



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ UZUN AÇIKLIKLI
ÇELİK HANGAR YAPISININ DİNAMİK DAVRANIŞI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet PAŞAOĞLU

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI**

**RİZE
2023**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI danışmanlığında, Muhammet PAŞAOĞLU tarafından hazırlanan *Farklı Yer Hareketi Etkisindeki Uzun Açıklıklı Çelik Hangar Yapısının Dinamik Davranışı* adlı bu tez çalışması, 22/08/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	Prof. Dr. Murat YAYLACI	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YURDAKUL	

ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Farklı Yer Hareketi Etkisindeki Uzun Açıklıklı Çelik Hangar Yapısının Dinamik Davranışı” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

03/08/2023

Muhammet PAŞAOĞLU

ÖN SÖZ

“Farklı Yer Hareketi Etkisindeki Uzun Açıklıklı Çelik Hangar Yapısının Dinamik Davranışı” başlıklı bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans derecesi için hazırlanmıştır.

Tez çalışmamda bana sonsuz destek ve ilgi gösteren, tüm deneyimlerini samimiyetle bana aktarmaya çalışan, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI ‘ya en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca üzerimde emeği olan, kişisel ve eğitim alanında gelişmeye katkı sağlayan saygıdeğer hocalarıma bir ömür boyu minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Son olarak tüm hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi ve manevi hiçbir fedakarlığı esirgemeyen babam Yusuf PAŞAOĞLU, annem Fatma PAŞAOĞLU’ na ve tüm sevdiklerime en içten dileklerle teşekkür ederim.

Muhammet PAŞAOĞLU
2023/RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Çalışmanın Amacı.....	4
1.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	5
1.3. Çeliğin Tarihçesi	9
1.4. Çelik Kullanımında Değerlendirilmesi Gereken Unsurlar.....	11
1.4.1. Yapılarda Çelik Kullanımının Sağladığı Avantajlar	11
1.4.1.1. Uygulama Açısından Avantajları	11
1.4.1.2. Mühendislik Açısından Avantajları	13
1.4.1.3. Mimari Açısından Avantajları	14
1.5. Zemin Yapı Etkileşimi	15
1.6. Zemin Yapı Ortak Davranışı.....	18
1.7. Zemin Yapı Etkileşimi Analiz Yöntemleri	21
1.8. Zemin Sınıfları	23
1.8.1. Zemin Spektrumları.....	24
1.8.2. Zemin Periyodu ve Zemin Özelliklerinin Üst Yapıya Etkisi	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1. Çelik Yapı Elemanları.....	29
2.1.1. Kolonlar.....	29
2.1.2. Kirişler.....	30
2.1.3. Çelik Çaprazlar	31

2.2. Yük ve Yük Bileşimleri	33
2.2.1. Sabit Yükler.....	33
2.2.2. Hareketli Yükler	34
2.2.3. Yatay Yükler	35
2.2.4. Diğer Yükler.....	36
2.2.5. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)	36
2.2.6. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT).....	37
2.3. Deprem Kayıtları.....	39
2.4. Modal Analiz.....	44
3. BULGULAR VE İRDELEMELER.....	45
3.1. Durum 1: Tüm mesnetlerin ZA zemin sınıfı olması (ZA, ZA, ZA)	45
3.2. Durum 2: Tüm mesnetlerin ZC zemin sınıfı olması (ZC, ZC, ZC)	47
3.3. Durum 3: Tüm mesnetlerin ZE zemin sınıfı olması (ZE, ZE, ZE)	49
3.4. Durum 4: Tüm mesnet gruplarının farklı olması (ZA, ZC, ZE)	51
3.5. Durum 5: Grup 1: ZA, Grup 2: ZA, Grup 3: ZE zemin sınıfı olması	53
3.6. Durum 6: Grup 1: ZE, Grup 2: ZE, Grup 3: ZA zemin sınıfı olması	55
3.7. Kirişlerde Oluşan Kuvvetler	58
4. SONUÇLAR.....	61
KAYNAKÇA.....	64

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tez Türü : Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI

Hazırlayan : Muhammet PAŞAOĞLU

Yıl : 2023

Sayfa : 66

ÖZET

FARKLI YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ UZUN AÇIKLIKLI ÇELİK HANGAR YAPISININ DİNAMİK DAVRANIŞI

Yapıların deprem gibi dinamik yükler altındaki davranışlarının bilinmesi, deprem sonrasında oluşabilecek yapısal hasarların minimum düzeye indirilmesini sağlar. Yapıların dinamik analizinde, yapılara etkiyen yer hareketinin doğru bir şekilde belirlenmesi, mühendisler için en zor parametrelerden biridir. Bir yapının deprem sırasında, genellikle yapının tüm mesnet noktalarının aynı anda aynı yer hareketine diğer bir deyişle üniform yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Bu bakış açısında, deprem dalgalarının sonsuz hızla yayıldığı kabul edilirken, yayılma esnasında yer hareketindeki değişim dikkate alınmamaktadır. Ancak uzun açıklıklı sistemlerde, mesnetlere etkiyen yer hareketi farklılık gösterecektir. Bu çalışmada genişliği 28m, uzunluğu 102m, yüksekliği 8.25m olan çelik yapı taşıyıcı sistemine sahip fabrika yapısı SAP2000 24 programı yardımıyla üç boyutlu olarak modellenmiş ve yapının mesnetlerinin, farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda yapıdaki dinamik davranışın belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada yapının mesnetlerinin farklı zemin koşullarına sahip olduğu kabul edilmiş olup, yapının dinamik analizinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019)' nde yerel zemin sınıfları tablosu dikkate alınarak kayma dalgası hızlarına göre üç farklı zemin sınıfı göz önünde bulundurulmuş ve buna göre dinamik analizlerde kullanılacak olan yer hareketleri Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinden (Pasific Earthquake Engineering Research Center, PEER) seçilmiştir.

Yapının deprem anındaki davranışını belirlemek için yapılan dinamik analizlerde, yapının tüm mesnet noktalarının üniform yer hareketi ve mesnet noktalarının farklı yer hareketine maruz olması durumu göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, uzun açıklıklı yapının mesnetlerinin farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda, yapıyı oluşturan elemanların dinamik davranışlarının değişmesine neden olabileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin yapı etkileşimi, Zemin sınıfları, Dinamik analiz, Farklı yer hareketi, Çelik yapılar

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Civil Engineering

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Zeliha TONYALI

Author : Muhammet PAŞAOĞLU

Year : 2023

Pages : 66

ABSTRACT

DYNAMIC BEHAVIOR OF LONG SPAN STEEL HANGAR STRUCTURE UNDER MULTI SUPPORT EXCITATIONS

Knowing the behavior of structures under dynamic loads such as earthquakes helps to minimize structural damage that may occur after an earthquake. In the dynamic analysis of structures, the accurate determination of the ground motion acting on the structures is one of the most difficult parameters for engineers. During an earthquake, it is generally accepted that all supporting points of a structure are subjected to the same ground motion at the same time, in other words, uniform ground motion. In this point of view, earthquake waves are assumed to propagate at infinite speed and the change in ground motion during propagation is not taken into account. However, in long span systems, the ground motion acting on the supports will vary. In this study, a factory building having a steel structural system with a width of 28m, a length of 102m and a height of 8.25m is modeled in three dimensions with the help of SAP2000 Version24 software and it is aimed to determine the dynamic behavior of the structure in case the supports of the structure are subjected to different ground motions.

In the study, the supports of the structure are assumed to have different ground conditions, and three different ground classes are considered in the dynamic analysis of the structure according to shear wave velocities by taking into account the local ground classes table according to Turkish Building Earthquake Regulation (TBDY, 2019), and accordingly, the ground motions to be used in dynamic analysis are selected from the Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER).

In the dynamic analyses performed to determine the behavior of the structure during an earthquake, uniform ground motion of all supports and different ground motions of the supports were taken into consideration and the results obtained were compared. As a result of the study, it was observed that if the bearings of the long-span structure are subjected to different ground motions, the dynamic behavior of the elements forming the structure may change.

Keywords: Soil structure interaction, Soil classes, Dynamic analysis, Multi-support excitation, Steel structures

KISALTMALAR

(c_u)	:	Drenajsız kayma dayanımı [kPa]
$(c_u)_{30}$	:	Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı [kPa]
E	:	Elastisite modülü
F	:	Birim Kuvvet
G	:	Sabit yük
h	:	Yükseklik
k	:	Yay katsayısı
k_x	:	x Yönündeki Yay Katsayısı
k_{yy}	:	y Yönündeki Dönme Yay Katsayısı
k_z	:	z Yönündeki Yay Katsayısı
kgf	:	Kilogram kuvvet
m	:	Kütle
$(N_{60})_{30}$	:	Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
PI	:	Plastisite indisi
Q	:	Hareketli yük
R	:	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Ra	:	Yapıya etkiyen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım
Rd	:	Tasarım dayanımıdır
Rg	:	Güvenli dayanım
Rn	:	Karakteristik dayanım
Ru	:	Yapıya etkiyen YDKT yük birleşimleri etkisi altında hesaplanan gerekli dayanım
S	:	Kar yükü
sn	:	Saniye
T	:	Periyod
T_A	:	Spektrum Karakteristik Periyodu

T_B	:	Spektrum Karakteristik Periyodu
u_f	:	Zemin Yapı Etkileşimine Bağlı Öteleme
$(V_s)_{30}$	:	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
W	:	Rüzgâr yükü
w	:	Doğal su içeriği
ω	:	Açısal frekans
σ_{em}	:	Emniyet gerilmesi
γ	:	Birim hacim ağırlığı
μ	:	Güvenlik katsayısı değeri
ϕ	:	Belirlenmiş dayanım katsayısı
Ω	:	Belirlenen güvenlik katsayısı
Δ	:	Deplasman
FEMA	:	Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
GKT	:	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
NPV	:	Net Güncel Değer (Net Present Value)
PGA	:	En Büyük Yer İvmesi
PGV	:	En Büyük Yer Hızı
PGD	:	En Büyük Yer Yerdeğiştirme
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS EN	:	Türk Standartları Enstitüsü
YDKT	:	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
YSA	:	Yapay Sinir Ağları

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yerel Zemin sınıfları (TBDY, 2019)	24
Tablo 2. Hangar yapısının taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan profil tipleri	27
Tablo 3. Farklı durumlara ait zemin sınıfları	28
Tablo 4. TS498:1997'e göre hareketli yükler	35
Tablo 5. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri (PEER-2023)	39
Tablo 6. Hangar yapısına ait özdeğer, doğal frekans ve periyot değerleri.....	44
Tablo 7. Kolonlarda oluşan maksimum büyüklüklerin karşılaştırılması	58
Tablo 8. Kirişlerde oluşan maksimum büyüklüklerin karşılaştırılması	60



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Taban yer değiştirmesi ve rölatif yer değiştirme.....	4
Şekil 2. Türkiye’de çelik yapıların dağılımı.....	11
Şekil 3. Zemin yapı etkileşimi.....	15
Şekil 4. Deprem için genel zemine ait enkesit.....	16
Şekil 5. Yatay elastik tasarım spektrumu	17
Şekil 6. Çok katlı bir yapıda mesnetlerin ankastre olması durumunda beş mod şeklinin ve frekansının değişimi.....	17
Şekil 7. Çok katlı bir yapıda zemin kayma dalgası hızının 50 m/sn olması durumunda ilk beş mod şekli ve frekansının değişimi	18
Şekil 8. a) Mesnetler ankastre bağlı, b) Zemin ve yapı etkileşimli durum.....	18
Şekil 9. Periyodun artışı ve spektral ivmenin azalması	20
Şekil 10. Periyodun artması ile spektral ivmenin artışı.....	21
Şekil 11. Zemin yapı etkileşimi analiz yöntemleri	21
Şekil 12. Ortak sisteme ait analiz modeli	22
Şekil 13. Kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri.....	23
Şekil 14. Değişik zeminler için spektral ivme periyot ilişkisi.....	24
Şekil 15. Zemin farklılığı durumundaki deprem şiddeti ve uzaklık ilişkisi	25
Şekil 16. a) Perspektif görünüş, b) 2D önden görünüş, c) 2D yandan görünüş	26
Şekil 17. Önden görünüş	27
Şekil 18. Yandan görünüş.....	27
Şekil 19. Bölgelerin sınırlarını ve kolon numaralarını gösteren kesit görünüşü	28
Şekil 20. HE450A kolonun özellikleri	30
Şekil 21. IPE500 kirişinin özellikleri	31
Şekil 23. Çelik çaprazların özellikleri	32
Şekil 24. Yapıda kullanılan kaplamalara ait görünüş	34
Şekil 25. Yapı yüzeyine etkiyen rüzgâr yükleri	35
Şekil 26. Yapı yüzeyine etkiyen deprem yükleri.....	36
Şekil 27. Tottori depremine ait ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 28. San Simeon depremine ait ivme-zaman grafiği	40
Şekil 29. Christchurch depremine ait ivme-zaman grafiği.....	41

Şekil 30. Tottori depremine ait hız-zaman grafiği.....	41
Şekil 31. San Simeon depremine ait hız-zaman grafiği.....	42
Şekil 32. Christchurch depremine ait hız-zaman grafiği	42
Şekil 33. Tottori depremine ait deplasman-zaman grafiği	43
Şekil 34. San Simeon depremine ait deplasman-zaman grafiği	43
Şekil 35. Christchurch depremine ait deplasman-zaman grafiği.....	44
Şekil 36. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 1)	45
Şekil 38. Kolonlarda oluşan moment (durum 1)	46
Şekil 39. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 1)	47
Şekil 40. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 2)	47
Şekil 41. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 2)	48
Şekil 42. Kolonlarda oluşan moment (durum 2)	48
Şekil 43. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 2)	49
Şekil 44. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 3)	49
Şekil 45. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 3)	50
Şekil 46. Kolonlarda oluşan moment (durum 3)	50
Şekil 47. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 3)	51
Şekil 48. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 4)	51
Şekil 49. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 4)	52
Şekil 50. Kolonlarda oluşan moment (durum 4)	52
Şekil 51. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 4)	53
Şekil 52. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 5)	53
Şekil 53. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 5)	54
Şekil 54. Kolonlarda oluşan moment (durum 5)	54
Şekil 55. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 5)	55
Şekil 56. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 6)	55
Şekil 57. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 6)	56
Şekil 58. Kolonlarda oluşan moment (durum 6)	56
Şekil 59. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 6)	57
Şekil 60. Kirişlerde oluşan maksimum kesme kuvveti.....	59
Şekil 61. Kirişlerde oluşan maksimum eksenel normal kuvvet.....	59
Şekil 62. Kirişlerde oluşan maksimum moment.....	59

GİRİŞ

Medeniyetlerin oluşmasında, inşaat mühendislerinin katkısı göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. İnşaat mühendisleri, malzeme ve tekniği en iyi şekilde bir araya getirerek yapıların projelendirilmesinde ve uygulanmasında büyük sorumluluk sahibidir. Ayrıca, insanların en temel ihtiyacı olan barınma ve ulaşım gibi ihtiyaçlarının giderilmesi ve yaşam kalitesinin daha da arttırılması için, çalışmalar gerçekleştirmektedir.

Geçmişte belirli bir mühendislik birikimi ile inşa edilen yapılar gelişen bilim ve teknoloji sayesinde günümüzde daha modern ve güvenli yapıların uygulanmasına imkân oluşturmuştur. İnşaat mühendisliği alanında yapıların güvenilirliği ön plana çıkmıştır. Yapıların deprem gibi doğal afetlere karşı güvenli bir şekilde projelendirilmesi ve uygulanması temel kriter olup deprem mühendisliği gibi yeni mühendislik dallarının ortaya çıkmasıyla depreme dayanıklı yapı tasarımı daha da önem kazanmıştır.

Dünyada aktif fayların en yoğun olduğu ülkelerden biri de Türkiye'dir. Ülkemizin aktif deprem kuşağı üzerinde yer alması ve deprem sonrasında yapılarda oluşan yıkım ve ağır hasar ve ölümlere sebebiyet vermemek için yapılar depreme dayanıklı ve yönetmeliklere uygun şekilde inşa edilmelidir.

Deprem, yapıların üzerine oturduğu zemin ortamının hareket etmesi sonucunda yapılarda ortaya çıkan hasarın can ve mal kayıplarına sebebiyet verebileceği bir harekettir.

Deprem, yerkabuğundaki çatlama ve çökmeler sebebiyle açığa çıkan enerjinin titreşim ve dalgalar şeklinde yer yüzeyine erişerek, yer yüzeyinin sallanması sonucu oluşmaktadır. Deprem anında yapı ve zemin birlikte sallanmalara maruz kalmaktadır. Yapı-temel-zeminin birlikte etkileşime girmesi, yapı temelinin boyutlandırılmasında; üst yapıdan gelen yükler ve zemin özellikleri oldukça önemlidir. Yapının zemin üzerine oturması, deprem sonucu oluşan titreşimlerin yapı üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için zeminin yapı ile dikkate alınması zemin-yapı dinamik etkileşimi olarak adlandırılır. Deprem anında ve sonrasında meydana gelen titreşim hareketleri, yapılarda ciddi hasarlara ve ölümlere sebebiyet veren durumlardan bir tanesi de zemin-yapı etkileşiminin projelendirilmede göz ardı

edilmesidir. Yapıya ve zemine ait özelliklerin yanı sıra depremin özellikleri de önem arz etmektedir.

Deprem, yapıların temel zeminine oturduğu bölgelerde deplasmana sebebiyet vermektedir. Yapı modellerinden düşeyden ve yataydan gelen yükleri taşıyabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Depreme maruz kalan yapıların analizlerinde, tüm mesnetlere eşit deprem kuvvetlerin aynı zamanda etki ettiği kabul görülmektedir. Fakat yapının oturduğu alandaki uzak mesnet noktalarına etkiyen deprem kuvvetleri farklı olacaktır. Dolayısıyla, deprem dalgası zemin ortamı içinde yayılırken, frekansı ve genliği değişmekte, uzun açıklıklı yapıdaki mesnetlere aynı zaman ve değerlerde ulaşmamaktadır. Bu zaman ve değer farklılığının yapıda davranış değişikliğine sebep olması durumu mesnet noktaların zemin parametrelerine göre değişmektedir (Tonyalı, 2017).

Zemin ve yapının etkileşiminde analizlerde kullanılan yöntemlerde, mesnetlerin bulunduğu zeminin deplasmana uğramayan rijit bir bölge olduğu varsayılmaktadır. Bu sebeple mesnetlerin zemine ankastre bağlı olduğu düşünülmektedir. Fakat bu varsayımlar zemin yapı etkileşiminin ihmal edilebileceği alanlarda geçerli olabilmektedir. Fakat yapılar deprem anındaki zemin-yapı etkileşimi iyi analiz edilerek tasarlanmalıdır (Düzgün vd., 2010).

Deprem kuvvetlerindeki değişime, dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkisi sebebiyet vermektedir. Dalga yayılma etkisi, deprem kuvvetlerinin bir bölgeden diğer bölgeye varıncaya kadar geçen süre farkından kaynaklanmaktadır. Korelasyon etkisi, deprem kuvvetlerinin çarpık fay hatlarında çok farklı kaymalara sebebiyet vermesidir.

Zemin etkisi ise uzak bölgelerdeki farklı zemin özelliklerinden oluşmaktadır. Deprem kuvvetlerinde değişikliğe sebebiyet veren bu etkilerin yapı tasarımında dikkate alınması gerekmektedir (Nazmy vd., 1990).

Deprem kayıtları incelendiğinde, yapının temelinde ve mesnetlerden uzak olmayan bölgelerdeki deprem kuvvetlerinde farklılıklar olduğu açığa çıkmıştır. Deprem kuvvetlerinin yapıya etkimesi sonucunda yapının da mesnet zeminlerine etki ettiği sonucuna varılmıştır (Kutaniş, 2001).

Zemin ve yapı etkileşiminin dikkate alındığı modellerde ana sorun zeminin nasıl idealleştirileceğidir. Yapının üzerine oturduğu temel zemini, yapının davranışını değişik şekillerde etkilemektedir:

- Temel zemini, deprem kuvvetlerini değiştirir.
- Zemin, yapıya ait dinamik kuvvetleri değiştirir.
- Yapıda açığa çıkan titreşimin bir bölümü zeminde sönümlenir.

Bir yapının mesnetlerindeki çoklu yer hareketi girdileri iki önemli etki nedeniyle değişken olabilir. Bu değişimlerden üç olgu sorumludur: (1) sismik dalgaların farklı istasyonlara varış srelerindeki farklılık, burada 'dalga geçişi' etkisi olarak ifade edilmektedir; (2) zeminin heterojen ortamında dalgaların yansımaları ve kırılmaları nedeniyle hareketin tutarlılığının kaybolması ve ayrıca genişletilmiş bir kaynaktan gelen dalgaların çeşitli istasyonlarda st üste binme biçimindeki farklılık, burada 'tutarsızlık etkisi' olarak ifade edilmektedir; ve (3) her istasyondaki yerel zemin koşullarındaki farklılık ve bunların ana kaya hareketinin genlik ve frekans içeriğini etkileme biçimi, burada 'yerel' etki olarak ifade edilmektedir. Dizi kayıtları ile yapılan son analizler bu etkilerin doğasına ve göreceli önemlerine ışık tutmuştur (Kiureghian vd., 1992).

Tasarım teorisi ve inşaat tekniğinin gelişmesiyle birlikte, spor salonları ve hangarlar gibi büyük uzay yapılarının açıklıkları günümüzde önemli ölçüde artarak 300 m'nin üzerine çıkmıştır. Sonuç olarak, yer hareketi değişimlerinin sismik etkileri de büyük uzay yapılarının araştırma alanında önemli bir konu haline gelmiştir. Son araştırmalar mesnet hareketlerindeki farklılıkların büyük uzay yapılarının i kuvvetlerini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. (Su vd., 2007).

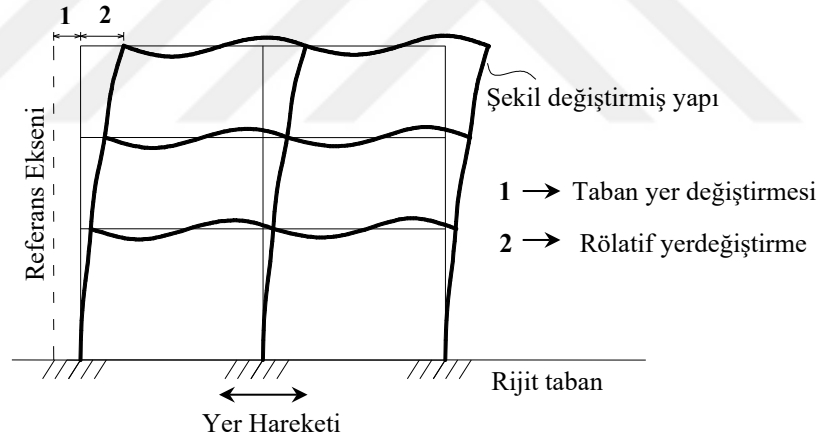
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı

Yapı sistemlerinin dinamik analizinde temelin oturduğu zemin ortamının karmaşık ve farklı özelliklere sahip olmasından dolayı, mesnet noktalarındaki yer hareketlerinin değişiminden doğan etkilerin sismik analizlerde dikkate alınmasını kaçınılmaz yapar.

Depremde yapı ve zemin arasında etkileşim oluşmaktadır. Yapılar tasarlanırken mesnetlerin zemine ankastre bağlı olduğu ve deprem kuvvetlerinin yapının varlığından bağımsız olarak etki ettiği varsayılır (Şekil 1). Fakat bu yaklaşım zemin ve yapı etkileşiminin düşük olduğu tasarımlarda etkilidir.

Uzun açıklıklı sistemlerin dinamik davranışında, zeminin rijit olamayan ve yapının davranışına eylemsizlik açısından etki ettiği varsayılarak değerlendirilmesi, sonuçların doğru çıkması adına önemlidir.



