
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

PREFABRİK ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNİN YAPISAL VE TERMAL PERFORMANSININ MALİYET ETKİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali BARMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ali BARMAN
20/11/2024

PREFABRİK ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİNİN YAPISAL VE TERMAL PERFORMANSININ MALİYET ETKİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali BARMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2024

ÖZET

Dünyada teknolojinin gelişimi ve sanayileşme ile artan üretim hızı ile paralel orantıdaki tüketici beklentisi, bina yapım tekniklerinin yeniden gözden geçirilmesine, sorgulanmasına ve yapım hızının günden güne artmasına yol açmaktadır. Prefabrik yapım, geleneksel yöntemlere göre sağladığı avantajlar ile son yüzyılda daha fazla tercih edilmesi ile dikkat çekmektedir. Bu doğrultuda, tez çalışması kapsamında prefabrik yapılarda maliyet etkin çözümlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Prefabrik çelik yapılara odaklanılan alan çalışmasında, bir yatakhane binası üzerinden ağır çelik, hafif çelik ve modüler çelik uygulamaları ile örneklem oluşturulmuştur. İklimsel farklılıkların bağımsız değişken olduğu alan çalışmasında beş farklı bölgede, benzer depremsellik özelliği gösteren şehirler belirlenmiş, ilgili iklim şartları için gereksinim duyulan cephe ve çatı ısı geçirgenlik direncine göre yapı kabuğu değişiminin maliyet üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Bu değerlendirmeye uygulama aşamasındaki işçilik ve ulaşım maliyetlerinin de dahil edilmesi ile geniş perspektifte karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Türkiye şartları göz önüne alınarak yapılan analizler sonucunda taşıyıcı sistem seçiminin ve şehrin termal performans gereksinimi, farklı tip çelik taşıyıcılı prefabrik yapıların toplam yapım maliyetinde kayda değer farklılıklar ortaya çıkardığı, ağır çelik sistemli yapımın her şehirde maliyet etkin tasarım olacağı gözlemlenmiştir. Maliyet kıyaslamalarında tasarımcı, işveren ve kullanıcı ilişkisinde önceliklere göre en uygun çözüm bulunmuş ve yapı kabuğu ağırlığının toplam sistem maliyetine kayda değer etkisi ortaya konulmuştur. Bu kıyaslamalar ile çalışmanın nihai amacı olarak, prefabrik çelik yapılarda farklı tasarım kriterlerinin maliyet etkinliğine dair farklı mertebelerdeki değişimler ile paydaşlara ve tasarımcılara yol gösteren bir kaynak oluşturulmuştur.

Bilim Kodu : 80116

Anahtar Kelimeler : Prefabrik çelik yapılar, yapı kabuğu, maliyet

Sayfa Adedi : 110

Danışman : Doç. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

EFFECTIVE EVALUATION OF STRUCTURAL AND THERMAL PERFORMANCE OF PREFABRICATED STEEL CONSTRUCTION SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Ali BARMAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2024

ABSTRACT

Consumer expectations in parallel with the increasing production speed with the development of technology and industrialization in the world lead to the review and questioning of building construction techniques and the construction speed to increase day by day. Prefabricated construction is seen as more advantageous than traditional methods and has attracted attention with its increasing preference lately. In this direction, it is aimed to develop cost-effective solutions in prefabricated structures within the scope of the thesis study. The other purpose of the study is to guide stakeholders and designers and create a resource by investigating the effect of different design criteria on cost effectiveness in prefabricated buildings. In the field study of the thesis, a sample was created based on heavy steel, light steel and modular steel applications. In the field study, where climatic differences were the independent variable, cities with similar seismicity characteristics were identified in five different regions, and the effect of building envelope change on cost was examined according to the facade and roof heat permeability resistance required for the relevant climatic conditions. In this evaluation, a comparative analysis was made on a dormitory building by including the labor and transportation costs during the implementation phase. As a result of the analysis made considering the conditions in Turkey, it has been observed that the choice of carrier system and the thermal performance requirements of the city to be built create significant differences in the total construction cost of prefabricated structures with different types of steel carriers, and that construction with a heavy steel system will be the most cost-effective design in every city. In cost comparisons, the most appropriate solution was found according to the priorities of the designer, employer and user relationship, and the significant effect of the weight of the building envelope on the total system cost was revealed.

Science Code : 80116

Key Words : Prefabricated steel structures, building shell, cost

Page Number : 110

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamı hazırlamamda desteği olan başta tez danışmanım sayın Doç. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY'a, tez yazım aşamasında akademik vizyon katan değerli ablam Şule BARMAN KAKİL'e, desteğini esirgemeyen annem ve babama, tüm arkadaşlarıma, çalıştığım iş yerlerindeki iş arkadaşlarıma, bu tezi hali hazırda yazarken desteğini esirgemeyen müdürüm Erdem USLU'ya ve diğer varlıklarıyla psikolojik destek sağlayan sevdiğim herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR iv

1. GİRİŞ 1

2. PREFABRİK ÇELİK YAPILAR 9

2.1. Prefabrik Çelik Yapıların Tanımı ve Önemi 9

2.2. Türkiye'de Prefabrik Çelik Yapıların Kullanımı 10

2.3. Yapım Tekniklerine Göre Yapı Tasarımı 12

2.3.1. Hafif çelik sistemler 15

2.3.2. Ağır çelik sistemler 16

2.3.3. Modüler yapılar 18

2.4. Prefabrik Çelik Yapı Tasarımındaki Etkenler 19

2.4.1. Statik ve dinamik yükler 21

2.4.2. İklime bağlı değişkenler 22

2.4.3. Yangın 23

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ 27

3.1. Şehirlerin Belirlenmesi 28

3.2. Yapı kabuğu Hesabı 29

3.3. Yapısal Analiz Sınırlılıkları 30

Sayfa

3.4. Yapım Maliyeti Hesaplama Esasları 33

3.4.1. Taşıyıcı olmayan yapı bileşenleri maliyet hesabı..... 34

3.4.2. Taşıyıcı yapı bileşenleri maliyet hesabı 35

3.4.3. Lojistik ve işçilik maliyet hesabı..... 36

4. ALAN ÇALIŞMASI..... 37

4.1. Yapı Kabuğu Isıl Performans Sonuçları..... 45

4.2. Yapısal Analiz Sonuçları..... 48

4.3. Maliyet Hesabı Sonuçları 51

5. TARTIŞMA..... 59

5.1. Aynı İklim Bölgesi İçin En Optimum Maliyete Yönelik Değerlendirme 66

5.2. Aynı Yapım Yöntemi İçin İklim Bölgesi Değişimine Yönelik Değerlendirme 67

6. SONUÇLAR..... 71

KAYNAKLAR 73

EKLER..... 81

EK-1. Kars İçin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 82

EK-2. Kars İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 83

EK-3. Kars İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 84

EK-4. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 85

EK-5. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 86

EK-6. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 87

EK-7. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 88

EK-8. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 89

Sayfa

EK-9. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 90

EK-10. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 91

EK-11. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 92

EK-12. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 93

EK-13. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 94

EK-14. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 95

EK-15. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu 96

EK-16. Kars İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı 97

EK-17. Yozgat İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı 99

EK-18. Nevşehir İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı 101

EK-19. Tekirdağ İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı 103

EK-20. Antalya İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı 105

EK-21. Hafif Çelik Bina İçin İşçi/Saat Tablosu 107

EK-22. Ağır Çelik Bina İçin İşçi/Saat Tablosu 108

EK-23. Modüler Sistem Bina İçin İşçi/Saat Tablosu 109

ÖZGEÇMİŞ 110

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. AFAD verilerine göre şehirlerin en büyük yer ivme ve hız değerleri 29

Çizelge 3.2. Şehirler için yerel zemin etki katsayıları 32

Çizelge 3.3. Şehirler için spektral ivme katsayıları 33

Çizelge 4. 1. TSE 825'teki bölgelere göre U değeri tablosu 45

Çizelge 4.2. Yapı kabuğu kalınlıkları 46

Çizelge 4.3. Şehirlere göre taşıyıcı sistem tonaj tablosu 49

Çizelge 4.4. Şehirlere göre taşıyıcı olmayan malzemelerin maliyet tablosu 51

Çizelge 4.5. Şehirlere göre taşıyıcı sistemin maliyet tablosu 53

Çizelge 4.6. Şehirlere göre yapısal maliyet tablosu 54

Çizelge 4.7. Yapım tipine göre işçilik bedeli tablosu 55

Çizelge 4.8. Toplam yapım bedeli tablosu 56

Çizelge 5.1. Taşıyıcı olmayan toplam maliyet karşılaştırma tablosu 59

Çizelge 5.2. Taşıyıcı olan yapısal malzeme maliyeti karşılaştırma tablosu 61

Çizelge 5.3. Yapı elemanları toplam maliyet karşılaştırma tablosu 63

Çizelge 5.4. Tüm yapım bedeli ve kıyas tablosu 64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Tez akış şeması 7

Şekil 2.1. TPB üyeleri ve üye olmayan firmaların 2018 yılı sektör bazında üretim ve dağılımları 11

Şekil 2.2. Yıllara göre ürün tipleri ve prefabrike firma sayısı ilişkisi..... 11

Şekil 3.1. Alan çalışması aşamaları 27

Şekil 3.2. TSE 825'te Türkiye'nin bölgeleri..... 28

Şekil 3.3. Yapı kullanım amacına göre deprem yer hareketi düzeyi 30

Şekil 3.4. (a) Yerel zemin sınıfları tablosu, (b) kısa periyot yerel zemin etki katsayıları tablosu (FS), (c)1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları tablosu (F1)..... 31

Şekil 3.5. Şehirler için https://tdth.afad.gov.tr/'dan alınan statik tasarım için gerekli veriler 32

Şekil 4.1. Hafif çelik strüktürlü yatakhane; (a) tüm plan, (b)kısmi plan detayı 38

Şekil 4.2. Ön üretimli duvar panellerinin karkas sistemleri..... 38

Şekil 4.3. Ön üretimli duvar panellerinin çekirdeği..... 39

Şekil 4.4. Ön üretimli duvar panelleri katmanları..... 40

Şekil 4.5. Hafif çelik strüktürlü yatakhane binası modeli; (a) perspektif model, (b) sistem detayı 40

Şekil 4.6. Ağır çelik yatakhane; (a) tüm plan, (b) kısmi plan detayı 42

Şekil 4.7. Ağır çelik strüktürlü yatakhane planı; (a) karkas modeli, (b) bina kesiti 42

Şekil 4.8. Modüler çelik yatakhane; (a) plan, (b) kısmi plan detayı 43

Şekil 4.9. Modüler sistem yatakhane planı: (a) modüller, (b) birleşen modüller, (c) model 44

Şekil 4.10. Yapı kabuğu kalınlıkları grafiği..... 48

Şekil 4.11. Statik analizler: (a)Hafif çelik bina statik analizi, (b) Ağır çelik bina statik analizi modüler sistem bina statik analizi..... 49

Şekil 4.12. Şehirlere göre taşıyıcı sistem tonaj grafiği 50

Şekil 4.13. Şehirlere göre taşıyıcı olmayan yapısal malzemelerin grafiği..... 52

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.1. Şehirlere göre taşıyıcı sistem maliyeti grafiği 62

Şekil 5.2. Tüm yapım bedeli grafiği 66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Hafif çelik taşıyıcıyla yapılmış konut karkası 15

Resim 2.2. Ağır çelik taşıyıcıyla yapılmış konut karkası 17

Resim 2.3. Modüler sistemle yapılmış konut karkası 18

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
hz	Hertz
kg	Kilogram
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TPB	Türkiye Prefabrik Birliği
W/m^2	Isı Geçirgenlik Katsayısı
DDY	Deprem Düzeyi

1. GİRİŞ

İktisadi, sanayi ve teknik alanlarındaki gelişmeler, bir ülkenin ekonomik alandaki büyümesini etkileme gücüne sahiptir. Hangi sektörde gelişme meydana gelirse endüstrileşme de bu alanda kaçınılmaz bir hal almaktadır. II. Dünya Savaşı'nın ardından Avrupa'da yaşanılan yıkım sonrası, yeniden ayağa kalkmak için hızlı ve ekonomik olarak konut yapım gereksinimi, endüstrileşmiş yapım sistemlerinin ortaya çıkmasına ve farklı teknolojilerin uygulanmasına yol açmıştır (Çelik ve Özdemir, 2021). Dolayısıyla bu süreçte sahada iş gücüne bağlılığı azaltmak, ölçü birliği sağlanarak standardize edilmiş yapı elemanları oluşturmak gibi bir öngörü ile endüstrinin temelini oluşturan prefabrikasyon yaklaşımının geliştirildiği bilinmektedir.

Endüstriyel gelişimin hızlanması ve farklı yapı üretim taleplerinin artışında geçmişte savaşlar, yangın, sel, deprem gibi doğal afetler, bugün ise hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle bilhassa inşaat sektöründeki ilerlemeler etkili olmuştur. Buna bağlı olarak özellikle gelişmiş ülkelerde, bir binanın strüktürünü meydana getiren kiriş, döşeme ve kolon gibi yapı elemanlarının şantiyeye gelmeden spesifik bir şekilde tasarlı endüstriyel ortam bünyesinde üretilmeye başlanmasıyla birlikte, prefabrikasyonun da temel atımı yapılmıştır. Daha da güncel değişimlere örnek vermek gerekirse de özellikle ülkemizdeki yansımaları bakımından doğal felaketler sonrasında var olan yapılı çevrenin gereksinimlere cevap vermemesi, acil ve/veya geçici durumlar için hızlı yapı üretimine ihtiyaç duyulması gibi sebeplerden dolayı prefabrikasyon yapım tekniği önem kazanmıştır.

İnşaat tekniği olarak prefabrikasyon, herhangi bir malzemeden oluşan yapı elemanlarını, fabrikada seri olarak üretmek ve daha sonra üretilmiş bu elemanların fabrikadan şantiyeye taşınması ve elemanların montajı ile tamamlanan süreç olarak ifade edilmektedir. Prefabrikasyonda temel hedef, inşa etmeden önceki süreçte çalışma süresini kısaltarak şantiye alanında süreyi avantajlı kullanmaktır. Prefabrikasyon üretiminde daha önce hazırlanan prefabrik elemanlarla ivedi bir biçimde kurulum sağlanarak inşaat sahasındaki çalışma kolaylaştırmakta, zamandan kar edilmekte, konforla birlikte iktisadi kazanç sağlanmaktadır (Aydemir, 2005). Buna göre şantiyeye en az iş bırakılacak biçimde fabrikada işçilik niteliği ve kapasitesi denetlenerek, çalışma koşullarında, birtakım kalite düzeyini artırmaya ve standart hale getirmeye yönelik çalışma sağlamak prefabrikasyonun temel

amaçları arasındadır. Tapan (1973) tarafından prefabrikasyona yönelik kapsamlı olarak ifade edilen ilkeler ise şu şekilde sıralayabilir:

- Otomatik ve ardışık üretim zincirinin oluşturulması,
- Yapım ve tasarım çalışmalarının uygulamadan önce gerçekleştirilmesi,
- Yapılan ürünlerde standartlaşmanın yakalanması,
- Yapımında genellikle ön üretiminde yapılan elemanların kullanılması

Prefabrike yapılar; dizayn, üretim ve yapım süreçlerinde; prefabrike elemanların üretimi, istiflenmesi, nakliye edilmesi ve montaj aşamaları gibi süreçlerden meydana gelmektedir.

Özellikle maruz kalınan yükler açısından yeterli dayanım göstermesi beklenen bu yapım tekniğinde hem taşıyıcı niteliği olan hem de bölme elemanı olarak kullanılabilen düzlemlerin elde edilmesi önemlidir. Düzlemler arasındaki bağlantıların hızlı yapılabilmesi ve bitmiş ürünün elde edilebilme kolaylığını sağlaması beklenen prefabrikasyonda malzeme de önemli bir etkendir. Uygulanacak ülkenin karşılayabileceği kaynaklarla gelişim gösteren sistemlerde malzeme olarak beton, çelik, ahşap ve plastik kullanımı yaygındır. Tüm bu malzemeler ham madde ihtiyaçları doğrultusunda birbirlerine göre farklılıklar bulundurur. *Beton* için kum, agrega, su temel ham madde kaynaklarının yanı sıra karışım için çeşitli işlemlerden geçirilmiş kimyasallara ihtiyaç duyulmaktadır. *Ahşap* için orman ve ağaç yeterli ham madde kaynağı olmakta iken, *çelik* için demir cevheri ve kömürden elde edilen karbon kullanımı temel ham madde kaynaklarını oluşturur. *Plastik* ise petrokimya ürünlerinden elde edilirken daha kısıtlı bir uygulama alanına hitap etmektedir.

Ülkemiz bir deprem ülkesi olup deprem sonrası oluşan barınma veya sosyal tesis ihtiyacı prefabrike yöntemlerle yapılmış binalar ya da konteynır gibi basit modüler yapılarla giderilmektedir. Depremler bu ihtiyaçtan ötürü sektörün önemine ışık tutmakta ve büyüyen sektörün ivmesini arttırmaktadır.

Bu noktada prefabrik yapı üretimin yönelik bir değerlendirme yapıldığında çelik ön plana çıkmaktadır (Yılmaz, 2021; Demir ve Ersoy, 2019). İlk kullanılmaya başlandığı yıllar sadece şantiye binalarında kullanılan bu yapılar, artık günümüzde konut ve diğer sosyal amaçlı yapılarda da aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır (İrban ve Fenkli, 2022).

Problem durumu

Çelik prefabrik yapıların tasarımında elemanların üretimi ve bu elemanların tasarımlarına uygun olarak yapım süreçlerinde, farklı uygulama tekniklerine örnekler verilebilir. Kullanılan çelik profillerin ağırlığı ve konstrüksiyon türlerine göre ağır çelik, hafif çelik ve modüler çelik prefabrikasyon tekniklerinden bahsedilebilir. Ağır sanayide yüksek sıcaklıklarda kalıba dökülüp haddeleme işlemine tabi tutularak elde edilen profillerin kaynaklı ve veya bulonlu bağlantılarla oluşturulan taşıyıcı strüktürle bina yapımı ağır çelik sistem tekniğidir. Diğer sistemlere göre daha fazla yük taşıma ve açıklık geçme kapasitesine sahiptir. Hafif çelik sistem, taşıyıcı sistem için rulo formdaki çelik malzemenin fabrika ortamında soğuk olarak haddelenerek (bükülerek) profil kesitlerin elde edildiği bir tekniktir. Modüler sistem ise strüktürün hazır modüllere ayrılarak sahada birleştirilmek üzere kullanılan çelik prefabrik yapım tekniğidir. Bu teknikler ile yapılmış çelik prefabrik yapılar taşıyıcı sistem niteliklerine göre farklılaşsa da yapı kabuğu detaylarında benzer iç ve dış kaplama malzemeleriyle uygulanmaktadır.

Avrupa ve Asya'da çelik prefabrik alanında yapı sistemleri uzun zamandır yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de ise söz konusu yapı sistemlerinin kullanımı henüz çok yaygın olmamakla birlikte günden güne artmaktadır. Türkiye'de, önceki yıllardaki yapı stoğuna bakıldığında endüstrileşmiş yapı üretimi genellikle tek katlı olan endüstriyel yapılarda uygulanmıştır. Ancak ülkenin inşaat sektöründe önemli bir etkisi olan afetler sonrasında oluşan barınma veya sosyal tesis ihtiyacı prefabrike yöntemlerle yapılmış binalar ya da konteynır gibi basit modüler yapılara olan ihtiyacı arttırmaktadır. Özellikle yaşanan depremler bu ihtiyacın acil giderilmesini, dolayısıyla da prefabrik bina üretiminin önemine ışık tutmaktadır.

Araştırmanın amacı

Çelik prefabrik yapılar, hızlı üretim, kolay taşınabilirlik ve yeniden kullanılabilirlik gibi özellikleriyle geçici barınma çözümleri açısından öne çıkmaktadır. Prefabrikasyon, modüler sistemler, ağır çelik ve hafif çelik gibi farklı uygulama tekniklerine sahiptir ve her biri yapısal tasarım açısından farklılık göstermektedir. Türkiye'de çelik prefabrik yapı projelerini tasarlayıp, ürettiği yapı elemanlarını uluslararası pazarlara gönderen ve bu projeleri sahada monte eden firmalar mevcuttur. Bu sektördeki firmalar, küresel marka değerlerini artırmayı ve büyümeyi hedeflemektedirler. Ancak bu hedeflere ulaşabilmek için doğru tasarım yapılması ve optimum maliyetlerin hedeflenmesi gerekmektedir. Özellikle Türkiye'nin bir deprem ülkesi olması, afet

sonrası ortaya çıkabilecek barınma ihtiyaçlarına yönelik olarak prefabrik çelik yapıların önemini daha da belirgin hale getirmektedir. Doğru tasarım kriterlerinin belirlenmesi ile hem maliyet hem de güvenlik açısından çıktılar sağlanacaktır.

Tez çalışmasının amacı, Türkiye'nin güncel koşulları altında farklı çelik prefabrik yapım tekniklerinin maliyet etkinliğini inceleyerek özellikle değişen iklim bölgelerinde uygulanabilirliğini değerlendirmek ve bu yapı sistemlerinin sunduğu avantajları ortaya koymaktır. Gerçekçi uygulama aşamaları ile sınırlandırılan alan çalışması ile karşılaştırılabilir bir ölçekte ele alınan çelik prefabrik yapılarda doğru kararları için sektördeki müşteriler ve tasarımcılar için önemli bir kaynak oluşturmayı amaçlamaktadır.

Araştırmanın önemi

Farklı nitelikteki prefabrik çelik sistem tercihlerinde uygulayıcılar önemli roller üstlenmektedir. Örneğin mimarlar, üreticiler ve yükleniciler aktif etkin bir şekilde görev alan kişiler arasında sayılabilir. Bu bağlamda, prefabrik yapılar; üretim, tasarım ve yapım aşamalarında farklı unsurlardan etkilenmekte ve bu unsurlardan etkilenmesine yol açan mimarlar, ön tasarım aşamasında mekânsal gereklilikleri belirlemekte olup uygulayıcıları yönlendirmektedir. Tasarlanan yapıların kullanım amacı, mimari niteliği, bölgesel özellikleri ve iklimsel koşulları doğru uygulama tercihindeki en temel etkenler olmaktadır.

Öncelikle proje ihtiyaçları doğrultusunda tasarım ve planlama aşamasında alınacak kararların hem konfor koşullarını hem de maliyeti etkileme ihtimali yüksektir. Özellikle uygulanacağı bölge için iklimsel ve coğrafi zorluk kısıtlamaları göz önüne alındığında tercihi zaruri olan durumlar bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse Türkiye'de 2023 depreminden sonra deprem bölgelerinde 100 bin köy evinin ivedilikle üretilmesi hedeflenmiş; bu süreçte prefabrik olarak inşa etme kararı vermiş ve ilgili bölgelerdeki halkın istihdamını devam ettirmek için hafif çelik yapım teknolojisi ile uygulamaya geçilmiştir. Bu kararlar sırasında ise maliyet etkinlik kıstası altında uygun çelik yapım yönteminin ve optimize yapı kabuğu elemanlarının seçiminin göz önünde tutulup tutulmadığı önemli bir tartışma konusudur. Bu yapıların tip proje olarak uygulanmasından öte farklı tasarım tercihlerine uyacak şekilde özelleştirilecek çelik prefabrikasyonda özellikle maliyet etkin kararların doğru belirlenmesi gereksinimi doğmaktadır.

Prefabrik çelik yapılar, öne çıkan hızlı montaj ve genellikle kullanılan kaplama malzeme tiplerine göre ısıl performans avantajları yaratılar. Ancak farklı olarak uygulanan yapım tekniklerinde kullanılan çatı ve cephe malzemelerinde belirgin farklılıklar bulunmamaktadır. Tasarım ve uygulama süreçlerinde karşılaşılan sınırlılıklar ve yapısal tercihler, değişen çelik yapım türünün özellikleri ve kullanım alanları dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Her yapım türü, özellikle yangın dayanımı, maliyet etkinliği ve montaj hızı gibi alanlarda farklı avantajlar ve sınırlılıklar sunmaktadır.

Örneğin *hafif çelik yapılar* genellikle ön üretimli ısı yalıtımlı duvar panelleriyle donatılmaktadır. Bunun en önemli sebebi yapı rüzgâr direncine karşı taşıyıcı dikmeler arasında planlanması gerekecek cephe çapraz elemanları, diğer yapım tiplerinde sıklıkla tercih edilen sandwich panellerin önü veya arkasında açık bir şekilde her türlü etkiye maruz bırakılacağıdır. *Ağır çelik yapılar* ise genellikle sandwich paneller kullanılarak cephe ve çatıları kaplanır. Ancak, ağır çelik yapıların montaj süreçleri bir hafif çelik prefabrike yapıya göre daha uzun olabilir ve bu yapılar için gerekli olan daha fazla çelik miktarı maliyetleri artırabilir. *Modüler olarak uygulanan çelik prefabrik yapılar* ise hızlı montaj avantajı sunarken, mimari ile uyum sağlaması yönünden kısıtlayıcı olabilmektedir. Uygulama aşamasında ise hem lojistik zorluklar hem de çelik malzeme kullanımı noktasında maliyetleri yükseltebilir.

Prefabrik çelik yapılar, yüksek mukavemet, esneklik ve hız gibi özellikleriyle öne çıksa da, yapısal performanslarını tam anlamıyla sağlayabilmeleri için çevresel koşullara uygun olarak tasarlanmaları kritik önem taşır. Yapıların inşa edileceği bölgenin iklimsel özellikleri, özellikle sıcaklık dalgalanmaları, rüzgâr yükleri, yağış miktarı ve kar yükü gibi faktörler, çelik yapıların dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması açısından belirleyicidir. Bu nedenle, prefabrik çelik yapıların tasarım sürecinde iklim verileri dikkatlice analiz edilmeli ve gerekli yalıtım çözümleri, cephe kalınlıkları gibi unsurlar bölgenin iklimine uygun olarak seçilmelidir. Özellikle yüksek sıcaklık farklılıkları gösteren ya da yoğun kar yağışının olduğu bölgelerde, yapının ısı transfer katsayısı ve taşıma kapasitesi gibi değerler de yapının performansını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, çelik yapıların dayanıklılığını artırmak ve enerji verimliliğini sağlamak için bölgesel iklim şartlarına göre özel tasarım çözümleri geliştirilmesi gereklidir. Böylece, prefabrik çelik yapılar hem konfor koşullarını sağlarken hem de uzun ömürlü, maliyet etkin ve çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda, tez çalışmasında bölgeler için önemli olan iklim koşulları esas alınarak farklı çelik prefabrik yapım sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada işçilik ve ulaşım bileşenleri de ele alınarak maliyet etkinliğin günümüz koşullarında Türkiye ölçeğinde nasıl bir değişiklik gösterdiği elde edilmiştir. Ülkemizin beş farklı iklimsel özellik gösteren şehrinde yapılan prefabrik çelik yapıların maliyet analizini ortaya koyan bu çalışma paydaşlara ve uygulayıcılara tasarım öncesi karar verme noktasında ışık tutacaktır.

Mevcutlardan Farklılığı

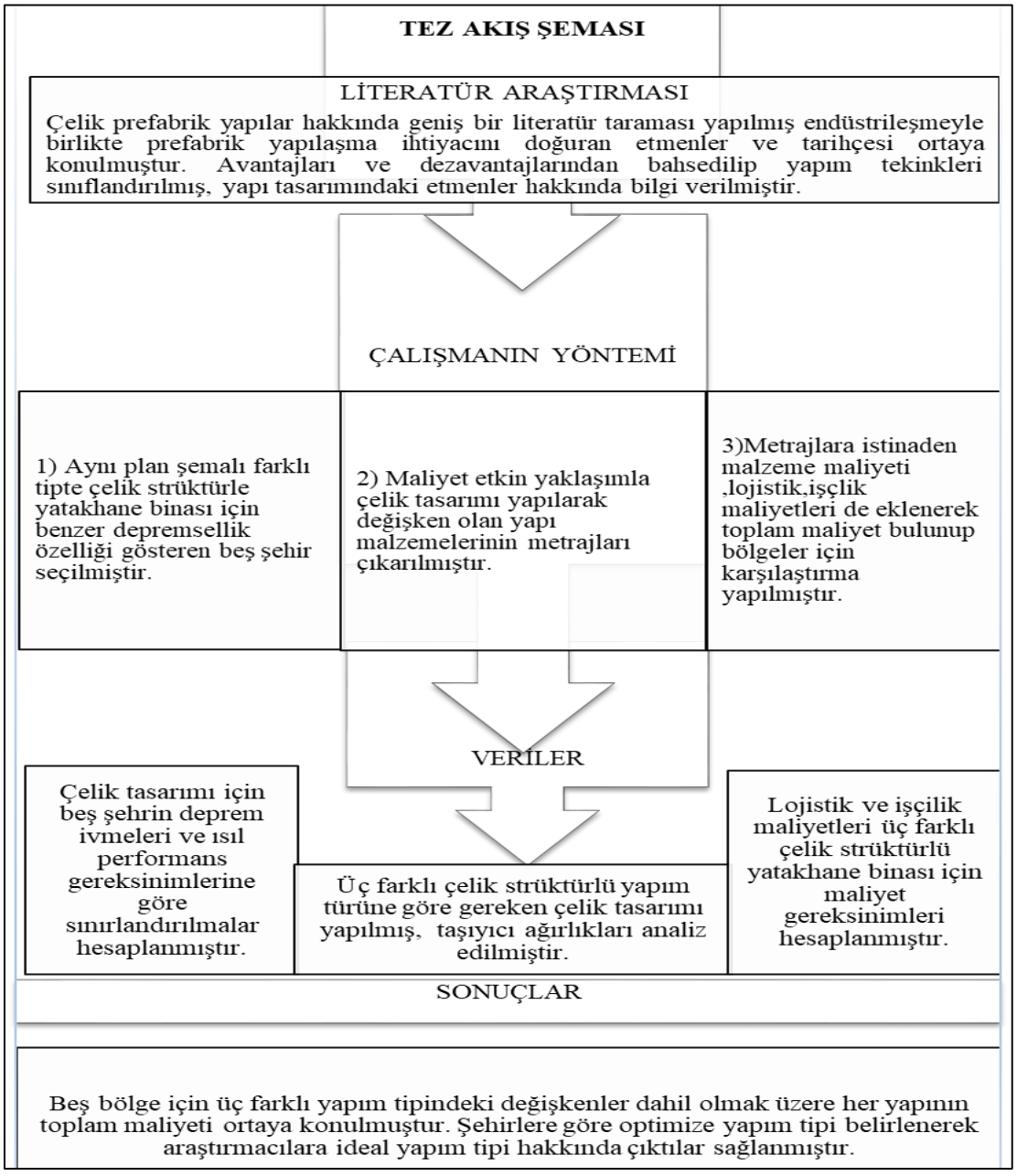
Bu çalışma gerçek bir uygulama projesi üzerinden, iklimsel farklıları odak noktasına alarak maliyet etkin tasarıma yönelmiş; bu süreçte farklı yapım tekniği ile uygulanan çelik prefabrikasyonda işçilik ve ulaşımı da ekleyerek çok parametreli bir karşılaştırma yapmaktadır. İlgili literatür taramasında bu parametreleri ortak paydada değerlendiren çalışmalara ulaşılamadığı için mevcutlardan farklıdır. Örneğin, Öztürk (2010) çelik prefabrik yapılarda maliyet araştırması yapmıştır ancak alan çalışmasına yapının yapılacağı yer göz ardı edilmiştir. Başka bir çalışmada Of (2021) deprem sonra çelik prefabrik malzeme gerekliliğini araştırmış ancak maliyet etkinlik hususunda bir sonuç ortaya koymamıştır. Bu tez çalışmasında da coğrafi duruma bağlı iklimsel verilere ve maliyet etkinlik konusuna vurgu yapılmış ve literatürdeki bu araştırma boşluğu doldurulmuştur.

