

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PREKAST PERDE VE DÖŞEMELİ ÇELİK YAPININ
DİNAMİK YÜKLER ALTINDA DOĞRUSAL
OLMAYAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

VEYSEL ÖZÇOMAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PREKAST PERDE VE DÖŞEMELİ ÇELİK
YAPININ DİNAMİK YÜKLER ALTINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ

VEYSEL ÖZÇOMAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE
2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF NONLINEAR
BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURE WITH
PRECAST WALL AND SLAB UNDER
DYNAMIC LOADS**

VEYSEL ÖZÇOMAK
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL PROGRAM

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE
2020



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04/03/2020 tarih ve 2020/14 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13/04/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Veysel ÖZÇOMAK'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ferhat PAKDAMAR

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Erkan AKPINAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../2020 tarih ve 2020/.... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Prekast yapıları geleneksel betonarme yapılardan ayıran en önemli nokta bağlantıların monolitik olmamasıdır. Yapının yatay ve düşey yükler altında stabil davranması ve herhangi bir lokal hasarda ayakta kalabilmesi için elemanlar arasındaki bağlantıların yeterli dayanımda olması çok önemlidir. Bu bağ kuvvetlerinin belirlenmesinde diyafram analizi ve araç çarpma yükü gibi lokal hasar meydana getirebilecek analizler hayati önem taşımaktadır. Bu analizlerin yapılmasında genellikle analitik yöntemler tercih edilir. Bunun nedeni üç boyutlu doğru hesap modelinin yapılabilmesi için eleman bağlantılarının ve davranışlarının hesap programına doğru tarifişlenmesinin kolay olmaması ve yapılan hesap kabulleridir. Bu tez çalışmasında bu durumlar ayrı ayrı irdelenerek ele alınmıştır. Statik ve dinamik olarak etkitilebilecek olan araç çarpma yükü, prekast bir kolon ele alınarak statik ve dinamik olarak etkitilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Diyafram analizi sonlu elemanlar ve analitik yollarla çözümlü, bu iki yöntem arasındaki farklar ortaya konmuştur. Ayrıca 3 katlı prekast bir yapı ele alınarak bağlantı özelliklerine göre sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme teknikleri anlatılmış, çarpma yükü ve düşey yükler altında doğrusal olmayan davranışı irdelenmiştir. Yapılan sayısal uygulamalarla, bu tez çalışmasının prekast yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle modellenme teknikleri, lokal hasar senaryoları ve diyafram analizleri konularında faydalı olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Prekast Yapı, Doğrusal Olmayan Davranış, Diyafram Davranışı, Çarpma Analizi

SUMMARY

The most important point that distinguishes precast structures from traditional reinforced concrete structures is that the connections are not monolithic. In order for the structure to be stable under horizontal and vertical loads and to survive any local damage, it is very important that the connections between the elements are of sufficient strength. In determining these bond forces, analyzes that may cause local damage such as diaphragm analysis and car impact load are vital. Analytical methods are generally preferred in making these analyzes, because it is not easy to describe the element connections and behaviors to the calculation program in order to make the correct three-dimensional calculation model and the acceptance of the calculations. In this thesis study, these situations are dealt with separately. The car impact load, which can be statically and dynamically activated, is taken into account in a precast column, statically and dynamically, and the results are compared. Diaphragm analysis is solved by finite elements and analytical ways and the differences between these two methods are revealed. In addition, a 3-storey precast structure was handled and modeling techniques were described according to the connection characteristics, and nonlinear behavior was examined under car impact load and vertical loads. With the numerical applications, this thesis study is intended to be useful in modeling techniques of precast structures with finite element method, local damage scenarios and diaphragm analysis.

Key Words: Precast Structure, Nonlinear Behavior, Diaphragm Behavior, Impact Analysis

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Prof. Dr. Yasin Fahjan’a ve vermiş oldukları desteklerinden dolayı aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLOLAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ÇOK KATLI PREKAST YAPI SİSTEMLERİ VE ELEMANLARI	3
2.1. Tümüyle Prekast Sistemler	3
2.1.1. Kolon Kiriş Sistemler	3
2.1.2. Perde Duvarlı Taşıyıcı Sistemler	5
2.1.3. Hibrit Sistemler	6
2.2. Prekast Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması	7
2.2.1. Çubuk Elemanlar	7
2.2.2. Düzlemsel Elemanlar	8
2.2.3. Duvarlar (Paneller)	11
3. PREKAST YAPILARDA BAĞLANTI TİPLERİ	13
3.1. Mafsallı Birleşimler	14
3.1.1. Basınç Birleşimleri	14
3.1.2. Çekme Kuvveti Taşıyan Birleşimler	17
3.1.3. Kesme Birleşimleri	18
3.2. Moment Aktaran Birleşimler	19
3.2.1. Islak Birleşimler	19
3.2.2. Yarı Kuru Kolon Kiriş Birleşimleri	21
3.2.3. Ard Germeli Birleşimler	23
3.3. Temel Kolon Birleşim Detayları	24
3.3.1. Yuvalı Temeller	24
3.4. Çelik Yapılarda Prekast Döşeme Kullanım Detayları	25

3.4.1. Prekast Döşeme Çelik Kiriş Bağlantı Detayları	25
3.5. Prekast Yapılarda Kullanılan Şartnameler	27
4. PREKAST YAPILARLARD A DEPREM VE ÇARPMA HASARLARI	28
4.1. Yetersiz Sünek Tasarımdan Meydana Gelen Hasarlar	28
4.2. Yetersiz Diyafram Bağlarından Meydana Gelen Hasarlar	31
4.3. Zayıf Düğüm Noktası Detaylarından Meydana Gelen Hasarlar	33
4.4. Çarpma Hasarları	39
5. PREKAST DÖŞEMELERDE DİYAFRAM DAVRANIŞI	40
5.1. Bağ Sistemi	41
5.1.1. Yatay Bağ Sistemleri	42
5.2. Bağ kuvvetlerinin Minimum Değerleri	43
5.3. Diyafram Analiz Yöntemleri	44
5.3.1. Derin Kiriş Teoremi	44
5.3.2. Kafes Kiriş davranışı	45
5.3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	46
5.4. Bağ Kuvveti Aktarımı Ve Bağlantı Detayları	46
5.4.1. Kesme Sürtünmesi Teorisi	47
5.5. Sismik Bölgelerde Prekast Diyafram Tasarımı	49
5.6. Derin Kiriş Ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerinin Karşılaştırılması	49
5.6.1. Problemin Tariflenmesi	50
5.6.2. Derin Kiriş Teoremiyle Çözüm	51
5.6.3. Döşeme Diyaframının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi	52
5.7. Sonuçların Karşılaştırılması	59
5.8. Modellemede Karşılaşılan Problemler Ve Çözümleri	59
6. ÇARPMA YÜKLERİ	63
6.1. Çarpma Yüklerinin Sınıflandırılması	63
6.2. Çarpma Yüklerinin Temsil Edilmesi	63
6.3. Statik Ve Dinamik Çarpma Yükünün Kıyaslanması	65
7. SAYISAL UYGULAMA	69
7.1. Yapısal Model Malzeme Özellikleri Ve Yük Kabulleri	69
7.1.1. Yük Analizi	72
7.2. Analiz Modelinin Oluşturulması	74
7.3. Analiz Sonuçları	84
7.3.1. Analiz 1	84

7.3.2. Analiz 2	86
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A_{vf}	: Kesme sürtünmesine çalışan donatı alanı
b	: Teçhizatın konduğu taşıyıcı duvarın metre cinsinden plandaki uzunluğudur.
d	: Döşeme planı moment kolu
E	: Elastite modülü
F	: Maksimum eşdeğer statik kuvvet
F_v	: Kesme kuvveti
F_x	: Trafik akış doğrultusunda etkittirilecek kuvvet
F_y	: Trafik akış doğrultusuna dik etkittirilecek kuvvet
f_y	: Donatı akma dayanımı
I	: Kesit atalet momenti
k	: Çarpan cismin rijitliği
kN	: Kilonewton
kgf	: Kilogram kuvvet
l	: Döşeme serbest açıklığı
L	: Eleman boyu
m	: Metre
mm	: milimetre
M	: Moment
MPa	: Megapaskal
M_y	: Akma momenti
N	: Söz konusu taşıyıcı eleman üzerindeki, yük katsayısı ile artırılmamış düşey işletme yüküdür.
N_c	: Yapı elemanına etkiyen basınç kuvveti
P_y	: Kolon elemanında beklenen eksenel akma kuvveti
P	Taşıyıcı elemandaki eksenel kuvvet değeri
p	: Döşeme paneli kısa kenar uzunluğu
q	: Düzgün yayılı yük değeri

S	: Kesit statik alan momenti
T	: Bağ kuvveti
θ	: Toplam dönme
θ_p	: Plastik dönme
θ_y	: Akma dönmesi
v_r	: Araç çarpma hızı
V_b	: Döşeme perde birleşim bölgesinde oluşacak kesme kuvveti
V_d	: Döşeme elemanları arasında oluşabilecek maksimum kesme kuvveti
V_m	: Döşeme elemanları mesnet bölgelerinde oluşacak kesme kuvveti
V_n	: Aktarılan kesme kuvveti
Z	: Kesitin plastik mukavemet momenti
μ	: Sürtünme katsayısı
Φ	: Donatı çapı
ACI	: American Concrete Institute
DÇY	: Dinamik Çarpma Yüğü
DK	: Derin Kiriş Teoremi
FIB	: International Federation Structural Concrete
IBC	: International Building Code
SÇY	: Statik Çarpma Yüğü
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
TBDY	: Türk Bina Deprem Yönetmeliği
TPB	: Türkiye Prefabrik Birliği
TS	: Türk Standardı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Çok katlı perdeli kolon kiriş sistem.	4
2.2: Çok katlı kolon kiriş sistem.	4
2.3: Çok katlı çift cidarlı perde sistem.	5
2.4 : Çok katlı tek cidarlı prekast perde sistem.	5
2.5: Çok katlı Hibrit prekast sistem-Norveç havalimanı.	6
2.6: Çok katlı hibrit sistem.	6
2.7: Prefabrik kiriş çeşitleri.	7
2.8: Prefabrik betonarme kolon.	8
2.9: Prefabrik boşluklu döşeme.	9
2.10: Prefabrik filigran döşeme.	10
2.11: Prefabrik filigran döşeme montajı.	10
2.12: Prefabrik T plak döşeme.	11
2.13: Prefabrik çift cidarlı panel.	12
2.14: Prefabrik panel.	12
3.1: Pimli kolon kiriş bağlantısı kesit ve plan görüşü.	15
3.2: Pimli duvar duvar bağlantısı.	15
3.3: Kaynaklı kolon kiriş bağlantısı kesit ve planı.	16
3.4: Kaynaklı panel panel bağlantısı.	16
3.5: Yuvalı kolon kiriş bağlantısı kesit ve plan.	17
3.6: Çeşitli ankraj tipleri.	17
3.7: Kesme kuvvetinin sürtünme etkisiyle aktarımı.	18
3.8: Kesme kuvvetinin ankraj elemanlarıyla aktarımı.	18
3.9: Islak kolon kiriş bağlantısı.	19
3.10: Islak kolon kiriş bağlantısı uygulaması.	20
3.11: Çift cidarlı panel panel birleşim detayları.	20
3.12: Tek cidarlı panel birleşim detayları.	21
3.13: Yarı kuru moment birleşimi.	22
3.14: Yarı kuru moment birleşimi.	23
3.15: Ard germeli kolon kiriş bağlantısı.	24
3.16: Yuvalı temel detayı.	25

3.17:	Prekast döşeme çelik kiriş birleşim detayları.	26
3.18:	Prekast döşeme çelik kiriş birleşim detayları.	26
3.19:	Prekast döşeme çelik kiriş birleşim detayı.	26
4.1:	Northridge depreminde prekast kolon göçmesi.	28
4.2:	Prekast kolon temel birleşimde meydana gelen kesme hasarı.	29
4.3:	Prekast kolonda meydana gelen kesme hasarı.	29
4.4:	Betonarme kolonun Kocaeli depremindeki sünek davranışı.	30
4.5:	Prekast kolon yetersiz donatı detaylandırması hasarları.	30
4.6:	Yetersiz diyafram bağlantı tasarımından meydana gelen hasarlar.	31
4.7:	Yetersiz diyafram tasarımından meydana gelen hasarlar.	32
4.8:	Yetersiz diyafram tasarımından meydana gelen hasarlar.	32
4.9:	Yetersiz kolon kiriş birleşim detayları hasarları.	33
4.10:	Yetersiz kolon kiriş birleşim detayları hasarları.	34
4.11:	Yetersiz kolon kiriş birleşim detayı hasarları.	35
4.12:	Yetersiz kolon kiriş birleşim detayı hasarları.	35
4.13:	Yetersiz kesme dayanımı hasarları.	36
4.14:	Pimli bağlantı detaylarının yanlış uygulanması.	36
4.15:	Pimli bağlantı detaylarının yanlış uygulanması.	37
4.16:	Rijit duvarlardan meydana gelen hasarlar.	37
4.17:	Rijit duvarlardan meydana gelen hasarlar.	38
4.18:	Yetersiz derz boşluklarından meydana gelen hasarlar.	38
4.19:	Çarpma yüküne maruz köprü ayağı.	39
4.20:	Çarpma yüküne maruz kalmış yapı örneği.	39
5.1:	Yatay yüklerin döşemelerden temele akış prensibi.	41
5.2:	Yatay yüklerden meydana gelen iç kuvvetler.	41
5.3:	Bağ hatılları ve bağ donatılarının gösterimi.	42
5.4:	Bağ kuvvetlerinin gösterimi.	43
5.5:	Diyafram derin kiriş teoremi.	44
5.6:	Farklı kat planları için diyafram davranışı.	45
5.7:	Kafes sistem teoremi.	46
5.8:	Döşeme panel panel birleşimi.	47
5.9:	Döşeme paneli kenar mesnet birleşimi.	48
5.10:	Döşeme paneli ara mesnet birleşimi.	48
5.11:	3D Hesap modeli.	50

5.12:	Döşeme plan görünüşü.	50
5.13:	Döşemeye etkileyen yatay yüklerin gösterimi.	51
5.14:	Kabuk elemanların serbestlik derecesi gösterimi.	53
5.15:	Perde eğilme rijitlikleri.	53
5.16:	Kiriş mesnet koşullarının gösterimi.	54
5.17:	Kat planı analiz modeli.	54
5.18:	Section cut özelliğinin gösterimi.	55
5.19:	Sistemin yatay yükler altındaki şekil değiştirmesi.	55
5.20:	Maksimum açıklık momentinin olduğu kesit gösterimi.	56
5.21:	Pozitif ve negatif momentlerin kat planında gösterimi.	56
5.22:	Diyaframda oluşan maksimum başlık kuvvetlerinin gösterimi.	57
5.23:	Paneller arasındaki maksimum kesme kuvvetinin gösterimi.	57
5.24:	Döşeme perde arasında oluşan kesme kuvvetinin belirlenmesi.	58
5.25:	Döşeme ve giriş bağlantısı kesme kuvvetinin belirlenmesi.	58
5.26:	Döşeme planında mesnetlerin atandığı yerlerin gösterimi.	60
5.27:	Döşeme planında köşelerdeki gerilme yığılmalarının gösterimi.	60
5.28:	Mesnetlerin doğru şekilde atandığı yerlerin gösterimi.	60
5.29:	Döşemede beklenen gerilme dağılımının gösterimi	61
5.30:	Membran model kullanımında sistemin deformasyonu.	61
5.31:	Elemanların yeterli bölünmediği durumdaki gerilme dağılımı.	62
5.32:	Elemanların yeterli bölündüğü durumdaki gerilme dağılımı.	62
6.1:	Çarpma yükü fonksiyonu.	65
6.2:	Dinamik çarpma yükü fonksiyonu.	66
6.3:	Çarpma yükünün kolona etkilmesi.	66
6.4:	DÇY altında kolonda oluşan moment ve kesme kuvveti.	67
6.5:	SÇY altında kolonda oluşan moment ve kesme kuvveti.	67
6.6:	SÇY ve DÇY altında kolonda oluşan deplasman değerleri (mm).	68
7.1:	Tipik kat planı.	70
7.2:	3D matematik model.	70
7.3:	Beton sınıfının tanımlanması.	71
7.4:	Donatı çeliği sınıfının tanımlanması.	71
7.5:	Yapısal çelik sınıfının tanımlanması.	72
7.6:	Çarpma yükünün etkilendiği eleman.	73
7.7:	Çarpma yükünün etkilmesi.	73

7.8:	Perde eşdeğer çubuk modelinin gösterimi.	74
7.9:	Yığılı plastik mafsalsal modeli.	75
7.10:	Prekast perde donatı modellemesinin gösterimi.	76
7.11:	Çelik kolon plastik mafsalsal tanımı.	77
7.12:	Plastik mafsalsal atanan elemanlar.	77
7.13:	Çok katmanlı kabul model tanımlanması.	78
7.14:	Doğrusal olmayan davranış göstermesi beklenen bölge.	78
7.15:	Mafsalsal kiriş birleşimlerin gösterilmesi.	79
7.16:	Mafsalsal kolon kiriş birleşimlerin gösterilmesi.	79
7.17:	Taralı ve taralı olmayan bölgelerin gösterimi.	80
7.18:	Taralı olmayan bölgedeki döşeme elemanlarının eğilme rijitlikleri.	81
7.19:	Taralı olan bölgedeki döşeme elemanlarının eğilme rijitlikleri.	81
7.20:	Çarpma analizi başlangıç adımı tanımlanması.	82
7.21:	Çarpma analizi 2. adımın tanımlanması.	83
7.22:	Çarpma Analizi 3. adımın tanımlanması.	83
7.23:	Çarpmanın gerçekleştiği kolondaki deplasmanın gösterimi (mm).	84
7.24:	Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).	85
7.25:	1.kat, kuvvet doğrultusundaki ötelenmesi (mm).	85
7.26:	Yapının düşey yükler altındaki deformasyon şekli.	86
7.27:	Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).	87
7.28:	Çarpmanın gerçekleştiği kolondaki deplasmanın gösterimi (mm).	88
7.29:	Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).	88
7.30:	Donatı maksimum gerilmelerinin gösterimi.	89

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
5.1: Derin giriş teoremi ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırılması.	59
6.1: Eşdeğer statik çarpma kuvvetleri.	64
6.2: Statik ve dinamik yükleme sonuçları.	68
7.1: Analiz 1 ve Analiz 2 sonuçlarının özeti.	89

1. GİRİŞ

Prekast yapıları geleneksel betonarme yapılardan ayıran en önemli nokta bağlantıların monolitik olmamasıdır. Yapının yatay ve düşey yükler altında stabil davranması ve herhangi bir lokal hasarda ayakta kalabilmesi için prekast elemanlar arasındaki bağlantıların yeterli dayanımda olması çok önemlidir. Bu bağ kuvvetlerin belirlenmesinde diyafram analizi ve çarpma yükü gibi lokal hasar meydana getirebilecek analizler hayati önem taşımaktadır. Özellikle prekast çok katlı otopark yapılarında araç çarpma yükleri dikkate alınarak, yapının herhangi bir düşey taşıyıcı elemanında araç çarpmasından dolayı hasar meydana gelmesi durumunda yapının toptan göçmeye gitmesi engellenmelidir. Bu analizlerin yapılmasında genellikle analitik yöntemler tercih edilir, bunun nedeni üç boyutlu doğru hesap modelinin yapılabilmesi için eleman bağlantılarının ve davranışlarının hesap programına doğru tariflenmesinin kolay olmaması ve yapılan hesap kabulleridir.

Ülkemizde, Avrupa ülkelerindeki üretime nazaran prekast yapı ve elemanlarının üretimi çeşitli etmenlerden dolayı çok azdır [1]. Ayrıca betonarme veya çelik yapılarda mimari veya statik avantaj sağlayabilecek olan prekast elemanlar bu yapılarda da tercih edilmemektedir. Bunların en önemli nedenleri; betonarme yapıların maliyetlerinin düşük olmasından dolayı betonarme yapıların tercih edilmesidir ve diğer bir önemli neden prekast yapı elemanları, prekast yapı tasarımı konusundaki kaynakların ülkemizde kısıtlı miktarda olması nedeniyle tasarım mühendislerinin bu konudaki bilgi ve tecrübe eksikliğidir [1]. Ülkemizde en çok üretilen prekast yapı tipi olan tek katlı hangar tipi prekast yapıların bile geçmiş depremlerdeki performansının birleşim detaylarındaki yapılan tasarım hataları nedeniyle yetersiz olduğu görülmüştür [2]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeği 2018 (TBDY 2018) ve Türkiye Prefabrik birliği (TPB)'nin 'Beton Prefabrikasyon El Kitabı' ile birlikte beton prekast yapıların tasarımı konusundaki önemli bir boşluk kapatılmıştır. Bu yayınlarla birlikte önemli projelerde beton prefabrik elemanların kullanımı artmıştır. Bu yapılara; İstanbul Yeni Havalimanı Otopark projesinde yerinde dökme betonarme çerçevelerde birlikte kullanılan t plak prekast döşemeler, İzmir Özel Türk Koleji yapısında asansör ve deprem perdeleri çift duvar sistem kullanılması ve Van'da yapılan taşıyıcı sistemi çift cidarlı perdelerden oluşan çok katlı konut yapıları önemli örnekler olarak gösterilebilir [3]. Fakat halen ülkemizde farklı taşıyıcı sistemlerle birlikte beton prekast elemanların

kullanılmasına yönelik kaynaklar kısıtlıdır. Ayrıca prekast yapıların tasarımında birleşimlerin monolitik olmamasından dolayı önemli bir yer alan araç çarpma yükleri altında prekast yapı tasarımına ilişkin yerli kaynaklar ve araştırmalar ülkemizde mevcut değildir.

Avrupa’da ise ülkemize nazaran işçilik pahalılığı ve çeşitli etmenlerden dolayı fabrikada üretimi yapılan prekast yapılar tercih edilmektedir [1]. Sismik tehlikenin olmadığı bölgelerde genellikle düşey taşıyıcıların süreksiz olduğu ve mafsal birleşimli prekast yapılar uygulanmakta [4]. Kullanılan mafsalı birleşimler nedeniyle, araç çarpma yükleri, yatay stabilite analizi ve diyafram analizleri bu tip yapıların tasarımında daha fazla önem arz etmektedir [5]. Bu nedenlerden dolayı yabancı literatürde bu konularda çeşitli araştırmalar yapılmış ve şartnamelerde tasarımın bu yönde şekillendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır [6].

Bu tez çalışmasında yukarıda belirtilen hususlar göz önüne alınarak prekast yapılar 7 ana bölümde irdelenmiştir. Bölüm 1’ giriş olmakla birlikte, Bölüm 2’de ülkemizde çok fazla uygulanmayan çok katlı prekast yapılar taşıyıcı sistemlerine göre sınıflandırılmış ve prekast yapı elemanları açıklanmıştır. Bölüm 3’te prekast yapı elemanlarının bağlantı tipleri, TBDY 2018 kapsamındaki bağlantılar ve çelik kiriş ile prekast döşeme bağlantı tipleri açıklanmıştır. Bölüm 4’te prekast yapılarda deprem ve çarpma hasarları nedenleriyle aktarılmıştır. Bölüm 5’te özellikle prekast yapılarda dikkate alınması gereken araç çarpma yükleri yabancı literatürde araştırılarak, statik ve dinamik etkitme farkları sayısal örnek ile açıklanmıştır. Bölüm 6’ da diyafram analizi sonlu elemanlar ve analitik yollarla çözülüp kıyaslanmış bu iki yöntem arasındaki farklar ortaya konmuştur. Bölüm 7’de ise 3 katlı hibrit prekast yapı ele alınarak sonlu elemanlar programında bağlantı özelliklerine göre modellenme teknikleri anlatılmış, araç çarpma yükü ve düşey yükler altında doğrusal olmayan davranışı irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasının tasarım mühendislerine; çok katlı prekast yapı tipleri, yapı elemanları ve özellikleri, kullanılan bağlantı tipleri, prekast yapılarda dikkate alınması gereken analizler, prekast yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle modellenme teknikleri, araç çarpması vb. yükler altında yapının lokal hasar alma durumunun değerlendirilmesi ve prekast döşemelerde diyafram kuvvetlerinin belirlenme yöntemleri konularında faydalı olması amaçlanmıştır.

2. ÇOK KATLI PREKAST YAPI SİSTEMLERİ VE ELEMANLARI

Bu bölümde çok katlı prekast yapı sistemleri ve prekast yapı elemanları sınıflandırılacaktır. Prefabrike elemanlar; fabrika vb. yerlerde kalıplarla üretilen, inşaat yerine taşınan ve vinç vb. kaldırma araçları kullanılarak montajı yapılan hazır yapı elemanlarıdır. Prefabrik yapı ise; prefabrik elemanlar ile teşkil edilmiş çeşitli kullanım amaçlı olabilen yapılardır.

Prekast yapılar taşıyıcı sistem özelliklerine göre;

- Tümüyle prekast sistemler,
- Hibrit sistemler,

olarak ayrılabilir. Prestak yapı elemanları ise;

- Çubuk elemanlar,
- Düzlemsel elemanlar,

olarak iki ana gruba ayrılabilir. Aşağıdaki bölümlerde bu sistemler ve elemanlar ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.1. Tümüyle Prestak Sistemler

Yapının tamamının prekast elemanlardan inşa edildiği sistemlerdir. Bu tip sistemler taşıyıcı sistem türüne göre; kolon kiriş sistemler ve perde duvarlı taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılmaktadır [7].

2.1.1. Kolon Kiriş Sistemler

Düğüm noktaları rijit veya mafsallı olabilen gerektiğinde yatay rijitliği sağlamak üzere, yerinde dökme veya prefabrik perde duvarlar ile kullanılan sistemlerdir. Aşağıdaki şekillerde çok katlı kolon kiriş perdeli sistem ve yalın kolon kiriş sistemler gösterilmiştir [4], [8].



Şekil 2.1: Çok katlı perdeli kolon kiriş sistem.



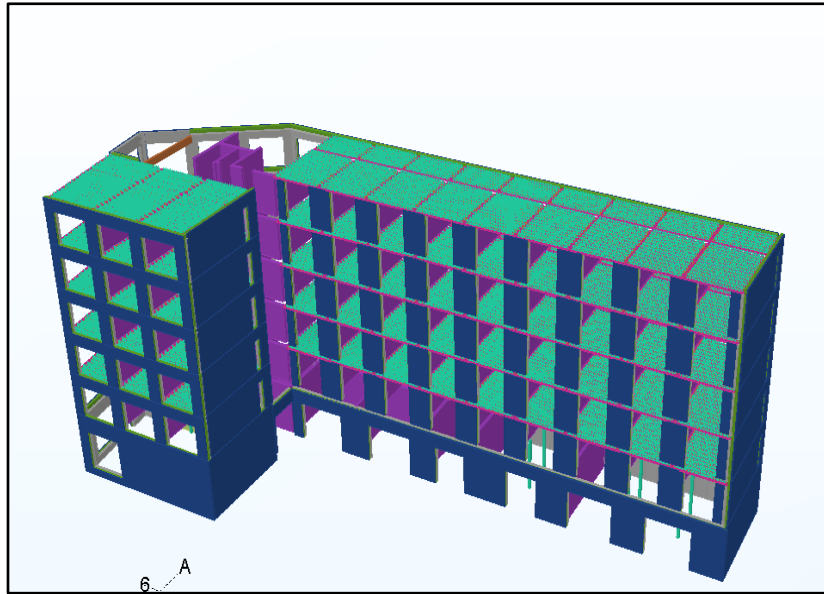
Şekil 2.2: Çok katlı kolon kiriş sistem.

2.1.2. Perde Duvarlı Taşıyıcı Sistemler

Beton panel elemanların birleştirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Sismik bölgelerde çift cidarlı duvarların ıslak birleşimleriyle monolitik davranışa eşdeğer davranış sağlanarak inşa edilebilmektedir. Sismik tehlikenin olmadığı bölgelerde genellikle mafsallı pimli birleşimler kullanılarak inşa edilmektedir. Aşağıdaki şekillerde çok katlı perde sistemlere örnekler gösterilmiştir [9], [10].