Şekil 1. Taban yer değiştirmesi ve rölatif yer değiştirme

Günümüzde toplumun ihtiyacının karşılanması için endüstriyel tesisler, geniş açıklıklı fabrika ve depolara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür büyük açıklıkları geçmek ve daha şeffaf mekânlar elde edilmesi noktasında taşıyıcı sistem olarak çelik yapılar tasarımlar tarafından oldukça fazla tercih edilmektedir. Ayrıca malzemenin geri kazanılabilir bir malzeme olması, daha hafif ve daha sünek bir tasarım imkânı sağlaması, inşa süresinin betonarme sistemlere kıyasla daha kısa olması da bir tercih

sebebidir. Deprem riski oldukça fazla olan ülkemizde de çelik yapıların deprem anındaki dinamik davranışın belirlenmesi de oldukça özen kazanmaktadır.

Ayrıca çelik yapılar uzun açıklıkları geçmek için yaygın kullanılan bir taşıyıcı sistemdir. Uzun açıklıklı yapılarında açıklık fazla olduğundan mesnetlerin zemin koşulları da farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada çelik taşıyıcı sistemine sahip uzun açıklıklı bir hangar yapısının farklı zemin türlerine mesnetlenmesi durumunda dinamik tepkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yapılan çalışmalar özellikle zemin yapı etkileşimi başlığı altında incelenmektedir.

Lee vd. (1973) çalışmalarında, nükleer reaktörlerin sismik yüklemesini, zemin-yapı etkileşim modelini dikkate alınarak incelemiştir. Birkaç üç boyutlu esnek yapı elastik bir yarı uzaya bağlanmıştır. Bu yapılar benzer ya da farklı olmak üzere, ayrı taban plakaları üzerine monte edilmiş geleneksel ayırık sistemler olarak modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, bitişik binaları birbirine bağlayan borular gibi herhangi bir yapının rijitliğinin ihmal edilebilir olduğu varsayılmıştır. Karşılaştırma amacıyla, yapısal kütlelerin sismik tepkileri hem sismik tepkilerin olduğu hem de olmadığı durumlar için belirlenmiştir. Elde edilen önemli bulgular, nükleer enerji santrallerinde komşu yapılarla etkileşim nedeniyle sismik yüklerde bir azalma olabilmektedir. Tersine, uygun olmayan tesis tasarımı ve yerleşimi, artan yüklerle rezonansların karşılıklı olarak güçlenmesine neden olabilmektedir.

Aydınoğlu (1977) çalışmalarında, yapı ve zeminden oluşan bir sistemin dinamik yükler altındaki davranışı için matematiksel modeller oluşturarak incelemiştir. Bu modellerde zemin ve yapı arasındaki karşılıklı etki olayını analiz etmiştir.

Kobori vd. (1978) çalışmalarında, zemin ve yapı etkileşimini ele almak için iki binadan oluşan sistemin dinamik yükler altındaki davranışını incelemiştir. Viskoelastik zemin tabakasına gömülmüş iki bina yapısı arasındaki çapraz etkileşim sisteminin hem titreşim özelliklerini hem de deprem tepkilerini değerlendirmiştir. İki gömülü yapı arasındaki çapraz etkileşim ile ilgili mevcut bilgiler özetlenmiştir: iki

özdeş yapı için, depreme maruz kalan çapraz etkileşim sisteminin maksimum birleşik davranışı, genellikle ayrışma sistemininkinden daha küçüktür. Fakat iki farklı yapı için maksimum birleşik davranış, çoğunlukla tek yapıdan daha büyük olduğu görülmüştür.

Gupta vd. (1988) çalışmalarında, kablolu köprülerdeki zemin ve yapı arasındaki etkileşimi incelemiştir. Sonlu eleman yöntemi kullanılarak üst yapı tasarlanmıştır. Zemin ise rijit ve homojen bir alan olarak belirlenmiştir. Zemin ve yapı etkileşiminin dikkate alınarak yapılan tasarımlarda yapıya ait esnekliğin oldukça değiştiği sonucu elde edilmiştir.

Kawano vd. (1988) çalışmalarında, rasgele titreşim metodu kullanılarak analiz yapılmıştır. Empedans fonksiyonlarını kullanarak zemin ve yapı etkileşimi gerçekleştirilmiştir. Zemin ve yapı etkileşiminin kablolu köprülerin tasarımında dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Nazmy ve Abdel-Ghaffar (1990) çalışmalarında, uzun açıklıklı köprülerin değişerek etki eden deprem kuvvetleri altındaki yapısal davranışını incelemiştir. Farklı deprem verileri aynı zamanda ve farklı zamanda mesnet kuvveti olarak yapıya uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda deprem kuvvetlerinin oluşturduğu üniform olmayan yer hareketinin yapı tasarımında dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Kiureghian ve Neuenhofer (1992) çalışmalarında, mekânsal olarak değişen yer hareketlerine maruz doğrusal çok serbestlik dereceli, çok mesnetli yapıların sismik analizi için yeni bir tepki spektrumu yöntemi geliştirilmiştir. Dalga geçişine bağlı yer hareketi değişimleri, mesafe ile tutarlılık kaybı ve yerel zemin koşullarının değişimi dahil edilmiştir. Yöntem, rastgele titreşim teorisinin temel ilkelerine dayanmakta ve mesnet hareketleri ile yapının titreşim modları arasındaki korelasyonun etkilerini uygun şekilde hesaba katmaktadır.

Harichandran vd. (1996) çalışmalarında, değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki Golden Gate Asma köprüsünün dinamik analizi incelenmiştir. Sabit ve sabit olmayan yer hareketleri için veriler elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde uzun açıklığa sahip köprülerde ankastre mesnet olarak yapılan tasarımların hatalı olduğu görülmüştür.

Rassem vd. (1996) çalışmalarında, asma köprülerde farklı yer hareketi etkisi olması durumundaki dinamik analizleri gerçekleştirmiştir. Yumuşak ve sert zemin alanı olarak iki farklı durumda değerlendirme yapılmıştır. Yapı mesnetlerine etkileyen değişerek yayılan deprem kuvvetleri, yapının dinamik analiz sonuçlarını oldukça etkilediği görülmüştür.

Saadeghvaziri vd. (1999) çalışmalarında, inşa edilmiş olan köprülerin zemin ve yapı etkileşimi olması durumundaki analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda zemin ve yapı etkileşimin köprünün davranışını ve analiz sonuçlarını oldukça değiştirdiği görülmüştür.

Kato vd. (2002) çalışmalarında, ilk olarak zemin tabakası bileşiminde düzensizliğe sahip sığ alüvyal vadilerdeki deprem hareketlerinin mekânsal dağılımlarını kontrol etmişlerdir. Analiz sonuçlarına dayanarak, geniş açıklıklı bir beşik yapının sismik tepkileri, hareketlerin mekânsal dağılımları nedeniyle temellerdeki girdi farklılığı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları, farklı ivme girdilerinin özellikle ikinci doğal simetrik modun yanı sıra birinci doğal anti-simetrik mod ile ilişkili ek bir titreşimi uyaracağını göstermektedir. Ayrıca, bu makalenin sonuçlarına dayanarak farklı girdileri dikkate almak üzere yapıların sismik tepkilerini hesaplamak için bir yöntem önerilmiştir.

Soyluk (2002) çalışmasında, değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizini gerçekleştirmiştir. Analizlerde mesnet bölgelerindeki zemin özelliklerinin değişmesi durumunda mesnet tepkilerinin de değişiklik göstermiştir.

Su vd. (2007) çalışmalarında, çelik kafes kemerin çok mesnetli depremlere karşı davranışını incelemiştir. Yer hareketinin uzlamsal değişimi ampirik bir tutarlılık kaybı fonksiyonu ile modellenmiştir. Sayısal sonuçlar, yatay çok mesnetli uyarımların kafes kemerin sismik tepkimelerini oldukça büyüttüğünü göstermektedir. Bu aplikasyon etkisi, bu tür yapıların sismik tasarımında göz ardı edilemez. Dikey çok destekli uyarımlar kafes kirişli kemerin sismik tepkilerini azaltır. Bu nedenle, düşey serbest alan yer hareketlerinin mekânsal olarak tekdüze olduğu varsayımı, kafes kirişli kemerlerin sismik güvenilirliği derecesini sağlamak için kullanılabilir. Daha sonra çok destekli uyarımlara karşı kemer tepkisini hesaplamak için ortalama tepki spektrumu yöntemi tanıtılmıştır. Yöntemin avantaj, kemerin çok destekli uyarımlara doğrusal

tepe sismik tepkisinin geleneksel tepki spektrumu yönünde olduğu gibi kolaylıkla elde edilebilmesidir. Zaman tarih yöntemi ile ortalama tepki spektrumu yöntemi arasındaki sonuçların iyi uyumu ikinci yöntemin geçerliliğini göstermektedir.

Davoodii vd. (2013) çalışmalarında, İran'da inşa edilen Masjed Soleyman dolgu barajı sayısal bir örnek olarak seçilmiştir. Mekânsal olarak değişen yer hareketi zaman geçmişleri spektral temsil yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu metodolojiye göre, üretilen zaman geçmişleri öngörülen tepki spektrumları ile uyumludur ve dalga geçişi ve tutarlılık kaybı etkilerini yansıtmaktadır. Baraj tepkilerinin tutarsızlık derecesine duyarlılığını araştırmak için, mekânsal olarak değişken sismik yer hareketlerini simüle etmek için üç farklı tutarlılık modeli kullanılmıştır. Son olarak, barajın çok destekli uyarım altındaki sismik tepkisi analiz edilmiş ve tekdüze yer hareketinden kaynaklanan tepkiyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, dolgu barajın sismik kaynaklı kalıcı yer değiştirmelerini tahmin etmek için Newmark yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonuçları, baraj tepkilerinin, tabanı boyunca yer hareketinin varsayılan uzamsal değişimine duyarlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Genel bir eğilim olarak, daha gerçekçi bir varsayım olan çok destekli uyarımın kullanılmasının, tekdüze uyarıma göre daha düşük ivme ve yer değiştirme tepkilerine yol açtığı sonucuna varılmıştır.

Sıcacık vd. (2012) çalışmalarında, değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin analizlerini gerçekleştirmiştir. Analizlerden elde edilen veriler, köprünün mesnetlendiği zeminin sert olması durumunda, korelasyon etkisinin dalga yayılma etkisine oranla genellikle daha ön plana çıktığını gösterirken, zemin ortamının zayıflaması ile, orta ve yumuşak zemin koşullarında dalga yayılma etkisinin çok daha ön plana çıktığını göstermektedir.

Rahnema vd. (2016) çalışmalarında, 5 katlı betonarme bir yapının zemin ve yapı etkileşimini farklı yöntemler kullanarak analiz etmiştir. Analizler sonucunda zemin yoğunluğunun, zemin ve yapı etkileşimi olması durumunda dinamik kuvvetleri oldukça değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Tonyalı (2017) çalışmasında, kablolu köprülerin analizini birleştirilmiş sonlu eleman-sınır eleman yöntemi kullanarak yapmıştır. Analizler sonucunda, değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki zemin yapı etkileşiminin köprünün dinamik davranışını önemli ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Tomeo vd. (2018) çalışmalarında, betonarme çerçevesel yapıların zemin ve yapı etkileşimini analiz etmiştir. Analizlerde zemine ankastre bağlı 4 ve 8 katlı betonarme çerçeveler 21 farklı deprem kaydına göre sert ve yumuşak zemin başlığı altında yapılmıştır. Zemin ve yapı etkileşimi yapının temelinde tanımlanan yaylar ile uygulanmıştır. Analizler sonucunda, özellikle sert olmayan zeminlerde zemin ve yapı etkileşiminin dinamik sonuçları etkilediği ve yanal deplasmanlara sebebiyet verdiği görülmüştür.

Kamal vd. (2021) çalışmalarında, temel kotları aynı veya farklı olan bitişik yapılarda zemin ve yapı etkileşimi olması durumundaki dinamik analizleri gerçekleştirmiştir. Sap2000 programında bitişik binaların zemin ve yapı etkileşimi tanımlaması yapılması için, 50x100 m boyutlarındaki zemin profili kabuk (shell) eleman olarak belirlenmiştir. El Centro deprem verileri kullanılarak yapılan analizlerde deplasman, ivme, kesme kuvvetleri ve moment değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde deplasman, kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinde artış meydana gelmiştir. Yapı tasarlanırken zemin ve yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiği sonucu elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, deprem sırasında, genellikle yapının tüm mesnet noktalarının aynı anda aynı yer hareketine maruz kalması durumuna ait birçok çalışma birçok yapı türü için mevcuttur. Özellikle köprü gibi uzun açıklıklı yapılar için uniform yer hareketi ve değişerek yayılan yer hareketine ait birçok çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında, uzun açıklıklı çelik taşıyıcı sistemine sahip fabrika yapısının farklı mesnet koşullarına sahip olması ve mesnetlere farklı yer hareketi etki etmesi durumunda yapının dinamik davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Çeliğin Tarihçesi

Mühendislik yapılarında yapısal çelikten önce, ilk olarak demir yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Demir malzemesi kullanılarak ilk inşa edilen mühendislik yapıları köprülerdir. İlk köprü 1778'de İngiltere'de 31 m açıklıklı olarak font kullanılarak imal edilmiştir. Yüksek dereceli fırınlarda demirin eğritilmesi ile oluşan %2'den fazla karbona sahip demir-karbon alaşımına "font" denilmektedir.(Hasol, 1979). Fontun basınç mukavemeti yüksek, çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, inşa edilen köprülerde hep basınç gerilmeleri alacak taşıyıcı sistemler

(kemer sistemler gibi) kullanılmıştır. Hem basınç hem çekme mukavemetinin de yüksek olduğu dövme ve dökme çelik ile köprülerde font kullanımı da bitmiştir.

Çelik yapılardaki gelişmenin ikinci aşaması, 20. yüzyıl başında kaynaklı birleşimlerin uygulama alanına girmesiyle öncelikle uzun ve yüksek yapılarda, devamındaki süreçte köprülerde kullanılmıştır. Böylelikle fabrikalarda üretilen çelik taşıyıcı elemanların şantiyede birleştirilmesi ile modern çelik konstrüksiyon anlayışı ortaya çıkmıştır.

Çelik taşıyıcı sistemin avantajlarının fazla olması sebebiyle köprülerin yanında bina inşaatında da kullanılmaya başlanılmıştır. Çelik iskelet ile inşa edilen ilk bina, 1876 yılında inşa edilen Dithering Ton Flax Mill yapısıdır.

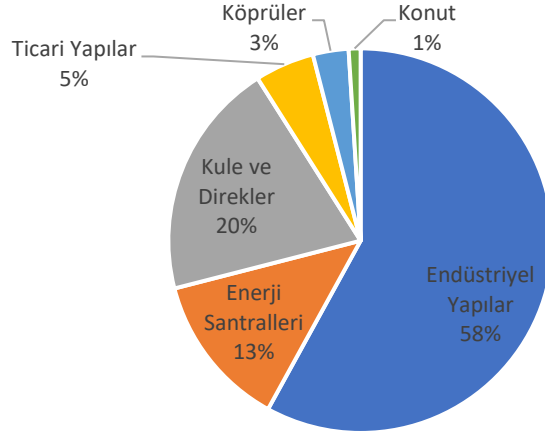
Chicago’da 1885 yılında yapılan ve William Le Baron Jenny’nin tasarladığı 12 katlı, 55 m yüksekliğe sahip Home Insurance Binası, çelik iskelete sahip ilk gökdeldir. Bina basit bir taşıyıcı sisteme sahip olup, silindir dökme demir kolonlar ve çelik I kirişlerden oluşur (Gülbüz, 2002).

1851 yılında Londra Hyde Park’ta yapılan Uluslararası Endüstri Fuarı Binası (Crystal Palace), bu konudaki en önemli eserlerden biridir. Yapıyı oluşturan bütün bileşenler endüstriyel olarak düşünülmüş ve 70000 m² gibi 9 ay gibi kısa bir zamanda yapılmıştır. 3800 ton dökme demir, 700 ton işlenmiş demir ve 90000 m² cam kullanılarak yapı inşa edilmiştir.

Crystal Palace Hyde Park’taki alandan kaldırılarak Sydenham’da tekrar inşa edilmiştir. Bu bakımdan çelik uygun bağlantı ve aparat sistemleri ile sokulup tekrardan başka bir alana kurulabilmektedir. Ancak Crystal Palace binası, 1936 yılındaki bir yangında atıl duruma geldi.

Çelik üretiminde ülkemiz dünyada ön sıralarda yerini almaktadır. Ülkemizdeki çelik fabrikaları 7-10 *10⁶ m² alanı inşa edecek üretim kapasitesine sahiptir. Türkiye ve Avrupa ülkeleri arasında kullanılan üretim teknolojileri açısından büyük farklılıklar yoktur. Üretiminde kullanılan teknolojiler aynıdır. Ancak bu potansiyel inşaat sektöründe aynı düzeyde değildir.

Türkiye’deki çelik yapıların %60’ı endüstriyel yapılardan oluşmaktadır. Buna kule ve enerji sistemleri yapıları dahil edilmesi durumunda bu oran %90’lara varmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi %10’luk payı ticari yapı ve köprü oluşturmaktadır (Altay vd., 2005).



Şekil 2. Türkiye’de çelik yapıların dağılımı

1.4. Çelik Kullanımında Değerlendirilmesi Gereken Unsurlar

Yapıların taşıyıcı sisteminin seçiminde yapının kullanım amacı, mimari özellikleri, yapım maliyeti, zaman, şantiye konumu, bölge şartları, ulaşım, gerekli teknik personel ve ekipman gibi konular dikkate alınmalıdır. Bu gibi değerlendirmelerle, çeliğin taşıyıcı sistem olarak seçilmesi için avantaj ve dezavantajlarının incelenmesi gerekmektedir.

1.4.1. Yapılarda Çelik Kullanımının Sağladığı Avantajlar

Yapı elemanı olarak çelik kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem olarak çelik malzemenin kullanılmasının sağladığı avantajlar üç ana grupta incelenebilir:

1.4.1.1. Uygulama Açısından Avantajları

- Yapı çeliği işçiliğinin büyük kısmı teknolojik olarak gelişmiş fabrikalarda, uzmanlar kişiler gözetiminde ve vasıflı işçiler tarafından yapılmaktadır. Gelişmiş atölyelerde üretilen parçaların birçoğu benzer olduğu için otomatik makineler kullanılmaktadır. Üretim hatası olma ihtimali oldukça azdır. Bu sebeple üretici şirketler garanti verebilmektedir.
- Betonarme yapım yönteminden farklı olarak, fabrikalarda üretilen çelik elemanlar sahada montaj edilebilir. Bu şekilde prefabrike olarak inşa edilen

yapılar “kuru inşaat” olarak tanımlanmaktadır. Çelik imalatların hava şartlarına bağılılığı oldukça az olduğundan yılın her döneminde inşa edilebilir. Bu husus ülkemizde yılın büyük bir bölümünde, hava şartlarından dolayı inşaat sektörünün durduğu doğu bölgeleri için oldukça önemlidir. Yılın büyük çoğunluğunda imalatın devam etmesi sebebiyle çelik taşıyıcı sistem betonarme taşıyıcı sisteme göre daha hızlı ilerlemektedir. Özellikle endüstriyel projelerde zamanın çok önemli bir etken olması, çeliğin taşıyıcı sistem olarak seçilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte işçilik, kira vs. tüm dolaylı maliyetler azalmaktadır.

- Çelik dünyada geri dönüşümde kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Montaj sırasında kesme ve delme gibi işlemlerden kalan çelik atıklar dahi geri dönüşüme kazandırılabilir. Çelik taşıyıcı sistem elemanları, bulundukları yapıdan sökülüp başka yapılarda kolaylıkla kullanılabilir. Uygun yöntemlerle söküldüğünde mekanik ve fiziksel özelliklerinde hiçbir kayıp olmamaktadır. Betonarme yapılardan farklı olarak çeşitli etkenlerle yıkılsa dahi kullanılamaz hale gelen taşıyıcı elemanların tamamı geri dönüştürülebilmektedir.

- Çelik taşıyıcı sistem genel olarak incelendiğinde daha ekonomiktir. Ancak bu çelik yapıların ucuz bir uygulama olduğu anlamına gelmemektedir. Çünkü ucuzluk ekonomi ölçütü değildir. Tüm fayda ve kazançların değerlendirilmesiyle ekonomiklik durumu değerlendirilmelidir. Çelik kullanılması durumunda yapının maliyeti artacaktır. Ancak zaman ve çelik yapıların net güncel değeri açısından çelik kullanımı diğer yöntemlere göre %5-10 daha fazla ekonomiktir.

- İmalat aşamasındaki projelerde tasarımcılar tarafından revizeler yapılmaktadır. Bu revizelerin uygulanması imalat tamamlandıktan sonra çok zor ve maliyetli olmaktadır. Ayrıca dayanım açısından da sorun teşkil etmektedir. Örneğin betonu dökülmüş bir döşemede yeni bir kiriş ilave edilmesi durumunda epoksi maliyeti ortaya çıkacaktır. Soğuk derz oluşacaktır. Ancak çelik taşıyıcı sistemlerde revizeler soğuk derz gibi bir sorun olmadan kolaylıkla uygulanabilir.

1.4.1.2. Mühendislik Açısından Avantajları

- Geniş açıklıklı bir yapı betonarme olarak tasarlandığında çok büyük kirişler kullanılmak zorundadır. Ancak betonarmeye kıyasla çelik yapı sisteminde geniş açıklıklar oldukça küçük boyutlu kirişler kullanılarak tasarlanır. Bununla birlikte iç mekânda daha geniş alan elde edilir.
- Taşıyıcı sistemlerde güvenlik katsayısı değeri farklılık göstermektedir. İlgili güvenlik katsayısı değerleri yönetmeliklerde de belirtilmiştir. Bu yapının kullanım amacına bağlı olduğu gibi kullanılan malzemenin özelliğine de bağlıdır. Yapı çeliği betondan farklı olarak homojen ve izotropdur. Bu sebeple boyutlandırmadaki kullanılan güvenlik katsayısı değeri (μ) diğer materyallere kıyasla oldukça küçüktür.
- Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında eğilme rijitliği önemli rol oynamaktadır. Eğilme rijitliğinin parametrelerinde biri plan elastisite modülü yapı çeliğinde yüksektir. Bu sebeple çelik malzeme kullanılarak daha az hacimli taşıyıcı sistem tasarlanabilir. Bu değer yapı çeliği için ($E=2100 \text{ kg/cm}^2$), ahşap için ($E=100 \text{ kg/cm}^2$) olarak belirlenmiştir.
- Elastisite, dinamik yükler altındaki şekil değiştirmelerde enerji yutma özelliği sağlamaktadır. Betonarme yapılarda tekrarlı yüklemeler altında, tek yönlü ve sınırlı olan enerji yutma yeteneği her tekrarda azalarak bozulur ve deformasyon oluşmadan ani kırılma gerçekleşir. Çelik yapıda ise elastik sınırlar aşıldığında, çelik yapı elemanları elastisitesinin yüksek olması sebebiyle deformasyon gerçekleşir. Bunun sonucunda açığa çıkan enerji absorbe edilir ve gelen yükler altında yapı ayakta kalır. Bu durum yapı güvenliği için son derece önemlidir. Çünkü deprem anında betonarme yapılar ani kırılmaya uğrayarak insanların yapıdan uzaklaşmasına izin vermeyebilir. Ancak çelik yapıların sünek kırılması yapıdan uzaklaşmak için daha fazla süre sağlamaktadır. Ancak bu güvenli durumun oluşması için yükler düzgün bir şekilde yapıya dağıtılmalı ve birleşim bölgelerindeki bağlantılar uygun olmalıdır.
- Çeliğin öz ağırlığının yük kapasitesine oranı oldukça azdır. Bu özellikte yapının ağırlığının düşük olmasını sağlamaktadır. Geleneksel sistemlere göre yapının taşıyıcı sistem iskeleti %30-40'lara varan yüzdelerde düşmektedir. Yapı ağırlığının düşük olması, deprem anında yapıya etkiyen kuvvetlerinde

düşük olmasını sağlamaktadır. Azalan deprem kuvvetiyle taşıyıcı sistemde oluşacak olan hasarı da azalmaktadır.

