

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM BÖLGELERİNDEKİ PREFABRİKE BETONARME ENDÜSTRİ
BİNALARIN YAPISAL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
EĞİMLİ ÇATI KİRİŞLERİ İÇİN ALTERNATİF TASARIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin KOCA

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

OCAK, 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM BÖLGELERİNDEKİ PREFABRİKE BETONARME ENDÜSTRİ
BİNALARIN YAPISAL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
EĞİMLİ ÇATI KİRİŞLERİ İÇİN ALTERNATİF TASARIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Selin KOCA
(502181514)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

OCAK, 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502181514 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Selin KOCA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEPREM BÖLGELERİNDEKİ PREFABRİKE BETONARME ENDÜSTRİ BİNALARIN YAPISAL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE EĞİMLİ ÇATI KİRİŞLERİ İÇİN ALTERNATİF TASARIMLAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Caner GÖÇER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Pınar SUNAR BÜKÜLMEZ
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 25 Ocak 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle, yüksek lisans eğitimim boyunca mesleki bilgi, deneyimlerini ve hoşgörüsünü eksik etmeden beni destekleyen, yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK'e en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Lisans eğitimimden itibaren, beni bu yolda destekleyen, değerli vaktini ayıran, sabırla bilgisini paylaşan ve her konuda yardımını esirgemeyen Dr. Öğr. Gör. Ahmet BAL hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında mesleki bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, arşivlerini benimle paylaşan Mimar A. Şafak TUNA'ya teşekkürü borç bilirim.

Her konuda beni destekleyen, yüreklendiren, her koşulda hep arkamda hissettiğim koca çınarım babam Nadir KOCA'ya, bütün emekleri için çok kıymetli ve şefkatli annem Emine KOCA'ya, yolunu takip etmeye çalıştığım ablam Dr. Arş. Gör. Aylin KOCA'ya sevgi dolu küçük kardeşim Eylül KOCA'ya ve tez süreci boyunca ilgileri ve hoşgörülerini için Sibel ÖZDEMİR, Altan BAL, Büşra ARI, Dilara BULUT ve can dostum Elif YILMAZ'a şükranlarımı sunarım.

Ocak 2023

Selin KOCA
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon	1
1.2 Amaç	2
1.3 Kapsam ve Yöntem	3
2. PREFABRİKE BETONARME ÇATI KİRİŞLERİ-SİSTEMLER	5
2.1 Türkiye’de ve Farklı Ülkelerde Uygulanmış Çatı Kirişi Alternatifleri	7
2.2 Çatı Kirişi Tasarımını Etkileyen Yük Bileşenleri	20
2.3 Ülkemizde Yaygın Olarak Kullanılan Prefabrike Sistemler ve İşletme Yükleri Altındaki Değerlendirmeleri	26
2.3.1 Çubuk sistemler	26
2.3.2 Atcost sistemler	32
2.3.3 Lambda sistemler	35
2.3.4 Wing aşıklı paralel başlıklı çatı kirişli sistemler	38
2.3.5 Panel sistemler	40
3. PREFABRİKE BETONARME ÇATI KİRİŞLERİNİN TASARIM, ÜRETİM VE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	41
3.1 Prefabrike Betonarme Çatı Kirişlerinin Tasarımı, Üretimi ve İşletmesi Sırasında Karşılaşılan Hasarlar ve Sorunlar	41
3.1.1 Tasarım ve üretim hataları	42
3.1.2 Birleşim bölgesi ve işletme hataları	52
3.2 Prefabrike Betonarme Binaların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ..	62
4. TÜRKİYE’DE UYGULANAN PREFABRİKE ÇATI KİRİŞLERİ ÜZERİNE TİPOLOJİK BİR ÇALIŞMA	71
4.1 İncelenen Uygulama Projelerindeki Eğimli Çatı Kirişi (EÇK) Geometriləri ..	72
4.2 İncelenen Uygulama Projelerinin Özellikleri	73
4.3 İncelenen Uygulama Projelerindeki Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi ..	82
4.4 Genel Değerlendirme	86
5. PREFABRİKE BETONARME EĞİMLİ ÇATI KİRİŞİ ALTERNATİF TASARIM ÖNERİLERİ	89
5.1 Gövdesi Boşluklu/Delikli Çatı Kirişi Alternatifleri	89
5.1.1 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-1	91
5.1.2 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-2	93

5.1.3 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-3	95
5.1.4 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-4	98
5.2 Gövdesi Trapezoidal Kesitli atı Kirişi Alternatifi.....	101
5.3 Önerilen Alternatif atı Kirişlerinin Yapısal Hesapları	108
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
6.1 Çalışmanın zeti	115
6.2 Çalışmada Ulaşılan Ana Sonuçlar	117
6.3 Bu alışma Esas Alınarak İleride Yapılabilecek alışmalar	119
KAYNAKLAR.....	121
EKLER	125
ZGEMİş.....	151



KISALTMALAR

ABYYHY-1975	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975
ABYYHY-1998	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007
MAB	: Moment Aktaran Bağlantılar
MFB	: Mafsallı Bağlantılar
O.S.B.	: Organize Sanayi Bölgesi
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018
TPB	: Türkiye Prefabrik Birliği
TS-498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları



SEMBOLLER

D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
l_n	: Kiriş serbest açıklığı
ϕ	: Pim çapı
a	: Oluk kirişi açıklığı
l	: Eğimli çatı kirişi açıklığı
h	: Yükseklik
h_{max}	: Maksimum bina yüksekliği [m]
H_n	: Bina toplam yüksekliği [m]
G	: Sabit yük etkisi
Q	: Hareketli yük etkisi
E	: Deprem yükü etkisi
W	: Rüzgâr yükü etkisi
P_k	: Kar yükü etkisi
ρ	: Donatı oranı
PGA	: En büyük yer ivmesi [g]
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Eğimli çatı kirişleri kalıp özellikleri.....	72
Çizelge 4.2 : Eğimli çatı kirişleri geometrik özellikleri.	73
Çizelge 5.1 : Farklı kiriş boyları için kullanılan kalıplar ve kiriş hacimleri.....	90
Çizelge 5.2 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-1 toplam kiriş hacmi...	92
Çizelge 5.3 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-2 toplam kiriş hacmi...	94
Çizelge 5.4 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-3 toplam kiriş hacmi...	97
Çizelge 5.5 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-4 toplam kiriş hacmi.	100
Çizelge 5.6 : Farklı kiriş boyları için referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, trapez gövde hacmi ve toplam kiriş hacmi.	107
Çizelge 5.7 : Çatı kirişi inceltirilmiş gövdesinin 8 cm ve 4 cm olması durumu için eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri.....	113
Çizelge 5.8 : Önerilen alternatif prefabrike betonarme çatı kirişlerinin hacim karşılaştırılması.	114



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 2.1 :** Türkiye’de yaygın olarak kullanılan eğimli çatı kirişlerinin iç kuvvet dağılımına uygun geometrisi. 7
- Şekil 2.2 :** Çatı kirişlerinde tesisatlar için açılan boşluk örnekleri (a) Gradmont D.o.o. (Bosna-Hersek) (Url-1) (b) Palace D.o.o. (Hırvatistan) (Url-2) (c) Armado A.s. (Çek Cumhuriyeti) (Url-3). 8
- Şekil 2.3 :** Çatı kirişlerinde tesisatlar için açılan boşluk örnekleri VCES (Çek Cumhuriyeti) (a) Montajı tamamlanan binanın genel görünümü, (b,c) Kolon kiriş ve kiriş-kiriş bağlantıları (Url-4). 9
- Şekil 2.4 :** Kiriş gövdesinde ardışık boşluklu prefabrike betonarme çatı kirişi Laumer Betonfertigteile (Almanya) (Url-5). 10
- Şekil 2.5 :** Prefabrike betonarme kafes çatı kirişi uygulama örneği Mitterskirchen çok amaçlı salonu-2017 Laumer Betonfertigteile (Almanya) (Url-5) (a,b,c) Prefabrike betonarme yapı montajı, (d,e) Prefabrike yapı kesit ve görünüşleri. 11
- Şekil 2.6 :** Prefabrike betonarme kafes/kısmi kafes (Hibrit)/Vierendeel kiriş uygulamaları (a,b) Gradbeništvo Glogovič (Slovenya) (Url-6), (c,d) Structuraconcept (Sırbistan) (Url-7), (e,f) Dak-beocin (Sırbistan) (Url-8). 12
- Şekil 2.7 :** Türkiye’de prefabrike betonarme Vierendeel kiriş uygulamaları Yapı Merkezi Prefabrikasyon (İstanbul) (Url-9). 13
- Şekil 2.8 :** Türkiye’de prefabrike betonarme kafes kiriş uygulamaları, Kam Beton (Ankara) (Url-10). 13
- Şekil 2.9 :** İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu prefabrike kolon-kemer kiriş montajı (Url-11). 14
- Şekil 2.10 :** İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu (a) prefabrike montajı tamamlanmış hali (b) Kullanıma açılmış iç mekânı (c) Bina cephesi (Url-11). 15
- Şekil 2.11 :** İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu dikdörtgen kesitli kemer kiriş üretimleri. 15
- Şekil 2.12 :** (a,b) Alt başlıkları eğimli çatı kiriş örnekleri (c) Tesisat boşluklu alt başlığı eğimli çatı kirişleri Armado A.s. (Çek Cumhuriyeti) (Url-3). 16
- Şekil 2.13 :** Alt ve üst başlıkları eğimli çatı kiriş örnekleri (a) Montajı tamamlanmış çatı kirişi Pretersa-Prenavisa S.L. (İspanya) (Url-12) (b) Sistem kesiti (c,d) Prefagain (İspanya) (Url-13) (e,f) LPM (İtalya) (Url-14). 17
- Şekil 2.14 :** Paralel Başlıklı Kirişler (a) T-Enkesitli Kiriş Uygulaması Gradbeništvo Glogovič (Slovenya) (b) Put Inženjering (Sırbistan) (Url-15). 18
- Şekil 2.15 :** Sonradan bağlantılı prefabrike betonarme çerçeveler (a) Üç mafsallı çerçeve Laumer Betonfertigteile (Almanya) (b) Tek Mafsallı Çerçeve Gradbeništvo Glogovič (Slovenya). 18
- Şekil 2.16 :** Sonradan bağlantılı prefabrike betonarme çerçeveler (a) Sonradan bağlantılı çerçeve montajı (b) Sistem modeli Prefagain (İspanya). 19

Şekil 2.17 : Prefabrike betonarme çatı kirişi tipolojisi.	19
Şekil 2.18 : Olası kar yığılması durumları.	21
Şekil 2.19 : Güneş enerjisi sistemleri (a,b) Solar duvar uygulaması- İnan Makine Sirel Yapı Tekirdağ-Kapaklı.	22
Şekil 2.20 : Güneş enerjisi sistemleri (a) Sandviç panel kaplaması üzeri solar panel uygulaması (b) GES uygulaması tamamlanmış örnek bir bina (Url-16).	23
Şekil 2.21 : $a=8m$ Aşık kirişi montaj ve servis yükleri, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (a,b) GES yükü dahil edilmemiş durum ve oluşan tesirler (c,d) İlave GES yükü etkisi ve oluşan tesirler.....	24
Şekil 2.22 : $a=12m$ Aşık kirişi montaj ve servis yükleri, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (a,b) GES yükü dahil edilmemiş durum ve oluşan tesirler (c,d) İlave GES yükü etkisi ve oluşan tesirler.....	24
Şekil 2.23 : Prefabrike betonarme çubuk sistemler (a) Montajı devam eden örnek bina (b) Cephe-çatı kaplamaları tamamlanmış bina (c) Örnek sistem modeli.	26
Şekil 2.24 : (a,b) Prefabrike betonarme çubuk sistemli örnek binalar (c,d) Ters eğimli çatı kirişli örnek binalar.	27
Şekil 2.25 : Çatı kirişlerinin alt başlıklarının eğimli olarak montajı tamamlanmış örnek bina.....	28
Şekil 2.26 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB4) (a) Sistemin montajı (b) Özel tasarlanan bölgede beton dökümünün gerçekleşmesi.	29
Şekil 2.27 : Moment aktaran bağlantı detayı (MAB4).	30
Şekil 2.28 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB3) (a) Çatı kirişi ve üretimde bırakılan bağlantı aparatları (b) Sistemin montajı.....	30
Şekil 2.29 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB3) (a,b) Birleşim bölgesi detayı (c,d) Birleşim bölgesinin üç boyutlu modeli (e) Eğimli çatı kirişi mesnet bölgesinde bırakılan bağlantı aparatları (f) Sistemin montajı.	31
Şekil 2.30 : Alternatif Atcost çerçeve sistemler.	32
Şekil 2.31 : (a,b) Atcost çerçeve sistemli örnek binalar (c) Mahya noktası mafsallı birleşim detayı.....	32
Şekil 2.32 : (a) Örnek sistem modeli (b) Kolon-kiriş birleşim detayı.	33
Şekil 2.33 : Atcost yapı sistemi tablosu (Gök İnşaat Atcost Sistemler El Kitabı)....	34
Şekil 2.34 : Örnek lambda çerçeve sistemli bina.	35
Şekil 2.35 : (a) Örnek sistem modeli (b) Birleşim bölgesi detayı.....	35
Şekil 2.36 : Örnek lambda sistemli çatı kiriş detayı.	36
Şekil 2.37 : (a) Çatı feneri eklenmiş lambda sistemli örnek bina (b) Çatı kirişi-fener birleşim bölgesi.	37
Şekil 2.38 : Eternit çatı kaplamalı lambda sistemli örnek bina.	37
Şekil 2.39 : (a) Paralel başlıklı wing aşıklı örnek sistem modeli (b) Örnek sistem tipik kesiti.	38
Şekil 2.40 : Wing aşıklı sistemler (a) Örnek yapı (b) Kolon-Kiriş-Wing aşık mesnet bölgesi.	38
Şekil 2.41 : Omega kesitli wing aşık kirişi (örnek kesit).	39
Şekil 2.42 : Paralel başlıklı çatı kirişi ve wing aşık sistemi.....	39
Şekil 2.43 : Panel tipi örnek binalar. (a,b,c,d) Karayolları prefabrike betonarme tuz depoları-Mimar A. Şafak Tuna/İnşaat Mühendisi Oral Okay.....	40
Şekil 3.1 : Prefabrike betonarme sanayi yapısının çatı montaj planı.	43

Şekil 3.2 : Prefabrike betonarme sanayi yapısının sistem kesitleri.	43
Şekil 3.3 : Eğimli çatı kirişinin detaylandırılması.	44
Şekil 3.4 : Prefabrike betonarme eğimli çatı kirişinin eğilme donatısı hesabı.	45
Şekil 3.5 : Prefabrike betonarme eğimli çatı kirişinin sehim kontrolü.	46
Şekil 3.6 : Tipik buhar kürü grafiği (Yeniden çizilerek TPB, Öngerme El Kitabı'ndan alınmıştır).	46
Şekil 3.7 : Aktarma anı beton dayanımına erişmeden kalıptan alınan eğimli çatı kirişinde oluşan hasarlar (a,b) Eğimli çatı kirişi kırılma genel görüntüsü (d,e,f) Öngerme halatlarının kesit içindeki davranışı.	47
Şekil 3.8 : Eğimli çatı kirişi açıklık etriyelerinin şaşırtmalı yerleşimi.	48
Şekil 3.9 : Eğimli çatı kirişinde L/4 açıklıkta oluşan diyagonal çatlaklar.	48
Şekil 3.10 : Eğimli çatı kirişi gövde donatıları, üst başlık boyuna donatıları ve tek kollu şaşırtmalı etriyelerin üst başlıkta yerleşimi.	49
Şekil 3.11 : (a) Öngerme halatlarının kesit içindeki yerleşimi (b) Stok sahası.	49
Şekil 3.12 : Betonun kalıp içinde homojen dağılmaması sonucu kirişte oluşan hasarlar.	50
Şekil 3.13 : TBDY-2018 pimli bağlantı detayı (a) Detay kesiti (b) Detay Planı.....	51
Şekil 3.14 : Prefabrike betonarme kolon elemanında uygun yerleştirilmeyen çatı kirişi pimi.	51
Şekil 3.15 : Prefabrike betonarme çatı kiriş gövdesine sonradan eklenen kaldırma aparatı.....	52
Şekil 3.16 : (a,b) Prefabrike betonarme yuvalı bağlantılarda oluşan yapısal hasarlar.	53
Şekil 3.17 : (a,b) Prefabrike betonarme yuvalı bağlantılarda oluşan yapısal hasarlar.	54
Şekil 3.18 : TBDY-2018 yuvalı bağlantılar (MFB3) tipik detayı.	54
Şekil 3.19 : Prefabrike betonarme binanın mevcut projesinde verilen eğimli çatı kirişi bağlantı detayı.	55
Şekil 3.20 : (a,b) Prefabrike betonarme binanın yerinde yapılan incelemeler sonucunda tek pimli bağlantı detayı.	55
Şekil 3.21 : (a,b) Prefabrike betonarme binanın yerinde yapılan incelemeler sonucunda tek pimli bağlantı detayı (çimento harcı ile doldurulmuş bölgeler).....	56
Şekil 3.22 : Prefabrike betonarme bir bina için uygulama projesinde verilen birleşim bölgesi detayı (a) Plan (b) Kesit.	56
Şekil 3.23 : Pim serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmemiş bağlantı detayı.	57
Şekil 3.24 : Binada bulunan deprem derzi ve çatı seviyesinde derz gerçekleştirilmemesi.	57
Şekil 3.25 : (a,b,c) Çelik guseler ile teşkil edilen birleşim bölgeleri.	58
Şekil 3.26 : Atcost çerçeveli prefabrike betonarme binada çelik guseler ile eklenen ilave çatı kirişleri.	59
Şekil 3.27 : Prefabrike betonarme binanın kolonlarında oluşan dönme ile çatı kirişlerinin montaj tolerans farkı.....	59
Şekil 3.28 : Prefabrike betonarme kolonlara doğrudan oturan çatı kirişi bağlantı detayları (a) Bina genel görünümü (b) Birleşim bölgesi.	60
Şekil 3.29 : Prefabrike kolonun içine gömülmüş çelik profille mafsallı birleşim detayı.	61
Şekil 3.30 : (a) Makine aksamı için gerekli olan çelik kafes sistemin çatı kirişine asılması (b) Çatı ve aşık kirişlerine asılan çeşitli tesisat elemanları.	61
Şekil 3.31 : Prefabrike çerçeveli yapılar oluşan göçmeler (a) Adana-Ceyhan bölgesinde bir prefabrike fabrika binası (Bayülke, 2008) (b)1999	

Marmara Depremi prefabrike betonarme yapı hasarı (Arslan ve diğerleri, 2007).	63
Şekil 3.32 : (a, b) Malatya 1. O.S.B., çatı düzeyinde mafsallı prefabrike betonarme binalar.	65
Şekil 3.33 : Malatya 1. O.S.B., yapım aşamasındaki incelenen binanın genel vaziyet planı.....	65
Şekil 3.34 : Malatya 1. O.S.B., yapım aşamasındaki bir bina, (a) Genel Görünüş (b) Çatı paneli tamamlanmış ve tamamlanmamış bölümler (c) Yapısal derz düzenlemesi (d) Bağ hatılı ve temel uygulamaları.	66
Şekil 3.35 : Malatya 1. O.S.B., Prefabrike betonarme kolon elemanları ve kırıklı çelik çatı kirişi uygulaması.	67
Şekil 3.36 : Malatya 1. O.S.B., (a) Yapı genel görünümü (b) Kısmi arakatlı bölümler (c) Kolon-kiriş bölgesi bağlantı detayı (d) Döşeme tipi.	68
Şekil 3.37 : Malatya 1. O.S.B., (a) Derz düzenlemesinin uygulanmaması (b) Aşıklarda oluşan yanal sehimler.	69
Şekil 3.38 : (a,b) Malatya 1. O.S.B., Tuğla duvarlarda oluşan çatlaklar.	69
Şekil 3.39 : Hatıllar ile bölünmüş cephe duvarlarında sınır hasar (Yüksel ve diğ. 2020).	70
Şekil 4.1 : Türkiye Prefabrik Birliği 2021 yılı beton üretiminin bölgelere göre dağılımı. (TPB, 2021 Faaliyet Raporu).	71
Şekil 4.2 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.	73
Şekil 4.3 : İncelenen 1.~50. uygulama projesi çatı kirişi ve oluk kirişi açıklıkları. ..	74
Şekil 4.4 : İncelenen 50.~100. uygulama projesi çatı kirişi ve oluk kirişi açıklıkları.	75
Şekil 4.5 : İncelenen 100 uygulama projesi için hesaplanan a/l oranları.	77
Şekil 4.6 : İncelenen 100 uygulama projesi için çatı kirişi alt kotları ve kolon boyutları.	78
Şekil 4.7 : İncelenen 100 uygulama projesinin taban alanları ve hesaplanan taşıyıcı/tabani alanı oranı.	79
Şekil 4.8 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.	80
Şekil 4.9 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.	80
Şekil 4.10 : İncelenen 100 uygulama projesinin çatı kiriş açıklıkları / kullanılan kiriş kalıbı / kiriş hacimleri.	81
Şekil 4.11 : 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi konumları.	83
Şekil 4.12 : (a) DBYBHY-2007 ve (b) TBDY-2018 Spektrum eğrilerinin karşılaştırması.	83
Şekil 4.13 : İncelenen 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi konumları, yapım yılı, kabul edilen etkin yer ivme katsayısı (A_0), beklenen en büyük yer ivmesi (PGA).	86
Şekil 5.1 : Önerilen 4 farklı boşluklu çatı kiriş alternatifleri.	90
Şekil 5.2 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-1 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli.....	91
Şekil 5.3 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.	92
Şekil 5.4 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-2 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli.....	93
Şekil 5.5 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.	94
Şekil 5.6 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-3 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli (d) Çatı kirişi gövdesinde bırakılan boşluk detayları.....	95

Şekil 5.7 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.....	96
Şekil 5.8 : Alternatif-3 genel görünüşü.	97
Şekil 5.9 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-4 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli (d) Çatı kirişi gövdesinde bırakılan boşluk detayları.	98
Şekil 5.10 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.....	99
Şekil 5.11 : Alternatif-4 genel görünüşü.	100
Şekil 5.12 : Gövdesi trapezoidal kesitli çatı kirişi genel görünüşü.....	101
Şekil 5.13 : Gövdesi trapez kesitli çatı kirişi Alternatif-1 genel görünüşü.....	102
Şekil 5.14 : Gövdesi trapez kesitli çatı kirişi Alternatif-2 genel görünüşü.....	103
Şekil 5.15 : Mevcut,I. Alternatif ve II. Alternatif eğimli çatı kirişlerinin alan ve atalet momentleri.	104
Şekil 5.16 : Trapezoidal kesitli çatı kirişi gövdesi genel görünüşleri.....	104
Şekil 5.17 : (a) Mevcut alüminyum trapez sac ölçüleri (b,c) Eğimli çatı kirişi gövdesinde yerleşimi.	105
Şekil 5.18 : İlk önerilen trapez kesitli çatı kirişi alternatifi (a) Genel görünüş (b,c) Üç boyutlu görseller.	106
Şekil 5.19 : (a,d) Trapez kesitli eğimli çatı kirişi genel görünüşleri (b,c) Trapez kesitin kiriş gövdesinde yerleşim detayı.....	107
Şekil 5.20 : Eğimli çatı kirişi analiz aksları tanımı.....	108
Şekil 5.21 : (a) Üst başlık kesit tanımı (b) Alt başlık kesit tanımı.....	109
Şekil 5.22 : Eğimli çatı kirişi inceltilmiş gövde kesit tanımı.....	109
Şekil 5.23 : XZ planda eğimli çatı kiriş modeli.....	110
Şekil 5.24 : Eğimli çatı kirişi üç boyutlu görünüşü.	110
Şekil 5.25 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonu eksenel kuvvet diyagramı.	111
Şekil 5.26 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonu moment diyagramı.	111
Şekil 5.27 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonunda açıklıkta okunan eksenel kuvvet.....	112
Şekil 5.28 : Önerilen alternatif çatı kirişi için inceltilmiş gövde kesiti tanımı.	112
Şekil 5.29 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonunda açıklıkta okunan eksenel kuvvet.....	113
Şekil 5.30 : Önerilen alternatif prefabrike betonarme çatı kirişleri.	114
Şekil A.1 : 116 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	127
Şekil A.2 : 134 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	128
Şekil A.3 : 140 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	129
Şekil A.4 : 155 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	130
Şekil A.5 : 165 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	131
Şekil A.6 : 205 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.	132
Şekil B.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.....	133
Şekil B.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.....	133
Şekil B.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.....	134
Şekil B.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.....	134
Şekil B.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.....	135
Şekil B.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.....	135
Şekil B.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.	136
Şekil B.8: Seçilen eğimle donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.....	136
Şekil B.9: Eğimli çatı kirişi inceltilmiş uçta kesme ve sürtünme donatısı hesabı. ..	137
Şekil B.10: Eğimli çatı kirişi öngerme hesabı.	138

Şekil B.11: Eğimli çatı kirişi öngerme hesabı.	139
Şekil C.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.....	140
Şekil C.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.....	140
Şekil C.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.....	141
Şekil C.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.	141
Şekil C.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.....	142
Şekil C.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.....	142
Şekil C.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.	143
Şekil C.8: Seçilen eğimle donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.....	144
Şekil C.9: Eğimli çatı kirişi yanal kararlılık kontrolü.	144
Şekil C.10: Eğimli çatı kirişi öngerme hesabı.	145
Şekil D.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.....	146
Şekil D.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.....	146
Şekil D.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.....	147
Şekil D.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.	147
Şekil D.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.....	148
Şekil D.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.....	148
Şekil D.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.	149
Şekil D.8: Seçilen eğimle donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.....	150
Şekil D.9: Eğimli çatı kirişi yanal kararlılık kontrolü.	150

DEPREM BÖLGELERİNDEKİ PREFABRİKE BETONARME ENDÜSTRİ BİNALARIN YAPISAL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE EĞİMLİ ÇATI KİRİŞLERİ İÇİN ALTERNATİF TASARIMLAR

ÖZET

Prefabrike betonarme elemanlar üretim tesislerinde seri olarak üretilen, inşaat alanında kaldırma araçları kullanılarak montajı yapılan ve bu aşamalara göre özel olarak tasarlanan yapı elemanlarıdır. Bu elemanlar kolon, kiriş, perde, panel, çift cidarlı panel, döşeme, duvar ve hücre elemanlar şeklinde olabilir. Prefabrike yapılar çubuk sistemler (kolon-kiriş), panel sistemler, hücre sistemler ve karma sistemler olarak sınıflandırılabilir. Türkiye’de prefabrike betonarme binalar özellikle sanayi/endüstri tesisi, ticaret merkezi, spor salonu, depo, daha az sıklıkla konut, okul, hastane ve otopark amaçlı olarak inşa edilmektedir. Üretimin seri ve kontrollü olması, ön ya da ardgerme yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlaması, hızlı yapım tekniği ile prefabrike binaları geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş binalara göre pek çok bakımdan üstün kılmaktadır.

Çoğunlukla tek katlı olan kolon-temel bağlantılarının ankastre, kolon-kiriş birleşimlerinin mafsallı teşkil edildiği prefabrike betonarme endüstri yapılarında çatı kirişlerinin konfigürasyonunun önemi büyüktür. Yapıların geometrisi, inşa edileceği bölgenin iklim-zemin koşulları, yapı elemanlarının üretim yeri/yöntemi vb. parametreler düşünüldüğünde bu kirişlerin farklı boyut ve tasarımlarda üretilmesi mümkündür. Kiriş biçiminin seçimi aynı zamanda tüm yapısal sistemin seçimini de büyük ölçüde etkilemektedir.

Bu tez kapsamında, öncelikle dünyada farklı çatı kirişi tasarımları araştırılmıştır. Prefabrike betonarme çatı kirişlerinin tasarımında gözönünde bulundurulmuş hususlar değerlendirilmiş ve farklı kiriş alternatifleri üzerinden örneklendirilmiştir. Geçilmek istenen açıklık, net/faydalı kat yükseklikleri, çatı eğimi, kafes-kemer-Vierendeel tipi kirişler, kiriş gövdelerinde bırakılan boşluklar, birleşim bölgelerinin detaylandırılması, yatay ve düşey yük taşıma kapasiteleri farklı ülkelerde tasarlanmış ve üretilmiş çatı kirişleri üzerinden incelenmiştir. Hazır kalıp tekniği ve prefabrikasyon teknolojisinin sağladığı olanaklarla yeni tasarımların önü her zaman açıktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, çatı kirişlerinin yapısal hesaplarını etkileyen yatay ve düşey yük bileşenlerine detaylıca değinilmiştir. Tüm dünyada artan enerjisi krizi ile birlikte her türden binada (sanayi, okul, konut, hastane vb.) yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı araştırılmakta, güneş enerjisi sistemleri ön plana çıkmaktadır. Mevcut binaların çatı düzeyine monte edilebilen sistemlerin binalara ve yapı elemanlarına etkisi sayısal örneklerle değerlendirilmiştir. Türkiye’de en yaygın kullanılan 4 prefabrike betonarme sistem, yapı elemanları, yapım türü, mevcut binalarda karşılaşılan sorunlar ve deprem performansı yönünden açıklanmıştır.

Kapalı atölyelerde ya da üretim tesislerinde yüksek kalite kontrolü altında seri olarak üretilen betonarme çatı kirişlerinde tasarım, üretim, montaj ve işletme safhalardan hata ve sorunlar yerinde yapılan incelemelerle tespit edilmiş ve bu konulara üçüncü

bölümde yer verilmiştir. Yanlış tasarım ve boyutlandırma, kalıp ve üretime uygun olmayan beton karışım oranları, üretim aşamasında yapılan hatalar, işletme kusurları ayrıntılı olarak fotoğraflanmıştır. Her fazdan verilen bu hataların yapı üretim sektörü için de faydalı olması hedeflenmektedir.

Tez çalışması süresince Türkiye’de meydana gelen 2 büyük yıkıcı deprem ile prefabrike betonarme binaların deprem performansı gözlemlenmiştir. Malatya ve Elazığ Organize Sanayi Bölgeleri’ne yerinde yapılan teknik gezi sonucunda mevcut durum değerlendirilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, ülkemizde yaygın olarak kullanılan sistemler değerlendirilmiş, Trakya bölgesinde inşası tamamlanan 100 uygulama projesinde kullanılan eğimli çatı kirişleri analiz edilmiş, geçilen açıklıklar, kalıp sistemleri, kolon boyutları, taşıyıcı sistem kurguları topluca değerlendirilmiştir. Çatı kirişleri için yapılan tipolojik çalışma sonrasında DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 PGA değerleri karşılaştırılmış, beklenen pik ivme değerlerinin %75’lere varan oranda çoğunlukla arttığı görülmüştür. Bu durum, mevcut yapılarda performans analizlerinin ve güçlendirme projelerinin önemini ortaya koymaktadır.

Tezin diğer bir özgün tarafı da daha hafif alternatif çatı kirişi tasarımıdır. Çatı kiriş ağırlığının azalması ile birlikte yapı öz ağırlığının da azalması gerçekleşeceğinden, kolon kesitlerine, temel boyutlarına ve yapı maliyetlerine bir miktar fayda sağlanması hedeflenmiştir.

Beşinci bölümde, önerilen alternatifler, incelenen 100 uygulama projesinde en sık kullanılan açıklıklara göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Eğimli çatı kirişlerinin yapısal hesapları yapılmış, düşey yükler altında davranışları incelenmiştir. Önerilen alternatiflerden çatı kirişinin trapezoidal olarak teşkil edilmesiyle, yapı elemanının düzlem dışı hareketinin de sınırlanacağı tahmin edilmektedir. Ulaşılabildiği kadarıyla böylesi bir çözümün ilk kez bu tez kapsamında önerildiği söylenebilir. Boşluklu/delikli olarak tasarlanan çatı kirişlerinde de tüm tesisat, havalandırma, kanallar, tavalar vb. geçirilerek işletme içindeki operasyonlara kolaylık sağlaması, kat yüksekliğini azaltmadan ve diğer yapı elemanlarına ilave yük oluşturmada sistemin düzenlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuç ve öneriler altıncı bölümde verilmiştir.

OVERVIEW OF STRUCTURAL SYSTEMS OF PREFABRICATED /PRECAST CONCRETE INDUSTRIAL BUILDINGS IN SEISMIC REGIONS AND ALTERNATIVE DESIGNS FOR SLOPED ROOF BEAMS

SUMMARY

Prefabricated reinforced concrete (RC) members are structural elements that are mass-produced in facilities, assembled on the construction site using construction lifting equipments such systems should be specially designed according to the needs of these stages. Columns, beams, walls, panels, double-walled panels, slabs, facade and cellular components are typical members widely used in prefabricated construction. Prefabricated structures can be classified as framed systems (column-beam), panel systems, cellular systems, and hybrid systems. In Turkey, prefabricated RC buildings are constructed especially for industrial facilities, commercial buildings, sports halls, depots, and less frequently for residential housing, schools, hospitals, and carparks. Since the production is serial and regular controlled, pre or post-tensioning methods can be successfully used, and this fast construction technique makes prefabricated buildings advantageous in many terms compared to buildings constructed by conventional methods.

The configuration of roof beams is of great importance in prefabricated/precast RC industrial buildings, which are mostly single story, where column-foundation connections are fixed and column-beam joints are hinged (pinned). Considering the geometry of buildings, climate and soil conditions of the site, production location/method of the building elements, etc., it is possible to design such beams in different sizes and properties.

Within the scope of this thesis, firstly, different roof beam designs in the world have been overviewed. Considerations in the design of prefabricated roof beams are discussed and examples are given for different beam alternatives. Beam spans, useful/net heights, roof slope, truss-arch-Vierendeel type beams, openings in the beam web, detailing of joint areas, horizontal and vertical load capacities are analysed through examples from different countries.

Horizontal and gravity load parameters that affect the structural design and strength calculations of roof beams are discussed. With the increasing energy crisis in all over the world, the use of renewable energy sources in all types of buildings (industrial, schools, residences, hospitals, etc.) is being investigated and solar energy systems are becoming more important. Effects of energy harvesting systems that can be mounted on the roof level of existing buildings and building elements are discussed. The 4 most widely used prefabricated RC systems in Turkey are introduced in terms of the structural elements, construction types, problems in existing buildings and their seismic performance.

Damages and problems were identified in the design, production, assembly, and operation all phases of RC sloped roof beams, which were mass-produced under high quality control in indoor workshops or production facilities. Incorrect structural

design, wrong concrete designs, mistakes made during introduced the production phases, and operational defects were photographed and presented with engineering-wise comments. It is aimed that these errors/faults from each phase would be useful for the precast construction sector.

Within the scope of this thesis, special emphasis is given on the seismic performances of prefabricated RC buildings during 2 devastating earthquakes in Turkey. The existing situation was evaluated as a result of an on-site/ reconnaissance visit to Malatya and Elazığ Industrial Zones. The structural systems commonly used in our country are evaluated and the roof beam configurations used in 100 real-life application projects completed in the Thrace region are analysed. This study reveals the importance of performance based analyses and retrofitting projects in existing buildings designed and constructed prior to the current seismic code.

In Turkey, earthquake codes have been revised eight times since 1940. After each revision, various improvements have been achieved in mainly in-situ reinforced concrete buildings. However, for the first time, it took many years to include prefabricated structures in 1997. Using the current codes, it is important to check the performances of prefabricated reinforced concrete building systems, which constitute a large percentage of the industrial building stock in Turkey. After a typological study for roof beams, TBEC-2007 and TBEC-2018 PGA values (Peak Ground Acceleration) are compared. It was observed that the peak ground acceleration values increased up to 75%.

With new alternative designs proposed for the roof beams, another original contribution of this thesis is that the weight of the roof beams could be reduced when compared to the standard prefabricated RC roof beam designs. Since the weight of the roof beams could be reduced, it is aimed to provide some benefits in to the column cross-sections, foundation dimensions and therefore overall construction costs could be lowered.

The alternatives are given comparatively according to the most frequently used spans in the 100 application projects examined in this work. Structural analyses and designs of sloping roof beams are carried out and their behavior under vertical loads is investigated. Among the proposed alternatives, it is recognized that the out-of-plane displacement of the structural element can be limited by forming the roof beams with webs having a trapezoidally corrugated form. To the best knowledge of the author, such a configuration is firstly proposed here for prefabricated RC roof beams. Roof beams can also be designed allow passage of all building service elements such as installations, ventilation, canals, etc. Various strategic placement of opening configurations is also discussed. Conclusions and recommendations obtained from this thesis are given in section 6.

As a result of the studies and real life projects examined, alternative sloped roof beam designs are proposed. The proposed alternatives can be summarized in two parts: the roof beam with circular web openings and the beam with trapezoidal web. Four alternatives for roof beams are proposed. And, the total volumes required for the most frequently used beam spans are compared. Each proposed alternative shows that the beam self-weight of the roof beams could be reduced in the proposed alternatives. In addition, overall beam volume increases as the span increases. Note that roof beams have a significant impact on the majority of the building's self-weight.

As a result of the calculations, it is observed that the volume of the sloped roof beam could be reduced to a significant amount by designing the web in the proposed ways

in this work. It was determined that there was a decrease in the volume of concrete used. With the reduced beam self-weight, the rebar quantities of the sloped roof beam decreased as well.

In order to provide an example of the proposed new sloped roof beam, structural calculations are also added using the SAP2000 analysis program. Results from the sloped roof beam design program prepared in Excel, show that the beam designs are safe in terms of bending moment, shear force, and lateral stability conditions.

It is clear that the proposed sloped roof beams will provide advantages in the transportation and assembly phases with the reduction of self-weight.





1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon

Prefabrike betonarme binalar, taşıyıcı sistem elemanlarının üretim tesislerinde yüksek standartlarda seri ve özel olarak üretilerek yapım sahasına nakledilip montajı yapılan binalardır. Aktif fay hatları üzerinde yer alan Türkiye’de prefabrike betonarme binalar özellikle sanayi/endüstri tesisi, ticaret merkezi, depo, daha az sıklıkla konut, okul, hastane ve otopark amaçlı olarak inşa edilmektedir. Üretimin seri ve kontrollü olması, ön ya da ardgerme yöntemlerinin kullanılmasına olanak sağlaması, hızlı yapım tekniği ile prefabrike binaları geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş binalara göre pek çok bakımdan avantajlı kılmaktadır.

Prefabrikasyon teknolojisi, fabrika ya da atölyelerde kapalı bir ortamda yüksek kalite denetimi altında gerçekleştirilmektedir. Kapalı alanda dış koşullardan minimum şekilde etkilenecek üretilen elemanlarda öngerme/ardgerme gibi teknolojilerin de kullanılmasıyla ekonomik çözümler üretilebilmektedir. Geleneksel yöntemlerin aksine, kütleme olanaklarıyla da yüksek dayanımlı betonlar üretilebilmekte ve aynı gün içerisinde kalıp kullanımına olanak sağlayabilmektedir.

Prefabrike binalarda taşıyıcı strüktürün benzer elemanların sayısının çokluğu bina yapım süreci açısından önemlidir. Benzer birleşim detaylarının kullanılması, taşıyıcı sistem akslarının modüler yapım tekniğine uygun projelendirilmesi, uygulama ve üretim planları da diğer önemli unsurlardır. Prefabrike binalarda, tüm taşıyıcı sistemin betonarme elemanlarla tasarlanıldığı gibi ahşap/çelik elemanlarla birlikte karma bir şekilde çözülmesi de mümkündür.

Özellikle sanayi ve üretim tesisi binalarında çoğunlukla kullanılan prefabrikasyon teknolojisinin yeri, hızlı yapım tekniği ile yapım süreçlerini kısaltarak yapıların kullanıma açılması, uygulamalarda kayıpların en aza indirilmesi ve ülkelerin genel ekonomisine katkı sağlamasıyla büyüktür. Türkiye’de de sanayi/endüstri binalarının yanı sıra; az ya da çok katlı konut, okul, yurt binalarında, spor tesislerinde, ticaret merkezlerinde prefabrikasyon tekniğinin sağladığı olanaklar kullanılmaktadır.

Bu tezin de konusu olan prefabrike betonarme çatı kirişleri, arakat kirişlerine oranla daha farklı kesitlerde ve boyutlarda tasarlanıp üretilebilmektedir. Tek ya da çok katlı sanayi binalarında yapı öz ağırlığının önemli bir bölümünü, geçilen açıklığın büyük olması nedeniyle, çatı kirişleri oluşturur. Prefabrikasyon teknolojinin sağladığı olanaklarla yeni tasarımların önü her zaman açıktır. Seri üretim biçiminde üretilen elemanlarda sağlanacak kolaylıklar hem yapım sürecine hem de yapı maliyetine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle sektörde geniş bir tarama çalışması yapılmış, sorunlar ve olası çözümler incelenmiş, sonrasında ise yaygın kullanım alanı olan eğimli çatı kirişleri için alternatif önerilerde bulunulmuş, değişik yapısal analizler yapılarak önerilen alternatif kirişlerin düşey yükler altındaki davranışları incelenmiştir.

1.2 Amaç

Bu tezin amacı, öncelikle prefabrike betonarme yapıların düşey ve yatay (deprem, rüzgâr) yükler altındaki performanslarına etki eden faktörleri belirlemek ve prefabrike betonarme binalarda büyük çoğunlukla kullanılan eğimli çatı kirişleri için alternatif tasarımlar önermektir. Önerilen tasarımların standart eğimli çatı kirişlerine oranla daha hafif olması amaçlanmıştır; bu ise öncelikle gövdenin olabildiğince ince tasarlanması ile mümkündür. Çatı kirişi ağırlığının azalması ile birlikte yapı öz ağırlığının da azalması gerçekleşeceğinden, kolon kesitlerine, temel boyutlarına ve böylece yapı maliyetlerine bir miktar fayda sağlanması hedeflenmiştir.

Öncelikle farklı çatı kiriş alternatiflerinin geometrik özellikleri hakkında bilgi vermek amacıyla Türkiye’de ve farklı ülkelerde tasarlanmış ve üretilmiş çatı kirişleri incelenmiş ve konu ile ilgili kapsamlı bir ön araştırma yapılmıştır. Tipolojik bir değerlendirme yapabilmek ve Türkiye’de mevcut durumu ortaya koymak amacıyla 2015~2021 yılları arasında Trakya bölgesinde tasarlanmış ve uygulanmış 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi ve hesapları incelenmiş ve eleman açıklıkları, kullanılan çatı kirişi kalıbı sıklığı, eğimli çatı kirişi ağırlıkları, a/l oranları (a =Oluk kirişi açıklığı, l =Eğimli çatı kirişi açıklığı) ve optimum açıklıklar irdelenmiştir.

Prefabrikasyon teknolojisinin sunduğu, tek kalıpta seri üretim yapı elemanlarının üretilmesi üstünlüğü ile yeni öneriler geliştirilmiştir. Mevcut tasarımlara önerilen

alternatiflerin üç boyutlu modelleri yapılmış sistem ve kesit hesapları tamamlanmıştır. Farklı açıklıklar için her alternatif denenmiş ve açıklığa bağlı olarak öneriler karşılaştırılmıştır.

1.3 Kapsam ve Yöntem

Bu çalışmada deprem bölgelerindeki prefabrike betonarme endüstri binaların yapısal sistemleri değerlendirilmiş, çatı kirişleri için farklı sistem ve alternatifler araştırılmış, Türkiye’de yapımı tamamlanan 100 adet uygulama projesi değerlendirilmiştir. Çalışmanın özgün konusu olan prefabrike betonarme çatı kirişleri için önerilen alternatif tasarımların kiriş öz ağırlıklarına etkisi farklı açıklıklar için karşılaştırılmış ve düşey yükler altında davranışları incelenmiştir; kesitteki ana farklar gövdenin düz yerine seçilen daha ince bir trapezoidal şekil ile oluşturulması (bir bakıma rijitleştirilmiş gövde) ve gövdede açılan boşlukların açıklık boyunca belirli örüntüler ile devam etmesidir; böylece öz ağırlıkta bir azalmanın sağlanması hedeflenmiştir.

2. Bölüm’de prefabrike betonarme yapı elemanlarının özellikleri, çatı kirişlerinin Türkiye’de ve diğer ülkelerdeki farklı alternatifleri araştırılmıştır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan prefabrike sistemler ve işletme yükleri altındaki değerlendirmeleri de bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu sistemlerin tipik özellikleri açıklanmış, çatı kirişlerine ayrıca değinilmiştir.

Prefabrike betonarme çatı kirişlerinin üretimlerinde karşılaşılan yaygın hasarlar ve sorunlara, tasarım hatalarına 3. Bölüm’de yer verilmiştir. Tez sürecinde meydana gelen 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) ($M_w=6.7$) ve 30 Ekim 2020 Samos (Sisam) ($M_w=7.0$) depremleri sonrasında prefabrike betonarme binaların performansları da kısaca değerlendirilmiştir.

4.Bölüm Türkiye’de 2015~2021 yılları arasında yapımı tamamlanmış 100 adet prefabrike betonarme binanın topluca değerlendirilmesine ayrılmıştır. Türkiye’de yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e (TBDY-2018) göre tasarlanmış binaların önceki yönetmeliğe göre tasarlanmış ve uygulaması tamamlanmış binalarla tasarım ve yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Tezin ana konusu olan eğimli çatı kirişleri için de en sık kullanılan açıklıklar, kalıp ve geometriler bu bölümde değerlendirilmiştir.

5. Bölüm’de önerilen prefabrike betonarme çatı kirişlerinin tasarım ve analizleri ayrıntılı olarak işlenmiştir. Önerilen alternatiflerin farklı açıklıklarda hacim ve ağırlıkları karşılaştırılmış, üç boyutlu modelleri hazırlanmıştır. Yapılan matematik modellemeler ve yapısal hesaplar sonunda çatı kirişlerinin düşey yükler altında taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veri, sonuç ve öneriler 6. Bölüm’de özetlenmiştir.



2. PREFABRİKE BETONARME ÇATI KİRİŞLERİ-SİSTEMLER

Prefabrike betonarme binalar, yapı elemanlarının tümünün ya da büyük bir kısmının kapalı tesislerde endüstriyel yöntemlerle üretilmesini sağlayan bir yapım türüdür. Önceden üretilmiş elemanlarla yapım anlamına gelen prefabrikasyon, genel olarak yapıyı oluşturan eleman ve bileşenlerin üretim tesislerinde seri ve özel olarak üretilerek yapım sahasında birleştirilmesi esasına dayanan bir yapım şekli olarak da tanımlanabilir. Yapım sürecine ve organizasyonuna büyük oranda hız kazandıran prefabrikasyon yöntemi ile dış koşullara bağımlılığı azaltarak, yüksek kalite kontrolü ile öngerme/ardgerme gibi teknolojilerin de kullanılmasıyla ekonomik çözümler üretilmektedir.

İkinci Dünya Savaşı'nın artan konut ihtiyacı, hazır betonun gelişimi ve gelişen ekonomik koşullar sonucunda Avrupa ülkelerinde ve Sovyetler Birliği'nde prefabrike betonarme taşıyıcı sistemlere yönelim artmıştır. Türkiye'de ise 1960'lı yılların başında 8 vilayette 234 ilkokul projesi 33 gün gibi kısa bir sürede prefabrikasyon ile tamamlanmış ve ardından ülkenin sanayileşmesine paralel olarak endüstriyel tesislerin yapımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Acar, 2006). Son yıllardaki sanayileşme hızına paralel olarak artan endüstriyel binaların hemen hemen tümü prefabrikasyon tekniği ile yapılmaktadır. Türkiye Prefabrik Birliği 2021 yılı faaliyet raporu (TPB, Rakamlarla Prefabrike Beton 2021 Raporu) incelendiğinde, toplam prefabrike beton üretiminin 1.886.826 m³ ve sanayi yapılarındaki payının ise %85 olduğu görülmektedir. Türkiye'de prefabrike betonarme binalar özellikle sanayi/endüstri tesisi, ticaret merkezi, spor salonu, depo, daha az sıklıkla konut, okul, yurt binaları, hastane ve otopark amaçlı olarak inşa edilmektedir.

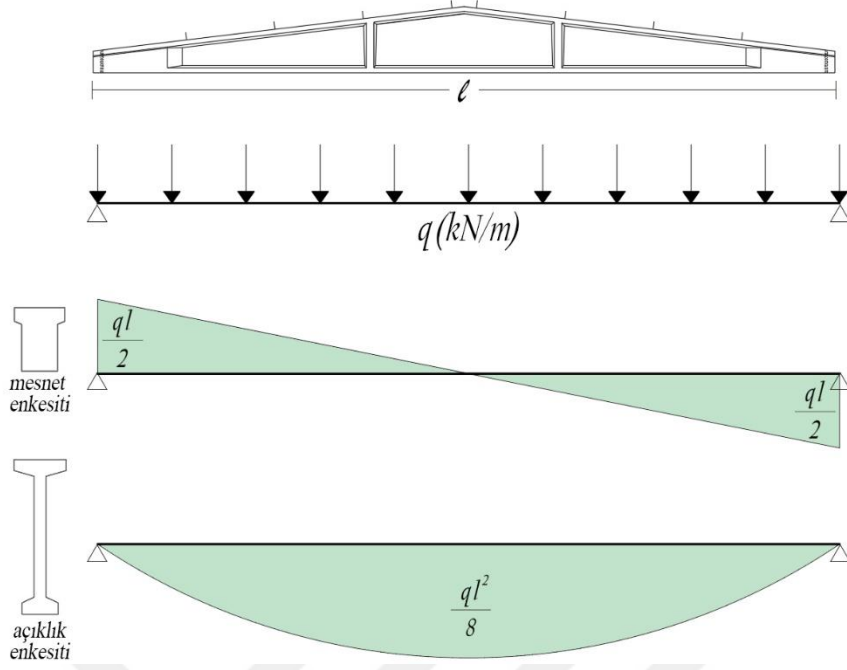
Taşıyıcı sistemin kurgusuna göre prefabrike betonarme binalar kolon-kiriş sistemler (çerçeve/çubuk, perde-çerçeve sistemler), yüzeysel taşıyıcılarla oluşturulan sistemler (panel sistemler), hücre sistemler ve karma sistemler olarak sınıflandırılabilir. Türkiye'de 1960'lı yıllardan beri yaygınlaşan prefabrikasyonda üretim ve montaj aşamasındaki üstünlükleri nedeniyle çubuk sistemler sıkça tercih edilmektedir.

Prefabrike binalarda strüktürün benzer elemanlarının sayısının çokluğu bina yapım süreci bakımından önemlidir. Benzer birleşim detaylarının kullanılması, taşıyıcı sistem akslarının modüler yapım tekniğine uygun projelendirilmesi, uygulama ve üretim planları da hızlı yapım için diğer önemli unsurlardır. Kullanılan eleman sayısının fazlalığı nedeniyle döşeme-çatı elemanlarının optimum tasarımı özellikle önem kazanmaktadır.

Bu bölümde prefabrike betonarme çatı kirişlerinin özellikleri Türkiye’de ve diğer ülkelerdeki farklı alternatifleri üzerinden bir tipolojik çalışma gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan prefabrike sistemler ve işletme yükleri altındaki değerlendirmeleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve çatı kirişlerine ayrıca değinilmiştir.

Prefabrike betonarme çatı kirişleri, arakat kirişlerine oranla daha farklı kesitlerde ve boyutlarda tasarlanıp üretilebilmektedir. Tek ya da çok katlı sanayi binalarında yapı öz ağırlığının önemli bir bölümünü, geçilen açıklığın büyük olması nedeniyle, çatı kirişleri oluşturur. Prefabrike betonarme çatı kirişleri prefabrikasyon teknolojisi sayesinde yapısal hesap, yönetmelik ve geçerli olan standart ve usullere göre en uygun kesitlerde yapılabilir. Kirişlerin kesit ve tasarımını etkileyen ana faktörler seçilen yapısal sistem, açıklık, öngerme yapma/yapmama gereği, üretim yeri ve yöntemi, kalıp ve işçilik olanakları, üretilecek imalathanenin büyüklüğü, bağlantı detayları, çatı kirişine yüklenecek ek yükler (tesisat, güneş paneli vs.) olarak sıralanabilir.

Tek katlı olan kolon-temel bağlantılarının ankastre, kolon-kiriş birleşimlerinin mafsallı teşkil edildiği prefabrike betonarme endüstri yapılarında çatı kirişlerinin konfigürasyonunun önemi büyüktür. Türkiye’de prefabrike betonarme endüstri yapılarında çoğunlukla eğimli çatı kirişleri kullanılmaktadır. Eğimli çatı kirişleri genelde değişken kesitli kirişler olup eğilme momenti diyagramına uygun biçimde, açıklık ortasına gidildikçe yüksekliği artacak şekilde tasarlanır. Üst başlıkları iki tarafa eğimli olan kirişlerle oluşturulan sistemler çok yaygın bir uygulama alanı bulabilmiştir. Buna koşut olarak, alternatif sistem arayışları halen devam etmektedir. Şekil 2.1’de prefabrike binalarda yaygın kullanım alanı bulan, iç kuvvet dağılımına göre değişken kesitli ve üst başlığı iki yönde eğimli çatı kirişi gösterilmiştir.



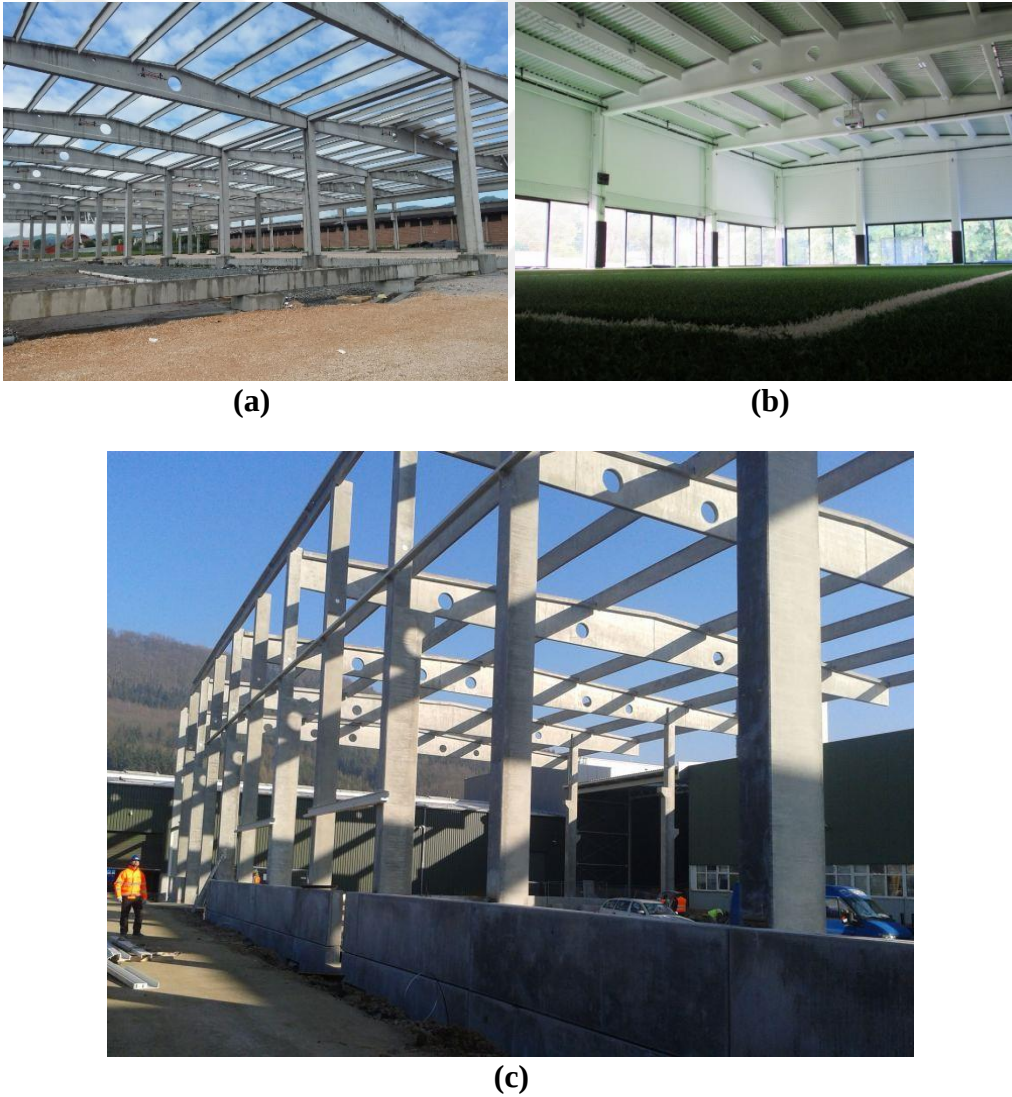
Şekil 2.1 : Türkiye’de yaygın olarak kullanılan eğimli çatı kirişlerinin iç kuvvet dağılımına uygun geometrisi.

Mesnet bölgelerinde yeterli kesme güvenliğini sağlamak amacıyla dolu (dikdörtgen, T) enkesitler kullanılırken, açıklıkta tek simetri eksenli I,T gibi enkesitler ortaya çıkmaktadır. Kesitlerin açıklık boyunca değişmesinin en önemli nedeni, mesnet bölgelerinde oluşan kesme güvenliğinin sağlanması ile birlikte bina ağırlığının alabildiğine azaltılması ve uygun maliyet arayışları olarak sıralanabilir. Bütün bunlar düşünüldüğünde, çatı kirişlerinin maliyet etkin tasarımı konuları mühendislerin sürekli olarak dikkatini çekmiş ve çekmektedir.