Tezin yöntemi

İlk aşamada mevcutlardan farklılığını ortaya koymak ve güncel uygulamalarda prefabrike çelik yapım tekniğinin değerlendirmesini yapmak amacıyla literatür ve sektör araştırması yapılmıştır. Bu noktada çelik prefabrik yapılar hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında yapım yöntemi olarak tespit edilen temel üç farklı uygulama tekniği olarak ağır çelik taşıyıcılı, hafif çelik taşıyıcılı ve modüler sistem olarak sınırlandırılan bir bina üzerinden alan çalışmasına geçilmiştir. Aynı mimari plan şeması aracılığı ile uygulama projesi niteliğinde yapısal olarak uygulanabilir bir süreç izlenmiştir. İlk etapta bu yapıların TS 825'e göre belirlenmiş beş farklı (çok sıcak, sıcak, ılıman, soğuk, çok soğuk) u değeri gereksinimi olan iklimsel özellik gösteren bölge seçilmiş ve bölgelere göre yapı kabuğu hesapları yapılmıştır. Tamamlanan uygulama kararları sonrasında aynı depremsellikte olan yerlerde yapıldığı sınırlandırılmış ve matematiksel modellemeler ile yapısal analizler yapılmıştır. Belirlenen üç farklı yapım tekniği beş farklı bölgede uygulanarak

on beş model ile alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise değerlendirme parametreleri olarak sistem maliyeti, kaplama maliyeti, işçilik maliyeti ve lojistik giderleri ele alınmıştır.

Maliyet hesaplamaları için malzeme tedarikçilerinin verdiği fiyat bilgisine göre farklı durum ortaya konulmuş; işçilik maliyeti ve bölgelere göre taşıma maliyeti hesaplanmıştır. Her bölge kendi içerisinde değerlendirildikten sonra tüm veriler ortak paydada karşılaştırılmalı olarak analiz edilerek tasarımcı ve uygulamacılar için karar verme sürecine katkı sağlanacak çıkarımlar yapılmıştır.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. PREFABRİK ÇELİK YAPILAR

Taşıyıcı strüktür malzemesine göre yaygın olarak yapılan betonarme ve çelik taşıyıcılı prefabrik yapıların iskeletleri günümüzde ahşap, alüminyum gibi malzemelerden de planlanmaktadır. Bu bölümde prefabrik yapılar hakkında genel olarak bahsedilmiş ve prefabrik çelik yapıların önemine değinilmiştir.

2.1. Prefabrik Çelik Yapıların Tanımı ve Önemi

Prefabrik çelik yapılar, önceden fabrikada üretilen çelik elemanların, inşaat sahasında montajı gerçekleştirilen yapılar olarak tanımlanabilir. Bu yapıların en belirgin özelliği, bileşenlerinin seri üretim teknikleriyle hazırlanarak, daha sonra şantiyede hızlı bir şekilde birleştirilmesidir. Prefabrikasyon, inşaat sektöründe maliyetlerin düşürülmesi, inşaat süresinin kısaltılması ve kalite kontrolünün iyileştirilmesi gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Özellikle çelik malzeme kullanımı, yapının dayanıklılığını artırırken, taşıma ve montaj kolaylığı da sunmaktadır (Ayhan ve Yılmaz, 2018:126; Singh, Sharma ve Rathi, 2021:186).

Çelik malzemenin tercih edilmesinin ardında hem yapısal hem de termal performans açısından üstün özellikler bulunmaktadır. Çelik, yüksek mukavemeti ve esnekliği ile bilinen bir malzeme olup, prefabrik çelik yapılar, özellikle de büyük açıklıkların ihtiyaç duyulduğu endüstriyel yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Aksu ve Güven, 2020). Ayrıca, çelik yapılar, kendilerine has uygulamalarla birlikte çevresel faktörlere karşı dirençli olmalarıyla bilinir ve bu nedenle uzun ömürlüdür. Termal verimlilik açısından da çelik, izolasyon malzemeleriyle birlikte kullanıldığında enerji verimliliği sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Bu durum, binaların daha az enerji tüketmesini ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılmasını mümkün kılmaktadır (López ve Fernández, 2019:89; Kelleher, 2020).

Prefabrik çelik yapılar, sürdürülebilir inşaat uygulamaları çerçevesinde de önemli bir yer tutmaktadır. Çelik, geri dönüştürülebilir bir malzeme olup, çevre dostu bir yapı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Bu, inşaat sektörü açısından çevresel sorumluluğun artmasıyla birlikte daha da önemli hale gelmektedir (Gök ve Öztürk, 2019; Williams, Thompson ve Clarke, 2020:128). Bu tür yapıların yaygınlaşması, inşaat sürecinin hızlanmasını sağlarken, inşaat maliyetlerini de önemli ölçüde düşürmektedir. Ayrıca, prefabrik çelik yapıların

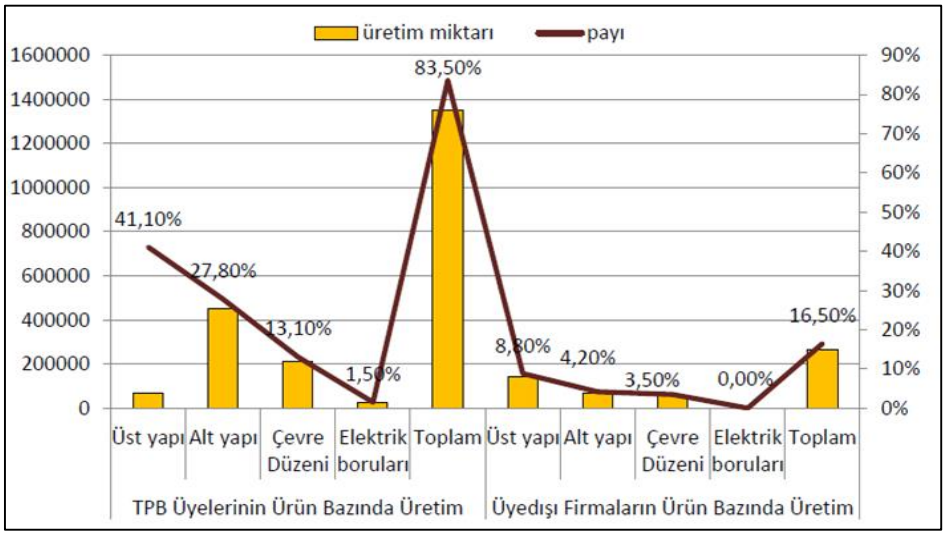
montajında kullanılan teknolojiler, işçilik maliyetlerini azaltan bir etkiye sahiptir. Bu özellikler, prefabrik çelik yapıların daha geniş bir alanda tercih edilmesini sağlamaktadır.

2.2. Türkiye'de Prefabrik Çelik Yapıların Kullanımı

Türkiye'de prefabrik çelik yapıların kullanımı, inşaat sektöründe hızla gelişen bir trend olarak dikkat çekmektedir. Bu yapı türü, özellikle hızlı kentleşme, artan nüfus ve konut ihtiyacı doğrultusunda pratik ve ekonomik çözümler sunması nedeniyle tercih edilmektedir. Prefabrik çelik yapılar, inşaat süresinin kısalmasını sağladığı gibi, maliyet etkinliği açısından da büyük avantaj sağlamaktadır. Türkiye'de hem konut hem de endüstriyel yapılar için sıklıkla kullanılan bu sistem, aynı zamanda afet risklerinin yüksek olduğu bölgelerde dayanıklılık ve güvenlik sağlama amacıyla da önem kazanmaktadır (Kaya ve Demir, 2018; Şahin ve Arslan, 2021). Türkiye'de prefabrik çelik yapıların en yaygın kullanım alanları arasında deprem bölgeleri yer almaktadır. Ülkenin deprem kuşağında yer alması, dayanıklı yapı sistemlerine olan talebi artırmıştır. Prefabrik çelik yapılar, hafif ve esnek yapıları sayesinde sismik yüklere karşı direnç göstermekte, bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından önemli bir alternatif sunmaktadır. Özellikle 1999 Marmara Depremi sonrası Türkiye'de çelik yapı sistemlerine ilgi artmış, afet sonrası yapıların hızlı inşası için prefabrik sistemlerin kullanımı teşvik edilmiştir (Gültekin, 2019; Steel Construction Institute, 2020:45-60).

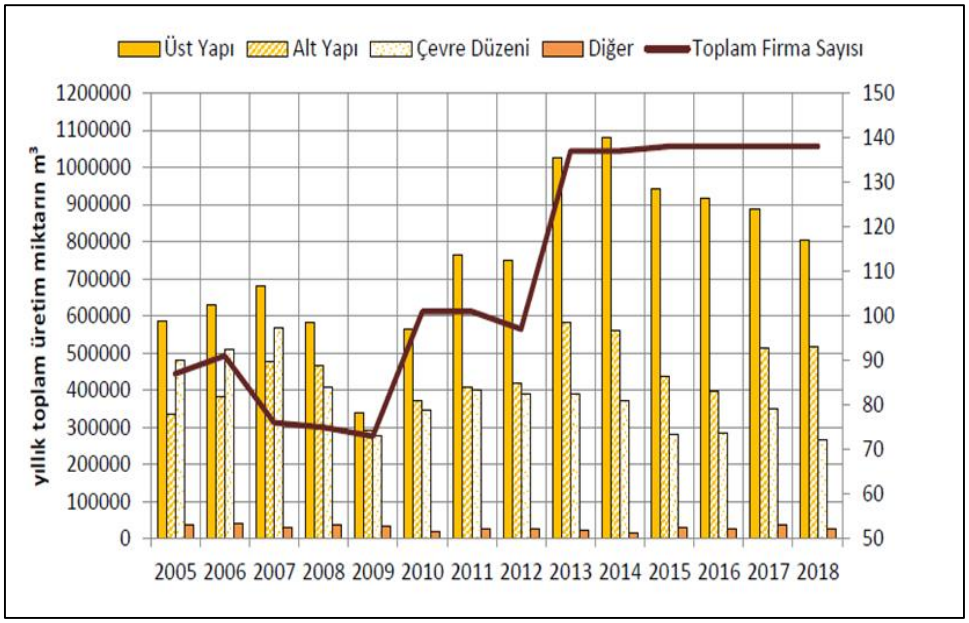
Endüstriyel tesisler, spor salonları, alışveriş merkezleri ve lojistik merkezleri gibi geniş açıklık gerektiren yapılar için de prefabrik çelik sistemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür yapılar, montaj kolaylığı ve kısa sürede tamamlanabilme özellikleri nedeniyle sanayi alanında tercih edilmektedir. Prefabrik çelik yapılar, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kriterleri göz önüne alınarak tasarlandığında, çevresel etkilerinin minimize edilmesi sağlanmakta ve bu durum, Türkiye'de giderek artan çevre bilinci ile uyumlu bir yapılaşma sürecini desteklemektedir (Yıldız ve Çevik, 2020; Smith, 2021). Ayrıca, Türkiye'de prefabrik çelik yapıların yaygınlaşması, maliyet avantajları ve hız gereksinimlerinin yanı sıra, iş gücü verimliliğini artırma ve iş kazalarını azaltma gibi konular açısından da olumlu etkiler yaratmaktadır. Fabrika ortamında yapılan prefabrikasyon süreci, sahada daha az işçilik gerektirmekte, bu durum da hem maliyetleri düşürmekte hem de sahada güvenlik risklerini minimize etmektedir. Prefabrik çelik yapıların sürdürülebilir yapım teknikleri

çerçevesinde Türkiye'de daha fazla tercih edilmesi, yapı sektörünün dönüşümüne katkı sağlamaktadır (Demirtaş ve Şen, 2019; Jones ve Thompson, 2020:78-89).



Şekil 2.1. TPB üyeleri ve üye olmayan firmaların 2018 yılı sektör bazında üretim ve dağılımları

Sektör raporundan elde edilen verilere göre, üretilen ürün çeşitleri ile miktarı arasında firma sayısındaki artış ve azalmaya bağlı, doğrusal bir ilişki bulunduğu görülmektedir.



Şekil 2.2. Yıllara göre ürün tipleri ve prefabrike firma sayısı ilişkisi

2.3. Yapım Tekniklerine Göre Yapı Tasarımı

Yapı tasarımı, inşaat sürecinin başlangıcından itibaren çeşitli teknik yaklaşımların ve malzeme seçimlerinin etkisi altında şekillenmektedir. Her yapım tekniği, kendine özgü avantajlar ve sınırlamalarla birlikte, projenin maliyet, zaman ve kalite hedeflerine göre optimize edilir. Geleneksel yapı yöntemlerinden farklı olarak, modern yapım teknikleri daha hızlı, daha verimli ve genellikle daha ekonomik çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda, prefabrikasyon, modüler inşaat ve çelik yapı sistemleri gibi yenilikçi yapım teknikleri, hem estetik hem de işlevsel olarak üstün tasarımlar sunma kapasitesine sahiptir (Çolak ve Güner, 2019; Bazeos ve Beskos, 2021:186).

Bir yapının tasarımı, kullanılan malzemeler ve yapı elemanlarının yerleşimi ile doğrudan ilişkilidir. Çelik yapı sistemleri, özellikle yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı sayesinde daha geniş açıklıklar ve daha az taşıyıcı eleman gereksinimi ile dikkat çekmektedir. Çelik yapıların avantajları arasında hızla monte edilebilmesi, dayanıklılığı ve maliyet etkinliği yer almaktadır. Ayrıca, prefabrik sistemlerde, yapısal bileşenlerin fabrikada üretimi ve sahada montajı süreci, inşaat süresini ciddi oranda kısaltabilmektedir. Bu da projelerin daha hızlı tamamlanmasını sağlar (Öztürk ve Aydın, 2020; Thomas, Davies ve Hines, 2018:256).

Modüler inşaat teknikleri, yapı elemanlarının önceden belirli modüller halinde üretildiği ve daha sonra inşaat sahasında birleştirildiği bir yaklaşımdır. Bu yöntem, geleneksel inşaat süreçlerine göre daha hızlı ve daha az hata ile sonuçlanmaktadır. Modüler tasarımın sağladığı esneklik, farklı işlevlere sahip binaların kolayca adapte olabilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, modüler yapılar çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemlidir, çünkü malzeme israfı daha düşük ve geri dönüşüm oranı daha yüksektir (Cheng ve Wang, 2020; Dehghan, Ghahremani ve Sarvestani, 2021:201).

Yapı tasarımında, kullanılan yapım tekniklerinin belirlenmesi, projenin işlevselliği ve uzun ömürlülüğü açısından kritik bir rol oynamaktadır. Çelik ve prefabrik sistemlerin maliyet etkinliğini artırırken, çevresel etkilerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çevre dostu malzemelerin ve enerji verimliliği sağlayan sistemlerin entegrasyonu, modern yapı tasarımında giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Yılmaz ve Çelik, 2019:89; Jones ve Williams, 2020:89). Bu bağlamda, yapı tasarımına ilişkin kararlar, estetik ve fonksiyonellik

gibi geleneksel kriterlerin yanı sıra, sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerle ilgili daha geniş bir çerçevede de ele alınmalıdır.

Dünyadan örneklerin incelendiği araştırmada, Avusturalya'da prefabrike konut ve konut inşaatı endüstrisinin payı az iken özel konut, hastane, ofis gibi konut harici yapılarda büyük paya sahiptir. Japonya için prefabrikasyon ve çok katlı konut sektörünün neredeyse eşit paya sahip olduğu belirtilmektedir (Steinhardt ve Manley, 2016). 2016'den beri Avustralya'da çok katlı konutlar için betonarme prefabrikasyonun kullanımı yaygınlaşmıştır (Blismas ve Wakefield, 2009; Boyd, Khalfan ve Maqsood, 2012).

Almanya'da yeni konut inşaat izinlerinin %9'u prefabrike binalara yönelik olup bunların "%17'si tek yaşam alanlı", " %12'si 2 yaşam alanlı" "%2'si ve üzeri yaşam alanına" sahip bulunmaktadır. İsveç'te yapılan çalışmalar prefabrike konut yapım oranının uzun zamandır sabit olduğunu göstermektedir (Jonsson, 2009:255; Knaack, Chung-Klatte ve Hasselbach, 2012:146). Hollanda'da ise prefabrikasyon kullanımının %20'lik payı ahşap ve betonarme sistemlere dayanmaktadır (Eriksson, 2003:146; Steinhardt ve Manley, 2016; Farnsworth, Warr, Weidman ve Mark Hutchings, 2015). ABD genelinde konutların tümü içinde %7'sini mobil konutlar meydana getirmektedir (Gold, 2012). Birleşik Krallık için bütün inşaat sektörü (konut, konut dışı ve sivil) içinde genel kullanım 2007'de %2'den 2010'da %7'ye yükselmiştir (Goodier ve Gibb, 2007; Laing, 2015; Taylor, 2010). Öte yandan prefabrike konut endüstrisinde prefabrike panel sistemlerinin tersine yaygın olarak modüler ya da "tamamlanmamış taşınabilir" konutlar tercih edilmektedir (Steinhardt, Manley ve Miller, 2013; Kelly, 2014:48).

Türkiye, ekonomik büyüme ve inşaat sektörü arasındaki ilişkinin seyri bakımından dünyaya benzer bir seyir izlemekte, inşaat sektörünün dünya genelinde gelişme göstermesi, ilerlemesinde etkili olan faktörler benzer şekilde Türk inşaat sektörü için de geçerlidir. İnşaat alanında büyüme talep ve beklentileri ile birlikte 2009 yılında yaşanan global kriz dolayısı ile prefabrike sektöründe ciddi bir üretim kaybı ortaya çıkmış devam eden süreçte toparlanma aşamasına geçilmiştir. Öte taraftan konut talebi, yabancı yatırımların doğrudan olmasına yönelik beklentiler, günden güne artan kentsel dönüşüm projeleri, yenilenebilir enerjiye yönelik yapılan altyapı yatırımları ile önemli enerji nakil projelerinin Türkiye'den geçiyor olması, Türkiye için öncelikle konut inşaatları, konut dışı alanlar ve altyapı inşaatlarındaki büyümeyi desteklemiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2020).

Öte yandan Türkiye için endüstri alanındaki prefabrikasyon ile konut alanındaki prefabrikasyonun aynı şekilde ilerleme kaydetmediği, konut alanındaki prefabrikasyonun daha yavaş geliştiğini belirtmek mümkündür. Bu bağlamda endüstrileşme ile beraber mega şehirlerde zaman içinde konut açığı artmış, fakat yasal olmayan yollarla bu açık giderilmeye çalışılmış ve böylelikle prefabrik yapı uygulamaları sekteye uğrayarak azalış göstermiştir (Bekiroğlu, 2006). Aynı zamanda Çetinkaya (2007) tarafından belirtildiği gibi deprem zamanlarında prefabrik endüstrisi gerekli performansı gösteremediğinden dolayı prefabrik uygulamalar yeterli düzeye ulaşamamıştır.

Aynı zamanda taşıyıcı sistemlerle birlikte eleman ve bilişim düzeyinde uygulanan çözümler, ortaya çıkan problemler tek katlı, geniş açıklıklı prefabrike sistemlere göre ortaya çıkan sorunlar ve çözüm yöntemleri farklılaşmaktadır. Buna göre sistemin bütün aşamalarında ortaya çıkan her türlü sorun bir şekilde özel ve genel şartlardan etkilenmektedir. Herhangi bir yapı için genel kısıtlayıcı şartlarla ilgili problemler, yapının üretildiği bölge, ülke ve ortama göre farklılaşmaktadır. Böylece toplumsal yapı ve kurumlarla ilgili sorunları içerebilmekte, bununla beraber aynı ülke içerisinde farklı bölgelerde yapılan aynı yapılarda işçilik veya malzeme ile ilgili olarak farklılaşan şartlar sebebiyle problemler de farklılaşmaktadır denilebilir (Gönül ve Demirel, 2003).

Bugün prefabrike yapılar oluşturulurken bileşen ve sistemlerin tasarımı esnasında ortaya çıkabilecek olan iki önemli kural “teknolojik uygunluk” ve “kitlesel üretimle” ilgilidir (Bekiroğlu, 2006). Kitlesel üretim, tek düzey ve rutin bir yapı üretmek anlamına gelmemekte, prefabrik yapılarda çeşitli tasarım şekillerin getirdiği imkanlarla çeşitlilik sağlanabilmektedir. Bununla birlikte çerçeve sistemlerinde bileşenler arası ilişkilerin uygun şekilde tasarlanması, mimari beklentilerin gerçekleştirmesine katkı sağlamakta, kesin proje detaylarının üretimden önce tamamlanması geleneksel inşaata göre oldukça önemli bir avantajdır. Öte yandan teknik güçlüklerle karşılaşılması olası bir durum olup bundan dolayı bir yapının tasarımı, üretilmesi, tek bir kişinin değil alan uzmanlarının katılacağı bir ekiple gerçekleştirilmek zorundadır. Prefabrikasyon teknolojisi ile birlikte yapılacak olan bir yapı, tasarımından mimarisine kadar tüm aşamalarını modüler bir sıraya göre projelendirmesi kararların kontrollü bir şekilde yapılmasını gerekmektedir. Böylelikle üretim süreci depolama ve montaj aşamasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Aynı zamanda bir mimari yapı o bölgenin kültürel yansıması olarak ifade edilebildiğinden hızla ilerleyen teknolojiye uyum sağlayan sosyokültürel yapının korunması günümüz dünyasının temel sorumlulukları

arasında yer almaktadır. Bu nedenle endüstrinin meydana getirdiği gelişmelere uyum sağlanması için prefabrik yapı tasarım sürecinde alanın tüm problemlerini bilen, yapı yöntemlerine hâkim ve yeni gelişmeleri işe koşan bireylerin egemen olması gerekmektedir. Aynı zamanda detaylandırma ve çeşitlilik prefabrikasyon teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması adına önemli gerekliliklerden biri olarak görülmektedir (Bekiroğlu, 2006).

Bu tez çalışmasında üzerinde durduğumuz çelik strüktürlü yapı tasarımıdır. Aşağıda üç başlık olarak bahsedilmiştir.

2.3.1. Hafif çelik sistemler

Hafif çelik sistemler, inşaat sektöründe dayanıklılık, hafiflik ve esneklik özellikleriyle öne çıkan bir yapı sistemi olarak önemli bir yer tutmaktadır. Bu sistemler, ince profilli çelik elemanlardan oluşmakta olup yüksek mukavemet özelliklerine rağmen oldukça hafif olmasıyla dikkat çekmektedir. Çelik profillerin fabrikada üretilebilmesi, yapı elemanlarının inşaat sahasında montajının hızlı bir şekilde yapılmasına olanak tanımakta ve bu da hem iş gücü hem de maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Hafif çelik sistemlerin montaj sürecinin kolaylığı, özellikle zaman kısıtlaması olan projelerde tercih edilmesine neden olmaktadır. (Alptekin, 2017; Cameron ve Williams, 2020).



Resim 2.1. Hafif çelik taşıyıcıyla yapılmış konut karkası

Hafif çelik sistemlerin en belirgin avantajlarından biri, diğer çelik yapılar ile ortak olarak sismik yüklere karşı yüksek direnç göstermesidir. Yapıların esnekliği sayesinde deprem anında sismik dalgaların etkisini absorbe etmesine olanak sağlamaktadır. Türkiye gibi yüksek deprem riskine sahip ülkelerde hafif çelik sistemlerin tercih edilmesi önemli olmaktadır. Hafif çelik yapılar,

betonarme yapılara göre daha sünek ve hafif olduğundan, deprem sırasında hasar riski azalmaktadır (Yıldırım, 2019; Steel Construction Institute, 2021).

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kriterleri açısından da hafif çelik sistemler, geleneksel yapı malzemelerine kıyasla avantaj sunmaktadır. Hafif çelik sistemlerin yapısal elemanları fabrika ortamında üretildiğinden, atık miktarı oldukça azalmakta ve kaynakların etkin kullanımı sağlanmaktadır. Ayrıca, hafif çelik elemanların geri dönüştürülebilir olması, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Bu yönüyle, hafif çelik sistemler yeşil bina tasarımı kapsamında da tercih edilmektedir (Öztürk ve Demirci, 2018; Smith ve Green, 2020).

Isı yalıtımı ve akustik performans gibi konularda da hafif çelik sistemler gelişmiş çözümler sunmaktadır. Hafif çelik elemanlar, yalıtım malzemeleri ile birlikte kullanıldığında ısı kaybını minimize etmekte ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Bu sistemlerde, yapısal elemanlar arasındaki boşluklar sayesinde yalıtım malzemelerinin entegrasyonu kolaylaşmakta, böylece yüksek enerji performansına sahip yapılar inşa edilmektedir. Aynı zamanda, hafif çelik sistemlerin ses yalıtımı konusundaki performansı da geliştirilmiş olup, konfor düzeyi yüksek yaşam alanları oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Güler, 2021; Jones ve Thompson, 2019).

2.3.2. Ağır çelik sistemler

Ağır çelik sistemler, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve geniş açıklıkların sağlanması gibi yapısal avantajları nedeniyle özellikle endüstriyel ve ticari yapılarda tercih edilen bir yapı türüdür. Çelik elemanların kalın kesitlerden oluşması, ağır çelik sistemlerin büyük yük taşıma kapasitesine sahip olmasını sağlamakta ve bu özellik onları çok katlı binalar, köprüler, sanayi tesisleri gibi yapılar için ideal hale getirmektedir. Ağır çelik sistemler, büyük açıklıkları destekleme yeteneği sayesinde geniş iç mekânları kolon kullanılmadan inşa etme imkanı sunmakta, bu da yapısal verimlilik ve esneklik sağlamaktadır (Kara, 2020; Smith ve Brown, 2021).



Resim 2.2. Ağır çelik taşıyıcıyla yapılmış konut karkası

Türkiye’de ağır çelik sistemlerin kullanımı, inşaat sektörünün artan ihtiyaçlarına ve yapı güvenliğine yönelik duyarlılığa bağlı olarak yaygınlaşmaktadır. Özellikle deprem riski yüksek olan Türkiye'de, dayanıklı yapılar için ağır çelik sistemlerin kullanımı güvenlik açısından avantajlar sunmaktadır. Ağır çelik sistemlerin yüksek dayanıklılığı ve esnek yapısı, deprem gibi doğal afetler sırasında yapının hasar görme riskini azaltmakta ve bu durum ülke genelinde bu tür yapı sistemlerine olan talebi artırmaktadır. Türkiye’de sanayi tesisleri, spor salonları, alışveriş merkezleri gibi geniş alan gerektiren yapılar için de ağır çelik sistemler tercih edilmekte, bu da sektörde sürdürülebilir ve güvenli yapıların inşasına katkı sağlamaktadır (Arslan ve Demirtaş, 2020; Yılmaz ve Şen, 2019).

Maliyet açısından değerlendirildiğinde, ağır çelik sistemlerin ilk yatırım maliyetleri diğer yapı türlerine göre daha yüksek olmakla birlikte, uzun ömürlü yapıları sayesinde bu maliyetler zamanla dengelenmektedir. Ağır çelik sistemlerin yüksek maliyeti, malzeme kalitesi ve üretim süreçlerinin kompleksliğiyle ilişkilidir; ancak, bu sistemlerin sunduğu yapısal avantajlar ve bakım maliyetlerinin düşüklüğü, uzun vadede maliyet etkinlik sağlamaktadır. Ayrıca, ağır çelik sistemlerin hızla montajlanabilmesi ve inşaat süresini kısaltması, projelerin daha kısa sürede tamamlanmasına olanak tanıyarak iş gücü ve zamandan tasarruf edilmesini sağlamaktadır (Erdem, 2018; Zhao ve Thompson, 2020).

Ağır çelik sistemlerin geri dönüştürülebilir olması ve çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine uyum sağlaması, Türkiye’de çevre dostu yapılaşma politikaları doğrultusunda önem kazanmaktadır. Bu yapılar, kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra yeniden işlenebilir olmaları sayesinde, doğal kaynakların verimli kullanılmasına katkı sağlamakta, bu da çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Türkiye’de giderek artan çevre

bilinciyle birlikte ağır çelik sistemlerin tercih edilmesi, sürdürülebilir inşaat süreçlerine katkı sağlamakta ve bu yapılarla ilgili yatırımların desteklenmesine olanak tanımaktadır (Özkan, 2019b; Jones ve Riley, 2021).

2.3.3. Modüler yapılar

Modüler yapılar, yapı elemanlarının fabrika ortamında üretilip inşaat sahasında monte edilmesiyle elde edilen bir inşaat tekniğidir. Bu yapılar, prefabrik ünitelerden oluşmakta olup, hızla monte edilmesi, maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik gibi avantajlarıyla geleneksel yapı sistemlerine kıyasla önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Modüler yapıların tüm bileşenleri fabrika ortamında üretildiği için, kalite kontrol süreçleri daha etkin bir şekilde yürütülmekte ve hata oranı minimuma indirilmektedir. Ayrıca, modüler yapılar, şantiye alanında gereken iş gücü miktarını azaltarak maliyet tasarrufu sağlamakta ve proje sürelerini kısaltmaktadır (Aksoy, 1994; Smith ve Riley, 2019:143-157).



Resim 2.3. Modüler sistemle yapılmış konut karkası

Türkiye'de modüler yapıların kullanımı, özellikle konut, eğitim, sağlık ve ticari yapı alanlarında giderek artmaktadır. Bu artış, modüler yapıların deprem dayanıklılığı, hızlı kurulum süreci ve düşük maliyet gibi avantajlarına dayanmaktadır. Türkiye gibi deprem riskinin yüksek olduğu bir ülkede, modüler yapıların esnekliği ve hafifliği sayesinde depreme dayanıklılık performansı, bu sistemlerin tercih edilmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Modüler yapılar, deprem sırasında enerji absorbe etme yetenekleri ve dayanıklılık özellikleri sayesinde güvenli bir yapı çözümü sunmakta ve bu durum Türkiye'de kamu ve özel sektör projelerinde modüler yapıların tercih edilmesini teşvik etmektedir (Öztürk, 2020; Taylor ve Johnson, 2018:214-225).

Maliyet etkinliği açısından modüler yapılar, geleneksel inşaat yöntemlerine kıyasla belirgin avantajlar sunmaktadır. Fabrikada üretilen yapı bileşenleri, inşaat sahasına taşındığında hızlı bir şekilde monte edilebildiği için inşaat süreci kısalmakta ve dolayısıyla proje maliyetleri azalmaktadır. Türkiye'de modüler yapıların konut sektöründe yaygın olarak tercih edilmesinin nedenlerinden biri, düşük maliyetli ve hızlı çözümler sunabilmesidir. Ayrıca, bu sistemlerin prefabrik ünitelerden oluşması nedeniyle yapının her aşamasında maliyetler daha önceden belirlenebilmekte ve bu da projelerin bütçe yönetimi açısından avantaj sağlamaktadır (Yıldırım ve Şahin, 2019; Cameron, 2020:130-145).

Sürdürülebilirlik bağlamında modüler yapılar, çevresel etkilerin azaltılması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi açısından önem taşımaktadır. Fabrikada üretim esnasında atık oranının düşük olması ve modüler yapı elemanlarının yeniden kullanılabilir özellikte olması, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca, modüler yapıların de-montaj edilebilme özelliği, binanın yaşam döngüsü sonunda bileşenlerin tekrar kullanılarak yeni projelerde değerlendirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, Türkiye'de çevre dostu yapı sistemlerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunmakta ve sürdürülebilir inşaat politikaları doğrultusunda modüler yapıların tercih edilmesine yol açmaktadır (Güler ve Demir, 2021; Brown ve Stewart, 2019:163-177).

2.4. Prefabrik Çelik Yapı Tasarımındaki Etkenler

Prefabrik çelik yapı tasarımında dikkate alınması gereken birçok faktör, yapının dayanıklılığını, uzun ömürlülüğünü ve kullanım amacına uygunluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu faktörlerin başında malzeme kalitesi, yapı geometrisi, statik ve dinamik yükler ile yapının bulunduğu çevresel koşullar gelmektedir. Yapının kullanım amacına bağlı olarak, farklı tasarım çözümleri geliştirilmekte ve yapı elemanlarının seçimi yapılmaktadır. Prefabrik çelik yapılarda kullanılan çelik malzemeler, yüksek dayanıklılık ve esneklik özellikleri sunarak, geniş açıklıklar ve büyük iç hacimler sağlamak amacıyla uygun yapısal performans sunmaktadır. Ayrıca, prefabrik yapım sürecinin hızlı ve maliyet etkin oluşu, bu sistemlerin konut, sanayi ve ticari yapılar gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır (Doğan, 2020; Smith ve Brown, 2019:98-112).

Prefabrik çelik yapılarda tasarımı etkileyen bir diğer önemli faktör, yapının bulunduğu bölgenin çevresel koşullarıdır. İklim, sıcaklık değişimleri, nem oranı ve rüzgar hızı gibi

çevresel etkiler, yapı malzemesinin seçiminden yapı elemanlarının montajına kadar birçok aşamada dikkate alınmaktadır. Örneğin, Türkiye'nin farklı bölgelerinde görülen değişik iklim koşulları, prefabrik çelik yapıların tasarımında kullanılan malzemelerin iklim şartlarına uygun şekilde seçilmesini gerektirmektedir. Çelik yapıların korozyona karşı dayanıklılığının artırılması ve uygun yalıtım çözümlerinin uygulanması gibi önlemler, yapının uzun ömürlü ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Yılmaz ve Kaya, 2021; Johnson ve Lee, 2020:83-99).