- Ayrıca yapı mesnetlerine betonarme sistemlere göre daha az yük geleceğinden temel zemini zayıf olan yerlerde çelik taşıyıcı sistem seçimi daha avantajlıdır. Betonarme olarak yapılması imkânsız temeller yaklaşık %15-25 oranında daha ucuza inşa edilebilir.

- Uygulama sırasında yapılan hatalar, suyun yapıya verdiği hasar ve depremden sonra yapıda oluşan hasarlar, bina kullanıma açıldıktan yıllar sonra, taşıyıcı sistem güvenliği için kontrol edilmelidir. Çelik yapılarda sistemin her bölgesinin kontrol edilme olanağı vardır. Ancak betonarme yapılarda deneyler yapılmadan taşıyıcı sistemin kusurlarını bulmak daha zordur. Bu da ilave maliyetleri beraberinde getirmektedir.

1.4.1.3. Mimari Açısından Avantajları

- Günümüzde birçok insanın bir araya gelmesi veya büyük depoların inşa edilmesi için içinde kolon bulunmayan geniş açıklıklı alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için yüksek mukavemete sahip çelik elemanlar kullanılmaktadır.

- Bir çelik kolonun taşıma gücü, aynı kesit ölçüleri ve şartlar altında yapılan betonarme kolona göre 6 ~ 10 kat daha fazladır. Yapı kullanım alanının önemli olduğu durumlarda bu özellik oldukça önemlidir. Geleneksel sistemin aksine çelik kullanılarak inşa edilen yapılarda net kullanım alanı %3-5 daha fazladır.

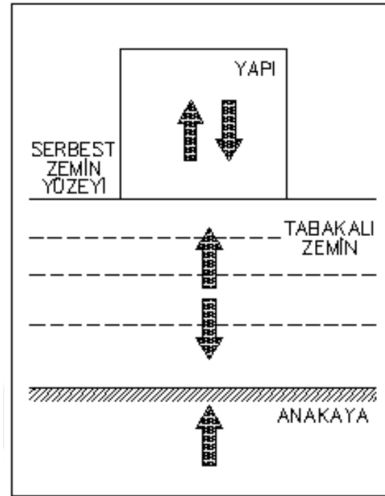
- Çelik yapılar tasarımda sonsuz esneklik sağlar. Birçok birleşim tekniği ile istenilen şekilde inşa edilebilir. Geleneksel yöntemlerin aksine tamamen sokulup başka bir alana taşınabilir.

- Mekanik ve elektrik tesisat boruları, kirişlerdeki uygun boşluklardan geçebilmektedir. Bu şekilde kat yüksekliğinde azalma meydana gelmez. Bu özellik otopark, otel ve konut fonksiyonundaki çok katlı yapılarda çelik kullanımının diğer sistemlere göre daha uygun olduğunu göstermektedir. Örneğin betonarme yapılarda bu tesisat kanalları betonarme döşeme üzerine montaj edilmektedir. Bunun için de betonarme döşemenin üzerine uygun kalınlıkta beton tabakası dökülerek hem yapı ağırlığı hem de maliyet artar.

Elektrik ve mekanik tesisatın süperpozisyonunun iyi yapılmadığı durumlarda taşıyıcı sistemde ilave şaft boşlukları açılması da gerekebilir. Bu da yapının mukavemetini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca tesisatlarsa oluşan arızalar için şap betonu ve üzerindeki kaplamalar kırılmalıdır. Ancak çelik yapım sistemi ile inşa edilmiş bir binadaki tesisat kanallarının bakım ve onarımları oldukça kolay şekilde yapılmaktadır.

1.5. Zemin Yapı Etkileşimi

Yapı mesnetlerinin oturduğu zemin ile deprem anında etkileşim içindedir. Bu etkileşim deprem, zemin ve yapı özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple zemin ve yapı etkileşimi, deprem anında zemin ve yapının birbirlerini etkilemesinden meydana gelmektedir. Zeminin özellikleri deprem kuvvetlerini üst yapıya iletirken değişikliğe sebep olmaktadır. ayrıca yapıdan dolayı da üst yapıdan zemine iletilen deprem kuvvetleri de değişkenlik göstermektedir. Bu şekilde oluşan etkileşim zemin ve yapı etkileşimi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3).



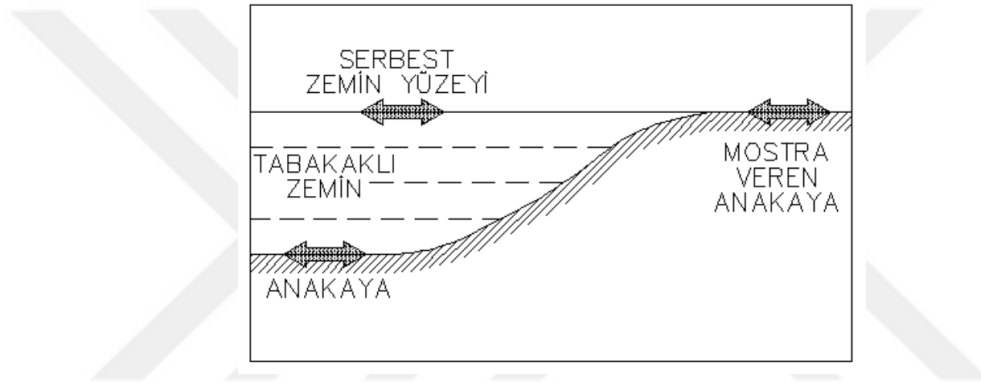
Şekil 3. Zemin yapı etkileşimi

Zemin ve yapı etkileşimine sebep olan deprem kuvvetleri iki farklı şekilde zemine ve sonrasında yapıya iletilmektedir. İlk yol mostra veren ana kaya hattı, diğeri ise tabakalı zemin kabuklarından geçtikten sonra zemine ulaşmasıdır (Şekil 4).

Zemin tabakalarından geçtikten sonra yüzeye erişen deprem kuvvetleri zeminin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Mostra veren anakayadaki

deprem kuvvetlerinin değişmediği varsayılmaktadır. Zayıf katmanlardan geçen deprem verilerine ait ivme genliklerinde artışlar meydana gelmektedir. Bu durum literatürde zemin büyütmesi olarak adlandırılır ve yapıyı etkileri olumsuz olmaktadır (Ethemoğlu, 2020).

Zemin katmanlarının sağlam olması durumunda depreme ait ivme genliklerinde küçülmeler oluşmaktadır. Bu olaya ise literatürde zemin azaltması adı verilmektedir ve yapıya etkileri olumlu olmaktadır. Bu sebeple sağlam zeminlerden geçen deprem dalgaları olması durumunda zemin ve yapı etkileşimi olmadığı varsayılmaktadır (Ala, 2007).

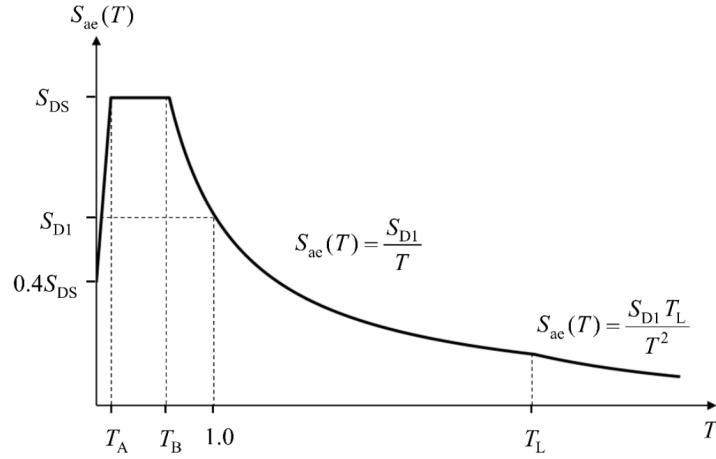


Şekil 4. Deprem için genel zemine ait enkesit

Tasarım yapılırken mesnetlerin ankastre olduğu varsayılan yapının deprem durumunda mesnetlenmesi zemin özellikleri ve yapı temeli özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu durumda yapının dinamik özelliklerini tanımlayan periyot ve mod şekilleri de değişmektedir.

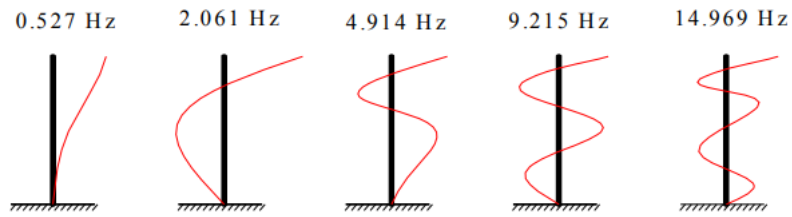
Bu sebeple deprem anında yapının davranışının doğru belirlenmesi için zemin ve yapı etkileşimi dikkate alınmalıdır.

Ancak günümüzde tasarımcılar zemin ve yapı etkileşimini göz ardı ederek tasarım yapmaktadır. Bunun yanı sıra yönetmeliklerde de yeterli oranda zemin ve yapı etkileşimine yer verilmemektedir. Yönetmeliklerde zemin ve yapı etkileşiminin dikkate alınması gereken durumlar belirtilmiştir. Zemin sınıflarına göre belirtilen geleneksel ivme spektrumları ise serbest zemin yüzeyindeki depremi ifade etmektedir (Şekil 5). Bu durumda etkileşim tek yönlü olarak sadece zeminden yapıya doğrudur (Aydinoğlu, 1977).

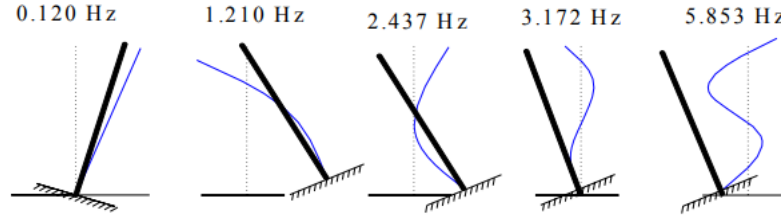


Şekil 5. Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2019)

Yapının deprem anındaki davranışı deprem kuvvetlerine, zemin özelliklerine ve üst yapıya bağlıdır. Zemin ve yapının arasındaki etkileşim, üst yapı ve yerel zeminin karakteristik özelliklerini etkilemektedir. ZYE, yapıda kütle ve rijitlik dağılımını etkileyerek sistemin genelinde frekans ve mod şekillerinin değişmesine sebep olmaktadır. Şekil 6’da mesnetlerin ankastre bağlanması ve Şekil 7’de zemin yapı etkileşiminin olması durumunda kayma dalgası hızı 50 m/s olan 12 katlı bir kulenin mod şekilleri ve frekansları verilmiştir (Pala, 2004). Böylece ZYE’nin yapı davranışındaki etkisi görülmektedir.



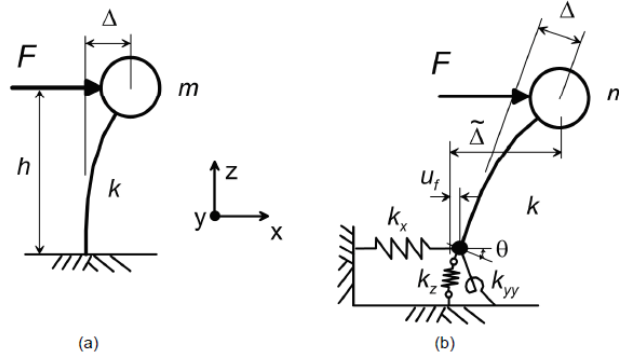
Şekil 6. Çok katlı bir yapıda mesnetlerin ankastre olması durumunda beş mod şeklinin ve frekansının değişimi



Şekil 7. Çok katlı bir yapıda zemin kayma dalgası hızının 50 m/sn olması durumunda ilk beş mod şekli ve frekansının değişimi

1.6. Zemin Yapı Ortak Davranışı

Yapıdaki mesnetlerin zemine ankastre olması ve zemin- yapı etkileşim halinde olması durumunu ifade eden modellemeler Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. a) Mesnetler ankastre bağlı, b) Zemin ve yapı etkileşimli durum (Whitman, 1969)

Mesnetleri ankastre olan tek serbestlik dereceli sistemin açısal frekansı sistemin rijitliğine ve kütesine göre Denklem (1)’de verilmiştir.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Bu denklemde ω açısal frekans, k tek serbestlik dereceli sistemin rijitliği, m ise kütesidir. Tek serbestlik dereceli sistemin periyodunu ifade eden denklem de açısal frekansa bağlı olarak Denklem (2)’de verilmiştir.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2)$$

Denklem (1) ve Denklem (2) düzenlenirse mesnetlerinden ankastre tek serbestlik dereceli sistemin periyodu Denklem (3)'de elde edilir.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3)$$

Rijitlik birim kuvvet F etkisinde oluşan deplasman Δ olduğuna göre Denklem (4) aşağıdaki gibi olur.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{F/\Delta}} \quad (4)$$

Denklem (4) düzenlenirse Denklem (5) elde edilir. Bu denklem yay ile zemine bağlı tek serbestlik dereceli sistemin periyodunun hesabında kullanılacaktır.

$$T = (2\pi)^2 \frac{m\Delta}{F} \quad (5)$$

Zemine yaylar ile bağlı (çökme, öteleme, dönme) tek serbestlik dereceli sistemin yer değiştirmesi ($\tilde{\Delta}$) Denklemi (6) ile verilmiştir.

$$\tilde{\Delta} = \frac{F}{k} + u_f + \theta h \quad (6)$$

Burada u_f tek serbestlik dereceli sistemin yatay yer değiştirmesi, θ dönmesi ve h ise yüksekliğıdir. Denklem (6) kendi içinde düzenlenirse Denklem (7) elde edilir.

$$\tilde{\Delta} = \frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} + \left(\frac{Fh}{k_{yy}} \right) h \quad (7)$$

Burada k_x x yönündeki yay ve k_{yy} dönme yayıdır. Zemine yaylar ile bağlı sistem için yer değiştirme belli olduğundan Denklem (5)'de yerine yazılarak Denklem (8) elde edilir.

$$\tilde{T} = (2\pi)^2 \frac{m}{F} \left(\frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} + \left(\frac{Fh}{k_{yy}} \right) h \right) \quad (8)$$

Zemine ankastre bağı tek serbestlik dereceli sistemin kütlesi periyoda bağı olarak Denklem (9)'da verilmiştir.

$$m = \frac{T^2 k}{(2\pi)^2} \quad (9)$$

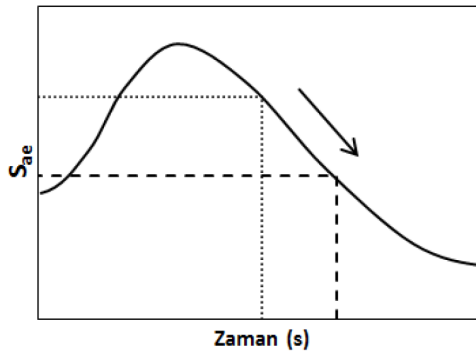
Denklem (8) ve Denklem (9) ortak olarak düzenlendiğinde Denklem (10) elde edilir.

$$\tilde{T} = (2\pi)^2 \frac{m = \frac{T^2 k}{(2\pi)^2}}{F} \left(\frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} \left(\frac{Fh}{k_{yy}} \right) h \right) \quad (10)$$

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_x} + \frac{kh^2}{k_{yy}}} \quad (11)$$

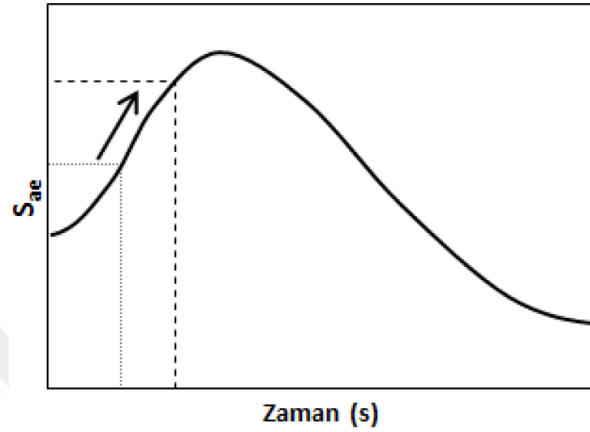
$\tilde{T}$ zemin ve yapı etkileşimi olması durumunda sistemin periyodunu ifade etmektedir. Denklem (11) incelendiğinde zemin yapı etkileşiminin yapı yüksekliğine, temel boyutlarına ve temel dönmesine bağı olduğu belirtilmiştir (Gcr, 2012).

Periyot değerlerinde oluşacak değişim, taban kesme kuvvetlerini değiştirmektedir. Yapı mesnetlerinin ankastre olması durumundaki spektral ivme, zemin-yapı etkileşimli durumdaki periyodun uzamasına bağı olarak daha büyük olabilmektedir. Periyot artışı ile spektral ivmenin azalması genellikle araştırmalarda gözlemlenen bir sonuçtur. Böylelikle zemin yapı etkileşimi olması durumunda çoğu zaman taban kesme kuvvetlerinin azalacağı sonucuna varılabilir (Şekil 9).



Şekil 9. Periyodun artışı ve spektral ivmenin azalması

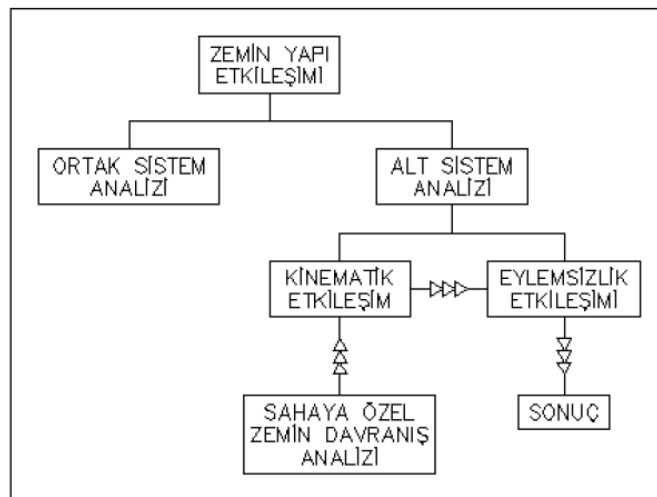
İkinci bir durumda, mesnetlerin ankastre olması halindeki spektral ivmenin zemin ve yapı etkileşimli halinden küçük olmasıdır. Bu durumda sisteme etkiyen taban kesme kuvveti azalacaktır (Şekil 10). Periyodun artması ile spektral ivmenin artışı kısa periyotlu yapılarda meydana gelmektedir (Ethemoğlu, 2020).



Şekil 10. Periyodun artması ile spektral ivmenin artışı

1.7. Zemin Yapı Etkileşimi Analiz Yöntemleri

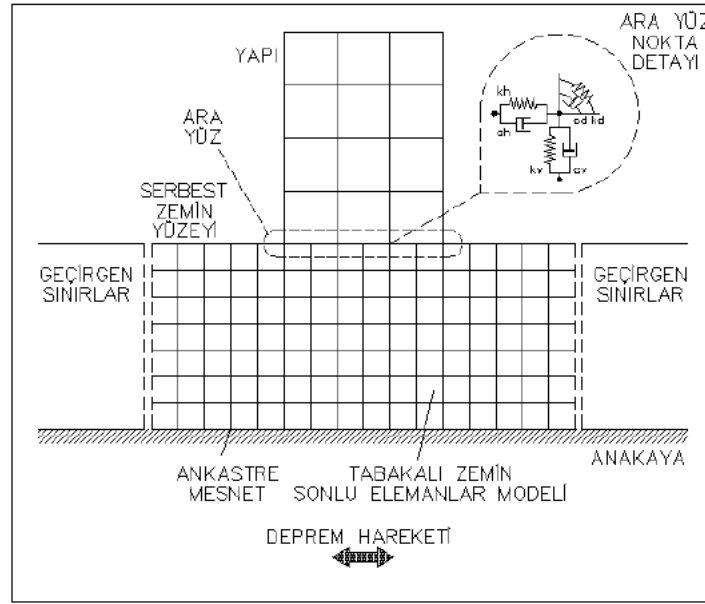
Zemin ve yapı etkileşimi Ortak Sistem ve Alt Sistem Analizleri olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Şekil 11’de bu analizler ve ilgili yöntemler şematik olarak belirtilmiştir.



Şekil 11. Zemin yapı etkileşimi analiz yöntemleri

Ortak Sistem Analizi zeminin, yapı temelinin ve yapının bir bütün olarak ele alınmasından oluşmaktadır. Bu yöntemde deprem anındaki anakaya üzerindeki zemin, yapı temeli ve yapı, anakayaya etki ettirilerek çözümlenir.

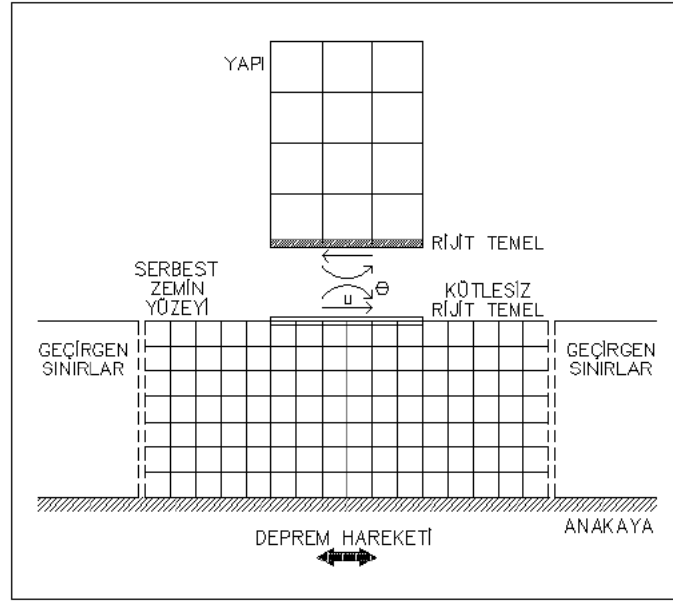
Deprem dalgalarının geri yansımaları önlemek için zemin profili her iki yanına geçirgen sınırlar tanımlamaktadır. Arayüz elemanları ile, zemin ve yapı etkileşimi sağlanmaktadır. Zemine ait özellikler ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tasarlanmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Ortak sisteme ait analiz modeli

Zemin, temel ve yapının ayrı olarak analiz edildiği sisteme Alt Sistem Analizi adı verilmektedir. Bu sistemde zemin ve temel sisteminin analiz edilmesine Kinematik Etkileşim denilmektedir. Bu analizlerdeki verilerin yapı sisteminde girdi olarak kullanılması aşamasına da Eylemsizlik Etkileşimi adı verilmektedir (Şekil 13).

Kinematik etkileşim analizlerinde temelin kütlesi göz ardı edilirken zeminin kütlesi hesaplara dahil edilmektedir. Bu sebeple deprem anında temel ve zemindeki deprem kuvvetleri farklılık göstermez. Ana kayadan tabakalı zemin vasıtasıyla yapıya ulaşan deprem kuvvetlerinden temel kuvvetleri elde edilir. Kinematik etkileşimden elde edilen bu kuvvetler eylemsizlik etkileşimi olarak yapı temelinin altına iletilir. Sonrasında yay ve sonum elemanları tanımlanarak kuvvetler üst yapı mesnetlerine iletilir ve deprem analiz sonuçları elde edilir (Ethemoğlu, 2020).