2.1 Türkiye’de ve Farklı Ülkelerde Uygulanmış Çatı Kirişi Alternatifleri

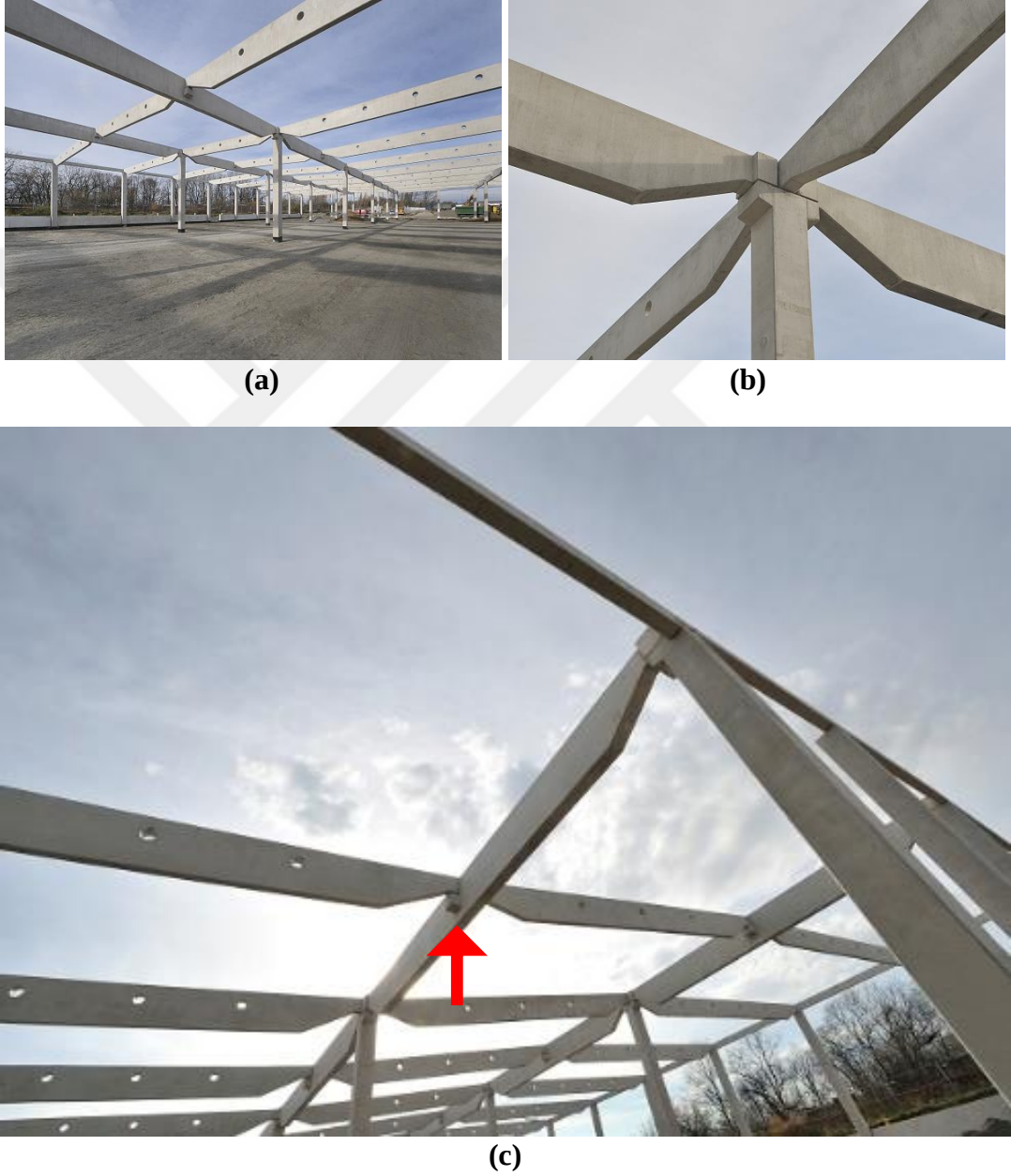
Prefabrike betonarme çatı kirişlerinin başka ülkelerdeki örneklerine bakıldığında yapının bulunduğu bölgedeki kar yükü, buz yükü, iklim koşulları, zemin koşulları, depremsellik durumu (uç birleşimleri bakımından), işletmede geçilmek istenen açıklık ve eğim, seçilen yapısal sistem vb. parametrelere göre oldukça farklı tasarımların uygulandığı görülmektedir. Tek ya da kısmi arakatlı, büyük açıklıklı prefabrike betonarme yapı elemanları ile oluşturulan taşıyıcı sistemlerde, çatı kirişlerinin tasarım, üretim, nakliye ve montaj sorunları doğabilmektedir. Bu nedenle, çeşitli kiriş alternatifleri (değişken kesitli, dolu gövdeli, kafes kirişler, kemerler vb.) ortaya çıkmıştır.

Uygulamada tesisat/donanım/servis borularının, havalandırma ve elektrik tavelarının geçirilmesi için betonarme kiriş gövdelerinde değişik geometrik şekillerde boşluk açılması sıklıkla istenen bir durumdur. Söz konusu elemanların kiriş altından geçirilmesi yerine, bırakılan boşluklardan geçirilmesi kat yüksekliklerine fayda sağlamaktadır. Bu tür boşlukların özellikle kesme kuvvetinin fazla olduğu bölgelerden uzaklarda (örneğin açıklık ortasına yakın) ve küçük çaplarda/boyutlarda düzenlenmesi tercih edilmektedir. Boşluklar işletmenin kullanımı değerlendirilerek bir ya da birden fazla boşluk olacak şekilde teşkil edilebilmektedir. Şekil 2.2’de tasarımı ve üretimi tamamlanmış, çatı kirişlerinde binanın işlevine göre farklı sayı ve boyutlarda boşlukların açıldığı montaj aşamalarında olan prefabrike betonarme binalar görülmektedir.



Şekil 2.2 : Çatı kirişlerinde tesisatlar için açılan boşluk örnekleri (a) Gradmont D.o.o. (Bosna-Hersek) (Url-1) (b) Palace D.o.o. (Hırvatistan) (Url-2) (c) Armado A.s. (Çek Cumhuriyeti) (Url-3).

Çek Cumhuriyeti'nin Ostrava şehrinde 2010 yılında prefabrike betonarme sistem ile inşa edilen alışveriş merkezi Şekil 2.3'te verilmiştir. Çatı kirişlerinde açılan tesisat boşluklarının yanı sıra, yapıda birbirine dik doğrultudaki kirişlerin bir doğrultuda kolonlara, diğer doğrultuda ise kolonlara mafsallı olarak bağlanan alt başlıkları eğimli kirişlere taşıtılarak her iki doğrultuda da geniş açıklıkların geçildiği görülmektedir; yapının plan boyutları 164m x 65m'dir.



Şekil 2.3 : Çatı kirişlerinde tesisatlar için açılan boşluk örnekleri VCES (Çek Cumhuriyeti) (a) Montajı tamamlanan binanın genel görünümü, (b,c) Kolon kiriş ve kiriş-kiriş bağlantıları (Url-4).

Kiriş gövdesinde farklı geometri, boyut ve sayılarda boşluk bulunduran betonarme kirişlerin davranışları ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Boşluk civarının, oluşan sekonder (ikincil) eğilmeler (Vierendeel etkisi) nedeniyle özel olarak donatıldığı bilinmektedir. Yine, homojen boşluklu kirişler olması durumunda, boşlukların çaplarının kiriş yüksekliğine oranı, ardışık boşlukların (Şekil 2.4) merkezlerinin birbirine olan uzaklıklarının uygun tasarımı önem kazanmaktadır.



Şekil 2.4 : Kiriş gövdesinde ardışık boşluklu prefabrike betonarme çatı kirişi Laumer Betonfertigteile (Almanya) (Url-5).

Geçilen açıklık arttıkça, prefabrike betonarme çatı kirişlerinin öz ağırlıklarındaki artış nakliye ve montaj sırasında güçlükler neden olmaktadır. Bu durum, çatı kirişinde ağırlık artışının yanında, yapının deprem bölgesinde olması durumunda, deprem yüklerinin de artmasına ve temel sisteminin tasarımına doğrudan etki etmektedir. Farklı ülkelerde uygulanmış betonarme kafes çatı kirişleri ile kiriş öz ağırlıklarını azaltıp daha büyük açıklıkların geçildiği bilinmektedir. Gerçekte bu tür çatı sistemlerinin ilk örnekleri Fransa ve Almanya da görülse de, inşaat sektörünün devlet tarafından planlandığı sosyalist (örn. Sovyet Rusya) ülkelerde yaygın olarak kullanılmıştır.

Betonarme prefabrike kafes kirişler, dolu gövdeli kirişlere göre hafif olması ve malzeme gereksiniminden, temel tasarımına kadar üstünlük sağlaması nedeniyle özellikle büyük açıklıkların kullanımında etkili olmaktadır. Kafes kiriş teşkili için bırakılan boşluklardan tesisat/kanal/havalandırma öğelerinin geçirilmesiyle kat yüksekliğine de olumlu katkı sağlamak mümkündür. Paralel başlıklı, üçgen ya da trapez olarak tasarlanıp üretilen prefabrike betonarme kafes kirişler hem ülkemizde hem de dünyada oldukça yaygın kullanım alanı bulabilmişlerdir.

Çelik kafes kirişlerin neredeyse tüm çeşitlerinin üretiminin yapılabildiği betonarme kirişler, çelik sistemler ile karşılaştırıldığında bakım gerektirmemesi ve yangına dayanıklı olması bakımından daha üstün sayılabilirler. Ancak, kalıp teşkili, donatı işçiliğinin güçlüğü, ince kesitlerde beton dökümü zorlukları vb. nedenler bu tip kirişlerin olumsuz yönleri olarak sıralanabilir.

2017 yılında projeleri tamamlanan Almanya'nın Münih şehri yakınlarında çok amaçlı spor salonu olarak inşa edilen bir binada, mahya yüksekliği $h=250\text{cm}$ olan, %5 eğimli prefabrike betonarme eğimli çatı kirişleri kullanılmış olup bu yapıya ilişkin bazı görseller Şekil 2.5'te verilmiştir. Yapıda kullanılan açıklık ve dik doğrultudaki aks aralıkları sırasıyla $l_n=33\text{m}$ ve $a=7\text{m}$ 'dir. İlk ve son akslarda ise paralel başlıklı çatı kirişleri kolonlara eğimli olarak mesnetlendirilmiş ve çatı eğimi sağlanmıştır.



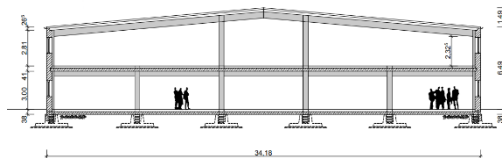
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 2.5 : Prefabrike betonarme kafes çatı kirişi uygulama örneği Mitterskirchen çok amaçlı salonu-2017 Laumer Betonfertigteile (Almanya) (Url-5) (a,b,c) Prefabrike betonarme yapı montajı, (d,e) Prefabrike yapı kesit ve görünüşleri.

Şekil 2.6’da Slovenya ve Sırbistan gibi orta Avrupa ülkelerinde eğimli çatı kirişlerinin farklı kafes/kısmi kafes (hibrit)/Vierendeel kiriş konfigürasyonları ile tasarlanmış bazı örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.6 : Prefabrike betonarme kafes/kısmi kafes (Hibrit)/Vierendeel kiriş uygulamaları (a,b) Gradbeništvo Glogovič (Slovenya) (Url-6), (c,d) Structuraconcept (Sırbistan) (Url-7), (e,f) Dak-beocin (Sırbistan) (Url-8).

Türkiye’de Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. tarafından tasarlanmış ve üretilmiş prefabrike betonarme Vierendeel kirişler seyrek de olsa uygulama alanı bulabilmişlerdir (Şekil 2.7). Vierendeel kirişlerin kuvvet dağılımı diğer kirişlerden farklı olduğu için sistem analizi, kesit hesapları ve donatı detaylarına gereken özen gösterilmelidir.



Şekil 2.7 : Türkiye’de prefabrike betonarme Vierendeel kiriş uygulamaları Yapı Merkezi Prefabrikasyon (İstanbul) (Url-9).

2004 yılından beri Türkiye’de Kam Beton A.Ş. tarafından 20~30m açıklıklar arasında kafes kiriş uygulamaları yapılmaktadır. Çekme elemanlarında öngerme halatı, basınç elemanları da betonarme teşkil edilerek tasarlanan kirişler, standart çatı kirişlerine oranla %30 mertebelerinde daha hafif üretilmektedir. Türkiye’de uygulanmış örnek prefabrike betonarme üçgen kafes kirişler Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Kalıp ve donatı işçiliğinin güçlüğü, öngerme uygulamasının zorluğu, ince kesitlerde beton dökümü zorlukları vb. nedenlerle ülkemizde standart çatı kirişleri yanında nadir de olsa kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.8 : Türkiye’de prefabrike betonarme kafes kiriş uygulamaları, Kam Beton (Ankara) (Url-10).

Prefabrike betonarme kemerler, düşey yükler altında davranış bakımından en uygun olmaları ve daha az malzeme sarfıyatı ile büyük açıklıkların geçilmesini mümkün kılarlar. Bu nedenle, kiriş öz ağırlıklarının önem kazandığı açıklıklarda kemerlerin kullanımı daha ekonomik olabilmektedir. Kemerli sistemleri, kolon-temel bağlantıları ankastre olan kolonlara üstten mafsallı bağlanan kemerler, doğrudan temellere ya da taşıyıcı duvarlara oturan kemerler ve üst başlıkları kemer biçiminde olan çerçeveler olarak 3 grupta toplamak mümkündür. Mafsallı olarak bağlanan prefabrike betonarme kemer kirişlerde, kemer alt uçları ortaya çıkan itkiyi karşılamak üzere gergi elemanı ile birbirine bağlanırlar. Bu gergi elemanı, çelik çubuk ve/ya da U, L, T, I, O enkesitli çelik profil olabilir. Yapısal sistemin seçimi, geçilmek istenen açıklık, imalat/nakliye/montaj imkanları, yük bileşenleri, çatı örtüsü vb. faktörlere göre kemer yükseklikleri değişkenlik gösterebilir. Prefabrike betonarme kemer kirişlerin yüksekliği, açıklığın $1/6 \sim 1/12$ 'si arasında seçilebilir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından şehir genelinde 60 adet büyük ölçekli prefabrike spor salonu projesi yürütülmüş ve çatı elemanları olarak kemerler kullanılmıştır. Hızlı yapım tekniğiyle kısa sürede tamamlanan binalarda, kemerler kullanılarak geniş açıklıklar geçilmiş olup, net kat yüksekliklerinde fayda sağlanmıştır. Prefabrike betonarme kemerlerde gergi elemanı olarak boru profiller kullanılmış olup kiriş açıklığı $l_n = 20\text{m}$ 'dir.

Spor salonunun tribün bölümleri, asma katları, merdiven ve cepheleri de prefabrike betonarme olarak teşkil edilmiştir. Şekil 2.9'da prefabrike kemerlerin, temel seviyesinde ankastre bağlı kolonlara montajı görülmektedir. Montajı tamamlanmış ve kullanıma açılmış hali ise Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu prefabrike kolon-kemer kiriş montajı (Url-11).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.10 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu (a) prefabrike montajı tamamlanmış hali (b) Kullanıma açılmış iç mekânı (c) Bina cephesi (Url-11).

Prefabrike kemerler çoğunlukla tasarım, imalat, kalıp işçiliği vb. kolaylığı nedeniyle dikdörtgen kesitli olarak üretilmektedirler (Şekil 2.11). Geçilen açıklıklar arttıkça kiriş öz ağırlığını azaltmak için kemerleri, I kesitli, kafes ve/ya da Vierendeel kiriş olarak da imal etmek mümkündür.



Şekil 2.11 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi büyük ölçekli spor salonu dikdörtgen kesitli kemer kiriş üretimleri.

Prefabrike betonarme kirişler, yapının işlevselliğine göre yalnızca alt başlıkları eğimli olarak da üretilebilmektedir (Şekil 2.12). Bu kirişlerin yapısal davranışları montaj stabilitesi uygun olup kolonlara yatay ve/ya da eğimli olarak mesnetlenebilirler. Net kat yüksekliği kiriş yüksekliği nedeniyle azalsa da bina cephesinde düz çatı istenildiğinde uygun bir çözüm olarak sunulmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.12 : (a,b) Alt başlıkları eğimli çatı kiriş örnekleri (c) Tesisat boşluklu alt başlığı eğimli çatı kirişleri Armado A.s. (Çek Cumhuriyeti) (Url-3).

Bu tasarımlara ek olarak eğimli çatı kirişlerinin alt ve üst başlıklarının birbirlerine yakın eğimde uygulandığı durumlar da vardır (Şekil 2.13). Bu şekilde kiriş öz ağırlığının azalmış olmasının yanında kiriş alt başlığının da eğimli olması nedeniyle net/faydalı kat yüksekliği kiriş açıklığında artmaktadır. Net kat yüksekliğinin artması yapının işlevselliği bakımından önemli olduğundan yaygın olarak tercih edilmektedir. İncelenen örneklere bakıldığında çatı eğimlerinin %30 mertebelerine eriştiği görülmüştür.



Şekil 2.13 : Alt ve üst başlıkları eğimli çatı kiriş örnekleri (a) Montajı tamamlanmış çatı kirişi Preteresa-Prenavisa S.L. (İspanya) (Url-12) (b) Sistem kesiti (c,d) Prefagain (İspanya) (Url-13) (e,f) LPM (İtalya) (Url-14).

Çatı sularının toplanması bakımından üstünlük sağlayan üst başlıkları eğimli çatı kirişlerinin yanı sıra paralel başlıklı kirişlerin, hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde kullanımı oldukça yaygındır. Prefabrikasyon teknolojisinin sağladığı olanaklara göre kirişlerde öngerme ve/ya da ardgerme kullanılarak daha büyük açıklıklar geçmek mümkündür. Kirişlerin enkesitleri T, I ya da dolu dikdörtgen olarak çeşitlilik göstermektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Paralel Başlıklı Kirişler (a) T-Enkesitli Kiriş Uygulaması Gradbeništvo Glogovič (Slovenya) (b) Put Inženjering (Sırbistan) (Url-15).

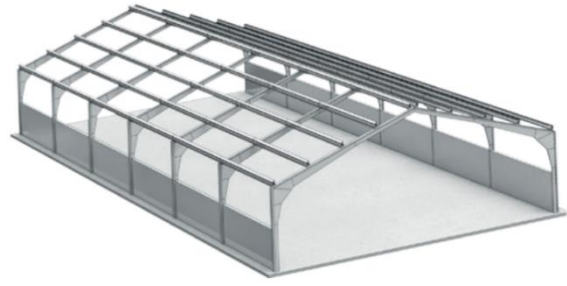
Prefabrike yapılarda, yapı elemanlarının (kolon ve kiriş) ayrı ayrı olarak üretilip moment aktaran ya da mafsallı bağlantılı sistemler elde etmek mümkün olduğu gibi çerçeve olarak da üretilmesi ve bunların birbirine bağlanması olanaklıdır. Bir ya da üç noktadan mafsallı olarak sonradan bağlantılı çerçeve prefabrike betonarme yapılar da sıkça tercih edilmektedir. Üretilen çerçeve elemanları iklim koşulları, eğim, açıklık, bağlantı şekli, çerçeve stabilizasyonu, çatı örtüsü vb. etkenlere göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da sonradan bağlantılı prefabrike çerçeveler ile teşkil edilmiş farklı ülkelerden bina örnekleri verilmiştir.



Şekil 2.15 : Sonradan bağlantılı prefabrike betonarme çerçeveler (a) Üç mafsallı çerçeve Laumer Betonfertigteile (Almanya) (b) Tek Mafsallı Çerçeve Gradbeništvo Glogovič (Slovenya).



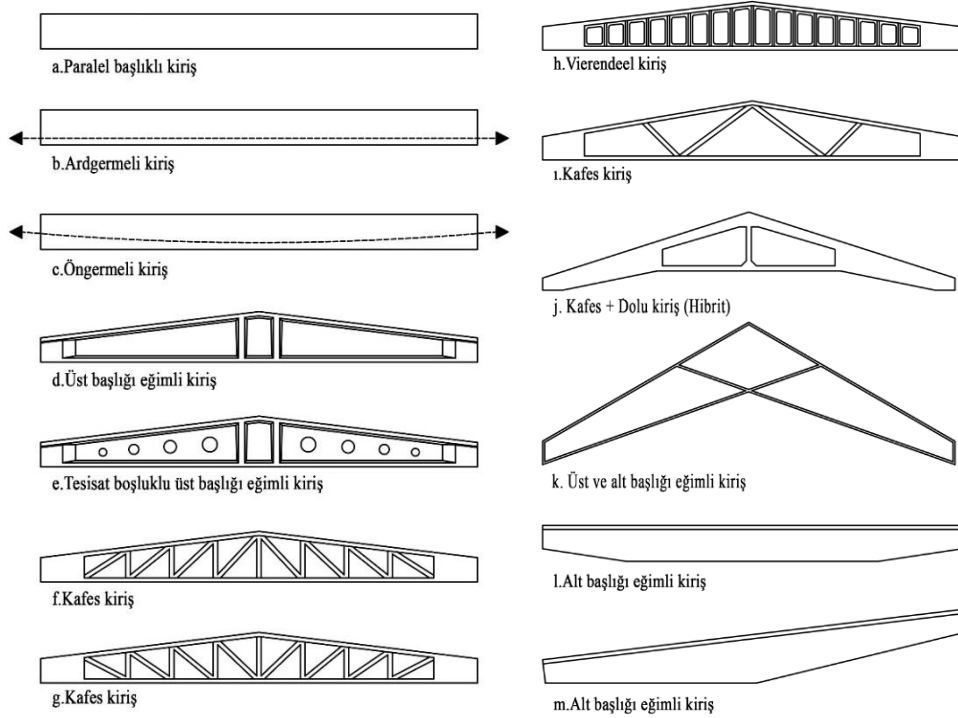
(a)



(b)

Şekil 2.16 : Sonradan bağlantılı prefabrike betonarme çerçeveler (a) Sonradan bağlantılı çerçeve montajı (b) Sistem modeli Prefagain (İspanya).

Yukarıda verilen bazı örnekler yardımıyla prefabrike yapılarda kullanılabilecek çatı kirişlerinin olası konfigürasyonları tipolojik olarak topluca Şekil 2.17’de özetlenmiştir. Açıklık arttıkça, orta açıklıkta kiriş kesiti arttıkça trapez şekilli olanlarda yanal stabilitenin sağlanması için yer yer gerektiğinde düşey berkitmelerin/rijitleştiricilerin kullanıldığı bilinmektedir. Kafes gövdeli sistemlerde, çelik kafes sistemlerin aksine, düşey yükler altında basınç türü eksenel kuvvet oluşturacak diyagonal yerleşiminin seçimi önem kazanmaktadır. Mimari ve yapısal tasarımın beklentileri doğrultusunda bu sistemlerden biri tasarımda kullanılabilir; tasarımcı bunlara ek sistemler de geliştirebilir.



Şekil 2.17 : Prefabrike betonarme çatı kirişi tipolojisi.

2.2 Çatı Kirişi Tasarımını Etkileyen Yük Bileşenleri

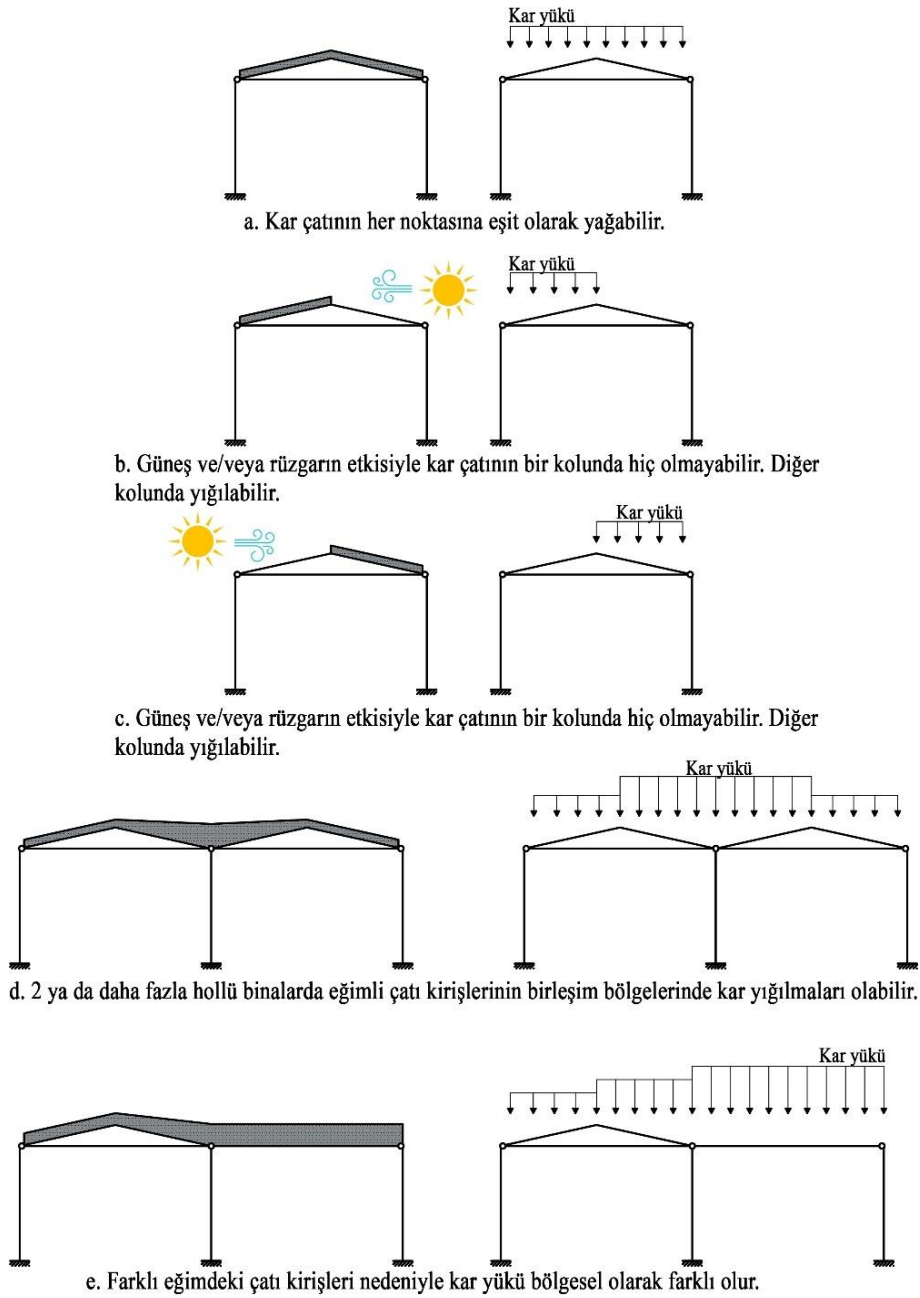
Yapısal hesaplar yapılırken, yapıya etkiyen yükler için çeşitli sınıflandırmalar dikkate alınmaktadır. Söz konusu yükler genel hatlarıyla düşey yükler (sabit yükler (G), hareketli yükler (Q)) ve yatay yükler (deprem (E) ve rüzgâr (W)) olarak ayrılabilir. Çatı elemanları için sabit yükler kiriş öz ağırlıkları, kaplama ağırlığı, tesisat yükü olarak hesaba katılmalıdır. Günümüzde ise tesisat yükleri ve özellikle sürdürülebilir enerji konusunda yürütülen çalışmalarda çatı seviyesinde güneş enerji sistemlerinin/panellerinin kullanılabilirliği beklenmektedir. Bu ise geçmişte yalnızca rüzgâr, kar ve tesisat yükleri altında bulunan çatı kiriş yüklerinin işletmede artmasıyla sonuçlanmaktadır; sektörün en sık karşılaştığı sorunlardan biri budur.

Prefabrike olarak tasarlanan yapılarda yüklerin montaj ve servis yükleri olarak ayrılması gerekmektedir. Bu tip yapılarda aşamalı yapım gerçekleştirileceğinden montaj durumlarındaki yüklerin belirtilmesi ve bu durum için yapı sisteminin analiz edilmesi şarttır. Yapı analizi sırasında yapı matematik modeline, sistemin montaj aşamalarındaki güvenliğinin kontrol edilmesi amacıyla iki farklı sistem kullanılarak aşamalı yapım (staged construction) özelliği tanımlanmalıdır.

Kar yükleri, yapının yapılacağı bölgeye, deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bölüm 2.1’de ayrıntılı olarak incelenen çatı kirişlerine bakıldığında iklim koşullarına göre kirişlerin boyut, tasarım ve eğimlerinde değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Ülkemizde kar yükü değeri TS498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri’ne göre hesaplanmaktadır. İklim koşullarının değişmesi ile kar yükü ile ilgili analizlerin güncellenmesi gerekmektedir.

Kış mevsiminin sert geçtiği, yoğun yağış alan ülkelerde çatı seviyesinde biriken kar yığılmaları nedeniyle sıklıkla göçmelerin yaşandığı ve büyük hasara yol açtığı bilinmektedir. Beklenen durumdan daha fazla yağış olması, ardışık yağışlarda çatı üzerinde kar birikmesi, biriken karın rüzgâr ile sürüklenmesi ve belirli bir bölgede toplanması, karın yoğunluğunun artması ya da buzlanma gibi nedenlerle yapı elemanlarının daha fazla yüke maruz kalacağı açıktır. Söz konusu durumlarda, ülkemizde de çatı uygulamalarında yanlış tasarım ve boyutlandırma sonucu göçmeler meydana gelebilmektedir. Üst başlıkları eğimli çatı kirişlerinin kullanıldığı 2 ya da daha fazla hollü yapılarda, kesme kuvvetlerinin de arttığı mesnet bölgelerinde kar

yığılmaları oluşmakta ve birleşim bölgelerinin güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir. Kar yığılmaları kaynaklı hasar oluşumlarının büyük açıklıklı yapılarda görülmesi daha olasıdır. Prefabrikasyon teknolojisinin üstünlükleri ile büyük açıklıklı olarak tasarlanan endüstri yapılarında, spor salonlarında, depo ve hangarlarda, alışveriş merkezi, ulaşım tesisleri vb. proje aşamalarında en elverişsiz yükleme durumları detaylı bir biçimde değerlendirilmeli, kar temizleme planları hazırlanmalı, kar kalınlığı belirli bir seviyeye geldikten sonra mutlaka temizlenmelidir. Şekil 2.18’de prefabrike betonarme binalar için olası kar yığılmaları değerlendirilmiştir.



Şekil 2.18 : Olası kar yığılması durumları.

Her geçen gün büyüyen enerji ihtiyaı ile güneş enerji santrallerinin (GES) kurulumunun önemi artmaktadır. Güneş enerji santralleri, güneşten gelen ışınları elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlarlar. Diğer kaynakların aksine yenilenebilir ve sürdürülebilir olması nedeni ile yaygınlaşmaktadır.

Yeni yapılacak binalarda çatı seviyesinde GES kullanımı, tasarım ve yapısal hesaplar sırasında değerlendirilmektedir. Seçilen atı kaplaması türüne göre değişen bağlantı elemanları, panel taşıyıcı sistemleri ve panel ağırlıkları tasarım yüklerine dahil edilirler. Paneller 60 ya da 72 hücreli olarak ikiye ayrılıp yaklaşık 20~25kg/m² olarak hesaba katılmalıdır. Mevcut endüstri yapılarında ise kapasite rezervi bulunmayan bazı çatı kirişlerinde hesaplar yapılmadan bu tür elemanların yapıya eklenmesi sorunlara neden olmaktadır.

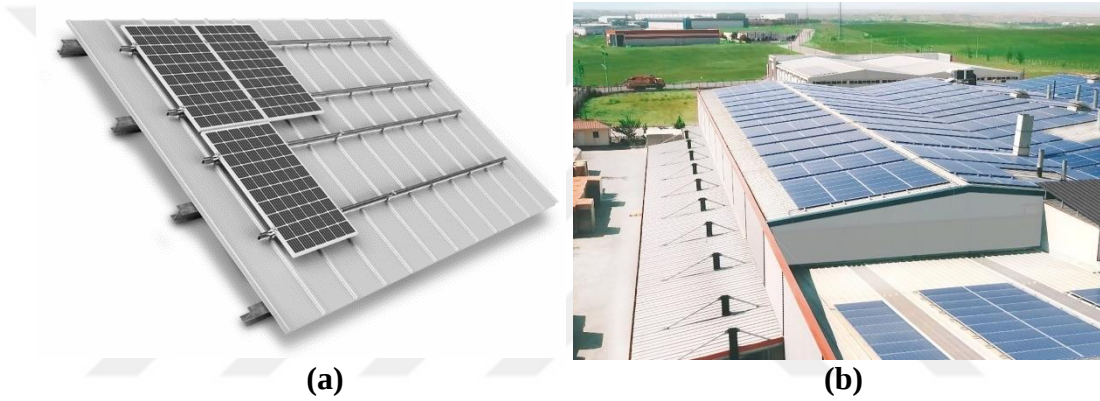
atı seviyesinde sandviç panel ya da trapez kaplamaların üzerine bağlanan güneş enerji sistemlerinin bina cephelerinde uygulanması da mümkündür (şekil 2.19). Duvar paneli olarak monte edilen güneş enerji sistemleri üretim için gerekli ısı enerjisini sağlayarak güneş enerjisinin yüksek verimle termal enerjiye dönüşümünü gerçekleştirirler.



şekil 2.19 : Güneş enerji sistemleri (a,b) Solar duvar uygulaması- İnan Makine Sirel Yapı Tekirdağ-Kapaklı.

Güneş duvar panelleri, güneş enerjisiyle ısıtma ve pasif soğutma sağlayan yeni nesil yenilenebilir enerji teknolojilerinden biridir. Bu sistem orlu/Tekirdağ bölgesinde 43.000 m² kapalı alana sahip İnan Makina fabrikasında kullanılmış olup şekil 2.19'da gösterilmiştir. Toplamda 3 cephede 2100 m² güneş duvar paneli sistemi montajı yapılmıştır.

Güneş enerjisi sistemlerinin mevcut prefabrike betonarme yapılara sonradan montajı da oldukça sık rastlanan bir durumdur (Şekil 2.20). Trapez ya da sandviç paneller üzerine ankrajlanan paneller mevcut yapılarda ilave bir yükleme durumu oluşturmaktadır. Prefabrike betonarme çatı elemanlarının düşey yük kapasiteleri ek panel yüklemesine uygun olsa bile, tüm yapısal hesapların tekrarlanması, kolon ve temel boyutlarının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde yaşanan önceki depremlerde prefabrike betonarme yapılarda oluşan yapısal hasarlar/göçmeler düşünüldüğünde hesap kontrollerinin güncel yönetmeliklere göre yenilenmesinin, gerekli olması durumunda yapısal güçlendirme projelerinin hazırlanması ve uygulanmasının önemi daha da artmaktadır.



Şekil 2.20 : Güneş enerjisi sistemleri (a) Sandviç panel kaplaması üzeri solar panel uygulaması (b) GES uygulaması tamamlanmış örnek bir bina (Url-16).

Günümüzde güneş enerji sistemlerinin mevcut yapılara montajı sonucu yapıların işletme yüklerinde değişik düzeylerde artışlar meydana gelmektedir. Çatı kirişlerinde tasarım, kalıp ve birleşim bölgesi detaylarına göre değişen işletme yükleri altında tahkikleri de değişkenlik göstermektedir. Aşık kirişleri çatı kirişlerine mafsallı bağlandığından basit kiriş olarak analiz edilmektedir. Örneğin, ortalama $a=8\text{m}$ aşık kirişi için, kar yükü $q_1=75\text{ kg/m}^2$ sandviç panel kaplama ağırlığı $q_2=12\text{ kg/m}^2$, tesisat yükü $q_3=15\text{ kg/m}^2$ ve güneş enerjisi sistemi $q_4=25\text{ kg/m}^2$ alınarak kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerindeki değişimler Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Burada, aşık aralıkları $s=2\text{m}$ ve aşık kirişi hacmi 0.198 m^3 olarak kabul edilmiştir.

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
aşık zati yükü[kg/m]:	61,75	240,8	0	494	240,8	0
Montajda top. G :	93	241	0	494	241	0
kaplama[kg/m ²]	54	211	0	432	211	0
Serviste top. G :	116	451	0	926	451	0
kar yükü[kg/m ²]	150	585	0	1200	585	0
Serviste top. Q :	150	585	0	1200	585	0

(a)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	402	1568	0	3216	1568	0
G + Q	266	1036	0	2126	1036	0

(b)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
aşık zati yükü[kg/m]:	61,75	240,8	0	494	240,8	0
Montajda top. G :	93	241	0	494	241	0
kaplama[kg/m ²]	104	406	0	832	406	0
Serviste top. G :	166	646	0	1326	646	0
kar yükü[kg/m ²]	150	585	0	1200	585	0
Serviste top. Q :	150	585	0	1200	585	0

(c)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	472	1841	0	3776	1841	0
G + Q	316	1231	0	2526	1231	0

(d)

Şekil 2.21 : $a=8m$ Aşık kirişi montaj ve servis yükleri, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (a,b) GES yükü dahil edilmemiş durum ve oluşan tesirler (c,d) İlave GES yükü etkisi ve oluşan tesirler.

Aynı sayısal örnek $a=12m$ aşık kirişi için tekrarlanmıştır. Burada, aşık aralıkları $s=2m$ ve aşık kirişi hacmi $0.465 m^3$ olarak kabul edilmiş ve değişen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri Şekil 2.22’de gösterilmiştir.

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
aşık zati yükü[kg/m]:	97,125	572,0663	0	1685	572,0663	0
Montajda top. G :	146	572	0	1685	572	0
kaplama[kg/m ²]	54	318	0	937	318	0
Serviste top. G :	151	890	0	2621	890	0
kar yükü[kg/m ²]	150	884	0	2602	884	0
Serviste top. Q :	150	884	0	2602	884	0

(a)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	452	2660	0	7833	2660	0
G + Q	301	1774	0	5223	1774	0

(b)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
aşık zati yükü[kg/m]:	97,125	572,0663	0	1685	572,0663	0
Montajda top. G :	146	572	0	1685	572	0
kaplama[kg/m ²]	104	613	0	1804	613	0
Serviste top. G :	201	1185	0	3489	1185	0
kar yükü[kg/m ²]	150	884	0	2602	884	0
Serviste top. Q :	150	884	0	2602	884	0

(c)

	SOL MESNET			AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	522	3072	0	9047	3072	0
G + Q	351	2068	0	6091	2068	0

(d)

Şekil 2.22 : $a=12m$ Aşık kirişi montaj ve servis yükleri, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri (a,b) GES yükü dahil edilmemiş durum ve oluşan tesirler (c,d) İlave GES yükü etkisi ve oluşan tesirler.

Bu sayısal örneklerde yapılan varsayımlar altında, $25 kg/m^2$ olarak yapıya ilave edilen güneş enerjisi sistemi, kirişlerde servis sabit yüklerinde %43’lük bir artışa neden olmaktadır. $a=8m$ olan aşık kirişi için açıklık momenti $1.4G+1.6Q$ kombinasyonunda $3216 kgm$, mesnet bölgesindeki maksimum kesme kuvveti $1568 kg$ olarak hesaplanırken, GES ilavesi sonrası açıklık momenti $3776 kgm$, maksimum kesme

kuvveti 1841 kg olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.21). $a=12\text{m}$ olan aşık kirişi için ise açıklık momenti $1.4G+1.6Q$ kombinasyonunda 7833 kgm, mesnet bölgesindeki maksimum kesme kuvveti 2660 kg olarak hesaplanırken, GES ilavesi sonrası açıklık momenti 9047 kgm, maksimum kesme kuvveti 3072 kg olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.22). Yapılan hesaplar sonucunda GES yüklemesinin kesit tesirlerinde yaklaşık %18 civarında artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Bugüne kadar toplamda 8 kez güncellenen deprem yönetmeliklerinden ABYYHY-1975, ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007’de prefabrike yapıların tasarım esasları yer almaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 8.bölümde (TBDY-2018) prefabrike betonarme yapıların tasarımı için özel kurallar daha geniş kapsamlı olarak sunulmuştur. Bu bölümde çatı kirişlerinin boyutlandırma ve imalat esaslarını etkileyen, deprem güvenliği bakımından olumlu sınırlamalar bulunmaktadır.

TBDY-2018’in yürürlüğe girdiği tarihten önce tasarlanmış ve uygulanmış tüm yapılarda yeni koşullara göre kontrollerin yapılması, mevcut durumların değerlendirilmesi ve gerekli görüldüğü durumda güçlendirme çalışmalarının başlatılması yapısal deprem güvenliği için çok gereklidir. Ülkemizde geçmişte yaşanan depremlerde prefabrike betonarme yapılarda yetersiz dayanım, stabilite, yetersiz süneklik ve yetersiz rijitlikten kaynaklanan ağır hasarlar hatta göçmeler görülmüştür. Bununla birlikte, güncel yönetmeliklere göre tasarlananlarda önemli bir sorun olmamıştır.

Deprem yükleri etkisi altında betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarında çeşitli şekillerde görülen yapısal hasarların azaltılması ve yapının deprem performansının iyileştirilmesi farklı güçlendirme alternatifleri ile mümkün olabilmektedir. Yapı güvenliğini yeniden sağlamak ve yapının mevcut mimari fonksiyonlarının devam edebilmesi için tüm taşıyıcı sistemin ve hasar görmüş elemanların gerektiği biçimde onarılması ve güçlendirilmesi (konvansiyonel ya da ileri yöntemlerle) gerekmektedir; bu alanda değişik türden sönümleyicilerin kullanımı da gündeme gelmiştir. Betonarme ve prefabrike yapıların yaygın olduğu ve neredeyse tamamının deprem riski altında bulunduğu ülkemizde farklı/etkin güçlendirme alternatiflerinin araştırılması önem kazanmaktadır.

2.3 Ülkemizde Yaygın Olarak Kullanılan Prefabrike Sistemler ve İşletme Yükleri Altındaki Değerlendirmeleri

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan prefabrike sistemler kolonların altta ankastre çatı düzeyinde mafsallı bağlantıların olduğu çubuk sistemler, moment aktaran kolon-kiriş birleşimli sistemler, mahya noktalarının mafsallı olduğu Atcost sistemler, kırıklı lambda sistemler ve paralel çatı kirişli wing aşıklı sistemler olarak sıralanabilir. Bu sistemlerin tipik özellikleri bu bölümde detaylı olarak açıklanacak, çatı kirişlerine ayrıca değinilecektir.

2.3.1 Çubuk sistemler

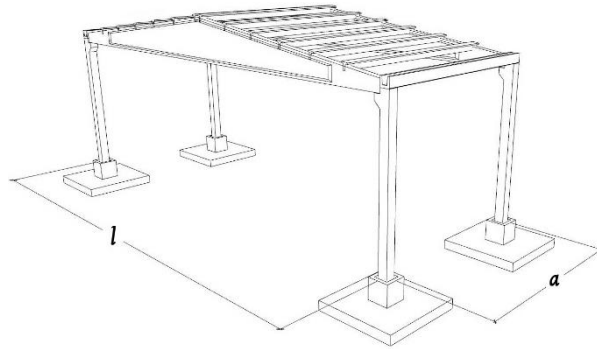
Çubuk sistemler, deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyinde moment aktaran ya da mafsallı, temellere ankastre bağlanan süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı çerçeveler (ya da kısmi ara katlı) olarak tanımlanabilir. Prefabrike betonarme çubuk sistemler, ülkemizde en yaygın kullanılan sistemlerin başında gelmektedir (Şekil 2.23).



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.23 : Prefabrike betonarme çubuk sistemler (a) Montajı devam eden örnek bina (b) Cephe-çatı kaplamaları tamamlanmış bina (c) Örnek sistem modeli.

Prefabrikasyon teknolojisinin sağladığı üstünlükler yardımı ile farklı açıklık ve yüksekliklerde üretilebilen ve birleşim bölgelerinin moment aktarmayacak şekilde (mafsallı) tasarlanan bu tip sistemlerde eğimli çatı kirişleri, oluk ve aşık kirişleri basit kiriş olarak analiz edilmektedir. Bu türden sistemlerin bazı ilk uygulamalarında çatı düzeyinde kısmen ankastreliğin sağlandığı binalar az da olsa vardır.

Çatı kirişleri iki yönde %10~12 eğimle, birleşim bölgelerinde maksimum olan kesme kuvvetlerinden dolayı dolu enkesitli olarak, açıklığa doğru gidildikçe değişken kesitli olarak boyutlandırılmaktadır. Kolon boyutları, yapının inşa edileceği bölgenin depremselliği, çerçeve yüksekliği ve geçilmek istenen açıklıklara bağlı olarak değişkenlik gösterirken, çoğunlukla kare kesitli olarak üretilmektedir; çoğunlukla kullanılan kolon kesitleri min. 50cm x 50cm, max. 90cm x 90cm'dir (Şekil 2.24).



(a)



(b)



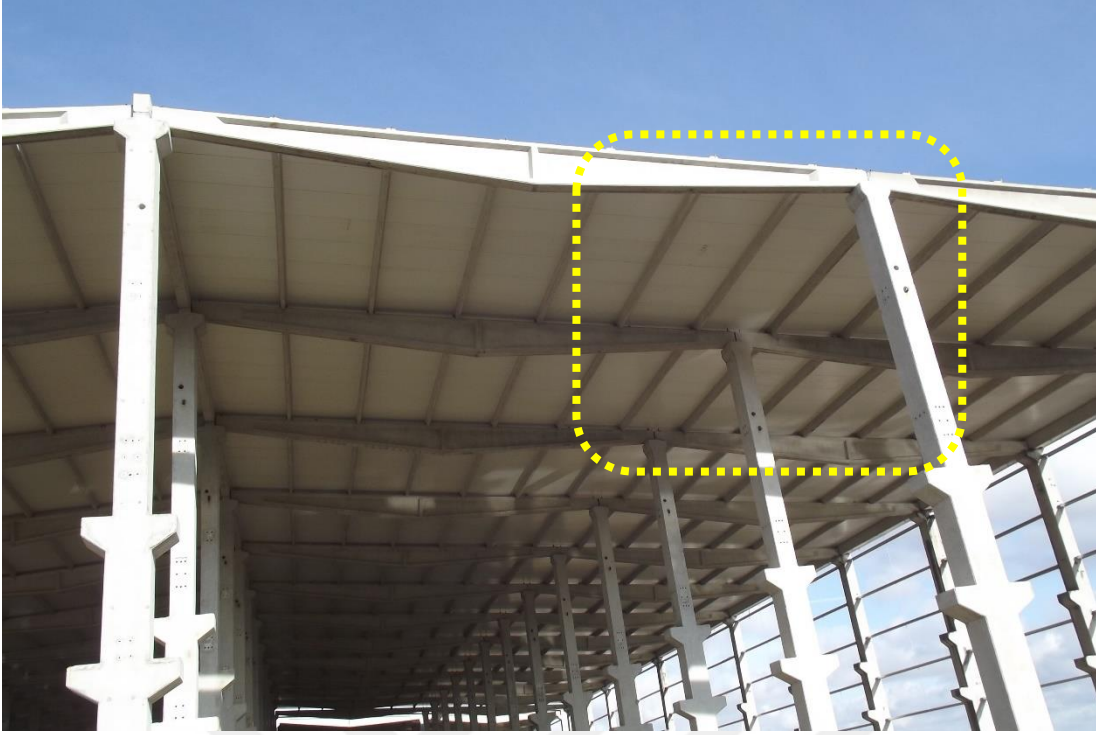
(c)



(d)

Şekil 2.24 : (a,b) Prefabrike betonarme çubuk sistemli örnek binalar (c,d) Ters eğimli çatı kirişli örnek binalar.

Şekil 2.24 c,d'de görüldüğü üzere ülkemizde eğimli çatı kirişlerinin ters olarak mesnetlendiği alternatifler de uygulama alanı bulabilmiştir. Çatı kirişleri üst başlıkları eğimli olarak üretilip montaj sırasında çevrilerek kiriş montajı tamamlanmaktadır.



Şekil 2.25 : Çatı kirişlerinin alt başlıklarının eğimli olarak montajı tamamlanmış örnek bina.

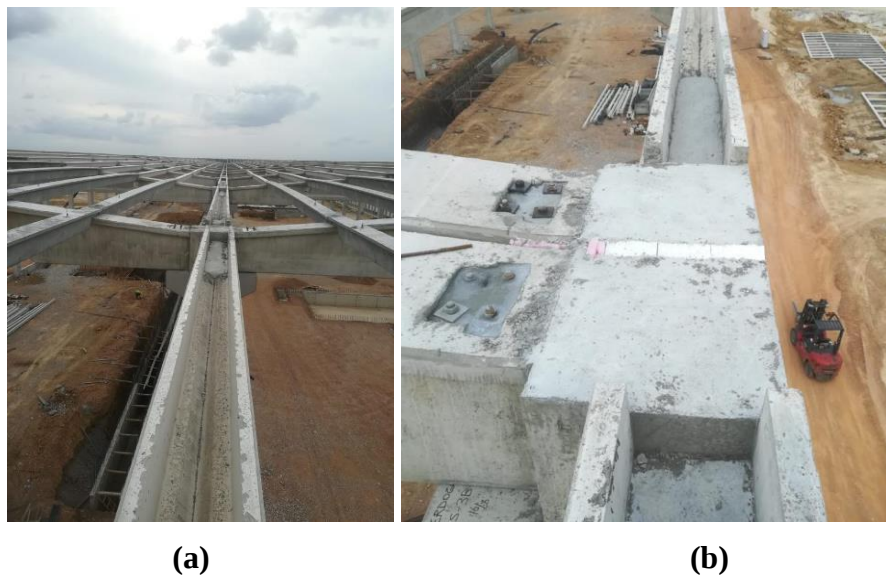
Şekil 2.25’te de görüldüğü gibi çatı kirişlerinin alt başlıklarının eğimli olarak teşkil edildiği örnek binada, sisteme çerçeve düzlemine dik doğrultuda herhangi bir kiriş eklenmediği, aşık kirişleri ile çatı kaplamasının tamamlandığı tespit edilmiştir. Bu durumun yatay yükler altında (deprem) diyafram etkisinin zayıflığı nedeniyle bina performansını olumsuz etkileceği açıktır.

Mafsallı bağlantıların hesap ve tasarım esasları TBDY-2018’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Mafsallı birleşimler pimli (MFB1), kaynaklı (MFB2) ve yuvalı (MFB3) bağlantılar olarak 3 ana başlıkta toplanmıştır. Yeterli kiriş üst başlık genişlikleri, düzlem dışı devrilme kontrolleri, pimli bağlantılarda uyulması gereken minimum sınırlamalar, pimlerin kesme kuvveti kapasite kontrolleri, pim serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmesi zorunluluğu, minimum yuva genişliği sınırı vb. kurallar ile daha önce ülkemizde yaşanan depremlerde prefabrike betonarme yapılarda karşılaşılan hasarların minimuma düzeyde olacağı açıktır.

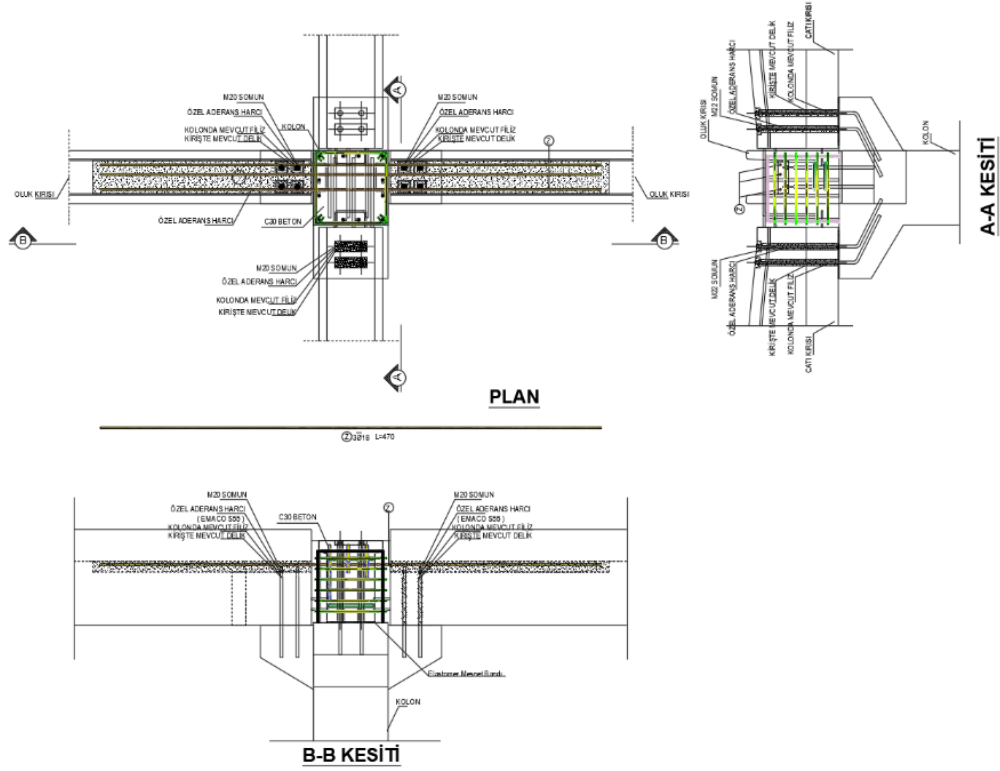
01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018’de prefabrike betonarme yapılara yükseklik sınırlaması getirilmiştir. Doğrusal deprem hesabı için, bağlantı tipleri ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları (R), Dayanım Fazlalığı Katsayıları (D) ile izin verilen Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) ilgili

yönetmelikte Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1’e göre deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği $h_{max}=12$ m’yi geçmeyen “süneklik düzeyi yüksek” kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar için $R=3$ kabul edilirken, 12m’den yüksek binalar için deprem etkilerinin tamamının bağlantıları MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar ile teşkil edilen binalarda $R=5$ alınarak yapısal hesaplar tamamlanmaktadır. Bir Avrupa birliği projesi olan SAFECAST projesinde Türkiye’den İTÜ ve TPB’nin ortak yürüttüğü tam ölçekli deneysel çalışmalar kapsamında biri sanayi yapıları için, diğeri de konut yapıları için moment aktaran birleşim detayları geliştirilmiş ve İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı’nda test edilmiştir. Bu bağlantı ve ilgili detaylar TBDY-2018’de MAB3 tipi bağlantı olarak önerilmiştir.

Şekil 2.26’da yüksekliği $H_n=13.50$ m olan, Kırklareli O.S.B.’de inşası tamamlanmış prefabrike çubuk sistemli bir yapıya ait birleşim bölgesi tasarımı, detayları ve üretim/montaj aşamaları gösterilmiştir. Bu tip moment aktaran bağlantılarda (MAB4) pozitif momentler kolon guselerinde yönetmeliğin sağladığı minimum boyutlarda yerleştirilen en az 4 adet pim, negatif moment ise kiriş uçlarından ve kolon tepesinden bırakılan filizler/ankraj donatıları ile yerinde dökme betonarme bölge yardımıyla karşılanmaktadır. Prefabrike yapı elemanlarının montajı tamamlandıktan sonra çatı seviyesinde bırakılan birleşim bölgesinde yeniden kalıp hazırlanıp beton dökümü gerçekleştirilmektedir. Açıkta kalan çatı kirişi pimlerinin plaka ve somunları sıkılarak detay tamamlanmaktadır. Şekil 2.27’de birleşim bölgesinin detayı verilmiştir.

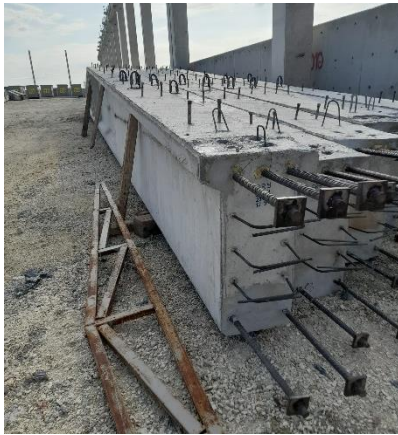


Şekil 2.26 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB4) (a) Sistemin montajı (b) Özel tasarlanan bölgede beton dökümünün gerçekleştirilmesi.



Şekil 2.27 : Moment aktaran bağlantı detayı (MAB4).

Şekil 2.28’de yüksekliği $H_n=13.00m$ olan, Veliköy O.S.B.’de inşası tamamlanmış prefabrike çubuk sistemli bir yapıya ait birleşim bölgesi tasarımı ve üretim/montaj aşamaları gösterilmiştir. Bu tip moment aktaran bağlantılar (MAB3) negatif moment kapasitesi sürekliliğinin yerinde dökme betonarme ile pozitif moment kapasitesi sürekliliğinin ise kaynakla sağlandığı birleşimlerdir.