Şekil 2.3: Çok katlı çift cidarlı perde sistem.



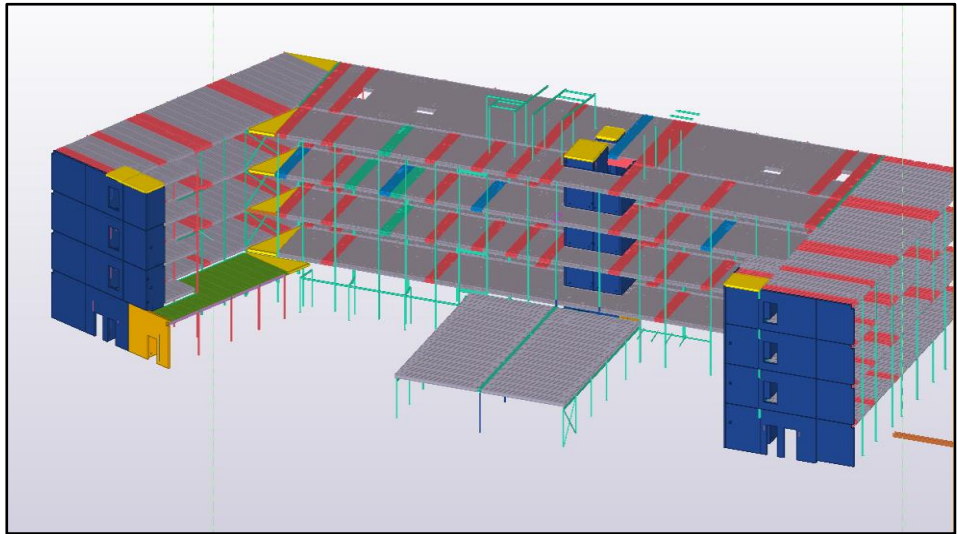
Şekil 2.4 : Çok katlı tek cidarlı prekast perde sistem.

2.1.3. Hibrit Sistemler

Hibrit sistemler beton prefabrik elemanların çelik, ahşap ve cam gibi elemanlarla beraber kullanılarak inşa edildiği sistemlerdir. Aşağıdaki şekillerde sırasıyla Norveç'te yapılan ahşap, çelik ve beton elemanlar kullanılan hibrit havalimanı yapısı ve İsveç'te yapılan çelik taşıyıcılı perde ve döşemelerin prekast kullanıldığı yapı hibrit prekast sistemlere ait örnekler olarak sunulmuştur [11], [10].



Şekil 2.5: Çok katlı Hibrit prekast sistem-Norveç havalimanı.



Şekil 2.6: Çok katlı hibrit sistem.

2.2. Prekast Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması

Bu bölümde prefabrik yapı elemanları açıklanacaktır. Prefabrik yapı elemanları çubuk elemanlar (kolon, kiriş), düzlemsel elemanlar olarak iki ana grupta sınıflandırılabilir.

2.2.1. Çubuk Elemanlar

Bir boyutunun diğer boyutlarına oranla çok büyük olduğu ön üretimli yapı elemanlarıdır. Kiriş, kolon çerçeveler çubuk eleman sınıflandırmasına girmektedir.

• Kiriş Elemanlar

Yapıdaki kullanım amacına göre beton prefabrik ön germeli, ard germeli, geleneksel donatılı, çelik, ahşap veya kompozit olarak üretilen elemanlardır. Aşağıdaki şekillerde prefabrik kirişlere ait örnekler sunulmuştur [12].



Şekil 2.7: Prefabrik kiriş çeşitleri.

- Kolon Elemanlar

Kolonlar, prekast yapılarda döşeme ve kirişlerden gelen düşey ve/veya yatay yükleri temele aktaran elemanlardır. Bir, iki veya üç kat yüksekliğinde üretilip montaj yapılabilirler. Mimari veya statik açıdan farklı şekillerde üretilebilmektedirler. Hibrit prekast yapılarda ahşap, çelik veya betonarme olabilirler. Aşağıdaki şekillerde prefabrik betonarme kolonlara ait örnek sunulmuştur [13].



Şekil 2.8: Prefabrik betonarme kolon.

2.2.2. Düzlemsel Elemanlar

Düzlemsel elemanlar; döşemeler ve duvarlar olarak sınıflandırılabilir.

- Döşemeler

Prekast döşemeler üstlerine etkiyen yatay ve düşey yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktaran elemanlardır. Kullanıldığı yapı türüne bağlı olarak ön germeli boşluklu, t plak, filigran ve boşluksuz panel olarak üretilebilir.

- Boşluklu Döşemeler

Bu tip döşemeler açıklığa ve üzerinde yük miktarına bağlı olarak ön germeli veya ön germesiz olarak üretilmektedir. Üretimde çeşitli tekniklerle döşeme kesitinde %60 oranında boşluk oluşturulabilen ve statik açıdan tek doğrultuda çalışan döşeme

elemanlarıdır [7]. Ön germeli boşluklu döşeme elemanları özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- 120 cm genişlikte üretilmektedir.
- 20-40 cm arası kalınlıklarda olmaktadır.
- 6-20 m arası açıklıklar ekonomik şekilde geçilebilmektedir.

Aşağıdaki şekillerde prefabrik boşluklu döşemeye ait örnek sunulmuştur [4].



Şekil 2.9: Prefabrik boşluklu döşeme.

-Filigran Döşemeler

Prekast 45 mm üretilen döşeme sistemleri, yerinde dökme beton içerisine koyulan donatıyla iki doğrultuda çalışan betonarme döşeme elde edilmektedir. Filigran döşeme ile maksimum 10 m açıklık geçilebilir. Aşağıdaki şekillerde prefabrik filigran döşemeye ait örnekler sunulmuştur [4].



Şekil 2.10: Prefabrik filigran döşeme.



Şekil 2.11: Prefabrik filigran döşeme montajı.

-T Plak Döşemeler

Tabla kalınlığı minimum 50 mm olan tek yönlü çalışan nervürlü prekast döşemelerdir. Aşağıdaki şekilde prefabrik t plak döşemeye ait örnek sunulmuştur [4].



Şekil 2.12: Prefabrik T plak döşeme.

2.2.3. Duvarlar (Paneller)

Duvar elemanları, üzerine etkilen yatay ve düşey yükleri temele aktarmak veya hacimlerin bölünmesi amacıyla kullanılan düşey elamanlardır. Prefkast duvarlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- Çift cidarlı duvar (Sandviç duvar)
- Tek cidarlı duvar (Panel duvar)
- Çift Cidarlı Duvar

İki beton tabaka arasında yalıtım malzemesi veya harç bulunan ve bu iki tabakanın birbirine uygun bir şekilde bağlandığı taşıyıcı veya tamamlayıcı duvarlardır. Çift cidarlı paneller aşağıda sıralanan özelliklere sahiptirler.

- Çalışma prensibi olarak yerinde dökme perdelerle eşdeğer çalıştırılabilir.
- İstinat perdesi, deprem perdesi, toprak perdesi olarak kullanılabilir.

Aşağıdaki şekilde çift cidarlı panele ait örnek sunulmuştur [9].



Şekil 2.13: Prefabrik çift cidarlı panel.

- Tek Cidarlı Duvar

Taşıyıcı veya tamamlayıcı amaçlarla ve belli modüllerde üretilebilen betonarme elemanlardır. Aşağıdaki şekilde tek cidarlı duvara ait örnek sunulmuştur [14].



Şekil 2.14: Prefabrik panel.

3. PREKAST YAPILARDA BAĞLANTI TİPLERİ

Bu bölümde prekast yapılarıdaki bağlantı tipleri ve özellikleri anlatılacaktır. Prefabrik yapılarıdaki birleşimlerin tasarımında aşağıdaki konulara dikkat edilmesi gerekir [7].

- Birleşim veya mesnet, iç kuvvetleri birleşen elemanlar arasında güvenli bir şekilde aktarabilmelidir.
- Birleşim veya mesnetteki dönme, şekil değiştirmeler ve birleşen elemanların birbirine göre rölatif yer değiştirmesi sınırlandırılmalıdır.
- Birleşim ve mesnetler yerinde kolaylıkla kontrol edilebilecek ve gerekli durumlarda müdahale edilebilecek durumda olmalıdır.
- Birleşimler paslanma ve yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

Prekast yapılarıdaki birleşim tipleri 2 ana gruba ayrılır ve bunlarda kendi içinde sınıflandırılabilir. Bu birleşim tipleri;

- Mafsallı birleşimler
 - Basınç birleşimleri
 - Çekme birleşimleri
 - Kuru birleşimler
 - Kesme birleşimleri
- Moment birleşimleri
 - Islak birleşimler
 - Yarı kuru birleşimler
 - Kuru birleşimler
 - Ard germeli birleşimler

şeklinde sınıflandırılabilir.

Bağlantıları süneklik kapasitesi bakımından kıyaslamak gerekirse; TBDY 2018 Tablo 4.1'deki yapı taşıyıcı sistem davranış katsayıları incelendiğinde, geleneksel betonarme yapılarıdaki monolitik bağlantıların süneklik kapasitenin, prekast

yapılardaki monolitik benzeşimli bağlantılara nazaran daha yüksek sünek olduğu ve mafsallı bağlantıların sünekliğinin çok az olduğu görülmektedir.

3.1. Mafsallı Birleşimler

Mafsallı birleşimler çerçeve düzleminde moment aktarmayan ancak kesme kuvveti ve eksenel kuvvet aktarabilen birleşimlerdir. Sismik bölgelerde uygulanacak mafsallı birleşimlere ait kurallar aşağıdaki gibi sıralanabilir [15].

- Mafsallı bağlantılar çok katlı binalarda sadece yerinde dökme veya ön üretimli boşluksuz ve/veya (boşluklu) betonarme perdeler ile birlikte kullanılabilirler.
- Yatay taşıyıcı elemanların mafsallı bağlantılarında diğer yatay taşıyıcılara, düşey elemanlara bağlantısız mesnetlenmesine izin verilmez.
- Yatay taşıyıcıların oturdukları mesnetlerde oluşan sürtünme kuvveti ihmal edilip ideal mafsallı bağlantı kabulü yapılmalıdır.

Mafsallı birleşimler basınç, çekme ve kesme birleşimleri olarak sınıflandırılabilir.

3.1.1. Basınç Birleşimleri

Basınç birleşimleri, genellikle kolon kiriş birleşimleri veya duvar duvar, döşeme duvar bağlantılarında basınç kuvvetini aktaran birleşimler olarak kullanılır. Pimli, kaynaklı, ara malzemeli veya ara malzemesiz olarak teşkil edilebilirler [7].

• Pimli Birleşimler

Pimli birleşimler prekast yapılarda genellikle kolon kiriş veya duvar duvar bağlantılarında uygulanır. Pimli kolon kiriş bağlantılarına ait özellikler aşağıdaki gibi verilebilir [1].

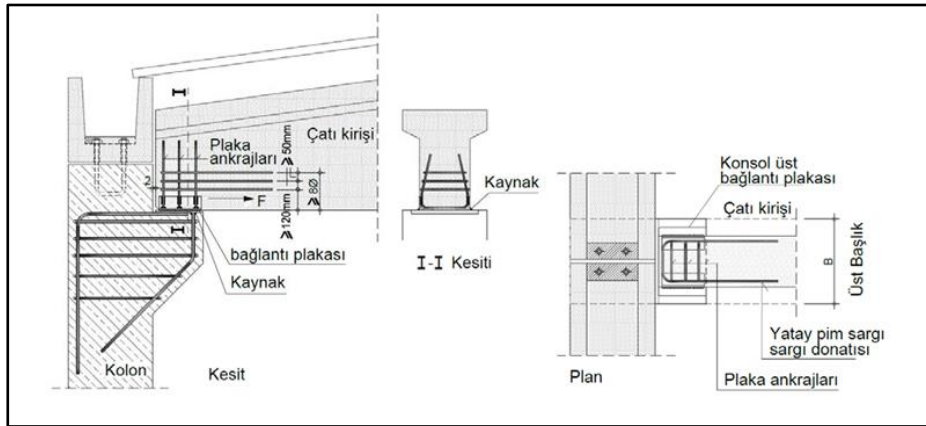
- Pim yuvalarında, sürtünmesiz yüzey oluşturacak malzeme ya da detay kullanılmamalıdır.

- Kaynaklı Bağlantılar

Kaynaklı bağlantılar mafsallı veya moment aktaran olabilir. Bu tip birleşimler kuru birleşimler sınıfına girer. Kaynaklı bağlantılar döşeme duvar birleşimlerinde ve kolon kiriş birleşimlerinde kullanılabilir. Kaynaklı kolon kiriş bağlantılarına ait özellikler aşağıdaki gibi verilebilir [7].

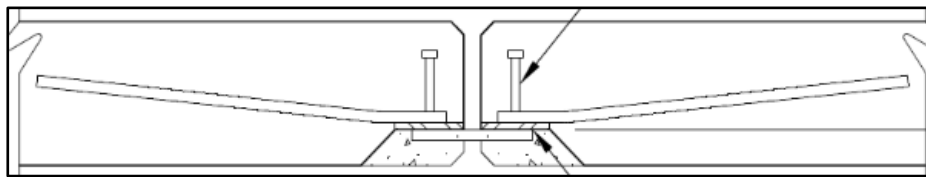
- Birleşimde, birleştirilen malzemelerin akma dayanımına eşit veya büyük olması koşuluyla, elektrod akma dayanımının %45'ine kadar kaynak kapasitesine izin verilebilir.
- Kolona yerleştirilen bağlantı plakasına ait ankraj donatıları çevresine etriye konulmalıdır.

Kaynaklı kolon kiriş bağlantı detayı aşağıdaki şekilde verilmiştir [15].



Şekil 3.3: Kaynaklı kolon kiriş bağlantısı kesit ve planı.

Panel panel birleşimi; iki panel içerisinde üretimde yerleştirilen ankrajlar sahada çelik bir levhayla kaynatılarak birleştirilir. Aşağıdaki şekilde kaynaklı panel panel birleşim detayı verilmiştir [4].



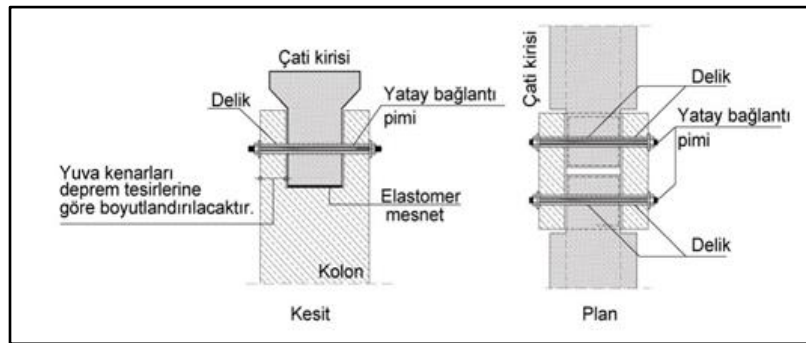
Şekil 3.4: Kaynaklı panel panel bağlantısı.

- Yuvalı Kolon Kiriş Bağlantıları

Yuvalı kolon kiriş bağlantılarına ait özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [15].

- Yuva kenarlarının minimum kalınlığı 150 mm olmalı ve pim kullanılmalıdır.
- Yuva kenarlarındaki eğilme donatıları, mesnetlenen kirişin devrilme momentinden oluşacak iç kuvvetlerin 1.2 katını karşılayacak şekilde hesaplanmalıdır.

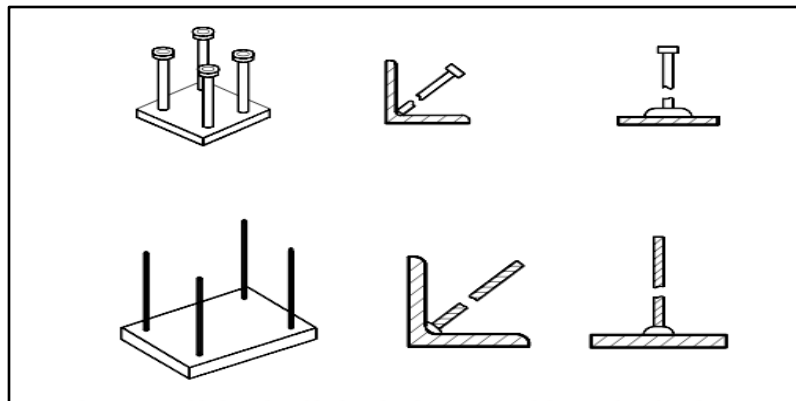
Yuvalı kolon kiriş bağlantısı aşağıdaki şekilde verilmiştir [15].



Şekil 3.5: Yuvalı kolon kiriş bağlantısı kesit ve plan.

3.1.2. Çekme Kuvveti Taşıyan Birleşimler

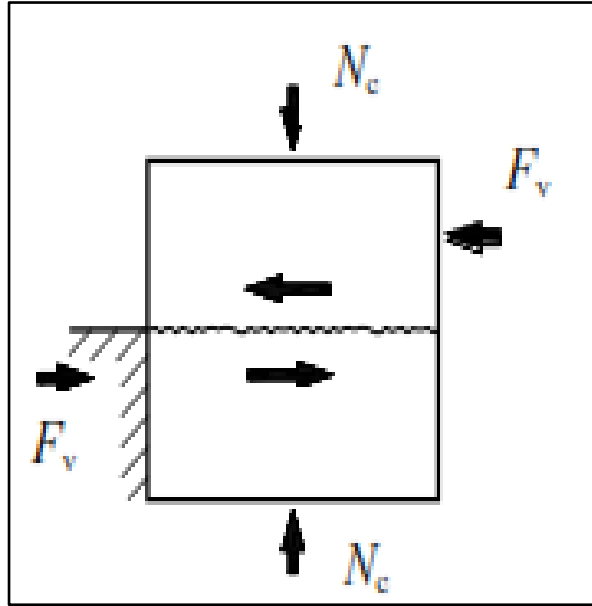
Genellikle kolon temel veya duvar duvar bağlantılarında ankraj elemanları kullanılarak teşkil edilen çekme kuvveti taşıyan birleşimlerdir. Aşağıdaki şekilde kullanılan ankraj elemanlarına örnekler gösterilmiştir [16].



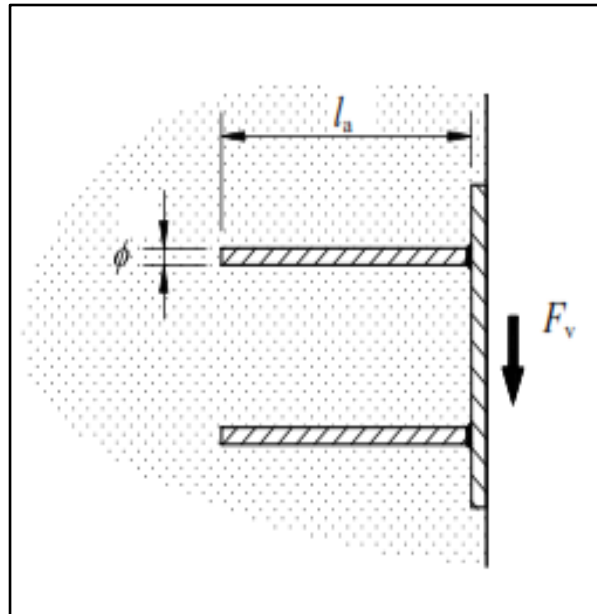
Şekil 3.6: Çeşitli ankraj tipleri.

3.1.3. Kesme Birleşimleri

Kesme kuvveti etkisinin aktarıldığı birleşimlerdir. Kesme kuvveti etkisi sürtünme (eksenel basınç varsa) veya kesmeye çalışan donatı, ankraj vb. elemanlarla aktarılabilir. Aşağıdaki şekillerde kesme kuvveti aktarım prensiplerine örnekler gösterilmiştir [16].



Şekil 3.7: Kesme kuvvetinin sürtünme etkisiyle aktarımı.



Şekil 3.8: Kesme kuvvetinin ankraj elemanlarıyla aktarımı.

3.2. Moment Aktaran Birleşimler

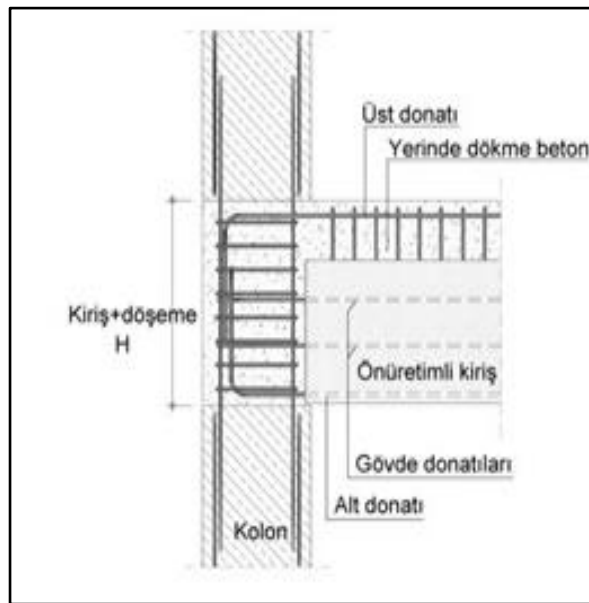
Eğilme momenti aktaran birleşimler, eğilme momentinin yanı sıra kesme kuvveti ve eksenel kuvvet de aktarır. Sismik bölgelerde deprem yüklerinin tersinirliği dikkate alınıp birleşimin sünekliği sağlanmalıdır. Moment aktaran birleşimler ıslak, kuru veya ard germeli olarak uygulanabilir.

3.2.1. Islak Birleşimler

Yerinde dökme bağlantılara eşdeğer davranış göstermek üzere yapılan ıslak bağlantılar, pozitif ve negatif moment kapasitelerinin yerinde dökme beton ve süreklilik donatısı ile sağlandığı birleşimlerdir. Çubuk elemanların birleşimlerinde veya düzlem elemanların birleşimlerinde ıslak birleşimler kullanılabilmektedir [7].

• Islak Kolon Kiriş Bağlantıları

Kiriş-kolon geometrik oturma şekli, guseli, gusesiz ya da geçici guseli olarak oluşturulabilir. Birleştirilen kiriş ve kolon kesitlerinde; eğilme momentinin her iki yönü için, boyuna donatıların kenetlenme boyu, kesme kapasitesi vb. gerekli tüm kontroller ilgili şartnamelere göre yapılması gereklidir. Aşağıdaki şekillerde ıslak kolon kiriş bağlantı detaylarına ait örnekler sunulmuştur [15], [17].



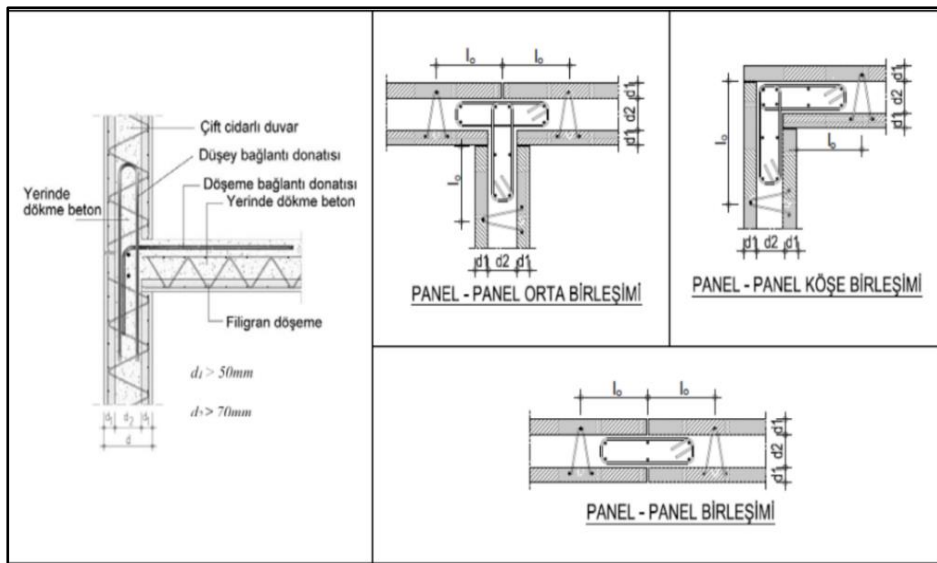
Şekil 3.9: Islak kolon kiriş bağlantısı.



Şekil 3.10: Islak kolon kiriş bağlantısı uygulaması.

- Çift Cidarlı Panel Islak Birleşimleri

Çift cidarlı paneller ve döşeme elemanları monte edildikten sonra panel panel, panel döşeme bağ donatıları yerleştirilerek döşeme ile panel boşlukları betonla doldurulur. Cidar kalınlıkları minimum 50 mm olması gereklidir. Aşağıdaki şekilde ıslak çift cidarlı duvar bağlantı detaylarına ait örnek sunulmuştur [15].

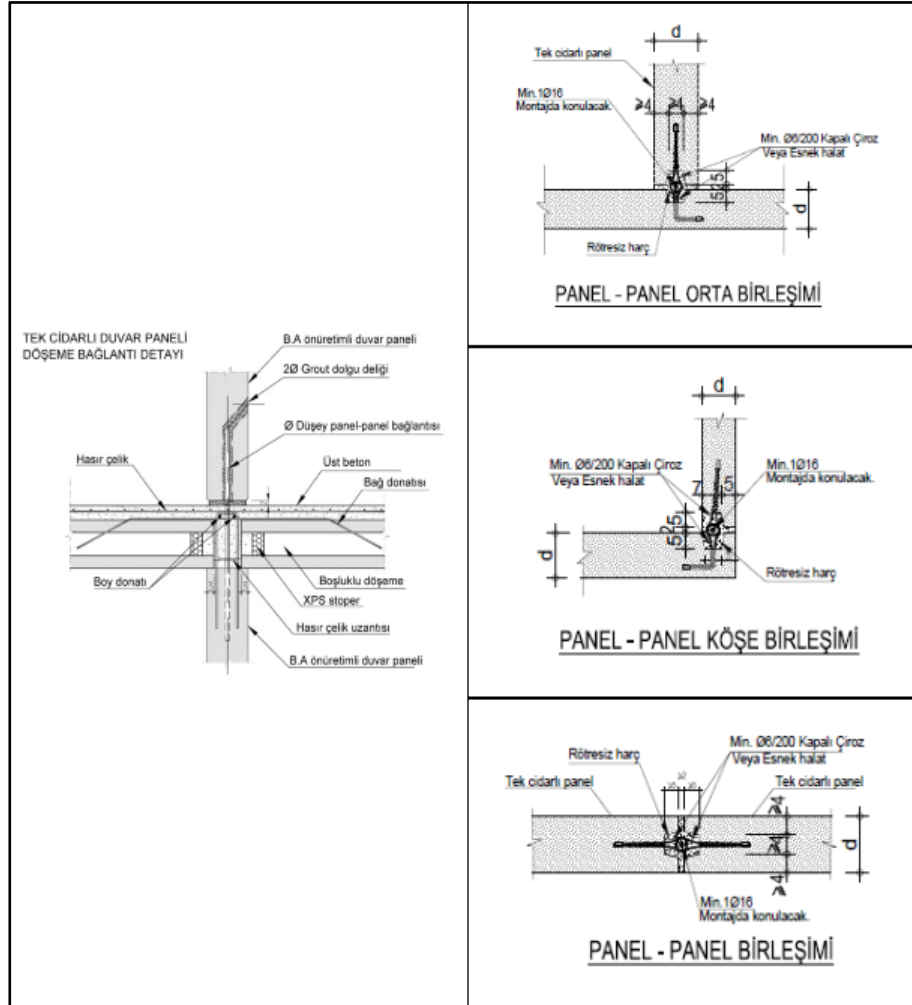


Şekil 3.11: Çift cidarlı panel panel birleşim detayları.

- Tek Cidarlı Panel Birleşimleri

Duvar ve döşeme elemanları montaj yapıldıktan sonra panel panel, panel döşeme bağ elemanları konularak döşeme betonu dökülür. Minimum panel kalınlığı 120 mm kullanılmalıdır [15].

Aşağıdaki şekilde tek cidarlı duvar bağlantı detaylarına ait örnekler sunulmuştur [15].



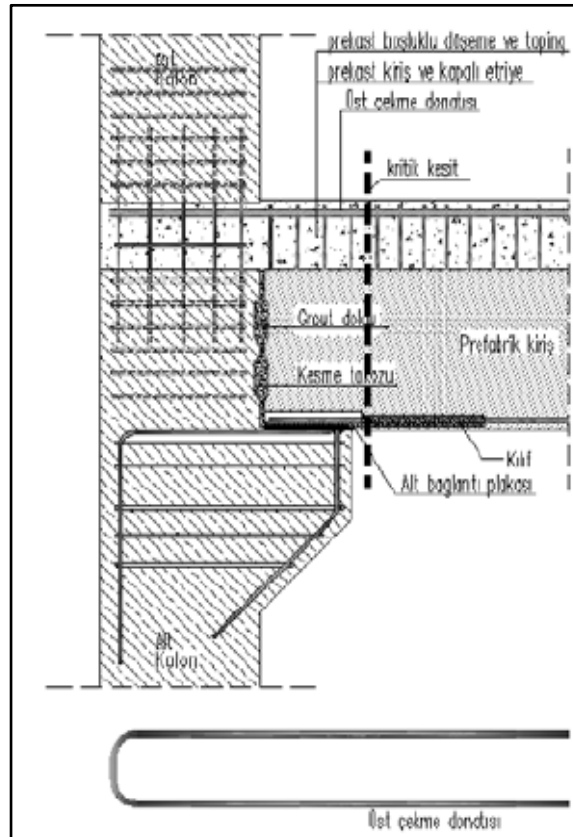
Şekil 3.12: Tek cidarlı panel birleşim detayları.

3.2.2. Yarı Kuru Kolon Kiriş Birleşimleri

Sürekliliğin negatif moment için yerinde dökme betonarme ile pozitif moment için ise kaynakla sağlandığı birleşimlerdir. Yarı kuru kolon kiriş birleşimlerine ait özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [7].

- Negatif moment için konulan donatılar için kolonda bırakılan boşluk kaplama betonunun dökülmesi sırasında doldurulmalı.
- Kolon kiriş arasındaki boşluk çimento harcı ile doldurulmalı.
- Kirişin, kolonda oluşturulan konsol üzerine oturduğu mesafede etriye aralığı maksimum 75 mm olmalıdır.
- Kirişin, kolonda oluşturulan konsol üzerine oturduğu bölgede ters U şeklindeki kiriş etriyeleri, alt plakaya kaynatılmış en az 50 mm yüksekliğindeki çelik plakalara köşe kaynak ile kaynaklanmalıdır.
- Etriyeler doğrudan alt plakaya kaynaklanmamalıdır.
- Birleştirilen kiriş ve kolon kesitlerinde; eğilme momentinin her iki yönü için, boyuna donatı kenetlenme boyu, yatay kesme kapasitesi, kaynaklı alt bağlantı vb. gerekli tüm kontroller yapılmalıdır.

Aşağıdaki şekillerde yarı kuru kolon kiriş moment bağlantı detaylarına ait örnekler sunulmuştur [15], [17].



Şekil 3.13: Yarı kuru moment birleşimi.



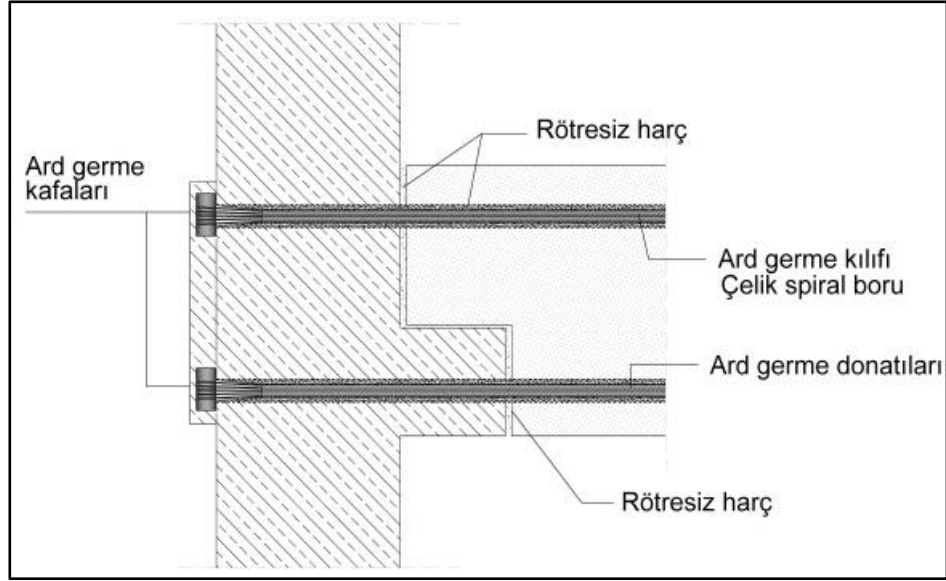
Şekil 3.14: Yarı kuru moment birleşimi.

3.2.3. Ard Germeli Birleşimler

Ön üretimli kolon kiriş bağlantıları ard germeli olarak yapılabilir. Ard germeli kolon kiriş birleşimlerine ait özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [15].

- Ard-germe halatlarının geçirildiği kılıflar, ard-germe işleminden sonra çimento harcı ile doldurulmalıdır.
- Büzülme yapmayan çimento harcı kullanılmalıdır.
- Ard-germeli bağlantılarda kiriş ile kolon yüzü arasında kesme kuvveti aktarımı, ard germe halatları tarafından oluşturulan mengene kuvveti ve sürtünme ile gerçekleştiği kabul edilmelidir.

Aşağıdaki şekilde ard germeli kolon kiriş bağlantı detayına ait örnek sunulmuştur [15].



Şekil 3.15: Ard germeli kolon kiriş bağlantısı.

3.3. Temel Kolon Birleşim Detayları

Prekast betonarme yapıların temeli kat sayısı ve zemin cinsine bağlı olarak bir veya iki doğrultuda sürekli temel, radye veya tekil olabilir. Temellerin kolonlarla birleşimi;

- Yuvalı temeller ile,
- Kuru birleşim şeklinde,
- Islak birleşim şeklinde,

yapılabilir. Yuvalı olmayan temeller geleneksel betonarme yöntemleriyle ilgili şartnamelere göre boyutlandırılabilir [7].

3.3.1. Yuvalı Temeller

Yuvalı temellerin taban genişliği, gerilmelerin hesaplanması ve boyutlandırılması normal tekil temeller gibi yapılır. Zımbalama kontrolü kenarlar dikkate alınmadan yapılmaz. Kolon ve temel arasında kenetli veya kenetsiz olarak uygulanabilir. Kolon yerleştirildikten sonra dolgu betonu ile kolon sıkıştırılarak

uygulaması yapılır. Bir prekast kolona ait kenetli yuvalı temelin şekli aşağıdaki şekilde verilmiştir [16].



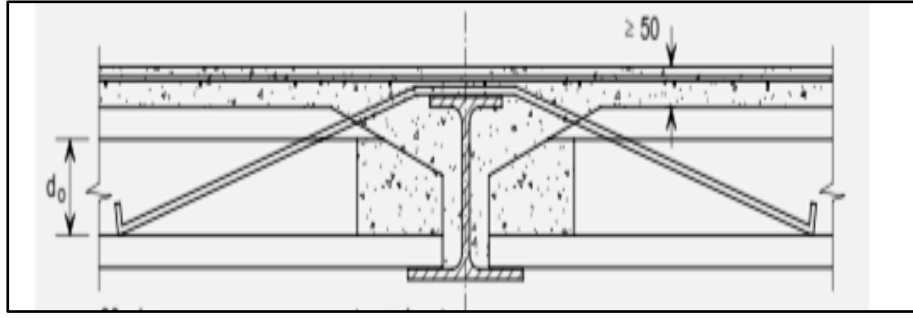
Şekil 3.16: Yuvalı temel detayı.

3.4. Çelik Yapılarda Prekast Döşeme Kullanım Detayları

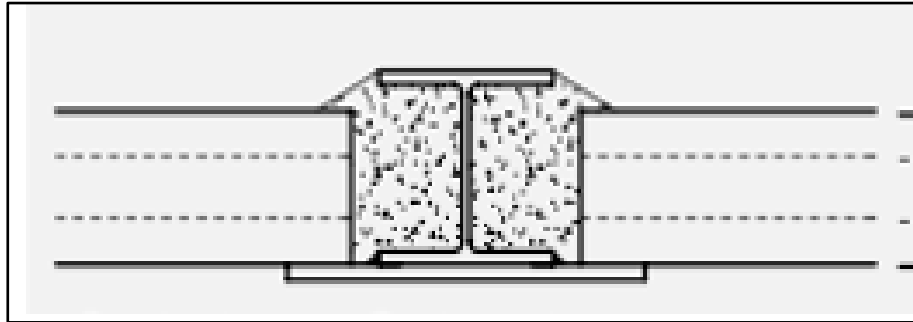
Bu bölümde hibrit prekast yapılarda kullanılabilen çelik kirişlerin, prekast döşeme panelleri ile birleşimlerinin detayları anlatılacaktır. Diyafram davranışı bölümünde ayrıntılı bir şekilde belirtildiği gibi prekast döşemelerde diyafram davranışı uygun bağlantılar yapılarak sağlanabilir. Sismik bölgelerde kaplama betonu ve kesme sürtünmesi donatılarıyla bu davranışın sağlanması zorunlu tutulurken, sismik olmayan bölgelerde farklı bağlantı tipleri yapısal kaplama betonu olmadan kullanılabilir. Yangın dayanımı, diyafram kuvvetlerinin mertebesi ve çelik kirişlerin tasarımında kompozit etkinin dikkate alınıp alınmaması ve mimari gibi çeşitli etmenler bu elemanların bağlantı tipini belirlemektedir.

3.4.1. Prekast Döşeme Çelik Kiriş Bağlantı Detayları

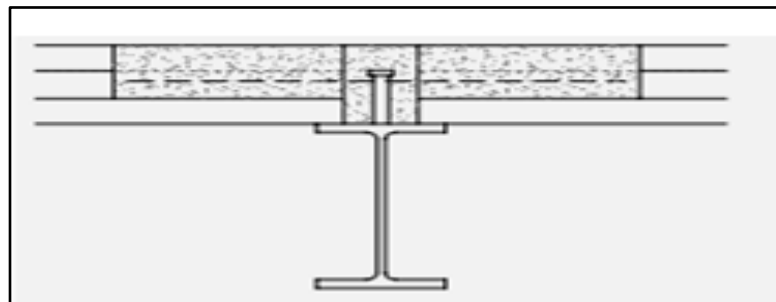
Prekast döşemeler çelik kirişlerin gövdesine veya başlıklarına bağlanabilir. Yapısal kaplama betonu kullanılması durumunda döşeme elemanları aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi profilin gövdesine oturtulur ve uygun kesme donatıları yerleştirildikten sonra döşeme kaplama betonu dökülerek uygulanabilir [18].



Kaplama betonu kullanılmaması durumunda, aşağıdaki şekilde gösterilen detaydaki gibi prekast döşeme çelik profilin altına kaynaklı levhaya oturtulur ve aradaki boşluk harçla doldurularak birleşim detayı uygulanabilir.



Çelik kiriş elemanlar kompozit olarak boyutlandırılmak istenirse döşeme ve çelik kiriş başlığı arasında kesme bağlantıları kullanılır ve döşeme elemanlarında bırakılan boşluk, yerinde harçla doldurularak bağlantı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi uygulanabilir [18].



3.5. Prekast Yapılarda Kullanılan Şartnameler

Ülkemizde prefabrik yapıların tasarımında kullanılmak üzere 1992 yılında TS 9967 standardı yürürlüğe girmiştir. Avrupa birliği uyum çalışmaları kapsamında TS 9967 standardı 2010 yılında yürürlükten kaldırılmıştır ve yerine TS EN 13369 no'lu standart yürürlüğe girmiştir. TS EN 13369'nolu standart Eurocode'u refere ettiğinden dolayı ülkemizde bu standardın kullanımı zorlaşmıştır ve TS 9967'nolu standardın yerini dolduramamıştır. Bu nedenle TPB 'Beton Prefabrikasyon El Kitabı'nı yayınlamıştır. TS EN 13369, Beton Prefabrikasyon El Kitabı, TBDY 2018 ve TS500 standartları prekast yapıların tasarımında ülkemizde kullanılan başlıca güncel kaynaklar olarak verilebilir.

Prekast yapıların tasarımda kullanılabilecek yabancı başlıca kaynaklar ise aşağıdaki sıralanabilir. Amerika'da kullanılan başlıca kaynaklar;

- International Building Code (IBC) 2018, model kod olarak,
- American Concrete Institute-ACI318-14, betonarme/öngerilmeli beton tasarımında,
- Precast Concrete Institute (PCI) MNL., prekast yapı tasarım kılavuzu,

olarak sıralanabilir. Avrupa'da kullanılan başlıca kaynaklar ise;

- Eurocode 2,
- International Federation Structural Concrete (FIB)'in yayınladığı kaynaklar,

olarak sıralanabilir.

4. PREKAST YAPILARLARDAN DEPREM VE ÇARPMA HASARLARI

Prekast yapıların doğru birleşim detayları ile hesaplanıp uygulandığında deprem performansının yeterli olduğu, yapılan deneylerle ve geçmiş depremlerdeki performanslarıyla kanıtlanmıştır [8]. Bu bölümde yanlış hesap ve uygulama detaylarından dolayı geçmiş depremlerde meydana gelen hasarlar ve araç çarpmasından dolayı oluşan hasarlar anlatılmıştır.

4.1. Yetersiz Sünek Tasarımdan Meydana Gelen Hasarlar

Depremde, yapılarda yeterli süneklik yani plastik şekil değiştirme yeteneği aranır. Yetersiz sünek eleman ve birleşimler sismik performansı olumsuz etkiler. Aşağıdaki şekilde Kaliforniya Üniversitesi Park Binası'na ait prekast kolonun 94 Northridge depreminde aldığı hasar gösterilmiştir. Dış çerçeveleri yerinde dökme kolon kiriş sistem ve iç çerçeveleri prekast kolon kiriş sistem olan yapı, yatay yüklerin yerinde dökme çerçevelerle taşındığı varsayımı yapılarak tasarlanmıştır. Diyafram kuvvetlerini aktaracak yeterli detaylar uygulanmadığından prekast kolonlarda büyük hasarlar görülmüştür [8].



Şekil 4.1:Northridge depreminde prekast kolon göçmesi.

Tek katlı sanayi yapılarında süneklik, kolon temel birleşimindeki sünek davranışla sağlanır. Kolonların yatay yüklerde oluşacak kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini karşılaması beklenir. Aşağıdaki Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de 1999 Kocaeli depreminde prekast kolonda meydana gelen kesme hasarı gösterilmiştir. Meydana gelen hasar etriyelerin yetersizliği ve doğru şekilde sargılama olmadığı için meydana gelmiştir [8].



Şekil 4.2: Prekast kolon temel birleşiminde meydana gelen kesme hasarı.



Şekil 4.3: Prekast kolonda meydana gelen kesme hasarı.

Aşağıdaki Şekil 4.4'te betonarme kolonun 1999 Kocaeli depremindeki sünek davranışı gösterilmiştir. Bu kolon depremde yeterli eğilme ve sargı donatısıyla sünek davranışı sağlamıştır ve plastik mafsal davranışını eğilmeyle göstermiştir [8].



Şekil 4.4: Betonarme kolonun Kocaeli depremindeki sünek davranışı.

Aşağıdaki şekillerde donatı süreksizlikleri ve yetersiz sargı donatısından dolayı 1999 Kocaeli depreminde meydana gelen hasarlar gösterilmiştir [8].



Şekil 4.5: Prekast kolon yetersiz donatı detaylandırması hasarları.

4.2. Yetersiz Diyafram Bağlarından Meydana Gelen Hasarlar

Diyafram tasarımı bölümünde bahsedildiği gibi prekast yapılar da diyafram tasarımı yerinde dökme yapılara nazaran çok önemlidir. Prekast döşemelerin yatay yükleri güvenli bir şekilde yatay taşıyıcı elemanlara aktarması için yeterli detaylar yapılmalıdır.

Geçmiş depremlerde diyafram detaylarının yanlış tasarım ve uygulamasından meydana gelen hasarlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir [8]. Şekil 4.6’de gösterilen hasar, döşeme panellerindeki yetersiz kesme bağlantısı detaylarından dolayı 94 Northridge depreminde meydana gelmiştir [8].



Şekil 4.6: Yetersiz diyafram bağlantı tasarımından meydana gelen hasarlar.

Yeterli rijitliğe sahip olmayan diyaframlar depremde talep edilen performansı gösteremeyecektir. Aşağıdaki şekilde oluklu beton paneller kullanılan prekast yapı, paneller arası bağlantı detaylarının ve panel taşıyıcı eleman bağlantı detaylarının zayıf olmasından dolayı 1999 Kocaeli depreminde ağır hasar almıştır [8].



Şekil 4.7: Yetersiz diyafram tasarımından meydana gelen hasarlar.

Aşağıdaki şekilde hafif çelik diyafram panelinin yeterli rijitliğe sahip olmamasından dolayı 1999 Kocaeli depreminde yapıda meydana gelen hasarlar gösterilmiştir [8].



Şekil 4.8: Yetersiz diyafram tasarımdan meydana gelen hasarlar.

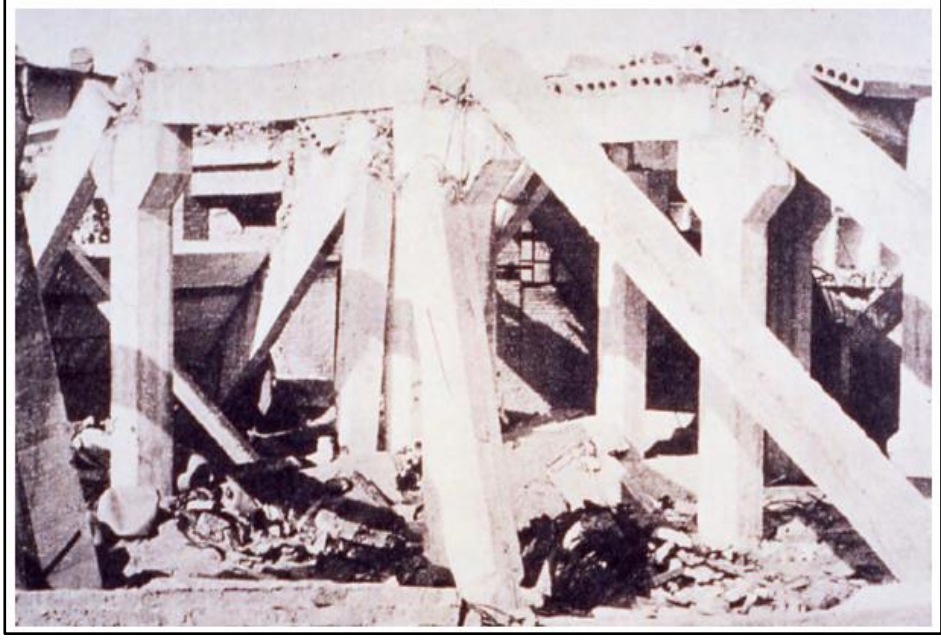
4.3. Zayıf Dügüm Noktası Detaylarından Meydana Gelen Hasarlar

Bu bölümde prekast yapılarda zayıf tasarlanmış düğüm noktalarından dolayı meydana gelen hasarlar anlatılacaktır. Moment çerçevelerinde kolon kiriş bağlantıları sünek davranışı sağlayacak bölge olduğundan hayati önem taşımaktadır ve geçmiş depremlerde uygun detaylarla tasarlanmayan kolon kiriş birleşim bölgelerinden dolayı ciddi hasarlar görülmüştür. Aşağıdaki şekilde 76 Çin depreminde zayıf kolon kiriş bağlantısından dolayı meydana gelen hasar gösterilmiştir [8].



Şekil 4.9: Yetersiz kolon kiriş birleşim detayları hasarları.

Prekast kolon üzerine oturtulan kirişlerin etkiyen yatay yüklerden dolayı oluşan kesme kuvvetini kolona aktarabilmesi için kolon ve kiriş elemanlar arasında yeterli kesme bağlantıları yapılmalıdır. Aşağıdaki Şekil 4.10'da yetersiz kesme bağlantısı tasarımından meydana gelen hasar gösterilmiştir [8].



Şekil 4.10: Yetersiz kolon kiriş birleşim detayları hasarları.

Ülkemizdeki prekast yapı stoğunun önemli bir kısmı tek katlı hangar tipi yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılarda geçmiş depremlerde görülen hasarların en önemli nedeni pimli kolon kiriş birleşimlerinin tasarım ve uygulama hatalarıdır.

Pimli bağlantılarda deprem etkisinde oluşan kesme etkisi, makasların devrilme talebinin karşılanmaması ve uygulamada grout harcının kullanılmaması bu yapıların deprem performansını olumsuz etkilemiştir [19]. Yaşanan bu durumlardan dolayı bu bağlantıların tasarımı 2007 deprem yönetmeliğinde yeniden düzenlenmiş ve tasarıma esas alınacak deprem kuvvetleri arttırılmıştır.

Aşağıdaki Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de endüstri yapısında çift guseli kolonun tali kirişlerle bağlandığı başlıklarda bağlantı yetersizliğinden meydana gelen deprem hasarları gösterilmiştir. Kolon üzerindeki ankrajların yeterli olmadığı ve büküldüğü görülmüştür [8].



Şekil 4.11: Yetersiz kolon kiriş birleşim detayı hasarları.



Şekil 4.12: Yetersiz kolon kiriş birleşim detayı hasarları.

Kesme dayanımı ve kolon kiriş bağlantı detayı yetersizliklerinden dolayı 94 Northridge depreminde meydana gelen hasarlar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [8].



Şekil 4.13: Yetersiz kesme dayanımı hasarları.

Pimli bağlantılarda pimlerin yanlış yerleştirilmesi ve sargı donatılarının yanlış imalatından dolayı meydana gelen hasarlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir [8].



Şekil 4.14: Pimli bağlantı detaylarının yanlış uygulanması.



Şekil 4.15: Pimli bağlantı detaylarının yanlış uygulanması.

Yapısal olmayan rijit duvarlar, yapıda dikkate alınmayan olumsuz bir etki yaratabileceğinden taşıyıcı sistemden ayrı olarak düzenlenmelidir. Aşağıdaki şekillerde yapısal olmayan rijit duvarların çerçevelerden ayrılması nedeniyle 1999 Kocaeli depreminde oluşan hasarlar gösterilmiştir [8].



Şekil 4.16: Rijit duvarlardan meydana gelen hasarlar.



Şekil 4.17: Rijit duvarlardan meydana gelen hasarlar.

Depremde yapıların belli bir deplasman talebi vardır. Depremde binaların birbiriyle etkileşime girmeden salınımlarını yapabilmesi için aralarında uygun derz boşlukları bırakılmalıdır. Aşağıdaki şekilde binalar arasında yeterli derz boşluğu bırakılmamasından dolayı 1985 Michoacán depreminde kısmen çökmüş bir prekast beton park yapısının genel bir görünümünü gösterilmiştir [8].



Şekil 4.18: Yetersiz derz boşluklarından meydana gelen hasarlar.

4.4. Çarpma Hasarları

Çarpma yükleri literatürde karayolu köprüleri, araç çarpmasına maruz kalabilecek yol kenarındaki yapılarda, otopark vb. kullanım amaçlı yapılarda ve içerisine araç girmesi için tasarlanan sanayi yapılarında dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir [6].

Aşağıda şekillerde çarpma yüküne maruz kalmış yapılarda meydana gelen hasarlar sunulmuştur [20], [21].



şekil 4.19: Çarpma yüküne maruz köprü ayağı.



şekil 4.20: Çarpma yüküne maruz kalmış yapı rneği.

5. PREKAST DÖŞEMELERDE DİYAFRAM DAVRANIŞI

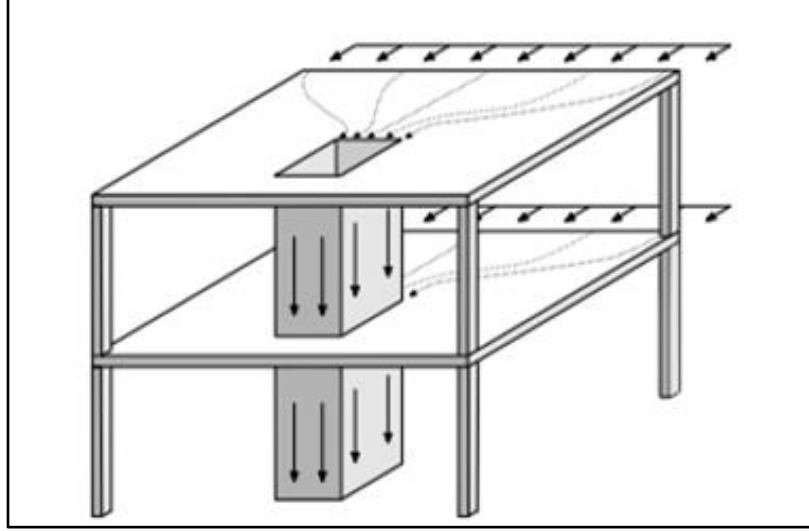
Bu bölümde diyafram iç kuvvetlerinin prekast döşemelerde belirlenme yöntemleri, bu yöntemlerin karşılaştırılması ve kuvvetlerin yapısal elemanlar arasında aktarım prensipleri anlatılmıştır.

Döşemelerin yapılarıdaki öncelikli görevi düşey yükleri taşımak ve aktarmak ile birlikte her kattaki düşey taşıyıcıları yatay yer değiştirmeye karşı tutarak beraber hareket etmesini sağlamaktır. Döşemeler bu sayede binaların deprem ya da rüzgâr gibi yatay yüklere maruz kalması durumunda, yüklerin düşey taşıyıcılar arasında yayılmasını sağlayan diyafram davranışına olanak sağlar.

Diyafram davranışı, kat döşemesinin makas veya derin bir kiriş gibi çalışarak kata etkiyen yatay yükleri yayarak düşey elemanlara güvenli bir şekilde aktarmasıdır. Diyafram davranışı, binaların deprem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Çoğu geleneksel betonarme yapıda, yerinde dökme betonarme döşemeler iyi tasarlandıkları sürece bu davranışı sağlarlar. Bu nedenle, sismik yükler altında tasarlanmış betonarme bir yapıda çoğu zaman döşemelerin diyafram davranışı üzerine hesap yapmaya ihtiyaç duyulmaz [22].

Prekast döşemelerde ise, diyafram davranışı prekast döşeme panelleri arasındaki kesme transferi ve diğer yapısal elemanlar ile döşeme panelleri arasındaki kesme bağlantıları ile ilişkili olduğu için doğrudan kabul görmez [22]. Prekast sistemlerde diyafram davranışı bağ kuvvetlerine uygun bağlantılar yapılarak sağlanabilir.

Aşağıdaki şekilde yapıya etkiyen yatay yüklerin temele aktarım prensibi şematik olarak gösterilmiştir [5].

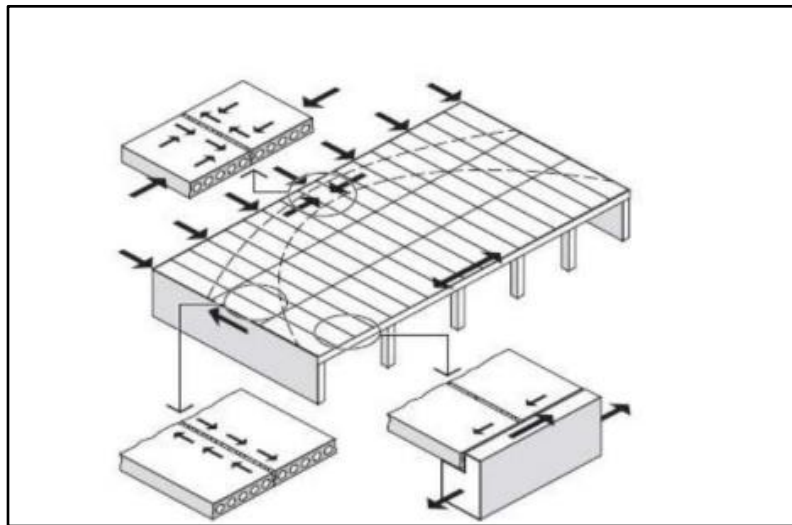


Şekil 5.1: Yatay yüklerin döşemelerden temele akış prensibi.

5.1. Bağ Sistemi

Bağ sistemi; döşemelerin diyafram olarak çalışmasını sağlayan, düşeyde yatay yüklerden oluşan çekme kuvvetlerini temele aktaran, düzlem içi iç kuvvetlere karşı koyan bağ elemanları ve bağ çubuklarından oluşan sistemdir [7].

Döşemeye etkiyen yatay kuvvetler, döşeme panelleri arasında ve paneller ile yapısal mesnetler arasında iç kuvvetler meydana getirir. Yatay yüklerden dolayı prekast döşemeli sistemlerde oluşan iç kuvvetler aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir [22].



Şekil 5.2: Yatay yüklerden meydana gelen iç kuvvetler.

5.1.1. Yatay Bağ Sistemleri

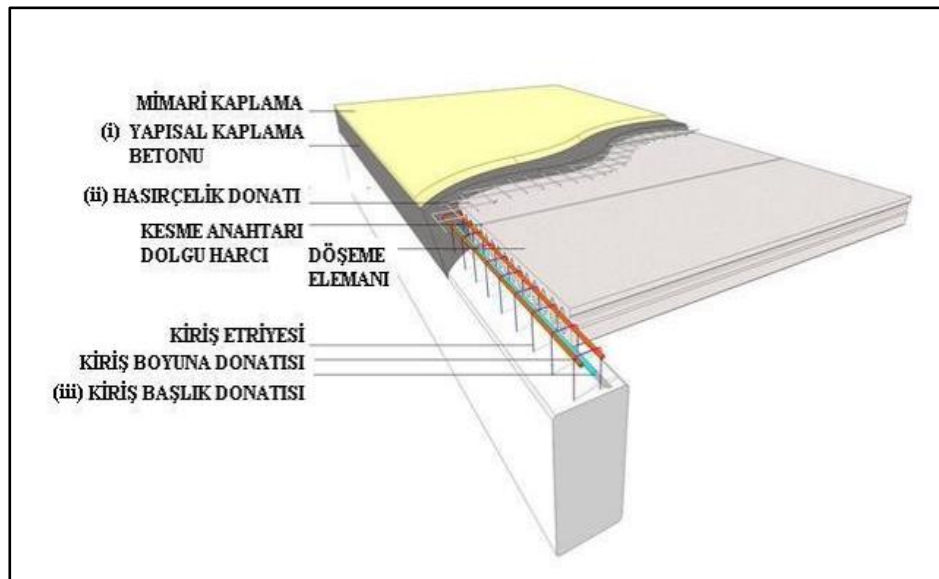
Yatay bağ sistemleri; döşeme düzlemindeki yatay yükleri, yatay yük taşıyan perdelere veya çerçeve kirişlerine aktarır, kat döşemesinin yatay yük doğrultusunda derin bir kiriş veya kafes sistem gibi davranmasını sağlayan hatıl ve çubuklardır [7].

- Yatay Bağ Hatılları

Prefabrik veya yerinde dökme kirişlerin, birden fazla döşeme panellerinden oluşturulan kat planı çevresinde veya yatay yük taşıyan perdelerin çevresinde kullanılarak kat döşemesinde oluşan çekme kuvvetlerinin mesnetlere aktarılması sağlanmalıdır. Prefabrik veya yerinde dökme kirişler döşeme elemanlarına bağ çubuklarıyla bağlantıları sağlanarak bağ hatılı olarak kullanılırlar.

- Yatay Bağ Çubukları

Yatay bağ çubukları; döşeme panellerini kiriş, perde gibi mesnetlere bağlamak için, çekme kuvvetini doğrudan, kesme kuvvetlerini ise kesme sürtünmesi teorisi ile mesnete aktaran donatı elemanlarıdır. Yatay bağ çubuğu donatısı, duvar panelleri arasındaki boşluklara veya prekast boşluklu döşemelerde boşluk içine yerleştirilebilir. Aşağıdaki şekilde diyafram davranışının sağlanması için oluşturulan bağ hatılları ve bağ donatıları detayları gösterilmiştir [22].

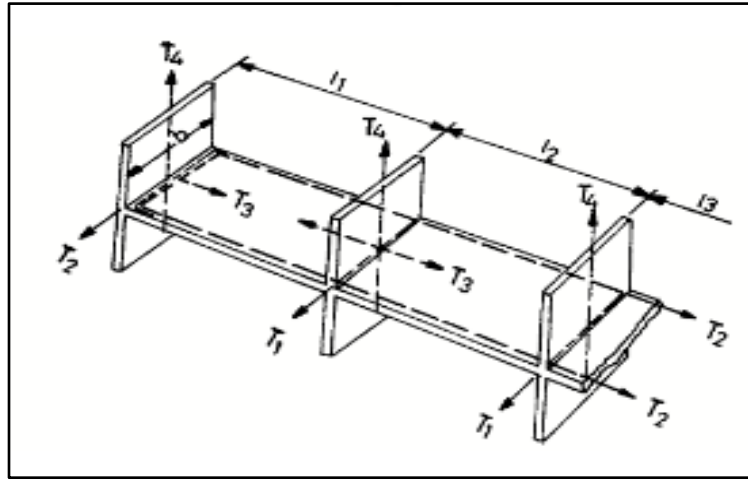


Şekil 5.3: Bağ hatılları ve bağ donatılarının gösterimi.

5.2. Bağ Kuvvetlerinin Minimum Değerleri

Prekast döşemelerde yatay yüklerden dolayı oluşan bağ kuvvetleri için şartnamelerde minimum değerler önerilmiştir. Yatay yüklerden oluşan bağ kuvvetleriyle bu değerler kıyaslanarak elverişsiz duruma göre bağlantı hesabı yapılması gerekmektedir.

Aşağıda verilen şekilde yatay ve dőřey yüklerden oluşabilecek bağ kuvvetleri gösterilmiştir [7].



şekil 5.4: Bağ kuvvetlerinin gösterimi.

- T₁: Ara taşıyıcı duvar ve kirişler üzerindeki bağ elemanlarında oluşan kuvvet olmak üzere,

$$T_1 = \frac{l_1 + l_2}{2} (kN) \quad (5.1)$$

eşitliğiyle belirlenir. Burada; l₁ ve l₂ duvar panosunun sol ve sağındaki hacimlerin duvara dik boyutudur (m).

- Dış duvar veya kiriş üzerindeki her bir bağ elemanında, T₂=70 kN
- Döşeme düzleminde, taşıyıcı duvar veya kirişlere dik bağ elemanlarında, bu duvar veya kirişlerin bir metresi için, T₃=22 kN veya T₃ = 0.025 N'den büyüğü, burada; N söz konusu taşıyıcı eleman üzerindeki, yük katsayısı ile artırılmamış kN/m cinsinden dőřey işletme yüküdür.

- Düşey bağ elemanlarında $T_4=44xb$ (kN/m), burada; b =teçhizatın konduğu taşıyıcı duvarın metre cinsinden plandaki uzunluğudur (m).

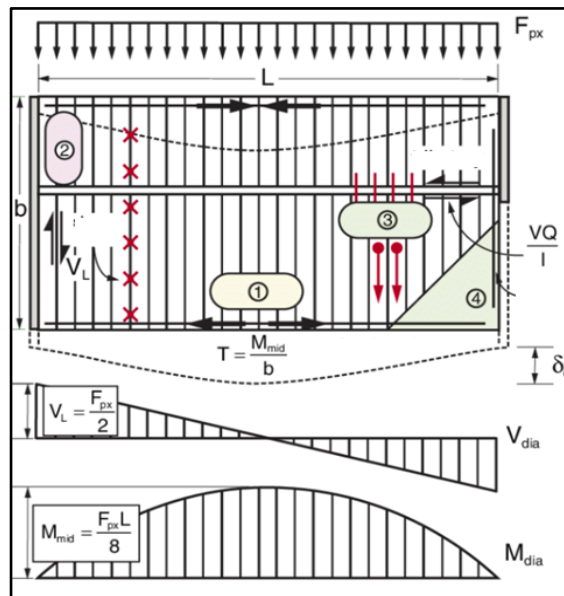
Yatay bağ kuvvetleri; diyafram analiz yöntemleri ile, düşey bağ kuvvetleri ise yapı analiz yöntemleriyle belirlenebilir.

5.3. Diyafram Analiz Yöntemleri

Prekast döşemelerin farklı davranış teorilerine göre diyafram analiz yöntemleri vardır. Bu analiz yöntemleri; derin kiriş teoremi, kafes sistem davranışı ve sonlu elemanlar yöntemi olarak sıralanabilir.

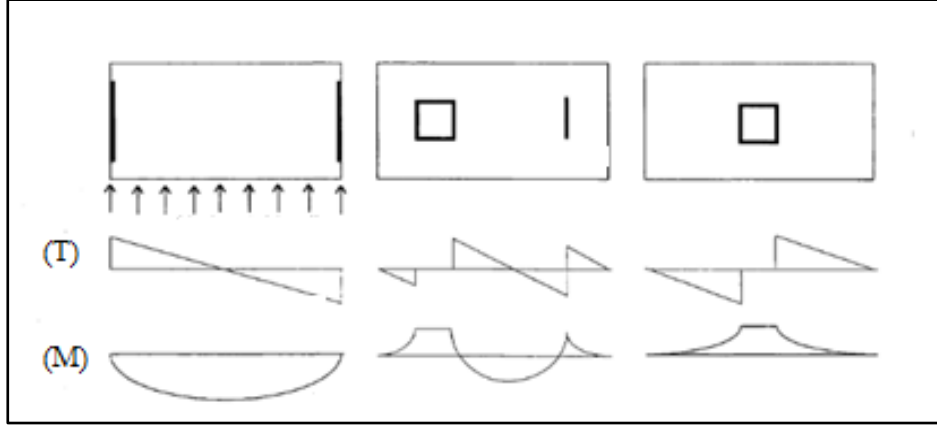
5.3.1. Derin Kiriş Teoremi

Derin kiriş teoreminde döşemenin yatay yükler altında derin kiriş gibi davrandığı varsayımı yapılır. Perdeler, döşemenin yatay yükler altındaki davranışında mesnet görevi görür. Derin kiriş varsayımı yapılan döşemenin başlık kuvvetleri, panolar arasındaki kesme kuvvetleri, perde ve döşeme arasındaki kesme kuvvetleri basit mukavemet formülleriyle konservatif bir yaklaşımla hesaplanabilir. Aşağıdaki şekilde derin kiriş davranışı ve oluşacak iç kuvvetler şematik olarak gösterilmiştir [23].



Şekil 5.5: Diyafram derin kiriş teoremi.

Döşemenin yatay yükler altındaki davranışı döşeme planındaki mesnetlerin yerleşimine bağlıdır. Aşağıda gösterilen şekilde farklı kat planları için yatay yüklerden oluşacak moment ve kesme kuvveti diyagramları şematik olarak gösterilmiştir [16].



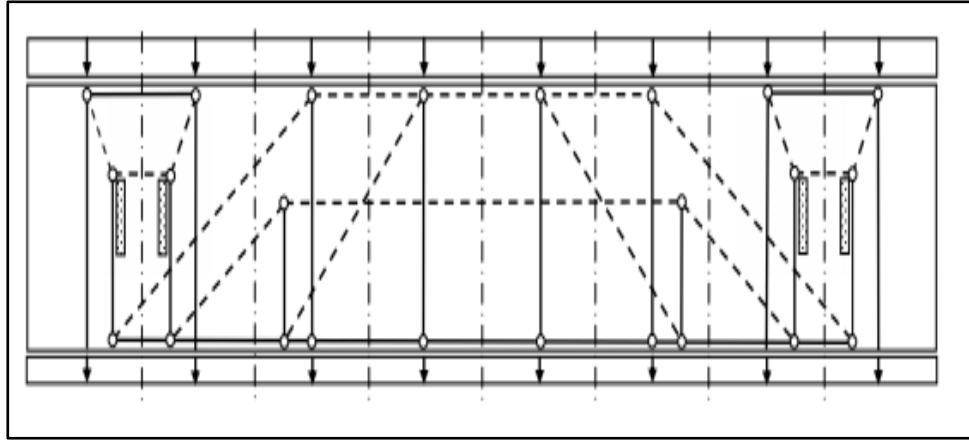
Şekil 5.6: Farklı kat planları için diyafram davranışı.

5.3.2. Kafes Kiriş davranışı

Prekast döşemelerde çeşitli sebeplerle büyük açıklıklar bırakmak gerekebilir. Bu tür durumlarda prekast döşemelerin diyafram davranışında derin kiriş teoremi yerine kafes sistem teoremi kullanılması daha doğru sonuçlar verir. Kafes sistem davranışı döşemenin yatay yükler altında kafes sistem gibi davrandığı kabulüne dayanır. Döşemede yatay yükler altında basınç ve çekme çubuklarının oluştuğu varsayımı yapılır. Kafes sistem davranışı çözümü aşağıdaki sıralamayla yapılır.

- Yük akışı belirlenir,
- Çubuk model oluşturulur,
- Mesnet koşulları belirlenir,
- Ön görülen sistemde çubuk kuvvetleri bulunarak bağ kuvvetleri belirlenir.

Aşağıdaki şekilde kafes sistem davranışına örnek model, kat planı üzerinde gösterilmiştir [16].



Şekil 5.7: Kafes sistem teoremi.

5.3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Prekast yapı elemanları sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek bağ kuvvetleri belirlenebilir. Kat planının karmaşık olması gibi durumlarda analitik yöntemler yerine sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözüm yapılması daha pratik sonuç alınmasını sağlar.

Prekast yapılarda bütün elemanlar ayrı ayrı üretilip sonradan birleştirildiğinden bütün elemanlar arasındaki bağ kuvvetleri belirlenmeli ve bu kuvvetlere uygun bağlantılarla bağlanmalıdır. Diyafram analizi için sonlu elemanlar yönteminde iki farklı modelleme seçeneği vardır. Hesap modeli link elemanlar kullanılarak ayrı modelleme şeklinde veya bütünsel olarak membran model şeklinde yapılabilir [24]. Bağlantı elemanları arasındaki kuvvetler ayrı modellemede daha kolay okunabilirken, membran modelde sonlu elemanlar programının section cut özelliği kullanılarak bağlantı yapılacak kesitteki kuvvetler belirlenebilir. Bu tez kapsamındaki sayısal uygulamada membran model ele alınmıştır.

5.4. Bağ Kuvveti Aktarımı Ve Bağlantı Detayları

Prekast döşemelerde diyafram davranışının sağlanabilmesi için yatay yükler altında oluşan bağ kuvvetleri uygun kuru bağlantılarla veya yapısal kaplama betonu ve içerisinde bırakılan kesme sürtünmesi donatıları ile karşılanmalıdır.

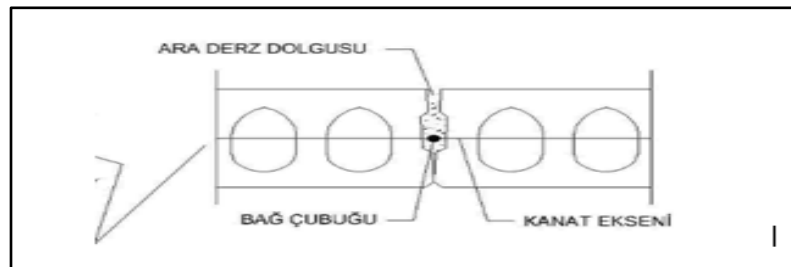
5.4.1. Kesme Sürtünmesi Teorisi

Kesme kuvveti aktarımı yapması istenen farklı zamanlarda dökülmüş iki beton yüzeyi arasında kesme sürtünmesi teorisi kullanılır. Direkt kesme alanında bulunan betonun çatlamaması için bu alana kesme sürtünmesi donatısı konulur. Kesme sürtünmesi ile aktarılabilecek kuvvet aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$V_n = A_{vf} \cdot f_y \cdot \mu \quad (5.2)$$

- V_n = Aktarılan Kesme Kuvveti (N)
 - A_{vf} = Kesme Sürtünmesine Çalışan Donatı Alanı (mm^2)
 - f_y = Donatı Akma Dayanımı (MPa)
 - μ = Sürtünme Katsayısı
- Döşeme Elamanları Arasındaki Kesme Kuvveti Aktarımı
Prekast döşemeler arasında panel tipine ve kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak;
 - Döşemeler arası yerinde harçla doldurularak,
 - Döşemeler arasındaki harçta kayma gerilmesi 0,3 MPa'ı geçtiği durumlarda, döşeme panelleri aralarına dik yerleştirilen kesme sürtünmesi donatılarıyla,
 - Ara harç ve donatının yetersiz kalması durumunda panoların üst yüzünde kaynaklı kenetlerle,
 - Kaplama betonu ve içindeki donatılarla,

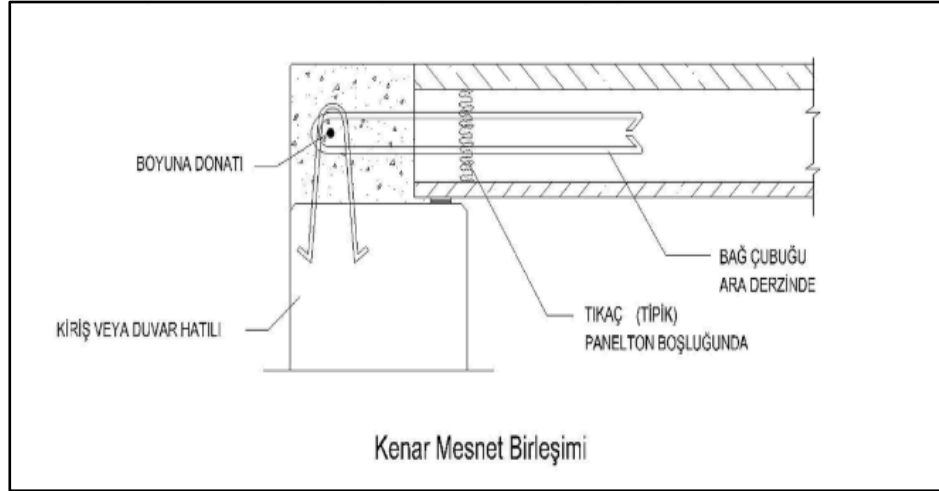
aktarılabılır. Aşağıdaki şekilde döşeme panelleri arasında kesme kuvveti aktarım prensiplerinden derz donatısı detayı gösterilmiştir [22].



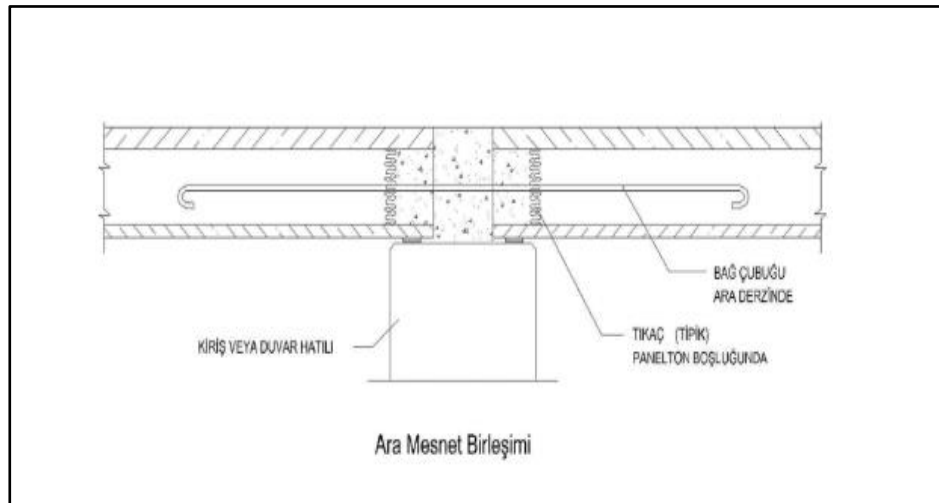
Şekil 5.8: Döşeme panel panel birleşimi.

- Döşeme Elamanları İle Taşıyıcı Duvar Veya Kiriş Arasındaki Kuvvetlerin Aktarımı

Döşeme elemanları ile perde veya kiriş arasındaki kesme kuvvetleri, kaplama betonu içindeki kesme sürtünmesi donatıları veya kuru birleşimlerle karşılanır. Aşağıdaki şekillerde döşeme paneli mesnet birleşimlerine ait örnekler verilmiştir [25].



Şekil 5.9: Döşeme paneli kenar mesnet birleşimi.



Şekil 5.10: Döşeme paneli ara mesnet birleşimi.

- Kat Döşemesi Başlık Kuvvetlerinin Aktarımı

Başlık kuvvetleri; basınç durumunda, paneller arasındaki dolgu harçları, çelik lama veya profil parçalarının kaynaklı birleşimleri, çekme durumunda ise bağ hatlı veya çekme donatıları ile aktarılabilir.

5.5. Sismik Bölgelerde Prekast Diyafram Tasarımı

Literatürde sismik yükler altında prekast döşemelerde diyafram davranışının sağlanması için kaplama betonunun önemi vurgulanmıştır ve sismik tasarımda yapısal kaplama betonu zorunlu tutulmuştur.

Sismik bölgelerde yapılan diyafram tasarımında aşağıda verilen kurullara uyulmalıdır [15].

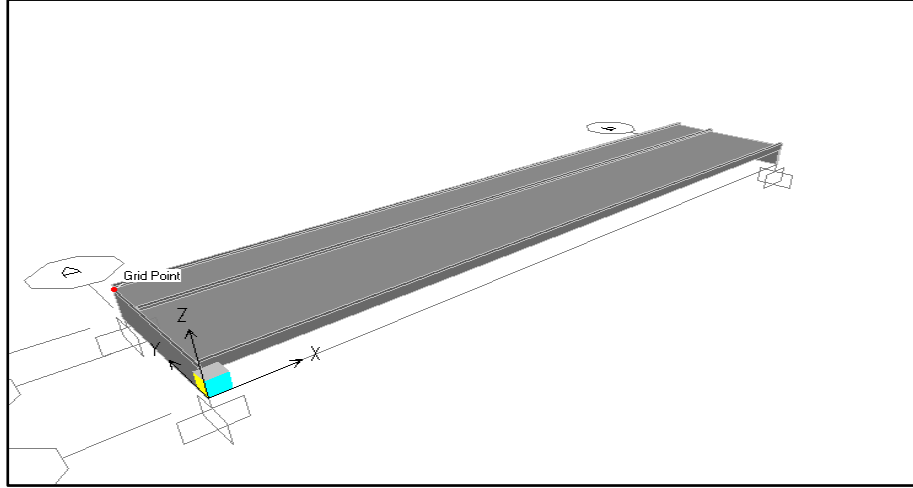
- Diyafram analiz modelinde; döşeme panellerinin etkili rijitliği, kesme sürtünmesi şartlarının sağlanması durumunda kompozit kesitin rijitliği, sağlamaması durumunda ise sadece yapısal kaplama betonu rijitliği alınmalıdır.
- Döşemelerin sonlu eleman modellemesi yapılması gerekmektedir. Düşey ve yatay yüklerin güvenli şekilde aktarıldığı gösterilmelidir.
- Prekast döşeme sistemlerinin oluşturulurken diyafram davranışının sağlanması için her iki doğrultuda çerçeve kirişleri veya perde elemanlar kullanılmalıdır ve döşeme çevreleri bu elemanlarla sınırlandırılmalıdır.
- Prekast betonarme döşeme sistemlerin döşeme perde birleşim bölgelerinde, diyafram kuvvetlerinin kaplama betonu içerisinde yer alan donatılar ile aktarıldığı hesapla gösterilmelidir.
- Prekast döşeme elemanları ile kaplama betonu kullanılması zorunludur. Yapısal kaplama betonu kalınlığı minimum 70 mm olması gerekmektedir.
- Kaplama betonu içerisine iki ana doğrultuda minimum 0.0015 oranında donatı koyulması gerekmektedir.

5.6. Derin Kiriş Ve Sonlu Elemanlar Yöntemlerinin Karşılaştırılması

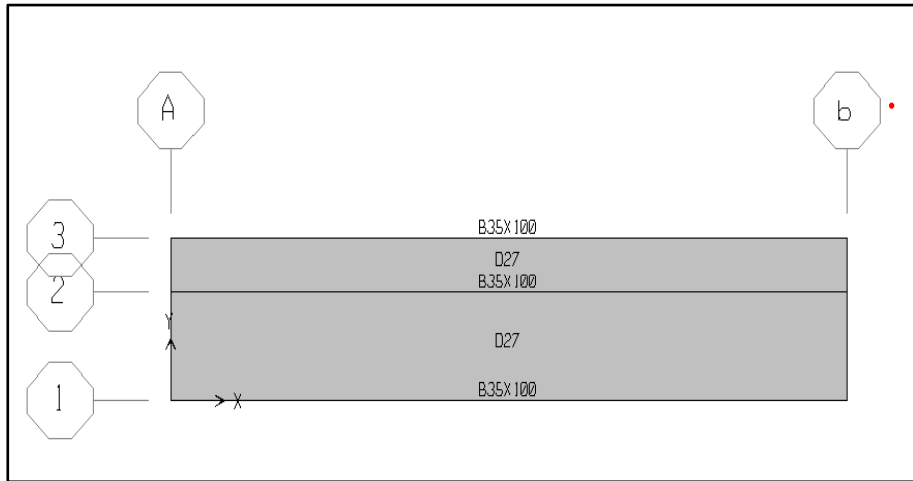
Bu bölümde kat planı ve yüklemi şekli ileriki bölümde verilen tek katlı prekast döşeme elemanlarından oluşan sisteminin derin kiriş teoremi ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılacaktır. Ele alınan sistemin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesinde karşılaşılan problemler ve çözümleri aktarılacaktır.

5.6.1. Problemin Tariflenmesi

- Döşeme planda; uzun doğrultuda 72 m, kısa doğrultuda 15 m dir.
- Kat yüksekliği 3 m olarak dikkate alınmıştır.
- Beton malzemesi C30 kabul edilmiştir.
- Kiriş boyutları derinlik 100 cm, genişlik 35 cm olmak üzere, döşeme kalınlığı 270 mm, perde kalınlıkları 200 mm dir.
- Perde döşeme bağlantısı ve kiriş perde bağlantısı mafsallı kabul edilmiştir.
- Perde temel bağlantısı ankastre kabul edilmiştir.
- Orta kirişin konumu 1-2 aks aralığı 10 m 2-3 aks aralığı 5 m dir. Aşağıdaki şekillerde yapının 3D hesap modeli ve plan görünüşü verilmiştir.

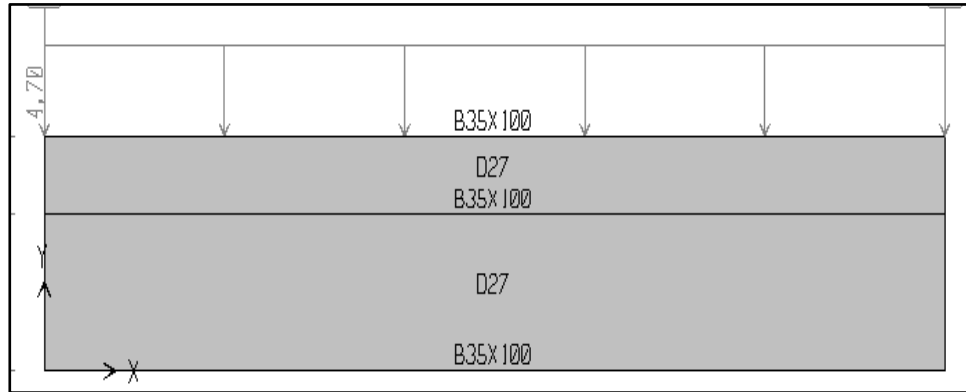


Şekil 5.11: 3D Hesap modeli.



Şekil 5.12: Döşeme plan görünüşü.

- Döşemeye 4.7 kN/m rüzgar yükü etkidiği varsayılacaktır. Aşağıdaki şekilde planda döşemeye etkiyen yatay yük gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Döşemeye etkiyen yatay yüklerin gösterimi.

5.6.2. Derin Kiriş Teoremiyle Çözüm

Önceki kısımda tariflenen yapıda, kat döşemesindeki bağ kuvvetleri derin kiriş yöntemiyle aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Kat Döşemesi Başlık Kuvvetlerinin (T) Bulunması;

Derin kiriş varsayımı yapılan döşemede oluşacak M (açıklık momenti);

$$M = q * l^2 / 8 \quad (5.3)$$

eşitliğinden belirlenir. Bu ifadede; q etkiyen yatay yükü (kN/m), l döşeme açıklığı olmak üzere (m), olmak üzere $M=3046$ kNm olarak bulunmuştur. Moment kolu yaklaşık olarak $d=13.19$ m olmak üzere;

$$T = M / d \quad (5.4)$$

eşitliğinden $T=231$ kN başlık kuvvetleri (maksimum çekme ve basınç kuvveti) olarak belirlenmiştir.

- Döşeme Elemanları Arasında Oluşabilecek Maksimum Kesme Kuvvetinin (V_d) Belirlenmesi

Maksimum kesme kuvveti;

$$V_d = q * \left(\frac{l}{2} - p\right) \quad (5.5)$$

eşitliğinden belirlenir. Bu eşitlikte; q =etkiyen yatay kuvvet (kN/m), l =kat döşemesi açıklığı (m) P =döşeme paneli kısa kenar uzunluğu (m) olmak üzere olmak üzere; $V_d=163.6$ kN olarak bulunmuştur.

- Döşeme Perde Birleşim Bölgesinde Oluşacak Kesme Kuvvetinin (V_p) Belirlenmesi
- Perdede oluşacak kesme kuvveti;

$$V_p = q * l/2 \quad (5.6)$$

eşitliğinden, $V_p=169$ kN olarak bulunmuştur.

- Döşeme Elemanları Mesnet Bölgelerinde Oluşacak Kesme Kuvvetinin (V_m) Belirlenmesi

Döşeme elemanları ile orta kiriş arasındaki kesme kuvveti;

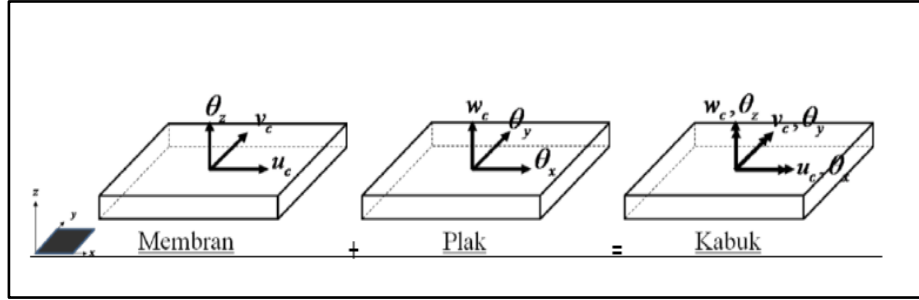
$$V_m = V_d * S/I \quad (5.7)$$

eşitliğinden, S statik momenti, I birim genişliğe karşı gelen atalet momentini ifade etmekle birlikte $V_m=14.5$ kN/m olarak bulunmuştur.

5.6.3. Döşeme Diyaframının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

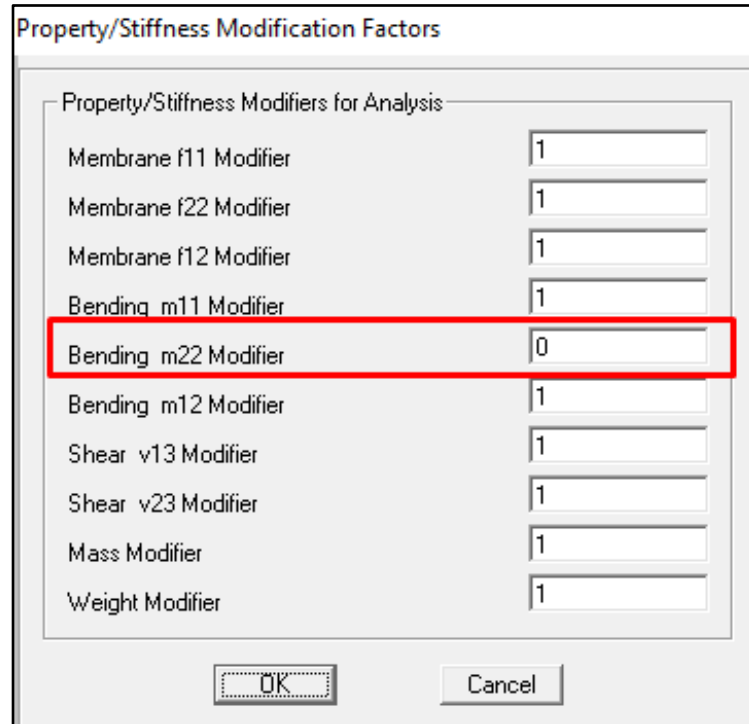
Bu bölümde önceki bölümde tanımlanan döşemenin diyafram analizi Sap2000 V14.2.4 sonlu elemanlar analiz programı yardımıyla yapılarak bağ kuvvetleri belirlenmiştir [26].

- Perde ve döşeme elemanları her düğüm noktasında 6 serbestlik dereceli kabuk elemanlarla modellenmiştir.



Şekil 5.14: Kabuk elemanların serbestlik derecesi gösterimi.

- Kiriş elemanları çubuk elemanlarla modellenmiştir.
- Ele alınan prekast döşemede tüm bağlantılar mafsallı olduğundan perde eğilme rijitlikleri ve kiriş mesnet koşulları aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi bağlantı davranışına uygun olarak düzenlenmiştir.



Şekil 5.15: Perde eğilme rijitlikleri.

Assign Frame Releases

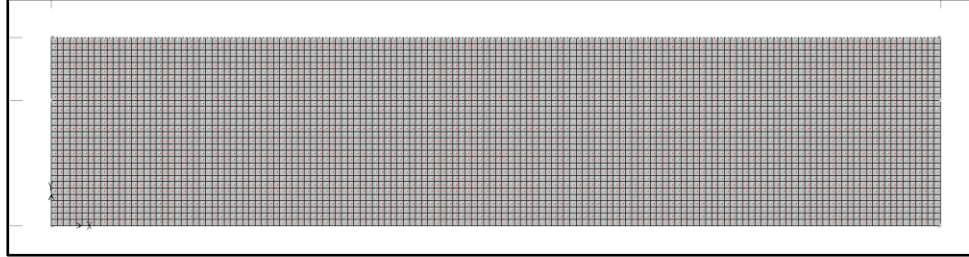
	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	☐	☐		
Shear Force 2 (Major)	☐	☐		
Shear Force 3 (Minor)	☐	☐		
Torsion	☐	☐		
Moment 22 (Minor)	☒	☒	0	0
Moment 33 (Major)	☒	☒	0	0

☐ No Releases

Units:

Şekil 5.16: Kiriş mesnet koşullarının gösterimi.

- Döşeme ve perde elemanları aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi yaklaşık boyutlar 50 cm olmak üzere sonlu elemanlara bölünerek analiz yapılmıştır.



Şekil 5.17: Kat planı analiz modeli.

- Analiz Sonuçlarının Okunması

Öncelikle analiz sonuçlarının okunmasında kullanılacak section cut özelliği tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde section cut özelliğinin tanımlanması gösterilmiştir.

Section Cut Data
Edit

Section Cut Name: SCUT1

Coordinate System: GLOBAL

Units: KN, m, C

Section Cut Defined By:
☒ Group
☐ Quadrilateral Cutting Planes

Section Cut Group:
 Group: ALL

Section Cut Result Type:
☒ Analysis (F1, F2, F3, M1, M2, M3)
☐ Design (P, V2, V3, T, M2, M3)

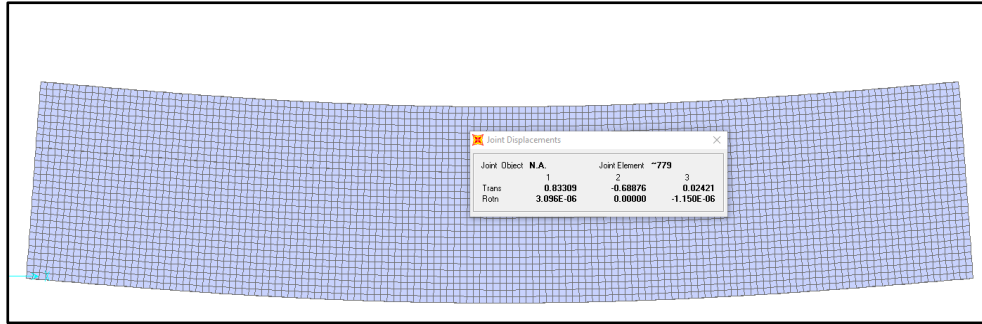
Results Reported at this Location:
☒ Default
☐ User Defined
 X Coordinate:
 Y Coordinate:
 Z Coordinate:

Section Cut Local Axes Orientation - Analysis:
 Rotation about Z: 0.
 Rotation about Y: 0.
 Rotation about X: 0.

☐ Advanced Axes

Şekil 5.18: Section cut özelliğinin gösterimi.

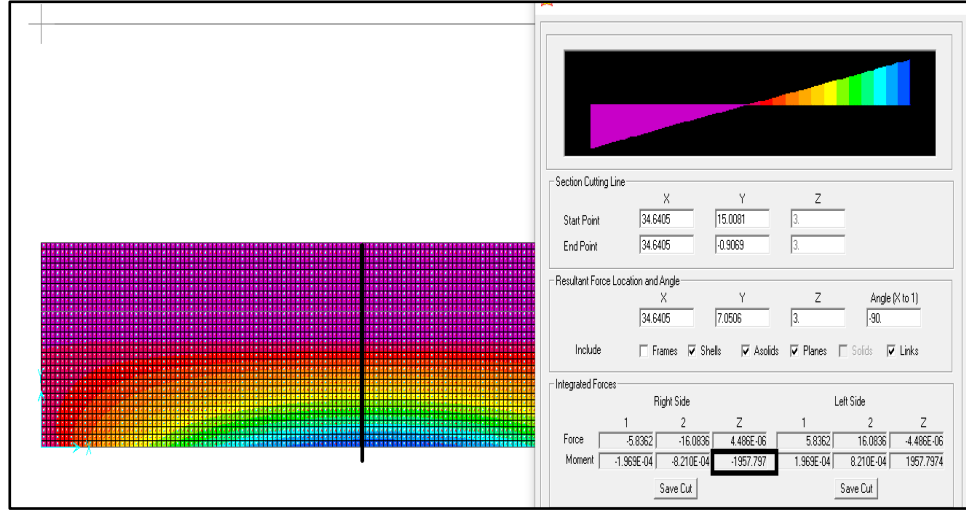
Sistemin yatay yükler altındaki şekil değiştirmesi aşağıdaki şekilde sunulmuştur.



Şekil 5.19: Sistemin yatay yükler altındaki şekil değiştirmesi.

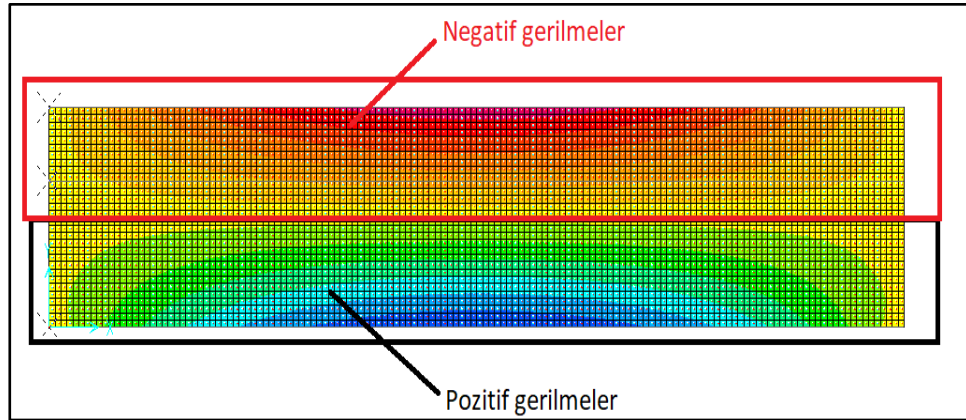
- Kat Döşemesi Başlık Kuvvetlerinin (T) Bulunması

Kat döşemesinde oluşacak açıklık momenti aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi okunarak $M=1957$ kNm bulunmuştur.



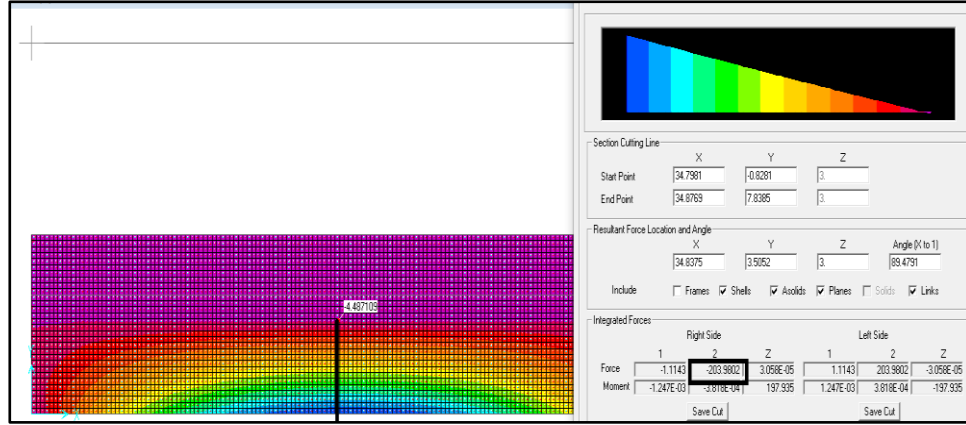
Şekil 5.20: Maksimum açıklık momentinin olduğu kesit gösterimi.

Kat planındaki gerilme dağılımı incelenerek pozitif ve negatif gerilmelerin olduğu bölgelerden section cut özelliği kullanılarak ayrı ayrı kuvvetler toplanıp çekme ve basınç kuvvetleri aşağıda gösterildiği şekilde bulunmuştur. Aşağıdaki şekilde pozitif ve negatif gerilmeler kat planında gösterilmiştir.



Şekil 5.21: Pozitif ve negatif gerilmelerin kat planında gösterimi.

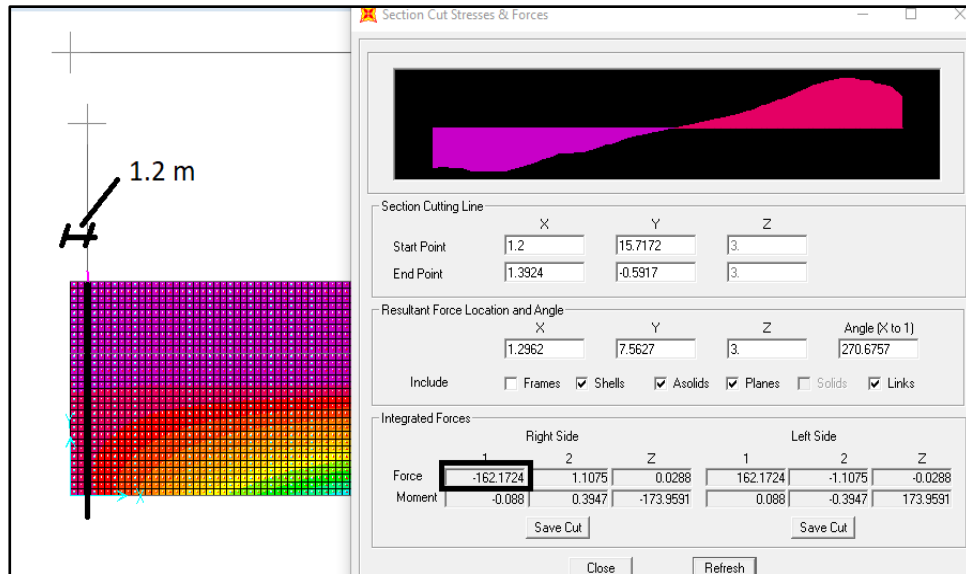
Çekme bölgesindeki kuvvetlerin toplamı $T=203$ kN başlık çekme kuvveti olarak bulunmuştur. Aşağıdaki şekilde başlık çekme kuvvetinin okunması gösterilmiştir.



Şekil 5.22: Diyaframda oluşan maksimum başlık kuvvetlerinin gösterimi.

- Döşeme Elemanları Arasında Oluşabilecek Maksimum Kesme Kuvveti (V_d)

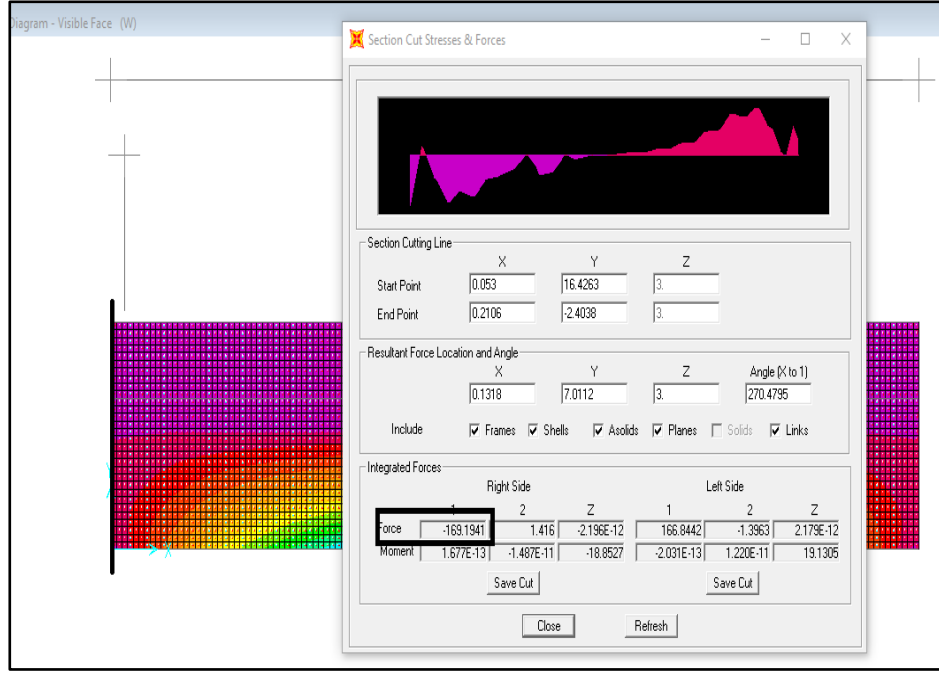
Döşeme panelleri 1.2 m genişlikte olduğundan iki döşeme arasında oluşacak maksimum kesme kuvveti aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi mesnetten 1.2 m uzaklıktaki kesitte $V_d=162$ kN olarak okunmuştur. Aşağıdaki şekilde döşeme panelleri arasındaki kesme kuvvetinin okunması gösterilmiştir.



Şekil 5.23: Paneller arasındaki maksimum kesme kuvvetinin gösterimi.

- Döşeme Perde Birleşim Bölgesinde Oluşacak Kesme Kuvveti (V_b)

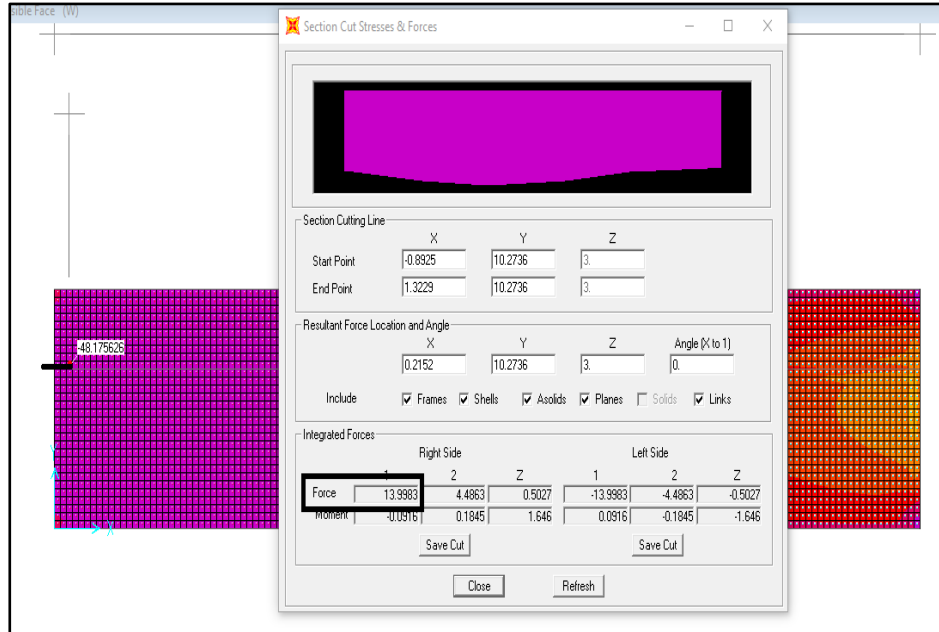
Perde kesme kuvveti veya döşeme perde birleşimi arasındaki kesme kuvveti $V_b=169$ kN olarak aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.24: Döşeme perde arasında oluşan kesme kuvvetinin belirlenmesi.

• Döşeme Elemanları Mesnet Bölgelerinde Oluşacak Kesme Kuvveti (V_m)

Orta kiriş ve döşeme paneli arasında oluşabilecek maksimum kesme kuvveti $V_m=14$ kN/m olarak aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.25: Döşeme ve kiriş bağlantısı kesme kuvvetinin belirlenmesi.

5.7. Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümde önceki bölümlerde sonlu elemanlar ve derin kiriş yöntemleriyle analizleri yapılan döşemenin sonuçları yorumlanacaktır. Aşağıdaki tabloda diyafram analizinin sonlu elemanlar ve derin kiriş yöntemleriyle analizi sonucu bulunan bağ kuvvetlerinin özeti sunulmuştur.

Tablo 5.1: Derin kiriş teoremi ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırılması.

	DK (kN)	SEY (kN)
T	231	203
V _d	163	162
V _b	169	169
V _m	14.5	14

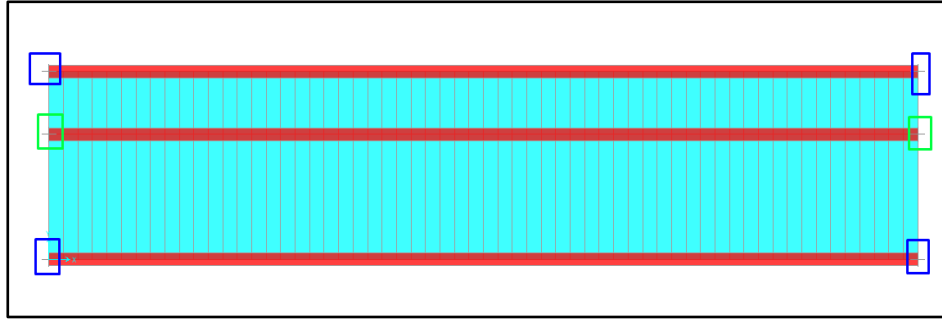
Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere derin kiriş teoremi, sonlu elemanlar yöntemine kıyasla muhafazakar tarafta kalmakta birlikte tasarım açısından yakın sonuçlar elde edilmiştir.

5.8. Modellemede Karşılaşılan Problemler Ve Çözümleri

Bu bölümde önceki başlık altında diyafram analizi yapılan sistemin, sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesinde karşılaşılan problemler ve çözümleri aktarılacaktır.

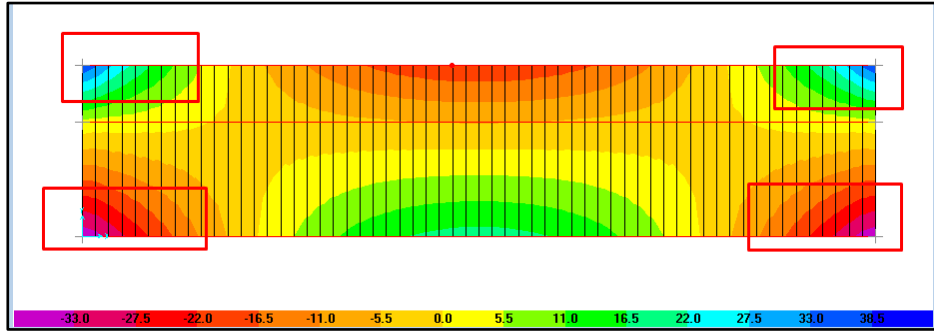
- 2D Modellemede Mesnetlerin Doğru Yerleşiminin Önemi

Önceki bölümde verilen problem, döşeme planındaki kuvvetleri bulmaya yönelik olduğundan 2 boyutlu bir problemdir ve 2 boyutlu şekilde modellenebilir. 2 boyutlu modelde dikkat edilmesi gereken nokta döşeme elemanlarında kullanılan mesnetlerin uygun yerde konumlandırılmasıdır. Örnek olarak; aşağıda verilen şekildeki gibi perde elemanları modellenmeyip döşemenin perdeye mesnetlendiği kenarlarda kiriş uçlarına basit mesnetler atanmıştır.



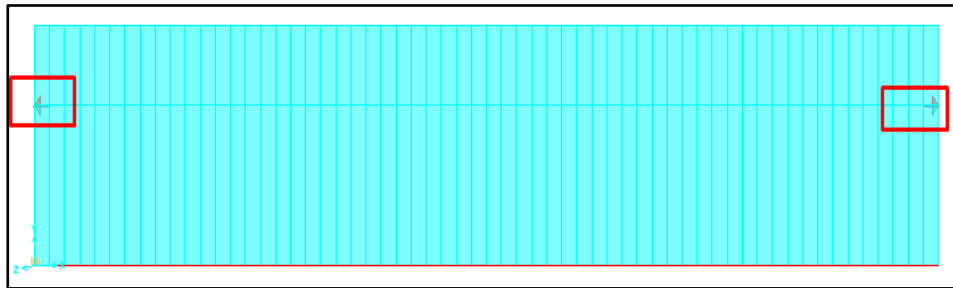
Şekil 5.26: Döşeme planında mesnetlerin atandığı yerlerin gösterimi.

Köşelerde bulunan mesnetler döşemenin yatay yükler altında derin kiriş gibi davranmasını engellemiştir ve köşelerde gerilme yığılmaları meydana gelmiştir. Aşağıdaki verilen şekilde köşelerde meydana gelen gerilme yığılmaları gösterilmiştir.

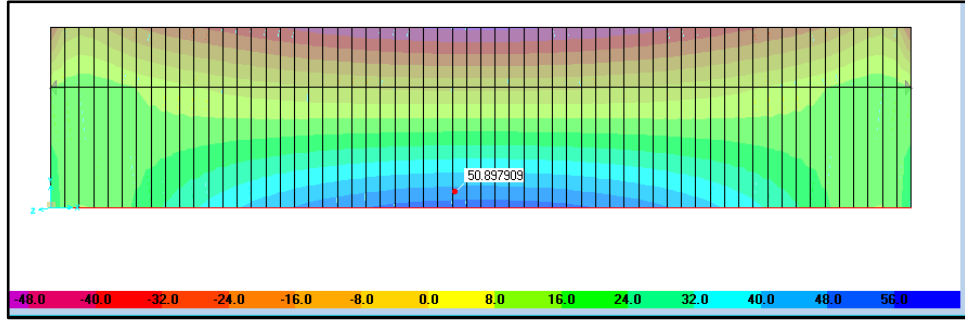


Şekil 5.27: Döşeme planında köşelerdeki gerilme yığılmalarının gösterimi.

Bu gerilme yığılmalarını önlemek ve döşemenin derin kiriş gibi davranmasına olanak vermek adına, basit mesnetler yalnızca planda görülen orta kiriş uçlarına atanarak çözüm yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde mesnetlerin atandığı yerler ve bu çözümden elde edilen gerilme dağılımı verilmiştir.



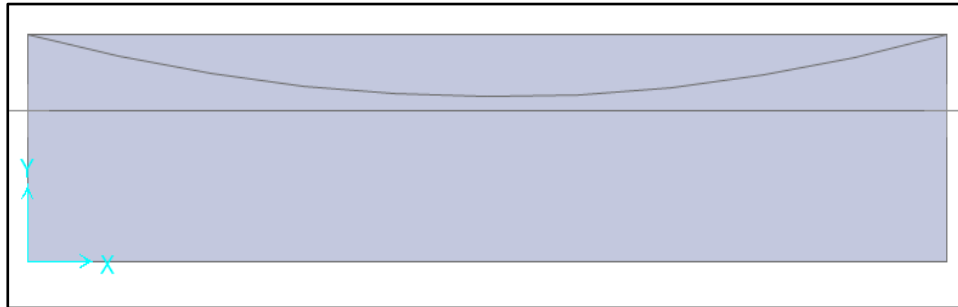
Şekil 5.28: Mesnetlerin doğru şekilde atandığı yerlerin gösterimi.



Şekil 5.29: Döşemede beklenen gerilme dağılımının gösterimi.

- Döşeme Elemanlarında Membran Model Kullanılması Durumu

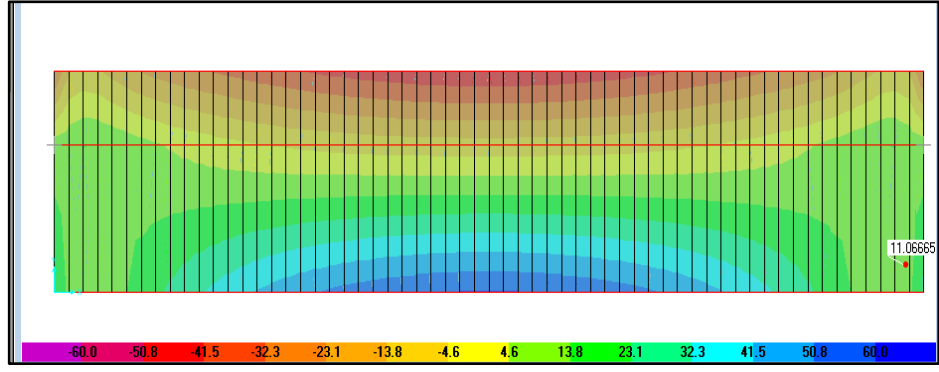
Döşemeler kabuk elemanlar yerine membran elemanlar ile modellenmesi durumunda, yatay yük kirişe tanımlandığı için membran elemanların özelliği gereği yükler kiriş elemanından döşemeye aktarılmayacaktır. Aşağıda verilen şekilde membran modelde yatay yükler altında yalnızca kirişte deformasyon olduğu, kiriş ve döşeme elemanlarının ayrı çalıştığı görülmüştür. Bu nedenle modellemede kabuk elemanlar tercih edilerek problem çözülmüştür.



Şekil 5.30: Membran model kullanımında sistemin deformasyonu.

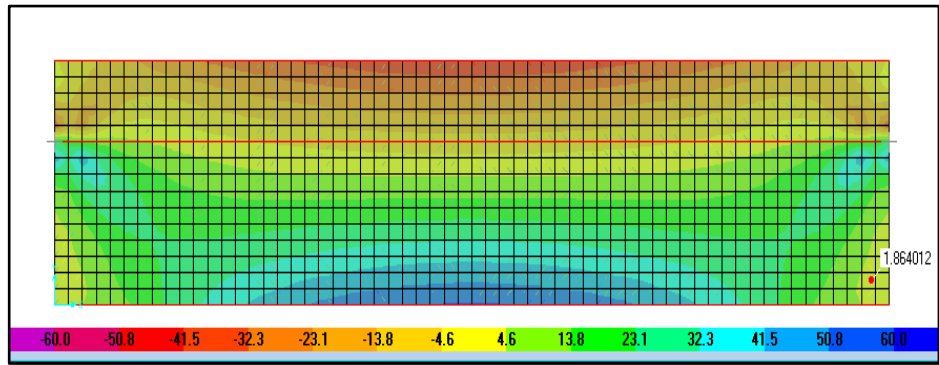
- Kabuk Elemanların Yeterli Sonlu Elemanlara Bölünmemesinin Etkisi

Döşemeler kabuk elemanlarla modellendiğinde yeterli sayıda sonlu elemanlara bölünmelidir. Aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi döşeme elemanları uzun doğrultuda yaklaşık 1 m aralıklarla bölünmesine karşın, kısa doğrultuda yalnızca orta kirişin olduğu yerden bölünmüştür. Sistemin yatay yükler altındaki gerilme dağılımı aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5.31: Elemanların yeterli bölünmediği durumdaki gerilme dağılımı.

Aynı modelde kabuk elemanlar kısa doğrultuda da yaklaşık 50 cm'lik parçalara bölünerek analiz yapılmıştır. Elde edilen gerilme dağılımı, aşağıda verilen şekilde gibidir.



Şekil 5.32: Elemanların yeterli bölündüğü durumdaki gerilme dağılımı.

Yukarıda verilen şekilde görüldüğü gibi, gerilme dağılımı kabuk elemanların kısa doğrultuda da yeterli boyutta bölünmesiyle değişmiştir.

6. ÇARPMA YÜKLERİ

Bu bölümde çarpma yükleri açıklanacaktır. Çarpma yükleri Eurocode 1’de kaza yükleri sınıfına girer. Kaza yükleri; olma olasılığı düşük fakat kısa sürede büyük hasarlara neden olan yükler olarak tanımlanır. Yangın, deprem, çarpma itkisi, patlama, toprak kayması vb. yükler kaza yükleri içerisinde yer alır [6].

6.1. Çarpma Yüklerinin Sınıflandırılması

Çarpma yükleri çarpan cismin niteliğine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- Araç çarpma yükleri,
- Forklift çarpma yükleri,
- Tren çarpma yükleri,
- Gemi çarpma yükleri,
- Helikopterin binaya oturma etkisi.

Bu tez kapsamında araç çarpma yükleri ele alınacaktır. Araç çarpma yükleri aşağıdaki durumlarda dikkate alınmalıdır [6].

- Otopark alanlarında,
- Forklift veya araç girmesine izin verilen yapılarda,
- Yol kenarında bulunan yapılarda,
- Köprü ayaklarında.

6.2. Çarpma Yüklerinin Temsil Edilmesi

Çarpma yükü, karmaşık dinamik bir etkidir. Çarpmada oluşan enerji yapıda ve çarpan araçta elastik, plastik deformasyona dönüşür. Çarpma noktası, çarpma açısı gibi değişkenler bu davranış etkiler. Ele alınan şartnamede, çarpma nesneye dik bir şekilde olduğu varsayılarak çarpma açısı ihmal edilmiştir.

Dinamik etki olan çarpma yükleri; literatürde dinamik veya eşdeğer statik yük olarak dikkate alınabileceği belirtilmiştir. Statik çarpma kuvvetleri, yapı kullanım amacı ve araç türüne bağlı olarak yönetmelikte verilen tablodan veya dinamik etkileri (araç hızı, kütlesi) dikkate alan formülle belirlenebilir. Aşağıdaki tabloda yapı kullanım amacına göre verilen eşdeğer statik kuvvetler sunulmuştur [6].

Tablo 6.1: Eşdeğer statik çarpma kuvvetleri.

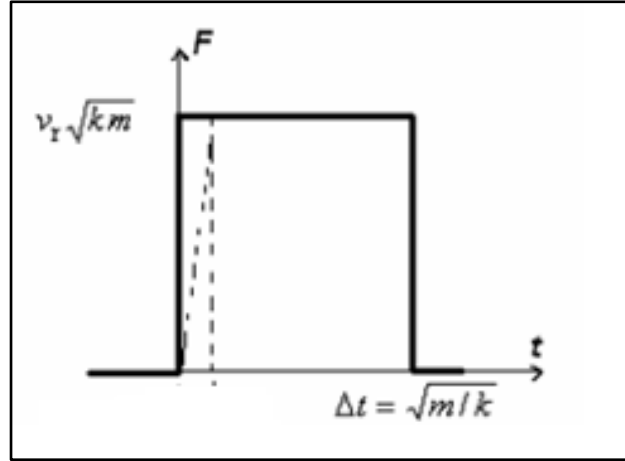
YAPI SINIFI	F _x (kN)	F _y (kN)
Otoban ve anayol kenarındaki yapılarda	1000	500
Şehirlerarası yollarda bulunan yapılarda	750	375
Şehirçi yol kenarlarında bulunan yapılarda	500	250
Otopark vb.yapılarda;		
Kamyon	150	75
Taksi	50	25

Tabloda; F_x: Trafik akış doğrultusunda etkitilecek kuvveti, F_y: Trafik akış doğrultusuna dik etkitilecek kuvveti temsil etmektedir.

Dinamik analiz yöntemleri için ise 2 farklı çarpma türü tanımlanmıştır. Bunlar, sert çarpma etkisi ve yumuşak çarpma etkisidir. Sert çarpma etkisi; çarpma enerjisinin çarpan cisimde dağıldığı çarpma türü ve yumuşak çarpma etkisi; çarpma enerjisinin yapı tarafından absorbe edildiği çarpma türü olarak tanımlanmıştır. Bu tez kapsamında uygulanacak olan sert çarpma etkisi için yönetmelikte basitleştirilmiş dinamik formül verilmiştir [6].

$$F = v_r \cdot \sqrt{k \cdot m} \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte F eşdeğer çarpma kuvvetini (kgf), V_r çarpan cismin hızını (m/sn), k çarpan cismin rijitliğini (kg/m), m çarpan cismin kütlesini (kg) ifade etmektedir. Bu formülden elde edilecek maksimum çarpma kuvveti dinamik büyütme katsayısı ile çarpılarak statik olarak etkittilebilir. Dinamik büyütme katsayısı, yapı rijitliğine bağlı olarak 1.5-2 olarak önerilmiştir. Dinamik analiz için ise, çarpma yükü fonksiyonu aşağıdaki gibi düzenlenerek dinamik analiz yapılabilir [6], [27].



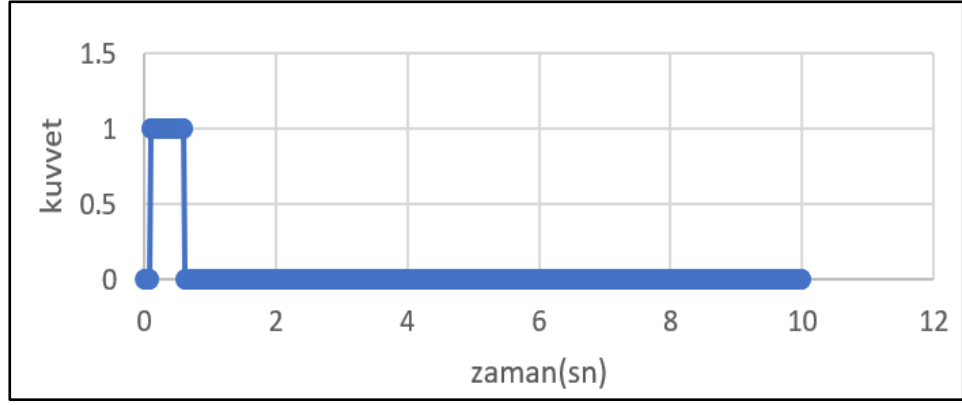
Şekil 6.1: Çarpma yükü fonksiyonu.

6.3. Statik Ve Dinamik Çarpma Yükünün Kıyaslanması

Bu bölümde hibrit prekast otopark yapısına ait çelik kolona, statik ve dinamik çarpma yükü etkiltilerek deformasyon ve iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Ele alınan probleme ait veriler aşağıdaki gibidir.

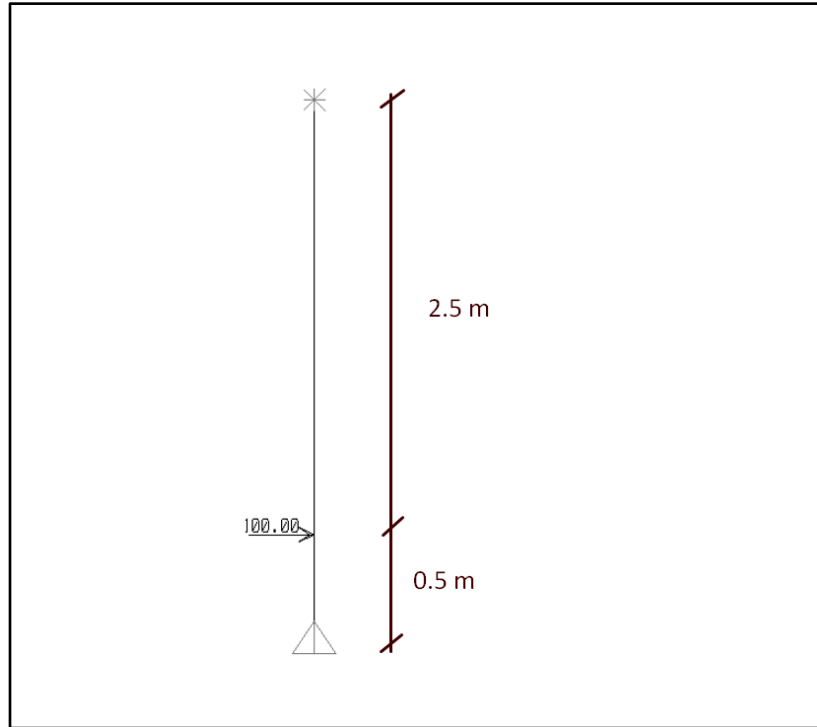
- Kolon yüksekliği 3 m dir.
- Kolon tipi, 150X8 (mm) kutu profildir.
- Malzeme kalitesi S355 kabul edilmiştir.
- Çarpma yükü 100 kN olarak ele alınmıştır.
- Yük etkiltilme yüksekliği 0.5 m olarak kabul edilmiştir.
- Kolon alt ve üst ucu mafsallı kabul edilmiştir.
- Kolon çubuk eleman olarak modellenmiştir.
- Analizde Sap2000 V14.2.4 analiz programı kullanılmıştır.

Dinamik çarpma yükü fonksiyonunda yükün etkime süresi 0.6 sn ve fonksiyonun toplam süresi 10 sn olarak alınmıştır [27]. Aşağıdaki şekilde dinamik çarpma yükü fonksiyonu verilmiştir.



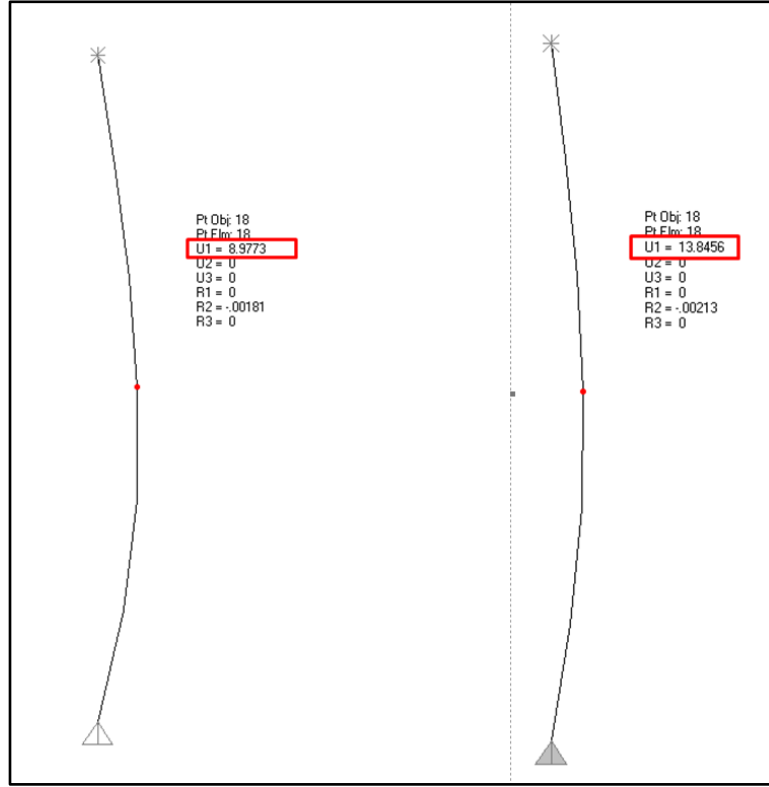
Şekil 6.2: Dinamik çarpma yükü fonksiyonu.

Yükün kolona etkidiği nokta aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3: Çarpma yükünün kolona etkilmesi.

Dinamik çarpma yükü (DÇY) ve statik çarpma yükü (SÇY) sonucunda kolonda oluşan maksimum kesme kuvveti, moment ve deplasman değerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 6.6: SÇY ve DÇY altında kolonda oluşan deplasman değerleri (mm).

Aşağıdaki tabloda statik ve dinamik çarpma etkisinde kolonda oluşan tesirler özet şekilde verilmiştir.

Tablo 6.2: Statik ve dinamik yükleme sonuçları.

	Statik	Dinamik
	Çarpma	Çarpma
Deplasman (mm)	8.9	13.8
Moment (kNm)	41.6	50.9
Kesme Kuvveti (kN)	16.6	30.0

Sonuçlardan görüleceği üzere statik yükleme sonucundaki değerler, dinamik yüklemedeki değerlerin yaklaşık 1.5-2 katı kadar küçük çıkmıştır. Bu fark şartnamede verilen dinamik büyütme katsayısı kullanıldığında ortadan kalkacağından sonuçların yaklaşık aynı çıktığı söylenebilir.

7. SAYISAL UYGULAMA

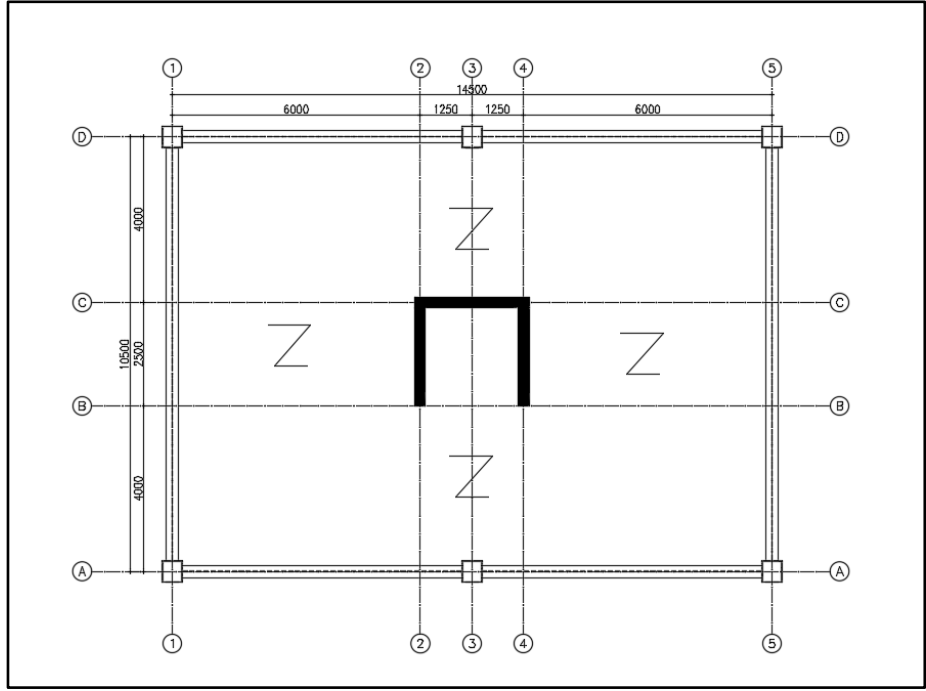
Bu bölümde, 3 katlı hibrit prekast yapının sonlu elemanlar yöntemiyle modelleme teknikleri aktarılmış ve çarpma senaryosu oluşturularak yapının doğrusal olmayan davranışı irdelenmiştir. Yapının doğrusal olmayan analizi Sap2000 V14.2.4 analiz programıyla yapılmıştır.

7.1. Yapısal Model Malzeme Özellikleri Ve Yük Kabulleri

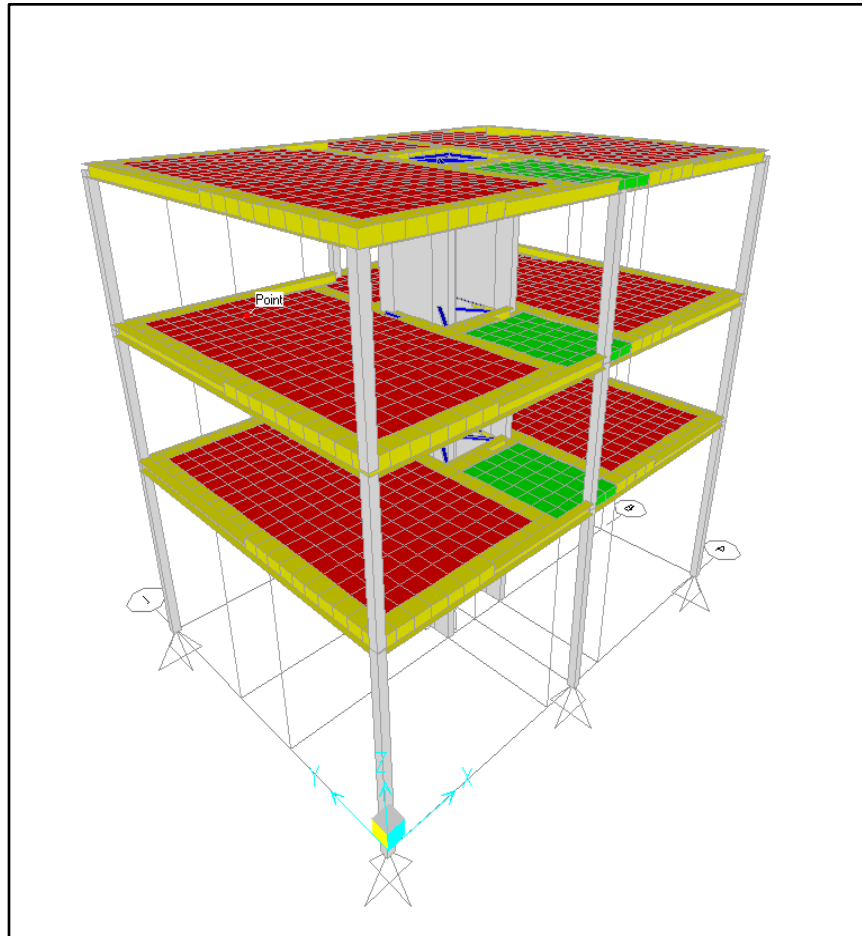
Yapısal model özellikleri aşağıda verildiği gibidir;

- Hibrit prekast yapıda; kolon ve kirişler çelik, döşeme ve perde elemanları ön üretimli betonarme elemanlar olarak ele alınmıştır.
- Yapı kısa doğrultuda 10.5 m uzun doğrultuda 14.5 m dir.
- Kat yükseklikleri; zemin kat 6 m, normal katlar 4 m olup yapı toplam 3 kattan oluşmaktadır.
- Kirişler HEA300, kolonlar kutu 200x10, perde kalınlığı 200 mm, döşeme elemanları 320 mm prekast plak döşeme olarak ele alınmıştır.
- Döşemeler plana göre A-D aksı doğrultusunda tek yönlü çalıştığı kabul edilmiştir.
- Döşemelerin diyafram davranışını kaplama betonu ve içindeki donatılarla sağladığı kabulü yapılmıştır.
- Bağlantı tipleri olarak; kolon ve kiriş elemanlarının tüm bağlantıları ve döşeme elemanlarının diğer yapısal elemanlarla bağlantıları mafsallı kabul edilmiştir.
- Çift cidarlı prekast perde elemanları, eşdeğer ıslak birleşimlerle monolitik davranışı sağladığı kabulü yapılmıştır.
- Temel kolon bağlantıları mafsallı, temel perde bağlantısı ankastre kabul edilmiştir.

Yapının tipik kat planı ve 3D hesap modeli izleyen şekillerde verilmiştir. Ölçüler mm cinsindendir.



Şekil 7.1: Tipik kat planı.



Şekil 7.2: 3D matematik model.

- Malzeme Bilgileri

Kullanılan malzeme sınıfları ve analiz programına tanımlanması izleyen şekillerde verilmiştir.

-Beton Sınıfı: C30

Material Property Data

Material Name: C30

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E: 32000

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 2.500E-06, Mass per Unit Volume: 2.549E-09

Units: N, mm, C

Poisson's Ratio: U: 0.2

Coeff of Thermal Expansion: A: 9.900E-06

Shear Modulus: G: 13333.333

Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 30

Lightweight Concrete: ☐

Shear Strength Reduction Factor:

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 7.3: Beton sınıfının tanımlanması.

-Donatı Çeliği: S420

Material Property Data

Material Name: S420

Material Type: Rebar

Symmetry Type: Uniaxial

Modulus of Elasticity: E1: 200000

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 7.697E-06, Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Poisson's Ratio: U12: 0

Coeff of Thermal Expansion: A1: 1.170E-05

Shear Modulus: G12: 0

Other Properties for Rebar Materials: Minimum Yield Stress, Fy: 420, Minimum Tensile Stress, Fu: 490, Expected Yield Stress, Fye: 420, Expected Tensile Stress, Fue: 490

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 7.4: Donatı çeliği sınıfının tanımlanması.

-Yapısal Çelik: S355JR

Material Property Data

Material Name: S355

Material Type: Steel

Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E: 199947.98

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 7.637E-06, Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units: N, mm, C

Poisson's Ratio: U: 0.3

Coeff of Thermal Expansion: A: 1.170E-05

Shear Modulus: G: 76903.07

Other Properties for Steel Materials:

Minimum Yield Stress, Fy: 355

Minimum Tensile Stress, Fu: 490

Effective Yield Stress, Fye: 355

Effective Tensile Stress, Fue: 490

Advanced Material Property Data:

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...

Time Dependent Properties... Thermal Properties...

OK Cancel

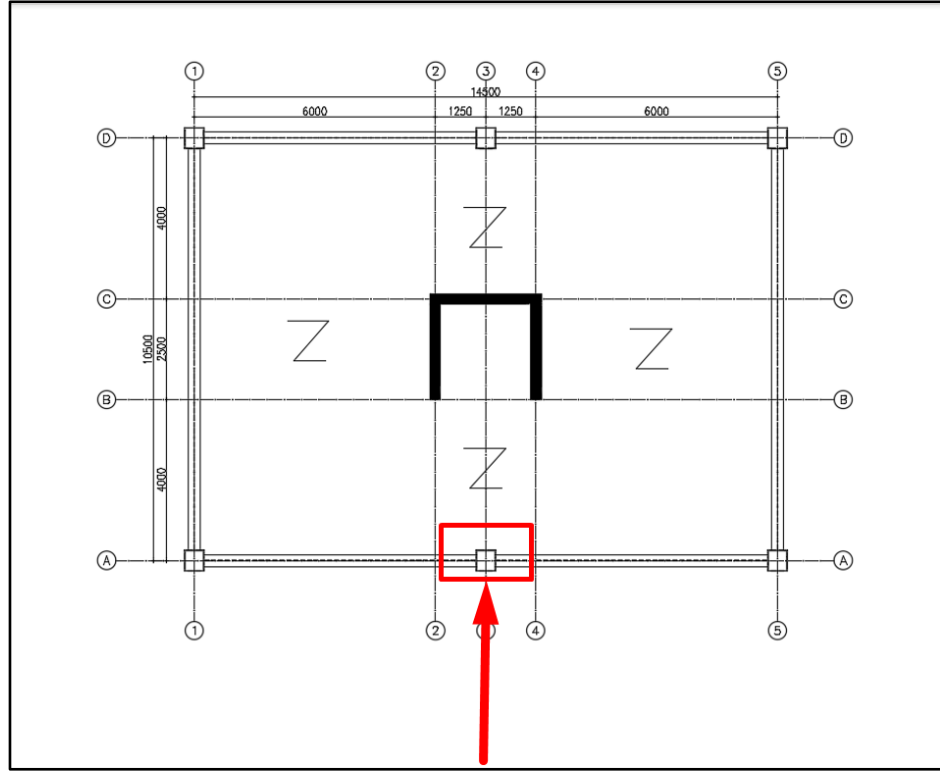
Şekil 7.5: Yapısal çelik sınıfının tanımlanması.

7.1.1. Yük Analizi

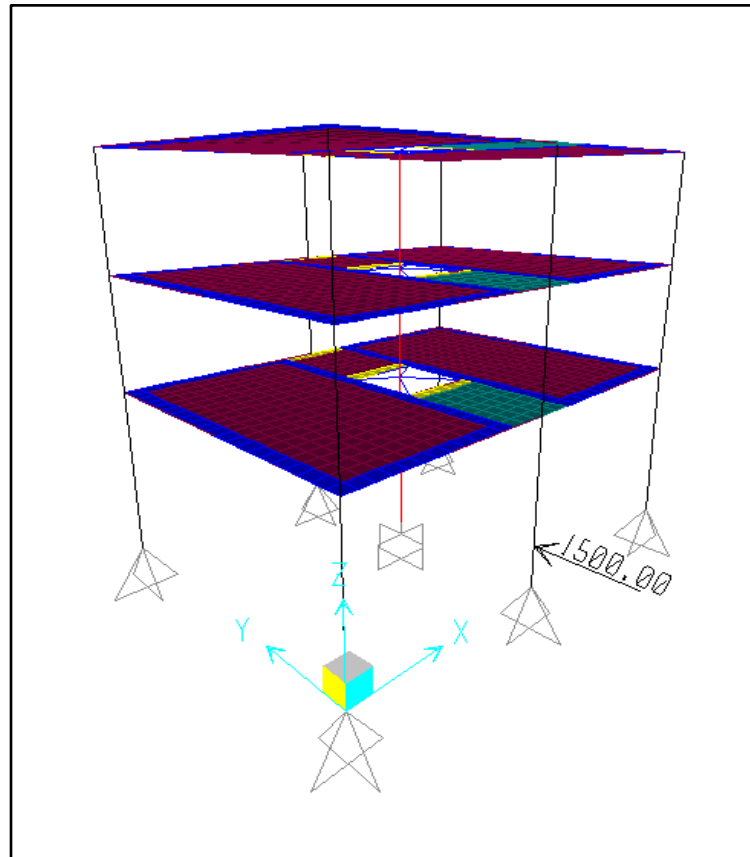
Yapıya etkitilen yükler aşağıdaki gibidir;

- Kaplama yükü: 2 kN/m^2 , hareketli yük: 2 kN/m^2 ,
- Yapı elemanlarının kendi ağırlıklarının yükü, programda otomatik hesaplanıp alınmıştır, yalnızca döşeme elemanlarının kendi ağırlıklarının yükü düzgün yayılı yük olarak etkitilmiştir.
- Çarpma yükü, yapı modelinde değiştirilerek 2 farklı analiz yapılmıştır. Çarpma yükü 3A aksındaki kolona araç çarptığı kabul edilerek, 3A aksındaki kolonda dikkate alınmıştır. Dikkate alınan yük; analiz 1'de 300 kN dan 40000 kN a kadar arttırılarak dikkate alınmış, analiz 2'de ise kolonda göçme meydana getirecek yani kolonun plastik mafsallık kapasitesine ulaştıracak kuvvet kadar dikkate alınmıştır. Çarpma yükü yüksekliği ise temelden 1.5 m yükseklikte dikkate alınmıştır.

Aşağıdaki şekillerde çarpma yükünün etkitildiği kolon gösterilmiştir.



Şekil 7.6: Çarpma yükünün etkitildiği eleman.

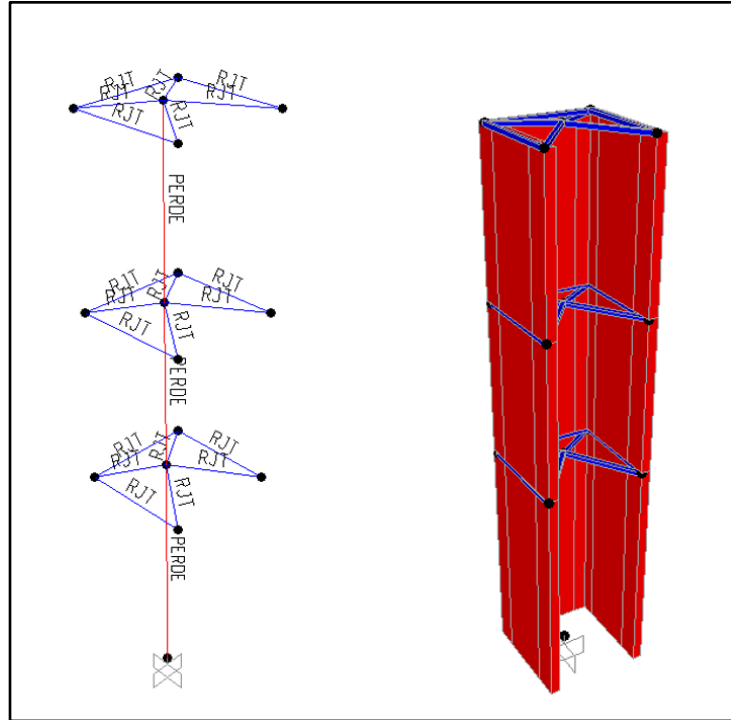


Şekil 7.7: Çarpma yükünün etkitilmesi.

7.2. Analiz Modelinin Oluşturulması

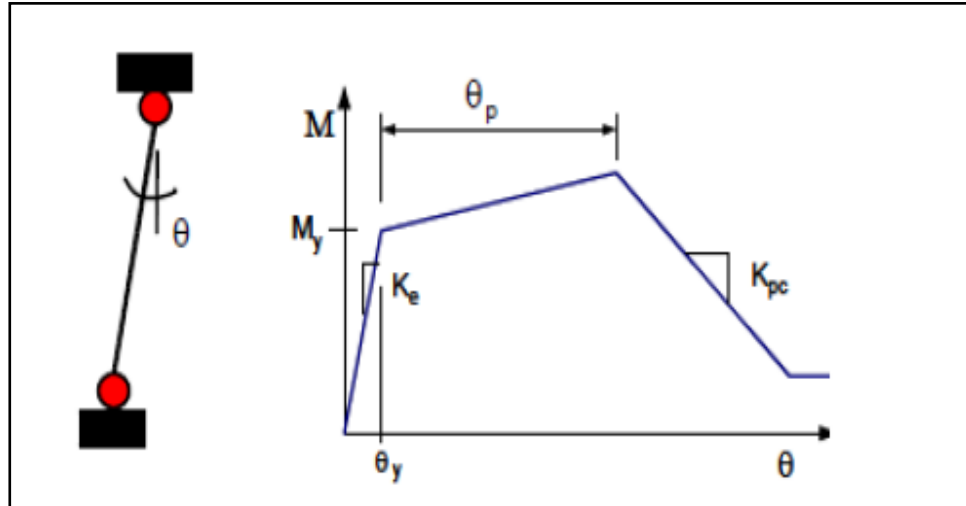
Analiz modeli aşağıda belirtilen şekilde oluşturulmuştur;

- Kolon ve kiriş elemanların modellenmesinde çubuk elemanlar kullanılmıştır.
- Döşemeler lineer davranış göstermesi beklenen bölgede kabuk model ile modellenmiştir.
- Perdenin modellenmesinde eşdeğer çubuk modeli kullanılmıştır. Betonarme perde elemanların doğrusal olmayan davranışları farklı şekillerde modellenebilir. Bu yöntemler sonlu elemanlar kabuk modeli ve orta dikme çubuk modelidir. Betonarme perde en kesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler, plandaki en uzun perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/2'yi geçmediği yapılarda, eşdeğer çubuk olarak modellenebilir. Eşdeğer ubuk modelde diğer yapı elemanlarının perdeyle bağlantısını yapabilmek için rijit fiktif elemanlar kullanılmaktadır. Betonarme perdeler bu koşulu sağlamadığı durumlarda sonlu elemanlar kabuk modeli kullanılır [7]. Rijit fiktif elemanlar 10X10 cm beton çubuk eleman olarak tanımlanıp eğilme rijitlikleri 10^5 ile arttırılmış ve kütle, ağırlıkları ihmal edilmiştir.



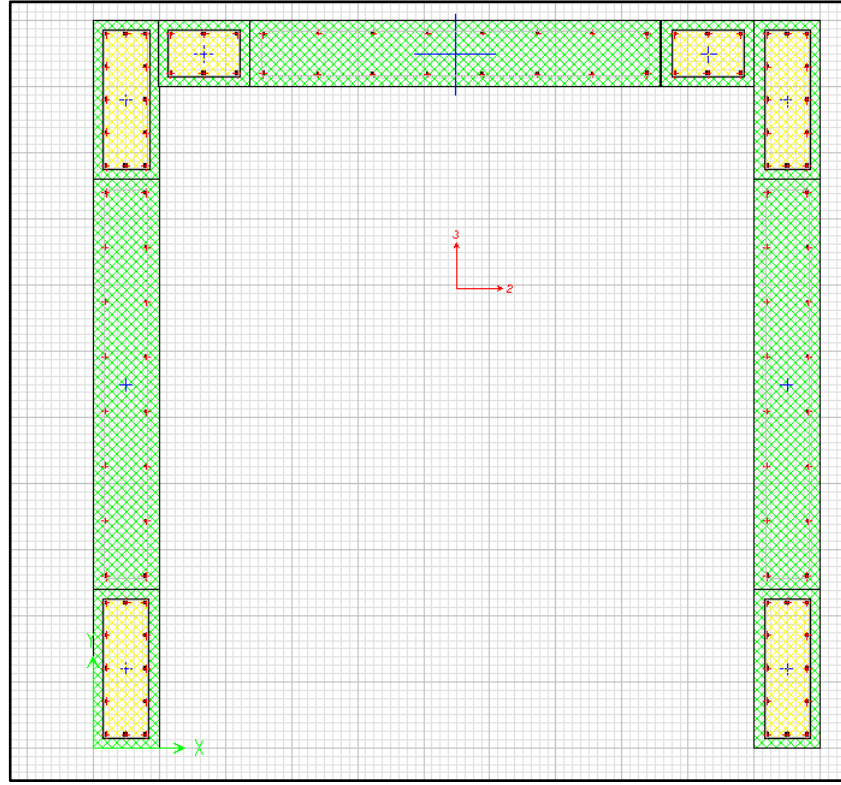
şekil 7.8: Perde eşdeğer çubuk modelinin gösterimi.

- Doğrusal olmayan malzeme davranışı plastik mafsallarla tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde yığılı plastik mafsalları şematik olarak gösterilmiştir. Yığılı plastik mafsalları basit yapısından dolayı en çok kullanılan plastik mafsalları modelidir. Bu modelde herhangi bir yapısal kesitin doğrusal olmayan davranışının sıfır uzunluğunda bulunan bir noktaya yığıldığı kabul edilir. Yığılı plastik mafsallar genel olarak çubuk elemanların iki ucuna yerleştirilir ve bu iki mafsalları elemanın arasında doğrusal bir davranış modellenir. Eksenel kuvvet ile eğilme momenti arasındaki ilişkide akma yüzeyleri tanımlanarak modellenenebilir.
- Bu tür mafsallar PMM veya PM mafsalları olarak tanımlanır [28]. Aşağıda verilen şekilde; θ_y kesitin akma dönmesini, M_y akma momentini, θ_p plastik dönme, K_e dönme rijitliğini, θ toplam dönme ifade etmektedir [28].



Şekil 7.9: Yığılı plastik mafsalları modeli.

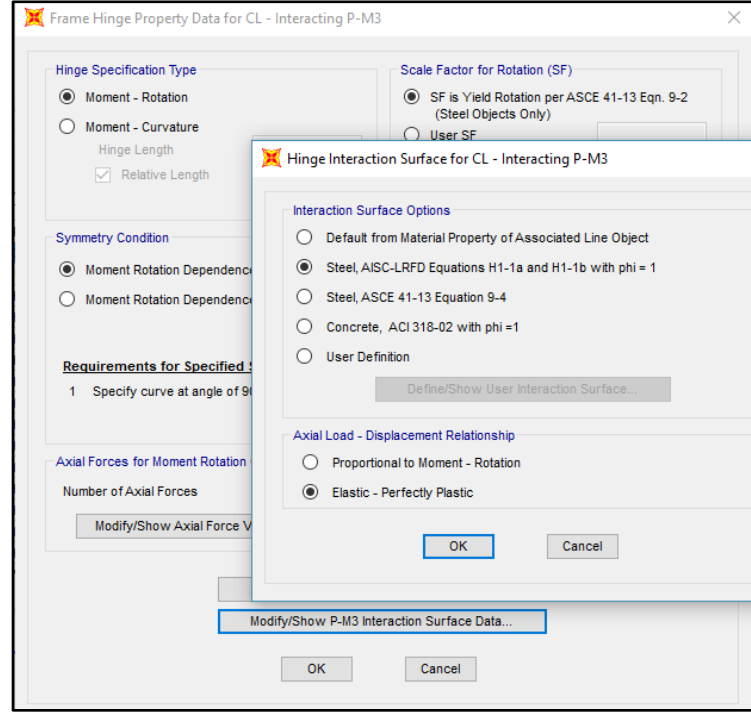
- Prekast çift cidarlı perdenin section designer’da donatı modeli yapıp akma yüzeyleri tariflenmiştir. Perdede minimum donatılar dikkate alınmıştır.



Şekil 7.10: Prekast perde donatı modellemesinin gösterimi.

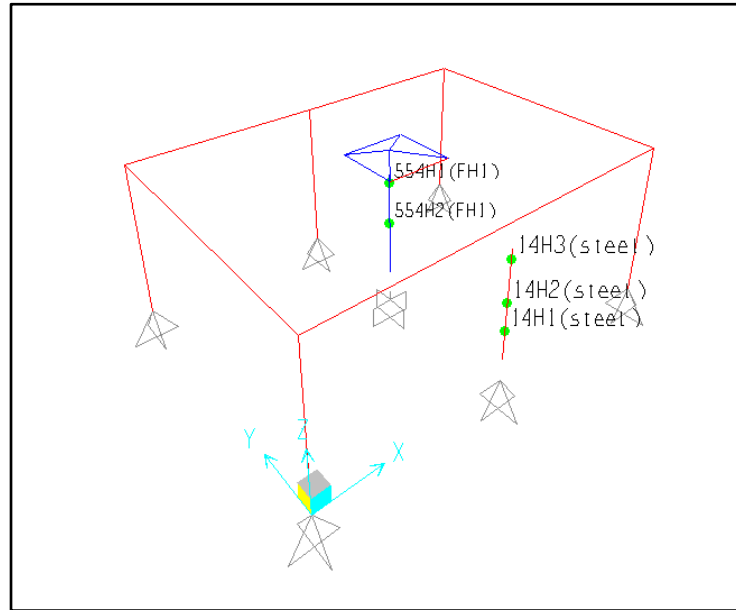
- Çelik kolonlarda akma sınırı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır. Eşitlikte verilen, θ_y akma dönmesini (rad), F_{ye} kolonun karakteristik akma gerilmesini (kN/m²), Z_x kesitin plastik mukavemet momenti (m³), L_c kolon boyunu (m), E çelik malzemesi elastite modülünü (kN/m²), I_c kolon kesit eylemsizlik momenti (m⁴), P_{ye} kolon elemanında beklenen eksenel akma kuvvetini (kN) ifade etmektedir. Denklem içerisinde yer alan P değeri, sistemin düşey yükler altında doğrusal olmayan statik analiz sonucunda kolon elemanında oluşan eksenel kuvvet değeri alınabilir [15]. Plastik mafsalları aşağıdaki Şekil 7.11’de gösterildiği gibi Sap2000 analiz programına tanımlanmıştır.

$$\theta_y = \frac{F_{ye} \cdot Z_x \cdot L_c}{6 \cdot E \cdot I_c} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (7.1)$$



Şekil 7.11: Çelik kolon plastik mafsalları tanımlama.

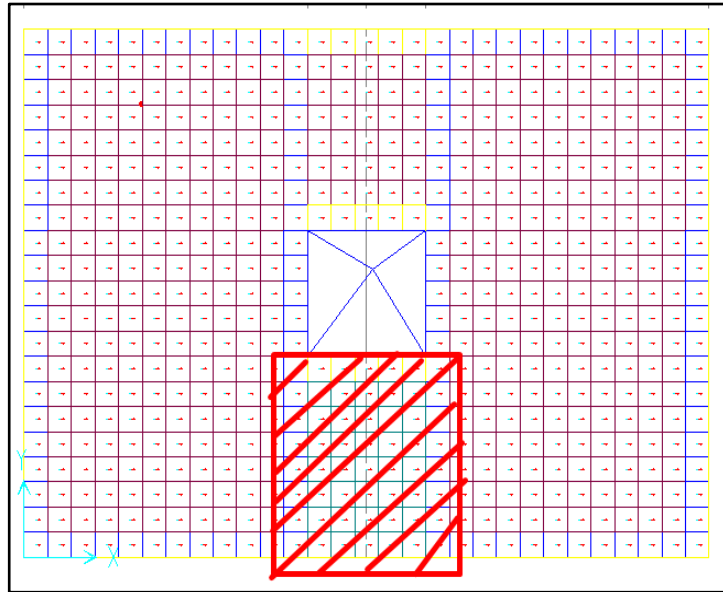
- Plastik mafsalları, en alt kattaki perdede ve 3A aksındaki kolonda plastik mafsalları olabilecek noktalara tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde plastik mafsalları tanımlanan kesitler gösterilmiştir.



Şekil 7.12: Plastik mafsalları atanmış elemanlar.

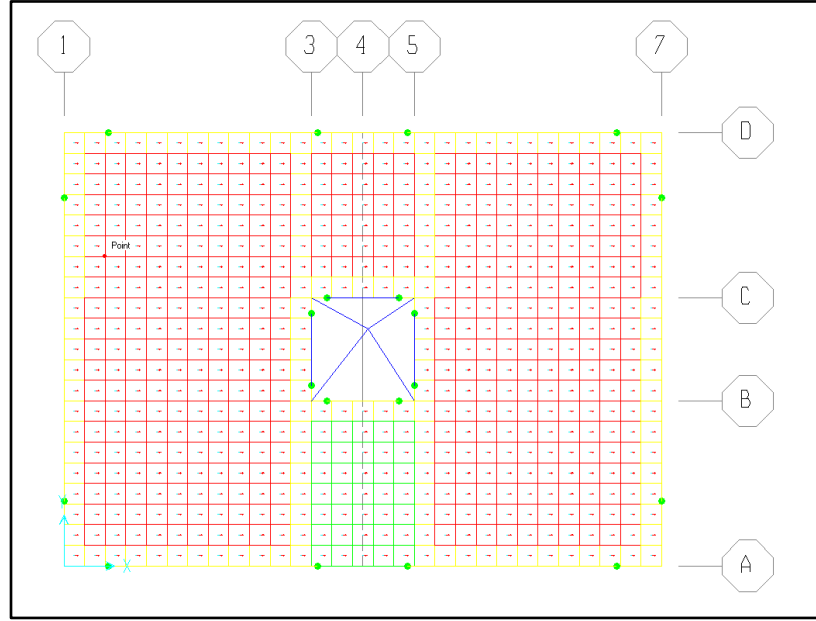
- Döşeme elemanlarında doğrusal olmayan davranış göstermesi beklenen bölge çok katmanlı kabuk elemanlar ile modellenmiştir. Bu bölgede $\phi 10$ donatı 200 mm arayla iki yönde alt ve üstte olduğu varsayılmıştır. Çok katmanlı model tanımlaması ve tanımlanan bölge aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 7.13: Çok katmanlı kabul model tanımlanması.

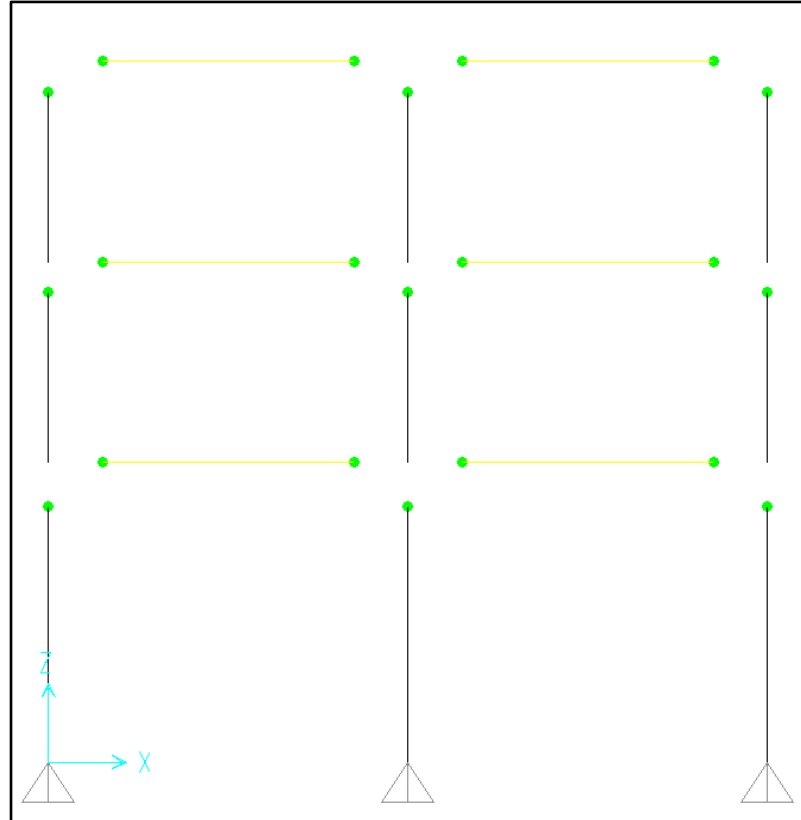


Şekil 7.14: Doğrusal olmayan davranış göstermesi beklenen bölge.

- Kolon kiriş bağlantı tiplerine uygun olarak, kolon kiriş uçlarına mafsallar tanımlanmıştır.

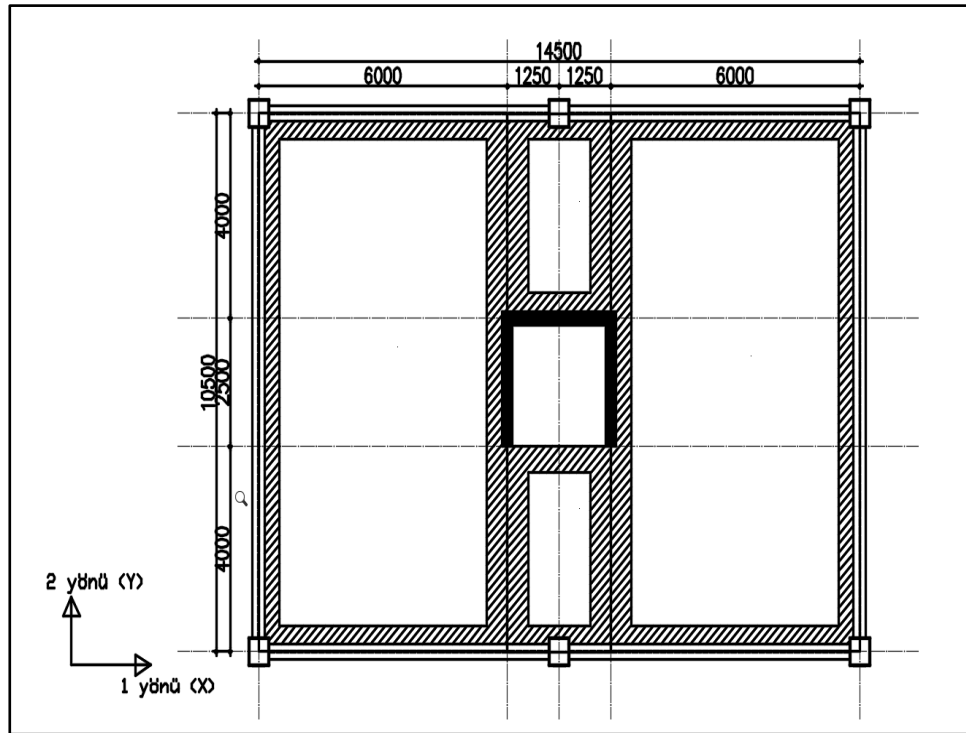


Şekil 7.15: Mafsallı kiriş birleşimlerin gösterilmesi.



Şekil 7.16: Mafsallı kolon kiriş birleşimlerin gösterilmesi.

- Temel kolon bağlantılarına mafsallı mesnetler atanmıştır.
- Temel perde bağlantısına ankastre mesnet atanmıştır.
- Döşeme elemanları tipik kat planında gösterildiği gibi Y yönünde olmak üzere tek yönlü çalışmaktadır ve kiriş döşeme bağlantıları mafsallı kabul edilmiştir.
- Mafsallı kiriş döşeme bağlantı davranışını sağlayabilmek için kiriş ve döşeme birleşim bölgelerinde, yani kirişten uzaklığı yaklaşık 50 cm'lik bölgede farklı eğilme rijitliğine sahip kabuk elemanlar tanımlanmıştır. Taralı olarak gösterilen bu bölgelerdeki döşeme parçalarında M11 ve M22 eğilme rijitliği 0 olarak tanımlanmıştır.
- Diğer bölgelerde kalan döşeme parçalarında ise yalnızca M11 0 olarak tanımlanarak döşemelerin Y doğrultunda tek yönlü çalışması sağlanmıştır. Aşağıdaki şekilde kat planında taralı olan ve olmayan bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 7.17: Taralı ve taralı olmayan bölgelerin gösterimi.

- Döşeme elemanlarına tanımlanan eğilme rijitlikleri aşağıda verilen şekillerde gösterildiği gibidir.

Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 483

Section Property	
Section Name	HLS32
Section Type	Shell (Shell-Thin)
Property Modifiers	
m11	0.
Material Overwrite	None
Thickness Overwrite	None
Joint Offset Overwrite	None
Local Axes	Default
Area Springs	None
Area Mass	None
Automatic Area Mesh	None
Auto Edge Constraint	No
Material Temp	Default
Group	ALL
Plot Functions	None

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

Şekil 7.18: Taralı olmayan bölgedeki döşeme elemanlarının eğilme rijitlikleri.

Object Model - Area Information

Location Assignments Loads

Identification

Label 1249

Section Property	
Section Name	hl320
Section Type	Shell (Shell-Thin)
Property Modifiers	
m11	0.
m22	0.
Mass	0.
Weight	0.
Material Overwrite	None
Thickness Overwrite	None
Joint Offset Overwrite	None
Local Axes	Default
Area Springs	None
Area Mass	None
Automatic Area Mesh	None
Auto Edge Constraint	No
Material Temp	Default
Group	ALL
Plot Functions	None

KN, m, C

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Şekil 7.19: Taralı olan bölgedeki döşeme elemanlarının eğilme rijitlikleri.

• Çarpma analizi için ilerleyen bölümde anlatılan analiz 2’de aşamalı analiz modülü kullanılmıştır. Çarpma senaryosunda, 3A aksındaki kolonda çarpma meydana gelecek ve kolonda göçme oluşacak. Kolonda göçme meydana geldikten sonra şekil değiştirmeler incelenecektir. Bu davranışın gözlenebilmesi için, Sap2000 programının doğrusal olmayan aşamalı analiz modülü kullanılmıştır. Aşamalı analiz modülü kullanılarak öncelikle düşey yükler yüklenmiş, daha sonra çarpma yükü etkiltilmiş ve çarpma meydana gelen kolonda çarpmadan sonra göçme meydana geleceğinden hesap modeline bu kolonun kaldırılması tanımlanmış ve şekil değiştirmeler irdelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde aşamalı analiz modülünün kullanımı gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: 1STG1-GQ [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear
- ☐ Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL []

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	COVER	1.
Load Pattern	COVER	1.
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	LIVE	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 7.20: Çarpma analizi başlangıç adımı tanımlanması.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: 2-IMPACTDY Set Def Name

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case: 1STG1-GQ

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	IMPACT ST	1.
Load Pattern	IMPACT STATI	1.

Add Modify Delete

Other Parameters:

Load Application: Full Load Modify/Show...

Results Saved: Final State Only Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

OK Cancel

Şekil 7.21: Çarpma analizi 2. adımın tanımlanması.

Stage Definition

Stage No.	Duration (Days)	Provide Output	Output Label	User Comments
1	1.	Yes		
1	1.	Yes		

Add Add Copy Modify Insert Delete

☐ Expand Stage Definition

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Show Stages: Show Stages In Tree View...

Data For Stage 1 (1. days; Output: No Label):

Operation	Object Type	Object Name	Age At Add	Type	Name	Scale Factor
Remove Structure	Frame	14				
Remove Structure	Frame	14				

☐ Expand Stage Data Stage: << < 1 > >> of 1 Add Modify Delete

Other Parameters:

Results Saved: Start/End of Each Stage Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 7.22: Çarpma Analizi 3. adımın tanımlanması.

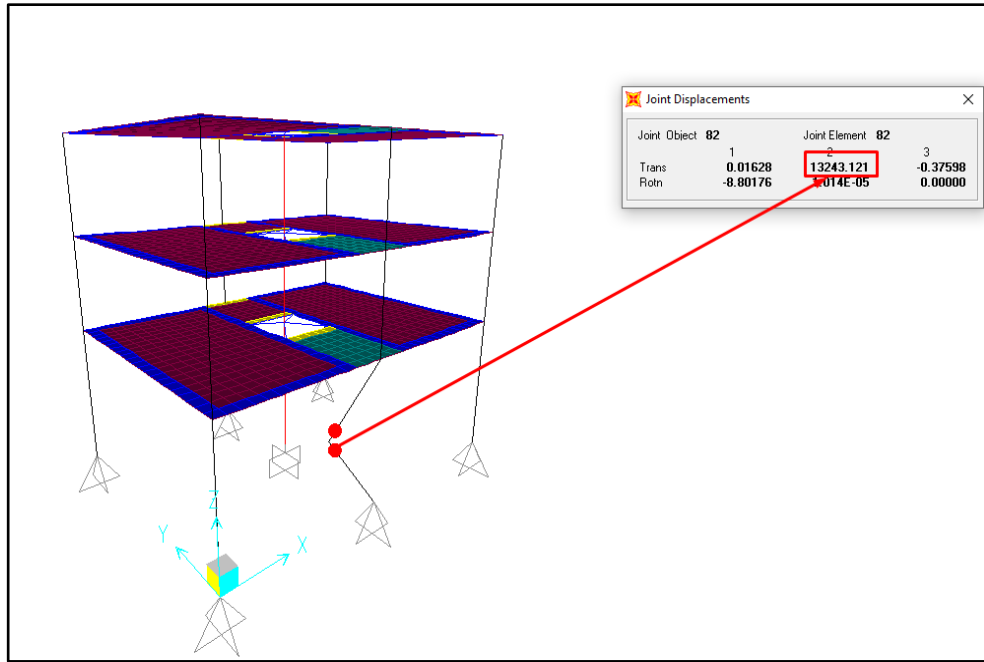
7.3. Analiz Sonuçları

Bu bölümde yapılan 2 farklı analiz sırasıyla aşağıdaki gibi açıklanmış ve sonuçları irdelenmiştir.

7.3.1. Analiz 1

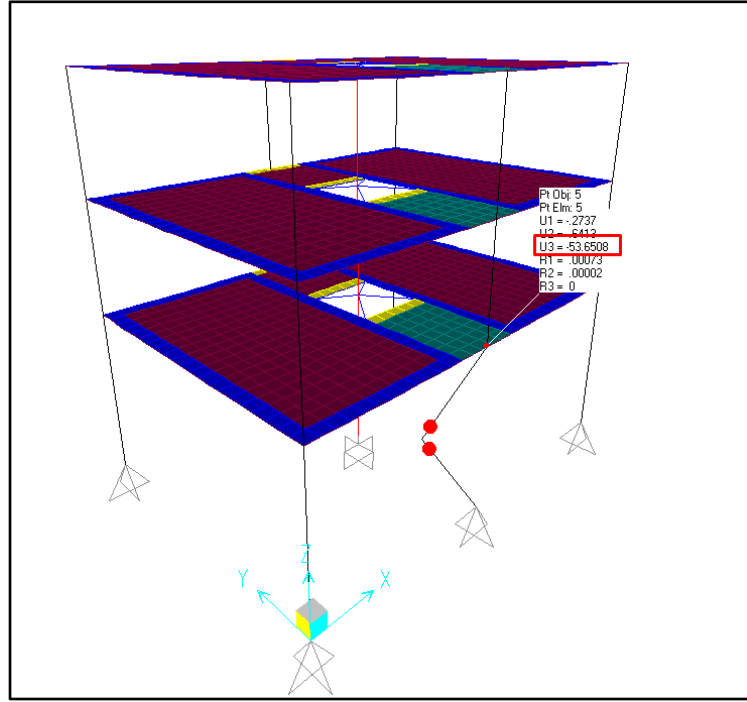
Analiz 1'den elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği gibidir;

- Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi kolona etkitilen 40000 kN gibi ekstrem bir değerde, kolon elemanında çarpma doğrultusundaki deplasman, analiz program yapı sistemini belli bir yükten sonra labil olarak gördüğü için yaklaşık 13 m gibi anlamsız bir değer olarak elde edilmiş ve perdede herhangi bir plastik mafsall gözlenmemiştir. İzleyen şekilde kolondaki deformasyonlar gösterilmiştir.



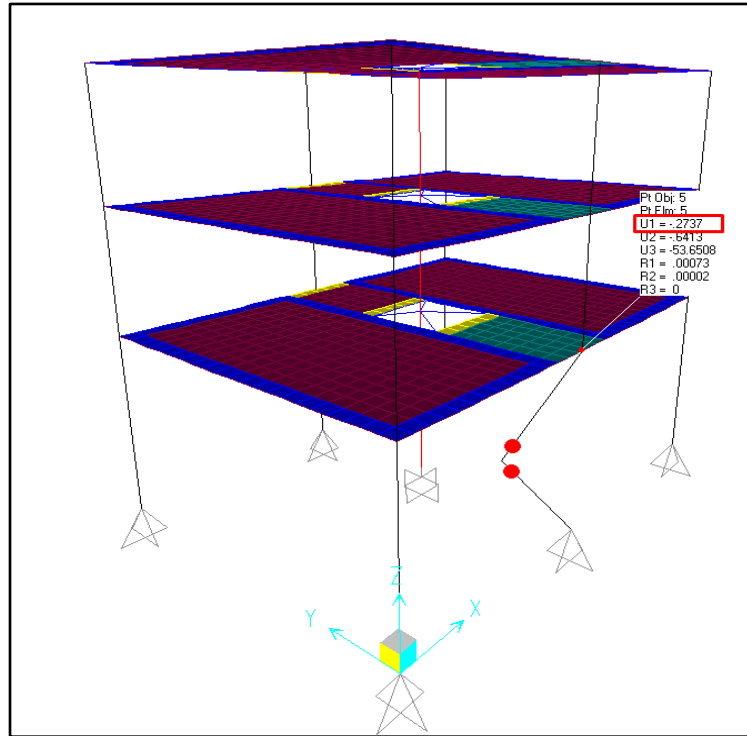
Şekil 7.23: Çarpmanın gerçekleştiği kolondaki deplasmanın gösterimi (mm).

- Döşemedeki düşey deplasman yaklaşık 50 mm olarak gözlenmiştir. İzleyen şekilde döşemedeki düşey deformasyon gösterilmiştir.



Şekil 7.24: Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).

- Yapının 1.kat ötelenmesi 0'a yakın olarak gözlemlenmiştir. Aşağıdaki şekilde 1.katın kuvvet doğrultusundaki ötelenmesi gösterilmiştir.



Şekil 7.25: 1.kat, kuvvet doğrultusundaki ötelenmesi (mm).

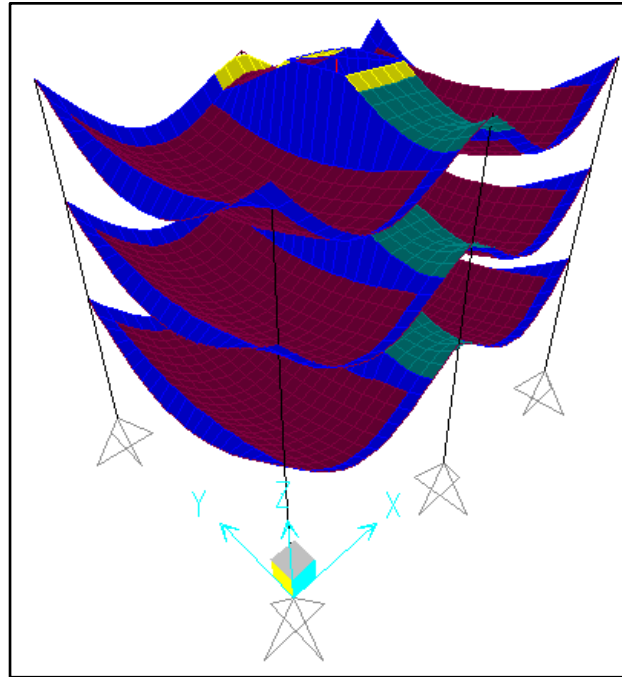
- Analiz 1’den anlaşılabacağı üzere herhangi bir kolonda meydana gelecek ekstrem bir çarpma sonucunda ilk hasar çarpma yükü etkiyen kolonda oluşacaktır ve elemanlar arasındaki bağlantıların yeterli olması durumunda yapı stabilitesini koruyacak, diğer düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmayacaktır. Perdede plastik mafsall oluşmamasının nedeni, çarpma yükü etkiyen kolonun yalnızca plastik mafsall kapasitesi kadar kesme kuvveti aktarabilecek olmasındandır.

7.3.2. Analiz 2

Bu analizde, analiz 1 sonuçlarında görüldüğü gibi ekstrem çarpma yüküne maruz kolon elemanın yapıya yalnızca kapasitesi kadar kesme kuvveti aktarabileceği görüldüğünden çarpma yükü olarak, kolonda plastik mafsall oluşturacak kadar kuvvet etkilmiştir. Aşamalı analiz modülü kullanılarak çarpmaya maruz kalan kolonda çarpma yükünden sonra göçme gerçekleşeceği programa tariflenerek analizin tamamlanması ve gerçek deformasyonların gözlenmesi sağlanmıştır.

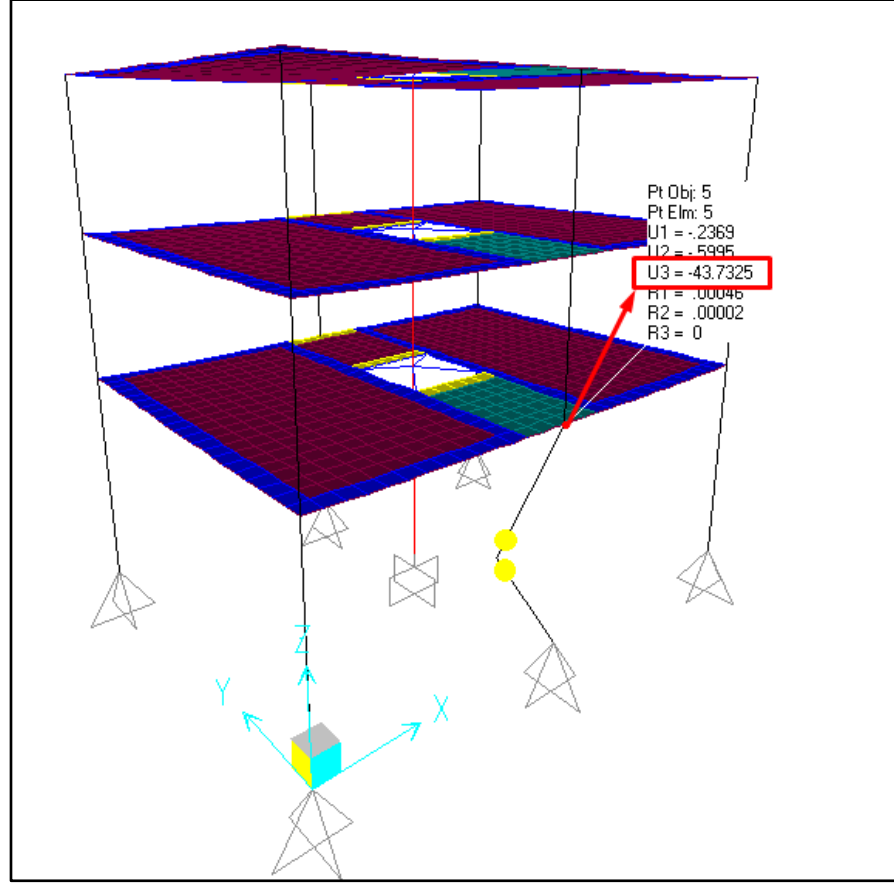
Analiz 2’ de yapılan yüklemeler ve sonuçları aşağıda verildiği gibidir;

- İlk olarak yapıya düşey yükler etkililmiş ve yapının düşey yükler altındaki deformasyonu aşağıda gösterildiği gibi gözlenmiştir.



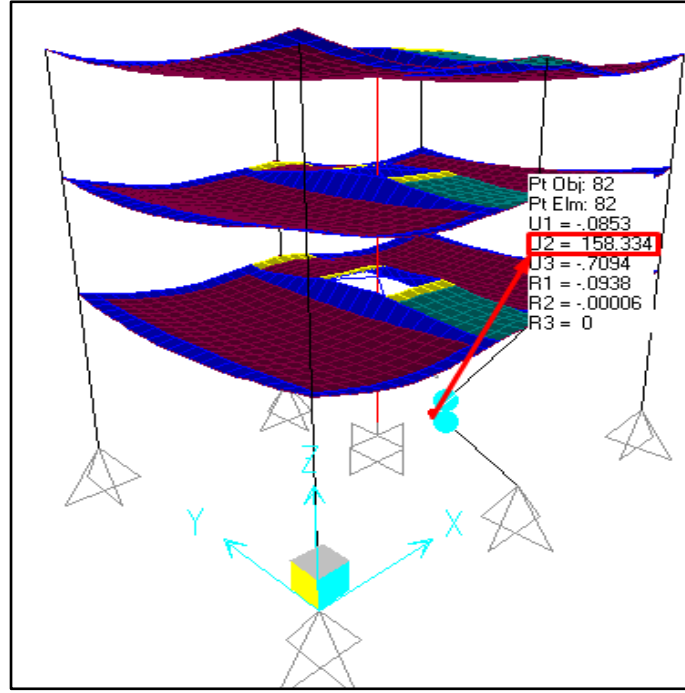
Şekil 7.26: Yapının düşey yükler altındaki deformasyon şekli.

- 2. aşama olarak yapıya çarpma yükü etkililmiş, döşemedeki düşey deplasman 43 mm olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde yapının 1. katındaki döşemenin düşey deplasmanı verilmiş.



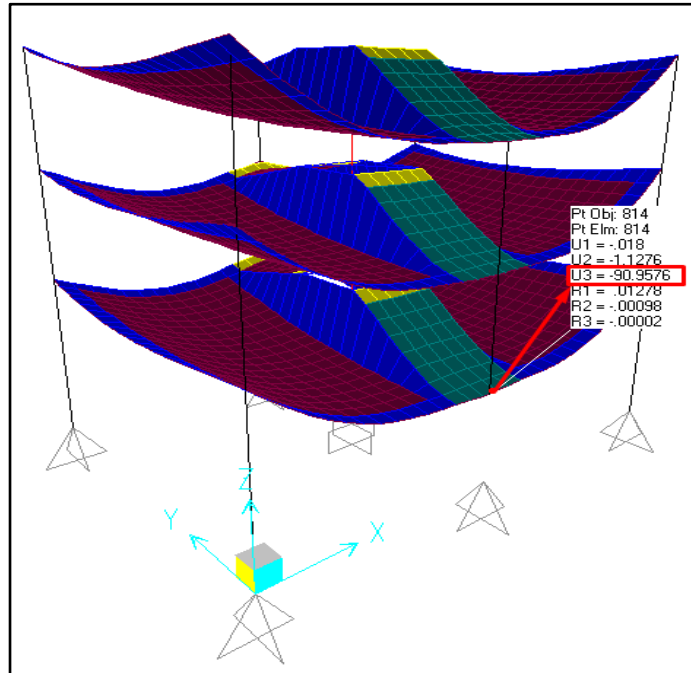
Şekil 7.27: Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).

- Kolondaki yatay deplasman çarpma yükü sonucunda 158 mm olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde çarpma yükünden sonra kolonda oluşan yatay deplasman gösterilmiştir.



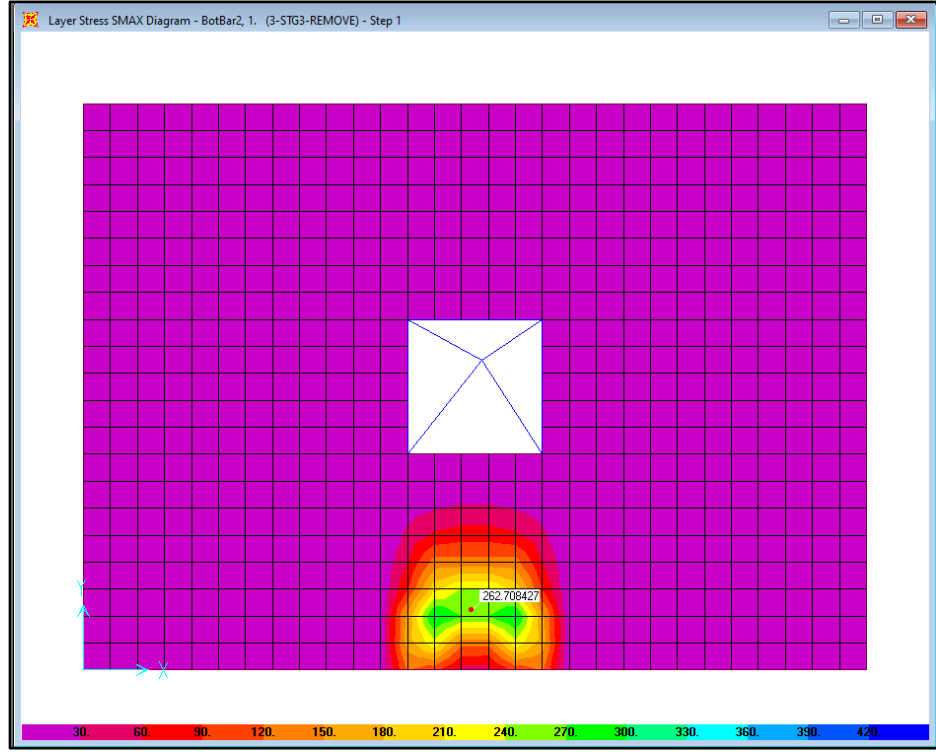
Şekil 7.28: Çarpmanın gerçekleştiği kolondaki deplasmanın gösterimi (mm).

- Kolon göçmesinden sonra 1. kat döşemesinde oluşan düşey deplasman 90 mm olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde döşemedeki düşey deplasman değeri sunulmuştur.



Şekil 7.29: Döşeme elemanındaki düşey deplasmanın gösterimi (mm).

- Kolon göçmesinden sonra, çok katmanlı kabuk model ile tanımlanan bölgede döşeme donatısında gerilme kontrolü yapılmıştır. Donatılardaki maksimum gerilme 262 MPa elde edilmiş olup, donatı akma sınırından küçük olduğu görülmüştür. Aşağıdaki şekilde döşeme donatılarındaki maksimum gerilmeler gösterilmiştir.



Şekil 7.30: Donatı maksimum gerilmelerinin gösterimi.

Analiz sonuçlarından elde edilen sayısal veriler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 7.1: Analiz 1 ve Analiz 2 sonuçlarının özeti.

	Analiz 1	Analiz 2
Kolondaki deplasman (m)	13	0.16
Döşmedeki Deplasman (mm)	53	90
Donatı Gerilmeleri (MPa)	263	262
1.Kat Görelî Ötelemesi (mm)	0.03	0.025

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çok katlı prekast yapılar, yapı elemanları, bağlantı tipleri ve prekast yapıların tasarımında dikkate alınması gereken önemli kısımlar üzerinde durulmuştur. Prestek yapıların tasarımında hayati önem taşıyan diyafram davranışı teorileri aktarılmış, analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle diyafram analizi yapılmıştır. Çarpma yükleri hakkında genel bilgi verilmiş ve 3 katlı prekast yapı ele alınarak çarpma senaryosu oluşturulup 2 farklı çarpma analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

Diyafram analizi bölümündeki sayısal uygulamada görüleceği üzere diyafram analiz yöntemlerinden sonlu elemanlar yöntemi veya derin kiriş yöntemi yaklaşık aynı sonuçları vermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile uygun modelleme yapılarak doğru sonuçlar elde edilebilmekle birlikte basit kat planlarında analitik yöntemler tercih edilebilir.

Çarpma yükleri bölümünde yapılan analizde görüleceği üzere çarpma yüklerinin statik veya dinamik etkiltilmesinde şartnameyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir ve bu doğrultuda, statik çözüm ile daha hızlı sonuç elde edileceğinden çarpma yükünün statik olarak ele alınması önerilmektedir.

Son bölümde yapılan sayısal uygulamada görüleceği üzere, prekast yapı elemanlarının 3D hesap modelinde bağlantıları ve davranışları dikkate alınarak modellenmesi sonlu elemanlar yöntemiyle yapılabilir. Eleman ve bağlantı davranışları kabuk, çubuk vb. elemanlar kullanılarak, kabuk elemanlarda eğilme rijitliklerinin değiştirilmesi, çubuk elemanlarda ise uçlara mafsallara atanması vb. yöntemlerle tariflenebilmektedir. Prestek yapının sonlu elemanlar modelini hazırlamak pratik olmasa da çarpma analizi vb. analizlerde kullanılması gerekebilir ve bu tez çalışmasının bu konuda faydalı olacağı düşünülmüştür. Ele alınan yapıda ilk hasarın araç çarpma yükü etkileyen düşey elemanda meydana geleceği ve bağlantıların yeterli rijitlikte olması durumunda yapının stabilitesini koruyacağı ve mevcut diğer düşey elemanlarda hasar meydana gelmeyeceği söylenebilir.

Çarpma yükü etkileyen kolonun mafsallaşması durumunda yapıda meydana gelen deformasyonlar ve elemanlar arasındaki bağ kuvvetleri, uygun modelleme ve aşamalı analiz yöntemleri ile elde edilebileceği görülmüştür. Yapı elemanları arasındaki bağlantıların yeterli olması durumunda yapıdaki deformasyonların sınırlı kalabileceği

ve bu nedenle prekast yapılardaki bağlantı tasarımının önemi vurgulanmıştır. Buna benzer bir yükleme altında prekast yapıların tasarımı veya değerlendirmesinin yapılması konusunda, yapılan modelleme ve analizlerin faydalı olacağı düşünülmüştür.

Yapının çarpma yükü veya başka bir nedenle lokal hasar alma senaryoları yapının kullanım amacı, bulunduğu konum ve birçok etmende değişkenlik gösterebilir. Yapı mühendislerinin özellikle prekast otopark yapıların tasarımında, araç çarpma yüklerinin dikkate alınması gerektiğinin farkındalığında olup, tasarımı bu doğrultuda şekillendirmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (2019), <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/1556.pdf>, (Erişim Tarihi: 14/2/2019).
- [2] Web 2, (2019), <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11085.pdf>, (Erişim Tarihi: 11/3/2019).
- [3] Web 3, (2019), <https://www.prefab.org.tr/icerik.php?yayinlar/sektor-raporu&tr>, (Erişim Tarihi: 20/07/2019).
- [4] Kim S. Elliott, Colin K. Jolly, (2003), “Multi storey Precast Concrete Framed Structures”, 2nd Edition, John Wiley & Sons.
- [5] FIB, (2014), “Planning And Design Handbook On Precast Building Structures”, International Federation Structural Concrete.
- [6] CEN, (2006), “Eurocode 1 Part 1-7”, European Committee For Standardization.
- [7] TPB, (2018), “Beton Prefabrikasyon El Kitabı”, Türkiye Prefabrik Birliği.
- [8] FIB, (2003), “Seismic Design Of Precast Concrete Building Structures”, International Federation Structural Concrete.
- [9] Web 4, (2019), <http://www.akat.com.tr>, (Erişim Tarihi: 12/10/2019).
- [10] Tekla, (2018), “Tekla Structure”, Trimble, Inc: Berkeley, California.
- [11] FIB, (2002), “Precast concrete in mixed construction”, International Federation Structural Concrete.
- [12] Osmancıklı G., (2012), “Prefabrik Yapıların Dinamik Davranışlarının Analitik Ve Deneyisel Yöntemlerle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- [13] Web 5, (2019), <https://www.kam.com.tr>, (Erişim Tarihi: 12/12/2019).
- [14] Web 6, (2019), <http://etebeton.com.tr/en/Content-prekastUretimUrunleri-0-413>, (Erişim Tarihi: 12/12/2019).
- [15] CSB, (2018), “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, TBDY2018, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı.
- [16] FIB, (2008), “Structural Connections For Precast Concrete Buildings”, International Federation Structural Concrete.
- [17] Web 7, (2019), <http://www.imo.org.tr/resimler/>, (Erişim Tarihi: 12/8/2019).

- [18] SCI, (2007), “Precast Concrete Floor In Steel Framed Building”, The Steel Construction Institute.
- [19] Web 8, (2019), www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/3176db2888fc1a_ek.pdf, (Erişim Tarihi: 11/3/2019).
- [20] Web 9, (2019), https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1991_7_Vrouwenvelder.pdf, (Erişim Tarihi: 12/12/2019).
- [21] Web 10, (2019), <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13921525.1997.10531363>, (Erişim Tarihi: 12/12/2019).
- [22] Web 11, (2019), http://adimltd.com.tr/dosya/006_ongerilmelibosluklu_doseme_sistemlerinde_diyafraam_davranisi.pdf, (Erişim Tarihi: 20/07/2019).
- [24] Web 12, (2019), <https://www.researchgate.net>, (Erişim Tarihi: 12/6/2019).
- [25] Web 13, (2019), <https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.17-917-47>, (Erişim Tarihi: 12/12/2019).
- [26] Web 14, (2019), <http://www.ymprefab.com.tr/panelton.aspdurum=cephepaneli>, (Erişim Tarihi: 12/1/2019).
- [27] Sap2000, (2015), “Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures”, Berkeley, California.
- [28] Web 15, (2019), <https://core.ac.uk/download/pdf/16364308.pdf>, (Erişim Tarihi: 20/07/2019).
- [29] Hottot Y., (2018), “Betonarme ekirdek Perdeli Ve elik Taşıyıcı Sistemlere Sahip Yüksek Binaların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Veysel Özçomak 1992 yılında Mardin’de doğdu. 2011 yılında Yalova Şehit Osman Altinkuyu Anadolu Lisesi’ni tamamladı. 2012 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2016 yılında bölüm 4. olarak başarıyla tamamladı. 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda öğrenim görmeye başlamıştır. 2016 yılından beri özel kurumlarda Statiker İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.