Şekil 13. Kinematik ve eylemsizlik etkileşimleri

1.8. Zemin Sınıfları

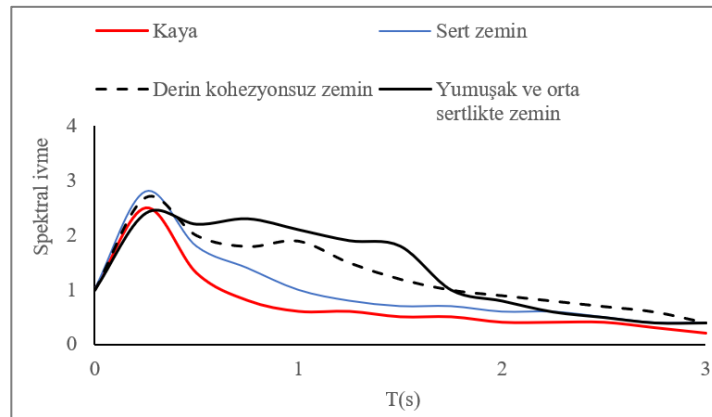
Yönetmeliklerde, zeminin standart penetrasyonu, relatif sıkılığı, serbest basınç direnci, plastisite indisi, kohezyon katsayısı ve kayma dalgası gibi verilere göre zemin sınıflandırılması yapılmıştır. Bu verilerden kayma dalgası hızı zeminin dinamik kuvvetlerini ifade eden önemli bir değerdir. Bu tez çalışmasında kullanılan yer hareketleri seçilirken (TBDY) 2019 yerel zemin sınıfları tablosunda kayma dalgası hızları dikkate alınmıştır (Tablo 1). Seçilen deprem kayıtları ile ilgili bilgiler deprem kayıtları bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Yerel Zemin sınıfları (TBDY, 2019)

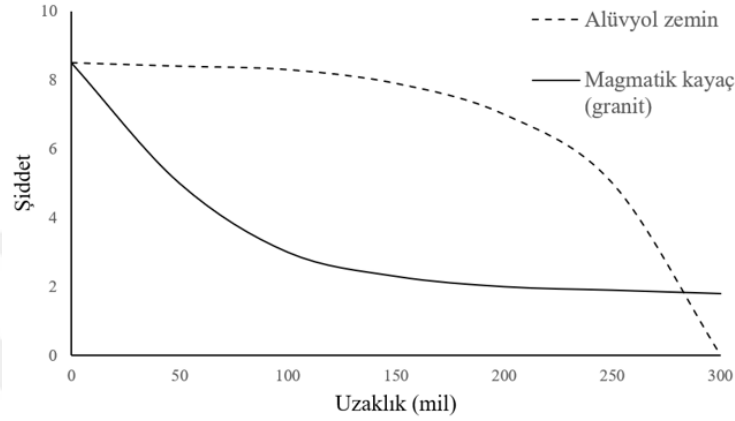
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Sınıfı Tanımı	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kaya	>1500	-	-
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	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 killler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killler, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler.			

1.8.1. Zemin Spektrumları

Spektrum eğrileri zemin sınıfına göre değişmektedir. 0.5 sn'den büyük periyotlardaki spektrum eğrilerinde farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 14). 0.5 sn'den fazla periyotlarda yumuşak ve orta sertlikteki kil dolgusu ve kohezyonsuz zeminlerde, sert zeminler ve kayaya göre spektral değerlerin fazla olduğu anlaşılmaktadır. Deprem anında uzun periyota ait yapılar daha fazla yer hareketi ile etkileşime girmektedir. Bu durum yapı açısından olumsuzluğa sebebiyet vermektedir.

**Şekil 14. Değişik zeminler için spektral ivme periyot ilişkisi (Seed vd., 1976)**

Deprem odak noktasından uzaklaştıkça deprem şiddeti azalmaktadır. Bu azalma alüvyol zeminlerde iç bükey, magmatik kayalarda ise dış bükey olmaktadır (Şekil 15). Şekil incelendiğinde 50 mil ve 200 mil arasındaki uzaklıklarda alüvyal zemindeki deprem şiddeti magmatik kayalara göre 2-3 kat fazla olduğu anlaşılmaktadır (Atasoy, 2014).



Şekil 15. Zemin farklılığı durumundaki deprem şiddeti ve uzaklık ilişkisi (Garip, 2005)

1.8.2. Zemin Periyodu ve Zemin Özelliklerinin Üst Yapıya Etkisi

Deprem anında yapı ve zemin kendi periyot değerlerine bağlı olarak salınım yapmaktadır. Yapı ve zeminin aynı periyot değerlerine sahip olması durumunda yapıda ağır hasarlar meydana gelmektedir ve bu olaya rezonans adı verilmektedir (Pampal, 2000).

Zeminin sert olması durumunda tasarlanan yapının periyodu fazla, yumuşak zeminlerin üzerine inşa edilecek yapıların ise periyodu düşük olmalıdır. Fakat düşük periyotlu yapılarda dahi zemin ve yapı etkileşimi ihmal edilmemelidir. Yumuşak bir zeminde yapılması planlanan bir yapının yüksekliğinin genişliğine oranı düşük olmalıdır (Kutanis, 2001).

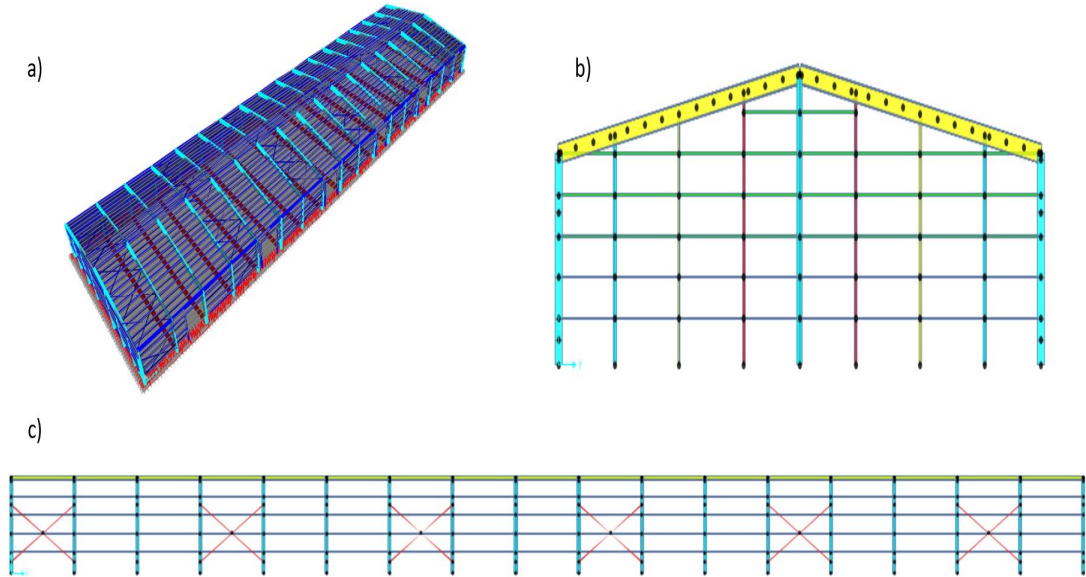
Bunların yanı sıra deprem odak noktasından çok uzakta olmasına rağmen yumuşak zemine inşa edilmiş bir yapıda artan periyot ve buna bağlı olarak artan yer hareketleri sebebiyle ağır hasarlar görülebilmektedir. Buna benzer bir olay Meksika depreminde (1985), merkez üssünden 350 km uzakta bir yapıda meydana gelmiştir (Atımtay, 2000).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

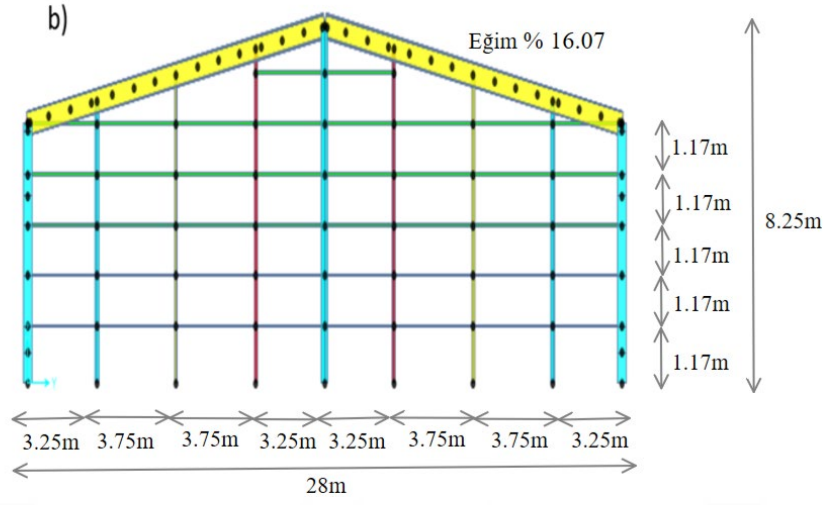
Yapı aşağıda belirtilen standart ve yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmıştır.

- TBDY 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
- TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- 2018 Çelik Yapıların Tasarım Hesap Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
- TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

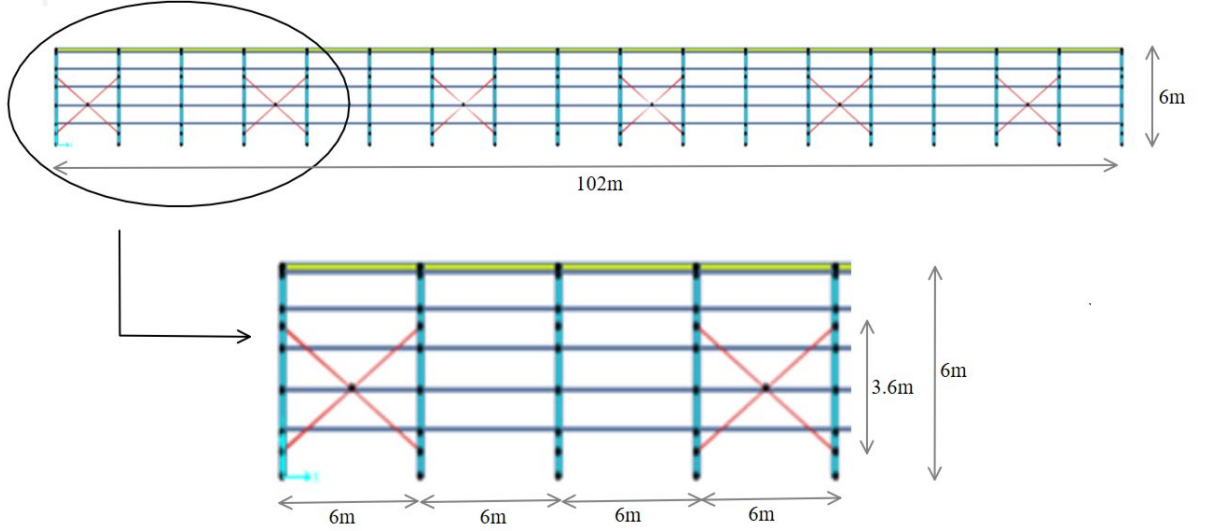
Bu tez çalışmasında, yapının mesnetlerinin farklı yer hareketi etkisine maruz kalması durumunda dinamik davranışlarının belirlenmesi amacıyla çelik taşıyıcı sistemine sahip kullanım amacı fabrika olan hangar yapısına ait perspektif görünüşü ve iki boyutlu (2D) görünüşleri Şekil 16'da verilmiştir. Hangar yapısı 102 m uzunluğa, 28 m genişliğe ve 8.25 m yüksekliğe sahip olup boyut özellikleri Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmektedir.



Şekil 16. a) Perspektif görünüş, b) 2D önden görünüş, c) 2D yandan görünüş



Şekil 17. Önden görünüş



Şekil 18. Yandan görünüş

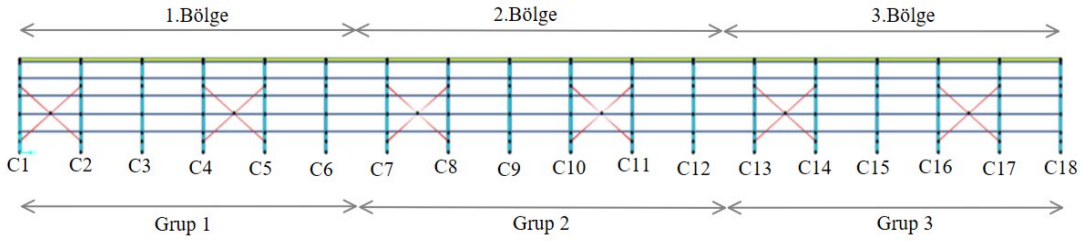
Çalışma kapsamında, hangar yapısına ait taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan profil çeşitleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Hangar yapısının taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan profil tipleri

Yapı elemanı	Tip
Kolon	HE450A
Çerçeve kirişi	IPE500
Aşık	UPN140
Çelik çapraz	TUBO-D76.3*8
Cephe kuşağı	UPN140

Bu çalışmada, uzun açıklığa sahip çelik hangar yapısının mesnetlerinin uniform yer hareketlerine ve farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan dinamik davranışların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Uniform yer hareketleri ve farklı yer hareketleri yapının mesnetlerine etki ettirilerek, SAP2000 analiz programında ayrı ayrı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde PEER veri tabanından farklı zemin durumlarına göre seçilen üç farklı depreme ait veriler kullanılmış olup, çalışmada yapının mesnetlerinin farklı olma durumları irdelenmiştir.

Hangar yapısı 102m uzunluğa sahip olup, yapının mesnetlendiği taşıyıcı elemanlara gelecek farklı yer hareketleri için, Şekil 19’da da görüldüğü gibi yapı 1.Bölge, 2. Bölge ve 3. Bölge olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Yapının uzunluğu boyunca bir aksta toplam 16 adet düşey taşıyıcı eleman (kolon) kullanılmış olup, akstaki kolonlar “C” olarak simgelenmiştir. Çalışmada altı farklı zemin durumu göz önüne alınmış olup, her bir durumda yapının mesnetlerine gelen yer hareketi Grup1, Grup2 ve Grup3 olarak adlandırılmıştır. Tablo 3’ te çalışmada dikkate alınan durumlar görülmektedir.



Şekil 19. Bölgelerin sınırlarını ve kolon numaralarını gösteren kesit görünüşü

Tablo 3. Farklı durumlara ait zemin sınıfları

Zemin durumu	Grup 1	Grup 2	Grup 3
Durum 1	ZA	ZA	ZA
Durum 2	ZC	ZC	ZC
Durum 3	ZE	ZE	ZE
Durum 4	ZA	ZC	ZE
Durum 5	ZA	ZA	ZE
Durum 6	ZE	ZE	ZA

2.1. Çelik Yapı Elemanları

2.1.1. Kolonlar

Yapılardaki dikme, ayak veya payanda gibi ince, narin, görece uzun, genellikle düşey yerleştirilen, kendi üzerindeki veya etrafında olan yüklere kendi düşey aksındaki kuvvet ile karşılık veren strüktürel basınç elemanlarına “kolon” adı verilmektedir. Kolonlar yapıda oluşan iç ve dış kuvvetleri (moment, kesme kuvveti) temele aktarmaktadır. Temele aktarılan bu yükler ise zemine iletilmektedir. Kolonlar eğilme, basınç ve kesme kuvvetine çalışacak şekilde tasarlanmaktadır.

Tek parçalı kolonlarda genellikle IP profilleri kullanılır. IP profillerin veya mevcut diğer profillerin taşıyıcılık koşullarını sağlayamaması durumunda gerekli en kesitler, çeşitli şekillerde değiştirilebilir.

Farklı profillerin kaynaklanmaları ile “çok parçalı kolon” adı verilen kolonların oluşturulmasıdır. Bu kolonlar profile saç kaynaklanarak veya farklı profillerin montajı ile yapılabilir. Birden fazla parçalı kolonlar genellikle I ve U profillerden elde edilmektedir.

Diğer bir seçenek ise, kolonların farklı profiller kullanılarak oluşturulmasıdır. Farklı profillerin arasına basınç ve eğilme durumunda deformasyon olmaması için bağlantı elemanları montajlanmaktadır.

SAP2000 programında kullanılan HEA profilleri, başlıkları geniş I profilleri demektir. Bu çalışmada, SAP2000 programında tasarlanan hangar yapısında ana taşıyıcı kolon olarak HE450A kullanılmıştır. Kullanılan HE450A kolona ait yapısal özellikler Şekil 20’de gösterilmiştir.

Section Name HE450A **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	0,44
Top flange width (t2)	0,3
Top flange thickness (tf)	0,021
Web thickness (tw)	0,0115
Bottom flange width (t2b)	0,3
Bottom flange thickness (tfb)	0,021
Fillet Radius	0,

Material S275

Property Modifiers

Section

Properties

Şekil 20. HE450A kolonun özellikleri

2.1.2. Kirişler

Yapılarda döşeme ve kullanım alanından gelen yükleri düşey taşıyıcılara ileten yapı elemanına kiriş denir. Kirişler genel olarak kesme kuvveti ve momentin etkisi altında kalmaktadır. Kiriş ana açıklığı arttığında kiriş kesit yüksekliği arttırılmalı ve sehinden kaynaklı deformasyonlar engellenmelidir.

Bu tez çalışmasında ana taşıyıcı kiriş olarak IPE500 kullanılmıştır. IPE500 kirişine ait yapısal özellikler Şekil 21’de gösterilmiştir.

Section Name IPE500 **Display Color** ■

Section Notes

Extract Data from Section Property File

Dimensions

Outside height (t3)	0,5
Top flange width (t2)	0,2
Top flange thickness (tf)	0,016
Web thickness (tw)	0,0102
Bottom flange width (t2b)	0,2
Bottom flange thickness (tfb)	0,016
Fillet Radius	0,021

Section

Material

S355

Property Modifiers

Properties

Şekil 21. IPE500 kirişinin özellikleri

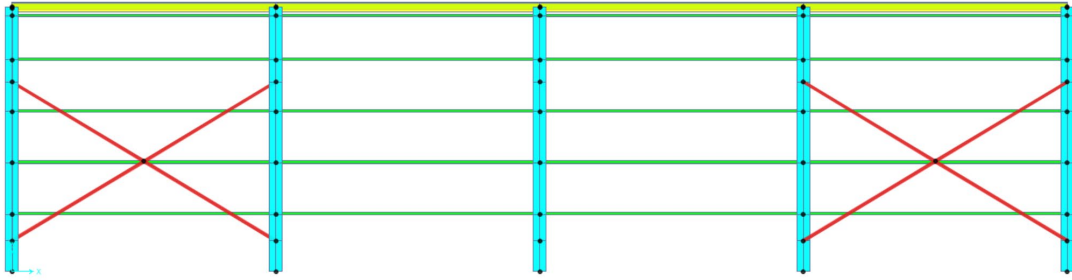
2.1.3. Çelik Çaprazlar

Çelik yapı sistemlerinde ötelenmelerin sınırlandırılması ve yük taşıma kapasitesinin büyütülmesi adına çelik çaprazlar yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Yapı sistemlerinde kullanılan bu elemanlar kesit ve yönlerine göre deprem anında farklı yapısal tepkiler oluşturmaktadır.

Deprem haricinde rüzgâr ve diğer yanal yükler karşısında yapı ötelenmesini azaltmak için moment aktarımı yapan elemanlar ve çelik çaprazlar yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Çelik yapı sistemlerinde kullanılan çelik çaprazlar moment iletecek şekilde veya mafsallı olarak montaj edilmektedir. Bu çaprazlar yapıya merkezi veya dışmerkezi olacak şekilde yerleştirilerek yatay yüklerin karşılanması sağlanmaktadır. Tasarım aşamasında merkezi olarak bağlanan çaprazlar kullanılıyor ise sistemin süneklik düzeyi yüksek veya sınırlı çerçeveli sistem olarak yapı elemanları boyutlandırılmalı ve analizler bu kabullere göre yapılmalıdır. Deprem, rüzgâr ve diğer yükler karşısında gösterdiği rijitlik ve dayanım sebebiyle merkezi çaprazlı çerçeveler,

çaprazsız moment aktaran yapı sistemlerine göre daha çok tercih edilmektedir (Bayram vd., 2019).

Bu çalışmada, örnek olması açısından Şekil 22'den de görülebileceği gibi yapının 24 m uzunluğunda kullanılan merkezi çaprazlı çerçeveye ait çelik çaprazların yerleşimi ve modelin görünüşü görülmektedir. m uzunluğunda Çelik çaprazlar için dairesel kesitli Tubo-D76.3*8 profili seçilmiş olup, ilgili profile ait özellikler Şekil 23'de gösterilmiştir.



Şekil 22. Çelik çaprazlara ait kesit görünüşü

Şekil 23. Çelik çaprazların özellikleri

2.2. Yük ve Yük Bileşimleri

Sistemin kendi ağırlıklarını oluşturan duvar, döşeme, kiriş, kolon gibi elemanların haricinde, insan, eşya, kar, deprem, rüzgâr kuvvetleri gibi yüklerde yapıya etkimektedir. Bu yükler sebebiyle yapı elemanlarında iç kuvvetler oluşmaktadır.

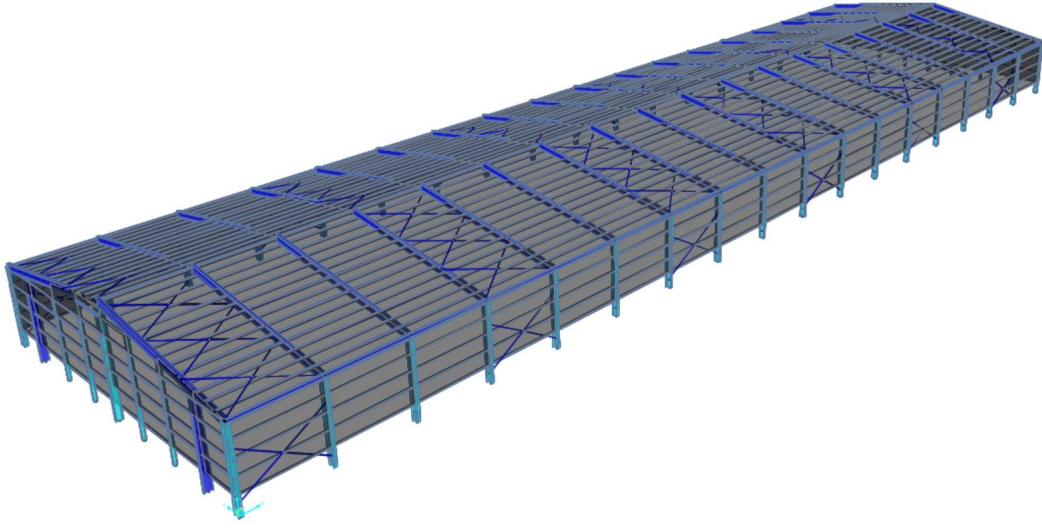
Türkiye’de yapılan sistem tasarımlarında deprem, kar ve rüzgâr haricindeki yükler için TS 498 standardından veriler elde edilmektedir. TS EN 1991-1-3 kar yükleri, TS EN 1991-1-4 ise rüzgâr yükleri için kullanılmaktadır. Uygulanan deprem yükleri için ise Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019) esas alınmaktadır.

2.2.1. Sabit Yükler

Yapı sistemi oluşturan tüm elemanların ağırlıklarından dolayı oluşturdukları tüm statik kuvvetlere sabit yükler adı verilmektedir. Sabit yükleri oluşturan yapı elemanlarına ait örnekler aşağıda belirtildiği gibidir;

- atı
- Tesisatlar
- Döşemeler
- Kirişler
- Duvarlar
- Kolonlar

Bu tez çalışmasında yapıya sabit yük olarak sadece kullanılan yapı elemanlarının birim ağırlıkları uygulanmıştır. şekil 24’te görüldüğü gibi yapının tüm alanı cephe elemanlarıyla kaplanmıştır. Yapıda kullanılan bu kaplamanın birim hacim ağırlığı 5 kgf/m²’dir.



Şekil 24. Yapıda kullanılan kaplamalara ait görünüş

2.2.2. Hareketli Yükler

Yapı sistemine yer değişerek etkiyen statik yükler hareketli yük olarak tanımlanmaktadır. Hareketli yükler birçok parametreye bağlı olduğundan etki edeceği kuvvet değeri ve yeri tam olarak saptanamamaktadır. Bu sebeple belirli kabuller ışığındaki yaklaşıklıklarla yapıya etki ettiği varsayılmaktadır. Tasarım programlarında ve yönetmeliklerde “Q” harfi hareketli yük olarak tanımlanmaktadır. TS 498’e göre hareketli yüklere ait veriler Tablo 4’te gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında hareketli yükler yapıya tanımlanmamıştır.

