

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLARIN ÇELİK YAPILAR  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SARSMA TABLASI  
DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hüseyin GÜÇ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZTÜRK**

**Haziran 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLARIN ÇELİK YAPILAR  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SARISMA TABLASI  
DENEYLERİ İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin GÜÇ

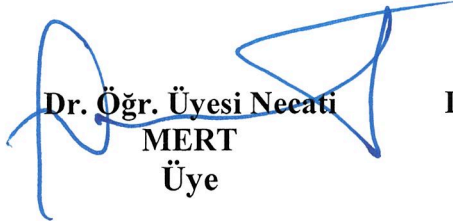
Enstitü Anabilim Dalı

: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

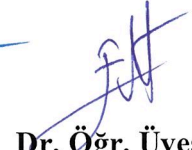
Bu tez 14.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi Hakan  
ÖZTÜRK  
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi Necati  
MERT  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Elif  
BORU  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hüseyin GÜÇ

14/06/2019



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel analizlerim sırasında hiçbir zaman yol göstermekten vazgeçmeyen, bilgisine sıklıkla başvurduğum Arş. Gör. Gökhan DOK'a minnetlerimi sunarım.

Son olarak hayatımın her evresinde maddi, manevi desteklerini esirgemeyen babam Yaşar GÜÇ'e, annem Zübeyde GÜÇ'e, abim Hasan GÜÇ'e ve sevgili eşim Aycan YAŞAR GÜÇ'e teşekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x
BÖLÜM 1	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM .....	10
3.1. Malzeme Özellikleri ve Yapı Modelleri.....	10
3.2. Yöntem .....	16
3.3. Kullanılan Ölçüm Cihazları.....	17
3.4. Analizler.....	18
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI .....	24
4.1. Model Yapılara ait İvme-Zaman Değerleri ve Grafikleri.....	24
4.2. Periyot Değerleri ve Grafikleri.....	31

4.3. Taban Kesme Kuvvetleri ve Grafikleri.....	38
4.4. Model Yapılara ait Deplasman Değerleri ve Grafikleri.....	41
4.5. Model Yapılara ait Görelî Kat Ötelenme ve Deplasman Grafikleri.....	47

## BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ .....	56
KAYNAKLAR .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	62



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: İvme
F	: Kuvvet
j	: Salınım sayısı
k	: Rijitlik oranı
m	: Kütle
T	: Periyot
$u_i$	: Herhangi bir salınımdaki deplasman
$\xi$	: Sönüm oranı
BÖÇÇÇ	: Burkulması önlenmiş çelik çaprazlı çerçeveler
BÖÇ	: Burkulması önlenmiş çaprazlar
D-1	: Deprem 1
D-2	: Deprem 2
D-3	: Deprem 3
M1	: Model 1
M2	: Model 2
M3	: Model 3
MÇÇ	: Merkezi çelik çapraz
MÇÇÇ	: Merkezi çelik çaprazlı çerçeveler
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Model 1 ve Model 2'ye ait yapı planı.....	11
Şekil 3.2. Model 1 yapı kesiti .....	11
Şekil 3.3. Model 1 diyagonal çapraz kesiti .....	11
Şekil 3.4. Model 1 ters V çapraz kesiti .....	12
Şekil 3.5. Model 1 X çapraz kesiti .....	12
Şekil 3.6. Model 2 yapı kesiti .....	13
Şekil 3.7. Model 2 diyagonal çapraz kesiti .....	13
Şekil 3.8. Model 2 ters V çapraz kesiti .....	13
Şekil 3.9. Model 2 X çapraz kesiti .....	14
Şekil 3.10. Model 3'e ait yapı planı.....	14
Şekil 3.11. Model 3 yapı kesiti .....	15
Şekil 3.12. Model 3 diyagonal çapraz kesiti .....	15
Şekil 3.13. Model 3 ters V çapraz kesiti .....	15
Şekil 3.14. Model 3 X çapraz kesiti .....	16
Şekil 3.15. Sarsma tablası ve veri toplama sistemi .....	17
Şekil 3.16. Seismoseignal filtreleme ve periyot inceleme.....	18
Şekil 3.17. Model yapılara ait ortalama serbest titreşim grafiği. ....	19
Şekil 3.18. Model yapılara uygulanan deprem kayıtları.....	20
Şekil 3.19. Model yapıların sarsma tablasına bulonlar ile sabitlenmesi.....	21
Şekil 3.20. Model yapılar üzerine akıllı cihazların yerleştirilmesi.....	21
Şekil 3.21. Sinyal işleme yazılımı ve ijishin uygulaması.....	21
Şekil 3.22. Sap2000 merkezi çelik çapraz çizimleri.....	22
Şekil 4.1. Model 1 deprem 1'e ait ivme-zaman grafikleri.....	24
Şekil 4.2. Model 1 deprem 2'ye ait ivme-zaman grafikleri.....	25
Şekil 4.3. Model 1 deprem 3'e ait ivme-zaman grafikleri.....	26
Şekil 4.4. Model-2 deprem-1'e ait ivme-zaman grafikleri.....	26



Şekil 4.5. Model-2 deprem-2'ye ait ivme-zaman grafikleri.....	27
Şekil 4.6. Model 2 deprem 3'e ait ivme-zaman grafikleri.....	28
Şekil 4.7. Model 2 deprem 1'e ait ivme-zaman grafikleri.....	29
Şekil 4.8. Model 2 deprem 2'ye ait İvme-zaman grafikleri.....	29
Şekil 4.9. Model 2 deprem 3'e ait İvme-zaman grafikleri.....	30
Şekil 4.10. Model-1 Serbest titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları.....	31
Şekil 4.11. Model-2 Serbest Titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları.....	31
Şekil 4.12. Model-3 Serbest Titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları.....	32
Şekil 4.13. Model-1 deprem-1 periyot sonuçları.....	32
Şekil 4.14. Model-1 deprem-2 periyot sonuçları.....	33
Şekil 4.15. Model-1 deprem-3 periyot sonuçları.....	33
Şekil 4.16. Model-2 deprem-1 periyot sonuçları.....	33
Şekil 4.17. Model-2 deprem-2 periyot sonuçları.....	34
Şekil 4.18. Model-2 deprem-3 periyot sonuçları.....	34
Şekil 4.19. Model-3 deprem-1 periyot sonuçları.....	34
Şekil 4.20. Model-3 deprem-2 periyot sonuçları.....	35
Şekil 4.21. Model-3 deprem-3 periyot sonuçları.....	35
Şekil 4.22. Model-1 farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları.....	36
Şekil 4.23. Model-2 farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları.....	37
Şekil 4.24. Model-3 farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları.....	37
Şekil 4.25. Model 1 taban kesme kuvveti değerleri.....	38
Şekil 4.26. Model 2 taban kesme kuvveti değerleri.....	38
Şekil 4.27. Model 3 taban kesme kuvveti değerleri.....	39
Şekil 4.28. Model-1 farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	39
Şekil 4.29. Model-2 farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	40
Şekil 4.30. Model-3 farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	40
Şekil 4.31. Model 1-deprem 1 tepe deplasman değerleri.....	42
Şekil 4.32. Model 1-deprem 2 tepe deplasman değerleri.....	42
Şekil 4.33. Model 1-deprem 3 tepe deplasman değerleri.....	42
Şekil 4.34. Model 2-deprem 1 tepe deplasman değerleri.....	43
Şekil 4.35. Model 2-deprem 2 tepe deplasman değerleri.....	43
Şekil 4.36. Model 2-deprem 3 tepe deplasman değerleri.....	44

Şekil 4.37. Model 3-deprem 1 tepe deplasman değerleri.....	44
Şekil 4.38. Model 3-deprem 2 tepe deplasman değerleri.....	45
Şekil 4.39. Model 3-deprem 3 tepe deplasman değerleri.....	45
Şekil 4.40. Model-1 farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları.....	46
Şekil 4.41. Model-2 farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları.....	46
Şekil 4.42. Model-3 farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları.....	46
Şekil 4.43. Model 1-deprem 1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	47
Şekil 4.44. Model 1-deprem 2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	47
Şekil 4.45. Model 1-deprem 3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	48
Şekil 4.46. Model 2-deprem 1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	48
Şekil 4.47. Model 2-deprem 2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	48
Şekil 4.48. Model 2-deprem 3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	49
Şekil 4.49. Model 3-deprem 1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	49
Şekil 4.50. Model 3-deprem 2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	49
Şekil 4.51. Model 3-deprem 3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	50
Şekil 4.52. Model 1- T kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	50
Şekil 4.53. Model 2- T kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	51
Şekil 4.54. Model 3- T kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	52
Şekil 4.55. Model 1- kare kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	53
Şekil 4.56. Model 2- kare kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	54
Şekil 4.57. Model 3- kare kesite ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları.....	55