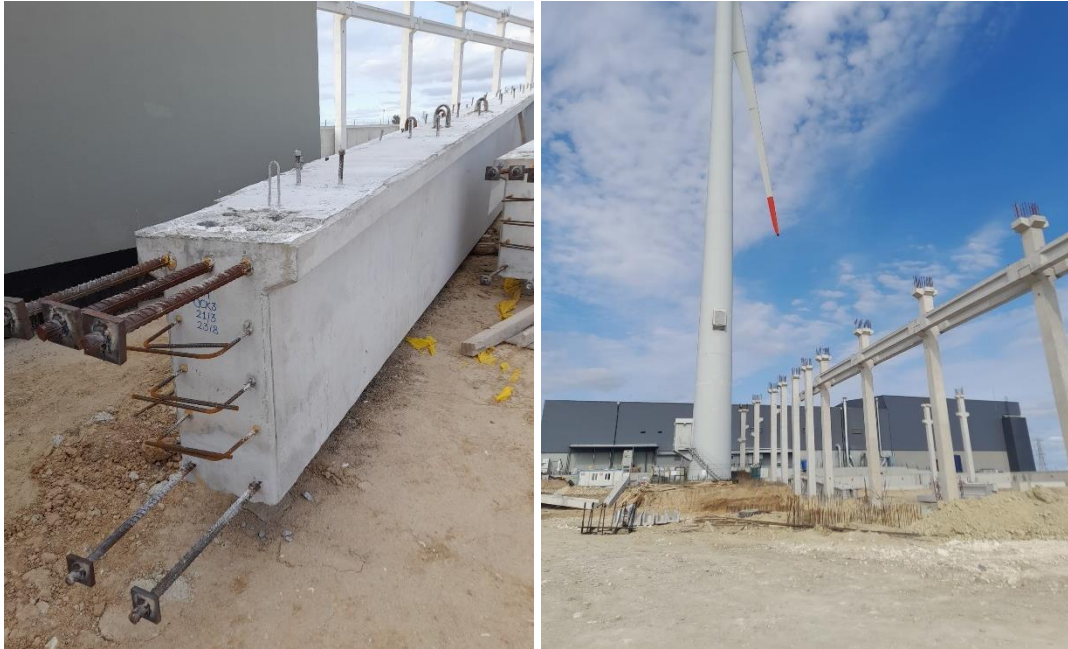
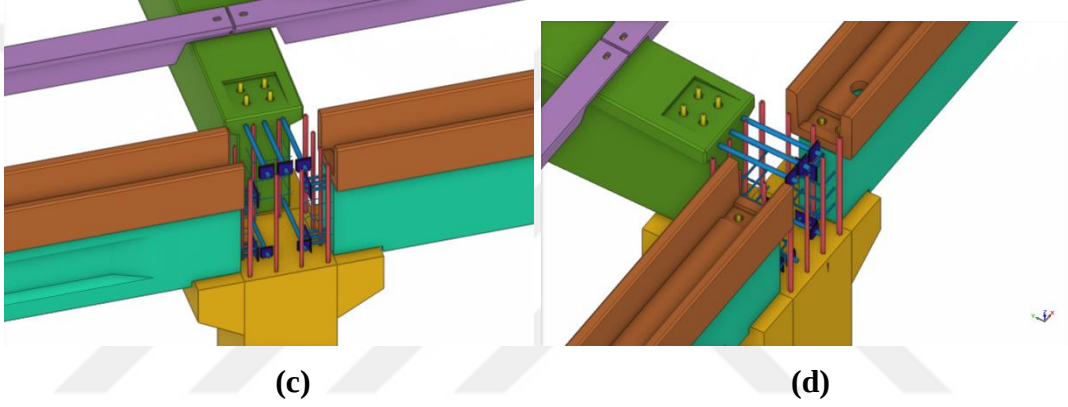
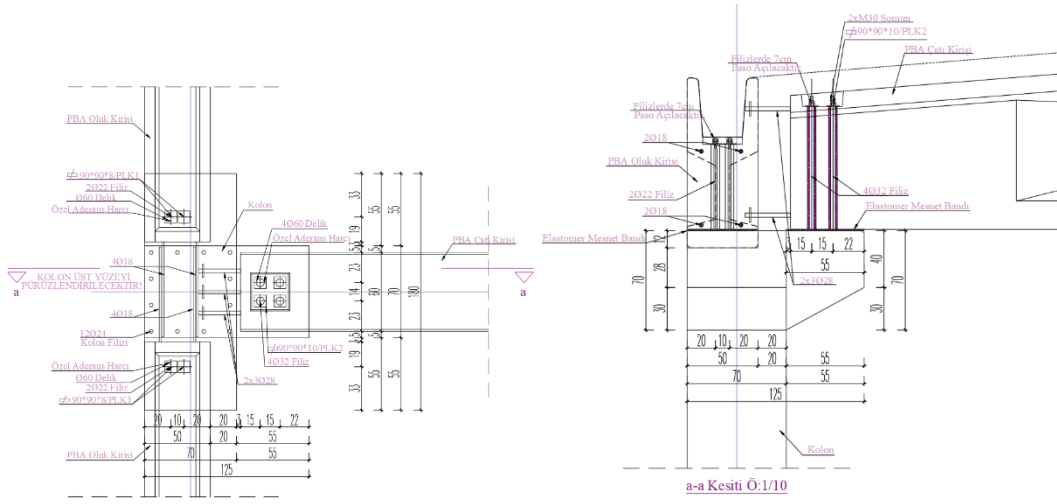


(a)



(b)

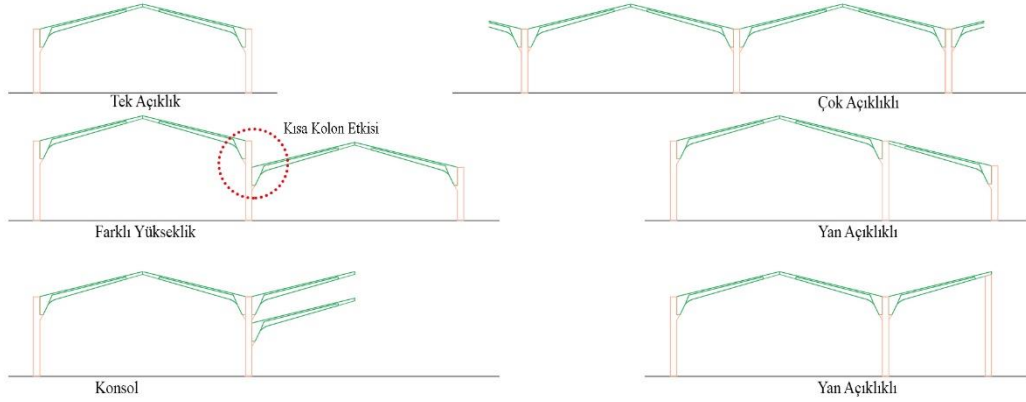
Şekil 2.28 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB3) (a) Çatı kirişi ve üretimde bırakılan bağlantı aparatları (b) Sistemin montajı.



Şekil 2.29 : Çatı seviyesinde moment aktaran bağlantı detayı (MAB3) (a,b) Birleşim bölgesi detayı (c,d) Birleşim bölgesinin üç boyutlu modeli (e) Eğimli çatı kirişi mesnet bölgesinde bırakılan bağlantı aparatları (f) Sistemin montajı.

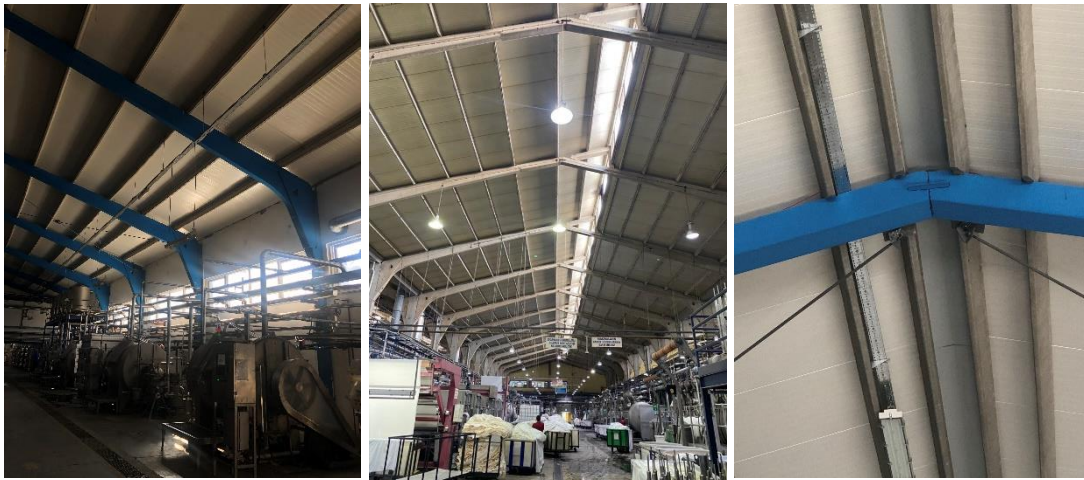
2.3.2 Atcost sistemler

Atcost sistemler, İngiliz Atcost firması lisansı ile ülkemizde çeşitli büyüklüklerde inşa edilmiş prefabrike betonarme çerçeve sistemlerdir. Sistem Atcost kirişi, aşık, oluk ve kolonlardan oluşmaktadır. Şekil 2.30'da gösterildiği gibi bu sistemle gereksinime göre tek, çok, yan açıklıklı çerçeveler tasarlamak mümkündür. Sistemde hol yükseklikleri farklı tasarlanabildiği gibi kirişlerin konsol alternatifi de bulunmaktadır.



Şekil 2.30 : Alternatif Atcost çerçeve sistemler.

Çatı kirişi yönünde açıklıklar $l=11\text{m}\sim 20\text{m}$ arasında değişiklik gösterirken aşık açıklığı $a=6\text{m}$ 'dir. Çatı eğimi %27 mertebesindedir. Sistemin maksimum kat yüksekliği $h_{\max}=9\text{m}$ olabilmektedir. Kolon ve çatı kirişinin bağlantıları moment aktaran türden teşkil edilirken, mahya noktasında moment aktarmayan (mafsallı) birleşim gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.31). Böylece tek açıklıklı olanlarda 2. Dereceden hiperstatik bir sistem elde edilmektedir.



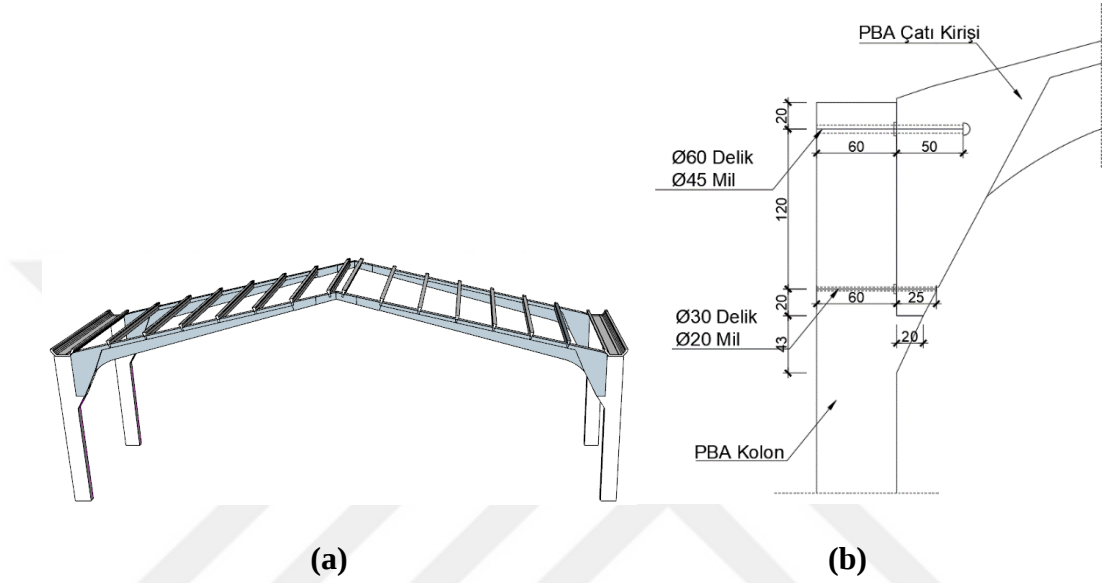
(a)

(b)

(c)

Şekil 2.31 : (a,b) Atcost çerçeve sistemli örnek binalar (c) Mahya noktası mafsallı birleşim detayı.

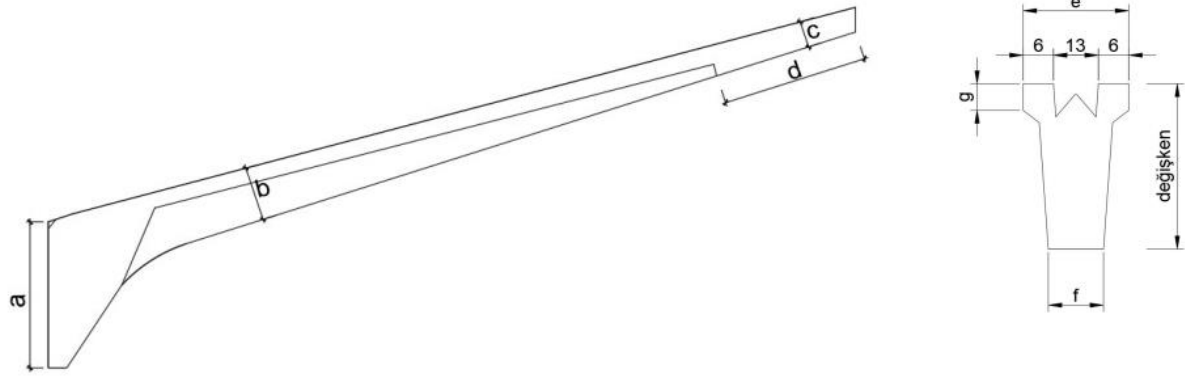
Atcost sistemlerde, aşıklar ve oluk kirişleri de sisteme mafsallı bağlandığından basit kiriş olarak kabul edilmişlerdir. Atcost kirişleri ise sistemin moment diyagramına göre değişken kesitli olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 2.32). Moment aktaran kolon-kiriş mesnet bölgesinden açıklığa doğru gidildikçe kiriş yüksekliği/kesiti azalmaktadır. Kolonlar dikdörtgen kesitli olup çerçeve açıklık ve yüksekliğine göre kesitlerin değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.32 : (a) Örnek sistem modeli (b) Kolon-kiriş birleşim detayı.

Atcost sistemde kiriş kalıpları standart olup ara ölçülerde üretim yapılamamaktadır; dolayısı ile mimari proje taşıyıcı sisteme çok bağlıdır. İstenen açıklığa göre 5 farklı kiriş tipi oluşturulmuş ve ayrıntılı tablosu Şekil 2.33’de verilmiştir.

Türkiye’de kullanılmaya başlandığı yıllarda ABYYHY-1975 esaslarına göre üretilmiş olan bu sistemlerde, ABYYHY-1998 yönetmeliğine göre kolon boyutları ve birleşim bölgelerinde revizyona gidilmiştir. Yapılan en büyük güncelleme ise çatı düzleminde 5 aksta bir olmak üzere çelik çaprazlar ile oluşturulan çatı düzlemi stabilize bağlantılarının eklenmesidir. Çatı diyaframı sağlamak amacıyla yapılan bu uygulamalarla birlikte bile düşey yükler için tasarlanmış sistemin yatay rijitliğinin az olması nedeniyle aşırı yerdeğiştirme yapmaları sonucunda izin verilen sınırların aşıldığı bilinmektedir. Bu durum Atcost sistemi ile inşa edilmiş yapıların güçlendirme gereksiniminin incelenmesinin öncelik taşıdığı anlamına gelmektedir.

AÇIKLIK		11.00	12.00	13.00	14.00	14.50	15.00	16.50	17.50	18.00	19.00	20.00
ATCOST KİRİŞİ	300-450	B	C	D	E	F						
	450-600											
	600-700											
AŞIK KİRİŞİ		8	10	12	14	16						
												
cm	a	110	126,2	151,2	172,5	173,7						
	b	41	43,5	46	50	60						
	c	17	19	21	25	25						
	d	187,5	217,5	220,5								
	e	25	25	25	25	25						
	f	15	15	15	15	15						
	g	10	10	10	10	12,5						

Şekil 2.33 : Atcost yapı sistemi tablosu (Gök İnşaat Atcost Sistemler El Kitabı).

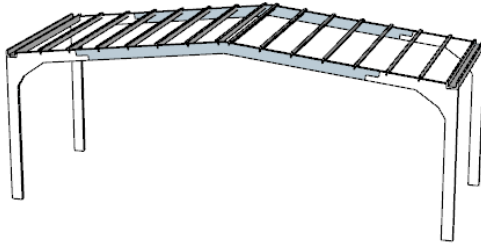
2.3.3 Lambda sistemler

Kırıklı (Lambda) tipi çerçeve sistemler, kirişin işletme yükleri altında eğilme momentinin sıfıra yakın olduğu noktada kolon konsolu ve çatı kirişinin mesnetlendiği 3 bölümlü prefabrike betonarme sistemlerdir (Şekil 2.34). Bu sistemde de Atcost sistemlerdeki gibi dikdörtgen kesitli kolonlar kullanılmaktadır. Çerçeve açıklıkları standart olup çatı kirişlerinin inceltilmiş uçları ile kolon konsollarının ucu birbirine düşeyde bulonlarla bağlanarak sistem tamamlanır (Şekil 2.35). Böylece tek açıklıklı olanlarda birinci derece hiperstatik bir sistem elde edilir.



Şekil 2.34 : Örnek lambda çerçeve sistemli bina.

Deprem sorunu olmayan ülkelerden yine herhangi bir iyileştirme yapılmadan ülkemizde inşa edilen lambda tipi sistemlerde önceki depremlerde farklı düzeylerde hasarlar oluşmuştur. Düşey yükler altında tasarımlarının yapılması ve yatay rijitliklerinin az olması nedeniyle söz konusu hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir. Değişen işletme yükleri altında yatay yük taşıma kapasiteleri genelde yetersiz olan bu türden sistemlerle inşa edilen yapıların da güncel yönetmeliklere göre değerlendirilmelerinin yapılması önemlidir.



(a)

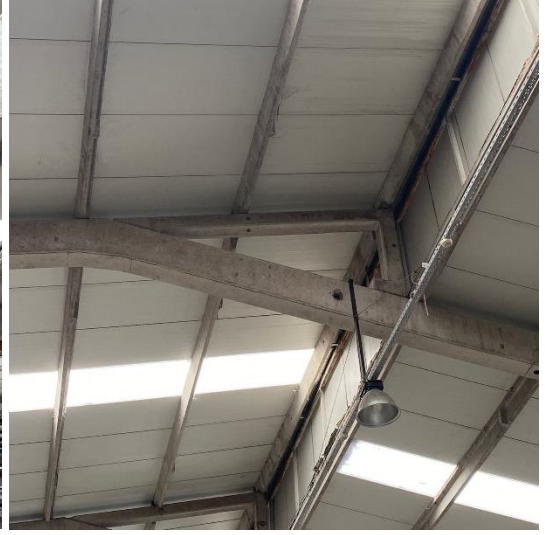


(b)

Şekil 2.35 : (a) Örnek sistem modeli (b) Birleşim bölgesi detayı.



(a)



(b)

Şekil 2.37 : (a) Çatı feneri eklenmiş lambda sistemli örnek bina (b) Çatı kirişi-fener birleşim bölgesi.

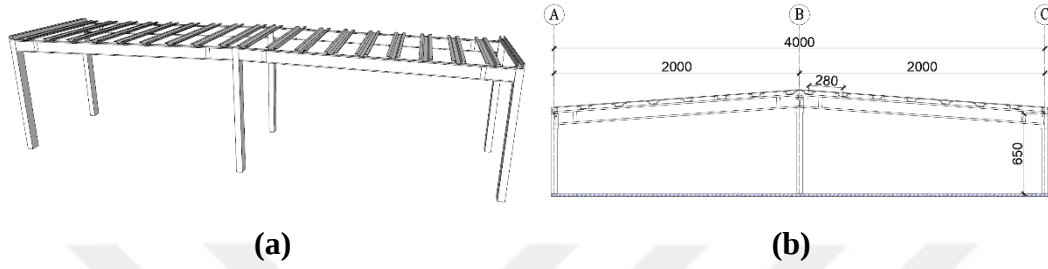


Şekil 2.38 : Eternit çatı kaplamalı lambda sistemli örnek bina.

Türkiye’de prefabrike betonarme binaların deprem hasarlarının yoğun olarak görüldüğü ilk deprem, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi ($M_s=6.3$) sayılabilir. Bu depremde hasarların, hatta göçmelerin büyük çoğunluğu kolonları tabanda ankastre çatı düzeyinde mafsallı olan yatay rijitliğinin düşük olduğu Lambda sistemli binalarda gözlemlenmiştir. Bu nedenle, Lambda sistemi ile inşa edilmiş yapıların güçlendirme gereksiniminin incelenmesinin Atcost sistemleri gibi öncelik taşıdığı anlamına gelmektedir.

2.3.4 Wing aşıklı paralel başlıklı çatı kirişli sistemler

Paralel başlıklı kiriş ve wing aşıklı sistemler, çatı kirişi doğrultusunda büyük açıklık geçmesinin yanında çerçeveye dik doğrultuda da büyük açıklıkların geçilebildiği sistemlerdir. Kolonlar tabanda ankastre, üstte mafsallı olarak tamamlanıp çatı, oluk, aşık kirişleri basit kiriş olarak tanımlanır. Şekil 2.39’da paralel başlıklı wing aşıklı örnek sistem modeli ve standart sistem kesiti verilmiştir.



Şekil 2.39 : (a) Paralel başlıklı wing aşıklı örnek sistem modeli (b) Örnek sistem tipik kesiti.

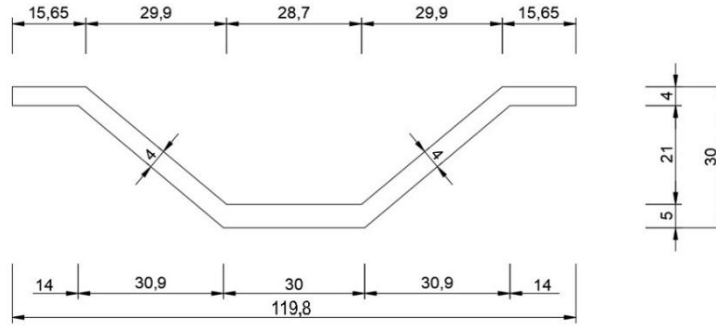
I-enkesitli çatı kirişleri, kolon birleşim bölgelerinde incelererek kolonlarda bırakılan yuvalara mesnetlenirler. Paralel başlıklı kirişlerin kolonlara farklı kotlarda mesnetlendirilmesi ile çatı eğimi sağlanır. Şekil 2.40’da örnek wing aşıklı bir binadan fotoğraflar ve kolon-çatı kirişi birleşim bölgesi görülmektedir. Mesnet detaylarında genelde 2 adet M20 bulon kullanılmaktadır.



Şekil 2.40 : Wing aşıklı sistemler (a) Örnek yapı (b) Kolon-Kiriş-Wing aşık mesnet bölgesi.

Aşık kirişlerinin genişliği $b=120\text{cm}$ yüksekliği $h=30\sim40\text{cm}$ omega kesitli olarak yalnızca öngerme halatları ile üretilmektedir. Şekil 2.41’de örnek bir wing aşık kesiti verilmiştir; aşık kesit alanı 0.067 m^2 olarak hesaplanmıştır. Wing aşıklar çerçeve

kirişine mafsallı olarak mesnetlenmektedir. Bu detayda çelik bağlantı plakaları kullanılmaktadır.



Şekil 2.41 : Omega kesitli wing aşık kirişi (örnek kesit).

Çerçeve doğrultusuna dik doğrultuda geniş omega aşık kirişleri ile birbirine bağlanan çerçeve sistemlerde düşey yüklerin yanında, yatay yükler altında performansı da diğer sistemlere göre daha uygundur. Öngerme halatları ile üretilmiş olan aşık kirişlerinin değişen işletme yükleri altında da (güneş enerjisi panelleri vb.) kullanımı, gerekli kontrollerin yapılması koşulu ile mümkün olabilmektedir. Ancak, değişen deprem yönetmelikleri ile birlikte binaların tüm yapı elemanlarının güncel yönetmeliklere göre kontrol edilmesi işletme ve deprem güvenliği için şarttır (Şekil 2.42). Diğer prefabrike sistemlerde olduğu gibi bu sistemin de en zayıf noktası çatı düzleminde yeterli/gerekli diyafram etkisininin sağlanamamasıdır. Bu nedenle olası güçlendirme çalışmalarında ilk olarak bu sorunun çözülmesi, buna ek olarak yuvalı birleşimin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bir diğer konu da, bu türden sistemlerin yatay rijitliklerinin az olmasıdır. Bu yüzden, önemli depremlerde, yönetmeliklerde izin verilen değerlerin üzerinde yata yerdeğiştirmeler meydana gelmekte, ikinci mertebe etkileri davranışı kontrol etmekte, böylece çatı kirişleri mesnetlerinden kurtularak stabilitesinin kaybetmektedir.



Şekil 2.42 : Paralel başlıklı çatı kirişi ve wing aşık sistemi.

2.3.5 Panel sistemler

Ülkemizde 1989~1995 yılları arasında uygulanan Karayolları Tuz Depoları binaları prefabrike betonarme sistemler için farklı bir tasarım örneği olmuştur. Sistem, taşıyıcı duvar elemanları ve eğimli çatı kirişlerinden oluşmaktadır. Şekil 2.43'te tuz depolarının fotoğrafları görülmektedir. Düşey taşıyıcı elemanlar kolonlar yerine taşıyıcı prefabrike betonarme duvar panelleridir; eğimli çatı kirişleri duvar panellerine mafsallı olarak bağlanmıştır. Yatay yükler altında döşeme türü sistemlerin araştırılması üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Taslak, 2012).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.43 : Panel tipi örnek binalar. (a,b,c,d) Karayolları prefabrike betonarme tuz depoları-Mimar A. Şafak Tuna/İnşaat Mühendisi Oral Okay.

3. PREFABRİKE BETONARME ÇATI KİRİŞLERİNİN TASARIM, ÜRETİM VE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde prefabrike betonarme çatı kirişlerinin üretim ve işletme aşamalarında karşılaşılan hasarlar ve sorunlar, tasarım ve analiz hatalarına yer verilmiştir. Yapılan yanlış imalat ve uygulamalar örneklendirilmiştir. Tez sürecinde meydana gelen 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) ($M_w=6.7$) ve 30 Ekim 2020 Samos (Sisam) ($M_w=7.0$) depremleri sonrasında seçilen prefabrike betonarme binaların performansları da değerlendirilmiştir. Bugüne kadar güncellenen deprem yönetmeliklerinin prefabrike binalar için tasarım esasları ayrıca ele alınmış, tespit edilen hasar ve sorunlar için önerilere de yer verilmiştir.

3.1 Prefabrike Betonarme Çatı Kirişlerinin Tasarımı, Üretimi ve İşletmesi Sırasında Karşılaşılan Hasarlar ve Sorunlar

Yapı elemanlarında prefabrikasyon teknolojisinin kullanımı, şantiyeler yerine kapalı atölyelerde üretilmesi, malzeme kalitesinin yüksek olması ve hızlı yapım tekniği ile geleneksel üretimlere göre daha üstün kılılmaktadır. Prefabrikasyon teknolojisi bu üstünlüklerinin yanında, tasarım, üretim, nakliye, montaj ve işletme safhalarında önemli bir sorumluluk, duyarlılık ve dikkat gerektirmektedir. Birleşim bölgelerinin özellikle büyük yatay yüklere/ yerdeğiştirmelere göre (deprem) hesaplanması ve detaylandırılması çok önemlidir. Bu durum, bina yüksekliği arttıkça daha da önem kazanmaktadır. Türkiye’de yaşanan önceki depremlerde prefabrike yapılarda hatalı tasarım, detaylandırma ve uygulamalar nedeniyle büyük hasarlar/ göçmeler meydana gelmiştir.

Seri üretim olarak devam eden prefabrikasyon teknolojisinde, hatalı projelendirme ve tasarım nedeniyle geri dönüşü olmayan hatalar, planlama ve montaj zorlukları, çok sayıda uyumsuz yapı elemanının getirdiği ekonomik sorunlar prefabrike yapı sektörünün etkinliğini zorlaştırmaktadır. Böylece, yapı elemanlarının tasarım, üretim ve montaj zorlukları yaşanmaması için bütün birimlerin koordinasyonunun sağlanması kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle, tasarım ve proje aşamasında, uygulama projelerinin

kontrolü, beton karışım oranlarının uygunluğu, donatılandırma detayları ve üretim safhalarının süreç takibi önem kazanmıştır.

3.1.1 Tasarım ve üretim hataları

Prefabrike betonarme yapı elemanlarının tasarım ve proje aşaması, üretimlerin seri ve montajın sahada yapılması nedeniyle büyük önem kazanmaktadır. Bu bölümde prefabrike betonarme çatı kirişlerinin tasarım ve üretimlerinde sıkça karşılaşılan sorunlar irdelenecektir.

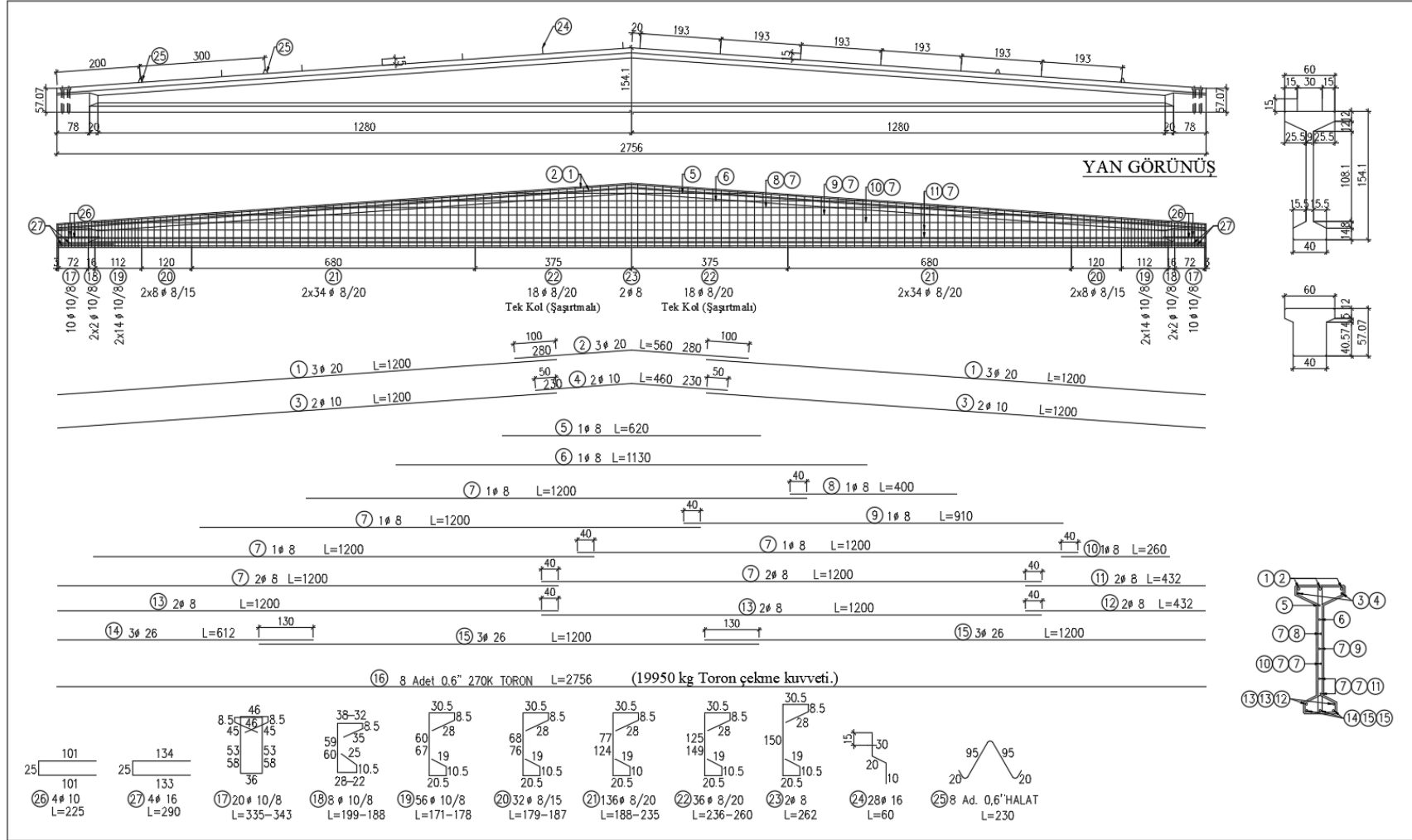
Eğimli çatı kirişlerinin ülkemizdeki genel kullanımı göz önüne alındığında çatı eğimlerinin %10~12 arasında değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Kiriş kalıplarının tasarımında geçilmek istenen açıklık ve kiriş yüksekliği arasındaki oran belli seviyelerde tutulmalı ve oluşabilecek düzlem dışı hareketler, yanal burkulma ve üretim hataları minimuma indirilmelidir.

Prekabrikasyon teknolojisinin sağladığı öngerme kullanımı ile aynı kesitli elemana daha fazla yük taşıtma ya da aynı yükte daha büyük açıklıkları geçmek mümkündür. Öngerilmeli prefabrike yapı elemanları genellikle servis yüklerine göre tasarlanırlar. Ancak, elemanların fabrikada üretimi, kalıptan alınması, stok alanında istiflenmesi, taşıma araçlarına taşınması ve nakliyesi, şantiye alanına indirilmesi ve montajlanması gibi çeşitli aşamalardan geçilmektedir. Bu aşamalarda elemanlar gerektiğinde yatırılır, dikilir ya da çevrilebilir. Taşıma sırasında dinamik yüklere de maruz kalan elemanlar tüm bu safhalar düşünülerek tasarlanmalıdırlar.

Yüksek dayanımlı beton tasarımı, gelişen katkı malzemeleri, kürleme olanakları ve dış etkilere minimum etkilenmesi nedeniyle prefabrike yapı elemanlarının kalıplarını gün içinde çoklu kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak, ekonomik kaygılar nedeniyle betonun yeterli ve projesinde verilen dayanıma ulaşması beklenmeden yapı elemanlarının kalıptan alınmasıyla bazı hataların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Artan malzeme fiyatları ve ülke ekonomisinin genel durumu nedeniyle yapı elemanlarında kullanılacak beton/donatı oranı da tasarım ve üretim aşamalarında hatalara neden olmaktadır.

2021 yılında tasarım ve projelendirilmesi tamamlanan, Trakya bölgesinde inşa edilecek bir prefabrike sanayi yapısının eğimli çatı kirişi üretimi sırasında bazı hatalar/hasarlar meydana gelmiştir. Örnek olması amacıyla, çatı kirişinin yapısal hesapları tekrarlanmış ve sorunlar detaylı şekilde incelenmiştir.

43



Şekil 3.3 : Eğimli çatı kirişinin detaylandırılması.

Seçilen atı kirişi kesit özelliklerine bakıldığında, kiriş st tabla genişliği $b_{st}=60\text{cm}$, alt başlık genişliği ise $b_{alt}=40\text{cm}$ 'dir. Kiriş serbest açıklığının kiriş yüksekliğine oranı $l/h=17.88$ olarak hesaplanmıştır. atı eğiminin %7 olarak seçilmesi ve kiriş yüksekliğinin açıklığına oranının çok düşük olması kiriş taşıma kapasitesini zora sokmuştur. Özellikle tespit edilen bu kesitteki çatı kirişinin yanal burulmalı burkulma etkisinde ani göçme modları oluşturabileceği öngörülebilir.

şekil 3.3'te verilen prefabrike çatı kirişinin donatı detaylarına bakıldığında, boyuna çekme donatısı olarak 8 adet 0,6" ngerme halatı ve 3 ϕ 26, kiriş st tabla boyuna donatıları ise 3 ϕ 20 olarak görülmektedir. Donatı detaylarına bakıldığında ilk dikkat çeken noktalar kiriş gövde donatılarının ve etriyelerinin şaşırtmalı olarak tek sıra yerleştirildiğidir. $b_{gövde}=9\text{cm}$ olan kiriş gövdesinde tek sıra donatı yerleşimi ve ϕ 8/20 sıra ile tek kol şaşırtmalı olarak açıklık etriyelerinin seçimi, yüksek germe kuvvetli öngerme kirişi için oldukça yetersiz kalmaktadır; beton sınıfı olarak C50 seçilmiştir.

atı kirişinin tekrarlanan hesapları EK B'de detaylı olarak verilmiştir. Bu hesaplarda çatı kirişinin seilen kiriş alt boyuna ekme donatıları yerleştirildiğinde, mesnet blgesinde, dolu kesit başlangıcı ve sonunda TBDY-2018'e gre max ρ oranı'nın 0.02'yi aştığı, $\rho=0.03$ 'lere vardığı grlmştr (şekil 3.4).

EğİMLİ ATI KİRİşİ HESAPLARI											
Eğilme Donatısı Hesabı:											
	m	1m	dkb	dk	L/4	L/2	L/4	dk	dkb	1m	m
in flange	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Mr=	71819	136345	132508	138612	239056	359206	239056	138612	132508	136345	71819
Serviste taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho-\rho' < 0,85\rho_b$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho_{min}' < \rho$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho < 0,02$	!!!	!!!	!!!	!!!	ok	ok	ok	!!!	!!!	!!!	!!!
Montajda taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

şekil 3.4 : Prefabrike betonarme eğimli atı kirişinin eğilme donatısı hesabı.

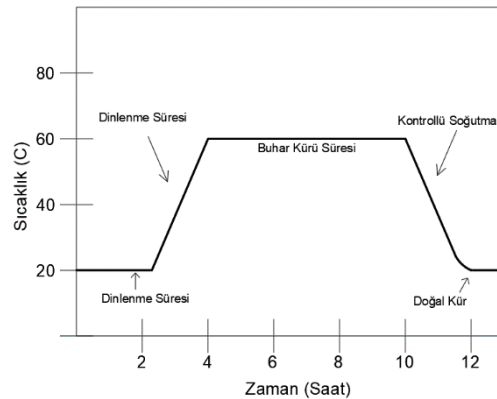
atı kirişinin sabit ve hareketli yükleri için, ani ve zamana bağlı sehim değerleri kontrol edildiğinde ise sınır değeri aştığı görülmektedir (şekil 3.5). Sabit yükler altında ani sehim 3.31cm olup toplam ani sehim değeri 5.37cm'dir. Servis yükleri altında çatı kirişinin zamana bağlı toplam sehimi 8.35cm olarak hesaplanmıştır; bu değer TS-500 betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları yönetmeliğinin 13.2.4 maddesine göre belirlenen sınır değerin ($l_n/360=$) oldukça üzerindedir.

Sehim ve Çatlak Kontrolü:	ln[cm]:	2721			
TS 500 ÇİZELGE 13.1 e göre:	h [cm]:	154,1			
Ani Sehim Hesabi:		h\ln:	0,06	sehim hesabi gerektirir	
lc [cm4]:	9367726	lcr [cm4]:	7441664	Mcr[tm]:	29,60
n:	5,408	y[cm]:	139,8	Mmax[tm]:	196,72
fters [cm]:	0	g ani sehim:[cm]	3,31	leff[cm4]:	7448228
föng [cm]:	0	q ani sehim:[cm]	2,06		
fzati [cm]:	2,98	ani sehim:[cm]	5,37		
filave[cm]:	0,00	zamana bağlı sehim:	8,35		
fkap[cm]:	0,33	toplam sehim:	8,35	!!!	
fhar.[cm]:	2,06				

Şekil 3.5 : Prefabrike betonarme eğimli çatı kirişinin sehim kontrolü.

Öngerilmeli prefabrike betonarme yapıların üretimlerinde, öngerme işlemi beton dökümünden önce uygulanmaktadır. Uygulama sırasında öngerme halatları tek tek öngerme krikosu ile projesinde verilen detayı ile çekilir. Beton döküldükten sonra yeterli dayanıma daha hızlı erişmesi için buhar kürü uygulanır. Elemanın kalıptan alınması için erişmesi gereken dayanım proje ekibi tarafından üretim pafta detaylarına yazılır. Döküm sırasında alınan örneklere elemanla birlikte buhar kürü uygulanarak ve laboratuvar deneyleri ile birlikte basınç deneyi yapılarak dayanımları ölçülür. Eğer, projede verilen dayanıma ulaşılammışsa prefabrike elemana yeniden buhar kürü uygulanır ve ikinci örnek kırılır. Numune kalıptan alma dayanımına erişmişse gevşetme işlemine geçilir. Öngerme halatları gevşetildikten sonra birer birer kesme sırasına uygun olarak kesilir ve prefabrike eleman kalıptan alınır.

Döküm sırasında alınan örnek numunelerin, buhar kürü sırasında prefabrike yapı elemanları ile aynı koşullarda bulundurulması çok önemlidir. Buhar sıcaklığının zaman içinde değişimini gösteren grafik ve şemalar çizilerek uygulama detaylandırılmalıdır. Şekil 3.6’da tipik buhar kürü grafiği verilmiştir.



Şekil 3.6 : Tipik buhar kürü grafiği (Yeniden çizilerek TPB, Öngerme El Kitabı’ndan alınmıştır).

Kontrolü sağlanan eğimli çatı kirişi üretimi sırasında, projede verilen aktarma anı dayanımına ulaşmadan öngerme halatlarının boşaltılması/kesilmesi ve elemanın kalıptan alınmasıyla Şekil 3.7’de verilen göçmeler oluşmuştur.



(a)



(b)



(c)



(d)

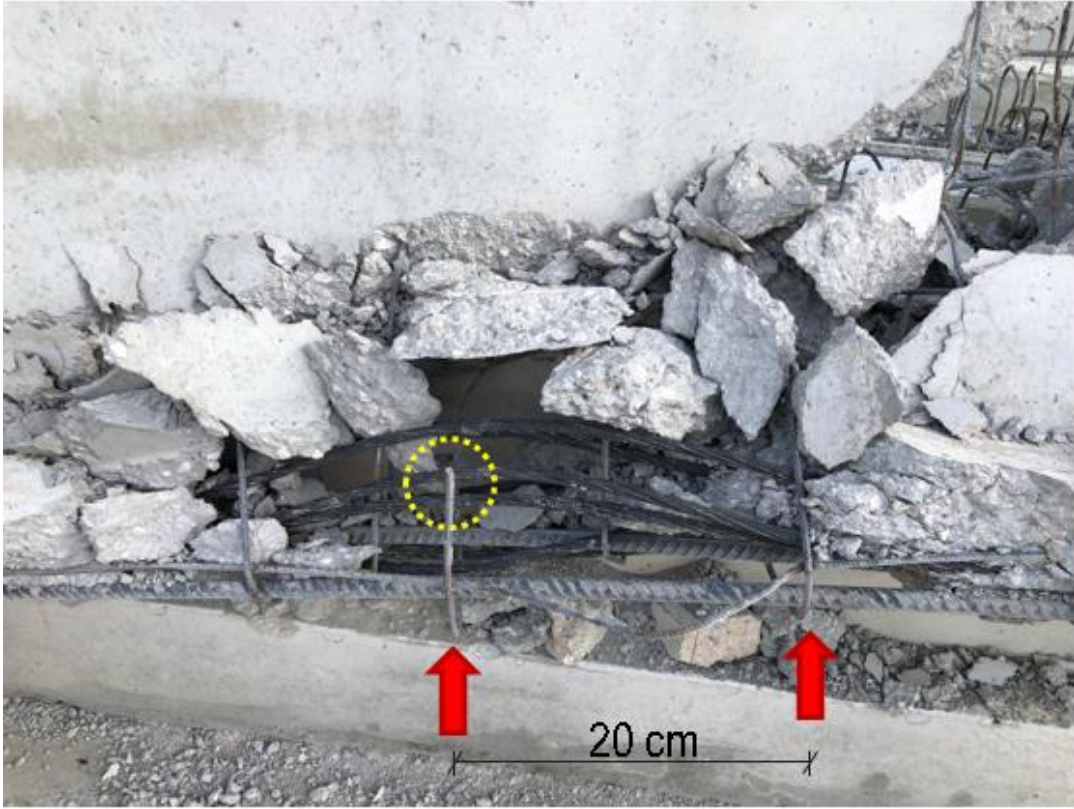


(e)



(f)

Şekil 3.7 : Aktarma anı beton dayanımına erişmeden kalıptan alınan eğimli çatı kirişinde oluşan hasarlar (a,b) Eğimli çatı kirişi kırılma genel görüntüsü (d,e,f) Öngerme halatlarının kesit içindeki davranışı.



Şekil 3.8 : Eğimli çatı kirişi açıklık etriyelerinin şaşırtmalı yerleşimi.

Şekil 3.8’de verilen fotoğrafta da görüldüğü gibi tek kollu şaşırtmalı olarak yerleştirilen etriyelerin kiriş açıklığında yer yer koptuğu ve çaplarının boyuna donatılar göz önüne alındığında çok ince kaldığı tespit edilmiştir. Kiriş ortasında sıklaştırma yapılmadığı ve tek kollu tek sıra olarak yerleştirilen etriyelerin hasarı net şekilde gözlemlenmiştir.

Şekil 3.9’da eğimli çatı kirişinde açıklığın $L/4$ ’ü civarında 45° açı ile diyagonal/ eğik çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 : Eğimli çatı kirişinde $L/4$ açıklıkta oluşan diyagonal çatlaklar.



Şekil 3.10 : Eğimli çatı kirişi gövde donatıları, üst başlık boyuna donatıları ve tek kollu şaşırtmalı etriyelerin üst başlıkta yerleşimi.

Şekil 3.10’da tek sıra şaşırtmalı olarak yerleştirilen $\phi 8$ gövde donatılarının da yetersiz olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, üst başlık etriyelerinin de tek sıra şaşırtmalı yerleştirildiği, boyuna donatıların oluşan etki ile birlikte hareketi de net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.11 (a)’da öngerme halatlarının kesit içindeki yerleşimi, (b)’de ise stok sahasında istiflenen çatı kirişleri ve hasarlı eğimli çatı kirişi görülmektedir.



Şekil 3.11 : (a) Öngerme halatlarının kesit içindeki yerleşimi (b) Stok sahası.

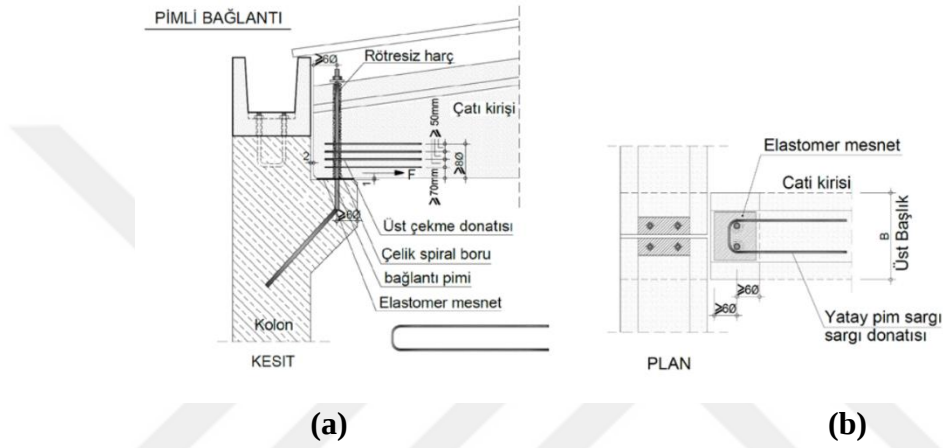
Prefabrike çatı kirişlerinin üretiminde en sık yapılan hatalardan biri de beton karışımının yanlış tasarımıdır. Tasarımda kiriş kalıp/enkesiti ve donatı ve/ya da öngerme halat yerleşimleri belli olduktan sonra kesit içinde yerleşimi yapılmalıdır. Tüm pim, delik, manşon vb. bağlantı aksesuarları tam ölçekle çizildikten sonra kalan boşluklara göre beton karışımı hazırlanmalı ve kullanılacak agreganın boyutu bu boşluklara göre seçilmelidir. Eğer agreganın kesit/donatı içinde aralarından geçmekte zorlanacağı ya da geçemeyeceği gibi bir durum söz konusu ise daha küçük agregalar kullanılarak yeni bir beton karışım oranı hazırlanmalıdır. Beton dökümünden sonra elemanlara yeterli vibrasyon verilerek betonun kalıp ve donatı aralarına homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Şekil 3.12’de bu durumlar dikkat edilmeden dökülen eğimli çatı kirişi örneği gösterilmiştir. Bu durum çoğunlukla çatı kiriş gövdesinin 8~9cm kadar incelebilen kısmında meydana gelmektedir.



Şekil 3.12 : Betonun kalıp içinde homojen dağılmaması sonucu kirişte oluşan hasarlar.

Prefabrike betonarme elemanların üretimi sırasında projesinde verilen detayların birebir uygulanması oldukça önemlidir. Özellikle çerçeve düzleminde moment aktaramayan, ancak kesme kuvveti ve aksel kuvvet aktarabilen mafsallı bağlantılarla teşkil edilen prefabrike betonarme binalar için TBDY-2018’de pimli bağlantı detaylarında uyulması gereken minimum koşullar ve tasarım esasları detaylı olarak verilmiştir. Çerçeve düzleminde kullanılacak pimin kesme kapasitesi, kolon

kenarına olan en küçük mesafe, pim sayısı ve pim çapına bağlı olarak TBDY-2018 Denklem (8.2) ile kontrol edilmesi gerekmektedir. Analiz ve betonarme hesaplar sırasında detaylı olarak hesaplanan pimlerin, üretimdeki uygunluğu mutlaka kontrol edilmelidir. Şekil 3.13'te TBDY-2018 standart pimli birleşim detayı verilmiş olup Şekil 3.14'te üretim sırasında prefabrike betonarme kolon elemanında projesine uygun yerleştirilmeyen pimler gösterilmiştir. Üretim sırasında eksik yapılan kontroller sonucunda ortaya çıkan bu gibi durumlarda birleşim bölgesi detayı işletme ve deprem güvenliği açısından tehlike yaratmaktadır.



Şekil 3.13 : TBDY-2018 pimli bağlantı detayı (a) Detay kesiti (b) Detay planı.



Şekil 3.14 : Prefabrike betonarme kolon elemanında uygun yerleştirilmeyen çatı kirişi pimi.

Prefabrike betonarme yapı elemanlarının üretiminde kalıptan alma, stoklama, nakliye ve montaj aşamaları da göz önünde tutulmalıdır. Bu safhalar için prefabrike elemanlarda yerleştirilen aksesuarlar da en az donatı detayları kadar önemlidir. Şekil 3.15'te beton dökümü sırasında kesit içine koyulması gereken kaldırma kancasının unutulduğu bir prefabrike betonarme çatı kirişi görülmektedir. Kesitin 8~10cm olduğu gövdeye sonradan yapılan müdahaleler ile eklenen kaldırma aparatları kiriş kapasitesini ve davranışını oldukça zora sokmaktadır.



Şekil 3.15 : Prefabrike betonarme çatı kiriş gövdesine sonradan eklenen kaldırma aparatı.

3.1.2 Birleşim bölgesi ve işletme hataları

Prefabrike betonarme binalarda birleşim bölgelerinin hesap ve tasarımı, ilgili standartlara, teknik şartnamelere ve deprem yönetmeliklerine uygunluğu binaların işletme ve deprem yükleri altında güvenliği için esastır. Birleşimler, yapı elemanları arasında ortaya çıkan tüm iç kuvvetleri aktarabilmeli, meydana gelebilecek bütün deplasman ve dönmeleri karşılayacak şekilde detaylandırılmalı ve uygulanmalıdır.

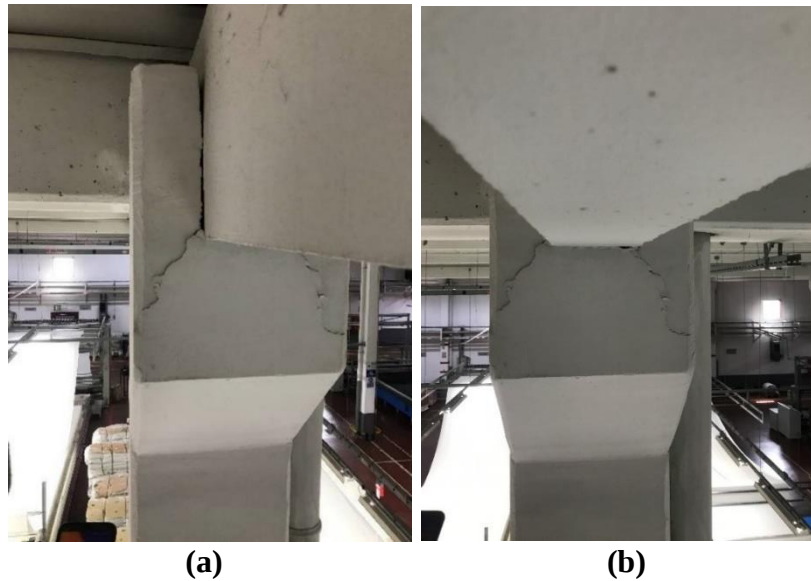
Prefabrike betonarme yapı elemanlarının birleşim tiplerinin seçiminde yapısal zorunluluklar, toleranslar, montaj işleri, taşıma ve stoklama, maliyet vb. hususlar gözönünde bulundurulmalıdır. Birleşim bölgesinin yangın ve korozyona karşı korunması, görünüş ve son bakım ile ilgili işlemler de birleşim tipi seçiminin ana unsurudur. Nakliye ve montaj aşamasında oluşacak bazı durumlarda yapı elemanlarında işletme yüklerinden daha büyük gerilmeler meydana gelebilir. Oluşacak bu gerilmeler yapı elemanı ve bağlantıların hesaplarına dahil edilmelidirler. Montaj aşamasında, birleşim bölgesinin tam olarak kuvvet aktaracak duruma gelinceye kadar

yapı elemanlarının stabilitesi sağlanmalıdır. Bu nedenle yeterli rijitlikte geçici mesnetler ve/ya da destekler kullanılabilir.

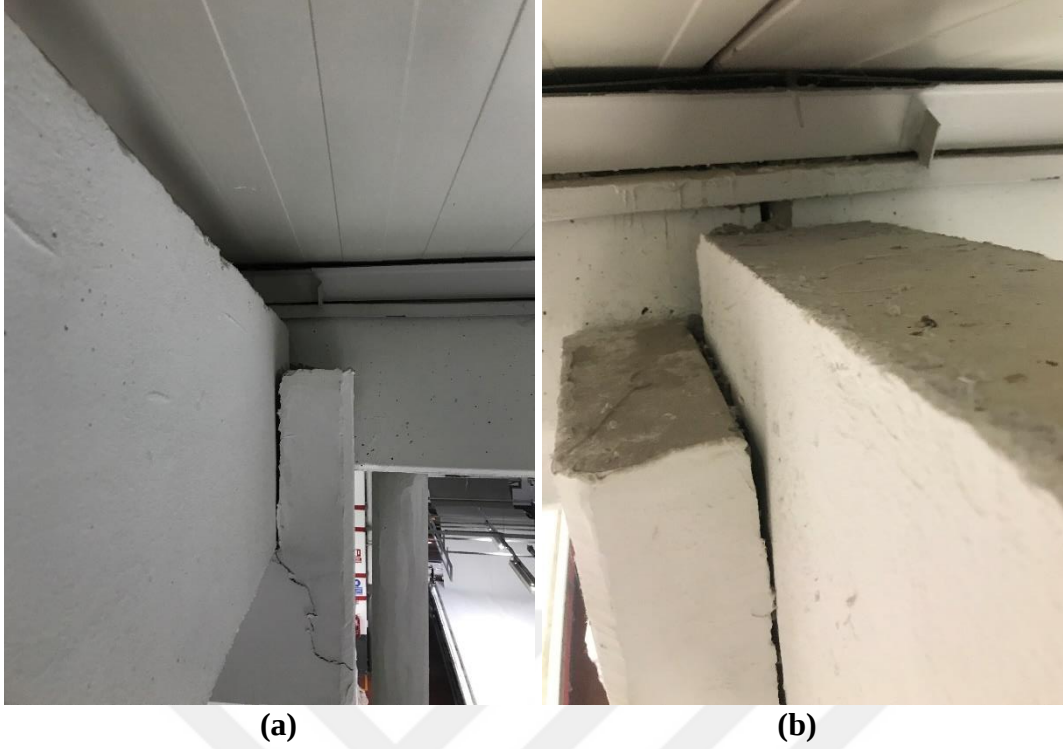
Türkiye’de geçmişte yaşanan depremlerin hemen hepsinde prefabrike yapılarda en çok kolon-kiriş bağlantılarının yetersizliği nedeniyle tamamen yere düşen çatı elemanlarına, çatı kirişi pim deliklerinin dolgularının yapılmaması ve yetersiz filiz boyları nedeniyle göçen çatı kirişlerine ve yuvalı birleşim kenarlarının yetersizliği nedeniyle düşmüş ya da kenarları tamamen kırılmış çatı kirişi bağlantılarına rastlanmıştır.

Mafsallı bağlantıların hesap ve tasarım esasları TBDY-2018’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Mafsallı birleşimler pimli (MFB1), kaynaklı (MFB2) ve yuvalı (MFB3) bağlantılar olarak 3 ana başlıkta toplanmıştır. Yeterli kiriş üst başlık genişlikleri, düzlem dışı devrilme kontrolleri, pimli bağlantılarda uyulması gereken minimum sınırlamalar, pimlerin kesme kuvveti kapasite kontrolleri, pim serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmesi zorunluluğu, minimum yuva genişliği sınırı vb. kurallar ile daha önce ülkemizde yaşanan depremlerde prefabrike betonarme yapılarda karşılaşılan hasarların minimuma düzeyde olacağı açıktır.

1994~1998 yılları arasında inşası tamamlanan 6 hollü prefabrike betonarme sanayi yapısının yuvalı bağlantılarında oluşan yapısal hasarlar Şekil 3.16’da verilmiştir. Şekil 3.17’de çatı kirişinin yuva içerisinde hareketi ve yuvada oluşan diyagonal çatlaklar görülmektedir. Yuvalı guseye bağlanan çatı kirişinin boyu $l_n = 12\text{m}$ ve $H_n = 6.00\text{m}$ ’dir.

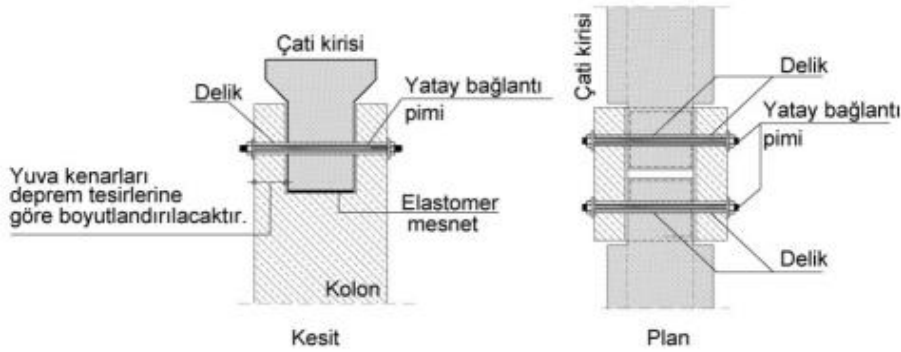


Şekil 3.16 : (a,b) Prefabrike betonarme yuvalı bağlantılarda oluşan yapısal hasarlar.



Şekil 3.17 : (a,b) Prefabrike betonarme yuvalı bağlantılarda oluşan yapısal hasarlar.

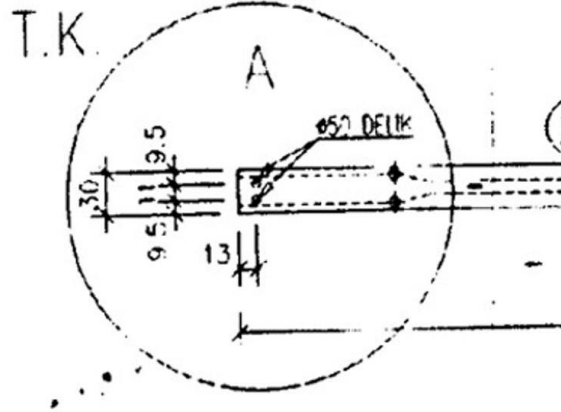
TBDY-2018 8.3.5.1’de verilen maddeye göre prefabrike yuva yanaklarında minimum kalınlık şartı (15cm) ve pim kullanımı zorunlu kılınmıştır (Şekil 3.18). Yuva yanaklarındaki donatılendirme detayı da çatı kirişin devrilme momentinden dolayı oluşacak iç kuvvetin 1.2 katını karşılayacak şekilde teşkil edilmelidir.



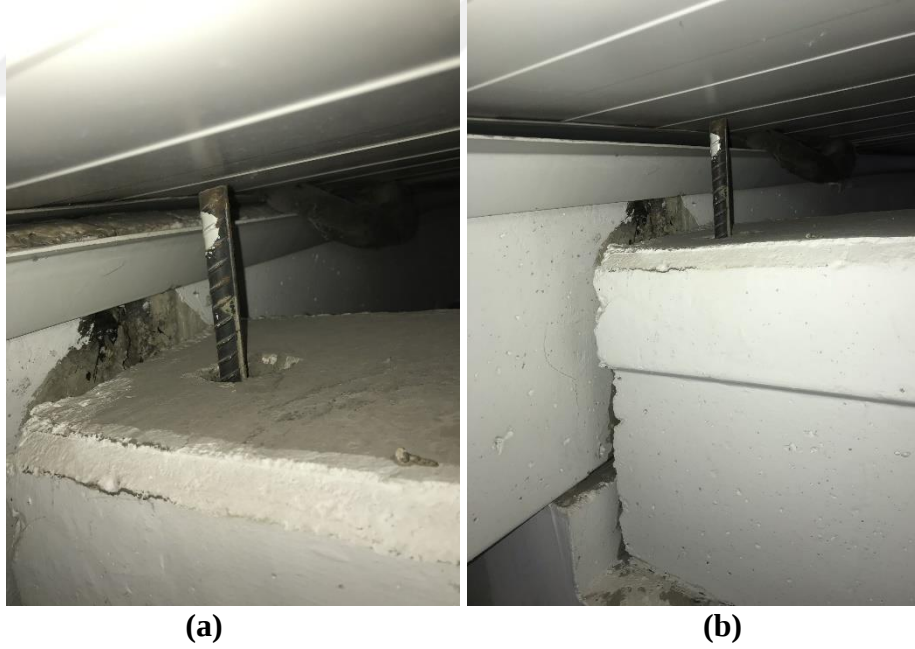
Şekil 3.18 : TBDY-2018 yuvalı bağlantılar (MFB3) tipik detayı.

İncelenen diğer bir prefabrike betonarme binanın mevcut projelerinde çatı kirişlerinin kolon bağlantıları çift pimli olarak gösterilmesine karşın yapıda yerinde yapılan incelemelerde tek pimli ve hatta bağlantı şekli çelik guseye yapılan uygulama yöntemi bilinmeyen birçok birleşim şekline rastlanmıştır. Binada gerçekleştirilen incelemeler neticesinde çatı kirişlerinin bağlantı tipleri ve şekilleri itibarıyla deprem güvenliği

açısından risk teşkil ettiği gözlemlenmiştir. Prefabrike yapıların özellikle de çatı kirişlerinin düzlem dışı devrilme güvenliğinin sağlanamamış olması yapının işletme yükleri altında da güvenli olamayacağını göstermektedir. Şekil 3.19’da yapının mevcut projesinde birleşim detayı, Şekil 3.20’de ise yerinde yapılan incelemeler sonrasında tek pimle teşkil edilmiş bağlantı detayı görülmektedir.

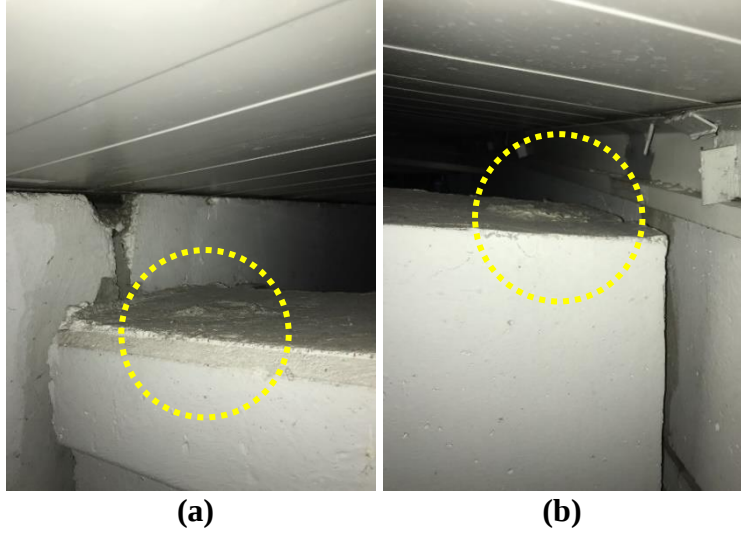


Şekil 3.19 : Prefabrike betonarme binanın mevcut projesinde verilen eğimli çatı kirişi bağlantı detayı.



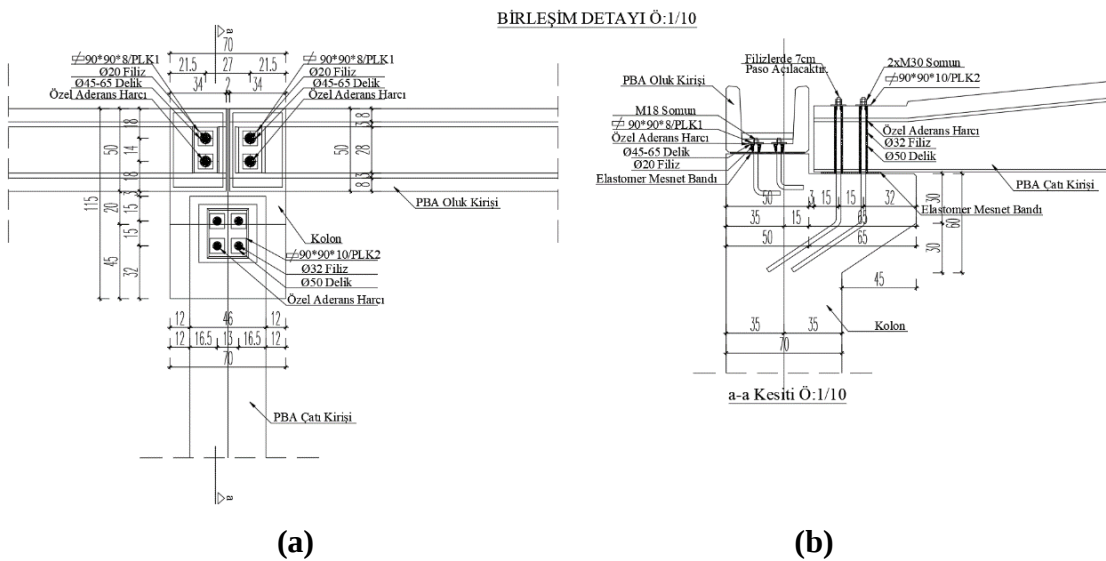
Şekil 3.20 : (a,b) Prefabrike betonarme binanın yerinde yapılan incelemeler sonucunda tek pimli bağlantı detayı.

Binanın farklı akslarında kontrol edilen bağlantı detaylarında filiz boylarının farklı olması, tüm pimli bağlantıların çimento harcı ile doldurulmaması ve serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmemesi dikkat çeken diğer eksiklikler olmuştur.



Şekil 3.21 : (a,b) Prefabrike betonarme binanın yerinde yapılan incelemeler sonucunda tek pimli bağlantı detayı (çimento harcı ile doldurulmuş bölgeler).

Şekil 3.23'te Trakya'da inşası tamamlanmış başka bir prefabrike betonarme binada çatı kirişlerinin hesap ve analizler sırasında yeterli güvenliği sağlayacak pim boyutu ve seçiminin uygulama sırasındaki hatası gösterilmektedir. Kiriş serbest açıklığı $l_n = 24\text{m}$ olan prefabrike çatı kirişleri için 4M32 pimler seçilerek bağlantı detayı analizleri yapılmış olup uygulama sırasında pim serbest uçlarının pul ve somunla bitirilmediği, çimento harcı dökülerek çatı kaplamasının tamamlandığı tespit edilmiştir. Binanın mevcut uygulama projelerinde birleşim bölgesi detayı Şekil 3.22'te verilmiştir. TBDY-2018 8.3.6.1 maddesine zorunlu kılınan bu detayın uygulanmaması birleşim bölgesinin yürürlükteki yönetmeliğe göre tamamlanmadığını göstermektedir.



Şekil 3.22 : Prefabrike betonarme bir bina için uygulama projesinde verilen birleşim bölgesi detayı (a) Plan (b) Kesit.



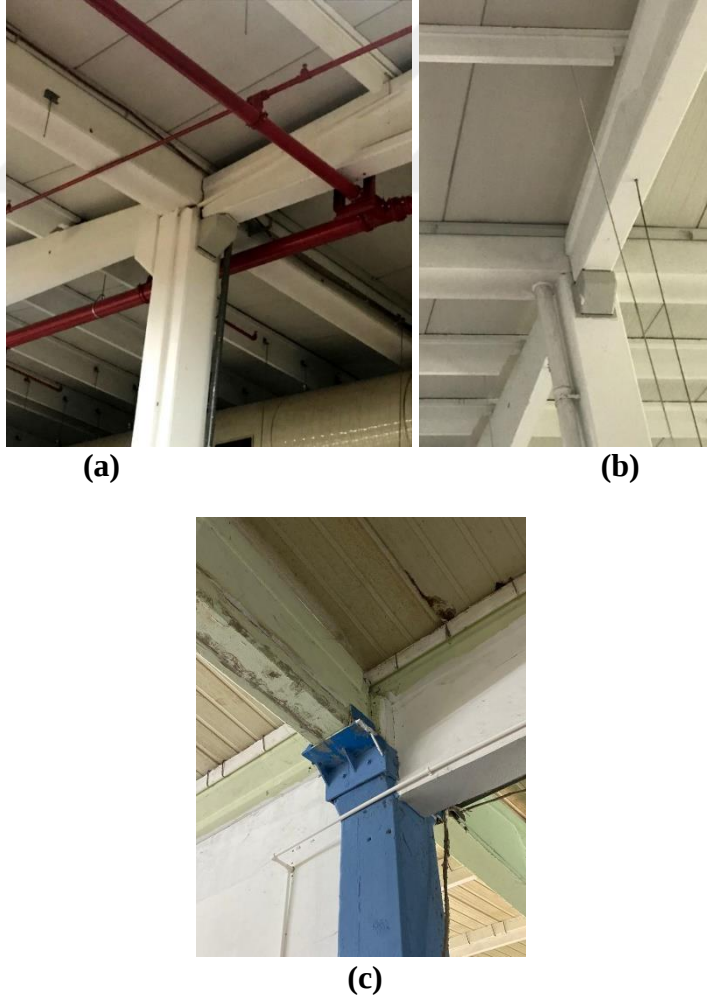
Şekil 3.23 : Pim serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmemiş bağlantı detayı.

Tez kapsamında incelenen başka bir prefabrike betonarme binada ise yapının Y doğrultusunda 5 cm derz ile ikiye bölünerek bırakılması gereken derz koşulunu sağladığı; ancak yerinde gerçekleştirilen kontrol sırasında deprem derzinin olduğu bölümde (Şekil 3.24) kolon üzerlerinde çatı kirişi kullanılmadığı, çatı elemanları seviyesinde derz gerçekleştirilmediği tespit edilmiştir. Bu durumda, yapının deprem derzi miktarlarının yönetmelikler uyarınca belirtilen koşulları sağlamadığı ve birinci derecede yapı güvenliğini tehlikeye soktuğu saptanmıştır.



Şekil 3.24 : Binada bulunan deprem derzi ve çatı seviyesinde derz gerçekleştirilmemesi.

Türkiye’de meydana gelen 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan ($M_s=6.3$), 17 Ağustos 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$, $M_s=7.8$) ve 12 Kasım 1999 Düzce ($M_s=7.3$, $M_w=7.1$) depremlerinde prefabrike betonarme sanayi yapılarının toptan göçmelerinin ve yürürlükteki yönetmeliklerdeki ‘Kontrollü Hasar’ performans hedefini sağlayamamalarının en önemli gerekçesi büyük açıklıklara sahip ağır betonarme çatı kirişlerinin uygun olmayan bağlantı şekilleri ile kolonlara birleştirilmesinden kaynaklanmıştır. Prefabrike betonarme binaların kullanım ömrü boyunca, herhangi bir mühendislik hizmeti alınmadan, uygulama yöntemi bilinmeyen ve mevcut kolon-temel taşıma kapasiteleri belirlenmeden birçok çelik guse ilaveleri ile çerçeve doğrultusunda uzatıldığı görülmektedir. Çelik guseler ile teşkil edilen farklı binalardan örnekler Şekil 3.25’te verilmiştir. Zaman zaman sistemin hiperstatiklik derecesini de değiştiren bu detayların gerekli mühendislik kontrolleri yapılmadan uygulanması sakıncalı görülmektedir. Başka bir deyişle, sistemin deprem yüklemesi altında özgün hesaplarda dikkate alınmayan bir iç kuvvet dağılımı meydana gelmektedir



Şekil 3.25 : (a,b,c) Çelik guseler ile teşkil edilen birleşim bölgeleri.

Bölüm 2’de detaylı olarak incelenen Atcost çerçeveli prefabrike betonarme binalarda da çelik guseler ile çerçeve düzleminde ilave hollerin eklendiği bilinmektedir (Şekil 3.26). Düşey yükler için tasarlanmış sistemin yatay rijitliğinin az olması nedeniyle fazla yerdeğiştirme yapmaları sonucunda izin verilen sınır değerleri aştığı ve bu eklentilerin sistemin işletme ve deprem güvenliğini tehlikeye soktuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.26 : Atcost çerçeveli prefabrike betonarme binada çelik guseler ile eklenen ilave çatı kirişleri.

Tez kapsamında incelenen bir diğer prefabrike betonarme binada, çatı kirişlerinin kolonlara farklı ölçülerde mesnetlendiği, kolonlarda dönmeler olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.27). Prefabrike betonarme taşıyıcı kolonlar 40*40cm olup yapının 1996 yılında tamamlandığı bilinmektedir.



Şekil 3.27 : Prefabrike betonarme binanın kolonlarında oluşan dönme ile çatı kirişlerinin montaj tolerans farkı.

Çatı kirişlerinin, prefabrike betonarme kolonlardaki kısa konsollara (guselere) bağlantılandığı gibi doğrudan kolon üzerine mesnetlenmesi de sıkça rastlanan bir durumdur. Trakya bölgesinde bulunan prefabrike betonarme bir tekstil fabrikasında incelemeler sonucunda Y doğrultusunda iki düz çatı kirişinin birleştiği bölgede özellikle deprem anında binanın yataj rijitliğine katkı sağlayacak olan hatıl kirişleri (deprem kirişi) çatı seviyesinde düzenlenmemiştir. Bu durum yapının Y doğrultusundaki (düzleme dik) periyotlarını uzatmakta ve deplasmanlarını arttırmaktadır. Major düzeyde olan bu hata yapının deprem güvenliğini riske sokmaktadır. Binanın çatı kirişlerinin bağlantıları Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28 : Prefabrike betonarme kolonlara doğrudan oturan çatı kirişi bağlantı detayları (a) Bina genel görünümü (b) Birleşim bölgesi.

Düz çatı kirişlerinin kolon üzerinde özel birleşim bölgesi (guse vb.) ve detaylandırılmış bağlantı noktası detayı olmadan düzenlenmesi TBDY2018 yönetmeliğinde belirtilen yeterli süneklik, rijitlik ve dayanım koşullarını sağlayamamasına yol açmaktadır. Düz çatı kirişlerinin düzlem dışı hareketleri deprem anında kaçınılmaz hale gelmektedir. Yapının performans hedeflerini sağlayabilmesi, özellikle birleşim bölgelerinin güvenliğinin sağlanması ile mümkündür.

Binanın dış akslarında düzenlenen Y doğrultusundaki hatıl kirişleri (deprem kirişleri) kolonda guse bırakılarak değil, eski bir yöntem olan ve günümüz yönetmeliklerinde izin verilmeyen kolonun içine gömülmüş çelik profille mafsallı birleşim ile oluşturulmuştur (Şekil 3.29). Örnek binada göze çarpan önemli bir diğer detay ise prefabrike betonarme kolon elemanlarının Y doğrultusunda düzenlenen hatıl kirişlerinden sonra kesitlerinin çatı kirişi kotuna kadar azalarak devam etmesidir.



Şekil 3.29 : Prefabrike kolonun içine gömülmüş çelik profille mafsallı birleşim detayı.

Prefabrike betonarme sanayi yapılarında operasyonların kurulumu, makine yerleşim ve düzenleri, aydınlatma, havalandırma, soğutma vb. kanallar, tesisatlar, tavalar tasarım ve proje aşamasında hesaba ilave yük olarak dahil edilmelidirler. Herhangi bir önlem alınmadan bilinçsiz olarak çatı elemanlarına asılan tesisat ve diğer donatılar yapı elemanlarının mevcut düşey yüklerine ek olarak yükleme durumu oluşturmaktadırlar. Bu yüklerin güvenli sınırlar içinde kaldığı mutlaka hesapla gösterilmelidir.



(a)



(b)

Şekil 3.30 : (a) Makine aksamı için gerekli olan çelik kafes sistemin çatı kirişine asılması (b) Çatı ve aşık kirişlerine asılan çeşitli tesisat elemanları.

3.2 Prefabrike Betonarme Binaların Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Türkiye’de yaşanan önceki depremlerde, prefabrike betonarme sanayi yapılarının hatalı tasarım, üretim, yetersiz rijitlik ve süneklik gibi nedenlerle ağır hasarlar aldıkları ya da yer yer göçtükleri görülmüştür. Deprem sorunu olmayan bazı ülkelere Türkiye’ye herhangi bir iyileştirme yapılmadan giren pek çok sistem son 30 yılda kendilerinden beklenen performansı gösterememişlerdir. Özellikle birleşim bölgelerinin uygun düzenlenmemesi nedeniyle yapısal hasarların/göçmelerin arttığı görülmektedir. Son 30 yılda Türkiye’de meydana gelen ve yapısal hasarlara/göçmelere neden olan depremler ve büyüklükleri aşağıda sıralanmıştır :

- 13 Mart 1992 Erzincan Depremi ($M_s=6.8$)
- 1 Kasım 1995 Dinar Depremi ($M_L=5.9$)
- 27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi ($M_s=6.3$)
- 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depremi ($M_w=7.4$, $M_s=7.8$)
- 12 Kasım 1999 Düzce Depremi ($M_s=7.3$, $M_w=7.1$)
- 6 Haziran 2000 Çankırı Depremi ($M_w=6.0$)
- 3 Şubat 2002 Sultandağı Depremi ($M_d=6.0$, $M_w=6.2$)
- 27 Ocak 2003 Pülümür Depremi ($M_s=6.2$, $M_w=6.0$)
- 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi ($M_s=6.4$)
- 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M_w=7.2$)
- 20 Temmuz 2017 Bodrum-Kos Depremi ($M_w=6.6$)
- 20 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) Depremi ($M_w=6.7$)
- 30 Ekim 2020 Sisam (Samos) Depremi ($M_w=6.9$)

Önceki depremler sonrasında yapılan çalışmalarda hasar alan ve toptan göçen yapıların, özellikle deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı, tabanda soket temellere ankastre olarak bağlanan kolonlar tarafından karşılanan tek katlı (ya da kısmi ara katlı) binalar ($R=3$) olduğu görülmüştür. Ülkemizdeki prefabrike betonarme yapı stokunun büyük bölümü de bu tip binalardan oluşmaktadır. ABYYHY-1975, ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007’de prefabrike

betonarme yapılar ile ilgili ilkeler ve tasarım esasları yer almakta, ancak özellikle ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007 yönetmeliklerindeki kolonları altta ankastre üstte mafsallı olan prefabrike yapılarda taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) değiştiği bilinmektedir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'de deprem etkisi altında önüretimli betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kurallar bölümü prefabrike betonarme yapılar için daha geniş kapsamlı olarak ele alınmaktadır.

27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi ($M_s=6.3$), prefabrike sanayi yapılarının yoğun olduğu bir bölgede meydana gelmesi nedeniyle, Türkiye'de prefabrike betonarme yapılarda ilk kez yoğun bir şekilde deprem hasarının gözlemlendiği bir deprem olarak bilinmektedir. Bu depremde, hasarlar/göçmeler kolonları tabanda ankastre üstte mafsallı olan çubuk sistemler ile oluk doğrultusunda kolon rijitliğinin daha düşük olduğu lambda çerçeve (kırıklı çerçeve) sistemlerde görülmüştür; mafsallı bağlantılarda ciddi sorunlar oluşmuştur (Şekil 3.31a). Özellikle çatı kirişinin kolon gusesine tek pimle bağlandığı çok sayıda hasar görmüş prefabrike yapılarla karşılaşmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.31 : Prefabrike çerçeveli yapılar oluşan göçmeler (a) Adana-Ceyhan bölgesinde bir prefabrike fabrika binası (Bayülke, 2008) (b)1999 Marmara Depremi prefabrike betonarme yapı hasarı (Arslan ve diğerleri, 2007).

17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) ($M_w=7.4$, $M_s=7.8$) ve 12 Kasım 1999 Düzce ($M_s=7.3$, $M_w=7.1$) depremleri Türkiye'de prefabrike sanayi yapılarının en yaygın ve yoğun hasar gördüğü depremlerdir; Sakarya O.S.B. etkileyici bir örnek olarak verilebilir. Yine kolonları temel düzeyinde ankastre üst bağlantıları mafsallı olan çubuk sistemler ve lambda çerçeve sistemlerde toptan göçmeler ve yoğun yapısal hasarlara rastlanmıştır (Şekil 3.31b). Buna ek olarak mafsallı bağlantılarda oluşan hasarlar, çatı

kirişlerinin yanal stabilite sorunları, duvar panellerinin yetersiz bağlantıları ve donatıdaki sorunlar da gözlemlenen diğer hasarlardır; sisteme uygun olmayan bağlantıları nedeniyle, prekast cephe panellerinin öncelikle göçtüğü örnekler de vardır. Sözü edilen depremlerin hemen hepsinde kolon-kiriş bağlantılarının yetersizliği nedeniyle tamamen yere düşen çatı elemanlarına, çatı kirişi pim deliklerinin dolgularının yapılmaması ve yetersiz filiz boyları nedeniyle göçen çatı kirişlerine ve yuvalı birleşim kenarlarının yetersizliği nedeniyle düşmüş ya da kenarları tamamen kırılmış çatı kirişi bağlantılarına rastlanmıştır. Ayrıca çatı kirişlerindeki üst başlık genişliğinin küçük tutulması sonucu yanal stabilite yetersizliği nedeniyle burkulmuş çatı kirişlerine de rastlanmıştır. 23 Ekim 2011 Van Depremi ($M_w=7.2$) sonrasında ise prefabrike sanayi yapılarında görülen hasarlar öncekilere göre daha azdır. Montaj aşamasındaki prefabrike sanayi yapılarının da hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Bu da çatı kaplamasının çatı düzeyinde yapıya belli bir rijitlik kazandırdığı ve deprem hasarını azalttığı şeklinde yorumlanabilir.

Tez sürecinde meydana gelen 24 Ocak 2020 Doğanlı (Malatya) - Sivrice (Elazığ) ($M_w=6.7$) ve 30 Ekim 2020 Samos (Sisam) ($M_w=7.0$) depremleri sonrasında prefabrike betonarme binaların performansları değerlendirilmiştir. Çelik ve diğ. (2020) 8~10 Şubat 2020 tarihleri arasında depremden etkilenen bölgeyi binalarda meydana gelen yapısal hasarları ve göçmeleri belirlemek için ziyaret etmişlerdir. Bu ziyaret sırasında öncelikle Malatya ve civarı, sonrasında ise Elazığ ve civarı yerinde incelenmiştir.

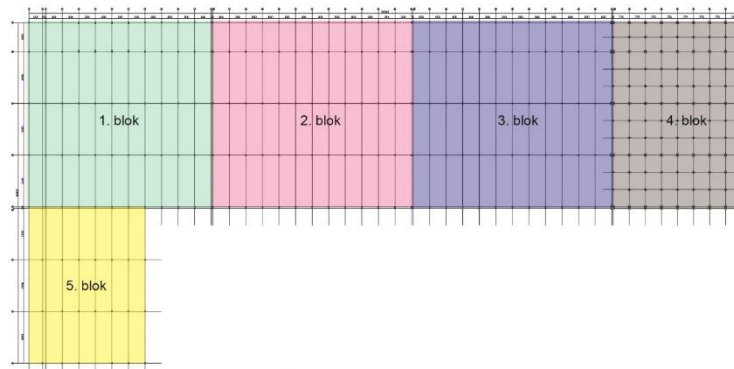
Depremden etkilenen Elazığ ve Malatya illerinde 3 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Elazığ O.S.B.'de 104 adet faaliyette, 12 adet inşaat halinde, 11 adet proje aşamasında olan toplam 127 adet, Malatya 1.O.S.B.'de 166 adet faaliyette, 30 adet inşaat halinde, 13 adet proje aşamasında olan toplam 209 adet, Malatya 2. O.S.B.'de 153 adet faaliyette, 4 adet inşaat halinde toplam 157 adet sanayi yapısı bulunmaktadır. Bölgedeki organize sanayi bölgelerinde aktif olarak kullanılan, çatı kaplaması tamamlanmış, montaj aşamasında ve proje aşamasında olan her türlü safhadan binalar gözlemlenmiştir. Üç sanayi bölgesi için de AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan en büyük yer ivmeleri (PGA) Elazığ O.S.B. için $PGA=0.457g$, Malatya 1. O.S.B. için $PGA=0.322g$, Malatya 2. O.S.B. için $PGA=0.319g$ olarak okunmuştur. Bölgede meydana gelen depremde yeni tasarım için öngörülen bu ivme değerlerinin çok altında ivme değerlerine ulaşılmıştır.

Bölgedeki prefabrike betonarme sanayi yapılarının büyük çoğunluğunu, çatı düzeyinde mafsallı bağlantılı (MFB1), deprem etkilerinin tamamını süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılanan ($R=3$) binalar oluşturmaktadır (Şekil 3.32). Çatı düzeyinde çoğunlukla öngerilmeli/öngerilmesiz değişken kesitli betonarme çatı kirişleri, öngerilmeli/öngerilmesiz betonarme aşıklar kullanılmaktadır. Çerçeve aks aralıkları $a=7.50\text{m}\sim 12.00\text{m}$ aralığında değişmekte olup maksimum betonarme prefabrike çatı kirişi açıklığı $l_n=27\text{m}$ 'dir. Bu açıklıklarda 30/42cm ve 30/50cm betonarme aşık elemanları, $h=200\text{cm}$ mahyalı, kiriş üst tabla genişliği $b_{üst}=60\text{cm}$ olan betonarme prefabrike çatı kirişleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.32 : (a, b) Malatya 1. O.S.B., çatı düzeyinde mafsallı prefabrike betonarme binalar.

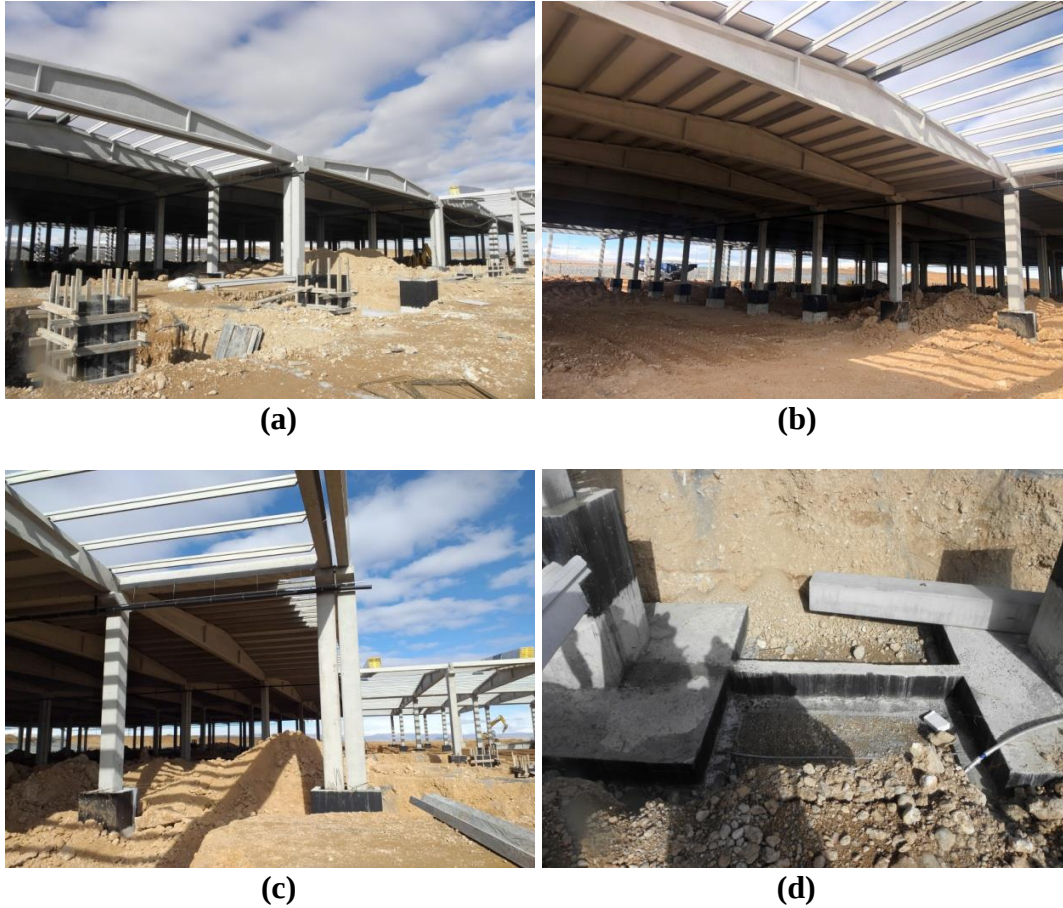
Şekil 3.33 ve 3.34'te TBDY-2018'e göre tasarlanmış ve projeleri ayrıntılı olarak incelenmiş Malatya 1. O.S.B.'de bulunan ve montajı devam eden sanayi yapısında, çatı paneli tamamlanmış ve çatı panelleri tamamlanmamış bölümlerin deprem performansı gayet uygun olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.33 : Malatya 1. O.S.B., yapım aşamasındaki incelenen binanın genel vaziyet planı.

Bina, 5 ayrı bloktan oluşmakta olup 1., 2., 3., ve 5. Bloklar tabanda ankastre üstten mafsallı tek katlı prefabrike betonarme sanayi binasıdır. Bu bloklarda çatı kirişi alt

kotu $H_n=7.00\text{m}$ 'dir. Çatı kirişi doğrultusunda açıklık $l=24.90\text{m}$, dik doğrultuda ise açıklık $a=8.00\text{m}$ 'dir. 4. Bloкта doğal arazi eğimi kullanılarak bodrum kat planlanmıştır. Bu binadaki prefabrike betonarme elemanlarda herhangi bir hasar oluşumuna rastlanmamıştır (Şekil 3.34a,b). Yapıda kullanılan betonarme çatı kirişlerinin üst başlık genişliği TBDY-2018 Madde 8.3.1.11'de verilen kurala uygun olarak boyutlandırılmıştır. Yapının, taşıyıcı sistem kurgusunda olumsuz davranışlara neden olabilecek burulma düzensizliğinin önlenmesi için, birbirinden bağımsız bloklara yapısal derzlerle ayrıldığı görülmektedir (Şekil 3.34c). Bırakılan derz boşluklarının TBDY-2018'de verilen minimum koşulları sağladığı tespit edilmiştir. İncelen projede uygulanan soket temel kolon birleşimlerinde de herhangi bir hasar meydana gelmemiş, bağ hatılı ve temel boyutlarının hem zemin gerilmeleri hem de deprem etkilerinin karşılanmasında yeterli olduğu saptanmıştır (Şekil 3.34d).



Şekil 3.34 : Malatya 1. O.S.B., yapım aşamasındaki bir bina, (a) Genel Görünüş
(b) Çatı paneli tamamlanmış ve tamamlanmamış bölümler (c) Yapısal derz düzenlemesi (d) Bağ hatılı ve temel uygulamaları.

Bölgedeki sanayi yapılarında Şekil 3.35'te gösterildiği gibi betonarme prefabrike kolon elemanları ve çelik çatı kirişlerinin birlikte kullanıldığı karma çözümlerin de uygulandığı görülmektedir.



Şekil 3.35 : Malatya 1. O.S.B., Prefabrike betonarme kolon elemanları ve kırıklı çelik çatı kirişi uygulaması.

Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek önüretimli çerçevelerle karşılandığı ($R=5,6,7$) binalarda inceleme olanağı bulunamamıştır. Gerçekte, araştırılan bölge daha çok kısmi arakatlı prefabrike binaları barındırmaktadır. TBDY2018 Madde 8.7.1'de “Kolonları çatı kotunda mafsallı tek katlı çerçevelerden oluşan önüretimli betonarme binalarda; bina taban alanının %25'ini geçmemek kaydıyla kısmi ara kat oluşturulması durumunda, bu kısmi ara katın yatay rijitliğinden dolayı çatı diyaframında oluşacak ilave iç kuvvetler ve plandaki burulma düzensizliği dikkate alınacak ya da bu düzensizliğin ortadan kaldırılması için kısmi ara katlı bölüm derz ile ayrılacaktır.” değinilmektedir. Bu duruma uygun olmayan ve bağlantı detayları da yönetmeliğe uygun olmayan montaj aşamasında olan yine prefabrike betonarme bir binaya rastlanmıştır (Şekil 3.36 a,b,c,d). Yapım aşamasında olan bu binada deprem kaynaklı herhangi bir hasar/sorun izlenmemiştir. Yönetmeliğe göre uygun bağlantı tipi ise üstte ıslak-altta kaynaklı (MAB3) ve manşonlu pimli (MAB4) detaylarıdır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.36 : Malatya 1. O.S.B., (a) Yapı genel görünümü (b) Kısmi arakatlı bölümler (c) Kolon-kiriş bölgesi bağlantı detayı (d) Döşeme tipi.

Bölgede döşeme elemanları olarak yaygın biçimde TT döşeme panellerinin kullanıldığı, alternatif olarak ise boşluklu döşeme elemanlarından da yararlanıldığı görülmüştür. Döşeme elemanlarını birbirine bağlayan herhangi bir bağlantı detayına rastlanmamıştır. Bu tür döşemelerde rijit diyafram (levha) etkisinin sağlanmasının binanın genel deprem performansı üzerine olumlu etkisi açıktır.

Yapı yüksekliklerinin farklı olması durumunda derz düzenlemesinin yapılması özellikle prefabrike yapılarda çok önemlidir. Şekil 3.37’de gösterilen derz düzenlemesinin uygun olmadığı ve kot farkı bulunan iki bölümün varlığına karşın ayrılmamış olan prefabrike betonarme binada özellikle aşık elemanlarında yanal sehimler ve bağlantılarda hasarlar oluşmuştur.



Şekil 3.37 : Malatya 1. O.S.B., (a) Derz düzenlemesinin uygulanmaması
(b) Aşıklarda oluşan yanıl sehimler.

Prefabrike betonarme yapılarda, yapıldığı yıla ya da kullanıcı isteğine bağılı olarak cephe kaplamaları değışmektedir. Giydirme sandviç panel, prefabrike betonarme cephe elemanları ve tuğla duvarlar sıkça tercih edilen cephe türlerini oluşturmaktadır. Beton esaslı dış cephe duvar sistemleri, yapının taşıyıcı sistemi ve fonksiyonlarına bağılı olarak çeşitlilik göstermektedir. Beton esaslı prefabrike cephe panelleri farklı boyut ve biçimde tasarlanıp üretilebilmektedir. Genişliklerine, katmanlaşma düzenine göre, boyutsal çeşitlilik, konum ve taşıyıcılık bakımından sınıflandırılabilir.

Bölgedeki sanayi yapılarında özellikle tuğla duvarla gerçekleştirilen cephelerde değışik düzeylerde hasar ve çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 3.38). Bu çatlaklar çoğunlukla ayrılma çatlakları türündendir. Yapısal bir sorun oluşturmamaktadırlar. Prefabrike betonarme cephe panelleri ise bölgede nadir kullanılmakla birlikte incelenen prefabrike TT düşey cephe elemanlarında ve bağlantı bölgelerinde herhangi bir hasara rastlanmamıştır.



Şekil 3.38 : (a,b) Malatya 1. O.S.B., Tuğla duvarlarda oluşan çatlaklar.

Yüksel ve diğ. (2020) 30 Ekim 2020 Samos (Sisam) ($M_w=7.0$) depreminin İzmir'deki prefabrike betonarme binalara etkisini araştırmak için bölgeyi ziyarete gitmişlerdir. İzmir beton prefabrikasyon teknolojisinin yoğun olarak kullanıldığı şehirlerden birisidir. İzmir il sınırları içerisinde 14 ayrı organize sanayi bölgesi bulunmakta ve Türkiye Prefabrik Birliği verilerine göre yaklaşık 6000 adet prefabrike betonarme bina farklı işlevlerde kullanılmaktadır. Yerinde yapılan incelemelerde $H_n=7m$ olan bir binada cephe duvarlarında sınırlı hasarlar gözlenmiştir.

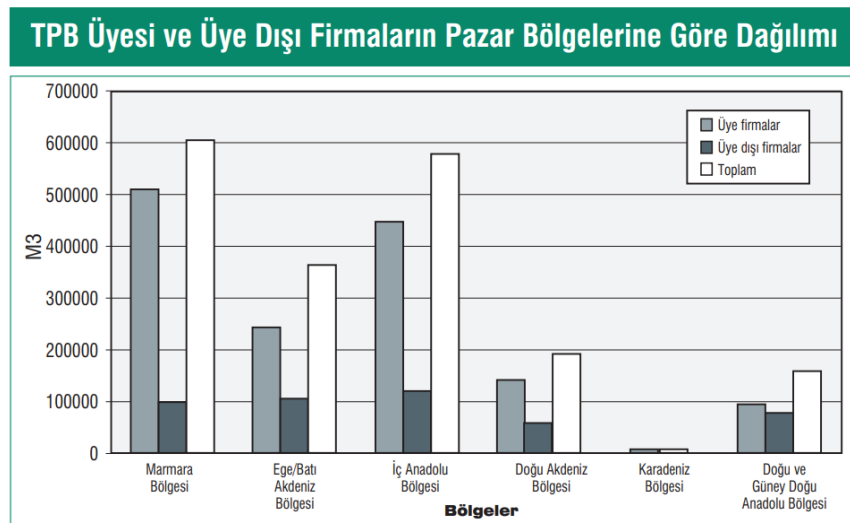


Şekil 3.39 : Hatıllar ile bölünmüş cephe duvarlarında sınır hasar (Yüksel ve diğ. 2020).

4. TÜRKİYE’DE UYGULANAN PREFABRİKE ÇATI KİRİŞLERİ ÜZERİNE TİPOLOJİK BİR ÇALIŞMA

Tipolojik bir değerlendirme yapabilmek ve mevcut durumu ortaya koymak amacıyla 2015~2021 yılları arasında Trakya bölgesinde tasarlanmış ve uygulanmış 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi bu bölümde incelenmiştir; Trakya bölgesinin seçilme nedeni, çok sayıda endüstri yapısının son yıllarda inşa edilmesi ve bu projelerin bilgisine ulaşılabilmesidir. Benzer bir değerlendirme diğer bölgeler için de yapılabilir. Yapılan çalışma sonucunda x ve y doğrultularında yapı açıklıkları, kullanılan çatı kirişi kalıbı sıklığı, eğimli çatı kirişi ağırlıkları, a/l oranları (a =Oluk kirişi açıklığı, l =Eğimli çatı kirişi açıklığı) ve optimum açıklıklar irdelenmiştir.

Türkiye Prefabrik Birliği 2021 yılı faaliyet raporu incelendiğinde, toplam prefabrike beton üretimi 1.886.826 m³ olup bu üretimin bölgelere göre dağılımına bakıldığında, birinci sırada %32 oranla Marmara Bölgesi, ikinci sırada %30 oranla İç Anadolu, üçüncü sırada %19 oranla Ege ve Batı Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Marmara Bölgesi’nde 2021 yılında toplam prefabrike beton üretimi 608.243 m³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 : Türkiye Prefabrik Birliği 2021 yılı beton üretiminin bölgelere göre dağılımı (TPB, 2021 Faaliyet Raporu).

4.1 İncelenen Uygulama Projelerindeki Eğimli Çatı Kirişi (EÇK) Geometrileri

İncelenen 100 projede kullanılan 6 adet eğimli çatı kirişi özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Eğimli kirişler için uygun açıklıklar, açıklık ortasındaki kesit alanları, kiriş hacim ve yaklaşık ağırlıkları ile öngerme kullanımına uygunlukları belirtilmiştir.

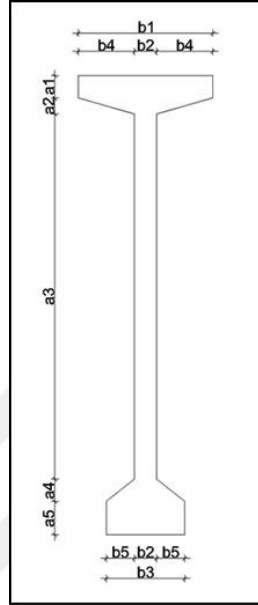
Çizelge 4.1 : Eğimli çatı kirişleri kalıp özellikleri.

E.Ç.K Tipleri	Uygun Açıklıklar(m)	Kesit Alanı(m ²)	Hacim(m ³)	Ağırlık(ton)	Öngerme Uygunluğu
35/25/116	12~15	0.164	1.807	4.517	Uygun Değil
35/25/134	15~19	0.182	2.335	5.837	Uygun Değil
45/30/140	19~22	0.189	3.236	8.090	Uygun
47/30/155	22~25	0.204	3.827	9.567	Uygun
50/30/165	25~28	0.216	4.385	10.962	Uygun
60/35/205	28~32	0.322	8.701	21.752	Uygun

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi incelenen betonarme prefabrike uygulama projelerinde kullanılan kalıpların en uygun açıklıkları verilmiştir. 35/25/116 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar 12~15m aralığındadır; bu kalıpta öngerme kullanılmamaktadır. 35/25/134 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar 15~19m aralığındadır; bu kalıpta da öngerme kullanılmamaktadır. 45/30/140 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar 19~22m aralığında olup öngerme kullanılması uygun sonuçlar vermektedir. 45/30/155 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar 22~25m aralığında olup öngerme kullanılmaktadır. 45/30/165 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar 25~28m, 60/35/205 enkesitli eğimli çatı kirişi için uygun açıklıklar ise 28~32m aralığındadır; her iki kalıpta da öngerme kullanılmaktadır.

Eğimli çatı kiriş kalıplarının uygun açıklıkları esas alınarak kiriş serbest açıklığı belirlenmiş olup üst tabla genişliklerinin TBDY-2018 8.3.1.11’e göre genişliği en az $l_n/50$ olmalıdır; burada l_n kiriş serbest açıklığını göstermektedir. 35/25/116 ve 35/25/134 eğimli çatı kirişleri üst tabla genişliğine göre maksimum kiriş serbest açıklığı 17.5m olabilmektedir. 45/30/140 eğimli çatı kirişi üst tabla genişliğine göre maksimum kiriş serbest açıklığı 22.5m, 47/30/155 kirişininki ise 23.5m olabilmektedir. 50/30/165 eğimli çatı kirişi için 25.0m, 60/35/205 eğimli çatı kirişi içinse kiriş serbest açıklığı 30.0m hesaplanmıştır.

Eğimli çatı kirişleri geometrik özellikleri Şekil 4.2 (referans enkesiti) ve Çizelge 4.2’de gösterilmektedir. Eğimli çatı kirişlerinin imalat resimleri, bağlantı noktaları (montaj delikleri) aşık filiz yerleri ve kaldırma kancası yerleri EK-A’da ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.2 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.

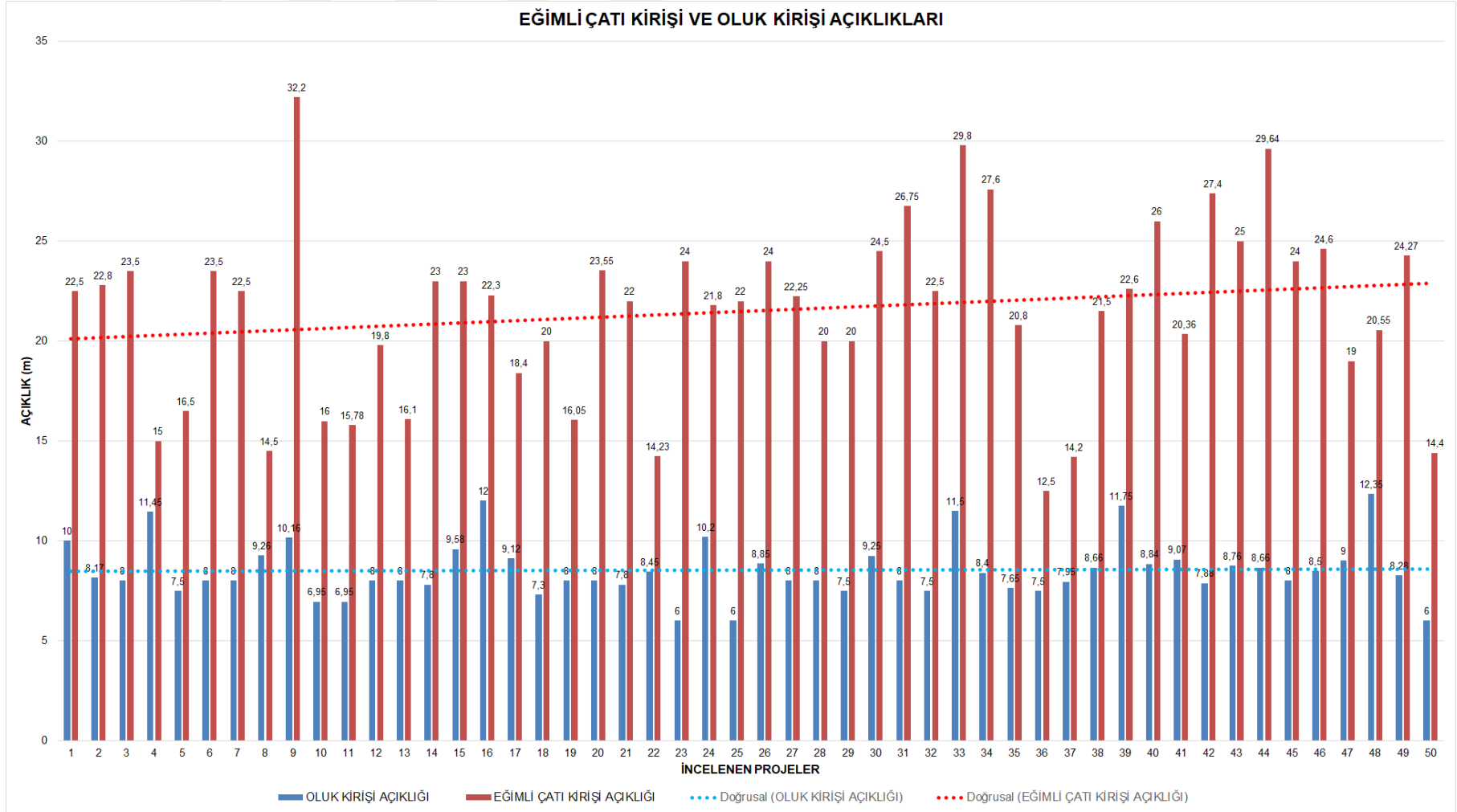
Çizelge 4.2 : Eğimli çatı kirişleri geometrik özellikleri.

E.Ç.K	a1 (cm)	a2 (cm)	a3 (cm)	a4 (cm)	a5 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	b3 (cm)
35/25/116	9.5	5	87	5	9.5	35	10	25
35/25/135	9.5	5	104.5	5	10	35	10	25
45/30/140	10	7	108	5	10	45	8	30
47/30/155	10	7	123	5	10	47	8	30
50/30/165	10	7	133	5	10	50	8	30
60/35/205	10	7	163	10	15	60	10	35

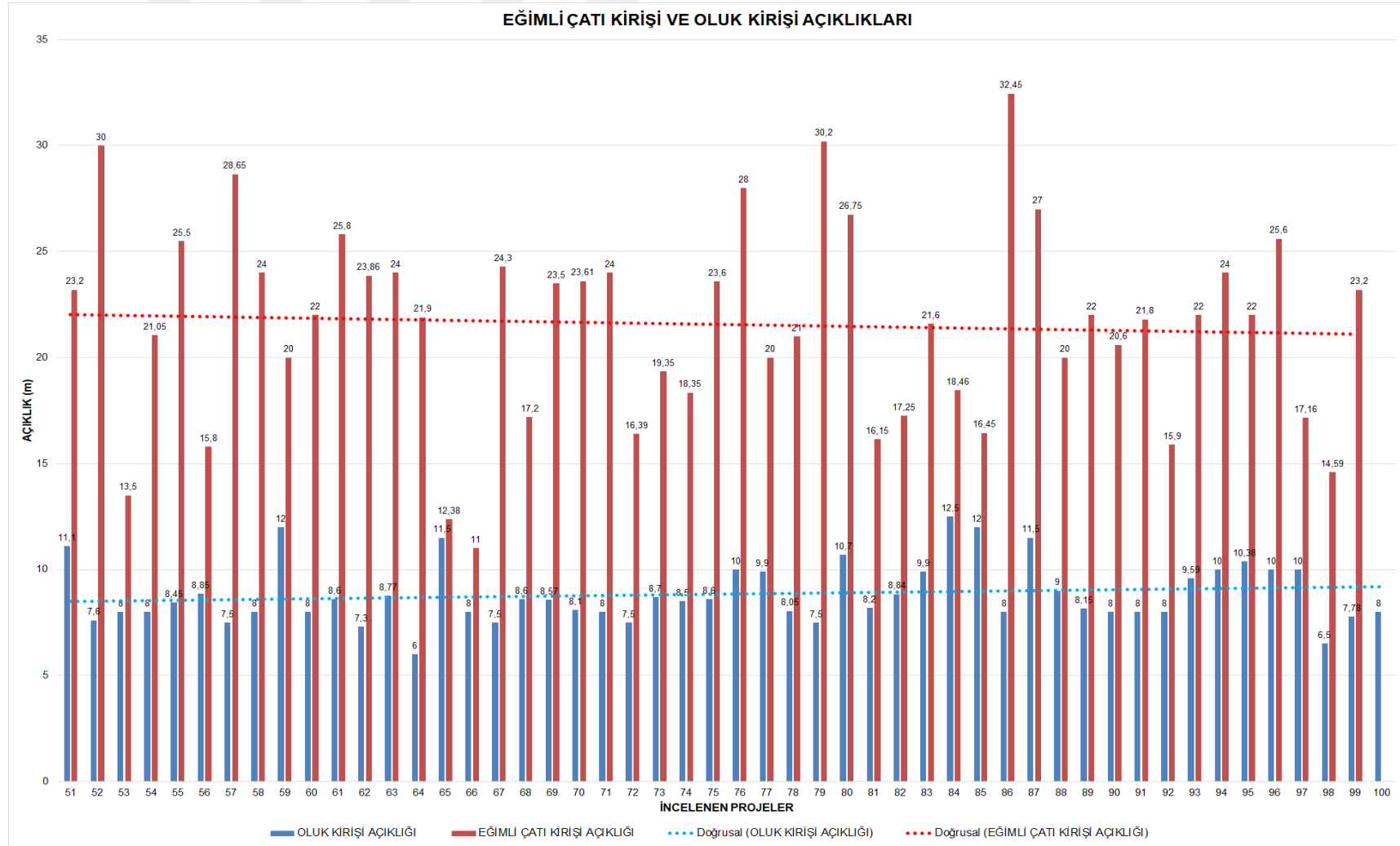
4.2 İncelenen Uygulama Projelerinin Özellikleri

Bu bölümde yapılan çalışma sonrasında 100 adet uygulama projesindeki tüm geometrik özellikler ve optimum açıklıklar irdelenmiştir.

İncelenen projelerin eğimli çatı kirişi ve oluk kirişi yönündeki açıklıkları Şekil 4.3 ve 4.4’te topluca verilmiştir. Minimum çatı kirişi açıklığı $l_{min}=11m$, maksimum açıklık ise $l_{max}=32.45m$ ’dir. Minimum oluk kirişi açıklığı $a_{min}=6m$, maksimum açıklık ise $a_{max}=12.50m$ ’dir. Ortalama çatı kirişi açıklığı $l_{ort}=21.50m\sim 22.00m$ olarak hesaplanırken, oluk kirişi açıklığı $a_{ort}=8.60m\sim 9.00m$ aralığında elde edilmiştir.



Şekil 4.3 : İncelenen 1.~50. uygulama projesi çatı kirişi ve oluk kirişi açıklıkları.



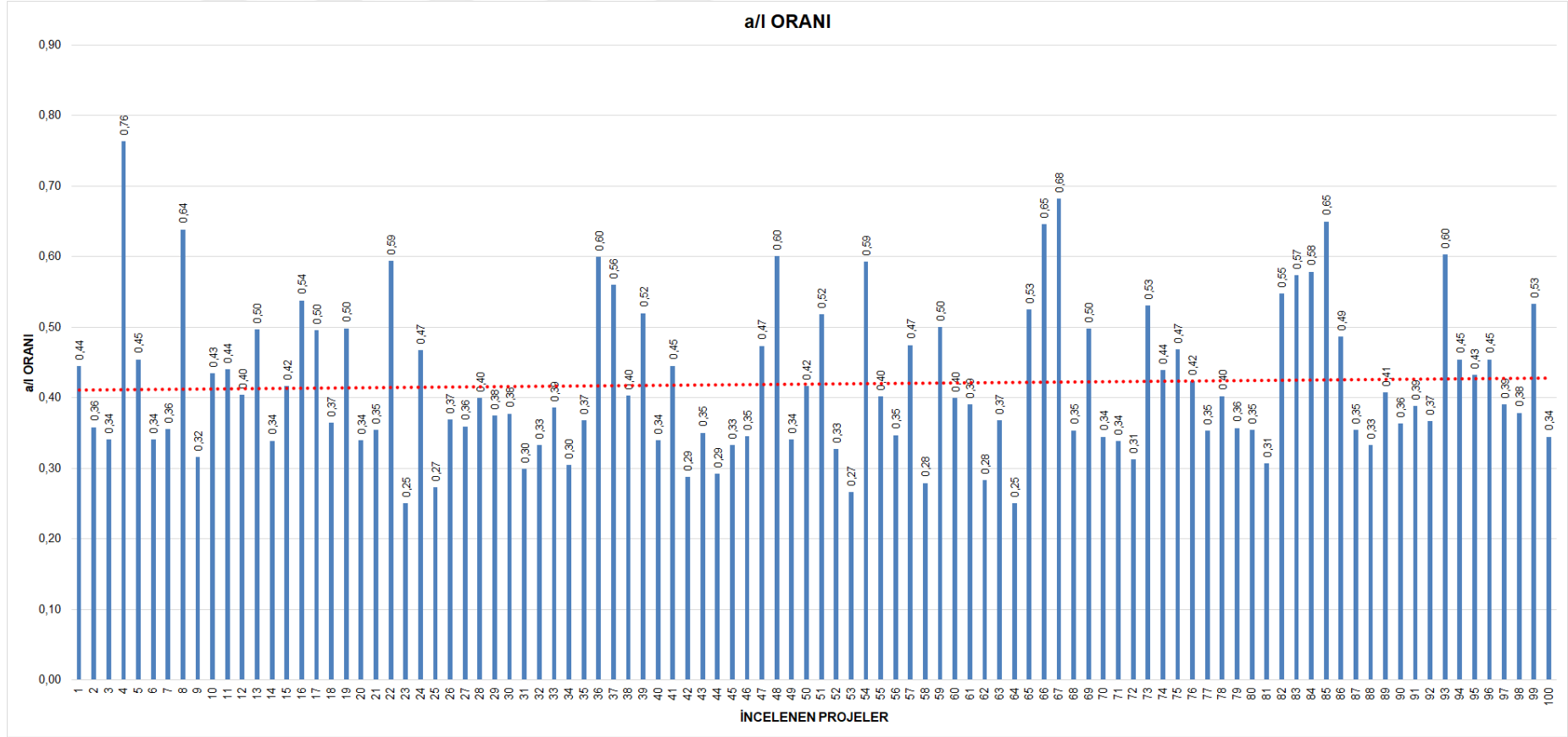
Şekil 4.4 : İncelenen 50.~100. uygulama projesi çatı kirişi ve oluk kirişi açıklıkları.