- Yapı üzerindeki canlılar
- Eşya
- Depolama malzemeleri
- Makineler
- Araç ve gereçler
- Vinçler
- Taşıtlar
- Yağmur
- Kar

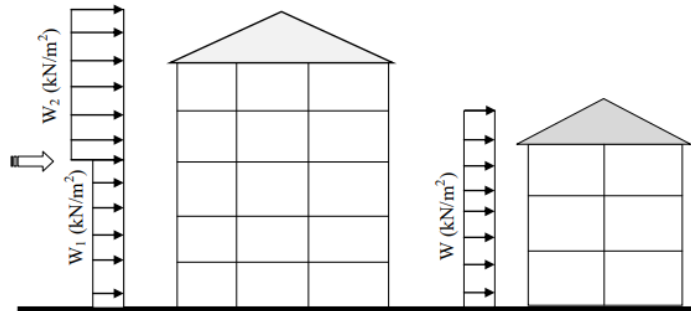
Tablo 4. TS498:1997'e göre hareketli yükler

Yapı Tipi	kN/m ²
Çatı döşemesi	1.5
Konut odaları	2.0
Konut koridorları	2.0
Konut merdivenleri	3.5
Sınıflar, anfiler, poliklinik odaları	3.5
Konut merdivenleri sahanlıkları	3.5
Konut balkonları	5.0
Tiyatro ve sinemalar	5.0
Kütüphane, arşiv döşemeleri	5.0
Hastane, okul, büro merdivenleri	5.0
Büro, hastane, okul, sinema koridorları	5.0
Garajlar (en fazla 2.5 t olan araçlar için)	5.0
Tribünler (ayakta)	7.5

2.2.3. Yatay Yükler

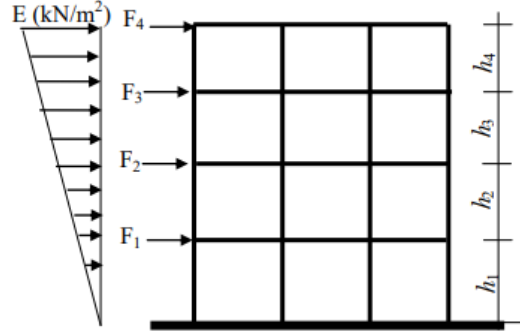
Yapı sistemine yatay olarak etki eden rüzgâr, deprem, toprak basıncı ve sıvı basıncı gibi statik veya dinamik yükler yatay yük olarak adlandırılmaktadır.

Rüzgâr yükü ve deprem kuvvetlerinin aynı zamanda yapıya etkilediği varsayılarak hesaplar yapılmaktadır. Ayrıca yapı sisteminin sadece kısa kenarı doğrultusundaki rüzgâr yükleri hesaba katılmaktadır. Çünkü yapı sisteminin rijitliği kısa kenar doğrultusunda daha az ve rüzgâr etkisi daha fazla olabilmektedir. TS 498 verilerine göre yapıya etki edecek rüzgâr yükleri hesabı yapılmaktadır. Rüzgâr yüklerinin yapı yüzeyi boyunca eşit dağıldığı varsayılmaktadır. Ancak rüzgâr yüklerinin yüzeye eşit dağıldığı kabulüne göre hesap yapmak zorunlu değildir (Şekil 25).

**Şekil 25.** Yapı yüzeyine etkiyen rüzgâr yükleri

Yapı sistemine etki eden deprem kuvvetleri aynı anda sadece bir yönden yapıya etki ettiği varsayılmaktadır. Ayrıca deprem kuvvetlerinin düşey bileşeni hesaplara

dahil edilmemektedir. Ancak bazı durumlarda düşey bileşen hesaplara dahil edilerek yapı sistemi açısından olumsuzluk oluşmaması sağlanmaktadır. Deprem kuvvetlerinin yapı yüzeyi boyunca üçgen yayılı olarak yapıya etkidiği varsayılmaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. Yapı yüzeyine etkiyen deprem yükleri

Bu tez çalışmasında kullanılan üç farklı depreme ait veriler kullanılmıştır. Kullanılan bu depremlere ait veriler deprem kayıtları bölümünde belirtilmiştir.

2.2.4. Diğer Yükler

Yukarıda verilen yükler dışında kalan yükler olarak adlandırılmaktadır.

- Yapı sistemindeki farklı sıcaklıkların oluşturduğu yükler
- Yapıdaki sünme ve büzülmeden dolayı oluşan yükler
- Yapı temelindeki farklı oturmalardan kaynaklanan yükler
- Buz kütlelerinin oluşturduğu yükler
- Patlama, dalga veya montajlardan kaynaklanan yükler

2.2.5. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

YDKT yönteminde tüm yapı elemanları yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım R_u , elemanların tasarım dayanımından R_d eşit veya daha küçük olması prensibine dayanmaktadır. Buna göre YDKT yönteminde verilen koşul Denklem (12) dekinde uygun olarak hesaplanacaktır.

$$R_u \leq R_d = \phi R_n \quad (12)$$

Terimlerin anlamları aşağıdaki gibidir.

R_u : Yapıya etkiyen YDKT yük birleşimleri etkisi altında hesaplanan gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

$\emptyset$: Belirlenmiş dayanım katsayısı.

R_d : Tasarım dayanımıdır. ($= \emptyset R_n$)

YDKT yönteminde hesaplanan gerekli dayanım R_u aşağıdaki yük birleşimleri ile hesaplanacaktır. Bu yük birleşimleri aşağıdaki gibi yük birleşimleri oluşturulmuştur.

$$\begin{aligned} &1.4G \\ &1.2G + 1.6(S \text{ veya } Q_r \text{ veya } R) \\ &1.2G + 1.6Q + 0.5(S \text{ veya } Q_r \text{ veya } R) \\ &1.2G + 1.6Q(S \text{ veya } Q_r \text{ veya } R) + (0.8W \text{ veya } Q) \\ &1.2G + 1.0Q + 0.5(S \text{ veya } Q_r \text{ veya } R) + 1.6W \\ &1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E \\ &0.9G + 1.6W \\ &0.9G + 1.0E \end{aligned} \tag{13}$$

Bu çalışmada YDKT yöntemi (TBDY, 2019) kullanılarak kombinasyonlar oluşturulmuştur.

2.2.6. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

GKT yönteminde tüm yapı elemanları yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım R_a , Güvenli dayanıma R_g eşit veya daha küçük olması prensibine dayanır. Buna göre GKT yönteminde verilen koşul Denklem (14)'dekine uygun olarak gerçekleştirilecektir.

$$R_a \leq R_n \Omega = R_g \tag{14}$$

Bu terimlerin anlamları aşağıda verilmiştir.

R_a : Yapıya etkiyen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

Ω : Belirlenen güvenlik katsayısı.

R_g : Güvenli dayanım ($= R_n / \Omega$).

GKT yönteminde (TBDY, 2019) hesaplanan gerekli dayanım R_a aşağıdaki yük birleşimleri ile hesaplanacaktır. Bu yük birleşimleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

G

G + Q

G + (S veya Q_r veya R)

G + 0.75Q + 0.75(S veya Q_r veya R)

G + 0.1W

G + 0.7E

G + 0.75Q + 0.75(S veya Q_r veya R) + 0.75W

G + 0.75Q + 0.75S + 0.75(0.70E)

0.6G + W

(15)

2.3. Deprem Kayıtları

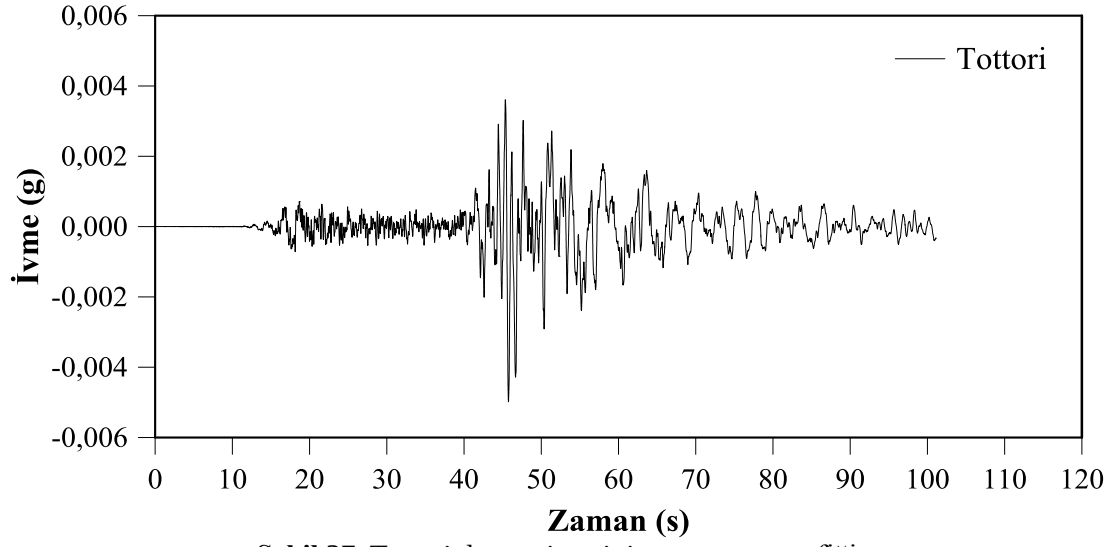
Deprem kayıtlarının nasıl belirlenmesi gerektiğine dair kriterler yönetmeliklerde belirlenmiştir. Yapıların dinamik analizinde geçmiş deprem kayıtlarına ait verilerinin kullanılması tercih edilen bir yöntemlerden biridir. Bu çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtları belirlenirken kayma dalgası hızları referans alınmıştır. TBDY 2019 yönetmeliği zemin sınıfı tablosuna göre çalışmada kullanılacak olan deprem kayıtları kayma dalgası hızları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri tabanından elde edilmiştir. Kayma dalgası hızlarına göre farklı zemin sınıflarına ait yer hareketleri seçilmiş olup, farklı yer hareketi etkisindeki hangar yapısına ait dinamik analizlerde bu yer hareketleri dikkate alınmıştır. ZA, ZC ve ZE zemin sınıfları için belirlenen depremlerin özellikleri Tablo 5'te verilmiştir.

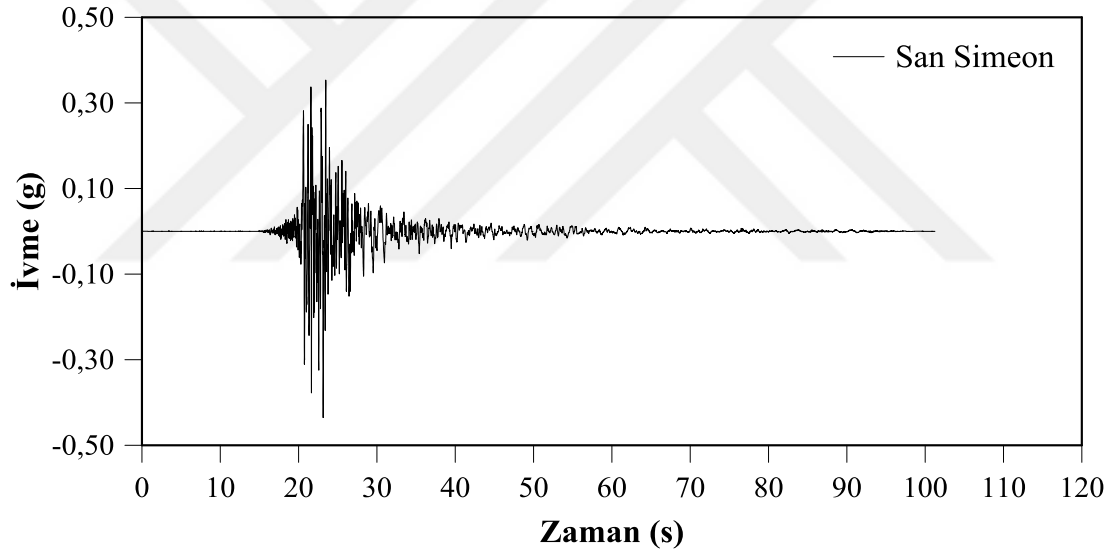
Tablo 5. Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri (PEER-2023)

Kayıt Sıra Numarası (RSN)	Deprem Adı	Yıl	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Vs30 (cm/s)	Zemin Sınıfı (TBDY, 2019)
6434	Tottori	2000	6.61	0.01	2.12	2.51	2100	ZA
4031	San Simeon	2003	6.50	0.44	30.73	12.71	410.66	ZC
8123	Christchurch	2011	6.20	0.52	69.49	27.06	141	ZE

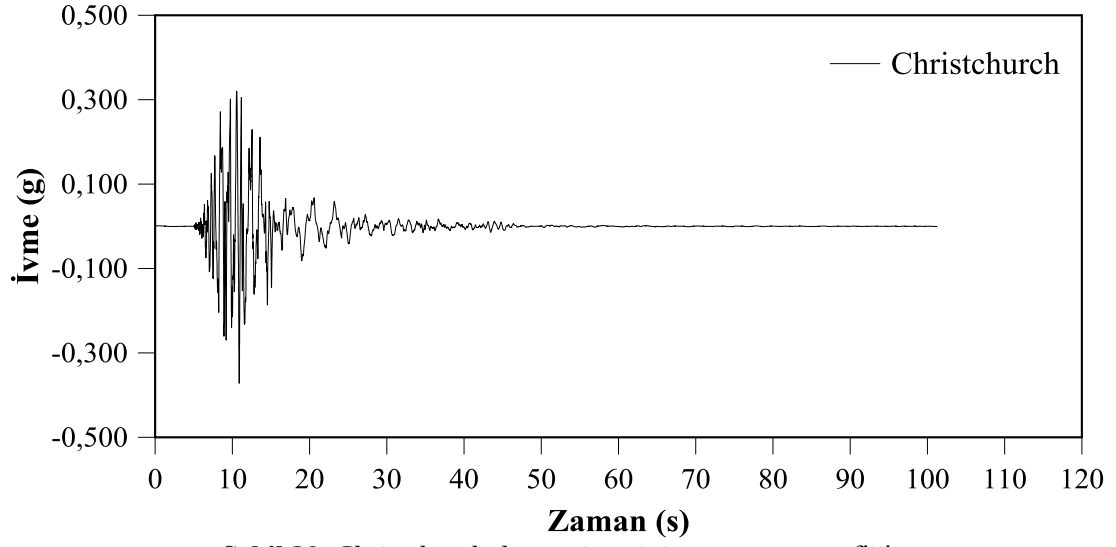
Bu çalışmada kullanılan depremlere (Tablo 5) ait ivme, hız ve deplasman grafikleri Şekil 27- 35'te verilmiştir.



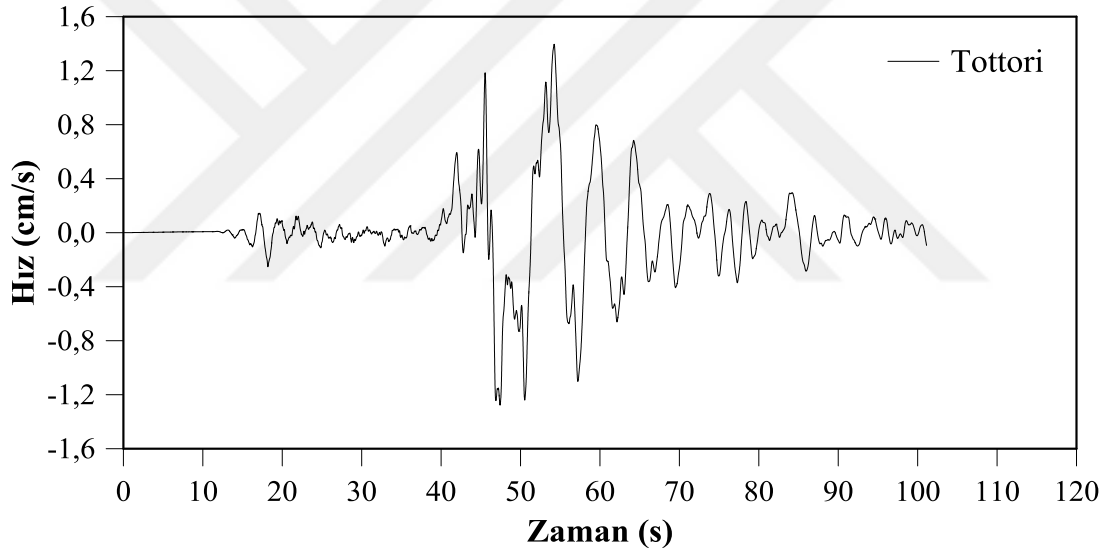
Şekil 27. Tottori depremine ait ivme-zaman grafiği



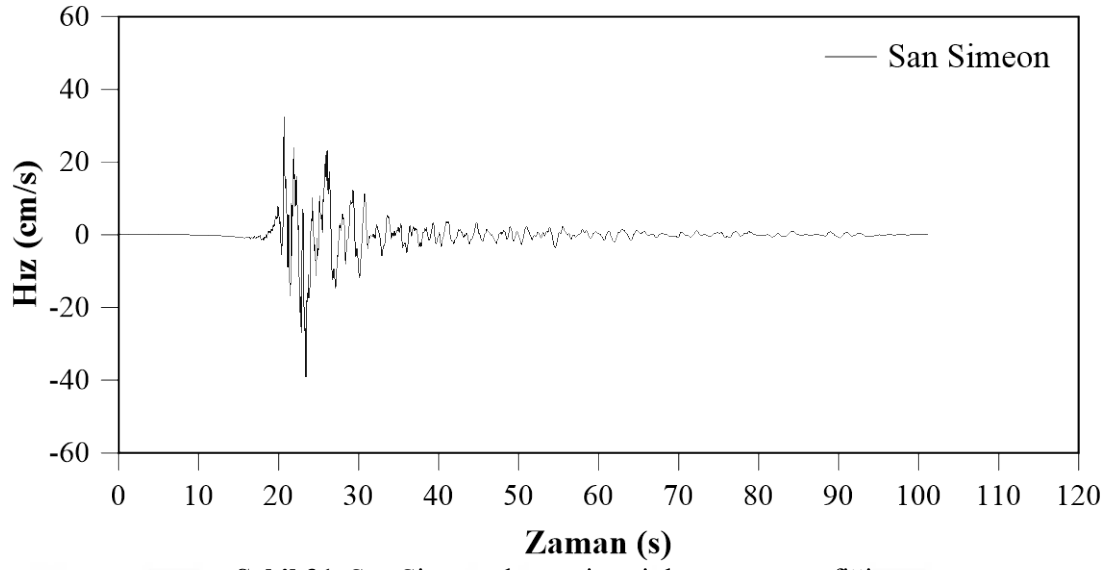
Şekil 28. San Simeon depremine ait ivme-zaman grafiği



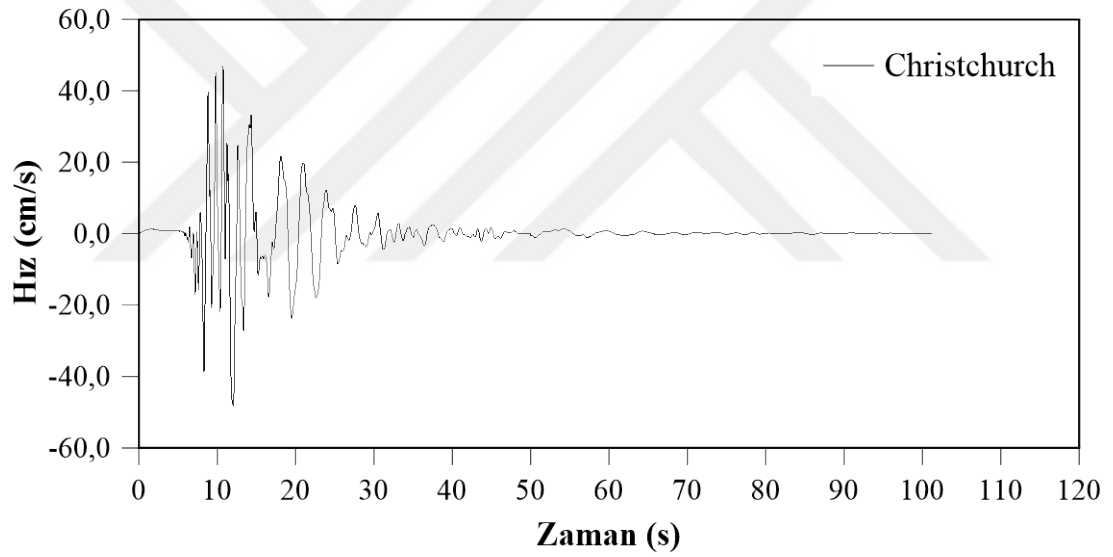
Şekil 29. Christchurch depremine ait ivme-zaman grafiği



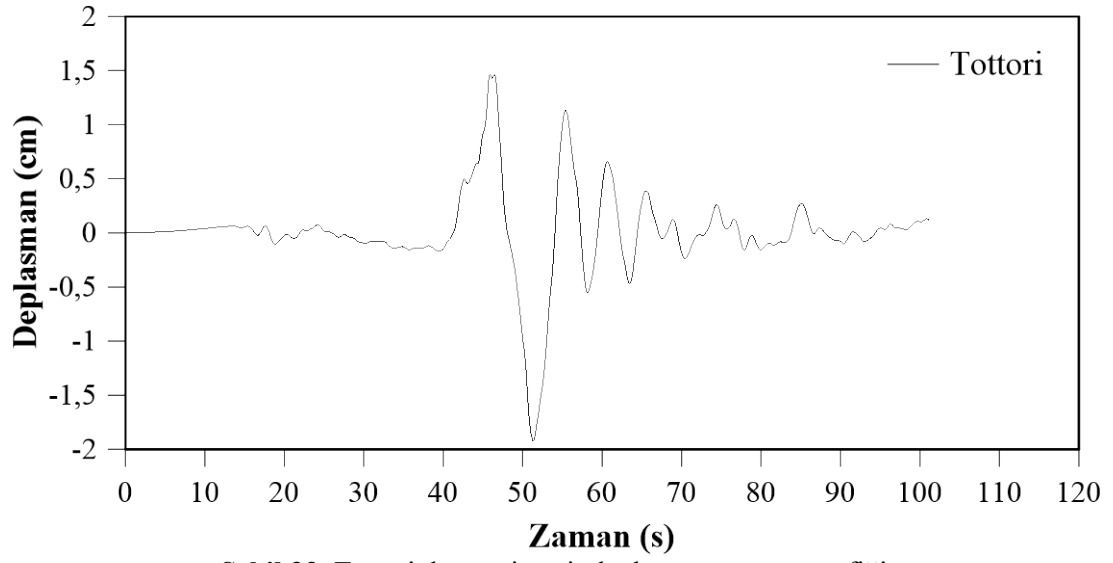
Şekil 30. Tottori depremine ait hız-zaman grafiği



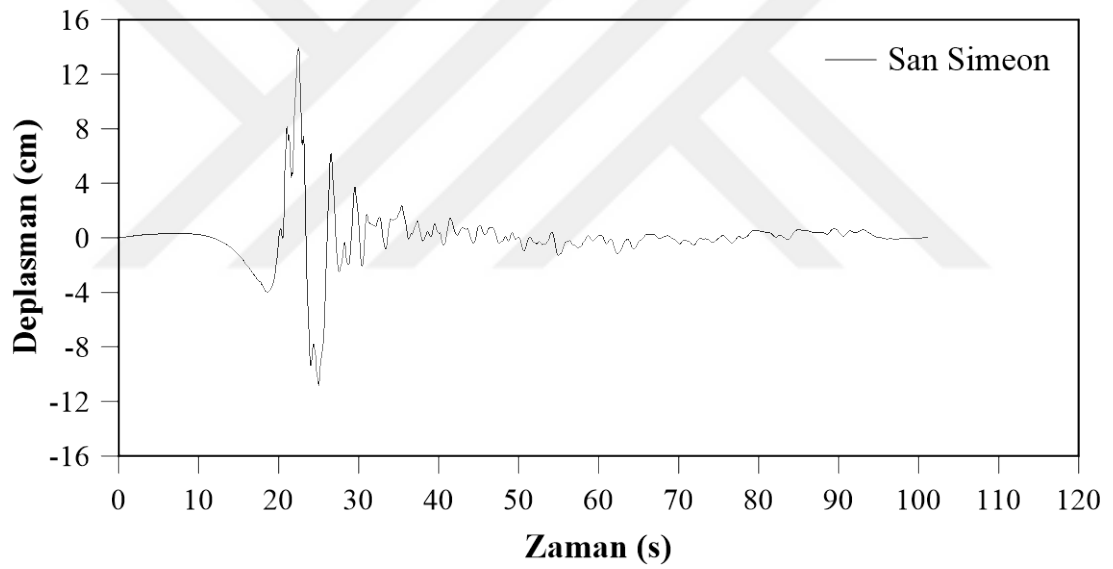
Şekil 31. San Simeon depremine ait hız-zaman grafiği