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik de prefabrik çelik yapı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kritik etkenler arasındadır. Modern tasarım yaklaşımları, çelik yapılar için enerji tasarruflu çözümler ve çevre dostu malzemelerin kullanımını öne çıkarmaktadır. Özellikle Türkiye'de, sürdürülebilir inşaat uygulamalarına olan ilginin artmasıyla birlikte, prefabrik çelik yapıların enerji verimli ve çevresel etkilere duyarlı olarak tasarlanması önem kazanmaktadır. Isı yalıtımı, güneş enerjisinden yararlanma ve yağmur suyu toplama sistemleri gibi özellikler, bu yapıların enerji ihtiyacını azaltırken karbon ayak izini de minimize etmektedir. Bu tür sürdürülebilir çözümler, prefabrik çelik yapıların çevresel dostluğunu artırmakta ve yapının uzun vadeli kullanım maliyetlerini düşürmektedir. (Cameron, 2021:140-154; Özkan, 2019a).

Yükler, prefabrik çelik yapıların tasarımında en önemli faktörlerden birini oluşturmaktadır. Yapıya etki eden yükler, yapı elemanlarının boyutlandırılmasını, bağlantı detaylarını ve genel yapısal dayanıklılığı doğrudan etkileyen unsurlardır. Statik yükler; yapının ağırlığı, kat yükleri ve çatı gibi sabit elemanlardan kaynaklanan yükleri ifade ederken, dinamik yükler ise rüzgar deprem ve titreşim gibi değişken etkenlerden kaynaklanan yükleri kapsamaktadır. Türkiye gibi deprem riski yüksek bir ülkede, çelik yapıların dinamik yüklere karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanması hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, yapıya etki eden yatay ve düşey yükler dikkate alınarak, taşıyıcı sistemlerin güçlendirilmesi ve bağlantı elemanlarının sağlamlaştırılması gerekmektedir. Çelik malzemenin yüksek mukavemet özellikleri, özellikle deprem gibi ani yük değişimlerinde enerji absorbe etme kapasitesini artırarak, yapının güvenliğini sağlamaktadır (Arslan, 2022a; Riley ve Thompson, 2020:120-135).

2.4.1. Statik ve dinamik yükler

Prefabrik çelik yapı tasarımında, statik ve dinamik yüklerin hesaplanması yapı güvenliğinin sağlanmasında temel rol oynamaktadır. Statik yükler, yapının kendi ağırlığı ile yapı üzerinde kalıcı olarak etki eden yükleri kapsar. Çatı, duvar ve döşeme gibi yapı elemanlarının ağırlıkları, statik yükler olarak adlandırılmakta ve bu yüklerin doğru hesaplanması, taşıyıcı sistemlerin dayanıklılığı için kritik önem taşımaktadır. Statik yükler yapının sürekliliğini sağlarken, bu yüklerin çelik yapıların esneklik özelliklerine göre planlanması, yapı ömrünü uzatan bir unsurdur. Ayrıca, prefabrik çelik yapılarda kullanılan malzemelerin homojen dağılımı, yüklerin düzenli şekilde yayılmasını sağlayarak yapısal dayanıklılığı artırmaktadır (Korkmaz, 2019; Sanders ve Lee, 2020:102-109).

Dinamik yükler ise, yapıya belirli bir süre boyunca etki eden, değişken özellik gösteren ve genellikle yapı üzerinde ani hareketler oluşturan yüklerdir. Rüzgar deprem ve trafik gibi dış etkenler nedeniyle oluşan dinamik yükler, yapı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kritik faktörlerdir. Deprem riski yüksek olan Türkiye gibi ülkelerde, prefabrik çelik yapıların dinamik yüklere karşı dayanıklı tasarlanması büyük önem taşır. Çelik yapıların esnekliği, sismik dalgaların yarattığı etkileri absorbe edebilecek bir yapı sunmakta, böylece yapıların depreme karşı daha dirençli olması sağlanmaktadır. Dinamik yüklerin hesaplanmasında kullanılan modern analiz yazılımları, prefabrik çelik yapıların güvenilirlik düzeyini artırmakta ve deprem yönetmeliklerine uygun yapılar ortaya konulmasını mümkün kılmaktadır (Ergün ve Akın, 2021; Johnson, 2018:34-41).

Prefabrik çelik yapılarda özellikle rüzgar yükleri de önemli bir dinamik yük türü olarak ele alınmaktadır. Türkiye'de rüzgar yüklerinin hesaplanması, bölgesel iklim özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmekte, özellikle kıyı bölgelerde yüksek rüzgar direnci sağlayan yapısal elemanların tercih edilmesi zorunlu hale gelmektedir. Çelik elemanların sağlamlığı, bu tür yüklerin neden olabileceği deformasyonları minimum seviyeye indirgemekte, bu da yapı güvenliğini artırmaktadır. Rüzgar yükü gibi ani ve değişken yüklerin yapısal bileşenler üzerindeki etkisi, özellikle modüler çelik yapılarda, yapı tasarımının mühendislik gereksinimlerine uygun bir şekilde ele alınmasını gerektirir (Arslan, 2022b; Thomson ve McLeod, 2019:63-71).

Çelik yapıların taşıma kapasitesinin sınırları, dinamik yüklerin zaman içinde yapıya uyguladığı stres seviyeleriyle de doğrudan ilgilidir. Çelik yapının esnek doğası, bu tür yüklerin yapıya zarar vermesini önlemede etkili olmakla birlikte, kullanılan malzemenin mukavemet değeri ve yapı elemanlarının bağlantı noktalarının dayanıklılığı da önem taşır. Statik ve dinamik yükler arasındaki etkileşimlerin dikkate alınması, prefabrik çelik yapıların daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlamakta, aynı zamanda yapıların bakım maliyetlerini düşürmektedir. Sonuç olarak, statik ve dinamik yükler üzerine yapılan kapsamlı analizler, yapıların güvenilirlik düzeyini belirlemede temel unsurlar arasında yer almaktadır (Çelik ve Taş, 2020; Oliver, 2021:47-53).

2.4.2. İklime bağlı değişkenler

İklim koşulları, prefabrik çelik yapıların dayanıklılığı ve performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Farklı iklim bölgelerinde sıcaklık, nem, rüzgar şiddeti ve yağış gibi iklim değişkenleri, yapı tasarımının en önemli unsurları arasında yer almakta olup bu unsurlar yapıların ömrünü ve fonksiyonelliğini doğrudan etkiler. Özellikle Türkiye gibi dört mevsimin yaşandığı bir coğrafyada, prefabrik çelik yapıların bu değişkenlere uyum sağlayacak şekilde tasarlanması büyük önem arz etmektedir. Çelik yapılar, düşük sıcaklıklarda kırılganlık, yüksek sıcaklıklarda ise genleşme eğilimi gösterdiğinden, uygun malzeme seçimi ve izolasyon önlemleri ile bu etkilerin minimize edilmesi gerekmektedir (Kaya ve Demir, 2021; Lee ve Thompson, 2019:211-218).

Türkiye'nin nem oranının yüksek olduğu Karadeniz bölgesi gibi alanlarda, prefabrik çelik yapıların korozyona karşı dirençli olması büyük önem taşır. Yüksek nem oranı, çelik yüzeylerin zamanla paslanmasına ve böylece yapısal dayanımın azalmasına yol açabilir. Bu nedenle, çelik yüzeylerin galvanizleme veya paslanmaz çelik kaplama gibi işlemlerle korunması, yapı ömrünü uzatmak adına önemli bir uygulamadır. Diğer taraftan, iç Anadolu gibi daha kuru bölgelerde nem etkisi daha sınırlı olsa da rüzgar yüklerine karşı dayanıklı yapı sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir. Türkiye'de her bölgenin kendine has iklim özelliklerinin analiz edilmesi ve prefabrik çelik yapıların bu koşullara uygun tasarlanması zorunludur (Özkan ve Arslan, 2020; Garza, 2018:187-194).

Rüzgar hızları da çelik yapıların tasarımında önemli bir iklim değişkeni olarak ele alınmaktadır. Türkiye'de özellikle Ege ve Akdeniz kıyılarında mevsimsel olarak artan rüzgar

hızları, çelik yapıların stabilitesini test eden önemli bir faktördür. Bu bölgelerde prefabrik çelik yapıların rüzgar yüklerini karşılayabilecek mukavemete sahip olması gerekmekte, yüksek rüzgar direncine sahip yapısal bileşenler tercih edilmektedir. Ayrıca, rüzgarın yön ve hızına bağlı olarak yapı etrafında oluşabilecek türbülans etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Çelik yapıların sağlamlık düzeyinin artırılması, özellikle çelik kolon ve kirişlerin bağlantı noktalarına yapılan güçlendirmelerle mümkün olmaktadır (Çalışkan ve Yılmaz, 2019; Morgan, 2020:159-165).

Isı değişimleri de çelik yapıların yapısal performansını etkileyen bir diğer iklim değişkenidir. Sıcaklık değişimleri, çelik malzemelerde genleşme ve büzülme gibi yapısal değişimlere neden olarak, yapının genel dengesini bozabilmektedir. Türkiye'nin doğu bölgelerinde görülen aşırı soğuk iklim koşulları, çeliğin kırılganlığını artırabilirken, güney bölgelerdeki sıcak yaz iklimi ise çelik yapılarda termal genleşmeye yol açabilmektedir. Bu gibi durumlarda, termal etkileri azaltmak için yalıtım sistemlerinin doğru bir şekilde uygulanması ve genleşme derzlerinin doğru hesaplanarak tasarlanması gereklidir. Aksi takdirde, bu termal değişimler yapı performansında olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir (Yıldırım ve Çetin, 2021; Williams, 2019:203-210).

Sonuç olarak, prefabrik çelik yapıların iklime bağlı değişkenlere uygun şekilde tasarlanması, yapı ömrünü uzatmak ve kullanıcı güvenliğini sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bölgesel iklim koşulları göz önünde bulundurularak yapılan dayanıklılık analizleri ve koruyucu tedbirler, yapıların uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlamakta ve çeşitli iklimsel değişkenlere karşı dirençli bir yapı oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır (Eren ve Kılıç, 2020; Hudson, 2018:123-130).

2.4.3. Yangın

Yangın güvenliği, prefabrik çelik yapıların tasarımında kritik bir öneme sahiptir. Prefabrik çelik yapılar, diğer yapı türlerine göre daha hafif ve modüler olması dolayısıyla birçok avantaj sunmakla birlikte, yüksek sıcaklıklar altında çeliğin mukavemetini kaybetme eğilimi nedeniyle yangın riskine karşı özel tedbirler gerektirir. Yangın esnasında oluşan yüksek sıcaklıklar, çelik elemanların genleşmesine ve dayanımlarının azalmasına yol açabilir. Çelik, 500°C üzerindeki sıcaklıklarda mukavemetini hızlı bir şekilde yitirebilir ve bu durum, yapının bütünlüğünü tehlikeye atabilir (Güven, 2021; Brown ve Wilson, 2019:102-109). Bu

nedenle, prefabrik çelik yapıların yangın dayanıklılığını artırmak amacıyla uygun koruyucu önlemlerin alınması gerekmektedir.

Prefabrik çelik yapılarda yangın güvenliğini sağlamak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, yangına dayanıklı kaplama malzemelerinin uygulanmasıdır. Örneğin, çelik elemanların etrafına yangın geciktirici sprey sıva veya kaplamalar, çelik taşıyıcı yüzeylerine yangın boyası uygulanarak yüksek sıcaklıklara karşı direnç sağlanabilir. Bu kaplamalar, yangın sırasında sıcaklığın çelik elemanlara doğrudan etki etmesini önleyerek yapının taşıma kapasitesinin korunmasına katkı sağlar. Ayrıca, bu kaplamalar çelik elemanların dayanıklılık süresini artırarak yangın sırasında binanın tahliye edilmesi için ek süre sağlar (Çelik ve Kaya, 2020; Smith, Taylor ve Clark, 2018:225-233). Yangına dayanıklı kaplama malzemeleri kullanımı tüm çelik prefabrik yapım yöntemlerinde kullanılabilir ancak çelik taşıyıcı strüktürün yangın boyasıyla kaplanması sadece ağır çelik taşıyıcılı çelik prefabrik yapılarda maliyet etkin olabilmektedir.

Yangına dayanıklılığı artırmak amacıyla prefabrik çelik yapılarda ısıya dayanıklı yalıtım malzemelerinin kullanımı da oldukça yaygındır. Isı yalıtımında tercih edilen bu malzemeler, yapı elemanlarının yangın anında hızlı bir şekilde ısınmasını engelleyerek yangının yayılma hızını yavaşlatır. Özellikle mineral bazlı yalıtım malzemeleri, yanmaz yapıda olmaları nedeniyle yangın güvenliği açısından tercih edilmektedir. Bunun yanında, çelik yapıların tasarımında yangın çıkış yollarının, acil durum aydınlatmalarının ve duman tahliye sistemlerinin etkin bir şekilde yerleştirilmesi, yangın sırasında güvenli tahliye imkânı sağlar. Türkiye'deki yapı yönetmelikleri, bu tip güvenlik tedbirlerini zorunlu kılmakta olup bu yönetmeliklere uygun tasarımlar yapmak yapıların yangın güvenliğini artırmada etkili bir yöntemdir (Öztürk ve Demir, 2019; Huang, Zhang ve Li, 2020:194-200).

Çelik yapıların yangına karşı korunmasında bir diğer önemli etken ise yangın senaryolarının önceden belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasıdır. Yangın riski değerlendirme çalışmaları, yapıların tasarım aşamasında olası yangın senaryolarını dikkate alarak risk seviyesini minimize etmeye yönelik önlemler içerir. Bu analizler çerçevesinde belirlenen yangın güvenlik önlemleri; yangın algılama sistemleri, yangın söndürme sistemleri ve yangın kapıları gibi pasif ve aktif yangın güvenlik bileşenlerinin yapı içinde stratejik noktalara yerleştirilmesini kapsar. Yangına karşı önceden alınan bu önlemler, yangın çıkması

durumunda can kaybını ve maddi zararları en aza indirmeyi hedeflemektedir (Güler ve Şahin, 2022; Johnson ve Reeves, 2017:119-126).

Türkiye'de yangın yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanması zorunlu olan prefabrik çelik yapılarda, yangına karşı alınacak önlemler maliyetleri artırmakla birlikte, yangın güvenliği açısından vazgeçilmezdir. Yangına dayanıklılığı artırıcı önlemlerin uzun vadede yapıların bakım ve onarım maliyetlerini azalttığı göz önünde bulundurulduğunda, bu önlemlerin maliyet etkinliği sağladığı söylenebilir. Yangın güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılan kaplama ve yalıtım malzemelerinin yanı sıra yangın güvenlik sistemlerinin entegre edilmesi de toplam maliyetin önemli bir kısmını oluşturur. Bu durum, özellikle ticari ve endüstriyel yapılarda yangın güvenliği yatırımlarının geri dönüş süresini azaltarak, yapının kullanım ömrü boyunca ekonomik bir katkı sağlamaktadır (Arslan ve Yıldız, 2021; Taylor, 2019:157-164).

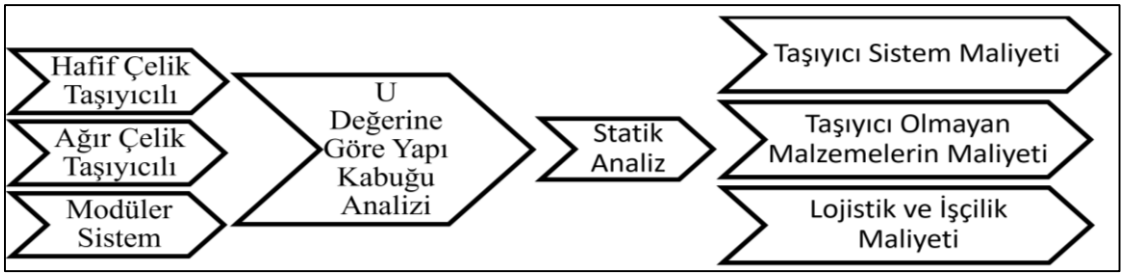
Prefabrik çelik yapıların yangına karşı korunması, hem yapısal dayanıklılığın artırılması hem de can güvenliğinin sağlanması açısından zorunludur. Yangına dayanıklı kaplama ve yalıtım malzemelerinin kullanımı, yangın güvenlik sistemlerinin entegrasyonu ve yapı yönetmeliklerine uygun tasarım kriterlerinin uygulanması ile çelik yapıların yangın dayanımı önemli ölçüde artırılmaktadır. Bu tedbirler, prefabrik çelik yapıların yangın esnasında güvenli ve dayanıklı kalmasına katkıda bulunmaktadır (Ersoy ve Köse, 2020; McBride, 2018:147-154).

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmada, prefabrik çelik yapım sistemlerinin yapısal ve termal performansını maliyet etkinliği açısından değerlendirmek amacıyla farklı çelik taşıyıcı sistemlerin kıyaslanabilir bir çerçevede incelenmesi hedeflenmiştir. İlk aşamada, çelik yapının en hızlı barınma çözümü sunan yapı tipi olarak belirlenen yatakhane plan şeması üzerinden çeşitli tasarım seçenekleri geliştirilmiştir. Hafif çelik taşıyıcı sistem, ağır çelik taşıyıcı sistem ve modüler sistem olmak üzere üç farklı çelik yapım tipi için projelendirme yapılmış ve her taşıyıcı sistemin karakteristik özellikleri dikkate alınarak detaylandırılmıştır.

Her sistem için yapı kabuğunun termal performansını değerlendirmek amacıyla U değerine göre yapı kabuğu analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, farklı çelik sistemlerin ısı yalıtımı ve enerji verimliliği açısından nasıl performans gösterdiği belirlenmiştir. Yapı kabuğu analizlerinin ardından statik tasarımlar tamamlanarak her bir sistemin yapısal dayanıklılığı ve uygulama yöntemleri üzerinde detaylı çalışmalar yapılmıştır.

Maliyet değerlendirmeleri aşamasında ise taşıyıcı sistem maliyeti, taşıyıcı olmayan yapı malzemelerinin maliyeti, lojistik ve işçilik maliyetleri ayrı ayrı incelenmiştir. Her bir sistemin malzeme ve işçilik maliyetleri belirlenirken, montaj süreçlerindeki hız ve lojistik kolaylıklar dikkate alınarak kıyaslamalar yapılmıştır. Bu kapsamda, modüler sistemin hızlı kurulum ve minimal işçilik gerektiren özellikleri öne çıkarken, ağır çelik taşıyıcı sistemin uzun vadeli dayanıklılığı ve hafif çelik sistemin çelik maliyet avantajı gibi özellikler maliyet-fayda analizi içerisinde detaylandırılmıştır. Çalışma sonunda, her bir yapım sisteminin yapısal ve termal performansı ile maliyet etkinliği karşılaştırılarak, prefabrik çelik yapım sistemlerinin en uygun maliyet ve performans dengesi sağlama potansiyeli değerlendirilmiştir.

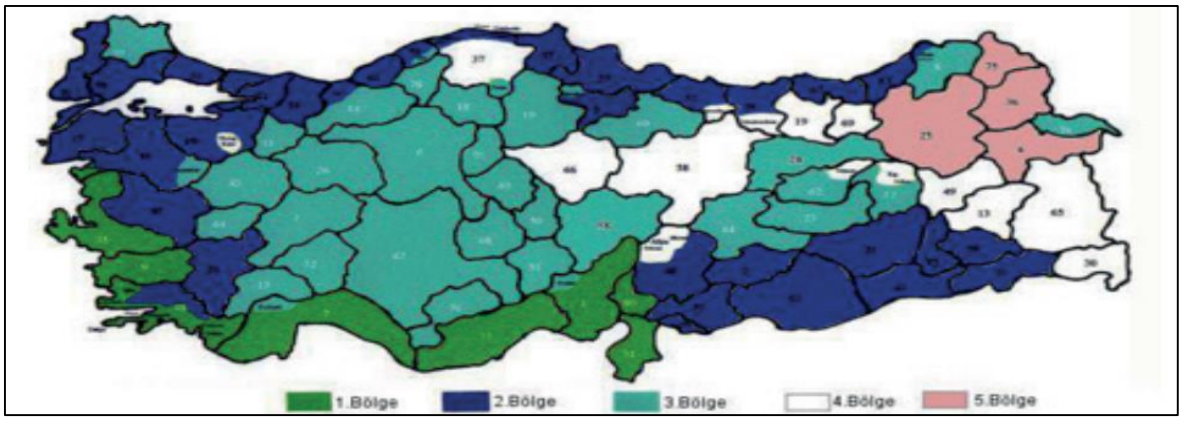


Şekil 3.1. Alan çalışması aşamaları

3.1. Şehirlerin Belirlenmesi

Her yapı tasarlanırken bulunduğu çevre koşulları göz önüne alınır ve çevre kaynaklı veriler tasarıma etki eder. Özellikle kullanıcılar yaşamlarını sürdürmelerinde etken olan konfor koşullarını sağlamak ve minimum enerji tüketimi sağlamak için iklim koşullarına uygun tasarımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Türkiye sınırlarında iklim koşullarına yönelik en temel yönlendirici yönetmelik TSE 825 standardıdır. Binalarda ısı yalıtım kurallarının belirlendiği bu standart en son 2013'te güncellenmiş olup enerji etkinliğine göre tasarımı şekillendirir. Kars'ta yapılacak bir yapı ile Antalya da yapılacak bir yapı daha tasarım aşamasında yapı kabuğu detayları ile birbirinden farklılaşmaya başlar. Yapının içinde bulunacağı iklimsel faktörler yapı kabuğu performansına etki etmektedir.

Bölgelere göre TSE 825 kapsamında beş farklı olacak şekilde kategorize edilmiş illerimizin gözüktüğü harita bulunmaktadır (Şekil 3.1). Bu bölgelerden 1. bölge çok sıcak, 2. bölge sıcak, 3. bölge ılıman, 4. bölge soğuk ve 5. bölge çok soğuk olarak sıfatlandırılmıştır.



Şekil 3.2. TSE 825'te Türkiye'nin bölgeleri

Bu kapsamda proje aşamasında tercih edilen konstrüksiyon tipine göre farklı kabuk çözüm alternatifleri bulduğu düşünüldüğünde binaların ön tasarım aşamasında diğer önemli etkenlerde biri de bina için hedeflenen performans düzeyi ve yapının süneklik düzeyine göre belirlenen deprem yükleridir. Statik Analiz sırasında binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi düzeyi; yapının önemine, zemin durumuna ve haritadaki koordinatlara bağlı katsayılarla belirlenmektedir. Çizelge 3.1'de seçilen iller ve en büyük yer ivmesi ve en büyük yer hızı görülmektedir. Çalışma kapsamında farklı ilkim bölgelerinde benzer deprem riskine sahip illere bakılmış ve ona gör nihai karar verilmiştir.

Çizelge 3.1. AFAD verilerine göre şehirlerin en büyük yer ivme ve hız değerleri

	İklim bölgesi	En Büyük Yer İvmesi (g)	En Büyük Yer hızı (cm/sn)
1. Bölge	Antalya	0,262g	11046
2. Bölge	Tekirdağ	0,316g	19925
3. Bölge	Nevşehir	0,087g	5766
4. Bölge	Yozgat	0,122g	9619
5. Bölge	Kars	0,195g	11418

3.2. Yapı kabuğu Hesabı

TSE 825'de kapsamında ülkemizde yapılacak yapıların tavan, duvar, döşeme ve pencereler için gereksinim duyulan minimum ısı geçirgenlik direnci tanımlanmış ve hesabının nasıl yapılması gerektiği anlatılmıştır. Bu hesap "U" değeri hesaplanarak yapılır. Yapının ısıl direnci "R" olarak hesaplanır. U değeri ise 1/R'dir. Basit olarak tüm direncin toplamı RT ise 1/ RT "U" değerini verecek, Türk standardı kapsamında belirlenmiş "U" değeri ne kadar düşükse yapının göstermesi gereken ısıl direnç o kadar büyük demektir.

Isıl iletkenlik katsayısı (λ), bir malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olmakla birlikte, malzemenin ısıyı ne miktarda ilettiğini ifade eder. Isıl iletkenlik katsayısı W/mK birimi, ısı yalıtım malzemesinin birbirine dik 1 m mesafedeki, 1 m2'lik yüzeyi arasından, sıcaklık farkı 1°C olduğunda geçen ısı miktarıdır. Isıl geçirgenlik katsayısı W/m2K birimi, kalınlığı d (m) olan bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1K=1°C olduğunda 1 saatte 1 m yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarıdır.

U değeri, malzemelerin ısıl iletkenlik katsayısı (λ) ve ısı geçiş yönündeki kalınlığına bağlıdır. Isı geçirgenlik katsayısı ne kadar küçükse, ısı kaybı da o kadar az olur. U değeri metrekaredeki enerji kaybıdır. Enerji birim fiyatı ile yapı yüzey alanı ve U değerlerinin çarpımı, basit bir yaklaşımla enerji kaybından doğan maddi kaybı gösterir.

Çelik taşıyıcılı prefabrik yatakhane projeleri Kars, Nevşehir, Tekirdağ, Yozgat ve Kars olmak üzere beş şehirde uygulanmıştır. Bu şehirlerin depremsellik özellikleri benzer olduğundan ve TSE 825'e göre farklı bölgelerde olduklarından seçilmişlerdir. Her biri için yapı kabuğunun ısı direncine göre cephe ve çatı malzeme kalınlıkları optimize edilmiştir. TSE 825'e göre şehirler aşağıdaki gibi U değeri tablosunda yerini almaktadır.

Isıl direnç ile ısıl performans göstermesi beklenen çatı, duvar, tavan ve döşemelerin haricinde toplam ısıl direnç hesaplanırken havanın içerde($R_{H\text{-}İÇ}$) ve dışarda($R_{H\text{-}DIŞ}$) olmak üzere gösterdiği direnç de hesaba katılır. Toplam direnç bu hava dirençleriyle beraber yapı malzemesi ya da malzemelerinin bütünüyle gösterdiği direncin toplamıdır. Formülü aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\sum R = R_{H\text{-}İÇ} + \sum R_{MALZEME} + R_{H\text{-}DIŞ}$$

3.3. Yapısal Analiz Sınırlılıkları

İklim bölgeleri içerisinde konumlanacak il seçimi yapılırken bulunduğu konum itibariyle benzer deprem riskine sahip iller tercih edilmiştir. Bu noktada da 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre yapı tasarımında üç boyutlu analiz yapılması gerekmektedir. Bu nedenle herhangi bir yapı tasarlarken; tasarımın güvenilir, etkin, hızlı ve ekonomik olarak gerçekleşmesi için bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır. Tez kapsamında da analiz sonuçları özel amaçlı yapısal analiz yapan paket programlardan olan SAP-2000 programı ile elde edilmiştir.

Matematiksel modeldeki analizler için Şekil 3.3'de görüldüğü gibi öncelikle deprem yer hareketi düzeyi DD-2 olarak belirlenmiştir, yani 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan seyrek deprem yer hareketine (standart tasarım deprem yer hareketi) göre tasarlanmıştır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018). DD-2 karşılaştırma yapılması adına yaygın bir tür olarak karşımıza çıktığı için karşılaştırma yapılmak adına seçilmiştir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Bina Kullanım Amacı	Hareketli Yük Azaltma Katsayısı, n	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar			
a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar	0.3	DD-1*	$1.5\,S_{DS-DD} \leq S_{DS-DD1}$ ise: DD2 Spektrumu 1.5 ile çarpılarak kullanılacaktır.
b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.	0.6		
c) Müzeler	0.6		
d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	0.6		
2. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve diğer binalar			
a) Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	0.6		
b) Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, otopark, vb.	0.3	DD-2	
c) Depo, antrepo, vb.	0.8		

Şekil 3.3. Yapı kullanım amacına göre deprem yer hareketi düzeyi

Deprem Düzeyi (DDY), yapı tasarımında ve deprem etkilerine dayanıklılık değerlendirmelerinde kullanılan bir ölçüt olup, bir yapının hangi büyüklükteki depremlere karşı dayanıklı olması gerektiğini belirler. Türkiye'de yürürlükte olan Deprem Yönetmeliği uyarınca, dört ana deprem düzeyi tanımlanmıştır: DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4. Bu düzeylerden DD-1, çok nadir meydana gelen, ancak en yüksek şiddetteki deprem senaryosunu temsil ederken; DD-2, büyük depremleri, DD-3, orta büyüklükteki depremleri, ve DD-4, küçük, sık meydana gelen depremleri ifade eder. Bu seviyelere göre yapılacak tasarım ve analizler, yapının işlevine, önem derecesine ve bulunduğu bölgenin deprem riski durumuna göre uyarlanır. Örneğin, hastane gibi stratejik önemi yüksek yapılarda DD-1 düzeyine göre tasarım yapılması gerekebilir.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama $(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya *PI* > 20 ve w > % 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (C_u < 25 kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (*PI* > 50) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_S					
	$S_S \le 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \ge 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.*					

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \le 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \ge 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.*					

Şekil 3.4. (a) Yerel zemin sınıfları tablosu, (b) kısa periyot yerel zemin etki katsayıları tablosu (FS), (c)1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları tablosu (F1)

Şekil 3.4'deki tablolar, yapı tasarımında ve deprem mühendisliğinde kullanılan zemin sınıflandırmalarını ve zemin davranışını temsil eden parametreleri sunmaktadır. İlk tablo olan "Yerel Zemin Sınıfları Tablosu," farklı zemin türlerinin sınıflandırılmasını sağlar ve her bir zemin türü için temel özellikleri açıklar. İkinci tablo, kısa periyot (T<0,2 saniye) için yerel zemin etki katsayılarını içermekte olup, farklı zemin sınıflarının bu periyotta yapıya etkilerini karşılaştırmaya olanak tanır. Üçüncü tabloda ise 1 saniye periyot için yerel zemin

etki katsayıları yer almaktadır. Bu değerler, zemin karakteristiklerinin yapıya etki ettiği uzun periyotlarda önemli bir referans noktası sunar ve yapıların dinamik analizlerinde kullanılır. Tablolar birlikte değerlendirildiğinde, farklı periyot aralıklarındaki zemin etki katsayılarının yapı performansı üzerindeki etkisi ve gerekli tasarım kriterleri belirlenebilir.



Şekil 3.5. Şehirler için https://tdth.afad.gov.tr/'dan alınan statik tasarım için gerekli veriler

Şekil 3.5'de de görüldüğü gibi tüm şehirler için yerel zemin sınıfı ZC'dir. Benzer depremsellik gösteren 5 şehrin yerel zemin etki katsayıları ve tasarım spektral ivme katsayıları Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Şehirler için yerel zemin etki katsayıları

Şehirler	*Kısa Periyot Yerel Zemin Etki Katsayısı*	*1.0 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı*
KARS	S_S=0,448 için F_S=1,300	S_1=0,129 için F_1=1,500
YOZGAT	S_S=0,278 için F_S=1,300	S_1=0,119 için F_1=1,500
NEVŞEHİR	S_S=0,199 için F_S=1,300	S_1=0,067 için F_1=1,500
TEKİRDAĞ	S_S=0,764 için F_S=1,200	S_1=0,216 için F_1=1,500
ANTALYA	S_S=0,561 için F_S=1,276	S_1=0,150 için F_1=1,500

Çizelge 3.2'de alan çalışmasına konu beş şehrin kısa periyot ve 1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları yer almaktadır. Bu katsayılar, zemin özelliklerinin yapıya aktarılan deprem ivmesini nasıl etkilediğini gösterir. Kısa periyot katsayısı, özellikle daha yüksek frekanslı titreşimleri, yani daha kısa sürede gerçekleşen dalgalanmaları temsil ederken, 1 saniye periyodu ise daha düşük frekanslı, uzun süreli titreşimleri ifade eder. Her iki katsayı da yerel zemin koşullarına göre belirlenmiş olup, depremin büyüklüğü ve yapıdaki etkisini tahmin etmek için önemli parametrelerdir.

Çizelge 3.3. Şehirler için spektral ivme katsayıları

Şehirler	*Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı*	*1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı*
KARS	$S_{DS}=S_SF_S$=0,448 x 1,300 = 0,582	$S_{D1}=S_1F_1$=0,129 x 1,500 = 0,193
YOZGAT	$S_{DS}=S_SF_S$=0,278 x 1,300 = 0,361	$S_{D1}=S_1F_1$=0,119 x 1,500 = 0,178
NEVŞEHİR	$S_{DS}=S_SF_S$=0,199 x 1,300 = 0,259	$S_{D1}=S_1F_1$=0,067 x 1,500 = 0,101
TEKİRDAĞ	$S_{DS}=S_SF_S$=0,764 x 1,200 = 0,917	$S_{D1}=S_1F_1$=0,216 x 1,500 = 0,324
ANTALYA	$S_{DS}=S_SF_S$=0,561 x 1,276 = 0,716	$S_{D1}=S_1F_1$=0,150x 1,500 = 0,225

Kısa periyot ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayıları Çizelge 3.3'deki gibidir. Bu katsayılar, zemin etki katsayıları ile birlikte değerlendirilerek yapıya gelebilecek maksimum ivmenin belirlenmesinde kullanılır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, yapının zeminle etkileşiminden kaynaklanacak kısa süreli ivme değerini belirlerken, 1 saniye periyot değeri ise daha uzun süreli titreşimlerin yapı üzerindeki potansiyel etkisini analiz eder. Bu katsayılar, farklı şehirlerdeki zemin özellikleri göz önünde bulundurularak yapılacak yapı tasarımında güvenliği sağlamak adına kritik rol oynamaktadır.

TBDY kapsamında çelik yapılarda yapı zemin etkileşimine göre hesap yapılması zorunludur. Ancak bu çalışma kapsamında, incelenen konunun dışına çıkmamak adına bu hesap ihmal edilmiştir. LRFD esasına dayalı tasarım yapılmıştır. Deprem için bölgesel veriler, AFAD ın Türkiye deprem risk haritasından alınmıştır. Ayrıca deprem yönetmeliği olarak TBDY 2018 kullanılmıştır Sistem kısa yönde moment çerçeveleri olarak dizayn edilmiş olup, uzun yönde çaprazlar kullanılmıştır.

3.4. Yapım Maliyeti Hesaplama Esasları

Çelik taşıyıcı sistem için gerekli malzeme bina hafif çelik taşıyıcılı, modüler sistem ve ağır çelik olmak üzere üç farklı yapı türü için her şehirde ayrı analizler yapılmış ve elde edilen

çelik tonajlarına dayalı malzeme metrajları çıkarılmıştır. Çıkan tonajlar çelik maliyeti düşünüldüğünde fiyatlandırmayı en etkileyen en önemli araştırma çıktısıdır.

Çelik yapıların inşasında kullanılan ağır çelik, hafif çelik ve modüler sistemler, farklı yapısal avantajlar ve sınırlılıklar sunar. Bu üç yapım tekniği, belirli kriterler çerçevesinde kıyaslanarak değerlendirilmektedir. Aynı plan şemasına sahip yatakhane binası projeleri, beş farklı ildeki iklimsel veriler göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme, yapıların ısıl performansı, montaj süresi, taşıyıcı olmayan ve taşıyıcı elemanların maliyet etkinliği, yangın dayanımı gibi önemli faktörlere odaklanmaktadır.

3.4.1. Taşıyıcı olmayan yapı bileşenleri maliyet hesabı

Prefabrik çelik yapılarda taşıyıcı sisteme dahil olmayan yapı elemanları, yapının estetik, fonksiyonel ve çevresel performansını doğrudan etkileyen unsurlardır. Bu elemanlar arasında betonarme temel yapımı, asma tavan sistemleri, elektrik ve su tesisatı gibi unsurlar bulunur. Betonarme temeller, yapının yüklerini düzgün bir şekilde zemine aktararak çelik taşıyıcı sistemin stabilitesini sağlar. Ayrıca, asma tavan sistemleri, prefabrik yapılar içinde fonksiyonel düzenlemeleri kolaylaştırırken estetik açıdan da iç mekân kalitesini artıran unsurlardır.

Cephe kaplamaları, sandviç panel çatı malzemeleri ve hafif çelik yapılarda kullanılan dış cephe kaplamaları, yapının enerji verimliliği ve dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle sandviç paneller, ısı yalıtımı, ses izolasyonu ve yangın dayanımı gibi kritik performans parametrelerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Hafif çelik yapılarda tercih edilen fiber çimento kaplama, hem dayanıklılığı hem de çevresel etkilere karşı uzun ömürlü bir çözüm sunarken, iç mekânda alçıpan kaplamalar, mekânın estetik görünümünü tamamlar. Bu elemanların doğru seçimi, cephe ve çatının yapı ile bütünleşik çalışmasını sağlayarak, iklim koşullarına dayanıklı ve estetik bir görünüm sunar.

Yağmur iniş boruları, oluklar, boya, iç cephe kaplamaları ve döşeme kaplamaları gibi yapı elemanları, kullanıcı konforunu ve yapının iç mekân performansını doğrudan etkiler. Doğru boyutlarda tasarlanmış yağmur suyu tahliye sistemleri, yapıların su izolasyonunu sağlayarak çelik sistemlerin korozyona uğramasını engellerken, iç cephe kaplamaları ve boya uygulamaları hem görsel kaliteyi artırır hem de termal ve akustik konfor sağlar.

Elektrik ve su tesisatı ise fonksiyonel kullanım açısından önemlidir ve bu sistemlerin doğru entegrasyonu, prefabrik yapılarda ekonomik ve sürdürülebilir çözümler sunar. Yine iç-dış kapılar ve pencereler yapının taşıyıcı sisteminde olmayan yapı bütünlüğü ve kullanışlılığı için önemli unsurlarındandır.

Taşıyıcı olmayan yapı bileşenlerinin maliyet hesabı, prefabrik çelik yapılar için toplam proje maliyetinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bileşenler, çelik prefabrik yapının fonksiyonelliği, estetik görünümü ve uzun ömürlülüğü üzerinde doğrudan etkilidir.

3.4.2. Taşıyıcı yapı bileşenleri maliyet hesabı

Prefabrik çelik yapılarda taşıyıcı yapı bileşenlerinin maliyet hesaplaması, yapının temel iskeletini oluşturan elemanların türüne ve kullanımına bağlı olarak değişir. Hafif çelik, ağır çelik ve modüler sistemli prefabrik yapılarda, taşıyıcı sistemler arasında ara kat döşeme şaseleri, çatı makasları, kolonlar, kirişler, çatı aşıkları ve cephe ile çatı çaprazları yer alır. Bu elemanların maliyeti, çelik türüne, kullanılan malzeme kalitesine ve yapının tasarımına göre belirlenir. Hafif çelik sistemler, düşük maliyetli olmasına rağmen, bazı projelerde daha az dayanıklı olabilirken, ağır çelik sistemler daha yüksek mukavemet sunar ancak malzeme ve işçilik maliyetlerini artırır. Modüler sistemli prefabrik yapılarda ise taşıyıcı bileşenler, fabrika ortamında üretildiği için montaj süresinde tasarruf sağlanabilir, ancak bu sistemlerin taşıma ve kurulum süreçlerindeki maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Ara kat döşeme şaseleri ve çatı makasları, özellikle büyük açıklıkların bulunduğu projelerde maliyeti belirleyici unsurlar arasında yer alır. Çatı aşıkları ve çaprazlar, yapının stabilitesini sağlamak için kritik öneme sahiptir ve kullanılan çelik miktarı, bağlantı detayları ve montaj zorlukları gibi faktörler maliyet üzerinde doğrudan etkilidir. Bu sebeple, taşıyıcı yapı bileşenlerinin maliyet hesabı, yalnızca malzeme fiyatlarını değil, aynı zamanda montaj süreleri, işçilik ve yapının tasarım özelliklerini içeren bütüncül bir analiz gerektirir. Prefabrik çelik yapı sektöründe prefabrik yapı tedarikçileri, çelik tedarikçilerinden projesine uygun çoğu karkas elemanını projesine uygun boyutta ya da fabrikada şekillendirmek üzere roll-form olarak hazır satın alır. Roll-form ve hazır çelik elemanlarını kg cinsinden tedarikçileri fiyatlandırır. Ağır çelik yapılarda yangın dayanımı gereksinimi de müşteri tarafından şart koşuluyorsa ağır çelik yapı karkasına maliyet etkin bir şekilde uygulanabilecek yangın astarı ve boyası da taşıyıcı sistem maliyetine etki eden önemli bir unsurdur (EK-11).

3.4.3. Lojistik ve işçilik maliyet hesabı

Prefabrik çelik yapılarda lojistik ve işçilik maliyetleri, toplam proje maliyetinin belirleyici unsurları arasında yer almaktadır. Bu yapıların modüler sistem, hafif çelik ve ağır çelik taşıyıcılı sistemler olarak farklı kategorilere ayrılması, her bir yapı türü için işçilik ve montaj sürelerinde önemli farklar doğurmaktadır. Modüler sistemlerde, modüllerin büyük kısmı fabrikada önceden üretilip sahada birleştirildiğinden, saha işçiliği daha az maliyetlidir. Buna karşılık, hafif ve ağır çelik sistemlerde, özellik hafif çelik taşıyıcılı yapılarda tüm taşıyıcı bileşenler sahada birleştirilmesi gerektiği ve ön üretimli duvarların yapımı gibi daha çok parçanın birleştirilmesi gerektiğinden için işçilik maliyeti daha yüksek olabilmektedir. Lojistik açıdan, büyük yapı bileşenlerinin taşınması ve saha koşullarına göre yerleştirilmesi, maliyeti artırıcı bir faktör olabilir. İşçilik maliyetlerini etkileyen bir diğer önemli unsur, montaj ekibinin uzmanlığı ve çalışma süresidir. Montaj hizmeti veren firmaların tecrübeleri, saha koşulları, iş gücü verimliliği ve kullanılan ekipmanlar bu süreçte maliyeti doğrudan etkilemektedir. Adam/gün kıstasında yapılan maliyet analizleri, her yapım tipine göre farklılık gösterir. Modüler sistemler, fabrika ortamında üretildiği için genel olarak saha işçiliği minimuma inerken, hafif çelik ve ağır çelik sistemlerde montaj süresi uzayabilir. Bu nedenle, projelerin başlangıç aşamasında montaj firmalarıyla yapılan detaylı görüşmeler ve alınan teklifler, işçilik maliyetlerinin doğru hesaplanması açısından kritik öneme sahiptir.

4. ALAN ÇALIŞMASI

Son yıllarda Türkiye'de çok katlı yapıların sayısı artış göstermektedir. Ülkemizdeki yapı stoğunun yaklaşık %80'inin konutlardan oluştuğu göz önüne alındığında, çok katlı yapılarda konut işlevinin ağırlıklı olarak tercih edildiği söylenebilir. Bu doğrultuda, üç temel yapım sistemi ile sınırlandırılan alan çalışmasında, aynı plan şeması temel alınarak mimari tasarım ve yapısal çözümler geliştirilmiştir.

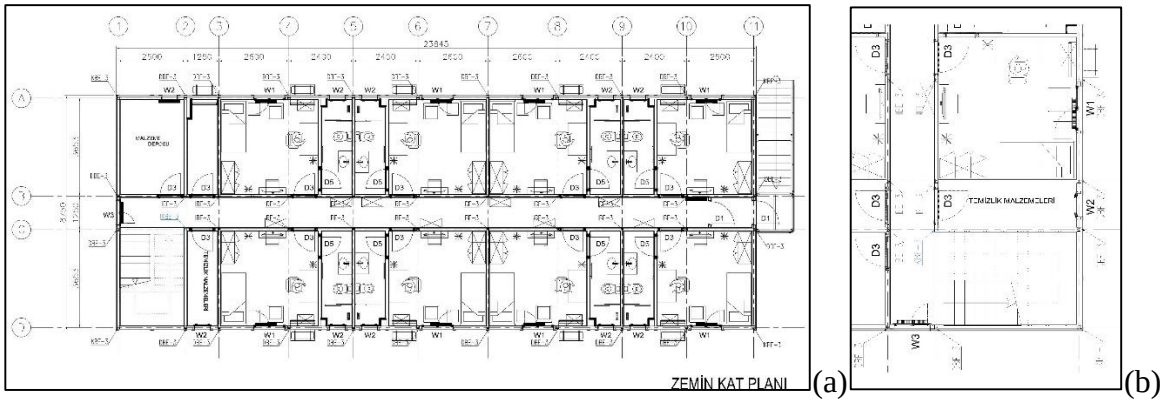
Çalışma sürecinde, yapım tekniklerinin olanakları çerçevesinde değişkenler minimum seviyeye indirilmeye çalışılmıştır. Örneğin, tüm yapı tiplerinde pencere tasarımları aynı tutulmuş ve çatı kaplama malzemesi olarak sandwich panel tercih edilmiştir. Ancak, kullanılan farklı profiller ve birleşim detayları nedeniyle uygulama aşamasında bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, duvar malzemelerinde her yapım sistemi için özelleştirilmiş seçimler yapılmıştır. Hafif çelik strüktürlü yapılar için ön üretimli duvar panelleri tercih edilirken, modüler sistem ve ağır çelik strüktürlü yapılar için *sandwich panel* kullanılmıştır. Aynı aks sisteminde ve aynı plan çözümünde mimari tasarımlar tamamlanmıştır.

İç döşeme şaseleri yapı sistemine göre farklılaştırılmış, iç mekân kaplamaları ise tüm yapılarda aynı kalacak şekilde tasarlanmıştır. Bu bilgiler ışığında, her bir yapım tekniğine yönelik ayrıntılı açıklamalar başlıklar altında özetlenmiştir.

Hafif çelik yapı çözümü; Yatakhane binalarının statik tasarımı sırasında cephe çaprazlarının kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Hafif çelik strüktürlü binalarda tüm çelik taşıyıcı sistem soğuk haddelenmiş profillerden oluşturulmakta olup bu nedenle cephe çaprazları da soğuk hadde çelik profillerden yapılmalıdır. Ancak, bu çaprazlar, sandviç panel olarak tasarlanan duvar panellerinin önünde veya arkasında yer alacağından, dış etkenlere (çarpma, açık hava koşulları vb.) maruz kalması sonucunda yapısal bozulmalara uğrayabilecektir. Bu sebeple, ağır çelik ve modüler sistem yapı çözümlerinden farklı olarak, hafif çelik strüktürlü yapılarda duvar kaplama malzemesi olarak sandwich panel kullanımı uygun görülmemektedir (Şekil 4.1).

Hafif çelik strüktürlü yapılarda kullanılan soğuk hadde profillerin malzeme yapısı, dış etkenlere karşı daha hassas bir yapıdadır ve cephe çaprazlarının dış etkilere maruz kalması

durumunda yapının stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler doğurabilmektedir. Bu durum, özellikle yatakhane gibi sürekli kullanıma ve olası darbelere açık binalarda daha büyük bir sorun teşkil eder. Bu nedenle, hafif çelik sistemlerde cephe ve duvar kaplamalarının, yüksek dayanım ve uzun ömür sunan alternatif malzemelerle desteklenmesi önerilmektedir. Böylece hem cephe çaprazlarının koruması artırılmakta hem de yapısal bütünlük uzun vadeli olarak korunabilmektedir.



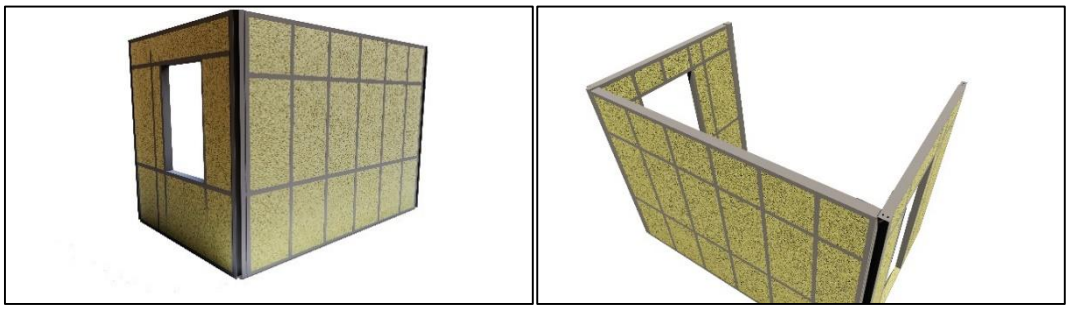
Şekil 4.1. Hafif çelik strüktürlü yatakhane; (a) tüm plan, (b)kısmi plan detayı

Hafif çelik strüktürlü binada ön üretimli duvar panelleri tüm binanın strüktürel tasarımı yapılırken modellenmiştir (Resim 4.2). Bu modelde, yapının strüktürel tasarımı sırasında ön üretimli duvar panelleri, binanın taşıyıcı sistemiyle uyumlu bir şekilde tasarlanmış ve tüm yapı sürecine entegre edilmiştir. Ön üretimli paneller, fabrikada tamamlanan ve şantiyede hızlıca birleştirilen elemanlar olarak, yapının tamamlanma süresini kısaltmakta ve kaliteyi artırmaktadır. Ayrıca, bu duvar panelleri hafif çelik taşıyıcı sistemle uyumlu şekilde tasarlandığından, yapının stabilitesine katkı sağlamakta ve termal izolasyon performansını iyileştirmektedir.



Şekil 4.2. Ön üretimli duvar panellerinin karkas sistemleri

Duvar panellerinin tasarımında, gerekli aralıklarla ve ısıl performans gerekliliklerini karşılayacak kalınlıkta olacak şekilde, mimari plana uygun çelik karkas sistemi oluşturulması öngörülmüştür. Mekanik ve elektrik tesisatı düşünülerek tasarlanmışlardır. Bu tasarımda, uygun maliyetli ve yaygın olarak erişilebilir bir yalıtım malzemesi olan taş yünü tercih edilerek, ısı yalıtım dolgusunun çekirdeği oluşturulması planlanmıştır (Şekil 4.3). Taş yünü kullanımı ile duvar panellerinin enerji verimliliğini artırmak ve uzun ömürlü bir yalıtım sağlamak hedeflenmiştir.



Şekil 4.3. Ön üretimli duvar panellerinin çekirdeği

Taş yünü ısı yalıtımı malzemesi olarak tercih edilmesinin bir diğer avantajı yalıtımı açısından da etkin bir performans sağlamasıdır. Bu özellikler, özellikle ısıl performansı artıran bu yapı malzemesi, çevresel koşullara dayanıklılık sunarak enerji kayıplarını minimize ederken; çelik karkas ve taş yünü kombinasyonu, yapının sürdürülebilirlik açısından da olumlu katkı sağlamasına imkân tanımaktadır.

İç kaplama malzemesi ise kolay tedarik edilebilirliği, temiz ve hijyenik bir yüzey sağlaması ve düzgün sonuçlar sunması nedeniyle yaygın olarak tercih edilen alçı paneller olarak belirlenmiştir. Çelik strüktürlü bir bina olması nedeniyle, betonarme yapılara kıyasla daha sünek davranış gösteren bu sistemde alçı çatlaklarının oluşumunu önlemek ve daha dayanıklı bir iç yüzey elde etmek amacıyla çift kat alçı panel kullanımı öngörülmüştür. Dış kaplama malzemesi olarak ise kolay boyanabilirliği, dayanıklılığı ve alternatif dış kaplama malzemelerine göre uygun maliyetli ve kolay erişilebilir olması nedeniyle fibercement levha (fiber elyaf dolgulu çimento levhası) tercih edilmiştir.

Fibercement levha kullanımı yalnızca ekonomik ve işlevsel faydalar sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda bu tür levhaların dayanıklılığı sayesinde yapının dış etkilere karşı direnci de artırılmaktadır. Hafif çelik yapılar için ideal bir seçim olarak görülen fibercement levhalar suya karşı yüksek direnç göstererek uzun ömürlü bir dış cephe çözümü sağlamaktadır. Bu

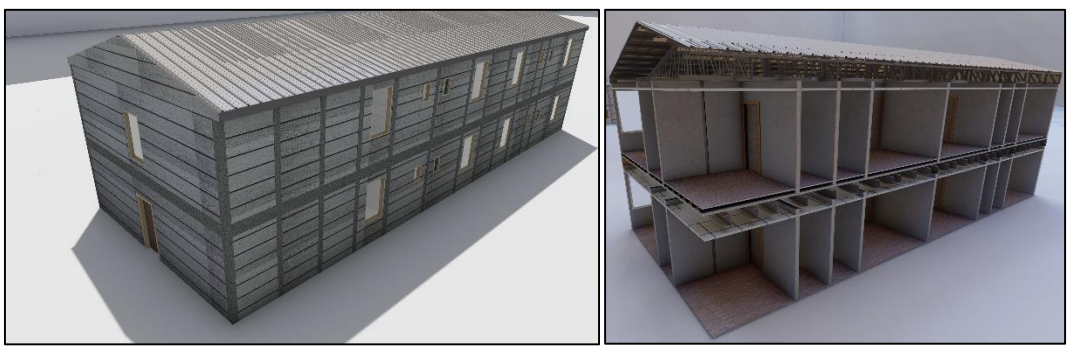
kombinasyon, iç ve dış yüzeylerin ihtiyaç duyulan koruma seviyesini sunarken; çevresel etkilere karşı yapı kabuğunun bütünlüğünü koruyarak enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.4. Ön üretimli duvar panelleri katmanları

Çatı kaplama malzemesi olan sandwich paneller, hem yapı kabuğunun hızla oluşturulmasına olanak tanımış hem de yüksek ısı yalıtım kapasitesi ile enerji verimliliğini artırmıştır. Çatı makasları ve döşeme şaseleri, yapıdaki taşıyıcı sistemin güvenliğini sağlamak üzere optimize edilmiş olup, her iki unsurun strüktürel elemanları da prefabrik olarak üretilmek üzere tasarlanmıştır. Arakat şase fibercement kaplama ve üstü pvc zemin kaplaması ile kaplanmıştır.

Bu modelde, tüm yapısal elemanlar, üretim sürecindeki zaman ve maliyet tasarrufu hedefleri doğrultusunda, önceden belirlenmiş standartlara ve mimari gereksinimlere göre tasarlanmıştır. Çatı makaslarının doğru yerleşimi ve döşeme şaselerinin uygun ölçüleri, yapının taşıyıcı sisteminin etkinliğini ve uzun ömürlülüğünü artırırken, sandwich panel kaplama malzemesi ise çatının dış etkilere karşı dayanıklılığını artırmakta ve estetik bir görünüm sunmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin hızlı üretimi ve montajı, inşaat süresini önemli ölçüde kısaltmakta ve projelerin zamanında teslim edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.5. Hafif çelik strüktürlü yatakhane binası modeli; (a) perspektif model, (b) sistem detayı

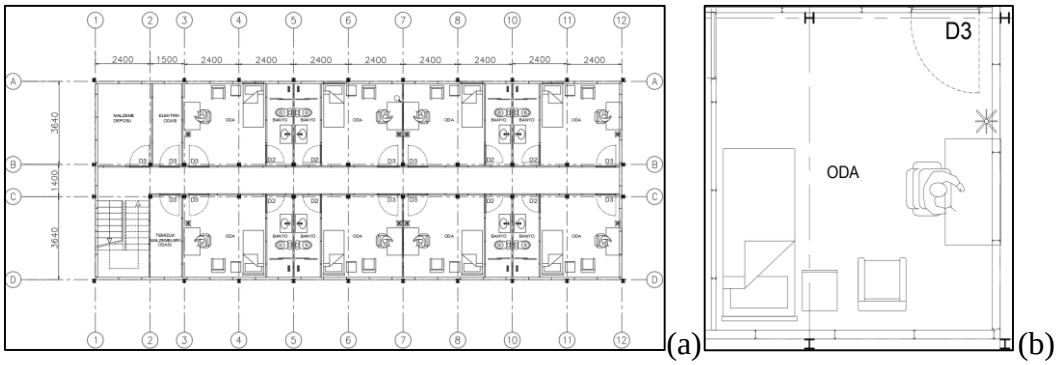
Mimari plana uygun olarak ön üretimli duvar panelleri, model çatı makasları, döşeme şasileri ve sandwich çatı paneli kaplaması bir bütün olarak eklenmiş ve Şekil 4.5'de görüldüğü yapının kapsamlı bir modeli oluşturulmuştur. Bu model, yapı kabuğunu oluşturan elemanların birbirleriyle uyum içinde çalışacak şekilde bir araya getirilmesiyle hem taşıyıcı hem de kaplama özelliklerini dikkate alarak detaylandırılmıştır. Çelik karkas sistemin sunduğu avantajlardan yararlanılarak, hızlı kurulum ve hassas montaj sağlanması hedeflenmiştir.

Ön üretimli duvar panelleriyle oluşturulan bu model, yapının modülerliğini artırarak sahada kolay montaj ve kısa sürede tamamlanabilirlik özelliklerini ön plana çıkarmaktadır. Çatı makasları ve döşeme şasileri, yapının genel stabilitesini ve yük dağılımını optimize edecek şekilde planlanmıştır. Sandwich çatı paneli kaplaması ise ısı ve ses yalıtım performansını iyileştirmekte, yapıya uzun ömürlü bir koruma katmanı kazandırmaktadır. Bu birleşim, yapının termal ve akustik konfor seviyelerini yükseltirken, hava koşullarına karşı dayanıklılığını da artırarak hem ekonomik hem de fonksiyonel bir çatı çözümü sunmaktadır.

Ağır çelik yapı çözümü; Ağır çelik yapı çözümlerinde ana taşıyıcıların yüksek mukavemetli profillerle oluşturulması, yapısal dayanıklılığı ve stabiliteyi artıran önemli bir unsurdur. Bu proje kapsamında, ana taşıyıcı elemanlar olarak HEA ve IPE profiller tercih edilmiş ve sistemin gerektirdiği yüklere dayanıklı, güvenilir bir taşıyıcı iskelet oluşturulmuştur. Bu haddeli taşıyıcı profillerin kullanımı, yapı sisteminde rijitliği sağlayarak düşey ve yatay yüklere karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Özellikle, kolon ve kiriş bileşenlerinin benzer kesitli HEA ve IPE çelik profillerle çözümlenmesi, yük aktarımını optimum seviyeye çıkarırken, montaj sürecinde de hız ve verimlilik sağlamaktadır.

Döşeme şasesinde, ana taşıyıcı profillere uygun olarak seçilmiş destek elemanları, yapı genelinde yük transferini eşit bir dağılımla sağlamak üzere yerleştirilmiştir. Bu detaylandırılmış döşeme sistemi, aynı zamanda yapı içindeki mekanik ve elektrik tesisat sistemlerinin geçişi için de uygun açıklıklar sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Yapının genel strüktürü, ana taşıyıcı profillerin döşeme şasisi ile uyum içinde çalışmasını sağlayacak biçimde kurgulanmıştır. Diğer yapım yöntemlerinde de kullanılan aks sistemi ve mimari çözümle aynı olacak şekilde planlanmıştır (Şekil 4.6).

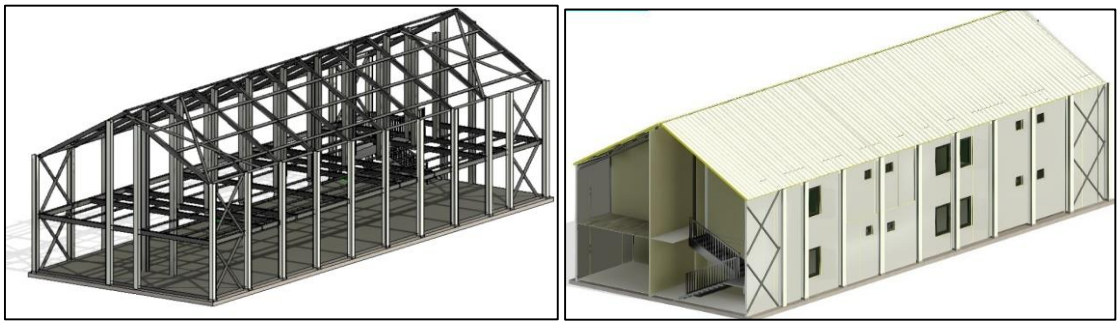


(a) (b)

Şekil 4.6. Ağır çelik yatakhane; (a) tüm plan, (b) kısmi plan detayı

Ağır çelik strüktürlü bina için cephe ve çatı kaplamaları sandwich panel olarak düşünülüp modellenmiştir. Sandwich panel hazır üretimli olmasından kaynaklı çelik yapılarda prefabrikasyonu destekleyen bir yapı kabuğu kaplama malzemesi olduğundan tercih edilmiştir. Sandwich panel, hazır üretimli olması ve kolay montaj imkanı sunması nedeniyle çelik yapılarda sıklıkla tercih edilen bir yapı kabuğu kaplama malzemesidir. Bu kaplama malzemesi, özellikle prefabrikasyon süreçlerini destekleyerek inşaat süresini kısaltan ve maliyetleri düşüren avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, çelik yapının estetik ve fonksiyonel gereksinimlerini karşılamak için yüksek dayanıklılık ve izolasyon özelliklerine sahip olan ve iç ve dış duvarların tümünü oluşturan sandwich paneller hem iç mekan konforunu artırmakta hem de yapının dış çevre koşullarına karşı korunmasını sağlamaktadır.

Sandwich panelin, ağır çelik yapıların taşıyıcı sistemleriyle uyumlu çalışarak yapının genel stabilitesini artırması ve termal izolasyon sağlaması da önemli bir avantajdır. Bu kaplama malzemesi, özellikle enerji verimliliği sağlayan yapılar için kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, hızlı üretim ve montaj süreçleri sayesinde, çelik yapıların inşasında zaman ve iş gücü maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 4.7. Ağır çelik strüktürlü yatakhane planı; (a) karkas modeli, (b) bina kesiti

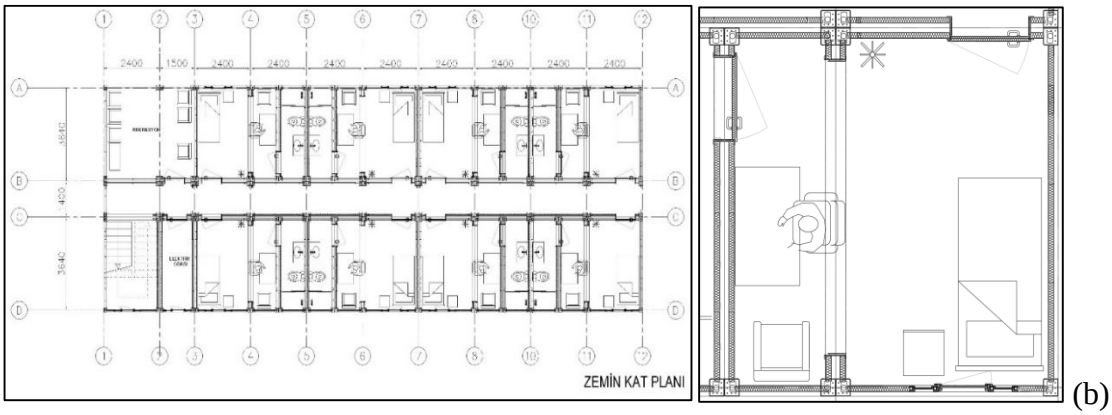
Arkat şase yine hafif çelik sistemde olduğu gibi fibercement kaplama ve üstü pvc zemin kaplaması ile kaplanmış taşıyıcı şase statik tasarıma göre çözülmüş ve modellenmiştir.

Ağır Çelik Strüktürlü Yatakhane Planı, iki ana bileşenden oluşan bir tasarım sürecini kapsamaktadır: (a) karkas modeli ve (b) bina kesiti. (Şekil 4.7) Bu tasarımda, çelik strüktürlü sistemin taşıyıcı gücü ve yapıların maliyet etkinliği ön planda tutulmuştur.

Karkas modeli, binanın temel taşıyıcı sistemini, yani çelik profillerin ve bağlantı elemanlarının yerleşim düzenini gösteren detaylı bir yapısal çözüm sunmaktadır. Bu modelde, tüm taşıyıcı elemanlar, yapıdaki yüklerin dengeli bir şekilde dağılmasını sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır. Çelik karkas, güçlü yapısal performansı ve hızlı montaj avantajı ile ön plana çıkarken, aynı zamanda binanın dayanıklılığı ve uzun ömürlü olmasını da garanti altına almaktadır. Karkasın tasarımı, mimari fonksiyonellik ve yapı güvenliğini optimize edebilmek için özenle yapılmıştır.

Bina kesiti ise, yapının dikey kesitini sunarak katlar arasındaki ilişkiyi ve iç mekân düzenlemelerini ayrıntılı bir şekilde gösterir. Bu model, yapının yüksekliği, kat aralıkları ve iç mekân kullanımı gibi parametreleri vurgulamaktadır. Ayrıca, bina kesiti, iç mekanlar arasındaki geçişler ve odaların fonksiyonel organizasyonunun yanı sıra, yapının teknik altyapısının (elektrik, su, havalandırma vb.) entegrasyonunu da açıkça ortaya koymaktadır.

Her iki model, yapının tasarımında kullanılan ağır çelik strüktürlü sistemin sağladığı avantajları en iyi şekilde değerlendirmek amacıyla bir araya getirilmiş ve birbirini tamamlayan elemanlar olarak işlevsel hale getirilmiştir.



(b)

Şekil 4.8. Modüler çelik yatakhane; (a) plan, (b) kısmi plan detayı

Modüler sistem yapı çözümü; Modüler sistemle tasarlanan ve aynı plan şemasına sahip olan binada yapılan statik analiz sonucunda, taşıyıcı sistemin konteynır tipi bükme çelik yerine kutu profil olarak kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Cephe ve çatı panelleri, sandwich panel olarak ele alınmış ve analizler bu doğrultuda yapılmıştır. Binada kullanılan tüm iç malzemeler, diğer yapım sistemlerinde olduğu gibi aynı plan doğrultusunda düşünülmüştür. Yapı modeli, her bir modülün önceden oluşturulması ve sonrasında plan şemasına uygun biçimde birleştirilmesiyle tamamlanarak nihai haline getirilmiştir.

Ek olarak, modüler sistemin sunduğu bu çözüm yaklaşımı, özellikle hızlı kurulum ve düşük işçilik maliyetleri açısından avantaj sağlamakta, aynı zamanda yapının bölümlenebilirliğini artırarak ihtiyaçlara göre uyarlanabilir bir yapı modeline olanak tanımaktadır. Kutu profil taşıyıcı sistem, modüller arasındaki detayları azaltırken, yapısal bütünlüğü ve dayanımı da statik tasarım sonucu optimize etmiştir. Bu yapı tekniği ile iç ve dış kaplama malzemelerinin bir uyum içerisinde kullanılmasına özen gösterilmiş; sandwich paneller, yapının ısı yalıtımı ve enerji verimliliğini üst seviyelere taşımak amacıyla tercih edilmiştir.



Şekil 4.9. Modüler sistem yatakhane planı: (a) modüller, (b) birleşen modüller, (c) model

Modüler sistem kapsamında tasarlanan yatakhane planında, yapı bağımsız modüller, birleşim aşamasında yapı bütününü oluşturan birleşen modüller ve tamamlanmış bina modeli olmak üzere üç temel model şeklinde ele alınmıştır. Modüler sistem modellemesi, her bir modülün bağımsız bir yapı birimi olarak düşünülmesiyle başlamaktadır. Her bir modül, tek başına gerekli işlevselliği sağlarken, diğer modüllerle birleştirildiğinde bütüncül bir yapı işlevi görmektedir. Bu yaklaşımla, her modül mimari plan doğrultusunda taşıyıcı sistem, iç ve dış kaplamalar, yalıtım malzemeleri ve teknik altyapı unsurları bakımından eksiksiz olarak planlanmıştır (Şekil 4.9). Böylece, modüller bir araya getirildiğinde herhangi bir yapısal eksiklik veya uyumsuzluk yaşanmadan bina tamamlanabilmektedir.

Modüller arasındaki bağlantı noktaları hem statik dayanımı sağlamak hem de taşıma ve montaj kolaylığı sunmak amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. Bağımsız modüllerin yapısal özellikleri ve boyutları, montaj sahasında hızlı birleştirme ve minimum düzeyde ıslak işçilik gerektiren bir montaj süreci için optimize edilmiştir. Birleşen modüller, bina kurgusunda sürekli bir iç mekân ve bütünleşik bir cephe görünümü sağlamak amacıyla ortak bir altyapı ve üst yapı sistemi üzerinden planlanmıştır. Bu sayede modüler sistem, plan şemasına sadık kalarak tüm yapısal ve estetik gereklilikleri karşılayabilmektedir.

Modüler sistemle üretilen yatakhane binasının tamamlanmış hali olan bina modeli, dayanıklı ve esnek bir yapısal bütünlük sunmaktadır. Her modül birimi, taşıyıcı sistemin bir parçası olarak bütün yapıya entegre edilmiştir. Bu modelleme yöntemi, hızlı montaj, ekonomik maliyet ve bakım kolaylığı gibi avantajlar sunarken, aynı zamanda mimari estetik ve işlevselliği de ön planda tutmaktadır.

4.1. Yapı Kabuğu Isıl Performans Sonuçları

Aşağıda verilen TSE 825'teki U değeri tablosuna göre yine TSE 825'deki hesaplama yönteminden yararlanılarak döşeme ve pencereler tüm yapım sistemlerinde aynı kaldığı duvar çatı U değerlerine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.1. TSE 825'teki bölgelere göre U değeri tablosu

	U_{DUVAR} (W/m^2K)	$U_{ÇATI}$ (W/m^2K)	$U_{DÖŞEME}$ (W/m^2K)	$U_{PENCERELER}$ (W/m^2K)
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

Yapı kabuğunun ısıl performansına ilişkin değerlendirmeler, TSE 825 standardındaki U değeri tabloları ve hesaplama yöntemlerine dayanarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizde yapı elemanları olarak duvar ve çatı elemanlarının U değerleri farklı bölge koşullarına göre değiştirilmiştir. Yapının termal performans analizleri, Türkiye'nin çeşitli iklim bölgelerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

1. Bölge: Bu bölgedeki yapıların ısı kaybını minimum düzeyde tutmak adına U değeri sınırlamaları dikkate alınmıştır. U değeri, duvar için 0,66 W/m^2K, çatı için 0,43 W/m^2K

olarak hesaplanmıştır. Bu bölgede nispeten yüksek U değeri gereksinimleri, ılıman iklim koşullarında yeterli termal yalıtımı sağlamaya yönelik olarak belirlenmiştir.

2. Bölge: Bu bölgede, duvar ve çatı elemanları için daha düşük U değerleri gerekmektedir. Duvar için U değeri 0,57 W/m²K, çatı için ise 0,38 W/m²K olarak hesaplanmıştır. İkinci bölgede U değerlerindeki bu azalma, daha soğuk iklim koşullarının enerji gereksinimlerine uyum sağlamayı amaçlamaktadır.

3. Bölge: Duvar U değeri 0,48 W/m²K ve çatı U değeri 0,28 W/m²K olarak gösterilmektedir. Bu bölgede, ısı kayıplarını daha fazla azaltmaya yönelik olarak daha düşük U değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

4. Bölge: Duvar ve çatı elemanları için daha ileri düzeyde yalıtım gerektiren bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Duvar U değeri 0,38 W/m²K, çatı U değeri 0,23 W/m²K olarak kullanılmaktadır. Bu değerler, sert iklim koşulları altında enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak öngörülmüştür.

5. Bölge: Bu en soğuk iklim bölgesinde, yapı elemanlarının yalıtım performansını daha da yükseltmek gerekmektedir. Duvar U değeri 0,36 W/m²K ve çatı U değeri 0,21 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Bu düşük U değerleri, özellikle kış aylarında ısı kaybını minimuma indirmek için gerekli termal performans hedeflerini karşılamaktadır.

Yapılan hesaplamalar sonucu şehirler için gerekli yapı kabuğu kalınlıkları bulunmuş aşağıdaki tablodaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Ek 16-17-18-19 ve 20'de verilen hesaplamalar sonucu şehirler için gerekli yapı kabuğu kalınlıkları bulunmuş aşağıdaki tablodaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.2. Yapı kabuğu kalınlıkları

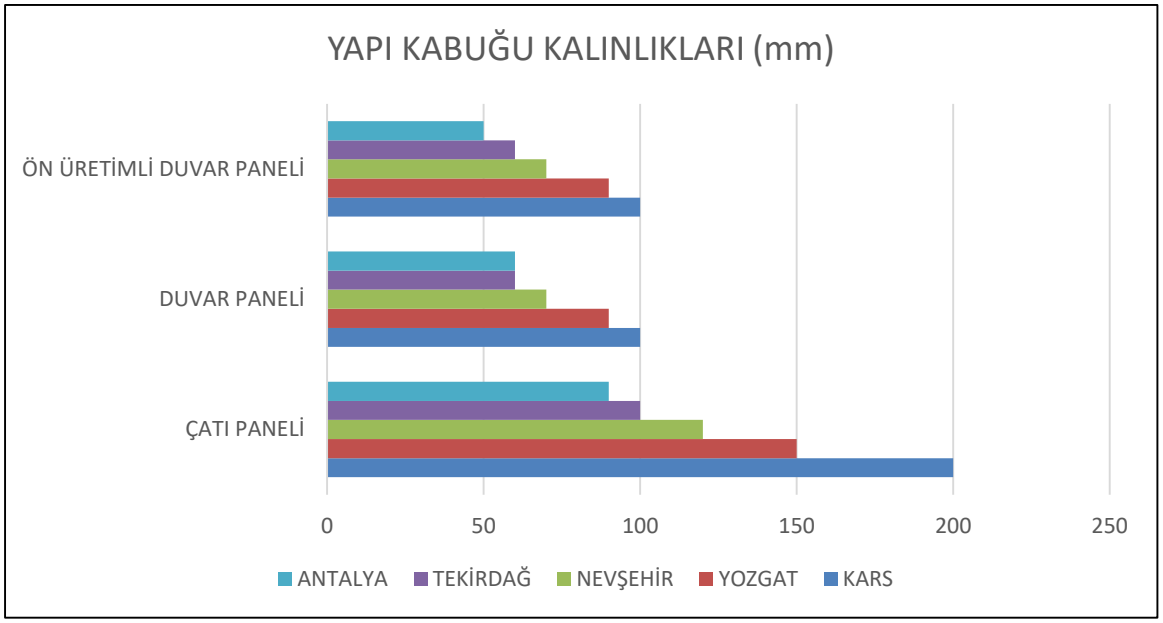
	KARS	YOZGAT	NEVŞEHİR	TEKİRDAĞ	ANTALYA
Çatı Panel	200mm	150mm	120mm	100mm	90mm
Duvar Paneli	100mm	90mm	70mm	60mm	60mm
Ön Üretimli Duvar Paneli	100mm	90mm	70mm	60mm	50mm

Yapı kabuğunun ısıl performansına katkıda bulunan yapı elemanlarının kalınlıkları, Türkiye'nin farklı şehirlerindeki iklim koşullarına göre belirlenmiştir. Çatı ve duvar panellerinin kalınlıkları, TSE 825'te belirtilen bölgesel U değerlerine uygun olarak optimize edilmiştir. Çeşitli iklim koşullarını temsil eden beş farklı şehir için yapılan analizlerde, yapı kabuğu elemanlarının kalınlıkları ısı yalıtım gereksinimlerine göre farklılık göstermektedir.

Çatı paneli: Çatı panellerinin kalınlıkları, şehirlerin iklim sertliği doğrultusunda artmaktadır. Soğuk iklim koşullarına sahip olan Kars'ta çatı paneli kalınlığı 200 mm olarak hesaplanmıştır. Yozgat ve Nevşehir gibi daha ılıman ancak hala yalıtım gereksinimi yüksek bölgelerde ise çatı panelleri sırasıyla 150 mm ve 120 mm kalınlığında belirlenmiştir. Daha sıcak iklim bölgelerinde, Tekirdağ ve Antalya için çatı paneli kalınlıkları sırasıyla 100 mm ve 90 mm olarak tespit edilmiştir. Bu farklılaşma, her şehirdeki ısı kaybını minimize ederek enerji verimliliğini sağlamak için yapılmıştır.

Duvar paneli: Duvar panelleri de çatı panellerine benzer bir şekilde iklim koşullarına göre kalınlaştırılmıştır. Kars'ta 100 mm olarak belirlenen duvar paneli kalınlığı, şehirdeki soğuk hava koşullarına karşı yüksek yalıtım sağlamaktadır. Yozgat için 90 mm, Nevşehir için 70 mm, Tekirdağ ve Antalya için ise 60 mm olarak hesaplanmıştır. Duvar panel kalınlıklarının şehirler arasında farklılık göstermesi, her bölgedeki iklim koşullarına uygun yalıtımı sağlama amacına yöneliktir.

Ön üretimli duvar paneli: Fabrikada ön üretimi yapılan duvar panellerinde de şehirler arası iklim farklılıkları dikkate alınmıştır. Kars ve Yozgat için 100 mm ve 90 mm kalınlık belirlenmiş olup, bu kalınlıklar soğuk iklim şartlarında etkin yalıtım sağlamaktadır. Nevşehir'de 70 mm, Tekirdağ'da 60 mm ve Antalya'da 50 mm kalınlık belirlenmiştir. Daha sıcak iklim koşullarına sahip şehirlerde ön üretimli duvar panel kalınlıklarının daha ince tutulması, termal konforu sağlamaya yetecek yalıtımı sunarken, gereksiz enerji maliyetlerini önlemeye yönelik optimize edilmiştir.



Şekil 4.10. Yapı kabuğu kalınlıkları grafiği

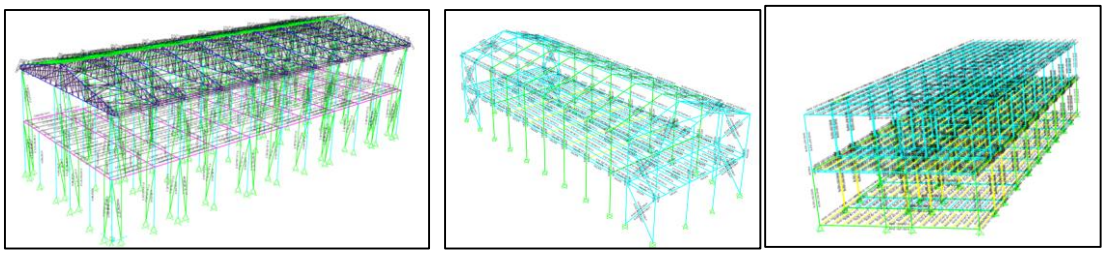
4.2. Yapısal Analiz Sonuçları

Bu veriler ışığında ilgili yönetmelik ve standartlar sınırlılığında statik tasarımlar yapılmıştır. Bu yönetmelik ve standartlar aşağıdaki gibidir.

- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, 2016).
- TS 498 ve EN 1-4, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap
- Değerleri. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Bu tablolar ışığında statik analiz yapılıp taşıyıcı sistem boyutlandırması yapılmıştır.

Statik Analizler: (a)Hafif Çelik Bina Statik Analizi, (b) Ağır Çelik Bina Statik Analizi Modüler Sistem Bina Statik Analizi



Şekil 4.11. Statik analizler: (a)Hafif çelik bina statik analizi, (b) Ağır çelik bina statik analizi modüler sistem bina statik analizi

Yapılan statik çalışmanın sonucunda beş farklı şehir için maliyet etkin taşıyıcı tasarımı yapıldığında strüktür ağırlıklarını gösteren aşağıdaki tablo ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Şehirlere göre taşıyıcı sistem tonaj tablosu

ŞEHİRLER/BİNALAR	HAFİF ÇELİK(KG)	AĞIR ÇELİK(KG)	MODÜLER (KG)
Kars	9831,31	17164,21	23423,76
Yozgat	9831,31	15847,66	21300,24
Nevşehir	9640,27	15297,87	21300,24
Tekirdağ	9544,74	15657,74	21646,24
Antalya	9544,74	15657,74	21646,24

Kars şehrinde hafif çelik taşıyıcı sistemin tonajı 9831,31 kg, ağır çelik taşıyıcı sistemin tonajı ise 17164,21 kg olarak hesaplanmıştır. Modüler sistemin tonajı ise 23423,76 kg'dır. Bu veriler, Kars'ın yerel zemin koşullarının yüksekliği ve spektral ivme katsayılarının belirlediği yapısal gereksinimler doğrultusunda, yapının güçlü ve dayanıklı taşıyıcı sistemlerle donatılmasını zorunlu kılmaktadır. Ağır çelik sistemin daha yüksek tonajı, Kars'ın yerel zemin etki katsayısının yüksek olmasının yanı sıra, yapının taşıyıcı kapasitesinin artırılması gerektiğine işaret etmektedir.

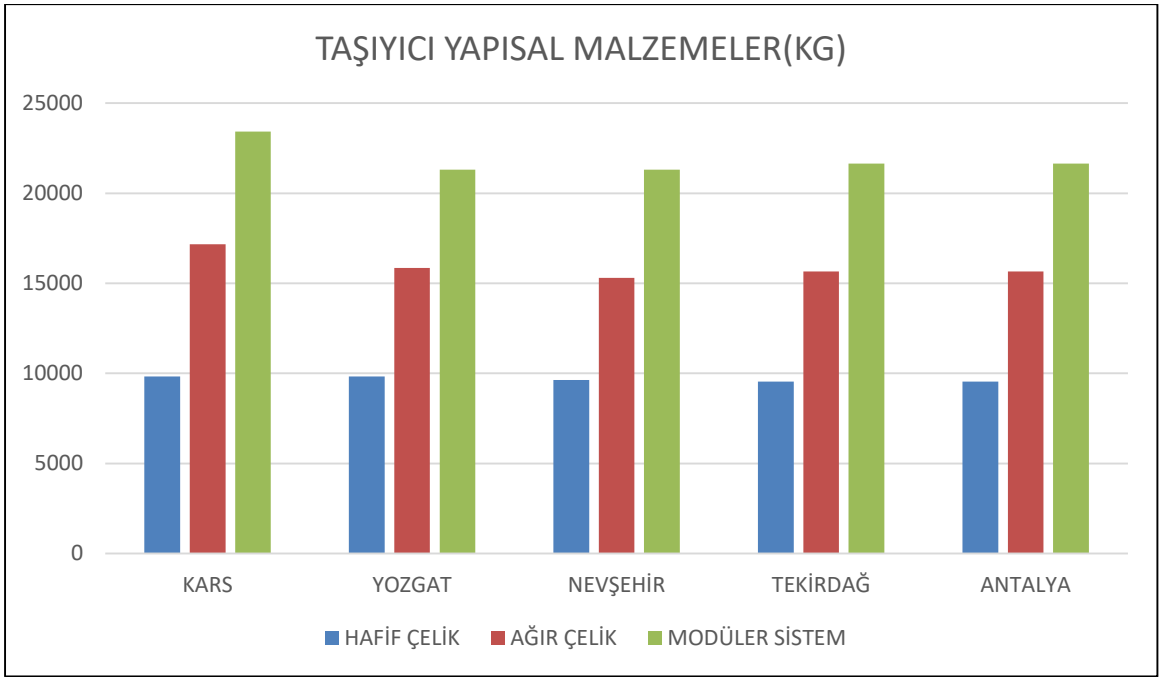
Yozgat'ta hafif çelik taşıyıcı sistemin tonajı 9831,31 kg, ağır çelik taşıyıcı sistemin tonajı ise 15847,66 kg olarak belirlenmiştir. Modüler sistemin tonajı ise 21300,24 kg'dır. Yozgat'ın daha düşük yerel zemin etki katsayısına sahip olması, taşıyıcı sistemlerin daha hafif malzemelerle inşa edilmesine olanak tanırken, ağır çelik sistemin kullanımı da yapının dayanıklılığını artırmaya yönelik olarak tercih edilmiştir.

Nevşehir'de hafif çelik taşıyıcı sistemin tonajı 9640,27 kg, ağır çelik taşıyıcı sistemin tonajı ise 15297,87 kg'dır. Modüler sistemin tonajı 21300,24 kg olarak hesaplanmıştır. Nevşehir'in düşük yerel zemin etki katsayısı, yapının hafif çelik sistemlerle inşa edilmesini mümkün

kılmakta olup, modüler sistemin daha yüksek tonajı, yapı stabilitesinin artırılması gerektiğini göstermektedir. Bu, yapının tüm yapı elemanlarında dayanıklılığın ön planda tutulması gerektiğini vurgulamaktadır.

Tekirdağ'da hafif çelik taşıyıcı sistemin tonajı 9544,74 kg, ağır çelik taşıyıcı sistemin tonajı ise 15657,74 kg'dır. Modüler sistemin tonajı ise 21646,24 kg'dır. Tekirdağ'daki yüksek yerel zemin etki katsayısı ve spektral ivme katsayısının yüksek olması, yapının daha güçlü taşıyıcı sistemlerle donatılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu, yapının stabilitesini artırmak için ağır çelik ve modüler sistemlerin tercih edilmesini sağlamaktadır.

Antalya'da hafif çelik taşıyıcı sistemin tonajı 9544,74 kg, ağır çelik taşıyıcı sistemin tonajı 15657,74 kg'dır. Modüler sistemin tonajı ise 21646,24 kg olarak belirlenmiştir. Antalya'daki yerel zemin etki katsayısının orta seviyede olması, yapının dayanıklılığını ve stabilitesini orta seviyede tutabilen taşıyıcı sistemlerin kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Ağır çelik ve modüler sistemlerin yüksek tonajları, yapının enerji verimliliği ve dayanıklılığını artırmaya yönelik bir tasarım anlayışını benimsemektedir.



Şekil 4.12. Şehirlere göre taşıyıcı sistem tonaj grafiği

Bu veriler, şehirlerin yerel zemin koşulları ve taşıyıcı sistemlerin tonajlarına dayalı olarak yapıların tasarımında kullanılan malzeme türlerinin belirlenmesinde önemli rol

oynamaktadır. Yüksek tonajlı taşıyıcı sistemlerin kullanımı, yapının gereksinim duyduğu yapısal güç ve stabiliteyi karşılamayı hedeflemektedir.

4.3. Maliyet Hesabı Sonuçları

Statik analizden elde edilen verilerle mimari tasarım uygulama projesine dönüştürülmüş ve tüm yapı malzemeleri için piyasadan alınan güncel verilere göre malzeme fiyat analizi yapılmıştır. Bununla birlikte Kars için takribi işçilik maliyet analizi ve fiyatlandırması yapılmıştır.

Bunun için her binanın taşıyıcı sistem kesitlerine göre mimari uygulama projesi tamamlanmış ve bu mimari projelere göre metraj çalışması yapılmıştır. Projelerde yer alan malzemeler fiyatları ile aşağıdaki fiyatlandırılmış metraj tablolarında gösterilmiştir. Fiyatlandırma yapılırken dolar kuru 34, Euro kuru 37,61 TL olarak alınmıştır. Prefabrik sektöründe kullanılan malzemelerde genel kabul gören fire oranlarına göre fiyatlandırma yapılabilmiştir.

5 şehir için taşıyıcı çelik strüktür, işçilik ve lojistik maliyetleri hariç kullanılan malzemeler tablolaştırılmıştır. Bu tablolar ışığında yapı kabuğu beş şehirde farklılaşmasıyla beraber yapısal (taşıyıcı olmayan) diğer malzemelerin maliyete etkisi elde edilmiştir. Bu tablolardan edinilen bilgi sonucunda taşıyıcı sistem, işçilik ve lojistik maliyetleri hariç toplam maliyet tablosu aşağıda gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.4. Şehirlere göre taşıyıcı olmayan malzemelerin maliyet tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK SİSTEMLİ BEDEL (₺)	AĞIR ÇELİK SİSTEMLİ BEDEL (₺)	MODÜLER SİSTEMLİ BEDEL (₺)
KARS	2399708,94	2015115,08	2145114,01
YOZGAT	2368916,82	1993640,67	2122617,01
NEVŞEHİR	2347735,12	1979324,40	2107619,01
TEKİRDAĞ	2315874,39	1950691,86	2077623,01
ANTALYA	2305283,54	1943533,72	2070124,01

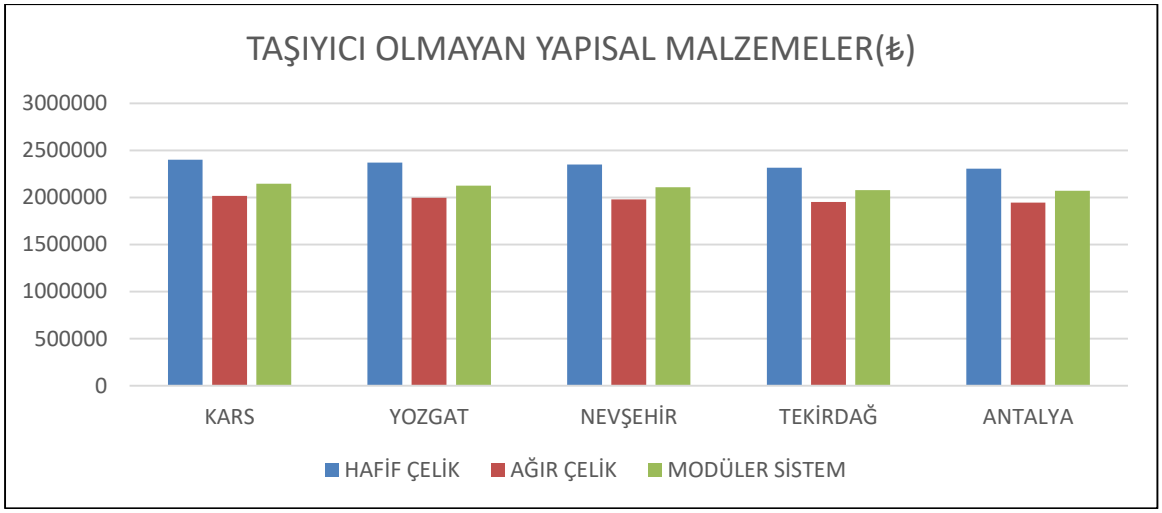
Kars ilinde hafif çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 2.399.708,94 Türk Lirası, ağır çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.015.115,08 Türk Lirasıdır. Modüler sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.145.114,01 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, Kars'ta kullanılan yapı sistemlerinin malzeme maliyetlerini ve yapının gereksinimlerine uygun ekonomik çözümler üretmeye yönelik tasarım yaklaşımlarını göstermektedir.

Yozgat ilinde hafif çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 2.368.916,82 Türk Lirası, ağır çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 1.993.640,67 Türk Lirasıdır. Modüler sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.122.617,01 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Yozgat'taki düşük maliyetli sistemler, yapının daha ekonomik şekilde inşa edilmesini sağlamaktadır.

Nevşehir ilinde hafif çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 2.347.735,12 Türk Lirası, ağır çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 1.979.324,40 Türk Lirasıdır. Modüler sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.107.619,01 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Nevşehir'de, taşıyıcı olmayan malzeme maliyetleri, yapının gereksinimlerine uygun ekonomik malzeme seçimlerini teşvik etmektedir.

Tekirdağ ilinde hafif çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 2.315.874,39 Türk Lirası, ağır çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 1.950.691,86 Türk Lirasıdır. Modüler sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.077.623,01 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Tekirdağ'daki malzeme maliyetleri, yapısal gereksinimlere uygun ve maliyet açısından optimize edilmiş çözümler sunmaktadır.

Antalya ilinde hafif çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 2.305.283,54 Türk Lirası, ağır çelik sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti 1.943.533,72 Türk Lirasıdır. Modüler sistemli taşıyıcı olmayan malzeme maliyeti ise 2.070.124,01 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Antalya'da, taşıyıcı olmayan malzeme maliyetleri, farklı yapı sistemlerinin ekonomik açıdan karşılaştırılması ve seçilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 4.13. Şehirlere göre taşıyıcı olmayan yapısal malzemelerin grafiği

Mevcut kura göre tedarikçilerden edinilen bilgilerin ortalaması olan kg başına 37,4 lira olan çelik taşıyıcı maliyetiyle daha önce statik analiz sonucu çıkan strüktür ağırlığı veri girdisiyle aşağıdaki tablo oluşmuştur.

Çizelge 4.5. Şehirlere göre taşıyıcı sistemin maliyet tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM (₺)	AĞIR ÇELİK TAŞIYICI BEDEL (₺)	MODÜLER SİSTEM TAŞIYICI BEDELİ (₺)
KARS	367690,99	641941,454	876048
YOZGAT	367690,99	592702,484	796628,97
NEVŞEHİR	360546,09	572140,338	796628,97
TEKİRDAĞ	356973,27	585599,476	809569,37
ANTALYA	356973,27	585599,47	809569,37

Kars ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemin maliyeti 367.690,99 Türk Lirası olarak hesaplanırken, ağır çelik taşıyıcı bedel 641.941,454 Türk Lirası'na ulaşmaktadır. Modüler sistem taşıyıcı bedel ise 876.048 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Bu maliyetler, Kars'taki inşaat projelerinde kullanılan taşıyıcı sistemlerin ekonomik analizini yapmak için temel veriler sunmaktadır. Hafif çelik taşıyıcı sistemlerin daha düşük maliyeti, özellikle ekonomik yapılaşma gereksinimlerine sahip projelerde tercih edilmesini sağlarken, ağır çelik ve modüler sistemlerin daha yüksek maliyetli olduğu gözlemlenmektedir.

Yozgat ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemin maliyeti 367.690,99 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı bedel ise 592.702,484 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Modüler sistem taşıyıcı bedel 796.628,97 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Yozgat'taki maliyet analizi, hafif çelik taşıyıcı sistemlerin ekonomik açıdan daha uygun bir seçenek sunduğunu, ancak ağır çelik ve modüler sistemlerin yüksek yapı dayanımı gereksinimlerine karşılık geldiğini göstermektedir. Bu veriler, yapıların ekonomik ve teknik ihtiyaçlarına göre doğru sistem seçimlerinin yapılabilmesi için önemli bir referans sunmaktadır.

Nevşehir ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemin maliyeti 360.546,09 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı bedel 572.140,338 Türk Lirası ve modüler sistem taşıyıcı bedel.628,97 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Nevşehir'deki veriler, hafif çelik sistemlerin düşük maliyetli, ancak ağır çelik ve modüler sistemlerin daha yüksek maliyetler oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle yapısal güvenlik ve dayanıklılık kriterlerine göre tasarım süreçlerinin yönlendirilmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir.

Tekirdağ ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemin maliyeti 356.973,27 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı bedel ise 585.599,476 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Modüler sistem taşıyıcı bedel ise 809.569,37 Türk Lirası'dır. Tekirdağ'daki veriler, şehirdeki inşaat projelerinde taşıyıcı sistemlerin maliyet yapılarını ve çeşitli taşıyıcı sistemlerin uygunluğunu belirlemekte önemli rol oynamaktadır. Hafif çelik ve modüler sistemlerin daha düşük maliyetli olması, özellikle büyük ölçekli projelerde maliyet optimizasyonuna yardımcı olabilir.

Antalya ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemin maliyeti 356.973,27 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı bedel ise 585.599,47 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Modüler sistem taşıyıcı bedel 809.569,37 Türk Lirası'dır. Antalya'daki veriler, taşıyıcı sistemlerin maliyet yapısını ve yerel inşaat sektörüyle ilgili ekonomik değerlendirmeleri içerir. Hafif çelik ve modüler sistemlerin daha ekonomik çözümler sunduğu, ancak ağır çelik sistemlerin yüksek yapısal gereksinimlerde tercih edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

Taşıyıcı sistem maliyeti de eklenerek 5 farklı şehirdeki lojistik ve işçilik maliyeti olmadan maliyet tablosu aşağıdaki gibi oluşmuştur.

Çizelge 4.6. Şehirlere göre yapısal maliyet tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM (₺)	AĞIR ÇELİK TAŞIYICI BEDEL (₺)	MODÜLER SİSTEM TAŞIYICI BEDELİ (₺)
KARS	2767399,934	2657056,534	3021162,634
YOZGAT	2736607,814	2586343,154	2919245,986
NEVŞEHİR	2708281,218	2551464,738	2904247,986
TEKİRDAĞ	2672847,666	2536291,336	2887192,386
ANTALYA	2662256,816	2529133,196	2879693,386

Kars ilinde yapı projeleri için hafif çelik taşıyıcı sistemle yapılan toplam maliyet 2.767.399,93 Türk Lirası olarak hesaplanırken, ağır çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.657.056,53 Türk Lirası, modüler sistem maliyeti ise 3.021.162,63 Türk Lirası seviyesinde bulunmaktadır. Bu veriler, Kars'ta farklı taşıyıcı sistemlerin maliyet karşılaştırması açısından önemli bir temel sunmakta olup, hafif çelik taşıyıcı sistemlerin ekonomik verimliliğe katkı sağladığını göstermektedir.

Yozgat ilinde hafif çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.736.607,81 Türk Lirası olarak belirlenmişken, ağır çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.586.343,15 Türk Lirası, modüler sistem maliyeti ise 2.919.245,99 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Yozgat'taki

projelerde ekonomik analiz ve maliyet optimizasyonu açısından değerlendirildiğinde hafif çelik taşıyıcı sistemlerin maliyet avantajı sunduğunu göstermektedir.

Nevşehir'de hafif çelik taşıyıcı sistem için yapı maliyeti 2.708.281,22 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.551.464,74 Türk Lirası, modüler sistem maliyeti ise 2.904.247,99 Türk Lirası olarak kaydedilmiştir. Nevşehir'deki bu maliyet farkları, projelerin bütçelendirilmesinde hafif çelik taşıyıcı sistemlerin ekonomik tercih olarak öne çıktığını işaret etmektedir.

Tekirdağ'da yapılan hesaplamalara göre hafif çelik taşıyıcı sistemle yapılan toplam maliyet 2.672.847,67 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.536.291,34 Türk Lirası, modüler sistem maliyeti ise 2.887.192,39 Türk Lirası'dır. Bu maliyet analizleri, Tekirdağ'da sürdürülebilir yapı projeleri için hafif çelik ve ağır çelik sistemlerin ekonomik olarak değerlendirilebilir alternatifler olduğunu göstermektedir.

Antalya ilinde ise hafif çelik taşıyıcı sistem için maliyet 2.662.256,82 Türk Lirası, ağır çelik taşıyıcı sistem maliyeti 2.529.133,20 Türk Lirası, modüler sistem maliyeti ise 2.879.693,39 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Antalya'da maliyet analizleri doğrultusunda hafif çelik sistemlerin ekonomik verimliliği artırma potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.7. Yapım tipine göre işçilik bedeli tablosu

BİNA TİPİ	GEREKEN TOPLAM GÜN	TOPLAM ADAM/GÜN	TOPLAM İŞÇİLİLİK BEDELİ (₺)
Hafif Çelik Yatakhane Binası	71,5	282	846000
Ağır Çelik Yatakhane Binası	53	228	684000
Modüler Sistem Yatakhane Binası	30	247,5	742500

Yapım tiplerine göre detaylı işçilik üç farklı firma ile görüşülerek gerekli tüm işçilikler belirlenmiştir. Ortaya çıkan işçilik gereksinimi ile ilgili detaylı içerik tabloları EK-21-22 ve Ek 23 de verilmiştir.

Hafif çelik yatakhane binası; Hafif çelik sistemle inşa edilen yatakhane binasının işçilik maliyeti, bu yapım tipine özgü olarak detaylandırıldığında, gereken toplam gün sayısının 71,5 gün olduğu belirlenmiştir. Bu süreçte toplamda 282 adam/gün iş gücü gerekmekte olup, toplam işçilik bedeli 846.000 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Hafif çelik sistemlerin tercih edildiği projelerde, iş gücü verimliliğinin ve işçilik maliyetlerinin optimize edilebildiği görülmektedir.

Ağır çelik yatakhane binası; Ağır çelik kullanılarak yapılan yatakhane binasında işçilik süreci, 53 günlük bir toplam süre gerektirmektedir. Bu yapı tipinde ihtiyaç duyulan adam/gün değeri 228 olarak belirlenmiş olup, toplam işçilik bedeli ise 684.000 Türk Lirası düzeyindedir. Ağır çelik yapım tekniğinin, süredeki etkinliği ve iş gücünde sağladığı verimlilik göz önünde bulundurulduğunda, daha kısa süreli inşaat sürecine olanak sağladığı ancak işçilik maliyetlerini hafif çelik sistemine göre daha düşük seviyelerde tuttuğu anlaşılmaktadır.

Modüler sistem yatakhane binası; Modüler sistemle gerçekleştirilen yatakhane binası inşasında toplam süre 30 gün olarak öngörülmektedir. Bu yapı türünde gereken iş gücü, 247,5 adam/gün seviyesinde olup, işçilik maliyeti 742.500 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Modüler sistemin inşaat sürecini hızlandırdığı ve iş gücü gereksinimini azaltarak maliyet optimizasyonu sunduğu görülmektedir. Özellikle hızlı yapım sürecinin önem kazandığı projelerde, modüler sistemin iş gücü ve maliyet üzerindeki etkisi kayda değerdir. Ancak aynı plan şemalı binalar tasarlandığından modül optimizasyonu gereği modüler sistem en hızlı yapım sağlayan yapım yöntemi olamamıştır.

Şehirlere göre yapısal maliyet ve işçilik bedelleri birleştirilip toplam yapım bedeli tablosu aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Toplam yapım bedeli tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM (₺)	AĞIR ÇELİK TAŞIYICI BEDEL (₺)	MODÜLER SİSTEM TAŞIYICI BEDELİ (₺)
KARS	3613399,934	3341056,534	3763662,634
YOZGAT	3582606,994	3270343,154	3661745,986
NEVŞEHİR	3554281,218	3235464,738	3646747,986
TEKİRDAĞ	3518847,666	3220291,336	3629692,386
ANTALYA	3508256,816	3213133,196	3622193,386

Kars ilinde hafif çelik taşıyıcı sistemle yapılan bir yapının toplam yapım bedeli 3.613.399,93 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Ağır çelik taşıyıcı bedel için toplam maliyet 3.341.056,53 Türk Lirası iken, modüler sistem taşıyıcı bedeli ise 3.763.662,63 Türk Lirasına ulaşmaktadır. Bu rakamlar, Kars ilinde hafif ve modüler sistemlerin yüksek maliyetler gerektirdiğini, ancak ağır çelik sistemin görece daha düşük bir maliyette sağlanabildiğini göstermektedir.

Yozgat için hafif çelik taşıyıcı sistemde toplam maliyet 3.582.606,99 Türk Lirası olarak kaydedilmiştir. Ağır çelik taşıyıcı bedel, diğer sistemlere kıyasla daha uygun maliyetle 2.586.343,15 Türk Lirasına gelirken, modüler sistem taşıyıcı bedeli ise 3.661.745,99 Türk

Lirası olarak belirlenmiştir. Yozgat özelinde, ağır çelik sistemin diğer sistemlere göre daha ekonomik bir seçenek sunduğu dikkat çekmektedir.

Nevşehir ilinde, hafif çelik taşıyıcı sistemle gerçekleştirilecek yapının toplam maliyeti 3.554.281,21 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Ağır çelik taşıyıcı bedel ise 3.235.464,74 Türk Lirası seviyesinde olup, modüler sistem taşıyıcı bedeli 3.646.747,99 Türk Lirasına ulaşmaktadır. Bu veriler, Nevşehir'de ağır çelik sistemin ekonomik açıdan daha avantajlı bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Tekirdağ ilinde hafif çelik taşıyıcı sistem maliyeti 3.518.847,67 Türk Lirası olarak hesaplanırken, ağır çelik taşıyıcı bedel 3.220.291,34 Türk Lirasıdır. Modüler sistem taşıyıcı bedeli ise 3.629.692,39 Türk Lirası olarak belirlenmiştir. Tekirdağ'da da ağır çelik sistemin, diğer seçeneklerle kıyaslandığında daha düşük maliyet sunduğu görülmektedir.

Antalya ilinde hafif çelik taşıyıcı sistem toplam maliyeti 3.508.256,82 Türk Lirasıdır. Ağır çelik taşıyıcı bedel, 3.213.133,20 Türk Lirası olup, modüler sistem taşıyıcı bedeli 3.622.193,39 Türk Lirası olarak hesaplanmıştır. Antalya'da da ağır çelik sistemi daha uygun maliyet sunarak öne çıkmakta; hafif çelik ve modüler sistem ise daha yüksek maliyet gerektirmektedir.

Bunların haricinde tasarımcı prefabrik yapıların maliyetini hesaplarken lojistik konusunu da göz ardı etmeyip taşıma maliyetlerini de göz önüne almalıdır. Prefabrik binalar üreten fabrikalarla ve lojistik hizmeti sağlayan firmalarla görüşülüp tasarımlarımız üzerinden analizler yapılıp ortalama, m2 bazında 2,4X2,65 boyutlarında açıklığı olan 13 metrelik dorseli bir tır için:

Hafif çelik taşıyıcılı bina için; çatı panelleri 360 m2/tır (Hadveli oldukları için zarar görme riskini azaltmak amacıyla ayrı gönderilmelidirler.), diğer yapı malzemeleri için de 90 m2/tır olarak hesaplanıp toplam 5,57 adet tır sonucuna ulaşılmış, toplam 6 tır gerektiği bilgisi elde edilmiştir.

Ağır çelik taşıyıcılı bina için; çatı panelleri 360 m2/tır m2/tır, diğer yapı malzemeleri için de 100 m2/tır olarak hesaplanıp toplam 6,38 adet tır sonucuna ulaşılmış, toplam 7 tır gerektiği bilgisi elde edilmiştir.

Modüler Sistem bina için; modüller için ayrıca değerlendirme yapılmıştır. 5 tip modül için toplam 76 modül göz önüne alınarak 16,5 tır sonucuna ulaşılıp, 17 adet tır gerektiği bilgisi elde edilmiştir.

Bu veriler sonucunda elde edilen tır gereksinimi bilgisiyle tasarımcı yapının üretim yerini de göz önüne alarak bir maddi sonuca ulaşabilecektir.

5. TARTIŞMA

Bu bölümde elde edilen verilen ışığında binalar için gerekli yapım malzemeleri ve işçilik maliyetleri ile beraber il bazında veriler birbirleriyle kıyaslanarak tablolaştırılmıştır.

Antalya şehri için taşıyıcı olmayan yapısal maliyet göz önüne alındığında ağır çelik taşıyıcılı yatakhane binası maliyeti 1943533,72 TL olarak hesaplanmış tüm şehirler arasında en uygun maliyetli bina olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıyıcı olmayan yapısal malzeme maliyetinin şehirlere oranla artışını daha basitçe anlayabilmek için Antalya'daki yatakhane binasının yapısal maliyetine 100X denildiğinde bindelik değişimlerin kıyaslanabileceği aşağıdaki gibi tablo ile karşılaşılmaktadır.

Çizelge 5.1. Taşıyıcı olmayan toplam maliyet karşılaştırma tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK X CİNSİ BEDEL	AĞIR ÇELİK X CİNSİ BEDEL	MODÜLER SİSTEM X CİNSİ BEDEL
KARS	123,4 X	103,6 X	110,3 X
YOZGAT	121,8 X	102,5 X	109,2 X
NEVŞEHİR	120,7 X	101,8 X	108,4 X
TEKİRDAĞ	119,1 X	100,3 X	106,9 X
ANTALYA	118,6 X	100 X	106,5 X

Kars için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 123,4 birim olarak gözlenirken, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 103,6 birim olarak belirlenmiştir. Aralarındaki fark, yaklaşık %16,06 oranında Hafif Çelik lehine daha yüksektir. Ağır Çelik X Cinsi Bedeli ile Modüler Sistem X Cinsi Bedeli karşılaştırıldığında ise ağır çelik %6,53 daha uygun maliyetlidir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem arasındaki fark ise yine %16,06 oranında olup Hafif Çelik maliyeti daha yüksektir.

Yozgat ilinde Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 121,8 birim iken, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 102,5 birim olarak gözlenmiştir. Aralarındaki %18,83'lük fark Hafif Çelik sisteminin daha yüksek maliyetli olduğunu ortaya koymaktadır. Ağır Çelik ile Modüler Sistem karşılaştırmasında ise %6,54 oranında Modüler Sistem daha maliyetlidir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem arasındaki %11,52'lik fark Hafif Çelik lehine daha yüksek bir maliyet göstermektedir.

Nevşehir'de Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 120,7 birim iken, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 101,8 birimdir. Hafif Çelik maliyetinin %18,56 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %6,48 oranında olup, Modüler Sistem daha

maliyetlidir. Hafif Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark ise %11,41 oranında olup, Hafif Çelik daha maliyetli olarak belirlenmiştir.

Tekirdağ için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 119,1 birim iken Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 100,3 birimdir ve %18,74 oranında Hafif Çelik daha yüksek maliyetlidir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %6,57 oranında Modüler Sistem lehine daha yüksek maliyet farkı sunmaktadır. Hafif Çelik ile Modüler Sistem karşılaştırmasında ise %10,28 oranında Hafif Çelik maliyeti daha yüksektir.

Antalya'da Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 118,6 birim iken, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 100 birimdir; bu fark %18,60 oranında olup, Hafif Çelik maliyeti daha yüksek belirlenmiştir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %6,5 oranında olup, Modüler Sistem daha maliyetlidir. Hafif Çelik ile Modüler Sistem arasında ise %10,21'lik bir fark görülmektedir; burada da Hafif Çelik maliyeti daha yüksektir.

Tüm şehirler içinde en uygun maliyete sahip olan şehir, özellikle düşük Ağır Çelik maliyetleri ile öne çıkan Antalya olarak belirlenmiştir. Antalya'da tüm sistemler arasında en uygun maliyetli taşıyıcı sistem Ağır Çelik Sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durum, şehrin yapı malzemeleri tedarik zincirinin güçlü olması ve bölgesel ekonomik faktörlerin maliyetleri düşürücü etkisi ile ilişkilendirilebilir. En pahalı maliyete sahip şehir ise Kars olarak tespit edilmiştir. Kars'taki yüksek taşıyıcı sistem maliyetleri, özellikle lojistik ve tedarik zinciri gibi bölgesel faktörlerin etkisiyle oluşmaktadır. Bu analiz sonuçlarına göre, Antalya en uygun maliyete sahip şehir olarak önerilebilirken, Kars maliyet açısından en yüksek seviyede dikkat edilmesi gereken bir bölge olarak değerlendirilmektedir.

Taşıyıcı yapısal maliyet göz önüne alındığında hafif çelik taşıyıcılı yatakhane binası maliyeti Tekirdağ ve Antalya için 356973,27 TL olarak hesaplanmış tüm şehirler arasında en uygun maliyetli bina olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıyıcı olan yapısal malzeme maliyetinin şehirlere oranla artışını daha basitçe anlayabilmek için Tekirdağ ve Antalya'daki yatakhane binasının yapısal maliyetine 1000X denildiğinde bindelik değişimlerin kıyaslanabileceği aşağıdaki gibi tablo ile karşılaşılmaktadır.

Çizelge 5.2. Taşıyıcı olan yapısal malzeme maliyeti karşılaştırma tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK X CİNSİ BEDEL	AĞIR ÇELİK X CİNSİ BEDEL	MODÜLER SİSTEM X CİNSİ BEDEL
KARS	1030 X	1798,2 X	2454,1 X
YOZGAT	1030 X	1660,3 X	2231,6 X
NEVŞEHİR	1010 X	1602,7 X	2231,6 X
TEKİRDAĞ	1000 X	1640,4 X	2267,8 X
ANTALYA	1000 X	1640,4 X	2267,8 X

Kars ili için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1030 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1798,2 birim olarak belirlenmiştir. Hafif Çelik ve Ağır Çelik maliyetleri arasındaki fark %74,57 oranında olup Ağır Çelik daha maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ağır Çelik ve Modüler Sistem karşılaştırmasında, Modüler Sistem maliyeti 2454,1 birim ile %36,5 oranında daha yüksektir. Hafif Çelik ile Modüler Sistem maliyetleri arasında ise %138,17 oranında bir fark olup Modüler Sistem çok daha yüksek maliyet sunmaktadır.

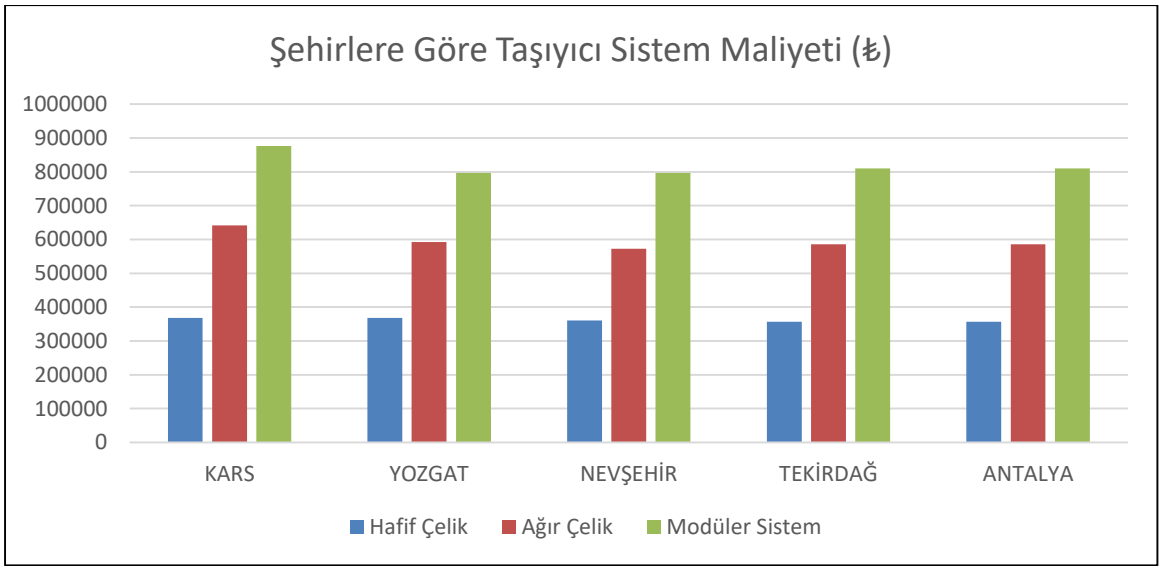
Yozgat ili için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1030 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1660,3 birimdir. Bu durumda Ağır Çelik maliyetinin %61,18 oranında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki %34,43'lük fark ise Modüler Sistem maliyetinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem karşılaştırmasında ise %116,67 oranında bir fark olup Modüler Sistem maliyeti belirgin şekilde yüksektir.

Nevşehir ilinde Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1010 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli ise 1602,7 birim olarak tespit edilmiştir. Aralarındaki fark %58,71 oranında olup Ağır Çelik lehine daha yüksek maliyetli bir yapı sistemi ortaya çıkmaktadır. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %39,24 oranında olup Modüler Sistem yine daha yüksek maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Hafif Çelik ve Modüler Sistem maliyetleri arasındaki fark ise %120,95 olup, Modüler Sistem maliyet açısından çok daha yüksektir.

Tekirdağ ilinde Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1000 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1640,4 birim olarak belirlenmiştir ve Ağır Çelik maliyeti %64,04 oranında daha yüksektir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem maliyetleri arasında %38,22 oranında bir fark olup Modüler Sistem daha maliyetli bir yapı türüdür. Hafif Çelik ve Modüler Sistem arasındaki %126,78 fark da Modüler Sistemin yüksek maliyetini ortaya koymaktadır.

Antalya'da Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1000 birim olarak belirlenmiş olup, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1640,4 birimdir. Bu durumda Ağır Çelik maliyetinin %64,04 oranında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki %38,22'lik fark yine Modüler Sistem lehine daha yüksek maliyeti ifade etmektedir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem karşılaştırmasında ise %126,78 oranında bir fark olup, bu durumda Modüler Sistem en yüksek maliyetli seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre en uygun maliyete sahip taşıyıcı sistem her ilde Hafif Çelik olarak belirlenmiştir. Hafif Çelik, özellikle Antalya ve Tekirdağ illerinde en düşük maliyetlerle öne çıkmaktadır. En pahalı maliyete sahip sistem ise her şehirde Modüler Sistem olarak tespit edilmiştir; bu durum özellikle Kars ilinde daha belirgin hale gelmektedir. Kars'ta Modüler Sistem maliyetleri, yüksek lojistik ve tedarik maliyetleri nedeniyle diğer şehirlere kıyasla belirgin şekilde yükselmektedir. Antalya ve Tekirdağ, düşük Hafif Çelik maliyetleri nedeniyle en uygun maliyetlere sahip şehirler olarak öne çıkarken, Kars ilinde yüksek taşıyıcı sistem maliyetleri nedeniyle yapısal yatırımlar açısından dikkat edilmesi gereken bir bölge olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1. Şehirlere göre taşıyıcı sistem maliyeti grafiği

Antalya şehri için yapısal maliyet göz önüne alındığında ağır çelik taşıyıcılı yatakhane binası maliyeti 2.529.133 TL olarak hesaplanmış tüm şehirler arasında en uygun maliyetli bina olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapı malzemeleri maliyetinin şehirlere oranla artışını daha basitçe anlayabilmek için Antalya'daki yatakhane binasının yapısal maliyetine 1000X denildiğinde bindelik değişimlerin kıyaslanabileceği aşağıdaki gibi tablo ile karşılaşılmaktadır.

Çizelge 5.3. Yapı elemanları toplam maliyet karşılaştırma tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK X CİNSİ BEDEL	AĞIR ÇELİK X CİNSİ BEDEL	MODÜLER SİSTEM X CİNSİ BEDEL
KARS	1094,2X	1050,5X	1194,5X
YOZGAT	1082,0X	1022,6X	1154,2X
NEVŞEHİR	1070,8X	1008,8X	1148,3X
TEKİRDAĞ	1056,8X	1002,8X	1141,5X
ANTALYA	1052,6X	1000X	1138,6X

Kars ili için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1094,2 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1050,5 birim olarak tespit edilmiştir. Hafif Çelik ile Ağır Çelik maliyetleri arasında %4,16'lık bir fark olup, Hafif Çelik maliyetinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %13,72 oranında olup, Modüler Sistem maliyetinin daha yüksek olduğu belirgin hale gelmiştir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem maliyetleri arasındaki fark ise %9,17 oranında olup, Modüler Sistem bu bağlamda maliyet açısından en yüksek değere sahiptir.

Yozgat ili için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1082,0 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1022,6 birimdir. Bu iki sistem arasında %5,81'lik bir fark olup Hafif Çelik daha maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ağır Çelik ve Modüler Sistem maliyetleri arasındaki %12,88 fark, Modüler Sistemin daha maliyetli olduğunu göstermektedir. Hafif Çelik ile Modüler Sistem karşılaştırmasında %6,68 oranında bir maliyet farkı bulunmakta olup, Modüler Sistem en yüksek maliyetli yapı elemanı türü olarak belirlenmiştir.

Nevşehir ilinde Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1070,8 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1008,8 birim olarak belirlenmiştir. Bu durumda Hafif Çelik maliyetinin %6,14 oranında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem maliyetleri arasındaki fark %13,8 olup, Modüler Sistemin en yüksek maliyete sahip yapı sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Hafif Çelik ve Modüler Sistem arasındaki fark ise %7,23 olarak bulunmuş ve bu fark da Modüler Sistemin yüksek maliyetini vurgulamaktadır.

Tekirdağ ili için Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1056,8 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1002,8 birimdir. Hafif Çelik ve Ağır Çelik maliyetleri arasındaki %5,39 oranındaki fark, Hafif Çelik maliyetinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem maliyetleri arasında %13,81 oranında bir fark olup, Modüler Sistem maliyetlerinin öne çıktığı belirlenmiştir. Hafif Çelik ve Modüler Sistem karşılaştırmasında %8,03'lük bir fark olup, Modüler Sistem yine en yüksek maliyetli yapı sistemi olarak dikkat çekmektedir.

Antalya ilinde Hafif Çelik X Cinsi Bedeli 1052,6 birim, Ağır Çelik X Cinsi Bedeli 1000 birimdir. Hafif Çelik ve Ağır Çelik maliyetleri arasında %5,26 oranında bir fark bulunmakta olup, Hafif Çelik daha maliyetli bir sistemdir. Ağır Çelik ile Modüler Sistem arasındaki fark %13,86 olup, Modüler Sistem maliyetleri bu şehirde de en yüksek maliyetli sistem olarak öne çıkmaktadır. Hafif Çelik ve Modüler Sistem maliyetleri arasındaki %8,17'lik fark, Modüler Sistemin en yüksek maliyetli yapı elemanı olduğunu göstermektedir.

Yapı elemanları toplam maliyet analizine göre en uygun maliyetli şehir Antalya olarak belirlenmiştir. Antalya'da Ağır Çelik sistem maliyetleri diğer şehirlerle kıyaslandığında en düşük seviyede olup, bu durum şehrin malzeme tedarik koşulları ve lojistik avantajları ile açıklanabilir. En yüksek maliyete sahip şehir ise Kars'tır; özellikle Hafif Çelik sistem maliyetinin diğer şehirlere göre yüksek olması, bölgenin yapısal malzeme tedariğinde karşılaştığı lojistik ve coğrafi zorluklarla ilişkilendirilebilir. Bu analiz sonucunda, Antalya'da Ağır Çelik sistem ile inşa edilen yapılar, maliyet etkinliği açısından öne çıkmaktadır.

Yapı için gerekli malzemeler ve işçilik bedeli toplamı olan yapım bedeline göre Antalya da yapılacak ağır çelik yatakhane binası en uygun maliyetli binadır ve maliyeti 1000X olarak kabul edildiğinde diğer binaların yapım bedeli kıyaslanabilecek tablo aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.4. Tüm yapım bedeli ve kıyas tablosu

ŞEHİRLER	HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM (₺)	HAFİF ÇELİK X CİNSİ BEDEL	AĞIR ÇELİK TAŞIYICI BEDEL (₺)	AĞIR ÇELİK X CİNSİ BEDEL	MODÜLER SİSTEM TAŞIYICI BEDELİ (₺)	MODÜLER SİSTEM X CİNSİ BEDEL
KARS	3613399,934	1124,5X	3341056,534	1039,8X	3763662,634	1171,3X
YOZGAT	3582606,994	1114,9X	3270343,154	1017,8X	3661745,986	1139,6X
NEVŞEHİR	3554281,218	1106,1X	3235464,738	1006,9X	3646747,986	1134,9X
TEKİRDAĞ	3518847,666	1095,1X	3220291,336	1002,2X	3629692,386	1129,6X
ANTALYA	3508256,816	1091,8X	3213133,196	1000X	3622193,386	1127,3X

Kars'ta Hafif Çelik taşıyıcılı yatakhane binası bedeli 3.613.399,93 TL ile 1124,5 birim maliyete sahiptir. Ağır Çelik taşıyıcılı bedeli 3.341.056,53 TL ile 1039,8 birim olarak belirlenmiş olup, Hafif Çelik bedelinden %8,20 oranında daha düşüktür. Modüler sistem bina bedeli bedeli ise 3.763.662,63 TL ve 1171,3 birim maliyetle diğer sistemlerden daha yüksek olup, Hafif Çelik bedeline kıyasla %4,17 ve Ağır Çelik bedeline göre %12,63 daha yüksektir. Bu verilere göre, Kars ilinde en düşük maliyetli taşıyıcı sistem Ağır Çelik iken, Modüler sistem en pahalı seçenektir.

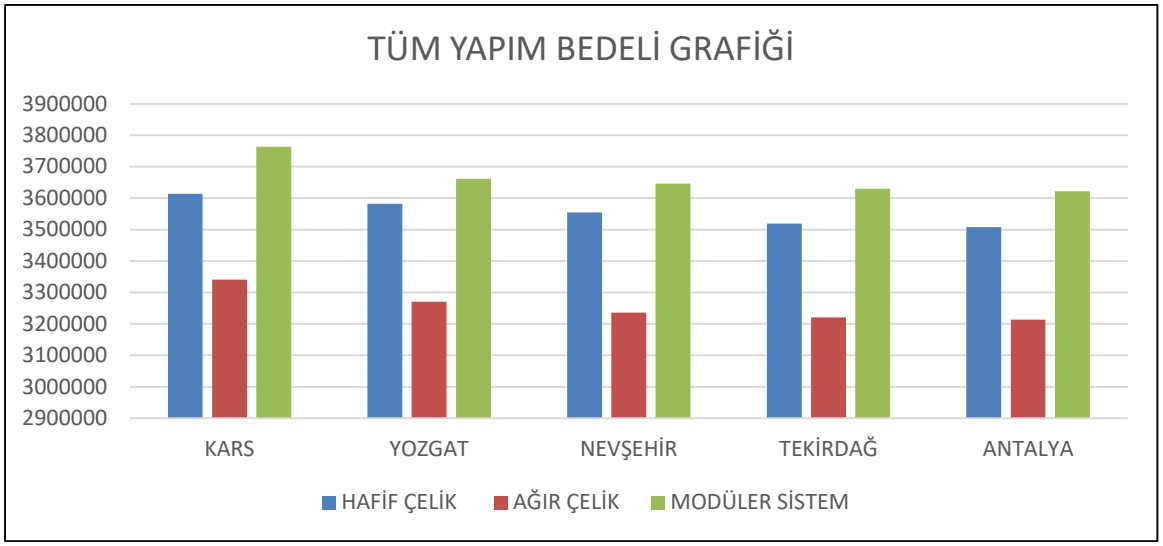
Yozgat'ta Hafif Çelik taşıyıcılı yatakhane binası bedeli 3.582.606,99 TL ve 1114,9 birim maliyetle diğer sistemlere göre yüksek bir değere sahiptir. Ağır Çelik yatakhane binası bedeli 3.270.343,15 TL olup, 1017,8 birim maliyetle Hafif Çelikten %8,69 daha düşük maliyete sahiptir. Modüler sistem taşıyıcılı yatakhane binası bedeli ise 3.661.745,99 TL ve 1139,6 birim maliyetle diğer sistemlerden daha yüksektir; Hafif Çelik sistemine göre %2,22, Ağır Çelik sistemine göre ise %11,96 daha maliyetlidir. Sonuç olarak, Yozgat ilinde en ekonomik taşıyıcı sistem Ağır Çelik olarak belirlenmiştir.

Nevşehir'de Hafif Çelik taşıyıcılı yatakhane binası bedeli 3.554.281,22 TL ve 1106,1 birim maliyetle en yüksek maliyetli sistemdir. Ağır Çelik bedeli ise 3.235.464,74 TL ve 1006,9 birim maliyetle Hafif Çelikten %8,98 oranında daha düşüktür. Modüler sistem taşıyıcı bedeli 3.646.747,99 TL ve 1134,9 birim maliyetle diğer sistemlere göre en yüksek maliyetlidir; Hafif Çelik bedeline göre %2,60, Ağır Çelik bedeline göre %11,31 oranında daha pahalıdır. Bu bağlamda Nevşehir'de en uygun maliyetli taşıyıcı sistem Ağır Çelik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tekirdağ'da Hafif Çelik taşıyıcı sistemin bedeli 3.518.847,67 TL olup, 1095,1 birim maliyete sahiptir. Ağır Çelik taşıyıcılı binanın bedeli ise 3.220.291,34 TL ve 1002,2 birim maliyetle %8,49 oranında daha düşüktür. Modüler sistemin bedeli 3.629.692,39 TL ile 1129,6 birim maliyete sahiptir; Hafif Çelik yatakhane binası bedeline kıyasla %3,14 ve Ağır Çelik bedeline göre %11,29 oranında daha yüksektir. Bu analiz sonucunda, Tekirdağ'da en düşük maliyetli sistem Ağır Çelik olarak belirlenmiştir.

Antalya'da Hafif Çelik taşıyıcı sistem bedeli 3.508.256,82 TL olup 1091,8 birim maliyete sahiptir. Ağır Çelik bedeli 3.213.133,20 TL ve 1000 birim olarak belirlenmiştir, bu da Hafif Çelik bedelinden %8,39 oranında daha düşüktür. Modüler sistem bedeli ise 3.622.193,39 TL ve 1127,3 birim maliyete sahip olup, Hafif Çelik bedeline göre %3,25, Ağır Çelik bedeline göre %12,73 oranında daha yüksektir. Antalya'da en düşük maliyetli taşıyıcı sistem Ağır Çelik olarak tespit edilmiştir.

Bu analiz sonucunda, taşıyıcı sistemler maliyetlerinde en uygun maliyetli şehir Antalya olarak belirlenmiştir. Antalya'da Ağır Çelik taşıyıcılı sistemin bedeli diğer şehirlerle kıyaslandığında en düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Coğrafi avantajları ve lojistik maliyetlerin düşüklüğü, bu sonucu etkileyen başlıca faktörlerdir. Öte yandan, en yüksek maliyet Kars ilinde Modüler Sistem seçeneği ile ortaya çıkmıştır; Kars'ın zor iklim şartları göz önüne alındığında özellikle ağır yapı sistemlerinde maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.2. Tüm yapım bedeli grafiği

5.1. Aynı İklim Bölgesi İçin En Optimum Maliyete Yönelik Değerlendirme

En maliyet etkin çözümün belirlenmesi için ana değişkenlerden birinin; yapılacak şehrin ya da yapım tipinin belirlenmesi gerekir. Eğer şehir belliyse en maliyet etkin çözüm ağır çelik, hafif çelik veya modüler sistemden seçilebilir veya yapım tipi müşteri tercihine göre belliyse en maliyet etkin şehir ortaya koyulabilir.

Belirli bir iklim bölgesinde yer alan farklı şehirlerde çeşitli taşıyıcı sistemlerin (Hafif Çelik, Ağır Çelik ve Modüler Sistem) maliyet performansları kıyaslanarak, en uygun maliyetli çözümün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, tüm şehirler aynı iklim koşullarına tabi tutulmuş; coğrafi ve lojistik özelliklerin maliyet üzerindeki etkileri şehir bazında incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, taşıyıcı sistemlerin maliyetleri şehir bazında anlamlı bir değişiklik göstermiştir. Örneğin, Antalya ve Tekirdağ gibi lojistik imkanların daha elverişli olduğu şehirlerde Ağır Çelik taşıyıcı sistemi en uygun maliyetli seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemin düşük maliyetli olması, malzeme temini ve nakliye avantajları ile ilişkilendirilmiştir. Ağır Çelik taşıyıcı sisteminin söz konusu şehirlerde düşük maliyetli bir seçenek olarak belirlenmesi, iklim bölgesindeki benzer niteliklere sahip diğer şehirler için de bu sistemin maliyet-etkin bir çözüm olabileceğini göstermektedir.

Öte yandan, Kars gibi iklim koşullarının daha sert olduğu ve lojistik zorlukların belirginleştiği bölgelerde Modüler sistem taşıyıcı sistem maliyetinin, diğer şehirlerle kıyaslandığında yüksek

olduğu görülmüştür. Bu durum, zorlu iklimsel şartlar ve bölgesel lojistik kısıtlamalar da düşünüldüğünde , modüler sistemler gibi kompleks yapısal çözümler üzerinde maliyet artırıcı bir etkisi olduğunu işaret etmektedir. Aynı iklim bölgesinde, ancak ulaşım açısından farklı özelliklere sahip bu tür şehirler için daha basit ve ulaşılabilir malzemelerden oluşan taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesinin, maliyet optimizasyonu açısından daha faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, aynı iklim bölgesi içinde en optimum maliyeti sağlayan çözüm olarak Ağır Çelik sistemi öne çıkmaktadır. Bu sistem, malzeme dayanıklılığı ve uygun maliyet kombinasyonu ile iklim şartlarına karşı dirençli ve ekonomik bir seçenek sunmaktadır. Bölgesel lojistik avantajlar, bu seçeneğin tercih edilmesini daha da cazip hale getirmektedir. Ancak, lojistik maliyetlerin yüksek olduğu veya altyapı olanaklarının sınırlı olduğu şehirlerde Hafif Çelik sistemlerin değerlendirilmesi de sürdürülebilir maliyet yönetimi açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, optimum maliyetin sağlanabilmesi için, yapı malzemesi seçiminde iklim koşullarının yanı sıra, lojistik ve ulaşım faktörlerinin de dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

5.2. Aynı Yapım Yöntemi İçin İklim Bölgesi Değişimine Yönelik Değerlendirme

Taşıyıcı sistemlerin farklı iklim koşullarındaki maliyet performanslarını kıyaslayarak en uygun maliyetli çözümü belirlemeyi amaçlayan bu çalışma kapsamında, Hafif Çelik, Ağır Çelik ve Modüler Sistem'in her birinin çeşitli şehirlerdeki maliyetleri, bölgesel iklim şartlarının etkileri doğrultusunda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapı maliyetleri üzerindeki iklim değişkenlerinin etkisini daha net ortaya koymak amacıyla, şehirlerin coğrafi ve lojistik özellikleri analizde temel bir değişken olarak değerlendirilmiştir.

Hafif çelik sistemlerde, Antalya ve Tekirdağ gibi ılıman iklim koşullarına sahip bölgelerde toplam yapım maliyetlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu şehirlerdeki uygun lojistik imkanlar, yapı malzemelerinin teminini kolaylaştırmakta ve nakliye maliyetlerini azaltmaktadır. Buna karşın, Kars gibi daha sert iklim koşullarına sahip bölgelerde, hafif çelik sistemlerin maliyetlerinin göreceli olarak yüksek olduğu saptanmıştır. Sert iklim, yapı elemanlarının dayanıklılık gereksinimlerini artırarak maliyetlerde artışa yol açabilmektedir. Bu durum, hafif çelik sistemlerin ılıman iklim bölgelerinde daha ekonomik bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Ağır çelik taşıyıcı sistemlerin kullanıldığı yapılarda da iklim değişiminin belirgin etkileri mevcuttur. Tekirdağ ve Antalya gibi ulaşımı kolay, iklim koşulları hafif olan bölgelerde ağır çelik

maliyetlerinin daha düşük olduğu, bunun aksine sert iklim bölgelerinde, özellikle kış aylarının yoğun olduğu yerlerde maliyetlerin yükseldiği tespit edilmiştir. Bu artış, ağır çelik elemanların özellikle sıcaklık değişimlerine ve korozyon etkilerine dayanıklılık gereksinimlerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, ağır çelik yapım yöntemi de lojistik imkanların güçlü olduğu, iklimin nispeten hafif seyrettiği bölgelerde daha uygun maliyet sunmaktadır.

Modüler sistemlerde, iklim ve lojistik değişkenlerinin maliyetler üzerindeki etkisi diğer sistemlere göre daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle Kars gibi erişimi daha zor, soğuk iklim bölgelerinde, modüler sistem elemanlarının taşınması ve kurulumu sırasında yüksek maliyetlerle karşılaşılmaktadır. Ilıman iklimlerde modüler sistemin maliyetleri görece düşükken, sert iklim bölgelerinde hem nakliye sürecinin zorluğu hem de elemanların iklim dayanıklılığını artırma gerekliliği maliyetleri artırmaktadır. Modüler sistemlerin, daha kolay erişilebilen ve iklimsel dayanıklılık gereksinimlerinin düşük olduğu bölgelerde daha ekonomik bir çözüm sunduğu anlaşılmaktadır.

Bu analiz doğrultusunda, iklim bölgesi değişimine yönelik değerlendirme sonuçları, yapıların maliyet etkinliğini artırmak amacıyla taşıyıcı sistem tercihinin bulunduğu coğrafi bölgeye ve iklim koşullarına uygun olarak yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Hafif çelik sistemlerin ılıman iklim bölgelerinde, ağır çelik ve modüler sistemlerin ise erişim kolaylığı sunan bölgelerde daha ekonomik çözümler sunduğu saptanmıştır. İklim ve lojistik özellikler göz önünde bulundurularak, yapı sistemleri seçiminin optimize edilmesi ile proje maliyetleri düşürülebilir ve kaynak kullanımı etkinleştirilebilir.

Çalışmada, farklı taşıyıcı sistemler ve şehirler arası maliyet analizleri yapılmış, çeşitli malzeme ve yapım tiplerine göre maliyet avantajları değerlendirilmiştir. Analizlerde, strüktür türleri ve inşaat süreçleri için ilgili maliyetler incelenmiş olup, her şehirde öne çıkan en uygun maliyetli yapım türleri belirlenmiştir. Kullanılan yöntem kapsamında, maliyet hesaplamaları hafif çelik, ağır çelik ve modüler sistemlerin her biri için belirli şehirlerde tek tek ele alınmış; her bir taşıyıcı sistem ve malzeme çeşidi açısından ortaya çıkan maliyetler detaylı olarak karşılaştırılmıştır. Her yapı tipine ilişkin toplam yapım bedelleri ve işçilik maliyetleri, taşıyıcı sistem seçiminin ve yerel piyasa koşullarının maliyet üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, analizler farklı strüktür tiplerinin ekonomik avantajlarını ve bölgesel maliyet değişimlerini değerlendirmemize olanak tanımıştır.

Analiz sonuçlarına göre, taşıyıcı sistemler içinde en uygun maliyetli olan seçenek, Antalya ve Tekirdağ illerinde kullanılan ağır çelik taşıyıcı sistemdir. Bu durum, ağır çelik sistemin yerel zemin koşulları, işçilik gereksinimleri gibi faktörlerden olumlu etkilenmesi ile açıklanabilir. Ağır çelik sistem, hafif çelik ve modüler sistemlere kıyasla daha düşük maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmış olup, özellikle Antalya ilinde, tüm analizler arasında en düşük maliyetli yapı oluşturulmuştur. Bu durum, Antalya'da ağır çelik sistem ile yapılan binaların bölgesel koşullara uyum sağlayarak daha ekonomik bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Bunun yanı sıra, strüktür haricindeki yapı malzemeleri maliyetleri açısından da ağır çelik taşıyıcı sistemin diğer sistemlere göre daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Hafif çelik ve modüler sistemler, bu alanda daha yüksek maliyet gerektirirken, özellikle Antalya ilinde ağır çelik taşıyıcı sistem ile inşa edilen yapıların toplam yapım bedelinde maliyet avantajı sağladığı görülmüştür. Bu durum, Antalya'da ağır çelik sistem ile oluşturulan yapıların, malzeme maliyeti açısından da optimum çözüm sunduğunu işaret etmektedir.

Modüler sistem, analizler doğrultusunda en yüksek yapım maliyetine sahip sistem olarak tespit edilmiştir. Bu maliyet, özellikle Kars şehrinde diğer yapım sistemlerine kıyasla daha belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır. Modüler sistemin Kars gibi iklimsel ve lojistik zorlukların yoğun olduğu bir bölgede uygulanması, yerel şartlara uyum sağlama açısından maliyet üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta; işçilik ve malzeme nakliyesi gibi ek maliyetler dolayısıyla ekonomik açıdan tercih edilmeyen bir seçenek haline gelmektedir.

Analiz sonuçları Antalya ilinde ağır çelik taşıyıcı sistem ile yapılan bir binanın, tüm maliyet kalemleri göz önünde bulundurulduğunda en uygun maliyetli yapı tipi olduğunu ortaya koymaktadır. Antalya'da ağır çelik sistem ile inşa edilen yapı, gerek taşıyıcı gerekse strüktür dışı malzeme maliyetleri açısından diğer seçeneklere göre en avantajlı çözüm olarak öne çıkmıştır. Bu durum, bölgesel piyasa koşulları ve inşaat süreçlerinin maliyet üzerindeki etkilerini vurgulamakta; farklı taşıyıcı sistemlerin şehirler arası değişen maliyet performanslarının mimari ve inşaat planlamasında dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yapılan karşılaştırmalı analiz, farklı şehirlerdeki taşıyıcı sistemlerin maliyet performanslarını kıyaslamak amacıyla sistematik bir yaklaşım benimsemiştir. Bu analizde, Hafif Çelik, Ağır Çelik ve Modüler Sistemlerin her birinin, belirli şehirlerdeki yapı maliyetleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı analizde kullanılan yöntem, her şehirdeki taşıyıcı

sistemlerin strüktür maliyetleri ile birlikte, strüktür dışındaki yapı malzemelerinin maliyetlerini ele alarak, iklimsel ve coğrafi faktörlerin yapı ekonomisine nasıl etki ettiğini analiz etmek üzerine odaklanmıştır. Bu kapsamda, her bir taşıyıcı sistemin ve şehrin maliyet profilinin belirgin farklar gösterdiği, özellikle iklimsel koşulların yapı maliyetlerine olan etkilerinin büyük bir rol oynadığı görülmüştür.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, Antalya ve Tekirdağ şehirleri, en uygun maliyetli taşıyıcı sistemleri barındıran şehirler olarak öne çıkmıştır. Her iki şehirde de Ağır Çelik Sistem tercih edildiğinde, taşıyıcı sistemin toplam maliyeti, diğer şehirlerden daha düşük seviyelere ulaşmış ve bu, her iki şehirdeki iklimsel koşulların, bu sistemin ekonomik açıdan avantajlı olmasına olanak sağladığını göstermektedir. Bu bulgular, Antalya ve Tekirdağ'ın, Ağır Çelik yapı sisteminin performansının en yüksek olduğu şehirler olduğunu ortaya koymuştur.

Bununla birlikte, analizde dikkat çeken bir diğer önemli bulgu, strüktür haricindeki yapı malzemelerinin maliyetlerinin en düşük olduğu taşıyıcı sistemin Ağır Çelik olduğu ve bu durumun Antalya şehri için geçerli olduğudur. Antalya'nın iklimsel koşulları, Ağır Çelik Sistemi'nin ekonomik açıdan avantajlı hale gelmesine olanak sağladığı söylenebilir. Antalya'da, strüktür dışı malzemeler, diğer şehirlerdeki benzer yapı sistemlerine göre daha düşük maliyetlere sahip olmuştur.

Diğer yandan, Modüler Sistem, Kars şehri için en pahalı strüktür maliyetini ortaya çıkarmıştır. Bu durum, Kars'ın coğrafi ve lojistik zorlukları, özellikle taşıma ve montaj maliyetlerinin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Modüler sistemin Kars'taki yüksek maliyeti, şehirdeki iklimsel koşullarla birleştiğinde, bu yapım yönteminin bu şehirde daha pahalı olmasına neden olmuştur. Bu bulgu, Modüler Sistem'in taşıma ve montaj süreçlerinde karşılaşılan zorlukların maliyetleri artırdığını göstermektedir.

Genel olarak, yapılan analizde en uygun maliyetli bina, Antalya'da yapılan Ağır Çelik yapısı olarak belirlenmiştir. Antalya'daki yapı, hem taşıyıcı sistem hem de strüktür dışı malzemeler bakımından daha düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Özetle, analiz sonuçları, yapı sistemlerinin seçilmesinde sadece taşıyıcı sistemlerin değil, aynı zamanda şehirlerin iklimsel koşullarının da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bulgular, inşaat maliyetlerinin optimize edilmesinde önemli bir rehberlik sunmaktadır.

6. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin farklı bölgelerinde uygulanan üç temel taşıyıcı sistemin maliyet analizleri gerçekleştirilmiş; şehirler bazında maliyet etkinliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Hafif çelik, ağır çelik ve modüler taşıyıcı sistemler, işçilik bedelleri, yapı elemanlarının maliyetleri ve strüktür dışı yapı bileşenlerinin giderleri gibi ana maliyet unsurları doğrultusunda detaylandırılmış ve her şehir özelinde ayrıntılı bir analiz çerçevesinde incelenmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem, maliyetlerin yapı bileşenlerine ve bölgesel farklılıklara göre dağılımını derinlemesine ortaya koymuş, taşıyıcı sistem seçiminde yerel maliyet avantajlarının önemini vurgulamıştır. Bu kapsamda ele alınan analiz yöntemi, maliyet unsurlarının kapsamlı bir değerlendirmesini yaparak bölgesel şartlara dayalı optimum yapı çözümleri sunmayı amaçlamıştır.

Çalışma neticesinde, taşıyıcı sistem maliyetleri açısından en uygun çözümün Antalya ve Tekirdağ illerinde ağır çelik taşıyıcı sistem kullanımıyla elde edilebildiği saptanmıştır. Ağır çelik taşıyıcı sistem, hafif çelik ve modüler sistemlere göre daha düşük maliyetli bir seçenek olarak öne çıkmış, bu şehirlerdeki toplam yapım bedelini minimize etmiştir. Antalya ili, gerek strüktür haricindeki yapı bileşenleri maliyetinde gerekse taşıyıcı sistem maliyetlerinde en uygun sonuçları vermiştir. Bu bulgu, taşıyıcı sistem seçiminde bölgesel maliyet faktörlerinin dikkate alınmasının yapı projelerinin toplam maliyet etkinliği üzerinde kritik bir etki yaratabileceğini ortaya koymaktadır.

Modüler sistem taşıyıcı yapılar, maliyet açısından en yüksek düzeye Kars ilinde ulaşmış olup, lojistik ve bölgesel uygulama zorluklarından kaynaklanan ek maliyetler nedeniyle bu şehirde daha az avantajlı bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Modüler sistemin Kars gibi bölgelerde yüksek maliyet oluşturması, bu tür yapı çözümlerinin her bölge için uygun ekonomik sonuç vermeyebileceğine işaret etmektedir. Bu durum, yerel ekonomik parametrelerin yapı sistem seçiminde dikkate alınması gerektiğini ve her bölge için özelleştirilmiş maliyet analizlerinin yapılmasının önemini vurgulamaktadır.

Genel maliyet açısından en uygun bina Antalya ilinde inşa edilen ağır çelik taşıyıcı sistemli yapı olarak belirlenmiştir. Bu durum, ağır çelik sistemlerin belirli bölgelerde daha yüksek maliyet avantajı sağlayabileceğini, dolayısıyla taşıyıcı sistem tercihinde bölgeye özgü maliyet unsurlarının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Çalışmanın sonuçları,

mimari projelerde taşıyıcı sistem seçiminin yalnızca teknik faktörlere dayandırılmaması gerektiğini; aynı zamanda bölgesel maliyet bileşenlerinin ve lojistik koşulların analiz edilmesinin yapısal maliyet etkinliği açısından elzem olduğunu göstermiştir.

Yapılan karşılaştırmalı analiz, farklı şehirlerdeki taşıyıcı sistemlerin maliyetlerini değerlendirmek amacıyla sistematik bir yaklaşım benimsemiştir. Bu analizde, Hafif Çelik, Ağır Çelik ve Modüler Sistemlerin her birinin, belirli şehirlerdeki strüktür maliyetleri ile birlikte, strüktür dışı yapı malzemelerinin maliyetleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Analiz, şehirlerin iklimsel ve coğrafi faktörlerinin, her bir taşıyıcı sistemin maliyet performansı üzerindeki etkilerini incelemeye odaklanmış ve bu kapsamda maliyetlerin optimizasyonu için bir kıyaslama yapılmıştır.

Sonuçlar doğrultusunda, Antalya ve Tekirdağ şehirleri, en uygun maliyetli taşıyıcı sistemlerin ortaya çıktığı şehirler olarak belirlenmiştir. Hem Ağır Çelik hem de diğer taşıyıcı sistemlerin maliyetlerinin karşılaştırılması, bu şehirlerde daha düşük bir yapı maliyeti sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, analizde en düşük strüktür haricindeki yapı malzemeleri maliyetinin Ağır Çelik Sistemi için olduğu ve bu durumun özellikle Antalya şehri için geçerli olduğu vurgulanmıştır. Antalya'nın coğrafi ve iklimsel koşullarının, bu taşıyıcı sistemin daha ekonomik olmasına olanak sağladığı gözlemlenmiştir.

Buna karşın, en pahalı strüktür maliyetinin Modüler Sistem için Kars şehrinde ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Kars'ın coğrafi zorlukları ve lojistik altyapısının, Modüler Sistem'in maliyetlerini artırdığı anlaşılmaktadır. Bu bulgu, Modüler Sistemin taşıma ve montaj süreçlerindeki zorlukların, sistemin maliyetini Kars şehri özelinde yükselttiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, yapılan analiz, en uygun maliyetli binanın Antalya’da inşa edilen Ağır Çelik yapı olduğunu ortaya koymuştur. Antalya'nın coğrafi avantajları, iklimsel koşulları ve lojistik kolaylıkları, Ağır Çelik Sistemi’nin maliyet açısından en avantajlı çözüm olmasına katkı sağlamıştır. Bu bulgular, taşıyıcı sistemlerin seçimi ve yapı maliyetlerinin optimizasyonunda, şehrin iklimsel ve coğrafi özelliklerinin dikkate alınmasının önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

KAYNAKLAR

Aksoy, M. Ö. (1994). *Prefabrike konut üretiminde kullanılan beton bünyeli panoların üretim depolama taşıma ve montaj süreçlerinde boyutlarına gelen kısıtlamaların incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aksu, M. ve Güven, M. (2020). Prefabrik çelik yapıların avantajları ve kullanım alanları. *İnşaat ve Yapı Dergisi*, 12(3), 45-59.

Alptekin, E. (2017). Hafif çelik yapı sistemlerinin inşaat sektöründeki yeri ve önemi. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 12(3), 55-62.

Arslan, K. (2022a). Prefabrik çelik yapıların dayanıklılığı: Yük taşıma kapasitesi ve tasarım parametreleri. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 30(3), 107-115.

Arslan, K. (2022b). Rüzgar yüklerinin modüler çelik yapılara etkisi ve tasarım ilkeleri. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 32(1), 92-99.

Arslan, K., ve Demirtaş, M. (2020). Ağır çelik sistemlerin geniş alan uygulamalarında kullanımı: Türkiye örneği. *Endüstriyel Yapılar Dergisi*, 15(3), 137-144.

Arslan, M. ve Yıldız, H. (2021). Yangın güvenliği önlemlerinin maliyet analizi. *İnşaat Maliyetleri ve Yönetimi Dergisi*, 33(1), 58-64.

Aydemir, B. (2005). *Prefabrike betonarme iskelet sistemlerle inşa edilen endüstri yapılarında prefabrike döşeme bileşenlerinin yük ve açıklık kriterleri açısından irdelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ayhan, B. ve Yılmaz, A. (2018). *Çelik yapıların tasarımı ve uygulamaları*. (1. Baskı). İstanbul: İTÜ Yayınları, 108.

Bazeos, N., and Beskos, D. (2021). *Structural design of steel buildings*. (4th Edition). Amsterdam: Springer, 255.

Bekiroğlu, D. (2006). *Prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımı, onarım ve güçlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Blismas, N., and Wakefield, R. (2009). Drivers, constraints and the future of off-site manufacture in Australia. *Construction Innovation: Information Process Management*, 9(1), 72–83.

Boyd, N., Khalfan, M. M. A., and Maqsood, T. (2012). Off-site construction of apartment buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 19(1), 51–57.

Brown, J., and Wilson, P. (2019). *Fire safety and steel structures: A comprehensive guide*. (2th Edition). Oxford: Oxford University Press, 112.

Brown, T., and Stewart, J. (2019). *Sustainable modular construction: Reuse and recycling in the building industry*. (3th Edition). New York: Routledge, 156.

Cameron, J., and Williams, T. (2020). Lightweight steel framing: Characteristics, advantages, and applications. *Construction Innovation Journal*, 25(4), 90-102.

Cameron, R. (2020). *Cost efficiency in modular construction: An overview of practices and challenges*. (4th Edition). Amsterdam: Springer, 257.

Cameron, R. (2021). *Energy-efficient modular steel buildings: Sustainable solutions*. (2th Edition). Amsterdam: Springer, 111.

Cheng, Y., and Wang, L. (2020). The role of modular construction in enhancing sustainability in building design. *International Journal of Environmental Engineering*, 18(2), 105-118.

Çalışkan, T. ve Yılmaz, A. (2019). Türkiye'nin rüzgar hızlarına göre çelik yapı tasarımı. *Yapısal Tasarım ve Analiz Dergisi*, 30(1), 73-81.

Çelik, B. ve Kaya, R. (2020). Yangın dayanıklılığını artıran kaplama malzemeleri. *İnşaat Teknolojileri ve Güvenliği Dergisi*, 22(1), 67-75.

Çelik, M. ve Taş, E. (2020). Çelik yapıların statik ve dinamik yükler altında taşıma kapasitesi. *Mühendislik ve Yapı Dergisi*, 24(2), 89-96.

Çelik, Y. ve Özdemir, M. (2021). Endüstriyel yapım sistemlerinin gelişimi ve Avrupa'daki yeniden yapılanma süreci üzerine. *Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 15(2), 89-102.

Çetinkaya, N. (2007). *Prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışının deneysel olarak incelenmesi.* Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Çolak, A. ve Güner, M. (2019). Prefabrik çelik yapılar ve avantajları. *Yapı Dergisi*, 15(2), 23-31.

Dehghan, R., Ghahremani, H., and Sarvestani, M. (2021). *Modular construction techniques and sustainable building design*. (1th Edition). London: Taylor & Francis, 118.

Demir, B. ve Ersoy, T. (2019). Çelik yapı sistemlerinde maliyet ve enerji verimliliği. *Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 13(2), 56-69.

Demirtaş, A. ve Şen, B. (2019). Türkiye'de prefabrik yapıların gelişimi ve çelik yapı sistemlerinin önemi. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 27(4), 203-212.

Doğan, M. (2020). Prefabrik çelik yapıların tasarımı ve yapısal performansı. *Yapı ve İnşaat Dergisi*, 15(2), 122-130.

Erdem, B. (2018). Ağır çelik sistemlerin maliyet analizi ve uzun vadeli avantajları. *Çelik Yapılar ve Ekonomi Dergisi*, 9(2), 66-75.

Eren, F. ve Kılıç, M. (2020). Prefabrik çelik yapıların iklime uygun tasarımı ve dayanıklılık analizleri. *Yapı ve Tasarım Dergisi*, 29(3), 61-68.

Ergün, A. ve Akın, M. (2021). Dinamik yüklerin hesaplanması ve çelik yapıların sismik tasarımı. *Yapısal Mühendislik Dergisi*, 25(3), 77-85.

Eriksson, P. (2003). *Wood components in steel and concrete buildings – In-fill exterior wall panels.* Project No. 02077, Nordic Timber Council, Sweeden, 256.

Ersoy, A. ve Köse, F. (2020). Prefabrik çelik yapıların yangın güvenliği tedbirleri. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 14(3), 131-139.

Farnsworth, C., Warr, R., Weidman, J., and Mark Hutchings, D. (2015). Effects of CM/GC project delivery on managing process risk in transportation construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(3), 04015091.

Garza, L. (2018). *Steel structures in different climates*. (1th Edition). New York: Springer, 157.

Goodier, C. I., and Gibb, A. G. F. (2007). Future opportunities for offsite in the UK. *Construction Management and Economics*, 25(6), 585-595.

Gök, E. ve Öztürk, T. (2019). Sürdürülebilir yapı malzemeleri: Çelik yapılar ve çevresel etkileri. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 7(1), 34-41.

Gönül, H. ve Demirel, F. (2003). Prefabrike endüstri yapıları üzerine bir alan araştırması: Diyarbakır Birinci Organize Sanayi Bölgesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 18(1), 169-184.

Güler, B. ve Demir, H. (2021). Modüler yapılar ve çevresel sürdürülebilirlik. *Çevre ve Yapı Bilimleri Dergisi*, 24(1), 79-91.

Güler, E. ve Şahin, D. (2022). Yangın risk değerlendirmesi ve güvenlik önlemleri. *Yangın Güvenliği ve Yönetimi Dergisi*, 19(4), 103-110.

Güler, H. (2021). Hafif çelik yapıların ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Yapı Fiziği ve Malzeme Dergisi*, 13(2), 64-71.

Gültekin, R. (2019). Deprem bölgesinde prefabrik çelik yapıların avantajları. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 98-107.

Güven, T. (2021). Çelik yapıların yangına karşı dayanıklılığı. *Yapı Mühendisliği Dergisi*, 18(3), 45-52.

Huang, X., Zhang, Y., and Li, J. (2020). *Fire safety in steel constructions: Methods and applications*. (2th Edition). New York: Springer, 176.

Hudson, R. (2018). *Design for durability in steel structures: Regional climate considerations*. (4th Edition). Switzerland: Elsevier, 356.

İnternet: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik. (2016). *_T.C. Resmi Gazete_*, Sayı:29614. Web: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/02/20160204-2.htm, Son Erişim Tarihi: 22.06.2024.

İnternet: Gold, R. (2012, February 8). Oil and gas boom lifts U.S. economy. *The Wall Street Journal*. Web: http://www.wsj.com/articles/SB10001424052970204652904577195303471199234 Son Erişim Tarihi: 18.08.2024.

İnternet: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). *_T.C. Resmi Gazete_*, Sayı:30364. Web: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm, Son Erişim Tarihi: 18.06.2024.

İnternet: Laing, O. R. (2015). Modular plant room. Web: https://www.laingorourke.com/engineering-the-future/digital-engineering-2/eej/influence-on-the-supply-chain.aspx Son Erişim Tarihi: 29.08.2024.

İnternet: Steinhardt, D. A., Manley, K., and Miller, W. (2013). Profiling the nature and context of the Australian prefabricated housing industry. Project: 27/11/13, ARC. Web: https://eprints.qut.edu.au/216490/1/nature-and-context-australian-prefabricated-housing.pdf Son Erişim Tarihi: 29.09.2024.

İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). Türkiye'de ekonomik büyüme ve inşaat sektörü verileri. Web: http://www.tuik.gov.tr/ Son Erişim Tarihi: 22.10.2024.

İrban M. ve Fenkli M. (2022). Çelik prefabrik yapılarda sürdürülebilirlik. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi,* 6(1), 26-31.

Johnson, M. (2018). *Dynamic loads and their influence on building design*. (4th Edition). New York: Wiley, 356.

Johnson, R., and Reeves, T. (2017). *Fire safety design: Systems and strategies*. (9th Edition). Amsterdam: Elsevier, 166.

Johnson, T., and Lee, R. (2020). *Environmental considerations in steel construction*. (7th Edition). New York: Wiley, 157.

Jones, J., and Williams, M. (2020). *Sustainable building materials: Innovation and challenges*. (6th Edition). New York: Wiley, 222.

Jones, L., and Thompson, R. (2019). Thermal and acoustic insulation performance of lightweight steel systems. *International Journal of Building Science and Engineering*, 27(4), 187-198.

Jones, L., and Thompson, R. (2020). *Sustainable construction methods in emerging economies*. (2th Edition). London: Routledge, 323.

Jones, P., and Riley, T. (2021). Environmental impact reduction through heavy steel system applications. *Sustainable Construction Journal*, 18(3), 145-158.

Jonsson, R. (2009). *Prospects for timber frame in multi-storey house building in England, France, Germany, Ireland, the Netherlands and Sweden.* Växjö, Sweden: School of Technology and Design, Växjö University, 426.

Kara, M. (2020). Ağır çelik sistemlerin yapısal avantajları ve uygulama alanları. *Çelik Yapı Teknolojileri Dergisi*, 18(2), 104-115.

Kaya, E. ve Demir, M. (2021). İklim koşullarının prefabrik çelik yapılar üzerindeki etkileri. *İnşaat Teknolojileri Dergisi*, 17(4), 115-123.

Kaya, M. ve Demir, Z. (2018). Prefabrik çelik yapıların konut sektöründe kullanımı. *Yapı Teknolojisi Dergisi*, 12(2), 45-53.

Kelleher, S. (2020). Thermal performance of steel structures in modern buildings. *Building Research Journal*, 28(4), 210-223.

Kelly, A. (2014). *Prefabricated Metal Building Manufacturing in Australia* (Industry Report C2222), Melbourne, 172.

Knaack, U., Chung-Klatte, S., and Hasselbach, R. (2012). *Prefabricated systems-principles of construction.* (4th Edition). Birkhäuser: Basel, 456.

Korkmaz, S. (2019). Statik yüklerin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ve çelik yapılar üzerindeki etkileri. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 18(2), 54-63.

Lee, J., and Thompson, H. (2019). *Climate effects on steel structures: Durability and performance*. (7th Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 228.

López, J., and Fernández, P. (2019). *Energy efficiency in steel buildings*. (1th Edition). London: Springer, 127.

McBride, L. (2018). *Advanced fire protection in structural design*. (2th Edition). New York: Wiley, 320.

Morgan, R. (2020). *Wind forces and steel structures in coastal regions*. (8th Edition). London: Taylor & Francis, 476.

Of, N. (2021). *Depremlerden sonraki yeniden yapılanma sürecinde çelik prefabrik malzeme kullanımının gerekliliği üzerine küresel bir araştırma.* Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

Oliver, R. (2021). *Steel structures under dynamic loading*. (4th Edition). London: Routledge, 323.

Özkan, B. (2019a). Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda prefabrik çelik yapı tasarımı. *Sürdürülebilir Yapılar Dergisi*, 22(1), 56-65.

Özkan, B. (2019b). Çevresel sürdürülebilirlik açısından ağır çelik yapıların geri dönüşüm potansiyeli. *Yeşil Yapılar ve Çevre Dergisi*, 14(2), 79-86.

Özkan, S. ve Arslan, Y. (2020). Karadeniz bölgesinde nem etkisi ve çelik yapıların korunması. *Yapı Mühendisliği Dergisi*, 21(2), 34-41.

Öztürk, M. (2020). Modüler yapıların Türkiye'deki uygulamaları ve avantajları. *Yapı Teknolojileri Dergisi*, 28(2), 89-97.

Öztürk, M. ve Aydın, S. (2020). Çelik yapıların modüler inşaatta kullanımı. *İnşaat Teknolojileri Dergisi*, 14(3), 45-59.

Öztürk, N. ve Demir, A. (2019). Yangın güvenliği tedbirleri ve bina yönetmelikleri. *Yapı Güvenliği Dergisi*, 25(2), 83-91.

Öztürk, S. ve Demirci, A. (2018). Hafif çelik sistemlerin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kriterleri açısından değerlendirilmesi. *Yeşil Yapı Teknolojileri Dergisi*, 10(3), 112-118.

Öztürk, V. (2010). *Çelik prefabrik yapı sistemlerinin imalatı, montajı, yalıtım usulleri ve maliyet analizi ile uygun kaplamanın belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Riley, D., and Thompson, C. (2020). *Structural engineering in seismic areas: Steel design and performance*. (4th Edition). Berlin: Springer, 426.

Sanders, P., and Lee, T. (2020). *Structural analysis and design for steel buildings*. (7th Edition). New York: McGraw-Hill, 182.

Singh, R., Sharma, M., and Rathi, M. (2021). *Advances in structural steel design*. (3th Edition). Singapore: Wiley, 125.

Smith, J. (2021). Sustainable design principles in prefabricated steel buildings. *International Journal of Architectural Engineering*, 28(2), 130-145.

Smith, J., and Brown, A. (2019). *Prefabricated steel structures: Design and construction techniques*. (1th Edition). Oxford: Oxford University Press, 228.

Smith, J., and Brown, T. (2021). Heavy steel systems: Structural capabilities and design applications. *Journal of Structural Engineering and Design*, 29(3), 88-102.

Smith, J., and Green, P. (2020). Lightweight steel systems and their role in sustainable construction. *Journal of Green Building Practices*, 15(4), 203-215.

Smith, J., and Riley, T. (2019). *Modular construction: Efficiency, sustainability, and innovation*. (2th Edition). New York: Springer, 329.

Smith, R., Taylor, A., and Clark, H. (2018). *Fire protection in structural design*. (2th Edition). London: Routledge, 127.

Steel Construction Institute. (2020). *Steel construction and seismic resilience: A comprehensive study*. SCI, United Kingdom, 346.

Steel Construction Institute. (2021). Seismic resistance of lightweight steel structures. *Structural Engineering Insights*, 32(1), 145-160.

Steinhardt, D. D., and Manley, K. (2016). Adoption of prefabricated housing– the role of country context. *Sustainable Cities and Society*, 22, 126-135.

Şahin, Y. ve Arslan, H. (2021). Türkiye'de deprem güvenliği ve çelik yapıların önemi. *İnşaat ve Deprem Dergisi*, 3(2), 150-160.

Tapan, M. (1973). *Betonarme büyük boyutlu prefabrike elemanlarla çok katlı konut üretiminde tasarım kısıtlamaları üzerine bir araştırma*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taylor, M. (2019). *The economics of fire safety in construction*. (2th Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 517.

Taylor, M. D. (2010). A Definition and Valuation of the UK Offsite Construction Sector. *Construction Management and Economics*, 28(8), 885–896.

Taylor, P., and Johnson, D. (2018). *Modular construction and earthquake resistance: Advances in technology*. (4th Edition). New York: Wiley, 425.

Thomas, K., Davies, R., and Hines, J. (2018). *Innovations in construction: Prefabrication and modular design*. (1th Edition). Amsterdam: Elsevier, 317.

Thomson, B., and McLeod, D. (2019). *Wind load analysis and structural response in steel structures*. (3th Edition). Amsterdam: Elsevier, 210.

Williams, L., Thompson, R., and Clarke, R. (2020). *Steel and sustainable building materials.* (5th Edition). London: Routledge, 466.

Williams, P. (2019). *Thermal effects on steel structures in extreme climates*. (7th Edition). New York: McGraw-Hill, 217.

Yıldırım, M. (2019). Hafif çelik yapıların deprem dayanımı ve betonarme yapılarla karşılaştırılması. *Deprem ve Yapı Güvenliği Dergisi*, 8(2), 75-84.

Yıldırım, S. ve Çetin, B. (2021). Isı değişimlerinin çelik yapıların performansına etkisi. *İleri İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 23(4), 98-106.

Yıldırım, S. ve Şahin, E. (2019). Modüler yapıların maliyet etkinliği ve konut sektöründeki uygulamaları. *İnşaat Teknolojileri Dergisi*, 18(3), 102-113.

Yıldız, A. ve Çevik, B. (2020). Prefabrik çelik yapılar ve sürdürülebilirlik: Türkiye bağlamında bir değerlendirme. *Mimarlık ve Çevre Dergisi*, 15(4), 203-215.

Yılmaz, E., ve Çelik, G. (2019). *Energy-efficient buildings and construction technologies*. (4th Edition). London: Routledge, 557.

Yılmaz, H. ve Kaya, P. (2021). Çelik yapıların çevresel koşullara uyumu ve dayanıklılık özellikleri. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 26(4), 67-74.

Yılmaz, H. ve Şen, A. (2019). Türkiye'de ağır çelik yapıların deprem güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Yapı Mühendisliği ve Güvenlik Dergisi*, 11(1), 45-58.

Yılmaz, K. (2021). Prefabrik çelik yapılarda yapısal dayanıklılık ve termal performansın değerlendirilmesi. *Yapı Bilimleri Dergisi,* 18(4), 312-328.

Zhao, L., and Thompson, R. (2020). Cost efficiency and structural benefits of heavy steel systems. *International Journal of Structural Economics*, 22(4), 120-134.

EKLER

EK-1. Kars İçin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
2 Kat Akrilik Esaslı Dış Cephe Boyası –Kg	36,59	-	12558,34
Dış Kaplama 10 mm Betopan -M^2	166,6	%5	60040,17
100 mm Taşyünü İzolasyon – M^2	100	%2	35008,85
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal - M^2	100	%5	36038,52
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi - M^2	50	%4	17847,65
İki kat su bazlı yarı mat boya- Kg	35	-	12012,84
Ön Üretimli Dış Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	123641,49
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50 mm Taşyünü İzolasyon - M^2	50	%2	30106,73
2 Kat Su Bazlı Yarı Mat Boya - Kg	35	-	41322,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal (M^2)	100	%5	123968,88
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi (M^2)	50	%4	61394,11
Ön Üretimli İç Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	170084,43
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
200mm Sandwich Panel-M^2	1020	%4	212698,89
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2393687,59

EK-2. Kars İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
100mm Sandwich Panel-M^2	714	%4	254864,41
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%4	343377,27
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
200mm Sandwich Panel-M^2	1020	%5	214744,07
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	11384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2015115,08

EK-3. Kars İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
100mm Sandwich Panel-M^2	714	%7	262216,27
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%7	353282,28
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
200mm Sandwich Panel-M^2	1020	%10	224969,98
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	80005
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
50mm Zemin Şasesi İçin Taşyünü Dogu -M^2	50	%2	10225,91
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2145114,01

EK-4. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
2 Kat Akrilik Esaslı Dış Cephe Boyası –Kg	36,59	-	12558,34
Dış Kaplama 10 mm Betopan -M^2	166,6	%5	60040,17
90 mm Taşyünü İzolasyon – M^2	90	%2	31507,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal - M^2	100	%5	36038,52
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi - M^2	50	%4	17847,65
İki kat su bazlı yarı mat boya- Kg	35	-	12012,84
Ön Üretimli Dış Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	123641,49
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50 mm Taşyünü İzolasyon - M^2	50	%2	30106,73
2 Kat Su Bazlı Yarı Mat Boya - Kg	35	-	41322,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal (M^2)	100	%5	123968,88
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi (M^2)	50	%4	61394,11
Ön Üretimli İç Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	170084,43
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
150mm Sandwich Panel-M^2	918	%4	191429
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2368916,82

EK-5. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
90mm Sandwich Panel-M^2	663	%4	236659,81
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%4	343377,27
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
150mm Sandwich Panel-M^2	918	%5	193269,66
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			1993640,67

EK-6. Yozgat İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
90mm Sandwich Panel-M^2	663	%7	243486,54
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%7	353282,28
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
150mm Sandwich Panel-M^2	918	%10	202472,98
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	80005
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
50mm Zemin Şasesi İçin Taşyünü Dogu -M^2	50	%2	10225,91
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2122617,01

EK-7. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
2 Kat Akrilik Esaslı Dış Cephe Boyası –Kg	36,59	-	12558,34
Dış Kaplama 10 mm Betopan -M^2	166,6	%5	60040,17
70 mm Taşyünü İzolasyon – M^2	70	%2	24506,19
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal - M^2	100	%5	36038,52
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi - M^2	50	%4	17847,65
İki kat su bazlı yarı mat boya- Kg	35	-	12012,84
Ön Üretimli Dış Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	123641,49
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50 mm Taşyünü İzolasyon - M^2	50	%2	30106,73
2 Kat Su Bazlı Yarı Mat Boya - Kg	35	-	41322,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal (M^2)	100	%5	123968,88
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi (M^2)	50	%4	61394,11
Ön Üretimli İç Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	170084,43
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
120mm Sandwich Panel-M^2	850	%4	177,249,07
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2347735,12

EK-8. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
70mm Sandwich Panel-M^2	612	%4	218455,21
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%4	343377,27
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
120mm Sandwich Panel-M^2	850	%5	178953,39
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			1979324,40

EK-9. Nevşehir İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
70mm Sandwich Panel-M^2	612	%7	224756,80
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%7	353282,28
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
120mm Sandwich Panel-M^2	918	%10	187474,98
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	80005
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
50mm Zemin Şasesi İçin Taşyünü Dogu -M^2	50	%2	10225,91
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2107619,01

EK-10. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
2 Kat Akrilik Esaslı Dış Cephe Boyası –Kg	36,59	-	12558,34
Dış Kaplama 10 mm Betopan -M^2	166,6	%5	60040,17
60 mm Taşyünü İzolasyon – M^2	60	%2	21005,31
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal - M^2	100	%5	36038,52
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi - M^2	50	%4	17847,65
İki kat su bazlı yarı mat boya- Kg	35	-	12012,84
Ön Üretimli Dış Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	123641,49
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50 mm Taşyünü İzolasyon - M^2	50	%2	30106,73
2 Kat Su Bazlı Yarı Mat Boya - Kg	35	-	41322,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal (M^2)	100	%5	123968,88
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi (M^2)	50	%4	61394,11
Ön Üretimli İç Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	170084,43
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
100mm Sandwich Panel-M^2	714	%4	148889,22
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2315874,39

EK-11. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
60mm Sandwich Panel-M^2	561	%4	200250,61
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%4	343377,27
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
100mm Sandwich Panel-M^2	714	%5	150320,85
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			1950691,86

EK-12. Tekirdağ İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
60mm Sandwich Panel-M^2	561	%7	206027,07
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%7	353282,28
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
100mm Sandwich Panel-M^2	714	%10	157478,98
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	80005
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
50mm Zemin Şasesi İçin Taşyünü Dogu -M^2	50	%2	10225,91
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2077623,01

EK-13. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Hafif Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
2 Kat Akrilik Esaslı Dış Cephe Boyası –Kg	36,59	-	12558,34
Dış Kaplama 10 mm Betopan -M^2	166,6	%5	60040,17
50 mm Taşyünü İzolasyon – M^2	50	%2	17504,42
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal - M^2	100	%5	36038,52
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi - M^2	50	%4	17847,65
İki kat su bazlı yarı mat boya- Kg	35	-	12012,84
Ön Üretimli Dış Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	123641,49
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50 mm Taşyünü İzolasyon - M^2	50	%2	30106,73
2 Kat Su Bazlı Yarı Mat Boya - Kg	35	-	41322,96
İç Kaplama 2 x Alçıpan – 12mm Normal (M^2)	100	%5	123968,88
Derz filesi + Derz Dolgusu + Alçı Malzemesi (M^2)	50	%4	61394,11
Ön Üretimli İç Duvar Panel Karkası - Kg	37,40	%4	170084,43
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
90mm Sandwich Panel-M^2	680	%4	141499,26
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2305283,54

EK-14. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Ağır Çelik Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
60mm Sandwich Panel-M^2	561	%4	200250,61
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%4	343377,27
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
90mm Sandwich Panel-M^2	680	%5	143162,71
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	40002,9
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			1943533,72

EK-15. Antalya İçin Taşıyıcı Olmayan Yapısal Malzemelerin Modüler Sistemde Fiyatlandırılmış Metraj Tablosu

DIŞ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
60mm Sandwich Panel-M^2	561	%7	206027,07
İÇ DUVAR MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
50mm Sandwich Panel-M^2	559,3	%7	353282,28
KAPILAR ve PENCERELER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Dış Giriş Kapısı(Aksesuarlar Dahil)-(Adet)	10540	%2	10750,80
İç Oda Kapısı(Aksesuarlar Dahil) –(Adet)	5000	%2	112200
Islak Hacim Kapısı- Adet	4500	%2	73440
Pencereler(Aksesuarlar Dahil) (Oda ve Islak Hacim Penceresi)-(Adet)	2500	%2	51000
ÇATI MALZEMELERİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
90mm Sandwich Panel-M^2	680	%10	149979,98
Yağmur Oluğu - Metre	200	%4	9609,60
Yağmur İniş Borusu - Metre	200	%4	2246,40
60x60 8mm Kalınlığında Vinil Kaplı Alçıpan Asma tavan Yapılması – M^2	202,3	%5	85181,81
ARA KAT ŞASE	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Boyalı Trapez Sac -M^2	191,83	%4	80005
18mm Kalınlığında Betopan - M^2	286	%4	59639,10
50mm Zemin Şasesi İçin Taşyünü Dogu -M^2	50	%2	10225,91
YER DÖŞEMESİ	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Kuru Zeminler İçin 2mm'lik PVC Kaplama ve Yapıştırıcısı – M^2	280	%4	116775,86
Islak Zeminler İçin Seramik M^2	350	%4	11341,66
MEKANİK + ELEKTRİK	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Lavabo	2500	%4	41600
Klozet	3500	%4	58240
Duş	6000	%4	99840
Aydınlatma+ Enerji Beslemeleri	40 x Dolar Kuru	-	545381,76
DİĞER	BİRİM FİYAT (₺)	FİRE	MİKTARA GÖRETOPLAM FİYAT (₺)
Çelik Merdiven – Set (İşçilik+İmalat) (1500kg)	71,40	%4	111384
Sarf Malzeme -Set	27269,09	%4	28359,85
GENEL TOPLAM			2070124,01

EK-16. Kars İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

TSE 825' göre 5. Bölgedeki Kars için maksimum cephe "U" değeri 0,36 çatı için ise "U"değeri 0,21 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda mimari uygulama projesi statik dizayn sonucunda strüktür elemanları da eklenerek çizilmiş, binalar uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmanın örneklemini oluşturan üç farklı çelik taşıyıcı sistemli binanın Kars'ta yapılması için cephesi ve çatısı için TSE 825'te verilen hesaplama yöntemlerine aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılmıştır.

Çatı için kullanılacak u değeri Kars için 0,21 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,21= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,160 metre olarak bulunur. Bulunan bu kalınlıktan daha kalın, tek, piyasada hazır olarak bulunabilen ve seri üretilen sandwich panel 200mm'lik olanlardır. Burada Kars için çatı kaplama malzemesi olarak belirlenmiştir.

Cephe paneli için kullanılacak u değeri Kars için 0,36 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,36= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,091 metre olarak bulunur. Çıkan değerin üstünde piyasada üretilen sandwich panel 100 mm'dir ve burada cephe paneli olarak seçilmiştir.

Daha önce de bahsedildiği üzere hafif çelik binalar için ön üretimli taş yünü dolgulu ön üretimli cephe panelleri kullanılması gerekmektedir. Standart ve yaygın olarak bu paneller bina içine çift kat alçıpan (Çelik yapılar daha çok hareket ettiğinden çatlamaların önüne geçmek için çift kat alçıpan kullanılır.) Dış yüzeyi ise betopan(Fibercement) kaplanarak kullanılarak kullanılan duvar panelleri yapılan hesap aşağıdadır.

EK-16. (devam) Kars İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

Isıl iletkenlik katsayıları (λ değerleri) yaklaşık olarak şu şekildedir:

Fiber cement: 0.30 W/mK

Alçıpan: 0.25 W/mK

Taş yünü: 0.038 W/mK (Panel Arası için)W/mK

Katman kalınlıkları:

Fibercement: 10 mm = 0.01 m

Alçıpan (her biri 12 mm): 2 x 12 mm = 24 mm = 0.024 m

Taş yünü: Hesaplanacak

Verilen U değerini kullanarak taş yününün kalınlığını bulacağız. Toplam ısıl direnci hesaplamak için her katmanın ısıl direncini bulmamız gerekiyor:

$R=d/\lambda$, $RToplam = RFibercement+RAlçıpan+RTaşyünü+R_{iç}+R_{dış}$

Verilen U değeri 0,36 olduğundan , RToplam = 1/0,36=2,7777

Hesaplar sonucu :

RFibercement = 0,0333 m2K/W , RAlçıpan = 0,096 m2K/W , $R_{iç}+R_{dış}$=0,013+0,04

Taş yünü hariç toplam direnç 0,2993 olarak bulunmaktadır. Buna göre gerekli taş yünü ısıl direnç değeri 2,4784 olarak hesaplanmıştır.

$d= \lambda$ x R olduğundan gereken taş yünü kalınlığı 0,941m olarak hesaplanmış bu değerin üstünde piyasadaki standart olarak üretilen hazır taşyünü levhalar ile yapılabilecek 100mm kalınlığında ısı yalıtımlı ön üretimli duvar paneli Kars için seçilmiştir.

EK-17. Yozgat İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

TSE 825' göre 4. Bölgedeki Yozgat için maksimum cephe "U" değeri 0,38 çatı için ise "U"değeri 0,23 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda mimari uygulama projesi statik dizayn sonucunda strüktür elemanları da eklenerek çizilmiş, binalar uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmanın örneklemini oluşturan üç farklı çelik taşıyıcı sistemli binanın Yozgat'ta yapılması için cephesi ve çatısı için TSE 825'te verilen hesaplama yöntemlerine aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılmıştır.

Çatı için kullanılacak u değeri Yozgat için 0,23 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,23= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,146 metre olarak bulunur. Piyasada hazır olarak seri üretilen çıkan değerin üstünde taş yünü dolgulu sandwich panel 150mm kalınlığındadır. 150mm'lik sandwich panel burada Yozgat için çatı kaplama paneli olarak seçilmiştir.

Cephe paneli için kullanılacak u değeri Yozgat için 0,38 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,38= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,086 metre olarak bulunur. Çıkan değerin üstünde piyasada seri üretilen sandwich panel kalınlığı 90mm'dir ve Yozgat için duvar sandwich panel kalınlığı olarak belirlenmiştir.

Daha önce de bahsedildiği üzere hafif çelik binalar için ön üretimli taş yünü dolgulu ön üretimli cephe panelleri kullanılması gerekmektedir. Standart ve yaygın olarak bu paneller bina içine çift kat alçıpan (Çelik yapılar daha çok hareket ettiğinden çatlamaların önüne geçmek için çift kat alçıpan kullanılır.), dış yüzeyi ise betopan(Fibercement) kaplanarak kullanılarak kullanılan duvar panelleri yapılan hesap aşağıdadır.

EK-17. (devam) Yozgat İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

Isıl iletkenlik katsayıları (λ değerleri) yaklaşık olarak şu şekildedir:

Fibercement: 0.30 W/mK

Alçıpan: 0.25 W/mK

Taş yünü: 0.038 W/mK (Panel Arası için)W/mK

Katman kalınlıkları:

Fibercement: 10 mm = 0.01 m

Alçıpan (her biri 12 mm): 2 x 12 mm = 24 mm = 0.024 m

Taş yünü: Hesaplanacak

Verilen U değerini kullanarak taş yününün kalınlığını bulacağız. Toplam ısıl direnci hesaplamak için her katmanın ısıl direncini bulmamız gerekiyor:

$R=d/\lambda$, $RToplam = RFibercement + RAlçıpan + RTaşyünü + R_{iç} + R_{dış}$

Verilen U değeri 0,38 olduğundan , RToplam = 1/0,38=2,6315

Hesaplar sonucu :

RFibercement = 0,0333 m2K/W , RAlçıpan = 0,096 m2K/W , $R_{iç}+R_{dış}$=0,013+0,04

Taş yünü hariç toplam direnç 0,2993 olarak bulunmaktadır. Buna göre gerekli taş yünü ısıl direnç değeri 2,3322 olarak hesaplanmıştır.

$d= \lambda \times R$ olduğundan gereken taş yünü kalınlığı 0,8862 olarak hesaplanmış bu değerin üstünde piyasadaki standart olarak üretilen hazır taşyünü levhalar ile yapılabilecek 90mm kalınlığında ısı yalıtımlı ön üretimli duvar paneli Yozgat için seçilmiştir.

EK-18. Nevşehir İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

TSE 825' göre 3. Bölgedeki Nevşehir için maksimum cephe "U" değeri 0,48 çatı için ise "U"değeri 0,28 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda mimari uygulama projesi statik dizayn sonucunda strüktür elemanları da eklenerek çizilmiş, binalar uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmanın örneklemini oluşturan üç farklı çelik taşıyıcı sistemli binanın Nevşehir'de yapılması için cephesi ve çatısı için TSE 825'te verilen hesaplama yöntemlerine aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılmıştır.

Çatı için kullanılacak u değeri Nevşehir için 0,28 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,28= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,1119 metre olarak bulunur. Piyasada hazır olarak seri üretilen hesap sonucu çıkan değerin üstünde taş yünü dolgulu sandwich panel 120mm kalınlığındadır. 120mm'lik sandwich panel burada Nevşehir için çatı kaplama paneli olarak seçilmiştir.

Cephe paneli için kullanılacak u değeri Nevşehir için 0,48 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,48= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,067 metre olarak bulunur. Çıkan değerin üstünde piyasada seri üretilen sandwich panel kalınlığı 70mm'dir ve Nevşehir için duvar sandwich panel kalınlığı olarak belirlenmiştir.

Nevşehir için ön üretimli taş yünü dolgu panel için hesap aşağıdaki gibidir:

Isıl iletkenlik katsayıları (λ değerleri) yaklaşık olarak şu şekildedir:

Fibercement: 0.30 W/mK

EK-18. (devam) Nevşehir İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

Alçıpan: 0.25 W/mK

Taş yünü: 0.038 W/mK (Panel Arası için)W/mK

Katman kalınlıkları:

Fibercement: 10 mm = 0.01 m

Alçıpan (her biri 12 mm): 2 x 12 mm = 24 mm = 0.024 m

Taş yünü: Hesaplanacak

Verilen U değerini kullanarak taş yününün kalınlığını bulacağız. Toplam ısıl direnci hesaplamak için her katmanın ısıl direncini bulmamız gerekiyor:

$R=d/\lambda$, RToplam =RFibercement+RAlçıpan+RTaşyünü+$R_{iç}$+$R_{dış}$

Verilen U değeri 0,48 olduğundan , RToplam = 1/0,48=2,0833

Hesaplar sonucu :

RFibercement = 0,0333 m2K/W , RAlçıpan = 0,096 m2K/W , $R_{iç}$+$R_{dış}$=0,013+0,04

Taş yünü hariç toplam direnç 0,2993 olarak bulunmaktadır. Buna göre gerekli taş yünü ısıl direnç değeri 1,784 olarak hesaplanmıştır.

$d= \lambda$ x R olduğundan gereken taş yünü kalınlığı 0,067m olarak hesaplanmış bu değerin üstünde piyasadaki standart olarak üretilen hazır taşyünü levhalar ile yapılabilecek 70mm kalınlığında ısı yalıtımlı ön üretimli duvar paneli Nevşehir için seçilmiştir.

EK-19. Tekirdağ İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

TSE 825' göre 2. Bölgedeki Tekirdağ için maksimum cephe "U" değeri 0,57 çatı için ise "U"değeri 0,38 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda mimari uygulama projesi statik dizayn sonucunda strüktür elemanları da eklenerek çizilmiş, binalar uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmanın örneklemini oluşturan üç farklı çelik taşıyıcı sistemli binanın Tekirdağ'da yapılması için cephesi ve çatısı için TSE 825'te verilen hesaplama yöntemlerine aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılmıştır.

Çatı için kullanılacak u değeri Tekirdağ için 0,38 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,38= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,0935 metre olarak bulunur. Piyasada hazır olarak seri üretilen hesap sonucu çıkan değerin üstünde taş yünü dolgulu sandwich panel 100mm kalınlığındadır. 100mm'lik sandwich panel burada Tekirdağ için çatı kaplama paneli olarak seçilmiştir.

Cephe paneli için kullanılacak u değeri Tekirdağ için 0,57 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,57= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,060 metre olarak bulunur. Çıkan değere uygun piyasada hazır olarak bulunabilen sandwich paneller vardır. Sonuç olarak Tekirdağ için duvar sandwich panel kalınlığı 60mm olarak belirlenmiştir.

Teekirdağ için ön üretimli taş yünü dolgu panel için hesap aşağıdaki gibidir:

Isıl iletkenlik katsayıları (λ değerleri) yaklaşık olarak şu şekildedir:

Fibercement: 0.30 W/mK

EK-19. (devam) Tekirdağ İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

Alçıpan: 0.25 W/mK

Taş yünü: 0.038 W/mK (Panel Arası için)W/mK

Katman kalınlıkları:

Fibercement: 10 mm = 0.01 m

Alçıpan (her biri 12 mm): 2 x 12 mm = 24 mm = 0.024 m

Taş yünü: Hesaplanacak

Verilen U değerini kullanarak taş yününün kalınlığını bulacağız. Toplam ısıl direnci hesaplamak için her katmanın ısıl direncini bulmamız gerekiyor:

$R=d/\lambda$, RToplam =RFibercement+RAlçıpan+RTaşyünü+$R_{iç}$+$R_{dış}$

Verilen U değeri 0,57 olduğundan , RToplam = 1/0,57=1,7543

Hesaplar sonucu :

RFibercement = 0,0333 m2K/W , RAlçıpan = 0,096 m2K/W , $R_{iç}$+$R_{dış}$=0,013+0,04

Taş yünü hariç toplam direnç 0,2993 olarak bulunmaktadır. Buna göre gerekli taş yünü ısıl direnç değeri 1,4550 olarak hesaplanmıştır.

$d= \lambda$ x R olduğundan gereken taş yünü kalınlığı 0,055m olarak hesaplanmış bu değerin üstünde piyasadaki standart olarak üretilen hazır taşyünü levhalar ile yapılabilecek 60mm kalınlığında ısı yalıtımlı ön üretimli duvar paneli Tekirdağ için seçilmiştir.

EK-20. Antalya İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

TSE 825' göre 2. Bölgedeki Tekirdağ için maksimum cephe "U" değeri 0,66 çatı için ise "U"değeri 0,43 olarak verilmiştir. Bunun sonucunda mimari uygulama projesi statik dizayn sonucunda strüktür elemanları da eklenerek çizilmiş, binalar uygulanabilir hale getirilmiştir.

Bu çalışmanın örneklemini oluşturan üç farklı çelik taşıyıcı sistemli binanın Antalya'da yapılması için cephesi ve çatısı için TSE 825'te verilen hesaplama yöntemlerine aşağıdaki gibi hesaplamalar yapılmıştır.

Çatı için kullanılacak u değeri Antalya için 0,43 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,43= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,082 metre olarak bulunur. Piyasada hazır olarak seri üretilen hesap sonucu çıkan değerin üstünde taş yünü dolgulu sandwich panel 90mm kalınlığındadır. 90mm'lik sandwich panel burada Antalya için çatı kaplama paneli olarak seçilmiştir.

Cephe paneli için kullanılacak u değeri Antalya için 0,66 olarak TSE 825'te belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak:

U=1/RToplam , R = d/λ, λ= 0,032 (Taşyünü-Cam Yünü Isıl İletkenlik Katsayısı)

$d=\lambda\times(1/U-(R_{iç}+R_{dış}))$

$0,66= 1/(d/0,032) +R_{iç}+R_{dış}= 1/(d/0,032) + (0,13+0,04)$

d=0,051 metre olarak bulunur. Çıkan değere uygun piyasada hazır olarak bulunabilen sandwich paneller vardır. Sonuç olarak Antalya için duvar sandwich panel kalınlığı 60mm olarak belirlenmiştir.

Antalya için ön üretimli taş yünü dolgu panel için hesap aşağıdaki gibidir:

Isıl iletkenlik katsayıları (λ değerleri) yaklaşık olarak şu şekildedir:

Fibercement: 0.30 W/mK

EK-20. (devam) Antalya İçin Yapı Kabuğu Isıl Performans Gereksinimi Hesabı

Alçıpan: 0.25 W/mK

Taş yünü: 0.038 W/mK (Panel Arası için)W/mK

Katman kalınlıkları:

Fibercement: 10 mm = 0.01 m

Alçıpan (her biri 12 mm): 2 x 12 mm = 24 mm = 0.024 m

Taş yünü: Hesaplanacak

Verilen U değerini kullanarak taş yününün kalınlığını bulacağız. Toplam ısıl direnci hesaplamak için her katmanın ısıl direncini bulmamız gerekiyor:

$R=d/\lambda$, RToplam =RFibercement+RAlçıpan+RTaşyünü+$R_{iç}$+$R_{dış}$

Verilen U değeri 0,66 olduğundan , RToplam = 1/0,57=1,5151

Hesaplar sonucu :

RFibercement = 0,0333 m2K/W , RAlçıpan = 0,096 m2K/W , $R_{iç}$+$R_{dış}$=0,013+0,04

Taş yünü hariç toplam direnç 0,2993 olarak bulunmaktadır. Buna göre gerekli taş yünü ısıl direnç değeri 1,4550 olarak hesaplanmıştır.

$d= \lambda$ x R olduğundan gereken taş yünü kalınlığı 0,046m olarak hesaplanmış bu değerin üstünde piyasadaki standart olarak üretilen hazır taşyünü levhalar ile yapılabilecek 50mm kalınlığında ısı yalıtımlı ön üretimli duvar paneli Antalya için seçilmiştir.

EK-21. Hafif Çelik Bina İçin İşçi/Saat Tablosu

HAFİF ÇELİK BİNA İMALAT KALEMLERİ	İşçi sayısı	Gün	Toplam
Ön Üretimli Duvar Panel Montajı (Zemin Kat)	5	3	15
Ara Kat Şase Montajı	5	2	10
İç Merdiven Montajı	2	1	2
Ön Üretimli Duvar Panel Montajı (1.Kat)	5	3	15
Ara Kat Betopan Ve Trapez Sac Montajı	5	2,5	12,5
Çatı Makas Ve Çapraz Bileşen Montajı	5	3,5	17,5
Çatı Sandviç Panel + Oluk Ve İniş Boruları Montajı	5	4	20
Dış Cephe Betopan Montajı	5	3	15
Dış Cephe Betopan Boya İşçiliği	2	2,5	5
Panel İçi Taşyünü Montajı	5	2	10
İç Cephe Duvarları Çift Kat Alçıpan Montajı	5	3	15
İç Cephe Derz Alçı + Zımpara + Boya İşçiliği	5	8	40
Pencere Montajı	2	2	4
İç /Dış Kapı Montajı	2	3	6
Elektrik Tesisatı (Montaj + Testler Dahil)	4	10	40
Mekanik Tesisat (Montaj + Testler Dahil)	3	8	24
İzolasyon İşçiliği	2	1	2
Pvc Zemin Kaplama Montajı	2	3	6
Seramik Zemin Kaplama / Fayans İşçiliği	2	3	6
İç / Dış Cephe Kapatma Montajı	2	1	2
Asmatavan Montajı	5	3	15
			282

EK-22. Ağır Çelik Bina İçin İşçi/Saat Tablosu

AĞIR ÇELİK BİNA İMALAT KALEMLERİ	İşçi sayısı	Gün	Toplam
Çelik Karkas Montajı	7	6	42
İç Merdiven Montajı	2	1	2
Ara Kat Betopan Ve Trapez Sac Montajı	5	2,5	12,5
Çatı Makas Ve Çapraz Bileşen Montajı	5	3,5	17,5
Çatı Sandviç Panel + Oluk Ve İniş Boruları Montajı	5	4	20
İç Cephe Panel Bağlantı Eleman Montajı	7	1	7
İç/Dış Cephe Sandviç Panel Montajı	7	4	28
Pencere Montajı	2	2	4
İç /Dış Kapı Montajı	2	3	6
Elektrik Tesisatı (Testler Dahil)	4	9	36
Mekanik Tesisat (Testler Dahil)	3	7	21
İzolasyon İşçiliği	2	1	2
Pvc Zemin Kaplama Montajı	2	3	6
Seramik Zemin Kaplama	2	2	4
Asma Tavan Montajı	5	3	15
İç / Dış Cephe Kapatma Montajı	5	1	5
			228

EK-23. Modüler Sistem Bina İçin İşçi/Saat Tablosu

MODÜLER SİSTEM BİNA İMALAT KALEMLERİ	İşçi sayısı	Gün	Toplam
Fabrikada ortamında modüllerin oluşturulması (Kaynak ve kaplama işçiliği dahil)	13	14	182
Hazır Konteynerlerin Yerleştirilmesi	5	4	20
İç/Dış Merdiven Montajı	5	2,5	12,5
Elektrik Tesisatı (Testler Dahil)	4	2,5	10
Mekanik Tesisat (Testler Dahil)	3	3	9
İzolasyon İşçiliği	2	2	4
İç / Dış Cephe Kapatma Montajı	5	2	10
			247,5



Gazili olmak ayrıcalıktır