

## Konut Üretiminde Tipleştirilmiş Hafif Çelik Modül Sistem ile Tasarım Olanaklarının Değerlendirilmesi

Burcu YILMAZ<sup>1\*</sup>, Özlem EREN<sup>2</sup>

### Öz

Günümüzde artan konut ihtiyacı ve deprem bölgesi olan ülkemizde geleneksel yapım sistemlerine alternatif çözümler aranması, prefabrikasyonu ve hafif yapıları ön plana çıkarmıştır. Aynı zamanda inşaat sektörünün malzeme ve kaynakların tüketiminde büyük paya sahip olması, sürdürülebilir yapım sistemlerini gündeme getirmiştir. Hem çevreye olan etkilerin en aza indirilmesi hem de kısa sürede yüksek konfor koşulları sunan binaların elde edilmesi için şantiye dışı üretim önem kazanmıştır. Fabrika ortamlarında kontrollü ve büyük ölçüde bitmiş olarak seri üretim mümkün olmaktadır. Bu sayede inşaat süresinin kısalmasıyla çevreye verilen rahatsızlık azaltılmakta; kontrollü üretim sayesinde malzeme fireleri en aza indirilerek kaynak korunumu sağlanmaktadır. Ayrıca hata payının en aza indirilmesi, deprem güvenliğini de artırmaktadır.

Hafifliği sayesinde deprem yüklerini daha az alan hafif çelik yapım sistemleri, ülkemizde 1999 Gölcük Depremi'nin ardından gündeme gelmiştir. Şantiye dışında üretime ve geri dönüşüme imkan veren bu yapım sistemi ile kısa sürede yapı üretimi mümkündür. Hafif çelik yapıların taşıyıcı sistemi çubuk, panel ve modül olmak üzere üç farklı şekilde düzenlenmekte olup; bu yöntemler içerisinde endüstrileşme seviyesi en yüksek olan modül sistemdir. Tesisat ekipmanlarının montajına varıncaya kadar fabrika ortamında tamamlanan modüler üniteler ile şantiye alanındaki kurulum süresi en aza indirilmektedir. Bu sayede hızlı ve güvenilir yapı inşasında hafif çelik modüler kutu sistemler alternatif bir yapım sistemi olarak önerilebilmektedir. Sürdürülebilir yapıya yönelik yaşam döngüsü süreci ele alındığında endüstrileşmiş yapım ile kaynak kullanımı ve atık miktarı kontrol edilebilmekte; sökülebilir bağlantılara sahip modüller kullanım sonrasında yenilemeye, yeniden kullanıma ve geri dönüşüme imkan vermektedir. Ayrıca modüler kutuların farklı iklim ve bölgesel koşullara uyarlanabilir olması, tüm dünya çapında kullanımına imkan vermektedir (Yılmaz, B., 2017: 1).

**Anahtar Kelimeler:** Hafif Çelik Yapı, Modüler Kutu Sistemler, Prefabrikasyon, Konut Üretimi,

## Evaluation of Design Possibilities with a Typed Light Steel Module System in Housing Production

### Abstract

Today the search for alternative solutions for traditional construction systems in our country, which is a region of increasing housing needs and earthquakes, has brought prefabrication and lightweight structures to the forefront. Meanwhile, the construction sector is consuming large amounts of materials and resources which has created a need for sustainable construction systems. Off-site production has become a great sustainable

<sup>1</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programı, İstanbul

<sup>2</sup> Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul

\*İlgili yazar/Corresponding author: burcuzun92@gmail.com

Gönderim Tarihi / Received Date: 26.10.2021

Kabul Tarihi / Accepted Date: 29.08.2022

practice to both to minimize the effects on the environment and to obtain buildings that offer high comfort conditions in a short time. Controlled and largely finished mass production is possible in factory environments. In this way, the disturbance to the environment is reduced by shortening the construction period, and thanks to controlled production, material waste is minimized, and resource conservation is ensured. In addition, minimizing the margin of error also increases earthquake safety.

Light steel construction systems, which absorb less earthquake loads thanks to their lightness, came to the forefront in our country after the 1999 Gölcük Earthquake. This construction system allows production and recycling outside the construction site making it possible to produce buildings faster. The carrier system of light steel structures is arranged in three different ways: stick, panel, and module. Among these methods, the module system has the highest industrial efficiency. With the modular units being prepared in the factory environment prior to the assembly of the installation equipment, the installation time in the construction site is minimized. In this way, light steel modular box systems is a highly recommendable alternative construction system for fast and reliable building. Considering the life cycle process for sustainable construction, consumption of resources and the amount of waste can be monitored through industrialization. Modules with detachable connections allow refurbishment, reuse, and recycling after use. In addition, the adaptability of modular boxes to different climates and regional conditions allows for their use all over the world (Yılmaz, B., 2017: 1).

**Keywords:** Light Steel Structure, Modular Box Systems, Prefabrication, Housing Production,

## 1. Giriş

Hafif çelik modüler kutu sistem, sahip olduğu pek çok avantaja karşın ülkemizde yeterince tanınmamakta ve uygulanmamaktadır. Avrupa'da ve Amerika'da oldukça yaygın olarak kullanılan bu yapıım sisteminin ülkemizde de yaygınlaşabilmesi için sunmuş olduğu imkanlar konusunda yeterli bilincin oluşması gerekmektedir. Hafif çelik modüler kutu sistemli yapıların montajının doğru bir biçimde yapılabilmesi için birleşim detaylarını iyi bilen, kalifiye elemanlar gerekmektedir. Yeterli proje ve uygulama becerisine sahip iş gücü eksikliği, sistemin tercih edilmesini azaltan unsurlardan birisidir. Ayrıca çelik kelimesi ardında çok pahalı olduğu önyargısını taşımaktadır (Balci, E., 2003: 43). Çelik strüktüre sahip yapı üretiminin geleneksel yapıım sistemlerine kıyasla pahalı olarak görülmesi, yapıların sadece taşıyıcı sistemlerinde kullanılan ürünlerin piyasa koşullarındaki parasal değerleri ile değerlendirilmesinin bir sonucudur (Özdil, S., 2001a: 1; Canitez, İ., S., 2002: 78). Ancak maliyetin üretim aşamasından kullanım ömrü sonuna kadarki yaşam döngüsü boyunca bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir. Taşıyıcı sistem maliyetinin toplam maliyete oranı çok genel anlamda %5 ile %15 arasında olup; ülkemizde üretilen yapıların genelinde %15, konut yapıları özelinde ise %30 alınabilir. Çeliğin diğer ürünlere göre %20 daha pahalı olduğu düşünülürse %15'lik kısmın %20 pahalı olması sistemin tamamına %3-4'lük bir ek yük getirmektedir. Bu oran konut yapılarında %6-%10 arasında olup; bu ek gider kalemi bir ölçüde deprem dayanım ve can güvenliğinin bedeli olarak da görülebilir (Özdil, S., 2001b: 2; Canitez, İ., S., 2002: 78).

Yapının erken tamamlanarak yatırım finansmanlarının geri dönüşümünün hızlanması, kalıp ve iskele giderlerinin en aza indirilmesi, daha az sayıda işçi ile sistemin montajının yapılabilmesi, çelik elemanların fabrikalarda ön üretimli olarak üretilmesi sayesinde malzeme firelerinin en aza indirilmesi, %100'e yakın geri dönüştürülebilmesi, dünya genelinde bankaların ve sigorta şirketlerinin çelik yapılara daha kolay kredi ve sigorta

güvencesi sağlayarak ödeme kolaylıkları sağlaması gibi avantajları da göz önüne alındığı takdirde sistemin geleneksel sistemlerden maliyet olarak bir farkının olmadığı görülecektir (Yıldırım, S. G., 2003: 99). Ülkemizde hafif çelik sistemlere ait özel bir yönetmeliğin henüz bulunmaması ve sistem hakkındaki bilinmezlikler, kullanımının yeteri kadar yaygınlaşmamasının başlıca nedenlerindedir. Ayrıca modül sistem denildiğinde akla kısıtlı planlamanın gelmesi sebebiyle mimarlar genellikle bu yapım sistemine karşı önyargılı yaklaşmaktadır. Ancak pek çok farklı alternatif oluşturulması mümkün olup; özellikle zaman faktörünün önemsendiği yapılarda alternatif bir yapım sistemi olarak düşünülebilir. Sökülebilir bir sistem olmasının sunduğu esneklik ve sürdürülebilirlik imkanları da göz önüne alınarak yaşam döngüsü sürecinin değerlendirilmesi ile sistem hakkındaki ön yargıların kaldırılabilceği düşünülmüştür. Bu çalışmada örnek bir modül tasarlanarak standart bir modül ile esnek tasarımın mümkün olduğunun ortaya konulması amaçlanmıştır (Yılmaz, B., 2017: 3).

## 2.Hafif Çelik Modül Yapı

Prefabrikasyon, ön montaj, modülarizasyon ve şantiye dışı fabrikasyon yapı sistemlerinin ve/veya parçalarının şantiye dışında ve fabrikalarda montajını veya fabrikasyonunu kapsamaktadır. Şantiye dışında tamamlanan bu sistemler veya parçalar, uygun zamanda monte edilmek üzere uygulama sahasına taşınmaktadır. Modüler kutular, uygulama sahasına getirilmeden önce büyük ölçüde tamamlanmış olarak üretilmektedir. Bu durum şantiye alanında ortaya çıkan inşaat atıklarını önemli ölçüde sınırlayarak inşa sahası atık yönetimine doğrudan katkıda bulunmaktadır (Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 685). Günümüzde modüler yapım sistemleri, gelişen teknoloji ve geniş malzeme yelpazesi ile geleneksel yapım sistemlerine hem tasarımlarıyla hem de fonksiyonellikleri ile rakip duruma gelmiştir. Sistemin standart kalite güvencesi ve zamanında tamamlanma garantisi, kalite ve zamandan ödün vermek istemeyen işverenler tarafından tercih edilmesini sağlamaktadır.

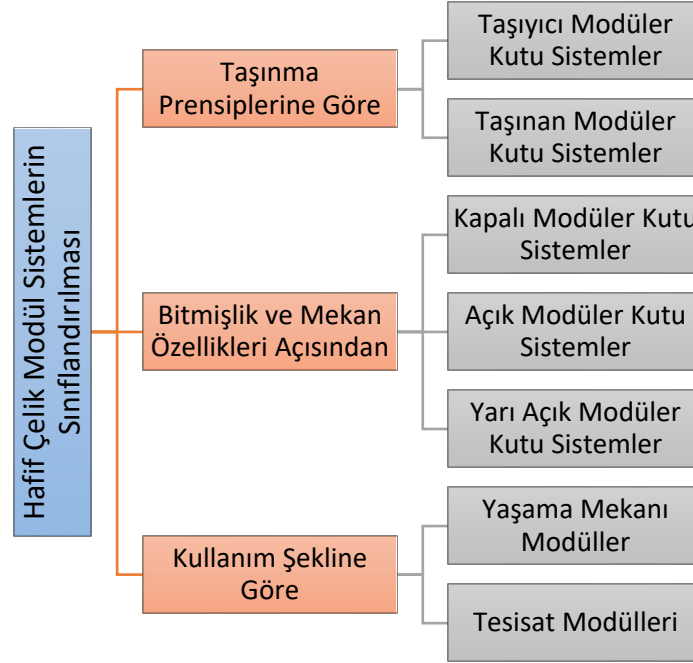
1983'te modüler yapım sistemlerine destek sağlamak amacıyla, ticari amaç gütmeyen ve uluslararası bir kuruluş olan The Modular Building Institute (MBI) kurulmuştur. Bu kuruluş, modüler yapım sistemlerini üreticilere ve kullanıcılara tanıtarak yeni uygulamalardan haberdar etmeyi, modüler yapım sistemlerinin gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamayı amaçlamaktadır (Tuna Sezer, G., 2015: 47).

Hafif çelik sistem, ağırlığının daha az olması sayesinde malzeme, enerji, taşıma ve emisyon açısından verimlidir (Eren, Ö. ve Başarır, B., 2013: 123). Ayrıca yapım sisteminin sökölüp takılabilmesi ve galvaniz çeliğin %100 geri dönüşümlü bir malzeme olması, betonarme ve ahşaba göre avantaj sağlamaktadır (Yıldırım, S. G., 2010: 68). Yapı elemanı, çelik çerçeve ve modüler ünitelerin prefabrikasyonu ile hata payı azaltılarak işçilik kalitesi daha yüksek yapılar inşa edilebilmektedir (Eren, Ö. ve Başarır, B., 2013: 128). Bu bağlamda hafif çelik yapım sisteminin modüler olarak uygulanması, daha kaliteli ve hızlı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır.

### 2.1. Hafif Çelik Modül Sistemlerin Sınıflandırılması

Hafif çelik modül sistemler kendi içerisinde taşınma prensiplerine göre, mekan özellikleri açısından ve kullanım şekline göre sınıflandırılabilir (Tablo 1.).

Tablo 1. Modüler kutu sistemlerin sınıflandırılması (Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 686'dan uyarlanmıştır.)



### 2.1.1. Taşınma prensiplerine göre sınıflandırılması

Hafif çelik modül sistemler taşınma prensiplerine göre incelendiğinde modüller taşıyıcı ve taşınan olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Modüllerin bir araya getirilmeleri yığma yapı yöntemi, iskelet sisteme montaj yöntemi ya da iki yöntemin bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Montaj şeklinin belirlenmesinde ise modüllerin taşıyıcılık özellikleri etkili olmaktadır (Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 688-689). Modüllerin montajı vinçler ile kaldırılarak gerçekleştirildiğinden kaldırma esnasında oluşan ek gerilmeler dikkate alınmalıdır (Ekinci, S., 2006: 72).

#### 2.1.1.1. Taşıyıcı modüler kutu sistemler

Taşıyıcı modüller, kendi yüklerini taşımalarının yanı sıra üzerlerine gelen yükleri de karşılayarak taşıyıcı strüktürün bir parçası olarak görev almaktadır. Bu sayede modüller, taşıyıcı bir iskelete gereksinim olmadan yığma yapı yöntemi ile düzenlenebilmektedir. Yığma yapı yöntemiyle yapı kuruluşu, taşıyıcı özellikteki modüllerin yan yana ve/veya üst üste düzenlenmesi ile oluşturulmaktadır. Modüller, tuğla duvar örer gibi yan yana ve üst üste konarak birbirlerine monte edilmektedir. Sistemin kurulumunda, açık veya kapalı modüller kullanılabilir. Modüllerin birleştiği yüzeylerde oluşabilecek çift duvar ve döşemeler, yalıtım veya tesisat uygulamaları için avantaj sağlamaktadır (Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 688).

#### 2.1.1.2. Taşınan modüler kutu sistemler

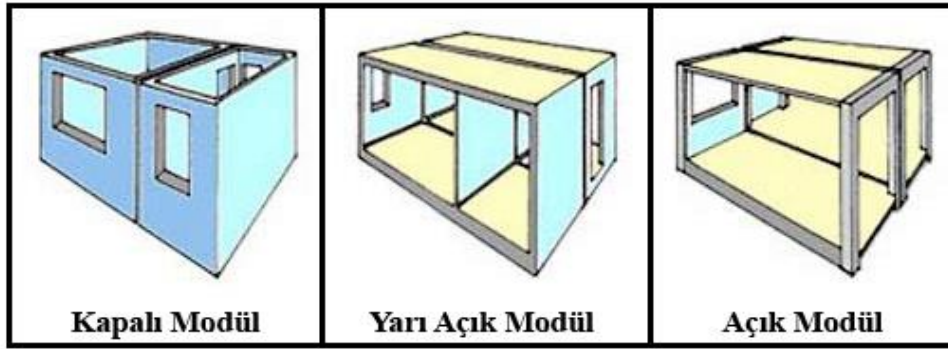
Taşınan modüler kutular, yalnızca kendi yüklerini taşımakta ve sisteme etki eden diğer kuvvetlerin karşılanmasında görev almamaktadır. Taşıyıcılık özelliği bulunmayan bu modüler kutular ile bir yapı oluşturulmak istendiğinde, taşıyıcı bir iskelete ya da rijit bir askıya ihtiyaç duyulmaktadır. Yapı oluşumu, taşıyıcı özelliği bulunmayan bu modüllerin taşıyıcı bir iskelet yardımı ile taşınması veya merkezi bir çekirdeğe asılması ile sağlanmaktadır. İskelet sisteme montaj yönteminde modüler kutu üniteler, şantiyede önceden hazırlanmış bir iskelet strüktürün içerisine yanlardan sürülerek, alttan yukarı doğru kaydırılarak veya yukarıdan aşağıya sarkıtılarak yerleştirilmektedir. Sistemin

kuruluşunda, kapalı modüler kutular daha çok tercih edilmekte olup; ana taşıyıcı iskelet strüktürdür.

Ayrıca hem yığma hem de iskelet sistemin bir arada kullanıldığı karma sistemler de oluşturulabilmektedir. Bu sistemlerde modüler kutu ünitelerin bir kısmı yığma sistem prensibine göre monte edilirken, diğer bir kısmı taşıyıcı bir iskelet içerisine monte edilmektedir (Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 689).

### 2.1.2. Bitmişlik ve mekan özellikleri açısından sınıflandırılması

Hafif çelik modüler kutu üniteler bitmişlik ve mekan özellikleri açısından; kapalı, açık ve yarı açık modüller (Şekil 1.) olmak üzere üç farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Eren, Ö., 2014: 29)



Şekil 1. Bitmişlik ve mekan özellikleri açısından modüler kutular (Eşsiz, Ö. Ve Koman, İ., 2007: 1-5)

#### 2.1.2.1. Kapalı modüler kutu sistemler

Kapalı modül sistemde, modüler kutuların her tarafı sınırlandırılarak mekan boyutları belirlenmiş olduğundan bu modüllerin gelişme olanağı yoktur (Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 29). Bu nedenle bu modüller ile yapılan yapılarda planlama esnekliği bulunmamaktadır. Kapalı modüler kutular; tam kapalı, cepheleri açık ve üst yüzeyi açık olarak üç farklı şekilde üretilmektedir (Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 29). Kapalı modüllerin büyüklüğü, taşınabilme imkanı ile sınırlıdır. Modüllerin boyutu, karayolu trafik kanunlarının izin verdiği ölçüde olabilmektedir. Bu nedenle modüllerin bir yöndeki boyu, 2.40 m veya 3.30 m'den daha fazla olmamalıdır. Mekan boyutları modül boyutları ile ilişkili olduğundan, bu modüller daha çok konut yapıları için uygundur (Ekinci, S., 2006: 73; Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 30). Kapalı modüler kutular, kendi içlerinde rijit bir konstrüksiyon oluşturmaktadır. Bir araya getirilmeleri, yığma strüktürlerdeki gibidir. Farklı boyutlardaki kapalı modüller, üst üste ve/veya yan yana koyularak değişik düzenlemeler yapılabilmektedir (Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 30).

#### 2.1.2.2. Açık modüler kutu sistemler

Açık modüler kutuların enlemesine veya boylamasına yöndeki yüzeyleri açıktır. Sınırlanan yüzeyler taşıyıcı duvar, taşıyıcı iç duvar veya taşıyıcı çerçeve içinde bölücü duvar olabilmektedir. Modüllerin sınırlandırılmayan yüzeyleri, diğer modüller ile birleştirilerek daha büyük mekanların oluşturulabilmesine imkan vermektedir. Açık modüler kutu sistemlerdeki amaç hem nakliyenin kolaylaştırılması hem de modüllerin birleştirilebilmesi sayesinde planlama esnekliği sağlanmasıdır. Aynı zamanda malzeme tasarrufu yapılmasına da imkan vermektedir. Örneğin bir tavan ile sınırlandırılmamış bir modülün üzerine gelecek diğer bir modülün tabanı, alttaki modülün tavan görevini de

üstlenmektedir. Bu sayede alttaki modül için ayrıca bir tavan yapılmasına gerek kalmamakta ve malzemeden tasarruf edilmektedir (Ekinci, S., 2006: 74; Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 30).

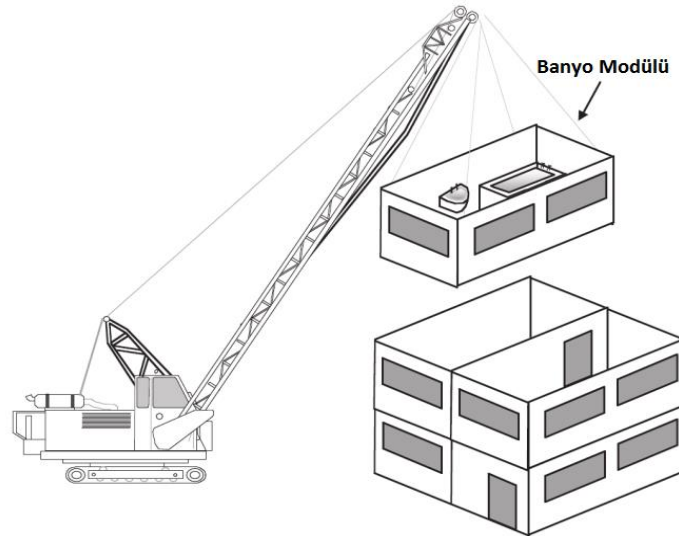
Açık modüler kutular, tamamen sınırlandırılmamış, üç boyutlu çerçeve şeklinde de üretilebilmektedir. Bu durumda taşıyıcı çerçeve, fabrika veya şantiye alanında montajdan sonra bölücü duvarların eklenmesi ile sınırlandırılmaktadır (Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5; Eren, Ö., 2014: 30).

### 2.1.2.3. Yarı açık modüler kutu sistemler

Yarı açık modüler kutu sistemler, kapalı ve açık modüler kutuların bir arada kullanılması ile oluşturulmaktadır (Eren, Ö., 2014: 30).

### 2.1.3. Kullanım şekline göre sınıflandırılması

Hafif çelik modüler kutu üniteler, yapıda yaşama mekanlarını oluşturmak için kullanılabilir gibi, yapının yalnızca tesisat bölümlerinde de kullanılabilir. Yaşama mekanları modülleri; kapalı, açık veya yarı açık modüllerin bir araya getirilmesi ile yaşama mekanlarının oluşumunu sağlamaktadır. Tesisat modülleri, yapının ince işçiliği fazla olan birimlerinde kullanılmaktadır. Bu modüller, fabrikalarda bitmiş olarak kullanıma hazır bir biçimde üretilmekte ve şantiye alanına taşınarak yalnızca montaj işlemleri yapılmaktadır (Şekil 2.). Tesisat modülleri içerisinde gerekli sıhhi tesisat ekipmanları, aksesuar, havalandırma, ısıtma gibi kanallar yerleştirilmiş biçimde üretilmektedir. Modüller binaya kaba inşaat aşamasında getirilerek tesisat modülleri için önceden bırakılan boşluklara monte edilmektedir (Eşsiz, Ö., 1997: 20-130; Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012: 690).



Şekil 2. Banyo modülünün vinç ile montajı (Emmit, S. ve Gorse, C., 2010: 495)

## 3. Hafif Çelik Modülün Konstrüksiyon Kuruluşu ve Örnek Proje Oluşturulması

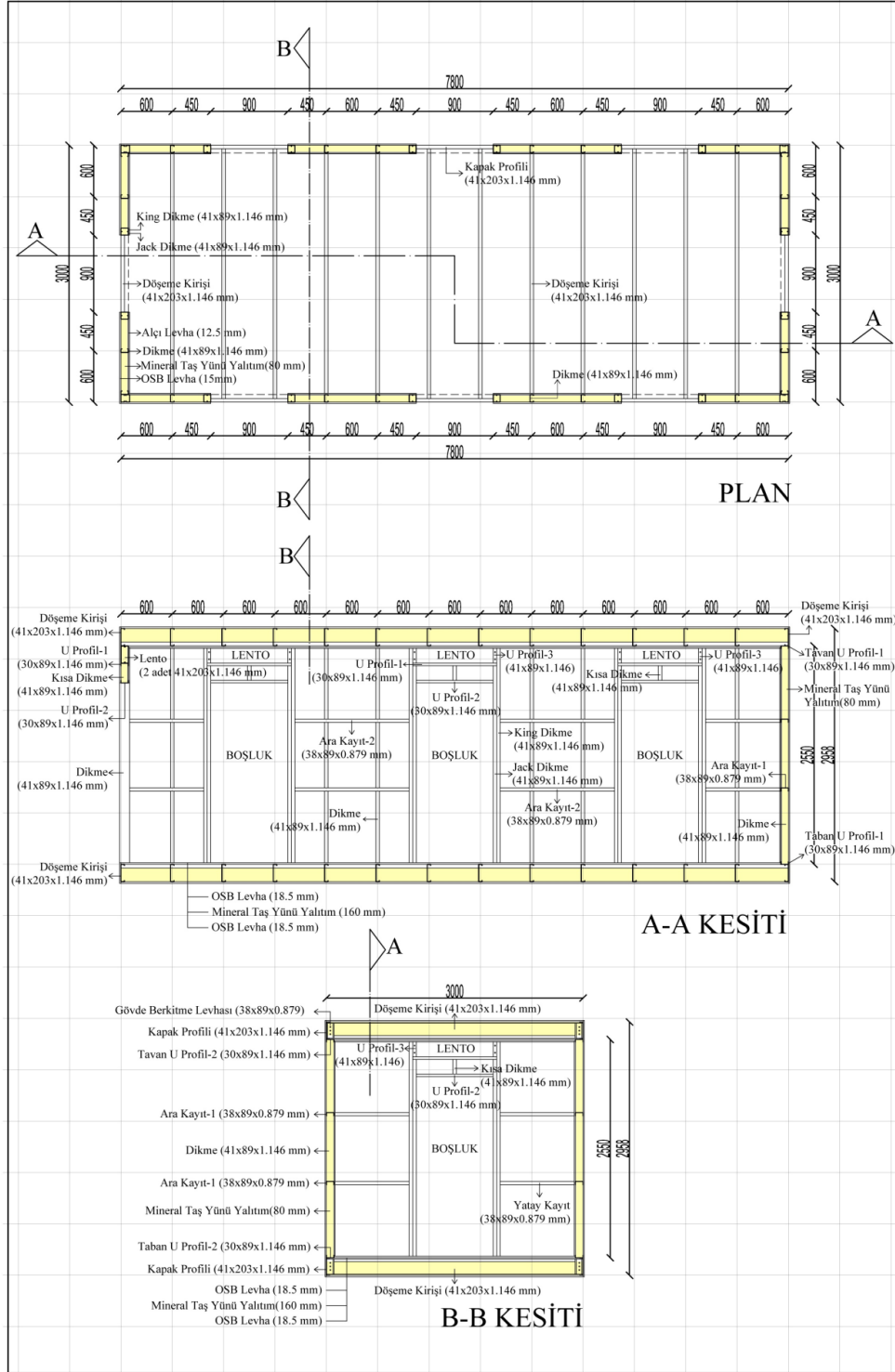
Hafif çelik modüller çubuk veya düzlemsel taşıyıcı elemanların bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Modüler kutu yapım sisteminde asıl sorun, modüler kutuların birbirleriyle olan bağlantılarının çözülmesidir. Modüller arasındaki tolerans payları önemlidir (Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007: 1-5). Hafif çelik modül yapım sisteminde yapı elemanları, modüler kutular şeklinde ve neredeyse tamamen bitmiş üniteler halinde şantiyeye getirilmektedir. Sistemin çalışma prensipleri, hafif çelik çerçeve sistem ile aynıdır. Ancak

her bir modül, kendi içerisinde rijit bir kafes oluşturmaktadır. Ünitelerin prefabrikasyonu genellikle tesisat ekipmanlarını da içermektedir (Ekinci, S., 2006: 71). Vinçler vasıtasıyla kaldırılarak üst üste konulan modüller, dıştan çelik kablo veya farklı çelik gergi elemanları ile birbirine sabitlenerek çok katlı hafif çelik yapı oluşumu sağlanmaktadır. Sistemin temeli prefabrikasyona dayalı olduğundan genellikle modül boyutları sabittir (8 x 3.2 m). Ayrıca bu modüller, yeniden kullanıma uygun ve yer değiştirebilecek şekilde tasarlanmaktadır (Terim, B., 2006: 46).

Çalışma konut yapıları ile sınırlandırılmış olup; konutların iki modülden oluşacağı düşünülerek dubleks, tripleks gibi kullanımlar kapsam dışı bırakılmıştır. Çalışmanın daha fazla sayıda modülden oluşan konut yapıları ya da farklı fonksiyonlar için geliştirilmesi mümkündür. Bu örnek çalışma ile standart bir modülle farklı tasarım imkanlarının ortaya konulması ve tasarım kararlarının yaşam döngüsünü nasıl etkilediğinin anlatılması amaçlanmıştır. Tasarım evresi, yapı ile ilgili ana kararlar verildiği için yaşam döngüsü sürecini doğrudan etkilemektedir. Bir yapının tasarımında yapının fonksiyonu, kullanım amacı, kullanıcı ihtiyaçları ve ekonomik koşulların yanı sıra sürdürülebilirlik hedefi doğrultusunda esneklik, yeniden kullanım ve geri dönüşüm gereksinimleri etkili olmaktadır. Yapının fonksiyonu mekan boyutlarını, kullanım amacı konfor gereksinimlerini, ekonomik imkanlar konfor koşullarını belirlerken; sürdürülebilirlik hedefi, sökülebilir ve geri dönüştürülebilir nitelikte olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan modülün, çalışma boyunca önemi vurgulanan yaşam döngüsü süreci göz önünde bulundurularak değişen kullanıcı ihtiyaçlarına, yeniden kullanıma ve geri dönüşüme imkan verebilecek şekilde esnek tasarıma sahip olması önemsenmiştir. Modüllerin yan yana ve üst üste çeşitli şekillerde düzenlenebilmesi ile iç planlamalarının değişebilir nitelikte olması sayesinde kullanım ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Yapının eskimesi durumunda ise modüllerin sökülerek sağlam bileşenlerin yeniden kullanılabilmesi ya da kullanılamayacak durumdaki bileşenlerin geri dönüştürülebilmesi ile sürdürülebilirliğin sağlanması amaçlanmıştır. Bu hedeflere ulaşılmasında modül tasarımı, yaşam döngüsü aşamalarını etkilediği için oldukça önem taşımaktadır.