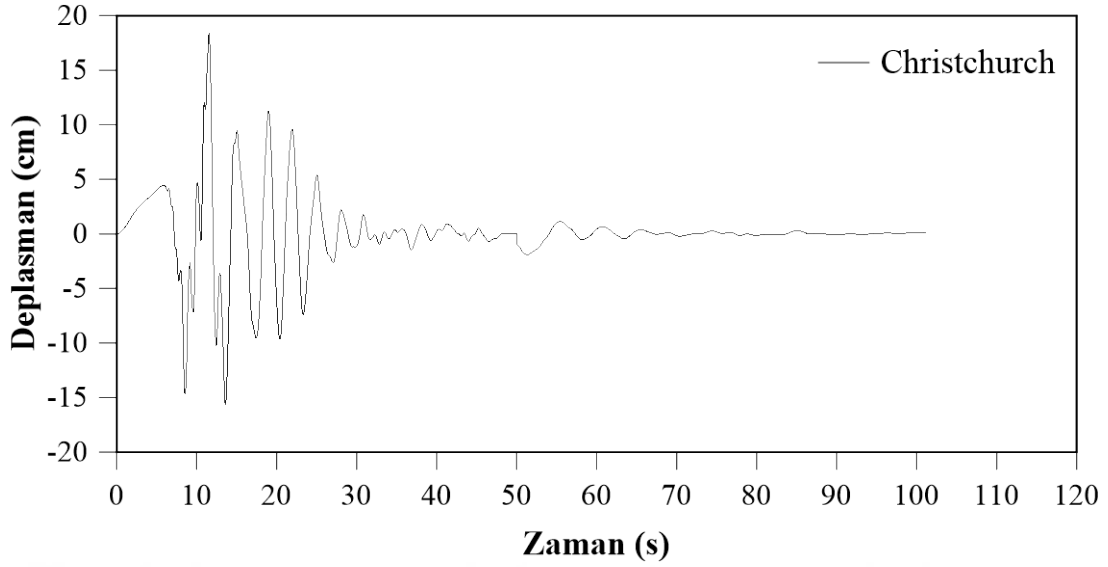
Şekil 32. Christchurch depremine ait hız-zaman grafiği



Şekil 33. Tottori depremine ait deplasman-zaman grafiği



Şekil 34. San Simeon depremine ait deplasman-zaman grafiği



Şekil 35. Christchurch depremine ait deplasman-zaman grafiği

2.4. Modal Analiz

Yapı sistemlerinin deprem anındaki davranışının doğru belirlenmesi için yeterli modda analiz yapılarak değerlendirme yapılmalıdır. Bina türü yapıların modal analizinde ilk üç mod yeterli olmaktadır. Köprü gibi uzun açıklığa sahip yapıların modal analizinde daha çok modlu analizler yapılarak değerlendirme yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada ilk 12 mod dikkate alınmış olup ilgili modal sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

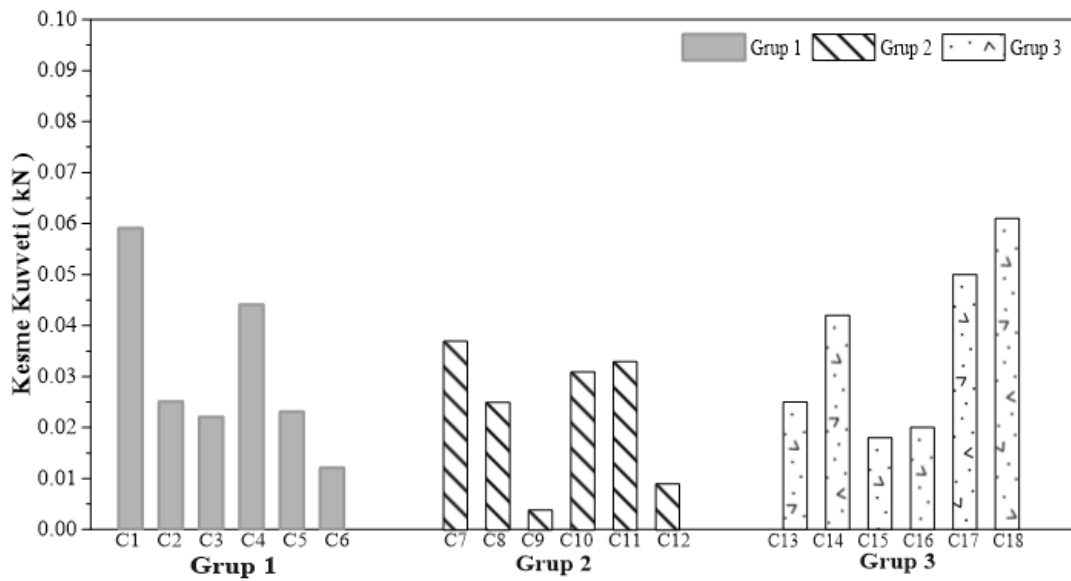
Tablo 6. Hangar yapısına ait özdeğer, doğal frekans ve periyot değerleri

Mod	Özdeğer (rad/s) ²	Doğal Frekans (Hz)	Periyot (s)
1	300.953	2.761	0.368
2	301.471	2.763	0.365
3	301.794	2.765	0.362
4	301.794	2.765	0.355
5	301.798	2.765	0.350
6	302.605	2.769	0.348
7	338.011	2.926	0.346
8	338.466	2.928	0.340
9	338.717	2.929	0.339
10	338.717	2.929	0.337
11	338.720	2.929	0.333
12	339.265	2.931	0.331

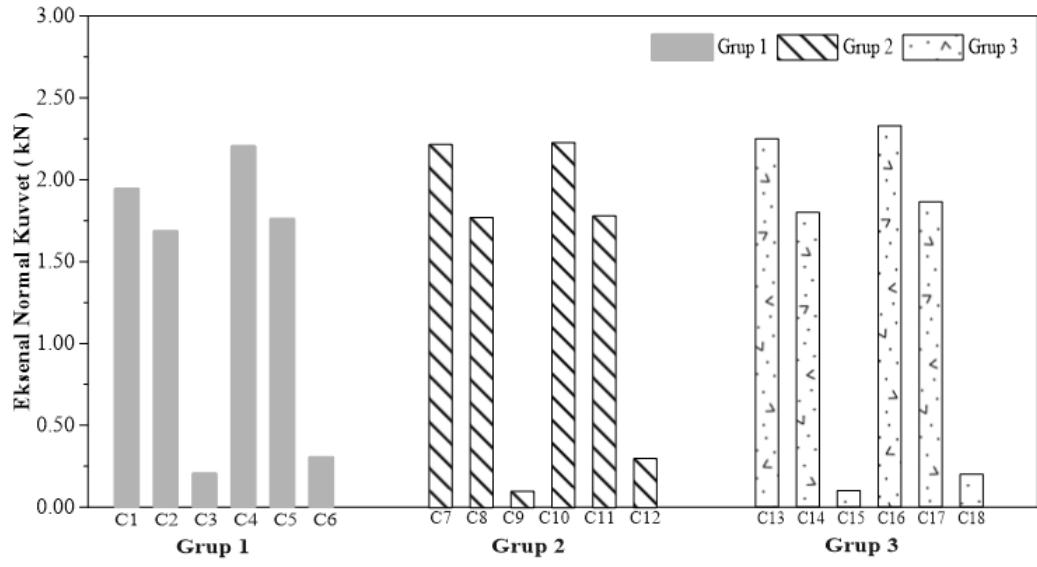
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Durum 1: Tüm mesnetlerin ZA zemin sınıfı olması (ZA, ZA, ZA)

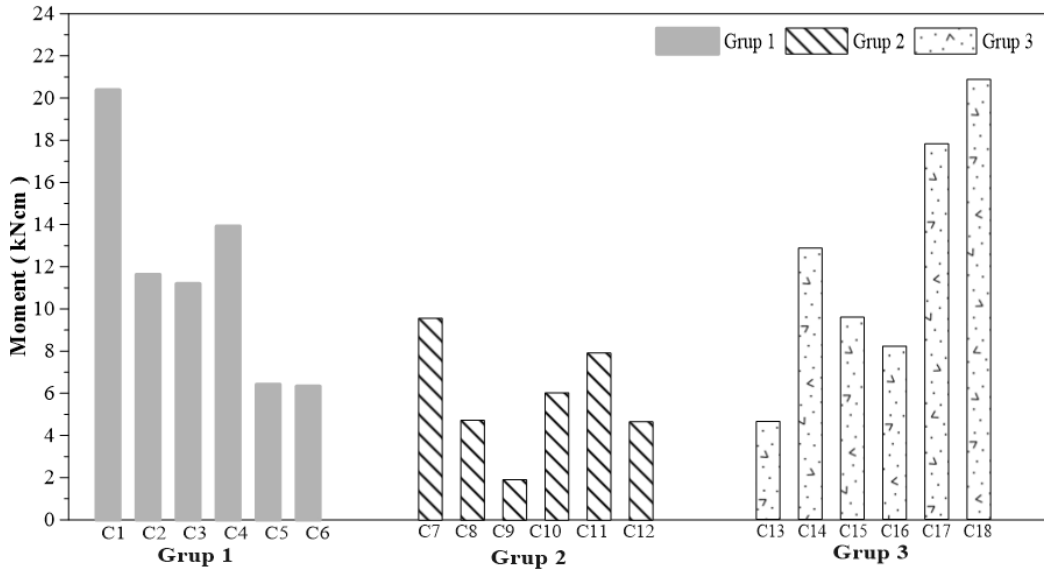
Çalışmada hangar yapısının tüm mesnetlerinin ZA zemin sınıfında bulunması durumunda ve yapının tüm mesnetlerinin uniform yer hareketi etkisinde olması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 36-39’da gösterilmiştir.



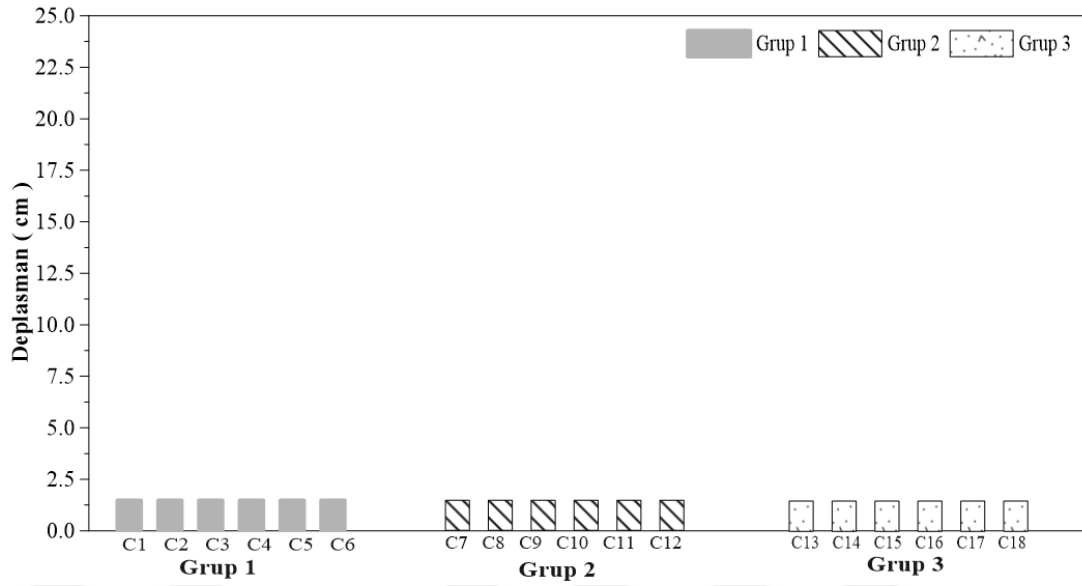
Şekil 36. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 1)



Şekil 37. Kolonlarda oluşan ekrenal normal kuvvet (durum 1)



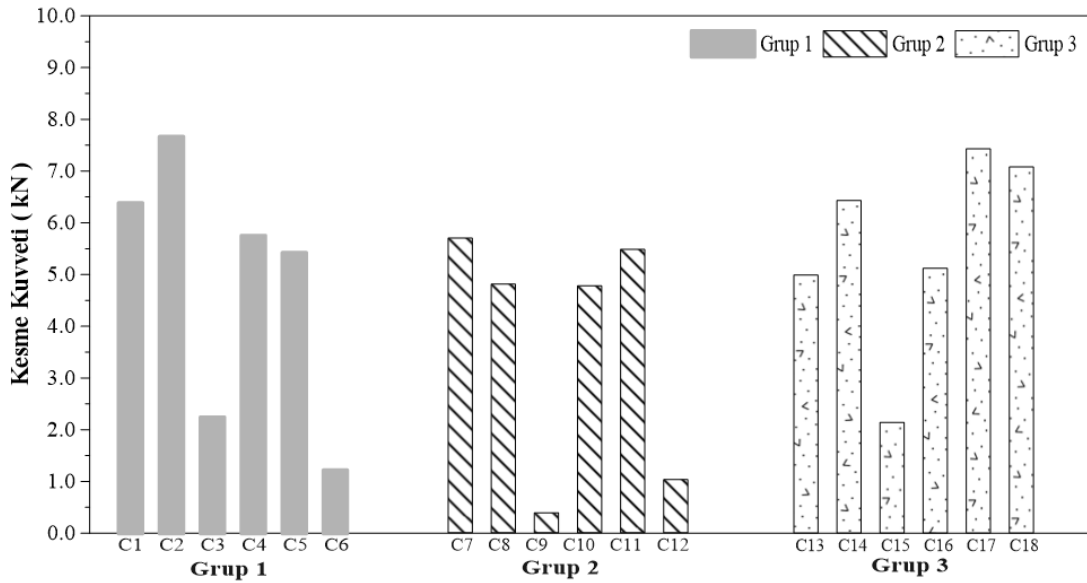
Şekil 38. Kolonlarda oluşan moment (durum 1)



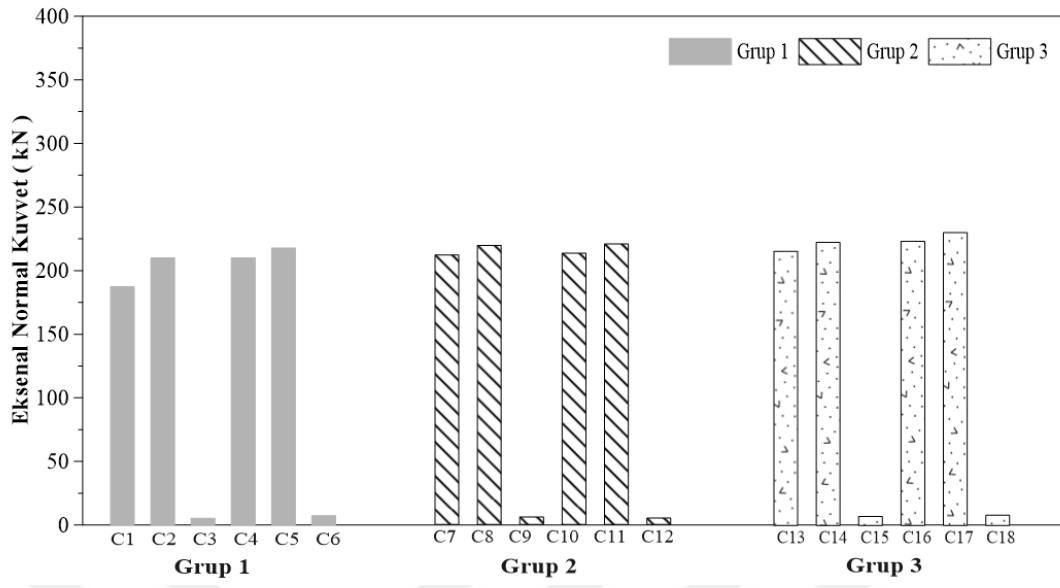
Şekil 39. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 1)

3.2. Durum 2: Tüm mesnetlerin ZC zemin sınıfı olması (ZC, ZC, ZC)

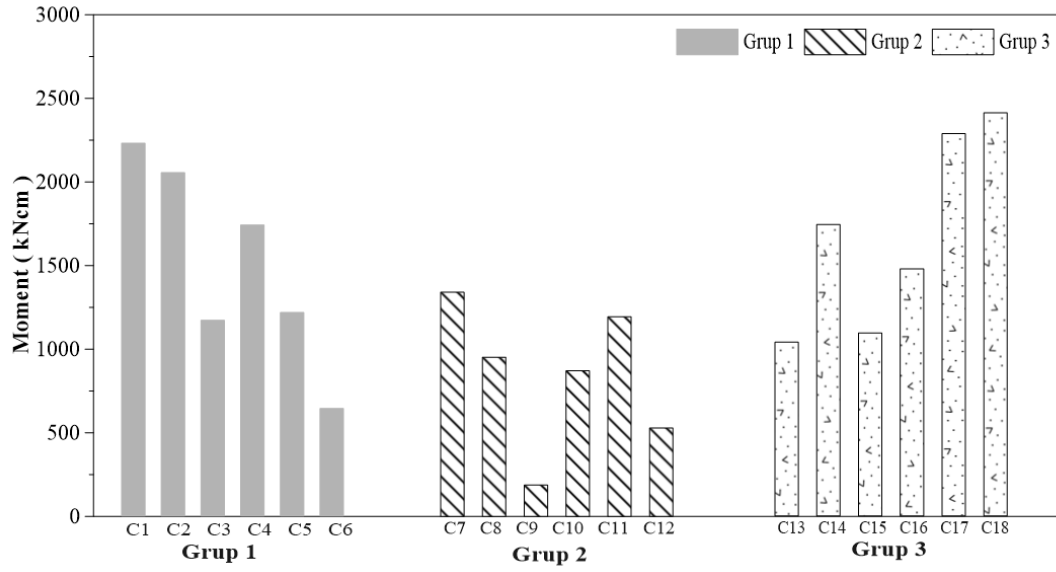
Çalışmada hangar yapısının tüm mesnetlerin ZC zemin sınıfında bulunması durumunda ve yapının tüm mesnetlerinin üniform yer hareketi etkisinde olması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 40-43'te gösterilmiştir.



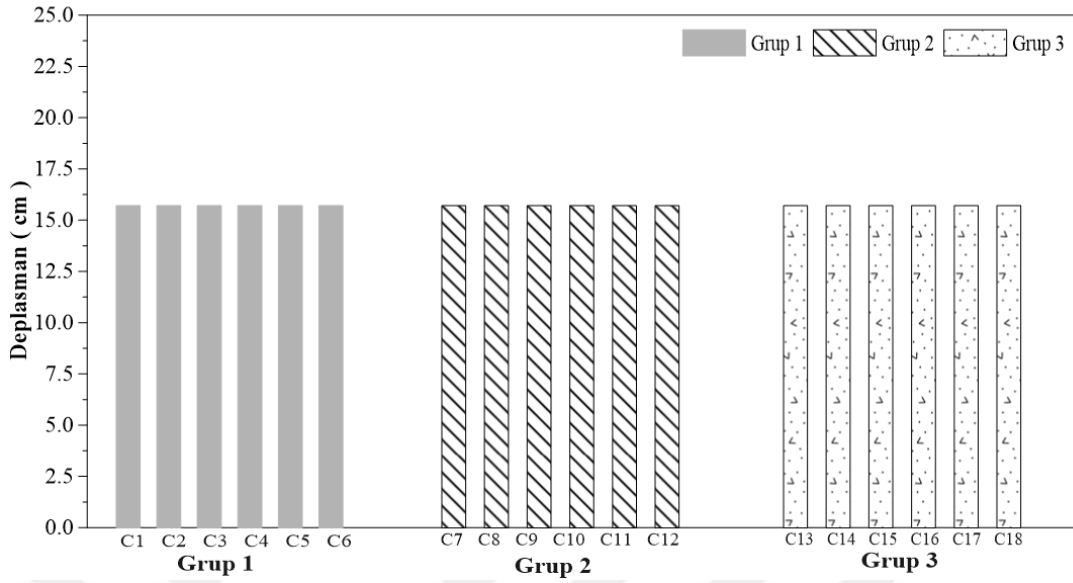
Şekil 40. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 2)



Şekil 41. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 2)



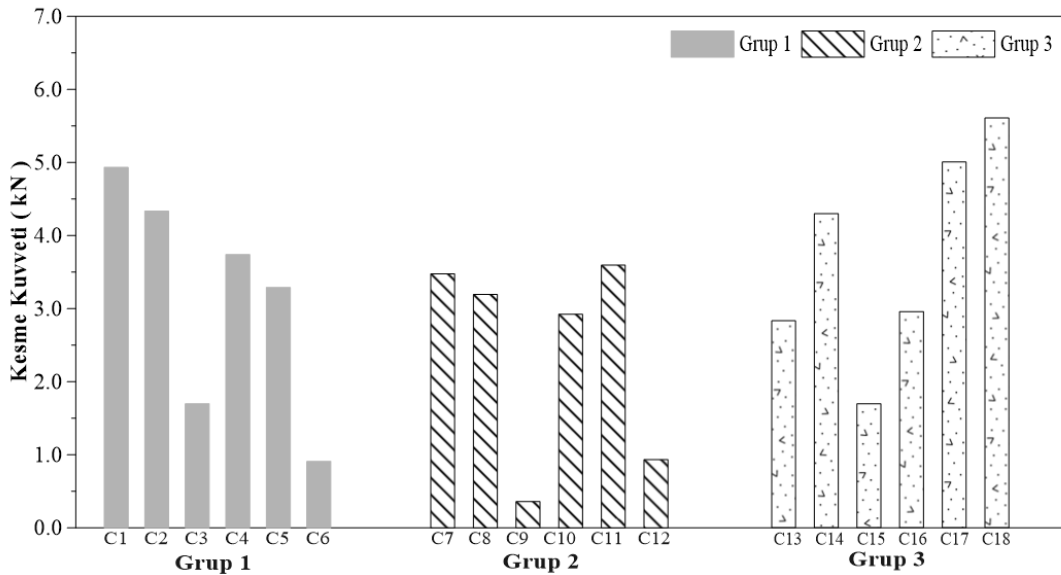
Şekil 42. Kolonlarda oluşan moment (durum 2)



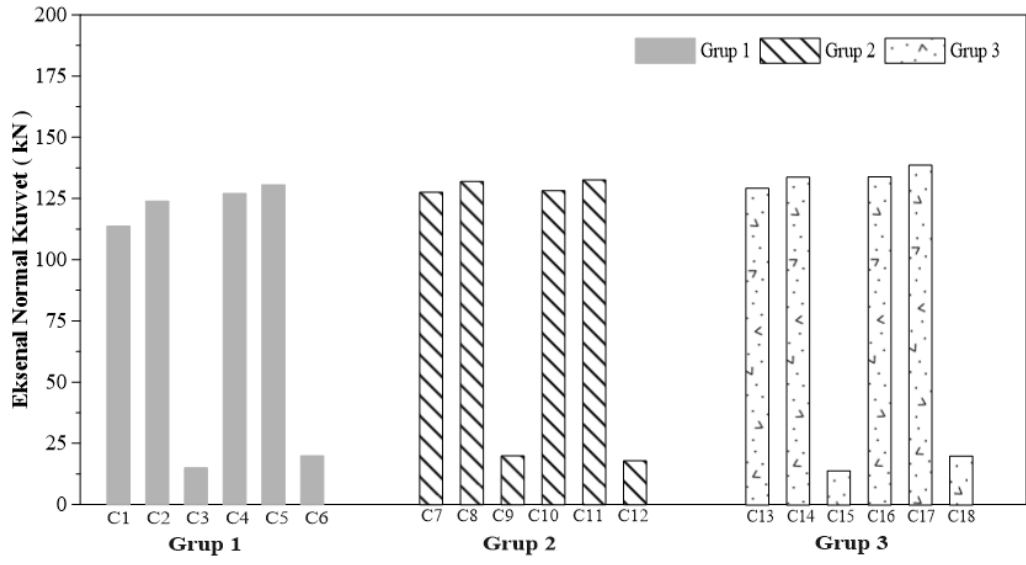
Şekil 43. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 2)

3.3. Durum 3: Tüm mesnetlerin ZE zemin sınıfı olması (ZE, ZE, ZE)

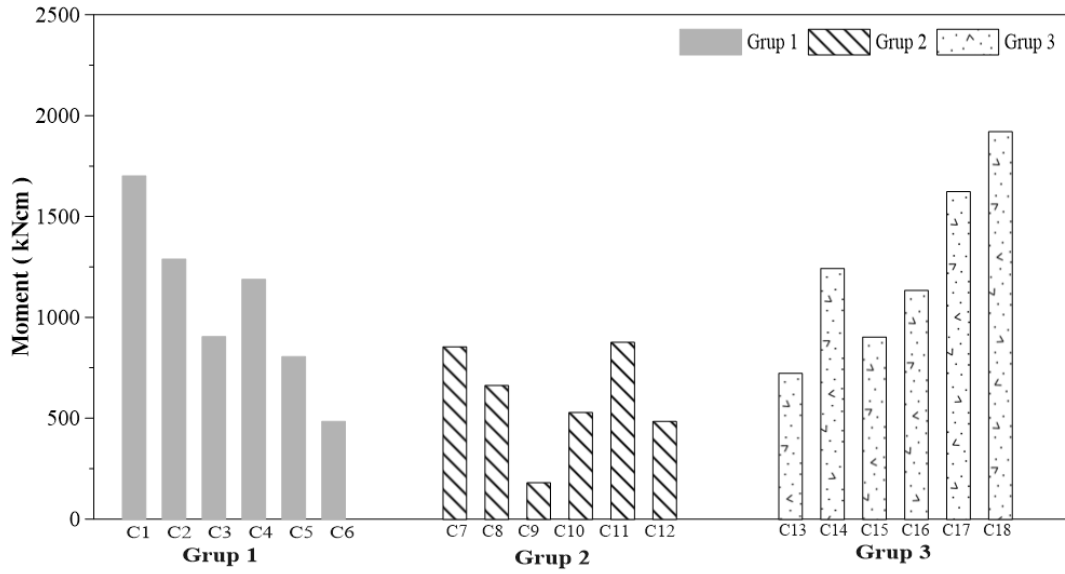
Çalışmada hangar yapısının tüm mesnetlerin ZE zemin sınıfında bulunması durumunda ve yapının tüm mesnetlerinin üniform yer hareketi etkisinde olması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 44-47’de gösterilmiştir.