Tüm projeler için a/l oranı (a =Oluk kirişi açıklığı, l =Eğimli çatı kirişi açıklığı) Şekil 4.5'te verilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en uygun/tercih edilen a/l oranının 0.35~0.40 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır.

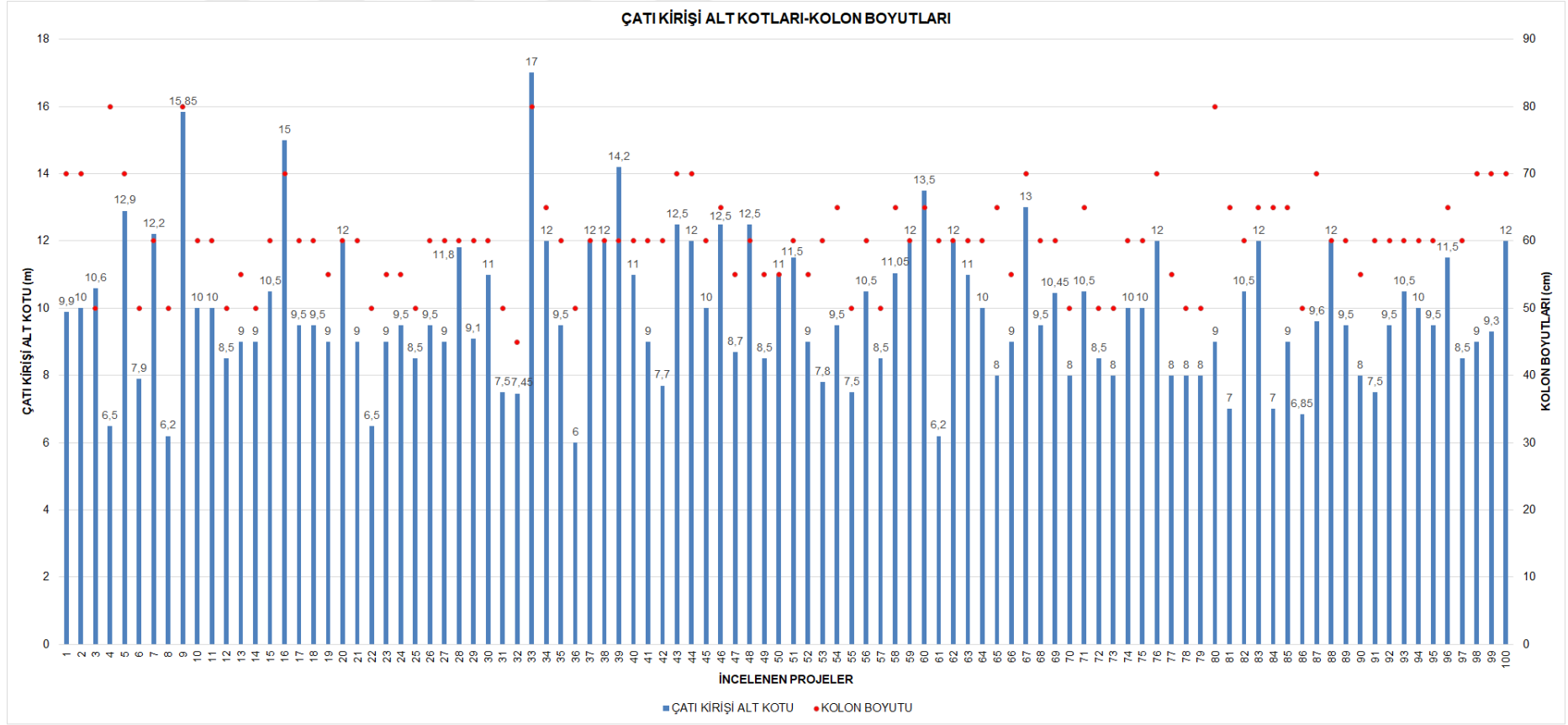
Şekil 4.6'da tüm projeler için zemin kotundan çatı kirişi alt kotuna kadar olan yükseklikler verilmiştir. İncelenen uygulama projelerinde en sık tercih edilen yüksekliğin $H_n=9\sim 10$ m aralığında olduğu görülmüştür. Minimum çatı kirişi yüksekliği $h_{min}=6$ m, maksimum çatı kirişi yüksekliği $h_{max}=17$ m'dir. TBDY-2018'de prefabrike betonarme yapılara yükseklik sınırlaması getirilmiştir. Doğrusal deprem hesabı için, bağlantı tipleri ve taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları (R), Dayanım Fazlalılığı Katsayıları (D) ile izin verilen Bina Yükseklik Sınıfları (BYS) TBDY-2018 Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'e göre deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği $h_{max}=12$ m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar için $R=3$ kabul edilirken, 12m'den yüksek binalar için deprem etkilerinin tamamının bağlantıları MAB3, MAB4 tipi moment aktaran bağlantılar ile teşkil edilen binalarda $R=5$ alınarak yapısal hesaplar tamamlanmaktadır. 2019 yılından önce yapılan binaların bir kısmının h_{max} 'dan daha büyük olduğu ve kolonlarla bağlantılarının mafsallı teşkil edildiği yapılan araştırmalar sırasında görülmüştür. Buradan hareketle, bu türden yapıların öncelikle güvenlik düzeylerinin değerlendirilmesi ve güçlendirme projelerinin hazırlanması gerekmektedir.

Binalara etkiyen yük bileşenleri, zemin sınıfı, depremsellik durumu, geçilen açıklıklar, arakat/kreyn seçimi değişkenlik gösterse de en sık kullanılan kolon kalıbının da $b=60$ cm x 60cm kolon olduğu tespit edilmiştir. En küçük kolon kesiti $b_{min}=40$ cm x 40cm iken en büyük kolon kesiti $b_{max}=80$ cm x 80cm'dir.

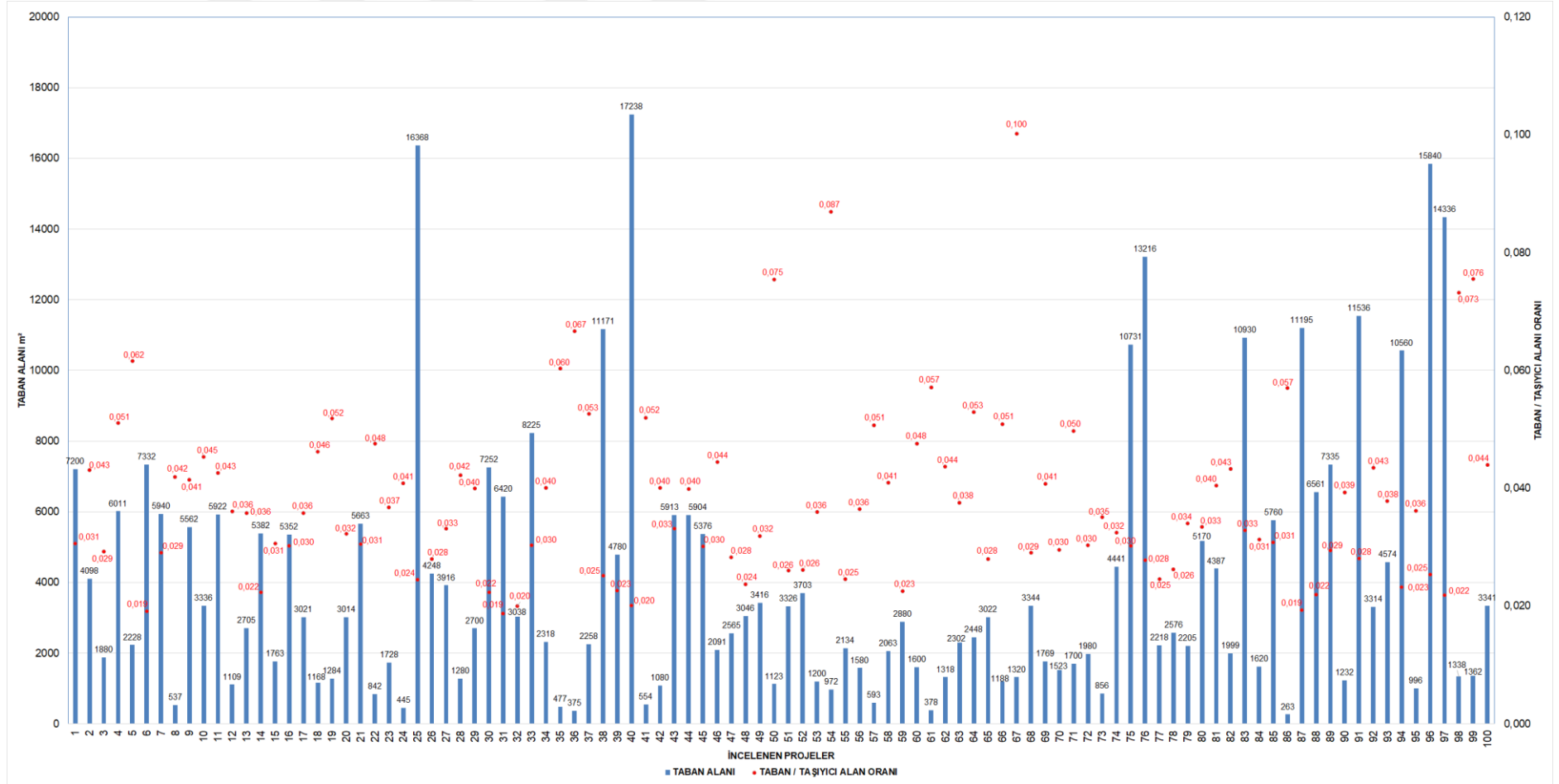
Şekil 4.7'de tüm projelerin taban alanları ve hesaplanan taşıyıcı / taban alanı oranları verilmiştir. Projedeki oturum/tabani alanı arttıkça bu oran da azaldığı net biçimde görülmektedir. İncelenen projeler içerisinde en yüksek taban alanı $A=17238$ m², en küçük taban alanı ise $A=263$ m² olarak hesaplanmıştır. En düşük taşıyıcı/tabani alanı oranı $k_{min}=0.019$ iken en yüksek oran $k_{max}=0.10$ olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5 : İncelenen 100 uygulama projesi için hesaplanan a/l oranları.



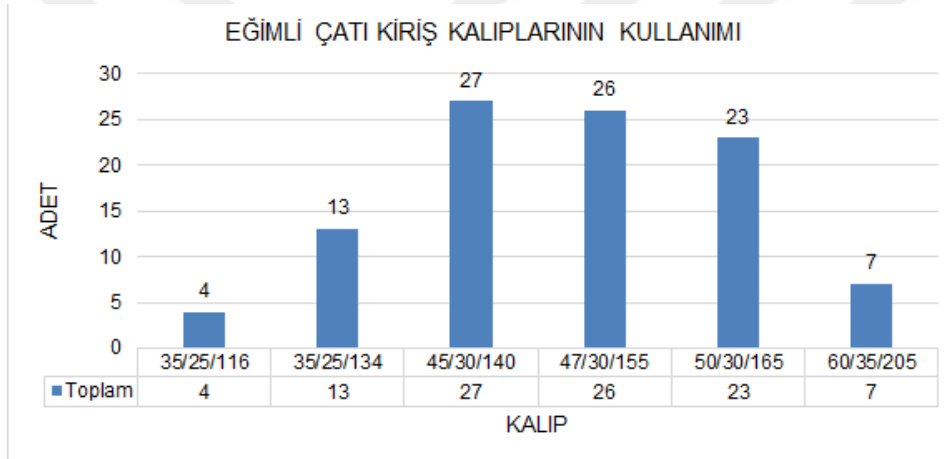
Şekil 4.6 : İncelenen 100 uygulama projesi için çatı kirişi alt kotları ve kolon boyutları.



Şekil 4.7 : İncelenen 100 uygulama projesinin taban alanları ve hesaplanan taşıyıcı/tabana alanı oranı.

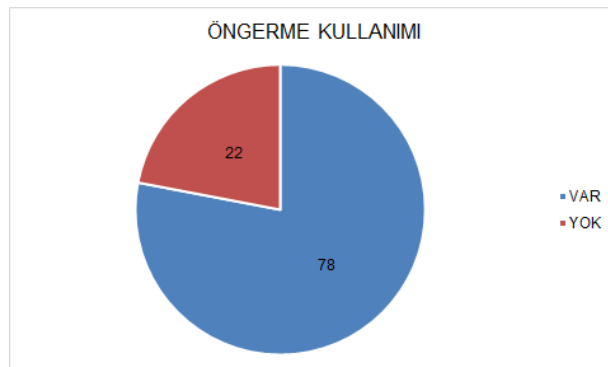
Projelerde kullanılan eğimli çatı kirişi kalıpları ve eğimli çatı kirişi hacimleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Bu tablo ile birlikte incelenen tüm eğimli çatı kirişleri açıklık ve hacim bağıntısı görülmektedir. Geçilen açıklıklar ve kullanılan kiriş kalıpları incelendiğinde, bazı projelerde bir üst ya da bir alt kalıp kullanıldığı görülmüştür. Uygulama aşamasında kalıplardaki üretim yoğunluğu, kalıp sayısı, açıklıkları uygun olmasa bile bir alt ya da bir üst eğimli çatı kirişi kalıbı kullanımını etkilemektedir. Bu nedenle kiriş mesnet yükseklikleri değişkenlik göstermekte ve bu bölgede oluşan kesme kuvvetlerinin hesabı, doğru donatılandırma önem kazanmaktadır.

Eğimli çatı kiriş kalıplarının kullanımı Şekil 4.8'de verilmiştir. İncelenen projelerde 4 adet 35/25/116, 13 adet 35/25/134, 27 adet 45/30/140, 26 adet 45/30/155, 50/30/165, 7 adet 60/35/205 eğimli çatı kiriş kalıbı kullanılmıştır.

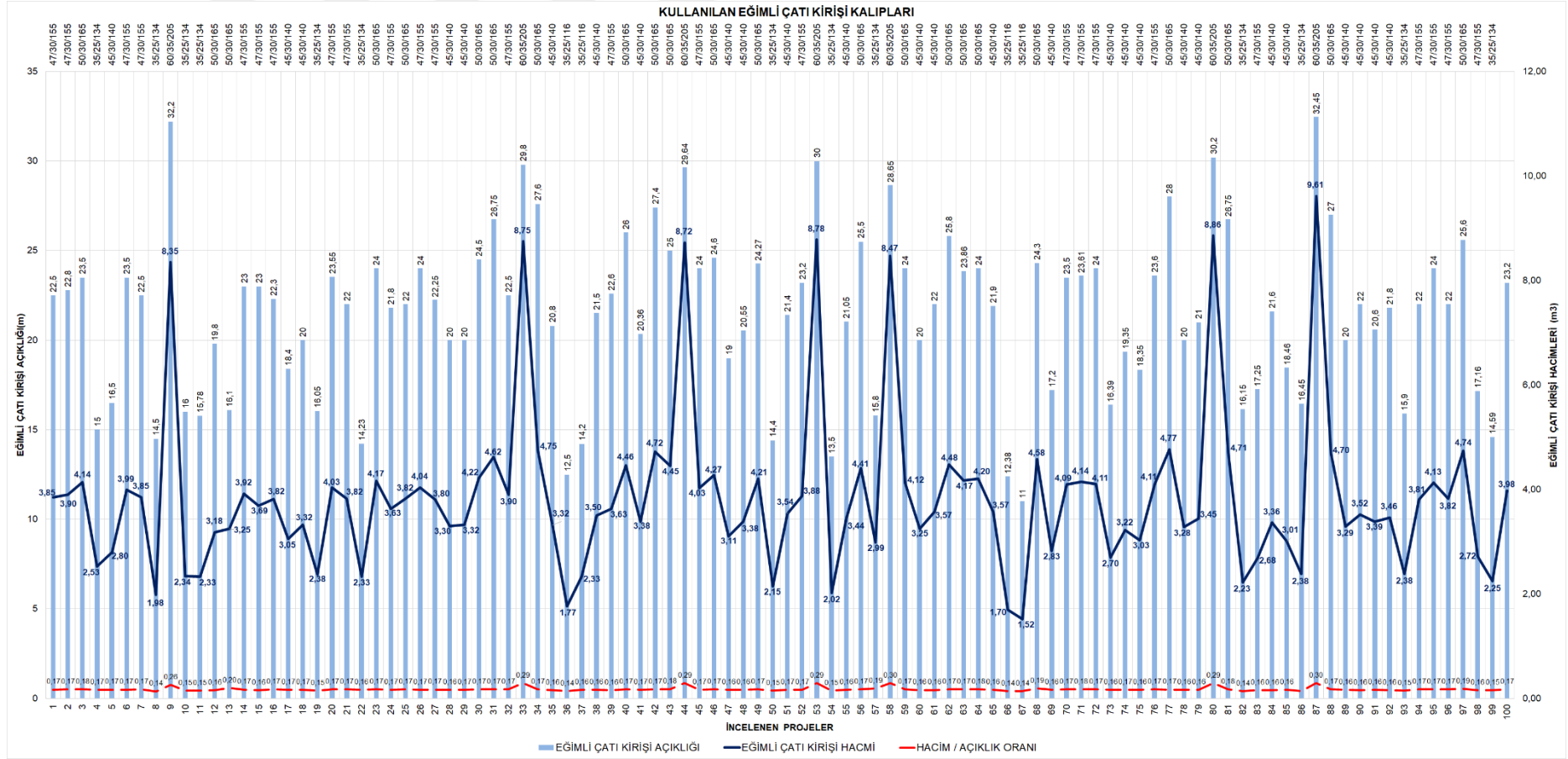


Şekil 4.8 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.

17 projede öngerme kullanımına uygun olmayan eğimli çatı kirişi kalıbı kullanılırken 5 projede de öngerme kullanımı tercih edilmemiştir. Buna karşın, 78 projede ise eğimli çatı kirişleri öngerme teknolojisi kullanılarak üretilmiştir(Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : Referans eğimli çatı kiriş kesiti.



Şekil 4.10 : İncelenen 100 uygulama projesinin çatı kiriş açıklıkları / kullanılan kiriş kalıbı / kiriş hacimleri.

4.3 İncelenen Uygulama Projelerindeki Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi

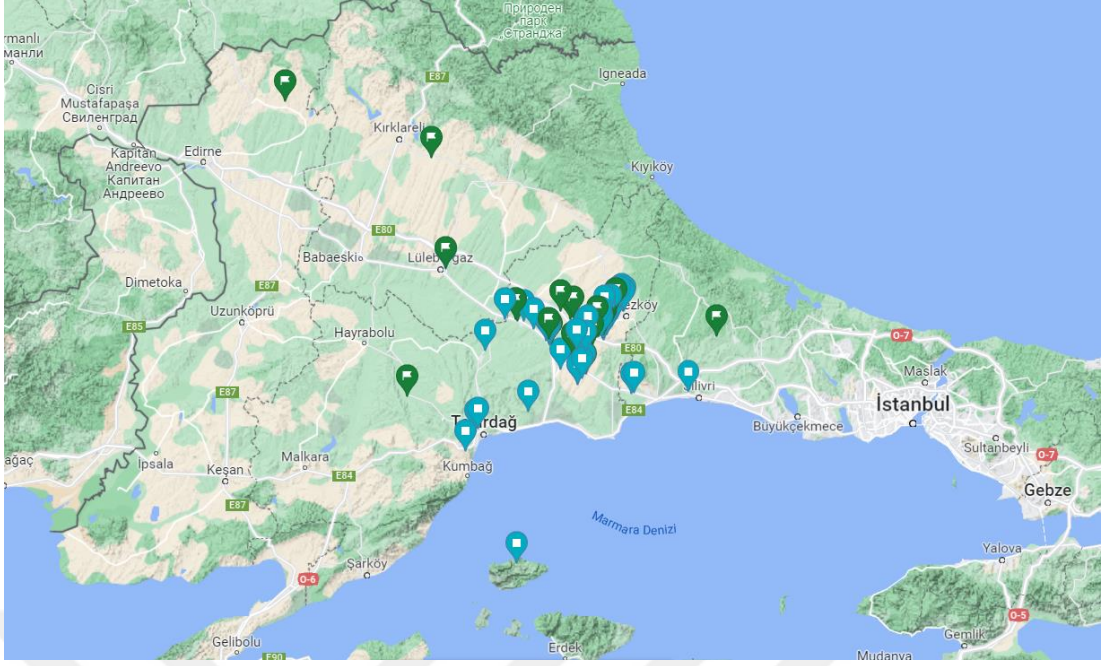
İncelenen uygulama projelerinde 2018 yılı da dahil olmak üzere esas alınan DBYBHY-2007 yönetmeliği, 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018 ile son şeklini almıştır. TBDY-2018 8.bölümde prefabrike betonarme yapıların tasarımı için özel kurallar daha geniş kapsamlı olarak sunulmuştur. Bu bölümde çatı kirişlerinin boyutlandırma ve imalat esaslarını etkileyen, deprem güvenliği bakımından olumlu sınırlamalar bulunmaktadır.

TBDY-2018'in yürürlüğe girmesi ile birlikte tasarımdaki en büyük değişiklik il/ilçe bazlı değil binanın yapılacağı koordinata göre deprem tehlikesinin belirlenmesidir. Mikro bölgeleme yapılarak hazırlanan web uygulaması sayesinde bölgesel deprem tehlikesinden daha kapsamlı hesap parametreleri kullanılmaktadır.

İncelenen 100 adet proje harita üzerinde işaretlenip, proje numaraları, yapım yılı, DBYBHY-2007 A_0 ve her yapının koordinatlarına göre AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 (spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi) için beklenen pik deprem ivmesi değerleri (PGA) gösterilmiştir. DBYBHY-2007'de deprem yer hareketleri ayrıntılı olarak tanımlanmamış olup tüm yapılacak binalar için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi kullanılmıştır.

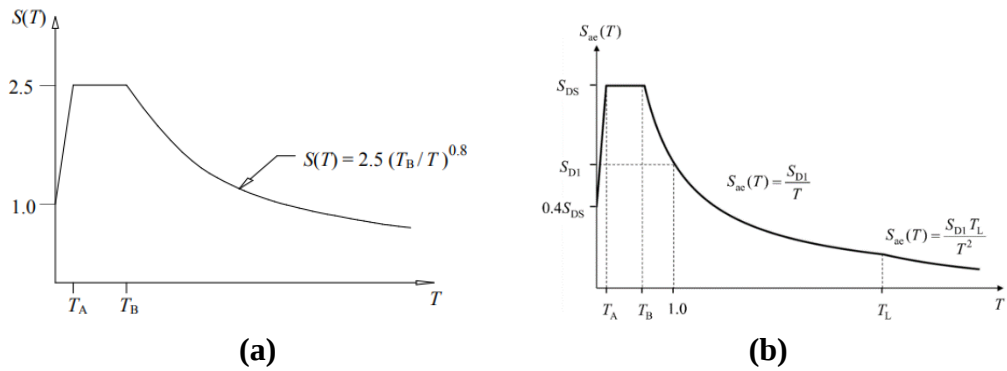
Şekil 4.11 ve Şekil 4.13'te incelenen projelerin arsaları işaretlemiş olup mavi pin ile belirtilenlerin yapısal hesapları DBYBHY-2007'ye göre, yeşil pin ile belirtilenler ise TBDY-2018'e göre tamamlanmıştır. Şekil 4.13'te verilen kodlandırmada proje numarası, yapım yılı, A_0 ve PGA değerleri sıralanmıştır.

Bölüm 4.1 ve 4.2'de incelenen uygulama projelerinden 1.~4. projeler 2015 yılında, 5. ~27. projeler 2016 yılında, 28. ~51. projeler 2017 yılında, 55.~67. projeler 2018 yılında 68. ~79. projeler 2019 yılında, 80.~93. projeler 2020 yılında 93.~100. projeler 2021 yılında tamamlanmıştır. İlk 67 proje DBYBHY-2007'ye göre tasarlanırken, sonraki projeler TBDY-2018 ilkeleri esas alınarak tamamlanmıştır.

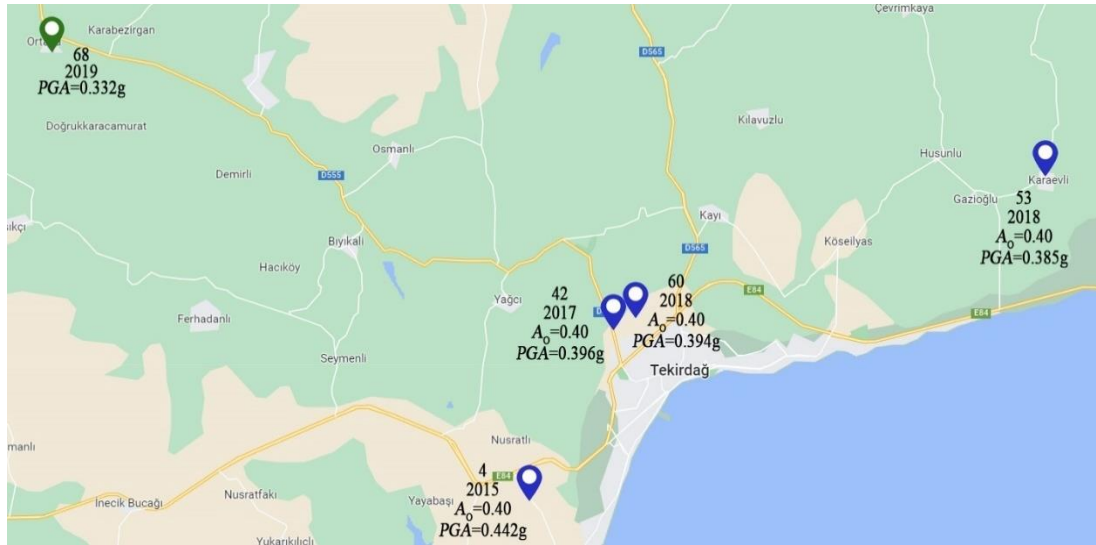


Şekil 4.11 : 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi konumları.

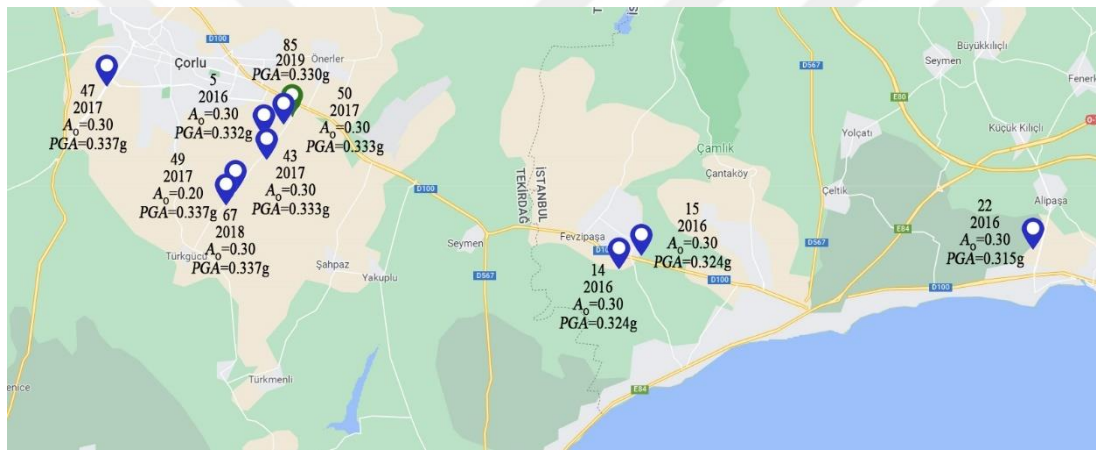
DBYBHY-2007’ye göre, binanın inşa edileceği deprem bölgesine göre tek bir değer alan spektral ivme katsayısı, kısa ve uzun olacak şekilde sınıflandırılmaktadır. TBDY-2018 ile birlikte tasarım ivme spektrumu, spektral ivme ve yerel zemin etki katsayıları kullanılmaktadır. Spektrum eğrilerinin yönetmelikle birlikte değişmesiyle, yapı deprem performansı ve deprem etkisi altındaki beklenen davranışları da değişmektedir. 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerindeki spektrum eğrilerinin karşılaştırması Şekil 4.12’de verilmiştir.



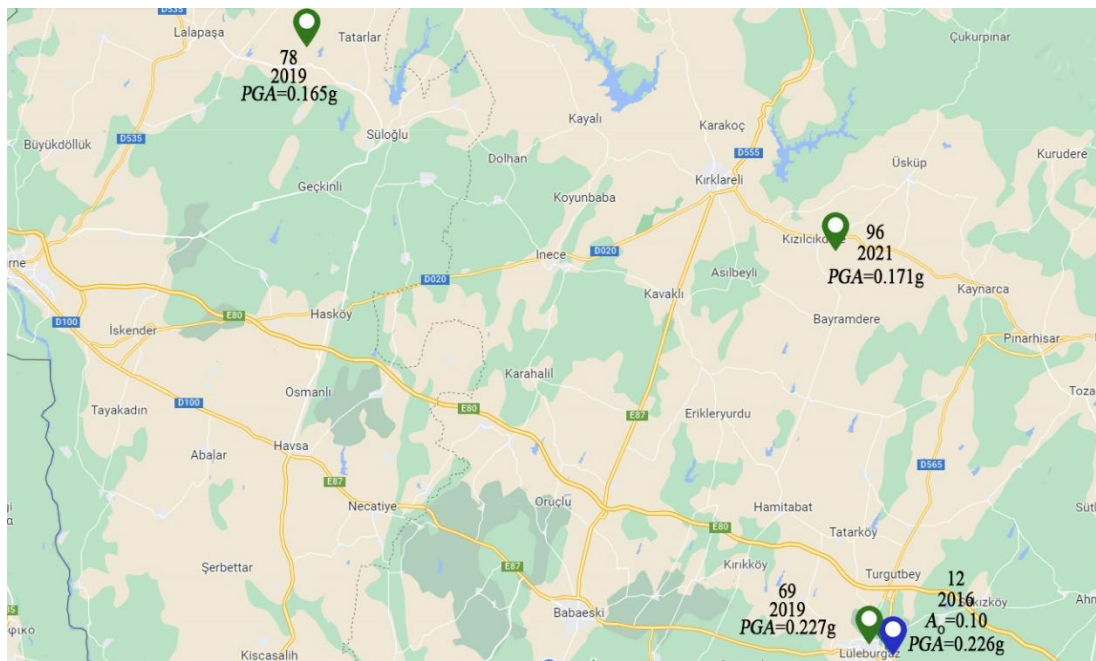
Şekil 4.12 : (a) DBYBHY-2007 ve (b) TBDY-2018 Spektrum eğrilerinin karşılaştırması.



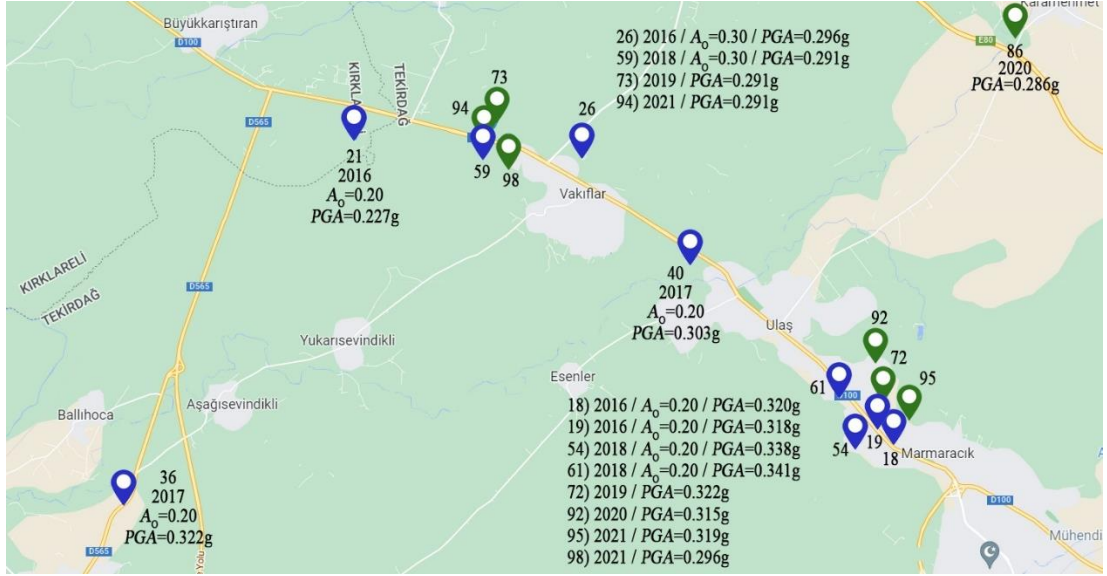
(a)



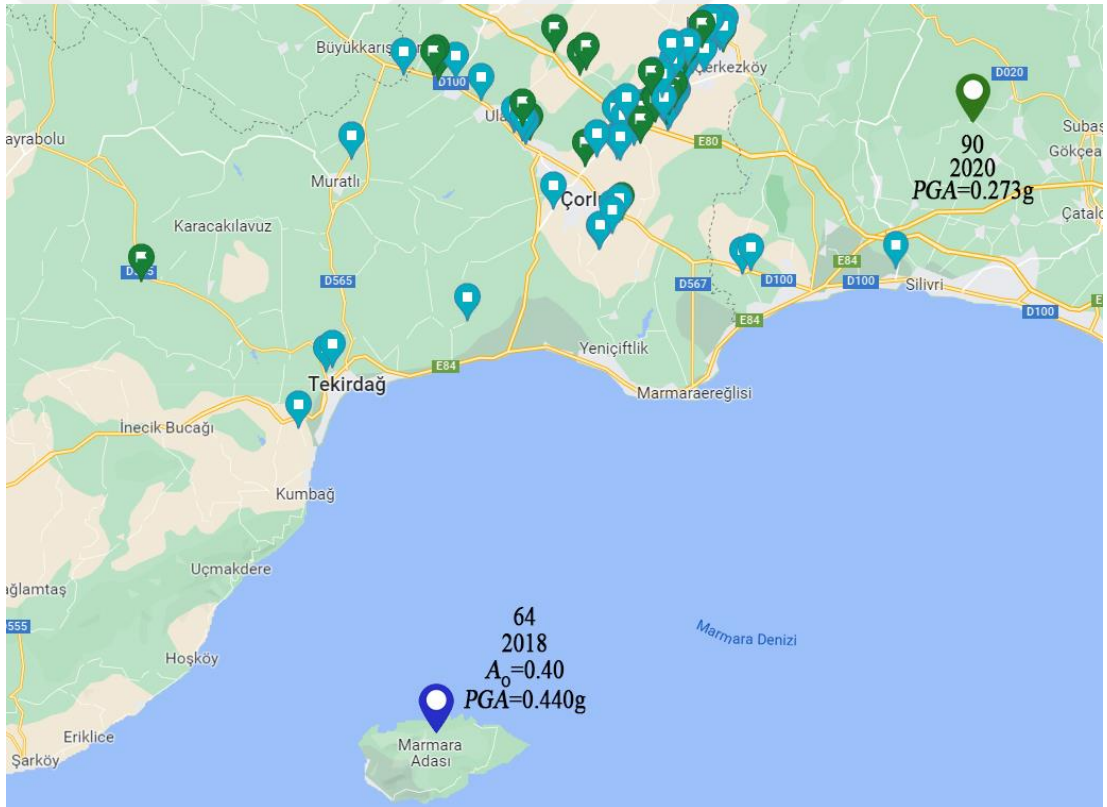
(b)



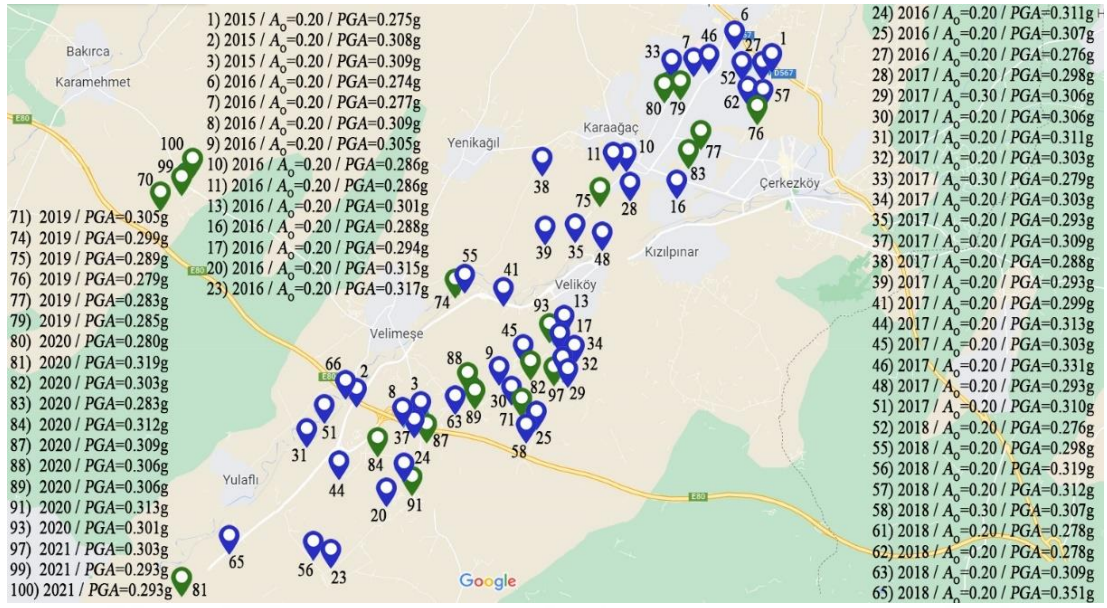
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.13 : İncelenen 100 adet çubuk sistemli prefabrike betonarme uygulama projesi konumları, yapım yılı, kabul edilen etkin yer ivme katsayısı (A_0), beklenen en büyük yer ivmesi (PGA).

Çalışma alanı olan Trakya bölgesinde, yapıların bulunduğu arsalar için yeni yönetmelikle (TBDY-2018) beklenen maksimum ivme değerlerinin özgün tasarımda kabul edilen etkin yer ivme değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür; %75'e varan artışların olduğu anlaşılmaktadır.

4.4 Genel Değerlendirme

Çalışma kapsamında incelenen 100 adet uygulama projesi sonucunda en uygun/tercih edilen a/l oranının 0.35~0.40 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır.

Bu aralık içerisinde 5 farklı eğimli çatı kirişi açıklığı (20m-22m-24m-28m) ve 5 farklı oluk kirişi açıklığı (6m-8m-9m-10m-12m) çaprazlanarak eğimli çatı kirişi beton sınıfı, beton hacmi, donatı ve öngerme halat yüzdeleri ve maliyetleri, oluk kirişi beton sınıfı, beton hacmi, donatı ve öngerme halat yüzdeleri ve maliyetleri, aşıkların kirişi sayısı, aşıkların kirişi beton sınıfı, beton hacmi, donatı ve öngerme halat yüzdeleri ve maliyetleri hususları dikkate alınarak optimum eğimli çatı kirişi açıklığının 22,00m, oluk kirişi açıklığının 8.00m ve a/l oranının 0.36 olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda 5.bölümde önerilen alternatifler için bu açıklıklar değerlendirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

Meydana gelen depremler sonrasında oluşan yapısal hasarlar/göçmeler ve gelişen teknolojiler ile birlikte depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinde revizyonların olması kaçınılmazdır. Ülkemizde de yaşanan yıkıcı depremler sonrasında bu ilkelere değişimlere gidilmiş ve son olarak 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren TBDY-2018 deprem yönetmeliği ile son şeklini almıştır. TBDY-2018 ile prefabrike/önüretimli betonarme binalar için ayrı bir bölüm ayrılmış, proje ve uygulamada uyulması gereken hususlar ayrıntılı olarak detaylandırılmıştır.

Yeni yönetmelikle birlikte çatı kirişlerinin tasarım ve bağlantı detaylarında birtakım olumlu sınırlamalar getirilmiştir. Kiriş üst başlık genişlikleri, düzlem dışı devrilme kontrolleri, pimli bağlantılarda uyulması gereken minimum sınırlamalar, pimlerin kesme kuvveti kapasite kontrolleri, pim serbest uçlarının pul ve somun ile bitirilmesi zorunluluğu, minimum yuva genişliği sınırı vb. kurallar yeni yönetmelikte yer almıştır.

Yapısal boyutlandırma ve donatılandırma detaylarını etkileyen deprem parametreleri de yeni yönetmelikle birlikte değişkenlik göstermiş ve önceki yönetmeliğe göre ağırlaştırılmıştır. Spektrum eğrilerinin değişimi, kesit hasar seviyelerinin değişmesi, mikro bölgeleme yapılarak binanın inşa edileceği arsa için beklenen maksimum yer ivmesi, görelî kat ötelenmesi kontrolleri en büyük revizyonlar olarak sıralanabilir. Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinin ve yönetmeliklerin değişmesinin yapısal çözümlemeler için kazanım olduğu unutulmamalıdır.

TBDY-2018'in yürürlüğe girdiği tarihten önce tasarlanmış ve uygulanmış tüm yapılarda yeni koşullara göre kontrollerin yapılması, mevcut durumların değerlendirilmesi ve gerekli görüldüğü durumda güçlendirme çalışmalarının başlatılması yapısal deprem güvenliği için gereklidir.



5. PREFABRİKE BETONARME EĞİMLİ ÇATI KİRİŞİ ALTERNATİF TASARIM ÖNERİLERİ

Bu bölümde prefabrike betonarme çatı kirişleri için kesit alternatiflerinin geliştirilmesi üzerinde durulacaktır. Önerilen alternatiflerin kiriş öz ağırlıklarına etkisi standart çatı kirişleri ile karşılaştırılmış ve en sık kullanılan açıklıklar için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her alternatif için üç boyutlu modeller hazırlanmış ve yapısal hesaplar yapılarak düşey/ düşey yük taşıma kapasiteleri belirlenmiştir.

Önerilen sistem alternatifleri esas olarak kiriş gövdelerinde açılan dairesel boşluklar ve kiriş gövdesinin düz yerine daha az kalınlıkta trapezoidal bir biçimde tasarlanan olmak üzere 2 ana başlıkta sınıflandırılabilir.

Çalışma kapsamında gövdede açılan dairesel boşlukların boyutları ve yerleşimi, trapez kesitin tasarımı için birçok farklı alternatif önerilmiş ve yapılan analiz ve hesaplar sonunda 2 ana tasarıma karar verilmiştir. Karar verilen iki alternatif için Bölüm 4'te incelenen 100 uygulama projesinde en sık kullanılan açıklıklar için $l_n=20m, 22m, 24m$ ve $28m$ analizler tekrarlanmış ve hacim/ağırlık karşılaştırması yapılmıştır. Böylece, önerilen çatı kirişlerinin üstünlüklerini rahatlıkla görülmektedir.

Her açıklık için Çizelge 4.2 ve Ek A'da detayları verilen eğimli çatı kiriş kalıpları esas alınmış, tüm boyutlandırma, hacim, ağırlık ve analizler bu kalıplara göre tamamlanmıştır. Seçilen alternatif tasarımlara göre imalat resimleri de çizilmiş ve ölçülendirilmiştir. Burada unutulmaması gereken önerilen alternatif tasarımların bir ön tasarım niteliğinde olduğudur. Boşluklu gövdeli tasarımlarda donatı detayına ek özen gösterilmesi gereği açıktır.

5.1 Gövdesi Boşluklu/Delikli Çatı Kirişi Alternatifleri

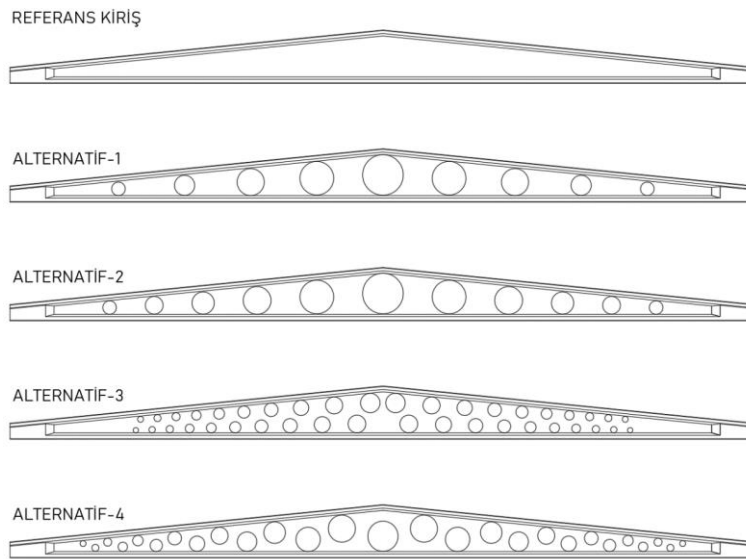
Bu bölümde, çatı kirişlerinin gövdelerinde farklı büyüklük ve yerleşim düzeni ile oluşturulan boşluklu alternatifler değerlendirilecektir. Gerçekte, boşlukların gövdede yerleştirilmesi yüksek performans için oldukça stratejik bir karardır. Gövdesi boşluklu çelik kirişlerde açılan boşluk oranı arttıkça, beklendiği üzere, kesme kuvveti taşıma

gücünün azalmasına koşut olarak kirişin göçme yükü de azalmaktadır. Çelik kirişler için önerilen boşluk çapının mevcut kiriş yüksekliğine oranı %65~70 arasında kalması hedeflenerek yerleştirilen boşluklar ve boyutları çeşitlendirilerek 4 farklı alternatif tasarım önerilmiş ve $l_n=20-22-24-28$ m çatı kirişi için hacim hesapları ve modellemeler tamamlanmıştır (Şekil 5.1). Referans çatı kirişi için kullanılan kalıplar ve hacimleri Çizelge 5.1’de kiriş geometrik boyutları ve detayları EK-A’da verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Farklı kiriş boyları için kullanılan kalıplar ve kiriş hacimleri.

Kiriş Boyu l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835
22	155	3.984	1.111
24	165	4.513	1.315
28	205	8.124	2.129

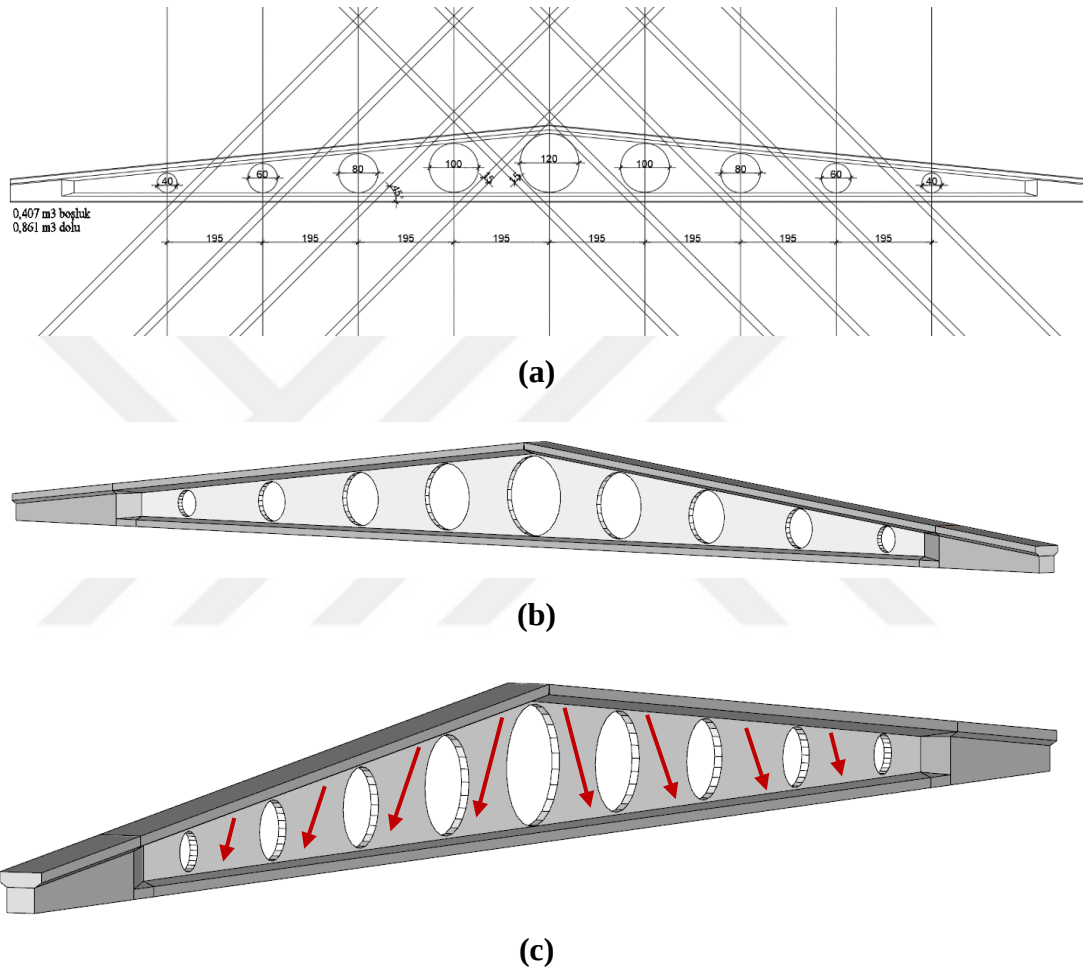
Eğimli çatı kirişleri tasarımlarında, mesnet bölgelerinde yeterli kesme güvenliğini sağlamak amacıyla dolu (dikdörtgen, T) enkesitler değiştirilmemiş, açıklıkta tek simetri eksenli I enkesitlerin gövdelerinde farklı tasarım önerilerinde bulunulmuştur. Mesnet bölgelerinde oluşan kesme güvenliği, kiriş öz ağırlıklarının olabildiğince azaltılması ve uygun maliyetler nedeni ile değişken kesitli olarak üretilen çatı kirişlerinde farklı gövde tasarımları ile hem işletme kurulumu hem de yapı/yapım maliyetlerine fayda sağlanması amaçlanmıştır. Üretimin seri ve hızlı olması, aynı elemanın kullanım sıklığının fazlalığı nedeniyle prefabrike yapı elemanlarında hafiflik sağlanması tüm bina yükünün azaltılmasına katkısı için önemlidir.



Şekil 5.1 : Önerilen 4 farklı boşluklu çatı kiriş alternatifleri.

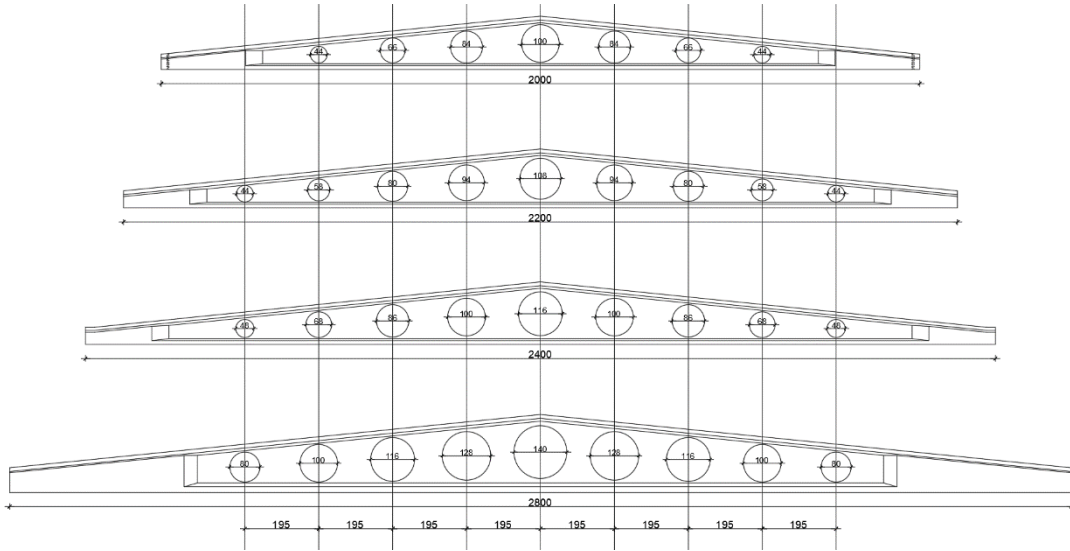
5.1.1 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-1

Alternatif-1 çatı kirişinde, inceltilmiş kesitte kiriş gövdesinde, çatı eğimi ile paralel olarak küçülen 9 adet boşluk bulunmaktadır. Prefabrike betonarme çatı kirişinin gövdesinde basınç bölgesi oluşturmak ve düzlem dışı hareketlerini sınır değerinde tutmak amacı ile 45° açı ile en az 15cm'lik dolu şeritler oluşturulmuştur. Merkezden merkeze boşluk aralıkları 195cm'de sabit tutulmuş ve görselleri Şekil 5.2'verilmiştir.



Şekil 5.2 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-1 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli.

Yerleştirilen boşluklar ve boyutları Şekil 5.3'te, kiriş hacminde sağlanan toplam kazanç ise Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.3 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.

Şekil 5.3'te maksimum ve minimum boşluk çapları (cm) görülmektedir. $h=140$ cm mahya için açılabilen maksimum boşluk çapı 100cm olurken minimum boşluk çapı 44cm, $h=205$ cm mahya için açılabilen maksimum boşluk çapı 140cm, minimum boşluk çapı ise 80cm olmaktadır. $h=155$ - 165 - 205 cm mahyalı eğimli çatı kirişlerinde toplam 9 boşluk açılabilirken, inceltilmiş kesit uzunluğu $l=1555$ cm olan $h=140$ cm mahyalı çatı kirişinde 7 adet boşluk açılabilir. Bu nedenle, diğer kirişlere oranla faydalı hacim azalması daha kısıtlı olmaktadır.

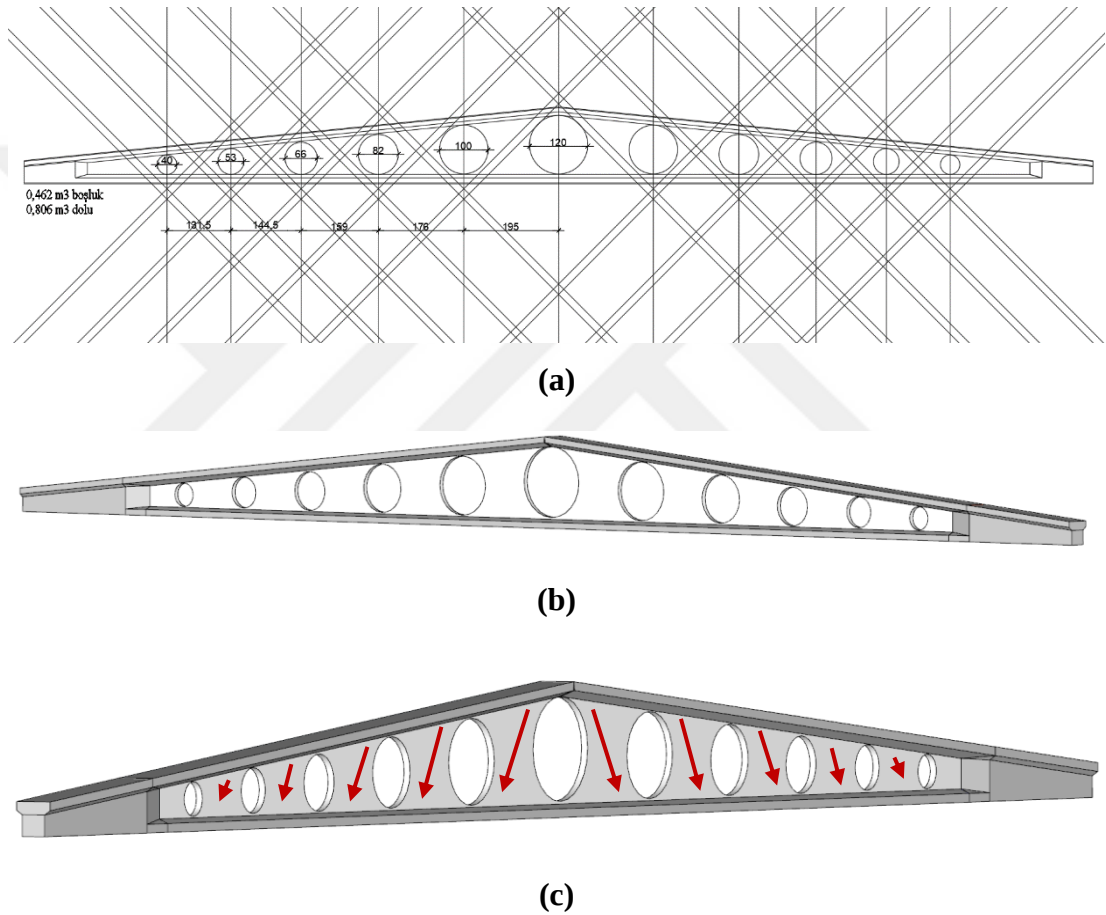
Çizelge 5.2 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-1 toplam kiriş hacmi.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Referans Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)	Boşluk Hacmi (Kazanç) (m^3)	Alternatif-1 Toplam Kiriş Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835	0.230	3.239
22	155	3.984	1.111	0.331	3.653
24	165	4.513	1.315	0.390	4.123
28	205	8.124	2.129	0.880	7.244

Çizelge 5.2'de görüldüğü üzere, alternatif 1 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20$ m için $0.230 m^3$, $l_n=22$ m için $0.331 m^3$, $l_n=24$ m için $0.390 m^3$ ve $l_n=28$ m için $0.880 m^3$ azalma olmaktadır. Alternatif-1 olarak önerilen tasarımda açılabilen boşluk hacminin toplam gövde hacmine oranı minimum %27, maksimum %40 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %7~10 arasında gerçekleşmektedir.

