

Modüler Hücre Yapımın Çok Katlı Binalar Bağlamında İncelenmesi

Gizem TUNA SEZER*, İlkay KOMAN**

* Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1826-3680
gizemtunasezer@gmail.com

** Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-2195-3594
ilkay.koman@msgsu.edu.tr (İletişim yazarı)

Araştırma Makalesi

Geliş: 15/03/2021

Son düzenleme sonrası geliş:03/06/2021

Kabul:04/06/2021

Yayımlanma:12/07/2021

Öz

Günümüzde inşaat sektöründe çok sayıda ve daha nitelikli yapı üretimi için kullanımı giderek yaygınlaşan yapım sistemlerinden biri modüler yapıdır. Kaynakların etkili kullanımını artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için, kaynakların verimli kullanılması, atıkların önlenmesi, yapı performansı gibi özellikleri ile modüler hücre yapılar dikkat çekmektedir. Modüler yapılarda binanın parçaları bağımsız olarak üretilmekte, modüllerin sahaya teslimatı bütün donatıları fabrikada tamamlanarak yapılmakta ve modüller farklı şekillerde birleştirilebilmektedir. Saha dışında kontrollü fabrika şartlarında büyük oranda tamamlanarak sahaya nakliyesi yapılır ve nihai konumuna yerleştirilerek montajı tamamlanır. Mekânsal birimlerin ve formların kullanıldığı yapılarda özellikle ekonomi ölçeğinde başarı sağlanan ileri düzeyde prefabrikasyon örnekleri olarak gösterilir. Bu makalede çok katlı modüler yapı örneklerinin incelenerek, yapısal kararlara etki eden faktörler irdelenmiştir. İnceleme, tarama ve karşılaştırma yöntemi ile yapılmış, yapısal değerlendirmelerde görsel grafikler kullanılmıştır. 16 bina örneği kat adedi, hücre kuruluşu, biçimi, strüktürel kuruluş ve yapısal stabilite başlıklarında incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçta elde edilen bulgular çizelgelerle aktararak yorumlanmıştır. Çalışmada modüler yapıların yapısal özelliklerinin çok katlı binalar bağlamında ele alınması ile lisansüstü çalışmalara veri sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Modüler yapılar, modüler yapım, çok katlı yapılar, prefabrikasyon, yapım

Investigation of Modular Cell Construction in the Context of Multi-Storey Buildings

Gizem TUNA SEZER*, İlkey KOMAN**

* Mimar Sinan Fine Arts University
İstanbul, Turkey
ORCID: 0000-0002-1826-3680
gizemtunasezer@gmail.com

** Mimar Sinan Fine Arts University
İstanbul, Turkey
ORCID: 0000-0002-2195-3594
ilkay.koman@msgsu.edu.tr (İletişim yazarı)

Research Article

Received: 15/03/2021

Received in final revised form: 03/06/2021

Accepted: 04/06/2021

Published online: 12/07/2021

Abstract

Modular construction is one of the construction systems that are becoming increasingly widespread in the construction industry for the production of many and more qualified buildings. In order to increase the effective use of resources and reduce environmental impacts, modular cell constructions attract attention with their features such as efficient use of resources, prevention of waste, and building performance. In modular structures consisting of volumetric units where the parts of the building are produced independently and completed in different ways, three-dimensional or volumetric units of the main structural elements of the building are used, which are completed in the factory with all accessories and delivered to the site. It is in largely completed off construction site under controlled factory conditions, afterward transported to the field, placed in its final position and its assembly is completed. In buildings where spatial units and forms are used, they are shown as examples of advanced prefabrication, which are particularly successful in the economy scale. In this article, examples of multi-storey modular buildings are examined to define factors affecting decision about structures. This was done by analysing and comparing their cells organisation, forms, structural system and stability, for which visual graphics were used. and obtained findings are interpreted with tables. Finally, obtained data about structural features of modular structures will be useful for the master studies.

Keywords: Modular buildings, modular construction, multi storey buildings, prefabrication, construction

1. GİRİŞ

Küresel toplumun değişen istek ve ihtiyaçları doğrultusunda daha çok sayıda ve daha nitelikli yapı üretimi için yeni malzeme ve teknikler kullanılarak yapı sektöründe yeni yapım sistemleri geliştirilmiştir. Beklentilerin sıklıkla değişmesinin yanında, bina kullanıcıları maliyet, kalite ve hız üstünlüğünün bir arada sağlanması konusunda giderek daha ısrarcı bir tavır sergilemektedir. Öte yandan kaynakların etkili kullanımını artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için, yapı sektöründe alınacak çevreci önlemler tercihe bağlı olmaktan çıkarak zorunluluk haline gelmektedir. Bu noktada, kaynakların verimli kullanılması, atıkların önlenmesi, yapı performansı gibi özellikleri ile modüler yapım dikkat çekmektedir. Yapı üretiminde 'modülerleştirme' kavramı, genel olarak bütün bir yapının seriler halinde daha küçük modüllere ayrılarak fabrika ortamında üretilmesi olarak tanımlanır.

Modüler yapım, binanın parçalarının bağımsız olarak üretildiği ve farklı şekillerde birleştirilerek yapıların tamamlandığı hacimsel birimlerin organizasyonu olarak tanımlanabilir (Tokgöz ve Koçak, 2009: 83). Lawson vd. (2014) 'modüler yapım' (modular construction) kavramını, genellikle bütün donatılarıyla fabrikada tamamlanarak sahaya teslimatı yapılan, yapının ana strüktürel elemanlarının üç boyutlu veya hacimsel birimlerden oluştuğu yapım sistemi olarak tanımlamıştır. Saha dışında kontrollü fabrika şartlarında büyük oranda tamamlanarak sahaya nakliyesi yapılır ve nihai konumuna yerleştirilerek montajı tamamlanan modüler yapılar, tekrarlayan mekânsal birimlerin ve formların kullanıldığı yapılarda özellikle ekonomi ölçeğinde başarı sağlanan ileri düzeyde prefabrikasyon örnekleri olarak gösterilir. Modüler binalar, sökülebilir ve yeniden kullanılabilir olduklarında etkin bir şekilde varlık değerlerini sürdürebilirler (Velamati, 2012: 16-26; Lawson vd., 2005: 477-483).

Modüler yapımın temelinde, ayrı modüller veya hacimlerin saha dışında inşa edilip, bağımsız olarak sahaya taşındığı ve modüllerin sahada bir araya getirilerek montajının tamamlanmasıyla yapının elde edilmesi ilkesi yer alır. Genel yaklaşım daha zorlu yerinde yapım sistemleri yerine, büyük oranda saha dışı yapım ve montaj yöntemleri kullanarak yapı üretmektir. Modüler yapılar hacimsel veya üç boyutlu 'hacim' veya 'oda' birimlerinden oluşur. Binanın tamamı veya mekânsal yapı bileşenleri, koridorlar ve ortak alanlar dahil olmak üzere bu yöntemle üretilebilmektedir (Velamati, 2012: 16-26; Lawson ve Ogden, 2010: 38-52).