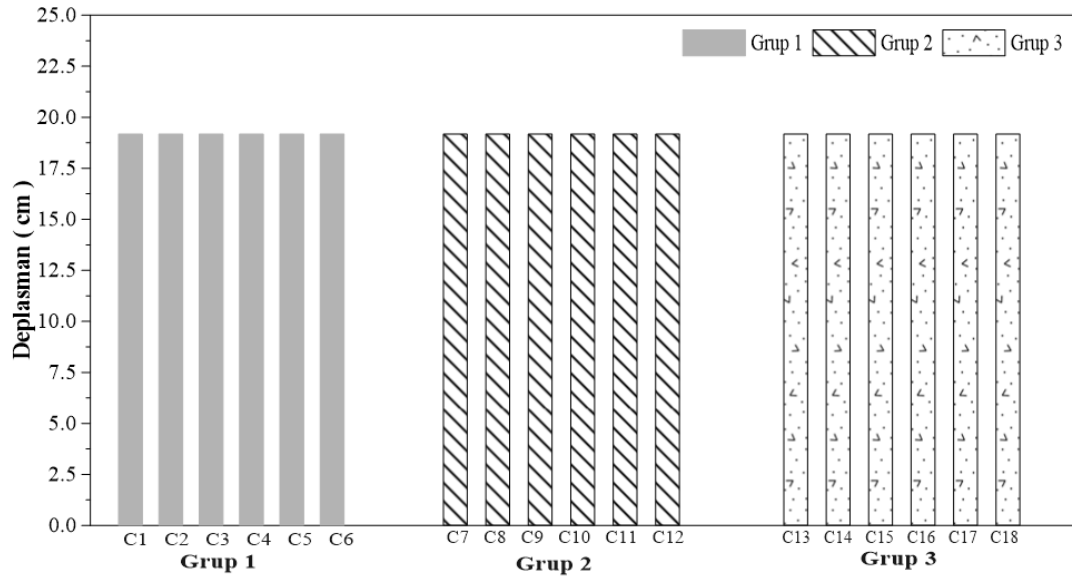
Şekil 44. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 3)



Şekil 45. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 3)



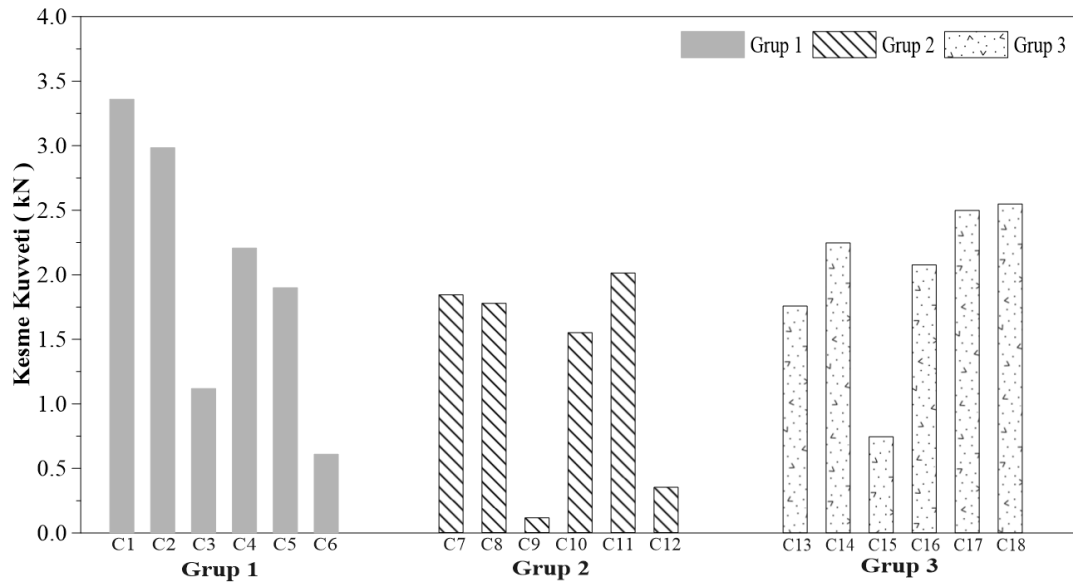
Şekil 46. Kolonlarda oluşan moment (durum 3)



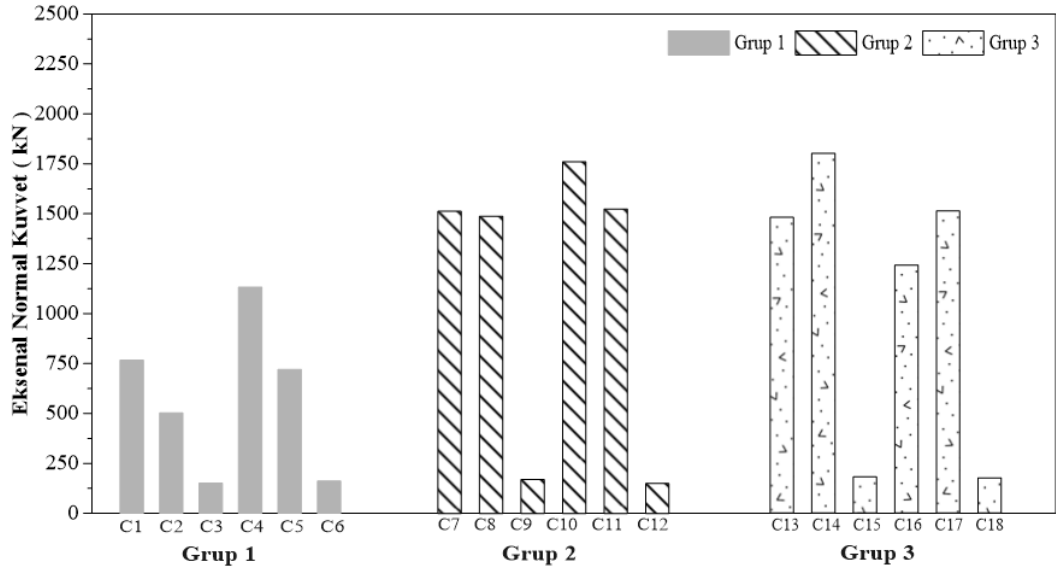
Şekil 47. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 3)

3.4. Durum 4: Tüm mesnet gruplarının farklı olması (ZA, ZC, ZE)

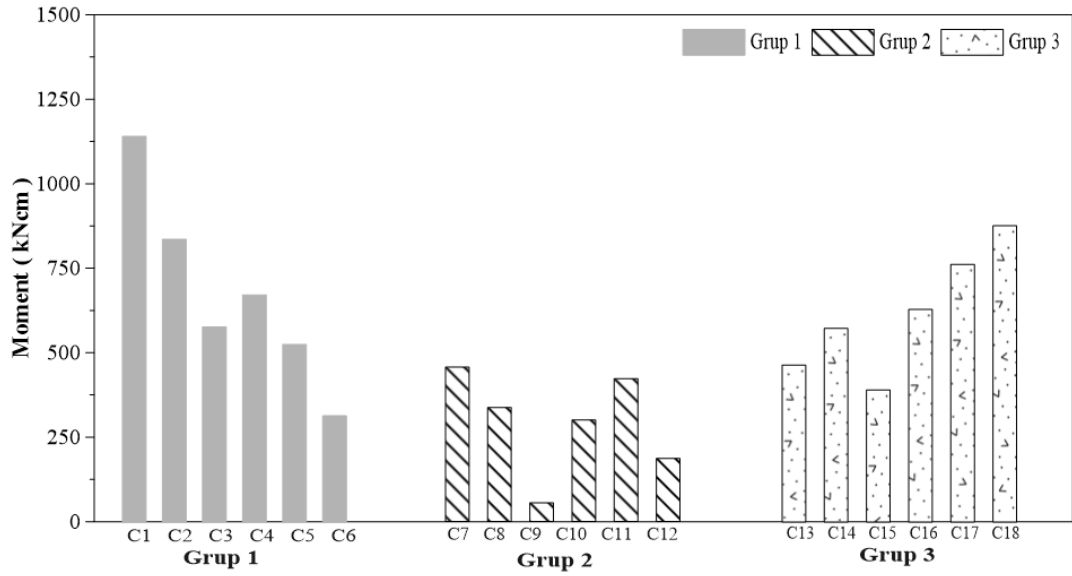
Grup 1'deki mesnetlerin ZA, Grup 2'deki mesnetlerin ZC, Grup 3'teki mesnetlerin ZE zemin sınıfında bulunması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 48-51'de gösterilmiştir.



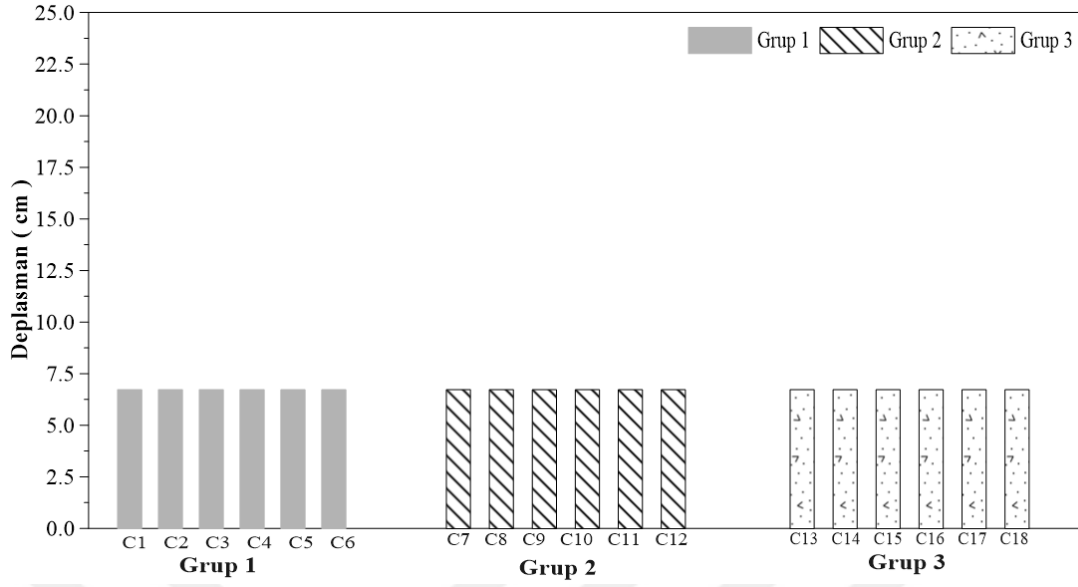
Şekil 48. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 4)



Şekil 49. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 4)



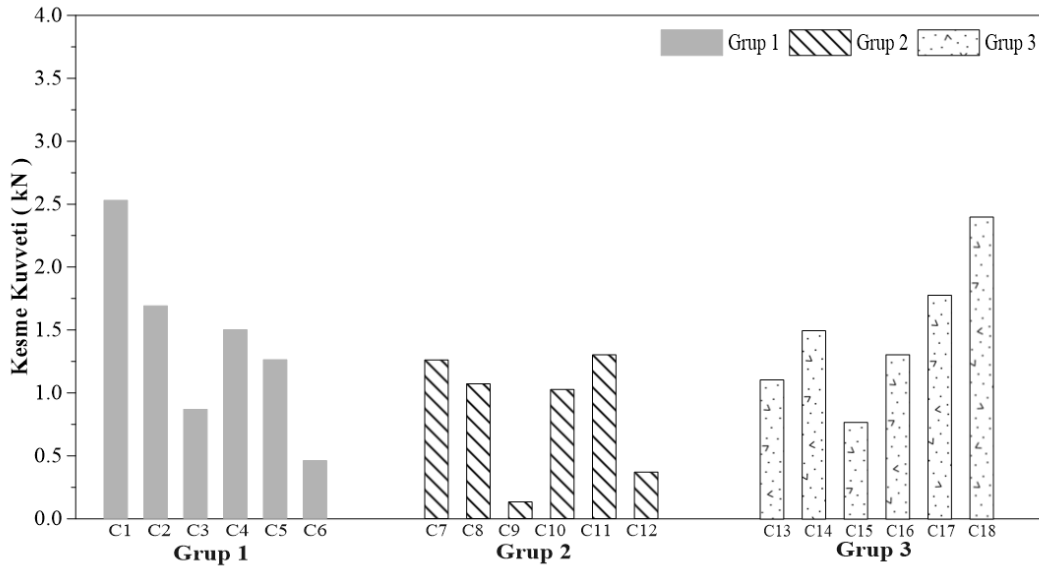
Şekil 50. Kolonlarda oluşan moment (durum 4)



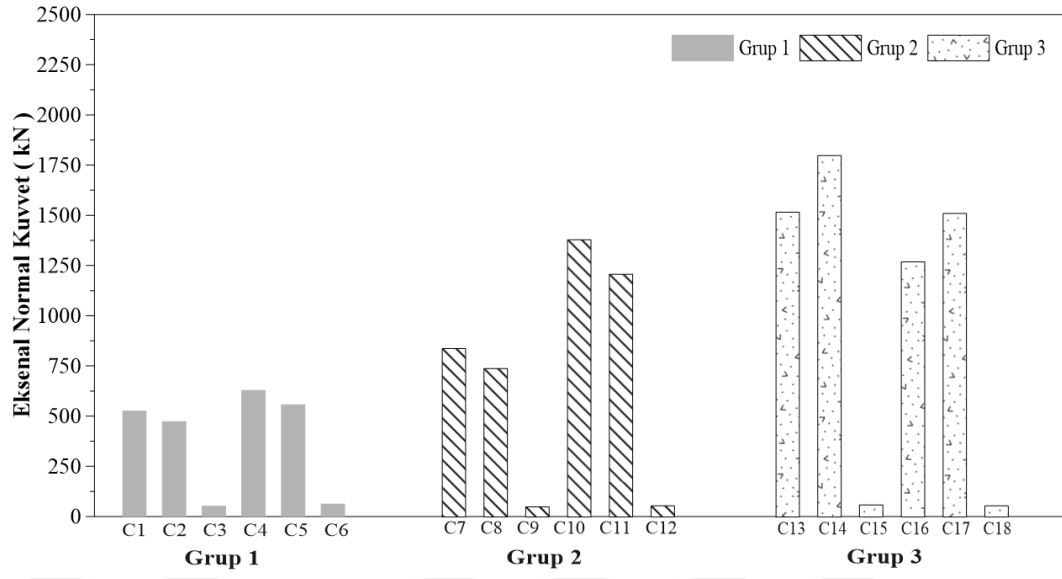
Şekil 51. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 4)

3.5. Durum 5: Grup 1: ZA, Grup 2: ZA, Grup 3: ZE zemin sınıfı olması

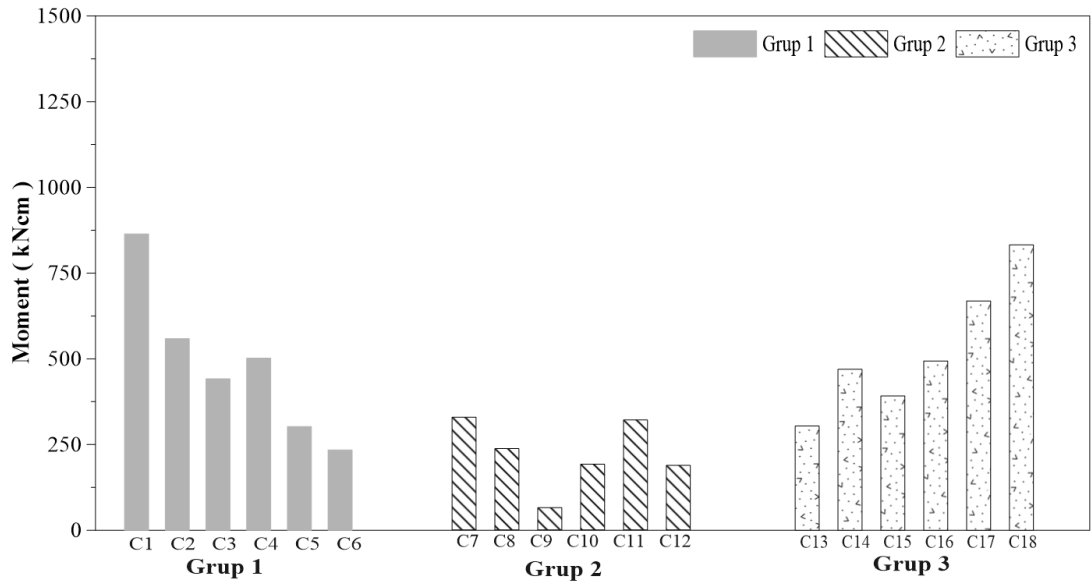
Grup 1 ve Grup 2'deki mesnetlerin ZA, Grup 3'teki mesnetlerin ZE zemin sınıfında bulunması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 52-55'te gösterilmiştir.



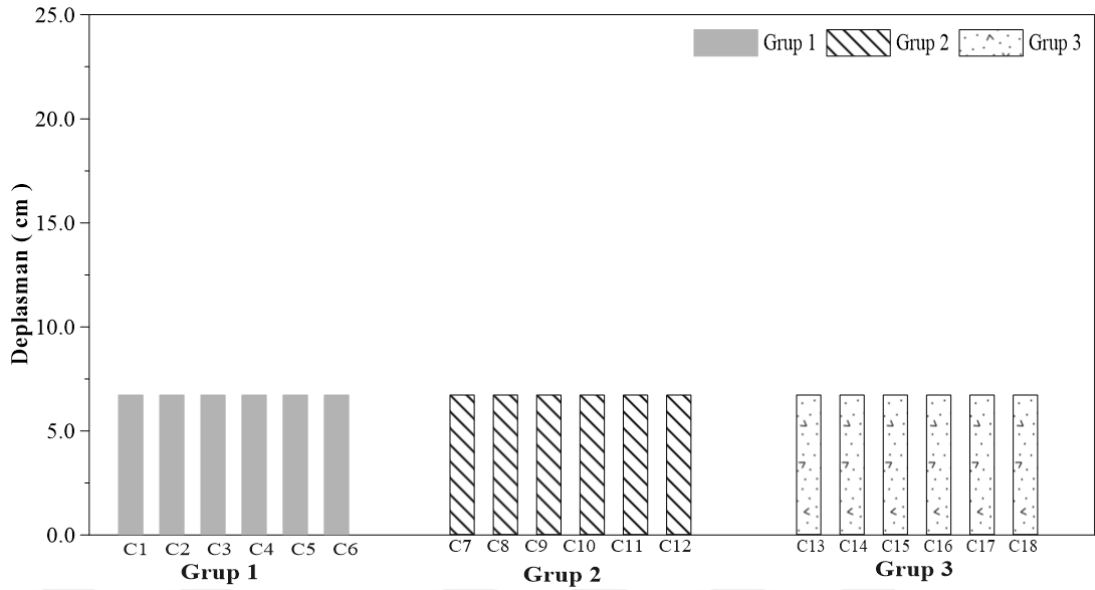
Şekil 52. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 5)



Şekil 53. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 5)



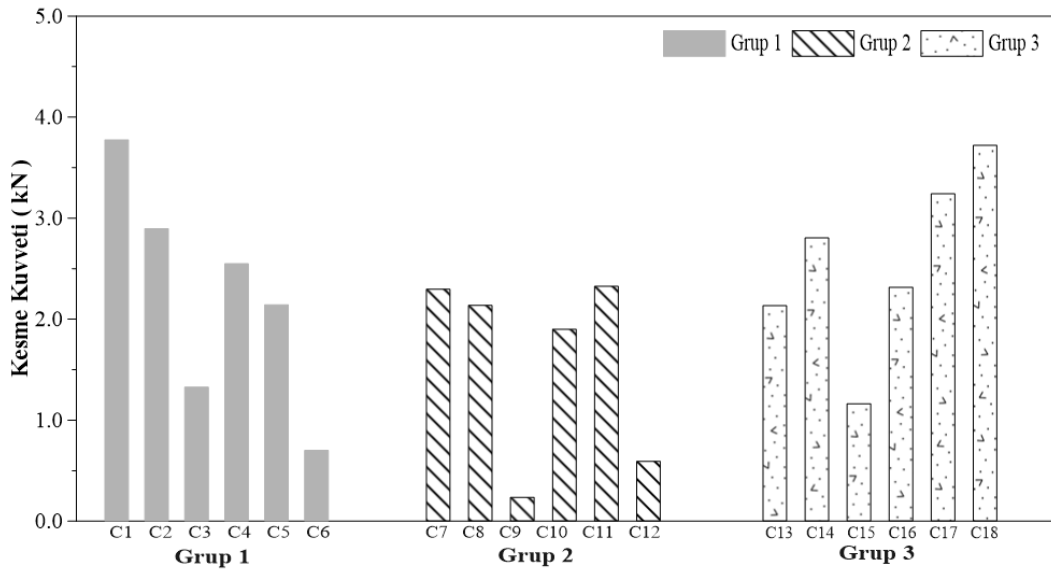
Şekil 54. Kolonlarda oluşan moment (durum 5)