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Model yapılaraya ait özellikler.....	10
Tablo 3.2. ST44 Çelik malzemesinin karakteristik özellikleri.....	19
Tablo 3.3. Deprem 1-2-3 Kayıtlarına ait hız,ivme ve deplasman değerleri.....	20
Tablo 4.1. Model-1 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	40
Tablo 4.2. Model-2 Farklı kesitler türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	41
Tablo 4.3. Model-3 Farklı kesitler türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri.....	41

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Merkezi çelik çapraz, sarsma tablası, sonlu eleman yöntemi deprem kaydı, filtreleme, düzensizlikler, akıllı cihazlar

Deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkemizde, çelik yapı kullanımı giderek artmaktadır. Çelik yapılarda yanal kuvvetlere (deprem, rüzgar) karşı kullanılan en etkin uygulamalardan birisi çelik çaprazlardır. Bu çalışmada merkezi çelik çaprazların çelik yapılar üzerindeki etkilerini araştırmak için deneysel ve nümerik çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda planda ve düşeyde düzensizlik durumları bulunan farklı çelik yapı modellerine, sarsma tablası yardımıyla üç farklı deprem kaydı uygulanmıştır. Dairesel kesite sahip diyagonal, ters V ve X merkezi çelik çapraz türlerinin incelendiği yapı modellerinin tepe noktalarına yerleştirilen akıllı cihazlar ve ivmeölçer ile veri alımı gerçekleştirilmiştir. Akıllı cihazlardan ve ivmeölçerden alınan veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sırasında Seismosignal programından faydalanılmıştır. Çalışmanın nümerik aşamasında Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla diyagonal, X ve ters V merkezi çelik çaprazların etkileri araştırılmıştır. Merkezi çelik çaprazların modellenmesi sırasında aynı kesit alanına sahip kare, T ve dairese kesit kullanılmıştır. Sap2000 sonlu eleman programıyla oluşturulan model yapılara üç farklı deprem kaydı uygulanarak analizler yapılmıştır. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan sönüm oranları serbest titreşim deneyleri ile belirlenmiştir. Ayrıca deneysel olarak elde edilen periyot değerleri ile sonlu eleman modelindeki periyot değerlerinin uyumlu olması için, sonlu eleman programıyla oluşturulan yapı modelleri elastisite modülleri ve eğilme rijitlikleri üzerinden güncellenmiştir. İvmeölçerden elde edilen veriler ile Sap2000 sonlu eleman programından elde edilen veriler doğrulanmaya çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde akıllı cihazların bazı frekans aralıklarında uygun veri alımı gerçekleştirirken bazı frekans aralıklarında uygun veri alımı yapamadığı gözlemlenmiştir. İvmeölçerden alınan veriler ile Sap2000 sonlu eleman programından alınan verilerin birbirleri ile benzer sonuçlarda olduğu tespit edilmiştir. Deneysel ve nümerik sonuçlardan elde edilen veriler doğrultusunda, öngörülen deprem yükleri altında en etkili merkezi çelik çapraz tipinin X çapraz olduğu, merkezi çelik çapraz için ise en uygun kesitin kare kesit olduğu belirlenmiştir.

# **DETERMINATION OF THE EFFECT OF CONCENTRICALLY STEEL BRACES ON STEEL STRUCTURES BY SHAKING TABLE EXPERIMENTS**

## **SUMMARY**

Keywords: concentrically steel brace, shake table, finite element, earthquake record, filtration, regularities, smart devices

The use of steel construction has been increasing in our country which is in the earthquake zone. One of the most important methods against lateral forces such as the earthquake and the wind is the use of steel braces. This study was performed in two stages, experimentally and numerically. In the experimental study, three different earthquake records were applied to the different steel construction models having an irregularity in the plan and vertical structure in order to investigate the effect of the concentrically steel brace by means of the shake table. During the implementation of earthquake record, the data were collected from the smart devices inserted on the steel construction models and a comparison was made between the results obtained from both traditional accelerometer and the smart devices. SeismoSignal program was used during comparisons. In the numerical study, steel constructions were modelled and analysed with the same earthquake records with the help of Sap2000 finite element program. Damping ratio values used in the finite element analysis were calculated through the free vibration experiments. During the modelling of the concentrically steel brace, square, T and circular cross-sections having the same cross-sectional area were used. Three different earthquake records were applied to the model structures created by Sap2000 finite element program. In addition, in order to match the experimentally obtained period values with the period values in the finite element model, the structure models created with the finite element program were updated over the elasticity modules and flexural stiffness data. In this way, the data obtained from the Sap2000 finite element program were tried to be verified. When the results were examined, it was observed that although smart devices performed proper data acquisition for some frequency ranges they did not work for some other ranges as expected. It was found that the data obtained from both the accelerometer and the Sap2000 finite element program had similar results. According to the data obtained from the experimental and numerical results, it was determined that the most effective concentrically steel brace type is X brace under the applied seismic loads. As far as the concentrically steel brace is concerned the square cross section is concluded as the most suitable cross section.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yerkabuğu içindeki levha hareketleri nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin sinüzoidal dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsma olayına deprem denir (Genç, 2017).

Geçmiş yıllarda oluşan ve gelecek yıllarda oluşması muhtemel deprem kuvvetleri sonucunda can ve mal kayıplarını minimize edebilmek için dünyamızın birçok yerinde çözüm aranmaya başlanmıştır. Bu çözümlerden bir tanesi de inşaat sektöründe ilk olarak 1849 yılında Amerika'da ve Avrupa'da kullanımına başlanılan çelik malzemesidir (Çileli, 2008; Yurdasev, 2008).

Çelik, süneklik kapasitesi yüksek olan, deprem tehlikesinin fazla olduğu bölgelerde taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanılan bir malzemedir. 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinden sonra çeliğin kullanımı artmıştır (Bulut, 2013).

Deprem Bölgeleri Haritasına göre, topraklarının %92'si ve nüfusunun %95'i deprem bölgesinde bulunan ülkemizde, yapılan yapıların deprem kuvvetlerine karşı, süneklik kapasitesi yüksek olan çelik yapılar daha fazla tercih edilmektedir. Yapılarda, deprem ve rüzgar gibi yatay kuvvetlere karşı yanal rijitlik sağlayan en yaygın yöntemler merkezi ve dış merkezli çelik çaprazlı sistemler, moment aktaran çerçeveler ve çelik çerçeveler ile birlikte kullanılan betonarme perdelerdir (Eşsiz, 2005; Akbaş B, 2011; İlker, 2017; TBDY, 2018).

Teknolojinin gelişmesi ile bilgisayar programları yardımıyla deprem kuvvetleri hale gelmiştir. Bu programlardan Sap2000 ve Seismosignal ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Beyaz, 2004; Kocabaş, 2005; Başot, 2010; Kıran, 2010; Hasel, 2013; Öztürk ve ark. 2018; Asfuroğlu, 2018).

Gelişen teknoloji sayesinde deprem kuvvetlerinin yapılar üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılabilmesinin önü açılmıştır. Yapıların dinamik davranışlarının gerçekçi olarak anlaşılabilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de sarsma tablasıdır (Baran, 2008; Torun ve Cunkaş, 2009; Türker ve ark. 2011; Kahraman, 2013; Sarıdoğan, 2013; Birdal, 2015; Omid, 2017; Şahin ve ark. 2017).

Sarsma tablası deneylerinde yapı üzerine yerleştirilen ivme ölçerler ve deplasman ölçerler yardımıyla zamana bağlı parametreler elde edilebilmektedir. Son yıllarda kullanımı artan sarsma tablası deneyleri sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan mod şekilleri, sönüm oranları, yapısal frekans gibi yapıların dinamik karakteristik özellikleri incelenebilmektedir. Deneyler sonucunda bulunan sonuçlar gerçeğe uyarlanabilmektedir (Durgun, 2013).