Tasarım evresinde belirlenen yapı fonksiyonu ve kullanım amacı, modül kuruluşunu doğrudan etkilemektedir. Modül boyutları, geçilmesi gereken açıklık miktarı, yüzeylerdeki boşluk oranları, kullanılacak bileşenlerin boyutları ve sayısı gibi üretimi etkileyen faktörler tasarım evresinde alınan kararlar doğrultusunda belirlenmektedir. Bu nedenle öncelikle kullanıcı profilinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapının bireysel kullanım, toplu kullanım ya da afet sonrası kullanım gibi hizmet edeceği amaç modül niteliklerini belirlemekte ve bu da üretim evresini etkilemektedir. Bu çalışmada kullanılan modülün (Şekil 3.) kullanıcı profili esnek tutularak değişen ihtiyaçlara uyarlanabilir nitelikte olması hedeflenmiş; iç mekan düzenlemeleri ile yan yana ya da üst üste gelme alternatifleri kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Modülün boyutu ise hafif çelik profillerin 60 cm akslarla düzenlenmesinden dolayı 60 cm'in katları olacak şekilde 3 m x 7.8 m olarak belirlenmiştir. Çalışma boyunca 60 cm'lik gridlerden oluşan altlık kullanılmıştır. Boyutların belirlenmesinde modüllerin fabrikadan şantiye alanına nakliye edilme faktörü de etkili olmuştur. Modül yüksekliği, karayolları üzerinde yer alan köprüler göz önünde bulundurularak 3 m'yi aşmayacak şekilde belirlenmiştir. Fabrika ortamında tesisat sistemi ve kaplamaları ile tamamen bitmiş olarak üretilen modülün taşıyıcı strüktürü; taban döşemesi, tavan döşemesi ve taşıyıcı dış duvarlardan oluşmaktadır (Şekil 4.). Modül cephesindeki boşluklar, planlamada esneklik sağlanabilmesi amacıyla modüller döndürülse ya da kaydırılsa dahi birbirlerini karşılayabilmeleri için simetrik olarak düzenlenmiştir. Bu boşluklar planlama gereksinimlerine göre kapı ya da pencere olarak kullanılabilmekte; gerekirse kaplama malzemeleriyle örtülerek işlevsiz hale getirilebilmektedir. Boşluklar kapı olarak da kullanılacağı için genişlikleri 90 cm

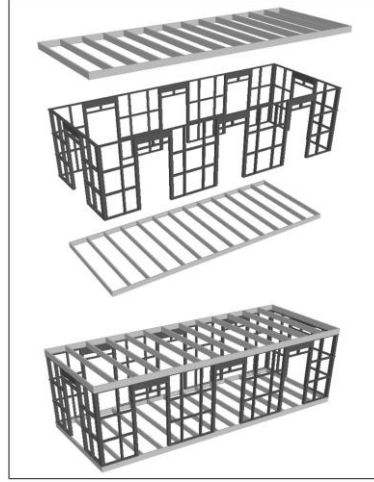
yükseklikleri ise 210 cm olarak belirlenmiştir. Pencerelerin döşemeye kadar olmasının istenmediği durumlarda profil eklenerek pencere yükseklikleri kısaltılabilmektedir. Plan kararının verilmesi sonucunda pencere ve kapı elemanlarının fabrika ortamında ya da şantiye ortamında takılması mümkündür (Yılmaz, B., 2017: 71-72).



Şekil 3. Çalışma modülü planı ve kesitleri (Yılmaz, B., 2017: 73)

Şekil 3.'te duvar ve döşeme kuruluşlarının daha anlaşılır olması için görünüşe giren kaplama elemanları gösterilmemiştir.





Şekil 4. Çalışma modülüne ait taşıyıcı duvar ve döşeme strüktürü (Yılmaz, B., 2017: 74)

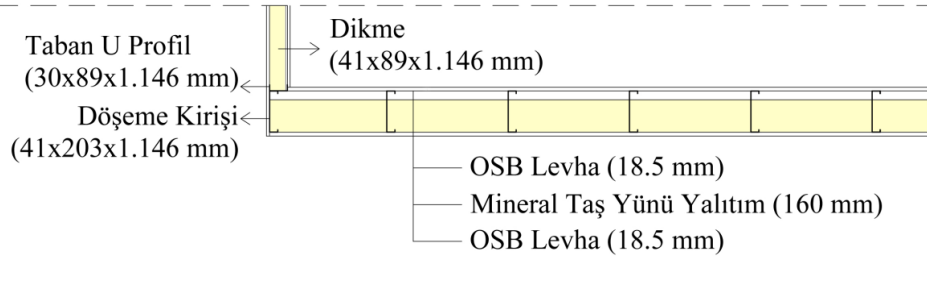
Plan kararları sonucunda belirlenen modül boyutu ve açıklık oranları üretim için gerekli olan bileşenleri belirlemektedir. Planın karmaşıklığı fabrika ortamındaki üretim süresini belirlerken; gerekli bileşen miktarı maliyeti etkilemektedir. Modül planının kendi içerisinde standardizasyonunun sağlanması sonucunda eleman çeşitliliğinin azaltılması, ekonomik ve hızlı üretime imkan vermektedir. Bu sebeple çalışma modülünde standart profiller kullanılarak özel profil üretiminden kaçınılmıştır. Tasarlanan çalışma modülünün üretimi için gerekli olan bileşenler Tablo 2.'de gösterilmektedir (Yılmaz, B., 2017: 74).

Tablo 2. Çalışma modülünün taşıyıcı strüktüründe kullanılan bileşenler (Yılmaz, B., 2017: 75)

PERSPEKTİF	BİLEŞEN ADI		SAYISI	KESİTİ (mm)	UZUNLUĞU (mm)
	Dikme (C Profil)	Ana (King) Dikme	44	41x89x1.146	2550
		Destek (Jack) Dikme	16	41x89x1.146	2350
	Taban U Profil	Taban U Profil-1	8	30x89x1.146	1050
		Taban U Profil-2	4	30x89x1.146	1500
	Tavan U Profil	Tavan U Profil-1	2	30x89x1.146	3000
		Tavan U Profil-2	2	30x89x1.146	7800
	Döşeme Kirişi (C Profil)		28	41x203x1.146	3000
	Kapak Profili (U Profil)		4	41x203x1.146	7800
	Ara Kayıt (U Profil)	Ara Kayıt-1	16	38x89x0.879	1050
		Ara Kayıt-2	8	38x89x0.879	1500
	Lento	C Profil	16	41x203x1.146	982
		U Profil-1	8	30x89x1.146	1064
		U Profil-2	8	30x89x1.146	982
		U Profil-3	16	41x89x1.146	203
		Kısa Dikme	8	41x89x1.146	229
	Gövde Berkitme Levhası (C Profil)		56	38x89x0.879	200

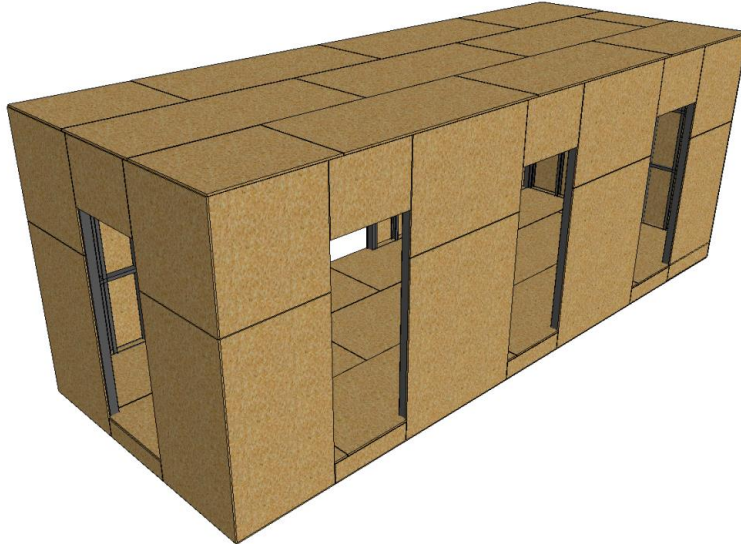
### 3.1. Döşeme Kuruluşu

Hafif çelik modüler kutu kuruluşunda tavan döşemeleri, taban döşemelerine göre daha ince kesitli olabilmektedir. Ancak bu çalışmada modüllerin üst üste gelme durumları göz önünde bulundurularak taban ve tavan döşemeleri aynı şekilde tasarlanmıştır. Döşemeler kısa doğrultuda 60 cm akslarla düzenlenen 41 x 203 x 1.146 mm kesitli C profile sahip döşeme kirişlerinden oluşmaktadır. Döşeme kirişlerinin kesiti hafif çelik profil tablolarından geçilen açıklığa ve kirişlerin düzenlenme aralığına uygun olarak seçilmiş olup; planda geçilen açıklığa bağlı olarak değişmektedir. Çalışma modülünde döşeme profillerinin arasında kalan boşluklar 160 mm mineral taş yünü yalıtım ile doldurulmuştur (Şekil 5.). Bu boşluklar tesisat sisteminin düzenlenmesine de imkan vermektedir (Yılmaz, B., 2017: 76-77).



Şekil 5. Çalışma modülünde döşeme kirişleri arasında kalan boşlukların yalıtım malzemesi ile doldurulması (Yılmaz, B., 2017: 77)

Modüller fabrika ortamında tamamlanıp şantiye alanına nakledileceğinden hem stabilitesinin artırılması hem de şantiye işlerinin azaltılması için döşemelerin alt ve üst yüzeyleri OSB levhalar ile kaplanmış olarak tasarlanmıştır (Şekil 6.) (Yılmaz, B., 2017: 77).



Şekil 6. Döşemeleri ve taşıyıcı duvarlarının dış yüzeyleri OSB levhalar ile kaplanan çalışma modülü perspektifi (Yılmaz, B., 2017: 77)

Kaplama levhasının kalınlığı, kullanılan malzeme türüne ve döşeme kirişlerinin düzenlenme aralıklarına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada OSB levha tercih edildiğinden ve döşeme kirişleri 600 mm aralıklarla düzenlendiğinden kaplama malzemesinin minimum 18.5 mm kalınlığa sahip olması gerekmektedir. Çalışma modülünde döşeme altı kaplama levhaları, standart üretim boyutlarını aşmayacak ve

döşeme kirişlerine montaja uygun olacak biçimde boyutlandırılmıştır (Yılmaz, B., 2017: 77-78).

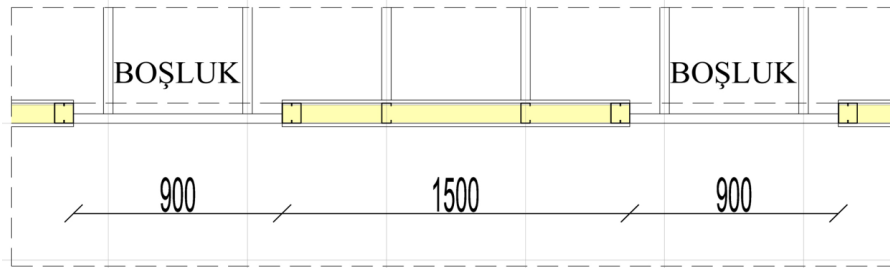
### 3.2. Duvar Kuruluşunun Tasarlanması

Çalışma modülünde dış duvarlar taşıyıcı olarak düzenlenmiş olup; iç mekan kuruluşunda kullanılan bölücü paneller taşıyıcı strüktürün bir parçası olarak düşünülmemiştir. Duvar kuruluşları maksimum 60 cm akslarla düzenlenen C profilli dikmelerden oluşturulmuştur. Bu profillerin kesitleri duvarın taşıyıcılık özelliğine ve yüksekliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dikmeler alt ve üst kısmında düzenlenen taban ve tavan U profilleri ile bir arada tutulmaktadır. Profil aralıklarının düzenlenmesinde, kullanılacak kaplama malzemelerinin boyutları da göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca taşıyıcı dikmelerin döşeme kirişleri ile aynı doğrultuda düzenlenmesine dikkat edilmiştir (Yılmaz, B., 2017: 79).

#### 3.2.1. Taşıyıcı duvarların tasarlanması

Çalışma modülünde yalnızca dış duvarlar taşıyıcı olarak düzenlenmiştir. Modül iç yüksekliğini oluşturan dikme uzunluğu 255 cm olarak belirlenmiştir. Taşıyıcı duvarlarda kullanılan profil boyutları duvar yüksekliğine, dikmelerin düzenlenme aralıklarına ve kat sayısı gibi faktörlere göre belirlenmektedir. Çalışma modülünde taşıyıcı duvar dikmeleri maksimum 600 mm aralıklarla düzenlenmiş; çalışma kapsamında bir ve iki katlı yapı oluşumu ele alınmıştır. Bu nedenle iki katlı yapı oluşumunda modülün hem zemin katta hem de ikinci katta kullanımı mümkün olduğundan, dikme boyutları zemin katta kullanıldığı duruma göre belirlenmiştir.

Dikmelerin taban ve tavan U profili içerisine monte edilebilmesi için derinliğinin daha az olması gerektiği akla gelebilir ancak C profillerin derinliği flanşların dışından dışına ölçülendirilirken; U profillerin derinliği flanşların içinden içine ölçülendirilmektedir. Boşluk açılan kısımlarda tavan U profilleri kesintiye uğramazken; taban U profilleri boşluğun döşemeye kadar olması durumunda kesintiye uğramaktadır. Çalışma modülünde açılan tüm boşlukların döşemeye kadar olması sebebiyle taban U profilleri kesintiye uğramıştır. Taşıyıcı duvarlarda en önemli problemlerden biri; kapı ve pencere boşlukları ile taşıyıcı çerçevenin kesintiye uğrayarak zayıflamasıdır. Bu sorun boşluk üzerinde düzenlenen üzerindeki yükleri dağıtacak bir lento ile çözülmektedir. Çalışma modülünde boşluklar arası mesafe 150 cm olarak düzenlenmiştir (Şekil 7.) (Yılmaz, B., 2017: 80-82).