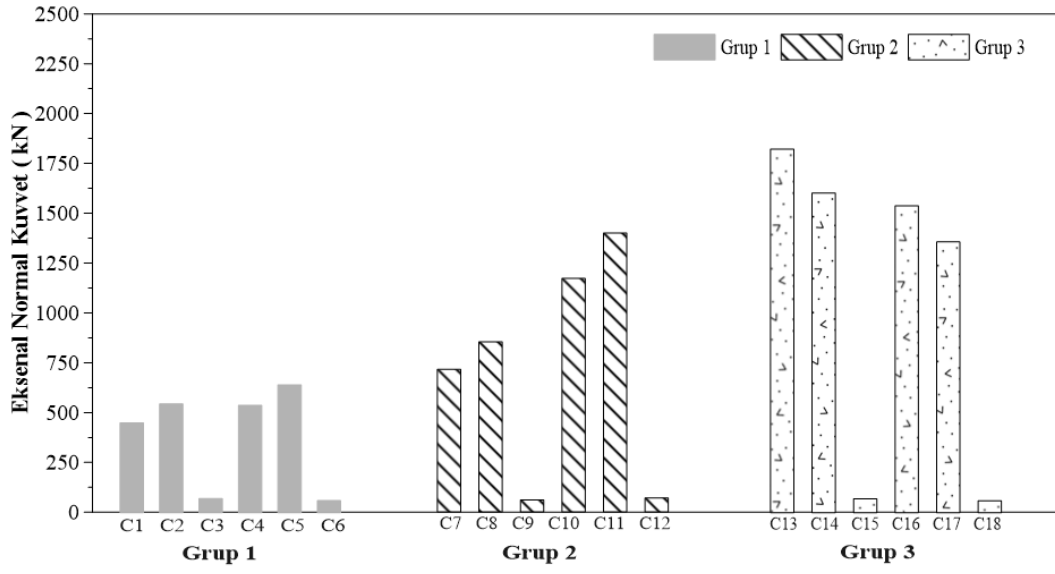
Şekil 55. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 5)

3.6. Durum 6: Grup 1: ZE, Grup 2: ZE, Grup 3: ZA zemin sınıfı olması

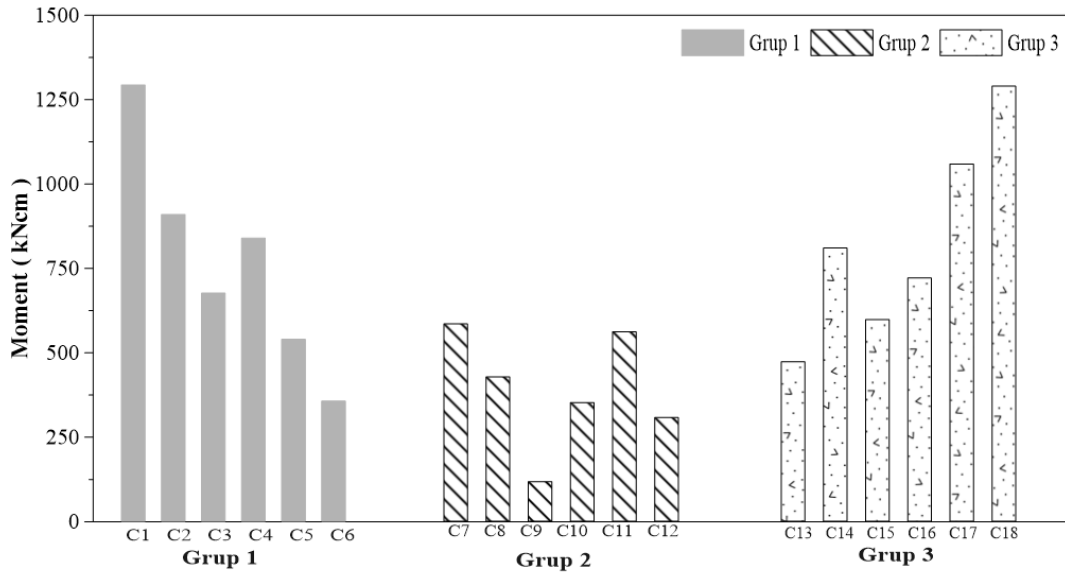
Grup 1 ve Grup 2'deki mesnetlerin ZE, Grup 3'teki mesnetlerin ZA zemin sınıfında bulunması durumunda, yapının kolonlarına ait kesme kuvveti, normal kuvvet, moment ve kolon üst noktalarında oluşan deplasman sonuçları Şekil 56-59'da gösterilmiştir.



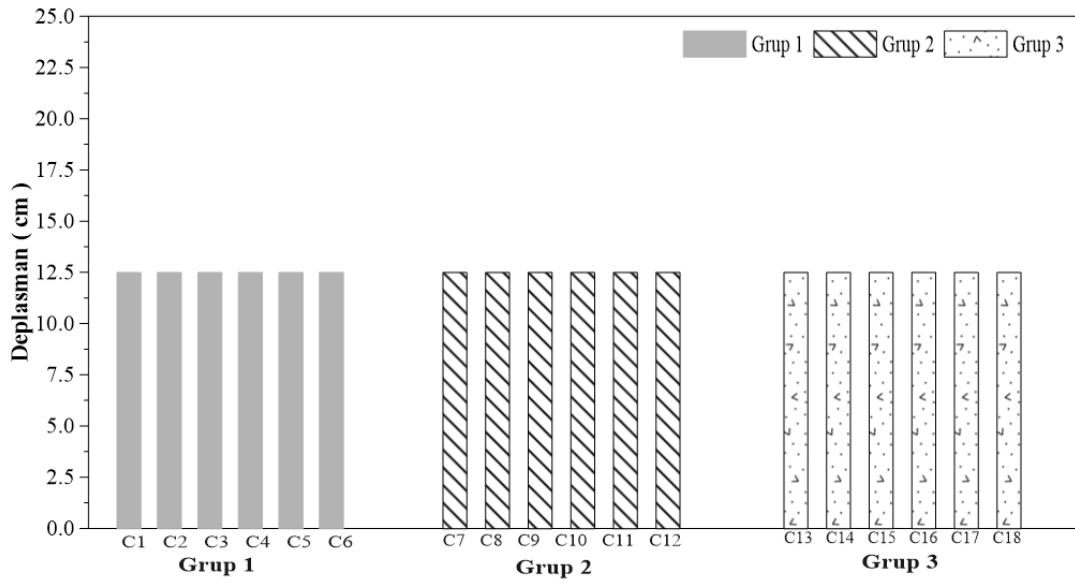
Şekil 56. Kolonlarda oluşan kesme kuvveti (durum 6)



Şekil 57. Kolonlarda oluşan eksenel normal kuvvet (durum 6)



Şekil 58. Kolonlarda oluşan moment (durum 6)



Şekil 59. Kolon üst bölgesinde oluşan deplasman (durum 6)

Hangar yapısının dinamik analizinde 6 farklı zemin durumu için kolonlarda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Yapının mesnetlerindeki zemin sınıfları göz önüne alındığında en fazla yerdeğiştirmenin Durum 3 (ZE-ZE-ZE)’ te, en fazla normal kuvvet Durum 6 (ZE-ZE-ZA) ’ da, en fazla kesme kuvveti ve eğilme momentinin ise Durum 2 (ZC-ZC-ZC)’ de meydana geldiği gözlemlenmiştir.

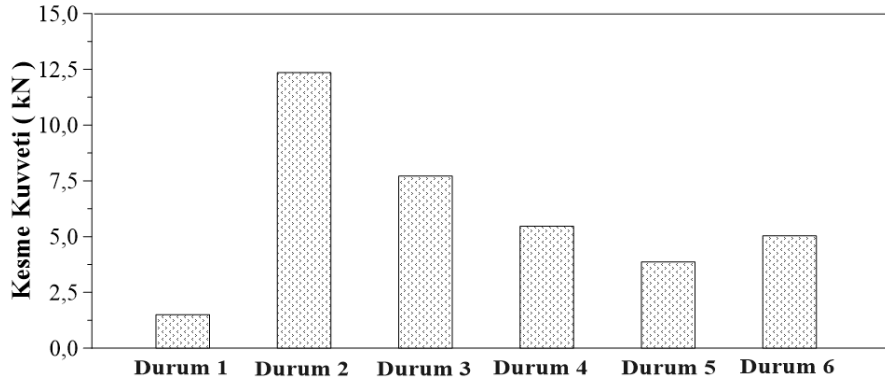
Durum 1 (ZA-ZA-ZA) ve Durum 5 (ZA-ZA-ZE) arasındaki farklılık sadece yapının 3.bölgedesindeki zemin sınıfının farklı olma durumudur. Yapının mesnetlendiği zemin koşullarındaki farklılıklar, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri değerlerini oldukça fazla arttırmıştır.

Tablo 7. Kolonlarda oluşan maksimum büyüklüklerin karşılaştırılması

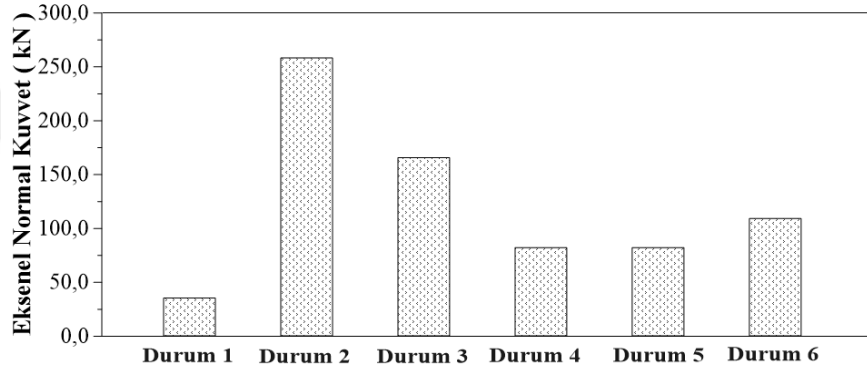
	Durum 1 (ZA-ZA-ZA)	Durum 2 (ZC-ZC-ZC)	Durum 3 (ZE-ZE-ZE)	Durum 4 (ZA-ZC-ZE)	Durum 5 (ZA-ZA-ZE)	Durum 6 (ZE-ZE-ZA)
Kesme Kuvveti (kN)	0.06	7.67	5.61	3.36	2.53	3.77
Normal Kuvvet (kN)	2.33	230.21	138.85	1800.47	1799.83	1823.95
Eğilme Momenti (kNcm)	20.86	2410.32	1922.92	1141.22	864.65	1292.01
Yerdeğiştirme (cm)	1.46	15.71	19.16	6.73	6.70	12.51

3.7. Kirişlerde Oluşan Kuvvetler

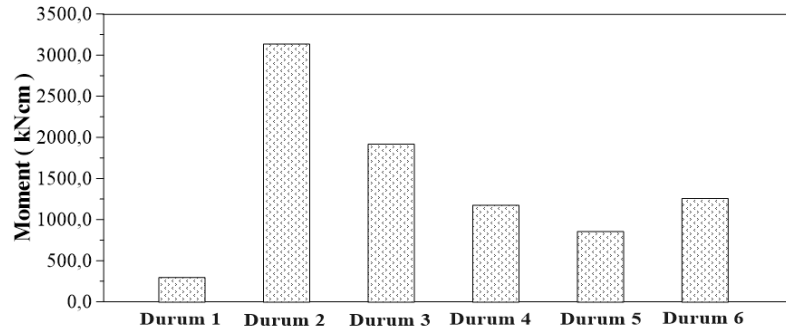
Altı farklı zemin durumu göz önüne alınmış olup bu zeminlere mesnetlenmiş hangar yapısının dinamik analizinde mesnetlere üniform ve farklı yer hareketleri etki etmesi durumunda kirişlerde oluşan maksimum dinamik kuvvet ve moment sonuçları şekil 60-62’ de verilmiştir.



Şekil 60. Kirişlerde oluşan maksimum kesme kuvveti



Şekil 61. Kirişlerde oluşan maksimum eksenel normal kuvvet



Şekil 62. Kirişlerde oluşan maksimum moment

Hangar yapısının dinamik analizinde altı farklı zemin durumuna göre kirişlerde oluşan maksimum eleman kuvvetleri ve moment değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Yapı mesnetlerindeki zemin sınıfları göz önüne alındığında en fazla kesme kuvveti, eksenel normal kuvvet ve momentin Durum 2 (ZC-ZC-ZC)’ de meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Durum 1 (ZA-ZA-ZA) ve Durum 5 (ZA-ZA-ZE) arasındaki farklılık sadece yapının 3. bölgesindeki zemin sınıfının farklı olmasıdır. Yapının mesnetlenme koşullarında oluşan farklılık, maksimum moment ve eleman kuvvetleri değerlerini oldukça fazla arttırmıştır.

Tablo 8. Kirişlerde oluşan maksimum büyüklüklerin karşılaştırılması

	Durum 1 (ZA-ZA-ZA)	Durum 2 (ZC-ZC-ZC)	Durum 3 (ZE-ZE-ZE)	Durum 4 (ZA-ZC-ZE)	Durum 5 (ZA-ZA-ZE)	Durum 6 (ZE-ZE-ZA)
Kesme Kuvveti (kN)	0.091	12.346	7.111	5.461	3.862	5.031
Normal Kuvvet (kN)	2.729	257.866	165.31	81.931	81.863	108.867
Eğilme Momenti (kNcm)	25.29	3140.04	1921.68	1179.93	859.22	1261.71

4. SONUÇLAR

Mühendislik yapıların deprem gibi dinamik yükler altındaki davranışlarının bilinmesi, deprem sırasında ve sonrasında oluşabilecek yapısal hasarların minimum düzeye indirilmesini sağlar. Dinamik analizde, yapılara etkiyen yer hareketinin doğru bir şekilde belirlenmesi, mühendisler için en zor parametrelerden biridir. Bir yapının deprem sırasında, genellikle yapının tüm mesnet noktalarının aynı anda aynı yer hareketine diğer bir deyişle üniform yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Bu bakış açısında, deprem dalgalarının sonsuz hızla yayıldığı kabul edilirken, yayılma esnasında yer hareketindeki değişim dikkate alınmamaktadır. Ancak uzun açıklıklı sistemlerde, mesnetlere etkiyen yer hareketi farklılık gösterecektir. Bu çalışmada genişliği 28m, uzunluğu 102m, yüksekliği 8.25m olan çelik yapı taşıyıcı sistemine sahip fabrika yapısı SAP2000 programı yardımıyla üç boyutlu olarak modellenmiş ve yapının mesnetlerinin, farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda yapıdaki dinamik davranışın belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada yapının mesnetlerinin farklı zemin koşullarına sahip olduğu kabul edilmiş olup, yapının dinamik analizinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2019)' nde yerel zemin sınıfları tablosu dikkate alınarak kayma dalgası hızlarına göre üç farklı zemin sınıfı göz önünde bulundurulmuş ve buna göre dinamik analizlerde kullanılacak olan yer hareketleri Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinden (Pasific Earthquake Engineering Research Center, PEER) seçilmiştir.

Yapının deprem anındaki davranışını belirlemek için yapılan dinamik analizlerde, yapının tüm mesnet noktalarının üniform yer hareketi ve mesnet noktalarının farklı yer hareketine maruz olması durumu göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada uzun açıklığa sahip çelik hangar yapısındaki mesnetlerinin, farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda yapıdaki dinamik davranışın belirlenmesi amacıyla 6 farklı zemin durumu için yapılan bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Tüm mesnetlerin aynı zemin sınıfında bulunması ve mesnetlerin farklı zemin sınıfında bulunması durumunda kolonlarda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve elaman kuvvetleri büyük farklılık göstermektedir.

- 2) Yapılan analizler değerlendirildiğinde kolonlarda en fazla yerdeğiştirme tüm mesnetlerin ZE zemin sınıfına sahip olduğu durum 3'te meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 3) Yapılan analizler değerlendirildiğinde kolonlarda maksimum normal kuvvet değeri Durum 6'da meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 4) Yapılan analizler değerlendirildiğinde kolonlarda en büyük kesme kuvveti ve eğilme momenti tüm mesnetlerin ZC zemin sınıfında bulunduğu Durum 2'de meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 5) Durum 5 (ZE-ZE-ZE) ve durum 6 (ZE-ZE-ZA) incelendiğinde yapının mesnetlendiği noktalarda zemin koşullarındaki farklılıklar, yapıda oluşan maksimum yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetlerinde değışikliklere sebep olduğu gözlemlenmiştir.
- 6) Hangar yapısının dinamik analizinde altı farklı durumuna göre kirişlerdeki kesme kuvveti, eksenel normal kuvvet ve moment değeri en fazla tüm mesnetleri ZC zemin sınıfına sahip olan Durum 2'de meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada yapının mesnetlerinin üniform ve farklı yer hareketlerine maruz kalması durumunda hangar yapısının taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan dinamik tepkiler karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yer hareketi PEER veri tabanından TBDY 2019 zemin sınıfları tablosundaki sadece kayma dalgası hızları dikkate alınarak seçilmiştir. Depremi tip, odak derinliği, magnitüdü vs. gibi diğer parametreler göz önünde bulundurulmadığı için bazı durumlarda en büyük tepkilerin ZC zemin sınıfında oluştuğu gözlemlenmiştir. Dinamik tepkilerde kayma dalgası hızının yanında depremin magnitüdü, odak derinliği, fay çeşidi, faya olan uzaklık gibi diğer parametrelerin de önemli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışmasından elde edilen veriler değerlendirildiğinde, mesnetlerin oturduğu zemin sınıflarındaki farklılık dinamik kuvvetlerde büyük değışikliklere sebep olmaktadır. Birçok mühendislik yapısının dinamik analizinde bu farklılıklar dikkate alınmadığı için deprem sırasında yapının taşıyıcı elemanlarında istenmeyen hasarlar gözlemlenebilmektedir. Bu nedenle, uzun açıklıklı mühendislik yapılarının dinamik analizinde yapının oturduğu zemin koşulları ve yapının maruz kalabileceği

yer hareketleri detaylı bir şekilde irdelenmeli ve dinamik analizlerde bu farklılıklar dikkate alınmalıdır.



KAYNAKÇA

- Ala, N. (2007). (2007). *Adapazarı zemininde yapılan betonarme yapılarda zemin-yapı etkileşimi* (Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi (Turkey)). 4-19.
- Altay, G., Güneyisi, E.M. (2005). *Türkiye 'de yapısal çelik sektörü ve yeni gelişimler*. (34342). Erişim Tarihi (22.08.2023): <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11059.pdf>
- Atasoy, S. (2014). *Yumuşak zeminlerde yapılan betonarme binaların deprem davranışına bodrum kat etkisi*. Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü 7-42.
- Atımtay, E. (2000). *Açıklamalı Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. Cilt 1, Ankara.
- Aydinoğlu, M.N. (1977). *Üstyapı-zemin ortak sisteminin deprem hesabı*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 207-248.
- Bayram, B., Sancioğlu, S., Çarbaş, S. (2019). Çelik bir yapıda dışmerkez diyagonal çaprazların etkisi. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 128-145.
- Davoodii, M., Jafari, M., Sadroldini, S. (2013). Dolgu barajların sismik davranışına çoklu mesnet uyarımının etkisi. *Uluslararası İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 11(1), 19-28.
- Düzgün, O.A., Budak, A. (2010). *Kanyon şeklindeki topografyalarda zemin-yapı etkileşim analizi üzerine bir çalışma*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 35, 255-277.
- Ethemoğlu, H. (2020). *Zemin yapı etkileşiminin hasar olasılığına etkisi*, Dotora Tezi Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Garip, Z.Ş. (2005). *Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi
- Gcr, N. (2012). *Bina yapıları için zemin-yapı etkileşimi*. Ulusal Standartlar Teknoloji Enstitüsü.
- Gupta, S.P., Kumar, A. (1988). Temel etkileşim etkisi de dahil olmak üzere kablolu köprünün dinamik yanıtı. *Dokuzuncu Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı*, 501-506.
- Gürbüz, J. (2002). *Çelik taşıyıcı sistemin yangına karşı korunmasında tarihsel süreç ve koruma ilkeleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Harichandran, R.S., Hawwari, A., Sweidan, B.N. (1996). Uzun açıklıklı köprülerin mekansal olarak değişen yer hareketine tepkisi. *Yapı Mühendisliği Dergisi*, 122(5), 476-484.
- Hasol, D. (1979). *Ansiklopedik mimarlık sözlüğü*: Yapı-Endüstri Merkezi.
- Kamal, M., Inel, M. (2021). Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan yumuşak zeminler üzerindeki orta katlı betonarme binaların yer hareketi parametreleri ve yer değiştirme talepleri arasındaki korelasyon. *Binalar*, 11(3), 125.
- Kato, S., Su, L. (2002). Temellerdeki yüzey hareketi farklılığının geniş açıklıklı bitişik yapıların deprem tepkileri üzerindeki etkileri. *Çelik Konstrüksiyon Mühendisliği*, 9(36), 113-128.
- Kawano, K., Furukawa, K. (1988). Toprak kablo askılı köprü etkileşiminin rastgele sismik tepki analizi. *Dokuzuncu Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı*, 6, 495-500.
- Kiureghian, A.D., Neuenhofer, A. (1992). Çok destekli sismik uyarımlar için tepki spektrumu yöntemi. *Deprem Mühendisliği Yapı Dinamiği*, 21(8), 713-740.
- Kobori, T., Kusakabe, K. (1978). Depremlerde iki gömülü yapı arasındaki çapraz etkileşim. *Yedinci deprem Mühendisliği Dünya Konferansı*, 65-72.
- Kutanis, M. (2001). *Yapı-zemin dinamik etkileşimi*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Lee, T., Wesley, D. (1973). Bitişik yapılar arasındaki toprak yoluyla bağlantıyı göz önünde bulundurarak nükleer reaktör yapılarının zemin-yapı etkileşimi. *Nükleer Mühendislik*, 24, 374-387.
- Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M. (1990). Kablo askılı köprülerin üç boyutlu doğrusal olmayan statik analizi. *Bilgisayar Yapıları*, 34, 257-271.
- Pala, M. (2004). *Zemin yapı dinamik etkileşiminin yapay sınır ağları ile analizi*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Pampal, S. (2000). *Depremler*. İstanbul: Alfa Yayınları
- Rahnema, H., Mohasseb, S., Javid, S.B. (2016). SBFEM ve iki doğrusal olmayan zemin modeli ile zaman tanım alanında 2 boyutlu zemin-yapı etkileşimi. *Zemin Dinamiği Deprem Mühendisliği*, 88, 152-175.
- Rassem, M., Ghobarah, A., Heidebrecht, A. (1996). Bir asma köprünün sismik tepkisi üzerindeki saha etkileri. *Mühendislik Yapıları*, 18(5), 363-370.
- Saadehghaziri, M., Yazdani-Motlagh, A. (1999). *Deprem yer hareketleri altında MSSS köprülerinin doğrusal olmayan tepkisi: vaka çalışmaları*.

- Seed, H.B., Ugas, C., Lysmer, J. (1976). Depreme dayanıklı tasarım için sahaya bağlı spektrumlar. *Amerika Sismoloji Derneği Bülteni*, 66(1), 221-243.
- Sıcacık, E.A., Soyluk, K. (2012). Yer hareketi değişim bileşenlerinin kablolu köprülerin dinamik davranışı üzerindeki etkisinin zemin koşullarına bağlı olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(4).
- Soyluk, K. (2002). *Değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizi*. Doktora Tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Su, L., Dong, S., Kato, S. (2007). Çelik kafes kemer için çok destekli uyarımlara karşı sismik tasarım. *Yapısal Çelik Araştırmaları Dergisi*, 63(6), 725-734.
- TBDY. (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara.
- Tomeo, R., Ptilakis, D., Bilotta, A., Nigro, E. (2018). Betonarme moment dayanımlı çerçevelerin sismik talebi üzerinde SSI etkileri. *Mühendislik Yapıları*, 173, 559-572.
- Tonyalı, Z. (2017). *Birleştirilmiş sonlu eleman-sınır eleman yöntemleriyle modellenen kablolu köprülerin stokastik analizi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, 17-157.
- Whitman, R.V. (1969). *Zemin-yapı etkileşimi*. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü.