



HAFİF ÇELİK YAPI SİSTEMLERİ

Mehmet FENKLİ^{*1}, Ali ÜNAL²

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta

Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 03.01.2023

Kabul Tarihi: 29.05.2023

Yayın tarihi: 29.06.2023

ÖZET

Hafif çelik geçmişten günümüze kadar uzun bir süredir yapı endüstrisinin içerisinde olan ve varlığını gün geçtikçe daha da arttırarak yapı üretiminde oldukça önemli konumlara ulaşmıştır. Zamanla hafif çeliğin ana taşıyıcı elemanlarda kullanım yüzdesinin arttığı görülmüştür. Endüstri yapıları, prefabrike yapılar, tarım yapıları, konutlar gibi yapıların yapımında daha çok tercih edilip kullanılmaya başlanılmıştır. Hafif bir malzeme olması, taşınmasının ve kurulmasının kolay olması, daha düşük miktarda atık malzeme bırakması, ekonomik olması, çevresel etkilere karşı daha dayanıklı oluşu, fabrika üretimi ile işçilik hatasını minimuma indirilmesi, tekrarlı inşa yapımına uygun olması tercih edilmesinde önemli faktörler olmuştur. Bu önemli faktörlere rağmen ülkemizde hafif çelik yapıların tasarımı için hazırlanmış kapsamlı bir yönetmelik henüz oluşturulmamıştır. Ülkemizde idari makamlarınca kabul görmüş olan Amerikan yönetmeliği AISI NAS (American Iron And Steel Institute North American Specification) kullanılarak hafif çelik yapıları tasarlayabiliriz. Bu çalışmada hafif çelik yapılar hakkında kısa bilgiler verilerek ülkemizdeki uygulama aşamaları görseller ile desteklenerek anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler;

Hafif çelik, ince cidarlı elemanlar, soğukta haddelenmiş çelik, hafif profiller, hafif çelik birleşim

LIGHT STEEL CONSTRUCTION SYSTEMS

Article Info

Received: 03.01.2023

Accepted: 29.05.2023

Published: 29.06.2023

Light steel has been in the building industry for a long time, from the past to the present, and has increased its presence day by day, reaching considerable positions in building production. Over time, light steel appeared to increase in the percentage of use in the main carrier elements. Industry structures, prefabricated structures, agricultural structures, and residential structures have been preferred and used more. There were important factors in the preference for being a lightweight material, easy to transport and install, leaving lower amounts of waste material, being economical, being more resilient to environmental impacts, minimizing factory production and labor error, being suitable for repeat construction. Despite these important factors, a comprehensive regulation prepared for the design of light steel structures has yet to be established in our country. We can design light steel structures using the American regulation AISI NAS (American Iron and Steel Institute North American Specification), which has been adopted by administrative authorities in our country. In this study, brief information about light steel structures is given and the application stages in our country are explained by supporting them with visuals.

Keywords;

Light steel, thin-walled elements, rolled steel in the cold, light profiles, light steel joint

1. Giriş

Bir yapı çelik elman kullanarak tasarlamak istenirse kullanılabilir iki tip ana eleman vardır. Bu ana elemanları ağır çelik ve hafif çelik olarak sayabiliriz. Ağır çelik elemanlarda çelik ısıl işlem görek sıcakta form kazanırken hafif çelik elemanlarda soğukta form kazandırılır. Hafif çelik elemanlar kulağımızın pek de aşına olmadığı belki de bir çoğumuzun daha önce duymadığı yapı elemanlarıdır. Bu elemanlar literatürde; hafif çelik yapı elemanları (light steel structural elements), soğuk şekillendirilmiş (cold-formed) ince cidarlı (thin-walled), çelik yapı elemanları gibi farklı isimle de anıldıkları görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi adlandırmalar bu taşıyıcı sistem elemanlarına farklı bir açıdan (malzemenin fiziksel özelliklerine) bakılması nedeniyle oluşmuştur.

Hafif çelik yapılar için TBDY-18'de şu ibare geçmektedir:

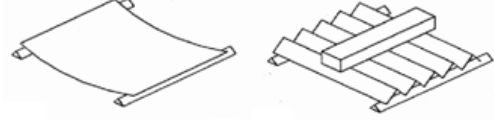
Soğuk şekillendirilmiş çelik elemanların malzemesi, TS EN 10025, TS EN 10346 ve TS EN ISO 1461 ile tanımlanmış, et kalınlıkları 0.45 mm ile 16 mm arasında değişen çelik yassı mamullerin şekillendirme makinelerinde bükülmesi ile elde edilen yapı malzemesidir (TBDY, 2018)

Bu yapıların yönetmelikte tanımlanan kalınlıkları görüldüğü üzere çok ince olduğu için hadde mamulleri çelik yapılara göre çok daha hafif olduğu anlaşılmaktadır.

Kesitlerin ince cidarlı olması nedeniyle kesit narinliği ve yerel stabilite sorunları, hadde mamulü kesitlerdekinden farklı hesap yaklaşımlarını zorunlu kılar. Isıl işlem ve haddeleme yerine soğuk şekillendirme nedeniyle kesitteki bazı bölümlerde plastik deformasyonlar oluşmuş, kesitin bazı kenarları rijitleştirilmişken, bazı kenarlar rijitleştirilmemiş olduğundan hesaplar toplam en kesit alanı yerine daha küçük bir etkin kesit üzerinden yürütülür. Kısacası, hadde mamulü çelik yapı elemanlarıyla, hafif çelik yapı elemanları arasındaki tek ortak özellik; malzemenin çelik olmasıdır denebilir (Anonim, 2020).