Çalışma kapsamında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de (TBDY 2018) tanımlanan, yapılarda oluşan düzensizlik türleri olan planda ve düşeyde düzensizlikler iki grup halinde incelenmiştir. Planda ve düşeyde düzensizlikleri bulunan 3 farklı çelik model üzerinde TBDY 2018'in öngördüğü merkezi çelik çapraz türlerinin, yapıların dinamik karakteristiklerine olan etkisi sarsma tablası deneyleri ile belirlenmiştir. Deneyler sırasında çelik yapı modelleri üzerine ve sarsma tablası üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerden alınan veriler incelenmiştir. Uygulanan deprem kayıtlarının yapılarda oluşturduğu deplasmanlar, periyotlar, taban kesme kuvvetleri ve görelî kat ötelenmeleri elde edilmiştir. Nümerik analizler Sap2000 sonlu eleman programıyla yapılmıştır. Ayrıca Ios ve Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlar, modeller üzerine sabitlenerek deneyler esnasında veriler kaydedilmiştir. Deneysel analizlerden ve nümerik analizlerden alınan veriler karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı; yapılar üzerinde görülen planda ve düşeyde oluşan düzensizliklere çözüm üretmektir. Çelik yapılar üzerinde merkezi çelik çaprazların etkilerini incelemek ve en uygun kesit türünü belirlemektir. Ayrıca ivmeölçerler yerine Ios ve Android işletim sistemine sahip telefonlar yardımıyla alınan verilerin gerçekçi olup olmadığı ve bunların kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

## **BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) göre düzensizlikler Planda ve Düşeyde Düzensizlik durumları olmak üzere iki temel grup halinde incelenmektedir. Ülkemizde inşa edilen yapılarda ve özellikle simetrik olmayan yapılarda görülen planda oluşan düzensizliklerden birisi Burulma düzensizliği (A1)'dir. Burulma düzensizliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Akıncı, 2005; Toprak, 2012; Boztaş, 2015; Suci, 2016; Ayar, 2019). Bir diğer düzensizlik durumu ise Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği (A3) olarak tanımlanmaktadır. Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği ile alakalı birçok çalışma yapılmıştır (Bahçecioğlu, 2005; Şahbaz, 2005; Döker, 2010; Atmaca, 2013; Gök, 2013). Burulma düzensizliği kütle ve rijitlik merkezlerinin üst üste örtüşmemesi nedeniyle planda oluşan eksantrisiteden kaynaklanan momentler ve buna bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleriyle açıklanmaktadır. Planda çıkıntılar bulunması düzensizliği TBDY 2018'e göre yapı kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik doğrultudaki boyutlarının, yapı kat planının boyutlarına göre %20 daha büyük olması durumu ile açıklanmıştır. Düşeyde oluşan en önemli düzensizlik türlerinden biri olan yumuşak kat düzensizliği ise TBDY 2018'de ardışık katlar arası rijitlik farkıyla açıklanmaktadır. Yapılarda yeterli yatay ötelenme rijitliği ve sünekliğini sağlamak, düzensizliklerden kaynaklanan iç kuvvetlerin etkilerini azaltmak için taşıyıcı sistemin düzenlenmesi adına yapılacak birçok yöntem vardır. Bunlardan en önemlilerinden biri merkezi çelik çaprazların kullanılmasıdır. Düzensizlik durumlarının olumsuz etkilerinin azaltılması için ülkemizde kullanılmakta olan Merkezi Çelik Çaprazlar hakkında çalışmalar yapılmıştır (Kural ve ark. 2011; Qadersheen, 2015; Türk, 2016; Yaman ve ark. 2018). Merkezi çelik çaprazlar yanal kuvvetlere karşı (deprem, rüzgar) rijitlik sağlayan önemli etkenlerdendir (Akşar ve ark. 2015; Akgönen, 2017).



Çileli 2008, yaptığı çalışmada ticari amaçlı olarak inşa edilen 20 katlı çelik bir yapının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'nin öngördüğü farklı çapraz türlerini ve moment aktaran çerçeve düzenlerini kullanılarak çok katlı çelik yapılarda deprem kuvvetlerine karşı taşıyıcı elemanların davranışlarını araştırmıştır. Deplasman, periyot, taban kesme kuvveti, süneklik gibi parametreler etrafında ve ekonomiklik, güvenilirlik açısından Sap2000 sonuçlarını incelenmiştir. Deprem kuvvetlerinin yapı üzerindeki etkilerinin yapı ağırlıkları ile doğru orantılı olmasından yola çıkarak V ve Ters V çaprazlı sistemlerin, X ve K çaprazlı sistemlerin boylarından kaynaklı olarak metraj fazlalığının olması nedeniyle daha avantajlı olduğunu tespit etmiştir. Yapılara gelebilecek deprem kuvvetlerinin rijitlik ile ters orantılı olduğunu ve rijitliği azalan binanın periyodunun artacağını belirtmiştir. Bu nedenden kaynaklı olarak Ters V ve V çapraz türlerinin bulunduğu binaların ağırlıkları aynı olmasına karşı, Ters V çapraz türünün yapıya kazandırdığı rijitliğin daha az olmasından dolayı yapıda oluşan taban kesme kuvvetlerinin daha büyük olduğunu açıklamıştır. X ve K çapraz türlerinin deprem kuvvetlerini karşılamada birbirlerine yakın değerler gösterdiğini, bu sonuçların Ters V ve V çapraz türlerinin karşıladığı deprem kuvvetlerinin değerlerinin arasında olduğunu belirtmiştir. Ters V çaprazlı sistemin diğer merkezi çelik çapraz türlerine göre daha sünek davranış göstermesinden kaynaklı olarak büyük deprem kuvvetleri etkisinde daha avantajlı olduğunu izah etmiştir. Moment aktaran çerçeveler ile merkezi çelik çerçeveler arasında bir davranış sergileyen dış merkez çelik çaprazların rijitlik, periyot, deplasman gibi karakteristik özellikleri incelendiğinde merkezi çelik çaprazlar ile benzer davranışlar sergilediği görülmüştür. Dış merkez çapraz türlerinde yapı ağırlığı en fazla, rijitliği Ters V ve V ye göre daha az olan diyagonal çapraz türünün en büyük deprem kuvvetine maruz kaldığını gözlemlemiştir.

Yurdasev 2008, yapmış olduğu çalışmada bodrum+zemin+9 katlı moment alan çelik yapının, merkezi ve dış merkezli çelik çapraz etkisindeyken yapı üzerinde oluşan deprem kuvvetlerini, deplasmanlarını, periyotlarını Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla elde etmiştir. Çalışmaları sırasında merkezi ve dış merkezli çelik çapraz türü olarak ters V, V, X, K, diyagonal çaprazlarını kullanmıştır. Bu çalışmadaki amacı ise ekonomik ve güvenlik açısından ideal çelik yapıyı ortaya koymaktır. Yapılan

nümerik analizler sonucunda, deprem kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çelik yapının y doğrultusunda meydana gelecek taban kesme kuvvetinin x doğrultusuna göre daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Buna sebep olarak ise y doğrultusundaki rijitliğin daha az olmasını göstermiştir. Rijitliğin azalmasıyla yapıların periyotları artacaktır. Periyodu artan binanın daha yüksek değerlerdeki deprem kuvvetlerine karşı maruz kalacağı anlaşılmıştır. Bundan dolayı taban kesme kuvveti X çaprazlı yapı için V ve Ters V çaprazlı yapıların kesme kuvvetleri arasında bir değer aldığı görülmüştür. Çapraz düzenlerinden kaynaklı olarak x doğrultusundaki yer değiştirmelerin y doğrultusuna göre daha fazla olduğunu ifade etmiştir.

Türker ve ark. 2011, yaptıkları çalışmada yapı ağırlığının yapıların periyotlarına etkilerini bir ve üç katlı iki yapı modeli üzerinde sarsma tablası yardımıyla incelemişlerdir. Analiz sırasında yapı modellerine serbest ve zorlanmış titreşim deneyleri uygulamışlardır. Deneysel analizler sonucunda elde edilen veriler ile teorik veriler karşılaştırıldığında sonuçların yaklaşık değerlerde olduğunu belirtmişlerdir. Periyot değerlerini bulabilmek için çok katlı yapılarda zorlanmış titreşim uygulamasının yapılabileceğini ve yapıların yanal rijitliğini azaltan düşey yük etkisinin yapıların salınım sürelerini artırdığını ifade etmişlerdir.

Yön ve Sayın 2011, yaptıkları çalışmada betonarme yapıların güçlendirilmesi için betonarme perde ve çelik çapraz kullanımını araştırmışlardır. Birinci deprem bölgesinde olduğu kabul edilen, kat yükseklikleri 3 metre olan 5-7-9 katlı betonarme yapılar üzerinde inceleme yapmışlardır. 5 katlı yapıda betonarme perde ve çelik çapraz güçlendirmesini aynı anda yapıp görelî kat ötelenmelerini incelemişlerdir. Çelik çapraz olarak 40x40 cm ebatlarında 4 cm et kalınlığında kutu kesitli Diyagonal, X, V, Ters V ve K çapraz türlerini kullanmışlardır. Doğrusal elastik analizleri tepki spektrumuna göre çözümlenen betonarme binaların kat deplasmanları hesaplanmıştır. Bulunan tüm veriler karşılaştırıldığında çelik çapraz güçlendirmesinin, betonarme perde ile olan güçlendirmeye göre kat ötelenmelerini sınırlamada daha etkisiz olduğunu ve her iki güçlendirme tipinin de güvenli olduğunu gözlemlemiştir.

Alıncıoğlu 2011, yaptığı çalışmada kesit geometrisi farklı olan aynı kesit alanına sahip 5 farklı çelik çapraz perdenin, yapıların davranışlarına olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmanın temel amacı olarak maliyet bakımından yaklaşık değerlerde olan yapı sistemleri için yapıların doğrusal olmayan davranışlarını olumlu olarak etkileyebilecek kesit geometrisini ve çelik çapraz türünü tespit etmek olduğunu belirtmiştir. Yanal yükler altındaki yapı davranışlarına yaklaşık sonuçlar elde edebilmek için doğrusal olmayan statik analiz yöntemini tercih etmiştir. Çelik çapraz olarak Ters V, V, Diyagonal, X ve K çapraz perde türlerini kullanmıştır. Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla analizlerini yapmıştır.

Korkmaz ve ark. 2013, yaptıkları çalışmada planda düzensizliği bulunan, toplamda 36 m yüksekliğinde 12 katlı 3 farklı çelik yapının deprem kuvvetleri altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Çelik yapı modellerine etki eden doğrusal olmayan deprem kuvvetlerine karşı, betonarme perde ve çelik çapraz elemanlarıyla güçlendirme yapmışlardır. Burulma düzensizliği, döşeme düzensizliği ve hem döşeme hem burulma düzensizliği içeren üç farklı model üzerinde statik itme analizleri uygulayarak x ve y doğrultularında kapasite eğrilerini, yer değiştirme ve görelî yer değiştirme değerlerini elde etmişlerdir. Çalışma sırasında Sap2000 sonlu eleman programı kullanılarak doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Sonuç olarak ise perde eleman kullanımıyla daha rijit hale gelen yapılarda kapasite artışı çapraz elemanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Perde elemanların yapıya katacağı ağırlığın yapılara gelen deprem kuvvetlerini artırma ihtimali olduğundan çerçeve boşluklarının çapraz elemanlar ile desteklenmesinin davranış açısından daha uygun olacağı tespit edilmiştir. Ekonomik açıdan maliyetli olan çelik çaprazların, kısa zamanda inşa edilmesi, olası bir afet durumunda oluşabilecek mukavemet kayıplarının acil olarak giderilmesine olanak sağlaması betonarme perdelere göre üstün tarafları olarak gözlemlenmiştir.

Bulut 2013, yaptığı çalışmada 3 ve 10 katlı yapılarda X ve Ters V çelik çapraz türlerini kullanarak Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler (MÇÇÇ) üzerinde, 6 farklı deprem kaydı (Northridge 94, Kobe 95, Elsan Park, Imperial Valley 1940, Imperial 1940, Imperial Valley 1979) uygulayarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler

yapmıştır. Analizler sonucunda tepe deplasmanlarını ve MÇÇÇ'lerdeki ötelenmeleri elde etmiştir. Uygulanan deprem kayıtlarından alınan verilerin analizleri sonrasında 3 katlı yapılar için Ters V çaprazlı modelin tepe deplasmanının, X çaprazlı modele göre daha az olduğunu tespit etmiştir. 10 katlı yapılar için tepe deplasman ötelenmesinin X ve Ters V çelik çerçeveler için yaklaşık değerlerde olduğunu belirtmiştir.

Durgun 2013, yaptığı çalışmada 3 katlı çelik yapı modelinin mod şekillerini deneysel ve nümerik olarak iki aşamada incelemiştir. Deneysel analiz sırasında çelik yapı modelinin taşıyıcı sistemlerine zarar verilerek hasarlı ve hasarsız olmak üzere, sarsma tablası yardımıyla toplamda 17 adet deneye tabi tutulan çelik yapı modelinin, üzerine yerleştirdiği ivmeölçerlerden aldığı veriyi Seismosignal programı yardımıyla filtrelemiştir. Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla nümerik analizlerini yapmıştır.

Genç 2017, yaptığı çalışmada taşıyıcı sistemi, Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeve (BÖÇÇÇ) ve Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve (MÇÇÇ) olan 45x45 metre plan boyutlarına, 13,5 ve 37,5 metre yüksekliklerine sahip 3 ve 9 katlı çelik yapılara dinamik analiz ile farklı spektral ivme değerlerine göre ölçeklenmiş Kobe, Kocaeli ve Northridge deprem kayıtları kullanılmıştır. İki çelik yapı için zaman-tanım alanında doğrusal olmayan nümerik analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda aksel kuvvet-zaman, tepe deplasman-zaman, birim şekil değiştirme-zaman ve aksel kuvvet-deformasyon grafikleri elde edilmiştir. Ters V çapraz kullanılan yapılar için, deprem kuvveti altındayken basınç kuvvetleri sonrasındaki burkulmanın çekme kuvvetleri etkisindeki akmadan önce olabileceğini tespit etmiştir. Çapraz elemanlarda burkulmadan dolayı birim şekil değiştirmenin sıfırlanmadığını ve kalıcı olduğunu gözlemlemiştir. Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) kullanılan yapılarda basınç veya çekme kuvvetleri etkisinde birim şekil değiştirmelerin pozitif ve negatif olabileceğini, iki doğrultuda kararlı aksel ve simetrik kuvvet-plastik deformasyon grafiklerinin çizilebileceğini izah etmiştir. 9 katlı yapıda tepe deplasmanları açısından Kobe Depremi'ne göre BÖÇ ve Ters V çaprazları karşılaştırıldığında, Ters V çaprazda oluşan burkulmadan dolayı, tepe noktalarında anlık artışlar olduğu görülmüştür. BÖÇ'ler Ters V çaprazlara göre deprem kuvvetleri etkisindeyken birim şekil

değiştirme konusunda daha kararlı davranış sergilemiştir. BÖÇ'lerin ekonomik tasarım gereğinden ve kararlı kuvvet-deformasyon ilişkisinden dolayı, Ters V çaprazların akma dayanımlarının BÖÇ'lere göre daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Akgönen 2017, yaptığı çalışmada moment çerçevesi ve çaprazlı çelik çerçeve sistemine sahip 5 farklı çelik yapı modeli üzerinde statik itme analiz yöntemini kullanarak araştırmalar yapmıştır. İncelenen yapı modelleri tek kat olup 3 m yüksekliğine ve 6 m açıklığa sahiptir. Yapılan çalışmalarda V, Diyagonal Çekme-Basınç ve X türü merkezi çelik çaprazların taşıyıcı sisteme olan etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ise sünek davranışlarda yapılan katkılar ele alındığında çekme elemanlarının etkisinin fazla olduğu görülmüştür. Rijitlik bakımından karşılaştırıldığında en rijit davranış X tipi çerçevede elde edilmiştir. Diyagonal çaprazlı çerçevelerin X ve V çaprazlı çerçevelere göre daha az sünek olduğu gözlemlenmiştir.

Öztürk ve ark. 2018, yaptıkları çalışmada balsa çıtaları ile oluşturulmuş 28 katlı ve 1453 mm yüksekliğindeki model yapıya, serbest titreşim deneyi yapmışlardır. Serbest titreşim deneylerinden elde ettikleri verileri Seismosignal programı yardımıyla inceleyerek model yapıya ait periyot değerlerini ve sönüm oranını bulmuşlardır. Deneysel analizin sonraki aşamasında ise model yapıya sarsma tablası yardımıyla 3 farklı deprem kaydı uygulamışlardır. Uygulanan deprem kuvvetleri sonrasında model yapıya ait tepe deplasmanını, Sap2000 sonlu eleman programıyla yapılan nümerik analizler sonucunda ise görel kat ötelenmelerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak sarsma tablası yardımıyla yapılan deneysel analiz ile Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla yapılan nümerik analizlerden elde edilen verilerin birbiri ile yakın değerlerde olduğunu ancak balsa çıtalarının karakteristik özelliklerinin değişkenlik gösterebileceğini belirtmişlerdir.

Xie B. ve ark. 2019, yaptıkları çalışmada akıllı cihazlar içerisinde bulunan sensörler yardımıyla alınan verilerin, ivmeölçerlerden alınan veriye göre doğruluğunu araştırmışlardır. Bu kapsamda hasarlı ve hasarsız farklı çelik yapı modellerine sarsma tablası yardımıyla deprem kayıtları uygulayarak yapılara ait ivme-zaman grafiklerini, frekans değerlerini, tepe deplasman değerlerini elde etmişlerdir. Bulunan değerleri

kendi ilerinde karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda akıllı cihazlardan ve ivmeölçerlerden elde edilen ivme değerlerinin birbiri ile yaklaşık sonuçlarda olduklarını gözlemlemişlerdir. İvmeölçerler ve cihazlardan alınan verilerin deplasman açısından yakın değerlerde olduğunu tespit etmişlerdir.



## BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

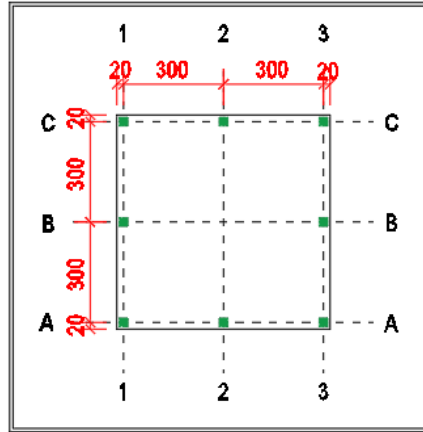
### 3.1. Malzeme Özellikleri ve Yapı Modelleri

Deneysel çalışma kapsamında üç farklı çelik yapı modeli kullanılmıştır. Çelik yapı modellerine ait kolonlar ve kirişler,  $36\text{mm}^2$  kesit alanına sahiptir. Çelik yapılarda kullanılan çelik çaprazlar  $12,56\text{ mm}^2$  alanına sahip olup St-44 çeliğinden üretilmiştir. Katlarda kullanılan döşemeler çelik levhalardan oluşturulmuştur. Her bir model için dairesel kesitli diyagonal, X ve ters V merkezi çelik çapraz türlerinin yapı davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Model 1-2-3'ün yapı ağırlıkları sırasıyla 61.8, 62.2 ve 47.7 kilogramdır. Tablo 3.1.'de model yapılara ait özelliklerden bahsedilmiştir.

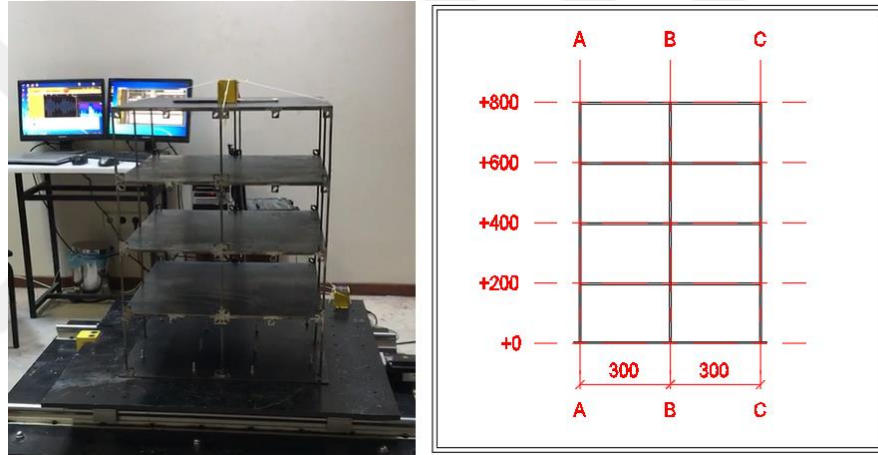
Tablo 3.1. Model yapılara ait özellikler

Parametreler	Model-1	Model-2	Model-3
Ağırlık (kg)	61.8	62.2	47.7
Yükseklik (mm)	800	900	800
Elastisite Modülü ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	200000	200000	200000
Poisson Oranı	0.3	0.3	0.3

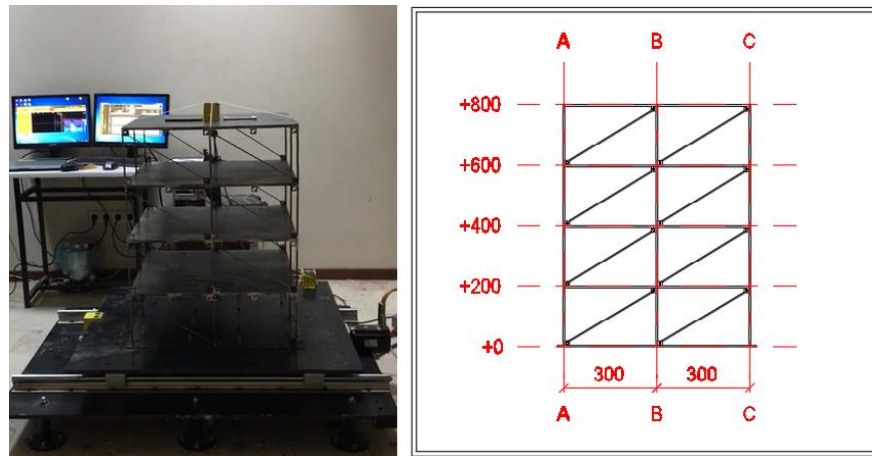
Şekil 3.1.'de Model 1'e (referans model) ait yapı planı, Şekil 3.2., Şekil 3.3., Şekil 3.4., ve Şekil 3.5.'de çapraz tiplerine ait boy kesitler gösterilmiştir. Model 1  $640 \times 640\text{ mm}^2$  temel alanına ve 800 mm yüksekliğe sahip olup 4 kattan oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Model 1 ve 2'ye ait yapı planı

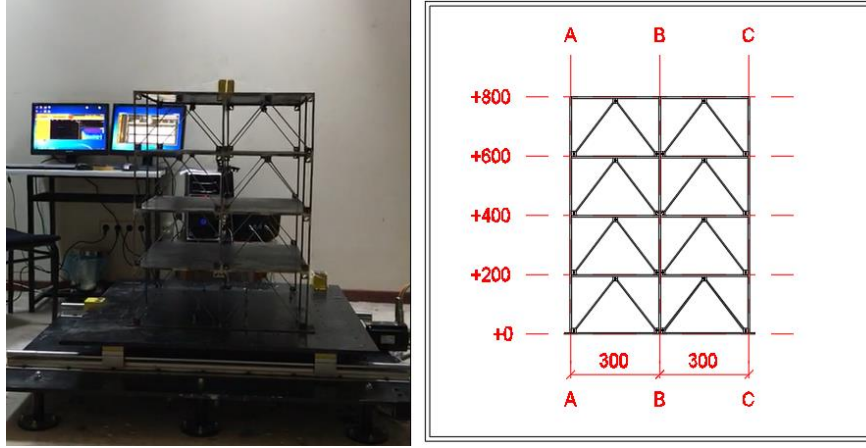


Şekil 3.2. Model 1'e ait boyuna kesit

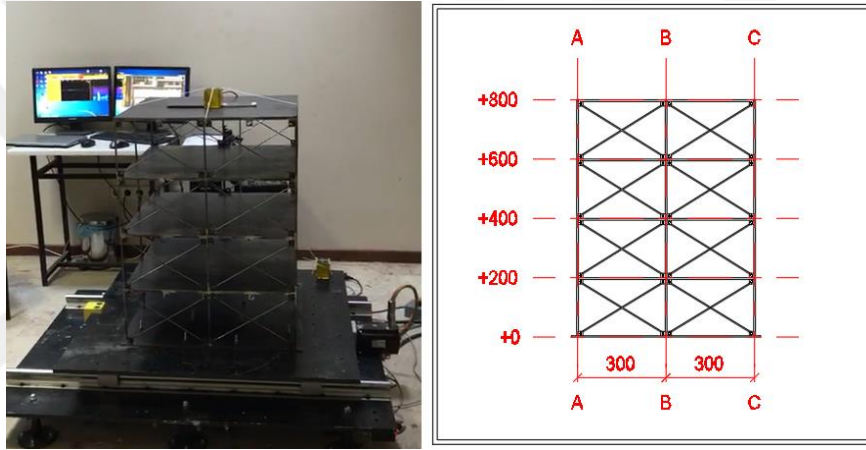


Şekil 3.3. Model 1 diyagonal çapraz kesiti



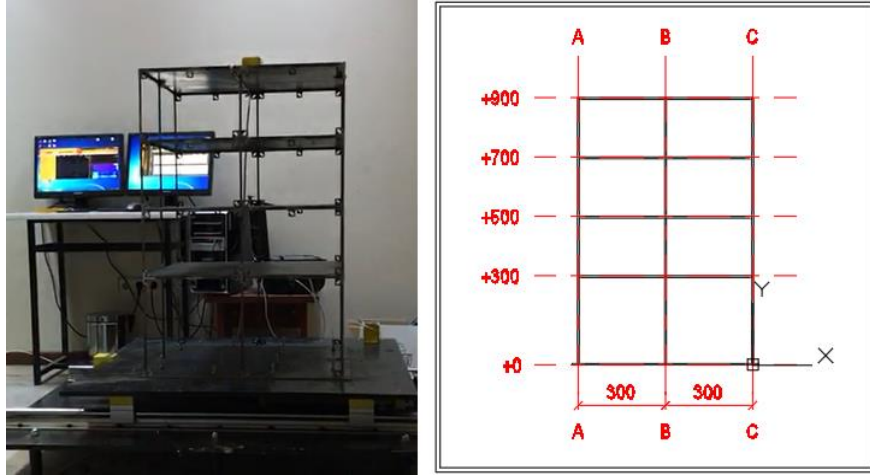


Şekil 3.4. Model 1 ters V çapraz kesiti

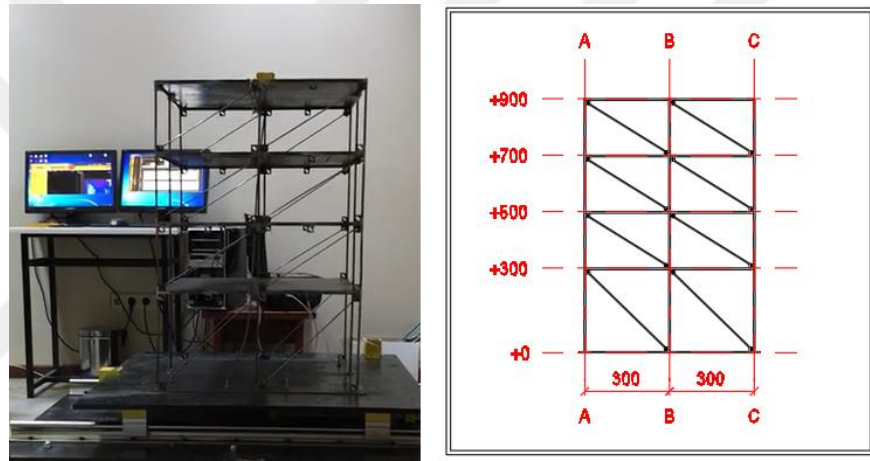


Şekil 3.5. Model 1 X çapraz kesiti

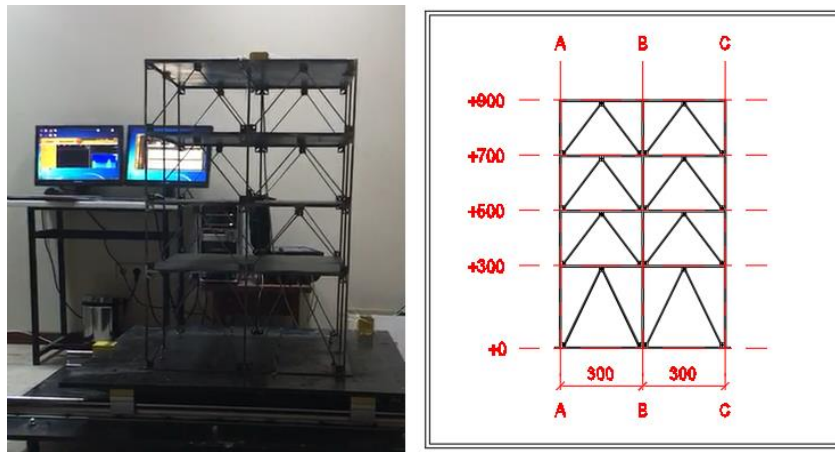
Şekil 3.1.'de Model 2'ye (yumuşak kat düzensizliği bulunan model) ait yapı planı, Şekil 3.6., Şekil 3.7., Şekil 3.8. ve Şekil 3.9.'da çapraz tiplerine ait boy kesitler gösterilmiştir. Model 2, 640x640 mm temel boyutlarına sahiptir. Zemin kat yüksekliği 300 mm olup diğer üç katın yükseklikleri 200 mm'dir. Model 1'den farkı ise zemin kat yüksekliğidir.



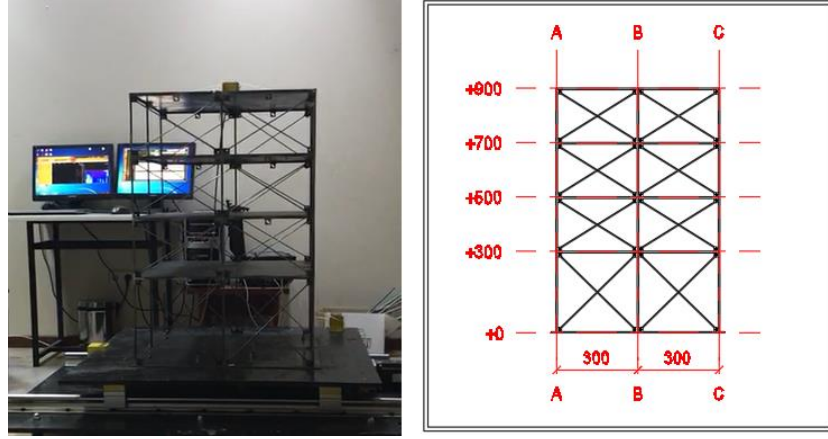
Şekil 3.6. Model 2 yapı kesiti



Şekil 3.7. Model 2 diyagonal çapraz kesit

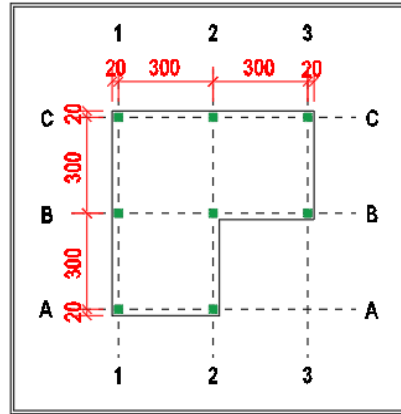


Şekil 3.8. Model 2 ters V çapraz kesiti

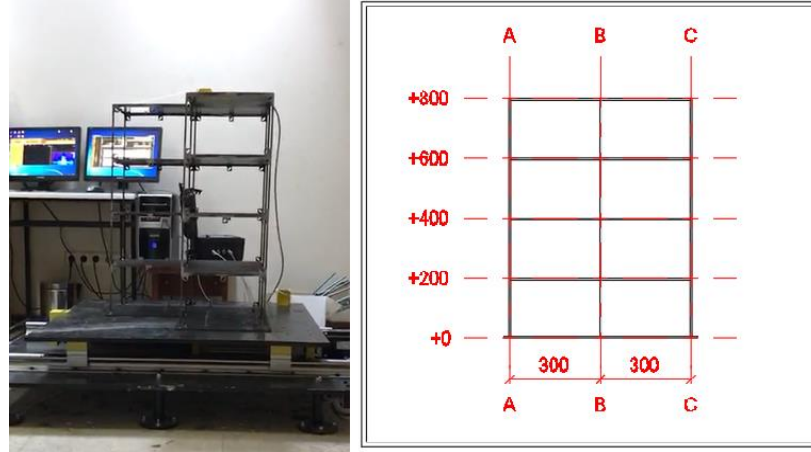


Şekil 3.9. Model 2 X çapraz kesit

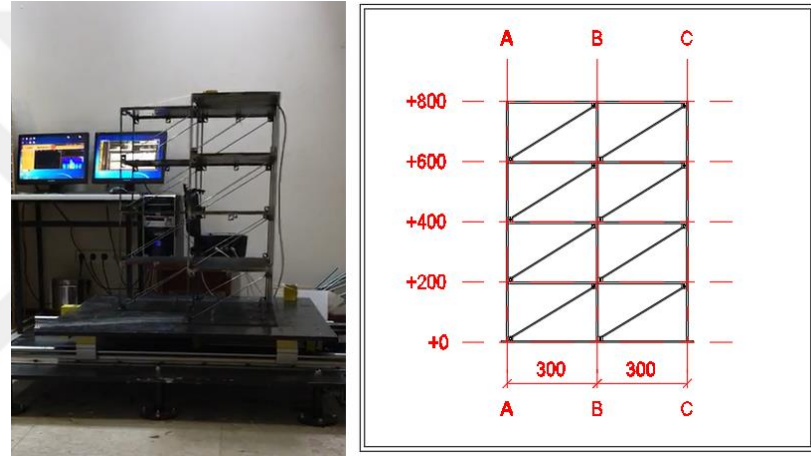
Şekil 3.10.'da Model 3'e (planda çıkıntılar bulunması düzensizliği bulunan model) ait yapı planı, Şekil 3.11., Şekil 3.12., Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'te merkezi çelik çapraz tiplerine ait boy kesitler gösterilmiştir. Model 3, Şekil 3.10'da görüldüğü üzere L şeklinde yapı planına sahiptir. Kat yükseklikleri 200 mm olup 4 katlıdır.



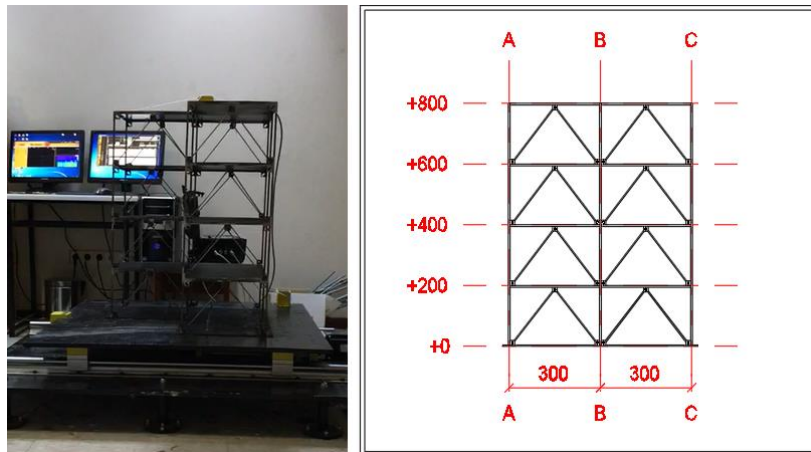
Şekil 3.10. Model 3 yapı planı



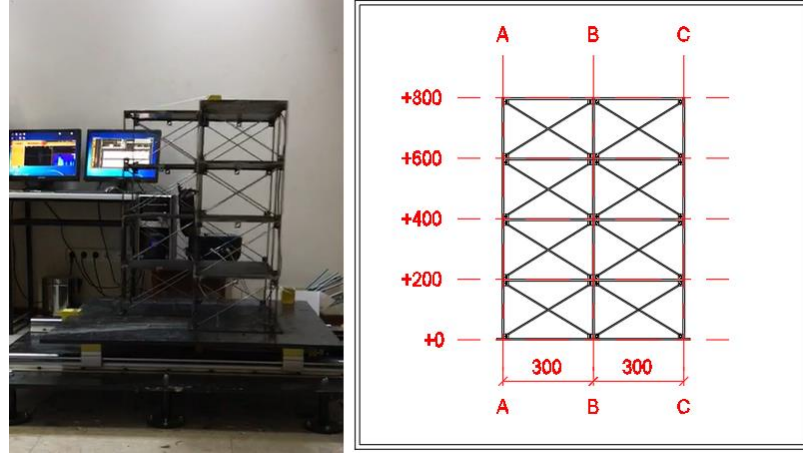
Şekil 3.11. Model 3 yapı kesiti



Şekil 3.12. Model 3 diyagonal çapraz kesiti



Şekil 3.13. Model 3 Ters V çapraz kesiti



Şekil 3.14. Model 3 X çapraz kesiti

### 3.2. Yöntem

Bu çalışma deneysel ve nümerik olmak üzere iki aşamada tamamlanmıştır. Deneysel çalışma kısmında, birbirinden farklı üç adet çelik yapı modeli üretilmiştir. Üretilen Model 1 (M1), Model 2 (M2) ve Model 3 (M3) yapıları sarsma tablası üzerinde 3 farklı deprem kaydı kullanılarak deneye tabi tutulmuştur. Bu deprem kayıtları deprem 1 (D-1), deprem 2 (D-2), deprem 3 (D-3) olarak isimlendirilmiştir. Her bir modelde dairesel kesitli diyagonal, X ve ters V merkezi çelik çapraz türü ayrı ayrı incelenmiştir. Merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız yapı modellerine sarsma tablası yardımıyla yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırılarak yapılara ait dinamik davranışın değişimi tespit edilmeye çalışılmıştır. Çelik yapı modellerine deprem kayıtlarının uygulanması sırasında, sarsma tablasına ve yapı tepe noktasına yerleştirilen ivmeölçerlerden ve sadece tepe noktasına yerleştirilen akıllı cihazlardan veri alımı yapılmıştır. Bu veriler birçok çalışmaya yardımcı olan Seismosignal programı ile incelenmiştir.

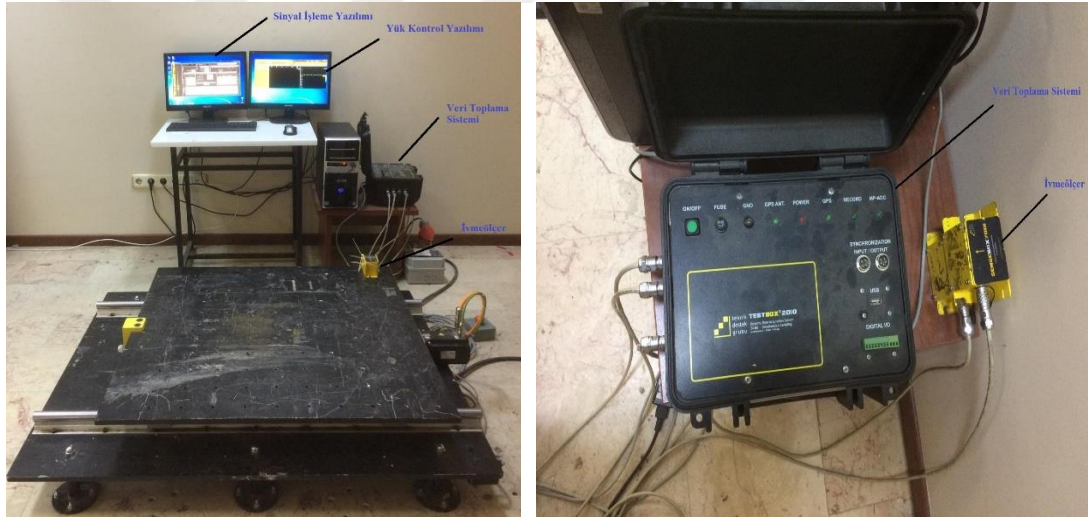
Nümerik çalışma aşamasında Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla yapı modelleri oluşturulmuştur. Yapı modellerinde en uygun kesit türünü belirleyebilmek amacıyla üç farklı kesit tipi (dairesel, T ve kare kesit), üç farklı merkezi çelik çapraz türü (diyagonal, X ve ters V) ayrı ayrı incelenmiştir. Çelik yapı modellerinin nümerik analizleri sırasında deneysel analizlerdeki deprem kayıtları uygulanmıştır. Uygulanan deprem kayıtları sonucunda ortaya çıkan veriler kayıt altına alınmıştır. Nümerik ve deneysel analizlerden elde edilen, model yapıların merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız



durumlarına ait periyot değerleri, sönüm oranları, ivme değerleri, taban kesme kuvvetleri, görelî kat deplasmanları ve ötelenmeleri karşılaştırılmıştır

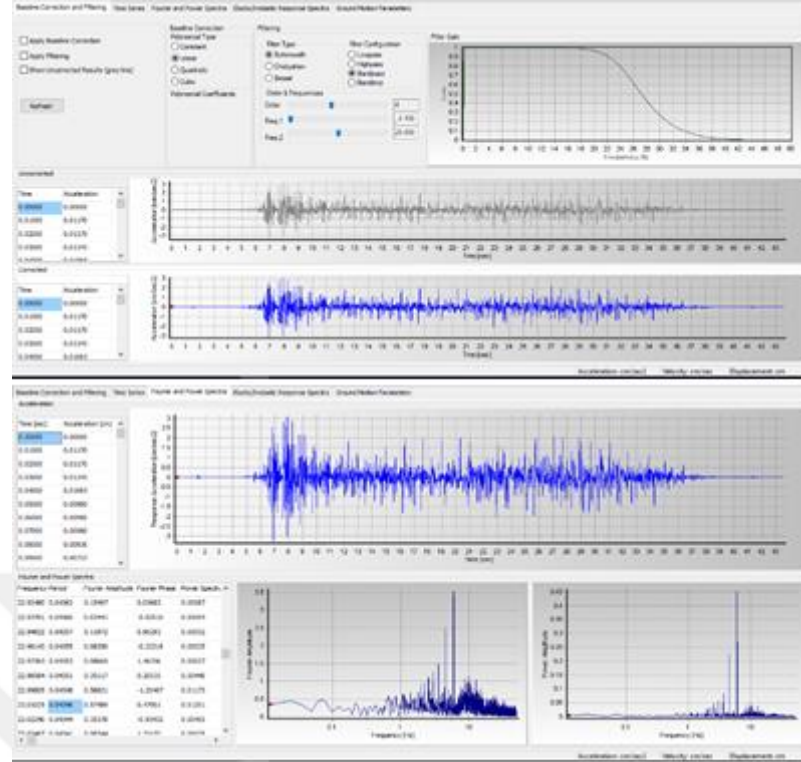
### 3.3. Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deprem kayıtları çelik yapı modellerine uygulanırken kapasitesi 2500N olan, 1100x1000 mm ebatlarında sarsma tablası kullanılmıştır.  $\pm 2$  g ivme oluşturabilen sarsma tablası, sinüzoidal dalgaları ve gerçek deprem kayıtlarını uygulayabilmektedir. Sarsma tablasına ve çelik yapı modellerinin tepe noktalarına yerleştirilen ivmeölçerler yardımıyla elde edilen kayıtlar veri toplama sistemi ile bilgisayar ortamında kayıt altına alınıp incelenebilmektedir (Öztürk ve ark. 2018).



Şekil 3.15. Sarsma tablası ve veri toplama sistemi

Android ve Ios işletim sistemine sahip cihazlardan alınan veriler ise özel programlar yardımı ile kaydedilebilmektedir. Deneysel analizlerde kullanılan ivmeölçerlerin gürültü performansı oldukça düşük olup ölçüm kapasiteleri  $\pm 3$  g'dir. Frekans ölçüm aralığı olarak ise 0-400 Hz'dir. Veri toplama sistemi yardımıyla elde edilen verilere Seismosignal programı (Şekil 3.16.) yardımıyla filtreleme işlemi uygulanarak, yapı modellerine ait periyot değerleri ve sönüm oranları bulunabilmektedir.



