T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI YAPILARDA TRANSFER KATI İNCELEMESİ

TURGUT BİLEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2019

T.C.

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI YAPILARDA TRANSFER KATI İNCELEMESİ

TURGUT BİLEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI

PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION OF TRANSFER DIAPHRAGMS OF MULTISTOREY BUILDINGS

TURGUT BİLEN

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/04/2019 tarih ve 2019/19 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/05/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Çok Katlı Yapılarda Transfer Katı İncelesi 'nin 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 Abdullah Can ZÜLFİKAR

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Erkan AKPINAR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Yüksek yapıların ülkemizde kullanımının artması ile özellikle yapı tasarım ve dizayn aşamasında yapılan bazı kabullerin bu tarz yapılarda beklenen davranışı sergileyip sergilemediği ve diğer statik hesaplar için kullanılan enerji ve kuvvet transferlerinin doğruluğunun hesap yöntemleri ile kontrol edilmesi gerekliliği oluşmuştur. Bu varsayımlardan birisi ise döşemelerin rijit diyafram kabulü ve bu kabulle beraber döşemelerde yük aktarımının oluşup oluşmamasıdır. Döşemeler, yapı sisteminde genellikle ana kütleyi oluşturan elemanlardır. Bu nedenle önemli derecede düzlem içi membran kuvvetleri oluşabilmektedir. Döşemelerin önemli görevlerinden biri de deprem veya rüzgârdan oluşan yatay kuvvetlerin düşey taşıyıcılara aktarılmasıdır. Özellikle yüksek yapılarda yapı kütlesinin ani arttığı baza veya podyum diye adlandırılan katlarında veya yapı rijitliğinin ani arttığı bodrum katlarındaki döşemelerin üzerinde biriken döşeme membran kuvvetlerinin bir alt katta bulunan düşey taşıyıcılara transferi irdelenmesi gereken bir konudur.

Anahtar Kelimeler: Transfer Katı, Rijit Diyafram, Beton Diyagramı, Esnek Diyagram.

SUMMARY

Due to the increase in the use of high buildings, it has been determined that some assumptions made in the structure design and design stages exhibit the expected behavior in such structures and the accuracy of the energy and force transfers used for other static calculations should be checked by calculation methods. One of these assumptions is the acceptance of the rigid diaphragm of the floors and the occurrence of load transfer in the floors. The slabs are generally the main elements of the building system. Therefore, significant in-plane membrane forces may occur. One of the important tasks of the floor is the transfer of horizontal forces of earthquakes or winds to vertical barriers. Especially in high-rise buildings where the mass of the building increases suddenly, the transfer of the diaphram membrane forces accumulated on the floors in the basement floors where the building rigidity increases is an issue that should be examined. This study surveys the seismic behavior and design of floor diaphragms. Following some introductory philosophy remarks, a classification of diaphragm behavior, diaphragm members and classifications about analysis methods.

Key Words: Transfer Slab, Rigid Diaphragm, Concrete Diaphragm, Flexible Diaphragm.

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, her daim bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Dr. Ş. Şamil Polat'a ve ayrıca bu yolda destek veren M. Adnan Öğüt'e, bütün çalışmam boyunca yanımda olan, yol arkadaşım Abdülkerim Tok'a ve göstermiş olduğu desteklerinden dolayı sevgili eşim Yasemin'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. TRANSER KATI	3
2.1 Yüksek Yapı Tanımı	4
2.2. Yüksek Yapılarda Transfer Katı İncelenmesi	7
2.2.1. Diyaframın Taşıyıcı Sistemdeki Rolü	8
2.2.2. Diyafram Bileşenleri	10
2.3. Diyafram Davranışı ve Tasarım İlkeleri	13
2.3.1. Davranış Varsayımı	15
2.4. Yönetmeliklerde Transfer Katı Ve Diyafram Tasarımı	15
2.4.1. ASCE 7 Yönetmeliği ve Diyafram Tasarımı	16
2.4.1.1. Tasarım Yatay Yükleri	16
2.4.1.1.1. Diyafram Yükleri	16
2.4.1.1.2. Kiriş Yükleri	17
2.4.1.1.3. Düzensiz Yapılar	17
2.4.1.2. Transfer Kuvvetleri	18
2.4.1.3. Diyafram Rijitliği	19
2.4.1.4. Özel Durumlar	19
2.4.1.4.1. Şarflar	20
2.4.1.4.2. Düşey Taşıyıcı Sistemde Düzensizlikler	20
2.4.1.4.3. Rampalar	20

2.4.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Transfer Katı ve Diyafram Tasarımı 21
2.4.2.1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde İlgili Maddeler 21
2.5 Diyafram Analiz Metotları 23
2.5.1. Diyafram Tasarım ve Analiz Yaklaşımları 24
2.5.2. Eşdeğer Kiriş Yöntemi 25
2.5.3. Yay Üzerinde Eşdeğer Kiriş Yöntemi 27
2.5.4. Düzeltilmiş Eşdeğer Kiriş Yöntemi 28
2.5.5. Sonlu Eleman Yöntemi 29
3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇLARI 32
3.1. Çok Katlı Yüksek Bir Binaya Ait Tipik Bir Katta Transfer İncelemesi 32
3.1.1. Basınç Gerilmesi Kontrolü 44
3.1.2. Çekme Gerilmesi Kontrolü 45
3.1.3. Kayma Gerilmesi Kontrolü 48
3.1.4. Sürtünme Kesmesi Kontrolü 49
3.2. Çok Katlı Yüksek Bir Binaya Ait Zemin Katta Transfer İncelemesi 52
3.2.1. Basınç Gerilmesi Kontrolü 53
3.2.2. Çekme Gerilmesi Kontrolü 54
3.2.3. Kayma Gerilmesi Kontrolü 57
3.2.4. Sürtünme Kesmesi Kontrolü 59
4. SONUÇ 61

KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
m	:	Metre
F_x	:	Yapının x seviyesine uygulanan yanal kuvvet
C_{vx}	:	Dikey dağılım faktörü
V	:	Sismik temel kesme kuvveti
k	:	Bina periyodu
h	:	Yükseklik
w_x	:	Yapının temel sismik ağırlığı
F_{px}	:	Diyafram kuvveti
S_{DS}	:	Spektral tepki ivmesi
ρ	:	Donatı oranı
τ_r	:	Yatay kayma gerilmesi
μ	:	Sürtünme Katsayısı
TS	:	Döşeme ve perde birleşimlerde kesme sürtünmesi
R_i		Diyafram ile i'inci düşey taşıyıcısı arasında aktarılan kuvvet
J_r		Polar atalet momenti
K		Düşey yatak katsayısı
σ_s		Zemin emniyet gerilmesi
γ		Zemin yoğunluğu
ASCE		Amerikan Sivil Mühendislik Topluluğu
CTBUH		Yüksek Binalar ve Kentsel Yerleşimler Konseyi
ZB		Yerel zemin sınıfı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Bağlama göre yükseklik algısındaki farklılıklar.	5
2.2:	Yapının oranına göre yüksek yapı algısındaki farklılıklar.	6
2.3:	Düşey ulaşım sistemleri ve yapısal çaprazlar.	6
2.4:	Yüksek, süper yüksek, mega yüksek yapı kavramları.	7
2.5:	Yapıda düşey ve yatay yükleri taşıyan yapısal elemanlar.	8
2.6:	Taşıyıcı sistemde diyaframın rolü.	10
2.7:	Diyaframda basitleştirilmiş çekme ve basınç kuvveti.a) Plan, b) İç moment ve kesme direnci, c) Basit ışın idealleştirmesi.	11
2.8:	Diyaframda kesme kuvveti aktarımı; a) Plan, b) Toplayıcı hareketleri.	12
2.9:	Transfer katı yük aktarımı.	13
2.10:	Düşey taşıyıcı ve diyafram tasarım kuvvetleri; a) Yapı, b) Model, c) Element dizaynı için yatay kuvvetler.	14
2.11:	Ara katlarda transfer katı.	15
2.12:	Düşey kesitte yük aktarımı.	18
2.13:	Aktarma Donatısı.	23
2.14:	Eşdeğer kiriş yöntemi; a) Plan, b) İdealize edilmiş çelik kiriş c) Moment ve kesme kuvveleri.	25
2.15:	Eşdeğer kiriş yöntemi el hesabı için bir örnek a) Plan b) İdealize edilmiş çelik kiriş.	27
2.16:	Yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemi; a) Plan, b) İdealize edilmiş çelik kiriş.	28
2.17:	Zemin kattaki diyaframın devrilmeye karşı destek etkisi – backstay effect.	30
2.18:	Düzensiz bir diyafram örneği.	30
3.1:	Kalıp Planı.	32
3.2:	Spektrum Değerleri.	35
3.3:	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.	35
3.4:	X Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 3.44 sn.	41
3.5:	Y Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 2.20 sn.	41

3.6: RZ Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 1.43 sn. 42
3.7: Dayanım Katsayısı ile X Yönü Arttırılmış Kat Kesme Kuvvetleri. 43
3.8: Dayanım Katsayısı ile Y Yönü Arttırılmış Kat Kesme Kuvvetleri. 44
3.9: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği. 45
3.10: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği. 46
3.11: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği. 47
3.12: X Yönü S12 Döşeme Düzlem Kayma Gerilme Grafiği. 48
3.13: Y Yönü S12 Döşeme Düzlem Kayma Gerilme Grafiği. 48
3.14: X Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları. 50
3.15: Y Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları. 51
3.16: Kalıp Planı. 52
3.17: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği. 51
3.18: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği. 52
3.19: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği. 55
3.20: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği. 56
3.21: X Yönü S12 Döşeme Düzlem İçi Kayma Gerilme Grafiği. 57
3.22: X Yönü S12 Döşeme Düzlem İçi Kayma Gerilme Grafiği. 58
3.23: X Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları. 59
3.24: Y Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları. 60

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
3.1:	C40 Beton Özellikleri.	33
3.2:	B420C Demir Özellikleri.	33
3.3:	Yerel Zemin Sınıfları.	34
3.4:	Yerel Zemin Etki Katsayıları.	36
3.5:	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (TBDY).	37
3.6:	Bina Kullanım Sınıfı.	38
3.7:	Deprem Tasarım Sınıfı.	38
3.8:	Bina Yükseklik Sınıfı.	39
3.9:	Yapı Doğal Titreşim Periyotları.	40
3.10	Yapı Kütlesi ve Deprem Kuvvetleri.	42
3.11	Hesaplamalar Tablosu 1.	51
3.12	Hesaplamalar Tablosu 2.	58
3.13	Hesaplamalar Tablosu 3.	60

1. GİRİŞ

Tarihsel süreç içinde yüksek yapılar anıtsal nitelikte ve dini yapılar ile başlamış ve gelişmiştir. Bilinen en eski yüksek yapı 147 m yüksekliğindeki Keops Piramidi'dir. Mısır'da bulunan bu piramit 4500 yıl boyunca dünyanın en yüksek yapısı olma özelliğini korumuştur. 16. yüzyıl ortalarına gelindiğinde İngiltere, Fransa ve Almanya'da 160 m'ye varan katedraller yapılmaya başlanmıştır. Yüksek yapıların sayı ve nitelik olarak gelişim ve değişim süreci Endüstri devrimi ile hız kazanmıştır. Bunun en önemli nedeni yapı ve yapım teknolojilerinin gelişmesi ve kullanılan malzemelerin yüksek yapı yapma olanağını sağlamasıdır. Özellikle yığma duvarlardan iskelet sistemlerine geçiş, çok katlı yapılaşmaya olanak sağlayan bir etken olmuştur ve süreç içerisinde çeliğin yapısal özelliklerinin mühendislik açısından geliştirilmesi ve üretiminin kolaylaşması, çerçeve sistemlerde kullanılması, yüksek yapı evrimini hızla ilerletmiştir.

Günümüzde hem malzeme kinematik özelliklerinin ve kimyasal özelliklerinin daha net bir şekilde bilinebiliyor olması ve de gelişen yazılım ve donanım teknolojisinin yüksek yapıların tasarımlarını mühendislik hesaplamalarına ve yorumlamalarına ve ortaya koyulan mimari eserin yapılabilirliğine olanak sağlamaktadır. Yapısal olarak her aşamada gerek sistematik klasik çözümleme olsun gerekse sonlu eleman yöntemleri olsun gelişen teknoloji ile istenen yükler altında yapısal analiz ve tasarım sonuçları eskiye nazaran çok kısa bir süre içerisinde yapılabilmektedir. Yüksek yapıların doğudan batıya tüm ülkelerde yapılmış olması ve yapılıyor olmasında teknik olarak imkanların kolaylaşmasının da katkısı büyüktür. Günümüzde 1.000 metre yüksekliğe yaklaşan yüksek yapıların yapılmış ve yapılmakta olması ve hatta 1.600 metre yüksekliğinde yapıların tasarlandığı bu mühendislik harikalarının sayıları gün geçtikçe daha da artacaktır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Sürekli bir gelişim içerisinde olan yüksek yapılar, tüm içeriği ile gelişen teknolojisi, günümüze kadar gelen süreçte tasarım açısından birtakım sorunlarla karşılaşmaktadır. Yapı tasarım fikri ile başlayan süreç ve ortaya koyulan eserin mühendislik yaklaşımı ile çözülmesi, eserin niteliğine göre yeni mühendislik

problemleri ortaya çıkarabilmektedir. Yeni bir mühendislik problemi ise yeni bir mühendislik çözümünü beraberinde getirmektedir. Yapıların günümüze kadar olan süreci içerisinde kat sayılarının ve yüksekliklerinin artması da bu problem ve çözüm denkleminin bir parçasıdır. Yapı kat sayısı ve yüksekliği arttıkça ortaya çıkan bir problem de geleneksel hesaplardan farklı olarak bazı yük aktarım sorunlarının ortaya çıkmasıdır.

Yapı tasarımını kabaca sınıflandırmak gerekirse yapılar, düşey yükler altında ve yatay yükler altında taşıyıcılar göz önünde bulundurularak tasarlanırlar. Klasik düşey yükler altında tasarımı, dünyadaki tüm yönetmelik, norm ve standartlarda detaylı bir şekilde görmek mümkündür. Rüzgâr ve deprem yükleri gibi sistemde yatay yük oluşturan kuvvetler ise, yapıda yatay yük taşıyan sistemler ile karşılanır. Yatay yükler, düşey yüklerle benzer bir şekilde yapının tepe noktasından temele doğru yapıda biriken yük ve enerjinin doğru bir şekilde aktarımı esasına dayanarak temele veya mesnetlere aktarılmaktadır.

Bu çalışma, yatay yüklerin tepe noktasından temele kadar olan aktarım sürecinde biriken yük ve enerjinin döşemeler aracılığı ile katlar arası aktarımını konu almaktadır.

2. TRANSFER KATI

Rüzgâr ve deprem yükleri gibi yapıda yatay yük oluşturan kuvvetlerin, yapının tepe noktasından temele kadar olan aktarım sürecinde biriken yük ve enerjinin döşemeler aracılığı ile katlar arası aktarımı bu çalışmanın konusudur.

Yapıda oluşan yatay yükler tabirinin açıklanması bu çalışmanın amacını biraz da açıklamaya yardımcı olacaktır. Rüzgâr ve deprem yükleri, dış ortamdan yapıya etkiyen bir kuvvet şeklinde algılanmamalıdır. Rüzgâr ve deprem yükleri her ne kadar dış ortamdan yapıya etkiyen bir olgu dahi olsan yapıda oluşan kuvvetler tamamen yapı özelliklerine bağlıdır. Yapının doğal titreşim periyodu bu etkenlerin en önemlisidir. Bu periyod ise yapının kütle ve rijitliğine bağlıdır. Açıkçası her bir yapının aynı rüzgâr ve deprem karşısında reaksiyonu o yapıya özeldir ve bu reaksiyonun en belirgin parametreleri yapının kütle ve rijitliğidir.

Yapıda kütlenin büyük bir kısmı döşemelerden oluşmaktadır. Her bir döşemenin ise kütle moment ataleti (mass moment of inertia – mmi) o kütlenin hareket modlarını ve üreteceği yatay kuvvet miktarını belirtmektedir. Yapıya dış ortamdan etkiyen rüzgâr ve deprem, yapının döşeme ağırlığına ve taşıyıcı rijitliklerine bağlı olarak sistemde kuvvetler üretir.

Döşeme ağırlık ve kütle moment ataletlerinin ürettiği bu kuvvetler her bir döşemeden bağlı oldukları kolon ve perdelere aktarılır ve kuvvetler bir alt kata ve temele doğru aktarılırken her bir kattaki döşemenin ürettiği kuvvetleri toplayarak ilerlemektedir. Bu yolculuk, temele doğru ilerlerken yatay kuvvetlerin iki şekilde yön değiştirebilme durumu vardır. Bu durumlardan ilki, yatay kuvvetlerin bir üst kata nazaran kütlesi çok daha fazla olan bir döşeme katıyla karşılaşmasıdır. Diğer bir durum ise yatay kuvvetlerin bir üst kata nazaran çok daha rijit bir katla karşılaşması durumudur. Her iki durumda da yükler yön değiştirirler ve bu kuvvetlerin yön değiştirmeyen durumunda olduğu gibi döşemlerden düşey taşıyıcılara ve düşey taşıyıcılardan döşemelere ve en sonunda temele güvenli bir şekilde aktarılmaları gerekmektedir.

2.1. Yüksek Yapı Tanımı

Geçmişten günümüze teknolojik gelişmelere paralel olarak gerek yükseklik gerekse morfolojik bağlamda değişen ve gelişen yüksek yapıların tek bir tanımının yapılabilmesi mümkün değildir.

Ülkelerin geçerli yönetmeliklerine göre yüksek yapı için, kat sayısı ya da yapının toplam yüksekliğine göre farklı tanımlar mevcuttur.

Yapı mühendisliği açısından bir tanımlamada, Almanca 'Wolken kratzer', İngilizce 'Skyscraper', Fransızca 'Gratteciel' olarak bilinen gökdelen genel anlamda çevresindeki yapılara göre önemli ölçüde yüksek olan yapılardır. Ancak bu tanımlamanın daha nesnel olması için bu yüksekliğin en az ne olması gerektiği üzerinde durulması gerekir. Örneğin Almanya'da bu yüksekliğin alt sınırı 22 metre olarak saptanmıştır [Tapan, 1989].

İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapılar Yönetmeliğinde ise, yüksek yapılar, şu şekilde tanımlanmıştır (İzmir Büyükşehir Belediyesi Yüksek Yapılar Yönetmeliği, 1996).

"Genel olarak yakın ve uzak çevresini, fiziksel çevre, kent dokusu ve her türlü kentsel alt yapı yönünden etkileyen bir yapı (bina) türüdür. Son kat tavan döşeme kotu 30.80 metreyi ve/veya bodrum kat dâhil olmak üzere toplam kat adedi 13'ü aşan (13. kat hariç) yapılar yüksek yapı olarak kabul edilir."

23.06.2007 tarihli İstanbul İmar Yönetmeliği'nde yüksek yapı tanımı şu şekilde ifade edilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar Yönetmeliği, 2007).

"G*enel olarak yakın ve uzak çevresini, fiziksel çevre, siluet, kent dokusu ve her türlü kentsel alt yapı yönünden etkileyen bir yapı türüdür. Binanın herhangi bir cephesinden görünen en düşük kottaki bina yüksekliği en az 60.50 metre olan yapılardır.*"

İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliğinde yüksek yapı tanımını şu şekilde yapmıştır (İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği, 2008).

"Yüksek binalar, tamamı yer altında olan ve binayı tümü ile kuşatan yüksek yatay rijitlikteki çevre perdelerine sahip bodrum katları hariç olmak üzere, en düşük yer seviyesinden itibaren yüksekliği en az 60 metre olan binalardır."

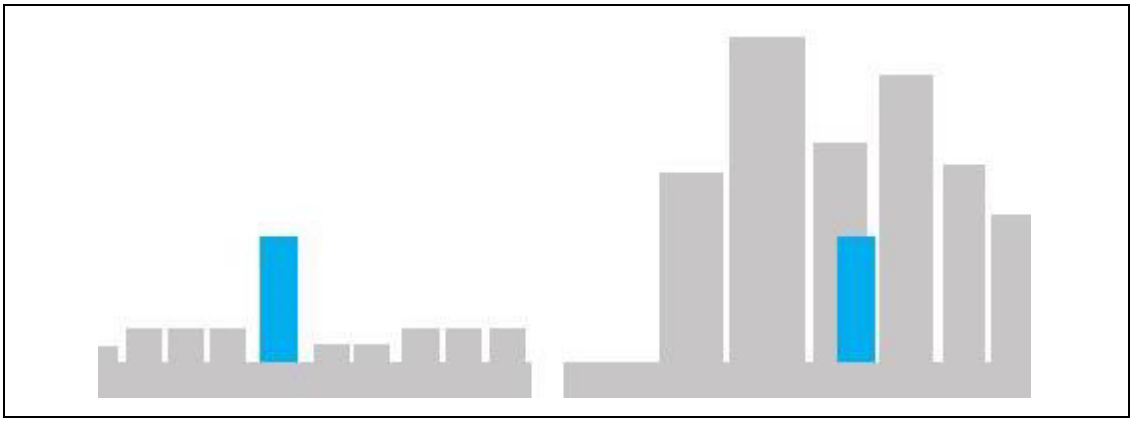
Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'te ise şu şekilde ifade edilmektedir (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007).

"*Yüksek bina: Bina yüksekliği 21.50 metreden, yapı yüksekliği 30.50 metreden fazla olan binalardır.*"

Yüksek Binalar ve Kentsel Yerleşimler Konseyinin (Council on Tall Buildings and Urban Habitat- CTBUH*) yayınladığı 'Yüksek Binaların Ölçüm ve Tanımlamasına İlişkin Değerlendirme Ölçütleri' başlıklı çalışmada, yüksek yapı kavramının net bir tanımının olmadığı, en doğru tanım için 3 kriterin baz alınması gerektiği aktarılmıştır. Bu ölçütler:

- Bağlama Göre Yükseklik

Yüksek yapı tanımı sadece yapının niceliksel yüksekliğine göre değil, aynı zamanda binanın içinde bulunduğu çevresel dokudaki algısı ile de yakından ilişkilidir. Örneğin 14 katlı bir bina, Chicago ya da Hong Kong gibi şehirlerde yüksek yapı sayılmazken, Avrupa'da az katlı binaların yoğunlukta olduğu bir dokuda yüksek yapı kabul edilir (Şekil 2.1) [URL-1, 2014].



Şekil 2.1: Bağlama göre yükseklik algısındaki farklılıklar.

- Orana Göre Yükseklik

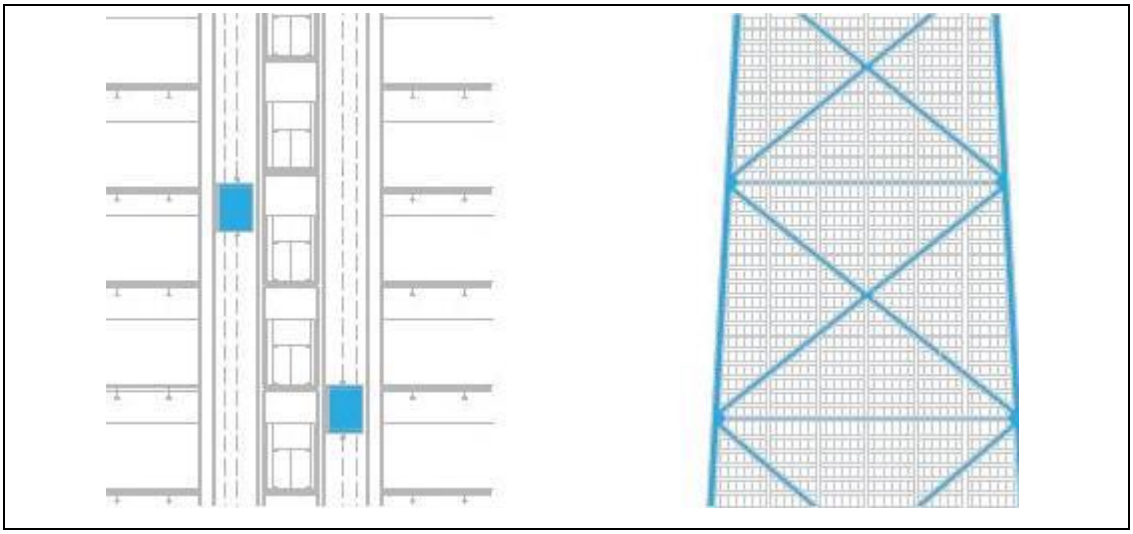
Yüksek yapı tanımında diğer bir kriter de yapının kendi içindeki oranıdır. Dünyanın pek çok yerinde çok yüksek sayılmayacak, ancak narin görünümü sayesinde yüksek algısı uyandıran yapılar mevcuttur. Dolayısıyla yükseklik kavramı yapının narinliği ile de ilişkilidir (Şekil 2.2) [URL-1, 2014].

*CTBUH (Yüksek Binalar ve Kentsel Yerleşimler Konseyi), 1969 yılında ABD'de kurulan, yüksek binalar ve sürdürülebilir kentsel mekânlarla ilgili araştırmalar yaparak, uzmanlara sektördeki gelişmeleri takip edebilecekleri bilgilendirme platbiçimi görevi üstlenen konseyin adıdır.

Şekil 2.2: Yapının oranına göre yüksek yapı algısındaki farklılıklar.