Soğuk şekillendirilmiş çelik yapı elemanlarının çalışma prensibi çok basittir. İnce düz bir levha, düşük eğilme rijitliği nedeniyle kendi ağırlığı altında bile büyük deformasyon yapacak ve belki de ilave bir yükü taşıyamayacaktır. Bununla birlikte, katlanmış plak şeklinde biçimlendirilirse, önemli ölçüde rijitlik

ve mukavemet kazanacaktır (Şekil 1). Gerekli yapısal nitelikler, kalınlığın artırılmasıyla değil, levhayı tasarlanmış bir şekle sokarak elde edilir. Bu uygulama malzeme sarfiyatı ve yapı ağırlığı bakımından önemli bir kazanç sağlamaktadır. Söz konusu teknikten büyük açıklıklı ve mimari nitelikli betonarme yapılarda da yararlanılmaktadır (Anonim, 2020).



Şekil 1. Katlanmış plak (folded plate) (Anonim, 2020)

Hafif çelik elemanlar yapıya etkileyen yükler ve etkiler karşısında bazı tepkiler verir. Burkulma, burulma, eğilme, gövde burkulması, başlık kıvrılması gibi durumlar elemanların yük altında oluşturabileceği davranışlardır. Burkulma sonrası yük taşıma kapasitelerini tamamen yitirmeme bu elemanlara ait önemli bir durumdur.

Elemanların rijitletme durumu elemanların yük altında davranışını etkilemektedir. Soğukta şekil verme işlemi köşe kısımlarda daha çok gerçekleşir bu sebeple düzlem kısımlar daha önce akma ve burkulma davranışı gösterir ve hesaplamalarda bükümsüz (yassı) uzunluk kullanılır.

Elemanların birbirine bağlanmasını sağlayan birleşimler de yük altındaki yapı için önemli davranışlar oluşturabilir. Bu davranışların oluşmasına sebep olabilecek etkenlerden biri birleşimde var olan moment etkileridir. Bu etkileri dikkate alarak bulon, kaynak ve vida gibi birleşim araçları kullanılarak birleşimler oluşturulabilir.

Hafif çelik malzemelerin galvaniz vb. koruyucu maddelerle kaplanması ile hafif çelik elemanlar, mevcut geleneksel elemanlarla benzer korozyon dayanımı verir. Yapı elemanları için beklenen gerekli dayanımları sağlayarak beklentileri karşılması, kurulumunun ve taşınımının kolay olmasıyla alternatif çözümler sunması gibi sahip olduğu özellikleri ve sağladığı avantajları ile hafif çelik yapı endüstrisinde önemli konuma gelmiştir (Fırat, 2019).

Gelişmiş ülkelerin birçoğu hafif çelik yönetmeliği oluşturmuş ve bu yönetmelikleri yaygın olarak kullanmaktadır. Ülkemizde halen hafif çelik yapılara ait kapsamlı bir yönetmelik yoktur fakat yeni çıkan

TBDY 2018 ile yavaş yavaş temelleri atıldığı söylenebilir.

2. Genel Bilgiler

2.1. Hafif Çelik Yapıların Kısa Tarihçesi

Çelik malzemenin yapı sektöründe kullanılmasına 18. yy. sonlarında Avrupa’da başlanmıştır. Yarım asır sonra ABD’de de yoğun bir şekilde kullanılmaya başlansa da bu tarihten önce çelik profiller ve kablolarla inşa edilmiş büyük açıklıklı köprülere rastlamak mümkündür. Özellikle İkinci Dünya Savaşı öncesinde ve savaş sırasında gelişen üretim teknikleri ve üretim kapasitesi, çeliğin, savaşın etkisiyle harap olmuş şehirlerin hızla yeniden inşasında yoğun kullanılmasına etki etmiştir. 20. yy.’ın sonlarına doğru, özellikle çok katlı olmayan konut üretiminde ahşap kullanımının yüksek maliyeti ve sürdürülebilir görülmemesinin etkisiyle, üretim teknikleri daha da gelişmiş olan hafif çelik sahneye çıkma fırsatı bulmuştur (Anonim, 2020).

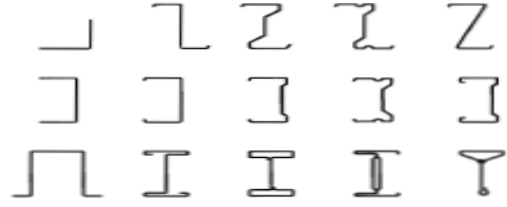
Amerika’da yaygın olarak kullanılan ahşap konutların yerini 1980’lerde hafif çelik konutlar almaya başlamıştır.

Çelik profillerin, %100 oranda geri dönüşümü mümkün olması ile birlikte, ahşap daha çok gereksinim duyulan sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise Amerika’da hafif çelik çerçeve sistem ile tek ve çift katlı konutlar %20 oranda üretilmektedir. 1992 yılında bu şekilde 500 konut üretilmekte iken, 1993 yılında 15.000 konut üretilmiştir. (Seçkin, 2022).