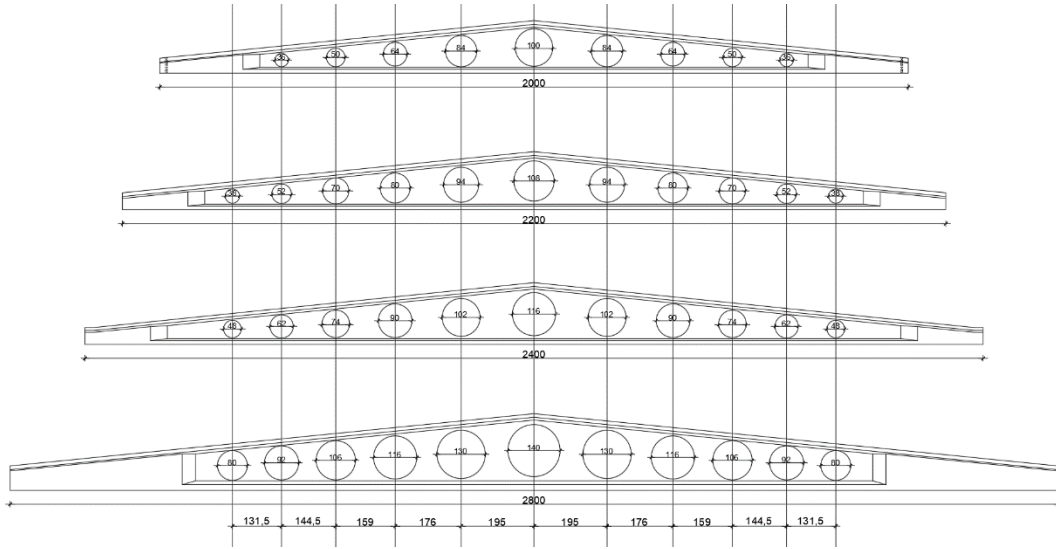
5.1.2 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi alternatif-2

Alternatif-2 çatı kirişinde, inceltilmiş kesitte kiriş gövdesinde, eğimle paralel olarak küçülen 11 adet boşluk bulunmaktadır. Alternatif-1'e benzer şekilde prefabrike betonarme çatı kirişinin gövdesinde basınç bölgesi oluşturmak ve düzlem dışı hareketlerini sınır değerinde tutmak amacı ile 45° açı ile en az 15cm'lik dolu şeritler oluşturulmuştur. Merkezden merkeze boşluk aralıkları Alternatif-1'den farklı olarak 195cm ile başlayıp 131cm'ye kadar azalarak devam etmiş ve görselleri Şekil 5.4' verilmiştir.



Şekil 5.4 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kirişi Alternatif-2 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kirişi üç boyutlu modeli.

Alternatif-2 prefabrike betonarme eğimli çatı kirişlerinde yerleştirilen boşluklar ve boyutları Şekil 5.5'te, kiriş hacmindeki toplam kazanç ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.5 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.

$h=155-165-205\text{cm}$ mahyalı eğimli çatı kirişlerinde toplam 11 boşluk açılabilirken, inceltilmiş kesit uzunluğu $l=1555\text{cm}$ olan $h=140\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde 9 adet boşluk açılabilir. Minimum boşluk çapı $h=140\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde 36cm , $h=205\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde ise 80cm 'dir.

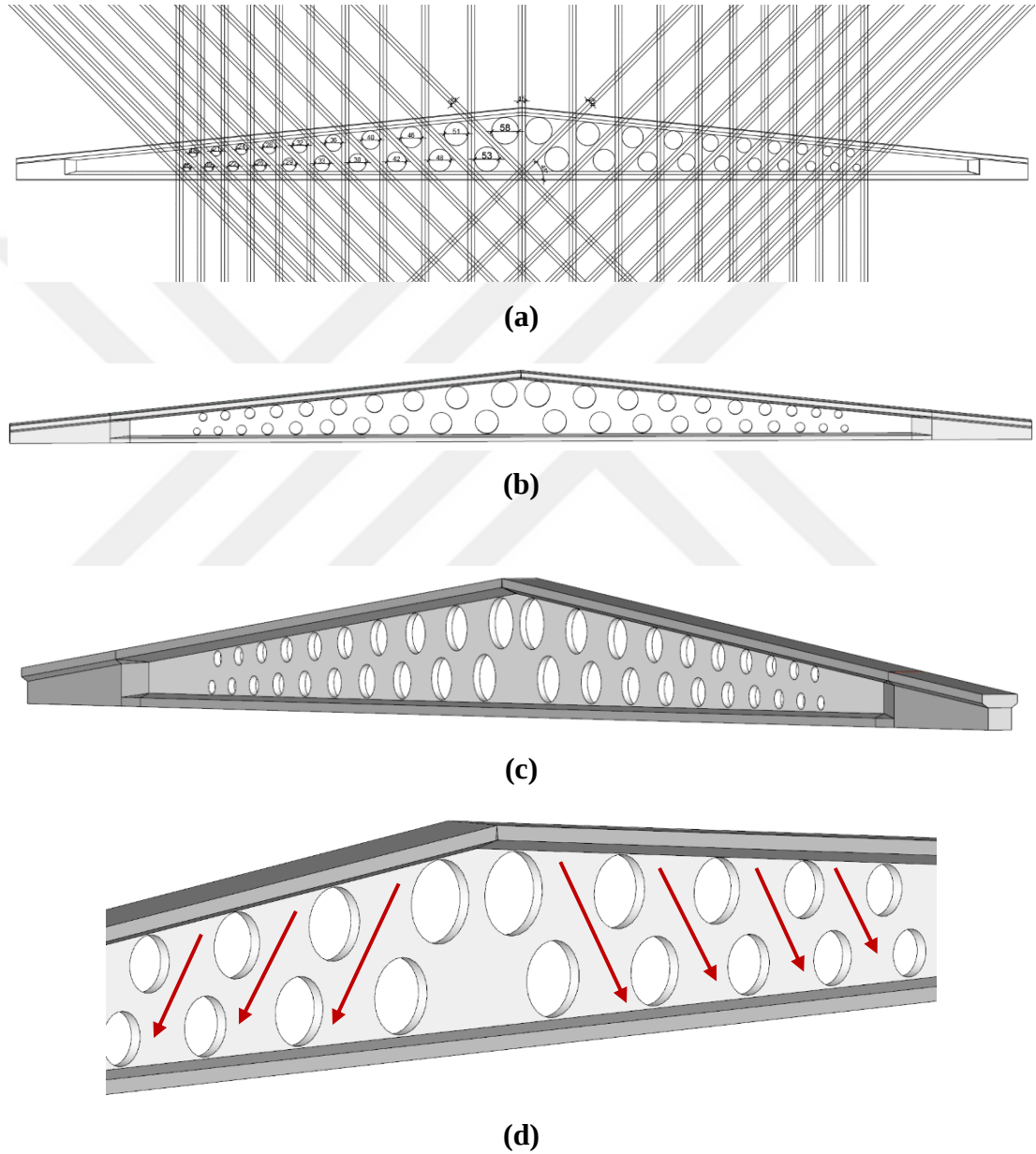
Çizelge 5.3 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-2 toplam kiriş hacmi.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Referans Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)	Boşluk Hacmi (Kazanç) (m^3)	Alternatif-2 Toplam Kiriş Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835	0.250	3.219
22	155	3.984	1.111	0.369	3.615
24	165	4.513	1.315	0.463	4.050
28	205	8.124	2.129	1.040	7.084

Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere, Alternatif-2 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.250 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.369 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.463 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 1.040 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-2 olarak önerilen tasarımda açılabilen boşluk hacminin toplam gövde hacmine oranı minimum %29, maksimum %46 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %8~12 arasında gerçekleşmektedir.

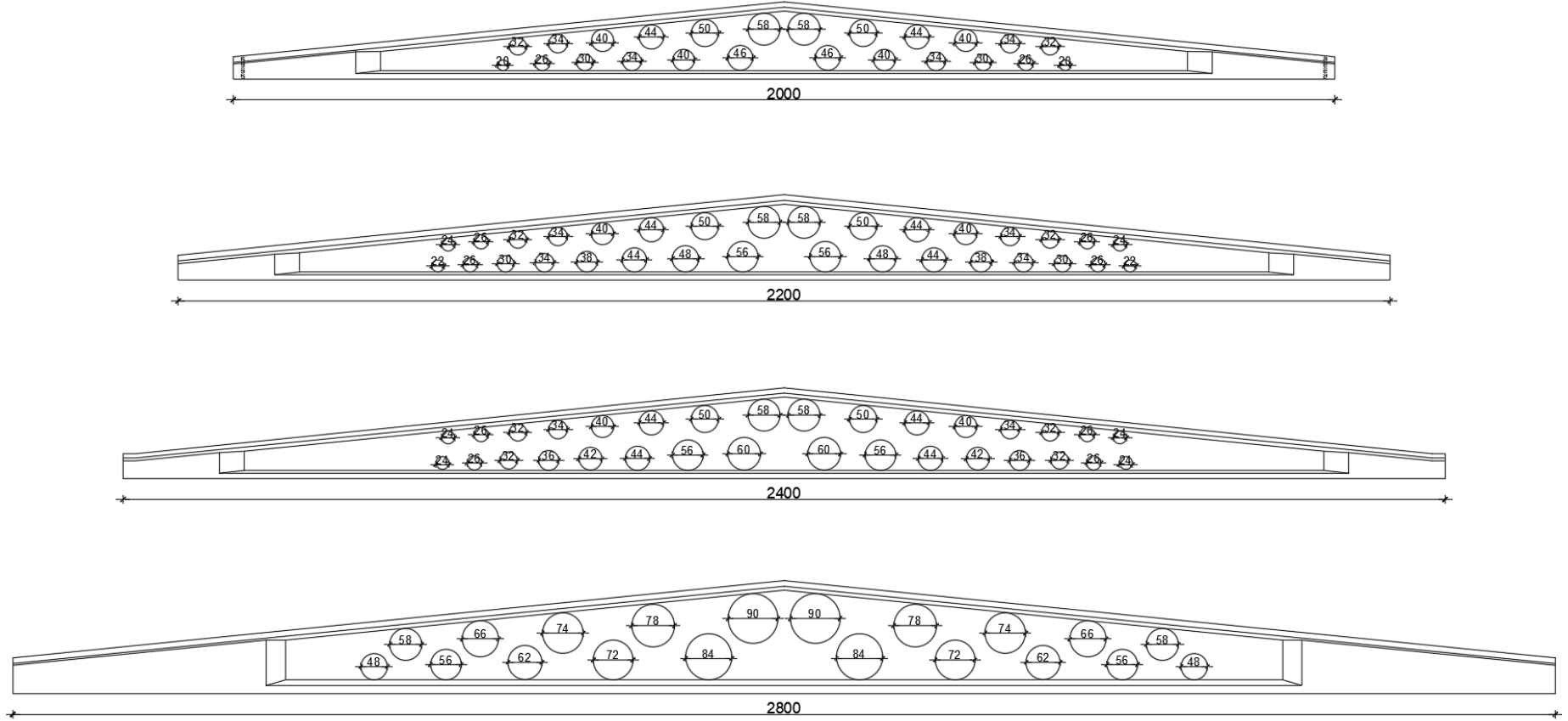
5.1.3 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kiriş i alternatif-3

Alternatif-3 çatı kiriş inde, inceltiilmiş kesitte kiriş gövdesinde, basınç bölgesi oluşturmak ve düzlem dış hareketlerini sınırlamak amacı ile 45° aı ile 15cm’lik dolu şeritler kafes kiriş mantığı ile yerleştirilerek boşluklar bu aralıklarda açılmıştır. Boşluk yerleşimleri ve çapları kiriş eğimine paralel olarak değişmekte olup planı ve üç boyutlu modelleri şekil 5.6’da verilmiştir.



şekil 5.6 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kiriş i Alternatif-3 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kiriş i üç boyutlu modeli (d) Çatı kiriş i gövdesinde bırakılan boşluk detayları.

Alternatif-3 prefabrike betonarme eğimli çatı kirişlerinde yerleştirilen boşluklar ve boyutları şekil 5.7’de, kiriş hacmindeki toplam kazanç ise Çizelge 5.4’te verilmiştir.



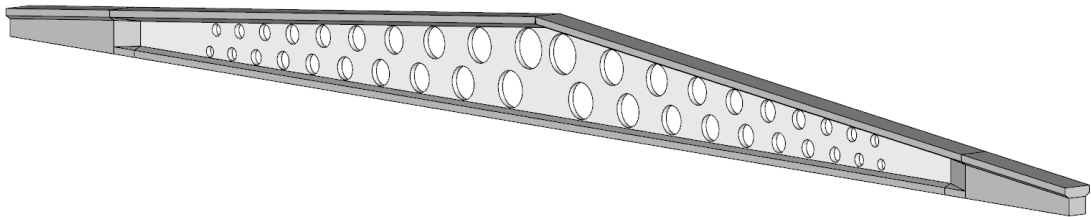
Şekil 5.7 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.

$h=140\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde maksimum çapı 58cm olan 24 adet boşluk yerleştirilmiştir. $h=155\text{cm}$ ve $h=165\text{cm}$ mahyalı çatı kirişlerinde, çapı 58 ile 22cm arasında değişen 32 adet boşluk yerleştirilmiştir. $h=205\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde ise maksimum çapı 90cm , minimum çapı 48cm olan 20 adet boşluk yerleştirilmiştir. 4. Bölüm’de incelenen 100 adet uygulama projesinde farklı sektörlere hizmet eden binaların havalandırma, mekanik, elektrik vb. tesisatları için gerekli maksimum boşluk çapının 80cm civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle $h=205\text{cm}$ mahyalı çatı kirişi haricinde bu yerleşim planına göre açılabilen maksimum boşluk çapının 58cm olması nedeni ile diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında diğer alternatiflerin daha işlevsel olduğu yorumu yapılabilir. Boşluk çaplarının küçük ve sık olması gözönüne alındığında, kalıp ve işçilik maliyetleri Alternatif-3 olarak verilen tasarımın zorlukları olarak sıralanabilir (Şekil 5.8).

Çizelge 5.4 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-3 toplam kiriş hacmi.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Referans Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)	Boşluk Hacmi (Kazanç) (m^3)	Alternatif-3 Toplam Kiriş Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835	0.230	3.239
22	155	3.984	1.111	0.316	3.668
24	165	4.513	1.315	0.323	4.190
28	205	8.124	2.129	0.768	7.356

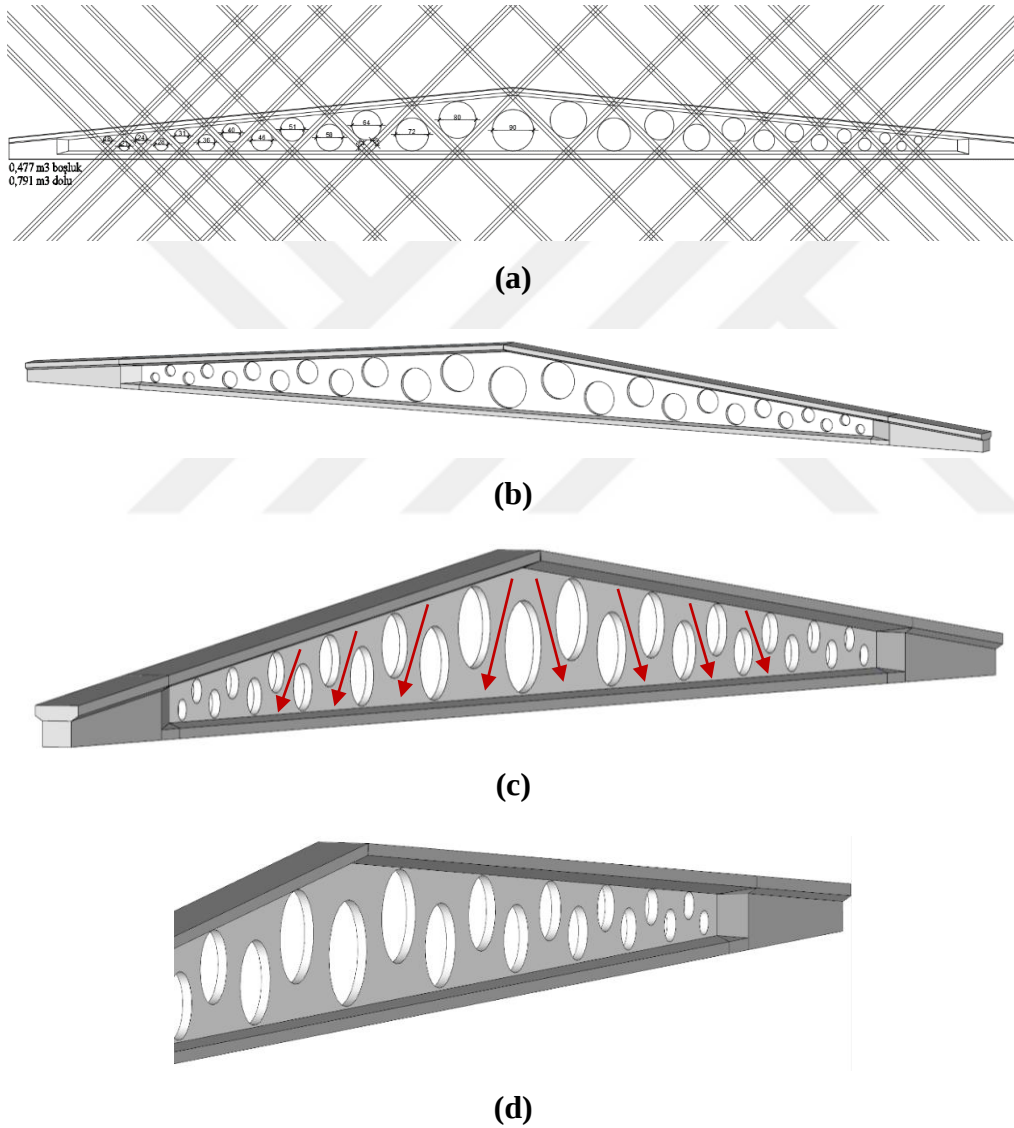
Çizelge 5.4’te görüldüğü üzere, Alternatif-3 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.230 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.316 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.323 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 0.768 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-3 olarak önerilen tasarımda açılabilen toplam boşluk hacminin gövde hacmine oranı minimum %24, maksimum %36 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %6~9 arasında gerçekleşmektedir.



Şekil 5.8 : Alternatif-3 genel görünüşü.

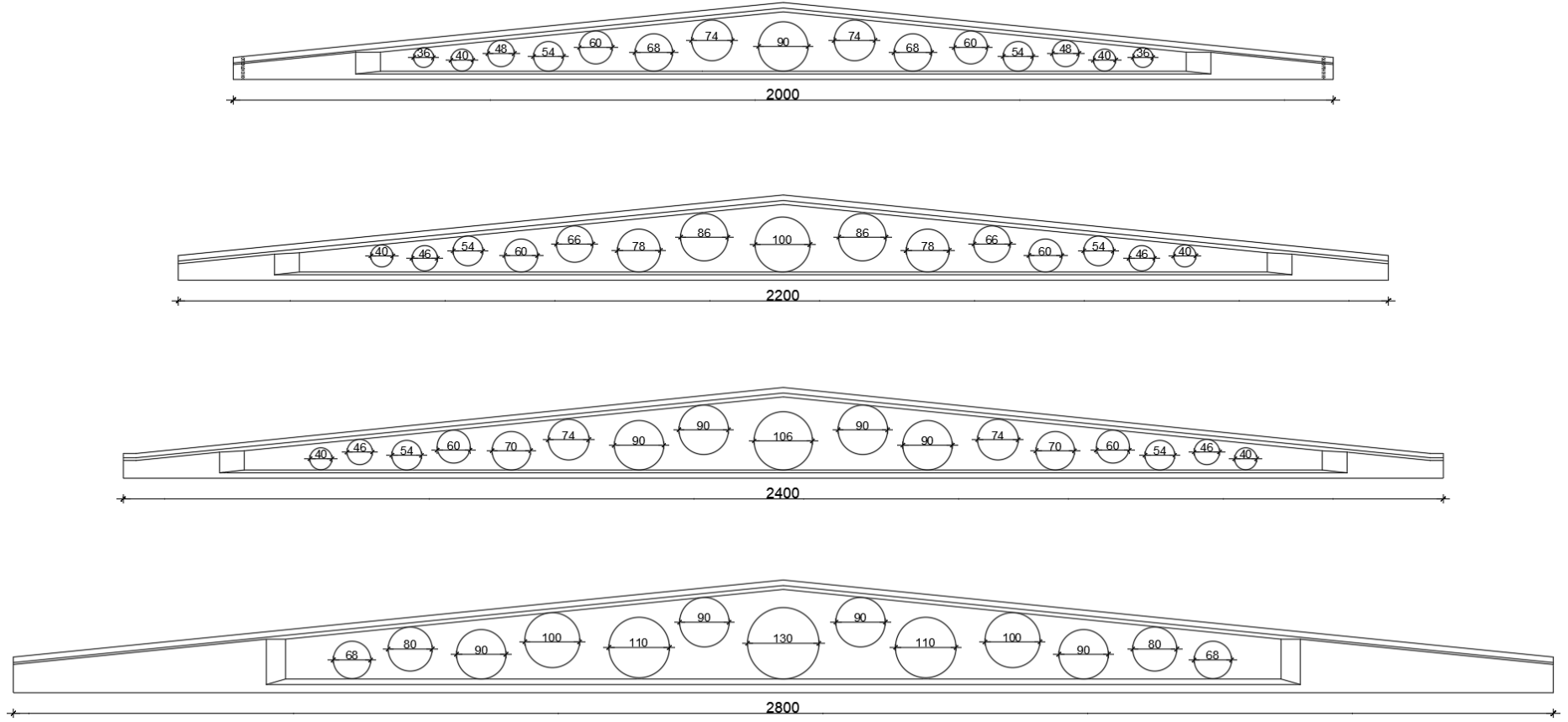
5.1.4 Gövdesi boşluklu/delikli eğimli çatı kiriş i alternatif-4

Alternatif-4 çatı kiriş inde, inceltiştir kesitte kiriş gövdesinde, 45° aç ı ile 15cm'lik dolu şeritler oluşturulmuş ve kafes kiriş mantığ ı ile yerleştirilerek boşluklar bu aralıklarda aç ılmıştır. Boşluk yerleşimleri ve çapları kiriş eğimine paralel olarak değişmekte olup plan ı ve üç boyutlu modelleri şekil 5.9'da verilmiştir. Alternatif-3'ten farklı olarak kiriş in mahya noktasında boşluk aç ılmasına izin vermesi ve daha büyük çaplı boşluk yerleşimine olanak sağlaması nedeniyle daha işlevsel olabilmektedir.



şekil 5.9 : Boşluklu/delikli eğimli çatı kiriş i Alternatif-4 (a) Boşluk yerleşimi (b,c) Çatı kiriş i üç boyutlu modeli (d) Çatı kiriş i gövdesinde bırakılan boşluk detayları.

Alternatif-4 prefabrike betonarme eğimli çatı kirişlerinde yerleştirilen boşluklar ve boyutları şekil 5.10'da, kiriş hacmindeki toplam kazanç ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.



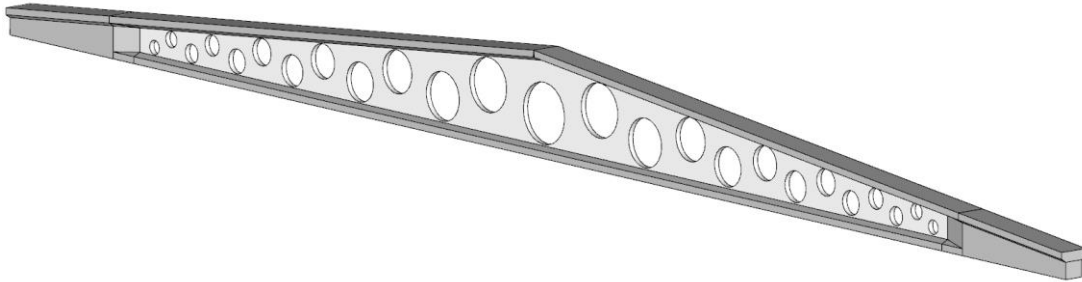
Şekil 5.10 : Açıklıklara göre yerleştirilen boşluk düzeni ve çapları.

$h=140\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde maksimum çapı 90cm olan 15 adet boşluk yerleştirilmiştir. $h=155\text{cm}$ ve $h=165\text{cm}$ mahyalı çatı kirişlerinde, çapı 106 ile 40cm arasında değişen $15\sim 17$ adet boşluk yerleştirilmiştir. $h=205\text{cm}$ mahyalı çatı kirişinde ise maksimum çapı 130cm , minimum çapı 68cm olan 13 adet boşluk yerleştirilmiştir. Boşluk çaplarının küçük ve sık olması gözönüne alındığında, kalıp ve işçilik maliyetleri Alternatif-4 olarak verilen tasarımın zorlukları olarak sıralanabilir.

Çizelge 5.5 : Farklı kiriş boyları için açılan boşluklar, referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, boşluk hacmi ve Alternatif-4 toplam kiriş hacmi.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Referans Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)	Boşluk Hacmi (Kazanç) (m^3)	Alternatif-4 Toplam Kiriş Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835	0.325	3.144
22	155	3.984	1.111	0.415	3.569
24	165	4.513	1.315	0.533	3.980
28	205	8.124	2.129	0.907	7.217

Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere, Alternatif-4 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.325 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.415 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.533 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 0.907 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-4 olarak önerilen tasarımda açılabilen toplam boşluk hacminin gövde hacmine oranı minimum %38, maksimum %42 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %9~11 arasında gerçekleşmektedir.

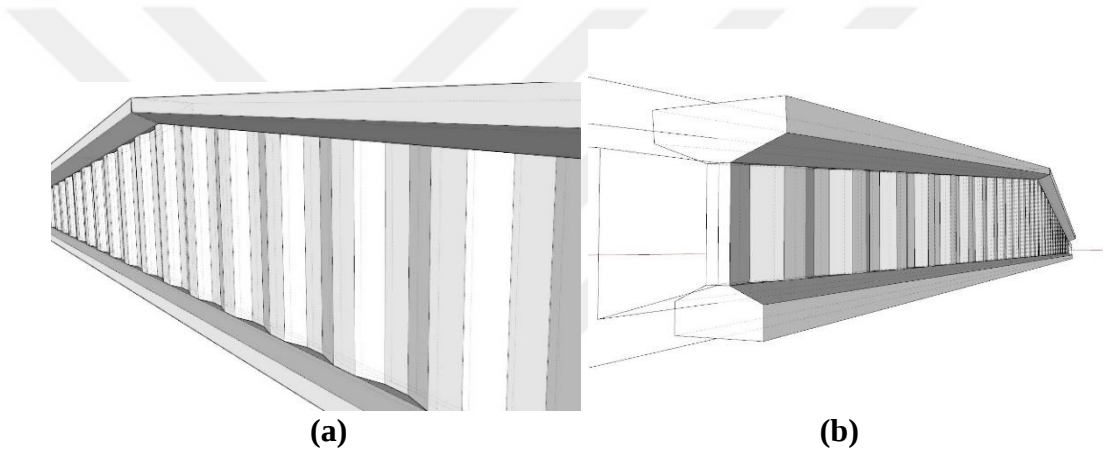


Şekil 5.11 : Alternatif-4 genel görünüşü.

5.2 Gövdesi Trapezoidal Kesitli Çatı Kirişi Alternatifi

Bu bölümde standart prefabrike betonarme çatı kirişlerinin, tek eksenli I kesitli gövdelerinin trapezoidal formda teşkil edilmesi alternatif bir öneri olarak sunulmuştur. Bu önerinin sunulmasındaki ana amaç gövdesinin stabilitesinin trapez formla arttırılması ve böylece daha ince kesitlerle gövdenin oluşturulmasıdır. Çalışma kapsamında işçilik, maliyet, boyutlandırma ve donatılandırma vb. hususlar da gözönüne alınarak tasarım iyileştirilmiş ve son haline gelmiştir.

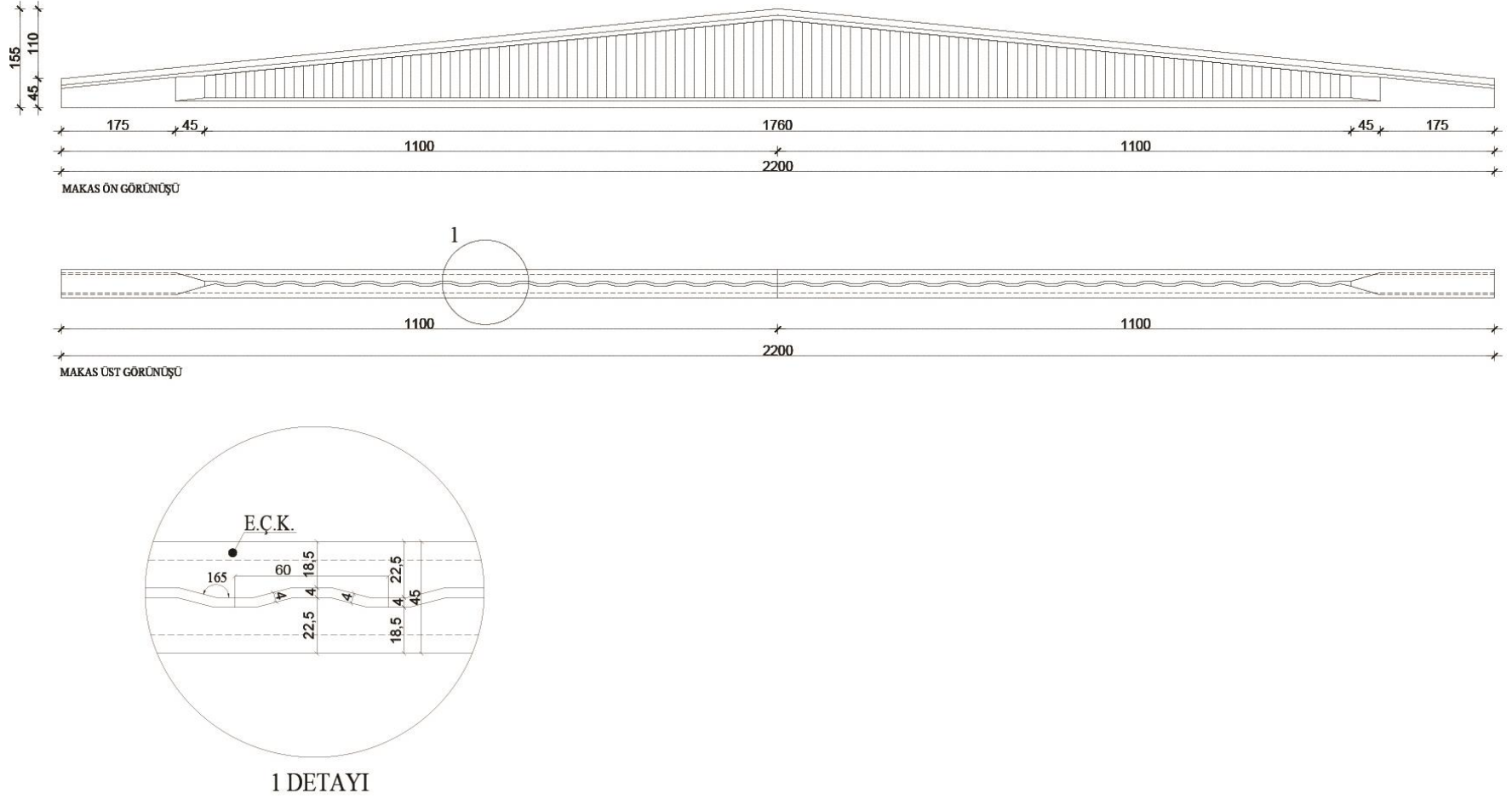
Yeni önerilen kiriş alternatifinde 8cm olarak dökülen inceltilmiş kiriş gövdesinin 4cm ve gövde boyunca belirli bir açıyla yerleştirilmesi ve böylece eğimli çatı kirişi hacmi (ağırlığı), beton metrajı ve donatı metrajının azaltılması hedeflenmiştir (Şekil 5.11).



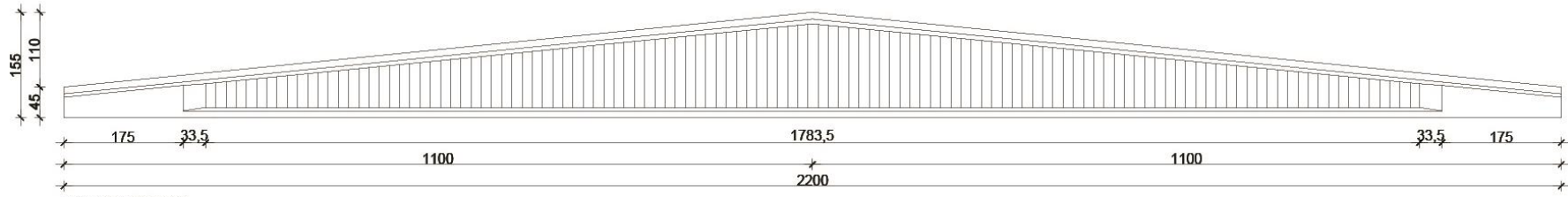
Şekil 5.12 : Gövdesi trapezoidal kesitli çatı kirişi genel görünüşü.

Çalışma kapsamında ilk olarak iki yeni eğimli çatı kirişi alternatifi önerilmiştir. Birinci alteratif 15 cm aralıklarla, 4 cm kalınlık ile 165° açılı trapez formdaki gövdesinin olması durumudur.

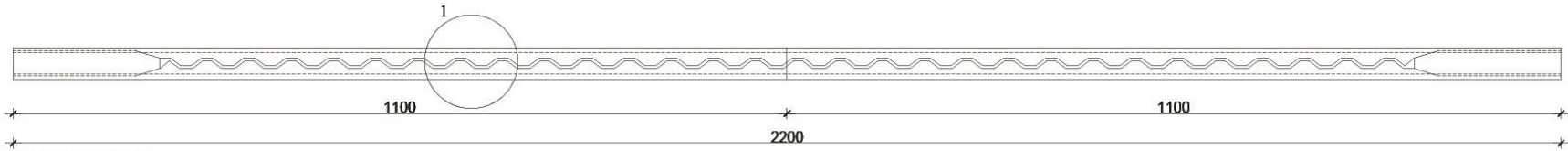
İkinci alternatif 15 cm aralıklarla, 4 cm kalınlık ile 144° açılı trapez formdaki gövdenin olması durumudur. Şekil 5.13'te ilk alternatif, Şekil 5.14'te ikinci alternatif ve Şekil 5.15'te ise bu üç durumun (mevcut ve 2 öneri alternatifi) karşı gelen tipik modülün alan ve atalet momentlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



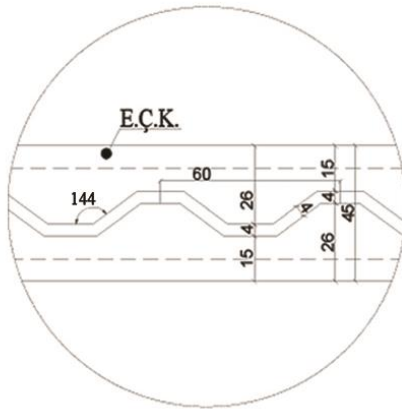
Şekil 5.13 : Gövdesi trapez kesitli çatı kirişi Alternatif-1 genel görünüşü.



MAKAS ÖN GÖRÜŞÜ

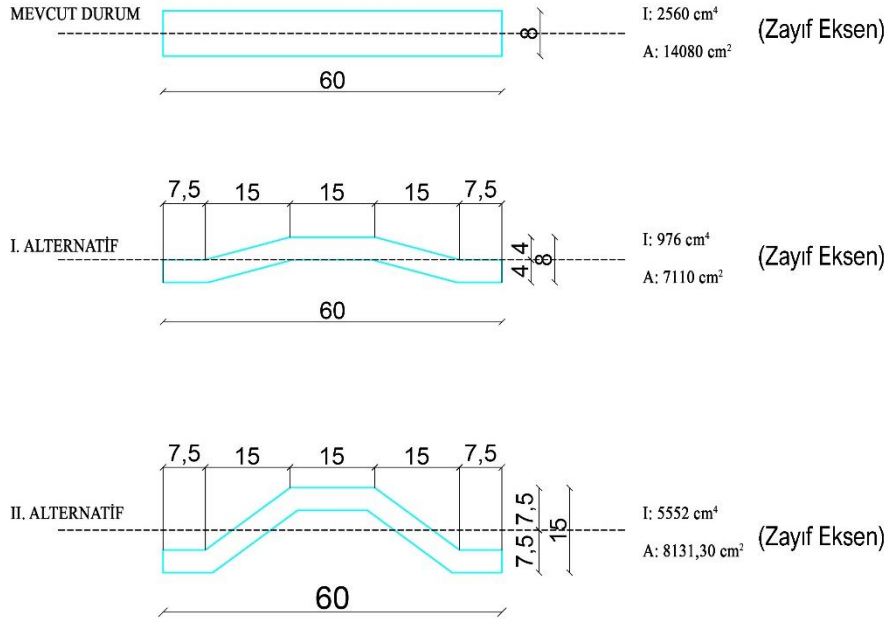


MAKAS ÜST GÖRÜŞÜ



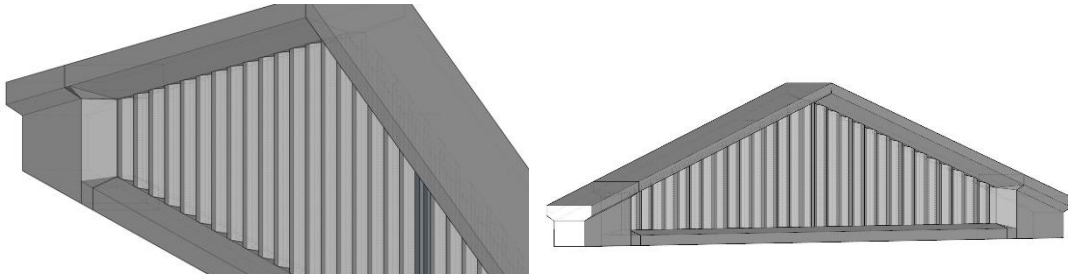
1 DETAYI

Şekil 5.14 : Gövdesi trapez kesitli çatı kirişi Alternatif-2 genel görünüşü.



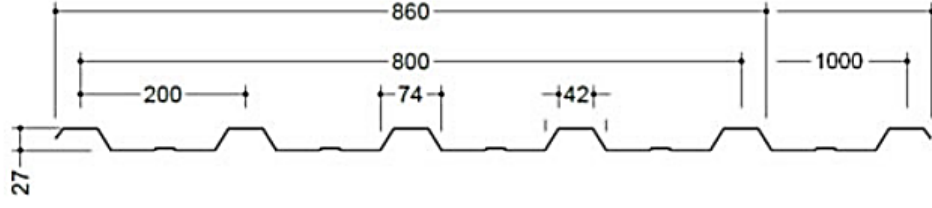
Şekil 5.15 : Mevcut, I. Alternatif ve II. Alternatif eğimli çatı kirişlerinin alan ve atalet momentleri.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta beton dökme işleminin rahatlığı bakımından alınabilecek en az gövde kalınlığının 4 cm'nin daha altında seçilmemesidir. Şekil 5.15'te gösterildiği gibi 60 cm'lik bölümler için önerilen eğimli çatı kirişlerinde mevcuttaki duruma göre gövde alanları en çok %50 oranında azalmıştır.

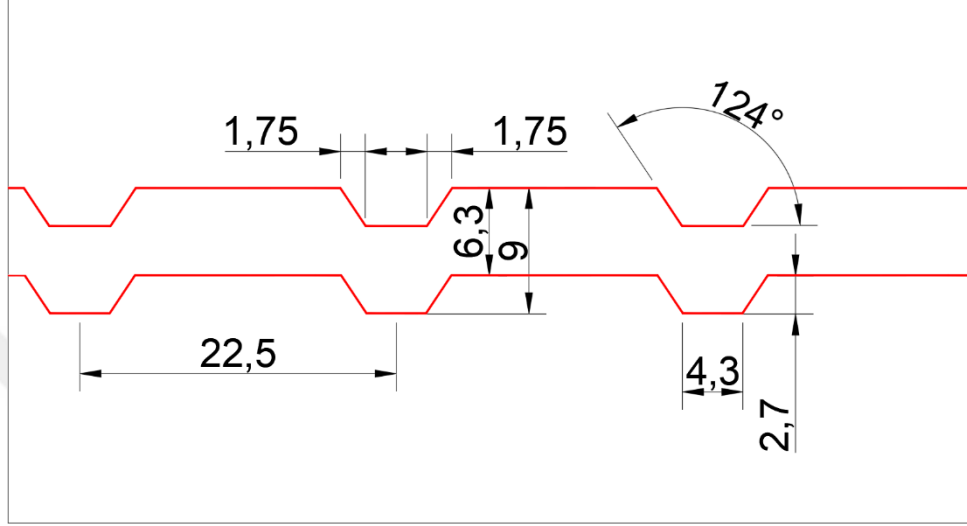


Şekil 5.16 : Trapezoidal kesitli çatı kirişi gövdesi genel görünüşleri.

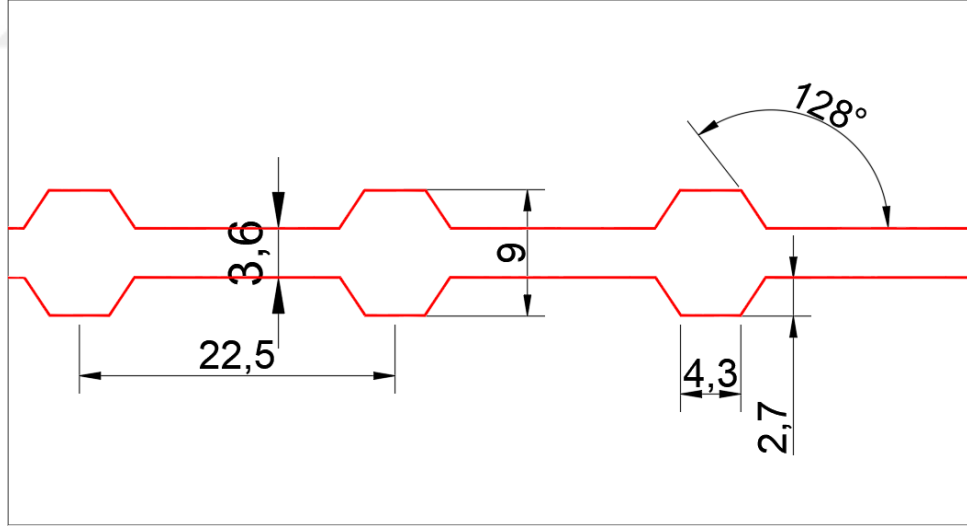
Prefabrike betonarme yapı elemanları mevcut kalıp düzeninde seri ve kontrollü olarak üretilen elemanlardır. Yukarıda belirlenen ön tasarımların yanında standart eğimli çatı kiriş kalıpları ve gövde kalınlığı düşünülerek trapez kesitin 8~9 cm arasında olması, mevcut kalıplara eklenecek alüminyum/çelik saclar yardımı ile hızlıca önerilen alternatife dönüştürülerek kiriş öz ağırlığına ve davranışına faydalı olması hedeflenmiştir (Şekil 5.15). Bu nedenle tez kapsamında standart ölçülerde alüminyum/çelik trapez sac alternatifleri aranmış ve Şekil 5.17'de ölçüleri verilen sacın uygun olacağı kanaati oluşmuştur.



(a)



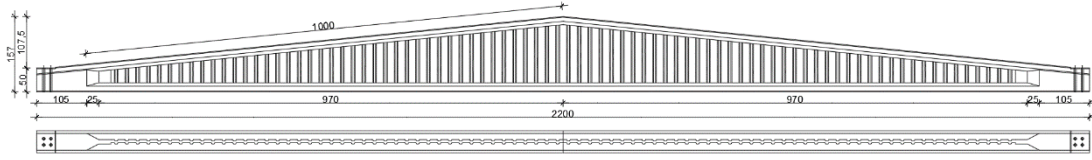
(b)



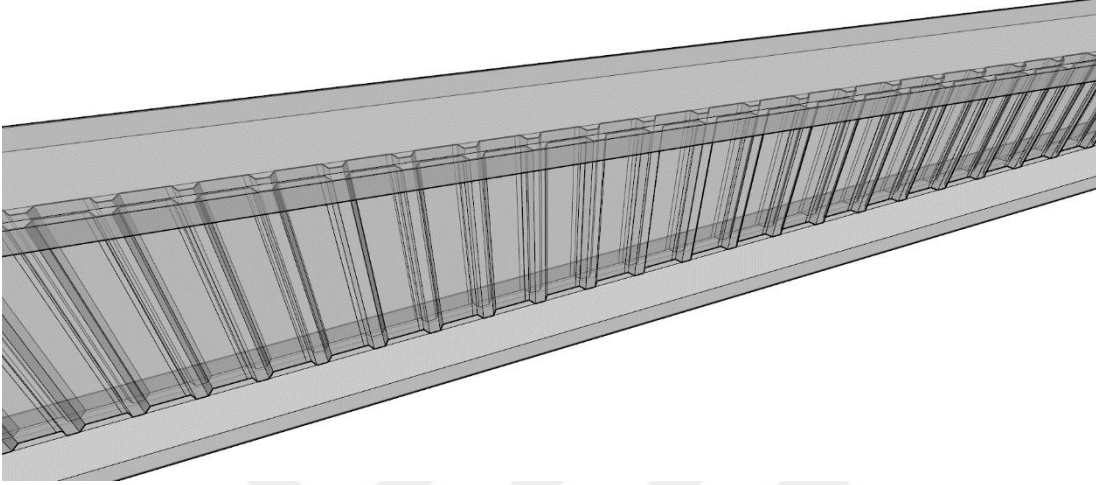
(c)

Şekil 5.17 : (a) Mevcut alüminyum trapez sac ölçüleri (b,c) Eğimli çatı kirişi gövdesinde yerleşimi.

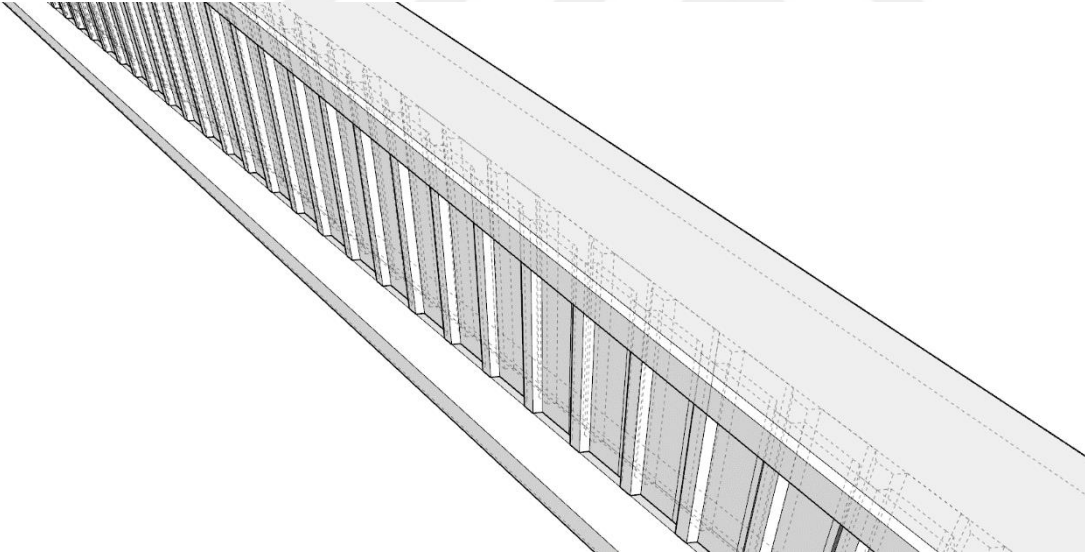
Çalışma sürecinde ilk olarak Şekil 5.17b’de verilen trapez yerleşimi üzerinde durulmuş, çizim ve modelleri tamamlanmıştır. Ancak, Şekil 5.17c ile verilen yerleşimde kiriş gövdesinde nervür/kiriş etkisinin faydalı olacağı düşünülerek detaylı çalışmalar bu alternatif üzerinden değerlendirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.18 : İlk önerilen trapez kesitli çatı kirişi alternatifi (a) Genel görünüş (b,c) Üç boyutlu görseller.

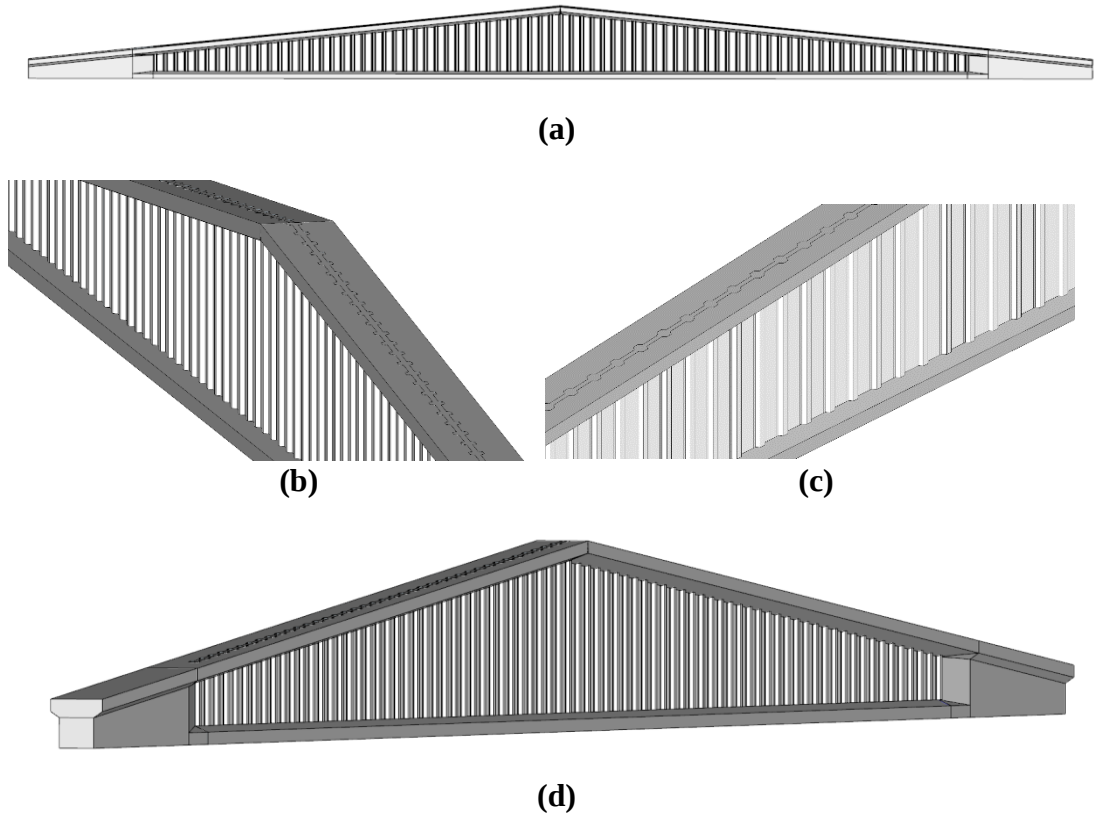
8~10cm aralığında olan kiriş gövdelerine trapez saclar simetrik yerleştirilerek 22.5cm'de bir olacak şekilde nervürlerin teşkil edilmesi amaçlanmıştır. Böylece, prefabrike betonarme çatı kirişlerinde en sık görülen hasar biçimi olan yanal burulmalı burkulma modu ve düzlem dışı hareketlerine faydalı olacağı düşünülmektedir. Hazır

ölçülerde standart alüminyum sac panellerin kullanılmasıyla mevcut prefabrike yapı eleman kalıplarının tadilatı daha kolay olacaktır.

Çizelge 5.6 : Farklı kiriş boyları için referans kiriş hacmi, referans kiriş gövde hacmi, trapez gövde hacmi ve toplam kiriş hacmi.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Kullanılan Çatı Kiriş Kalıbı (cm)	Referans Kiriş Hacmi (m^3)	Gövde Hacmi (m^3)	Trapez Hacmi (m^3)	Trapez Toplam Kiriş Hacmi (m^3)
20	140	3.469	0.835	0.556	3.190
22	155	3.984	1.111	0.712	3.585
24	165	4.513	1.315	0.833	4.013
28	205	8.124	2.129	1.083	7.078

Çizelge 5.6’da görüldüğü üzere, trapez kesitli olarak teşkil edilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20m$ için $0.279 m^3$, $l_n=22m$ için $0.399 m^3$, $l_n=24m$ için $0.482 m^3$ ve $l_n=28m$ için $1.046 m^3$ azalma olmaktadır. Önerilen tasarımda trapez gövde hacminin referans gövde hacmine oranı yaklaşık %50 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %13~18 arasında olmaktadır. Şekil 5.19’da trapez gövdeli eğimli çatı kirişi alternatifinin üç boyutlu görselleri yer almaktadır.

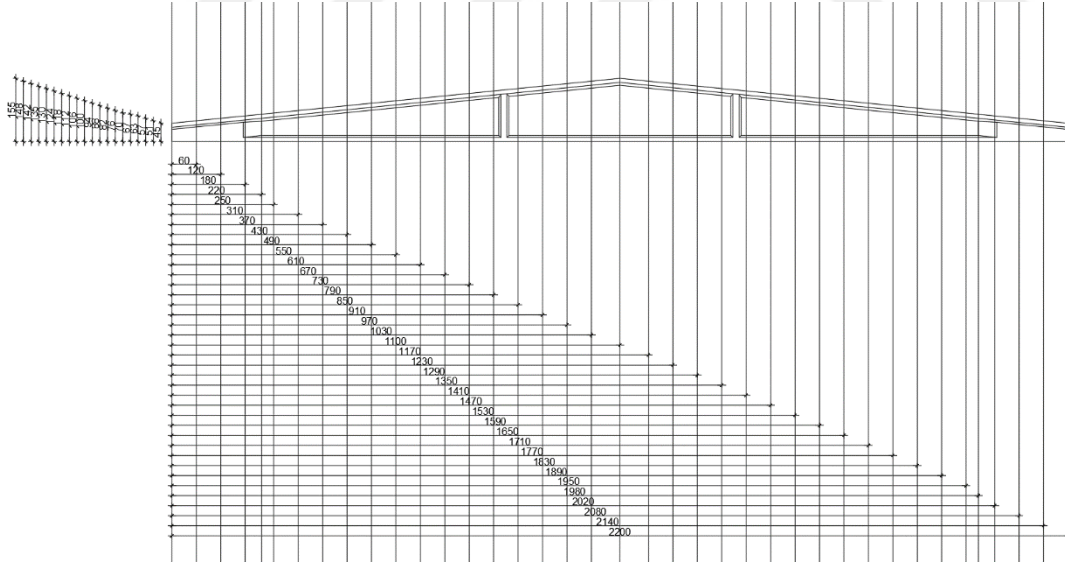


Şekil 5.19 : (a,d) Trapez kesitli eğimli çatı kirişi genel görünüşleri (b,c) Trapez kesitin kiriş gövdesinde yerleşim detayı.

