayrıca yapılan deneysel araştırmalarda, 3B beton baskı geometrisi ve yapım zorlukları anlatılmıştır (Bos, Wolfs, Ahmed, & Salet, 2016).

Diğer bir çalışmada; Tay ve diğerleri, 2017’de 3B baskıda yapılan önceki araştırmaları sunmuşlardır. Baskı teknikleri analizi, malzeme analizi, kontrol sistemi, veri analizi, mimari tasarım, literatür taraması, kavram analizi ve maliyet-fayda analizi olmak üzere sekiz araştırma konusu kategorisi oluşturmuşlardır (Tay, ve diğerleri, 2017).

Son olarak; Allouzi ve diğerleri, 2020’de yaptıkları çalışmada 3B baskı prosedürlerindeki ilerlemelerin ve son teknolojik gelişmelerinin bir incelemesini sunmaktadır. 3B baskının araştırılması, Ürdün’de geleneksel olarak inşa edilen Ras Alain Çok Amaçlı Salonu’nun beton maliyeti ile 3B baskı kullanılarak inşa edilmiş olması durumundaki maliyeti karşılaştırılarak uygulanmaktadır. Önerilen model ve analiz şekli, Revit yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur (Allouzi, Al-Azhari, & Allouzi, 2020).

2.1. EKLEMELİ İMALAT VE 3 BOYUTLU YAZICILAR

Bu çalışmada “additive manufacturing” yani “eklemeli imalat” kavramı, 3B teknolojisine daha genel bir yaklaşım olarak bakan ve ASTM (*American Society for Testing and Materials*) tarafından bu şekilde tanımlanan bir terim olduğu için tercih edilmiştir. Eklemeli imalat terimi, ASTM tarafından 2015’te; “*3B model verilerinden nesnelere yapmak için malzemeleri birleştirme sürecidir. Geleneksel eksiltici üretim metodolojilerinin aksine, genellikle katmanlar halinde eklenerek üretilir.*” şeklinde tanımlanmıştır (ISO/ASTM 52900).

Eklemeli imalatın ticari kullanımı ilk olarak 1987’de “3D Systems” tarafından, ultraviyole (UV) ışını kullanarak; ışığa duyarlı sıvı polimerin bağlanmasını sağlayan ve katmanlar oluşturulan bir süreç olan “stereo litografi (SL)” şeklinde ortaya çıkmıştır. Bir beta test sistemi olarak dünyada ticari olarak satılan SLA-1, ilk AM (Additive Manufacturing/ Eklemeli İmalat) makinesidir ve bir zamanlar popüler olan SLA 250 makinesinin öncüsüdür (SLA, StereoLithography Apparatus anlamına gelir) (Wohlers & Gornet, 2016).

İlk olarak 1991’de ise, Stratasys’den erimiş birikim modelleme “Fused Deposition Modeling” (FDM), teknolojisi ticarileştirilmiştir. FDM, parçaları katmanlar halinde üretmek için; termoplastik malzemeleri filament formunda ekstrüde etmektedir (Wohlers & Gornet, 2016).

2.1.1. Genel Eklemeli İmalat Süreci

“3B baskı”, üç boyutlu bir nesneyi sentezlemek için kullanılan çeşitli süreçleri ifade eder. Genel süreç aşağıdaki gibidir:

- Özel yazılım tarafından veya mevcut bir nesnenin taramasıyla dijital bir 3B model oluşturulur,
- Bir algoritma, dijital modeli 2 boyutlu dilimlere böler ve
- Bir “yazıcı”; nesneyi, dijital 3B modelin boyutlarına göre dilimler halinde yazdırır (Luhar & Luhar, 2020).

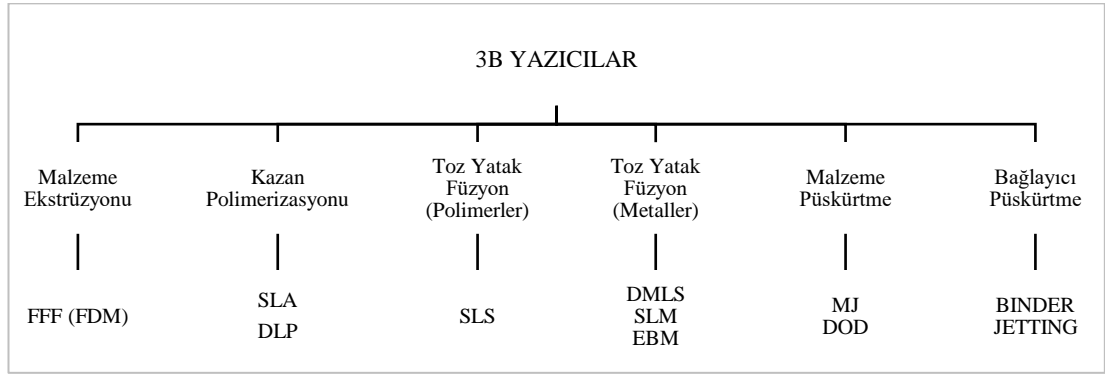
2009 yılında, "3B baskı", daha spesifik olarak ASTM tarafından "bir baskı kafası, nozül veya başka bir yazıcı teknolojisi kullanılarak malzemelerin biriktirilmesi yoluyla nesnelerin üretilmesi" olarak tanımlanmıştır (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015).

Öncelikle tüm detayların tüm üretimi, dış geometriyi tamamen açıklayan bir yazılım modeli ile başlamalıdır. Bu amaçla, hemen hemen her profesyonel 3B modelleme yazılımı kullanılabilir, ancak çıktı 3B model veya yüzey görüntüsü olmalıdır. İkinci olarak, neredeyse her cihaz standart STL dosya formatını tanımakta ve hemen hemen her CAD sistemi böyle bir format yayınlatabilmektedir. Üçüncüsü; modeli, 3B yazıcı için STL formatından dönüştüren programlar, birincil CAD prototipinin dış kapalı yüzeylerini algılar ve bölümlerin hesaplanması için öğeleri şekillendirir. Bu aşamada, parçaların doğru boyut, yön ve konumu baskı karakterine göre hazırlanır. Yine bu aşamada baskı kalitesi, kaplama kalınlığı, zaman, malzeme bilgileri vb. unsurlar da ele alınarak makineye uygun bir yazılım yayınlanır. Yazdırma işlemi başlamadan önce 3B cihazının doğru bir şekilde yapılandırılması gerekir. Bunlar, malzemenin son kullanma tarihi, güç kaynağı veya yazılım arızaları vb. gibi hiçbir yanlışlık olmadığını garanti etmek için sistemin yalnızca yüzeysel olarak incelenmesi gerekir. 3B baskı üretimi temelde otomatik bir prosedürdür ve sistem çoğunlukla gözetimsiz çalışabilir.

Eklemeli imalat sistemi baskıyı bitirdiğinde, bileşenlerin çıkarılması gerekir. Bu aşamada, örneğin yeterince düşük çalışma sıcaklıklarını veya aktif hareketli parçaların yokluğunu garanti etmek için güvenlik kilitlerine sahip olabilen sistemlerle temas etmeyi gerektirebilir. Makineden çıkarıldıktan sonra, 3B modellerin kullanıma hazır hale gelmeden önce ekstra temizliğe ihtiyacı olabilir. Bu aşamada parçalar kırılabilir veya ayrılması gereken yardımcı elemanlara sahip olabilir. Uygun bir yüzey kalitesi ve tamamlama sağlamak için astarlama ve boyamaya ihtiyaçları olabilir. Bu aşama aynı zamanda ısı işlemi de içerebilir. Final parçayı işleme gereksinimleri, daha fazla işlem maliyetli, zaman alıcı ve zahmetli olabilir. Parçalar, bu işlemten sonra nihai prototipi veya ürünü oluşturmak için diğer mekanik veya elektronik elemanlarla birlikte kullanıma ve montaja hazırdır (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015).

2.1.2. 3B Yazıcı Çalışma Prensipleri ve Tipleri

3B yazıcılar farklı sektör grupları ve amaçlar doğrultusunda çeşitlilik gösterir. Yazıcıların çalışma prensipleri de kullanım amacına göre değişir. Kullanılacak malzeme ve çıkarılacak ürünün detay veya dayanım özellikleri gibi birçok unsur da bu yazıcıların çeşitlenmesinde rol oynamıştır.



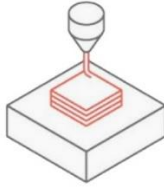
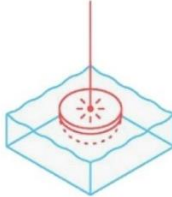
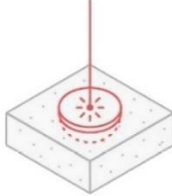

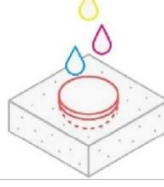
Şekil 2. 1 3B baskı teknolojilerinin sınıflandırılması (Redwood, Schöffer, & Garret, 2017).

ISO/ASTM 52900 Standardı, tüm terminolojiyi standartlaştırmak ve 3B baskının farklı yöntemlerinin her birini sınıflandırmak için 2015 yılında oluşturulmuştur. Toplam yedi süreç kategorisi vardır. Bunların her biri ve ilgili süreç açıklaması Şekil 2. 1'de sunulmuştur. Bunları kısaca açıklama gerekirse;

- Malzeme ekstrüzyonu; eriyik veya sıvı haldeki bir malzemenin 3B yazıcı ile bir yatağa dökülmesi ve daha sonra donması prensibiyle çalışır.
- Kazan Polimerizasyonu; sıvı bir maddenin bulunduğu bir kabın içine 3B yazıcı ile ışınlar göndererek katılaşması sağlanır.
- Toz yatak füzyon; toz halinde olan ve bir kabın içinde bulunan malzemeye 3B yazıcı ile ışınlar gönderilerek tozların birbirine bağlanması sağlanır.
- Malzeme püskürtme; 3B yazıcı, malzemenin kendisini bir yatak üzerine püskürtürken aynı zamanda ışınlarla bağlanmasını sağlar.
- Bağlayıcı püskürtme; 3B yazıcı, bir kaptaki bulunan malzemeyi birleştirmek için yukarıdakilerden ayrı olarak ışın yerine bağlayıcı madde kullanır ve püskürtürken işlemi sağlar.

Ayrıca var olan ve daha az kullanılan 3B teknolojileri de mevcuttur. Bu teknolojiler, Doğrudan Enerji Biriktirme veya Levha Laminasyon gibi daha az yaygın olan 3B baskı yöntemleri olup bu tablonun kapsamı dışındadır. **Tablo 2. 1**'de bu teknolojilerin işleyişleri ile birlikte grafik anlatım ve açıklamaları gösterilmiştir.

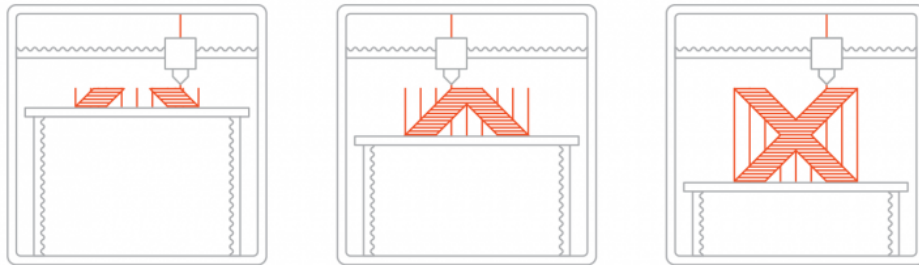
Tablo 2. 1 3B baskı teknolojilerinin sınıflandırılması (Redwood, Schöffer, & Garret, 2017).

| Çalışma Prensibi | Grafik Anlatım | Açıklama | Teknolojiler |
|---|---|---|--|
| Malzeme Ekstrüzyonu |  | Malzemenin bir nozül veya ağız yoluyla seçici olarak dağıtıldığı eklemeli üretim sürecidir. | FFF (Fused Filament Fabrication) Daha yaygın kullanılan kavram olarak; FDM (Fused Deposition Modeling) |
| Kazan Polimerizasyonu |  | Bir teknedeki sıvı fotopolimerin ışıkla aktifleştirilmiş polimerizasyon ile seçici olarak kürlendiği eklemeli üretim sürecidir. | SLA (Stereolithography) DLP (Direct Light Processing) |
| Toz Yatak Füzyonu (Polimerler ve Metaller) |  | Termal enerjinin bir güç yatağının bölgelerini seçici olarak kaynaştırdığı eklemeli üretim sürecidir. | SLS (Selective Laser Sintering) DMLS (Direct Metal Laser Sintering) SLM (Selective Laser Melting) EBM (Electron Beam Melting) |
| Malzeme Püskürtme |  | Malzeme damlacıklarının seçici olarak biriktirildiği ve bir yapı plakası üzerinde kürlendiği eklemeli üretim sürecidir. | MJ (Material Jetting) DOD (Drop on Demand) |
| Bağlayıcı Püskürtme |  | Bir sıvı bağlama maddesinin bir toz bölmesinin bölgelerini seçici olarak bağladığı eklemeli üretim sürecidir. | BD (Binder Jetting) |

2.1.3. Malzeme Ekstrüzyonu Çalışma Prensipli Yazıcılar

Bu tezin kapsamında incelenecek yazıcı işleyiş tipi malzeme ekstrüzyonudur. En yaygın malzeme ekstrüzyon teknolojisi FFF'dir (Fused Filament Fabrication). Daha yaygın olarak FDM (Fused Deposition Modeling) olarak anılır (Stratasys'in ticari markasıdır). FDM teknolojisinin kullanım alanı çok geniştir. Karmaşık tasarımı olmayan modellerin üretimi için idealdir ve diğer yöntemlere göre kullanımı daha pratiktir. FDM yazıcıların çalışma prensibi;

- Yazıcıya bir filament makarası yüklenir ve ekstrüzyon kafasına ulaştırılır.
- Yazıcı nozülü istenen sıcaklığa ulaştığında, bir motor; filamenti ısıtılmış nozülden geçirir. Bu şekilde filament eritilerek şekil verilecek hale getirilmiş olur.
- Yazıcı daha sonra ekstrüzyon kafasını hareket ettirerek erimiş malzemeyi soğuyup katılaşacağı bir tablaya bırakır.
- Bir katman tamamlandığında, yapı platformu aşağı doğru hareket eder (Şekil 2. 2) ve süreç, parçayı katmanlar halinde oluşturmayı tekrarlar. Çalışma esası olarak çok hassas bir sıcak silikon tabancasına benzer (Redwood, Schöffer, & Garret, 2017).



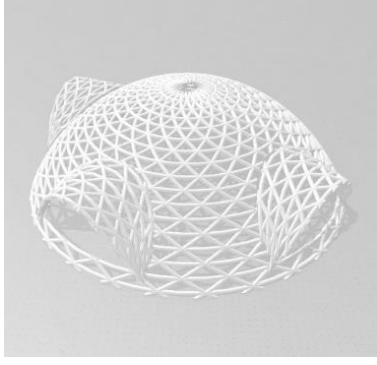


Şekil 2. 2 FDM makinelerin çalışma prensibi (Redwood, Schöffer, & Garret, 2017).

Kullanım alanları genel olarak; endüstriyel tüketici ürünlerinin ön prototipleri ve ilk ürünleri, AR-GE projelerinin geliştirilmesi, döküm öncesi kalıp modeli oluşturma (Şekil 2. 3) ve eğitim alanı (Şekil 2. 4) gibi pratik kullanıma ihtiyaç duyan alanlardır.

| | | |
|--|---|--|
|  |  |  |
| <p>1. 3B Modelleme Süreci (.stl uzantılı model)</p> | <p>2. 3B Yazdırma Süreci (PLA malzeme, FDM 3B yazıcı)</p> | <p>3. Dış Kalıp Oluşturma Süreci (mdf ahşap malzeme)</p> |
|  |  |  |
| <p>4. Kalıp dökme süreci (RTV-2 silikon kalıp malzemesi)</p> | <p>5. Kalıp Kullanma Süreci (Mum Malzeme)</p> | <p>6. Son Ürünü Kalıptan Çıkarma Süreci</p> |

Şekil 2. 3 Kalıplama süreci örneği (2021, Ayşegül Yılmaz, Sümeyye Şahkulubey, Büşra Kolçak).

3B yazıcı, kalıplama sürecinde kalıbı alınacak ilk ürünün üretiminde gereken birçok aşamanın kısa yoldan tamamlanmasına olanak sağlar. Şekil 2. 3'deki gibi bilgisayar ortamında tasarlanan ürün (1), 3B yazıcı kullanılarak PLA malzemeden üretilir (2) ve doğrudan kalıp almaya hazır hale geçer. Ürünün negatifini almak için gereken hacimde dış kalıbı oluşturulur (3). Kalıp malzemesi sıvı halde dökülerek katalizör yardımıyla donması sağlanır (4). Donmanın ardından ürünün negatifi olan kalıp, ürün üretimi için kullanılır (5,6).

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 1. Modelleme Süreci (.stl Dosyası) | 2. 3B Baskı Süreci (FDM Yazıcı) | 3. Son Ürün (PLA Filament) |

Şekil 2. 4 Mimarlık eğitiminde 3B yazıcı kullanımı örneği (13.11.2021, FSMVÜ Mimarlık Bölümü, Hümeysra KARABACAK Stüdyo 401 maket çalışması. Ölçek:1/500).

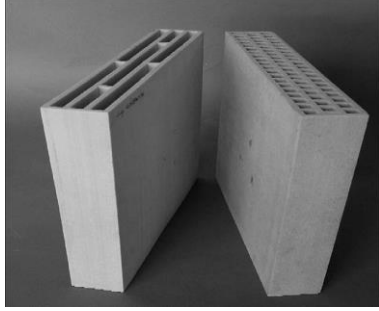


Eğitim alanına örnek olarak yukarıda (Şekil 2. 4) mimarlık öğrencilerinin stüdyo derslerinde tasarladıkları projelerin maketlerini 3B yazıcıdan çıkarma süreci verilmiştir. Türkiye’deki üniversitelerde yaygın kullanımına başlanan ve öğrencilerin tasarımlarını görebilecekleri pratik bir ortam sunan 3B yazıcılar, maket çalışmaları sırasında üretilecek karmaşık yapıli sistemlerin oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Öğrencilerin kullandıkları 3B modelleme programların hepsinde var olan .stl formatına export seçeneği kullanılarak, maketi oluşturan parça kaydedilir (1). Dilimleme yöntemiyle işleyen bu sistem, 3B yazıcı yazılımı ile makineye uygun ayarlarda üretime hazır hale getirilir. 3B yazıcıya hazır yazılımın yazıcıya yüklenmesi ile üretim gerçekleştirilir (2). Maket parçası, öğrencinin modellediği şekilde kullanıma hazır hale gelir (3).

Bu tezin kapsamında incelenecek yapı ölçekli 3B yazıcılar da malzeme ekstrüzyonu prensibinde çalışmaktadır. Yani FDM tipi yazıcıların prensibiyle neredeyse aynı yöntemde çalışır. İnşaat yazıcılarını mevcut FDM yazıcılardan ayıran bir faktör olarak katı bir maddeyi eritmek yerine belli bir harç malzemesini dondurup üretim yapması söylenebilir.

2.2. YAPI ÖLÇEKLİ 3B YAZICILAR

“Eklemeli İnşaat” olarak adlandırılan yapı ölçekli yazıcılar, şu terimlerle açıklanabilir; “inşaat” burada, amacı yapı mühendisliği ile bağlantılı olan büyük ölçekli yapıların üretilmesi eylemini tanımlayan genel bir terim olarak tanımlanmaktadır. Bu tür yapılar, evler, köprüler, mimari pavyonlar ve diğer bina türleri gibi büyük inşaat mühendisliği ürünlerini içerebilir. “Eklemeli İnşaat”, “Eklemeli İmalat” ile benzer bir tanıma sahiptir. “3B model verilerinden yapılar oluşturmak için malzemeleri birleştirme süreci” olarak tanımlanmaktadır (ISO/ASTM 52900). Yapı ölçekli 3B yazıcıların tarihçesi ve kullanımı ile alakalı gelişmeler gösterilmiştir (**Tablo 2. 2**).

Tablo 2. 2 Yapı ölçekli 3B yazıcıların tarihçesi.

| Yıl | Yapı Ölçekli 3B Yazıcı Olayları | Görsel | Kaynak |
|------|--|--|--|
| 2007 | Loughborough Üniversitesi, dünyanın ilk beton yazıcısını geliştirdi. “Freeform Construction (serbest formlarda yapı üretmek)” amacı ile üretilmiştir. |  | (Buswell, Soar, Gibb, & Thorpe, 2007) |
| 2008 | İtalyan Mimar Enrico Dini, “D-Shape” isimli inşaat 3B yazıcısını geliştirdi. Magnezyum klorür çözeltisi ve magnezyum oksit kullanılarak; 3B basılmış magnezya betonu adında bir malzeme ile üretim yapılmıştır. |  | (D-Shape, 2021) (Jakupovic, 2016) (Demyanov & Popov, 2019) |
| 2013 | 3B yazıcıdan yapı üretimi ile alakalı çalışmaların yoğunlaşması. | | (Demyanov & Popov, 2019) |
| 2015 | Bina inşaat elemanlarının geliştirilmesi ile birlikte 3B bina inşaatı mümkün hale gelmiştir. |  | (Baradi, 2016) |

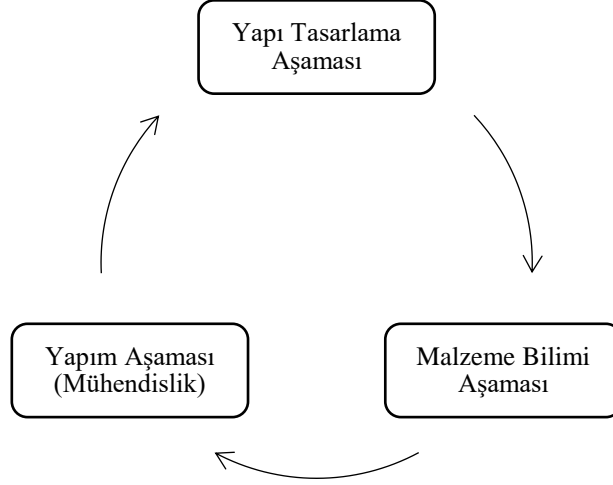
3B baskının inşaat sektöründe ortaya çıkışı son yıllarda devam ederken, bazı üretim sistemleri diğerlerinden daha fazla büyümektedir. Özellikle beton bunlardan biridir. Bu büyüme büyük ölçüde inşaat sektöründe planlanan yenilikçi projelerin miktarıyla desteklenmektedir. Şubat 2017'de Fransa'nın önde gelen inşaat firmalarından biri olan Vinci, 3B baskı beton yapı elemanlarında uzmanlaşmış bir Fransız başlangıç şirketi olan XtreeE'nin çalışmalarına katkıda bulunmuştur. 2019 yılında BAM, Hollanda'da Avrupa'nın ilk beton baskı merkezini açmıştır. Fabrika, bölge genelinde 3B baskı ile üretilmiş köprü inşaatı yapmak ile görevlendirilmiştir. **Şekil 2. 5'**de bu çalışmalardan biri gösterilmiştir.



Şekil 2. 5 BAM 2019 3B yazıcıdan köprü üretimi çalışmaları (BAM, 2021).

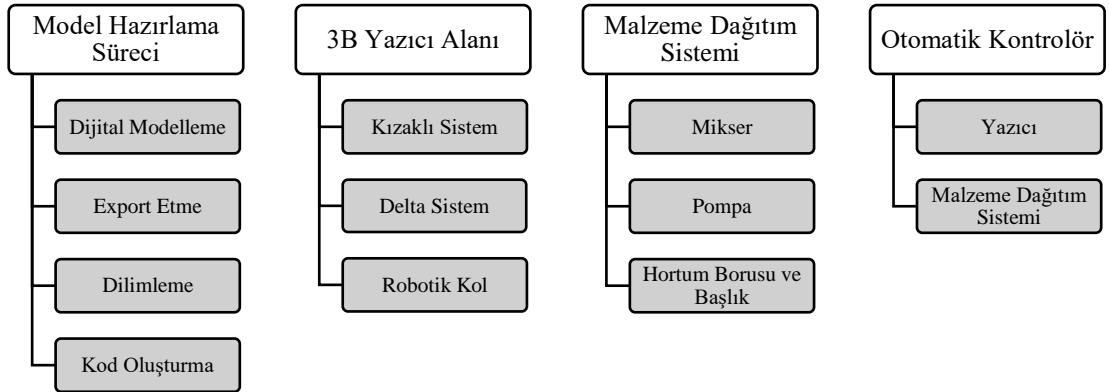
Beton 3B baskı büyük bir potansiyel gösterse de beton üretim sistemleri ile karşılaştırıldığında genel teknolojinin henüz başlangıç aşamasında olduğu söylenebilir. Aslında, beton üretimi yapan çoğu 3B yazıcı bugün hala test edilmekte ve ince ayar yapılmaktadır. Henüz üretim amaçları için tasarlanmamışlardır. Bununla birlikte, teknoloji ilerlemeye devam ettikçe temellerden duvarlara ve köprülere kadar her şeyi daha hızlı, daha uygun maliyetli ve daha çevre dostu bir şekilde üretme potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

İnşaat 3B baskının aşamaları **Şekil 2. 6'**da gösterilmiştir (Labonnote, Rønquist, Manum, & Rüter, 2016).



Şekil 2. 6 İnşaat 3B baskının aşamaları (Labonnote, Rønnquist, Manum, & Rütther, 2016).

Eklemeli inşaat, yerinde üretilen malzemelerden (malzeme bilimi) dijital bir form (bina tasarımı) oluşturma sürecinin tamamını temsil eder ve bunlar daha sonra dijital bir modele (mühendislik) göre eklemeli üretim (biriktirme) gerçekleştirilir. Bu süreç, detaylı bir şekilde Şekil 2. 7’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 İnşaat 3B Yazıcısı ile yapı üretim süreci (Paul, Tay, Panda, & Tan, 2017)

Şekil 2. 7’de gösterilen 3B baskı süreci dört kategoriye ayrılabilir. Model hazırlama süreci; 3B yazıcıların bütün çeşitlerinde bu süreç aynıdır. Üretilen yapının dijital modeli baskıya uyumlu olacak halde hazırlanır. 3B yazıcılar için kullanılan “.stl” (stereolithography) uzantısında export edilir. Bu uzantı hazırlanan dijital modelin z ekseninde dilimlere ayrılmasını sağlar. Buradan stl uzantılı dosya

yazıcının kullandığı programa alınır ve yazıcının ayarlarına uygun bir kodlama haline getirilir.

3B yazıcı alanı ise yazıcının hareketli parçalarının çalışma prensipleri ve tipleri ile açıklanır. Kısaca; kızaklı sistem, delta sistem ve robotik kol olarak üçe ayrılır (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021). Her bir kategorinin çalışma eksenleri ve alanları arasında farklılıklar vardır.

Malzeme dağıtım sistemi, yazıcının ekstrüder sistemi olarak açıklanabilir. Bu sistem, yoğun akışkan malzemenin “nozül” denilen uçtan akıtılmasını gerçekleştiren sistemdir. Malzeme mikseri, malzemeyi nozüle gönderen bir pompa, mikser ve pompadan yazıcı ucuna kadar uzanan hortum ve sonunda malzemenin şekil verilerek çıkarıldığı bir uç sisteminden meydana gelir. Malzeme dağıtım sistemi, yazıcı tiplerine göre farklı hareketler ve yönler izleyen çerçeveler veya sabit dönen bir sisteme bağlı olacaktır.

Son olarak yazıcının hareket eden bölümleri ve malzeme dağıtım sisteminin kontrol edildiği bir ekran veya makine sisteminden oluşan bir kontrolör kısmı mevcuttur. Bu sistem yazıcının yönlendirilmesinde ve izlenmesinde fayda sağlayacak bir sistemdir.

İnşaat 3B yazıcısı, yapıları katmanlar halinde üreten bir cihazdır. İnşaat 3B baskı yöntemi, FDM makineleri tarafından kullanılan yöntemle aynıdır. İmalat şu şekildedir; 3 boyutlu yapıları oluşturmak için belli bir harç oluşturan maddeler, katmanlar halinde nozülden preslenir ve donar.

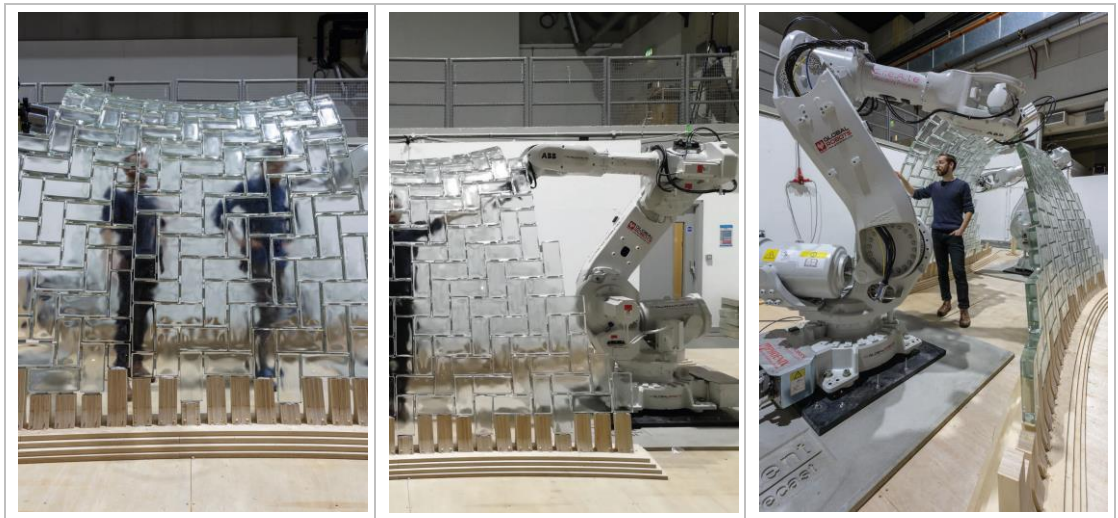
İnşaat 3B baskının yapı endüstrisindeki avantajları, geleneksel yapı uygulamalarının aksine zamandan tasarruf ve kaynakların etkin kullanımınıdır. Yine de 3B yazıcıların şu anda tamamen işlevsel binalar üretmediğini belirtmek hayati önem taşır. İnşaat 3B yazıcı üretiminde; çerçeveler ve duvarlar üretilir ve bundan sonra elektrik, boru veya pencere yerleşimi bağımsız olarak kurulum gerektirir. İnşaat 3B yazıcılar ile platform, koltuk veya dış dekorasyon (**Şekil 2. 8**) gibi yapılar da üretilebilmektedir.



Şekil 2. 8 “3D WASP” tarafından üretilen oturma birimi [Formnext 2021 Darmstadt Technical University (16.11.2021, Salim ŞAHİN)].

Ekstrüzyon tekniği, inşaat 3B yazıcıları tarafından uygulanmaktadır. Bazı 3B yazıcılar dönen bir mekanik kol içerirken, diğerleri ultra büyük masaüstü FDM yazıcılara benzer (kızaklı yazıcılar). Beton gibi macunumsu elemanlar filament olarak uygulanır. Basit bir ifadeyle, bu işlem pasta kaplamasının bir pasta poşeti ile yayılmasına benzer. Böylece madde özel bir nozülden sıkılarak tabakalar oluşturur. Yazıcı, zemin üzerinde bir çalışma yüzeyi görevi gören bir binanın tabanını ve duvarlarını katmanlar halinde oluşturur.

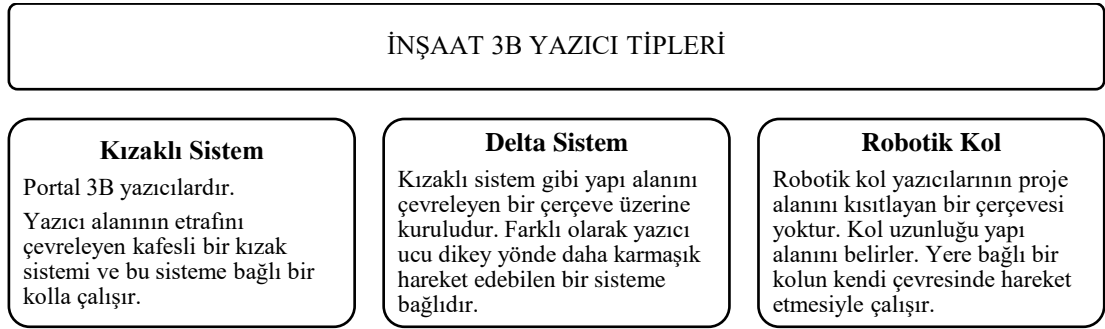
Bazı inşaat 3B yazıcıları ile tuğla kalıplar da üretilmektedir. Daha sonra tuğlalar elle veya robotik kolla üst üste yerleştirilir (Cherdo, 2021), (Şekil 2. 9).



Şekil 2. 9 Formnext Fuarı 2021’de sunulan cam tuğla duvar (Beghini, ve diğerleri, 2021).

2.2.1. Yapı Ölçekli 3B Yazıcı Tipleri ve Çalışma Şekilleri

İnşaat 3B yazıcıların tekniği, belirli bir karışımın ekstrüzyonu şeklindedir. Çimento, dolgu ve diğer katkı maddelerini içeren madde önceden hazırlanır ve daha sonra hazneye konularak baskı kafasına pompalar yardımıyla geçirilir. Bu madde, tabanın yüzeyine veya önceden oluşturulmuş katmanlara konur. İnşaat 3B yazıcıların üç kategorisi ayırt edilebilir. Yazıcı kategorileri yazıcının çalışma esnasındaki hareket eden parçaların ve alanlarının oluşturulmasına göre ayırt edilebilir. Bu kategoriler **Şekil 2. 10**'da gösterildiği gibidir.



Şekil 2. 10 İnşaat 3B Yazıcıların Tipleri (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021).

Yukarıdaki tabloda gösterilen inşaat 3B yazıcı kategorileri aşağıda örneklerle açıklanmıştır.

Kızaklı Sistem (Portal 3B Yazıcılar):

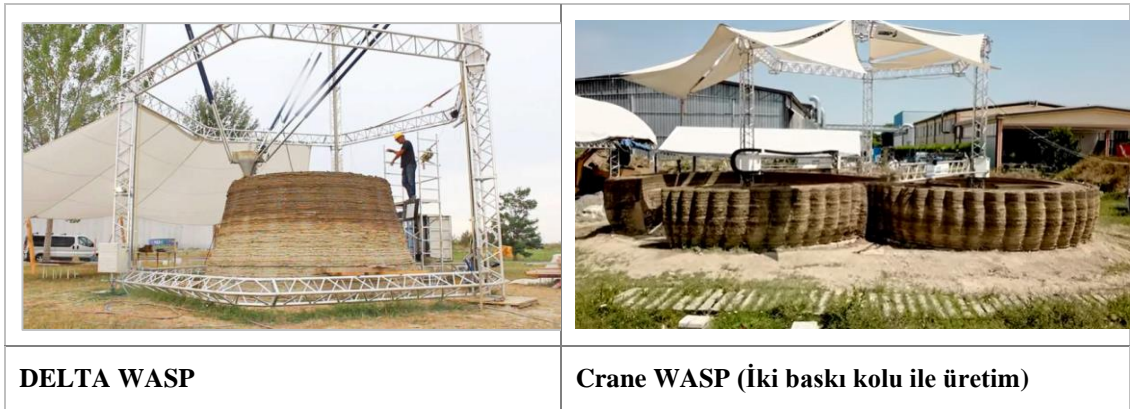
İlk tip, çerçeve, üç kızak ve bir baskı kafası içeren portal 3B yazıcılarıdır (**Şekil 2. 11**). Bu yazıcılarda; başlığı kontrol eden kızaklar x ve y ekseninde hareket ederken, kızakları tutan çerçevedeki asansörlü sistem de bağlantılı olan üçlü kızak ve başlığı z ekseninde hareket ettirir. Bu yazıcılar ile binalar, çerçevenin sınırlarında uygunsa parça parça veya komple inşa edilebilir. Portal yani kızaklı sistem yazıcılar, masaüstü kullanılan FDM yazıcıların ölçek olarak büyütülmüş hali gibidir. Bu yazıcılarda her katmandaki x, y hareketi tek düzlemle sınırlı olup bir sonraki katmanın eklenmesi z eksenindeki hareketle üretimi sağlar. Z eksenindeki hareket, yazıcının yan kızaklarının hareketi ile sağlanır.



Şekil 2. 11 Kızaklı Sistem (Portal) 3B Yazıcılar (PERI, 2021).


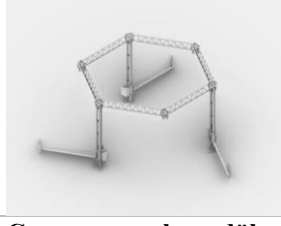
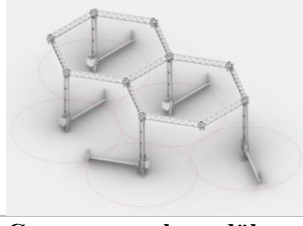

Delta Sistem:

İkinci tip, daha karmaşık formları basabilen Delta makineleridir (Şekil 2. 12). Delta yazıcılar 3B kılavuzlara bağlı değildir, yapılarında yazıcı kafası dikey kılavuzlarla bağlantılı kollarda asılıdır. Bu tip yazıcılarda çerçeve z eksenindeki hareketi üstlenmez. Başlığın bağlı olduğu kollar; başlığı x, y ve z eksenlerinde hareket ettirir. Çerçeve büyüklüğü yazıcının yapı alanını belirlemekle birlikte başlığı tutan kolların da yukarıdan asılmasını ve taşınmasını sağlar.



Şekil 2. 12 Delta 3B Yazıcı WASP (Chiusoli, 2021).

WASP, modüler bir iş birliğine dayalı 3B baskı sistemi oluşturmuş, klasik yapı inşaat vinçlerini dijital üretim anlayışıyla yeniden yorumlamıştır (Şekil 2. 13). Baskı alanına ve dolayısıyla inşa edilecek mimari yapının boyutuna bağlı olarak 3 boyutlu olarak farklı konfigürasyonlarda monte edilebilen bir ana yazıcı ünitesinden oluşmaktadır (WASP 3D, 2021).

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Tek Modül/ 1 adet baskı kolu | Çapraz parçalı modül ekleri/ 3 adet baskı kolu | Çapraz parçalı modül ekleri/ 5 adet baskı kolu | 2 Kat için modül ekleri/ 3 adet baskı kolu |

Şekil 2. 13 “3D WASP” delta sistem yazıcının örnek yapı alanı artırma modülleri (WASP 3D, 2021)

Yukarıdaki tabloda gösterilen modül düzenlemesinde, tek modülün baskı alanı 3 metre yükseklik ve 6,60 metre çapında genişliktedir. Tek modül; çimento, biyo-çimento, doğal karışımlar gibi farklı türlerden üretilebilen akışkan yoğun malzemeleri yazdırarak kendi kendine yeten bir sistem şeklinde çalışabilmektedir. Tek bir modüle, çapraz parçalar ve baskı kolları eklenerek genişletilebilir, böylece sınırsız bir dijital üretim sistemi oluşturulabilir. Gruplar halinde çalışan bu sistemler potansiyel olarak sonsuz bir baskı alanına sahiptir ve mimari projenin ilerleyişini takiben operatörler tarafından yerinde ayarlanabilir (WASP 3D, 2021).

Robotik Kol:

Son tip, bir robotik cihaz veya bir dizi robot içerebilen otomatik yazıcılardır. Bu sistemler arasında bilgisayara bağlı çalışan ekstrüderli bir mekanik imalat kolu bulundurmaktadır.

Rusya merkezli “Apis Cor Engineering” şirketi, inşaat alanında bir yapıyı tamamen üretebilen bir mobil 3B cihaz geliştirmektedir (Şekil 2. 14). 3B yazıcının montajlı haldeki toplam boyutu 4m × 1,6m × 1,5m ve ağırlığı 2 tondur. Bu 3B yazıcı, baskı alanını 131 m²'ye kadar artırmaya olanak tanır. Büyük m²'li yapılar üretmek için birden fazla 3B yazıcı senkronize uygulanabilir. Sökülüp takılabilir bir sistemdir. Bu sayede yazıcı farklı şantiyelere taşınabilir (Apis Cor, 2021).

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>Apis Cor Robotik Kol Yazıcı /Frank</p> | <p>Apis Cor 3B baskı materyali dağıtım sistemi /Mary</p> |

Şekil 2. 14 Robotik kol tipi 3B İnşaat Yazıcısı (Apis Cor, 2021).

3B yazıcının çalışması; yazıcıyı çalıştırmak ve malzeme akışını kontrol etmek için sadece iki kişinin varlığını gerektirir. Diğer tüm yönleriyle tamamen otomatiktir. Bu yazıcının önemli avantajlarından biri olarak geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla maliyetleri %40'a kadar düşürdüğü ifade edilmektedir (Apis Cor, 2021). Ek olarak 3B yazıcıdan üretimin, malzeme miktarı önceden tanımlanmış olduğu için, gerektiğinden fazla üretim atığı oluşturmadığı da ifade edilmiştir. Ayrıca benzer 3B makinelerin kurulumu düz ve pürüzsüz bir beton temele ihtiyaç duymaktadır. Ancak stabilizasyon tekniği sayesinde, bu yazıcı tipinde yükseklik farkı 10 cm'den az olan hemen hemen her yüzeyde işlem yapılabilir ve bu sayede kurulması daha kolay denebilir (Apis Cor, 2021).

Ayrıca, **Şekil 2. 14**'de görülen malzeme dağıtım sistemi Mary, 3B baskı materyali dağıtım sistemidir. Şantiye alanına malzeme ve enerjiyi taşımaya yardımcı olan bu araç, aynı zamanda çevre şartlarına (malzemenin yağmur, güneş vb. durumlardan etkilenmesi) karşı dayanıklıdır. Malzemeyi karıştırma ve pnömatik hortum vasıtasıyla dağıtma özellikleri bulunur (Apis Cor, 2021).

Günümüzde kullanılan ve hâlâ geliştirilmeye devam eden inşaat 3B yazıcı tiplerinin çeşitli üreticileri ve kullanıcıları mevcuttur. Aşağıdaki tabloda 2021'de halihazırda kullanılabilen 3B yazıcıların tablosu **Tablo 2. 3**'de gösterilmiştir.

Cherdo, 3B yazıcıların tipleri, yapı hacimleri, kullanım çeşitleri ve üretici ülkeleri hakkında bilgiler vermiştir (Cherdo, 2021).

Tablo 2. 3 İnşaat 3B yazıcılar listesi [Yapı hacimleri gösterge niteliğindedir ve makinenin özel yapılandırmasına göre değişebilir. (Cherdo, 2021)].

| İNŞAAT 3B YAZICILARI | KULLANIM | TİP | ÇALIŞMA ALANI (M ³) | ÜLKE |
|--------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|-----------|
| BETABRAM P1 | - | Kızaklı Sistem | 16 x 8.2 x 2.5 | Slovenya |
| COBOD BOD2 | Uygun | Kızaklı Sistem | 14.62 x 50.52 x 8.14 | Danimarka |
| MAXI PRINTER | Uygun | Robotik Kol | 12.25 x 12.25 x 7 | Fransa |
| CYBE CONSTRUCTION CYBE RC 3DP | Uygun | Robotik Kol | 2.75 x 2.75 x 2.75 | Hollanda |
| ICON VULCAN II | Uygun | Kızaklı Sistem | 2.6 x 8.5 x ∞ | ABD |
| MUDBOTS 3D CONCRETE PRINTER | Uygun | Kızaklı Sistem | 1.83 x 1.83 x 1.22 | ABD |
| TOTAL KUSTOM STROYBOT 6.2 | Uygun | Kızaklı Sistem | 10 x 15 x 6 | ABD |
| WASP (CRANE WASP) | Uygun | Delta Sistem | Ø 6.3 x 3 | İtalya |
| APIS COR | Proje Halinde | Robotik Kol | 8.5 x 1.6 x 1.5 | Rusya |
| BATIPRINT3D PRINTER | Proje Halinde | Robotik Kol | 7m' ye kadar. | Fransa |
| SQ4D – ARCS | Servis Kullanımı | Kızaklı Sistem | 9.1 x 4.4 x ∞ | ABD |
| CONTOUR CRAFTING | Servis Kullanımı | Kızaklı Sistem | - | ABD |
| XTREEE | Servis Kullanımı | Robotik Kol | - | Fransa |

2.2.2. Yapı Ölçekli 3B Yazıcılarda Kullanılabilen Alternatif Malzemeler

Konvansiyonel betondan farklı olan ince taneli karışımlar, nesnelerin 3B baskısı için temel maddelerdir. Maddeler her şirket tarafından ayrı ayrı üretilir ve bunlar yazıcıya ve nozül bileşimine ve tamamlanmış ürünün belirli özelliklerine karşılık gelir. Malzemede dayanıklılık, donma ve donma hızı, plastisite bir 3B yazıcı için temel somut özelliklerdir. Betonun özellikleri, karışım yapısı, yani çimento miktarı, dolgu maddeleri ve plastikleştiricilerin kalitesi ile kontrol edilir. Yapı

üretiminde; betonarme, kil, plastik, yapay taş, kum, metal, naylon ve tuz kullanan yazıcılar bulunmaktadır (Demyanov & Popov, 2019).

Kullanıcıların farklı karmaşıklık, yükseklik ve genişlikte bahçe öğeleri ve mobilyaları gibi basit mimari yapılardan başlayarak konut üretimi, döşemeler ve yüksek katlı yapılara kadar bileşenler üretmesini sağlar.

3B yazıcıyla yalnızca yığma duvarlar değil, karkas sistemli tasarımlar yapılarak binanın inşaatı devam ederken donatı yerleştirme işlemleri ile betonarme karkas yapılar da üretilmiştir. Bu işlem, henüz robotik bir sistemle yapılamamakla birlikte yazıcı çalışmaya devam ederken insan eliyle yerleştirilebilmektedir. Aşağıda verilen örnekte, Apis Cor tarafından Dubai’de 2019’da üretilen ofis yapısının karkas sisteminin yapılış aşaması gösterilmiştir (**Şekil 2. 15**), (Apis Cor, 2019).



Şekil 2. 15 Betonarme karkas yapıda 3B yazdırılmış yapı örneği (Apis Cor, 2019)

Betonarmeden farklı olarak, yukarıda bahsedilen özellikleri sağlayan bütün harç karışımları ve yenilikçi malzemeler 3B baskı üretiminde kullanılabilir. Yazıcıların bu konuda sınırsız kapasiteye sahip olabilmesi ekolojik malzeme üretimi açısından da yeni gelişmeler yapılabileceğinin bir göstergesi olabilir. Geleneksel beton malzemeye getirilebilecek alternatifleri sağlayabilen bu sistem; köpük, toprak, doğal malzeme karışımları gibi malzeme çeşitliliklerini inşaat alanında kullanmaya olanak sağlamaktadır.



Şekil 2. 16 Köpük malzeme ile 3B yazdırılmış konut örneği (Laboux, Lineatte, Coiffier, & Toms, 2017) (BATIPRINT3D, 2021).

Yukarıdaki **Şekil 2. 16**'da malzeme olarak köpük kullanılması örneği verilmiştir. 3B yazıcılardan üretilen duvar ve çeşitli elemanların köpükten üretilmesi örneği, son yıllarda karşılaştığımız yeni bir yöntemdir. Fransa menşeli firma olan "BATIPRINT 3D" tarafından bu üretim yapılmaktadır (**Şekil 2. 17**). Bu malzemenin kullanılmasının belli amaçları ve avantajları vardır. 2021'de yapılan araştırmada, köpük malzeme ile betonarme, kum-kireç tuğla ve ısı yalıtım tuğlası uygulamalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Maliyet bakımından 3B yazdırılmış köpük duvar ve ısı yalıtım tuğlası ile üretilen duvar avantajlı bulunurken, ekolojik olarak, köpük malzemenin diğer üretim çeşitlerinden daha avantajlı olduğu dile getirilmiştir (Markin, Krause, Otto, Schrofl, & Mechtcherine, 2021).



Şekil 2. 17 BATIPRINT 3D tarafından Nantes'te üretilen yapı (BATIPRINT3D, 2021).

Ayrıca, doğal ve sürdürülebilir malzemeler kullanılarak da 3B yazıcıdan yapı üretimi yapılabilir. Uygulanmış bir örnek olarak 2021’de WASP tarafından üretilen Dubai Expo 2021’de (**Şekil 2. 18**) kullanılmış olan mağaza tasarımı gösterilebilir.



Şekil 2. 18 “3D WASP” Tarafından Yerinde Üretilen 2021 Dubai Expo Dior Mağazası (Moretti, 2021).

Yukarıda verilen örnekte kullanılan malzemeler; bölgede yerel olarak bulunan malzemelerdir. İşlemsiz doğal malzemelerin yüzde olarak yoğun kullanıldığı bir örnektir. Kil, kum ve ham lifleri birleştiren doğal malzemelerden üretilmiştir (Moretti, 2021). Doğal malzeme kullanımına yine WASP tarafından üretilen TECLA projesi de örnek olarak gösterilebilir (**Şekil 2. 24**), (Chiusoli, 2021). 2021’de düzenlenen “BEAM” sempozyumunda sunulan, yeni doğal malzeme önerileri ve bu malzemeleri 3B yazıcıdan üretme teknikleri de örnek olarak gösterilebilir. Bunlardan biri **Şekil 2. 19**’de gösterilen sıkıştırılmış toprak üretimi, ikinci örnek ise **Şekil 2. 20**’de gösterilen ahşaptan yapı elemanı üretimidir.

Şekil 2. 19’de sergilenen proje, sıkıştırılmış toprağın üretimi için ekonomik ve pratik bir süreç oluşturmak amacıyla robot destekli üretim önerilmiştir. Sıkıştırılmış toprak duvarların sıkıştırmadan hemen sonra sıyrılabilmesi gerçeğine dayanarak, sürekli ileri hareketle çalışan aktif, robotik kılavuzlu hafif bir sıkıştırma ve kalıp sistemi geliştirilmektedir. Robotik imalatın avantajları, yüksek derecede hassasiyet, kalıbın ayarlanması için önemli ölçüde daha az çaba, tutarlı malzeme özellikleri ve geometrik olanakların genişletilmesidir (Kloft, Gossler, Barba, & Pacillo, 2021).



Şekil 2. 19 3B yazıcı ile sıkıştırılmış toprak üretimi (Kloft, Gosslar, Barba, & Pacillo, 2021)

Şekil 2. 20’de ise 'Bireysel katman imalatıyla yapısal kereste (ILF)' projesinde, yapısal elemanların eklemeli imalatında ahşabın kullanımına izin veren yeni bir üretim süreci araştırılacaktır. Bu işlemde parçalar, bağlayıcı püskürtme ile ek olarak üretilen ahşap kompozitlerin kontürlü panellerinin lamine edilmesiyle oluşturulur. Ayrıntılı olarak, bir bileşenin üretimi aşağıdaki adımlarda gerçekleşir:

- Ahşap parçacıkları, bir saçılma cihazı ile bir taban üzerine ince bir tabaka halinde yayılır.
- Bu partikül yatağı üzerine, lokal olarak, bağlanması amaçlanan alanlarla sınırlı olarak sıvı yapıştırıcı uygulanır.
- Parçacık yapışkan tabakası daha sonra preslenir ve bağlı ve bağlı olmayan dökme malzeme içeren bir levha elde edilir.
- Son olarak, bağlanmamış yığın çıkarılır ve tamamlanmış panel aktarılır ve daha önce imal edilmiş panellerin istifi üzerine lamine edilir.
- Panel üretimi ve laminasyon istenilen obje tamamlanana kadar tekrarlanır.
- Panellerin imalatında mekanik basınç uygulanmasıyla, gerekli bağlayıcı miktarı önemli ölçüde azaltılabilir ve malzeme mukavemetleri artırılabilir (Talke, Buschmann, Saile, & Henke, 2021).



Şekil 2. 20 Bireysel katman imalatıyla yapısal kereste (ILF) (Talke, Buschmann, Saile, & Henke, 2021)

2.2.3. Yapı Ölçekli 3B Yazıcılarla Yapılmış Örnekler

2010’da 3B yazıcıların beton kullanmaya adapte edilmesi ve yapı üretimi için çalışmaların başlaması ile dünyadan çeşitli 3B yazıcı firmalarının yapı ölçeğinde ürettiği örnekler de görülmeye başlamıştır. Bu örnekler tarih sıralamasına göre aşağıda gösterilecektir.

Çinli WinSun firması kendi makineleri ile 3B yapı baskısı yapmaktadır. WinSun, aralarında minyatür bir apartman inşaatının da bulunduğu çok sayıda konut projesi geliştirmiştir. Şekil 2. 21’de gösterilen bina, karkas yapısını benimsemiştir ve güçlendirilmiş duvar standardına göre yazdırılmıştır. 3B teknolojisinin yüksek katlı yapılar da yapabileceğinin üzerinde çalışmak istemişlerdir. Müşteriler, prototipi seçebilmekte ve bileşenleri şantiyede kurmadan önce hızlı ve ucuz bir şekilde üretebilmektedir. Şekildeki gibi beş katlı üretilmiş bir binanın üretim fiyatının 161.000 dolar olduğu tahmin edilmektedir (Winsun, 2015).



Şekil 2. 21 3B yazıcı ile üretilmiş beş katlı yapı (Winsun, 2015)

3B yazıcılarla üretilen bir diğer örnek; Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki önemli 3B baskı yapısı, “*Office of the Future*” olarak adlandırılan ve şu anda Emirlik Vakfı'nın ikametgahı olarak hizmet veren yapıdır (Şekil 2. 22). Bu yapının tüm elemanları toplam on yedi günde üretilmiştir ve iki tam günde montajı yapılmıştır. Winsun firmasının ürettiği yapının, inşaat alanı dışında imalatı yapıp sonradan montajlanmıştır (Office of the Future, 2016).





Şekil 2. 22 Office of the Future (Office of the Future, 2016)

Bir diğer örnek olarak yine Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Dubai belediye ofisi verilebilir (Şekil 2. 23). Proje, Apis Cor tarafından Aralık 2019'da tamamlanmıştır. Dünyanın en büyük 3B baskılı binası olarak tanıtılmaktadır (Apis Cor, 2019). Yapının hacmi 640 m² ve yüksekliği 9,5 m yüksekliğindedir. Ofis binası olarak tasarlanmıştır. Yapının imalatı, yapının çok sayıda bileşenini açık şantiye sahasında vinçle hareket ettirerek üretebilen makinesi ile gerçekleştirilmiştir (Apis Cor, 2019).

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>3B yazıcı ile Dubai’de yerinde üretilmiş yapı</p> | <p>Yerinde üretilen yapının şantiye süreci</p> |

Şekil 2. 23 Dubai’de 3B yazıcıyla inşa edilmiş yapı (Apis Cor, 2019).

Adını “teknoloji ve kil” den alan TECLA, Massa Lombarda’da (Ravenna/İtalya) Crane WASP - WASP’ın inşaat sektöründeki 3B yazıcısı ile 2021’de üretilmiştir (Şekil 2. 24). Ham toprak malzeme kullanımı ile üretilen yapı, bu konuda 3B baskının sunduğu olanakları kullanarak bu konuda önemli bir adım atıldığını göstermektedir. TECLA projesi: 200 saat, 7000 G-kodu, 350 adet 12 mm katman, 150 km ekstrüzyon, ortalama 6 kW’tan daha az tüketim ve 60 metreküp doğal malzeme harcamıştır (Chiusoli, 2021).

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>TECLA Projesi</p> | <p>TECLA Projesi yapım aşaması</p> |

Şekil 2. 24 TECLA projesi (Chiusoli, 2021)

Türkiye’de 3B Yazdırılmış Yapı Örnekleri:

Türkiye’de yapı ölçekli 3B yazıcı ile yapı üretiminde ise İSTON, AR-GE ve tasarım çalışmaları sonucunda, 2019’da 3B yazdırılmış yapılarla alakalı çalışmalarına başlamıştır. 2021’de biri fabrikada biri yapı alanında olmak üzere iki adet 3B yazdırılmış yapının üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2. 25).



Şekil 2. 25 İSTON üretimi 3B yazdırılmış yapılar ve kent mobilyaları 2021.

Tuzla fabrikasında üretilen yapı ilk üretilen yapıdır. Bu yapı, 150 m²’dir ve içerisinde iki adet toplantı odası, mutfak, ıslak hacim ve giriş alanı bulunur. AR-GE amaçlı üretilen ve henüz kullanıma açılmamış bu yapıda ayrıca iç mekan sıcaklık ölçümleri gibi testler de yapılmaktadır. İkinci yapı ise Çamlıca’da yerinde üretilmiştir. Bu yapı, Parklar ve Bahçeler Genel Müdürlüğü’ne ait ofis binası olarak tasarlanmıştır. Bu yapı 300 m²’dir ve kullanıma uygun şekilde tasarlanmıştır.

İSTON ayrıca, Şekil 2. 26’daki gibi bank, masa, çöp kutuları gibi 3B yazdırılmış kent elemanları da üretmiştir. Bu kent elemanları, İSTON’un Tuzla’daki fabrikasında AR-GE amaçlı üretilmiştir.



Şekil 2. 26 İSTON tarafından 3B yazıcılarla üretilmiş beton kent mobilyaları (07.12.2021).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. AFET SONRASI GEÇİCİ KONUT ÜRETİMİNDE 3B YAZICI KULLANIMININ GELENEKSEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Afet sonrası oluşan geçici konut ihtiyacının karşılanması için önerilen, 3B yazıcıdan üretilecek yapıların uygulamaları için malzeme ve yapım özellikleri farklı olan birden fazla sayıda yapım sisteminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla taranan kaynaklarda çeşitli kriterler tespit edilmiştir. İlki 2008’de Savaşır tarafından belirlenen; geçici konut bağlamında uygulanan çeşitli yapım sistemlerinin Türkiye şartlarında ele alındığı ve karşılaştırıldığı çalışmadaki kriterlerdir. Bu çalışmada, Türkiye’nin içinde bulunduğu ekonomik, politik vb. koşulların değişmesi halinde, bu kriterlerin değişebileceği ifade edilmiştir (**Tablo 3. 1**), (Savaşır, 2008).

Tablo 3. 1 Afet Sonrası Uygulanan Yapım Sistemlerinin Karşılaştırma Kriterleri (Savaşır, 2008).

| No | Afet Sonrası Uygulanan Yapım Sistemlerinin Karşılaştırma Kriterleri |
|----|---|
| 1 | Yapının kaba yapım süresi |
| 2 | Yapının kaba yapım maliyeti |
| 3 | Konutların konfor düzeyi |
| 4 | Yapım sürecinde kullanılması gerekli uzman işçi ihtiyacı |
| 5 | Yapım sürecinde kullanılması zorunlu ekipman ve taşıt ihtiyacı |
| 6 | Yapı bileşenlerinin üretim yerinden şantiyeye nakliyesinin kolaylığı |
| 7 | Yapı bileşenlerinin Türkiye genelinde üretim yaygınlığı ve yıllık üretim kapasitesi |
| 8 | Mekânsal esnekliğe uygunluk |
| 9 | Tesisat kolaylığı |
| 10 | Isı yalıtımına duyulan ihtiyaç |

Pomponi ve diğeri, 2019'da yaptıkları çalışmada, afet sonrası veya savaş sonrası konutların sürdürülebilirlik ve çevre açısından değerlendirme faktörlerini belirlemişlerdir (**Tablo 3. 2**). Sosyal, çevresel, ekonomik ve teknik üst başlıklarında sınıflandırılan faktörler; afet veya savaş sonrası yapılacak konutların kapsamında incelenmiştir (Pomponi, Moghayedi, Alshawawreh, D'Amico, & Windapo, 2019).

Tablo 3. 2 Afet veya savaş sonrası konutların sürdürülebilirlik açısından değerlendirme faktörleri (Pomponi, Moghayedi, Alshawawreh, D'Amico, & Windapo, 2019).

| Afet veya savaş sonrası konutların sürdürülebilirlik açısından değerlendirme faktörleri | |
|--|--|
| Sosyal | Sosyal durum Yerel halkın katılımı Hedef kullanıcılara aşinalık |
| Çevresel | Gerekli malzemelerin yerel mevcudiyeti Sağlıklı (zarar vermez ör. toksik olmayan maddeler) Düşük çevresel etkiler (ör. karbon emisyonları) |
| Ekonomik | Düşük inşaat maliyetleri Uzun potansiyel kullanım ömrü Düşük yaşam döngüsü maliyetleri |
| Teknik | Bakımı kolay Güvenli (örneğin düşük yangın riski, sağlam yapı) Yüksek inşaat hızı |

Afet sonrası geçici konutların sürdürülebilirliği açısından belirlenecek kriterler, Hosseini ve diğeri tarafından 2021'de yazılan makalede belirlenen kriterler ışığında hazırlanmıştır (**Tablo 3. 3**). Bu makalede, afet sonrası geçici konut üretiminde esas alınacak sürdürülebilirlik faktörleri yer almaktadır. Sürdürülebilirlik açısından yapılan inceleme, yapım yönetim ve yapı kalitesi ile alakalı konuların da bazılarını içermektedir. Bu konudaki kriterlerin farklı kaynaklardan toparlanmış güncel bir derlemesi olan makalede, incelenecek sürdürülebilirlik faktörlerinin hangi aktörlere veya alt faktörlere etki ettiği de açıklanmıştır (Hosseini, Farahzadi, & Pons, 2021). Sınıflandırmada; yapı maliyeti, bakım maliyeti, yapım süresi, termal konfor, akustik performans, yangın, DP (displaced population/ yerinden edilmiş nüfus) tercihi, enerji tüketimi, atık malzeme ve CO₂-eşdeğer emisyonları gibi konular yer almaktadır. Bu faktörler, afet sonrası geçici konutlar kapsamında belirlenmiştir.

Tablo 3. 3 Geçici konutlarda sürdürülebilirlik faktörleri (Hosseini, Farahzadi, & Pons, 2021).

| Geçici konutlarda sürdürülebilirlik faktörleri | | | | |
|---|-----------------------|---|--|---|
| No | Gösterge | Faktör (alt gösterge) | Etki | Kaynaklar |
| 1 | Yapı Maliyeti | <ul style="list-style-type: none">• Kaynaklar (materyal, enerji, su)• Tasarım• İş gücü• Risk• Konum (arazi, altyapı, iklim) | <ul style="list-style-type: none">• Yatırımcılar | (Wen & Kang, 2001) (Kaming, Olomolaiye, Holt, & Harris, 1996) (Gluch & Baumann, |
| 2 | Bakım Maliyeti | <ul style="list-style-type: none">• Malzemenin ömrü• Bina özellikleri• Sahiplik özellikleri | <ul style="list-style-type: none">• Yatırımcılar• Bina sakinleri | (El-Haram & Horner, 2002) (Wallbaum, Ostermeyer, Salzer, & Escamilla, 2012) |
| 3 | Yapım Süresi | <ul style="list-style-type: none">• Proje (tip, özellikler, hacim, tasarım, konum, teknoloji vb.)• Sahip• Müteahhit• Danışman• Malzeme• İş gücü• Diğer (belirsizlikler, öngörülemez koşullar, düzenlemeler vb.) | <ul style="list-style-type: none">• Bina sakinlerinin memnuniyeti• Yapı maliyeti | (Assaf & Al-Hejji, 2006) (Ling & Liu, 2004) (Hoffman, Thal Jr., Webb, & Weir, 2007) (Chan & Kumaraswamy, 2002) |
| 4 | Termal Konfor | <ul style="list-style-type: none">• Bina sakinlerinin davranışsal düzenlemeleri• Bina özellikleri• İklim koşulları | <ul style="list-style-type: none">• Bina sakinlerinin konforu• Enerji tüketimi• O2 Emisyonu• İnşaat Maliyeti | (de Dear & Brager, 1998) (Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & van den Dobbela, 2013) (Nicol & Humphreys, 2002) |
| 5 | Akustik Performans | <ul style="list-style-type: none">• İnşaat gürültüsü• Akustik performans• Sesin kaynağı• Bina sakinleri özelliği | <ul style="list-style-type: none">• Bina sakinlerinin konforu• Bina sakinlerinin rahatsızlığı• Çevreye Olumlu/Olumsuz Etki | (Shen, Hao, Tam, & Yao, 2007) (Hammad, Akbarnezhad, & Rey, 2016) (Bsi, 2014) (Oral, Yener, & Bayazit, 2004) |
| 6 | Yangın | <ul style="list-style-type: none">• Bina yangına müdahale performansı• Bina sakinlerinin tepkisi• Kaçış yolu | <ul style="list-style-type: none">• Bina sakinlerinin güvenliği• Yatırımcılar• Çevreye Olumlu/Olumsuz Etki | (Kobes, Helsloot, de Vries, & Post, 2010) |

Tablo 3. 3 Geçici konutlarda sürdürülebilirlik faktörleri (Hosseini, Farahzadi, & Pons, 2021) (devamı).

| Geçici konutlarda sürdürülebilirlik faktörleri | | | | |
|---|----------------------------|---|--|---|
| No | Gösterge | Faktör (alt gösterge) | Etki | Kaynaklar |
| 7 | DP Tercihi | <ul style="list-style-type: none"> • Kullanıcıların tercihi • Tasarımcı (mimar) tercihi • Bina standardı | <ul style="list-style-type: none"> • Bina sakinlerinin konforu • Yapı Maliyeti • Yapım Süresi • Çevreye Olumlu/ Olumsuz Etki | (Tas, Cosgun, & Tas, 2007) (Arvin & House, 2002) (Pezzica, Cutini, & de Souza, 2021) |
| 8 | Enerji Tüketimi | <ul style="list-style-type: none"> • Boyut ve Konum • Malzeme • Mimari ve yapısal tasarım • Bina hizmetleri (HVAC, vb.) • Bina sakinlerinin davranışları | <ul style="list-style-type: none"> • Çevreye Olumlu/ Olumsuz Etki • Yapı Maliyeti • İnşaat Maliyeti | (Mirabella, ve diğerleri, 2018) (Lazar & Chithra, 2020) (Thormark, 2002) |
| 9 | Atık Malzeme | <ul style="list-style-type: none"> • Tasarım • Tedarik • Malzeme taşıma • İnşaat • Malzemenin ömrü • Yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli | <ul style="list-style-type: none"> • Çevreye Olumlu/ Olumsuz Etki • Yapı Maliyeti | (Mak & Picken, 2000) (Osmani, Glass, & Price, 2008) (Yuan, 2013) (Félix, Monteiro, & Feio, 2020) (Perrucci & Baroud, 2020) |
| 10 | CO2-eşdeğer Emisyonları | <ul style="list-style-type: none"> • İmalat malzemesi • Malzeme taşımacılığı • Enerji tüketimi (inşaat faaliyetleri ve bina sakinlerinin faaliyetleri) | <ul style="list-style-type: none"> • Çevreye Olumlu/ Olumsuz Etki • İnsanların Güvenliği | (Yan, Shen, Fan, Wang, & Zhang, 2010) (Eberhardt, Rønholt, Birkved, & Birgisdottir, 2021) (Pomponi, Moghayedi, Alshawawreh, D'Amico, & Windapo, 2019) |

Tablo 3. 1, Tablo 3. 2 ve Tablo 3. 3'te gösterilen çalışmalardaki konulardan, tez kapsamında kullanılacak olanları birleştirilerek yeni bir kriter listesi oluşturulmuştur (**Tablo 3. 4**).

Burada belirlenip ele alınan kriterler açısından değerlendirme yapılmıştır. Ana kriterlerin belirlenmesi ile karşılaştırma yönteminin ilk aşaması tamamlanmıştır. Bu kriterler; konut üretimi ve yapım yönetimi, yapı kalitesi ve tasarım olanakları ve çevresel sürdürülebilirlik olarak üç başlıkta incelenmiştir.

Tablo 3. 4 Araştırma sorularının belirlenen kriterlere göre oluşturulduğu tablo.

| Alan | Faktör | Alt Faktör | Değerlendirme Kriteri | Kaynak |
|--|-----------------------------|---|---|--|
| Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi | Süre | Yapının kaba yapım süresi | İnşaat hızı | (Ling & Liu, 2004) |
| | | | Teslimat hızı | (Savaşır, 2008) |
| | | | Proje sürecinin planlanması | (Hosseini, Farahzadi, & Pons, 2021) |
| | Maliyet | Yapının kaba yapım maliyeti | Malzeme maliyeti | (Elinwa & Buba, 1993) |
| | | | Makine maliyeti | |
| | | | Makine bakım maliyeti | |
| | | | Nakliye ve taşıma maliyeti | |
| | | | İşçilik maliyeti | |
| | | | Ek uygulamaların maliyeti | |
| | Lojistik | Yapım sürecinde kullanılması zorunlu ekipman ve taşıt ihtiyacı | Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi | (Yan, Shen, Fan, Wang, & Zhang, 2010) (Savaşır, 2008) |
| | | | Kullanılacak teknolojik ekipmanı taşıma olanakları | |
| | | Yapı bileşenlerinin üretim yerinden şantiyeye nakliyesinin kolaylığı | Prefabrikasyon ve taşıma planlaması | |
| | Üretim Kolaylığı ve İş Gücü | İş gücü | Yapım sürecinde kullanılması gerekli uzman işçi ihtiyacı | (Savaşır, 2008) (Çetindaş, 2019) |
| Yapı üretimine yerel halkın katılımı | | | | |
| Üretim kolaylığı/ Ulaşılabilir malzeme | | Yapı bileşenlerinin Türkiye genelinde üretim yaygınlığı ve yıllık üretim kapasitesi | | |

Tablo 3. 4 Araştırma sorularının belirlenen kriterlere göre oluşturulduğu tablo (devamı).

| Alan | Faktör | Alt Faktör | Değerlendirme Kriteri | Kaynak |
|--|-------------------------------------|---|--|---|
| Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları | Yapı Kalitesi | Isı yalıtımına duyulan ihtiyaç | Yapı tasarımında yalıtım özellikli planlama | (Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & van den Dobbelsteen, 2013) (Tahmasebinia, ve diğerleri, 2019) |
| | | | Yapıda kullanılan malzemenin yalıtım özellikleri | |
| | | Çevre şartlarına dayanıklılık | Rüzgâr, deprem vb. dayanıklılık | |
| | Yaşam Kalitesi ve Güvenlik | Sağlıklı zarar vermez (örneğin toksik) maddeler | (Kobes, Helsloot, de Vries, & Post, 2010) | Yangına dayanıklılık |
| | | | | |
| | Tasarım Olanakları | Mekânsal esnekliğe uygunluk | Yeniden kullanım veya dönüşüme adapte edilebilir tasarım | (Savaşır, 2008) |
| Tesisat kolaylığı | | Yapı tasarımında tesisat vb. planlama imkânı | | |
| Çevresel Sürdürülebilirlik | Enerji Tüketimi | Yapım Aşamasında Malzeme Tüketimi | İnşaat aşamasında atık planlama | (Osmani, Glass, & Price, 2008) |
| | | | Yapıda kullanılan malzemenin ömrü | |
| | | | Malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli | |
| | Kullanım aşamasında enerji tüketimi | Kullanıcıların enerji tüketimi | (de Dear & Brager, 1998) | Bina hizmetleri (HVAC, vb.) gerekliliği |
| | | | | |

Tablo 3. 4 Araştırma sorularının belirlenen kriterlere göre oluşturulduğu tablo (devamı).

| Alan | Faktör | Alt Faktör | Değerlendirme Kriteri | Kaynak |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Çevresel Sürdürülebilirlik | CO2-eşdeğer Emisyonları | İmalat malzemesi CO2 Emisyonu | Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin CO2 emisyonu açısından özellikleri | (Yan, Shen, Fan, Wang, & Zhang, 2010) |
| | | | Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin doğal malzeme oranı | |
| | | Malzeme taşımacılığı CO2 Emisyonu | Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi | |
| | | | Yapı alanının malzemenin üretim yerine olan uzaklığı | |

Tabloda gösterilen kriterlerin değerlendirilmesi için alt faktörler aşağıda gösterilmiştir.

Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi Açısından

- **Süre**

- Yapının kaba yapım süresi

Ling ve Liu tarafından 2004'te yazılan makalede; inşaat süresini etkileyen faktörler ele alınmıştır. Bu çalışmadaki faktörler arasından tez kapsamına uygun olan değerlendirme kriterleri seçilmiştir. Bunlar;

- İnşaat hızı
 - Seri üretim oranı
 - Projenin brüt kat alanı
 - Bina tipi
 - Proje ekibi üyeleri arasındaki iletişim
 - İnşaattan önceki süreçte proje kapsam tanımının tamamlanması
- Teslimat hızı
 - Projenin brüt kat alanı
 - İnşaattan önceki süreçte tasarımın tamamlanması
- Proje sürecinin planlanması

- Tasarım karmaşıklığı düzeyi
- Teknolojik ilerleme düzeyi
- Teslim edilecek projenin önemi
- Yükleniciden inşaata verilebilecek personel sayısı (Ling & Liu, 2004).

- **Maliyet**

- Yapının kaba yapım maliyeti

Elinwa ve Buba tarafından 1993'te yazılan makalede; inşaat maliyetini etkileyen faktörler ele alınmıştır. Bu çalışmadaki faktörler arasından tez kapsamına uygun olan değerlendirme kriterleri seçilmiştir. Bunlar;

- Malzeme maliyeti
- Makine maliyeti
- Makine bakım maliyeti
- Nakliye ve taşıma maliyeti
- İşçilik maliyeti
- Ek uygulamaların maliyeti (Elinwa & Buba, 1993).

- **Lojistik**

- Yapım sürecinde kullanılması zorunlu ekipman ve taşıt ihtiyacı
 - Kalıp kullanma zorunluluğu;
 - İskele kullanma zorunluluğu;
 - Özel yapı makinelerini kullanma zorunluluğu;
 - Transmikser ve beton pompası kullanma yoğunluğu (Savaşır, 2008).
- Yapı bileşenlerinin üretim yerinden şantiyeye nakliyesinin kolaylığı
 - Yapı malzemelerinin imalatı;
 - Yapı malzemelerinin taşınması;
 - İnşaat ekipmanı taşımacılığı;
 - İnşaat ekipmanlarının enerji tüketimi;
 - İşçiler için ulaşım;
 - İnşaat atıklarının taşımacılığı (Yan, Shen, Fan, Wang, & Zhang, 2010).

- **İş gücü ve Üretim Kolaylığı**
 - İş gücü
 - Yapım sürecinde kullanılması gerekli uzman işçi ihtiyacı kriteri (Savaşır, 2008).
 - Yapı üretimine yerel halkın katılımı (Çetindaş, 2019).
 - Üretim Kolaylığı/ Ulaşılabilir malzeme
 - Yapı bileşenlerinin Türkiye genelinde üretim yaygınlığı ve yıllık üretim kapasitesi (Savaşır, 2008).

Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları Açısından

- **Yapı Kalitesi**
 - Isı yalıtımına duyulan ihtiyaç
 - Yapı tasarımında yalıtım özellikli planlama
 - Yapıda kullanılan malzemenin yalıtım özellikleri
 - Çevre şartlarına dayanıklılık
 - Rüzgâr, deprem vb. dayanıklılık
 - Yaşam Kalitesi ve Güvenlik
 - Sağlıklı zarar vermez (örneğin toksik) maddeler
 - Yangına dayanıklılık
- **Tasarım Olanakları**
 - Mekânsal esnekliğe uygunluk
 - Yeniden kullanım veya dönüşüme adapte edilebilir tasarım
 - Tesisat kolaylığı
 - Yapı tasarımında tesisat vb. planlama imkânı

Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından

- **Enerji Tüketimi**
 - Yapım Aşamasında Malzeme Tüketimi
 - İnşaat aşamasında atık planlama (**Tablo 3. 5**)

Tablo 3. 5 İnşaat atıkları kökenleri ve sebepleri (Osmani, Glass, & Price, 2008).

| Atık Kökenleri | Atık Sebepleri |
|---------------------------------------|--|
| Sözleşme | Sözleşme belgelerindeki hatalar İnşaat başlangıcında eksik sözleşme belgeleri |
| Tasarım | Tasarım değişiklikleri Tasarım ve detaylandırma karmaşıklığı Tasarım ve yapım detay hataları Belirsiz/uygun olmayan spesifikasyon Kötü koordinasyon ve iletişim (geç bilgi, son dakika müşteri gereksinimleri, yavaş çizim revizyonu ve dağıtım) |
| Tedarik | Sipariş hataları (spesifikasyona uygun olmayan öğelerin sipariş edilmesi) Fazla ödenekler (küçük miktarlar sipariş etmede zorluklar) Tedarikçi hataları |
| Taşıma | Taşıma sırasında hasar Teslimat araçlarının şantiyelere girişinde yaşanan zorluklar Boşaltma sırasında yetersiz koruma Verimsiz boşaltma yöntemleri |
| Şantiye Yönetimi ve Planlaması | Yerinde atık yönetim planlarının olmaması Gerekli miktarlar açısından yanlış planlama Kullanılacak malzeme ve bileşenlerin türleri ve boyutları hakkında bilgi aktarımında gecikmeler Yerinde malzeme kontrolü eksikliği Denetim eksikliği |
| Malzeme Depolama | Hasara veya bozulmaya neden olan uygun olmayan saha depolama alanı Yanlış depolama yöntemleri Uygulama noktasından uzakta depolanan malzemeler |
| Malzeme Taşıma | Dikkatsiz biçimde tedarik edilen malzemeler Depolamadan uygulama noktasına kadar yerinde taşıma yöntemleri Yetersiz malzeme taşıma |
| İnşaat Aşaması | Dikkatsizlikten kaynaklanan kazalar Kullanılmayan malzeme ve ürünler Ekipman arızası Kötü işçilik Yanlış malzemelerin kullanılması Zaman kısıtlaması Kötü iş ahlakı |
| Malzeme Artığı | Uygulama süreçlerinden kaynaklanan atıklar (yani harcın fazla hazırlanması gibi) Kesim malzemelerinin uzunluk hesaplaması hataları Ekonomik olmayan şekillerin kesilmesinden kaynaklanan atıklar Paketleme |
| Diğer | İklim ve hava şartları Vandalizm Hırsızlık |

- Yapıda kullanılan malzemenin ömrü
- Malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli
- Kullanım aşamasında enerji tüketimi
 - Kullanıcıların enerji tüketimi
 - Bina hizmetleri (HVAC, vb.) gerekliliği
- CO₂-eşdeğer Emisyonları
 - İmalat malzemesi CO₂ emisyonu
 - Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin CO₂ emisyonu açısından özellikleri
 - Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin doğal malzeme oranı
 - Malzeme taşımacılığı CO₂ emisyonu

Yan ve diğerleri tarafından 2010'da yapılan çalışmada yapının CO₂ emisyon oranlarını belirleyen faktörler;

- Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi
- Malzemenin üretim yerine olan uzaklık şeklindedir. (Yan, Shen, Fan, Wang, & Zhang, 2010)

3.1. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ VE ANALİZİ

Veri elde etme yöntemi olarak; nitel araştırma desenlerinden biri olan örnek olay incelemesi sosyal olgu ya da olayın bütüncül olarak anlaşılabilmesini sağlamak amacıyla olay ya da olguyla ilişkili bütün değişkenlerin karşılıklı etkileşiminin incelendiği bir araştırmadır (Walliman, 2006). Örnek olay incelemeleri, çağdaş olaylarla ve bu olayların ilgi odağı olan birtakım konuların nasıl ve niçin olduğu üzerine odaklanmaktadır. (Yin, 2009)'e göre örnek olay, deneysel bir incelemedir; çoklu delil kaynaklarının kullanıldığı ve gerçek hayatın içinde oluşan doğal bir olayı araştırmaktadır (Anderson, 1990). Bu çalışmada ise nitel araştırma yöntemlerinden örnek olay incelemesi kapsamında, araştırmanın amacına ve yöntemine uygun olarak

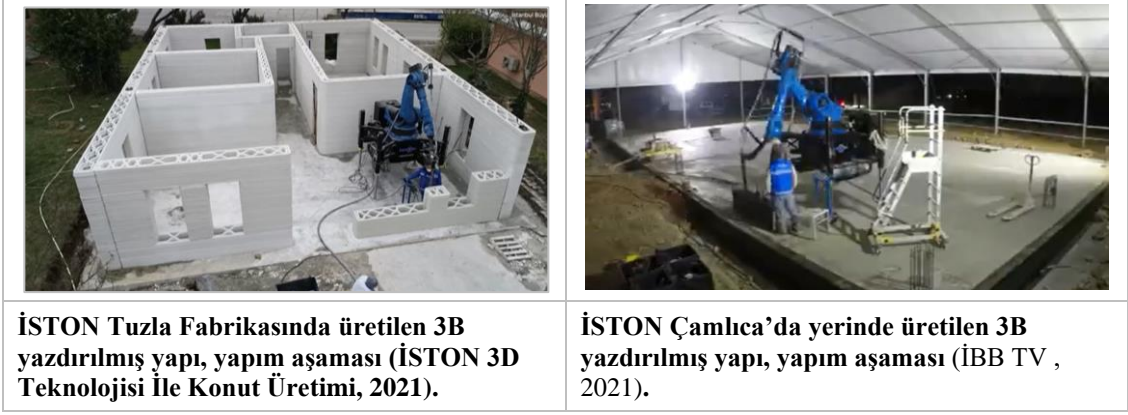
“çoklu durum araştırması” yapılmıştır. Çoklu durum araştırması, zengin içerikli veri toplanmasına ve olguların gerçek yaşamdaki bağlantıları ile ilişkilerinin anlaşılmasına olanak vermektedir (Yin, 2009). Çoklu durum araştırması sürecinde, derinlemesine inceleme yapılmış; nitel veri toplama tekniklerinden ise gözlem ve görüşme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Nitel araştırmada, en sık kullanılan görüşme yöntemi, çalışmanın özelliğine göre açık uçlu, yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış; araştırmacının konumuna göre ise katılımcı, katılımcı olmayan gibi alt gruplara ayrılmaktadır. Nitel yöntemlerden görüşme, insanların perspektiflerini, tecrübelerini, duygularını ve algılarını açığa çıkarmak için kullanılan oldukça etkili bir metottur.

Karşılaştırma sorularındaki verilere cevap verebilecek, araştırma alanı ile alakalı çalışmalar yürüten kişi ve kurumlara odaklanılmıştır. Türkiye’de afet yönetimi ve afet sonrası konut sağlayan kurumların araştırmaları yapılmıştır. AFAD, Kızılay gibi kurumların yayınladıkları raporlar ve kataloglar incelenmiş, kriterlere cevap veren bilgiler alınmaya çalışılmıştır.

3B yapı üretimi ile alakalı araştırmada ise genel literatür taramasında İtalya, Fransa, Çin, ABD, Rusya gibi ülkelerde yoğun kullanılan teknolojinin kurumları araştırılmıştır. Bu kurumların yayınladıkları raporlar ve kataloglar incelenmiştir. Formnext bünyesinde 2021’de gerçekleştirilen web seminerine katılım sağlanıp, burada verilen örnekler ve veriler incelenmiştir.

3.1.1. İSTON ile Yapılan Görüşme

Türkiye’de yapı ölçekli 3B yazıcı ile yapı üretimine odaklanıldığında, bu çalışmaları yapan kuruma ulaşılmıştır. İSTON (İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş.), İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 1986 yılında kurulmuştur. Beton ve betonarme boru, parke taş ve bordür, hazır beton, prefabrik yapı elemanları, kent mobilyaları gibi üretimler yapılmaktadır. Türkiye’de bu konuda ilk örnekleri üreten firma, AR-GE ve tasarım çalışmaları sonucunda, 2019’da 3B yazdırılmış yapılarla alakalı çalışmalarına başlamıştır. Biri fabrikada biri yapı alanında olmak üzere iki adet 3B yazdırılmış yapının üretimi gerçekleştirilmiştir (**Şekil 3. 1**). Ayrıca, 3B yazdırılmış kent elemanları da üretmişlerdir.



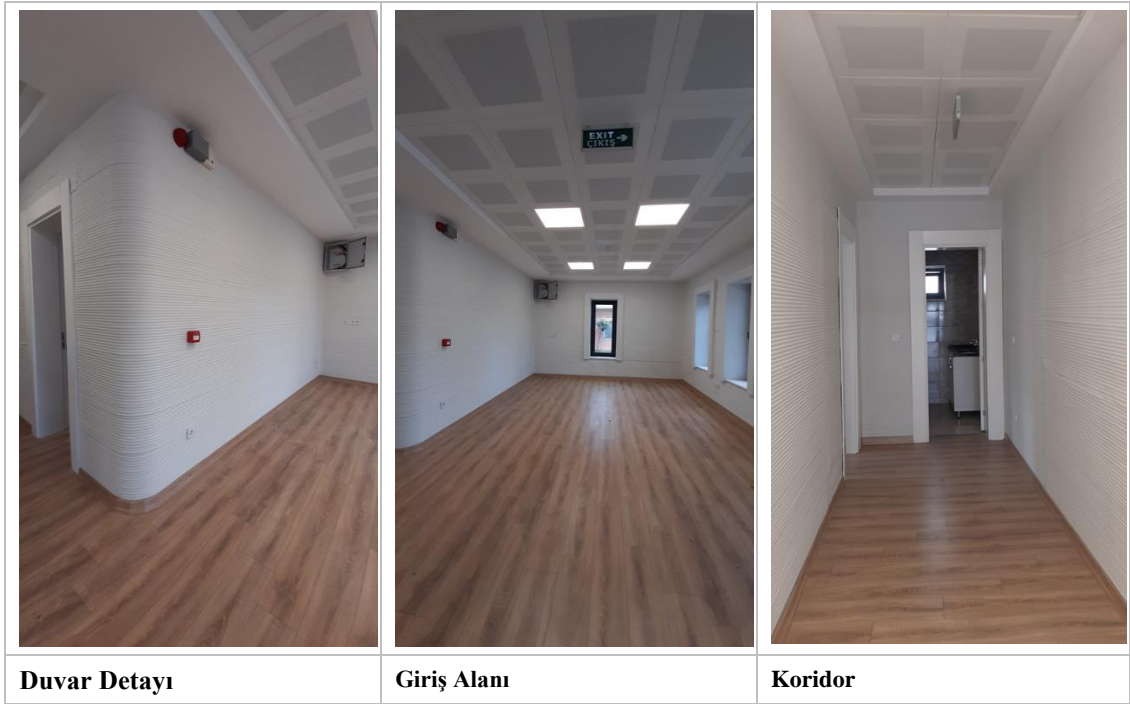
Şekil 3. 1 İSTON tarafından üretilen 3B yazdırılmış yapıların yapım aşamaları.

Tez çalışması kapsamında İSTON Tuzla fabrikasında 07.12.2021'de AR-GE Şefi Halit Dilşad YILMAZ ile 3B yazdırılmış yapı uygulamaları hakkında röportaj gerçekleştirilmiştir. Bu röportaj yüz yüze ve **Tablo 3. 4'**de belirlenmiş kriterler göz önüne alınarak hazırlanmış sorular yöneltilerek yapılmıştır. Röportajda Tuzla fabrikasındaki ve Çamlıca'daki 3B yazdırılmış yapılar ile alakalı bilgiler alınmıştır. Yüz yüze gerçekleştirilen röportaj sonrasında Tuzla fabrikasında üretilmiş olan 3B baskı yapı yerinde incelenmiştir. Ayrıca, fabrikada bulunan çeşitli 3B yazdırılmış kent mobilyaları ve İSTON tarafından geliştirilen ve kullanılan 3B yazıcı ve malzeme dağıtım sistemi de gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 2 İSTON Tuzla fabrikasında üretilen yapının dış cephesinden fotoğraflar.

Şekil 3. 2'de gösterilen fotoğraflar Tuzla'daki yapının dış cephesinden çekilmiş fotoğraflardır. Yapının önündeki üst döşemeyi taşıyan kolonun formunun yapılan AR-GE çalışmaları sonrasında oluşturulduğu ifade edilmiştir. Yapım esnasında pencere ve kapı lentolarına iskele kurulduğu ve duvarın yapımı tamamlandıktan sonra söküldüğü ifade edilmiştir. Yapıyı örten üst döşeme ise çelik karkas sistemlidir. Yapının kendisinin de karkas sistem prensipli oluşturulduğu ve 3B yazdırılmış kolon sisteminin çerçevelediği çelik taşıyıcılar kullanıldığı ifade edilmiştir. Dış duvarlar 50 cm, iç duvarlar 20 cm kalınlığında üretilmiştir.



Şekil 3. 3 İSTON Tuzla fabrikasında üretilen yapının iç mekanından fotoğraflar.

Şekil 3. 3'de görülen fotoğraflar yapının iç mekanından çekilmiş fotoğraflardır. Yapının duvarları sıva veya boya gibi ek malzemeler kullanılmadan 3B baskı hali ile bırakılmış, döşeme ve asma tavan malzemeleri eklenmiştir. Yapının tesisatı sonradan eklenmiştir. Islak hacim alanında ise duvarlara kaplama malzemesi uygulaması yapılmıştır.

Şekil 3. 4 ve **Şekil 3. 5**'de ise İSTON'un 3B yapı üretiminde kullandığı 6 eksenli robotik kol görülmektedir. Fabrikada veya taşınarak şantiyede yerinde üretim yapabilen robot, yapının duvarlarını oluştururken 4m'lik yapı üretim alanı sınırına sahiptir. Şantiye esnasında manuel şekilde taşınarak yapı üretimini tamamlaması

sağlanır. Bu robotik kolu besleyen malzeme dağıtım sistemi henüz AR-GE sürecindedir. Taşınarak yerinde üretim yapılan malzeme dağıtım sistemi ise yine geliştirilmekte olup malzeme kaynağı ve aynı zamanda enerji kaynağı sağlamaktadır.



Şekil 3. 4 İSTON'un 3B yapı üretiminde kullandığı 6 eksenli robotik kol.



Şekil 3. 5 İSTON'un 3B yapı üretiminde kullandığı 6 eksenli robotik kol önden görünüşü.

3.1.2. Verilerin Analizi

3.1.2.1. Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi

3B baskının afet sonrası geçici konutlarda uygulanabilirliği araştırılırken, konut üretimi açısından öne çıkan avantajlar ve zorluklar araştırılmıştır. Diğer yapı tekniklerinden avantajlı olduğu durumlar olsa da göz önünde bulundurulması gereken zorlukları da bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi 3B baskı yapı üretiminin inşaat sektöründe henüz yer bulamamasıdır. Çünkü bu teknoloji geliştirilmeye başlansa da yapı sektörünü tam olarak etkilememiştir (Ellis, 2020). Bununla birlikte, belirli inşaat görevlerini yerine getirmek için yazıcıların kullanımına ilişkin bir sorumluluk da vardır. İnşaatta 3B baskının bu yönü, mevzuat açıkça belirtilmediği için şu anda istikrarsızdır. Böylece 3B baskının yapı sektörünü çok fazla etkilemesini engeller (Ellis, 2020). Ayrıca, şantiyeler, yüksek güvenlik standartları altında mevzuata tabidir. 3B baskıda, farklı tekrarlanabilirlik, sabitlik vb. unsurlar nedeniyle bu tür gereksinimleri karşılamak karmaşıktır, bu da sertifikasyonun olmamasına neden olur (Cherdo, 2021).

Mevcut durumdaki 3B yazıcı teknolojisi ile yapım üretiminde literatürde ayrıca, 3B yazıcı ile tüm binanın tamamlanmayabileceği ifade edilmektedir. 3B yazıcılar yapının sadece çerçevelerini üretirler, bu nedenle yapı sadece kısmen inşa edilmiş olmaktadır. Su sisteme, elektrik tesisatı ve inşaat demiri montajı sonradan eklenir (Cherdo, 2021). Ek olarak, üretimde kalite izlemesinin zor bir iş olduğu ve gerçek kişiler tarafından düzenli olarak denetlenmez ve kontrol edilmezse kalitenin önemli ölçüde kötüleşebileceği ifade edilmiştir (Ellis, 2020).

Son olarak yerinde 3B yazdırılmış yapı üretimi tekniğine dezavantaj olarak, yapılan röportajda; yazıcının yüksek sıcaklık veya düşük sıcaklık gibi iklim şartlarından etkilenebildiği o yüzden yerinde üretim yapılırken çevre şartlarının stabil tutulması gerektiği dile getirilmiştir. Buna çözüm olarak; şantiye alanında geçici bir çadır kurulup yerinde üretim gerçekleştirilmiştir. Literatürde ise bu konu, hava koşullarının geleneksel inşaat sürecini yavaşlatabileceği ancak buna kıyasla inşaat 3B baskı üzerinde çok fazla etkisi olduğu ifade edilir. Hava durumu, çevresel yönler vb., kâr yerine kayıplara neden olabilir şeklinde ifade edilir (Ellis, 2020).

1- Süre:

İnşaat Hızı:

İnşaat hızı konusunda afet sonrası geçici konutlarda önemli olan unsur; barınak inşaatının afet öncesi hazırlık sürecinde tamamlanıp tamamlanmamış olmasıdır. Bu konuda avantajlı olan barınak çeşitleri; çadırlar ve afet öncesi hazırlık aşamasında tasarlanmış olan ilerici barınaklardır.

- Çadırlar, daha önceden afet veya acil durumlar için hazırlanmış olup, afet ve acil durum bölgesine taşınarak kurulumları 1 gün gibi kısa sürelerde gerçekleştirilir (AFAD, Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri, 2018). Afet bölgesine ulaşım için **Şekil 1. 7**'de verilen örnekte bulunduğu gibi Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde AFAD depoları bulundurulmaktadır.
- İlerici barınaklar da afet öncesinde hazırlık aşamasında tasarlanıp stok üretimi yapılabilecek yapılardır. Yapı alanına getirildikten sonra pratik montaj süreleri bulunmaktadır. İnşaat hızı açısından bu sebeple avantajlı sayılabilirler (Colella, 2015), (**Şekil 1. 16**).

Konteynerler ve prefabrik üretilmiş 3B yapılar afetten önceki hazırlık döneminde veya afet gerçekleştikten sonra afet alanına yakın bir üretim tesisinde inşa edilip yerleştirmeye hazır bir şekilde nakliye sürecinden geçebilirler.

Afet gerçekleştikten sonra yerinde inşa edilen barınak tiplerine bakıldığında ise briket yapılar ve yerinde üretilmiş 3B yapılar aynı kategoride yer alır.

- Briket yapılar, afet öncesinde herhangi bir projelenme veya tasarım süreci yaşamazlar bu sebeple inşaat hızı bakımından dezavantajlı konumdadır.
- 3B yazıcılardan üretilmiş yapılarda ise standart üretim yaklaşımları birkaç hafta veya ay gerektirse de yapı tipi 3B yazıcılar bir haftadan daha kısa sürede kaba yapıyı tamamlayabilir (Cherdo, 2021). Bu üretim ve tasarım süreci afet öncesi hazırlık aşamasında tamamlanmış olursa bu süre kısalmalıdır. Türkiye'de 3B üretilmiş yapı örneği kapsamındaki İSTON ile yapılan görüşmede inşaat süresi hakkındaki konuya, "*Çamlıca'da yapılan projede mimari görsellik önemli olduğu ve acil üretim beklenmediği için özenli*

hazırlandı. Bu sebeple süreler aynı ölçütte değerlendirilmeyebilir ama genel olarak; 150 m² olan Tuzla'da fabrikadaki yapının kaba inşaatı 1 haftada, 300 m² olan Çamlıca'daki yapı ise 18 günde tamamlandı. m² bazında kıyaslayınca hemen hemen aynı süreye tekabül ediyor. Fakat iç duvar sayısıyla çok alakası var. 150 m²'nin sadece dışının çevrilmesi 3-4 günde bitiyor. m² ve duvar sayısı sürenin belirlenmesinde önemli.” şeklinde yanıt verilmiştir.

Teslimat Hızı:

Teslimat hızı olarak çadırların konut bölgesine getirildikten sonra kurulumu 1 gün kadar kısa bir sürede tamamlanmaktadır. Teslimat hızı konusunda en avantajlı seçenektir. İlerici barınaklar tasarımlarına göre teslimat hızı açısından avantajlı ve taşıma yönünden kolay şekilde tasarlanabilir yapı üretim şekilleridir. Bu durum, ilerici barınakları avantajlı konuma getirir (Colella, 2015).

Konteynerlerin yapı alanına taşınması çadıra ve ilerici barınaklara göre daha zorken taşındıktan sonra yapı alanına yerleştirilmesi yine 1 gün içinde tamamlanmaktadır (**Şekil 1. 18**).

- Konteyner süresinde, İzmir depremi örneğine bakıldığında, deprem gerçekleşikten sonra 1 ay içerisinde konteyner kent kurulmuştur. AFAD'ın konteynerleri kullanılmıştır (Güngör, 2020). Teslimat hızı değerlendirilirken İzmir örneğinde az sayıda konteyner gerektiği ve stok konteynerlerin kullanılabilirdiği göz önünde bulundurulmalıdır. Daha fazla barınağın gerekeceği afet senaryolarında bu süreye inşaat süresinin de katılacağı düşünülmelidir.
- Prefabrik 3B yazdırma, teslimat süreci olarak konteyner yapılarla aynıdır. Daha önceden yapı alanının dışında üretilen parçaların yapı alanına taşınması ile süreç ilerlemektedir. Kompakt taşıma olanaklarının olmaması ve konteynerler gibi ağır ve rijit kütlelerin taşınması gerektiği için dezavantajlıdır. **Şekil 2. 5**'de gösterilen örnek prefabrik üretilmiş ve yerinde montajlanmış bir köprü örneğidir.
- Briket yapıların üretim kolaylığı bu konuda avantajlı sayılmasına sebep gösterilebilir. İdlib'de yapılan örnekte duvarların briketten örülmesi ve çatıların betonarme olması teslimat hızını etkilemiştir. Yalıtım malzemeleri

ve kaplamalar gibi başka eklemeler uygulanmadığı için kısa sürede teslim edilmiştir (Doğan, 2022). Yapıların bir veya iki hafta içerisinde yapılıp teslim edildiği bildirilmiştir (Doğan, 2022).

- Yerinde 3B yazdırma, teslimat hızı olarak değerlendirildiğinde lojistik konuda yalnızca 3B yazıcının alana götürülmesi konusunda bir avantaj oluşurken, yerinde üretim yapıldığı için prefabrik 3B yazdırmaya göre dezavantajlıdır. Briket barınaklara kıyasla, kullanılan malzemenin daha az olması ve işçilik gerektirmemesi ile beraber süre açısından avantajlı olduğu söylenebilir. Yapılan görüşmede yerinde üretilmiş yapının teslimat süresi ile alakalı soruya “Çamlıca’daki binanın anahtar teslimi neredeyse 39-40 gün sürdü. Müşteri istediği için içinde çok detaylı ince işçilik vardı, aydınlatmasından klima sistemine kadar.” şeklinde yanıt verilmiştir.

Barınak tiplerinden literatürde acil yardım barınakları olarak tanımlanan çadırlar teslimat hızı olarak en hızlı tiptir. Afet gerçekleştikten sonra bölgeye 1 gün içerisinde getirilen ve kurulan çadırların kullanımlarının çevre şartlarına elverişli olmaması sebebiyle birkaç haftayı geçmemesi gerekmektedir (Özge, 2019). Literatürde geçen ilerici barınaklar ise acil durum barınağı kategorisinde yer alabileceği gibi bazı tasarımların kullanımları çadırlara göre daha uzun süreler olabilir ve hatta geçici konut amaçlı tasarlananları da vardır. Bu durumda geçici konut kapsamında incelenen konteyner, briket barınak ve 3B yazdırılmış yapılar ise acil durum barınaklarına göre hız olarak daha dezavantajlıdır. Acil yardım aşamasından sonraki iyileştirme aşamasında devreye girecek bu barınakların birkaç hafta içinde teslim edilebilmesi önemlidir. **Tablo 3. 6**’da gösterilen konut alanlarının tamamlanma süreleri çadırlar ve ilerici barınaklar aynı kategoride incelendiğinde 1 gün, konteyner ve prefabrik yapılar taşıma ve üretim unsurlarıyla aynı kategoride incelendiğinde 30-60 gün, briket barınaklar ve yerinde 3B yazdırma aynı kategoride incelendiğinde ise 7-15 gün içerisinde tamamlanabileceği öngörülmektedir. Bu sayılar literatürde bulunan örnekler ve alan çalışmasındaki yapıların incelenmesi ile belirlenmiştir.

Tablo 3. 6 Barınak tiplerinin teslimat süreleri.

| Barınak Tiplerinin Teslimat Süresi | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | |
|--|------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|
| | Çadır | İlerici Barınak | Konteyner | Prefabrik 3B Yapı | Briket Barınak | Yerinde 3B Yapı |
| Konut Alanının Tamamlanma Süresi (Gün) | 1 | 1-7 | 30-60 | 30-60 | 7-15 | 7-15 |

Proje Sürecinin Planlanması:

- Çadırların daha önceden hazır bulundurulması ve kurulumları esnasında yapılacak montaj işlemlerinin tasarım aşamasında önceden belirlenmesi bu konuda avantajlı hale getirir.
- Konteyner ve ilerici barınaklarda proje süreci planlaması geleneksel yapım şekillerine göre daha olasıdır. Montajlanacak yapı elemanlarının üretimi sırasında atılacak adımlar önceden tasarlanabilir.
- Briket barınaklarda proje süreçlerini planlamak, geleneksel inşaat uygulamaları göz önüne alındığında diğer yöntemlere göre dezavantajlıdır.
- Tasarım sınırlandırılması olmasıyla birlikte süreç planlaması önceden yapılabileceği için yerinde 3B yazdırma ve prefabrik 3B yazdırma briket yapılara göre avantajlı durumdadır.

Kullanılan 3B yazıcının tipine göre oluşacak tasarım sınırlamaları olacaktır. Bu konular proje sürecinin planlamasına dahil edilmelidir. Yapılan görüşmede, robotik kolla üretim yapılan binada göz önüne alınan etkenlerden şu şekilde bahsedilmiştir; *“Robotun belli ölçüleri var, yapabildiği minimum m² var. Bizim kullandığımız robotla 70 m²’nin altına inemezsiniz. Odalara bölmek istediğimiz için böyle, siz odalara bölmeden tek bir oda yapmak isterseniz 20-30 m² yapılabilir. Robotun kendi 2,5x2,5 m² oturma alanı var, çalışma alanı 3x3 oluyor. Robot 9 m² alanı kendisi kaplıyor. Bizim kullandığımız robotik kol. Proje teslim edilme süresine ince işçilik de giriyor.”*

İSTON’da 3B yazıcı kullanılırken, teknolojinin sınırları planlamaya dahil edilerek süreç planlanmıştır. Yapılan görüşmede; *“Binanın çizimi yapılıp robota bırakılamıyor. Robotik kol olduğu için binayı duvar duvar birleştirerek yapıyoruz.*

Çalışma kol mesafesi var, otomatik gezen bir robot değil. Duvarları 4,5 m'ye kadar yapabiliyoruz ve bunları birleştiriyoruz. Robotun konumlandırılması operatörü tarafından manuel yapılıyor. Bu süreçleri de zamanlamaya katarak planlamayı yapıyoruz.” ifadelerine yer verilmiştir.

Tablo 3. 7'de barınak tiplerinin süre açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması yapılmıştır. İnşaat hızı karşılaştırması yapılırken barınakların afetten önceki hazırlık aşamasında inşaatının tamamlanmış olması unsuru göz önünde bulundurulmuştur. Afet sonrası acil müdahale aşaması için bu konu çok büyük önem taşımaktadır. Bu konuda çadırlar ve ilerici barınaklar avantajlı sayılırken briket ve yerinde 3B yazdırma afet sonrasında yerinde inşa edilecekleri için dezavantajlı sayılmıştır. Konteyner ve prefabrik 3B yazdırma ise afet öncesi hazırlık döneminde inşaatı tamamlanmış olabileceği gibi daha fazla konut gerektiren senaryolarda afetten sonra inşaatın yapılması da söz konusu olabilir. Bu sebeple avantajlı veya dezavantajlı sayılmamıştır.

Tablodaki teslimat hızı konusunda ise literatürde incelenen afet sonrası yapıların kurulum süreleri dikkate alınmıştır. **Tablo 3. 6**'daki günler değerlendirilerek oluşturulmuştur. Acil yardım aşamasında kullanılacak çadırlar ve ilerici barınaklar bu konuda en avantajlı barınaklardır. Afet sonrasında yerinde üretilmesine rağmen konteyner ve prefabrik 3B yazdırmadan daha avantajlı sayılacak briket barınaklar ve yerinde 3B yazdırılmış yapılar, lojistik açıdan ve fazla sayıda üretim yapabilme potansiyelinden dolayı bu konuda öne geçmiştir. Proje sürecinin belirlenmesi açısından ise geleneksel inşaat yöntemleri kullanılması açısından briket barınaklar bu konuda diğer barınaklara göre dezavantajlı konumdadır.

Tablo 3. 7 Barınakların süre açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (0) avantaj, (1) dezavantaj).

| Süre | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | | |
| 1 | İnşaat Hızı | + | + | o | o | - | - | | | | | | |
| 2 | Teslimat Hızı | + | + | - | - | + | + | | | | | | |
| 3 | Proje Sürecinin Planlanması | + | + | + | + | - | + | | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |

2- Maliyet:

Malzeme Maliyeti:

- Çadırlarda kumaş ve membranlar kullanılmaktadır ve taşıyıcı çubuklarla ayakta durmaktadırlar. Malzeme maliyeti olarak en düşük yapı sistemi çadırlardır (TÜRK KIZILAY, 2019).
- İlerici barınaklarda tasarım sınırlaması yoktur ve malzeme çeşitliliği söz konusudur. Çeşitli iklim tipine ve yapı kalitesine göre uygun maliyetli malzeme seçimleri yapılabilir (Seikaly, 2013).
- Konteynerlerde yapı malzemesi olarak galvaniz sac kullanılmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri ve kaplama malzemeleri ile birlikte maliyet açısından dezavantajlı konumdadır (Güngör, 2020).
- Briket barınaklarda duvarlar briketle inşa edilerek, tavanları betonarme yapılmaktadır. Herhangi bir yalıtım malzemesi veya kaplama kullanılmadan kısa sürede çok fazla tek odalı yapılar oluşturulmaktadır. Su deposu ve ıslak hacimler de eklenmektedir (Doğan, 2022). Malzeme maliyeti açısından avantajlı yapılardır.
- Literatürde, 3B yazıcıların ekonomik açıdan avantajlı binalar üretebildiği ifade edilmektedir. Bu özelliğin, afetlerden etkilenen bölgeler için son derece yararlı olduğu ifade edilmiştir. İnşaat 3B yazıcıları, üretim maliyetlerini azalttığı için ölçeklenebilir olarak nitelendirilebilir. Örneğin, geleneksel

tekniklerle inşa edilen 1 m² duvarın fiyatı yaklaşık 75 dolar iken, inşaat üreten 3B yazıcı Apis Cor'dan üretilen duvarın fiyatının 27 dolar olduğu ifade edilmiştir. (Cherdo, 2021).

Bu konuda İSTON'un ürettiği yapı özelinde maliyet konusunda; "Bizimki çimento esaslı beton bir harç. m³ açısından normal betonla kıyaslandığında çok daha pahalı. Fakat bu durum bina maliyetine doğrudan yansımıyor. Duvarın içinin boşluklu yapısı sebebiyle içi dolu m³ malzeme harcanmıyor. Bunun birim m² fiyatı daha farklı oluyor." ifadelerine yer verilmiştir. Bunların yansısı herhangi bir yalıtım malzemesi veya kaplamaya ihtiyaç duymadığı için malzeme maliyeti açısından avantajlı olduğu söylenebilmektedir.

Makine Maliyeti:

Makine maliyeti konusunda, diğer yöntemlerden ayrı olarak 3B yazıcıların dezavantajı bulunmaktadır. Bu konuda yapılan görüşmede; "*Makine maliyetini geleneksel inşaatla kıyaslama şansımız yok, böyle bir makine kullanılmıyor. Dışarıdan alınan robotik bir kol. Altı eksenli robotik kol, kaynak işi yapanlar da var. Kıyaslayamıyoruz. Fakat makinenin 1 milyonluk yatırım maliyeti var.*" ifadelerine yer verilmiştir. Literatürde de makine maliyeti bakımından 3B yazıcıların henüz yaygın bir teknoloji olmaması açısından dezavantajlı olduğu dile getirilmiştir. Bazı yapı tipi 3B yazıcıların maliyeti 1 milyon dolara kadar çıktığı için maliyetli bir ilk yatırımdır şeklinde ifade edilmiştir. (Cherdo, 2021).

Ayrıca Ellis de makinelerin satın alındıktan sonraki lojistik konusunda; 3B baskı tekniklerinin şantiyelerde yaygın olarak uygulanmasının temel sorunu, bu tür makinelerin pahalı satın alınması veya kiralanması ve bu büyük 3B yazıcıların işyerine teslim edilmesiyle ilgili lojistik şeklindeki ifadelerle makine maliyeti konusunda önemli bir konudan söz etmiştir. 3B yazıcılar pahalıdır ve fiyatlarına hammadde ve bakım maliyeti dahil değildir. Günümüzde birçok bina uzmanı, bu yöntemin avantajlarına kıyasla 3B baskının masraflarını rasyonalize etmeyi zor bulmaktadır (Ellis, 2020).

Makine Bakım Maliyeti:

Makine bakım maliyeti konusunda da diğer yöntemlerden ayrı olarak yukarıda bahsedilen sebeplerden ve henüz kompleks yapılı bir makine olması açısından 3B yazıcıların dezavantajı bulunmaktadır.

Nakliye ve Taşıma Maliyeti:

- Çadırların kurulmamış hallerinin çok yer kaplamaması sebebiyle nakliye açısından avantajlıdır (Şekil 3. 6).



Şekil 3. 6 Çadırların nakliye sürecindeki kapladığı alan (UNHCR)

- İlerici barınakların tasarımlarında yapılacak düzenlemelerle nakliye ve taşıma konusunda avantajlı konumdadırlar (Şekil 1. 14, Şekil 1. 16).
- Konteynerler, nakliye ve taşıma maliyeti bakımından yalnızca vinçlerle ve birer adet taşınabildiği ve kompakt tasarımlarda üretilmedikleri için dezavantajlı konumdadırlar (Beyatlı, 2010).
- Briket barınaklar nakliye ve taşıma maliyeti açısından dezavantajlıdır. Afet sonrasında gerekli olacak malzemelerin fazla olması bu konuda ağır malzemelerin afet bölgesine taşınmasını gerektirecektir. Bu yönden diğer üretim tekniklerine göre dezavantajlı sayılmaktadır.
- Yerinde 3B yazdırma, prefabrik 3B yazdırma ve konteynerlere göre yalnızca makine taşındığı için avantajlı konumdadır. Yerinde üretimi yapılmış yapı ile alakalı; “Çamlıca’ya robotu taşıdık ve yerinde imalat yapıyoruz. Vinçli kamyonla götürülebilir. Robota beton besleme sistemini de seyyar olacak şekilde tasarladık.” ifadelerine yer verilmiştir.

İşçilik Maliyeti:

- Çadır, konteyner ve ilerici barınaklarda yalnızca montaj ve kurulum sırasında çalışacak işçi gereksinimi bulunmaktadır. Bu sebeple avantajlı konumdadırlar.
- Briket barınaklar, geleneksel inşaat uygulamaları göz önüne alındığında kompleks inşaat süreçleri ve çok sayıda işçi gereksinimi nedeniyle dezavantajlıdır.
- 3B yazdırılmış yapılarla alakalı yapılan görüşmede işçilik maliyeti açısından avantajlı durum; “İşçilik maliyeti geleneksele göre çok daha az. Mobil santralimizde 2 kişi, robotun başında 1 kişi, 3 kişi ile bina yapabiliyoruz.” şeklinde aktarılmıştır.

Ek Uygulamaların Maliyeti:

- Çadır, konteyner ve ilerici barınaklarda; yapılar önceden hazır olduğu ve montaj gerektirdiği için ek maliyet çıkma ihtimali düşüktür. Bu yönden avantajlı olduğu dile getirilebilir.
- Briket barınaklarda, geleneksel inşaat yöntemleri göz önüne alındığında yapım süreci boyunca hatalar, planlanmamış uygulamalar vb. durumlardan dolayı ek uygulama maliyetleri oluşabilmektedir. Bu sebeplerle dezavantajlıdır denebilir.
- 3B yazıcı kullanılan yapım tekniği gelişmekte olan bir teknoloji olduğu ve örnek çalışmalar sınırlı olduğu için ek uygulama maliyetleri öngörülememektedir. Fakat sürecin üç boyutlu tasarım ve bilgisayar kontrolleri üzerinden ilerlemesi sahada oluşabilecek çakışmaları ve yeniden yapımı minimuma indirmektedir. Bu noktada 3B yazdırma teknolojisi geleneksel yapıma kıyasla maliyet tahmininin ve kontrolünün daha doğru ilerlemesini sağlamaktadır. Yapılan görüşmede, katılımcı 3B yapım sürecini iyileştirmekte olduklarını ifade etmiştir.

Tablo 3. 8'de barınakların maliyet açısından karşılaştırması verilmiştir. Malzeme maliyeti açısından çadırlar ve ilerici barınaklar maliyeti düşük malzemeler kullandıkları için avantajlıdırlar. Konteynerler maliyet açısından diğer barınak

tiplerine göre dezavantajlıdır. Briket barınaklar ise herhangi bir yalıtım malzemesi kullanılmayan yapılar olduğu ve az çeşitte malzeme kullanıldığı için maliyet açısından avantajlıdır. 3B yazdırılmış yapılar da yerel malzeme kullanma özelliği gösterdiği için bu konuda avantajlı bir üretim şeklidir.

Tablo 3. 8 Barınakların maliyet açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (G) avantaj, (K) dezavantaj).

| Maliyet | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | |
| 1 | Malzeme maliyeti | + | + | - | + | + | + | | | | | |
| 2 | Makine maliyeti | o | o | o | - | o | - | | | | | |
| 3 | Makine bakım maliyeti | o | o | o | - | o | - | | | | | |
| 4 | Nakliye ve taşıma maliyeti | + | + | - | - | - | - | | | | | |
| 5 | İşçilik maliyeti | + | + | + | + | - | + | | | | | |
| 6 | Ek uygulamaların maliyeti | + | + | + | + | - | + | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 |

3- Lojistik:

Yapıda Kullanılan Malzemelerin Bölgede Üretim/ Dışarıdan Alım Yüzdeleri:

- Çadırlar ve konteynerler taşıma açısından avantajlı tasarlandıkları için yapılarında metal malzemeler barındırırlar. Bu malzemelerin dışarıdan alım yüzdesi fazla olduğu için bu tekniklerin dezavantajlı oldukları söylenebilir.
- İlerici barınaklarda tasarıma bağlı geliştirilebilecek doğal malzeme ve yerel malzeme seçenekleri her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple avantajlı oldukları söylenebilir.
- Briket yapılarda kullanılan briket, yerel üretim tercih edilebilir. Afet sonrasında bölgenin çevresinde bulunan üretim yerinden kolaylıkla temin

edilebilir. İdlib'deki örnekte tüm yapı malzemeleri Türkiye'den taşınmıştır (Doğan, 2022).

- 3B yazıcılar beton ile üretimden ayrı değerlendirildiğinde, 3B yazıcıların doğal malzeme kullanabilme potansiyeli sayesinde, bu konuda çok önemli bir avantaj sağladığı söylenebilmektedir. Türkiye'de yapılan görüşmede İSTON'un, 3B yazıcıda malzeme kullanımında betonu tercih ettiği söylenebilir. Bu konuda betonun dışarıdan alım yüzdesi ile alakalı; *“Beton yapılabilir ve bulunabilecek bir malzeme. Maliyetin yüksek olmasının sebebi yurtdışından gelen kimyasal malzemeler. Malzemenin bulunmasında sıkıntı yok ama fiyatları kurdan vs.den etkileniyor. Teknoloji yaygınlaştığında fiyatların düşmesini bekliyoruz. Beton üretiminde o bölgedeki kumdan ve taştan yararlanılabilir. Çimento da bulma ihtimali çok yüksek.”* ifadelerine yer vermiştir. Betonarme yapılarla hemen hemen aynı olan bu sistemin, aynı duvar hacminde kullandıkları daha az beton tüketimi sayesinde, geleneksel betonarme yapım sisteminden daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Kullanılacak Teknolojik Ekipmanı Taşıma Olanakları:

Bu konuda diğer yapı üretim çeşitlerinden farklı olarak, 3B yazıcıların taşınması ile alakalı ayrı bir düzenleme gerekmektedir. Mevcut 3B yazıcılar göz önüne alındığında, afet sonrası konut üretiminde fazla sayıda makinenin alana taşınması gerektiğinden bu konuda dezavantajlı olduğu söylenebilir.

İSTON ile yapılan görüşmede, daha önce bahsedilen yerinde üretim yapılan Çamlıca projesi baz alınarak makinenin taşınması hakkında; *“Çamlıca'ya robotu taşıdık ve yerinde imalat yapıyoruz. Vinçli kamyonla götürülebilir. Robota beton besleme sistemini de seyyar olacak şekilde tasarladık.”* şeklinde ifadeler yer verilmiştir. Burada özellikle malzeme dağıtım sistemlerinin inşaat taşıtı olarak tasarlanmış olması başka örneklerde de görülmektedir (**Şekil 2. 14**), (Apis Cor, 2021). Bu durumun göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu konuda 2021'de yapılan BEAM sempozyumunda, küçük boyutlu 3B yazıcıların geliştirilmesi ile alakalı Doerfler & Dielemans yaptığı çalışmaları sunmuştur. Hızlı üretim söz konusu olduğunda makine sayısının artırılması gerektiğinden mevcut büyük boyutlu makinelerin taşınması dezavantajlıdır. Buna

karşılık yeni üretilecek **Şekil 3. 7**'deki gibi daha küçük boyutlu yazıcılar bu konudaki dezavantajı giderebilir (Doerfler & Dielemans, 2021).



Şekil 3. 7 3B yazıcı tasarımı önerisi (Doerfler & Dielemans, 2021).

Prefabrikasyon ve taşıma planlaması:

- Çadırlar ve ilerici barınaklar bu konuda avantajlıdır.
- Konteyner ve prefabrik 3B yazdırılmış parçalar rijit ve ağır yapı elemanları oldukları için diğer yöntemlere kıyasla dezavantajlı oldukları söylenebilir.
- Briket barınaklar bu konuda malzeme kaynağının açısından avantajlı olsalar da ağır yapı malzemelerinin bölgeye taşınması konusunda 3B yazdırılmış yapılara göre dezavantajlı sayılırlar.
- Yerinde üretim 3B yazdırma ise bu konuda avantajlı sayılır. Bu konuda İSTON ile yapılan görüşmede; “Prekast üreticisiyiz. Tüm imalatlarımız kalıplı, hepsi fabrikada üretiliyor. Altyapı kanalizasyon boruları vs. duvarlar üretilebilir. Çin’de çoğu böyle yapılıyor. Fabrikada yazıcıda üretilip yine nakliye edilebiliyor ama nakliye maliyeti yüksek. Yerinde yapılabilirken dorseyi ve robotu taşıyıp bir daha nakliye yapmıyoruz.” diyerek yerinde üretim 3B baskının daha avantajlı olduğu dile getirilmiştir.

3B yazıcılardan üretim konusunda ayrıca WASP, 3B yazıcının üretim yapılacak bölgeye taşınması ile alakalı çalışmalar yapmıştır (WASP 3D, 2021). Bu konuda ayrıca Demyanov & Popov mobil kurulum 3B yazıcılarla alakalı 2019’da çalışma yapmıştır (Demyanov & Popov, 2019).

Tablo 3. 9'da barınakların lojistik açıdan karşılaştırması yapılmıştır. Yapıda kullanılan malzemelerin afet bölgesinde üretim veya dışarıdan alım yüzdesi olarak konteynerler dezavantajlı sayılırlar. İlerici barınaklar ve 3B yazdırılmış yapılar bölgedeki doğal malzemeleri kullanarak öneri geliştirecekleri için bu konuda avantajlıdır. Briket barınaklar da afet bölgesinde bulunması kolay malzemelerden üretilebileceği için bu konuda avantajlı konumdadırlar. Mevcut kullanılan çadırlardaki malzemeler de dışarıdan alım yüzdesi yüksek malzemeler oldukları için dezavantajlıdır. Kullanılacak teknolojik ekipmanı taşıma konusunda ise mevcut kullanılan 3B yazıcıların taşıma zorluğundan dolayı yerinde 3B yazdırma dezavantajlıdır.

Prefabrikasyon ve taşıma planlamasında ise çadırlar ve ilerici barınaklar avantajlı konumda sayılmaktadır. Konteyner, briket ve prefabrik 3B yazdırılmış yapılar ağır ve taşınması zor olmaları açısından bu konuda dezavantajlıdır. Bu durumda yerinde 3B yazdırılmış yapılarda yalnızca makineyi alana taşıyıp malzemeyi alandan almak söz konusu olduğunda çok fazla yapı üretimi açısından avantajlı bir taşıma planlaması olduğu söylenebilir.

Tablo 3. 9 Barınakların lojistik açıdan avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (○) avantaj, (●) dezavantaj).

| Lojistik | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | |
|------------------------------------|---|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|---|---|---|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | |
| 1 | Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi | - | + | - | + | + | + | | | | |
| 2 | Kullanılacak teknolojik ekipmanı taşıma olanakları | + | + | + | + | + | - | | | | |
| 3 | Prefabrikasyon ve taşıma planlaması | + | + | - | - | - | + | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |

4- Üretim Kolaylığı ve İş Gücü:

Yapım Sürecinde Kullanılması Gerekli Uzman İşçi İhtiyacı:

- Çadır, konteyner ve ilerici barınaklar yalnızca kurulum gerektirdiği ve kurulum sırasında kullanılan teknolojik ekipman konusunda deneyimli olunabilecek ekipmanlar gerektirdikleri için bu konuda avantajlıdırlar. Briket barınaklar da bu konuda avantajlıdırlar.
- 3B yazıcı kullanımında ise bu konuda literatürde bahsedilen nokta; 3B baskının işgücü konusunda bir avantaj sağlasa bile, gereken belli becerilere sahip uzman kişilere ihtiyaç duyduğu dile getirilmektedir. Bu nedenle günümüzde yüksek nitelikli adayların bulunmasının zor olması sebebi ile dezavantajlı bulunmaktadır (Ellis, 2020).

İSTON ile yapılan görüşmede, uzman işçi ihtiyacı konusunda; “2 tane operatör robot kullanmayı bilen var. kendi bünyemizde çalışan işçilerden bu işe yatkın olanlara eğitim vererek işçileri bulduk. İşçileri bulmakta bir sorun yaşamadık. Robotun tedarikçisi eğitimi de veriyor. Yazılımını mimar ekip arkadaşımıza gösterdik, o kullanıyor. CAD programında yapılan çizimi CAM programına aktarıyorsunuz. Çizimi yapan kişinin kendisinin kullanması daha da avantajlı.” şeklinde ifadelerle yer verilmiştir.

Yapı Üretimine Yerel Halkın Katılımı:

- Çadırlar ve ilerici barınakların kurulumları yerel halkın katılımıyla oluşturulabilir. Bu konuda literatürde, ilerici barınaklar ve geçiş barınakları hakkında örnekler verilmiş ve bazı durumlarda yerel kaynaklarla ve iş gücü ile yapı üretim şekillerinin kullanılması önerilmiştir (IFRC, Post-disaster shelter: Ten designs, 2013). Briket barınaklar da bu durumda bu kategoride avantajlı değerlendirilebilir.
- Konteynerlerde ise yapının üretimi afet bölgesi dışında yapıp afet alanına taşıma yapılmaktadır. Bu konuda yerel halkın katılımı söz konusu değildir.
- 3B yazıcılarla alakalı yapılan görüşmede ise; “Robot kullanımı zor. Robot teknolojisi 3 kişiyle çalıştırılabilir. Robot kullanımında olmasa da beton üretiminde dışarıdan biri sağlanabilir.” ifadelerine yer verilmiştir. Bu konuda

ayrıca, dezavantaj olarak 3B baskının, özellikle az gelişmiş bölgelerde veya yüksek düzeyde işsizliğin olduğu şehirlerde, bölgesel ekonomiyi muhtemelen kötüleştirebileceği dile getirilmiştir. 3B yazıcıların, manuel çalışmanın gerekliliğini azalttığı için vatandaşlar için daha az iş ürettiği de ifade edilmiştir (Cherdo, 2021).

Yapı Bileşenlerinin Türkiye Genelinde Üretim Yaygınlığı ve Yıllık Üretim Kapasitesi:

- Çadırlar ve konteynerler bünyelerinde galvaniz sac bulundurmaktadır ve doğal malzeme kullanımında düşük yüzdeler barındırmaları sebebiyle dezavantajlı sayılabilir.
- Briket yapılar bu konuda avantajlıdır. İlerici barınaklar ise afet gerçekleşen bölgede bulunan malzemeleri kullanabilecekleri için bu konuda avantajlı sayılırlar.
- Betondan üretim dışında doğal malzeme açısından düşünüldüğünde, 3B yazıcıdan üretilmiş yapılar yerel malzeme kullanma açısından avantajlı konumda sayılabilirler.

Tablo 3. 10'da barınakların üretim kolaylığı ve iş gücü açısından karşılaştırması yapılmıştır. Yapım sürecinde kullanılması gerekli uzman işçi ihtiyacı konusunda 3B yazdırılmış yapılar, teknolojik ekipmanları kullanma zorluğu açısından diğer barınak yöntemlerinden daha dezavantajlı sayılmaktadır. Yapı üretimine yerel halkın katılımı konusunda ise yine 3B yazdırılmış yapılar dezavantajlıdır. Konteynerler de bu konuda dezavantajlı sayılır. Yapı bileşenlerinin Türkiye genelinde üretim yaygınlığı ve yıllık üretim kapasitesi açısından çadırlar ve konteynerler diğer üretim çeşitlerine göre dezavantajlı sayılmaktadır.

Tablo 3. 10 Barınakların üretim kolaylığı ve iş gücü açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (●) avantaj, (●) dezavantaj).

| Üretim Kolaylığı ve İş Gücü | | Acil Durum Barınakları | | | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | |
|------------------------------------|--|------------------------|---------------------------|---|-----------|----------------------------------|---|----------------|---------------------|--------------------------------|---|---|---|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | |
| 1 | Yapım Sürecinde Kullanılması Gerekli Uzman İşçi İhtiyacı | + | + | | + | | - | + | | - | | | |
| 2 | Yapı Üretimine Yerel Halkın Katılımı | + | + | | - | | - | + | | - | | | |
| 3 | Yapı Bileşenlerinin Türkiye Geneline Üretim Yaygınlığı ve Yıllık Üretim Kapasitesi | - | + | | - | | + | + | | + | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 |

3.1.2.2. Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları

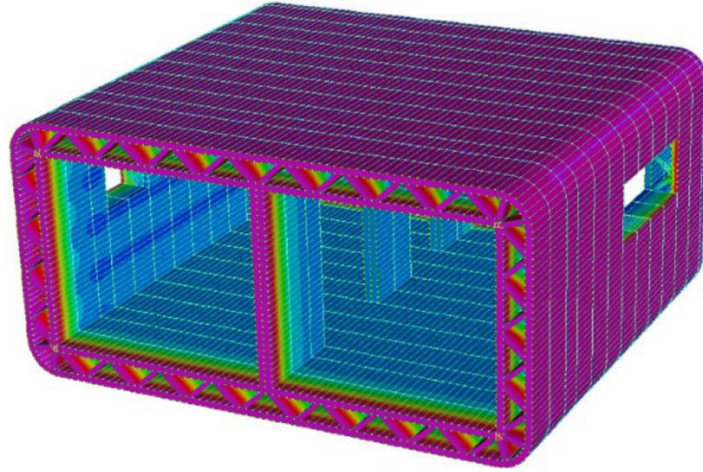
1- Yapı Kalitesi:

Yapı Tasarımında Yalıtım Özellikli Planlama:

- Çadırlar bu konuda dezavantajlıdır. Yalıtım ve çevresel koşullara uygun olmadıkları için uzun süreli kullanıma uygun değildir (Özge, 2019).
- Konteynerler, betonarme yapılar ve prefabrik yapılar yalıtımı ekstra malzemelerle sağlayabilmektedirler. Kendiliğinden yalıtımlı yapı öğeleri üretmede dezavantajlı konumdadırlar.
- 3B yazıcıların yapı üretiminde bu konuda avantajlı olduğu söylenebilir. Boşluklu duvar yapısı sayesinde bir yalıtım malzemesi gerektirmez. Bu özellik; *“Boşluklu duvar yapısı. İşe ilk başladığımızda duvar kalınlıklarımız fazlaydı, değerlerini bilmediğimiz için. ODTÜ ile bu konuda projemiz var. Yalıtım testleri yapılacak yığma yapı olarak kabul edildiği zaman. Yalıtım*

testlerini yaptırarak malzememizi daha da inceleyebildik. Sonuçları elimizde var, deprem tarafını bekliyoruz. Mantolama gerektirmiyor, Akdeniz’de duvar kalınlığı daha ince olabilir.” şeklinde dile getirilmiştir ve fabrikada ilk yapılan yapının duvar kalınlığını 50 cm yaptıkları ve sonrasında Çamlıca’da uygulanan yapıda 30 cm’ye indirdiklerini ifade etmiştir.

3B yazdırılmış yapılarda bu konuda **Şekil 3. 8**’de Tahmasebinia ve diğerleri tarafından 2019’da yapılmış ısı yalıtımı modeli gösterilmektedir. 3B yazıcının sağladığı bu duvar oluşturma sistemi, ısı yalıtımında malzeme kullanmadan yalıtım sağlayan bir sistemdir. Şekilde görülen renkler; yapının dışındaki sıcaklık değerleri ve iç mekandaki sıcaklık değerlerinin farkını temsil etmektedir (Tahmasebinia, ve diğerleri, 2019).



Şekil 3. 8 3B yazdırılmış yapılarda ısı yalıtımı modeli (Tahmasebinia, ve diğerleri, 2019).

Yapıda Kullanılan Malzemenin Yalıtım Özellikleri:

- Çadırlar, malzemeleri kumaş olduğu için bu konuda dezavantajlıdır (DPA, 2017). Çadırların uzun süreli kullanılmasındaki en büyük dezavantaj bu konudur. Isıtma problemlerinden dolayı çadırların dezavantajlı olmasına birçok örnek mevcuttur. Bu konuda yaşanmış en güncel örnek ise İdlib’de yaşanan yoğun kar yağışı sonrasında ısıtma sorunları yaşayan yerinden edilmiş nüfustur (**Şekil 3. 9**), (Daily Sabah, 2022).



Şekil 3. 9 İdlib’de yerinden edilmiş nüfusun çadır kentlerde ısıtma sorunları yaşaması (Daily Sabah, 2022).

- Konteynerler ekstra yalıtım malzemeleri kullanırlar. Bu konuda çadırlara göre avantajlı sayılırlar.
- İlerici barınaklar da bu konuda yalıtım malzemesi kullanabilir ve çadırlara göre avantajlı sayılabilirler. Bu konuda Shiekaly’nin önerdiği barınak tipi ısı yalıtımlı malzeme kullanımına örnek verilebilir (Seikaly, 2013).
- Briket barınaklar yalnızca duvarların briketten örülmesi ile oluşturulur. Süre ve maliyet kaygıları sebebi ile herhangi bir yalıtım malzemesi kullanılmasa da çadırlardan daha avantajlı olduğu söylenebilir. Bu konuda çadırların ısı problemlerine çözüm olarak kolay ve ulaşılabilir bir barınak olması açısından yardım kuruluşları tarafından kullanımı tercih edilmektedir (Doğan, 2022).
- 3B yazıcıdan üretilmiş yapı ile alakalı İSTON ile yapılan görüşmede ise, “3B yazıcıda kullanılan betonun geleneksel betonla kıyaslanabilecek yalıtım özelliği yok, eksisi yok varsa artısı vardır. Beton sınıfı olarak yüksek.” ifadelerine yer verilmiştir.

Rüzgâr, Deprem vb. Dayanıklılık:

- Çadırlar bu konuda dezavantajlıdır. Çevresel şartlara karşı dirençli olmadıkları için uzun süreli kullanıma uygun değildir (Şekil 1. 12).
- İlerici barınakların da acil yardım kategorisinde incelendiğinde bu konuda hafif malzemedен üretildikleri için çadırlarla aynı konumda olduğu ve dezavantajlı sayıldığı söylenebilir.

- Konteyner ve briket yapılar bu konuda çadırlara kıyasla avantajlı konumdadır. Afet sonrası kullanımda tercih edilmektedirler.
- 3B yazıcıdan üretilmiş yapılar da çevre şartlarına dayanıklıdır. Deprem konusunda ise; “Deprem için araştırmalarımız devam ediyor. Deprem yönetmeliğinde beton tipi C30, bu betonun sınıfı C45 C50’ye kadar çıkıyor. 1m²’lik duvar numuneleri Ankara’ya gidiyor deprem testlerine tâbi tutulacak.” ifadelerine yer verilmiştir.

Sağlıklı Zarar Vermez (Örneğin Toksik) Maddeler:

- Çadır, konteyner ve ilerici barınaklar toksik malzeme içermedikleri için bu konuda avantajlıdır. Briket barınaklarda ise bu konu 3B yazıcılar ile aynı değerlendirilebilir.
- 3B yazıcılarla alakalı İSTON ile yapılan görüşmede; kullanılan kimyasallar toksik mi? Sorusuna beton kullanımını baz alındığında; “Normal betondan ya da yapı sektöründen farklı malzemeler kullanılmadığı için bu konuda mevcut betonarme yapılardan bir farkı yok.” cevabı alınmıştır.
- Ayrıca, ilerici barınaklarda ve 3B yazıcılarda doğal malzeme kullanabilme potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda bu konuda diğer yöntemlerden daha avantajlı olabileceği belirtilmelidir.

Yangına Dayanıklılık:

- Bu konuda; afet sonrası geçici barınma şekillerinden yaygın kullanılan çadırlar dezavantajlı konumdadır. Bu konuda yaşanan en güncel örnek olarak **Şekil 3. 10**’de gösterilen Bangladeş’te yaşanan çadır kent yangını verilebilir. Bu yangında yaklaşık 1000 adet çadır yanmıştır (Kamruzzaman, 2022).



Şekil 3. 10 Bangladeş'te çıkan çadır kent yangını 9 Ocak 2022 (Kamruzzaman, 2022).

- Bu konuda, ilerici barınakların da taşıma önceliği olduğu için örneklerde kumaş vb. malzemeleri kullandığı tespit edilmiştir. Bu konuda çadırlarla aynı kategoride ve dezavantajlı sayılabilir (Seikaly, 2013).
- Konteynerler ve briket yapıların çadırlar ve ilerici barınaklara kıyasla yangına daha dayanıklı olduğu söylenebilir.
- 3B yazdırılmış yapının ise yapılan görüşmede yangına dayanıklılık esaslarının normal betonla aynı değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu konuda beton veya toprak malzemenin çadırlara göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Tablo 3. 11'de barınakların yapı kalitesi açısından karşılaştırması yapılmıştır. Yapı tasarımında yalıtım özellikli planlama konusunda 3B yazıcıların eklemeli imalat prensibinde boşluklu duvar yapısı açısından sunduğu avantaj bu konudaki en önemli unsurdur. Yapı kalitesi açısından değerlendirildiğinde 3B yazıcıyı diğer tekniklerden daha avantajlı duruma getirdiği söylenebilir. Yapıda kullanılan malzemenin yalıtım özellikleri açısından ise dezavantajlı konumda olan yapılar çadırlardır. Bu sebeple çadırların uzun süreli kullanılması önerilmemektedir (Beyatlı, 2010). Çevre şartlarına dayanıklılık konusunda ise taşıma avantajının öncelikli göz önünde bulundurulması sebebiyle hafif malzemeler kullanılan çadırlar ve ilerici barınakların dezavantajlı oldukları söylenebilir. Sağlıklı zarar vermez maddelerin kullanılması açısından mevcut yapı malzemeleri ve üretim tekniklerini kullanan bütün barınak örnekleri bu konuda avantajlıdır. Yangına dayanıklılık konusunda yine

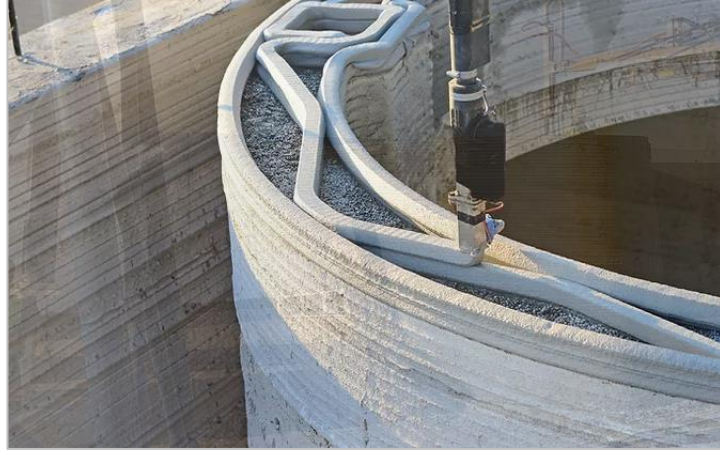
hafif malzemelerin kullanılması söz konusu olduğundan çadırlar ve ilerici barınakların diğer tekniklere göre dezavantajlı oldukları söylenebilir.

Tablo 3. 11 Barınakların yapı kalitesi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (●) avantaj, (■) dezavantaj).

| Yapı Kalitesi | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | | |
|------------------------------------|--|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | | |
| 1 | Yapı tasarımında yalıtım özellikli planlama | - | - | - | + | - | + | | | | | | |
| 2 | Yapıda kullanılan malzemenin yalıtım özellikleri | - | + | + | + | + | + | | | | | | |
| 3 | Rüzgâr, deprem vb. dayanıklılık | - | - | + | + | + | + | | | | | | |
| 4 | Sağlıklı zarar vermez (örneğin toksik) maddeler | + | + | + | + | + | + | | | | | | |
| 5 | Yangına dayanıklılık | - | - | + | + | + | + | | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 0 | 3 | 2 | 5 | 0 |

2- Tasarım Olanakları:

Literatürde bu konuda 3B yazıcıların üretimi ile alakalı; tasarım esnekliği de dikkate değerdir çünkü kullanıcılar farklı şekillerde duvarlar ve özel cepheler geliştirebilirler. 3B üretim ile duvarların benzersiz formlarına uygun mobilyalar üretmek de mümkündür ifadeleri yer almaktadır (Cherdo, 2021). Ayrıca, 3B olarak üretilen binaların çoğunun cephesi, geleneksel evler kadar bile değildir, bu nedenle dezavantajlardan biri kaba bir dış cepheye sahip olmasıdır ifadeleri de bulunmaktadır (Cherdo, 2021). Yapı ölçekli 3B yazıcıların ilk çıkışına baktığımızda, bu konuda “*freeform architecture*” amacı ile ortaya çıkmıştır (Tablo 2. 2). Bu durum 3B yazıcıların tasarım olanakları açısından avantajlı olduğunu desteklemektedir (Şekil 3. 11).



Şekil 3. 11 Apis Cor 3B yazıcıdan üretilen duvar örneği (Apis Cor, 2021).

Yeniden Kullanım veya Dönüşüme Adapte Edilebilir Tasarım:

- Çadır, konteyner ve prefabrik yapılar bu konuda sökülüp tekrar kullanılacakları durumlarda avantajlı sayılabilirler. Ancak çoğu durumda çadırların uzun süreler dayanımları mümkün olmadığı için bu durumun yüzdesinin çok düşük olduğu söylenebilir. Literatürde de çadırların kalıcı konutlara dönüşümü söz konusu olamayacağı için bu konuda dezavantajlı oldukları belirtilmektedir (IFRC & RCS, Transitional Shelters Eight Designs, 2013).
- Dönüşüme adapte edilebilir tasarımlar konusunda ise, literatürde de bahsedilen kalıcı konutlara dönüşebilen ilerici barınaklar avantajlı sayılabilir (IFRC & RCS, Transitional Shelters Eight Designs, 2013).
- Briket barınakların ve konteynerlerin geleneksel inşaat malzemeleri ve tekniklerinin kullanılması göz önünde bulundurulduğunda bu konuda dezavantajlı konumda oldukları söylenebilir.
- Beton kullanan 3B yazıcı üretiminde ise, “İçerisinde demir donatısı olmadığı için yeniden kullanıma uygun bir yapı. Sertleştikten sonra kırıp tekrar agrega olarak kullanabiliriz ya da tazeyken de üretim sırasında şantiye atığı çok az. Hata olması durumunda beton tazeyken geri besleyip pompalayıp tekrar yazdırabiliyoruz. Bu açılarından geri dönüştürülen bir malzeme.” ifadelerine yer verilmiştir.

Yapı Tasarımında Tesisat vb. Planlama İmkânı:

- Geleneksel yapım yöntemlerinin tesisat planlama konusunda BIM sistem veya CAD yazılım gibi uygulamalarla çalışılmadığı için bu konuda dezavantajlı sayılabilmektedirler.
- 3B yazıcı, bilgisayarda uygulaması daha önce tasarlanıp sonradan yine bilgisayar programı ile hayata geçirilen bir uygulama olduğu için; tasarım aşamasında daha önceden tesisat planlama gibi imkanlar sağlamaktadır. İSTON ile yapılan görüşmede ise elektrik tesisatının sonradan boşluklu yapıdaki duvarların içinden kolayca geçirilebildiği ifade edilmiştir.

Tablo 3. 12'de barınakların tasarım olanakları açısından karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 3. 12 Barınakların yapı kalitesi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj).

| Tasarım Olanakları | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | | |
|------------------------------------|--|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|---|---|---|---|---|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | | |
| 1 | Yeniden Kullanım veya Dönüşüme Adapte Edilebilir Tasarım | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| 2 | Yapı Tasarımında Tesisat vb. Planlama İmkânı | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |

3.1.2.3. Çevresel Sürdürülebilirlik

1- Enerji Tüketimi

İnşaat Aşamasında Atık Planlama:

- Çadır, konteyner ve ilerici barınaklarda planlı ve seri üretim esas alındığı ve yapı alanında yalnızca montajlama yapıldığı için bu konuda avantajlı konumda oldukları söylenebilir.
- Briket barınakların inşaat aşamasında atık planlama konusunda dezavantajlı oldukları söylenebilir.
- 3B yazdırılmış yapılarla alakalı İSTON ile yapılan görüşmede, şantiye koşullarından bahsederken; “Geleneksel şantiyeye göre daha az atık çıkıyor. Şantiyenin en büyük atık malzemesi olan kalıp ahşap atıkları, tuğla duvar örmeye ortaya çıkan kırık tuğla, dökük sıva, mantolamada kullanılan yalıtım malzemesi atıkları oluşmamakta sadece mobil santralin temizliği sırasında ortaya çıkan az miktarda beton atığı oluyor.” Literatürde de bu konu ile alakalı; inşaat 3B yazıcıları, elemanlar talep üzerine üretildiğinden üretkendir ve sonuç olarak daha az atık vardır ifadelerine rastlanmıştır (Cherdo, 2021).

Yapıda Kullanılan Malzemenin Ömrü:

- Çadırlar bu konuda dezavantajlıdır ve uzun ömürlü değildir. Kullanım olarak uzun süreli kullanım tavsiye edilmemektedir. İlerici barınakların da bu konuda hafif ve geçici malzemeler kullanılması açısından çadırlarla aynı kategoride olduğu söylenebilir.
- Konteyner ve briket barınaklar malzeme ömürleri bakımından çadırlardan daha avantajlıdır.
- İSTON ile yapılan görüşmede, 3B yazdırılmış beton yapılarla alakalı; “Projelerde kullanılan C-50 betonunun ömrü 100 yıldır.” ifadelerine yer vermiştir. Bu konuda yığma yapı mantığı ve doğal malzeme kullanabilme seçeneği sunabildiği için 3B yazıcıdan yapı üretimi avantajlı sayılabilir.

Malzemenin Yeniden Kullanım ve Geri Dönüşüm Potansiyeli:

- Çadırlar, konteynerler ve briket barınaklar geri dönüşümlü malzeme kullanmazlar. Bu konuda dezavantajlıdırlar.
- İlerici barınaklarda geri dönüşümlü ve doğal malzemelerin kullanılması söz konusudur. Bu konuda çadırlara göre avantajlıdırlar.
- 3B yazıcılardan üretilmiş yapıların ise doğal malzeme kullanımı potansiyeli olması açısından bu konuda avantajlı olabileceği söylenebilir.

Kullanıcıların Enerji Tüketimi:

- Çadırlarda ısıtma koşullarının zorluk derecesi yüksektir. Bu konuda dezavantajlıdır.
- İlerici barınakların tasarımları enerji tüketimini azaltmaya yöneliktir. Bu konuda avantajlı sayılırlar.
- Konteynerler ve briket yapılar çadırlara göre avantajlı sayılsa da bu konuda enerji tüketimine yönelik düzenlemeye ve tasarıma ihtiyaç duymaktadır.
- İSTON ile yapılan görüşmede bu konuda üretim esnasında herhangi bir ısıtmaya ihtiyaç olmadığı kış aylarının soğuk geçtiği iklimlerde ekstra ısıtmaya ihtiyaç duyulabildiği belirtilmiştir. Ek olarak inşaat sürecinde robot ve mobil santralde elektrik tüketimi olduğu ifade edilmiştir.

Bina Hizmetleri (HVAC, vb.) Gerekliliği:

- Çadırlarda bu durum dezavantajlıdır.
- İlerici barınaklarda yapılan tasarımlarla bu konu çadırlara göre avantajlı konuma getirir.
- Konteyner ve briket barınaklarda bina hizmetleri gerekliliği bulunmaktadır.
- 3B yazdırılmış yapılarda ise yapılan görüşmede, İSTON'un ürettiği Çamlıca'daki projede merkezi klima, kaloriferli kombili ısıtma sistemi müşteri talebi ile eklendiği ifade edilmiştir. Ayrıca, ısıtma gerekliliği açısından çalışmalara devam edildiği dile getirilmiştir.

Tablo 3. 13'de barınakların enerji tüketimi açısından karşılaştırması yapılmıştır. İnşaat aşamasında atık planlama konusunda briket barınak diğer yöntemlere göre dezavantajlıdır. Yapıda kullanılan malzemenin ömrü konusunda

çadırlar ve ilerici barınaklar diğer yöntemlere göre dezavantajlıdır. Malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli konusunda ilerici barınaklar ve 3B yazdırılmış yapılar doğal malzeme kullanımı açısından değerlendirildiğinde diğer yöntemlere göre avantajlı oldukları söylenebilir. Kullanıcıların enerji tüketimi ve bina hizmetleri konusunda da yine ilerici barınaklar ve 3B yazdırılmış yapılar diğer yöntemlere göre avantajlıdır.

Tablo 3. 13 Barınakların enerji tüketimi açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (G) avantaj, (K) dezavantaj).

| Enerji Tüketimi | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | | |
|------------------------------------|---|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | | |
| 1 | İnşaat aşamasında atık planlama | + | + | + | + | - | + | | | | | | |
| 2 | Yapıda kullanılan malzemenin ömrü | - | - | + | + | + | + | | | | | | |
| 3 | Malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| 4 | Kullanıcıların enerji tüketimi | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| 5 | Bina hizmetleri (HVAC, vb.) gerekliliği | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 1 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0 | 1 | 4 | 5 | 0 |

2- CO2 Eşdeğer Emisyonları

Yapıda Kullanılan Malzeme Tiplerinin CO2 Emisyonu Açısından Özellikleri:

- Çadır ve konteyner yapılarda kullanılan malzemelerin CO2 emisyonu yüksektir. Bu konuda dezavantajlıdırlar.
- İlerici barınaklar ve briket barınakların bu konuda çadırlara ve konteynerlere kıyasla avantajlı oldukları söylenebilir.
- 3B yazdırılmış beton yapılarla alakalı ise yapılan görüşmede; betonda karbon ayak izini oluşturan etkilerden %80-85'inin çimento olduğu, Çimentonun bağlayıcı malzeme olduğu için betondan ayrılamadığını, başka malzemeler kullanımının düşünüldüğü projelerin mevcut olduğu dile getirilmiştir.
- 3B yazıcılardan doğal üretilebilecek yapılarda kullanılan malzemelerin CO2 emisyonu açısından avantajlı olabileceği ifade edilirken prefabrik yapılar ve 3B prefabrik üretimin CO2 emisyonu açısından dezavantajlı olabileceği ifade edilmiştir.

Yapıda Kullanılan Malzeme Tiplerinin Doğal Malzeme Oranı:

- Bu konuda geleneksel yapılar dezavantajlıdır. Prefabrik yapılarda ise tasarıma bağlı olarak doğal malzemeye uygun yapıların üretilmesi mümkündür.
- İnşaat 3B baskısının ilk avantajı çevre dostu bir yaklaşım olmasıdır. 3B baskılı binalar, doğal, çevre dostu ham ürünlerden üretilebilir. Ayrıca, bazı 3B baskılı evler alternatif enerji kullanımıyla çalışır ve minimum CO2 emisyonu üretir (Cherdo, 2021).

Yapıda Kullanılan Malzemelerin Bölgede Üretim/ Dışarıdan Alım Yüzdesi:

Bu konu hakkında lojistik kısmında bahsedilmiştir. CO2 emisyonunu da etkileyen bu konu bu kısımda da ele alınmıştır.

Yapı Alanının Malzemenin Üretim Yerine Olan Uzaklığı:

- Bu konuda Türkiye’de (Şekil 1. 7) çadır kullanımı açısından avantajlı bir yönetim oluşturulmuştur.
- Konteyner, ilerici barınak ve prefabrik 3B üretim bu konuda taşıma gerektirdiği ve çadırlar gibi bir planlama yapılmadığı için dezavantajlı sayılabilir.
- Briket barınaklar ve yerinde üretim 3B yapılar bu konuda avantajlı sayılmaktadır.

Tablo 3. 14’de barınakların CO2 eşdeğer emisyonları açısından karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 3. 14 Barınakların CO2 eşdeğer emisyonları açısından avantaj- dezavantaj karşılaştırması (+; avantaj, -; dezavantaj, o; avantaj veya dezavantaj oluşmamış (■) avantaj, (■) dezavantaj).

| CO2 Eşdeğer Emisyonları | | Acil Durum Barınakları | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | | | |
|------------------------------------|---|------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | İlerici Barınak Örnekleri | Konteyner | Prefabrik 3B Yazdırma | Briket Barınak | Yerinde 3B Yazdırma | | | | | | |
| 1 | Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin CO2 emisyonu açısından özellikleri | - | + | - | - | + | + | | | | | | |
| 2 | Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin doğal malzeme oranı | - | + | - | + | - | + | | | | | | |
| 3 | Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi | - | + | - | + | + | + | | | | | | |
| 4 | Yapı alanının malzemenin üretim yerine olan uzaklığı | + | - | - | - | + | + | | | | | | |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 1 | 3 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 0 |

3.2. BULGULAR

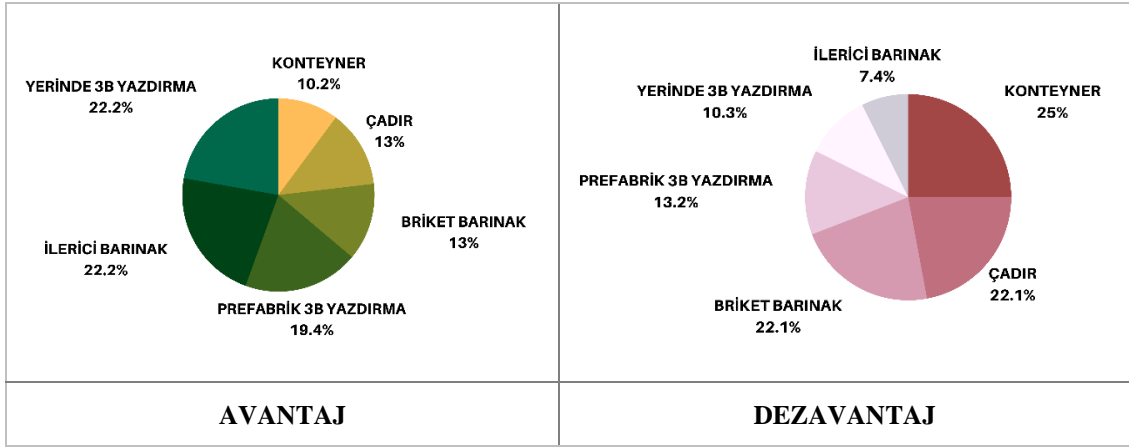
Alan çalışmasında elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda, afet sonrası geçici konut üretiminde halihazırda Türkiye’de kullanılan yöntemler ve literatürde önerilen yöntemler ile önerilecek yeni bir yöntem olan 3B yazıcıdan üretilmiş yapılar belirlenen yapı üretim kriterleri açısından karşılaştırılmıştır. **Tablo 3. 15**’de barınak çeşitlerinin; süre, maliyet, lojistik, üretim kolaylığı ve iş gücü, yapı kalitesi, tasarım olanakları, enerji tüketimi ve CO2 eşdeğer emisyonları açısından yukarıda analiz edilen ve bulgularanan avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Tablo 3. 15 Bulgular Avantaj-dezavantaj listesi (🟢 avantaj, 🔴 dezavantaj).

| Bulgular | | Acil Durum Barınakları | | | | Prefabrik Üretim Geçici Konutlar | | | | Yerinde Üretim Geçici Konutlar | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------|---------------------------|----------|----------------------------------|-----------|-----------------------|----------|--------------------------------|-----------|---------------------|----------|
| No | Karşılaştırma Kriterleri | Çadır | | İlerici Barınak Örnekleri | | Konteyner | | Prefabrik 3B Yazdırma | | Briket Barınak | | Yerinde 3B Yazdırma | |
| 1 | Süre | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 2 | Maliyet | 4 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | Lojistik | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | Üretim Kolaylığı ve İş gücü | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| 5 | Yapı Kalitesi | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 5 | 0 | 3 | 2 | 5 | 0 |
| 6 | Tasarım Olanakları | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| 7 | Enerji Tüketimi | 1 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0 | 1 | 4 | 5 | 0 |
| 8 | CO2 Eşdeğer Emisyonları | 1 | 3 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 0 |
| Toplam (Avantaj-Dezavantaj) | | 14 | 15 | 24 | 5 | 11 | 17 | 21 | 9 | 14 | 15 | 24 | 7 |

Tabloda toplam değerlere bakıldığında; yerinde 3B yazdırma yönteminin ve ilerici barınakların diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. **Şekil 3. 12**’de barınakların bulgularanan avantaj ve dezavantajlarının % grafikleri verilmiştir. Avantaj olarak bakıldığında; yerinde 3B yazdırma ve ilerici barınaklar en

avantajlı, dezavantaj olarak bakıldığında ise konteynerler ve çadırlar en dezavantajlı yapım sistemleri olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. 12 Bulgulanan avantaj ve dezavantajların % grafikleri.

3B yazıcı teknolojisinin, afet sonrasında yerinde üretilen geçici konutlarla aynı sürelerde teslim edilmesi bu kategoride üretilebileceğinin bir göstergesi sayılabilir.

Bu teknolojinin yapı alanında iş gücü ve kaynak kullanımını azaltması, kullanımını destekleyecek başka bir nokta olacağı söylenebilir. Bunun karşılığında literatürde de desteklenen afet sonrası konut üretiminde katılımcı yaklaşımın önüne geçtiği de görülmektedir.

Bir başka konu olan maliyet konusunda ise, teknolojinin hala makine edinme maliyeti olarak dezavantajlı olduğu, ancak malzeme kullanımı ve eklemeli inşaat esaslarının sağlayacağı imkanlarla daha az maliyetli yapıların üretilmesinin mümkün olacağı görülmektedir. Uzman işçi konusunda da teknolojik kullanımın dezavantaj oluşturduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, diğer yöntemlere kıyasla daha çevreci bir yaklaşım olabileceği ve ürettiği yapıların atık oluşturmada avantajlı olabileceği de bulgulanmıştır. İlerici barınaklar kapsamında yapılan çalışmaların da bu konuda avantajlı olduğu söylenebilir. Buna karşılık gerçekleştirilen örneklere bakıldığında genel olarak ilerici barınakların tercih edilmediği; geleneksel çadırlar ve konteynerlerin kullanımına kıyasla ikinci planda kaldıkları da görülmektedir.

Son olarak bulguların en önemli konu, literatürde de sıkça dile getirilen acil durum yapıları kapsamındaki çadırların çevre şartlarından etkilenme ve yapı kalitesi söz konusu olduğunda kullanımlarının birkaç haftayı geçmemesi gerektiğidir. Bu konuda yerinden edilmiş nüfusun barındırılması kapsamında güncel yaşanmış olayların, çadırların kullanımı konusundaki bu dezavantajı tekrar ispatladığı görülmektedir. Tez çalışmasında incelenen geçici konut kapsamındaki konteynerler, briket yapılar, ilerici barınaklar veya 3B yazdırılmış yapıların kullanılmasının bu konuda çözüm oluşturabileceği görülmüştür.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sonuç olarak, yapı üretiminde henüz yeni bir teknoloji olan 3B yazıcı teknolojisi, yapı üretim alanında gelişimini sürdürmektedir. Afet sonrası gibi durumlarda, büyük bir nüfusun kısa bir süre içinde konutlarını kaybetmelerinin sonucunda; yapılacak yapıların üretiminin kısa bir süre içinde tamamlanması ve günümüz şartlarına ayak uyduracak gelişmiş yapı sistemleri olması gerekmektedir. Bu tezin amacı, 3B yazıcılar ile yeni bir bakış açısı geliştirmek ve mevcut geleneksel yöntemlerin oluşturduğu dezavantajların çözümünü sunmaktır.

Yapılan araştırmalar ve incelenen örnekler sonucunda, hızlı, düşük maliyetli, yapı kalitesi yüksek, sürdürülebilir yapı üretimi imkanları verebilecek bir teknoloji olduğu tespit edilmiştir. Ancak, henüz gelişen bir teknoloji olduğu için, geliştirilmesi gereken konular da bulunmaktadır.

Türkiye’de bu sistemin geliştirilmesi ve son zamanlarda yaşanan afetlerin ve yerinden edilmiş nüfusun barınma ihtiyacını karşılayacak bir öneri olması, bu konumda hala yaşamını sürdüren insanların hayat şartlarını iyileştirme konusunda önemlidir.

ÖNERİLER

Diğer tekniklerden daha avantajlı olduğu bulgularanan “yerinde 3B yazdırma” önerilmiştir. Bu sistemin uygulanması için gerekli şartlar açıklanmış, afet sonrası geçici konut üretimi kapsamında gerekli kriterlerin en uygun ve pratik ölçülerde sağlanabilmesi için gerekli şartlar tartışılmıştır. Her bir kriterin sağlanması için gereken uygulanabilir ve basit anlaşılır çözümler, grafikler veya illüstrasyonlar şeklinde ifade edilmiştir.

Konut Üretimi ve Yapım Yönetimi:

3B yazdırılmış yapıların; süre, maliyet, lojistik ve üretim kolaylığı ve iş gücü açısından bazı konularda dezavantajlı oldukları tespit edilmiştir. Bu konularda 3B yazıcıların daha iyi hale getirilmesi açısından yapılacak öneriler sıralanmıştır.

1- Süre:

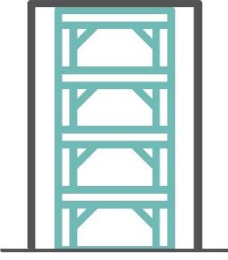
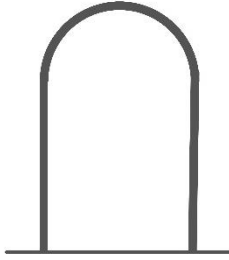


İnşaat hızı konusunda; bir anda yapılması gerekecek ve sayısı fazla olacak konutların üretiminde inşaat hızını artıracak tasarımsal öneriler sunulmuştur.

Teslimat hızı konusunda; kaba inşaatın bitmesinden sonra büyük ölçüde kullanıma hazır olan 3B yazdırılmış binalar, yapının üretimi bittikten sonra büyük ölçüde yeni eklemeler gerektirmeden kullanılabilirlerdir.

Proje sürecinin planlanması konusunda ise 3B yapı üretimi aynı zamanda yapı bilgi modellemesi ile proje sürecini kolayca planlama imkanı ve hesaplamaların tutarlı yapılmasını destekleyen bir üretim çeşididir.

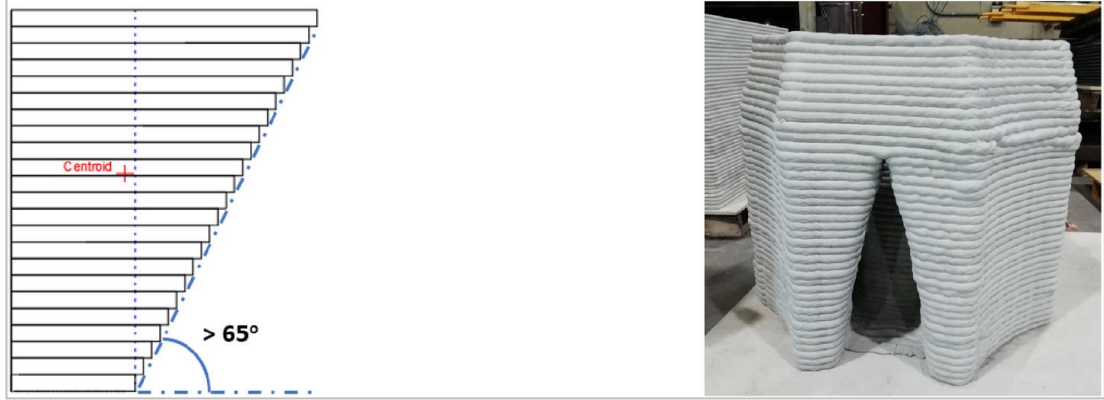
Tablo 4. 1'de yerinde 3B yazdırılacak yapılara süre açısından yapılan öneriler gösterilmiştir.

Tablo 4. 1 Yerinde 3B yazdırmada süre konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz).

| 3B Yazdırılan Yapılarda Süre Konusunda Yapılan Öneriler | | | |
|--|---|--|---|
| Konu/ Açıklama | Kullanılan | Önerilen | Etki |
| Kapı ve Pencere Boşlukları: Üretim sırasında 3B yazıcının yığma yapı esaslarına göre tasarımın geliştirilmesi diğer örneklerle kıyasla ekstra iskele kullanımını önlemektedir. |  |  | Süre Maliyet Üretim Kolaylığı ve İş Gücü |
| | İSTON (TÜRKİYE) APIS COR (DUBAI) | WASP TECLA (İTALYA) | |
| Üst Döşemenin Tasarımı: Üst döşemenin kubbe şeklinde olması da aynı şekilde ekstra üst döşemeye ihtiyaç duyulmasını engellemektedir. |  |  | Süre Maliyet Üretim Kolaylığı ve İş Gücü |
| | İSTON (TÜRKİYE) | WASP TECLA (İTALYA) | |

Bu konu ile alakalı Duarte ve diğerleri tarafından 2021'de yapılan eklemeli inşaatın gerektirdiği yığma yapı esasları çalışması ve tarihi formların incelenmesi ile yapılan çalışma örnek gösterilebilir. TECLA projesinin, birçok tarihi örneğin ve 3B yazdırılmış yapıların incelendiği bu çalışmada, 3B yazdırılacak yapıların

oluşturulurken dikkat edilmesi gereken formları tespit edilmiştir (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021). Bu konuda yapılan denemelerden biri Şekil 4. 1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 Duarte ve diğerleri tarafından önerilen eklemeli inşaat esaslarına göre geliştirilmiş 3B yazdırılmış yapı formları (Duarte, Brown, Memari, & Duarte, 2021).

2- Maliyet:

Malzeme maliyeti: Malzeme maliyetinin düşürülmesi için afet bölgesindeki malzemelerin kullanılması önerilir.

Makine ve bakım maliyeti: 3B yazıcıların kullanımının artırılması ve kullanıldığı alan veya işlevine göre geliştirilecek tasarımların artırılması ile makine maliyetlerini düşürmek mümkündür. Makine tasarımı olarak kullanımı kolay olan 3B yazıcıların yazılımlarının oluşturulması dışında diğer inşaat makinelerine kıyasla maliyetli bir bakım gerektirecek özellikleri bulunmamaktadır.

Nakliye ve taşıma maliyeti: Yerinde üretim yapacak 3B yazıcının ve seyyar malzeme dağıtım sisteminin taşınması dışında herhangi bir konut malzemesi veya ünitesi olmayacağı için nakliye ve taşıma maliyeti düşük olacaktır.

İşçilik maliyeti: Yalnızca makinenin operatörü ve yapı üretimini izleyen bir kontrolör gerektiren insan gücü gerektirmeyen bir sistemdir.

Ek uygulamaların maliyeti: Yapının üretilmeden önce bilgisayar ortamında birebir modellenmiş düzeyde olması, olası ek maliyetlerin önüne geçmektedir.



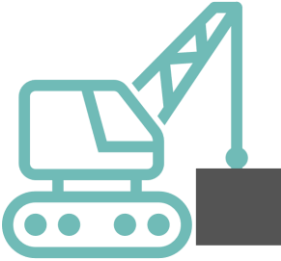

3- Lojistik:

Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi: Yerinde üretim yapabilen 3B yazıcılar, büyük ölçüde yerel malzemelerin kullanılmasını destekleyecektir.

Kullanılacak teknolojik ekipmanı taşıma olanakları: mevcut 3B yazıcıların taşıma konusunda dezavantajları bulunmaktadır. Afet bölgelerinde kısa sürede fazla üretim yapılacağı için bu konuda dezavantajlıdır. Bunun dışında, yazıcıyı besleyen güç kaynağı ve malzeme sağlan birimlerin de taşınması veya seyyar hareket edecek şekilde tasarlanması gerekir. Prefabrikasyon ve taşıma planlaması: Yerinde üretim yapıldığında herhangi bir prefabrikasyon süreci gerekmemektedir.

Tablo 4. 2'de yerinde 3B yazdırılacak yapılara lojistik açıdan yapılan öneriler gösterilmiştir.

Tablo 4. 2 Yerinde 3B yazdırmada lojistik konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz).

| 3B Yazdırılan Yapılarda Lojistik Konusunda Yapılan Öneriler | | | |
|--|---|--|--|
| Konu/ Açıklama | Kullanılan | Önerilen | Etki |
| Büyük Boyutlu-Mobil 3B Yazıcılar: Mevcut yapı üreten yazıcıların büyük hacimlerde olması taşımada dezavantaj oluştururken mobil 3B yazıcılar bu konuda avantajlı konumdadır. |  |  | Süre Maliyet Lojistik |
| | MEVCUT 3B YAZICILAR | MOBİL 3B YAZICILAR (Doerfler & Dielemans, 2021) | |
| Prefabrik- Yerinde 3B Yazdırma: 3B üretilmiş beton kütlelerin veya konteynerlerin üretim yerinden yapı alanına taşınması yerine yerinde 3B yazdırma önerilmektedir. |  |  | Süre Maliyet Lojistik |
| | PREFABRİK 3B YAZDIRMA WIN SUN | YERİNDE 3B YAZDIRMA WASP APIS COR İSTON | |

4- Üretim Kolaylığı ve İş Gücü:

Yapım sürecinde kullanılması gerekli uzman işçi ihtiyacı: Teknolojik ekipmanın kullanılması açısından bu konuda dezavantajlıdır (Akbaş, 2021).

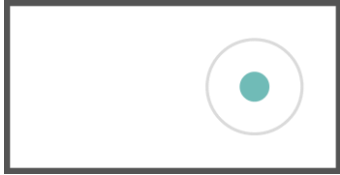



Yapı üretimine yerel halkın katılımı: Bu konuda teknolojik ekipmanların kullanımını açısından yerel halkın katılımı konusunda dezavantaj oluşmaktadır.

Yapı bileşenlerinin Türkiye genelinde üretim yaygınlığı ve yıllık üretim kapasitesi: Yapıda eğer beton kullanılacaksa halihazırda kullanılan C-50 tipi betondan üretilebilir. Dünya’da 3B yazıcı kullanımında doğal malzeme kullanan örnekler de mevcuttur (WASP 3D, 2021).

Tablo 4. 3’de yerinde 3B yazdırılacak yapılara üretim kolaylığı ve iş gücü açısından yapılan öneriler gösterilmiştir. Barınaklarda gereken fonksiyonların sağlanması ayrıca kısa sürelerde çok sayıda yapı üretilmesi gerektiği için maliyet ve yapı üretimi olarak pratik süreçler ve metrekareler önerilmektedir. Yapı alanı planlaması bu konuda iş gücü açısından önemli bir unsur oluşturmaktadır.

Ayrıca, yerinde üretimin önerildiği bu sistemde, yapı alanında üretim yapılabilecektir. Ancak, henüz 3B üretimin sıcak, soğuk hava gibi çevre şartlarından etkilenmesi nedeniyle açık alanda yapılması sağlanamadığından, koruma oluşturacak bir sistem içerisinde gerçekleştirilmelidir. İSTON ile yapılan röportajda; yazıcının yüksek sıcaklık veya düşük sıcaklık gibi iklim şartlarından etkilenebildiği o yüzden yerinde üretim yapılırken çevre şartlarının stabil tutulması gerektiği dile getirilmiştir. Buna çözüm olarak; şantiye alanında geçici bir çadır kurulup yerinde üretim gerçekleştirilmiştir. Bu soruna çözüm olarak çevre şartlarından koruyan örtünün tasarlanması gerektiği önerilmiştir.

Tablo 4. 3 Yerinde 3B yazdırmada üretim kolaylığı ve iş gücü konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz).

| 3B Yazdırılan Yapılarda Üretim Kolaylığı ve İş Gücü Konusunda Yapılan Öneriler | | | |
|--|--|--|---|
| Konu/ Açıklama | Kullanılan | Önerilen | Etki |
| <p>Yapı Alanı Planlaması:</p> <p>Yapı alanında İSTON'un robot kolunun 4m'ye kadar duvar oluşturabildiği ve daha sonrasında makinenin manuel taşındığı ifade edilmektedir. WASP ise, geliştirdiği altıgen sistemle barınak üretiminde seri üretimi hedefleyen bir tasarım yapmıştır.</p> |  <p>ROBOTİK KOL SEYYAR YAZICILAR İSTON APIS COR</p> |  <p>DELTA YAZICI CRANE WASP</p> | <p>Süre Üretim Kolaylığı ve İş Gücü</p> |
| <p>Çevre Şartlarından Koruyan Örtünün Tasarlanması:</p> <p>İSTON, yerinde üretim yapılırken çevre şartlarının stabil tutulması amacıyla; şantiye alanında geçici bir çadır kurmuştur. WASP ise yerinde üretim konusunda delta yazıcıyı tasarlarken çevre koşullarından koruyan örtüleri yazıcının bünyesine eklemiştir.</p> |  <p>İSTON YERİNDE ÜRETİM</p> |  <p>DELTA YAZICI CRANE WASP YERİNDE ÜRETİM</p> | <p>Maliyet Lojistik Üretim Kolaylığı ve İş Gücü</p> |

Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları

1- Yapı Kalitesi:

Yapı tasarımında yalıtım özellikli planlama: Bu özellik, kalıplama ile üretimden ayrılan en önemli noktadır. Boşluklu yapıda ve fazla malzeme harcamadan üretilebilecek kalın duvarlar sayesinde herhangi bir yalıtım malzemesine gerek kalmadan üretim yapılabilecektir.

Yapıda kullanılan malzemenin yalıtım özellikleri: Beton malzeme olacağına C-50 beton tipinin yalıtım özellikleri geçerlidir. Doğal malzeme konusunda da yalıtımlı malzeme çalışmalarına uygun bir sistemdir.

Rüzgâr, deprem vb. dayanıklılık: Yapının yığma mantığında üretilmesi ve duvarlarının kalın olabilmesi açısından dış etkenlere karşı koruması yüksektir.

Sağlıklı zarar vermez (örneğin toksik) maddeler: Doğal malzeme kullanımının önünü açan teknoloji, halihazırda yapı üretiminde kullanılan beton yapısından başka bir madde kullanmamaktadır.

Yangına dayanıklılık: Toprak, beton vb. malzemelerden yığma yapı mantığında üretilebilecek yapının, halihazırda kullanılan kumaş çadırlar gibi yapılara kıyasla yangına dayanımı yüksektir.





2- Tasarım Olanakları:

Yeniden kullanım veya dönüşüme adapte edilebilir tasarım: Bu konuda **Şekil 1. 23'**de, afet sonrası barınak kavramlarının örtüşme durumları ve terminolojilerin bağlantılarının gösterimi verilmiştir. Yeni yapılacak tasarımlar, bu sınırları belirsiz terminolojiye eklenirken, birden fazla birçok kategoriye girebilir. Terminolojiyi kabul etmede önemli olan bağlamdır (IFRC, 2013). 3B yazıcılardan üretilecek afet sonrası geçici konutların planlaması IFRC raporuna göre oluşturulacak bir çekirdek barınak veya geçiş barınağı şeklinde tasarlanabilir. Daha sonradan kalıcı konuta dönüştürülebilen çekirdek barınak gibi tasarımlar önerilmektedir.

Yapı tasarımında tesisat vb. planlama imkânı: Yapı tasarımına 3 boyutlu modelde kolayca tasarlanıp eklenebilecek sistemlerle bu sürecin baştan yürütülmesi sağlanabilir.

Yapı kalitesi ve tasarım olanakları açısından yapılacak öneriler, 3B yazıcının sağladığı pratik yöntemleri öne çıkarmayı amaçlamaktadır. 3B yazdırılmış yapıların; yapı kalitesi ve tasarım olanakları açısından bazı konularda eklemeli imalat ve bilgisayarlı tasarımı kullandıkları için diğer yöntemlerden doğal olarak ayrılan bazı avantajları tespit edilmiştir. Bu konuların açıklaması **Tablo 4. 4'**de gösterilmiştir. Bu öneriler 3B yazıcılardan üretilcek yapıların avantaj yönünden daha iyi hale getirilmesi açısından yapılacaktır.

Tablo 4. 4 Yerinde 3B yazdırmada yapı kalitesi ve tasarım olanakları konusunda yapılan öneriler (Grafik Anlatım: Özlem Akın, Ayşegül Yılmaz).

| 3B Yazdırılan Yapılarda Yapı Kalitesi ve Tasarım Olanakları Konusunda Yapılan Öneriler | | | |
|--|--|---|--|
| Konu/ Açıklama | Kullanılan | Önerilen | Etki |
| Duvar Kalitesi: 3B yazıcıdan üretilen aynı kalınlıktaki duvarların geleneksel duvar üretimine göre daha az malzeme kullandığı tespit edilmiştir. Tasarımın olanak sağladığı boşluklu yapı, doğal ısı yalıtımı sağlamaktadır. |  |  | Maliyet Üretim Kolaylığı ve İş Gücü Yapı Kalitesi |
| | KALIP KURULARAK VEYA YIĞMA OLUŞTURULAN DUVAR PLANI | 3B YAZICI İLE OLUŞTURULAN DUVAR PLANI | |
| Tesisat Planlaması: Bir yapının oluşturulması için CAD programdan CAM programa aktarılmış olması ve yapı üretiminin bu yöntemle gerçekleştirilmesi gerektiğinden, 3B yazıcılar bu konuda avantaj ve pratiklik sağlamaktadır. |  |  | Süre Üretim Kolaylığı ve İş Gücü Tasarım Olanakları |
| | TESİSATIN SONRADAN EKLENMESİ İSTON (TÜRKİYE) | TESİSAT PLANLAMASI WASP TECLA (İTALYA) APIS COR (DUBAI) | |

Cevresel Sürdürülebilirlik:

1- Enerji Tüketimi:

İnşaat aşamasında atık planlama: İnşaat aşamasında yapının önceden planlanmış olmasının kattığı imkanla beraber, olabilecek bir hatada malzeme donmadan müdahale edilip tekrar kullanılarak atık oluşmasının önüne geçilmektedir.

Yapıda kullanılan malzemenin ömrü: Malzemenin ömrü, Beton malzemede C-50 betonu ömrü ile aynı olup, malzeme üretim çalışmaları ile artırılabilir ve doğal malzemeler kullanılabilir.

Malzemenin yeniden kullanım ve geri dönüşüm potansiyeli: Malzeme, yapının kullanımı tamamlandığında agrega olarak kullanılabilir (İSTON ile yapılan görüşme).

Kullanıcıların enerji tüketimi: Planlama aşamasında yalıtımlı üretilecek yapının, konumlanacağı yere göre enerji tüketimi değişecektir. Türkiye'deki belirli bölgelere göre bu tasarımlar farklılaşacaktır. İSTON ile yapılan görüşmede duvar kalınlığının 30 cm olduğu ve yapılacak testler sonucunda bu kalınlığın farklı iklimlere göre değişebileceği ifade edilmiştir.

Bina hizmetleri (HVAC, vb.) gerekliliği: Kullanıcının tercihine veya iklim koşullarına göre değişebilir bir gerekliliktir. Yapılara kolayca eklenebilir.

2- CO2 Eşdeğer Emisyonları:

Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin CO2 emisyonu açısından özellikleri: Bu konuda beton dışında malzemelerin kullanılabilmesi, CO2 emisyonunu düşürebilecek bir öneridir.