2.2. Hafif Çelik Profillerin Yapılarda Kullanımı

Soğuk haddelenmiş çelik profiller genellikle, tek etkili veya çift etkili olarak, çelik kolon, kiriş ve makas gibi taşıyıcı yapı malzemelerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, hafif çelik profillerin konutlarda yaygın olarak kullanılmasına öncülük etmiştir. Günümüzde, Avrupa ve Türkiye’de bu profillerin özellikle konut türü yapılarda, endüstriyel yapılar ve inşaat sektöründe kullanımının oldukça yaygınlaştığı görülmektedir (Seçkin, 2022).

Hafif çelik yapıların inşasında özel şekilli profiller üretilebileceği gibi, dünya çapında yaygın ve yönetmeliklerde yer alan tipik kesitler söz konusudur. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’ de tipik kesitler gösterilmiştir (Anonim, 2020).



Şekil 2. Tek gövdeli açık kesitler (single open section) (Anonim, 2020)



Şekil 3. Açık yapma kesitler (open build-up section) (Anonim, 2020)



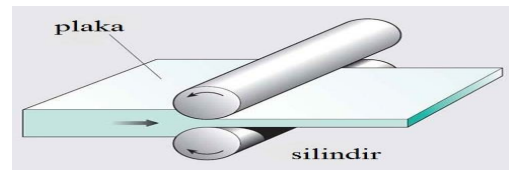
Şekil 4. Kapalı yapma kesitler (closed build-up section) (Anonim, 2020)

2.3. Çelik Ürünleri

Çelik, günümüzde mühendislik uygulamalarında artan talepler doğrultusunda en fazla kullanılmakta olan malzeme olduğundan, ihtiyaçlar doğrultusunda farklı konfigürasyonlarda üretilmekte ve demir-çelik tesisinden çıktığında yarı mamul hali üzerinde uygulanan farklı işlemlerle son ürün haline getirilmektedir. Çelik yarı mamuller üzerinde uygulanan bu teknikler sonucunda elde edilen ürünlerin sıcak veya soğuk şekillendirmeye bağlı olarak bazı mekanik özellikleri de farklı göstermektedir (Yazıcı, 2018).

2.3.1. Sıcak şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri

Çeliğin kristalleşme sıcaklığı üzerinde yaklaşık 1200°C civarında ısıtıldıktan sonra itme kuvveti uygulanarak malzemenin silindir arasından sıkıştırılarak geçirilmesi işlemiyle istenen şeklin verilmesine sıcak haddeleme adı verilmektedir. Bu sıcak şekil verme işlemi Şekil 5’de verilmiştir. (Yazıcı, 2018).



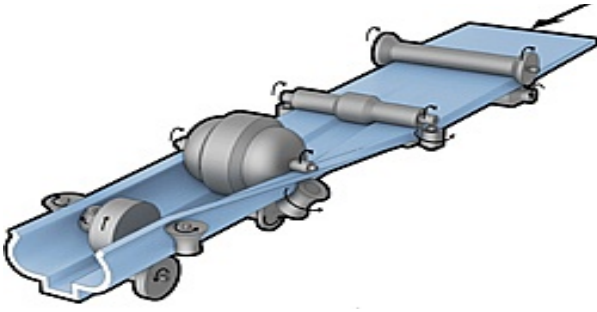
Şekil 5. Sıcak haddeleme tekniği (Hot rolling technique) (Yazıcı, 2018)

2.3.2. Soğuk şekillendirme ile üretilen çelik ürünleri

İnşaat Mühendisliği uygulamalarında kullanılan soğuk şekillendirilmiş ürünler daha çok sıcak hadde profillerinin benzerleri olan profillerdir. Bu profiller soğuk haddeleme (roll forming) tekniği veya preste bükerek şekil verme (soğuk bükme) yöntemleri ile üretilirler (Öztürk, 2014).

2.3.2.1. Sürekli formda şekil verme

Soğuk haddelemede, başlangıçta düz olan çelik sac eleman istenilen kesit şekli elde edilene kadar gitgide artan şekilde, “istasyon” denilen küçük adımlarla sürekli deformasyona maruz kalarak nihai şekli alması işlemine sürekli formda şekil verme denir. Şekil 6’da verilmektedir (Öztürk, 2014).



Şekil 6. Sürekli soğuk şekillendirme (Roll-Forming) işlemi (Anonim, 2020)

2.3.2.2. Soğuk bükme

Preste bükerek şekil verme, bir baskı (zımbalama) tezgâhı, kalıplar ve bazı yardımcı aparatların gerektiği, kısıtlı üretim kapasiteli bir bükme işlemidir. “Abkant pres” adıyla da anılan pres tezgâhı, düşey hareketli bir üst kiriş ve sabit alt kalıptan oluşur. Bu yöntemde, makinedeki kalıbın boyuna bağlı olarak, tek parça levha malzeme, elde edilmek istenen kesitte mevcut her köşe ya da kıvrım için ayrı bir darbe uygulanmak suretiyle bükülür. Soğuk bükme işlemi uygulanan bir “Abkant” pres ve bükme kalıbına ait tipik görünüm aşağıdaki Şekil 7’de gösterilmiştir (Öztürk, 2014).



Şekil 7. Soğuk bükme yöntemi ile üretilen bazı kesitler (Some sections that can be produced by cold bending method) (Öztürk, 2014).

2.4. Hafif Çelik Yapı Türleri

2.4.1. Endüstriyel yapılar

Bu yapılar geniş açıklıklı olup 15-20m açıklığa sahiptir. Depo, hangar, çiftlik ve hayvan barınakları gibi yapılar örnek verilebilir. Şekil 8’ de bu sistemler gösterilmiştir (İMO Eskişehir Sube, 2020).