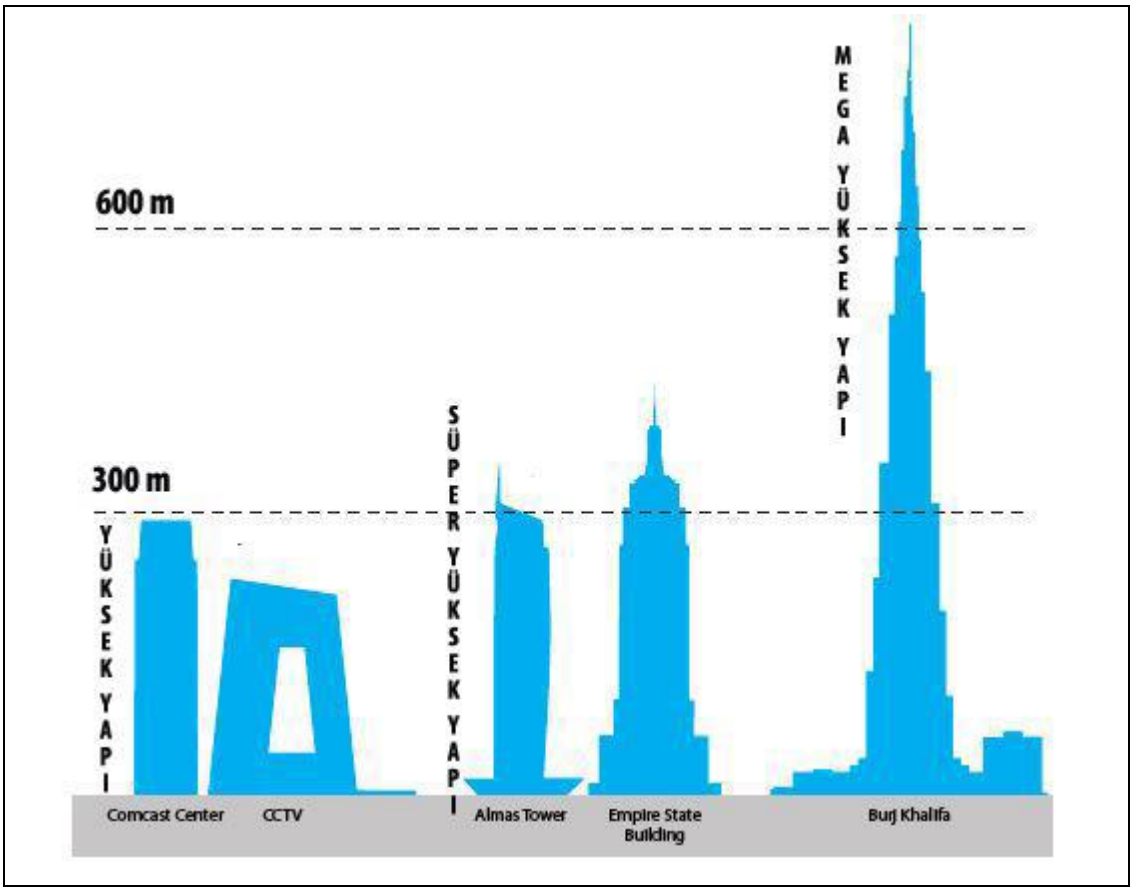
- Teknolojiye Göre Yükseklik

Yüksek yapı tanımında dikkate alınacak diğer bir kriter de teknolojidir. Yüksek yapı, yapımında ileri düzeyde düşey ulaşım teknolojilerinden, yatay rijitleştirme sistemleri ve strüktürel çaprazlamalardan, hızlı yapım yöntemlerinden yararlanılan yapı türüdür (Şekil 2.3) [URL-1, 2014].



Şekil 2.3: Düşey ulaşım sistemleri ve yapısal çaprazlar.

Yükseklik sınırının 828 metrelere ulaştığı ve 1000 metre yükseklikteki bir yapının inşaat aşamasında olduğu günümüzde, yüksek yapı tanımına ek olarak süper yüksek yapı ve mega yüksek yapı tanımları doğmuştur. CTBUH'a göre, 300 metre ve üzerindeki binalar süper yüksek yapı, 600 metre ve üzerindeki binalar mega yüksek yapı olarak kabul edilmiştir (Şekil 2.4). 2013 yılı temmuz ayı verilerine göre Dünyada 73 süper yüksek, 2 mega yüksek yapı bulunmaktadır.



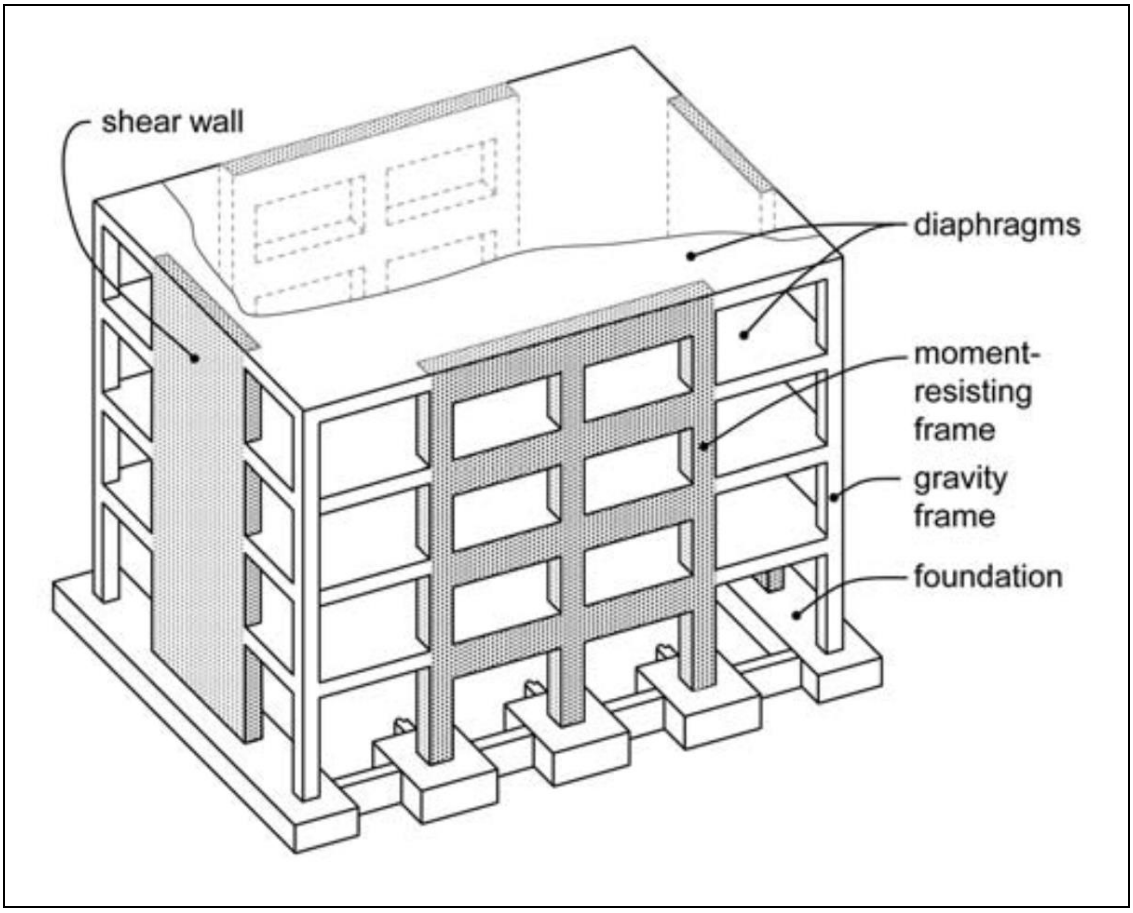
Şekil 2.4: Yüksek, süper yüksek, mega yüksek yapı kavramları.

2.2. Yüksek Yapılarda Transfer Katı İncelenmesi

Yapısal binalar genel olarak düşey ve yatay yükleri karşılayan üç boyutla çerçeve ve/veya perdeli sistemlerden oluşur. Yüklerin aktarımı ise her ne kadar üç boyutlu taşıyıcı sistemlerin beraber çalışması esasına göre tasarlansa bile bunu düşey taşıcılar yatay taşıyıcılar ve temel olarak sınıflandırabiliriz. Düşey taşıyıcılar temel ile her yükselen kat arasında süreklilik arz eden kolon ve perdeler vasıtası ile aktarılırken, yatay yükler döşemelerden diyafram elemanları adı altında

sınıflandırabileceğimiz döşeme, tali kiriş ve ana kiriş vasıtası ile kolona ve perdeye ve son olarak bodrum perdesine ve temele aktarım yapan elemanlar vasıtası ile aktarılır.

Diyafram elemanları, yapıda yatay yüklerden oluşan yükleri düşey taşıyıcılara aktaran sismik yük taşıyıcı elemanlardır ve üç boyutlu yatay yük taşıyıcı sistemin ilk yük aktarım ve taşıyıcı sistemidir. Diyaframlar bu sebeple sismik yük taşıyıcı sistemin önemli bir unsurudur ve taşıyıcı tasarımı yapılırken mutlaka doğru tasarımının yapılmasını gerektirmektedir (Şekil 2.5) [NIST GCR 10-917-4].



Şekil 2.5: Yapıda düşey ve yatay yükleri taşıyan yapısal elemanlar.

2.2.1 Diyaframın Taşıyıcı Sistemdeki Rolü

Diyaframlar düşey yük taşıyıcı ve yatay yük taşıyıcı olmak üzere iki rolü bulunmaktadır. Şekil 2.6'da görülebileceği gibi yapısal elemanların yük taşıma rolleri en üst kattan temele kadar şematik olarak gösterilmiştir [NIST GCR 10-917-4].

Bu roller şu şekilde sıralanabilir:

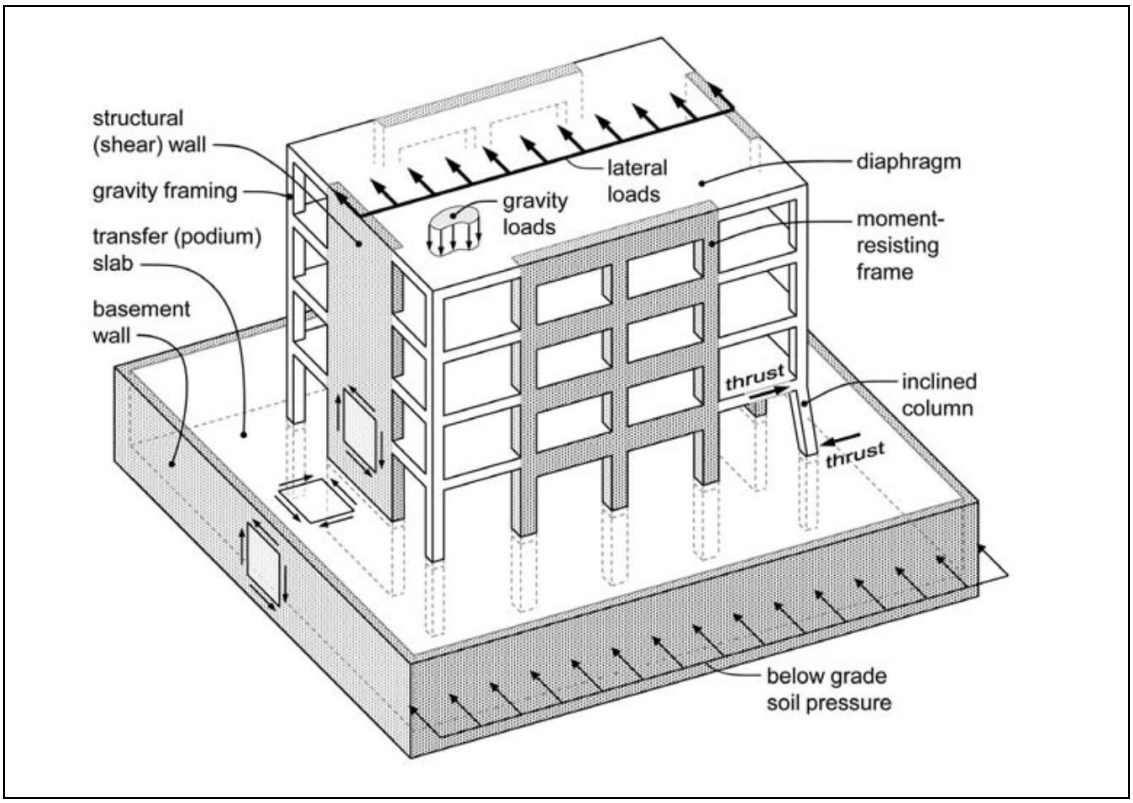
Düşey yük taşıyıcı: Diyaframlar düşey yüklerin düşey taşıcılara aktarımını sağlayan elemanlardır.

Düşey yük aktarıcı: Diyaframlar her katta düşey yük taşıyıcı elemanlara bağlantı sağlayan ve düşey yük aktarımını sağlayan elemanlardır.

Yatay yük taşıyıcı: Diyaframlar her katta oluşan yatay yükleri kendi içerisinde aktarımını sağlayan elemanlardır.

Yatay yük aktarıcı: Diyaframlar genel olarak yapının genel kütlesini içeren elemanlardır. Çoğunlukla kendi düzleminde önemli derecede iç kuvvetler oluştururlar. Bu tezin konusunu da oluşturan diyaframın, sismik yük taşıyan düşey taşıyıcı sisteme bu yüklerin aktarılmasını sağlayan önemli bir görevi bulunmaktadır. Diyafram üzerinde yatay yüklerin oluşturduğu kuvvetlerin kat be kat bir düşey taşıyıcıdan diğer düşey taşıyıcıya aktarılmasını sağlayan taşıyıcı sistemin önemli bir parçasıdır. Yatay yükler tepeden birikerek aşağı doğru akarken düşey taşıyıcı sistem rijitliklerinin ani ve önemli derecede artış gösterdiği podyum veya zemin katlarında bu yüklerin transferi önem arz etmektedir. Şekil 2.6'da podyum veya zemin katta düşey yük ani rijitliğinden değişimini şematik olarak göstermektedir.

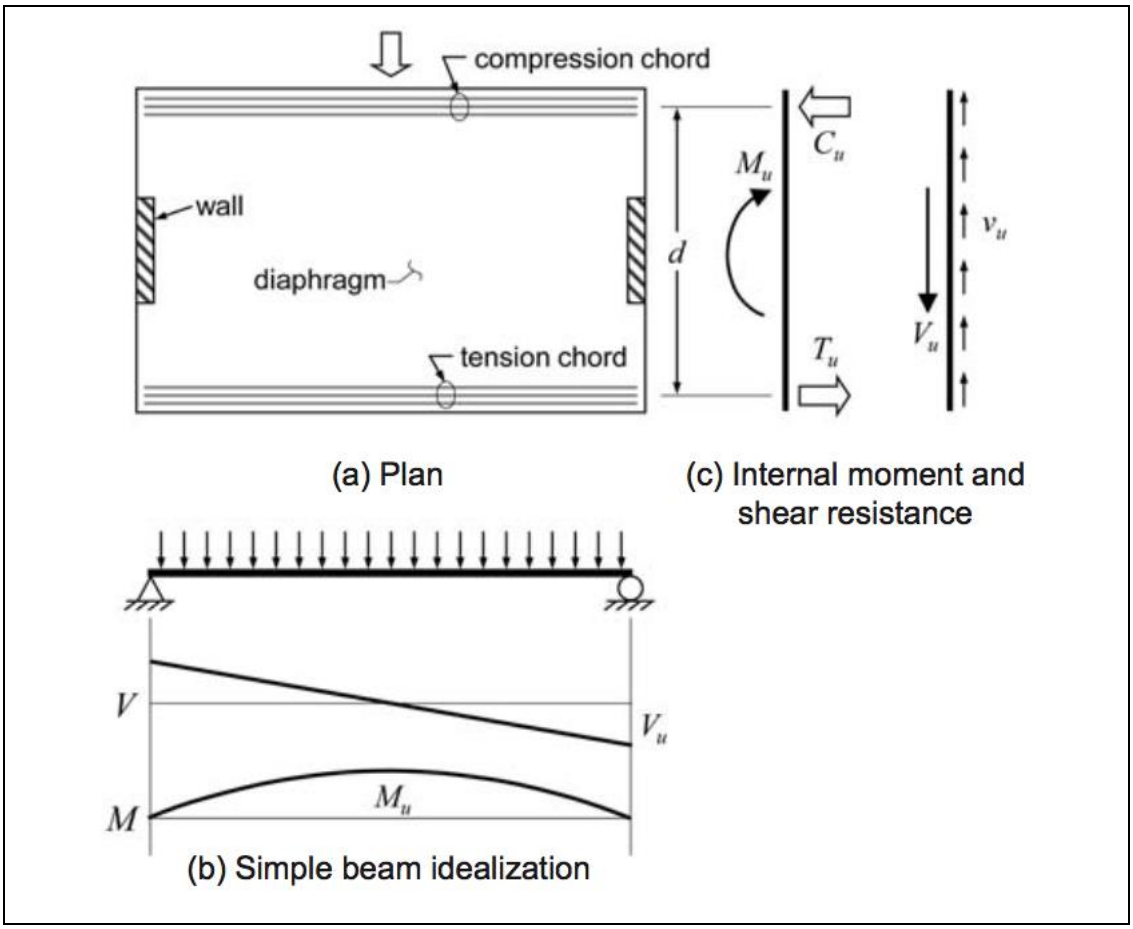
Yatay yük mesnedi: Toprak altında kalan katlarda bodrum perdelerinde mesnet görevi görerek bodrum perde açıklıklarının azalmasını sağlar ve toprak yüklerinin sisteme, düşey taşıyıcılara ve nihayetinde temele aktarımını sağlar.



Şekil 2.6: Taşıyıcı sistemde diyaframın rolü.

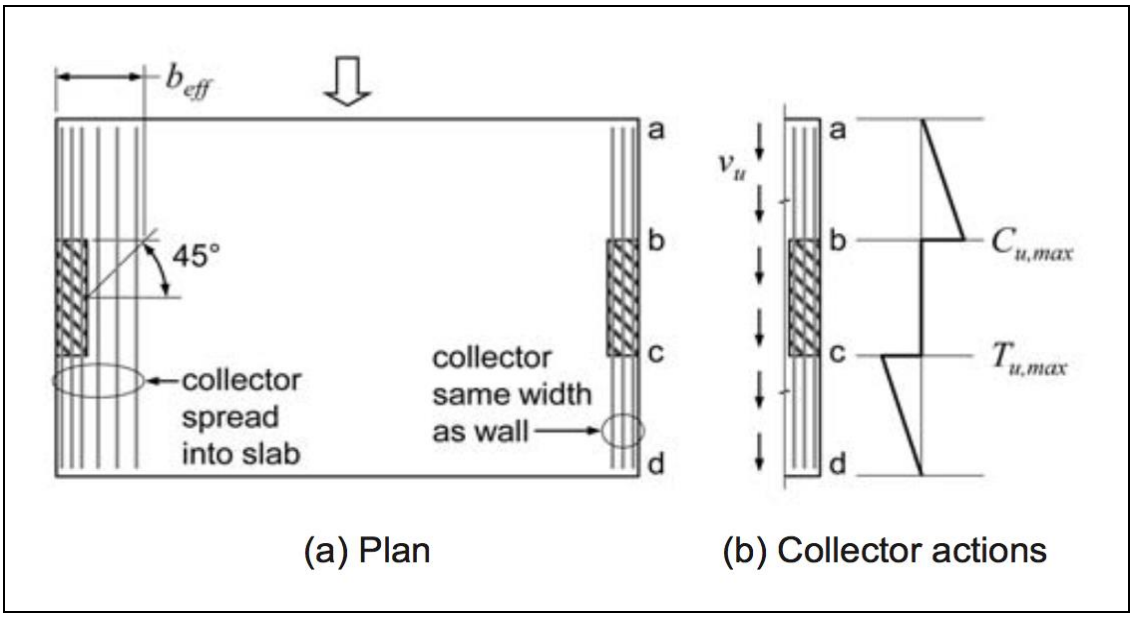
2.2.2 Diyafram Bileşenleri

Diyaframlar, döşeme, kiriş, çekme ve basınç başlıkları gibi yatayda imal edilen düşey taşıyıcılara yük aktaran yapısal elemanlardan oluşur. Şekil 2.7 bir diyaframın düzlem içi kuvvetleri nasıl aktardığını basitleştirilmiş bir model üzerinde göstermektedir [NIST GCR 10-917-4]. Bu gösterimde rijit dikdörtgen bir diyafram, iki düşey taşıyıcı arasında diyafram kuvvetlerini aktaran bir kiriş şeklinde modellenmiş ve moment ve kesme kuvvetleri bu basitleştirmeye göre şekildeki gibi tariflenmiştir. Çekme ve basınç kirişleri şeklinde basitleştirilen yük aktarımında oluşan çekme ve basınç kuvvet çifti aradaki moment kuvvetini oluşturmaktadır.



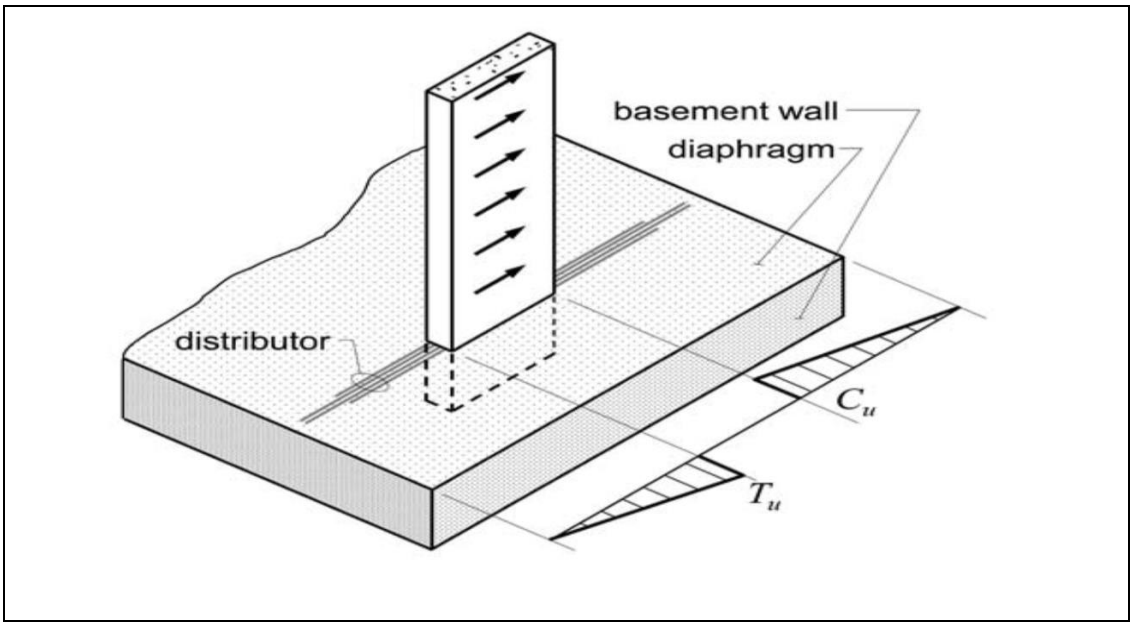
Şekil 2.7: Diyaframda basitleştirilmiş çekme ve basınç kuvveti.a) Plan, b) İç moment ve kesme direnci, c) Basit ışın idealleştirmesi.

Şekil 2.8'de diyafram sınır bölgelerinde çekme ve basınç kirişleri ile tariflenen ve buna göre basitleştirilmiş moment grafiğinden türetilen kesme kuvveti de diyafram kesiti boyunca düzgün yayılı yük olarak tariflendirilmiştir [NIST GCR 10-917-4]. Oluşan düzgün yayılı kesme kuvvetleri perdelere diyafram vasıtası ile aktarılmaktadır. Şekil 2.8'de kesme kuvvetlerinin perdelere aktarımı yine basitleştirilmiş yöntemle gösterilmiştir. Kesme kuvvetlerinin düşey taşıyıcılara aktarımı yapılırken kullanılan efektif yük aktarım genişliği hesaplarda pratik bir kalınlıkta hesap edilir. Efektif yük aktarım genişlikleri ile ilgili detaylı hesaplamalara ileriki konularda değinilecektir.



Şekil 2.8: Diyaframda kesme kuvveti aktarımı; a) Plan, b) Toplayıcı hareketleri.

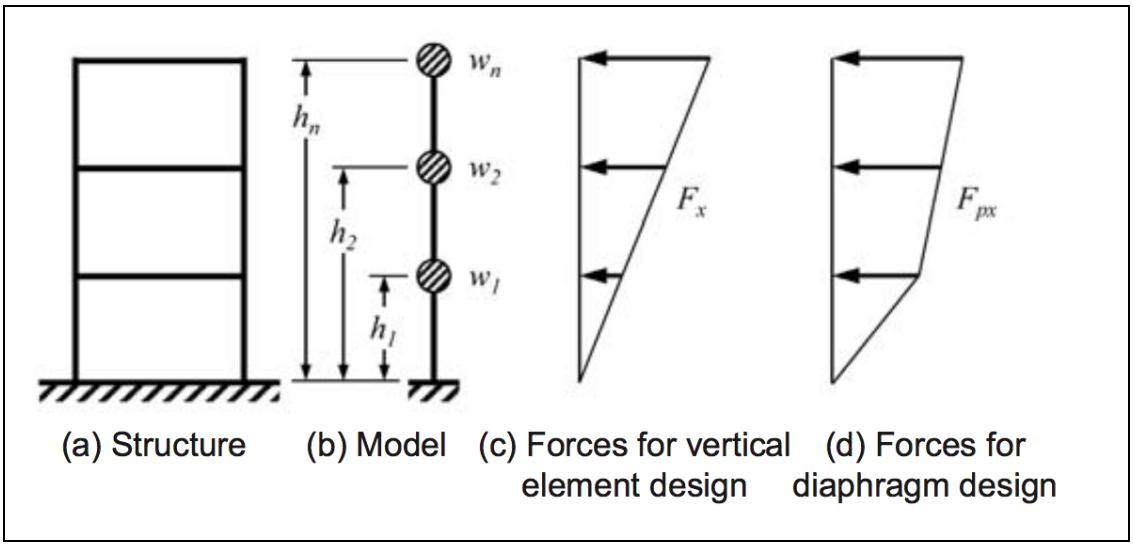
Diyafram yük aktarımı sadece diyafram elemanlarından düşey taşıyıcılara yük aktarımını değil ayrıca düşey taşıcılardan diyaframa yük aktarımını da kapsamaktadır. Bu konu ile ilgili en sık karşılaşılan problem, özellikle çok katlı yüksek yapıların düşey taşıyıcı rijitliklerinin bodrum katı perdelerinin sisteme eklenmesi ile ciddi bir artış gösterdiği podyum ve zemin katlarındaki yük aktarımıdır (Şekil 2.9) [NIST GCR 10-917-4]. Burada yük düşey taşıyıcılardan diyaframa, diyafram elemanlarından bir alt kattaki bodrum perdelerini ihtiva eden düşey taşıyıcılara aktarılmaktadır. Genel olarak bu tür katlarda tasarlanan diyafram döşemesine *'transfer katı'* ifadesi kullanılmaktadır.



Şekil 2.9: Transfer katı yük aktarımı.

2.3. Diyafram Davranışı ve Tasarım İlkeleri

Yüksek yapıların tasarımı için yapının bulunduğu konum ve zemin ilişkisinden türetilen ve her bir zaman tanımında o anki maksimum ivmeye tekabül eden değerlerin verildiği sismik spektrum grafikleri ile analizleri çıkartılan kuvvet grafikleri diyafram kuvvetlerinin çıkarılmasında eksik kalmaktadır. Yapı yüksekliği ve kat sayısı arttıkça yapıya etki eden mod sayılarının arttığı ve hesaplamaların bu şekilde yapıldığı bilinmektedir. Yapı kat sayısı arttıkça farklı katlarda bulunana farklı diyaframların deprem spektral ivme davranışları ve geçmişleri farklı olmaktadır. Her diyaframın maksimum kuvvet aktarımı farklı zamanlarda oluşmaktadır. Bu durumda her bir döşemenin ayrı ayrı maksimumlarında tasarlanması gerekmektedir ancak düşey taşıyıcılara yapılan aktarımların her farklı zaman aralığında oluşan maksimum diyafram kuvvetlerinden alınması aşırı konservatif bir yaklaşım olacaktır. Bu yüzden düşey taşıyıcı sisteme gelen yükler modların belirli bir ağırlık ve yüzdeliğine göre mod birleştirme yöntemleri ile yapılmalıdır. Bu yüzden düşey taşıyıcı ve diyaframlar için ayrı ayrı tasarım kuvvetleri ile çalışılmalıdır.

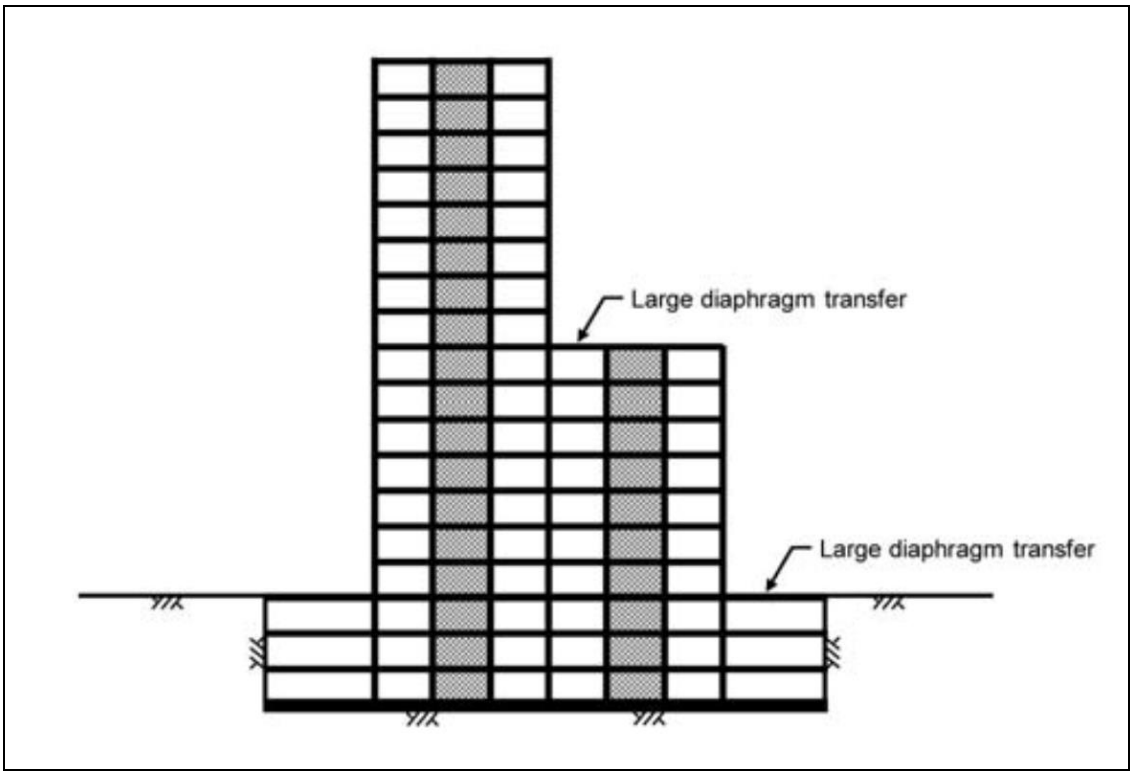


Şekil 2.10. Düşey taşıyıcı ve diyafram tasarım kuvvetleri; a) Yapı, b) Model, c) Element dizaynı için yatay kuvvetler.

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi yapısal tasarımda düşey yükler ve diyafram elemanlarının tasarımı için farklı kuvvetler göz önünde bulundurulmalıdır [NIST GCR 10-917-4].

Bazı durumlarda transfer katı düşey taşıyıcıların ve döşeme alanlarının arttığı zemin katının üzerindeki ara katlarda meydana gelir. Şekil 2.11 de ara katlarda ve podyum katında meydana gelebilecek transfer katılarının şematik gösterimi sunulmaktadır. Bu tür transfer katlarında, transfer edilecek yükler transfer katı hesap yöntemlerinde verilecek olan yöntemler ile hesaplanmalı ve yüklerin güvenli bir şekilde diyaframdan düşey taşıyıcılara ve düşey taşıyıcılardan diyaframa aktarım hesapları yapılmalıdır.

Diğer bir transfer hesabı da otoparklar için tasarlanan rampaların sitemde katlar arasında diyagonal çapraz bir statik eleman olarak düşünülmesidir. İki kat arasında tasarlanan rampalar, gerçekte yatay yükler altında bir kattan diğer bir kata yatay yük aktaran diyagonal çapraz bir eleman olarak çalışmaktadır. Bu tür bir transferde yük aktarımları doğru bir şekilde hesaplanmalı ve yapısal sistem bu esaslar içerisinde kurulmalıdır (Şekil 2.11) [NIST GCR 10-917-4].



Şekil 2.11: Ara katlarda transfer katı.

2.3.1. Davranış Varsayımı

Diyafram elemanlarında yük aktarımı, diyaframın düzlem içerisinde yük aktarırken lineer davranması ve diyaframda bir lineer olmayan davranışın oluşmayacağı varsayımı ile yapılmaktadır. Bu varsayım neticesinde diyaframda analiz, dizayn ve boyutlamalar tamamlanıp varsayımı yapılan prensiplerin gerçellemesi ile transfer katı yük aktarımlarının yapıldığı gösterilmelidir. Bu gerçelleme ile varsayımı yapılan yük aktarımı, aşağıda belirtilen yük aktarım metotlarından biri vasıtası ile tamamlanıp istenen amaca ulaşılabilir.

2.4. Yönetmeliklerde Transfer Katı Ve Diyafram Tasarımı

Yüksek yapıların sıkça tasarlanıp imal edildiği ve özellikle yüksek sismik risk altındaki ülkelerde yüksek binalar ile ilgili bu tür konular yönetmelik ve standartlarda yahut bölgesel kamu normlarında işlenip tasarım ve imalatın bu yönetmelik ve standartlara göre yapılmasını zorunlu kılar. Bu çalışmada bir Amerikan yönetmeliği olan ASCE - *American Society of Civil Engineers* yönetmeliği ve 18 Mart 2018 tarihli 30364 mükerrer sayılı resmi gazetede yayınlanan ve 1 ocak 2019 yılında

yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ’nde bulunan transfer katı ve diyafram tasarımı ile ilgili konular ele alınacaktır.

2.4.1. ASCE 7 Yönetmeliği ve Diyafram Tasarımı

ASCE - *American Society of Civil Engineers* – yönetmeliğinde tasarım için gereken yatay yükler diyafram yükleri diyafram yükleri ve kiriş yükleri şeklinde tariflenmiştir.

2.4.1.1 Tasarım Yatay Yükleri

ASCE - *American Society of Civil Engineers* – yönetmeliğinde tasarım için gereken yatay yükler için hesaplanan diyafram yükleri yönetmeliğin ilgili kısımlarında hesaplanan deprem kuvvetleri ile elde edilir.

2.4.1.1.1 Diyafram Yükleri

ASCE - *American Society of Civil Engineers* – yönetmeliğinde diyafram kuvvetleri, aşağıda (a) ve (b) bendinde ve ilgili maddelerde verilen tanım ve formüllerden maksimum çıkan değerlere göre hesaplanmasını ön görülmüştür.

a) Yapısal sismik analiz hesaplamalarında eşdeğer deprem yüküne göre hesaplanan kuvvettir.

$$F_x = C_{vx} V \tag{2.1}$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \, h_i^k} \tag{2.2}$$

Burada; C_{vx} dikey dağılım faktörü, V sismik temel kesme kuvveti, k bina periyodu, h yükseklik, w_x yapının toplam etkin sismik ağırlığıdır.

b) Diyafram kuvveti,

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^{n} F_i}{\sum_{i=x}^{n} w_i} w_{px} \tag{2.3}$$

Ancak bu değer;

$$F_{px,min} = 0.2 S_{DS} I_e w_{px} \tag{2.4}$$

bu formülde verilen değerden küçük olmamalı ve,

$$F_{px,max} = 0.4 S_{DS} I_e w_{px} \tag{2.5}$$

bu formülde verilen değerden küçük olmamalıdır. Burada S_{DS} spektral tepki ivmesidir.

Denklem 2.3'de verilen F_i değeri, eşdeğer deprem yüküne göre yapılan hesaplamalardan çıkartılan diyafram kuvveti olarak alınabilir veya herhangi bir i katındaki spektral ivme değerinin kütle ile çarpılmasından da çıkarılabilir.

2.4.1.1.2. Kiriş Yükleri

Denklem 2.3.'de verilen diyafram içerisinde diyafram özellikleri taşıyan kirişlerin yönetmelik şartları ve tasarım kuralları verilmiştir.

Diyafram yükleri konusunda verilen diyafram kuvvetleri kirişlerim için de uygulanmalıdır. Yönetmeliğin ilgili kısımlarında verilen F_x ve F_{px} kuvvetleri yapının her katına aynı anda uygulanabilirken, $F_{px,max}$ kuvveti sadece tek bir kata uygulanabilir.

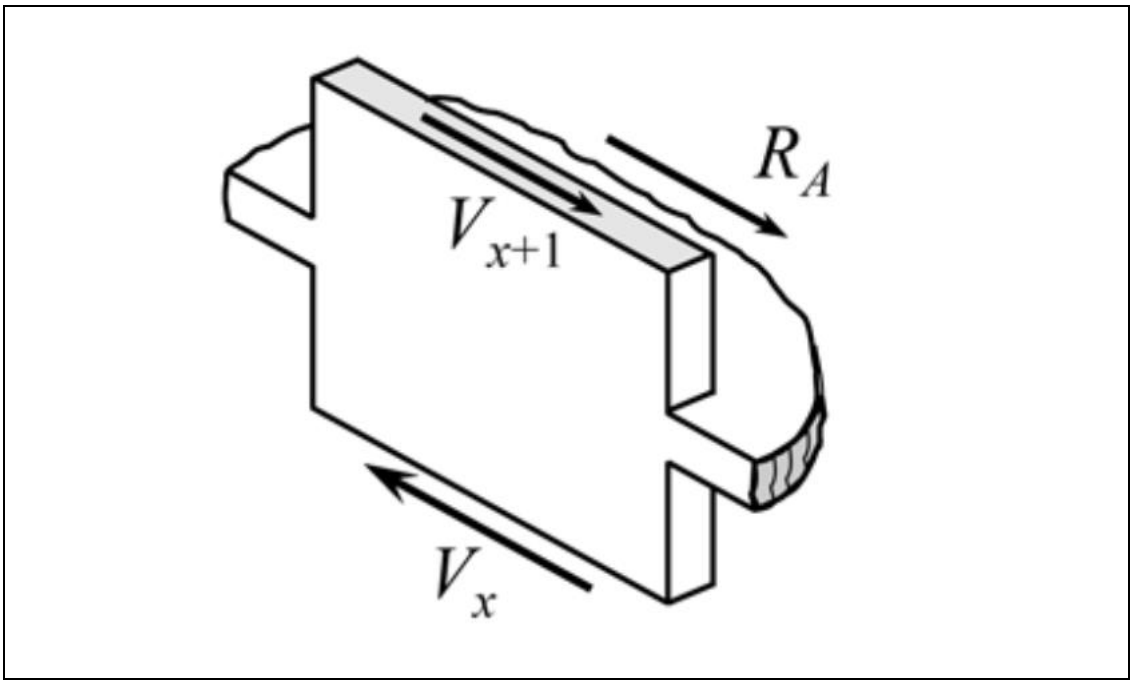
2.4.1.1.3 Düzensiz Yapılar

ASCE 7 – 12.3.3.4 maddesinde belirtilen tasarım sınıflarında yatayda düzensizlikler ve düşeyde düzensizlikler olan binalarda kuvvet bazlı ek önlem almayı ön görmektedir. Sistemde burulma, diyaframda düzensizlikler, planda konsol ve

benzeri çıkıntıların olması, düşey taşıyıcılarda süreksizlik ve düzensizlik olması durumlarında yönetmeliğe göre diyafram ve kiriş yükleri %25 arttırılmalıdır. Bu arttırma diyaframdaki tüm yapısal elemanlar ve bu elemanların birbiri ile ve düşey taşıyıcı elemanları ile bağlantılarında da geçerlidir.

2.4.1.2. Transfer Kuvvetleri

Bir diyafram ve diyaframın bağlandığı düşey taşıyıcı arasındaki transfer kuvvetleri sonlu eleman yöntemi ile çalışan programlardan kolaylıkla elde edilebilir. Diyafram modeli oluşturulurken diyafram rijitliği yarı rijit (semi-rigid) olarak tariflendiği takdirde, çıkarılması istenen yön ve özellikteki kuvvetlerin seçilen eleman guruplarından kesitleri (section-cut) alınarak bu kuvvet saptanabilir. Diyafram modeli oluşturulurken diyafram rijitliği tam rijit (rigid) olarak tariflendiği takdirde kesitler yardımı ile kuvvet çıkartılamaz. Bu durumda kuvvetler diyaframdan değil düşey taşıyıcıların alt ve üst noktalarındaki ilgili kuvvetlerin okunması ile elde edilebilir (Şekil 2.12) [NIST GCR 10-917-4]. Bu kuvvet diyaframdan düşey taşıyıcılara aktarılan kuvvete eşit olacaktır. Bu metod yarı rigit (semi-rigid) sistemler için de geçerlidir. Hesaplanan yükler tüm iç kuvvetleri ve transfer kuvvetlerini kapsamaktadır.



Şekil 2.12: Düşey kesitte yük aktarımı.

Transfer kuvvetlerinin hesaplanmasında eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan ve tariflenen şekilde çıkartılan kuvvetler olduğu gibi kullanılabilir. Ancak spektral analiz yönteminde her bir modun katkısını göz önünde bulunduran karelerin toplamının karekökü veya tam karesel birleştirme yöntemlerinden biri ile tüm modlar, toplamdaki ağırlıkları nispetinde toplanarak hesaplanmalıdır.

Bu yük hesaplamaları transfer katı diye tarifleyebileceğimiz aşırı yatay kuvvet aktarımlarının olduğu podyum veya zemin katlarında veya düşey taşıyıcı rijitliklerinin aşırı arttığı ara katlarda hesaplanmalıdır. Genel olarak bu kuvvet geçişlerinin olduğu katlarda hesaplanan kuvvetler, diğer katlarda hesaplanan kuvvetleri domine etmektedir.

2.4.1.3. Diyafram Rijiliği

ASCE 7 de döşeme açıklığının kalınlığa oranı 3 ve üzerinde olan ve yatayda düzensizliği olmayan tüm diyaframların rijit özellikte tanımlanabilmesine olanak sağlamıştır. Diğer tüm durumlarda diyafram rijitlikleri tanımlanmalıdır.

Diyafram rijitliği sadece diyaframda oluşacak iç kuvvetleri değil bu kuvvetlerin düşey taşıyıcılara nasıl aktarılacağını da etkiler. Özellikle transfer katı olarak ifade ettiğimiz aşırı transfer kuvvetlerinin olduğu katlarda diyafram rijitliği yük miktar ve dağılımını önemli derecede etkilemektedir. Diyafram döşemesi ebatlarından hesaplanan brüt rijitlikler elemanların çatlamış kesit rijitlikleri oranında azaltılmalıdır. Bu azaltma miktarları yönetmeliklerde basit oranlar şeklinde verilmiştir. Modellemede genellikler programların ritiklik düzenlemesi (stiffness modifier) bölümlerinden bu rijitlikler düzenlenebilir. Betonarme döşemelerde çatlamış kesit rijitliklerinin brüt kesit rijitliklerine oranı genel olarak 0.15 ile 0.50 değerleri arasında kalmaktadır.

2.4.1.4. Özel Durumlar

Transfer katı ve diyafram tasarımında bilinmesi gereken bazı özel konular bulunmaktadır. Diyafram kuvvetlerini ve tasarımı direk etkileyen konuların doğru analiz edilip hesaplamalarda kullanılması gereklidir. Bu özel konular plan

düzleminde yapıda bulunan şaftlar, rampalar ve düşey taşıyıcı sistemde bulunan düzesizliklerdir.

2.4.1.4.1. Şaftlar

Diyafram içerisinde bulunan ebatları küçük denebilecek şaftlar için genel olarak şaft içerisinde şafttan dolayı devam etmeyen donatı alanı kadar donatıyı şaft kenarına koymak şeklinde basitleştirilmiş ve hesaba gerek duyulmayan bir çözüm geliştirilmiştir. Ancak ebatları büyük olan şaftlar için aynı çözüm söz konusu değildir. Ebatları büyük olan şaftlar olan bir diyaframdan yük aktarımları ileriki bölümlerde el hesabından en komplike sonlu eleman metoduna kadar olan yöntemlerden bir yöntemle kuvvet aktarımlarının yapılabildiği gösterilmelidir. Bazı durumlarda bu şaft kenarlarında oluşan çekme ve basınç bölgeleri için döşeme içerisinde etriyeli bir gizli kiriş yahut normal kiriş uygulamalarına geçilmesi gerekmektedir.

2.4.1.4.2. Düşey Taşıyıcı Sistemde Düzensizlikler

Düşey taşıyıcı sistemde var olan bir düzensizlik sebebi ile diyaframda olması gereken transfer kuvvetlerinden çok daha büyük kuvvetler oluşur ve bu durumda diyafram hem kendi içerisindeki iç kuvvetleri hem de transfer kuvvetlerini güvenli bir şekilde taşımalı ve aktarmalıdır.

2.4.1.4.3. Rampalar

Genellikle otopark sistemlerinde önümüze çıkan farklı iki katı birbirine bağlayan rampa veya eğimli döşemeler yük transferi konusu açısından önemli bir konudur. Rampalar iki ayrı katı rijit bir şekilde birbirine bağladığından dolayı iki kat arasında diyagonal bir bağlantı sağlamış olur ve kesme ve normal kuvvetlerin bir kattan diğerine direk aktarımı sağlanmış olur. Diyafram üzerinden rampaya ve oradan diğer kata aktarılan kuvvete göre rampa kendi içerisinde dizayn edilmeli ve bu kuvvetleri aktardığı gösterilmelidir.

Yapısal modelleme yapılırken rampalardan bu yükün akışını sağlayacak şekilde bir modelleme yapılması gerekmektedir.

Sistemdeki rampa her iki deprem yönünde de farklı çalışmaktadır. Rampa yönünde gelen deprem kuvveti için rampa katlar arası bir diyagonal görevi görürken, rampaya dik taraftan gelen kuvvet için de sistemde bir kesme perdesi görevi görmektedir. Her iki durumda da rampa, düşey taşıyıcılara deprem kuvvetlerinin dağılımını etkilemektedir. Ayrıca rampa başında ve sonunda oluşturulan kolonlarda 'kısa kolon' etkisi ile kolonda aşırı kesme kuvvetleri oluşması muhtemeldir. Ayrıca döner rampaların sistemde burulma oluşturabilmesi göz önünde bulundurulmalıdır.

2.4.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Transfer Katı ve Diyafram Tasarımı

18 Mart 2018 tarihli, 30364 mükerrer sayılı resmi gazetede yayınlanan ve 1 ocak 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 'nde bulunan transfer katı ve diyafram tasarımı ile ilgili konular ve ilgili maddeler, yönetmelikte özellikle yüksek yapıların tasarımı açısından detaylı bir şekilde bir çok maddede belirtilmiş ve gerekli hesaplamalar ile ilgili tarifler verilmiştir.

2.4.2.1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde İlgili Maddeler

Türkiye bina deprem yönetmeliğinde birçok maddede geçen transfer katı ve diyafram tasarımı ile ilgili maddeler şu şekildedir: 3A.6.1, 3A.6.2, 3A.6, 3A.6.4, 4.5.6.1, 4.5.6.2, 4.5.6.3, 4.5.6.4, 4.5.6.5, 4.5.7.1, 4.5.7.2, 4.5.7.3, 7.11.1, 7.11.2, 7.11.3, 7.11.4, 7.11.5, 17.9.1, 17.9.2, 17.9.3, 17.9.4, 17.9.5, 17.9.6. İlgili maddeler transfer katı ve diyafram tasarımı ile ilgilidir. Bu maddelerde transfer katı ve dayanımı ile ilgili ilkeler aşağıda özet bir şekilde anlatılmıştır.

Türkiye bina deprem yönetmeliğinde depremde döşemelerde oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılmasını ve aynı zamanda deprem etkilerinin farklı rijitliklere sahip düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle dağıtılmasını sağlamak üzere, döşemelerin yeterli düzlem içi rijitliğe ve yeterli dayanıma sahip olmaları esası üzerine tasarım yapılmasını zorunlu kılar ve diyafram kuvvetlerinin döşemelerden düşey taşıyıcılara güvenli bir şekilde aktarılmasının hesapla gösterilmesini istemektedir.

Normal katlardan çok rijit bodrum katlarına geçişte yer alan ve üstteki katlarda oluşan diyafram kuvvetlerinin tümünü veya büyük bir bölümünü ani olarak bodrum katlardaki çevre perdelerine aktarmak durumunda kalan geçiş katları döşemeleri'nde yeterli düzlem içi rijitlik ve dayanımın sağlanması esastır.

Kirişli ve kirişsiz döşemeli binaların döşemelerindeki düzlem içi eksenel ve kayma gerilmeleri, elastik diyafram kabulü ile hesaplanmalıdır. Bu binaların döşemelerinde deprem etkisi altında oluşan düzlem içi ortalama çekme, basınç ve kayma gerilmelerine dayanım fazlalığı katsayısı, D uygulanacaktır. Döşeme düzlemi içinde oluşan çekme gerilmesi değerinin f_{ctd} 'den büyük olduğu durumda, düzlem içi çekme gerilmesi değeri, döşemenin eğilme dayanımı için gerekli olandan arta kalan donatı oranı ρ olmak üzere ρf_{yd} sınırını aşmamalıdır. Bu koşulun sağlanamadığı durumlarda, donatı eksiği düzlem içi ilave donatı ile tamamlanmalıdır. Döşeme düzlemi içinde oluşan basınç gerilmesi değeri $0.85f_{cd}$ sınırını aşmamalı, Döşeme düzlemi içindeki yatay kayma gerilmeleri her iki doğrultuda

$$\tau_r = 0.65 f_{ctd} f_{yd} + \rho f_{yd} \tag{2.7}$$

formülü ile verilen sınırı aşmamalıdır.

Bu hesapta ρ eğilme dayanımı için gerekli olandan arta kalan ve kayma gerilmesine paralel doğrultuda yerleştirilecek olan döşeme donatısı oranıdır. Düzlem içinde oluşan kayma gerilmesi $0.65\ (fck)^{0.5}$ sınırını aşmamalıdır.

Döşeme ile perde arasında oluşan düzlem içi kayma gerilmeleri bu kesitlerdeki düzlem içi kesme sürtünmesi dayanımını aşmayacaktır. Kesme sürtünmesi dayanımı gerilme cinsinden, perdeye saplanan ve kenetlenme boyu yeterli olan ve eğilme dayanımı için gerekli olandan arta kalan döşeme donatısı oranı ρ olmak üzere

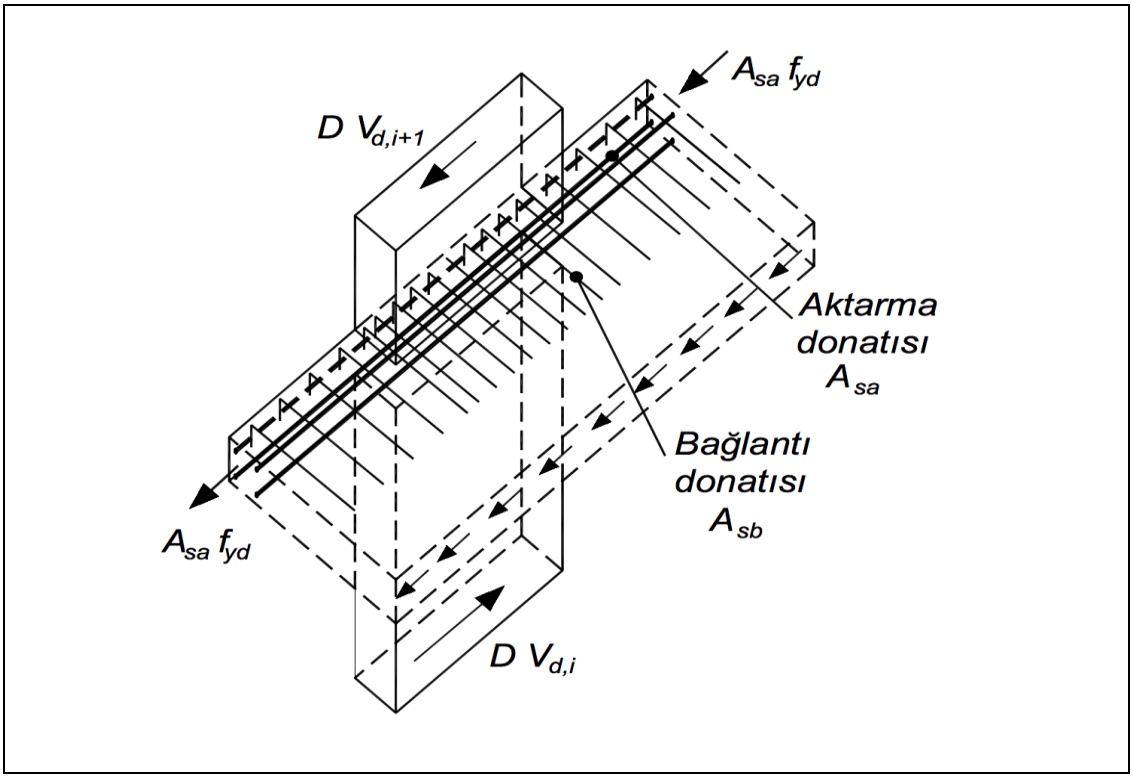
$$\tau_r = \mu \rho f_{yd} \tag{2.8}$$

ile hesaplanmalıdır.

Bir döküm birleşimlerde kesme sürtünmesi katsayısı için $\mu = 1.0$ değeri kullanılacaktır.

Döşeme ve perde birleşimlerde kesme sürtünmesi TS 500'e uygun olarak hesaplanmalı, sürtünme katsayısı için $\mu \leq 1.0$ değeri kullanılmalıdır. Şekil 2.13'de

gösterilen Aktarma donatısı miktarında donatının saplandığı perde yüzeyinden başlayarak perde yüzünden uzaklaştıkça uygun miktarda azaltma yapılabileceği dikkate alınmalı ve bu biçimde oluşturulmuş aktarma elemanları ile döşeme arasında aktarma elemanı uzunluğu boyunca kesme sürtünmesi kontrolü ayrıca yapılmalıdır [TBDY 2018].



Şekil 2.13: Aktarma Donatısı.

2.5. Diyafram Analiz Metotları

Bir diyaframdaki iç kuvvetler, en basit idealize sistemden son derece karmaşık bilgisayar çözümlemelerine kadar farklı şekillerde hesaplanabilir. Analiz sonuçları yatay kuvvetlerin diyaframlardan ve diyafram vasıtası ile nasıl aktarıldığını yeterli doğrulukta hesaplaması çözümleme için yeterli olacaktır. Diyafram analiz metodları en basit analiz yöntemi için eşdeğer kiriş yöntemi kullanılabilirken en gelişmiş yöntem ise sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar tabanlı analizlerinin yapılmasıdır. Aşağıda analiz yöntemleri ile ilgili yaklaşımlar ve dört farklı yöntemde analiz metodu anlatılmıştır.

2.5.1. Diyafram Tasarım ve Analiz Yaklaşımları

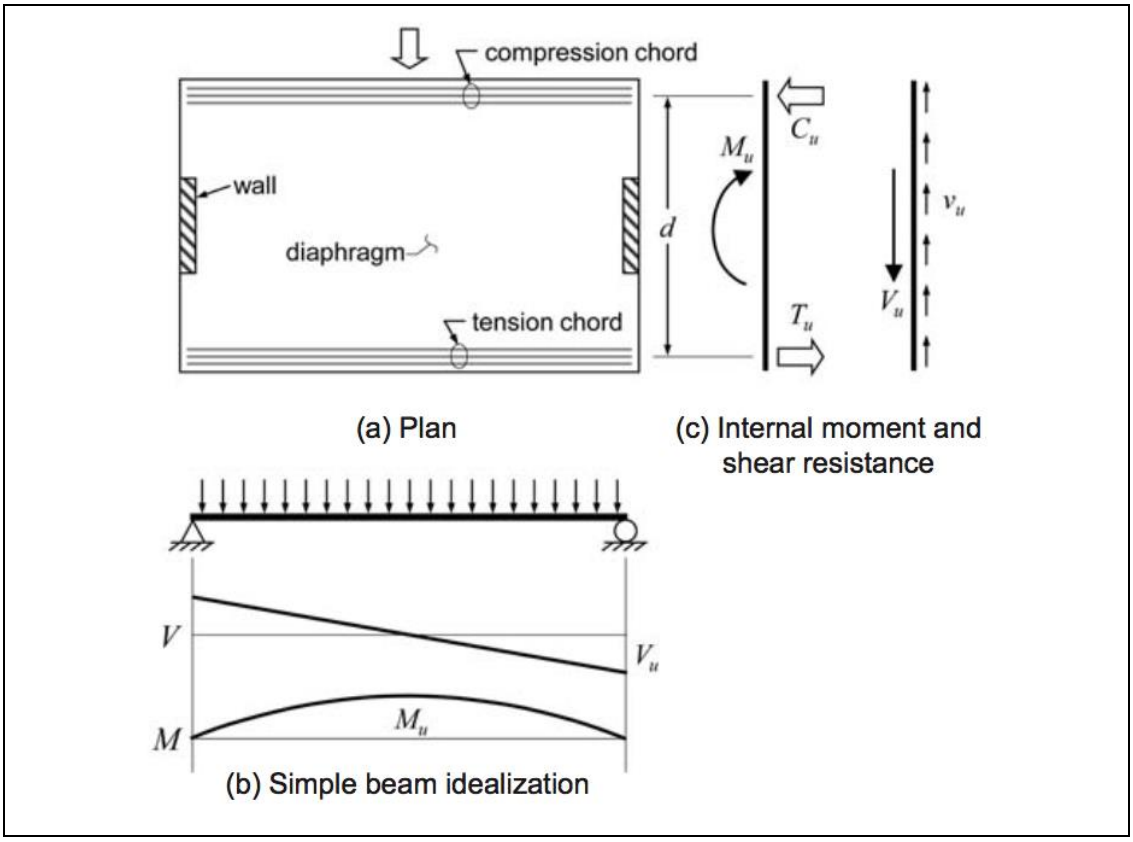
Bir diyaframdaki iç kuvvetler, en basit idealize sistemden son derece karmaşık bilgisayar çözümlemelerine kadar farklı şekillerde hesaplanabilir. Analiz sonuçları yatay kuvvetlerin diyaframlardan ve diyafram vasıtası ile nasıl aktarıldığını yeterli doğrulukta hesaplaması çözümleme için yeterli olacaktır. Düşey taşıyıcılarının her katta düzenli olduğu binalarda en basit şekilde idealize edilmiş çözüm yöntemi diyafram kuvvetlerinin hesaplanmasında yeterli olmaktadır. Yatayda veya düşeyde düzensizliği olan yapılarda, bu düzensizliklerin olduğu kısımlarda aşırı kuvvet aktarımları olacağından basitleştirilmiş yöntemlerle diyafram kuvvetlerinin hesaplanması mümkün olmamaktadır.

Basit açıklıkları olan ve temelden tepe noktasına kadar aynı düşey taşıyıcı rijitliklerine sahip az katlı binalarda *'eşdeğer kiriş yöntemi'* ile yeterli doğrulukta diyafram kuvvetleri hesaplanabilir. Açıklıkları biraz daha kompleks hale gelen ancak düşey taşıyıcılarında herhangi bir düzensizlik bulunmayan yapılarda *'yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemi'* ile tasarım yapılarak diyafram kuvvetleri hesaplanabilir. *'Yay üzerindeki eşdeğer kiriş yöntemi'* daha basit olan *'eşdeğer kiriş yöntemi'* ne göre daha nispeten daha kompleks bir sistemdir. Bu tür yapılarda diyafram kuvvetlerinin hesaplanmasında başka bir yaklaşım ise *'düzeltilmiş eşdeğer kiriş yöntemi'*dir. Bu yöntem bilgisayar modellemesinden çıkartılan yük dağılımlarının diyaframa uygulanması ve bu yükler altında diyafram tasarımının yapılmasını içermektedir. Bu tür yapılarda ve daha karmaşık sistem ve düzenli düzensiz düşey ve yatay taşıyıcıların olduğu az katlı ve çok katlı tüm yapılarda daha kompleks bir hesaplama yöntemi olan bilgisayar tabanlı *'sonlu elemanlar yöntemi'* veya *'kafes kiriş yöntemi'* (strut and tie) kullanılabilir.

Sismik risklerin az olduğu bölgelerde *'eşdeğer kiriş yöntemi'*, *'yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemi'* ve *'düzeltilmiş kiriş yöntemi'* sıklıkla kullanılmaktadır. Sismik risklerin az olduğu bu bölgelerde diyafram üzerinde hesaplanan kuvvetler genellikle diyaframın ve düşey taşıyıcıların rahatlıkla taşıyabileceği bir oranda olduğundan daha kompleks olan bilgisayar sistemleri ile çözüm ve hesaplamaya gerek duyulmamaktadır.

2.5.2. Eşdeğer Kiriş Yöntemi

Eşdeğer kiriş yönteminde diyafram kuvvetleri basitleştirilmiş rijit mesnetler üzerinde bulunan basit bir kiriş gibi çalıştığı varsayımı ile hesaplanmaktadır. Burada rijit mesnetler sistemdeki kolon ve perde gibi düşey taşıyıcıları temsil edecek şekilde düzenlenmelidir. Şekil 2.14 eşdeğer kiriş yöntemini şematik olarak göstermektedir. Burada kiriş basit bir şekilde mesnetlenmiştir ve basit kiriş moment ve kesme kuvvet hesapları yapılmıştır. Bu örnek haricinde yine basitleştirilebilen bir şekilde kiriş momentleri ve kesme kuvvetleri hesaplanarak diyaframdan düşey taşıyıcılara aktarılan çekme-basınç ve kesme kuvvetleri basit bir şekilde hesaplanabilir [NIST GCR 10-917-4].



Şekil 2.14: Eşdeğer kiriş yöntemi; a) Plan, b) İdealize edilmiş çelik kiriş c) Moment ve kesme kuvveleri.

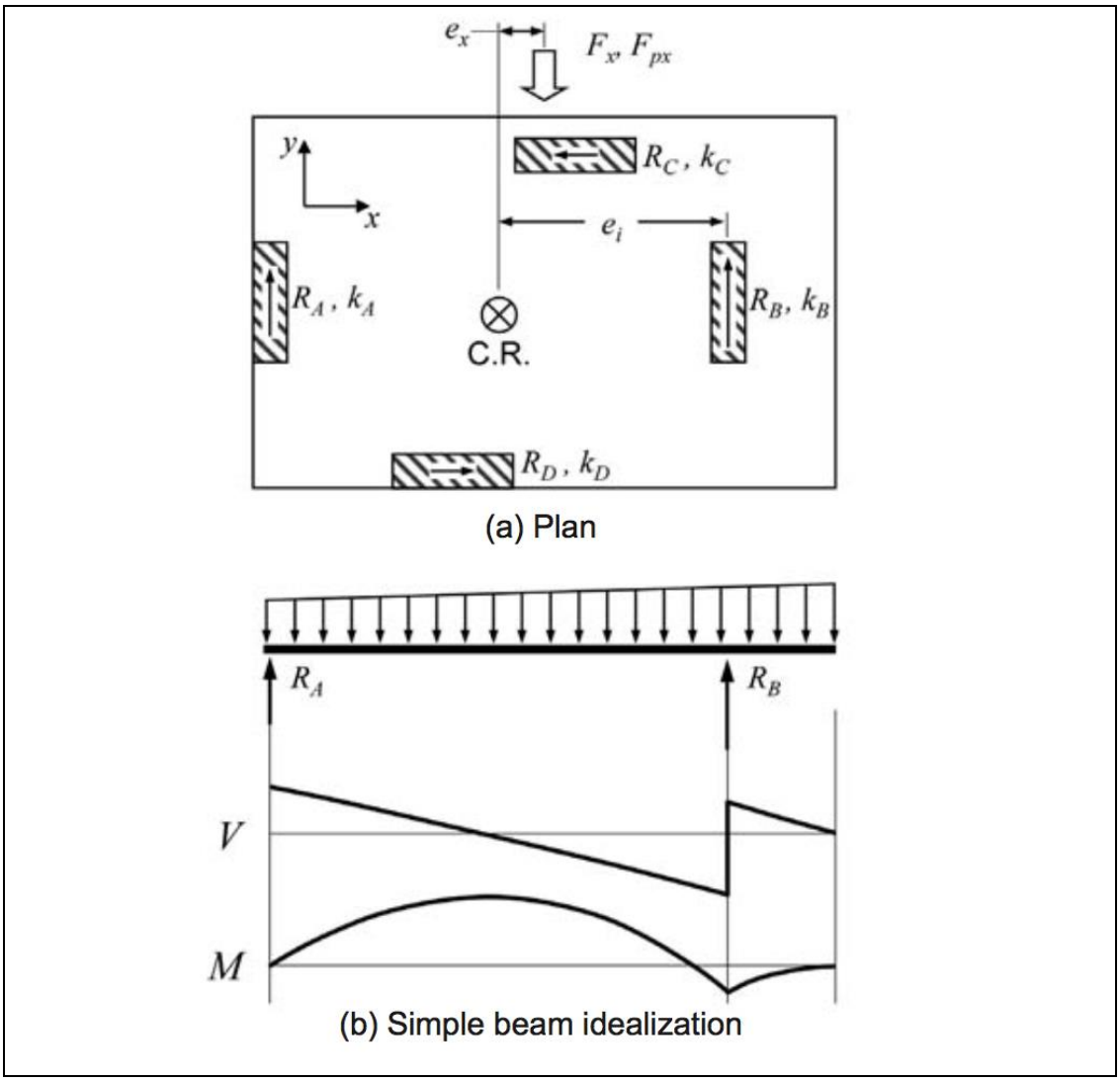
Az katlı, yatayda ve düşeyde düzensizliği bulunmayan basit bir sistemde düşey taşıyıcılara aktarılan F_x veya F_{px} diyafram kuvvetlerinin, rijitlik ve kütle merkezleri arasındaki farktan dolayı oluşan burulma etkisi ile birlikte hesaplanabilmesini sağlayan formül şu şekildedir:

$$R_i = F_x \frac{k_{ix}}{\sum k_{ix}} + F_x e_x \frac{e_i k_i}{J_i} \tag{2.9}$$

Bu formülde R_i, diyafram ile i inci düşey taşıyıcısı arasında aktarılan kuvvet, F_x, belirtilen yöndeki kat yatay yükleri, kix, x yönündeki i inci düşey taşıyıcı rijitliği, e_x, kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dik uzaklık, e_i, rijitlik merkezi ile i inci düşey taşıcının rijitlik merkezine olan dik uzaklık ve J_r ise polar atalet momentidir. Polar atalet momenti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$J_r = \sum e_i^2 k_i \tag{2.10}$$

Şekil 2.15'te yukarıda verilen formüller ve tarifler grafiksel olarak gösterilmiştir [NIST GCR 10-917-4]. Bu grafikte hesaplanan R_A ve R_B değerleri basitçe Fx değerine eşittir. $R_A + R_B = F_x$. Bu formüller yardımı ile hesaplanan moment ve kesme kuvvet grafikleri ve değerleri diyaframdan düşey taşıyıcılara aktarılan kuvvetlerin hesaplanması ve diyafram tasarımının tamamlanabilmesi için yeterlidir. Ancak unutulmaması gereken husus, göz ardı edilebilecek derecede olsa dahi diğer yönde hesaplanan R_C ve R_D kuvvetlerinin bu yönde de az bir etkisinin olabileceğidir.

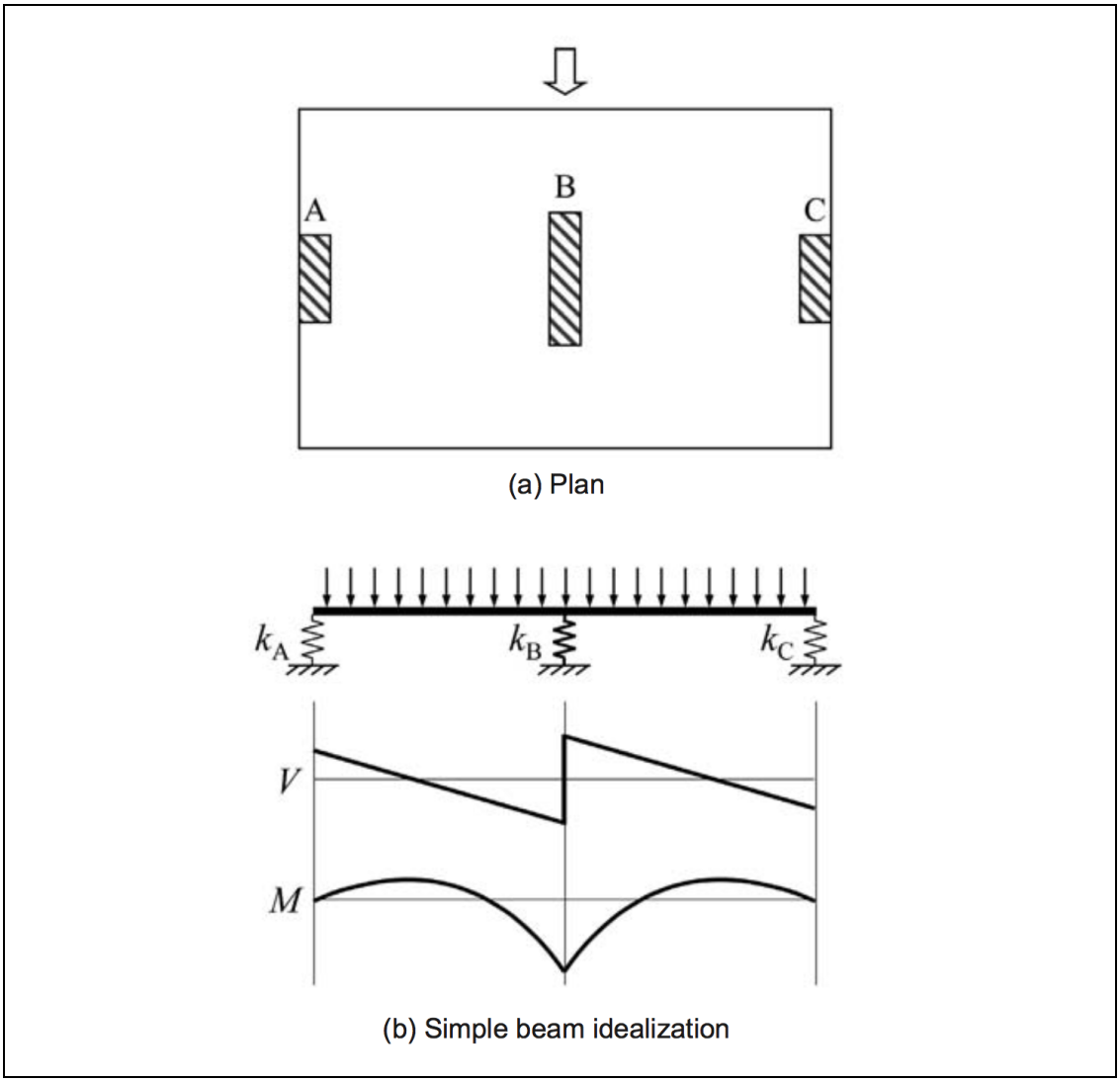


Şekil 2.15: Eşdeğer kiriş yöntemi el hesabı için bir örnek a) Plan b) İdealize edilmiş çelik kiriş.

2.5.3. Yay Üzerinde Eşdeğer Kiriş Yöntemi

Yay üzerinde eşdeğer kiriş yönteminde diyafram kuvvetleri basitleştirilmiş yay ile esnek mesnetler üzerinde bulunan basit bir kiriş gibi çalıştığı varsayımı ile hesaplanmaktadır. Burada yay üzerinde esnek mesnetler sistemdeki kolon ve perde gibi düşey taşıyıcıları temsil edecek şekilde düzenlenmelidir. Ancak bu yöntem, düşey taşıyıcı rijitliklerinin kolayca hesaplanabileceği az katlı yapılarda kullanılması daha pratik ve kolay olacaktır. Çok katlı binalarda düşey taşıyıcı rijitliklerinin kolaylıkla hesaplanabilmesi pek mümkün değildir. Şekil 2.16 yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemini şematik olarak göstermektedir [NIST GCR 10-917-4]. Burada kiriş

basit bir şekilde esnek yay üzerine mesnetlenmiştir ve basit kiriş moment ve kesme kuvvet hesapları yapılmıştır.



Şekil 2.16: Yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemi; a) Plan, b) İdealize edilmiş çelik kiriş.

2.5.4. Düzeltilmiş Eşdeğer Kiriş Yöntemi

Eşdeğer kiriş yöntemi veya yay üzerinde eşdeğer kiriş yöntemi ile çözülmesi zor ve zahmetli olması muhtemel karmaşıklıkta yatayda veya düşeyde düzensizlikleri bulunan veya sistemi burulma kuvvetleri etkisindeki yapılarda düzeltilmiş eşdeğer kiriş yöntemi kullanılabilir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi bu yöntemde de temel yaklaşım diyafram kuvvetlerinin ve düşey taşıyıcı sisteme aktarılacak kuvvetlerin hesaplanması ve bu kuvvetlere göre diyaframın tasarlanmasıdır. Bu yöntemde kuvvet

hesaplamaları bilgisayar yöntemi ile yapılmaktadır. Yarı rijit (semi rigid) diyaframlarda kesit (section cut) özelliği kullanılarak kesitteki kuvvetler hesaplanabilirken tam rijit (rigid) diyaframlarda kuvvetler düşey taşıyıcıların alt ve üst ucundaki kuvvet farkları ile doğrudan hesaplanabilir.

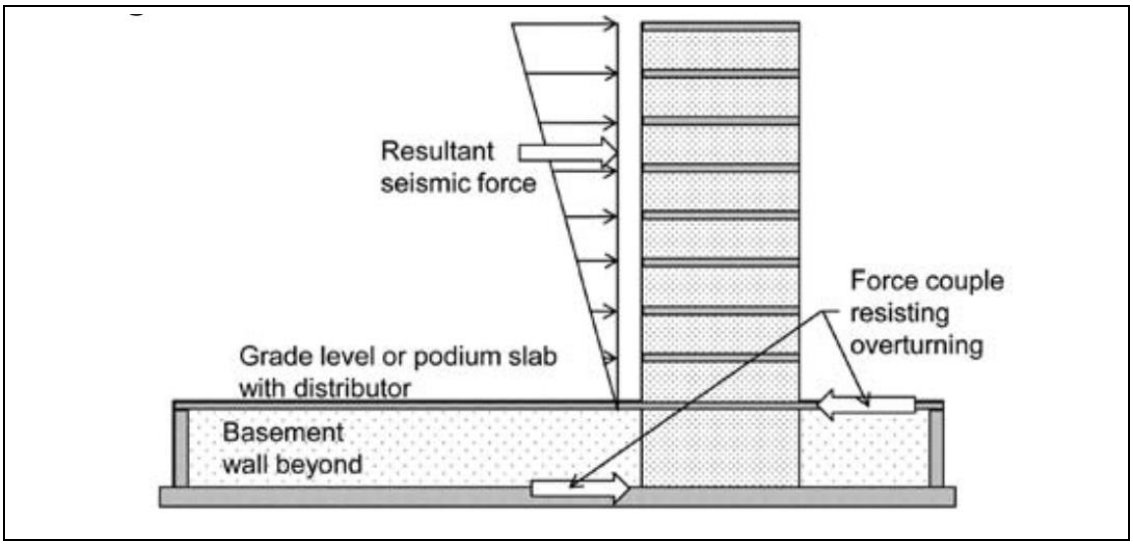
2.5.5. Sonlu Eleman Yöntemi

Günümüzde özellikle yüksek yapılarda yatayda ve düşeyde düzensizlik bulunmayan bir taşıyıcı sisteme rastlamak pek mümkün değildir. Hemen hemen tüm yapılar ya yatayda düzensiz yahut hem yatayda hem de düşeyde düzensiz yapılardır. Bu duruma realistik bir şekilde bakıldığında transfer katlarının, diyafram ve düşey taşıyıcılara aktarılan kuvvetlerin hesaplanabilmesinde bilgisayar yardımı olmadan doğru bir sonuç alınamayacaktır. Bu sadece basit bir döşemeden aktarılan kuvvetlerde değil, podyum ve zemin katı gibi aşırı yük transferlerinin olduğu katlarda hesaplanacak kuvvetlerde de geçerlidir. Ayrıca büyük şaftların olduğu döşemelerin şaft kenarlarında biriken gerilme yığılmalarının ve bu gerilme ve kuvvetlerin aktarılması hesabında, katlar arası diyafram kuvveti aktaran rampaların üzerindeki kuvvetlerin hesaplanmasında ve günümüzde sıkça karşılaşılan düzgün olmayan geometrideki mimari döşemelerde oluşan transfer kuvvetlerinin de bilgisayar tabanlı programlar yardımı ile hesaplanması bir gerekliliktir.

Sonlu eleman yönteminde rijit özellikli tanımlanan diyaframda kuvvetler mesnet bölgelerinde pik değerler yapabilirler. Bu değerler realistik olmamakla birlikte normalize edilerek kullanılmalıdırlar. Ancak çatlamış kesit rijitlikleri ve yarı rijit (semi rigid) özellikler diyafram için tanımlandığında mesnet bölgelerinde pik değerlerden çok daha normal ve dizayn için kullanılabilecek değerler ile karşılaşılır.

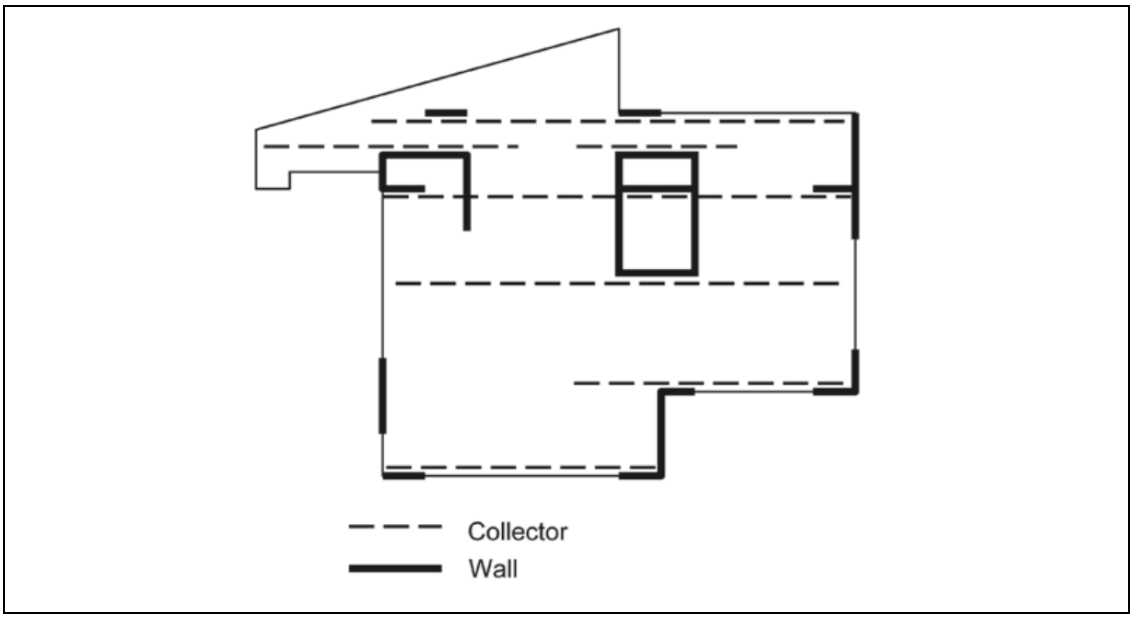
Daha önce de belirtildiği üzere podyum ve zemin kat katlarda aşırı yük transferlerinin olmaktadır. Bu katlarda aktarılan kesme kuvvetleri, diyafram rijitliği ile doğrudan ilişkilidir. Bu katlardaki diyaframlara aktarılan kuvvetler mevcut düşey taşıyıcılar ile sisteme bu katta eklenen bodrum perdelerine birlikte dağılır. Diyafram rijitliği ne kadar azalırsa bodrum perdelerine aktarılan kuvvetler bu oranda azalma gösterebilir. Diyaframdaki döşeme ve kiriş sisteminin, bu kuvvetleri sağlıklı bir şekilde sistemdeki tüm düşey taşıyıcılara ve bodrum perdelerine aktarması için tasarımın ve boyutlandırma gerekli şekilde yapılmalıdır. Yapı üzerinde bulunan sismik kuvvetlerin zeminde bulunan diyaframa aktardığı kuvvetler, zemin ile temel

arasında bir destek etkisi ile karşılanır. Literatürde bu sistem destek etkisi (backstay effect) adı ile anılmaktadır. Bu destek etkisi zemin üzerinde sismik kuvvetlerden dolayı oluşan devrilme momentlerini karşılayan bir karşı momenttir. Bu moment zemin katta ve temel seviyesinde oluşan kuvvet çifti ile karşılanır.