Kontrollü bir ortamda inşa, malzemelerin kuru ve korumalı kalmasını sağlar. Çalışanın konforunu artırarak verimliliğin artışı tetikler. Yapının karmaşık bölümleri ve servis kurulumları da kontrollü şartlarda yapıldığından kalite standartları korunabilmektedir (Rogan vd., 2000: 9). Modüler hücrelerin sahaya teslimatı iç donatıları ve dış kaplamaları da dahil olmak üzere tamamen bitmiş veya strüktür ve yalıtım katmanları tamamlanmış olarak yapılabilir (Anderson ve Anderson, 2007: 14-15). Amaçlanan işleve göre mobilyalar ve yüzey kaplamaları da tamamlanan modüller yüksek seviyede tamamlanmış olarak da üretilebilirler. Modüler hücreler taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan nitelikte üretilip kullanılabilir.

Bir modüler yapım projesi dört aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama tasarım geliştirilmesi ve plan onayı alınması; ikincisi modül bileşenlerinin fabrikada montajı, üçüncüsü modüllerin proje alanına nakliyesi ve dördüncü olarak binayı tamamlamak üzere modüler birimlerin yerlerine kaldırılmalarıdır. Modüler yapı müteahhitleri binayı saha dışı alanda üretir, teslimat, kurulum, sahadaki çalışmalar ve binanın tamamlanmasını planlayabilir. Böylece yapının inşasını gerçekleştiren ana müteahhit görevini üstlenirler. Diğer bir seçenek ise müteahhidin sadece yapımdan, modüllerin teslimat ve kurulumundan sorumlu olduğu ve ana müteahhidin tüm projeden sorumlu olduğu durumdur. Yapı, ağırlıklı olarak olumsuz hava

koşullarının malzemelere verebileceği hasardan uzak, personelin konforlu şartlarda çalışmasına elverişli kapalı alanlarda oluşturulmaktadır. Modüllerin fabrikada ön montajı yapılırken, sahadaki çalışmalarda başlanabilmektedir. Bu durum binanın daha erken kullanıma açılmasına imkân verir ve inşaat sürecini kısaltır, iş gücünü azaltır, finansman ve denetim maliyetleri düşürür (Velamati, 2012: 16-26).

Bu çalışmanın amacı sürdürülebilirlik, yapı yaşam döngüsü, kalite, hız ve maliyet konularına odaklanan inşaat sektöründe giderek sayıları artan modüler yapıların yapısal özelliklerinin çok katlı bina örnekleri üzerinden incelenmesidir. Çalışmanın modüler yapıların tasarım, üretim ve yapım süreçleri ile ilgili olarak yapısal kararların ortaya çıkmasındaki etkenlerin örnek binalar üzerinden tartışılması ile literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir. Çalışmada tarama ve görselleştirme yöntemlerine dayanmaktadır. İnceleme başlıkları her yapı için aynı olup, yapılar arasındaki uygulama farklılıkları, farklı başlıkların ikili olarak karşılaştırılması ile ortaya koyulmuştur. Bulgular yapısal çözümlerin görselleştirilerek tablolara aktarılması ile desteklenerek açıklanmıştır. Sonuçta bulgular yorumlanmış ve çok katlı modüler yapıların uygulama ilkeleri tartışılmıştır.

Bu makalede 'Modüler Yapım' duvar ve döşeme elemanlarının bir araya getirilerek teknik donanımların entegre edildiği fabrika ürünü üç boyutlu mekânsal bina parçalarının, yapı alanında montaj aşamasının ardından binanın tamamlandığı yapım sistemi olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada modüler yapılar yapısal tasarım ilkeleri ve bunları etkileyen unsurlar bağlamında incelenmiştir. Buna göre hücre kuruluşu, strüktürel sistemler ve yük transferi, yapısal stabilite sağlanması ile ilgili literatür araştırılmıştır.

2. HÜCRE KURULUŞU VE STRÜKTÜREL SİSTEMLER

Modüler hücreler 'kapalı' ve 'açık' hücreler olarak üretilirler. Kapalı hücrelerde düşey yükler, dört çevre duvarı aracılığıyla kesintisiz olarak aktarılır. Açık hücrelerde ise düşey yükler köşe ve ara dikmelere aktarılır. Kapalı hücreler tamamen 'kapalı' veya 'kısmen açık' hücre, açık hücreler 'iskeletli', 'açık kenarlı' veya 'açık uçlu' olarak sınıflandırılabilir (Ayaydın ve Koman, 2004: 39-43; Lawson, Ogden ve Goodier, 2014: 29-32).

Kapalı hücreler, duvar ve döşeme ile sınırlandırılmış ve boyutları tanımlanmış bir mekânı tanımlar ve kendileri rijit bir yapı oluşturur. Kapalı modüllerde duvar, zemin ve tavan bileşenleri olması sebebiyle modüllerin birleşim bölgelerinde çift katman oluşmaktadır. Bu katmanlar akustik yalıtımını ve yangın dayanımını artırır. Duvarlar yük aktardıklarından yüke bağlı olarak en fazla 2m genişlikte boşluklar oluşturulabilir. Kapalı hücrelerde köşe veya orta dikmeler hizasından boşluklar açılarak kısmen açık kutu formundaki hücreler elde edilir. Böylece daha geniş ve esnek iç mekanların oluşumu mümkün olabilir. Açık hücrelerin strüktürü köşelerde dikme veya sütunlar, ara dikmeler ve kayıtlarla strüktürü oluşturulur. Enlemesine ve boylamasına yöndeki duvar yüzeylerinde boşluklar açılabilir. Büyümeye açık planlara uygundur. Taşıyıcı veya kendini taşıyan hücreler şeklinde üretilebilirler. Açık hücrelerde duvarlar taşıyıcı değildir. Köşe dikmeler bina yüksekliği boyunca devam ederek birbirine yük aktaracak şekilde bağlanır. Hücrelerin kolon ve kiriş gibi lineer elemanlarla ve/veya duvar ve döşeme elemanları gibi düzlemsel elemanlarla oluşturulması mümkündür (Lawson, Ogden ve Goodier, 2014: 29-32; Velamati, 2012: 16-26).

Genellikle 8 kata kadar olan hücre yapım binalarda, rüzgâr kuvvetlerine bağlı olarak, duvarların taşıyıcı olduğu kapalı hücreler kullanılmaktadır. Ancak 15 kat ve üzerindeki

yapılarda ek olarak stabilite ve sağlamlık için merkezi çekirdek veya destek strüktürler kullanılmaktadır. Hem açık hem kapalı hücrelerle oluşturulan yapılarda yatay yüklere direnç duvarlarda germe veya diyafram eylemiyle sağlanır. Kuvvetler, modüllerin birbirlerine bağlandığı levhalar ve civatalar ve yardımcı yatay bağlantılarla aktarılır (Lawson vd., 2005: 477-483).

Modüler yapılarda uygulanan strüktürel sistemler destek strüktürsüz yığma, destek strüktür üzerine yığma, yapısal strüktür içine yerleştirme ve yapısal strüktüre asma şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Modüler yapılar taşıyıcı modüllerin doğrudan temel sistemi yan yana ve üst üste düzenlenmesi ve birbirine bağlanması ile oluşabilir. Modüler hücreler, yapı alanına getirildikten sonra nihai yapıyı oluşturmak üzere vinçlerle kaldırılarak, bodrum kat strüktürü veya zeminde oluşturulan taban görevindeki döşemenin üzerine yerleştirilirler. Kullanılan hücreler açık veya kapalı hücre olabilmektedir. Bu sistemde, modüler hücreler bir arada yapının strüktürünü oluşturur. Yığma sistemle oluşturulan modüler binalarda duvar ve döşemeler çift olarak oluşur. İki duvar veya döşeme arasındaki boşluklar bazı yapılarda yalıtım veya tesisat sistemlerinin düzenlenmesinde kullanılır. Modüler hücrelerin birbirleriyle olan bağlantıları, binanın strüktürel stabilitesini ve dayanıklılığını doğrudan etkilediği için strüktürel açıdan oldukça önemlidir. Modüller arasındaki bağlantı, hücrenin üst ve alt kısımlarından ve genellikle yatay veya düşey konumdaki bağlantı plakaları ile yapılmaktadır (Lawson, Ogden ve Goodier, 2014: 29-32).