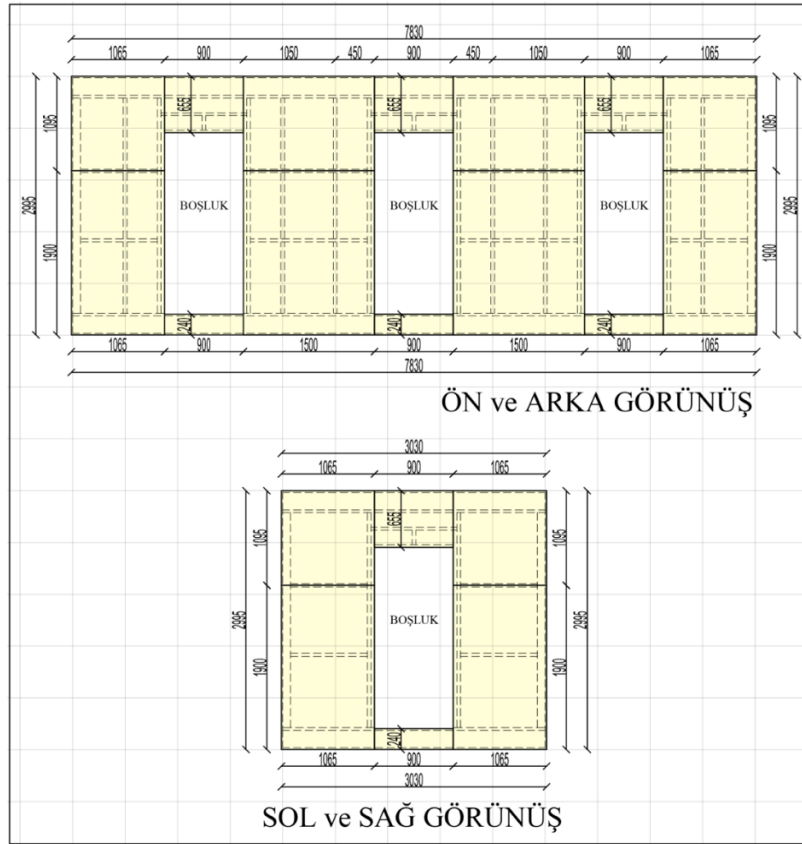
Şekil 7. Çalışma modülünde boşluklar arası mesafe (Yılmaz, B., 2017: 82)

Yüksekliği 2.46 m veya bundan daha az olan duvarlar için bir sıra kayıt-kuşak yerleştirilmesi önerilmekte iken; 2.46 m ve 3.68 m'ye kadar yüksekliğe sahip duvarlar için iki sıralı yatay kuşak kullanılması önerilmektedir. Kullanılacak bu ara kayıtların en az 38 mm genişliğe ve 0.879 mm kalınlığa sahip olması gerekmektedir. Ara kayıtlar dikmelerin gövdelerine yapılabildiği gibi sadece flanşların dış yüzünden de geçirilebilmektedir (Canadian Sheet Steel Building Institute, 2005: 4/16). Bu çalışmada dikmelerin gövdelerine yapılan uygulama tercih edilmiştir. Bu tasarım kararı kullanılacak ara kayıt

profilini etkilemektedir. Örnek çalışma modülünde duvar yüksekliği 2.55 m olduğundan 2 adet ara kayıt kullanılarak yanal yüklere karşı destek sağlanmıştır.

Dış duvarların iki yüzeyinde de kullanılan kaplama levhaları stabilitenin sağlanmasında da etkili olmaktadır. Çalışma modülü duvarlarının dış yüzeyinde 15 mm OSB levha; iç yüzeyinde ise 12.5 mm alçı levha kullanılmıştır. Kaplama boyutları, standart üretim boyutlarını aşmayacak ve ara kayıtlara montaja imkan verecek şekilde belirlenmiştir (Şekil 8.).

Uygun konfor koşullarının sağlanabilmesi için duvar dikmeleri arasında kalan boşluklar 80 mm kalınlığındaki mineral taş yünü yalıtım ile doldurulmuştur. Duvar dikmeleri arasında kalan bu boşluklar tesisat sisteminin düzenlenmesine de fırsat vermektedir (Yılmaz, B., 2017: 83).



Şekil 8. Çalışma modülünde taşıyıcı dış duvarların dış yüzeylerinin OSB levhalar ile kaplanması (Yılmaz, B., 2017: 83)

### 3.2.2. Taşıyıcı olmayan duvarların tasarlanması

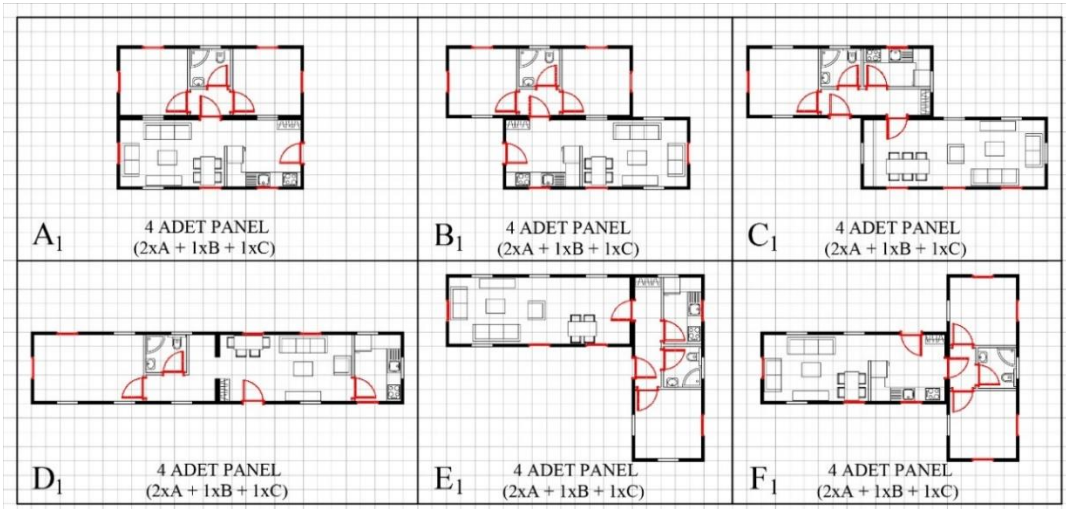
Taşıyıcı olmayan duvarlar, taşıyıcı duvarlar ile benzer şekilde çerçeveslendirilmektedir. Ancak kullanılan profiller daha ince olup; bu duvarlar binanın yapısal sisteminin bir parçası değildir (Eren, Ö., 2014: 76). Bölücü nitelikte olan bu duvarlar, iç mekan oluşumunu sağlamaktadır. Boşluk düzenlenmesinde taşıyıcı duvarlardaki gibi açılan boşlukların her iki kenarında çift profil kullanılmakta; boşlukların üzerinde ise lento düzenlenmektedir. Gerekli durumlarda ara kayıtlar kullanılabilir; yüzeyleri kaplama elemanları ile örtülebilmektedir.

İçi boş olarak tasarlanan çalışma modülünde, esnekliğin yanında standardizasyon ile ekonomiklik sağlanmasına yönelik iç mekan planlaması için 7 adet bölücü duvar paneli tasarlanmıştır. A, B, C, D, E, F ve G olarak isimlendirilen bu panellerin karar verilen iç

mekan planlamasına göre şantiye ortamında modüllerin içerisine montajları yapılabildiği gibi, zaman faktörünün önemli olduğu durumlarda fabrika ortamında da montajları yapılabilmektedir. Panel boyutları ise Şekil 14’te elde edilen plan alternatiflerine göre belirlenmiş olup; oluşturulan plan alternatiflerinde hangi panellerin kullanılması gerektiği yazılı olarak belirtilmiştir. Daha az sayıda panel kullanımını gerektiren plan alternatifleri daha ekonomik sonuçlar vermekte; daha az montaj işlemi gerektirmeleri sayesinde daha kısa sürede tamamlanmaktadır (Yılmaz, B., 2017: 86).

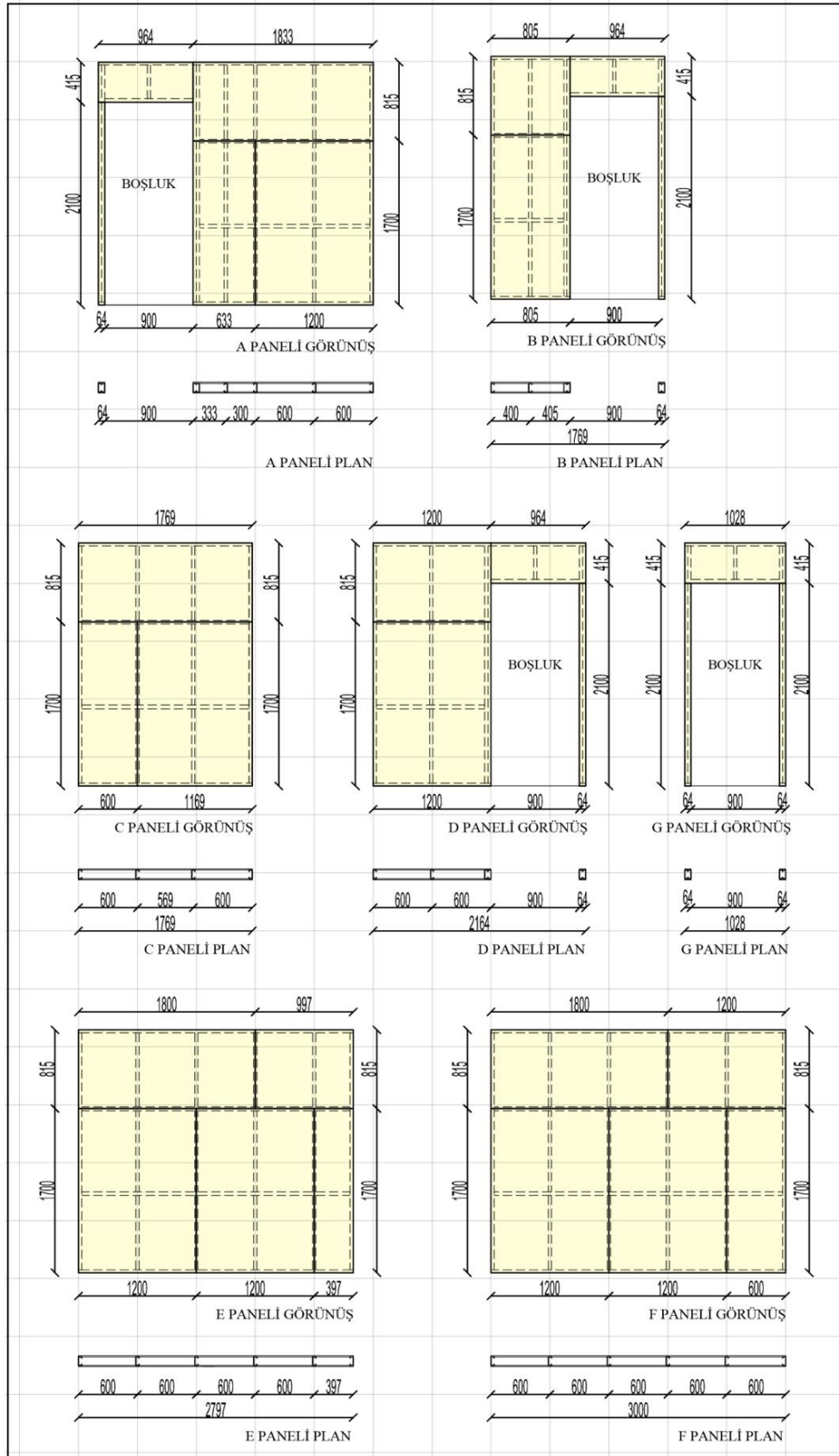
Taşıyıcı olmayan dikmelerin minimum 0.46 mm kalınlığa sahip olması gerekmekte olup; genel olarak ölçüleri 32 x 89 x 0.438 ve konut bölme duvarları için 32 x 89 x 0.879 mm değerinde olabilmektedir. Taban ve tavan U profil kesitlerinin seçilen dikme kalınlığı ile aynı kalınlıkta olması gerekmektedir (Eren, Ö., 2014: 76). Bu bilgilerden yola çıkılarak çalışma modülünde kullanılan paneller 32 x 89 x 0.879 mm boyutundaki dikmelerin maksimum 60 cm akslarla düzenlenmesiyle oluşturulmuştur. Dikmeler, üst ve alt kısımlarda düzenlenen 30 x 89 x 0.879 mm boyutlarındaki taban ve tavan U profilleri ile bir arada tutulmaktadır. Panellerden 3 tanesi tam dolu iken; 4 tanesinde 1’er adet kapı boşluğu bulunmaktadır. Banyo kapıları için 80 cm boşluk yeterli olabilmesine karşın standartlaşma sağlanması ve panel sayısının azaltılması için tüm kapılar 90 cm genişliğinde düzenlenmiştir. Örneğin aynı panel bir plan tipinde mutfakta kullanılırken diğer plan tipinde banyoda kullanılabilmektedir.

Bu paneller sadece iç mekanda kullanılacağı için hem iç hem de dış yüzeyleri 12.5 mm kalınlıktaki alçı levhalar ile kaplanmıştır (Yılmaz, B., 2017: 86). Alçı levhalar 9 mm, 12.5 mm ve 15 mm kalınlığında; 60 cm ve 120 cm eninde ve 120 cm ve 240 cm boyunda üretilmektedir (Yıldırım, S. G., 2010: 99; Eren, Ö., 2014:87). Bölücü panellerin kaplanması kullanılan alçı levhalar da standart alçı levha boyutlarını aşmayacak ve ara kayıtlara montaj sağlanabilecek şekilde boyutlandırılmıştır (Şekil 10.). Değişen kullanım ihtiyaçlarına göre bu panellerin sökülerek başka panellerle değiştirilmesi mümkündür. Panel tasarımının esneklik sağlaması, yeniden kullanıma imkan vermektedir. Konut olarak kullanılan örnek bir çalışma modülünün bölücü iç panellerinin sökülerek aynı ya da farklı bir fonksiyona yönelik yeniden uyarlanması mümkündür (Şekil 9.). Tasarım evresinde standart paneller yerine özel boyutlardaki farklı paneller tercih edilirse yeterli ekonomik verim alınamayacaktır. Bu nedenle tüm bu ayrıntıların tasarım evresinde ele alınması önem taşımaktadır (Yılmaz, B., 2017: 86).



Şekil 9. Aynı modül ve panellerin kullanılması ile farklı plan alternatiflerinin elde edilmesi (Yılmaz, B., 2017: 103)





Şekil 10. Çalışma modülünde kullanılan bölücü panellere ait plan ve görünüşler (Yılmaz, B., 2017: 87)

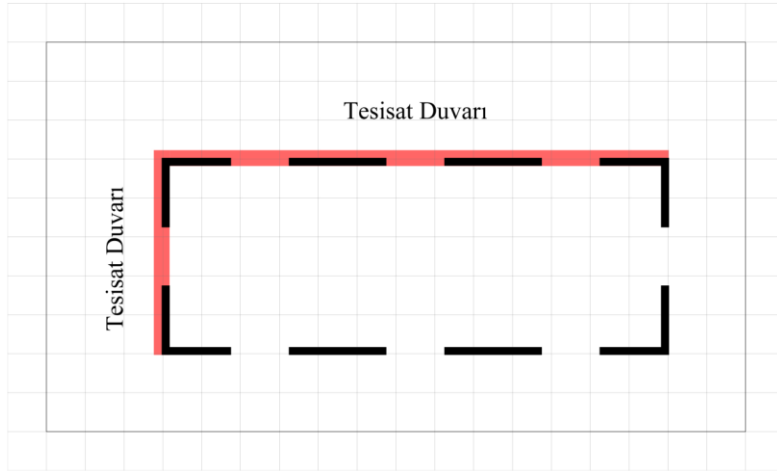
### 3.3. Çatı Kuruluşunun Tasarlanması

Hafif çelik modüler kutu sistemli yapılarda çatı strüktürleri tamamen şantiye ortamında kurulabildiği gibi tamamen fabrika ortamında tamamlanabilmekte ya da fabrika ortamında üretilen prefabrik çatıların şantiye ortamında sadece montajı yapılabilmektedir. Hem teras çatı hem de kırma çatı uygulamalarının yapılması mümkündür. Bu çalışmada tek katlı ve iki katlı yapı üretimi ele alındığından bir modülün üzerine başka bir modülün gelme ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle modüllerin çatı strüktürünün şantiye ortamında ekleneceği düşünülmüştür. Çatının teras ya da kırma çatı olması tercihi kullanıcıya bırakılarak tasarım esnekliği sağlanmıştır. Ayrıca iç planlamanın esnek tutulması sebebiyle banyonun yeri değişebileceği için gerekli havalandırma bacası, çatı strüktürünün montajı esnasında eklenecektir. Bu havalandırma bacası döşeme kirişleri arasındaki boşluklarda düzenlenmekte ve mevcut OSB döşeme kaplamalarının yerinde özel ekipmanlar ile kolaylıkla kesilmesi ile bacanın geçmesi için gereken boşluk elde edilmektedir (Yılmaz, B., 2017: 88).