Şekil 2.17: Zemin kattaki diyaframın devrilmeye karşı destek etkisi – backstay effect.

Şekil 2.17'de yapının zemin üzerindeki sismik kuvvetlerden dolayı oluşan devrilme momentini karşılayan ve zemin ile temel arasındaki kuvvet çifti şematik olarak gösterilmiştir [NIST GCR 10-917-4].



Şekil 2.18: Düzensiz bir diyafram örneği.

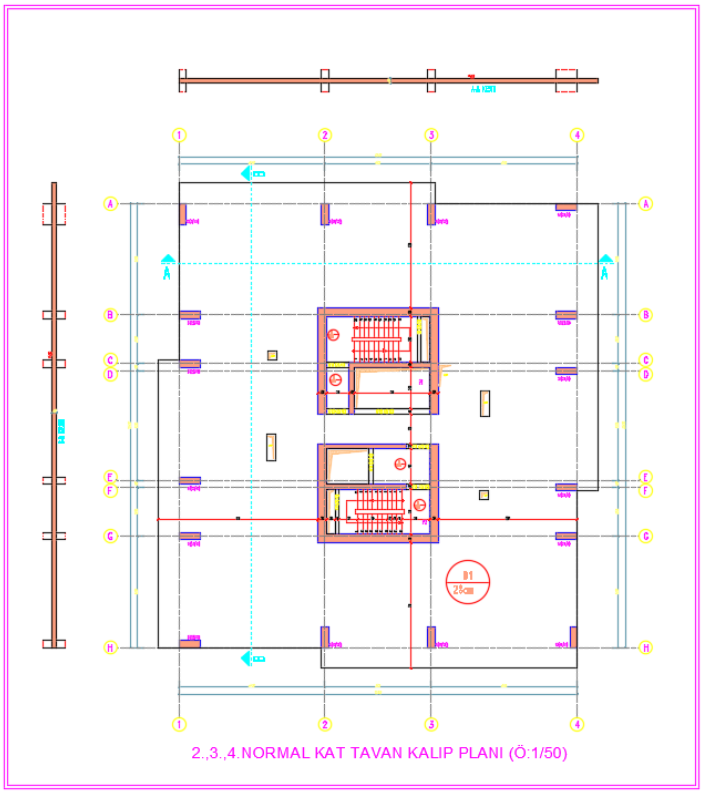
Şekil 2.18'de düzensiz bir döşeme örneği gösterilmiştir [NIST GCR 10-917-4]. Bu örnekte kalın çizgiler sistemdeki düşey taşıyıcıları, kesikli çizgiler ise uzun doğrultuda bu düşey taşıyıcılara aktarılan diyafram kuvvetlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanması için sistemde alınması gereken kesitleri (section cut) göstermektedir. Bu kesitlerden okunacak kuvvetlerin doğru ele alınabilmesi için diyaframın yeterli karelaj (mesh) ile oluşturulması ve diyafram rijitliğinin doğru hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmada yapılan örnekte ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözüm yapılmıştır.

3. SAYISAL ÖRNEKLER VE SONUÇLARI

Bu bölümde yukarıda yönetmelik ve standartlarda analiz yöntemleri ve tasarımı anlatılan transfer katı ve diyafram analizi ile ilgili sayısal iki örnek yapılacaktır. Bu örneklerden ilki kütle ve rijitlik artışına henüz maruz kalmamış bir 30 katlı binanın tipik bir katından diyafram yüklerinin aktarımı ile ilgili bir çalışma ve aynı binaya ait ve hem rijitlik hem de kütle artışının olduğu zemin katına ait diyafram kuvvetleri altında transfer katı incelemesinin yapılmasıdır.

3.1. Çok Katlı Yüksek Bir Binaya Ait Tipik Bir Katta Transfer İncelemesi

Şekil 3.1'de bulunan kalıp planında 30 katlı bir binaya ait taşıyıcı sistem bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem kirişsiz mantar döşeme ve etrafında mimari plana uygun kolon yerleşimi bulunan ve tüm yatay yüklerin perdeler tarafından taşındığı bir sistemdir.



Şekil 3.1: Kalıp Planı.

Örnekte ele alınan okul İstanbul ili Gebze ilçesinde yapılması planlanan bir yapıya ait olup yapı, 4 bodrum katı ve 26 normal katta oluşan bir konut yapısıdır. Düşey yükler döşemelerden direk kolon ve perdeler yardımı ile taşınırken yatay yüklerin tamamı perdeler ile taşınmaktadır. Döşeme kalınlıkları normal katlarda 28cm iken zemin katta 35 cm kalınlığındadır. Perde kalınlığı ise 50 cm dir. Yapı ana taşıyıcısı, tamamı yeterli rijitlikte kolon, perde ve kirişli plak döşeme sisteminden oluşmaktadır.

Döşeme sistemi olarak "kirişsiz plak taşıyıcı sistem" tercih edilmiştir. Yükleri ilk etapta karşılayacak olan döşemeler vasıtasıyla düşey kuvvetler, çerçeve kolonlara ya da vasıtasız olarak perdelere aktarılacaktır.

Yatay yükün %75'inden fazlası perdeler tarafından karşılanmakta olup, çevre kolonları ise tepe katlarındaki deplasmanın azaltılmasında katkı yapacak şekilde tasarlanmıştır.

Yapı C40 betonu ile tasarlanıp tüm ebat ve donatılandırma bu beton sınıfı ile yapılmıştır. C40 betonuna ve kullanılan B420C demir malzemesine ait özellikler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1: C40 Beton Özellikleri.

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı,	Eşdeğer Küp Dayanımı	Karakteristik Çekme Dayanımı, f_{ctk}	28 Günlük Elastisit Modülü	
	f_{ck}	f_{ck}	$0,35 \times \sqrt{f_{ck}}$	$3250\sqrt{f_{ck}} + 14000$	
	MPa	MPa	MPa	MPa	
C 40/50	40	50	2,214	34.000	

Tablo 3.2: B420C Demir Özellikleri.

Tip	Düz yüzeyli	Nervürlü					Profilli [a]
Sınıf	S 220	S 420	B 420B	B 420C	B 500B	B 500C	B500A
Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm^2)	220	420	420	420	500	500	500
Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm^2)	340	500	-	-	-	-	550
Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı R_m/R_e	1,20 (en az)	1,15 (en az)	1,08 (en az)	≥1,15 <1,35	1,08 (en az)	≥1,15 <1,35	-
Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e\,act}/R_{e\,nom}$ (max)	-	1,30	-	1,30	-	1,30	-
Kopma uzaması (en az) A_5 (%)	18	10	12	12	12	12	5
Maksimum yükte toplam uzama (en az) A_{gt} (%)	-	-	5	7,5	5	7,5	2,5
Bükme açısı (°)	180		-				
Bükme açısı/ters bükme açısı [b]	-		90/20				

[a] Soğuk mekanik işlem uygulanarak da imal edilebilir.
[b] Çizelge 4'ün "b" dip notu.

Oluşturulacak ivme spektrumundaki belirleyici parametrelerden olan TA ve TB, zemin etüdü çalışmaları neticesinde belirlenen Yerel Zemin Sınıfı ZB karşılığı olarak çıkarılmıştır (Tablo 3.3) [TBDY, 2018].

Tablo 3.3: Yerel Zemin Sınıfları.

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

Zemin raporundan alınan zemine ait bazı değerler şu şekildedir: Düşey Yatak Katsayısı: K= 68000 t/m3, Zemin Emniyet Gerilmesi: σ_s = 75 t/m2, Zemin Yoğunluğu: γ = 1.90 t/m³ ve (VS)30=1111 m/s.

Spektral analizle yapılacak analizlerde kullanılacak olan elastik tasarım ivme spektrum karakteristik değerleri zemin raporunda verilen zemin sınıfına göre seçilmiştir. Bu değerler *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması* (www.turkiye.gov.tr) ara yüzünden temin edilmiştir.

T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar
Enlem	40.82545°	
Boylam	29.463752°	

Çıktılar

S_S = 1.249 S_1 = 0.342 PGA=0.513 PGV=35.075

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

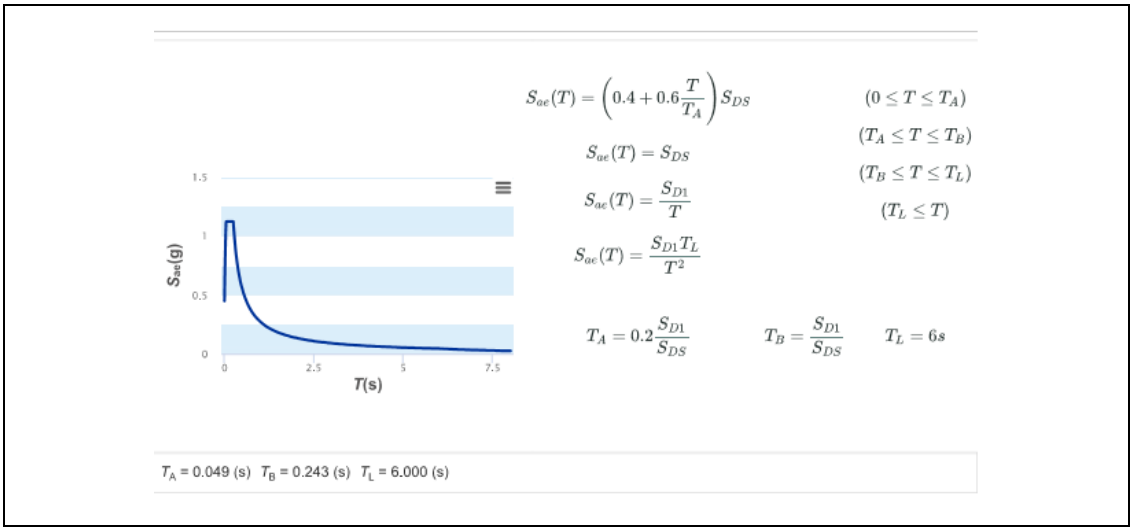
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.2: Spektrum Değerleri.

Şekil 3.2'de spektrum değerleri, Tablo 3.4'te yerel zemin etki katsayıları, Şekil 3.3'de yatay elastik spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu.

Tablo 3.4: Yerel Zemin Etki Katsayıları.

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

Yerel Zemin Sınıfı ZB ve S_S =1.249 için F_S=0.900

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

Tablo 3.5: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (TBDY).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı *R*	Dayanım Fazlalığı Katsayısı *D*	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi yüksek* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.4.5**)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen *süneklik düzeyi yüksek* betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	–
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	6	2.5	BYS ≥ 4
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.**4.3.1.2**)	5	2.5	BYS ≥ 4
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 6
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi yüksek* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS ≥ 6
A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.3, 4.3.4.7)			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	BYS ≥ 7
A32. Deprem etkilerinin tamamının *süneklik düzeyi sınırlı* boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran *süneklik düzeyi sınırlı* betonarme çerçeveler ile *süneklik düzeyi sınırlı* boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS ≥ 6

Tablo 3.6. Bina Kullanım Sınıfı (TBDY).

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar** **a)** Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) **b)** Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. **c)** Müzeler **d)** Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar** Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	**Diğer binalar** BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Tablo 3.7: Deprem Tasarım Sınıfı (TBDY).

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Tablo 3.8: Bina Yükseklik Sınıfı (TBDY).

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

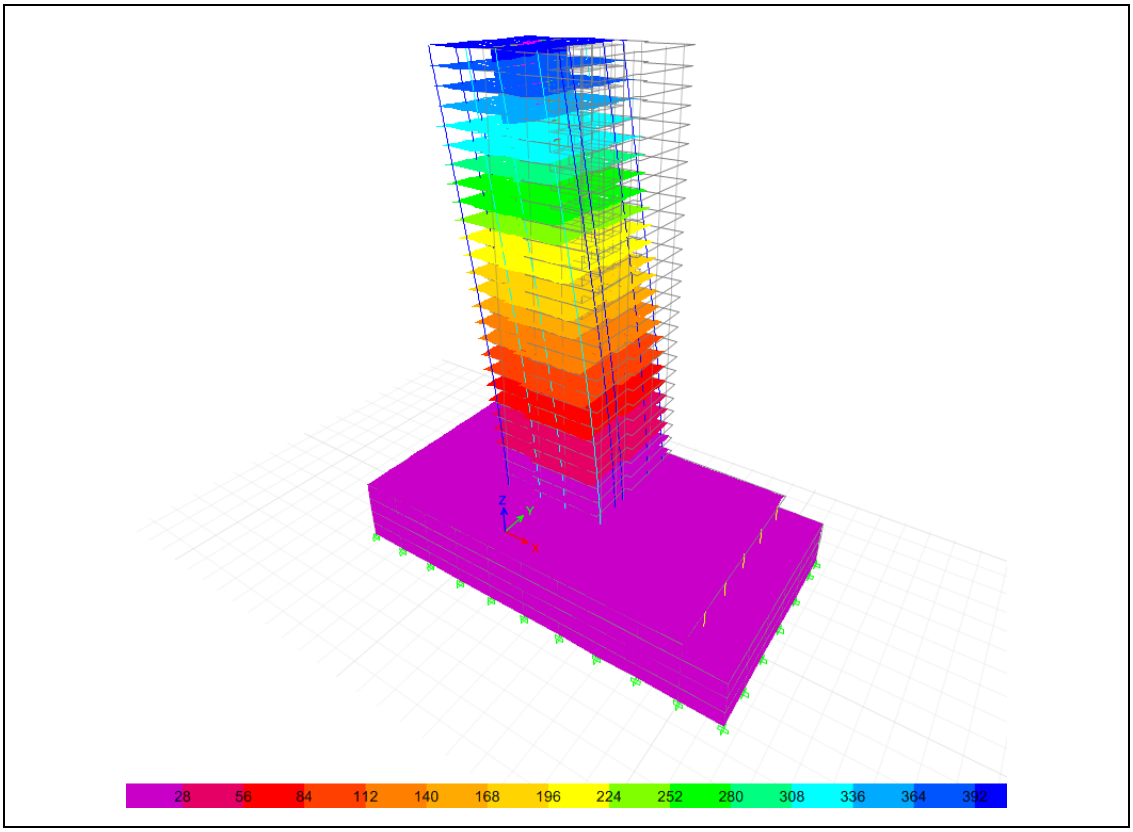
Yapı deprem hesaplamaları yapılırken deprem yönetmeliğin ilgili maddelerinden ve tablolarında yukarıda belirtilen sınıflandırma ve değerler içerisinden şu şekilde bilgiler alınmıştır. Yerel zemin sınıfı ZB verilmesi ile elde edilen Ss değeri 1.229 ve S1 değeri 0.342 şeklinde alınmıştır. Bu değerler Yerel Zemin Etki Değerleri tablosunda verilen ilgili değerler ile çarpılarak Sds ve Sd1 değerleri elde edilmiştir. Bu yüksek yapıda deprem yüklerinin tamamı süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler ile taşınmaktadır. Tabloda bu özelliğe denk gelen satırdan R değeri 6 olarak tayin edilmiştir. Benzer şekilde bina kullanım sınıfı 3, deprem tasarım sınıfı 1 şeklinde deprem parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada ve örnekte, döşemede, yatay yüklerden oluşan düzlem içi gerilmelerin güvenle aktarılabilmesi için gerekli tasarım ve hesaplamalar ve gösterilmiştir.

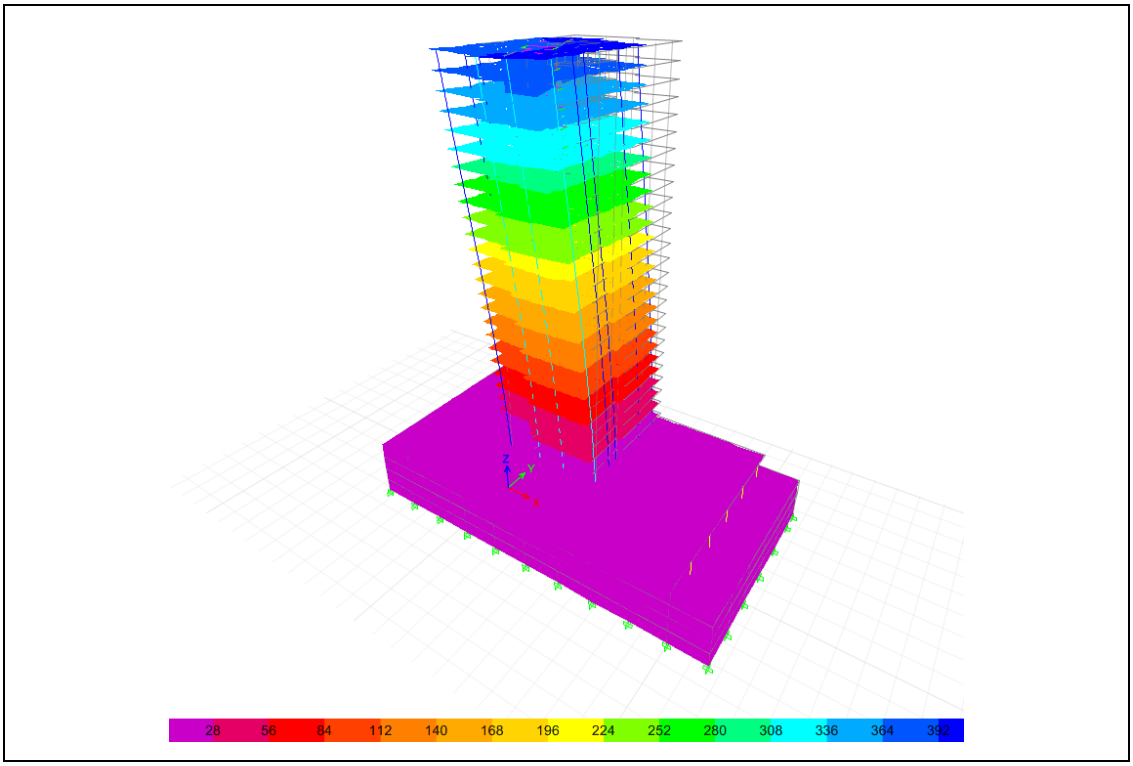
Analiz sonucunda yapıda oluşan periyotlar x yönü için 3,44 saniye (Şekil 3.4), y yönü için 2,20 saniye (Şekil 3.5) ve burulma yönünde ise 1,43 saniyedir (Şekil 3.6). Bu ilk periyotların kütle katılım oranları ise sırasıyla yüzde 26, yüzde 28 ve yüzde 8 değerindedir.

Tablo 3.9: Yapı Doğal Titreşim Periyotları.

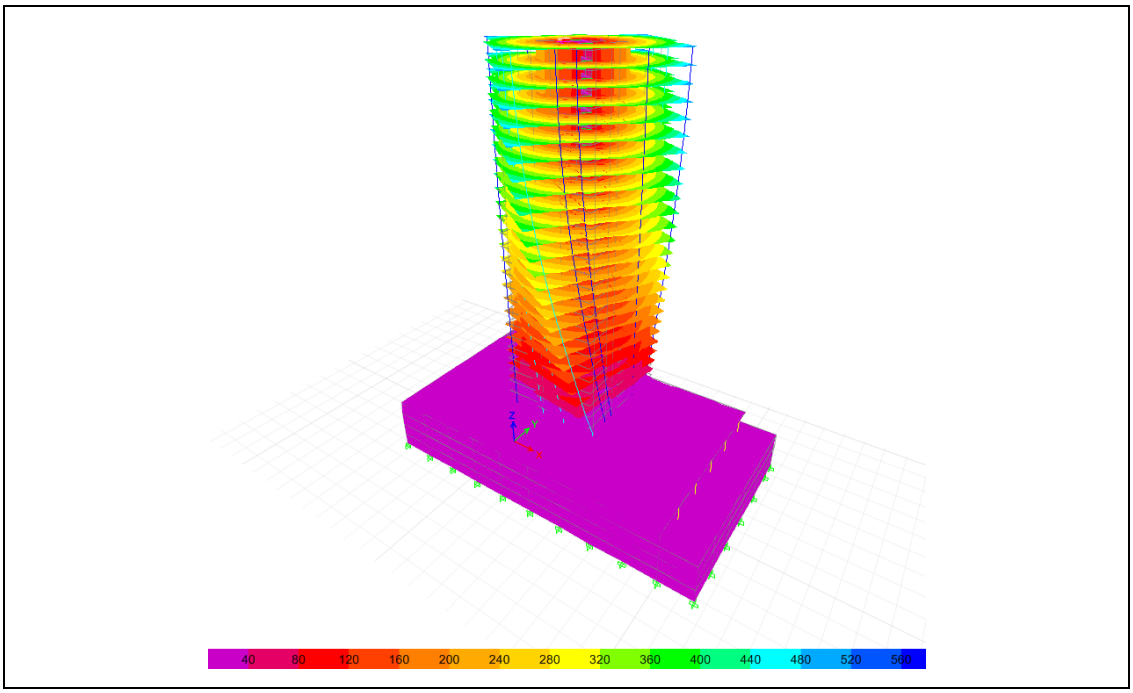
TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
		sec						
Modal	1	3,440	0,26	0,00	0,26	0,00	0,01	0,01
Modal	2	2,208	0,00	0,28	0,26	0,28	0,00	0,01
Modal	3	1,430	0,00	0,00	0,26	0,28	0,08	0,09
Modal	4	0,654	0,10	0,00	0,36	0,29	0,00	0,09
Modal	5	0,493	0,00	0,15	0,36	0,44	0,00	0,09
Modal	6	0,470	0,00	0,00	0,36	0,44	0,01	0,10
Modal	7	0,286	0,04	0,12	0,41	0,56	0,04	0,14
Modal	8	0,279	0,02	0,00	0,43	0,56	0,00	0,14
Modal	9	0,260	0,04	0,12	0,46	0,69	0,00	0,15
Modal	10	0,209	0,01	0,00	0,47	0,69	0,06	0,20
Modal	11	0,198	0,01	0,00	0,48	0,69	0,00	0,20
Modal	12	0,182	0,18	0,05	0,66	0,73	0,00	0,20
Modal	13	0,164	0,05	0,08	0,71	0,82	0,11	0,31
Modal	14	0,156	0,00	0,01	0,71	0,83	0,00	0,32
Modal	15	0,142	0,07	0,01	0,78	0,83	0,01	0,32
Modal	16	0,139	0,00	0,06	0,78	0,89	0,15	0,47
Modal	17	0,133	0,00	0,00	0,78	0,89	0,00	0,47
Modal	18	0,131	0,00	0,00	0,79	0,89	0,12	0,59
Modal	19	0,120	0,00	0,01	0,79	0,90	0,03	0,62
Modal	20	0,118	0,00	0,00	0,79	0,90	0,00	0,62
Modal	21	0,116	0,09	0,00	0,87	0,90	0,00	0,62
Modal	22	0,109	0,02	0,01	0,89	0,91	0,04	0,66
Modal	23	0,107	0,00	0,00	0,89	0,91	0,00	0,66
Modal	24	0,105	0,00	0,00	0,90	0,91	0,02	0,68
Modal	25	0,102	0,00	0,00	0,90	0,91	0,00	0,68
Modal	26	0,099	0,00	0,00	0,90	0,91	0,01	0,69
Modal	27	0,098	0,01	0,00	0,91	0,91	0,01	0,70
Modal	28	0,097	0,00	0,00	0,91	0,92	0,01	0,70
Modal	29	0,091	0,00	0,00	0,91	0,92	0,02	0,72
Modal	30	0,087	0,00	0,00	0,91	0,92	0,01	0,73



Şekil 3.4: X Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 3.44 sn.



Şekil 3.5: Y Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 2.20 sn.



Şekil 3.6: RZ Yönü Doğal Titreşim Periyodu – 1.43 sn.

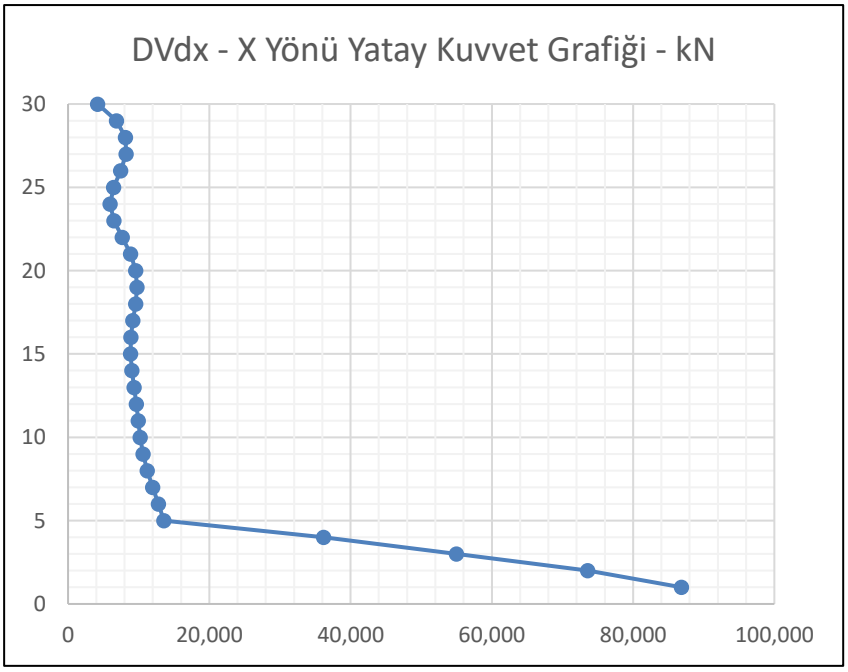
Yapı kütlesi 523,253 kN değerindedir. Analiz sonucunda yapıda oluşan periyotlar ve kütle katılımların yönetmelikte belirlenen toplama yöntemleri ile programlarda otomatik bir şekilde hesaplanan deprem kuvvetleri ve bu kuvvelerin toplam kütleye oranları ve minimum değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Yapı Kütlesi ve Deprem Kuvvetleri.

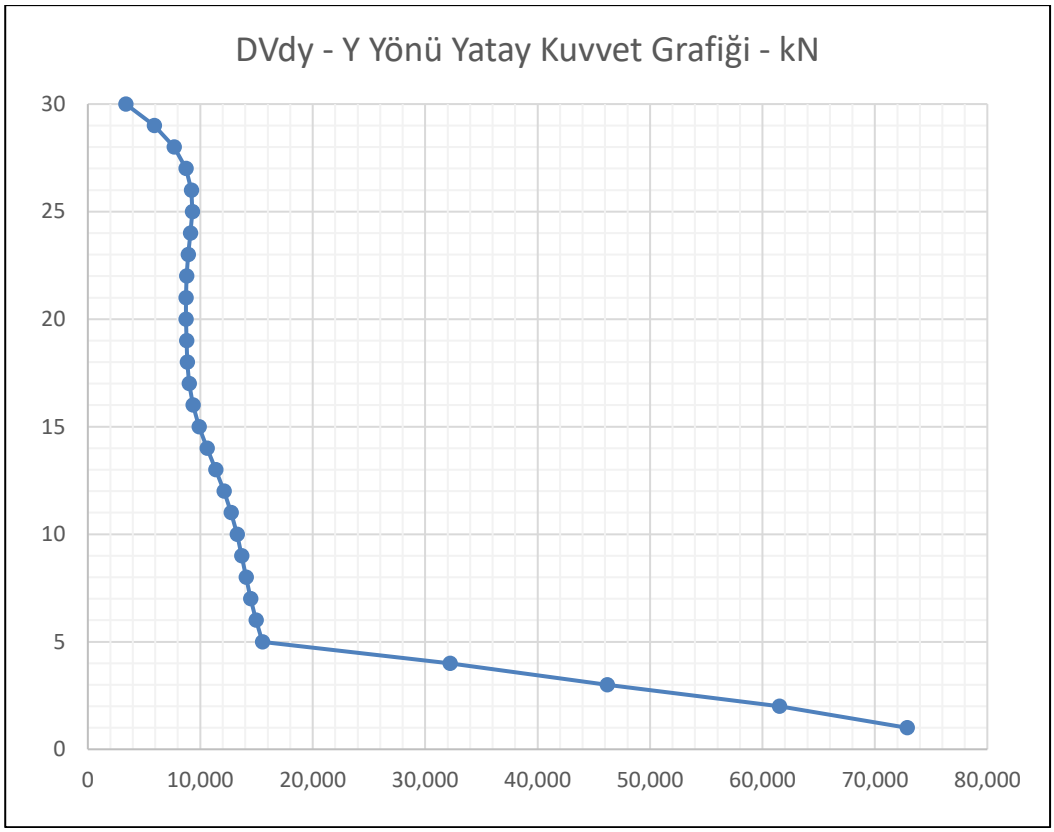
TABLE: Base Reactions				
Load Case/Combo	FX	FY	FZ	Yapı Ağırlık
	kN	kN	kN	Dağılımı
SELF			241.428,3	46%
COVER			181.983,0	35%
LIVE			234.500,2	13%
WALL			29.492,4	6%
RESX Max	28.955,1	9.376,1		
RESY Max	9.374,2	24.288,2		
		$m_t$xg=	523.253,7	

Tablo 3.10: Devam.

		$V_{tE}=m_t \times S_{aR}(T_p)>0,04 \times m_t \times S_{DS} \times g$				
		$S_{DS}=$	**1,124**			
		$V_{tmin}=$	23,525	kN		
		$T_x=$	**3,430**	s		
		$S_{aRx}=$	**0,144**	g		
		$0,9 \times Vt_X =$	**23,563**	kN		
		V_x ölçek katsayısı=	**1,00**			
		$T_y=$	**2,202**	s		
		$S_{aRy}=$	**0,144**	g		
		$0,9 \times Vt_Y =$	**24,102**	kN		
		V_y ölçek katsayısı=	**1,00**			



Şekil 3.7: Dayanım Katsayısı ile X Yönü Arttırılmış Kat Kesme Kuvvetleri.



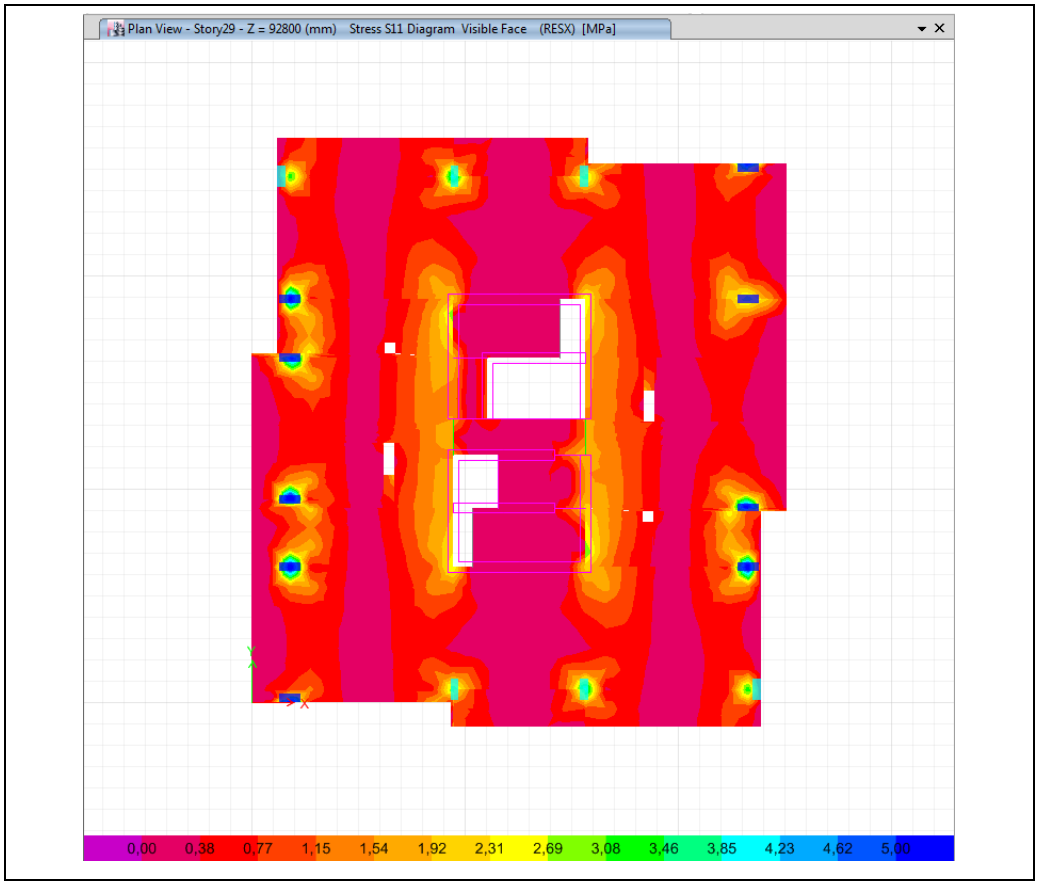
Şekil 3.8: Dayanım katsayısı ile Y yönü arttırılmış kat kesme kuvvetleri.

Döşemelerde düzlem içi gerilmeler en fazla, kiriş kolon ve perdeler ile bağlantılı olan nokta veya kesitlerde meydana gelir. Kirişli plak döşemelerde döşeme düzlem içi kuvvetler kiriş boyunca aktarıldığı düşünüldüğünde kolon ve bazı perdelerden daha kolay bir aktarımı olacağı düşünülebilir. Ancak kolon ve perde ile bağlantılı olduğu noktalarda döşemelerde kuvvet iletimini sağlayabilmesi için ilave donatılar gerekebilir. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sırasıyla dayanım katsayısının X ve Y yönüne göre arttırılmış kat kesme kuvvetlerin değişimi gösterilmiştir.

Transfer katı ve diyafram döşemesi hesabı yapılırken sırası ile aşağıda verilen hesaplar kontrol edilecektir.

3.1.1. Basınç Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içerisinde, dayanım fazlalığı katsayısı, D ile arttırılarak elde edilen basınç gerilmesi değerinin 0.85 f_{cd} sınırını aşmaması gerekir.



Şekil 3.9: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği.

Şekil 3.9'dan da görülebileceği gibi yapıda bulunan diyafram basınç gerilmesi değerleri $0.85f_{cd}$ ile hesaplanan basınç gerilmesi sınır değeri olan 0.85 x (40/1.5) = 22,6 MPa değerin çok altındadır. Grafiklerden okunabilen değerler maksimum 4,0 MPa değeridir. 4.0 Mpa < 22,6 Mpa. Bu durumda sistem döşemesinde oluşan basınç gerilmeleri verilen sınırın çok altında olduğundan betonun düzlem içinde oluşan diyafram basınç gerilmelerini güvenli bir şekilde aktarabilmektedir.

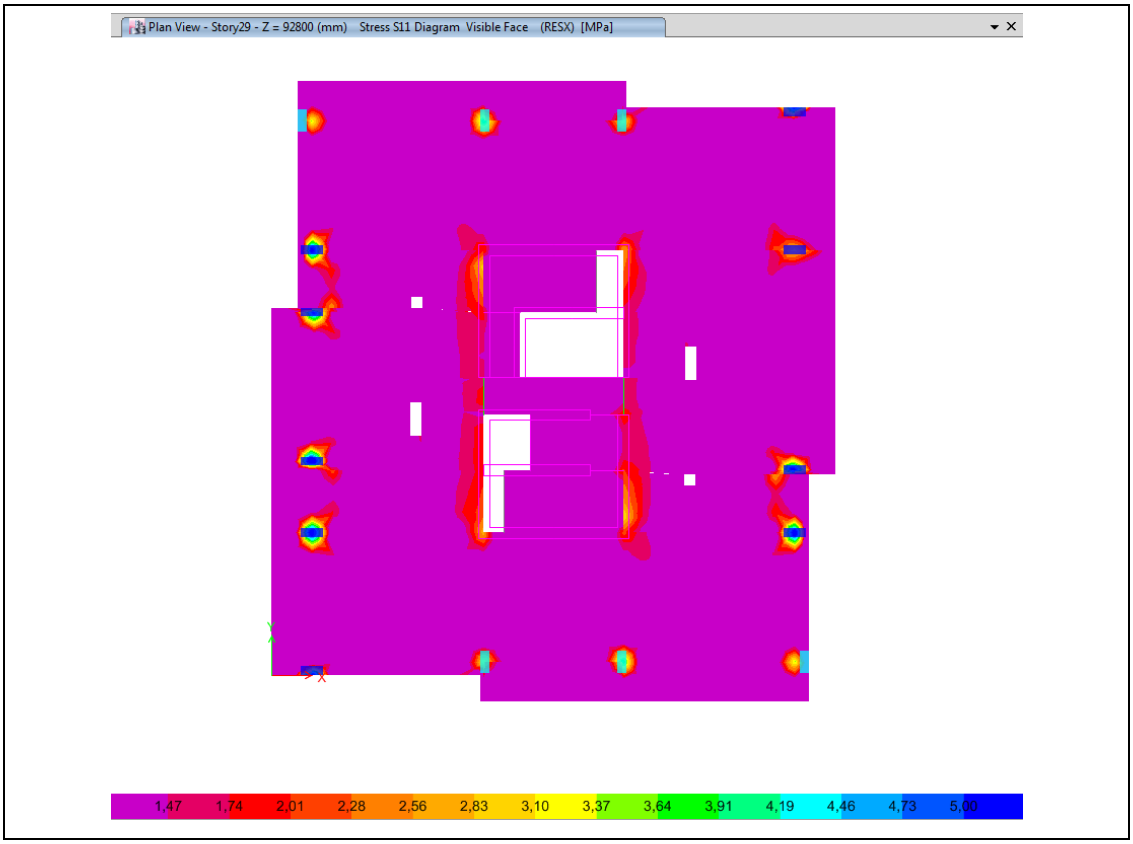
3.1.2. Çekme Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içerisinde, *Dayanım Fazlalığı Katsayısı D* ile arttırılarak elde edilen çekme gerilmesi değerinin f_{ctd} sınırını aşmaması gerekir. Düzlem içi çekme gerilmelerinin f_{ctd} değerini aştığı durumlarda döşeme düzleminde çatlamanın oluştuğu ve çekme gerilmelerinin sadece donatı ile karşılandığı kabul edilir. Gerekli

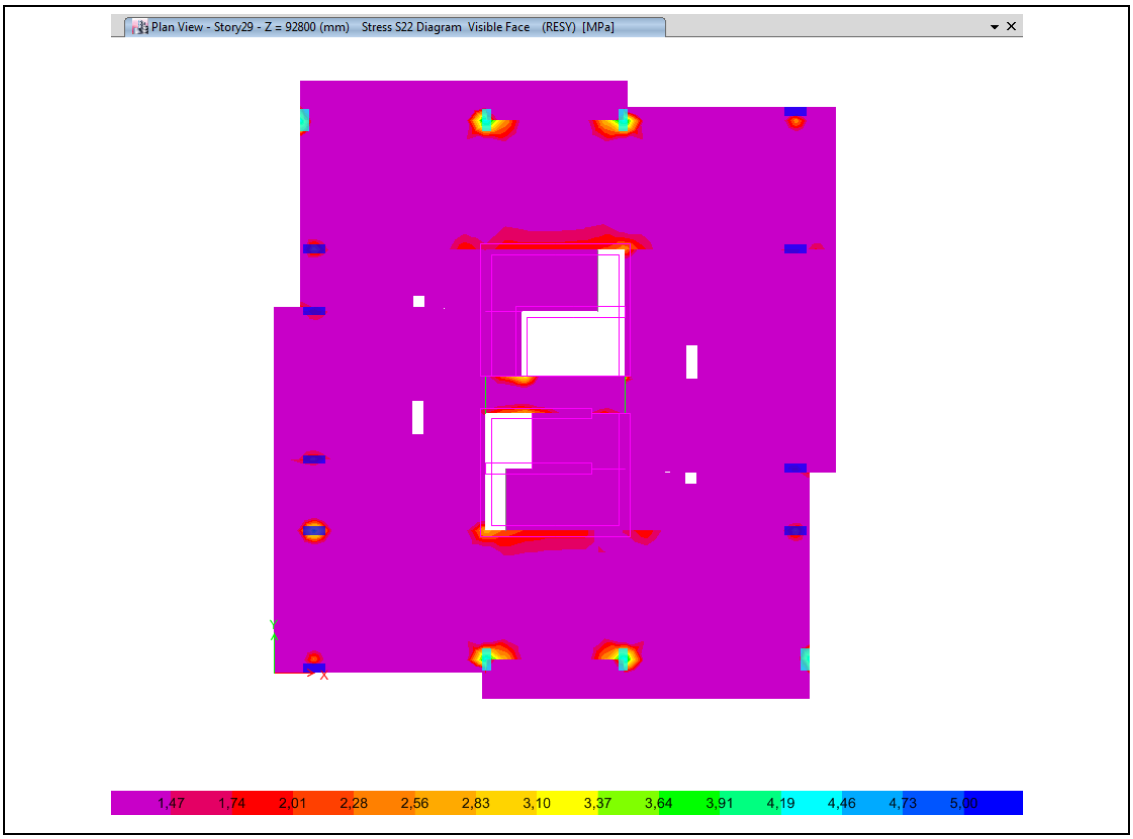
donatı hesabı ρf_{yd} düzlem içi çekme gerilmesini karşılayacak şekilde hesaplanır. Burada ρ çekme gerilmelerine paralel olarak teşkil edilen donatı oranını göstermektedir.

Beton için f_{ctk} değeri TS500 3.1 denkleminde $f_{ctk} = 0.35\ (f_{ck})^{0.5}$ formülasyonu ile hesaplanmaktadır. BS40 betonu için bu değer $0.35\ (40)^{0.5} = 2.21$ MPa dır.
$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 = 1.47$ MPa değeridir.

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de beton basınç gerilmesi hesapları için verilen gerilme grafikleri incelendiğinde 1.47 Mpa çekme değerini aşan yerler olduğu görülecektir. Bu kısımlarda beton çatlamaya başlar ve düzlem içi çekme gerilmelerini aktaramaz. Bu durumda çekme gerilmelerini aşan yerlerde donatı uygulaması yapılmalıdır ve buradaki çekme gerilmelerinin tamamının donatı ile aktarıldığı gösterilmelidir. 1.47 MPa çekme gerilmesi değerini aşan kısımlar grafik üzerinde aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Şekil 3.10: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği.



Şekil 3.11: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği.

1.47 MPa değerini aşan yerler için 3x2xØ16/15 (alt-üst 3'şer adet 15 cm ara ile Ø16) donatı uygulaması yapıldığında;

$$\rho = \frac{3x2x2.00}{30x28} = 0{,}0142 \tag{3.1}$$

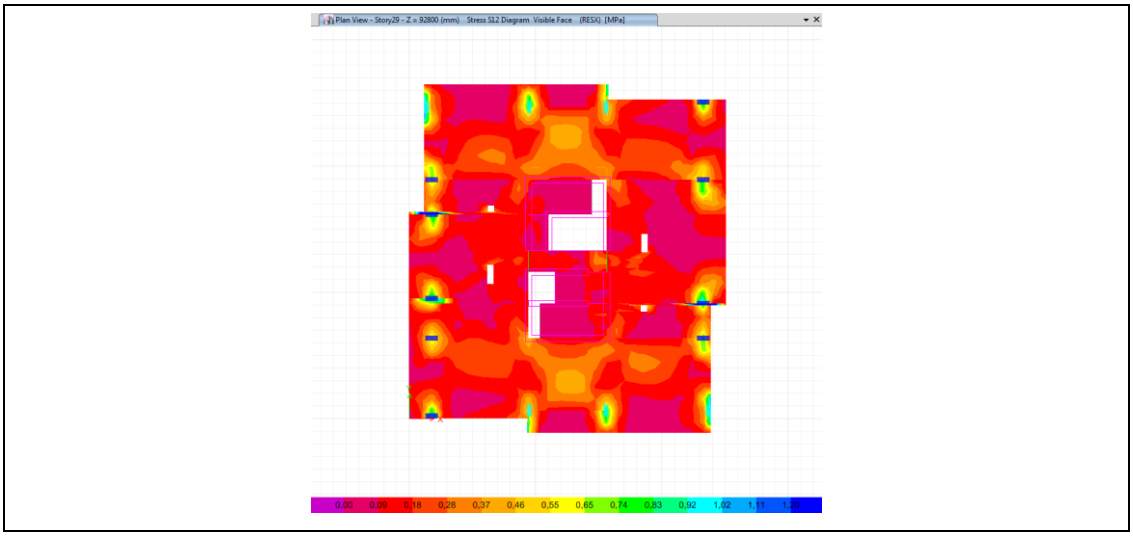
$$\sigma_r \leq \rho \times f_{yd} \tag{3.2}$$

$$\sigma_r = 0{,}0142 \times 365 = 5{,}18MPa \tag{3.3}$$

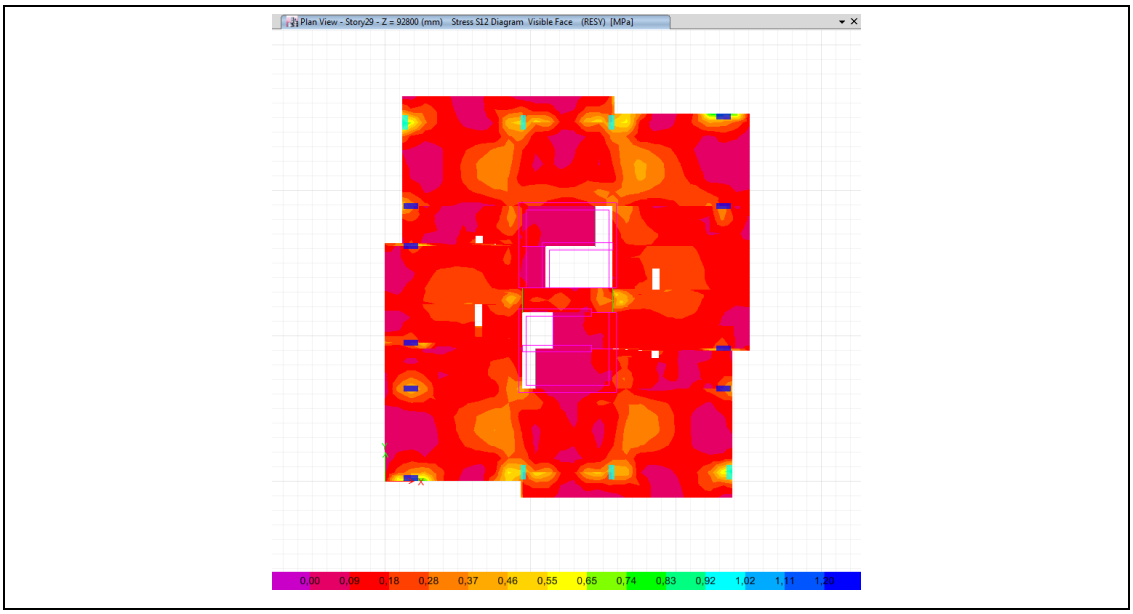
Hesap sonucu çıkan gerilme değerlerini perde kenarlarında güvenli bir şekilde aktarmaktadır.

3.1.3. Kayma Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içinde her iki doğrultudaki yatay kayma gerilmeleri sınırı $\tau_r = 0.65\ f_{ctd} + \rho f_{yd}$ olarak donatı ile birlikte hesaplanmalıdır. Bu şekilde kayma gerilmelerinden oluşan eğik çekme gerilmeleri, beton ve donatının beraber çalışması ile karşılanır. Burada ρ kayma gerilmelerine paralel olarak teşkil edilen donatı oranını göstermektedir. Kayma gerilmelerinin beton ve donatı ile birlikte hesabında betonda oluşabilecek gerilme $0.65x(f_{ck})^{0.5}$ ile sınırlandırılmalıdır.



Şekil 3.12. X Yönü S12 Döşeme Düzlem Kayma Gerilme Grafiği.



Şekil 3.13. Y Yönü S12 Döşeme Düzlem Kayma Gerilme Grafiği.

Şekil 3.12 ve 3.13'de görülebileceği gibi yapıda bulunan diyafram kayma gerilmesi değerleri $0.65x(f_{ck})^{0.5}$ ile hesaplanan basınç gerilmesi sınır değeri olan $0.65 \text{ x } (40)^{0.5} = 4{,}11$ MPa değerinin altındadır. Grafiklerden okunabilen değerler maksimum 0,75 MPa değeridir. 0.75 Mpa < 4,11 Mpa. Bu durumda sistem döşemesinde oluşan basınç gerilmeleri verilen sınırın altında olduğundan betonun düzlem içinde oluşan diyafram kayma gerilmeleri yukarıda verilen beton ve donatının beraber çalıştığı durum için verilen formül ile hesaplanır. Alt donatı Ø12/15 iken üst donatı Ø10/15 dir.

$$\rho = \frac{1{,}13 + 0{,}785}{15x28} = 0{,}0045 \tag{3.4}$$

$$\tau_r = 0{,}65 \times f_{ctd} + \rho \times f_{yd} \geq 0{,}75 \tag{3.5}$$

$$\tau_r = 0{,}65 \times \frac{2{,}21}{1{,}5} + 0{,}0045 \times 365 \geq 0{,}75 \tag{3.6}$$

$$\tau_r = 0{,}95 + 1{,}64 \geq 0{,}75 \tag{3.7}$$

$$\tau_r = 2{,}58 \geq 0{,}75 \tag{3.8}$$

3.1.4. Sürtünme Kesmesi Kontrolü

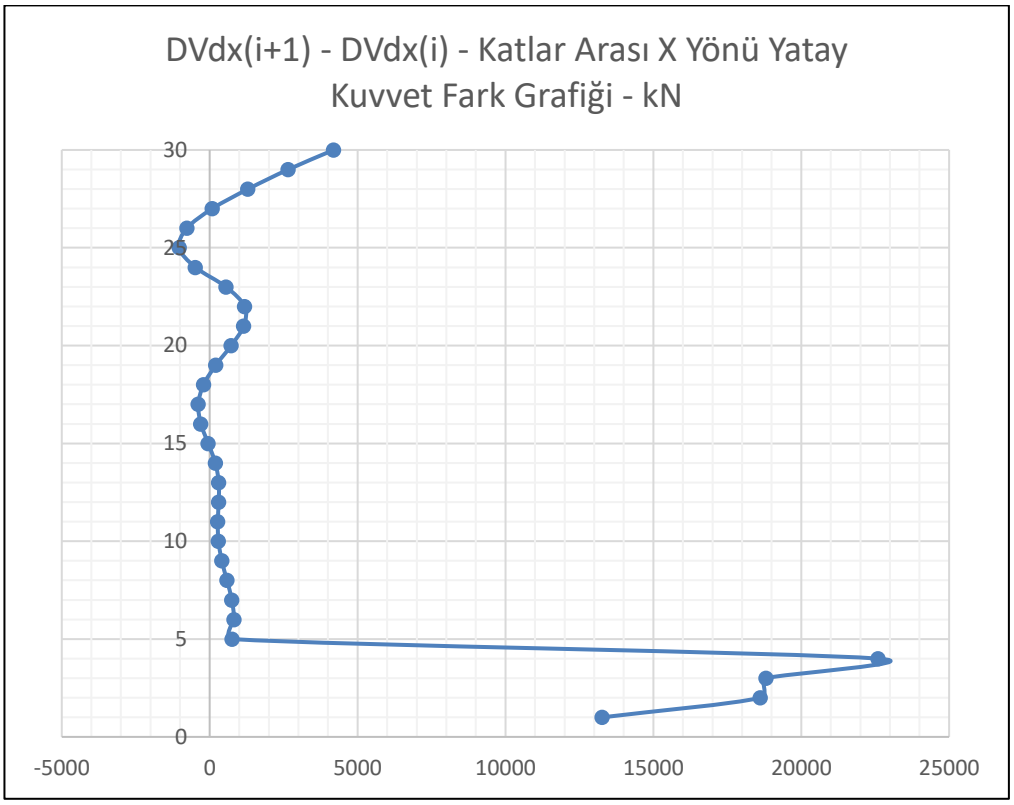
Döşemede oluşan düzlem içi atalet kuvvetleri, döşemden perdeye düzlem içi kesme kuvveti olarak düzlem içi kesme sürtünmesi ile aktarılır. Bu durumda döşemeden aktarılan kesme kuvvetleri talebinin perde kesiti sürtünme kapasitesi ile aktarılması sağlanmalıdır.

Kesme sürtünme hesapları Türkiye Bina Yönetmeliği 7.26 da gösterildiği gibi hesaplanmalıdır.

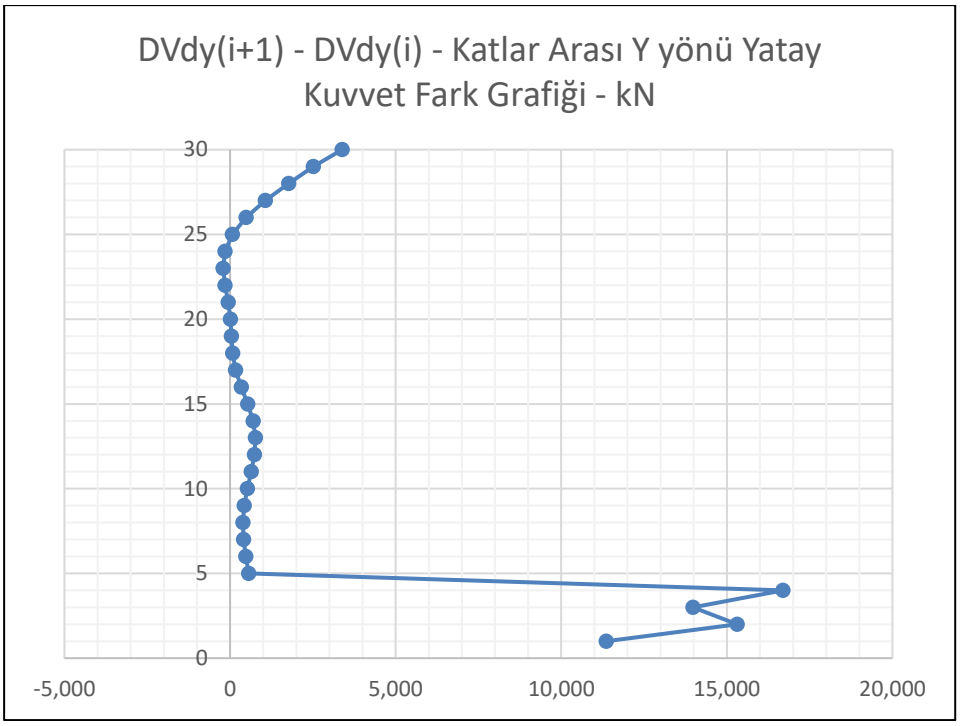
$$\tau_r = \mu \rho f_{yd} \tag{3.9}$$

Döşemeden perdeye kuvvetli doğrultuda aktarılacak yatay kuvvetler, kat seviyesinin alt ve üst kesitlerinde oluşan ve yatay etkilerin *Dayanım Fazlalığı*

Katsayısı D ile arttırılan perde kesme kuvvetlerinin farkı olarak hesaplanabilir. Birdöküm döşeme-perde birleşimlerinde kesme sürtünmesi katsayısı için μ = 1 değeri kullanılabilir.



Şekil 3.14: X Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları.



Şekil 3.15: Y Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları.

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'den görüldüğü gibi döşemeden perdeye aktarılan kuvvet X yönünde 4.000 kN ve Y yönünde 2.500 kN değerindedir. Bu kuvvetler ilgili olduğu yönde döşemenin perde ile temas ettiği yüzde aktarılmaktadır. Tablo 3.11'de hesaplamalar gösterilmiştir.

Tablo 3.11: Hesaplamalar Tablosu 1.

Perde kalınlığı = 50cm

$L_{X,Perde}$ = 20 m

$L_{Y,Perde}$ = 15 m

Perdede oluşan ortalama gerilme;

τ_{rx} = 4x10^6 kN / (20000mm x 500mm)

τ_{rx} = 0.4 Mpa

τ_{ry} = 2.5x10^6 kN / (15000mm x 500mm)

τ_{ry} = 0.34 Mpa

$$Ek\ Donatı + Mesnet\ Alt\ Dnt. = \frac{\phi 12}{15} + \frac{\phi 12}{15} = 15{,}08cm^2$$

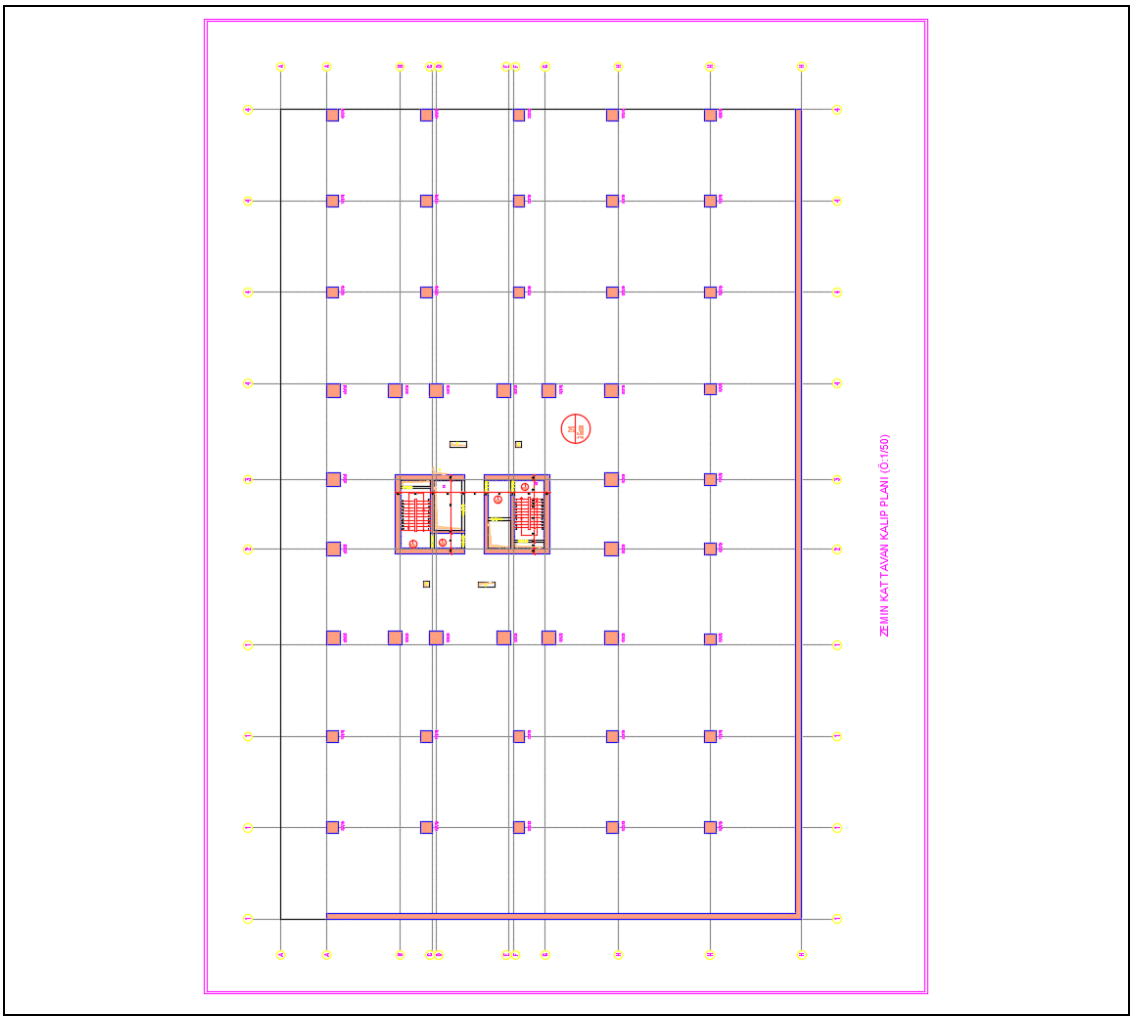
$$\rho = \frac{15{,}08}{15 \times 100} = 0{,}006032$$

$$\tau_{rx} = 1{,}0 \times 0{,}006032 \times 365{,}2 = 2{,}202MPa \geq 0{,}40\ MPa$$

$$\tau_{ry} = 1{,}0 \times 0{,}006032 \times 365{,}2 = 2{,}202MPa \geq 0{,}34\ MPa$$

3.2. Çok Katlı Yüksek Bir Binaya Ait Zemin Katta Transfer İncelemesi

Şekil 3.16'da bulunan kalıp planında 30 katlı bir binaya ait taşıyıcı sistemin zemin katı bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem kirişsiz mantar döşeme ve etrafında mimari plana uygun kolon ve yapı sınırında toprak ile temas eden kısımlarda toprak perdesi yerleşimi bulunan ve tüm yatay yüklerin perdeler tarafından taşındığı bir sistemdir.



Şekil 3.16: Kalıp Planı.

Hesapları yapılacak olan sistem, ilk örnekte tariflenen ve tüm analiz sonuçları verilen zemin katına ait döşeme hesaplarıdır.

Döşeme, yatay yükler etkisinde düzlem içi kuvvet aktarımları esnasında levha davranışı sergiler. Genel olarak döşemeler düzlemleri içindeki etkilere karşı rijit

kabul edilir. Döşemenin düzlem içi şekil değiştirmesi de ihmal edilir. Bu rijitlik kabulü ile yük dağılımları tamamen aktarılan kesitlerin rijitlik oranlarına bağlı olarak aktarılır.

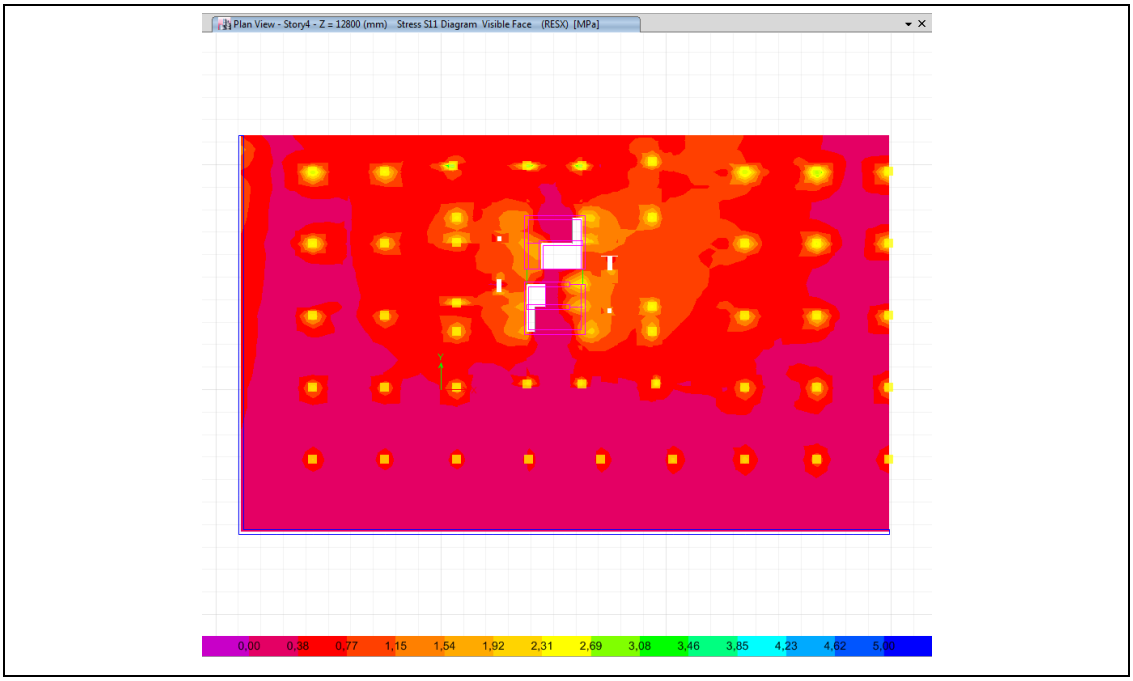
Bu çalışmada ve örnekte, döşemede, yatay yüklerden oluşan düzlem içi gerilmelerin güvenle aktarılabilmesi için gerekli tasarım ve hesaplamalar ve gösterilmiştir.

Döşemelerde düzlem içi gerilmeler en fazla, kiriş kolon ve perdeler ile bağlantılı olan nokta veya kesitlerde meydana gelir. Kirişli plak döşemelerde döşeme düzlem içi kuvvetler kiriş boyunca aktarıldığı düşünüldüğünde kolon ve bazı perdelerden daha kolay bir aktarımı olacağı düşünülebilir. Ancak kolon ve perde ile bağlantılı olduğu noktalarda döşemelerde kuvvet iletimini sağlayabilmesi için ilave donatılar gerekebilir.

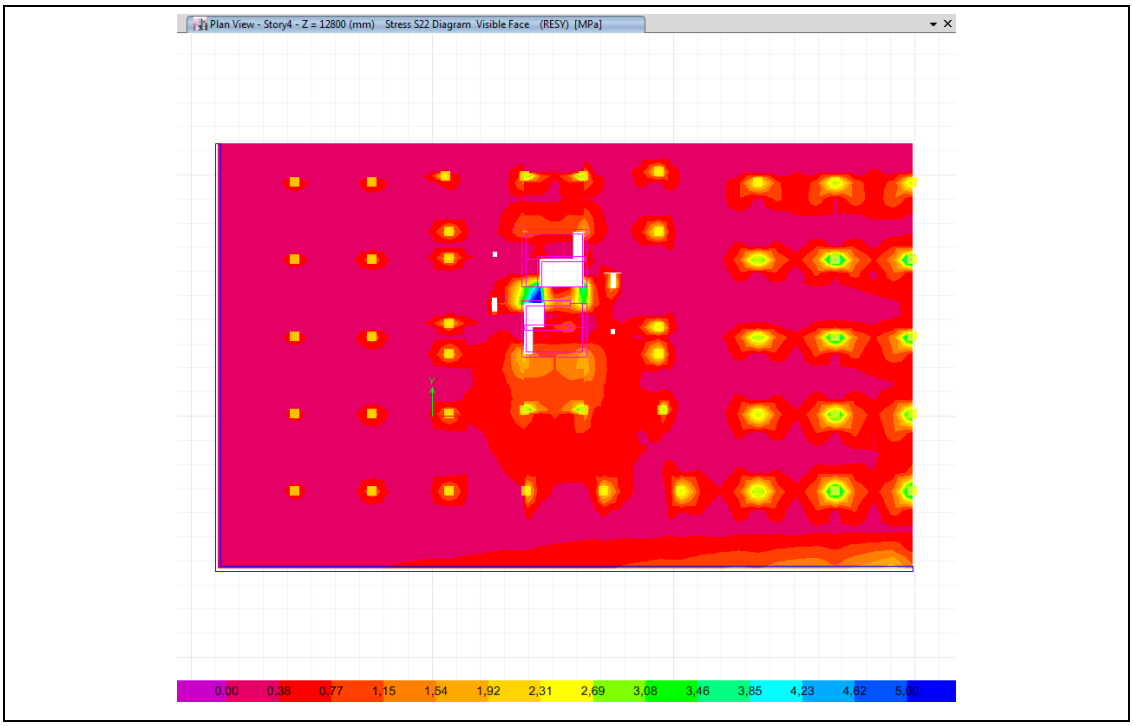
Transfer katı ve diyafram döşemesi hesabı yapılırken sırası ile aşağıda verilen hesaplar kontrol edilecektir.

3.2.1. Basınç Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içerisinde, *Dayanım Fazlalığı Katsayısı D* ile arttırılarak elde edilen basınç gerilmesi değerinin 0.85 f_{cd} sınırını aşmaması gerekir.



Şekil 3.17: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği.



Şekil 3.18: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi Gerilme Grafiği.

Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de görülebileceği gibi yapıda bulunan diyafram basınç gerilmesi değerleri $0.85f_{cd}$ ile hesaplanan basınç gerilmesi sınır değeri olan 0.85 x (40/1.5) = 22,6 MPa değerin çok altındadır. Grafiklerden okunabilen değerler maksimum 5,5 MPa değeridir. 5.5 Mpa < 22,6 Mpa. Bu durumda sistem döşemesinde oluşan basınç gerilmeleri verilen sınırın çok altında olduğundan betonun düzlem içinde oluşan diyafram basınç gerilmelerini güvenli bir şekilde aktarabilmektedir.

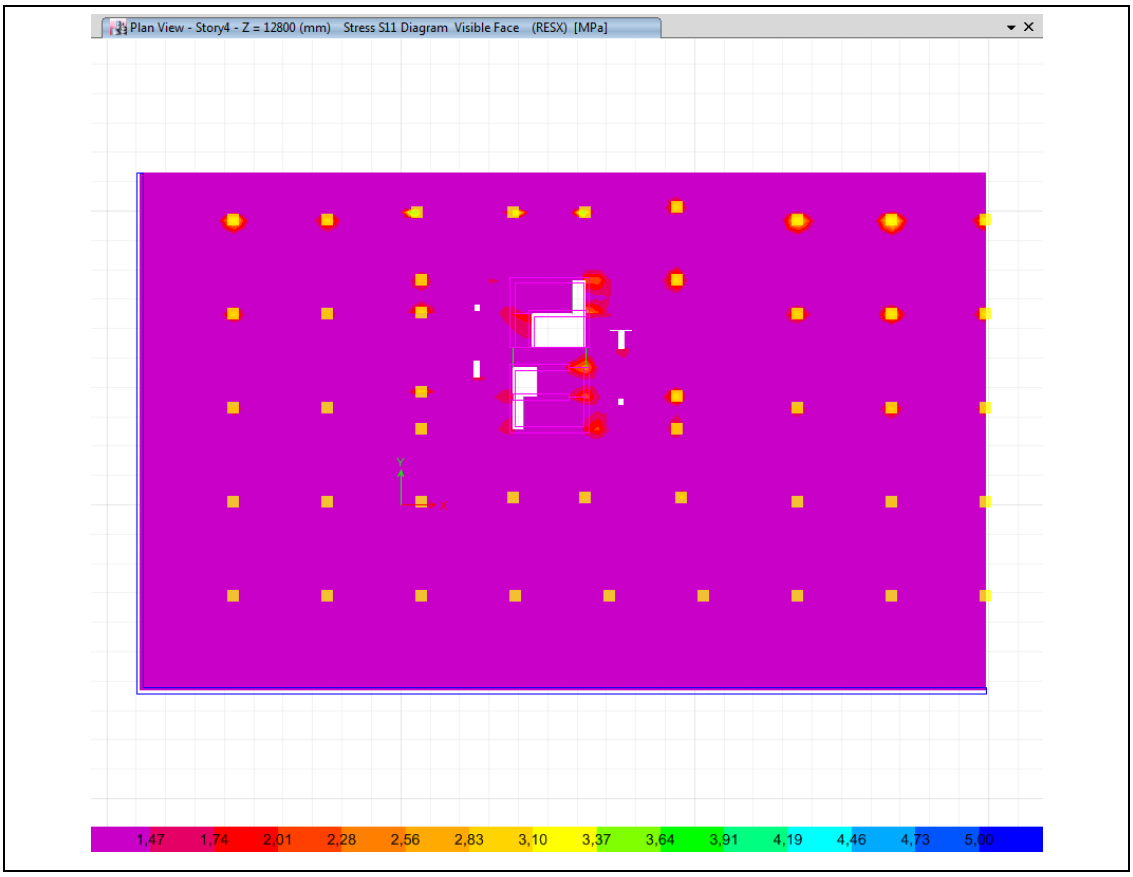
3.2.2. Çekme Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içerisinde, *Dayanım Fazlalığı Katsayısı D* ile arttırılarak elde edilen çekme gerilmesi değerinin f_{ctd} sınırını aşmaması gerekir. Düzlem içi çekme gerilmelerinin f_{ctd} değerini aştığı durumlarda döşeme düzleminde çatlamanın oluştuğu ve çekme gerilmelerinin sadece donatı ile karşılandığı kabul edilir. Gerekli donatı hesabı ρf_{yd} düzlem içi çekme gerilmesini karşılayacak şekilde hesaplanır. Burada ρ çekme gerilmelerine paralel olarak teşkil edilen donatı oranını göstermektedir.

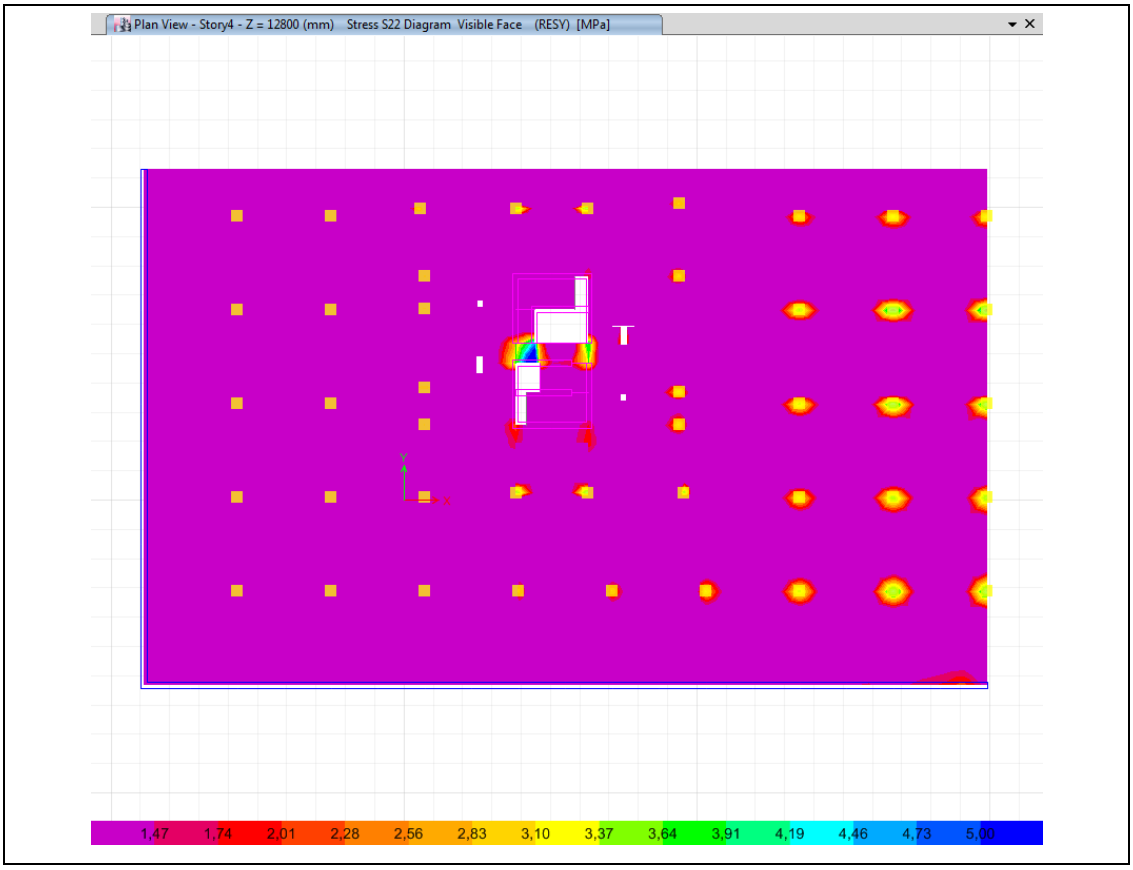
Beton için f_{ctk} değeri TS500 3.1 denkleminde $f_{ctk} = 0.35\ (f_{ck})^{0.5}$ formülasyonu ile hesaplanmaktadır. BS40 betonu için bu değer $0.35\ (40)^{0.5} = 2.21$ MPa dır.

$f_{ctk} = f_{ctk} / 1.5 = 1.47$ MPa değeridir.

Yukarıda beton basınç gerilmesi hesapları için verilen gerilme grafikleri incelendiğinde (Şekil 3.19 ve Şekil 3.20) 1.47 Mpa çekme değerini aşan yerler olduğu görülecektir. Bu kısımlarda beton çatlamaya başlar ve düzlem içi çekme gerilmelerini aktaramaz. Bu durumda çekme gerilmelerini aşan yerlerde donatı uygulaması yapılmalıdır ve buradaki çekme gerilmelerinin tamamının donatı ile aktarıldığı gösterilmelidir.



Şekil 3.19: X Yönü S11 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği.



Şekil 3.20: Y Yönü S22 Döşeme Düzlem İçi 1.47 MPa Üstü Gerilme Grafiği.