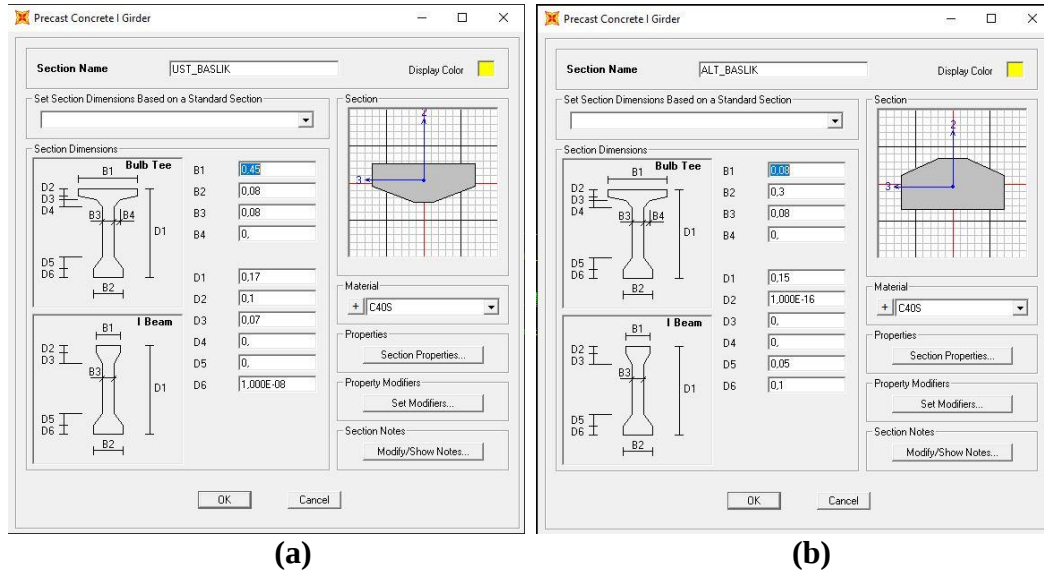
5.3 Önerilen Alternatif Çatı Kirişlerinin Yapısal Hesapları

Önerilen alternatif çatı kirişleri için örnek olması adına $l_n=22.0\text{m}$ için analizler yapılmış, mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Mevcut eğimli çatı kirişi ve önerilen 3.6~4cm gövde kalınlıklı trapez çatı kirişi için tahkikler prefabrike betonarme çatı kirişi hesap programında (Microsoft Excel) ve SAP2000 analiz programında gerçekleştirilmiştir. Sayısal örnekte $a=8.00\text{m}$ ve $l=22.00\text{m}$ olarak kabul edilmiş, yük analizleri Tekirdağ ili için yapılmış olup TS498'e göre kar yükü $P_k=75\text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır.

SAP2000 analiz programında eğimli çatı kirişi modeli yapılırken sırasıyla malzeme tanımı, yük analizi ve kesit boyutlandırılması yapılmıştır. Mevcut kalıp ve önerilen alternatif için inceltilmiş gövde modellenmiştir. Eğimli çatı kirişi tanımlanırken bir modül olarak 60 cm belirlenmiştir ve çatı kirişi modeli için 60 cm'lik parçalar olarak akslandırılmıştır. Gövde tanımı mevcut kalıpta 8 cm, önerilen alternatiflerde 4 cm olarak tanımlanmış ve atalet momentleri girilerek analize devam edilmiştir. Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de çatı kirişinin analizde girilen aksları ve kiriş alt/üst başlık kesit tanımları gösterilmiştir.

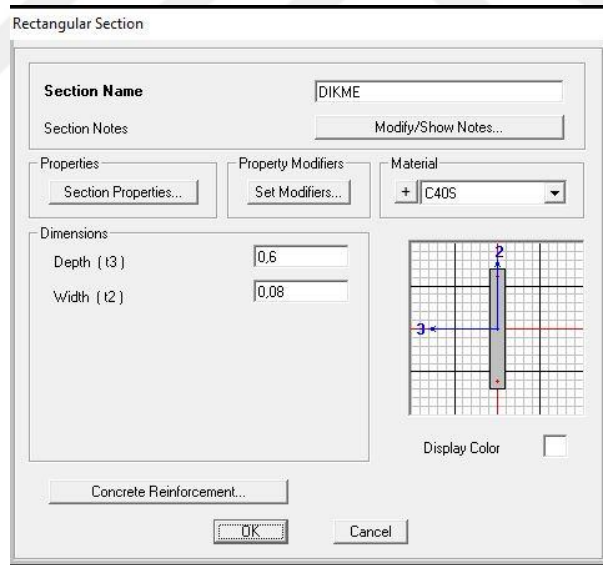


Şekil 5.20 : Eğimli çatı kirişi analiz aksları tanımı.

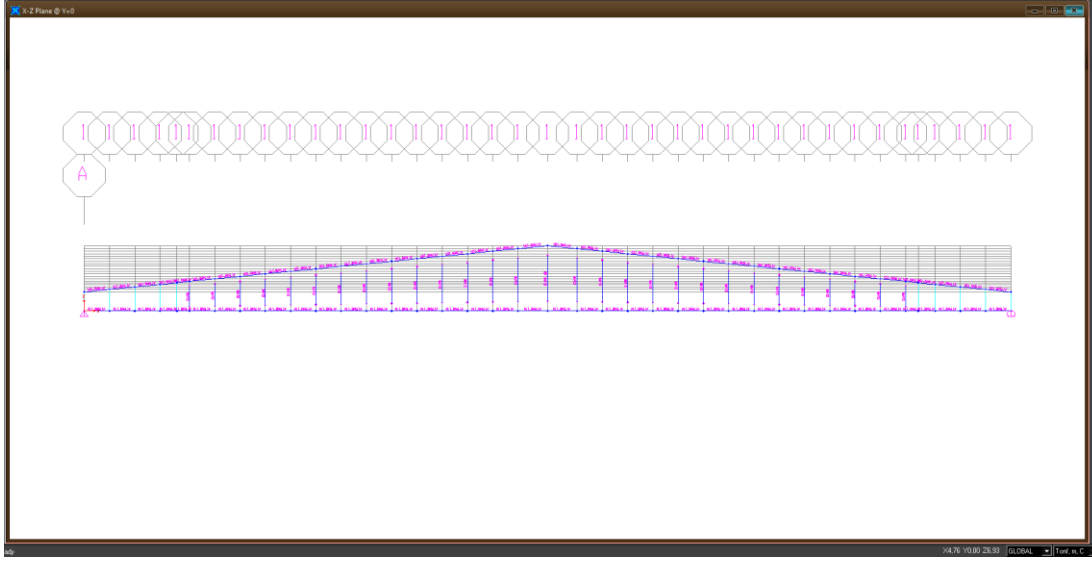


Şekil 5.21 : (a) Üst başlık kesit tanımı (b) Alt başlık kesit tanımı.

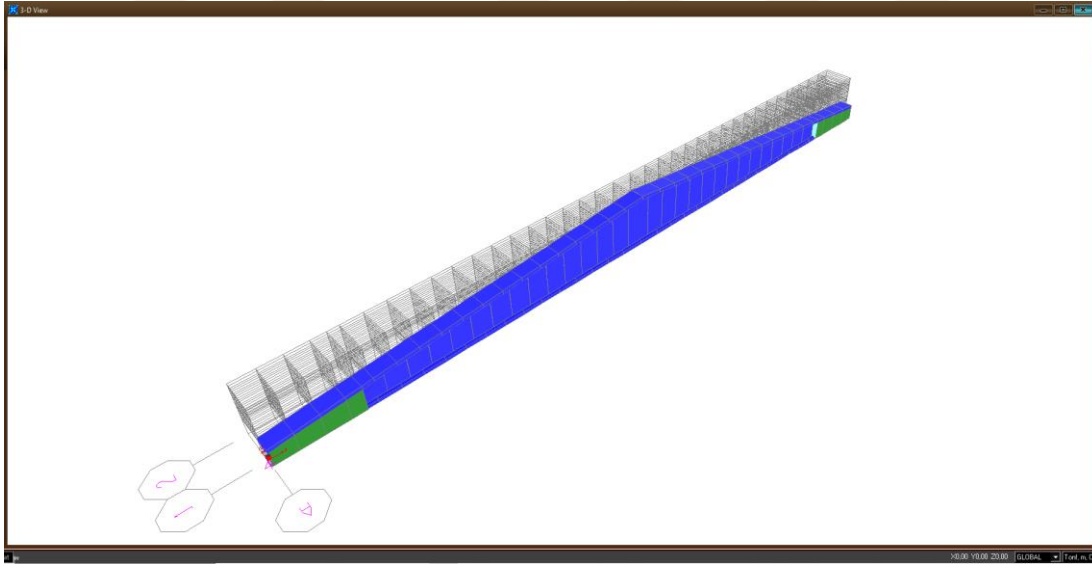
İlk adımda mevcut kalıp için (8cm) model, analiz ve hesap yapılmıştır. İnceltilmiş gövde için kesit tanımı ve dolu gövde shell eleman olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.22). Gövde kesiti SAP2000 programında mafsallı bağlandığı kabul edilerek analizlere devam edilmiştir (Şekil 5.23, Şekil 5.24).



Şekil 5.22 : Eğimli çatı kirişi inceltilmiş gövde kesit tanımı.

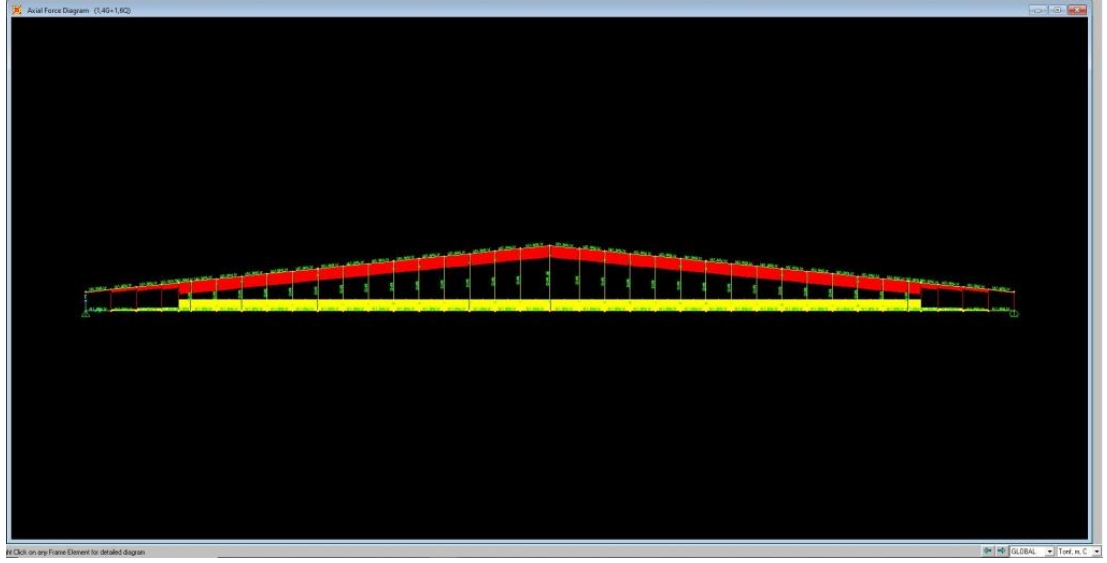


Şekil 5.23 : XZ planda eğimli çatı kiriş modeli.

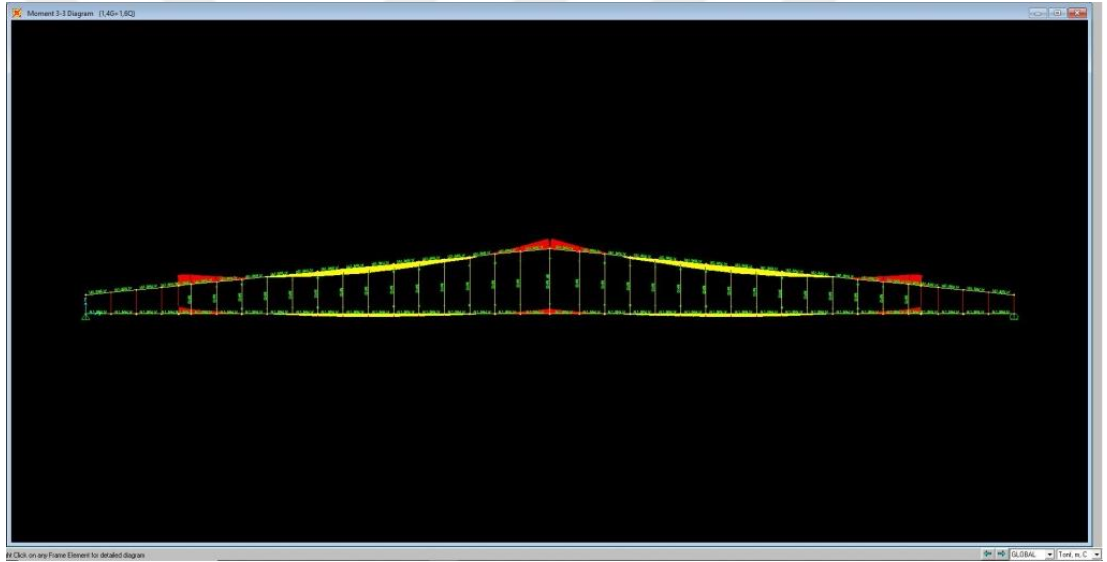


Şekil 5.24 : Eğimli çatı kirişi üç boyutlu görünüşü.

Analiz tamamlandıktan sonra $1.4G+1.6Q$ kombinasyonu için eksenel kuvvet diyagramı ve moment diyagramları kontrol edilmiştir (Şekil 5.25, Şekil 5.26). Şekil 5.23'te görüldüğü ve beklendiği üzere eğimli çatı kirişi üst başlığında basınç kuvveti, alt başlığında da çekme kuvveti oluşmuştur.

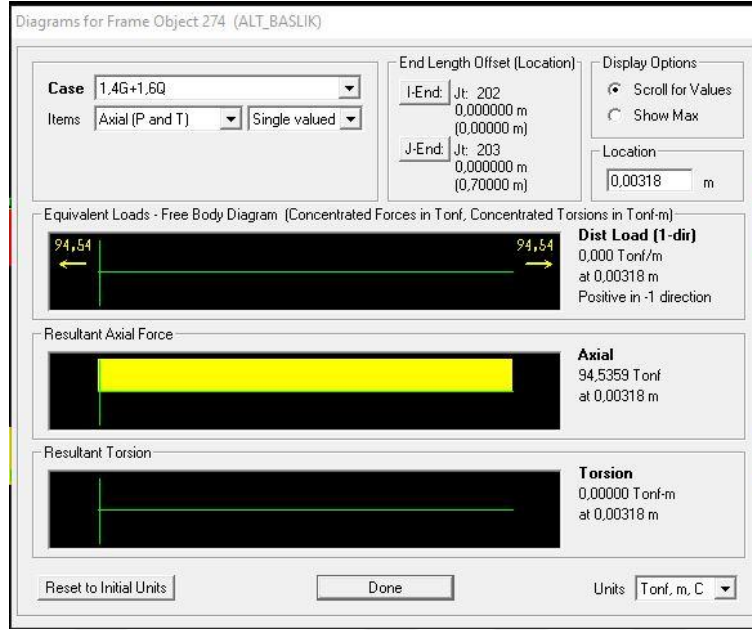


Şekil 5.25 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonu eksenel kuvvet diyagramı.



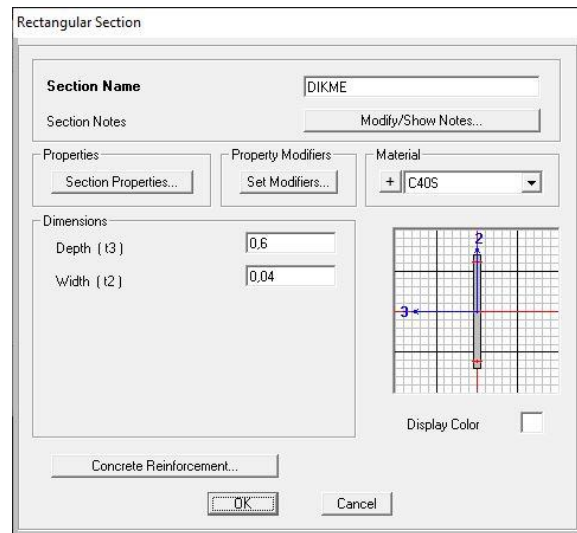
Şekil 5.26 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonu moment diyagramı.

Şekil 5.27’de gösterilen eksenel kuvvet kirişin $l/2$ ’sinde (açıklık) okunmuştur. Kiriş yüksekliği ile çarpılarak eğilme momenti 146520 kgm^2 olarak hesaplanmıştır. Bulunan değer Excel programında bulunan değer ile karşılaştırılıp doğruluğu teyit edilmiştir. Mevcut çatı kirişin ayrıntılı hesapları EK-C’de detaylı olarak verilmiştir. Excel programında kesit boyutları, malzeme özellikleri, mesnet yüksekliği ve yük analizleri girilmiştir. Kesme kuvveti ve eğilme momentleri belirtilmiştir. Eğilme ve kesme güvenlikleri kontrol edilerek donatı hesapları da gösterilmiştir. Deplasman kontrolü ve yanal kararlılık hesapları da TBDY2018’e göre kontrol edilmiştir.

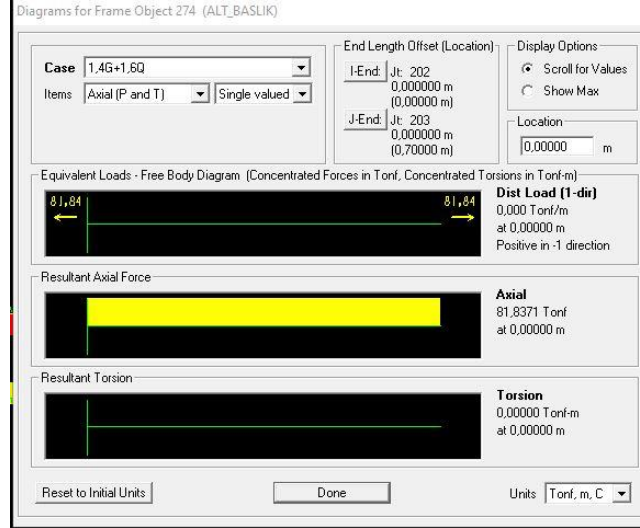


Şekil 5.27 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonunda açıklıkta okunan eksenel kuvvet.

Önerilen alternatif için inceltilmiş gövde kesitleri 4 cm olarak tanımlanmış ve atalet momentleri hesaplandığı gibi kesit tanımı tamamlanmıştır (Şekil 5.28). Yapılan analizlerde eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri 1.4G+1.6Q kombinasyonları için kontrol edilmiştir (Şekil 5.27).



Şekil 5.28 : Önerilen alternatif çatı kirişi için inceltilmiş gövde kesiti tanımı.



Şekil 5.29 : Eğimli çatı kirişi 1.4G+1.6Q kombinasyonunda açıklıkta okunan eksenel kuvvet.

SAP2000 programında yapılan analizler ve değerler Excel’de hazırlanan eğimli çatı kirişi programındaki değerler ile karşılaştırılmış ve değerlerin uygun olduğu görülmüştür (Şekil 5.29).

EK-D’de önerilen alternatif için eğimli çatı kirişi betonarme hesapları yapılmıştır. Excel programında kesit boyutları, malzeme özellikleri, mesnet yüksekliği ve yük analizleri girilmiştir. Eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri belirtilmiştir. Deplasman kontrolü ve yanal kararlılık hesapları da TBDY2018’e göre kontrol edilmiş ve uygunluğu gösterilmiştir. Eğilme ve kesme güvenlikleri kontrol edilerek donatı hesapları da yapılmıştır. Kesme kuvveti güvenliği inceltilmiş gövde için etriye olarak Q188/188 hasır kullanılarak sağlanmıştır.

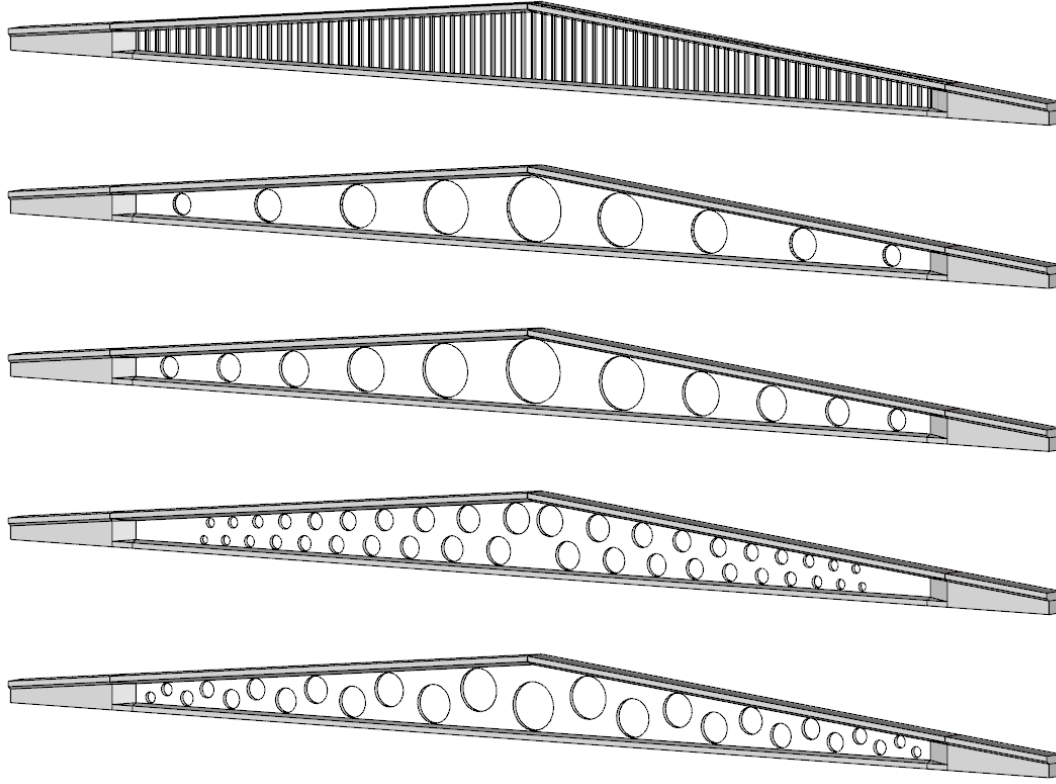
Çizelge 5.7’de 8cm ve 4cm için yapılmış $l/2$ ’de okunan eğilme momentleri ve dolu kesit sonunda oluşan kesme kuvvetleri verilmiştir. Bulunan değerlerin SAP2000 programında okunan değerler ile karşılaştırılıp doğruluğu teyit edilmiştir.

Çizelge 5.7 : Çatı kirişi inceltilmiş gövdesinin 8 cm ve 4 cm olması durumu için eğilme momentri ve kesme kuvvetleri.

İnceltilmiş Gövde Kalınlığı (cm)	Eğilme Momenti (kgm)	Kesme Kuvveti (kg)
8	121337	17850
4	115493	16690

Yapılan sayısal örnekte de görüldüğü üzere, çatı kiriş gövdesi için önerilen alternatiflerde çatı kirişi öz ağırlığına olan hacim ve buna bağlı olarak ağırlık azalması

durumunda eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinde de azalma söz konusudur. Çatı kirişi öz ağırlığının azaltılması sonucu yalnızca çatı kirişlerinde değil tüm yapı elemanlarına (kolon, temeller vb.) bir miktar fayda sağlayacağı açıktır. Şekil 5.30’da önerilen çatı kirişleri topluca verilmiştir.



Şekil 5.30 : Önerilen alternatif prefabrike betonarme çatı kirişleri.

Elde edilen sonuçlar farklı dairesel boşluklu kirişler için topluca Çizelge 5.8’de karşılaştırmalı bir biçimde özetlenmiştir.

Çizelge 5.8 : Önerilen alternatif prefabrike betonarme çatı kirişlerinin hacim karşılaştırılması.

Kiriş Açıklığı l_n (m)	Alternatif-1 Toplam Kiriş Hacmi (m ³)	Alternatif-2 Toplam Kiriş Hacmi (m ³)	Alternatif-3 Toplam Kiriş Hacmi (m ³)	Alternatif-4 Toplam Kiriş Hacmi (m ³)	Trapez Toplam Kiriş Hacmi (m ³)
20	3.239	3.219	3.239	3.144	3.190
22	3.653	3.615	3.668	3.569	3.585
24	4.123	4.050	4.190	3.980	4.013
28	7.244	7.084	7.356	7.217	7.078

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Çalışmanın Özeti

Betonarme önüretimli binalar taşıyıcı sisteminin tamamı prefabrike, betonarme ve/ya da öngerilmeli beton yapı elemanlarından oluşturulan, üretim tesislerinde üretilen ve inşaat sahasına nakledilerek montajı gerçekleştirilen konut, otel, yurt, sağlık tesisi, okul, depo, katlı otopark çoğunlukla da sanayi/endüstri kullanım amaçlı binalardır.

Ülkemizde hızla artan sanayileşme sürecinde prefabrike yapıların sayısı günden güne artmaktadır. Genellikle tek katlı ve büyük açıklıklı olan betonarme prefabrike yapılarda kolonlar temelden ankastre çatı düzeyinde mafsallı olarak bağlanmaktadır. Prefabrike betonarme sanayi yapılarının neredeyse tamamında eğimli çatı kirişlerinin kullanımı çok yaygın olup oldukça ekonomik sonuçlar vermektedir. Eğimli çatı kirişleri açıklık ortasına doğru gidildikçe yüksekliği artacak şekilde tasarlanır. Üst başlıkları iki tarafa eğimli olan kirişlerle oluşturulan sistemlerde çatı sularının toplanması daha kolay olduğundan ve kiriş biçiminin iç kuvvet dağılımına uygunluğu nedeni ile bu tür sistemler sıklıkla tercih edilmektedir.

Tez kapsamında betonarme prefabrike eğimli çatı kirişleri detaylı olarak incelenmiştir. Ülkemizde ve dünyada uygulanan eğimli çatı elemanı tasarımları ve uygulama örnekleri incelenerek bir tipoloji oluşturulmuştur. Bu kesitlerin üstünlük ve sakıncaları yapıldığı konum, maliyet, depremsellik durumu ve iklim koşulları altında değerlendirilmiştir. Çatı kirişlerinde en çok kullanılan tipler ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Ekonomik tasarım tip seçiminde önemli olmaktadır. Alternatif çatı kirişi tiplerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar halen devam etmektedir.

Eğimli çatı kiriş tasarımı, üretim ve montaj aşamaları hakkında ayrıntılı literatür çalışması yapılmıştır. Eğimli çatı kiriş tasarımı esasları ve çatı kirişlerine etkiyen karakteristik yükler ikinci bölümde yer almaktadır. Bu bölümde tez kapsamında incelenen binalar, ülkemizde en yaygın kullanılan sistemler ayrıntılı olarak değerlendirilmiş, mevcut durumları ortaya koyulmuştur. Mevcut prefabrike betonarme yapı stokunun büyük çoğunluğunun ne yazık ki yürürlükteki deprem yönetmeliğinin

koşullarını sağlayamayacağı görülmüştür. Deprem tehlikesi olmayan ülkelerden herhangi bir iyileştirme yapılmadan ülkemizde uygulanan sistemler için işletme ve deprem risklerinin olduğu açıktır. Değişen iklim koşulları, yenilenebilir enerji kullanımının yol açtığı ek işletme yükleri (örneğin, çatı düzeyinde güneş enerjisi panellerinin kurulumu) altında prefabrike yapı elemanlarının yük taşıma kapasiteleri kontrol edilmelidir; bu durum özellikle önceki yönetmeliklere göre tasarlanan ve inşa edilen, kapasiteleri sınırlı endüstri yapılarında daha da kritiktir.

Ülkemizde deprem yönetmelikleri 1940'tan günümüze dek sekiz kez revizyona uğramıştır. Her revizyon sonrasında yapılar için sınır koşullar deprem güvenliği açısından genelde artmış ve prefabrike yapılar için ise daha ayrıntılı hale gelmiştir. Ülkemizde endüstri yapısı stokunun büyük kısmını oluşturan prefabrike betonarme yapı sistemlerinin güncel yönetmeliklere göre kontrol edilmesi, gerekli görüldüğü durumda güçlendirme projelerinin hazırlanması ve ivedilikle uygulanması önem arz etmektedir.

Ülkemizde inşası tamamlanan, Trakya bölgesinde 2015~2021 yıllarında yaklaşık 100 uygulama projesinde kullanılan eğimli çatı kirişleri analiz edilmiş, sorunlar ve olası çözümler incelenmiştir. Kullanılan eğimli çatı kirişlerinin detaylı olarak incelenmesine özel önem verilmiştir. İnceleme sonucunda optimum kiriş ve oluk açıklıkları, taşıyıcı/tabana oranları, a/l oranları, bina yükseklikleri ve kolon boyutları belirlenmiştir.

Çatı kirişleri için yapılan tipolojik çalışma sonrasında DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 PGA değerleri karşılaştırılmış, beklenen pik ivme değerlerinin %75'lere varan oranda, çoğunlukla arttığı görülmüştür. Bu durum, mevcut yapılarda performans analizlerinin ve güçlendirme projelerinin önemini ortaya koymaktadır. Yüksek malzeme kalitesi, kapalı ortamda üretim, öngerme kullanımı gibi üstünlükleri sayesinde prefabrikasyon teknolojisinin sektördeki önemi giderek artmaktadır.

Yapılan araştırmalar ve incelenen projeler sonucunda alternatif eğimli çatı kirişi tasarımları önerilmiştir. Önerilen alternatifler gövdesi boşluklu/delikli ve trapez gövde kesitli olmak üzere 2 ana sınıfta toparlanabilir. Boşluklu/delikli çatı kirişleri için 4 farklı alternatif sunulmuş ve en sık tekrarlanan kiriş açıklıkları için hacim hesapları karşılaştırılmıştır. Önerilen her alternatif, çatı kirişlerinde kiriş öz ağırlığına fayda sağladığı ve açıklık arttıkça önerilen alternatiflerin gövde ve genel kiriş hacmine

etkisinin arttığı gösterilmiştir. Geçilen açıklıkların büyük olması nedeni ile bina öz ağırlığının büyük çoğunluğunu oluşturan çatı kirişleri için bu durum sevindiricidir.

Diğer önerilen eğimli çatı kirişlerinin, mevcut kalıptaki inceltilmiş gövde kalınlığını azaltarak ve belirli aralıklarda, açılarda kırılarak eğimli çatı kirişi hacmini azaltması hedeflenmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda inceltilmiş gövdenin bu şekilde tasarlanması ile eğimli çatı kirişinin hacminin belirli oranda düşürüldüğü görülmüştür. Bu şekilde beton metrajında da belirli bir azalma olduğu belirlenmiştir. Azalan hacimle birlikte eğimli çatı kirişinin donatı metrajlarında da azalma olmuştur.

Önerilen yeni eğimli çatı kirişinin örnek teşkil etmesi amacıyla inceltilmiş gövde tanımı yapılarak SAP2000 analiz programı ve Excel’de hazırlanmış eğimli çatı kirişi hesap programı kullanılarak betonarme hesapları da tamamlanmış ve kiriş tasarımlarının eğilme momenti, kesme kuvveti, yanal kararlılık açısından güvenli olduğu gösterilmiştir.

Önerilen eğimli çatı kirişlerinin öz ağırlığının azalması sonucunda nakliye ve montaj aşamasında da üstünlük sağlayacağı açıktır.

6.2 Çalışmada Ulaşılan Ana Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında ulaşılan ana sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Çalışma kapsamında, yapıya ilave edilen güneş enerjisi sistemi için sayısal örneklerde yapılan varsayımlar altında, (25 kg/m^2), kirişlerde servis sabit yüklerinde %43’lük bir artışa neden olmaktadır. Yapılan hesaplar sonucunda GES yüklemesinin kesit tesirlerinde yaklaşık %18 civarında artışa neden olduğu belirlenmiştir.
- Çalışma kapsamında Trakya bölgesinde incelenen 100 adet uygulama projesinden en uygun/tercih edilen a/l oranının $0.35 \sim 0.40$ aralığında değiştiği görülmüştür.
- Eğimli çatı kirişi beton sınıfı, beton hacmi, donatı ve öngerme halat yüzdeleri ve maliyetleri gibi hususlar dikkate alındığında optimum eğimli çatı kirişi açıklığının $l_{opt.}=22.00\text{m}$, oluk kirişi açıklığının $a_{opt.}=8.00\text{m}$ ve a/l oranının 0.36 olduğu görülmüştür.

- d) Minimum çatı kirişi açıklığı $l_{\min}=11\text{m}$, uygulanan maksimum açıklık ise $l_{\max}=32.45\text{m}$ 'dir. Minimum oluk kirişi açıklığı $a_{\min}=6\text{m}$, maksimum açıklık ise $a_{\max}=12.50\text{m}$ 'dir. Ortalama çatı kirişi açıklığı $l_{\text{ort}}=21.50\text{m}\sim 22.00\text{m}$ olarak hesaplanırken, oluk kirişi açıklığı $a_{\text{ort}}=8.60\text{m}\sim 9.00\text{m}$ 'dir. İncelenen uygulama projelerinde en sık tercih edilen yüksekliğin $H_n=9\sim 10\text{m}$ aralığında olduğu görülmüştür. Minimum çatı kirişi yüksekliği $h_{\min}=6\text{m}$, maksimum çatı kirişi yüksekliği $h_{\max}=17\text{m}$ 'dir.
- e) En sık kullanılan kolon kalıbının $b=60\text{cm} \times 60\text{cm}$ kolon ölçüsünde olduğu tespit edilmiştir. En küçük kolon kesiti $b_{\min}=40\text{cm} \times 40\text{cm}$ iken en büyük kolon kesiti $b_{\max}=80\text{cm} \times 80\text{cm}$ 'dir.
- f) İncelenen projeler içerisinde en yüksek taban alanı $A=17238\text{ m}^2$, en küçük taban alanı ise $A=263\text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. En düşük taşıyıcı/tabana oranı $k_{\min}=0.019$ iken en yüksek oran $k_{\max}=0.10$ olduğu tespit edilmiştir.
- g) 17 projede öngerme kullanımına uygun olmayan eğimli çatı kirişi kalıbı kullanılırken 5 projede de öngerme kullanımı tercih edilmemiştir. Buna karşın, 78 projede ise eğimli çatı kirişleri öngerme teknolojisi kullanılarak üretilmiştir.
- h) Yapılan analizlerde eğimli çatı kiriş hacminin açıklığa oranı kontrol edildiğinde $k=0.15\sim 0.17$ arasında sabit kaldığı, maksimum oranı $k=0.29$ olduğu hesaplanmıştır.
- i) Alternatif-1 olarak verilen kiriş tasarımına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.230 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.331 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.390 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 0.880 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-1 olarak önerilen tasarımda açılabilen boşluk hacminin toplam gövde hacmine oranı minimum %27, maksimum %40 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %7~10 arasında gerçekleşmektedir.
- j) Alternatif-2 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.250 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.369 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.463 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 1.040 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-2 olarak önerilen tasarımda açılabilen boşluk hacminin toplam gövde hacmine oranı minimum %29, maksimum %46 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %8~12 arasında gerçekleşmektedir.
- k) Alternatif-3 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.230 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.316 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.323 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 0.768 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-3 olarak önerilen tasarımda açılabilen toplam boşluk

hacminin gövde hacmine oranı minimum %24, maksimum %36 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %6~9 arasında gerçekleşmektedir.

- l) Alternatif-4 olarak verilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.325 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.415 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.533 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 0.907 m^3 azalma olmaktadır. Alternatif-4 olarak önerilen tasarımda açılabilen toplam boşluk hacminin gövde hacmine oranı minimum %38, maksimum %42 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %9~11 arasında gerçekleşmektedir.
- m) Tüm önerilen gövdesi boşluklu/delikli çatı kirişi alternatiflerinin, referans çatı kirişi hacmine kazancı karşılaştırıldığında en fazla kazancın Alternatif-2 ile sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır.
- n) Trapez kesitli olarak teşkil edilen kiriş tasarımlarına göre $l_n=20\text{m}$ için 0.279 m^3 , $l_n=22\text{m}$ için 0.399 m^3 , $l_n=24\text{m}$ için 0.482 m^3 ve $l_n=28\text{m}$ için 1.046 m^3 azalma olmaktadır. Önerilen tasarımda trapez gövde hacminin referans gövde hacmine oranı yaklaşık %50 olurken, toplam kiriş hacmine oranı %13~18 arasında gerçekleşmektedir.
- o) Yapılan sayısal örnekler sonucunda, çatı kiriş gövdesi için önerilen alternatiflerde çatı kirişi öz ağırlığında değişik oranlarda elde edilen ağırlık azalması doğal olarak eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinde de bir miktar azalmalara yol açmaktadır.
- p) Bu tezin teslim edilme sürecinde meydana gelen 23 Kasım 2022 Gölyaka-Düzce Depremi ($M_w=6.1$), 6 Şubat 2023 Nurdağı-Pazarcık ($M_w=7.8\sim 7.9$) ve Ekinözü-Elbistan ($M_w=7.6$) depremlerinde hem konvansiyonel yapılar hem de prefabrike yapılar önemli düzeyde hasar görmüştür; göçen yapı sayısı oldukça fazladır. Prefabrike yapıların özellikle çatı düzleminde rijitliğinin (diyafram etkisi) sağlanması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Çerçeve düzlemlerine dik doğrultudaki stabilitenin de korunması önemli sayılabilecek noktalardan biridir.

6.3 Bu Çalışma Esas Alınarak İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışma esas alınarak ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- a) Çalışma kapsamında yapıya ilave edilen GES yüklerinin prefabrike betonarme çatı elemanlarına etkisini araştırmak amacı ile tam ölçekli çatı kirişi ve aşık elemanları üretilip, yükleme deneyleri yapılarak elemanlar üzerindeki etkisi izlenebilir.
- b) Tez kapsamında incelenen 100 adet uygulama projesi, zemin parametreleri de gözönüne alınarak zemin-üst yapı ilişkisi daha detaylı değerlendirilebilir.
- c) Çalışma kapsamında önerilen alternatif eğimli çatı kirişlerinin tam ölçekli üretimleri tamamlanıp yükleme deneyi yapılarak düşey yükler altında dayanım ve yerdeğiştirme davranışları test edilebilir. Referans kiriş için de aynı deney prosedürü uygulanarak mevcut durumla karşılaştırılabilir.
- d) Önerilen alternatif çatı kirişlerinin, aşık kirişi bağlantıları da yapılarak yükleme deneyleri ile düzlem dışı davranışları izlenebilir. Referans kirişlerle oluşturulan sisteme de aynı deney prosedürü uygulanarak mevcut durumla karşılaştırılabilir.
- e) Farklı başlık, gövde geometrileri farklı malzemelerle de incelenerek diğer olası daha etkin alternatifler incenebilir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY-1975.** (1975). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik* 1975. Türkiye.
- ABYYHY-1998.** (1975). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik* 1975. Türkiye.
- Acar, M.Ş.** (2006). *Türkiye 'de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi*. Türkiye Prefabrik Birliği. İstanbul. ISBN:9944-5957-0-5.
- ACI 318 Committee.** (2005). *Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318-05) And Commentary (ACI 318R-05)*. American Concrete Institute.
- AFAD.** (2018). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*. <<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>>, erişim tarihi 14.01.2020.
- Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, Oğuz C.** (2001). *Betonarme*, Birsen Yayınevi. İstanbul, Türkiye
- Arslan M. H., Ceylan M., Kaltakçı M. Y., Ozbay Y., Gulay F. G.** (2007), *Prediction Of Force Reduction Factor (R) Of Prefabricated Industrial Buildings Using Neural Networks*, Structural Engineering and Mechanics, 27/2, 117-134.
- ASTM A193.** (2014). *Standard Specification For Alloy-Steel And Stainless Steel Bolting For High Temperature Or High Pressure Service And Other Special Purpose Applications*, ASTM Standard A193M-14, ASTM International, West Conshohocken, Pa, USA, 2014.
- Ayaydın, Y.** (1981). *Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar*, Birsen Yayınevi. İstanbul.
- Bachmann, H., & Steinle, A.** (2011). *Precast Concrete Structures*, (p. 272). Berlin: Ernst & Sohn.
- Bayülke, N.,** (2008). 27 Haziran 1998 *Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapı Hasarı, Değerlendirmeler, Çözümler ve Öneriler*, [ttp://angora.deprem.gov.tr/AdanaHasar.htm](http://angora.deprem.gov.tr/AdanaHasar.htm), 30Ağustos 2008.
- BSI.** (2005) BS EN 1998-1: 2005: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, Seismic action and rules for buildings. BSI, London, UK.
- BSI.** (2004) BS EN 1992-1: 2004: Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. BSI, London, UK.
- Bükülmez, P., Çelik, O.C.** (2020). Experimental Study on Fire Behavior of Steel–Concrete Composite Cellular Beams with Large Opening Ratio, *International Journal of Steel Structures*, 20, 207-231.

- Bükülmez, P.** (2019). *Gövdesi Dairesel Boşluklu Çelik-Betonarme Kompozit I-Kirişlerin Yangın Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Concrete, S. C.** (2005). *The European Guidelines For Self-Compacting Concrete*. BIBM, et al, 22, 563.
- Çelik, O. C.** (1996). *Gövdesi Boşluklu Çelik I-Kirişlerinin İncelenmesi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Çelik, O.C., Çılı, F., Özgen, K.** (2000). 17 Ağustos Kocaeli (İzmit) Depremi'nden Gözlemler, *Yapı* 218, s.65-76.
- Çelik, O.Ç., Bal, A., Atasever, K., Emanet, S., Koca, S.** (2020). 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya)-Sivrice (Elazığ) Depremi'nden Gözlemler (Mw 6.7-Doğu Anadolu Fay Zonu), *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 134, 5-29.
- Çılı, F., Çelik, O.C., Sesigür, H.** (2000). 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depreminde Hasar Görmüş Bir Prefabrike Endüstri Yapısının Düşey Çelik Kafes Kirişlerle Güçlendirilmesi, *Deprem ve Prefabrikasyon Sempozyumu*, Türkiye Prefabrik Birliği, 4 Mayıs, İstanbul, s.153-162.
- Davidson, J. S., Dawson, H., Fisher, J., Gasulla, E., Ghosh, S. K., Hoemann, J., Wan, D.** (2014). *Pci Design Handbook: Appendix A: Blast-Resistant Design Of Precast, Prestressed Concrete Components*. PCI Journal.
- DBYYHY-2007.** (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007*. Türkiye: AFAD.
- Elliott, K. S.** (2019). *Precast Concrete Structures*. Crc Press. Taylor & Francis Group
- Günerman, H.** (2017). *Öngerme El Kitabı*, Türkiye Prefabrik Birliği, İzmir
- Göçer, C.** (2006). *Beton Esaslı Prefabrike İlköğretim Binalarında Isıtma Enerjisine Bağlı Enerji Kazanımı, Çevre Kirliliği Ve Isıtma Ekonomisi Kriterlerinin Değerlendirilmesi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Göçer, C.** (2014). *Beton Esaslı Prefabrike Dış Duvarlarda Seçenek Özelliklerinin Tanımlanması*. 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan 2014 Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş – İstanbul.
- Gök İnşaat.** *Atcost Sistemler Teknik Föyü El Kitabı*, İstanbul
- Işık, B., Göçer, C.** (2000). *Beton Esaslı Prefabrike Cephe Elemanları ile Giydirilen İskelet Yapılarda Birleşim Yerlerinin Yatay Kuvvetleri Karşılamaı, Deprem ve Prefabrikasyon*, 10. Prefabrikasyon Sempozyumu, Türkiye Prefabrik Birliği, İstanbul.
- Karadoğan F., Yüksel E., Bal İ.E.** (2012). Safecast Araştırma Projesinin Bir Parçası Olarak İki Tip Prefabrike Dış Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 102, 7-62.
- Koca, S., Bal, A., Çelik, O.Ç.** (2022). Prefabrike Betonarme Endüstri Yapılarında Eğimli Çatı Kiriş-Sistem Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 144, 7-27

- Negro, P., & Toniolo, G.** (2012). *Design Guidelines For Connections Of Precast Structures Under Seismic Actions*. Paolo Negro and Giandomenico Toniolo.
- Precast/Prestressed Concrete Institute.** (2000). *Tolerance Manual for Precast and Prestressed Concrete Construction*. Chicago: PCI.
- Samir, P., & Morcous, G.** (2014). *Precast Prestressed Concrete Truss-Girder for Roof Applications*. Journal of Structures.
- SAP2000 v14.1 Structural Analysis Program.** (2009). *Yapısal Analiz Programı*. ABD: Computers and Structures Inc.
- Taslak, M.B.** (2012). *Tümü Prefabrike Elemanlardan Oluşan Döşeme Tipi Yapılarda Döşeme Düzlem İçi Rijitliğinin Yapı Davranışına Etkisi – Düşey Panelli Perdeler* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TBDY-2018.** (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018*. Türkiye
- Türkiye Prefabrik Birliği.** (1997). *Beton Prefabrike Elemanları Birleşim Detayları, Taşıyıcı Sistem Birleşimleri*, Ankara.
- Türkiye Prefabrik Birliği.** (2021). *Rakamlarla Prefabrike Beton 2021 Raporu*. <<https://www.prefab.org.tr/icerik1bc6.html?yayinlar/sektor-raporu&tr/>>, erişim tarihi 25.11.2022.
- TS 9967.** (1992). *Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500.** (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Standartı*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 498.** (1997). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Standartı*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ersoy, U., Özcebe, G., & Tankut, T.** (2000). *1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları*, Türkiye Prefabrik Birliği 10. Prefabrike Sempozyum Bildirileri “Deprem ve Prefabrikasyon”, İstanbul, 2000
- Url-1** <<http://www.gradmont.net/proizvodni-pogon/>>, erişim tarihi 24.08.2021.
- Url-2** <<https://www.palace-cro.eu/reference/>>, erişim tarihi 25.10.2021.
- Url-3** <<https://www.azprezip.cz/fotogalerie/>>, erişim tarihi 25.06.2022.
- Url-4** <<https://www.vces-prefa.cz/EN/constuctions>>, erişim tarihi 13.07.2022.
- Url-5** <<https://www.laumer.de/aktuell/archiv>>, erişim tarihi 04.05.2022.
- Url-6** <<http://www.gradbenistvo-glogovic.si/ab-montazna>>, erişim tarihi 14.11.2022.
- Url-7** <<https://www.structuraconcept.com/our-company>>, erişim tarihi 27.08.2022.
- Url-8** <<http://www.dak-beocin.com/proizvodnja/prefavrikovani-betonski-elementi>>, erişim tarihi 07.06.2022.
- Url-9** <<https://www.ymprefab.com.tr/>>, erişim tarihi 11.04.2020.
- Url-10** <<https://www.kam.com.tr/>>, erişim tarihi 30.09.2020.

- Url-11** <<https://genclikspor.ibb.istanbul/ibb-10-okula-spor-salonu-yapti-22-salonun-yapimina-devam-ediyor/>>, erişim tarihi 14.10.2022.
- Url-12** <<https://pretersa.com/es/catalogo-tecnico>>, erişim tarihi 14.10.2022.
- Url-13** <<https://www.prefagain.com/our-work-grid/>>, erişim tarihi 04.10.2022.
- Url-14** <<https://www.lpmpref.it/portfolio-realizzazioni/>>, erişim tarihi 04.10.2022.
- Url-15** <<https://putinzenjering.com/prefabrikacija/>>, erişim tarihi 04.10.2022.
- Yüksel, E., Ataköy, H., Barka, G. (2018).** *Beton prefabrikasyon El Kitabı*. Türkiye Prefabrik Birliği. Ankara
- Yüksel, E., Karadogan, H. F., Bal, I. E., Ilki, A., Bal, A., & Inci, P. (2015).** Seismic Behavior of Two Exterior Beam–Column Connections Made of Normal-Strength Concrete Developed for Precast Construction. *Engineering Structures*, 99, 157-172.
- Yüksel, E., Ataköy, H., Barka, G., Güner, Ş., Özkan. Ü. (2020)** 30 Ekim 2020 Sisam Depreminin İzmir’deki Prefabrike Betonarme Binalara Etkisinin Değerlendirilmesi, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 137, 5-12.
- Zorbozan, M., Barka, G., Sarıfakıoğlu, F. (1998).** Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 48, 20-24.

EKLER

EK A: Eğimli Çatı Kirişi Kalıpları

EK B: İncelenen Eğimli Çatı Kirişinin Tekrarlanan Yapısal Hesapları

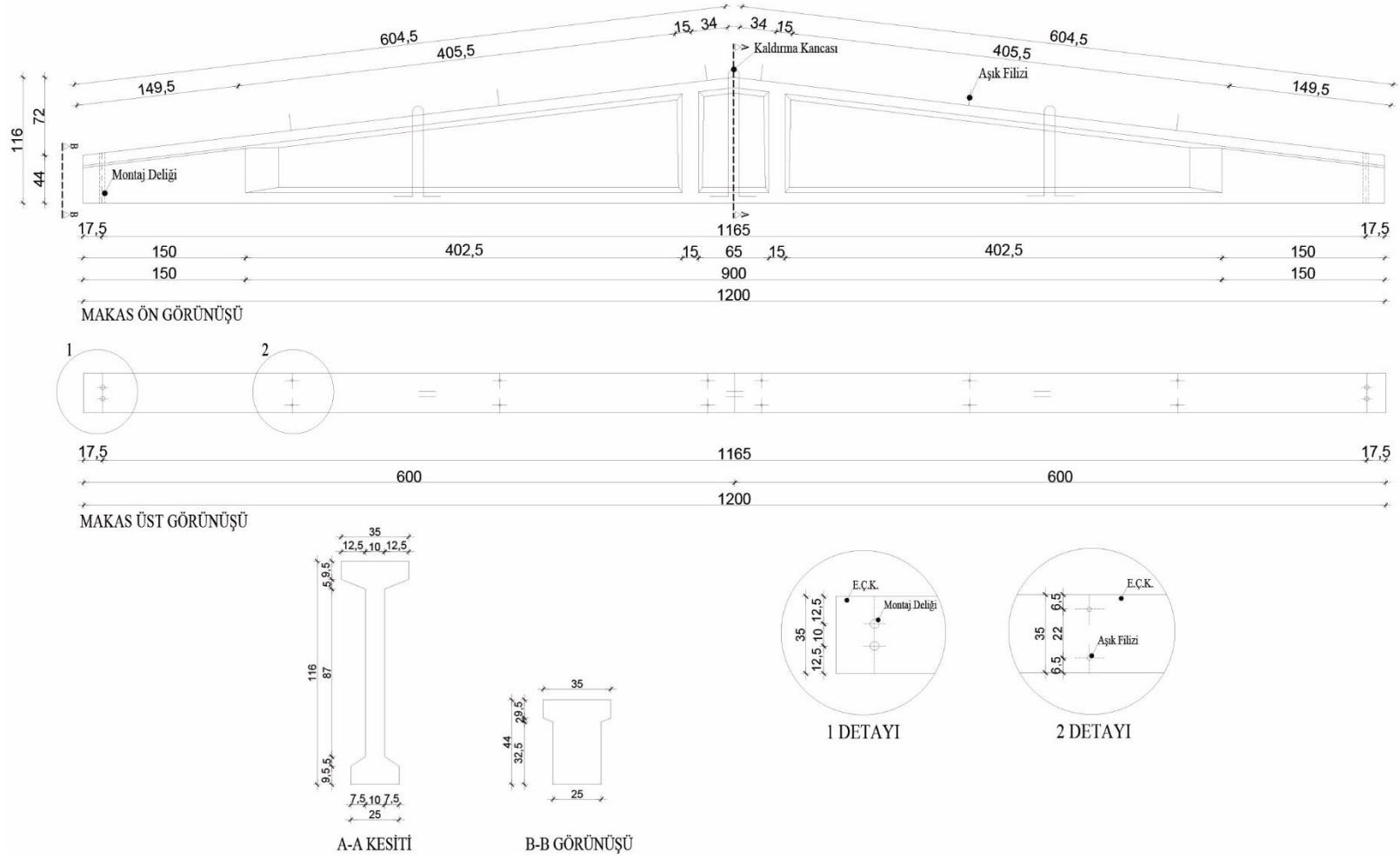
EK C: Mevcut Eğimli Çatı Kirişinin Yapısal Hesapları

EK D: Önerilen Eğimli Çatı Kirişinin Yapısal Hesapları

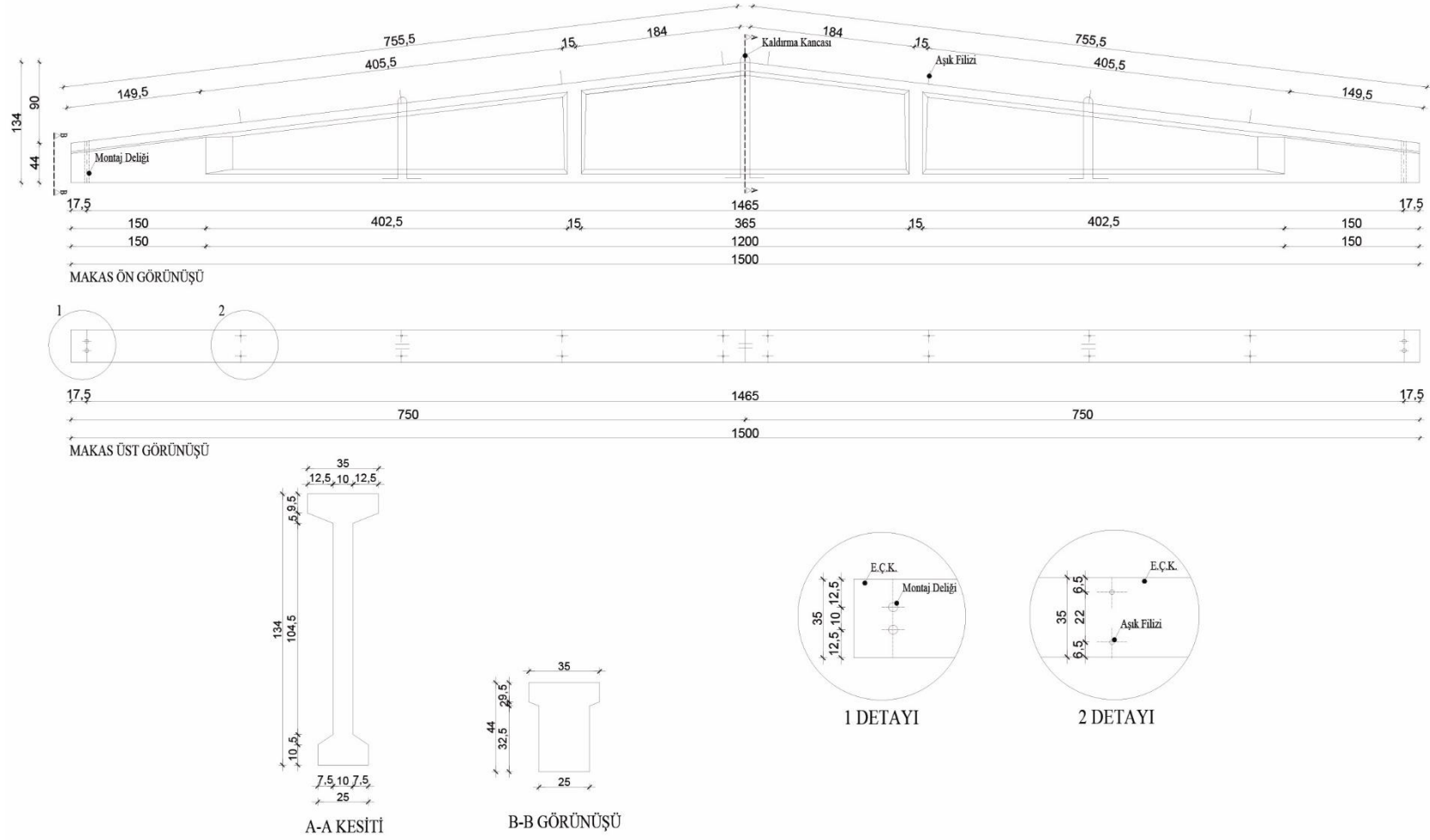




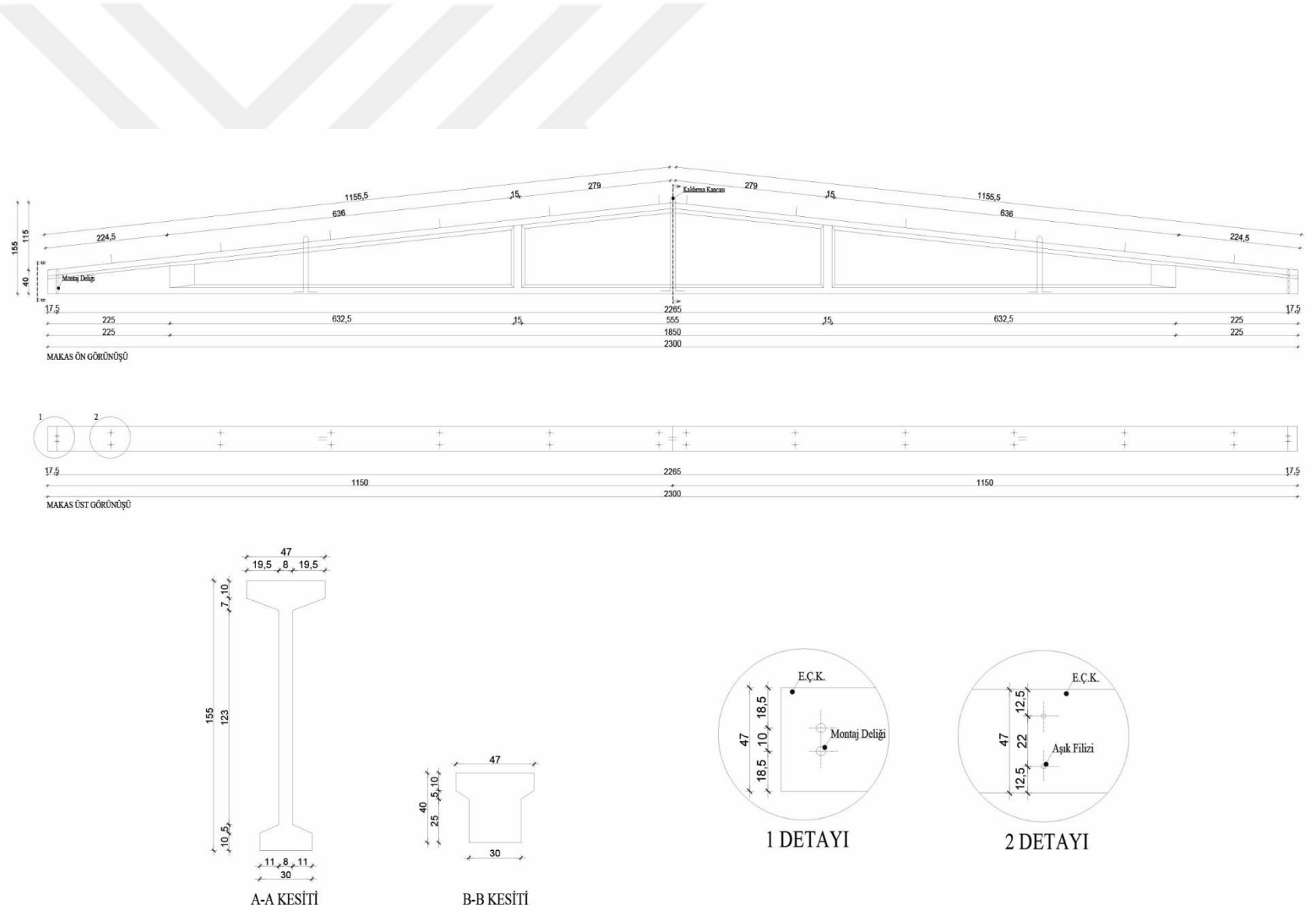
EK A



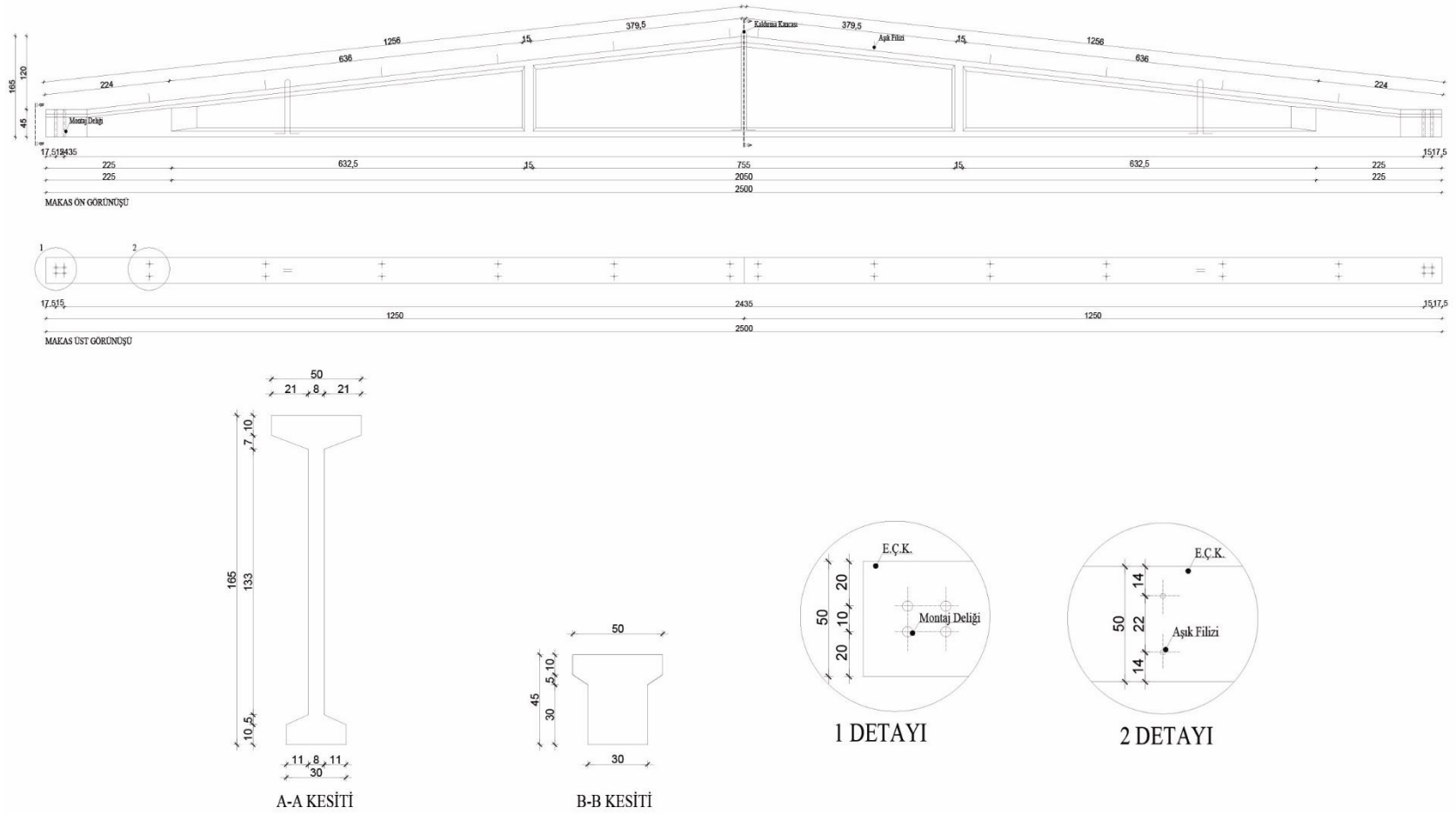
Şekil A.1 : 116 mahya eğimli çatı kirişı kalıbı.



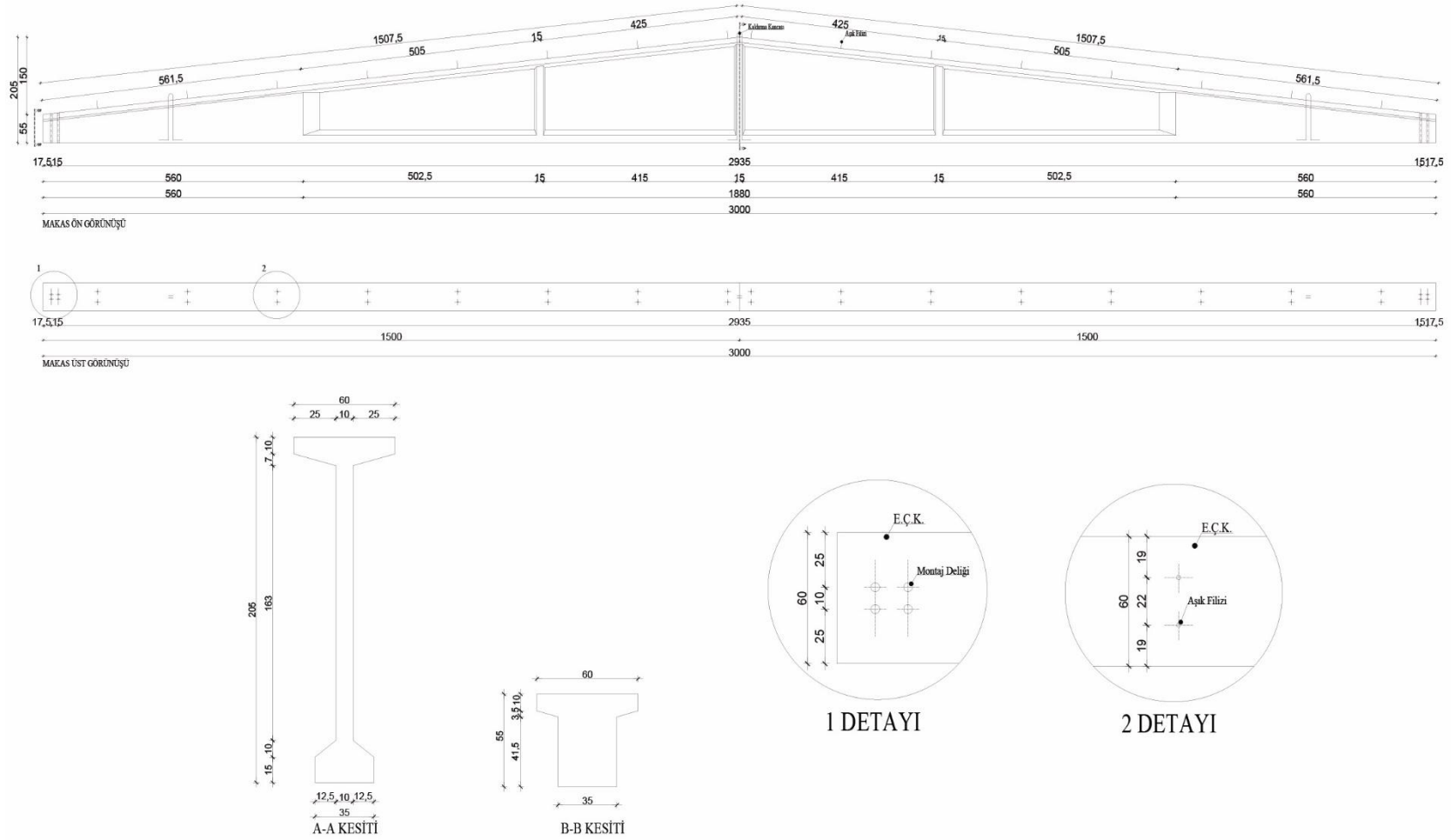
Şekil A.2 : 134 mahya eğimli çatı kirişı kalıbı.



Şekil A.4 : 155 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.

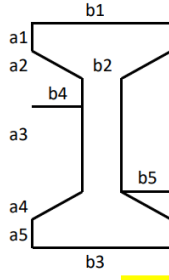


Şekil A.5 : 165 mahya eğimli çatı kirişı kalıbı.



Şekil A.6 : 205 mahya eğimli çatı kirişi kalıbı.

EK B



MAKAS TIPI				60/40/154,1			
kesit boyutları:			[cm]	kalıp boyutları:	[cm]	kiriş boyutları:	[cm]
a1=	12 cm	b1=	60,0 cm	L kalıp:	2445	hacim:	6,949
a2=	12 cm	b2=	9,0 cm	H mesnet:	56,95	L :	2756
a3=	108 cm	b3=	40,0 cm	H orta:	154 cm	L hesap:	2721
a4=	8 cm	b4=	25,5 cm	eğim:	0,07	h mesnet:	56,95
a5=	14 cm	b5=	15,5 cm	dolu kesit:	78,00	dolu kesit:	78,00
						paspayı:	2,5
						sol mesnetlenme:	17,5
						sağ mesnetlenme:	17,5

Beton: C 50

fck: 500 kg/cm²

γ_{mc}: 1,4

fcd: 357 kg/cm²

fctk: 24,7 kg/cm²

fctd: 17,7 kg/cm²

E_c: 4E+05 kg/cm²

fcjk: 338 kg/cm²

Çelik:

B 420 C

f_{yk}: 4200 kg/cm²

γ_{mc}: 1,15

f_{yd}: 3652,17 kg/cm²

E_s: 200000 kg/cm²

E_c.d: 2200 kg/cm²

f_{ywk}: 4200 kg/cm²

f_{ywd}: 3652,17 kg/cm²

(a)

Kesit Özellikleri:	m	1m	dkb	dks	L/4	L/2	L/4	dks	dkb	1m	m
x[cm]	17,5	100	78	113	689	1378	2067	2643	2678	2656	2738,5
h[cm]	58,2	64,0	62,5	64,9	105,5	154,1	105,5	64,9	62,5	64,0	58,2
d[cm]	54,7	60,5	59,0	61,4	102,0	150,6	102,0	61,4	59,0	60,5	54,7
a3[cm]	12,2	18,0	16,5	18,9	59,5	108,1	59,5	18,9	16,5	18,0	12,2
alan [cm ²]	2687,4	2920	2858	2060,3	2425,7	2862,9	2425,7	2060,3	2858	2920	2687,4
ağırlık merkezi	31,74	34,80	33,98	36,45	59,17	85,53	59,17	36,45	33,98	34,80	31,74
I _c [cm ⁴]	790171	1047858	974487	1013250	3621510	9367726	3621510	1013250	974487	1047858	790171
y alt [cm]	31,74	34,80	33,98	36,45	59,17	85,53	59,17	36,45	33,98	34,80	31,74
y üst [cm]	26,45	29,21	28,47	28,47	46,36	68,57	46,36	68,57	28,47	29,21	26,45
W1 [cm ³]	24896	30115	28676	27799	61210	109527	61210	27799	28676	30115	24896
W2 [cm ³]	29879	35878	34232	35592	78117	136614	78117	14777	34232	35878	29879

(b)

Şekil B.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.

YÜK ANALİZLERİ:

EÇK sol aks aralığı [m]:	10,60
EÇK sağ aks aralığı [m]:	10,60
EÇK yük mesafesi [m]:	10,60

Montaj Yükleri:

G	
yayılı yük:	
EÇK zati yükü[kg/m]:	630,4
aşık zati yükü[kg/m ²]:	49
ilave yük[kg/m ²]:	0
tekil yük:	
P[kg]:	0
x [m]:	0

Servis Yükleri:

G		Q	
yayılı yük:		yayılı yük:	
kaplama[kg/m ²]	12	kar yükü[kg/m ²]	75
güneş paneli[kg/m ²]	0	hareketli yük[kg/m]	0
tekil yük:		tekil yük:	
P[kg]:	0	P[kg]:	0
x [m]:	0	x [m]:	0

Şekil B.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.

		SOL MESNET		AÇIKLIK		SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]		V[kg]	M[kgm]
zati yükü[kg/m]:	630,4	8576,5	0	58342		8576,5	0
aşık zati yükü[kg/m2]:	519,4	7066,4	0	48069		7066,4	0
ilave yük[kg/m2]:	0	0	0	0		0	0
tekil yük:			0				
tekil yük:			0				
Montajda top. G :	1150	15643	0	106411		15643	0
kaplama[kg/m2]	127,2	1730,6	0	11772		1730,6	0
tekil yük:			0				0
tekil yük:			0				0
Serviste top. G :	1277	17374	0	118183		17374	0
hareketli yük[kg/m]	795	10816	0	73576		10816	0
hareketli yük[kg/m]	0	0	0	0		0	0
tekil yük:		0	0	0		0	0
tekil yük:		0	0	0		0	0
deprem momenti:			0				0
Serviste top. Q :	795	10816	0	73576		10816	0

Şekil B.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.

		SOL MESNET		AÇIKLIK		SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]		V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	3060	41629	0	283178		41629	0
G + Q	2072	28190	0	191759		28190	0
0,9G + E	1149	15636	0	106365		15636	0
0,9G - E	1149	15636	0	106365		15636	0
G + Q + E	2072	28190	0	191759		28190	0
G + Q - E	2072	28190	0	191759		28190	0

Şekil B.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.

Md hesabı	m	1m	dkb	dkb	L/4	L/2	L/4	dkb	dkb	1m	m
x [m]	0,18	1,00	0,78	1,13	6,89	13,78	20,67	26,43	26,78	26,56	27,39
EÇK zati yükü:	1511	8372	6584	9414	44889	59852	44889	9414	6584	8372	1511
aşık zati yükü:	1245	6898	5425	7756	36986	49314	36986	7756	5425	6898	1245
ilave yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montajda top. G :	2755	15269	12009	17170	81875	109166	81875	17170	12009	15269	2755
kaplama:	305	1689	1329	1899	9058	12077	9058	1899	1329	1689	305
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. G :	3060	16959	13337	19069	90933	121243	90933	19069	13337	16959	3060
kar yükü:	1905	10558	8303	11872	56610	75481	56610	11872	8303	10558	1905
hareketli yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. Q :	1905	10558	8303	11872	56610	75481	56610	11872	8303	10558	1905
deprem momenti:+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
deprem momenti:-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4 G+1,6 Q	7332	40634	31957	45692	217882	290510	217882	45692	31957	40634	7332
G + Q	4965	27516	21640	30941	147543	196724	147543	30941	21640	27516	4965
0,9G + E	2754	15263	12003	17162	81839	109119	81839	17162	12003	15263	2754
0,9G - E	2754	15263	12003	17162	81839	109119	81839	17162	12003	15263	2754
G + Q + E	4965	27516	21640	30941	147543	196724	147543	30941	21640	27516	4965
G + Q - E	4965	27516	21640	30941	147543	196724	147543	30941	21640	27516	4965
1,4 G	4284	23742	18672	26697	127306	169741	127306	26697	18672	23742	4284
Montaj Sırasında Md:	4284	23742	18672	26697	127306	169741	127306	26697	18672	23742	4284
Servis Sırasında Md:	7332	40634	31957	45692	217882	290510	217882	45692	31957	40634	7332
pb=	0,044	c30 k1=	0,70	pmin=	0,0039						
p'=	0,008	0,007	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,007	0,008
p=	0,025	0,023	0,030	0,029	0,017	0,012	0,017	0,029	0,030	0,023	0,025

Şekil B.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.

EĞİMLİ ÇATI KIRIŞI HESAPLARI											
Eğilme Donatısı Hesabı:											
	m	1m	dkb	dkb	L/4	L/2	L/4	dkb	dkb	1m	m
in flange	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Mr=	71819	136345	132508	138612	239056	359206	239056	138612	132508	136345	71819
Serviste taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$p \cdot p' < 0,85pb$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$pmin' < p$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$p < 0,02$	!!!	!!!	!!!	!!!	ok	ok	ok	!!!	!!!	!!!	!!!
Montajda taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

Şekil B.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.

Kesme Kuvveti Taşıma Gücü ve Kayma Donatısı Hesabı:

Td hesabı	m			dkb		dkb			L/4	L/2
X[m]	0,18	0,38	0,58	0,78	0,96	1,13	3,05	4,97	6,89	13,78
h[cm]	58,2	59,6	61,0	62,5	63,7	64,9	78,5	92,0	105,5	154,1
d[cm]	54,7	60,5	59,0	61,4	102,0	150,6	102,0	61,4	59,0	60,5
Montajda top. G :	15643	15411	15179	14947	14746	14545	12337	10130	7922	0
Serviste top. G :	17374	17116	16858	16601	16377	16154	13702	11250	8799	0
Serviste top. Q :	10816	10656	10495	10335	10196	10057	8530	7004	5478	0
1,4 G+1,6 Q	41629	41011	40394	39777	39242	38706	32832	26957	21082	0
G + Q	28190	27772	27354	26936	26573	26211	22233	18254	14276	0
0,9G + E	15636	15404	15173	14941	14740	14539	12332	10125	7918,7	0
0,9G - E	15636	15404	15173	14941	14740	14539	12332	10125	7918,7	0
G + Q + E	28190	27772	27354	26936	26573	26211	22233	18254	14276	0
G + Q - E	28190	27772	27354	26936	26573	26211	22233	18254	14276	0
1,4 G	24323	23962	23602	23241	22928	22616	19183	15750	12318	0
Vd montaj [kg]	23464	23117	22769	22421	22119	21817	18506	15195	11883	0
Vd servis [kg]	41629	41011	40394	39777	39242	38706	32832	26957	21082	0
Vc montaj [kg]	23784	24658	24775	24893	18796	17560	18680	19800	20919	24938
Vc servis [kg]	23784	24658	24775	24893	18796	17560	18680	19800	20919	24938
Vd-0,7*Vc montaj [kg]	6815,5	5856,2	5426,1	4995,9	8961,9	9525,5	5430,2	1334,9	-2760	-17457
Vd-0,7*Vc servis [kg]	24980	23751	23052	22352	26085	26415	19756	13097	6438,4	-17457
Ast hesap (montaj)	0,3033	0,2356	0,224	0,198	0,4009	0,2886	0,2429	0,0992	-0,285	-1,756
Ast min	0,4647	0,4647	0,4647	0,4647	0,5336	0,196	0,196	0,196	0,2614	0,2614
Ast hesap (servis)	1,1118	0,9555	0,9517	0,8858	1,1667	0,8004	0,8837	0,9732	0,6646	-1,756
Ast min	0,4647	0,4647	0,4647	0,4647	0,5336	0,196	0,196	0,196	0,2614	0,2614
Ast gereken (montaj)	0,4647	0,4647	0,4647	0,4647	0,5336	0,2886	0,2429	0,196	0,2614	0,2614
Ast gereken (servis)	1,1118	0,9555	0,9517	0,8858	1,1667	0,8004	0,8837	0,9732	0,6646	0,2614
Ast gereken[cm ² /m]	1,112	0,955	0,952	0,886	1,167	0,800	0,884	0,973	0,665	0,261

Şekil B.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.**Seçilen Eğilme Donatıları:**

L/2	üst uzak	adet	çap ϕ	alan[cm ²]
üst 7	3	3	20	9,429
üst 6	10,5	2	10	1,571
gövde 5	51,025	2	8	1,006
gövde 4	78,05	2	8	1,006
gövde 3	105,075	2	8	1,006
alt 2	138,9	3	26	15,934
alt 1	149,90375	36,1904	13,925	55,138

Sehim ve Çatlak Kontrolü:

TS 500 ÇİZELGE 13.1 e göre: l_n [cm]: 2721
 h [cm]: 154,1

Ani Sehim Hesabı:

h/l_n : 0,06

sehim hesabi gerektirir

lc [cm4]:	9367726	lcr [cm4]:	7449376	Mcr[tm]:	30,11	lef[cm4]:	7456251,9
n:	5,408	y[cm]:	137,5	Mmax[tm]:	196,72		
fters [cm]:	0		g ani sehim:[cm]	3,31			
föng [cm]:	0		q ani sehim:[cm]	2,06			
fzati [cm]:	2,98		ani sehim:[cm]	5,36			
filave[cm]:	0,00		zamana bağlı sehim:	8,34			
fkap[cm]:	0,33		toplam sehim:	8,34			
fhar.[cm]:	2,06						

ok

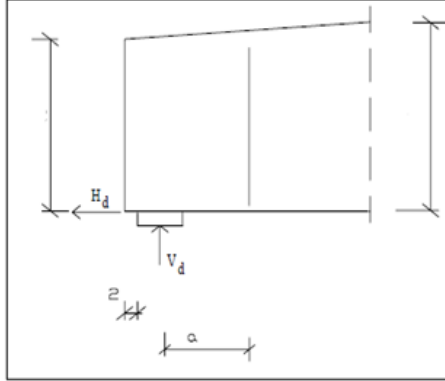
!!!

Şekil B.8: Seçilen eğilme donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.

İnceltilmiş Uçta Kesme ve Sürtünme Donatısı:

Çatlak yüzeyine paralel ve dik kuvvetler:

$V_u =$	$V_d \times \cos\theta$	$f_{yk}[\text{Mpa}]:$	420	$V_u[\text{kN}] =$	383,74759
$N_u =$	$V_d \times \sin\theta$	$f_{ck}[\text{Mpa}]:$	35	$N_u[\text{kN}] =$	139,6727
$\theta =$	20	$f_{yd}[\text{Mpa}]:$	365	$A_{cr}[\text{mm}^2] =$	233904,35
$V_d[\text{kN}] =$	408	$f_{cd}[\text{Mpa}]:$	25	$\gamma =$	0,07 çekme
$H_d[\text{kN}] =$	82	$w[\text{mm}] =$	200	$\gamma =$	-0,3 basınç
$b[\text{mm}] =$	400	$f_{ctd}[\text{Mpa}]:$	1,5		



$$V_{cr}[\text{kN}] = f_{ctd} \times A_{cr} \times (1 + \gamma \times N_u / A_{cr})$$

$$V_{cr}[\text{kN}] = 237,59$$

$V_u > V_{cr}$ atılandırılacaktır.

$$\max V_d = 0,2 \times f_{cd} \times A_{cr}$$

$$\max V_d = 1169,52$$

$V_u < \max V_d$ olmalıdır.

$$\mu = 1$$

$$\lambda = 1$$

$$\max \mu = 3,4$$

Temas Yüzeyi Durumu	μ	Maks μ_e	Maks V_d
İki beton birlikte	$1,4\lambda$	3,4	$V_u < 0,20 \times f_{cd} \times A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski beton yüzü pürüzlü	λ	2,9	
Ek sonradan dökülmüş, eski beton yüzü pürüzlü değil	$0,6\lambda$	2,2	
Ek çelik üzerine dökülmüş	$0,7\lambda$	2,4	
Normal betonlar için	$\lambda = 1,0$		
Hafif betonlar için	$\lambda = 0,75$		

Şekil B.9: Eğimli çatı kirişi inceltilmiş uçta kesme ve sürtünme donatısı hesabı.

Eğilme elemanlarında emniyet gerilmeleri:					Sehim hesapları:								
a. İrma Anı		fjk=	350	kg/cm2	Ec=	345000	fctd=	6,81					
σ _{aem} =		210			a. Öngerme kuvvetinden:								
σ' _{aem} =		14,97 nar çekme			M=					1684,576			
		29,93 Mesnet			Ecj=					3696442			
b. İrma Safhası:		fck=	500	kg/cm2	f1=					36,545	cm		
σ _{em} =		225			b. Kiriş Özgülükünden:								
σ' _{em} =		35,78			M=					58,3419			
Öngerme çeliğinin emniyet gerilmeleri:					Ecj=					3696442			
Es=					2000000								
0,6" halat		İçin fpk=	19000	kg/cm2	14250	kg/cm2	A=	1,524	f2=		-1,26566	cm	
Öngerme Kayıpları:					c. Asık ve Kaplama ağırlığından:								
a. Elastik Kısalma:					M=							59,8415	
σ _{co} =		228	Δσ _{co} =	659,47	kg/cm2	Ecj=							3696442
b. aksasyon:					f3=							-1,2982	cm
Δσ _{ps} =		1140	kg/cm2	d. Kar Yüklünden:									
c. Sünme:					M=							73,5757	
187,5		kg/cm2	Δσ _{sp} =	1350,00	kg/cm2	Ecj=							3696442
					f3=							-1,59614	cm
d. Rötöre:		Δσ _{sr} =	500,00	kg/cm2	Toplam Gerilme Kaybı:		3649,47						

EK C

MAKAS TİPİ				45/30/155			
kesit boyutları:		[cm]		kalıp boyutları:		[cm]	
a1=	10 cm	b1=	45,0 cm	L kalıp:	2445	hacim:	3,827
a2=	7 cm	b2=	8,0 cm	H mesnet:	45,00	L:	2200
a3=	123 cm	b3=	30,0 cm	H orta:	155 cm	L hesap:	2165
a4=	5 cm	b4=	18,5 cm	eğim:	0,10	h mesnet:	45,00
a5=	10 cm	b5=	11,0 cm	dolu kesit:	175,00	dolu kesit:	175,00
						paspayı:	2,5
						sol mesnetlenme:	17,5
						sağ mesnetlenme:	17,5

Beton:	C 40	Çelik:	B 420	C
fck:	400 kg/cm ²	f _{yk} :	4200 kg/cm ²	
γ _{mc} :	1,4	γ _{mc} :	1,15	
f _{cd} :	286 kg/cm ²	f _{yd} :	3652,17 kg/cm	16521,7
f _{ctk} :	22,1 kg/cm ²	Es:	2000000 kg/cm ²	
f _{ctd} :	15,8 kg/cm ²	E.ç.d:	2200 kg/cm ²	
E _c :	##### kg/cm ²	f _{ywk} :	4200 kg/cm ²	
f _{cjk} :	271 kg/cm ²	f _{ywd} :	3652,17 kg/cm ²	

(a)

Kesit Özellikleri:	m	1m	dkb	dks	L/4	L/2	L/4	dks	dkb	1m	m
x[cm]	17,5	100	175	210	550	1100	1650	1990	2025	2100	2182,5
h[cm]	46,8	55,0	62,5	66,0	100,0	155,0	100,0	66,0	62,5	55,0	46,8
d[cm]	43,3	51,5	59,0	62,5	96,5	151,5	96,5	62,5	59,0	51,5	43,3
a3[cm]	14,8	23,0	30,5	34,0	68,0	123,0	68,0	34,0	30,5	23,0	14,8
alan [cm ²]	1605	1852,5	2077,5	1302,5	1574,5	2014,5	1574,5	1302,5	2077,5	1852,5	1605
ağırlık merkezi	25,45	29,75	33,62	37,38	56,05	85,29	56,05	37,38	33,62	29,75	25,45
I _c [cm ⁴]	306944	495952	722188	714941	2073758	6255182	2073758	714941	722188	495952	306944
y alt [cm]	25,45	29,75	33,62	37,38	56,05	85,29	56,05	37,38	33,62	29,75	25,45
y üst [cm]	21,30	25,25	28,88	28,62	43,95	69,71	43,95	69,71	28,88	25,25	21,30
W1 [cm3]	12059	16670	21479	19127	37001	73340	37001	19127	21479	16670	12059
W2 [cm3]	14413	19643	25009	24979	47180	89732	47180	10256	25009	19643	14413

(b)

Şekil C.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.

YÜK ANALİZLERİ:

EÇK sol aks aralığı [m]:	8,00
EÇK sağ aks aralığı [m]:	8,00
EÇK yük mesafesi [m]:	8,00

Montaj Yükleri:

G	
yavırlı yük:	
EÇK zati yükü[kg/m]:	434,84
aşık zati yükü[kg/m2]:	27
ilave yük[kg/m2]:	0
tekil yük:	
P[kg]:	0
x [m]:	0

Servis Yükleri:

G	Q
yavırlı yük:	yavırlı yük:
kaplama[kg/m2]	12
güneş paneli[kg/m2]	0
hareketli yük[kg/m]	0
tekil yük:	tekil yük:
P[kg]:	0
x [m]:	0

Şekil C.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.

		SOL MESNET		AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
zati yükü[kg/m]:	434,84	4707,2	0	25477	4707,2	0
aşık zati yükü[kg/m2]:	216	2338,2	0	12656	2338,2	0
ilave yük[kg/m2]:	0	0	0	0	0	0
tekil yük:			0			
tekil yük:			0			
Montajda top. G :	651	7045	0	38133	7045	0
kaplama[kg/m2]	96	1039,2	0	5625	1039,2	0
tekil yük:			0			0
tekil yük:			0			0
Serviste top. G :	747	8085	0	43758	8085	0
hareketli yük[kg/m]	600	6495	0	35154	6495	0
hareketli yük[kg/m]	0	0	0	0	0	0
tekil yük:		0	0	0	0	0
tekil yük:		0	0	0	0	0
deprem momenti:			0			0
Serviste top. Q :	600	6495	0	35154	6495	0

Şekil C.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.

		SOL MESNET		AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	2006	21710	0	117507	21710	0
G + Q	1347	14580	0	78912	14580	0
0,9G + E	672	7276	0	39382	7276	0
0,9G - E	672	7276	0	39382	7276	0
G + Q + E	1347	14580	0	78912	14580	0
G + Q - E	1347	14580	0	78912	14580	0

Şekil C.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.

Md hesabı	m	1m	dkb	dkb	L/4	L/2	L/4	dkb	dkb	1m	m
x [m]	0,18	1,00	1,75	2,10	5,50	11,00	16,50	19,90	20,25	21,00	21,83
EÇK zati yükü:	830	4566	7705	9086	19731	26308	19731	9086	7705	4566	830
aşık zati yükü:	412	2268	3827	4513	9801	13068	9801	4513	3827	2268	412
ilave yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montajda top. G :	1243	6834	11532	13599	29532	39376	29532	13599	11532	6834	1243
kaplama:	183	1008	1701	2006	4356	5808	4356	2006	1701	1008	183
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. G :	1426	7842	13233	15605	33888	45184	33888	15605	13233	7842	1426
kar yükü:	1146	6300	10631	12537	27225	36300	27225	12537	10631	6300	1146
hareketli yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. Q :	1146	6300	10631	12537	27225	36300	27225	12537	10631	6300	1146
deprem momenti:+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
deprem momenti:-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4 G+1,6 Q	3830	21059	35536	41907	91003	121337	91003	41907	35536	21059	3830
G + Q	2572	14142	23864	28142	61113	81484	61113	28142	23864	14142	2572
0,9G + E	1284	7058	11910	14045	30499	40665	30499	14045	11910	7058	1284
0,9G - E	1284	7058	11910	14045	30499	40665	30499	14045	11910	7058	1284
G + Q + E	2572	14142	23864	28142	61113	81484	61113	28142	23864	14142	2572
G + Q - E	2572	14142	23864	28142	61113	81484	61113	28142	23864	14142	2572
1,4 G	1997	10979	18526	21847	47443	63257	47443	21847	18526	10979	1997
Montaj Sırasında Md:	1997	10979	18526	21847	47443	63257	47443	21847	18526	10979	1997
Servis Sırasında Md:	3830	21059	35536	41907	91003	121337	91003	41907	35536	21059	3830

Şekil C.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.

Eğilme Donatısı Hesabı:

	m	1m	dkb	dkb	L/4	L/2	L/4	dkb	dkb	1m	m
in flange	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Mr=	21141	50562	58517	62229	98291,49	156627,4	98291	62229	58517	50562	21141
Serviste taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho \cdot \rho' < 0,85 \rho_b$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho_{min} < \rho$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho < 0,02$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Montajda taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

Şekil C.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.

Kesme Kuvveti Taşıma Gücü ve Kayma Donatısı Hesabı:

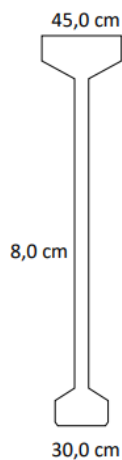
Td hesabı	m			dkb		dkb			L/4	L/2
X[m]	0,18	0,70	1,23	1,75	1,93	2,10	3,23	4,37	5,50	11,00
h[cm]	46,8	52,0	57,3	62,5	64,3	66,0	77,3	88,7	100,0	155,0
d[cm]	43,3	51,5	59,0	62,5	96,5	151,5	96,5	62,5	59,0	51,5
Montajda top. G :	7045	6704	6362	6020	5906	5792	5055	4317	3580	0
Serviste top. G :	8085	7692	7300	6908	6778	6647	5800	4954	4108	0
Serviste top. Q :	6495	6180	5865	5550	5445	5340	4660	3980	3300	0
1,4 G+1,6 Q	21710	20657	19605	18552	18201	17850	15577	13304	11031	0
G + Q	14580	13872	13165	12458	12223	11987	10460	8934	7408	0
0,9G + E	7276,1	6923,2	6570,3	6217,4	6099,8	5982,2	5220,4	4458,6	3696,9	0
0,9G - E	7276,1	6923,2	6570,3	6217,4	6099,8	5982,2	5220,4	4458,6	3696,9	0
G + Q + E	14580	13872	13165	12458	12223	11987	10460	8934	7408	0
G + Q - E	14580	13872	13165	12458	12223	11987	10460	8934	7408	0
1,4 G	11318	10769	10221	9672	9489	9306	8121	6936	5751	0
Vd montaj [kg]	10568	10055	9543	9030	8860	8689	7582	6476	5369	0
Vd servis [kg]	21710	20657	19605	18552	18201	17850	15577	13304	11031	0
Vc montaj [kg]	12580	15465	15811	16156	10619	9784	10530	11275	12020	15638
Vc servis [kg]	12580	15465	15811	16156	10619	9784	10530	11275	12020	15638
Vd-0,7*Vc montaj [kg]	1762,3	-770,3	-1525	-2279	1426,5	1839,9	211,62	-1417	-3045	-10947
Vd-0,7*Vc servis [kg]	12905	9831,6	8537	7242,3	10768	11001	8206	5411,2	2616,4	-10947
Ast hesap (montaj)	0,0868	-0,032	-0,157	-0,222	0,0899	0,0739	0,0133	-0,138	-0,314	-1,293
Ast min	0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4935	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078
Ast hesap (servis)	0,6354	0,4066	0,8804	0,7051	0,6789	0,4418	0,5174	0,5268	0,2698	-1,293
Ast min	0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4935	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078
Ast gereken (montaj)	0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4935	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078	0,2078
Ast gereken (servis)	0,6354	0,4066	0,8804	0,7793	0,6789	0,4418	0,5174	0,5268	0,2698	0,2078
Ast gereken[cm ² /m]	0,635	0,407	0,880	0,779	0,679	0,442	0,517	0,527	0,270	0,208
Ast seçilen[cm ² /m]	1,571	1,571	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006
Kol Sayısı:	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Çap: [mm]	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8
Aralık [cm]:	7	7	20	20	20	20	20	20	20	20
bw [cm]:	30	30	30	30	19	8	8	8	8	8
	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\sigma_s' < f_{yc}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$\sigma_s' < f_{yc}$	2578,622158	4492,9	4492,9	4492,9	4492,9	4492,9	4492,9	4492,9	4492,9	2578,6

Şekil C.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.

L/2	üst uzak	adet	çap φ	alan[cm2]	
üst 7	2,7	3	14	4,620	3Ø14
üst 6	8,4	2	12	2,263	2Ø12
gövde 5	47,75	2	8	1,006	2Ø8
gövde 4	78,5	2	8	1,006	2Ø8
gövde 3	109,25	2	8	1,006	2Ø8
alt 2	143,5	3	20	9,429	3Ø20
alt 1	150,80375	13,5714	13,925	20,677	3 adet 0,6" öngerme halatı
Sehim ve Çatlak Kontrolü:			ln[cm]:	2165	
TS 500 ÇİZELGE 13.1 e göre:			h [cm]:	155	
Ani Sehim Hesabi:			h\ln:	0,07	sehim hesabi gerektirir
lc [cm4]:	6255182	lcr [cm4]:	3586198	Mcr[tm]:	17,05
n:	5,788	y[cm]:	145,0	Mmax[tm]:	81,48
fters [cm]:	0	g ani sehim:[cm]		1,71	ok
föng [cm]:	0	q ani sehim:[cm]		1,38	
fzati [cm]:	1,49	ani sehim:[cm]		3,09	ok
filave[cm]:	0,00	zamana bağlı sehim:		4,69	
fkap[cm]:	0,22	toplam sehim:		4,69	
fhar.[cm]:	1,38	montajda sehim:[cm]		-2,76	
		servis sehim:[cm]		-2,71	

Şekil C.8: Seçilen eğimle donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.

Yanal Kararlılık Kontrolü:



10 cm $E_c[\text{MPa}] = 33898$
7 cm $b_{\text{üst}}[\text{mm}] = 450$
 $H[\text{mm}] = 1550$

Kaldırma kancaları mesafesi a' 'dır.

Ln/b=	37,78	<	50	ok!!!
h/b=	3,44	<	3,5	ok!!!

(TBDY2018)

(TBDY2018)

	xt	yt
Ağırlık Merkezi[mm]=	225	697
Kesit Alanı , F[m2]=	0,20145	m2
Atalet Momenti Iy[m4]=	0,062552	m4

Kesit birim boy ağırlığı $w = 5,04 \quad \text{kN/m}$

$$L_n = L[m] = 17,00$$

$a[m] = 2,5$ (Kaldırma kancası yeri)

$$\Delta y = (w \times L_n \times L_n / 384 \times E_c \times I_y) \times (5 \times L_n \times L_n - 24 \times a \times a)$$

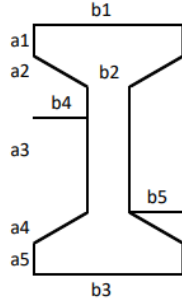
$$\Delta y = 0,00231$$

$$y_t/\Delta y = 301,14 > 2,00 \text{ ok!!!}$$

Şekil C.9: Eğimli çatı kirişi yanal kararlılık kontrolü.

ÖNGERİLMELİ ÇATI MAKASI HESABI															
aşık yükü: 0,027 t/m ²		kar yükü: 0,075 t/m ²		L= 22,00 kaplama: 0,012 t/m ²		a= 8,00 m		M[tm]		Aktarma(Öng+g1)		Kullanım(Öng+g1+g2+g3)		Kullanım(Öng+g1+g2+g3+q)	
										a ₁ a ₂		a ₁ a ₂		a ₁ a ₂	

EK D



MAKAS TİPİ				45/30/155			
kesit boyutları:		[cm]		kalıp boyutları:		[cm]	
a1=	10 cm	b1=	45,0 cm	L kalıp:	2445	hacim:	3,219
a2=	7 cm	b2=	4,0 cm	H mesnet:	45,00	L :	2200
a3=	123 cm	b3=	30,0 cm	H orta:	155 cm	L hesap:	2165
a4=	5 cm	b4=	20,5 cm	eğim:	0,10	h mesnet:	45,00
a5=	10 cm	b5=	13,0 cm	dolu kesit:	175,00	dolu kesit:	175,00
				paspayı:		2,5	
				sol mesnetlenme:		17,5	
				sağ mesnetlenme:		17,5	

Beton:	C 40	Çelik:	B 420	C
fck:	400 kg/cm ²	fyk:	4200 kg/cm ²	
γ _{mc} :	1,4	γ _{mc} :	1,15	
fcd:	286 kg/cm ²	f _{yd} :	3652,17 kg/cm ²	16521,7
ftk:	22,1 kg/cm ²	Es:	2000000 kg/cm ²	
ftd:	15,8 kg/cm ²	E.ç.d:	2200 kg/cm ²	
Ec:	##### kg/cm ²	fywk:	4200 kg/cm ²	
fcjk:	271 kg/cm ²	fywd:	3652,17 kg/cm ²	

(a)

Kesit Özellikleri:	m	1m	dkb	dks	L/4	L/2	L/4	dks	dkb	1m	m
x[cm]	17,5	100	175	210	550	1100	1650	1990	2025	2100	2182,5
h[cm]	46,8	55,0	62,5	66,0	100,0	155,0	100,0	66,0	62,5	55,0	46,8
d[cm]	43,3	51,5	59,0	62,5	96,5	151,5	96,5	62,5	59,0	51,5	43,3
a3[cm]	14,8	23,0	30,5	34,0	68,0	123,0	68,0	34,0	30,5	23,0	14,8
alan [cm ²]	1605	1852,5	2077,5	1142,5	1278,5	1498,5	1278,5	1142,5	2077,5	1852,5	1605
ağırlık merkezi	25,45	29,75	33,62	38,06	57,56	88,14	57,56	38,06	33,62	29,75	25,45
Ic [cm ⁴]	306944	495952	722188	688818	1922215	5490443	1922215	688818	722188	495952	306944
y alt [cm]	25,45	29,75	33,62	38,06	57,56	88,14	57,56	38,06	33,62	29,75	25,45
y üst [cm]	21,30	25,25	28,88	27,94	42,44	66,86	42,44	66,86	28,88	25,25	21,30
W1 [cm ³]	12059	16670	21479	18099	33396	62291	33396	18099	21479	16670	12059
W2 [cm ³]	14413	19643	25009	24652	45291	82121	45291	10303	25009	19643	14413

(b)

Şekil D.1: Eğimli çatı kirişi kesit özellikleri.

YÜK ANALİZLERİ:

EÇK sol aks aralığı [m]:	8,00
EÇK sağ aks aralığı [m]:	8,00
EÇK yük mesafesi [m]:	8,00

Montaj Yükleri:

G	
yayılı yük:	
EÇK zati yükü[kg/m]:	365,84
aşık zati yükü[kg/m ²]:	27
ilave yük[kg/m ²]:	0
tekil yük:	
P[kg]:	0
x [m]:	0

Servis Yükleri:

G		Q	
yayılı yük:		yayılı yük:	
kaplama[kg/m ²]:	12	kar yükü[kg/m ²]:	75
güneş paneli[kg/m ²]:	0	hareketli yük[kg/m]:	0
tekil yük:		tekil yük:	
P[kg]:	0	P[kg]:	0
x [m]:	0	x [m]:	0

Şekil D.2: Eğimli çatı kirişi yük bilgileri.

	q[kg/m]	SOL MESNET		AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
		V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
zati yükü[kg/m]:	365,84	3960,2	0	21434	3960,2	0
aşık zati yükü[kg/m2]:	216	2338,2	0	12656	2338,2	0
ilave yük[kg/m2]:	0	0	0	0	0	0
tekil yük:			0			
tekil yük:			0			
Montajda top. G :	582	6298	0	34090	6298	0
kaplama[kg/m2]	96	1039,2	0	5625	1039,2	0
tekil yük:			0			0
tekil yük:			0			0
Serviste top. G :	678	7338	0	39715	7338	0
hareketli yük[kg/m]	600	6495	0	35154	6495	0
hareketli yük[kg/m]	0	0	0	0	0	0
tekil yük:		0	0	0	0	0
tekil yük:		0	0	0	0	0
deprem momenti:			0			0
Serviste top. Q :	600	6495	0	35154	6495	0

Şekil D.3: Eğimli çatı kirişi yük analizi.

YÜK KOMBİNASYONLARI	q[kg/m]	SOL MESNET		AÇIKLIK	SAĞ MESNET	
		V[kg]	M[kgm]	M[kgm]	V[kg]	M[kgm]
1,4 G+1,6 Q	1909	20665	0	111847	20665	0
G + Q	1278	13833	0	74869	13833	0
0,9G + E	610	6604	0	35743	6604	0
0,9G - E	610	6604	0	35743	6604	0
G + Q + E	1278	13833	0	74869	13833	0
G + Q - E	1278	13833	0	74869	13833	0

Şekil D.4: Eğimli çatı kirişi yük kombinasyonlarında oluşan kesit tesirleri hesabı.

Md hesabı	m	1m	dkb	dks	L/4	L/2	L/4	dks	dkb	1m	m
x [m]	0,18	1,00	1,75	2,10	5,50	11,00	16,50	19,90	20,25	21,00	21,83
EÇK zati yükü:	699	3841	6482	7644	16600	22133	16600	7644	6482	3841	699
aşık zati yükü:	412	2268	3827	4513	9801	13068	9801	4513	3827	2268	412
ilave yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montajda top. G :	1111	6109	10309	12157	26401	35201	26401	12157	10309	6109	1111
kaplama:	183	1008	1701	2006	4356	5808	4356	2006	1701	1008	183
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. G :	1294	7117	12010	14163	30757	41009	30757	14163	12010	7117	1294
kar yükü:	1146	6300	10631	12537	27225	36300	27225	12537	10631	6300	1146
hareketli yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tekil yük:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviste top. Q :	1146	6300	10631	12537	27225	36300	27225	12537	10631	6300	1146
deprem momenti:+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
deprem momenti:-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4 G+1,6 Q	3646	20044	33825	39888	86620	115493	86620	39888	33825	20044	3646
G + Q	2440	13417	22642	26700	57982	77309	57982	26700	22642	13417	2440
0,9G + E	1165	6406	10809	12747	27681	36908	27681	12747	10809	6406	1165
0,9G - E	1165	6406	10809	12747	27681	36908	27681	12747	10809	6406	1165
G + Q + E	2440	13417	22642	26700	57982	77309	57982	26700	22642	13417	2440
G + Q - E	2440	13417	22642	26700	57982	77309	57982	26700	22642	13417	2440
1,4 G	1812	9964	16815	19829	43060	57413	43060	19829	16815	9964	1812
Montaj Sırasında Md:	1812	9964	16815	19829	43060	57413	43060	19829	16815	9964	1812
Servis Sırasında Md:	3646	20044	33825	39888	86620	115493	86620	39888	33825	20044	3646

Şekil D.5: Eğimli çatı kirişi Md hesabı.

Eğilme Donatısı Hesabı:

	m	1m	dkb	dks	L/4	L/2	L/4	dks	dkb	1m	m
in flange	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Mr=	23730	45572	52673	55987	88180,75	140258,5	88181	55987	52673	45572	23730
Serviste taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho \cdot \rho' < 0,85 \rho_b$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho_{min} < \rho$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
$\rho < 0,02$	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Montajda taşıma gücü:	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

Şekil D.6: Eğimli çatı kirişi eğilme donatısı hesabı.

Kesme Kuvveti Taşıma Gücü ve Kayma Donatısı Hesabı:

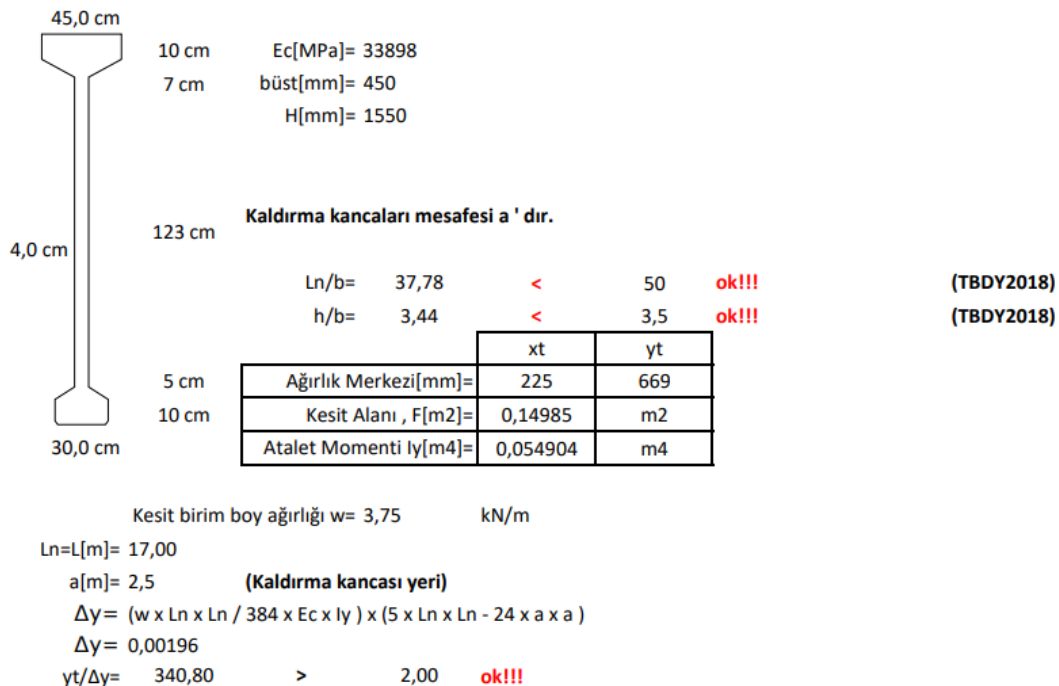
Td hesabı		m			dkb		dkb		L/4	L/2	
X[m]		0,18	0,70	1,23	1,75	1,93	2,10	3,23	4,37	5,50	11,00
h[cm]		46,8	52,0	57,3	62,5	64,3	66,0	77,3	88,7	100,0	155,0
d[cm]		43,3	51,5	59,0	62,5	96,5	151,5	96,5	62,5	59,0	51,5
Montajda top. G :		6298	5993	5687	5382	5280	5178	4519	3860	3200	0
Serviste top. G :		7338	6982	6626	6270	6151	6033	5265	4496	3728	0
Serviste top. Q :		6495	6180	5865	5550	5445	5340	4660	3980	3300	0
1,4 G+1,6 Q		20665	19662	18660	17658	17324	16990	14826	12663	10499	0
G + Q		13833	13162	12491	11820	11596	11373	9925	8476	7028	0
0,9G + E		6603,8	6283,5	5963,3	5643	5536,2	5429,5	4738,1	4046,7	3355,3	0
0,9G - E		6603,8	6283,5	5963,3	5643	5536,2	5429,5	4738,1	4046,7	3355,3	0
G + Q + E		13833	13162	12491	11820	11596	11373	9925	8476	7028	0
G + Q - E		13833	13162	12491	11820	11596	11373	9925	8476	7028	0
1,4 G		10273	9774	9276	8778	8612	8446	7370	6295	5219	0
Vd montaj [kg]		9448	8989	8531	8073	7920	7768	6778	5789	4800	0
Vd servis [kg]		20665	19662	18660	17658	17324	16990	14826	12663	10499	0
Vc montaj [kg]		12580	15811	15983	16156	9287	8469	8841	9214	9587	11396
Vc servis [kg]		12580	15811	15983	16156	9287	8469	8841	9214	9587	11396
Vd-0,7*Vc montaj [kg]		641,89	-2078	-2657	-3236	1419,6	1839,5	589,48	-660,6	-1911	-7977
Vd-0,7*Vc servis [kg]		11859	8594,9	7471,8	6348,7	10823	11062	8637,4	6213	3788,6	-7977
Ast hesap (montaj)		0,0316	-0,086	-0,274	-0,315	0,0895	0,0554	0,0279	-0,048	-0,148	-0,707
Ast min		0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4416	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779
Ast hesap (servis)		0,5839	0,3554	0,7706	0,6181	0,6824	0,3332	0,4085	0,4536	0,293	-0,707
Ast min		0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4416	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779
Ast gereken (montaj)		0,2727	0,2727	0,7793	0,7793	0,4416	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779	0,0779
Ast gereken (servis)		0,5839	0,3554	0,7793	0,7793	0,6824	0,3332	0,4085	0,4536	0,293	0,0779
Ast gereken[cm ² /m]		0,584	0,355	0,779	0,779	0,682	0,333	0,408	0,454	0,293	0,078
Ast seçilen[cm ² /m]		1,571	1,571	1,006	1,006	1,006	0,566	0,566	0,566	0,566	0,566
Kol Sayısı:		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Çap: [mm]		10	10	8	8	8	6	6	6	6	6
Aralık [cm]:		7	7	20	20	20	15	15	15	15	15
bw [cm]:		30	30	30	30	17	4	4	4	4	4
		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
αs' < fyd	1	0	0	0	0	0	Q188/188				
αs' < fyd	2950,473897	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	4272,5	2950,5

Şekil D.7: Eğimli çatı kirişi kesme kuvveti taşıma gücü ve kayma donatısı hesabı.

L/2	üst uzak	adet	çap φ	alan[cm2]	
üst 7	2,7	3	14	4,620	3Ø14
üst 6	8,4	2	12	2,263	2Ø12
gövde 5	47,75			0,000	---
gövde 4	78,5			0,000	---
gövde 3	109,25			0,000	---
alt 2	143,3	3	16	6,034	3Ø16
alt 1	150,80375	13,5714	13,925	20,677	3 adet 0,6" öngerme halatı
Sehim ve Çatlak Kontrolü:			ln[cm]:	2165	
TS 500 ÇİZELGE 13.1 e göre:			h [cm]:	155	
Ani Sehim Hesabi:			h\ln:	0,07	sehim hesabi gerektirir
lc [cm4]:	5490443	lcr [cm4]:	3226805	Mcr[tm]:	14,83
n:	5,788	y[cm]:	146,3	Mmax[tm]:	77,31
fters [cm]:	0		g ani sehim:[cm]	1,73	
föng [cm]:	0		q ani sehim:[cm]	1,53	ok
fzati [cm]:	1,49		ani sehim:[cm]	3,26	
filave[cm]:	0,00		zamana bağlı sehim:	4,88	
fkap[cm]:	0,25		toplam sehim:	4,88	ok
fhar.[cm]:	1,53		montajda sehim:[cm]	-2,75	
			servis sehim:[cm]	-2,60	

Şekil D.8: Seçilen eğimle donatıları ve çatı kirişi sehim hesabı.

Yanal Kararlılık Kontrolü:



Şekil D.9: Eğimli çatı kirişi yanal kararlılık kontrolü

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Selin KOCA

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık (Fakülte 2.si, Bölüm 1.si).

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çelik, O.Ç., Bal, A., Atasever, K., Emanet, S., Koca, S.** (2020). 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya)-Sivrice (Elazığ) Depremi'nden Gözlemler (M_w 6.7-Doğu Anadolu Fay Zonu), *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 134, 5-29
- **Koca, S., Bal, A., Çelik, O.Ç.** (2022). Prefabrike Betonarme Endüstri Yapılarında Eğimli Çatı Kirişi-Sistem Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 144, 7-27

DiĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kopuz, A., Bal, A., Koca, S.** 2018. Cumhuriyet Dönemine Ait Yapı Örnekleri; Çorlu Askeri Hastane, Kolordu Ve Orduevi Binaları. 2. *International Congress Architecture And Design*, 2018 Çanakkale, Turkey.
- **Bal, A., Koca, S.** 2018. Reaktif Pudra Betonunun Kent Mobilyaları Tasarımında Kullanımının Araştırılması. 2. *International Congress Architecture And Design*, 2018 Çanakkale, Turkey.
- **Kopuz, A., Bal, A., Koca, S., Kılıç, A. M.** 2018. Experimental Investigation Of Light Weight Concrete Properties By Using A Floating Construction Design. *Dicle University 1.Architecture Symposium*, 2018 Diyarbakır, Turkey.
- **Bal, A., Koca, S.** 2019. Hybrid Retrofitting Use in Prefabricated Concrete Industry Structure with Steel Bracing-Cfrp and Project Applications. *IESKO 2019 VI. International Earthquake Symposium Kocaeli 2019*, September 25-27, 2019 Kocaeli, Turkey.
- **Bal, A., Kopuz, A., Güney, Ö., Koca, S.** 2021. Evaluation Of Architecture And Earthquake Behaviour Of Florya Atatürk Marine Mansion Building. *Dicle University 2.Architecture Symposium*, October 11-12, 2021 Diyarbakır, Turkey.
- **Bal, D. Ç., Koca, S.** 2022. Economic Feasibility Assessment in Design of Sustainable Prefabricated Industrial Buildings/ Agriculture and The Case Study of

Demir Ekosan. *6th International Conference on Engineering Technologies (ICENTE 2022)*, November 17-19, 2022, Konya, Turkey.

- **Özkan, C., Bal, A., Koca, S.** 2022. Designed According to TEC1975, Retrofitted According to TEC1998, Compared Earthquake Performance of Existing Prefabricated Concrete Industrial Structure According to TEC2007 And TBEC2018 *6th International Conference on Engineering Technologies (ICENTE 2022)*, November 17-19, 2022, Konya, Turkey. (özet gönderildi.)