### 3.4. Tesisat Sisteminin Kuruluşunun Tasarlanması

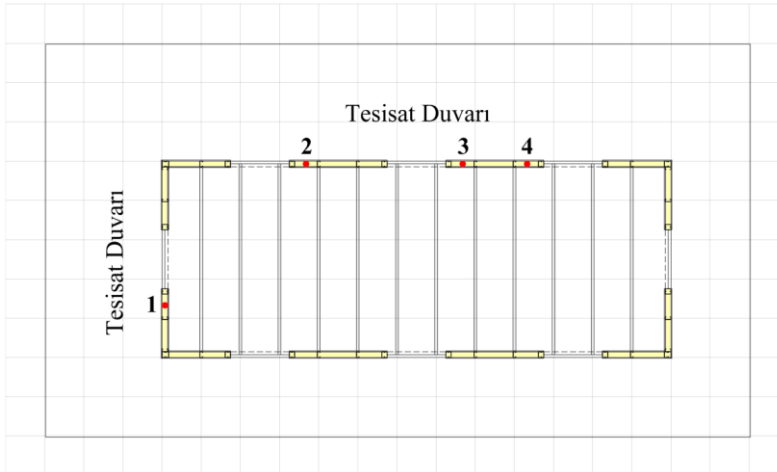
Isıtma, havalandırma, klima, elektrik ve tesisat sistemlerinin tasarım evresinde düşünülmesi ve yapıyla bütünleştirilmesi gerekmektedir (Canadian Sheet Steel Building Institute, 2005: 6/2; Eren, Ö., 2014: 105). Hafif çelik modüler kutu sistemli yapılarda tesisat düzenlemeleri için ayrı bir tesisat shaftı oluşturulabildiği gibi; modül strüktürünü oluşturan profiller üzerinde açılmış olan deliklerden ya da profiller arasındaki boşluklardan da tesisat elemanları geçirilebilmektedir. Tesisat kuruluşu şantiye ortamında ya da fabrika ortamında tamamlanabilmektedir. Örnek çalışma modülünde tüm tesisat kuruluşu fabrika ortamında eklenmiş; ıslak hacimlerin yeri değişebileceğinden belirli bir noktada tesisat shaftı düzenlenmeyerek tüm tesisat modül strüktürü içerisinde çözülmüştür. Tesisat boruları ve kablolar tamamen fabrika ortamında yerleştirilmiş ve üzerleri kaplama levhaları ile kaplanmış olup; sadece şantiyede montaj için gerekli boru ve kablo uçları bırakılmıştır. Gerekli durumlarda şantiyede özel ekipmanlar ile kaplama levhaları üzerinde kolaylıkla delik açılarak düzenleme yapılması da mümkündür.

Sihhi tesisat kuruluşunun tasarlanmasında plan seçimi önem taşımakta; ıslak hacimlerin mümkün olduğunca bir arada çözümlendiği plan alternatiflerinin seçilmesi önerilmektedir. Örnek çalışma modülüne ait plan alternatiflerinde ıslak hacimlerin yerleri değişken olduğu için tesisatın profiller arasındaki boşluklardan düşeyde gideceği düşünülmüştür. Ayrıca iki katlı yapı oluşumlarında alt ve üst kat tesisatlarının birbirine uyumlu olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Çalışma modülünün simetrik tasarlanması avantajından faydalanılarak tesisat düzenlenmesi gereken duvar sayısının azaltılabileceği düşünülmüştür. Bu doğrultuda çalışma kapsamında elde edilen plan alternatiflerinde tesisat sistemi bulunması gereken duvarlar belirlenmiş; hiçbir durumda aynı modülün iki kısa ya da iki uzun duvarında eş zamanlı olarak ıslak hacim bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu plan alternatifleri için tesisat kuruluşunun sadece bir uzun ve bir kısa duvarda düzenlenmesinin yeterli olacağı düşünülmüştür. Ayrıca F tipi panellerin kullanıldığı plan alternatiflerinin kaldırılması halinde tesisat duvarının yalnızca uzun duvarda düzenlenmesi de mümkün olup; bu çalışmada plan alternatiflerinin kısıtlanmamasına yönelik bir kısa ve bir uzun cephede sihhi tesisat sistemi düzenlenmiştir (Şekil 11.). Kablo tesisatı ise montaj için kablo uçları yer yer dışarıda bırakılacak şekilde tüm strüktür içerisinde sürekli olarak bulunmaktadır (Yılmaz, B., 2017: 89).



Şekil 11. Çalışma modülünde sıhhi tesisat duvarlarının belirlenmesi (Yılmaz, B., 2017: 90)

Sıhhi tesisat duvarları belirlendikten sonra planlar göz önünde bulundurularak tesisat borularının pencere kenarlarında düşey yönde düzenlenmesi uygun görülmüştür. Düşeyde düzenlenen tesisat boruları minimum sayıda düzenlenmiş olup, dört farklı yerde bulunmaktadır (Şekil 12.) (Yılmaz, B., 2017: 90).



Şekil 12. Çalışma modülünde sıhhi tesisat borularının düşeyde geçeceği noktaların belirlenmesi (Yılmaz, B., 2017: 90)

### 3.5. Yalıtım Seçimi

Konfor koşullarının sağlanması için gerekli olan ısı, ses ve yangın gibi yalıtım uygulamalarının duvar ve döşeme kuruluşlarının tasarımı esnasında düşünülmesi gerekmektedir. Çünkü hafif çelik modüler kutu sistemli yapılarda genellikle yalıtımın duvar ve döşeme profilleri arasındaki boşluklara yerleştirildiği sıcak çerçeve yaklaşımı benimsenmektedir. Yalıtımın taşıyıcı strüktür dışına uygulanması da mümkün olmasına karşın çok tercih edilmemektedir. Bunun sebeplerinden biri, kaplama malzemelerinin fabrika ortamında takılmadığı durumlarda dıştaki izolasyonun modülün taşınması esnasında zarar görmesidir. Şantiye ortamında yalıtımda düzeltme işlemlerinin yapılmasına gerek kalmaması için ideal olarak tüm izolasyonların fabrikada tamamlanması tercih edilmektedir. Çalışma modülünde yalıtım fabrika ortamında profiller arasında düzenlenmiş olup; dış duvarlarda 80 mm, döşemelerde 160 mm mineral taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yalıtımın artırılmasına ihtiyaç duyulması halinde, dış cephede ekstra yalıtım katmanının uygulanması ya da kaplama



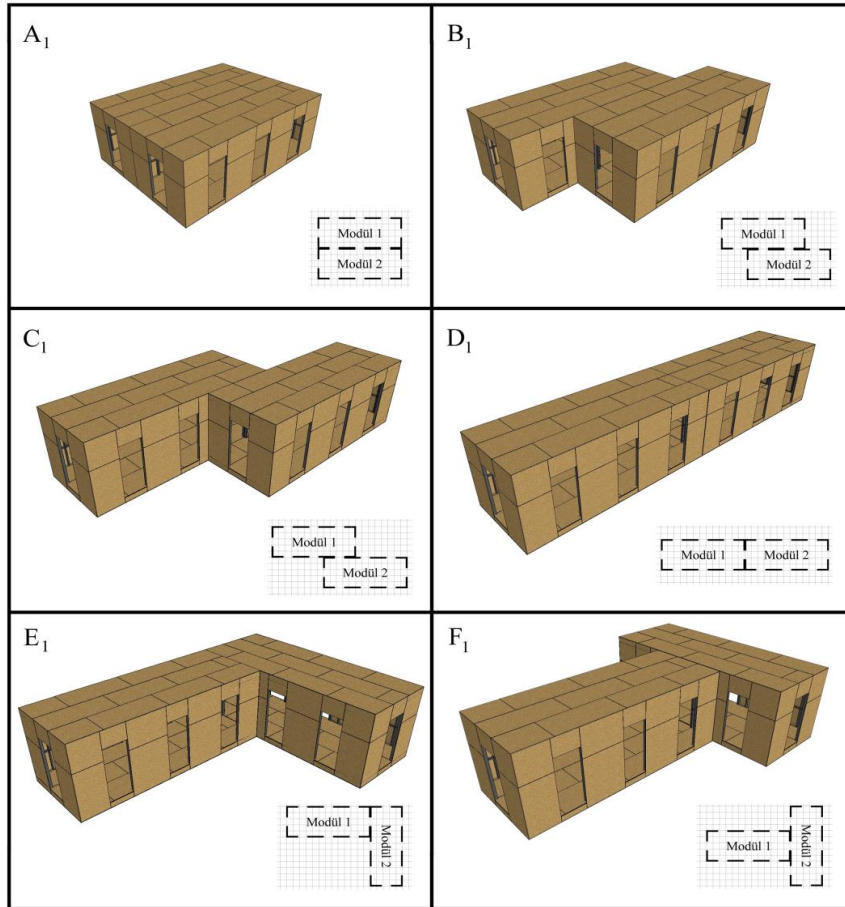
malzemesinin kendiliğinden yalıtım özelliğine sahip seçilmesi ile istenen yalıtım değerine ulaşılabildiği (Yılmaz, B., 2017: 91).

#### 4. Hafif Çelik Konut Modül Plan Tasarımı

Hafif çelik modül kutular, tasarım evresinde verilen kararlar doğrultusunda yatayda, düşeyde veya hem yatayda hem düşeyde bir araya gelerek yapı oluşumunu sağlamaktadır (Yılmaz, B., 2017: 92).

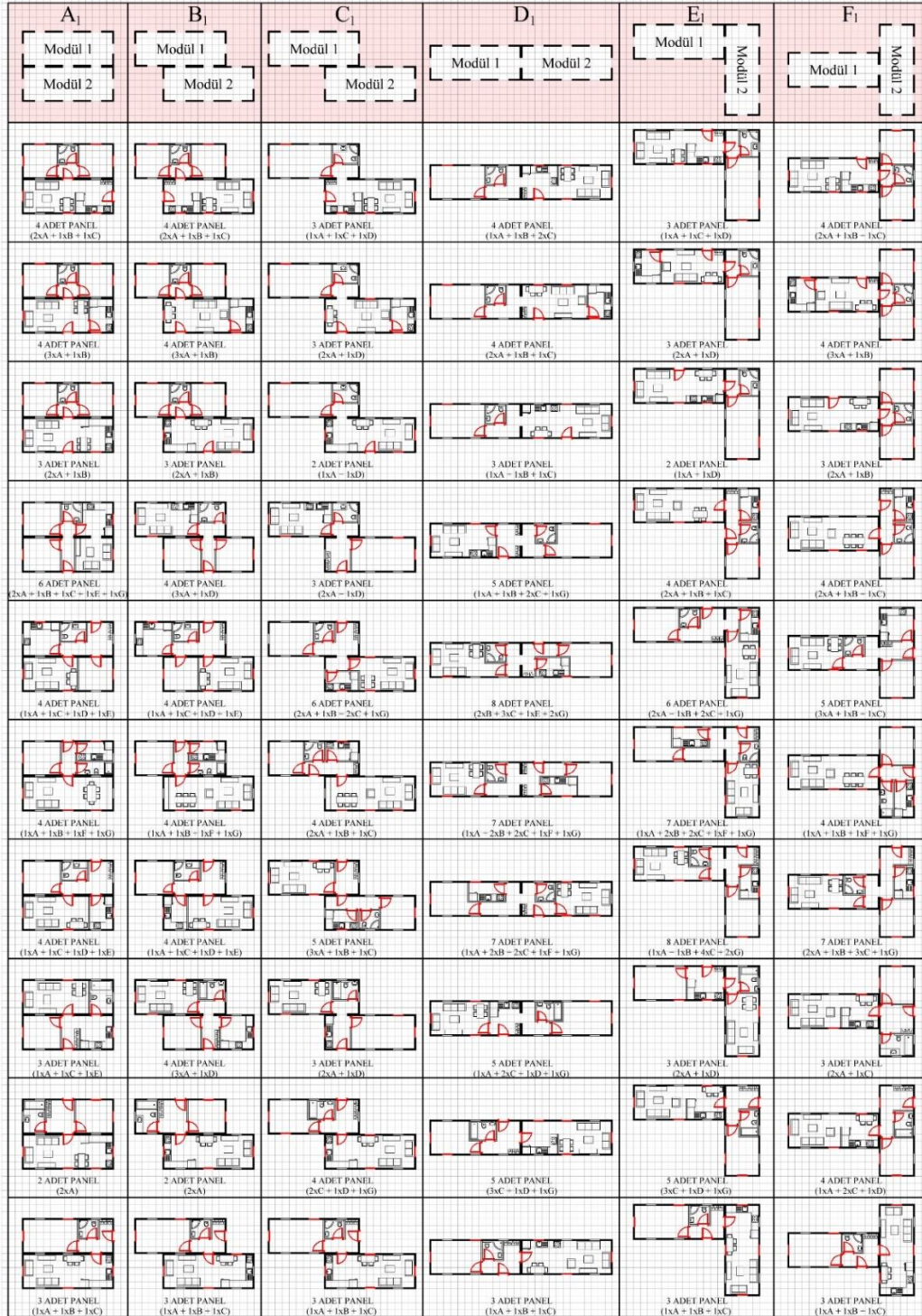
##### 4.1. Yatayda Büyüyen Yapıların Tasarlanması

Hafif çelik modül kutuların yan yana birleştirilmesi ile geniş mekanlar elde edilebildiği gibi, modüllerden oluşan konutlar da yan yana düzenlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında modüllerin sadece yan yana eklenmesi ile tek katlı olarak tasarlanan yapılar 'yatayda büyüyen yapılar' olarak ele alınmıştır. Öncelikle iki modülün yan yana gelmesi ile konut tipleri elde edilmiş; daha sonra ise elde edilen konut tiplerinin yan yana gelme alternatifleri değerlendirilmiştir. Tasarlanan çalışma modülünden iki tanesinin yan yana birleşme alternatifleri Şekil 13.'de gösterilmektedir. İki'den daha fazla sayıda modülün yan yana birleştirilerek konut tipi alternatiflerinin çoğaltılması mümkün olmasına karşın bu çalışma iki modül ile kısıtlanmıştır. Bir tanesinin taban alanı 23,4 m<sup>2</sup> olan iki adet çalışma modülünün yan yana gelmesi ile 46,8 m<sup>2</sup> taban alanına sahip 6 farklı konut tipi elde edilmiştir. Modüllerin kaydırılmasında boşlukların birbirini karşılmasına dikkat edilmiş; simetrik alternatifler farklı bir tip olarak ele alınmamıştır (Yılmaz, B., 2017: 92-93).



Şekil 13. İki modülün yan yana birleştirilmesi ile elde edilen konut tipleri (Yılmaz, B., 2017: 93)

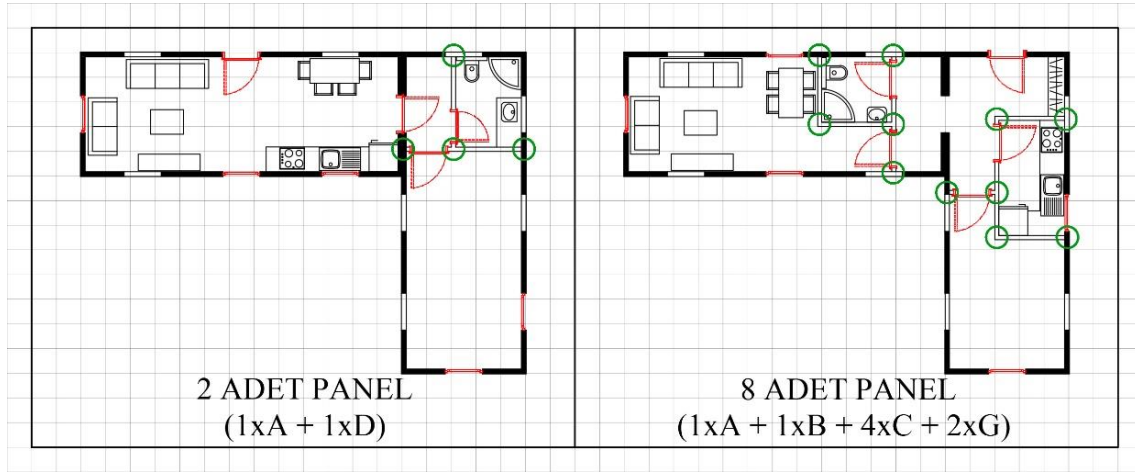
Bir sonraki aşamada ise elde edilen bu konut tiplerine ait iç mekan plan alternatifleri geliştirilmiştir (Şekil 14.). Yapılan çalışmada her bir konut tipi için 10 adet olmak üzere birbirinden farklı 60 adet plan alternatifi elde edilmiştir. Alternatifleri çoğaltarak bu sayının artırılması mümkündür. Yapılan bu çalışma ile birbirinden farklı birçok tasarımın mümkün olduğunun ortaya konulması hedeflenmiştir (Yılmaz, B., 2017: 93).



Şekil 14. İki modülden oluşan konut planı alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 94)

Şekil 14.'te yer alan A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub> ve F<sub>1</sub> konut tipleri bir ve iki odalı çözümlere imkan verirken; C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub> ve E<sub>1</sub> konut tiplerinin sadece bir odalı çözümlere imkan verdiği görülmektedir. Bu konutlar birbirinden bağımsız olarak inşa edilebileceği gibi yanyana birleştirilerek toplu kullanımlar için de düzenlenebilir.

Seçilen plan alternatifleri içinde yaşayacak kullanıcı profilini etkilemektedir. Örneğin plan tipinin 1 odalı ya da 2 odalı olması, bu yapıyı satın alacak ya da kiralayacak müşterileri belirlemektedir. Ayrıca seçilen plan alternatifi gerekli birleşim detaylarını belirlemekte; detayların karmaşıklığı ise şantiyedeki işçilik süresini etkilemektedir. Özel kullanıma yönelik prestij yapılarında daha karmaşık plan tipleri tercih edilebilirken, afet sonrası konut ihtiyacı gibi zaman faktörünün önemli olduğu durumlarda daha yalın plan tiplerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Plan seçimlerinde ekonomik faktörler de etkili olmakta; daha ekonomik çözümler için daha az panel kullanılan ve daha az birleşim detayına sahip plan tipleri seçilmelidir. Yapılan çalışmada elde edilen plan alternatiflerinde iç mekan kurgusu en az 2 en fazla ise 8 adet panel kullanılarak oluşturulmuştur. Bu durum üzerinden değerlendirme yapılacak olursa; 2 adet panel kullanılan plan alternatifi ile 8 adet panel kullanılan plan alternatifinin montaj süreci aynı olmayacaktır. Şekil 15.'de E<sub>1</sub> tipi bir konutta kullanılan panel sayısındaki değişimin birleşim sayısına etkisi gösterilmiş; montaj işlemi gereken noktalar daire içerisine alınmıştır. Panel sayısının haricinde eklenen kapı ve pencere doğrama sayısı ile kapatılan boşluk sayısı da yapım sürecini ve maliyeti etkilemektedir. Bu nedenle tasarım evresinde verilen kararların neleri etkilediğine dikkat edilmesi önem taşımaktadır (Yılmaz, B., 2017: 94-95).

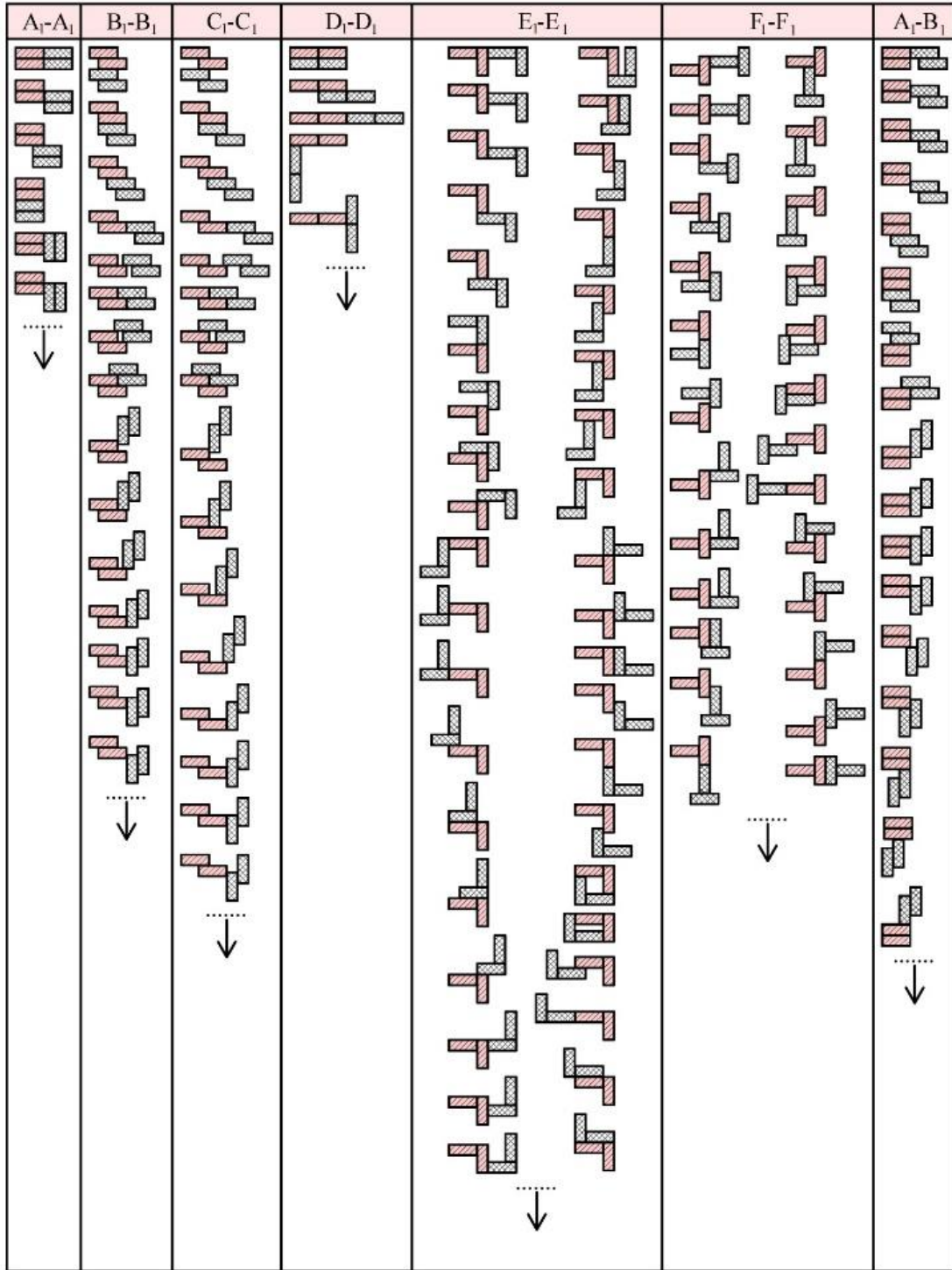


Şekil 15. Panel sayısının birleşim detayları üzerindeki etkisi (Yılmaz, B., 2017: 95)

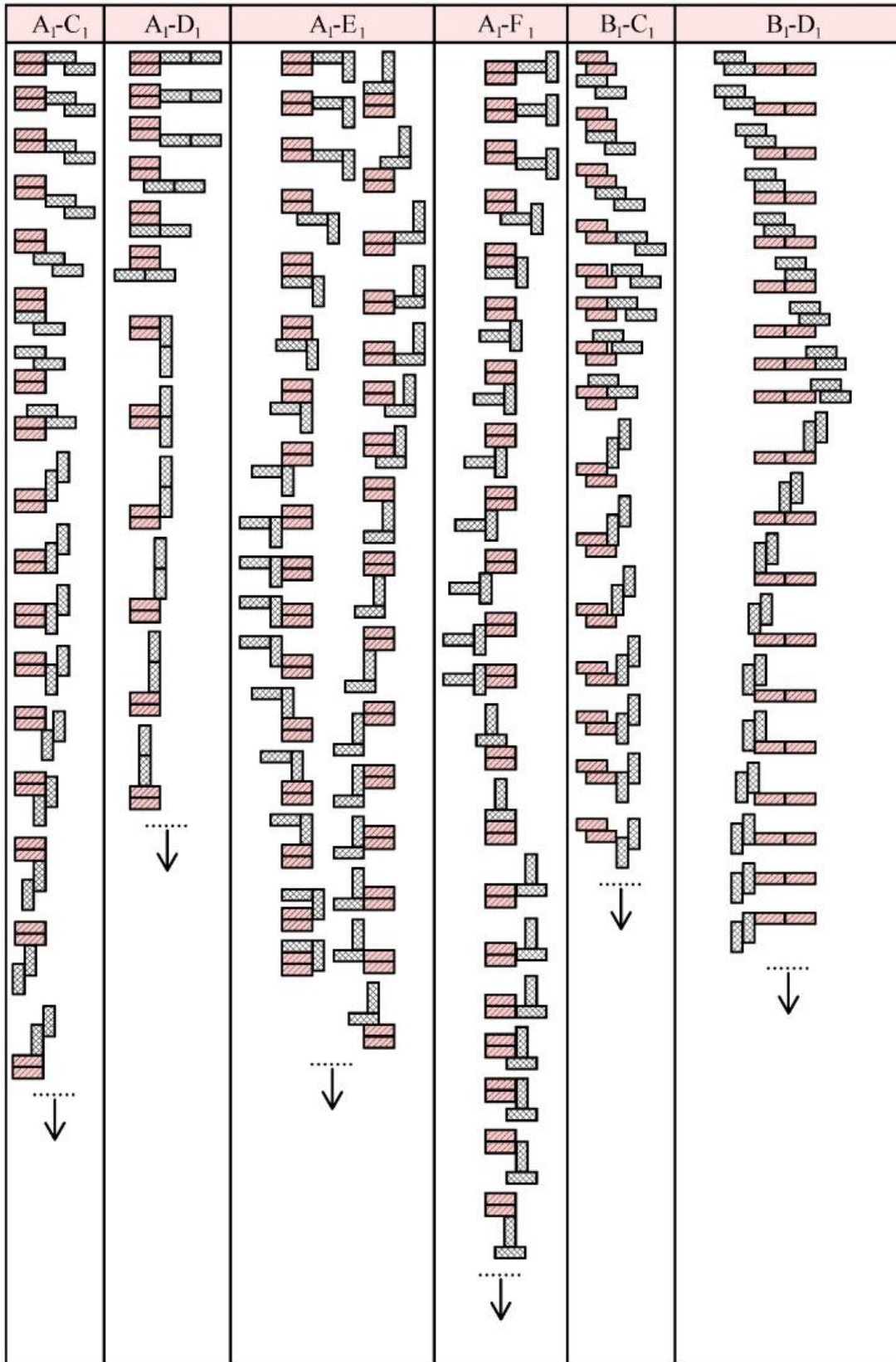
Toplu kullanıma yönelik yapıların sadece yatayda büyümesi durumunda karşılaşılan bir problem ise tek katlı çözümlerin çok yer kaplaması ve yeteri kadar boş arazinin bulunamamasıdır (Tuna, R., 2012: 27). Bu nedenle konut sayısının artması durumunda geniş alan ihtiyacının azaltılmasına yönelik yapıların düşeyde de büyüme ihtiyacı doğabilmektedir.

İki konutun yan yana birleştirilme alternatifleri Şekil 16-17-18-19.'da yer almaktadır. Yan yana düzenlenen konut sayısı artırılarak alternatiflerin çoğaltılması mümkündür. Bu çalışmada konutlar birbirinden bağımsız oldukları için boşlukların birbirini karşılamasına gerek yoktur. Ancak seçilen plan tiplerinde iç mekanların ışık alma gereksinimlerine dikkat edilmesi gerekmektedir (Yılmaz, B., 2017: 95-96).

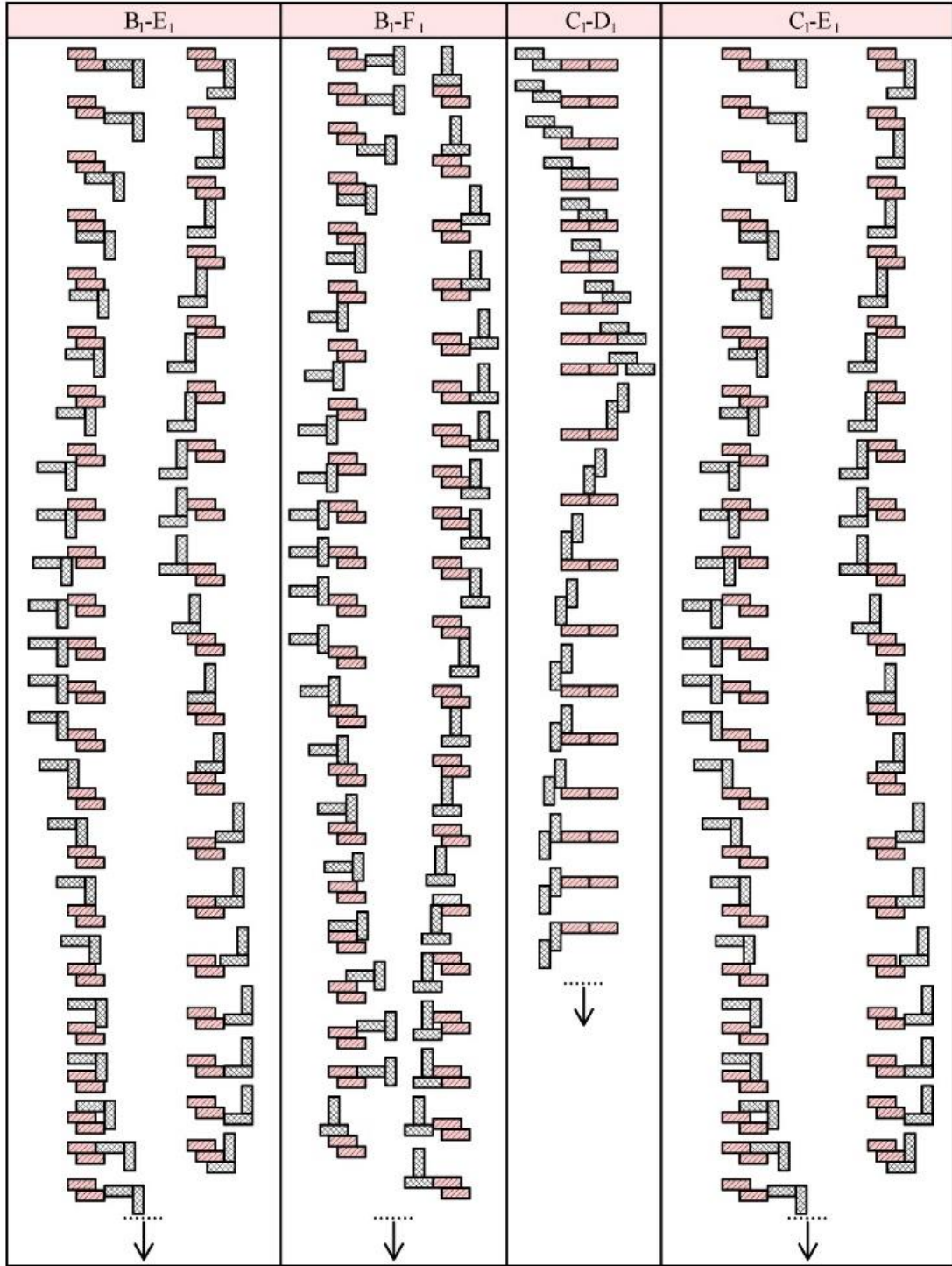




Şekil 16. İkişer modülden oluşan iki konutun yan yana gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 96)

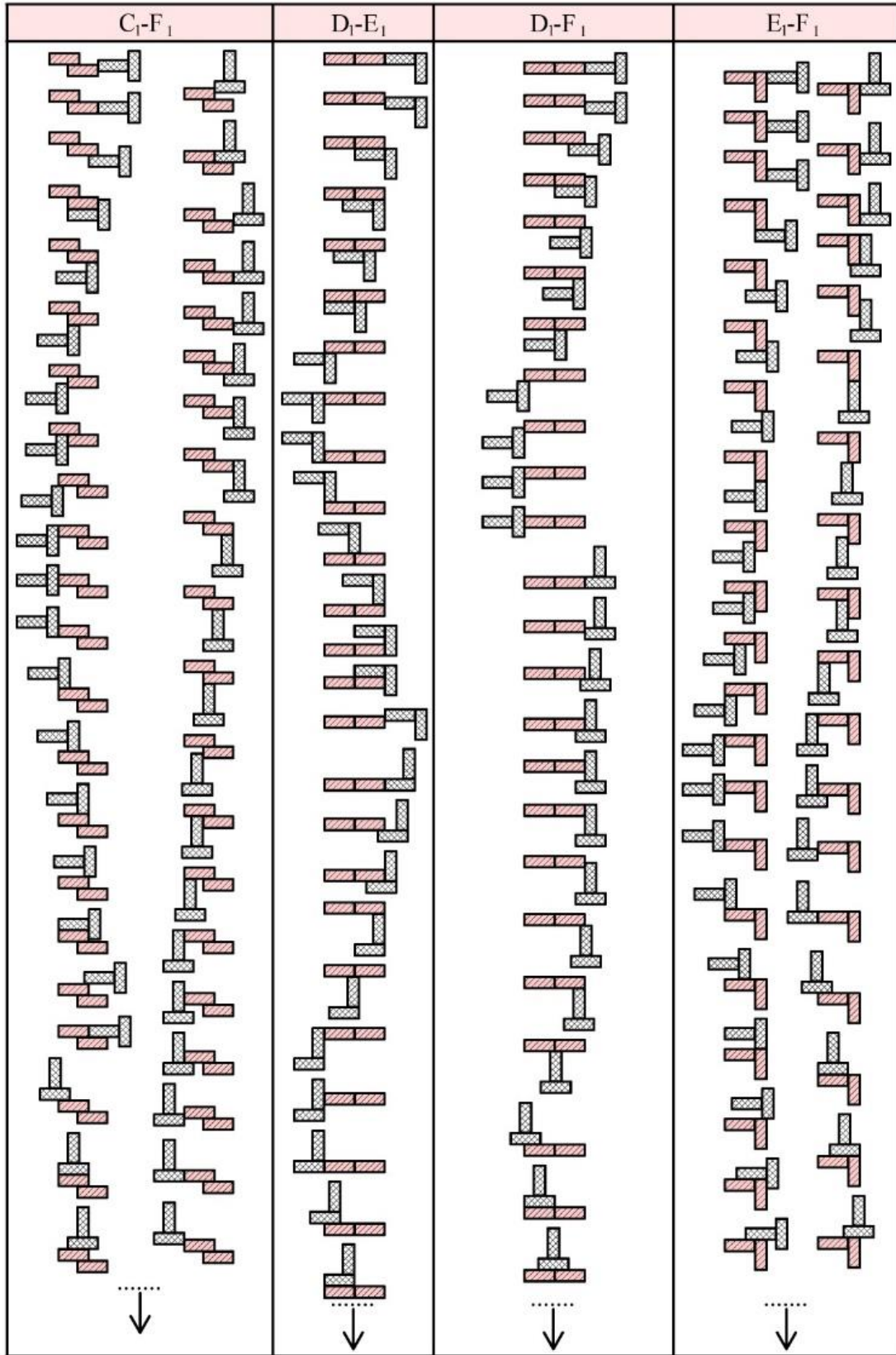


Şekil 17. İkişer modülden oluşan iki konutun yan yana gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 96)



Şekil 18. İkişer modülden oluşan iki konutun yan yana gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 96)





Şekil 19. İkişer modülden oluşan iki konutun yan yana gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 96)

## 4.2. Düşeyde Büyüyen Yapıların Tasarlanması

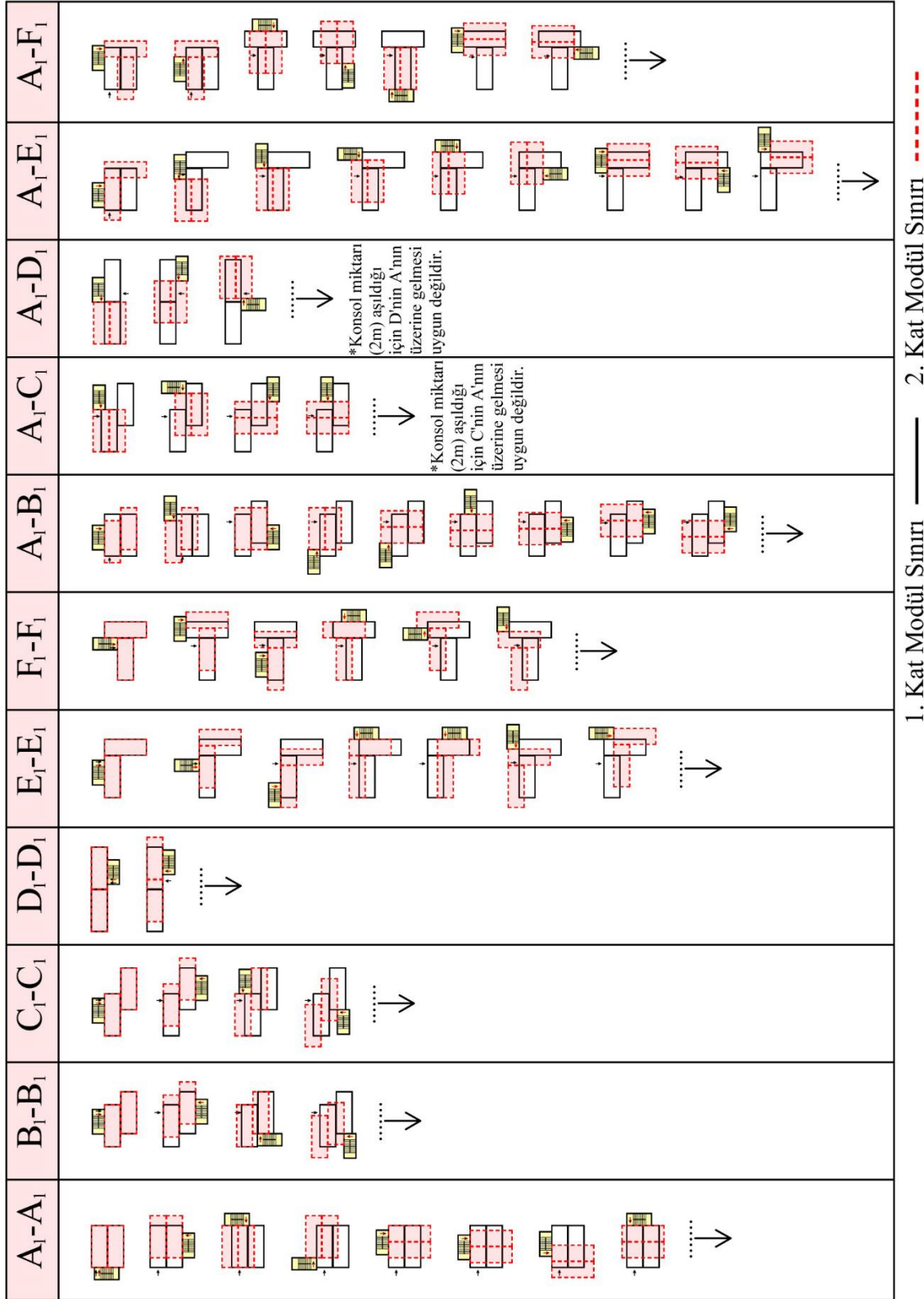
Modüler kutuların yan yana düzenlenmesi mümkün olduğu gibi üst üste düzenlenmeleri ile çok katlı yapı oluşumu da sağlanabilmektedir. Modüllerin üst üste düzenlenmeleri yığma yapım sistemiyle ya da iskelet bir sistem içerisine montaj ile gerçekleşmektedir. Birbirinden bağımsız konutların üst üste düzenlenmesi dışında modüllerin üst üste birleştirilmesi ile özel kullanıma yönelik dubleks, tripleks gibi kullanımlar da elde edilebilmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında yalnızca yan yana iki modülden oluşan, birbirinden bağımsız iki konutun yığma yapım sistemi ile üst üste düzenlenme alternatifleri ele alınmıştır. Elde edilen 6 konut tipinin birbiri ile üst üste düzenlenmesine ait tüm alternatifler ele alınmış ve 21 farklı durum gözlemlenmiştir. Şekil 20-21.'de gösterilen bu çalışmada zemin kattaki modüller siyah düz çizgi ile ifade edilirken; ikinci kattaki modüller kırmızı kesik çizgi ile gösterilmiştir. Bu çalışmada da elde edilen alternatiflerin çoğaltılması mümkün olup, simetrik alternatifler gösterilmemiştir.

Üst kattaki konuta ulaşım dışarıdan eklenen iki kollu bir merdiven modülü ile sağlanmıştır. Bu merdiven modülünün tercihler doğrultusunda farklı bir tipte seçilmesi mümkündür. Çalışmada zemin kattaki konut girişleri siyah ok ile; ikinci kattaki konut girişleri ise kırmızı ok ile gösterilmiştir. Merdivenlerin konumları seçilecek plan tiplerine uygun biçimde değişebilmektedir.

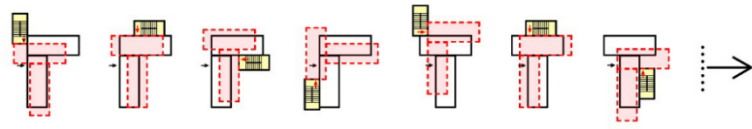
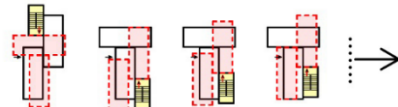
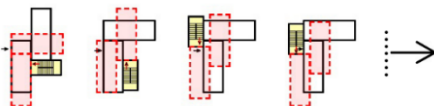

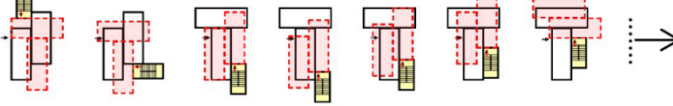


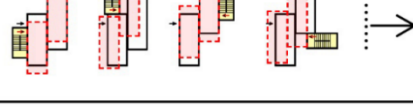
Ayrıca hafif çelik modüler kutuların birbiri üzerinde konsol çıkma yapıları da mümkündür. Ancak deprem bölgesi olan ülkemizde konsol miktarının dikkate alınması gerekmektedir. Yapılan çalışma kapsamında maksimum konsol mesafesi 2 m olarak kısıtlanmış; alternatifler bu faktör göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Bu nedenle 2 m konsol mesafesi aşıldığından; C<sub>1</sub>'nin A<sub>1</sub>'nin üzerine gelmesi, D<sub>1</sub>'nin A<sub>1</sub>'nin üzerine gelmesi, D<sub>1</sub>'nin B<sub>1</sub>'nin üzerine gelmesi, D<sub>1</sub> ile E<sub>1</sub>'nin üst üste gelmesi ve D<sub>1</sub>'nin F<sub>1</sub> ile üst üste gelmesi mümkün değildir.

Yapının düşeyde büyümesi, deprem bölgesi olan ülkemizde dikkat edilmesi gereken bir konu olduğundan hafif çelik yapım sisteminin dört katı aşmaması önerilmektedir. Bu nedenle toplu kullanımlar için düşeyde büyüyen yapılar yerini hem yatayda hem düşeyde büyüyen yapılara bırakabilmektedir (Yılmaz, B., 2017: 97).