1.47 MPa değerini aşan yerler için 3x2xØ24/15 (alt-üst 3'şer adet 15 cm ara ile Ø24) donatı uygulaması yapıldığında;

$$\rho = \frac{3x2x4.52}{30x35} = 0{,}0258 \tag{3.10}$$

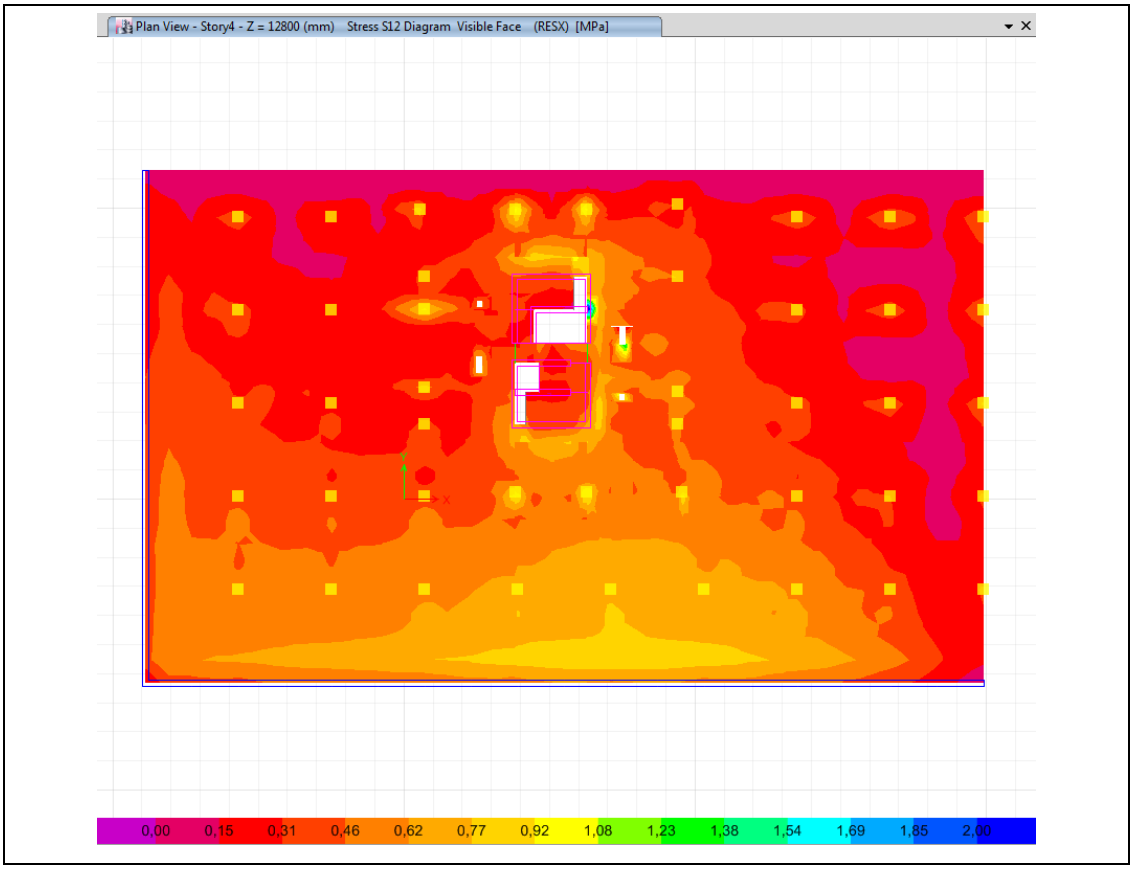
$$\sigma_r \leq \rho \times f_{yd} \tag{3.11}$$

$$\sigma_r = 0{,}0258 \times 365 = 9{,}41MPa \tag{3.12}$$

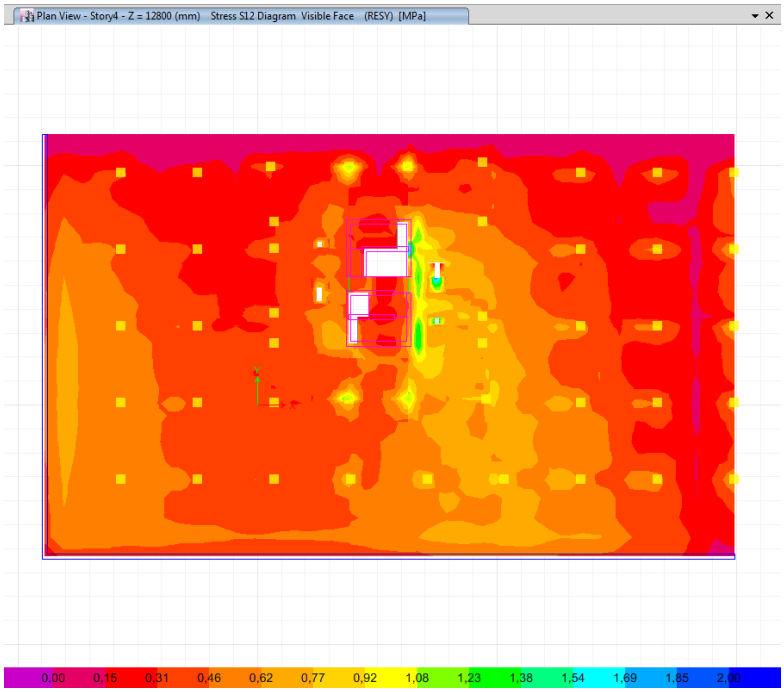
Hesap sonucu çıkan gerilme değerlerini perde kenarlarında güvenli bir şekilde aktarmaktadır.

3.2.3. Kayma Gerilmesi Kontrolü

Döşeme düzlemi içinde her iki doğrultudaki yatay kayma gerilmeleri sınırı $\tau_r = 0.65\ f_{ctd} + \rho f_{yd}$ olarak donatı ile birlikte hesaplanmalıdır. Bu şekilde kayma gerilmelerinden oluşan eğik çekme gerilmeleri, beton ve donatının beraber çalışması ile karşılanır. Burada ρ kayma gerilmelerine paralel olarak teşkil edilen donatı oranını göstermektedir. Kayma gerilmelerinin beton ve donatı ile birlikte hesabında betonda oluşabilecek gerilme $0.65(f_{ck})^{0.5}$ ile sınırlandırılmalıdır.



Şekil 3.21: X Yönü S12 Döşeme Düzlem İçi Kayma Gerilme Grafiği.



Şekil 3.22: X Yönü S12 Döşeme Düzlem İçi Kayma Gerilme Grafiği.

Şekil 3.21 ve Şekil 3.22'de görülebileceği gibi yapıda bulunan diyafram kayma gerilmesi değerleri 0.65 $(f_{ck})^{0.5}$ ile hesaplanan basınç gerilmesi sınır değeri olan 0.65 x $(40)^{0.5}$ = 4,11 MPa değerinin altındadır. Grafiklerden okunabilen değerler maksimum 2,15 MPa değeridir. 2.15 Mpa < 4,11 Mpa. Bu durumda sistem döşemesinde oluşan basınç gerilmeleri verilen sınırın altında olduğundan betonun düzlem içinde oluşan diyafram kayma gerilmeleri yukarıda verilen beton ve donatının beraber çalıştığı durum için verilen formül ile hesaplanır. Alt donatı Ø16/15 iken üst donatı Ø12/15 dir. Hesaplamalar Tablo 3.13.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12: Hesaplamalar Tablosu 2.

$$\rho = \frac{2{,}00 + 1{,}13}{15x35} = 0{,}00596$$

$$\tau_r = 0{,}65 \times f_{ctd} + \rho \times f_{yd} \geq 2{,}15$$

$$\tau_r = 0{,}65 \times \frac{2{,}21}{1{,}5} + 0{,}00596 \times 365 \geq 2{,}15$$

$$\tau_r = 0{,}95 + 2{,}17 \geq 2{,}15$$

$$\tau_r = 3{,}12 \geq 2{,}15$$

$$\tau_r = 3{,}12 \geq 2{,}15$$

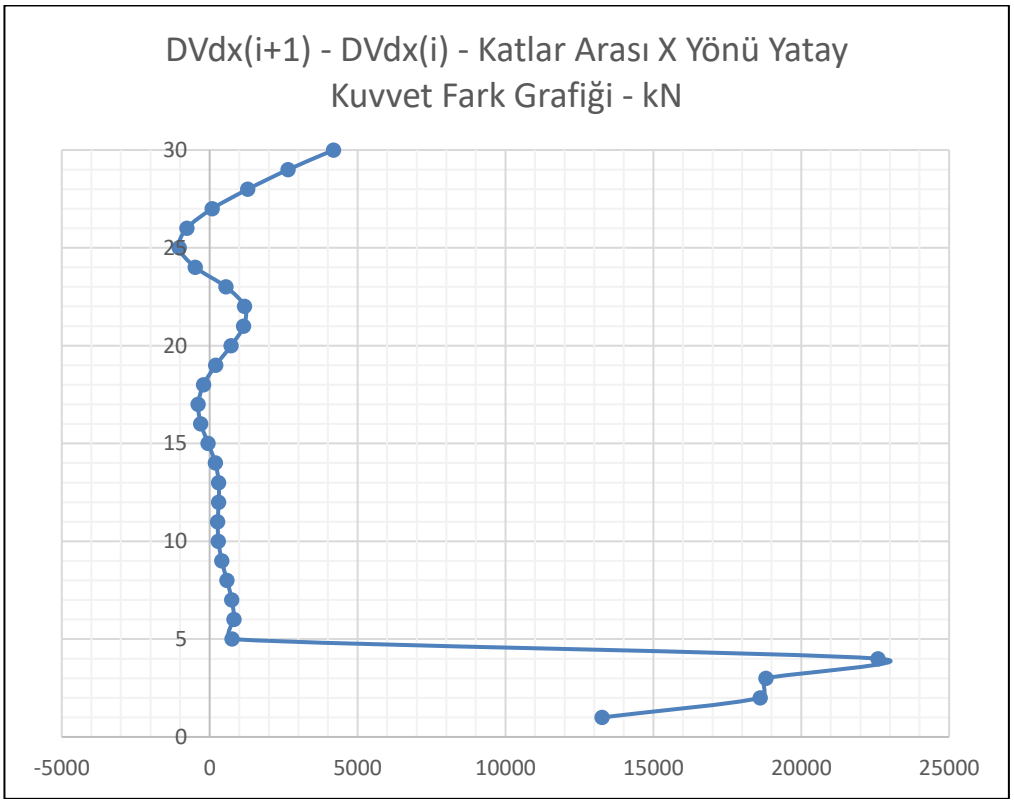
3.2.4. Sürtünme Kesmesi Kontrolü

Döşemede oluşan düzlem içi atalet kuvvetleri, döşemden perdeye düzlem içi kesme kuvveti olarak düzlem içi kesme sürtünmesi ile aktarılır. Bu durumda döşemeden aktarılan kesme kuvvetleri talebinin perde kesiti sürtünme kapasitesi ile aktarılması sağlanmalıdır.

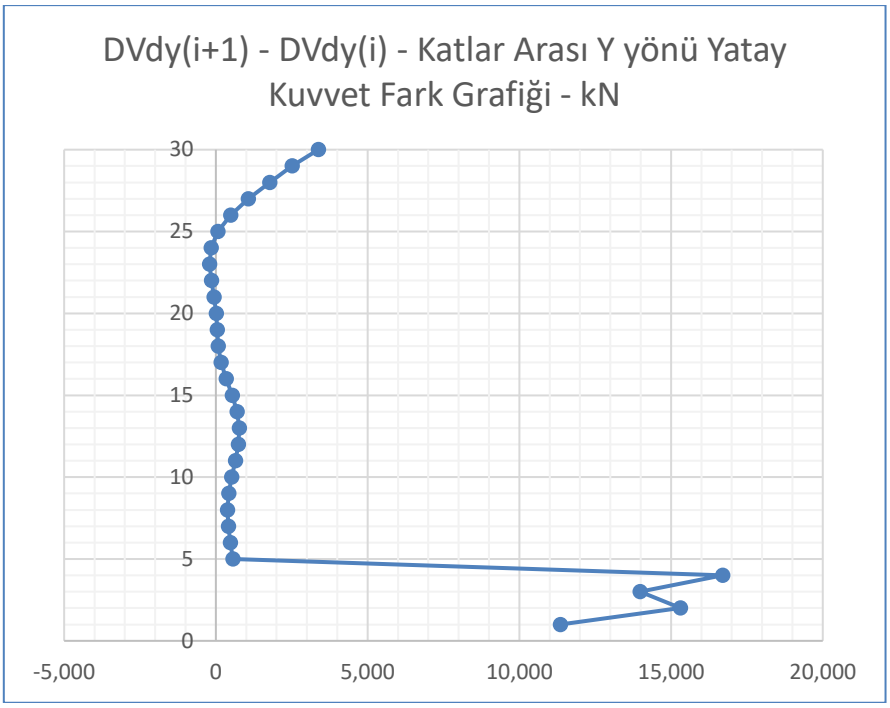
Kesme sürtünme hesapları Türkiye Bina Yönetmeliği 7.26 da gösterildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$\tau_r = \mu \rho f_{yd} \tag{3.13}$$

Döşemeden perdeye kuvvetli doğrultuda aktarılacak yatay kuvvetler, kat seviyesinin alt ve üst kesitlerinde oluşan ve yatay etkilerin *Dayanım Fazlalığı Katsayısı D* ile arttırılan perde kesme kuvvetlerinin farkı olarak hesaplanabilir.



Şekil 3.23: X Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları.



Şekil 3.24: Y Yönü Katlar Arası Yatay Kuvvet Farkları.

Döşemeden perdeye aktarılan kuvvet X yönünde (Şekil 3.23) 23.000 kN ve Y yönünde (Şekil 3.24) 17.000 kN değerindedir. Bu kuvvetler ilgili olduğu yönde döşemenin perde ile temas ettiği yüzde aktarılmaktadır. Hesaplamalar Tablo 3.14'te gösterilmiştir.

Tablo 3.14: Hesaplamalar Tablosu.

Perde kalınlığı = 50cm

$L_{X,Perde}$ = 20 m

$L_{Y,Perde}$ = 15 m

Perdede oluşan ortalama gerilme;

τ_{rx} = 23x10^6 kN / (20000mm x 500mm)

τ_{rx} = 2.3 Mpas

τ_{ry} = 17x10^6 kN / (15000mm x 500mm)

τ_{ry} = 2.27 Mpa

$$Ek\ Donatı + Mesnet\ Alt\ Dnt. = \frac{\phi 20}{15} + \frac{\phi 16}{15} = 20{,}94cm^2 + 13{,}34cm^2 = 34{,}28cm^2$$

$$\rho = \frac{34{,}28}{15 \times 100} = 0{,}0228$$

$$\tau_{rx} = 1{,}0 \times 0{,}0228 \times 365 = 8{,}32\ MPa \geq 2{,}30\ MPa$$

$$\tau_{ry} = 1{,}0 \times 0{,}0228 \times 365 = 8{,}32\ MPa \geq 2{,}27\ MPa$$

4. SONUÇ

Sürekli bir gelişim içerisinde olan yüksek yapılar, tüm içeriği ile gelişen teknolojisi, günümüze kadar gelen süreçte tasarım açısından birtakım sorunlarla karşılaşmaktadır. Yapı tasarım fikri ile başlayan süreç ve ortaya koyulan eserin mühendislik yaklaşımı ile çözülmesi, eserin niteliğine göre yeni mühendislik problemleri ortaya çıkarabilmektedir. Yeni bir mühendislik problemi ise yeni bir mühendislik çözümünü beraberinde getirmektedir. Yapıların günümüze kadar olan süreci içerisinde kat sayılarının ve yüksekliklerinin artması da bu problem ve çözüm denkleminin bir parçasıdır. Yapı kat sayısı ve yüksekliği arttıkça ortaya çıkan bir problem de geleneksel hesaplardan farklı olarak bazı yük aktarım sorunlarının ortaya çıkmasıdır.

Yapı tasarımını kabaca sınıflandırmak gerekirse yapılar, düşey yükler altında ve yatay yükler altında taşıyıcılar göz önünde bulundurularak tasarlanırlar. Klasik düşey yükler altında tasarımı, dünyadaki tüm yönetmelik, norm ve standartlarda detaylı bir şekilde görmek mümkündür. Rüzgâr ve deprem yükleri gibi sistemde yatay yük oluşturan kuvvetler ise, yapıda yatay yük taşıyan sistemler ile karşılanır. Yatay yükler, düşey yüklerle benzer bir şekilde yapının tepe noktasından temele doğru yapıda biriken yük ve enerjinin doğru bir şekilde aktarımı esasına dayanarak temele veya mesnetlere aktarılmaktadır. Yapısal binalar genel olarak düşey ve yatay yükleri karşılayan üç boyutla çerçeve ve/veya perdeli sistemlerden oluşur. Yüklerin aktarımı ise her ne kadar üç boyutlu taşıyıcı sistemlerin beraber çalışması esasına göre tasarlansa bile bunu düşey taşıcılar yatay taşıyıcılar ve temel olarak sınıflandırabiliriz. Düşey taşıyıcılar temel ile her yükselen kat arasında süreklilik arz eden kolon ve perdeler vasıtası ile aktarılırken, yatay yükler döşemelerden diyafram elemanları adı altında sınıflandırdığımız döşeme, tali kiriş ve ana kiriş vasıtası ile kolona ve perdeye ve son olarak bodrum perdesine ve temele aktarım yapan elemanlar vasıtası ile aktarılır.

Diyafram elemanları, yapıda yatay yüklerden oluşan yükleri düşey taşıyıcılara aktaran sismik yük taşıyıcı elemanlardır ve üç boyutlu yatay yük taşıyıcı sistemin ilk yük aktarım ve taşıyıcı sistemidir. Diyaframlar bu sebeple sismik yük taşıyıcı sistemin önemli bir unsurudur ve taşıyıcı tasarımı yapılırken mutlaka doğru tasarımının yapılmasını gerektirmektedir.

Diyafram elemanlarında yük aktarımı, diyaframın düzlem içerisinde yük aktarırken lineer davranması ve diyaframda bir lineer olmayan davranışın oluşmayacağı varsayımı ile yapılmaktadır. Bu varsayım neticesinde diyaframda analiz, dizayn ve boyutlamalar tamamlanıp varsayımı yapılan prensiplerin gerçellemesi ile transfer katı yük aktarımlarının yapıldığı gösterilmiştir. Bu gerçelleme ile varsayımı yapılan yük aktarımı, sonlu elemanlar metodu ile tamamlanıp örneklemesi yapılmıştır.

Günümüzde özellikle yüksek yapılarda yatayda ve düşeyde düzensizlik bulunmayan bir taşıyıcı sisteme rastlamak pek mümkün değildir. Hemen hemen tüm yapılar ya yatayda düzensiz yahut hem yatayda hem de düşeyde düzensiz yapılardır. Bu duruma realistik bir şekilde bakıldığında transfer katlarının, diyafram ve düşey taşıyıcılara aktarılan kuvvetlerin hesaplanabilmesinde bilgisayar yardımı olmadan doğru bir sonuç alınamayacaktır. Bu sadece basit bir döşemeden aktarılan kuvvetlerde değil, podyum ve zemin katı gibi aşırı yük transferlerinin olduğu katlarda hesaplanacak kuvvetlerde de geçerlidir. Ayrıca büyük şaftların olduğu döşemelerin şaft kenarlarında biriken gerilme yığılmalarının ve bu gerilme ve kuvvetlerin aktarılması hesabında, katlar arası diyafram kuvveti aktaran rampaların üzerindeki kuvvetlerin hesaplanmasında ve günümüzde sıkça karşılaşılan düzgün olmayan geometrideki mimari döşemelerde oluşan transfer kuvvetlerinin de bilgisayar tabanlı programlar yardımı ile hesaplanması bir gerekliliktir.

Sonlu eleman yönteminde rijit özellikli tanımlanan diyaframda kuvvetler mesnet bölgelerinde pik değerler yapabilirler. Bu değerler realistik olmamakla birlikte normalize edilerek kullanılmalıdırlar. Ancak çatlamış kesit rijitlikleri ve yarı rijit (semi rigid) özellikler diyafram için tanımlandığında mesnet bölgelerinde pik değerlerden çok daha normal ve dizayn için kullanılabilecek değerler ile karşılaşılır.

Daha önce de belirtildiği üzere podyum ve zemin kat katlarda aşırı yük transferlerinin olmaktadır. Bu katlarda aktarılan kesme kuvvetleri, diyafram rijitliği ile doğrudan ilişkilidir. Bu katlardaki diyaframlara aktarılan kuvvetler mevcut düşey taşıyıcılar ile sisteme bu katta eklenen bodrum perdelerine birlikte dağılır. Diyafram rijitliği ne kadar azalırsa bodrum perdelerine aktarılan kuvvetler bu oranda azalma gösterebilir. Diyaframdaki döşeme ve kiriş sisteminin, bu kuvvetleri sağlıklı bir şekilde sistemdeki tüm düşey taşıyıcılara ve bodrum perdelerine aktarması için tasarımın ve boyutlandırma gerekli şekilde yapılmıştır. Yapı üzerinde bulunan sismik kuvvetlerin zeminde bulunan diyaframa aktardığı kuvvetler, zemin ile temel arasında

bir destek etkisi ile karşılanır. Literatürde bu sistem destek etkisi (backstay effect) adı ile anılmaktadır. Bu destek etkisi zemin üzerinde sismik kuvvetlerden dolayı oluşan devrilme momentlerini karşılayan bir karşı momenttir. Bu moment zemin katta ve temel seviyesinde oluşan kuvvet çifti ile karşılanır.

Döşeme, yatay yükler etkisinde düzlem içi kuvvet aktarımları esnasında levha davranışı sergiler. Genel olarak döşemeler düzlemleri içindeki etkilere karşı rijit kabul edilir. Döşemenin düzlem içi şekil değiştirmesi de ihmal edilir. Bu rijitlik kabulü ile yük dağılımları tamamen aktarılan kesitlerin rijitlik oranlarına bağlı olarak aktarılır.

Bu çalışmada ve örnekte, döşemede, yatay yüklerden oluşan düzlem içi gerilmelerin güvenle aktarılabilmesi için gerekli tasarım ve hesaplamalar iki ayrı örnekte gösterilmiştir. Bu örneklerden ilkinde çok katlı yüksek bir yapının kütle ve rijitliği ani değişmeyen tipik bir normal katında diyafram kuvvetlerinin düşey taşıyıcılara aktarılımı gösterilmiştir. Diğer örnekte ise çok katlı yüksek bir yapının kütle ve rijitliği ani değişikliğe uğrayan zemin kat incelemesi yapılmıştır.

18 Mart 2018 tarihli, 30364 mükerrer sayılı resmi gazetede yayınlanan ve 1 ocak 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde bulunan transfer katı ve diyafram tasarımı ile ilgili konular ve ilgili maddeler, yönetmelikte özellikle yüksek yapıların tasarımı açısından detaylı bir şekilde bir çok maddede belirtilmiş ve gerekli hesaplamalar ile ilgili tarifler verilmiştir. Yönetmelikte hesaplamalar sistematik bir şekilde verilmiştir. Yönetmelik öncelikle, beton basınç gerilmesi sınırları vererek basınç kuvvetlerinin herhangi başka bir değişkene bağlı kalmadan güvenli bir sınırda kalmasını öngörmektedir. Ardından çekme gerilmeleri için betonun çekme dayanımını geçen yerler için donatı koyulmasını ve çekme gerilmelerinin donatı ile karşılanmasını istemektedir. Aynı şekilde kayma gerilmeleri için beton ve demirin bileşik etkisi ile verilen kayma gerilmeleri sınırını aşmayacak şekilde tasarım yapılmasını gerekli kılmıştır.

Bu iki örneğin sonuçları irdelendiğinde öncelikle kütle ve rijitliği ani değişmeyen normal tipik bir katta dahi döşeme içerisinde oluşan diyafram kuvvetlerinin aktarımı önem arz etmektedir. Bu sonuç bu tezden çıkan ilk ve en önemli sonuçtur. Birinci örnekte döşeme ve kütle oluşturan her bir yapısal elemanın transfer kuvvetlerini aktarması gerektiği ve bununla ilgili gerekli yönetmelik şartlarını yerine getirmesi ve tasarımının bu yönde yapılması gerekliliği açık bir şekilde gözükmektedir. İkinci örnekte ise Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te de rahatlıkla

görülebileceği gibi kütle ve rijitliklerin ani değişikliğe uğradığı transfer katı diye nitelediğimiz katlarda diyafram yüklerinin değişimi muazzam büyüklüklere ulaştığı ve bu kuvvetlerin aktarımı için bu tür döşemelerin özellikle tasarlanması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetlerin, çekirdek perdelerinden döşemeye ve döşemelerden tekrar çekirdek perdelerine ve bodrum perdelerine aktarılırken döşemede oluşan gerilmelerin yönetmeliğin ilgili maddelerine göre analiz ve tasarımının yapılması gerekliliğinin ne derece önemli olduğu da vurgulanmıştır.

Yapının tipik katında ve zemin katında oluşan diyafram kuvvetleri, diyafram içerinde basınç gerilmesi, çekme gerilmesi, kayma gerilmesi ile döşeme ve perde arasındaki sürtünme gerilmesi ile karşılandığı yönetmelik maddelerinde belirtilen şekilde hesaplarda gösterilmiştir. Bu çalışmada, yönetmelikte verilen tasarım felsefesi ve hesaplamalar döşemelerde transfer katı ve diyafram analizi için gerekli yeterlilikte oluğunun ispatı ile birlikte transfer katı tasarımı ve hesabı yapacak mühendislerin bu tasarım felsefesini ve hesap yöntemlerinin kullanması için yol gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

ACI (2008), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

ASCE (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10), American Society of Civil Engineers, Reston, VA.

Chopra A. K., (2005), Earthquake Dynamics of Structures: A Primer, 2nd Edition, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.

IBC (2009), International Building Code, International Code Council, Washington.

Nakaki D. C., S.D.; (2000), “Design Guidelines For Precast And Cast-İn-Place Concrete Diaphragms,” EERI Professional Fellowship.

International Conference of Building Officials (1997), The Uniform Building Code – 1997 Edition, Whittier, California.

American National Standards Institute, (1982), "American National Standards Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures," ANSI A58.1-1982, New York.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), (2018), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Bina Tasarım Mühendisleri İçin Türkiye Bina Yönetmeliği Eğitim El Kitabı, (2018), TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.

Boppana R. R., Naeim F., (1985), "Modeling of Floor Diaphragms in Concrete Shear Wall Buildings," Concrete International, Design & Construction, ACI, July.

Federal Emergency Management Agency, (1997), "1997 Edition of NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings”.

Moehle J. P., Hooper J. D., Kelly D. J., Meyer T. R., Seismic Design of Cast-In-Place Concrete Diaphrams, Chords and Collectors, NEHRP Seismic Design Technical Brief No:3, NIST GCR 10-917-4.

Roper S. C., Iding R. H., (1984), "Appropriateness of the Rigid Floor Assumption for Buildings with Irregular Features," Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul'da doğdu. Cağaoğlu Anadolu Lisesinde lise eğitimini ve 2007 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde eğitimini tamamladı. Özel sektörde çeşitli firmalarda sanayi tipi çelik yapılar ve sistemler, betonarme ve çelik yüksek yapılar ve yapıların deprem performansı ile ilgili konularda ihtisas yaptı. 2011 yılından beri kendi firması ile yapısal mühendislik hizmeti vererek çeşitli statik işleri tamamlamıştır. İyi derece İngilizce bilmekte ve 2 çocuk babasıdır.