Yapıda kullanılan malzeme tiplerinin doğal malzeme oranı: Bu üretim sistemi, doğal malzeme kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Yapıda kullanılan malzemelerin bölgede üretim/ dışarıdan alım yüzdesi: Bu üretim sistemi, doğal malzeme kullanımını kolaylaştırmakta ve yerel malzemelerin kullanımına destek vermektedir. Yapı alanının malzemenin üretim yerine olan uzaklığı: Afet bölgeleri değişebileceği için bölgede bulunan malzemenin kullanımı bu konuda avantaj sağlanması konusunda önemlidir.

KAYNAKÇA

- Acerer, S. (1999). Afet Konutları Sorunu Ve Deprem Örneğinde İncelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- AFAD. (2013). *Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP)*. AFAD. 2021 tarihinde <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-plani> adresinden alındı
- AFAD. (2018). *Türkiye'de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri*. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Akbağ, R. (2021). Türk İnşaat Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin Şantiyede Kullanımına Yönelik Bir İnceleme. *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Akdağ, S. E. (2002). *Mali Yapı ve Denetim Boyutlarıyla Afet Yönetimi*. Ankara: Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü.
- Allouzi, R., Al-Azhari, W., & Allouzi, R. (2020). Conventional Construction and 3D Printing: A Comparison Study on Material Cost in Jordan. *Journal of Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/1424682>
- Anderson, G. (1990). *Fundamentals of Educational Research*. London: The Felmer Press.
- Apis Cor. (2019). THE WORLDS LARGEST 3D PRINTED BUILDING: <https://www.apis-cor.com/dubai-project> adresinden alındı
- Apis Cor. (2021). Apis Cor 3D Printer: <https://www.apis-cor.com/3dprinter> adresinden alındı
- Arvin, S., & House, D. (2002). Modeling architectural design objectives in physically based space planning. *Automation in Construction*(11), 213–225. doi:[https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00099-6](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00099-6)
- Assaf, S., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*(24), 349–357. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>
- BAM. (2021). BAM Nuttall: <https://www.bamnuttall.co.uk/innovation/3dcp/> adresinden alındı
- Ban, S. (2013). Emergency Shelters Made from Paper. *TEDxTokyo*. 2021 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=q43uXdOKPD8> adresinden alındı

- Baradan, B. (2002). Geçici afet konutunun yapım sistemleri açısından incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Baradi, K. (2016, February). 3D Printing as a Construction Process for Structural Members. *IJSRD*, 10-16. 2022 tarihinde https://www.researchgate.net/profile/Kaninik-Baradi-2/publication/328315049_3D_Printing_as_a_Construction_Process_for_Structural_Members/links/5bc5f09392851cae21a83844/3D-Printing-as-a-Construction-Process-for-Structural-Members.pdf adresinden alındı
- BATIPRINT3D. (2021). BATIPRINT3D: <https://www.batiprint3d.com/en> adresinden alındı
- Beghini, A., Marsh, S., Miki, M., Walker, S., Han, I. X., Adriaenssens, S., & Parascho, S. (2021). Formnext The Glass Vault. *BE-AM 2021 SYMPOSIUM AND EXHIBITION* (s. 24-34). Technical University of Darmstadt, DDU, ISM+D, Generative Design Lab, UTSA, Formnext.
- Beyatlı, C. (2010). Acil Durum Barınakları ve Bir Barınak Olarak Acil Durum Konteynir Öneri Modeli. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*(11), 209–225. doi:<https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Brogden, L., & Kennedy, R. (2021). A humanitarian shelter terminology framework. *Humanitarian architecture*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819078-4.00001-0>
- Bsi. (2014). *Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites*. The British Standards Institution. Bsi Standarts Publication.
- Buswell, R., Soar, R., Gibb, A., & Thorpe, A. (2007). Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction. *Automation in Construction*, 16, 224-231. doi:[doi:10.1016/j.autcon.2006.05.002](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.002)
- Chan, D., & Kumaraswamy, M. (2002). Compressing construction durations: lessons learned from Hong Kong building projects. *International Journal of Project Management*(20), 23-35. doi:[https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00032-6)
- Cherdo, L. (2021, Eylül 2). *The 13 best construction 3D printers in 2021*. aniwaa: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/3d-printers/house-3d-printer-construction/> adresinden alındı
- Chiusoli, A. (2021). *WASP 3D*. WASP 3D TECLA: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/> adresinden alındı
- Colella, B. (2015). Barberio Colella ARC Designs Pop-Up Home to Rebuild Nepalese Lives in "Just a Minute". (P. Lynch, Dü.) *archDaily*. 2021 tarihinde <https://www.archdaily.com/775698/barberio-colella-arc-designs-pop-up-home-to-rebuild-nepalese-lives-in-just-a-minute> adresinden alındı

- Corsellis, T. (2012). *Transitional Shelter Guidelines*. Geneva: Shelter Centre. 2021 tarihinde https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbd1486/files/our_work/Shelter/documents/Transitional%20Shelter%20Guidelines%20-%202012.pdf adresinden alındı
- Creswell, J. (2009). *Research Design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3 b.). Los Angeles, USA: Sage.
- Çetindaş, C. (2019). Afet Sonrası Kalıcı Konutlarda Katılımcı Yaklaşım. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Daily Sabah* - AA. (2021, 01 29). Turkey's briquette houses offer warm shelter for Syrians in Idlib: https://www.dailysabah.com/politics/turkeys-briquette-houses-offer-warm-shelter-for-syrians-in-idlib/news?gallery_image=undefined#big adresinden alındı
- Daily Sabah*. (2022, 01 31). Displaced Syrians burn clothes to keep warm in Idlib camps: <https://www.dailysabah.com/world/syrian-crisis/displaced-syrians-burn-clothes-to-keep-warm-in-idlib-camps> adresinden alındı
- Davis, I. (1978). *Shelter after disaster*. Oxford: Oxford Polytechnic Press.
- de Dear, R., & Brager, G. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. 2021 tarihinde <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6> adresinden alındı
- Deksi, A. (2016). *Olağanüstü Durumlarda Barınma İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım Önerisi: 3D Yazıcı ile Uygulamalar*. İstanbul: İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Demyanov, A., & Popov, I. (2019). OVERVIEW OF GLOBAL DESIGN EXPERIENCE AND A DESIGN OF A MOBILE CONSTRUCTION 3D PRINTER. *Architecture and Engineering*, 4(4), 22–29. doi:DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-4-22-29
- Dikmen, N. (2005). *A Provision Model and Design Guidelines for Permanent Post-Disaster Housing in Rural Areas of Turkey Based on an Analysis of Reconstruction Projects in Çankırı*. Ankara: MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY . 2021 tarihinde <https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/15778/index.pdf> adresinden alındı
- Doerfler, K., & Dielemans, G. (2021). MOBILE ADDITIVE MANUFACTURING IN CONSTRUCTION. *BE-AM 2021 SYMPOSIUM AND EXHIBITION* (s. 36-40). Technical University of Darmstadt, DDU, ISM+D, Generative Design Lab, UTSA, Formnext.
- Doğan, Ü. (2022). *TDV*. Türkiye Diyanet Vakfı: <https://tdv.org/tr-TR/iletisim/> adresinden alındı
- DPA. (2017). (<https://www.dpa-international.com/>) 2021 tarihinde Up to 270,000 Syrians and Iraqis could follow relatives:

<https://www.faz.net/aktuell/politik/inland/familiennachzug-bis-zu-270-000-syrer-und-iraker-folgen-15240925.html> adresinden alındı

D-Shape. (2021). D-Shape: <https://dshape.wordpress.com/> adresinden alındı

Duarte, G., Brown, N., Memari, A., & Duarte, J. (2021). Learning from historical structures under compression for concrete 3D printing construction. *Journal of Building Engineering*(43), 1-19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103009>

Dynes, R. (2003). *The Lisbon Earthquake In 1755: The First Modern Disaster* (Cilt Preliminary Paper;333). Newark: University of Delaware Disaster Research Center. 2021 tarihinde <http://udspace.udel.edu/handle/19716/294> adresinden alındı

Eberhardt, L., Rønholt, J., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2021). Circular Economy potential within the building stock - Mapping the embodied greenhouse gas emissions of four Danish examples. *Journal of Building Engineering*(33), 101845. doi:<https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101845>

Elazığ Hakimiyet. (2021). BİZMİŞEN HABERLERİ: <https://elazighakimiyethaber.com/etiket/bizmisen/207/> adresinden alındı

El-Haram, M., & Horner, M. (2002). Factors affecting housing maintenance cost. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 115-123. doi:<https://doi.org/10.1108/13552510210430008>

Elinwa, A., & Buba, S. (1993). Construction cost factors in Nigeria. *Journal of Construction Engineering and Management*(119), 698-713. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1993\)119:4\(698\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:4(698))

Ellis, G. (2020). *The Challenges of 3D Printing in Construction*. autodesk: <https://constructionblog.autodesk.com/3d-printing-construction/> adresinden alındı

Ergöçün, G. (2021, 05 02). *Turkish NGOs build briquette houses for Syrians*. 2022 tarihinde AA: <https://www.aa.com.tr/en/middle-east/turkish-ngos-build-briquette-houses-for-syrians/2227078> adresinden alındı

Ergünay, O. (1995). Afet Yönetiminde Verimli Kaynak Kullanımı İçin Gerekli Kuramsal ve Yasal Çerçeve. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 9-13.

Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2009). Türkiye'de Afet Yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*(22), 147-164. 2021 tarihinde <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/26918> adresinden alındı

Erzincan Depremi Galerisi 1992. (2021). Doğu Gazetesi: <https://www.dogugazetesi.com/1992-erzincan-depremi-fotograflari-p1-aid,18.html#galeri> adresinden alındı

Félix, D., Branco, J., & Feio, A. (2013). Guidelines to Improve Sustainability and Cultural Integration of Temporary Housing Units. *Sustainable Post-Disaster*

Reconstruction: From Recovery to Risk Reduction. Portugal: i-Rec conference.

- Félix, D., Monteiro, D., & Feio, A. (2020). Estimating the needs for temporary accommodation units to improve pre-disaster urban planning in seismic risk cities. *Sustainable Cities and Society*(61), 102276. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102276>
- Freeman, P., Martin, L., Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R., Pflug, G., & Warner, K. (2003). *Disaster Risk Management (National Systems for the Comprehensive Management of Disaster Risk and Financial Strategies for Natural Disaster Reconstruction)*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank Sustainable Development Department Environment Division Integration and Regional Programs Department Regional Policy Dialogue.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* (Second Edition b.). London: Springer. 2021 tarihinde alındı
- Gluch, P., & Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and Environment*(39), 571 – 580. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.10.008>
- Gökçe, O., & Tetik, Ç. (2012). *Afet Sonrası İyileştirme Çalışmaları*. Ankara: AFAD.
- Gregory, M., Hameedaldeen, S., Intumu, L., Spakousky, J., Toms, J., & Steenhuis, H. (2016). 3D Printing and Disaster Shelter Costs. *2016 Proceedings of PICMET '16: Technology Management for Social Innovation*, 712-720.
- Grozdanic, L. (2013). *Energy Box Passive House is an Earthquake-Proof Sustainable Home in Northern Italy*. 2021 tarihinde inhabitat: <https://inhabitat.com/energy-box-passive-house-is-an-earthquake-proof-sustainable-home-in-northern-italy/> adresinden alındı
- Güngör, M. (2020, Kasım 26). *İzmirli depremzedeler konteyner kentte yeni yaşamlarına başladı*. 2021 tarihinde Anadolu Ajansı, 2020: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/izmirli-depremzedeler-konteyner-kentte-yeni-yasamlarina-basladi/2056548> adresinden alındı
- Haber Türk*. (2020, 01 25). <https://www.haberturk.com/son-dakika-elazig-depremi-afad-dan-cok-onemli-aciklamalar-2562660> adresinden alındı
- Hammad, A., Akbarnezhad, A., & Rey, D. (2016). A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs. *Automation in Construction*(61), 73–85. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.010>
- Hoffman, G., Thal Jr., A., Webb, T., & Weir, J. (2007). Estimating Performance Time for Construction Projects. *JOURNAL OF MANAGEMENT IN*

ENGINEERING(23), 193-199. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2007\)23:4\(193\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2007)23:4(193))

- Hosseini, S., Farahzadi, L., & Pons, O. (2021). Assessing the sustainability index of different post-disaster temporary housing unit configuration types. *Journal of Building Engineering*, 42(102806). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102806>
- İBB TV* . (2021, Aralık). 2022 tarihinde İSTON Türkiye'nin ilk 3D binasını inşa ediyor: <https://iston.istanbul/ibb-turkiyenin-ilk-3d-binasini-insa-ediyor> adresinden alındı
- IFRC. (2013). *Post-disaster shelter: Ten designs*. Geneva: www.ifrc.org. 2021 tarihinde <http://unhabitat.org.ir/wp-content/uploads/2019/04/ten-designs-IFRC.pdf> adresinden alındı
- IFRC, & RCS. (2013). *Transitional Shelters Eight Designs*. Geneva Switzerland: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. www.ifrc.org adresinden alındı
- İSTON 3D Teknolojisi İle Konut Üretimi*. (2021). İSTON: <https://iston.istanbul/iston-turkiyede-ilk-defa-3d-teknolojisi-ile-ev-uretti> adresinden alındı
- Jakupovic, A. (2016). *D-SHAPE - REPORT*. UK: 3D Printhuset A/S.
- Johnson, C. (2007). Strategic planning for post-disaster temporary housing. *Disasters*(31), 435-458. doi:[doi:10.1111/j.0361-3666.2007.01018.x](https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2007.01018.x)
- Johnson, C., Lizarralde, G., & Davidson, C. (2006). A systems view of temporary housing projects in post-disaster reconstruction. *Construction Management and Economics*(24), 367–378. doi:<https://doi.org/10.1080/01446190600567977>
- Kadıoğlu, M. (2008). Küresel iklim değişikliğine uyum stratejileri. *Kar Hidrolojisi Konferansı* (s. 27-28). Erzurum: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Kaming, P., Olomolaiye, P., Holt, G., & Harris, F. (1996). Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia. *Construction Management & Economics* (1997)(15), 83-94. doi:<https://doi.org/10.1080/014461997373132>
- Kamruzzaman, M. (2022, Ocak 9). *Devastating fire guts nearly 1,000 Rohingya tents in Bangladesh*. AA: <https://www.aa.com.tr/en/asia-pacific/devastating-fire-guts-nearly-1-000-rohingya-tents-in-bangladesh/2469373#> adresinden alındı
- Karaduman, N. (2003). 1999 Marmara Depremi sonrası kalıcı konutların Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi. Mimarlık Fakültesi. İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Kloft, H., Gossler, J., Barba, D., & Pacillo, G. (2021). Robot Aided Fabrication of Rammed Earth. *BE-AM 2021 SYMPOSIUM AND EXHIBITION* (s. 144,145).

Technical University of Darmstadt, DDU, ISM+D, Generative Design Lab, UTSA, Formnext.

- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*(45), 1–11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>
- Labonnote, N., Rønquist, A., Manum, B., & R  ther, P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. *Automation in Construction*(72), 347–366. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>
- Laboux, O., Lineatte, B., Coiffier, C., & Tomps, F. (2017). *UNE MAISON CONSTRUITE EN QUELQUES JOURS PAR IMPRESSION 3D GR  CE AU PROCÉDÉ BATIPRINT3D*. Universit   de Nantes. Nantes: Yhnova Nantes Dossier de presse.
- Lazar, N., & Chithra, K. (2020). A comprehensive literature review on development of Building Sustainability Assessment Systems. *Journal of Building Engineering*(32), 101450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101450>
- Leon, E., Urquia, M., D’Urzo, S., & Ashmore, J. (2013). *Shelter Projects 2011–2012*. IFRC, UN-HABITAT and UNHCR. 2021 tarihinde www.sheltercasestudies.org adresinden alındı
- Limoncu, S. (2004). Türkiye’de Afet Sonrası Sürdürülebilir Barınma Sistemi Yaklaşımı. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*.
- Limoncu, S., & Bayülgen, C. (2005). Türkiye’de Afet Sonrası Yaşanan Barınma Sorunları. *Megaron*, 1(1), 18-27.
- Ling, F., & Liu, M. (2004). Using neural network to predict performance of design-build projects in Singapore. *Building and Environment*(39), 1263 –1274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.02.008>
- Luhar, S., & Luhar, I. (2020). Additive Manufacturing in the Geopolymer Construction Technology: A Review. *The Open Construction & Building Technology Journal*(14), 150-161. doi:DOI: 10.2174/1874836802014010150
- Mak, S., & Picken, D. (2000). Using Risk Analysis to Determine Construction Project Contingencies. *Journal of Construction Engineering and Management*(126), 130-136. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2000\)126:2\(130\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:2(130))
- Markin, V., Krause, M., Otto, J., Schrofl, C., & Mechtcherine, V. (2021). 3D-printing with foam concrete: From material design and testing to application and sustainability. *Journal of Building Engineering*(43). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102870>
- Marmara Depremi Galerisi*. (2021). Star TV: <https://www.star.com.tr/foto-galeri/17-agustos-1999-depreminden-unutulmayan-fotograflar-galeri-717292-sayfa-8> adresinden alındı

- Mason, J. (2004). *Qualitative Researching, Second Edition*. London: Sage Publications.
- Mirabella, N., Röck, M., Saade, M. R., Spirinckx, C., Bosmans, M., Allacker, K., & Passer, A. (2018). Strategies to Improve the Energy Performance of Buildings: A Review of Their Life Cycle Impact. *Buildings*(8), 105. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings8080105>
- Moretti, F. (2021). *WASP 3D prints a unique concept store in collaboration with Dior*. WASP 3D: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-pop-up-store-wasp-dior/> adresinden alındı
- Nicol, J., & Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*(34), 563-572. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- Office of the Future*. (2016). architectmagazine: https://www.architectmagazine.com/project-gallery/office-of-the-future_0 adresinden alındı
- Oral, G., Yener, A., & Bayazit, N. (2004). Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Building and Environment*(39), 281-287. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00141-0](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00141-0)
- Osmani, M., Glass, J., & Price, A. (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Management*(28), 147–1158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.011>
- Özge, Ç. (2019). Afet ve Acil Durum Sonrası Sürdürülebilir Geçici Konut Uygulamalarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Palabıyık, D. (2020, 01 28). 'Elazığ ve Malatya'da yapı denetim hizmeti almış binalarda herhangi bir çökme, sehim veya çatlama olmadı'. AA: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/elazig-ve-malatyada-yapi-denetim-hizmeti-almis-binalarda-herhangi-bir-cokme-sehim-veya-catlama-olmadi/1716155> adresinden alındı
- Paul, S., Tay, Y., Panda, B., & Tan, M. (2017). Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *archives of civil and mechanical engineering*(18), 311-319. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.acme.2017.02.008>
- PERI. (2021). PERI: <https://www.peri.com/en/business-segments/3d-construction-printing.html> adresinden alındı
- Perrucci, D., & Baroud, H. (2020). A Review of Temporary Housing Management Modeling: Trends in Design Strategies, Optimization Models, and Decision-Making Methods. *Sustainability*(12), 10388. doi:<https://doi.org/10.3390/su122410388>

- Pezzica, C., Cutini, V., & de Souza, C. (2021). Mind the gap: State of the art on decision-making related to post-disaster housing assistance. *International Journal of Disaster Risk Reduction*(101975). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101975>
- Philippines. (1991). *World Habitat Awards The Core Shelter Housing Project*. world-habitat.org: <https://world-habitat.org/world-habitat-awards/winners-and-finalists/the-core-shelter-housing-project/> adresinden alındı
- Pomponi, F., Moghayedi, A., Alshawawreh, L., D'Amico, B., & Windapo, A. (2019). Sustainability of post-disaster and post-conflict sheltering in Africa: What matters? *Sustainable Production and Consumption*(20), 140–150. doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.06.007>
- Prentice, S. (2014). The Five SMART Technologies to Watch. *Gartner Research*. <https://www.gartner.com/en/documents/2669320> adresinden alındı
- Quarantelli, E. (1991). Different Types of Disasters and Planning Implications. *University of Delaware Disaster Research Center, PRELIMINARY PAPER*(#169). https://udspace.udel.edu/bitstream/handle/19716/541/PP169.pdf?sequence=3&origin=publication_detail adresinden alındı
- Quarantelli, E. (1995). Patterns of Sheltering and Housing in US Disasters. *Disaster Prevention and Management*, 4(3), 43–53.
- Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). *The 3D Printing Handbook (Technologies, design and applications)*. (3. Hubs, Dü.) Amsterdam, The Netherlands: Coers & Roest.
- Savaşır, K. (2008). *Afet Sonrası Uygulanacak ve Geçiciden Kalıcıya Dönüştürülecek Konut Tasarımları İçin Türkiye Koşullarına Uygun Yapım Sistemlerinin İrdelenmesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Doktora Tezi.
- Seikaly, A. (2013). Abeer Seikaly's Structural Fabric Shelters Weave Refugees' Lives Back Together. (D. D. Jaimes, Dü.) 2021 tarihinde <https://www.archdaily.com/778743/abeer-seikalys-structural-fabric-shelters-weave-refugees-lives-back-together> adresinden alındı
- Sey, Y., & Tapan, M. (1987). *Afet Sonrasında Barınma ve Geçici Konut Sorunu Raporu*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınlanmamış Akademik Çalışma.
- Shen, L.-Y., Hao, J., Tam, V.-Y., & Yao, H. (2007). A checklist for assessing sustainability performance of construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*(13), 273–281. doi:<https://doi.org/10.1080/13923730.2007.9636447>
- Songür, D. (2000). *Afet Sonrası Barınakların ve Geçici Konutların Analizi ve Değerlendirilmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

- Sphere Project Staff. (2011). *Sphere Project: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*. Practical Action Publishing.
- Şimşek, H., & Yıldırım, A. (2005). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Tahmasebinia, F., Sepasgozar, S., Shirowzhan, S., Niemela, M., Tripp, A., Nagabhyrava, S., . . . Alonso-Marroquin, F. (2019). Criteria development for sustainable construction manufacturing in Construction Industry 4.0 Theoretical and laboratory investigations. *Sustainable Practices*, 1471-4175. doi:DOI 10.1108/CI-10-2019-0103
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., & van den Dobbelsteen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(26), 201-215. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050
- Talke, D., Buschmann, B., Saile, B., & Henke, K. (2021). Structural Timber by Individual Layer Fabrication (ILF). *BE-AM 2021 SYMPOSIUM AND EXHIBITION* (s. 146,147). Technical University of Darmstadt, DDU, ISM+D, Generative Design Lab, UTSA, Formnext.
- Tas, N., Cosgun, N., & Tas, M. (2007). A qualitative evaluation of the after earthquake permanent housings in Turkey in terms of user satisfaction—Kocaeli, Gundogdu Permanent Housing model. *Building and Environment*(42), 3418–3431. doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.09.002
- Tay, Y., Panda, B., Paul, S., Mohamed, N., Tan, M., & Leong, K. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*(12), 261–276. doi:https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724
- Thormark, C. (2002). Alow energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*(37), 429 – 435. doi:https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6
- TOKİ. (2021). Proje Görselleri / Elazığ Bizmişen: <https://www.toki.gov.tr/proje-gorselleri/Elaz%C4%B1%C4%9F%20Bizmi%C5%9Fen> adresinden alındı
- TOKİ Afet Komutları. (2021). TOKİ: <https://www.toki.gov.tr/afet-konutlari> adresinden alındı
- TÜRK KIZILAY. (2019). Denizli'deki Depremzedelerin İhtiyaçları Karşılıyor: <https://www.kizilay.org.tr/Haber/KurumsalHaberDetay/4629> adresinden alındı
- Tüzün, E. (2002). Ev / Yaşama Mekanı: Afet Sonrası Gereksinimler. *Yüksek Lisans Tezi. Mimarlık Ana Bilim Dalı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- UNDRO. (1982). *Shelter After Disaster Guidelines for Assistance*. Geneva: UNITED NATIONS.

- UNICEF. (2014). Syria is running out of water: <https://www.unicef.ch/de/ueber-unicef/aktuell/news/2014-06-06/syrien-geht-das-wasser-aus> adresinden alındı
- Van depremi galerisi. (2011, Ekim 25). BBC: https://www.bbc.com/turkce/multimedya/2011/10/111025_gallery_van adresinden alındı
- Wallbaum, H., Ostermeyer, Y., Salzer, C., & Escamilla, E. (2012). Indicator based sustainability assessment tool for affordable housing construction technologies. *Ecological Indicators*(18), 353–364. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.005>
- Walliman, N. (2006). *Social Research Methods, Second Edition*,. Sage Publications: London.
- WASP 3D. (2021). CRANE WASP: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printer-house-crane-wasp/> adresinden alındı
- Wen, Y., & Kang, Y. (2001). Minimum building life-cycle cost design criteria. I: Methodology. *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, 330-337. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:3\(330\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:3(330))
- Winsun. (2015). 2015 Global Highest 3D Printing Building: http://www.winsun3d.com/En/Product/pro_inner_5/id/102 adresinden alındı
- Wohlers, T., & Gornet, T. (2016). *History of additive manufacturing*. Colorado: Wohlers Report. <https://wohlersassociates.com/2016report.htm> adresinden alındı
- Yamalı, M., Akgün, Y., & Karaveli, A. (2015). Deprem sonrası acil barınma birimi tasarımları üzerine bir değerlendirme. 3. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, (s. 14-16).
- Yan, H., Shen, Q., Fan, L., Wang, Y., & Zhang, L. (2010). Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. *Building and Environment*(45), 949–955. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.09.014>
- Yin, R. (2009). *Case Study Research: Design and Methods, 4th Edition*,. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Yuan, H. (2013). Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects. *Ecological Indicators*(24), 476–484. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.022>