Şekil 20. İkişer modülden oluşan iki konutun üst üste gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 98)

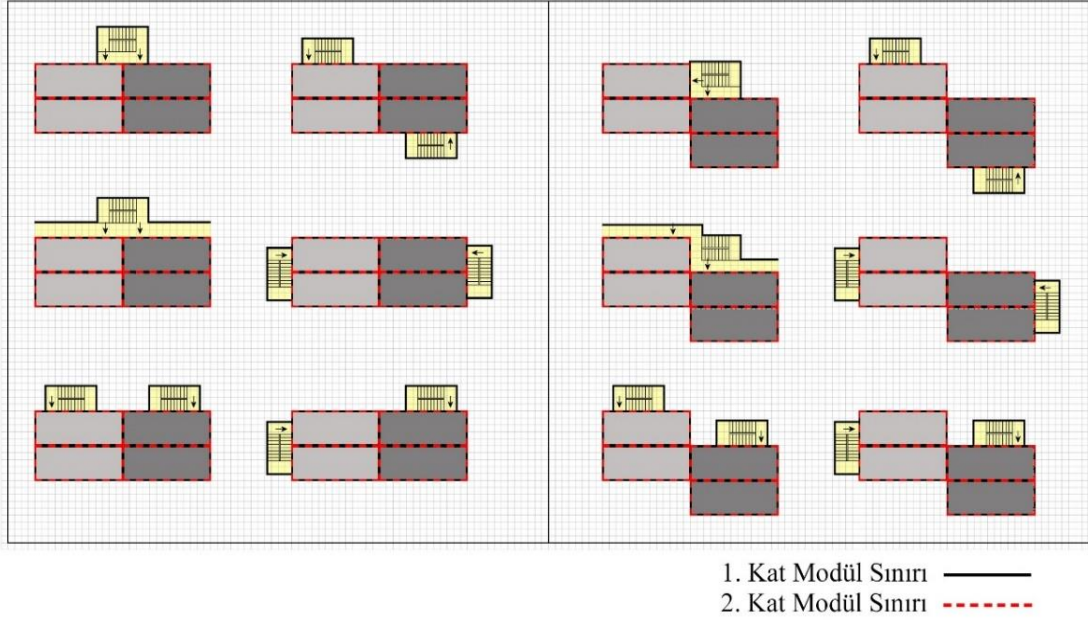
$E_1-F_1$	
$D_1-F_1$	*Konsol miktarı (2m) aşıldığı için D ile F'nin üst üste gelmesi uygun değildir.
$D_1-E_1$	*Konsol miktarı (2m) aşıldığı için D ile E'nin üst üste gelmesi uygun değildir.
$C_1-F_1$	
$C_1-E_1$	
$C_1-D_1$	
$B_1-F_1$	
$B_1-E_1$	
$B_1-D_1$	 <p>*Konsol miktarı (2m) aşıldığı için D'nin B'nin üzerine gelmesi uygun değildir.</p>
$B_1-C_1$	

Şekil 21. İkişer modülden oluşan iki konutun üst üste gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 98)

### 4.3. Hem Yatayda Hem Düşeyde Büyüyen Yapıların Tasarlanması

Bir önceki çalışmalarda incelenen modüllerin yan yana ve üst üste birleşme alternatifleri eş zamanlı olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Konut ihtiyacının yoğun olduğu durumlarda, ülkemizin deprem bölgesi olması sebebiyle kat sayısı az tutularak hem yatayda hem düşeyde büyüme ile yeterli sayıda konut düzenlenmesi mümkün olmaktadır. Bu durumda konutlara ulaşım ortak bir merdivenle, birden çok bağımsız merdivenle ya da modüllerin cephesinde düzenlenen bir koridorla sağlanmaktadır. Şekil 22.'de ikişer modülden oluşan

dört adet A<sub>1</sub> tipi konutun, katında iki konut olacak şekilde yan yana ve üst üste düzenlenme alternatifleri gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan konutların tipleri, konumları, yönleri ve sayıları değiştirilerek alternatiflerin çoğaltılması mümkündür.



Şekil 22. İkişer modülden oluşan konutların üst üste ve yan yana gelme alternatifleri (Yılmaz, B., 2017: 99)

Yatayda ve düşeyde düzenlenen modül sayısı ne kadar artarsa modüller arasındaki bağlantı sayısı da o oranda artacaktır. Tasarım evresinde belirlenen konut sayısı yapım sürecini etkileyecektir. Aynı zamanda merdiven tipi ve sayısı da yapım süresi ile maliyeti etkilemektedir. Merdiven modüllerinin fabrika ortamında önceden tamamlanarak şantiye ortamında sadece montajlarının yapılması ile yapım sürecinin kısaltılması mümkündür. Ayrıca merdiven tiplerinin standartlaştırılarak birbirini tekrar etmesi ile daha ekonomik sonuçlar alınabilmektedir (Yılmaz, B., 2017: 99).

## 5. Yapı Cephesinin Tasarlanması

Dış cephe kaplamasının amacı, hava koşullarına dayanıklılık sağlamak ve istenen dış görünüşün elde edilmesidir. Modüler binalar için bu kaplamalar düşey olarak kendini taşıyan ve modüler üniteler tarafından yalnızca yanal olarak desteklenen şekilde düzenlenebildiği gibi, tamamen modüler strüktür tarafından da taşınabilmektedir (Gorgolewski, M. T. ve diğ., 2001: 50). Modüllerin birleştirilmesi sonrasında cephe uygulamaları tamamlanarak yapı kullanıma hazır hale gelmektedir. Bu uygulamalar istenilen dış etkiye bağlı olarak çeşitlilik göstermekte; cephenin kaplanması ile modül birleşimleri gizlenebildiği gibi belirgin olarak da bırakılabilmektedir. Kullanılacak cephe malzemesi ise tasarım evresinde yapılan cephe etütleri sonucunda belirlenmektedir. Yapının fonksiyonu ve ayrılan bütçe cephe kararlarında önem taşımaktadır. Ekonomik imkanların kısıtlı olması durumunda malzeme seçiminde pahalı malzeme kullanımından kaçınılması gerekmektedir. Aynı şekilde acil durumlar için inşa edilen yapılarda kolay uygulanabilen daha sade cepheler tercih edilirken, özel kullanıma yönelik yapılarda daha dikkat çeken cephe alternatifleri düşünülebilmektedir. Ekonomikliğin yanı sıra uygulama süreci de seçilen kaplama malzemesine göre değişmekte; yapının tamamlanma süresinde seçilen detayın uygulama süresinin göz önüne alınması gerekmektedir. Modüllerin dış cephe kaplamalarının fabrika ortamında

tamamlanması da mümkündür. Ancak bu çalışmada esneklik sağlanması için çalışma modülünün dış yüzeyleri sadece OSB levhalar ile kaplanarak cephe tasarımı kullanıcının tercihine bırakılmıştır. Cephe kararının verilmesinden sonra kaplama malzemelerinin yine fabrika ortamında tamamlanması mümkündür. Bu durumda şantiye alanında sadece birleşim yerlerinde gerekli işlemlerin yapılmasına gerek duyulmakta; inşaat süreci hızlandırılmaktadır. Ekonomik çözümler için sıva-boya uygulaması yapılabildiği gibi taş, tuğla, ahşap, seramik ve kompozit gibi diğer yapı sistemlerinde uygulanan cephe kaplamalarının tamamı hafif çelik modül kutu sistemli yapılarda da uygulanabilmektedir (Yılmaz, B., 2017: 100).

## 6. Sonuçlar ve Tartışmalar

Hafif çelik modül kutu sistemin sahip olduğu avantajların yanı sıra her yapı sisteminde olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Hafif çelik yapı elemanlarının ısı ve ses iletimleri yüksek; yangın dayanımları azdır. Bu sebeple ısı ve ses köprüsü oluşturmayan konstrüksiyon tasarımlarının yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca mekan boyutlarının modül boyutlarına bağlı olması, çubuk ve panel sistemlere kıyasla tasarım esnekliğini kısıtlamaktadır. Ancak zaman ve maliyet faktörlerinin önemli olduğu durumlarda hızlı ve ekonomik olarak birbirinden farklı pek çok tasarım yapılması mümkündür. Yapılan örnek çalışma ile tasarım imkanları ortaya konulmuş; tasarım evresinin yaşam döngüsü sürecindeki önemi ve etkileri değerlendirilmiştir. Sadece döşeme ve dış duvarlardan oluşan 3 m x 7.8 m boyutundaki bu çalışma modülü fabrika ortamında yalıtım, kaplama ve tesisat sistemi ile birlikte bitmiş olarak üretilecek şekilde tasarlanmıştır. Esneklik hedefi doğrultusunda iç mekan ve cephe tasarımı kullanıcıya bırakılmıştır. Ancak iç mekan düzenlenmelerinde ekonomiklik sağlanması için kullanılacak bölücü duvarlar standartlaştırılarak 7 adet panel tipi oluşturulmuştur (Yılmaz, B., 2017: 105).

Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bir yapı elemanının, yapı sistemine ya da yapının değerlendirmesi yapılırken 'beşikten mezara' yaklaşımı ile yaşam döngüsü sürecine ait tüm evrelerin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir.
- Yapılarda; hammadde elde edilmesi, üretim evresi, yapı evresi, kullanım evresi, yıkım evresi aşamalarından oluşan yaşam döngüsü süreci yapı sistemlerinin değerlendirilmesinde ve kıyaslanmasında etkili bir yöntemdir.
- Tasarım evresi yaşam döngüsü sürecini doğrudan etkilemekte; bu nedenle tasarım evresinde verilen her kararın sonuçlarının önceden düşünülmesi gerekmektedir.
- Modül kuruluşunda kullanılacak bileşen ve elemanların belirlenmesinde modül boyutları, geçilen açıklık, kat sayısı ve cephe kuruluşu gibi faktörler etkili olmakta; seçim yapılırken bu faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir.
- İç planlamalarda kullanılacak bölücü duvarların standart paneller olarak tasarlanması ile esnek tasarımın yanında ekonomik kazanç sağlanabilmektedir. Çalışma modülünde kullanılan 7 adet panel tipi ile 60 adet plan alternatifi elde edilmiş olup, bu sayının artırılması mümkündür.
- Standart bir modül ile birbirinden farklı birçok tasarım alternatifinin oluşturulması mümkündür. Birden çok modülün yan yana gelmesi ile geniş mekanlar elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada iki modülün yan yana gelmesi ile 6 farklı konut tipi elde edilmiştir.

- İstenilen sayıda modülün yan yana veya üst üste düzenlenebilmesi, toplu kullanıma yönelik tasarımlara imkan vermektedir. Yatayda büyüyen yapılarda geniş alan gereksinimi ortaya çıkarken; deprem riski sebebiyle düşeyde büyüme miktarı sınırlıdır. Bu nedenle toplu kullanım ihtiyacına yönelik yapı tasarımlarında hem yatayda hem düşeyde büyüyen plan alternatifleri tercih edilebilmektedir.
- Hafif çelik modüler kutu sistemlerde geleneksel yöntemlerde kullanılabilen tüm cephe kaplamalarının uygulanabilir olması, istenen görsel etkinin elde edilmesini sağlamaktadır. Yapının fonksiyonu ve ekonomik imkanlar cephe düzenlemelerinde etkili olmaktadır.
- Modüler kutuları oluşturan profiller arasında kalan boşlukların yalıtım malzemelerinin düzenlenmesine imkan vermesi sayesinde gerekli konfor koşulları sağlanabilmektedir. Ayrıca kullanılan cephe kaplama malzemeleri ile gerekli durumlarda yalıtım seviyesi artırılabilir.
- Hafif çelik modüller ile üretilen yapılar, sökülebilir olmaları sayesinde değişen kullanıcı ihtiyaçlarına uyarlanabilmekte; bu sayede yapıların kullanım süresi uzatılabilmektedir. Modüllerin sökülerek bina formunun değiştirilmesi ya da iç mekanda kullanılan panellerin sökülerek plan şemasının yeniden düzenlenmesi mümkündür (Yılmaz, B., 2017: 105-106).

## Kaynaklar

Balcı, E., 2003. Betonarme ve çelik hafif taşıyıcı yapı sistemlerinin kaba yapı aşamasında maliyetlerinin irdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 43)

Canadian Sheet Steel Building Institute 2005. The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook, Canada (s. 4/16, 6/2)

Canitez, İ., S., 2002. Bükme saç profillerle konut üretimi ve Türkiye’de uygulanabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne (s. 78)

Ekinci, S., 2006. Hafif çelik yapı sistemleri – taşıyıcı sistem, yapı fiziği etkileri ve mimari tasarım ilkeleri açısından analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 71-74)

Emmit, S. ve Gorse, C., 2010. Barry’s Advanced Construction of Buildings- 2nd ed. (s. 495)

Eren, Ö., 2014. Hafif Çelik Yapı Tasarım Konstrüksiyon Uygulama, Arı Sanat Yayınları, İstanbul (s. 29-30,76,87,105)

Eren, Ö. ve Başarır, B., 2013. Çelik Strüktürlerin Yaşam Döngüsü İçinde Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, *NWSA-Engineering Sciences*, 2013 (s. 120-135)

Erturan, B. ve Eren, Ö., 2012. Modüler Yapım Tekniği ile Bina Etkinliğini ve Verimliliğini Geliştirme Yaklaşımının Değerlendirilmesi, *NWSA-Engineering Sciences*, 2012 (s. 677-695)

Eşsiz, Ö., 1997. İleri teknoloji (High tech) yapıları ve uygulama örneklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 20-130)

Eşsiz, Ö. ve Koman, İ., 2007. Modüler Hücre Sistemler Güncel Uygulamalar, *Yapı Dergisi*, 7 Mart 2007 (s. 1-5)

Gorgolewski, M. T. ve Grubb, P. J. ve Lawson, R. M. 2001. Modular Construction Using Light Steel Framing Design of Residential Buildings, The Steel Construction Institute, Berkshire (s. 50)

Özgül, S., 2001a. 'Türkiye Çeliği Neden Kullanılmıyor?', Türk Yapısal Çelik Derneği (s. 1)

Özgül, S., 2001b. 'Projelerinize Bütünsel Bakmasını Bilmezseniz Ekonomiklik Hesabı Yapamazsınız', Türk Yapısal Çelik Derneği (s. 2)

Terim, B., 2006. Hafif Çelik Çerçeve Sistem, *Ege Mimarlık*, 2006/1-56, İzmir (s. 46)

Tuna, R., 2012. Afet sonrası Mimarlık, *Mimar.ist*, Sayı 43, Mart 2012, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul (s. 25-28)

Tuna Sezer, G., 2015. Modüler hücre yapım sistemlerinin çok katlı yapılarda incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 47)

Yıldırım, S. G., 2003. Hafif çelik taşıyıcı endüstrileşmiş konutlarda tasarım verileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 99)

Yıldırım, S. G., 2010. Türkiye'de az katlı konutlar için yarı açık hafif çelik yapım sistemi önerisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 68,99)

Yılmaz, B., 2017. Tasarım Evresinin Hafif Çelik Modüler Kutu Sistemli Yapıların Yaşam Döngüsü Sürecine Etkilerinin Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (s. 1-106)