Modüller köşelerinden bağlanarak, rüzgâr yüklerini aktarmak için ve bir modülün hasar görmesi halinde alternatif yük yolları sağlanması için strüktürel olarak beraber hareket etmeleri sağlanır. Rüzgâr yükleri gibi yatay yüklere karşı dayanım, bina yüksekliği arttıkça daha önemli hale gelmektedir. Stabilitenin sağlanması için 4 ile 6 katlı binalarda modüllerde duvar içlerinde çaprazlamalar veya levha kaplamalar yerleştirilerek diyafram hareketi oluşturulur. 6 ile 10 katlı binalarda asansör ve merdiven alanlarında yapısal çaprazlama kullanılır. Yüksek binalarda betonarme veya çelik çekirdekler düzenlenir (Velamati, 2012: 35-39).

Modüler yapılar, zemin katların daha esnek olarak farklı fonksiyonlarda kullanılabilmesinin sağlanması amacı ile bodrum katın veya temel sisteminin üzerinde yer alan ve genellikle çelik veya betonarme iskelet bir strüktür üzerine modüler hücrelerin yerleştirilmesi ile de oluşturulur. Zemin kat strüktürü kolonlarla desteklenen bir döşemeden oluşur. Bu döşeme zemin katın tavanını oluşturarak modüler hücreler için bir alt platform vazifesi görür. Döşeme betonarme olarak veya kompozit levhalarla yapılabilir. Platform üzerine 4 ila 6 kata kadar modüler hücreler yerleştirilebilmektedir. Destek strüktürün taşıyıcı kirişleri, üzerine gelecek modüllerin taşıyıcı olan duvarlarını karşılayacak şekilde düzenlenir (Lawson vd., 2005: 477-483; Koman ve Gür, 2014: 40-44).

Modüler hücrelerin bir iskelet strüktürün içerisine yerleştirilerek yapının oluşturulması açık ve esnek kat planları oluşturmak için tercih edilir. İskelet strüktür bir veya birkaç katta bir tekrarlanan döşeme elemanları ile oluşabilir. Bu düzenleme ile tesisat kanalları, şaftları ve sirkülasyon alanları için esnek tasarım olanağı sunar. İskelet strüktüre dışarıdan balkon modülleri veya dış yürüme alanları takılabilir. Yapının stabilitesi genellikle betonarme çekirdeklerle, çekirdek etrafında veya kolonlar arasında kullanılan gergi elemanlarla desteklenir (Lawson vd., 2005: 477-483; Koman ve Gür, 2014).

Modüler yapılarda hücreler bir yapısal strüktüre asılarak düzenlenebilir. Hücreler genellikle betonarme perde olarak oluşturulan ve düşey sirkülasyon elemanlarının içinde

bulunduğu bir yapısal çekirdeğe asılarak yük aktarırlar. Bu yapılarda hücrelerin birbirine yük aktarması söz konusu değildir. Çekirdek çevresine kaynaklanarak yerleştirilen askı elemanları çelik malzemeden oluşur. Hücreler konsol olarak çalıştığından boyut ve ağırlıkları diğer strüktürel sistemlerdeki hücrelere göre daha azdır.

Bağlantılar hücrelerin yapıda üstlendiği göreve ve yapının strüktürel kuruluşuna göre belirlenir. Modüler yapım sistemleri kat planı yerleşimi düzenli ve tekrar edilen mekanların organize edildiği binalarda kullanıma daha uygundur. Taşıyıcı özellikte modüler hücreler genellikle çelik, ahşap veya beton olarak üretilmektedir. Modül ölçüleri, karayolu taşıma kurallarına uygun olarak, genelde 3mx8m olup, maksimum 6mx20m boyutlarında olabilmektedir. Yükseklikler ise 3.2m ile 3.7m arasında değişmektedir. Bitmiş modülün dış ölçüsü 3.6m olan modüller konut uygulamalarında en çok tercih edilen hücrelerdir (Staib, Dörrhöfer ve Rosenthal, 2008: 160-161; The Steel Construction Institute, 2008).

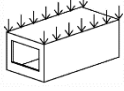
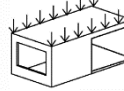
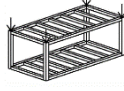
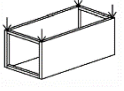
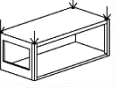
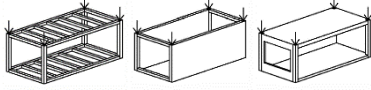
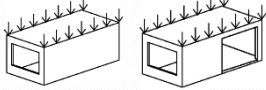
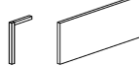

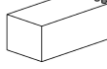
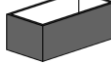
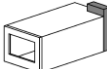
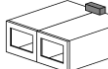
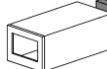
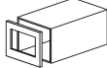

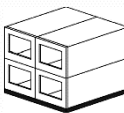
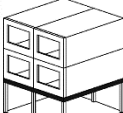
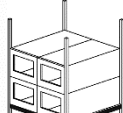
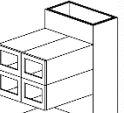

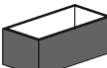

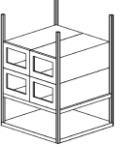
3. İNCELEME YÖNTEMİ ve BULGULAR

Çalışmada 9'u İngiltere, 6'sı Amerika ve 1'i Norveç'te olmak üzere toplam 16 bina incelenmiştir. Yapımı tamamlanan 13 binanın tasarım, ön montaj, yapı alanına nakliyesi ve yapı alanındaki yapım süreçlerinin tamamı 9 ay ile 27 ay arasında değişen sürelerde tamamlanmıştır. 2002-2009 yılları arasında yapılan binaların tamamının İngiltere'de olduğu görülmektedir. Bu binaların 4'ü 7 katın üzerinde ve öğrenci yurdu, 1'i 7 katın altında ve ofis binasıdır. 2010-2013 yılları arasında yapılan 8 binanın 4'ünün Amerika'da, 4'ünün İngiltere'de olduğu görülmektedir. Amerika'daki binaların 3'ü 7 katın altında ve 2'si öğrenci yurdu, 1'i konut binasıdır. Amerika'daki binaların 1'i 7 katın üzerinde ve konut binasıdır. İngiltere'deki binaların tamamı 7 katın üzerinde ve 1'i öğrenci yurdu, 1'i konut, 1'i konut ve otel, 1'i de otel binasıdır. Yapımı devam eden 3 binanın 2'sinin Amerika'da ve 1'inin Norveç'te olduğu görülmektedir. Amerika'daki binaların tamamı 7 katın üzerinde ve konut binasıdır. Norveç'teki tek bina da 7 katın üzerinde ve konut binasıdır. Bina örneklerinin 12 tanesinin kat adedi 7 ve üzerindedir (Çizelge 2).

Çok katlı binalarda modüler hücre yapımın, 2002 yılından itibaren İngiltere'nin öncülüğünde yaygınlaşmaya başladığı ve en çok öğrenci yurdu ve konut binalarında tercih edildiği görülmektedir. İngiltere'yi takip eden Amerika'da özellikle son iki yılda, metropollerde gittikçe artan stüdyo ve 1-2 kişilik hane nüfusuna göre düşük ve orta gelirli kesime hitap edecek konut ihtiyacını gidermek, şehir merkezindeki boş alanların değerlendirilmesi ve eski binaların kentsel dönüşümü amacıyla tercih edilmeye başlamıştır. Şehir merkezinde yapılacak karma fonksiyonlu binalardan oluşan büyük ölçekli projeler için şantiyedeki iş yükünü azaltmak, program sürecini kısaltmak, yüksek kalitede yapı elde etmek ve maliyeti düşürmek amacıyla modüler hücre yapım tercih edilmektedir.

Örneklerin incelenmesi modüler yapım literatürüne dayanarak yapılmıştır. Buna göre her örnek; hücre biçimi, hücrede yük transferi, hücre kuruluşu, mekânsal hücre türleri, servislerin yerleşimi, cephe montajı, strüktürel kuruluş ve genel stabilitenin sağlanması başlıklarında incelenmiştir. İnceleme bulgularının görsel olarak ifade edilmesi amaçlanmış bu doğrultuda Çizelge 1'de yer alan sınıflandırma oluşturularak her başlık görsel ifadelere dönüştürülmüştür (Sezer, 2015: 194-195).

Çizelge 1. Örneklerin incelendiği özellikler ve görsel ifadeleri (İlkay Koman, 2019).

Tanımlanan özellikler	Tanımlanan özelliklere göre görsel ifadeler				
Hücre Biçimi	 Kapalı	 Kısmen açık	 İskeletli	 Açık uçlu	 Açık kenarlı
Hücrede yük Transferi	 Köşe dikmelerle		 Duvarlarla		
Hücre Kuruluşu	 Düzelemsel ve lineer bileşenlerle		 Düzelemsel bileşenlerle		
Mekansal Hücre Türleri	 Islak hacim		 Çekirdek		
Servislerin Yerleşimi	 Hücre içinde	 Hücre köşesinde	 Hücre dışında		
Cephe Montajı	 Sahada montaj		 Fabrikada montaj		
Strüktürel Kuruluş	 Destek strüktürsüz yığma	 Destek strüktür üzerine yığma	 Yapısal strüktür içine yerleştirme	 Yapısal strüktüre asma	
Genel stabilitenin sağlanması	 X çaprazlarla	 Çekirdekle	 Duvarlarla	 İskelet strüktürle	

3.1. Hücre Adedi ve Montaj Süresi İlişkisi

Bina örneklerinin modüler hücre adetleri 51 ile 930 arasında değişmektedir. Modüler hücre adetleri 200'den az ve 200'den fazla olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. İncelenen bina örneklerinin 9'unun modüler hücre adedi 200'den az ve 6'sının 200'den fazladır. Binalardan 1'inin modüler hücre adedi ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. Bina örneklerinin modüler hücre montaj süreleri 12 gün ile 25 hafta arasında değişmektedir. Bu süreler 5 haftadan az ve 5 haftadan fazla olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. İncelenen bina örneklerinin 3'ünün modüler hücre montaj süresine ulaşamazken 3'ünün de montajı devam etmekte olduğu için, değerlendirme montaj süresine ulaşılan 10 bina arasında yapılmıştır. Bu binalardan 4'ünün modüler hücre montajı 5 haftadan az ve 6'sının 5 haftadan fazla sürmüştür. 200'e yakın modüler hücre büyüklüğünde bina kullanım alanının 5 haftadan

az sürede inşa edilebileceği görülmektedir. Hücre boyutlarının ortalama 40m² olduğu düşünüldüğünde, 200 modüler hücre ile 8000m² alan 5 haftadan az bir süre elde edilebilmekte olduğu görülmektedir. Modüler hücre yapım ile zamandan elde edilecek kazancın, modüler hücre adedi ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İncelenen binalara ilişkin bilgiler (Sezer, 2015: 114-178).

SIRANO	GÖRSEL	BİNA ADI	KONUM	Malzeme	Kat adedi		Hücre adedi		Hücre boyutu		Montaj süresi		Modül ağırlığı (Ton)
					<7	>7	<200	>200	En (m)	Boy (m)	<5 h	>5 h	
1		Sir Charles Grooves Hall	Manchester İngiltere	Ç	-	8	-	691	x	x	-	25h	x
2		Paragon Brentford	Londra İngiltere	Ç	-	17	-	413	2.8	4.2-12.0	x		x
3		Phoenix Court	Bristol İngiltere	Ç	-	10	-	289	2.7-3.6	-	-	5h	x
4		Victoria	Wolverhampton İngiltere	Ç	-	24	-	824	2.5-4.2	6.7-8.0	-	17h	10-25
5		The Modules	Philadelphia ABD	A	4	-	89	-	5.0	17.0	x		x
6		Mountaineer Hall	Boone ABD	A	4	-	130	-	3.5	18.0	1h 5g	-	x
7		Victoria Wembley	Wembley İngiltere	Ç	-	16	x		3.8	16.0		15h	12
8		Citizem M	Glasgow İskoçya	Ç	6	-	198	-	2.5	6.5	2h 6g	-	10
9		Park Inn/Novotel	Wembley İngiltere	Ç	-	20	-	700	3.9	12.0	-	14h	20
10		Moho	Manchester İngiltere	Ç	6	-	102	-	4.1	9.1-12.1	4h 6g	-	x
11		The Stack	New York ABD	Ç	6	-	56	-	3.8	15.0	2h 5g	-	x
12		Star Apartments	Los Angeles ABD	A	4	-	51	-	3.6	9.0	2h 6g	-	x
13		My Micro New York	New York ABD	Ç	-	9	92	-	x	x	Devam e.		24
14		Treet	Bergen Norveç	A	-	14	122	-	4.0-5.3	8.7	Devam e.		11
15		Atlantic Yards B2	New York ABD	Ç	-	31	-	930	4.5	13.5	Devam e.		x
16		Lincoln Üni. Yönetim Binası	Lincoln İngiltere	Ç	4	-	80	-	x	x	x		x

Kısaltmalar: Ç: Çelik, A: Ahşap, h: saat, g: Gün, x: Bilgi bulunmuyor

Çizelge 3. Hücre özellikleri ile ilişkili karşılaştırma tablosu (İlkay Koman ve Gizem Tuna Sezer, 2019).

Örnek No	Hücre biçimi ve yük transferi	Hücre kuruluşu	Mekansal hücre türleri	Servislerin yerleşimi	Cephe montajı	Strüktürel kuruluş	Genel Stabilitenin sağlanması
1				X			
2			—	X			
3				X			
4			—	X			
5			—				X
6			—				
7			—				
8							
9			—	X			
10			—				
11			—				X
12			—				
13							
14			—				
15				X			
16				X			

3.2. Hücresinin Biçimi, Strüktür Malzemesi ve Kat Adedi İlişkisi

Binaların 7'si kapalı ve 9'u açık hücrelerle oluşturulmuştur. Hücre strüktüründe 12'sinde çelik ve 4'ünde ahşap malzeme kullanılmıştır. Binaların modüler hücrelerden oluşan bölümleri 4 ile 31 kat yüksekliğindedir. İncelenen bina örneklerindeki modüler hücreler 7'si 7 katın altında ve 9'u 7 katın üzerinde uygulanmıştır. Kapalı ve çelik hücrelerin tamamının 7 katın üzerinde kat adedine sahip olduğu görülmektedir. Kapalı ve ahşap hücrelerin 2 tanesi 7 katın altında ve

1 tanesinin 7 katın üzerinde kat adedine sahip olduğu görülmektedir. 7 katın üzerinde kat adedine sahip binanın modüler hücrelerinin 4 katta 1 prekast beton döşemelerle taşınıyor olması sebebiyle, bu binanın modüler hücreleri de 7 katın altında modüler hücrenin taşınması kategorisine dâhil olduğu anlaşılmıştır. Böylelikle, kapalı ve ahşap hücrelerin tamamının 7 katın altında yüksekliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Açık ve çelik hücrelerde ise, 4'ünün 7 katın altında ve 4'ünün 7 katın üzerinde kat adedine sahip olduğu görülmektedir. Açık ve ahşap hücreli 1 bina örneğinin de 7 katın altında yüksekliğe sahip olduğu görülmektedir. Yapılan analizde, modüler hücrenin strüktür malzemesi ahşap olduğunda 7 katın üzerinde bina yapılmadığı, açık çelik hücrelerin her kat yüksekliğinde kullanıldığı ve kapalı çelik hücrelerin 7 katın üzerindeki binalarda kullanıldığı tespit edilmiştir (Çizelge 2).

3.3. Hücre Boyutu, Strüktürel Malzeme ve Biçim Özelliği İlişkisi

Bina örneklerinin 13'ünde, hücre boyutlarına ilişkin bilgiye ulaşılmıştır. En fazla hücre uzunluğu 18m ve en fazla hücre genişliği 5.3m'dir. Alan olarak en büyük modüler hücre 3.5m genişliği ve 18m uzunluğu ile kapalı bir ahşap hücredir. En geniş modüler hücre 5.3m genişliği ve 8.7m uzunluğu ile kapalı bir ahşap hücredir. Bu 13 örnek içinde, hücre strüktürü çelik olan hücrelerdeki en büyük uzunluk 16m ve en büyük genişlik 4.5m'dir. Hücre strüktürü çelik olan en uzun hücre 3.8m genişliği ve 16m uzunluğu ile kapalı bir hücredir. Hücre strüktürü çelik olan en geniş hücre 4.5m genişliği ve 13.5m uzunluğu ile açık bir hücredir. Buna göre modüler hücre boyutları, strüktürel malzeme ve biçim özelliklerinin doğrudan ilişkili olmadığı tespit edilmiştir. Kat yüksekliği 2.8m ile 3.2m arasında değişmektedir. Modüler hücrelerin boyutları karayolu ve deniz taşımacılığındaki limitlerle sınırlandırılmaktadır. Modüler hücre yüksekliği, hücrenin üretildiği fabrika ile taşınacağı yapı alanı arasındaki alt geçit, üst geçit, tünel vb. mevcut yüksekliklere bağlı kalmak mecburiyetindedir. İncelenen örneklerde modüler hücre ağırlığı ile ilgili yeterli bilgiye ulaşılamamıştır. Elde edilen verilerle bir genelleme yapmak mümkün olamamıştır (Çizelge 2).

3.4. Hücre Biçimi ve Strüktür İlişkisi

Seçilen örneklerin %43'ünde kapalı hücre kullanılmış, yük transferi duvarlarla yapılmıştır. Örneklerin %57'sinde açık hücre kullanılmış ve yük transferi köşe dikmeler aracılığıyla sağlanmıştır. Açık hücrelerin %25'i iskeletli, %25'i açık kenarlı ve %7'si açık uçludur. Binaların strüktürel sistemlerinin 3'ü destek strüktürsüz yığma hücre, 10'u destek strüktür üzerine yığma, 2'si iskelet sistem ve 1'i karma sistemdir. Binaların genel stabilitesini 11 örnekte çekirdek, 2 örnekte iskelet strüktür, 1 örnekte modüler hücre strüktürü ile sağlanmaktadır. Binalardan 4'ünde taşıyıcı strüktüre ek olarak destek stabilite elemanı kullanılmıştır. Seçilen örneklerin %20'si desteksiz, %62'si destek strüktürle, %12'si iskelet strüktürle ve %6'sı karma strüktürle taşınmaktadır. Binalarda destek strüktür üzerine yığma uygulamaların daha çok olduğu görülmüştür. Desteksiz taşınan binaların 2'sinin 7 katın altında ve 1'inin 7 katın üzerinde kat adedine sahip olduğu belirlenmiştir. Podyum strüktürle taşınan binaların 6'sının 7 katın üzerinde ve 4'ünün 7 katın altında kat adedine sahip olduğu belirlenmiştir. En çok kat adedine sahip örnek 24 katlı olup, 24 kata kadar modüler yapılarda destek strüktür üzerine yığma uygulamalarının yapılabildiği görülmüştür. Destek zemin kat strüktürünün kullanımı, strüktürel ihtiyacın yanı sıra zemin katın kolonlar üzerinde yükseltilmesiyle giriş katta geniş açıklıklı alan kullanımı sağlaması sebebiyle de modüler yapılarda tercih edilmektedir. Bu alanlar ticari, ofis veya otopark alanları olarak kullanılmaktadır. İskelet strüktürle taşınan binaların 1'inin 7 katın altında ve 1'inin 7 katın üzerinde kat adedine sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2 ve 3).

7 katın üzerinde kat adedine sahip olan Atlantic Yards B2 binasının 31 adet modüler hücrelerden oluşan katı bulunmaktadır. Modüler hücreler çelik iskeletli açık hücreler olarak oluşturulmuş ve diyagonal çaprazlamalar kullanılarak güçlendirilmiştir. Hücreler, binanın birincil taşıyıcısı olan çelik çaprazlamalarla güçlendirilmiş iskelete yerleştirilmiştir. Binanın genel stabilitesi merkezi çekirdeklerle sağlanıyor olmasına rağmen, binanın yüksekliği sebebiyle yatay yüklerin bir kısmı iskelet strüktüre aktarılarak çekirdeğin aşırı yük altında kalması engellenmiştir. Bu durumda, modüler hücrelerle 31 kat adedine ulaşmak için diyagonal elemanlarla güçlendirilmiş taşıyıcı bir iskelet strüktürün gerektiği söylenebilir. İskelet strüktürle taşınan 7 katın altında kat adedine sahip Moho binasının, 6 adet modüler hücrelerden oluşan katı bulunmaktadır. Modüler hücreler çelik açık kenarlı hücreler olarak oluşturulmuş ve ara noktalarda ayrı dikmelerle güçlendirilmiştir. Katlarda daireleri birbirine bağlayan açık koridorlar çelik strüktürden oluşturulmuş ve bu strüktüre hücreler cepheye paralel olacak şekilde köşelerinden bağlamıştır. Uzun kenarları açık olan hücrelerde, boydan boya camlar kullanılabilmiştir. Bu durumda, modüler hücrelerin birbirine koridorlarla bağlanması dışında başka bir kat alanına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda, 7 katın altındaki binalarda da kullanıldığı tespit edilmiştir (Çizelge 2 ve 3).

Karma strüktürle taşınan 1 binanın 14 kat adedine sahip Treet binası olduğu belirlenmiştir. Hücreler, binanın birincil taşıyıcısı olan glulam kafes kirişle oluşturulmuş iskelet strüktürün 4 katta bir taşıdığı beton döşemelerin üzerine 4'er kat olarak yığılmıştır. İskelet strüktürün 5 ve 10. katları diyagonal elemanlarla güçlendirilmiş ve modüler hücreleri taşıyan beton döşemeler bu katların üzerine yerleştirilmiştir. Binanın birincil taşıyıcısı iskelet strüktür olmasına karşın, modüler hücreler 4 kat olarak gruplandırılarak beton döşeme plaklarına bağlanarak iskelet strüktürle direkt bağlantısı kurulmamıştır. Bu durumda, ahşap malzemenin getirmiş olduğu kat adedi kısıtlaması, karma strüktür kullanılarak daha fazla kat yüksekliğine ulaşılabildiği tespit edilmiştir.

İncelenen örneklerin %69'unun çekirdek strüktürle, %12'sinin iskelet strüktürle, %7'sinin modüler hücrenin kaynaklı çerçevesi ile genel stabilitesi sağlanmış ve %12'sinin genel stabilitesi hakkında bilgiye ulaşılamamıştır. Binaların, genel stabilitesi için strüktürlerden faydalanılırken %25'inde ek destek stabilite elemanı kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Binalarda genel stabilitenin sağlanması için en çok çekirdek strüktür kullanılmıştır. Hücre biçim ve yük transferine göre taşıma sistemi, genel stabilite strüktürü ve elemanlarının dağılımı Çizelge 3'te gösterilmektedir. Genel stabilitenin iskelet strüktürle sağlandığı binaların tamamının 7'nin altında modüler hücre kat adedine sahip olduğu tespit edilmiştir. Örnek binaların %75'inin destek stabilite elemanı hakkında bilgiye ulaşılamamıştır. Modüler yapılarda genel stabilite strüktür ve elemanlarının hücre biçimi, yük transfer şekli ve taşınma sistemi arasında doğrudan ilişki bulunmama ile birlikte, 7 katın üzerindeki binalarda çekirdekle strüktürün kullanımının stabilitenin sağlanması açısından gerekli olduğu görülmektedir.

3.5. Hücre Biçimi ve Bina Fonksiyonu İlişkisi

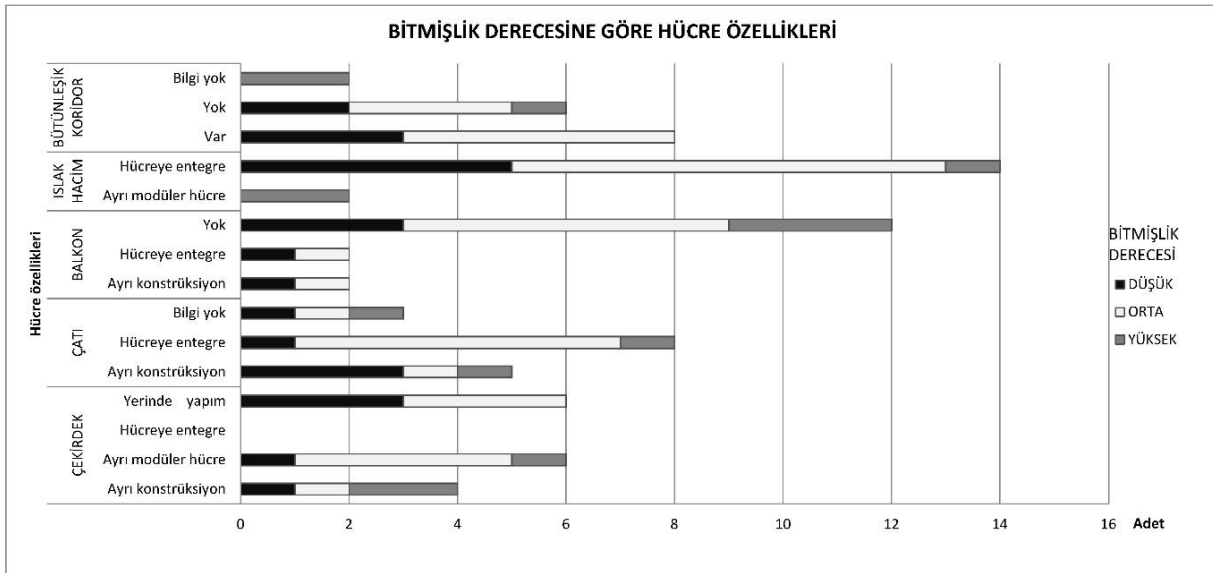
Örnek binaların yatayda ve düşeyde tekrarlanan mekânsal birimlerin tekrar edildiği yurt ve otel fonksiyonuna sahip olduğu görülmektedir. Öğrenci yurtlarının 4'ü kapalı, 1'i iskeletli ve 2'si açık kenarlı hücrelerle; konut binalarının 2'si kapalı, 2'si iskeletli ve 2'si açık kenarlı hücrelerle oluşturulmuştur. Konut ve otel binalarından meydana gelen tek örneğin kapalı hücre ve otel binasından oluşan tek örneğin açık uçlu hücrelerle yapıldığı görülmektedir. Ofis binası örneğinde de iskeletli hücre kullanıldığı görülmektedir. Tek mekândan oluşan, boyutları tanımlı kapalı hücre biçiminin, en çok yurt binalarında tercih edildiği görülmektedir. Konut binalarında

kapalı, iskeletli ve açık kenarlı hücrelerin aynı oranda kullanılmaktadır. Ofis örneğinde iskeletli hücre biçimi tercih edilmesi ile modüler hücrelerin birleştirilerek daha büyük mekanlar oluşturma özelliğinden faydalandığı söylenebilir.

3.6. Hücre Özellikleri ve Bitmişlik Dereceleri İlişkisi

Modüler hücrelerin, fabrika çıkışındaki bitmişlik dereceleri düşük, orta veya yüksek olarak değerlendirilmiştir. Strüktürü, tesisatları, yalıtım malzemeleri, armatürleri ve iç kaplamaları yapılarak fabrikadaki üretimi tamamlanan hücrelerin bitmişlik dereceleri düşük olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda 5 örnek bulunmaktadır. Strüktürü, tesisatları, yalıtım malzemeleri, armatürleri ve iç kaplamalarına ek olarak sabit mobilya donatıları da fabrikada tamamlanan hücreler orta bitmişlik derecesinde olarak değerlendirilmiştir. Bu örnekler de 8 adettir. Cephe kaplamaları ile strüktürü, tesisatları, yalıtım malzemeleri, armatürleri, iç kaplamalarına ve sabit mobilya donatılarda fabrikada tamamlanan hücreler yüksek bitmişlik derecesine sahiptir.

Seçilen 16 adet modüler hücre yapım çok katlı bina örneğinin bitmişlik seviyesi ve üretim teknolojisine göre dağılımı Şekil 1'de gösterilmektedir. Yüksek derecede bitmişliğe sahip hücrelerin, nakliyesi ve yapı alanında vinçlerle kaldırılarak montajı aşamalarında cephe elemanları hasar görebilmekte ve şantiyede rötuş işlemleri artabilmektedir. Ayrıca, cephe kaplamalarıyla birlikte fabrikada tamamlanan modüler hücreler, taşıma aracı ve vinç özelliklerinde değişiklikler gerektirmektedir. Bunun yanında, modüler hücrelerin bitmişlik derecesi arttıkça, şantiyedeki montaj süresi kısalmaktadır. Bu durumda, büyük ölçekli projelerde bitmişlik derecesinin yüksek seviye olarak tercih edilmesi inşaat süresinin kılmasını sağlayabilmektedir. Bitmişlik derecesi arttıkça, çatı, balkon, koridor ve ıslak hacimlerin hücreye entegre olarak üretildiği görülmektedir. Çekirdek strüktürünün üretim teknolojisi ile modüler hücrelerin bitmişlik derecesi arasında bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bitmişlik derecesi yüksek olan bina örneklerinin tamamının modüler hücre adedinin 200'ün üzerinde olduğu ve yapım sürecinin kısaltılmasının hedeflendiği tespit edilmiştir.



Şekil 1. Bitmişlik derecesine göre hücre özellikleri grafiği (İlkay Koman, 2019).

3.7. Yeşil Bina Sertifika Değerlendirmesi

Modüler hücrelerin tamamlandıkları yıl, bina fonksiyonu ve sertifika değerlendirmeleri arasındaki ilişki araştırıldığında, 2010 yılı sonrasındaki örneklerden 8'inin bu sertifika sistemleriyle değerlendirildiği görülmektedir. Bu binaların 3'ü öğrenci yurdu, 1'i otel ve 4'ü konut binasıdır. Son yıllarda, LEED ve BREEAM gibi yeşil bina değerlendirme sistemlerine başvuran bina sayısında artış yaşanmakta ve sertifika sistemleri yaygınlaşmaktadır. Bunun sebeplerinden biri, bazı ülkelerde yeni yapılan binalarda sertifika değerlendirmesinin zorunlu hale getirilmesidir. Bir diğer sebep ise, binanın uluslararası sertifikalı binalar listelerinde yer almasıyla binanın tanınması ve değerinin artmasını sağlaması olarak gösterilebilir. Modüler hücre yapım, malzeme ve kaynak kullanımı, atık yönetimi, çevresel etkileri, süreç ve yönetim planlaması, yapı performansı gibi özellikleri ile doğası gereği sertifika değerlendirmelerinden yüksek puan almaya aday bir yapım sistemidir.

4. SONUÇ

Kökleri yaklaşık 200 yıl öncesine dayanan modüler hücre yapılar 1960'lı yıllara kadar taşınabilirlikleri ön planda tutularak daha çok geçici yapılarda tercih edilmiş, bu tarihten sonra ise taşınabilir modüler yapılar ve kalıcı modüler yapılar olarak iki farklı alanda gelişmeye devam etmiştir. Bu çalışmada, 2000 yılı itibarıyla, günümüzün gelişmiş teknolojisi ve geniş malzeme olanakları dahilinde inşa edilen kalıcı modüler yapılar incelenmiştir. Örnek binaların fonksiyonunu, kat adedi, bulunduğu ülke ve yapım yılı arasındaki ilişki araştırılması sonucunda, çok katlı binalarda modüler hücre yapımının 2002 yılından itibaren İngiltere başta olmak üzere yaygınlaşmaya başladığı ve en çok öğrenci yurdu ve konut binalarında tercih edildiği görülmektedir. Bu alanda İngiltere'yi takip eden Amerika'da son yıllarda metropollerde düşük ve orta gelirli kesimin artan konut ihtiyacını gidermek için stüdyo tipi dairelerin bulunduğu modüler yapılar inşa edilmektedir. Şehir merkezindeki boş alanların değerlendirilmesi ve kentsel dönüşümle yeni yapı ihtiyacının modüler yapılarla karşılandığı görülmektedir. Şehir merkezinde yapılacak karma fonksiyonlu binalardan oluşan büyük ölçekli projelerde de şantiyedeki iş yükünü azaltmak, program sürecini kısaltmak, yüksek kalitede yapı elde etmek ve maliyeti düşürmek için modüler yapıya yönelen bir eğilim mevcuttur.

İncelenen bina örneklerinde kapalı ve açık hücre tercihinin yarı yarıya olduğu görülmektedir. Modüler hücrelerin biçim özelliğinin kat adedi, hücre adedi ve hücre boyutu gibi diğer kriterlerle yapılan karşılaştırmalarında, bir sınırlandırma getirmediği görülmüştür. Bu kriterler, hücre biçiminden ziyade malzeme seçiminde çeşitli sınırlandırmalar getirmektedir. Bu durumda, modüler hücrenin biçim kararı verilirken bina fonksiyonuna göre mekân özelliklerinin baz alındığı söylenebilir. Ahşap hücrelerin 7 katın üzerindeki binalarda kullanılmadığı, açık çelik hücrelerin her kat yüksekliğinde kullanıldığı, kapalı çelik hücrelerin 7 katın üzerindeki binalarda kullanıldığı görülmektedir. Modüler hücrelerin birbirine koridorlarla bağlanması dışında başka bir kat alanına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda, 7 katın altındaki binalarda da iskelet strüktürün tercih edilebildiği görülmektedir. 7 katın altındaki Modüler yapıların desteksiz taşınabilmesine karşın destek strüktürlerle taşınması, bu strüktürlerin zemin katın kolonlar üzerinde yükseltilmesiyle giriş katta geniş açıklıklı kullanım alanları kazanılması ile açıklanabilir. Kazanılan bu alanlar ticari ve ofis alanları, otopark alanları gibi hücresel özellikte olmayan mekanların modüler hücrelerle kullanılarak oluşturulmasından daha avantajlı olabilmektedir. Ayrıca, karma strüktür kullanımıyla, modüler hücrenin strüktürel malzemesinin getirmiş olduğu kat adedi sınırlandırmasına da çözüm getirmek mümkün olmaktadır. Modüler yapılarda genel stabilite strüktür ve elemanlarının hücre biçimi, yük transfer şekli ve taşınma

sistemi ile doğrudan bağlantılı olmadığı görülmektedir. Ancak, binanın modüler hücre kat adedine bakılarak 7 katın altındakilerde çekirdek ve iskelet strüktür, 7 katın üzerindeki ise sadece çekirdek strüktürün kullanımının uygun olacağı söylenebilir.

Modüler hücrelerin bitmişlik seviyesi arttıkça şantiyedeki montaj süresinin kısaldığı görülmektedir. Ancak, bitmişlik seviyesi yükseldikçe kat koridorlarının hücrelere entegre edilmek yerine ayrı birimler olarak kullanılmaya başladığı da görülmüştür. Modüler hücre kullanımının binadaki oranı arttıkça süre avantajının artacak olmasına karşın, balkon ve bütünleşik koridor gibi bölümlerin hücreye entegre edilmesi hücre boyutlarını ve ağırlığını arttıracığı için, bu mekanlarda ayrı yapısal çözümlerinin getirilmesi gerekebilmektedir. Aynı şekilde, cephe elemanlarıyla birlikte tamamlanarak yüksek seviyede bitmişliğe sahip hücrelerin, üretim alanı ile yapı alanı arasındaki taşınmasında ve yapı alanında vinçlerle kaldırılarak yerleştirilmesi aşamalarında cephe elemanlarının hasar görmesi ve şantiyedeki rötuş müdahaleleri artabilmektedir. Ayrıca, modüler hücrelerin bitmişlik oranları arttığında, hücrenin taşınacağı araç ve kaldırılacağı vinç özellikleri gibi değişikliklere de sebep olabileceği göz önünde bulundurularak bitmişlik düzeyi tercihi yapılmalıdır. Bitmişlik seviyesi yüksek olan binalarda modüler hücre adedinin 200'ün üzerinde olduğu ve yapım sürecinin kısaltılmasının hedeflendiği görülmektedir. Binaların yapı alanının etrafının yoğun trafikli sokaklarla çevrili ve şantiyede malzeme depolama alanlarının kısıtlı olduğu gözlemlenmiştir. Büyük ölçekli projelerde bitmişlik seviyesinin yüksek seviye olarak tercih edilmesinin, proje sürecine getireceği olumlu etkinin çok daha fazla olacağını söylemek mümkündür.

Modüler hücre yapım, malzeme ve kaynak kullanımı, atık yönetimi, çevresel etkileri, süreç ve yönetim planlaması, yapı performansı gibi özellikleri ile doğası gereği sertifika değerlendirmelerinden yüksek puan almaya aday bir yapım sistemidir. Modüler yapılarda, en çok konut ve öğrenci yurtlarında sertifika değerlendirmesinin kullanıldığı görülmektedir. LEED ve BREEAM gibi yeşil bina değerlendirme sistemlerine başvuran dünya genelindeki bina sayısında son yıllarda yaşanan artışla, sertifika sistemleriyle değerlendirilen Modüler yapıların 2010 yılı sonrasında yapılmış olmasıyla, birbirine paralel olduğu gözlemlenmektedir. Sertifika sistemlerinin yaygınlaşma sebeplerinden biri, bazı ülkelerde yeni yapılan binalarda sertifika değerlendirmesinin zorunlu hale getirilmesidir. Bir diğer sebep ise, binanın uluslararası sertifikalı binalar listelerinde yer almasıyla binanın tanınması ve değerinin artmasını olarak gösterilebilir.

Bu çalışmayla, modüler hücre yapımın günümüz gereksinimlerini karşılamada başarılı bir alternatif yapım sistemi olduğu ve kullanımının teşvik edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ancak, bu sistem birçok tasarım girdisine sahip olmasından kaynaklanan karmaşıklığı ve alışıla gelen yapım sistemlerinden farklı süreçlere sahip olması sebebiyle, yatırımcı ve üreticilerin gerektiği kadar ilgisini çekememiştir. Bu nedenle üretici firmaların mimari uygulamalara yönelik kataloglar hazırlaması, modüler yapılara ilişkin fırsatların inşaat sektöründe anlaşılmasına katkı sağlayacak araştırmaların yaygınlaşması önem arz etmektedir.

Bilgilendirme / Teşekkür

Bu inceleme makalesi MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programında, Gizem Tuna Sezer tarafından tamamlanan “Modüler hücre yapım sistemlerinin çok katlı yapılarda incelenmesi” başlıklı tezden üretilmiştir.

Aksi belirtilmediği takdirde makalede kullanılan şekiller ve çizelgeler belirtilen tarihte yazarlar tarafından üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Bildirimi ve Sorumluluk Bildirimi

Bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur, olası bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Makalede belirtilen tüm görüş ve düşünceler yazarların sorumluluğundadır, bu konuda derginin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Makalede yer alan görsellerin kullanımına dair yasal izinlerin alınması yazarların sorumluluğundadır, bu konuda derginin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Yazar Katkı Bildirimi

Bu makalede araştırmanın başlangıç fikri ve metodoloji Gizem Tuna Sezer ve İlkay Koman tarafından ortak olarak tasarlanmıştır. Veriler Gizem Tuna Sezer ve İlkay Koman tarafından toplanmış, Bulgular Gizem Tuna Sezer ve İlkay Koman tarafından yorumlanmıştır.

KAYNAKLAR

Kitap

ANDERSON, M. ve ANDERSON, P., 2007. *Prefab prototypes: site-specific design for offsite construction*. New York: Princeton Architectural Press.

AYAYDIN, Y. ve KOMAN, İ., 2004. *Mimarlar için 12 soruda beton prefabrikasyon*. İstanbul: Birmat Matbaası.

LAWSON, M., OGDEN, R. ve GOODIER, C., 2014. *Design in modular construction*. Boca Raton, FL: CRC Press.

ROGAN, A. L., LAWSON, R. M. ve BATES-BRKLJAC, N., 2000. *Value and benefits assessment of modular construction*. Ascot: The Steel Construction Institute.

STAIB, G., DÖRRHÖFER, A. ve ROSENTHAL, M., 2008. *Components and systems: modular construction: design, structure, new technologies*. Basel: Walter de Gruyter.

Konferansta Bildiri

LAWSON, R. M. ve OGDEN, R. G., 2010. Sustainability and process benefits of modular construction. İçinde: BARRETT, P., AMARATUNGA, D., HAIGH, R., KERAMINIYAGE, K. ve PATHIRAGE, C., TG57-Special Track 18th CIB World Building Congress Salford, 10-13 Mayıs 2010, Salford: The Lowry. s. 38-52.

Dergide makale

KOMAN, İ. ve GÜR, N. V., 2014. Modüler yapımda güncel yaklaşımlar. *Mimarist*. (49), s. 40-44.

LAWSON, R. M., OGDEN, R. G., PEDRESCHI, R. ve OLA, S. P., 2005. Pre-fabricated systems in housing using light steel and modular construction. *International Journal of Steel Structures*. 5 (5), s. 477-483.

LAWSON, R. M. ve RICHARDS, J., 2010. Modular design for high-rise buildings. *Proceedings of the ICE-Structures and Buildings*. 163 (3), s. 151-164.

TOKGÖZ, H., ve KOÇAK, Y., 2009. Modüler koordinasyonun bina tasarımına uygulanması. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*. (20), s. 83-92.

İnternet kaynağı

The Steel Construction Institute, 2008. *Best practice in steel construction-residential buildings* [çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.infosteel.be/images/publicaties/best-practice/Best-Practice-Residential-EN.pdf>/ [Erişim Tarihi 13 Mart 2021].

Tez

SEZER, G. T., 2015. *Modüler hücre yapım sistemlerinin çok katlı yapılarda incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

VELAMATI, S., 2012. *Feasibility, benefits and challenges of modular construction in high rise development in the United States: a developer's perspective*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Massachusetts Institute of Technology.

Biyografiler

Gizem TUNA SEZER

1988 yılında İstanbul'da doğdu. Maltepe Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı'nda 2012 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini 2015 yılında tamamlamıştır. Kurumsal bir şirkette mimar olarak çalışmaktadır.

İlkay KOMAN

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi'nden Mimarlık, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı'ndan Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini almıştır. Aynı kurumda Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda Doçent olarak görev yapmakta, yapı teknolojileri alanında araştırmalarını sürdürmektedir.