Şekil 8. Endüstriyel yapılar (Industrial buildings) (İMO Eskişehir Sube, 2020)

2.4.2. Konteyner yapıları

Bu yapıların taşıyıcı sistemi hafif çelik elemanlardır. Uygulamada çokça yapılmakta olup özellikle şantiyelerde bulunmaktadır. Şekil 9’da bu sistemler gösterilmiştir (İMO Eskişehir Sube, 2020).



Şekil 9. Konteyner yapısı (container structure) (İMO Eskişehir Sube, 2020)

2.4.3. Prefabrik sistemler (panel sistemler)

Bu yapıların taşıyıcı sistemleri hafif çelik elemanlardır. Türkiye’de en çok kullanılan sistemdir

ve neredeyse bütün prefabrik firmalarının %80-90 oranında uygulamada kullandığı sistemdir. Bu sistemler hafif çelik sistemdir fakat sektör literatüründe daha çok prefabrik sistem olarak geçer. Şekil 10’ da bu sistemler gösterilmiştir (İMO Eskişehir Sube, 2020).



Şekil 101. Panel sistemler (Panel systems)
(Anonim, 2016), (Anonim, 2018)

2.4.4. Yerinde kaplama sistem

Bu sistemlerin kurgusu şu şekildedir; Aks aralıkları kaplama malzemesine göre belirlenmiş ve bu aralıklar 61 cm ile 62,5 cm’dir. Bir alçıpanın veya OSB’nin boşa kalmaması için bu ölçülerde yapılır. Bu yüzden aks aralıkları bu şekilde ayarlanır. Her 610 mm’de bir taşıyıcı dikmeler vardır, kolonların bu literatür ’deki karşılığı “strut” elamanlardır yani “dikme” elmanlardır. Her bir döşeme kirişine karşı gelecek şekilde dikme elemanlar olacaktır. Yük akışının doğru olabilmesi için bu kısım önemlidir. Şekil 11’ de bu sistemler gösterilmiştir (İMO Eskişehir Sube, 2020).



Şekil 2. Yerinde kaplama sistem (on-site coating system) (İMO Eskişehir Sube, 2020)

3. Hafif Çelik Elemanların Birleşim Yöntemleri

İnce cidarlı elemanların birleşim hesapları hadde profillerinden farklıdır. Araştırmalar sonucunda standartlarda tasarım yöntemleriyle ilgili kurallar derlenmiştir. Soğukta şekil verilmiş çelik sistemlerde yaygın olarak vidalı, bulonlu ve ark nokta kaynaklı birleşimler daha çok kullanılmakla beraber bunun yanında perçinli ve bazı özel birleşimler olan baskı ve rozet bağlantılar kullanılmaktadır.

Hafif çelik yapımında kullanılan birleşim yöntemleri:

- ❖ Vidalı Birleşimler
- ❖ Bulonlu Birleşimler
- ❖ Kaynaklı Birleşimler

Perçinli Birleşimler olarak sıralanabilir (Büyüksişli, 2004).

4. Hafif Çelik Taşıyıcılı Sistemlerin Ülkemizdeki Uygulama Aşamaları

4.1. Betonarme Temel İnşaatı

Yapının inşa edileceği arazi istenilen kota getirilmesi için kazı işlemi ekskavatörler ile yapılır. Sonra 20 cm kalınlığında blokaj tabakası oluşturulur. Blokajın kalınlığı yapıya ve uygulanacak alana bağlı olarak değişmekle birlikte 15-20 cm arasında olmalıdır. Döşenecek blokaj taşları arası boşluk mümkün olduğunca az olmalıdır. Blokajın üstü, No.2 agrega (12-22mm) kullanılarak tesviye işlemi gerçekleştirilir. Şekil 12’de blokaj uygulaması gösterilmiştir (Taşkiran, 2005).



Şekil 12. Blokaj uygulaması (Application of blockage) (Taşkiran, 2005)

Daha sonra kalıp kurularak grobeton dökülür. Grobeton için beton sınıfı en düşük dayanıma sahip C8 – C16 sınıfı hazır betonlar kullanılır. Grobeton yüksekliği genelde 10 cm’dir. Grobeton işleminden sonra su yalıtımı için membran uygulanması yapılır. Temel için kalıplar çakılır ve projeye göre hazırlanan donatılar zemine yerleştirilir. Donatı yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra temel betonu dökülmeye hazır hale getirilir. Beton dökümünden önce son kontroller yapılır. Temel betonunun dökülmesiyle birlikte temel hazır hale gelmiştir. Şekil 13’te yerine dökülen temel betonu gösterilmiştir (Taşkiran, 2005).



Şekil 13. Temel betonu (Foundation concrete)
(Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Temel üst kotu beton dökülürken özenle kontrol edilmelidir. Hata payı ± 10 mm'yi aşmamalıdır. Aksi durumda çelik konstrüksiyonu düzgün olarak kurmak zorlaşacaktır ve ileride kurulum tamamladıktan sonra duvarlar bir süre sonra oturacağı için cephe panellerinde çatlamalara sebebiyet verebilir bu yüzden tesviye yüzeyinin perdahlama işleminin düzgün yapılması gerekmektedir ve hatta bu durumu önlemek için kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kullanmak çok daha uygundur (Taşkiran, 2005).

4.2. Çelik Konstrüksiyon İnşaatı

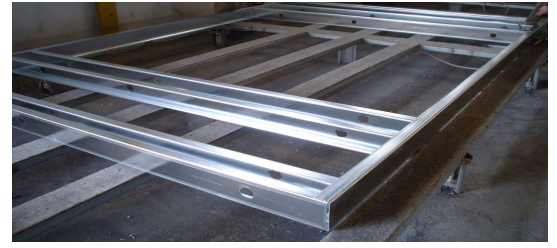
Çelik konstrüksiyon inşaatı aşağıdaki üç aşamadan oluşur.

- ❖ Çelik panel imalatı
- ❖ Çelik konstrüksiyon montajı
- ❖ OSB paneller ile konstrüksiyonun tamamen kaplanması (Taşkiran, 2005).

4.2.1. Çelik panel imalatı

Fabrikadan projesine uygun ebatlarda üretilip kodlanmış olarak gelen çelik yapı profilleri, atölye ortamında duvar ve çatı panellerini oluşturmak üzere istiflenir.

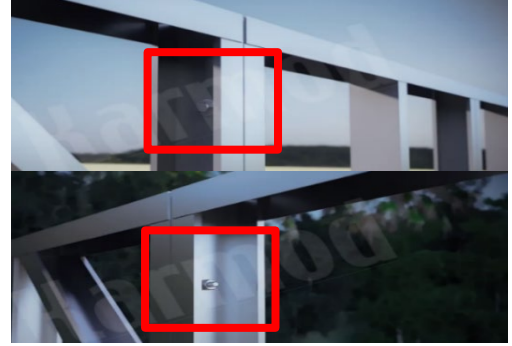
Birleştirme işleminde duvar ve çatı panelleri proje şekline uygun olarak birleştirilir. Bu işlem büyük montaj sehpaları üzerinde gerçekleştirilir Şekil 14'te gösterilmiştir. Birleştirme esaslarına uyularak, projede birleşim detaylarında gösterilmiş olan vidalar vasıtasıyla paneller oluşturulur (Taşkiran, 2005).



Şekil 14. Sehpa üzerinde birleştirme işlemi (on the table merge process) (Taşkiran, 2005)

4.2.2. Çelik konstrüksiyon montajı

Atölyede duvar ve çatı panellerinin oluşturulmasından sonra, temel üzerindeki imalata başlanır. Temel etrafına dağıtılmış olan paneller teker teker kaldırılarak birbirlerine altıgen başlı vidalar ile sabitlenir. Şekil 15'te gösterilmiştir (Taşkiran, 2005).



Şekil 15. Panellerin birbirlerine sabitlenmesi
(Fixing the panels to each other) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Tüm iç ve dış duvarların birbirine sabitlenip sistemin kapatılmasının ardından, duvarların gönye ve şekül kontrolleri yapılır. Binanın sabitlenmesi çelik dübeller vasıtasıyla projede belirtilen yerlerinden betonarme temele ankre edilir. Köşelerdeki dikmeler levha üzerine açılan delikler ile temele ankrajlanır Şekil 16'da gösterilmiştir. Orta dikmelerde köşebent birleşim elemanı kullanılarak dikmeler temele ankrajlanır Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 16. Köşe dikmelerin sabitlenmesi (Fixing corner posts) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 17. Orta dikmelerin sabitlenmesi-Sistemin görünümü (Fixing the middle struts- the appearance of the system) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Ankrajlama işlemi tamamlandıktan sonra tamamlanan zemin kat duvarları Şekil 18’de görülmektedir.



Şekil 18. Ankrajlama işlemi biten zemin kat duvarları (Ground floor walls that have completed the anchoring process) (Taşkiran, 2005)

Tamamlanan zemin kat duvarları üzerine döşeme kirişleri yerleştirilir. Şekil 19’da yerleştirilen kirişler ve döşeme kirişleri gösterilmektedir.

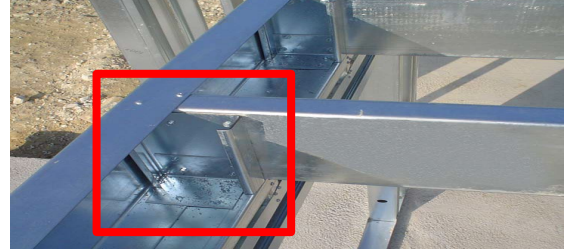


Şekil 19. Döşeme kirişlerinin yerleştirilmesi (Installation of floor beams) (Taşkiran, 2005)

U kesitli döşeme kiriş kapakları duvar üst başlıklarına vidalarla sabitlenir (Şekil 20.). Kapakların arasına kapaklara dik yönde C kesitli döşeme kirişleri yerleştirilir. Döşeme kiriş bitişlerinde berkitme profilleri (stiffner) kullanılarak döşeme kirişlerinin duvarlara mesnetilmesi sağlanır (Şekil 21).

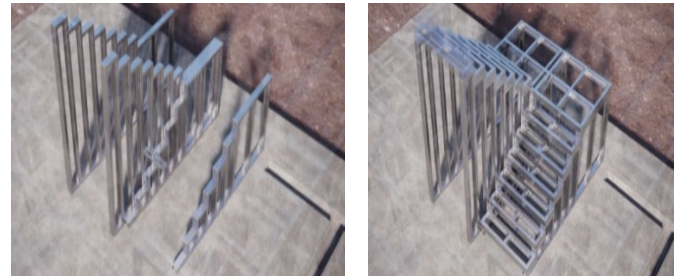


Şekil 20. Döşeme kiriş kapaklarının montajı (Installation of floor beam covers) (Taşkiran, 2005)



Şekil 21. Kiriş bitişlerinde berkitme profilleri (Berkitme profiles at beam ends) (Taşkiran, 2005)

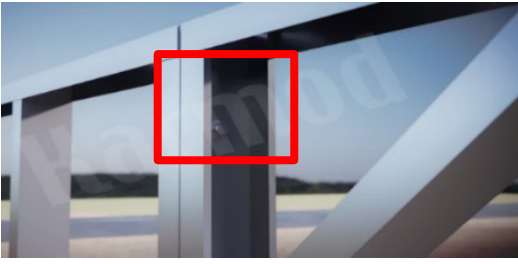
Döşeme iskeleti oluşturulduktan sonra, merdiven montajı yapılır. Merdiven montajında öncelikle merdiven duvarları dikilir daha sonra C profillerle atölyede oluşturulmuş olan merdiven basamakları monte edilir (Şekil 22). Son olarak üzerlerine OSB plaka kaplaması yapılır. Merdiven montajı tamamlandıktan sonra döşemenin üstü, 1. kat tabanını oluşturmak üzere OSB plakalar ile kaplanır.



Şekil 22. Merdiven montajı (Installation of stairs) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Üst kat çelik konstrüksiyon montajı zemin katta yapılan montaj işleri ile aynı şekilde 1. kat duvarları için tekrar edilmiştir. Tüm iç ve dış duvarların birbirine sabitlenip (Şekil 23) sistemin kapatılmasının ardından, duvarların gönye ve şakül kontrolleri yapılır.

Şekil 24’te 1.kat duvar montajı sonrası sistemin genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 23. Panellerin birbirlerine sabitlenmesi (Fixing the panels to each other) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 24. 1.kat duvar montajı sonrası genel görünüm (general view of the system after first floor wall installation) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

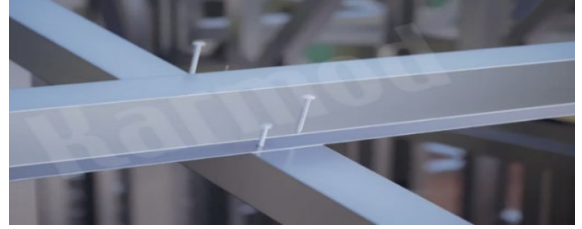
Çatı makas montajı için öncelikle ana makas yerleştirilir ve birleşimi yapılır (Şekil 25). Daha sonra ara makaslar projeye uygun şekilde yerlerine yerleştirilir ve birleşim işlemleri gerçekleştirilir (Şekil 26). Makasların üzerine aşık elmanlar vidalanır (Şekil 27). Son olarak saçak sacları ve dere montajı yapılır (Şekil 28). Böylece iskelet sistem tamamlanmış olur (Şekil 29).



Şekil 25. Çatı makas montajı (Installation of roof truss) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 26. Çatı makas montajı (Installation of roof truss) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 27. Aşık elmanların makaslara vidalanması (Screwing the purlins to the roof trusses) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 28. Saçak sacları ve dere montajı (Eaves sheets and creek installation) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 29. Tamamlanmış iskelet sistem (Completed skeletal system) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Çatı iskeleti OSB paneller ile kapatılıp OSB üzerine membrane ve sac kiremit uygulaması yapılır (Şekil 30).



Şekil 30. Çatı iskeleti üzerine OSB, membran ve sac kiremit uygulaması (Application of OSB, membrane and sheet tile on the roof frame) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021).

4.2.3. OSB paneller ile kaplama yapılması

Binanın 1. kat tabanı ve çatı iskeleti OSB plakalarla kaplandıktan sonra, duvar panelleri, dış duvar yüzeylerini oluşturmak üzere OSB levhalar monte edilir (Taşkiran, 2005). Dış duvar panelleri çelik karkas sistem üzerine döşenirken zemin betonu üzerinden 5 cm boşluk bırakılarak döşenir (Şekil 31.). Dış kaplama tamamlandıktan sonra boş bırakılan 5 cm'lik kısma membrane uygulaması yapılarak üzerine şap atılır böylece bina sudan korunmuş olacaktır (Şekil 43).



Şekil 31. Dış cephe montajı (Facade installation) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Binanın dış yüzeyinin OSB ile kaplanmasının ardından (Şekil 32) OSB üzerine nem bariyeri uygulanır (Şekil 33). Nem bariyerlerin üzerine M profiller döşenir (Şekil 34).



Şekil 32. Binanın dış yüzeyinin OSB ile kaplanması (Coating of the exterior surface of the building with OSB.) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 33. Nem bariyeri uygulaması (Moisture barrier application) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 34. Nem bariyer üzerine döşenen M profiller (M profiles laid on moisture barrier) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

M profillere 10 cm'lik yatay kaplama malzemesi monte edilir (Şekil 35). Son olarak 38cm'lik yatay kaplama malzemesi monte edilerek işlem sonlandırılır (Şekil 36).

Şekil 37'de kaplama işlemi tamamlanan sistemin tamamı gösterilmiştir. Daha sonra bina içi tesisatlarının yapılmasına başlanır. Elektrik, sıhhi, klima, kalorifer, gibi tesisatların yerleştirilmesine olanak verecek şekilde dikme ve döşeme profillerinde önceden açılmış olan deliklerden tesisatlar geçirilir (Şekil 38). Bu işlemin tamamlanıp gerekli testlerin yapılmasının ardından herhangi bir sorunla karşılaşılmaz ise tesisat işleri sonlandırılır.



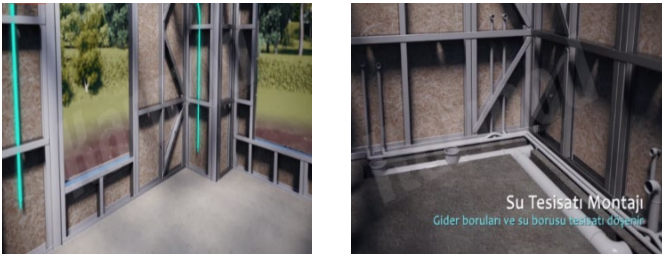
Şekil 35. 10 cm'lik yatay kaplama malzemesinin montajı (installation of 10 cm horizontal coating material) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 36. 38cm'lik yatay kaplama malzemesinin montajı (installation of 38cm horizontal coating material) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 37. Kaplama işlemi sonrası genel görünüş (General view after coating process) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 38. Elektrik tesisatı ve su tesisatı (Electrical installation and water installation) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Duvar ve döşeme arasında kalan boşluklar, camyünü veya taş yünü gibi ses ve ısı yalıtımı sağlayan ve aynı zamanda yangına dayanıklı malzemeler ile doldurulur (Şekil 39). Kullanılacak malzeme türü ve kalınlıkları, istenilen konfor derecesine ve hazırlanan ısı yalıtım projelerine göre seçilir.

Yalıtımın tamamlanmasının ardından, duvar yüzeyi alçıpan levhalar ile kaplanır (Şekil 40) ve zemin kat

tavanına kaplama profilleri döşenir (Şekil 41). Bu profillere alçıpanın montajı yapılır (Şekil 42).



Şekil 39. Camyünü veya taşıyünü malzemelerinin döşemesi (Laying of glass wool and rock wool materials) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 40. Duvarların alçıpan levhalar ile kaplanması (Covering the walls with plasterboard sheets) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



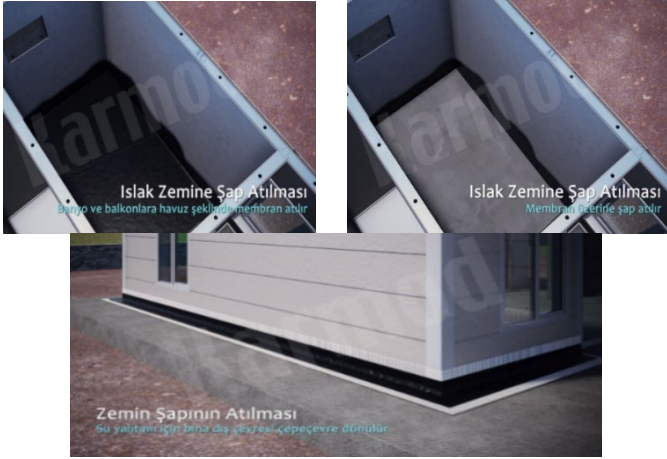
Şekil 41. Zemin kat tavanı kaplama profilleri (Covering profiles on the ground floor ceiling) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



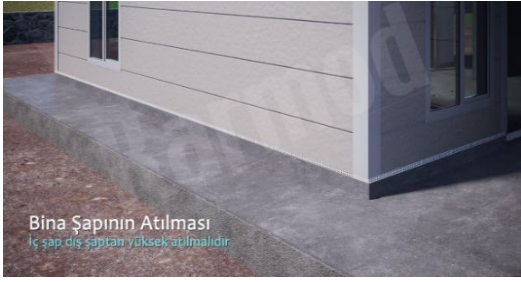
Şekil 42. Zemin kat tavanına alçıpanın montajı (Installation of drywall on the ground floor ceiling) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Alçıpan işlemleri tamamlandıktan sonra, zemine şap atılır ancak ıslak hacimler ve balkon için zemine havuz şeklinde membran uygulaması yapılır daha sonra membran üzerine şap atılır. Şekil 43'te bu

uygulama gösterilmiştir. Bina şapının atılmasında dikkat edilmesi gereken bir nokta iç şapın dış şaptan daha yüksek atılması gerekliliğidir. Şekil 44'te bina dışına atılan şap gösterilmiştir.



Şekil 43. Membran uygulaması ve zemine şap atılması (Membrane application and floor screed) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)



Şekil 44. Bina dışına atılan şap uygulaması (Application of floor screed outside the building) (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

Tüm bu işlemlerin ardından binanın kapı ve pencere montajı yapılır daha sonra iç ve dış mekân boyanarak binaya son şekli verilir. Şekil 45'te tamamlanmış hafif çelik yapı gösterilmiştir.



Şekil 45. Tamamlanmış hafif çelik yapı (Karmod Prefabrik Yapı, 2021)

5. Tartışma ve Sonuç

Hafif çelik yapılar isminde anlaşıldığı gibi hafif oldukları için bir betonarme binaya nazaran daha az deprem yüküne maruz kalacaktır ve aynı zamanda ekonomik boyutu düşünüldüğünde de ciddi anlamda avantajlar sağlamaktadır.

En büyük avantajlarından bir diğeri 'de işçiliktir. Hafif çelik yapılar için işçilik/toplam gider maliyeti betonarme yapılara oranla daha azdır. İşçiliğin azalması sigorta giderlerinin azaltır. İnşaat işçilerinin barınma ihtiyaçlarının karşılanması, yemek ihtiyaçlarının karşılanması ve aynı zamanda iş takibi için kontrol teşkilatı oluşturulması giderleri arttırıcı yönde etki yaptığı için bu süreç ne kadar kısalsın daha ekonomik hale gelmektedir.

Yapı iskeletinin ortaya çıkması için gerekli süre, hafif çelik yapılar için ortalama 15-25 gün sürer bu da bize zamandan kazanç sağlar. Görüldüğü üzere bu yapıların ekonomik etkisi azımsanmayacak düzeydedir.

Bu yapıları genel olarak incelediğimizde ekonomik yönü, tercih edilme sebepleri arasında en başlarda geldiği görülmektedir. Şantiye iş programlarına uyulduğu takdirde, hafif çelik yapı sistemi, çok hızlı bir şekilde inşaat yapma olanağı sağlamaktadır. Çalışan işçi sayısı arttırılarak inşaat süreleri daha kısa süreye indirilebilir. Böylece hafif çelik olarak inşa edilen yapının erken tamamlanması daha kısa sürede nakit paraya çevrilebilme avantajı yaratır.

Hafif çelik ile inşa edilmesi planlanan bir binanın tasarımında hesaplanan maliyeti ile gerçekleşmiş maliyeti birbirine oldukça yakındır. Betonarme yapıda ise, şantiyeye getirilecek çimento torbalarından kuma kadar kullanılacak diğer çeşitli malzemelerin zayi olma olasılığı daha yüksektir.

Hafif çelik yapıların bir diğer avantajı da dış duvar kalınlıklarının betonarme bir yapıya göre daha ince olması nedeniyle, net kullanım alanının betonarme yapıların net kullanım alanından daha fazla olmasıdır.

Gelecekte ülkemiz konut inşaatı hedefi; az katlı, standart üretim imkânı sunan ve kolay denetimi yapılabilen, depreme dayanıklı, konforlu, gelişmiş teknoloji ürünü, uzun ömürlü ve ekonomik yapılar olması gerekir. Bu özellikleri barından hafif çelik yapılar diğer alternatif yapılara göre daha ekonomik inşa edilebildiği için performans/ maliyet oranıyla

diğer alternatif yapılara göre daha çok ön plana çıkmaktadır.

Hafif çelik yapıların üstünlüklerinden daha çok faydalanmak için literatürde kabul edilmiş olan kontrollerle daha etkin yapısal özelliklere sahip kesit tasarımları oluşturulup dayanımda artırım sağlanabilir.

Türkiye’de hafif çelik yapı sistemi tasarlanırken kullanılan yönetmelikler AISI, ASCE ve IBC’dir. Bu yönetmeliklerde yer alan bağıntılar kullanılmaktadır. Ülkemizde 1994’te ‘‘Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları’’ adı altında yayınlanmış bir yönetmelik bulunsa da günümüzde ortaya çıkan sorunlara yanıt verememektedir. Kapsamlı bir çalışma ile hafif çelik yapıların tasarımını barındıran bir yönetmelik hazırlanmalıdır.

6. Kaynaklar

Anonim., 2020. Çelik Yapılar. Türk Yapısal Çelik Derneği Yayını, 66, 34-42.

Anonim, 2016. Erişim tarihi: 15.05.2022.
<http://www.balprefab.com/wp-content/uploads/2016/05/prefabrik-tasima.jpg>

Anonim 2018. Prefabrik Yapı Elemanları Nelerdir? Erişim tarihi: 15.05.2022.
<https://villayapi.com/prefabrik-yapi-elemanlari-nelerdir/>

Büyükşişli, B., 2004. Soğukta Şekil Verilmiş İnce Cidarlı Çelik Elemanlardan Oluşan Çerçeve Duvarı İçin Deneysel ve Teorik Çalışma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s., İstanbul.

Fırat, S., 2019. Sera Tipi Hafif Çelik Konstrüksiyon Yapılarda Eleman ve Birleşimlerin Tasarımı. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 234s., Erzurum.

Karmod Prefabrik Yapı, 2021. Çelik Ev Yapımı ve Kurulum Montaj Aşamaları.
<https://youtu.be/hRAQ2c7Veus>

Korkmaz, O.A., 2020. Hafif Çelik Yapılar. İMO Eskişehir Sube, Mühendislik Haftası Etkinlikleri. <https://youtu.be/z75qzm2glaY>

Öztürk, F., 2014. Hafif Çelik Çerçeve Sistemlerin Tepe Birleşim Bölgesinin Sonlu Eleman Analizleri ile Optimizasyonu. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s., Trabzon.

Seçkin, H., 2022. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yapı Malzemeleri Kullanımı ile Pasif Çelik Ev Tasarımı. Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s., İstanbul.

Taşkıran, E., 2005. Çelik Taşıyıcılı Konut Yapım Teknikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 215s., İzmir.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Yazıcı, C. 2018. Hafif Çelik Yapılarda Vidalı Kiriş-Kolon Birleşim (Berkitmeli) Davranışının Deneysel Olarak Belirlenmesi. Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104s., Erzurum.