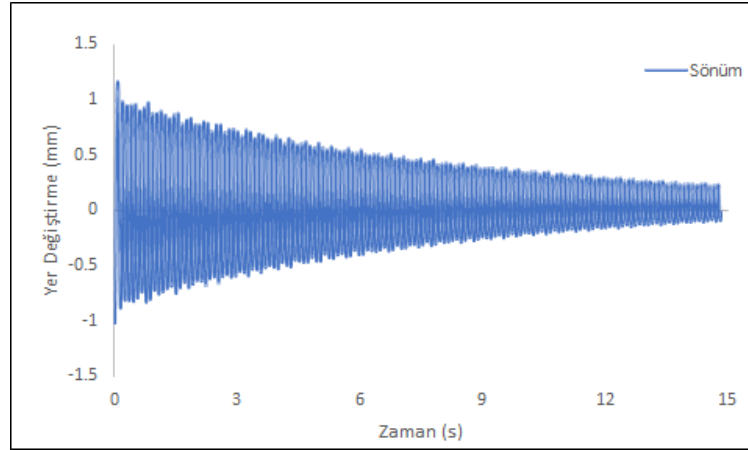
Şekil 3.16. Seismosignal programı filtreleme ve periyot inceleme ekran görüntüleri

### 3.4. Analizler

Çalışma deneysel ve nümerik olarak iki aşamada incelenmiştir. Merkezi çaprazlı ve çaprazsız modellere serbest ve zorlanmış titreşim hareketleri uygulanarak veri toplama cihazı yardımıyla veriler kayıt altına alınmıştır. Serbest titreşim hareketi sonucunda model yapılara ait periyot değerleri ve sönüm oranları elde edilmiştir. Sönüm oranı hesaplanırken Denklem (3.1)'e göre hesaplama yapılmıştır (Chopra, 2001).

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{u_i}{u_{i+j}} \quad (3.1)$$

Burada,  $\xi$ ; sönüm oranını,  $u_i$  herhangi bir salınımdaki deplasmanı,  $j$ ; salınım sayısını ve  $u_{i+j}$  ise bir sonraki salınımda gerçekleşen deplasmanı göstermektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda model yapıların ortalama sönüm oranı %1.0 olarak bulunmuştur. Model yapılara ait ortalama serbest titreşim grafiği Şekil 3.17.'deki gibidir.



Şekil 3.17. Model yapılarla ait serbest titreşim grafiği

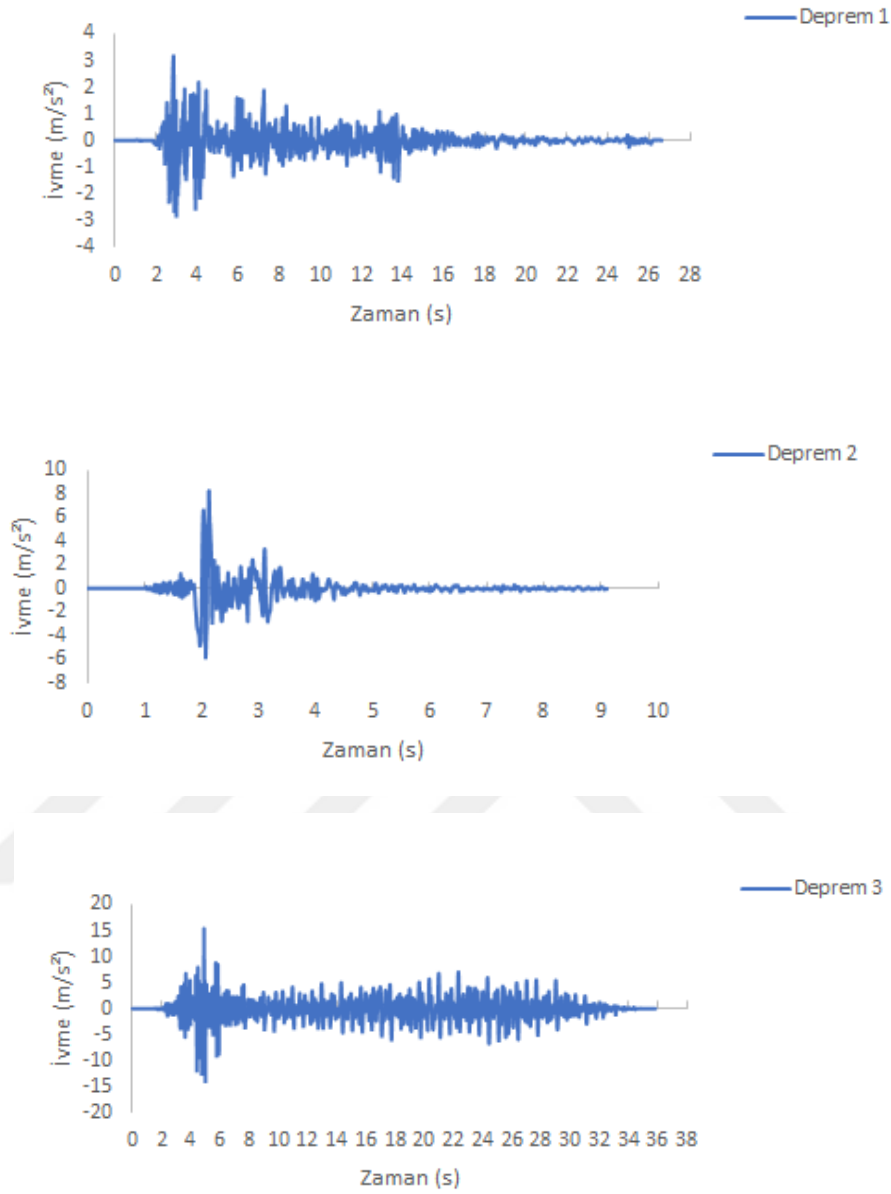
Deneyselde kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri Tablo 3.2.'de belirtilmiştir (Karaduman, 2012).

Tablo 3.2. ST44 Çelik malzemesinin karakteristik özellikleri

Parametre	Değer
Elastisite modülü	200000 N/mm <sup>2</sup>
Birim hacim ağırlık	185 kg/m <sup>3</sup>
Poisson oranı	0.3
Sönüm oranı	0.010

Deneysel analizler yapılırken Model 1 referans yapı modeli olarak, Model 2 yumuşak kat düzensizliğine sahip yapı modeli olarak, Model 3 ise planda çıkıntılar bulunması düzensizliğine sahip yapı modeli olarak tasarlanmıştır. Merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız kombinasyonlar sonucunda oluşan 12 farklı model yapının dinamik karakteristiklerinin, tepe noktasına ait ivme ve yer değiştirme değerlerinin bulunabilmesi için farklı şiddetlerde üç farklı deprem kaydı uygulanmıştır. Uygulanan deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri Şekil 3.18.'de verilmiştir. Ayrıca kullanılan deprem kayıtlarına ait en büyük ivme, hız ve yer değiştirme değerleri Tablo 3.3.'de belirtilmiştir.





Tablo 3.3. Deprem 1-2-3 kayıtlarına ait hız, ivme ve deplasman değerleri

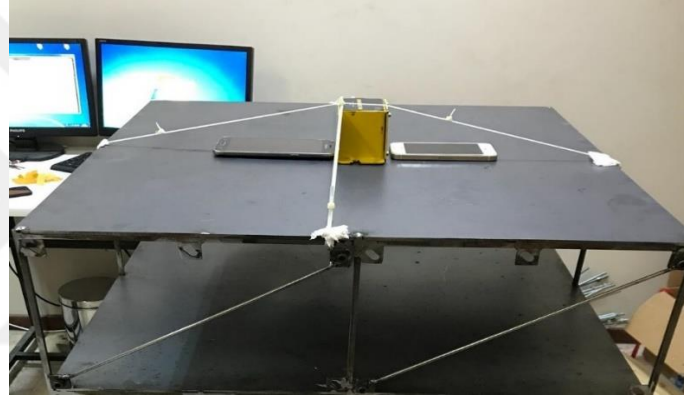
Uygulanan Deprem Kayıtları	Deprem Süreleri (s)	Max İvme (m/s <sup>2</sup> )	Max. Hız (cm/s)	Max. Deplasman (mm)
Deprem 1	26.63	3.179	15.231	30.537
Deprem 2	9.091	8.266	34.906	22.354
Deprem 3	35.866	15.411	36.612	31.003

Deneysel analizler yapılırken çelik yapı modelleri sarsma tablasına ankastre mesnet koşullarının sağlanabilmesi için bulonlar ile sabitlenmiştir.



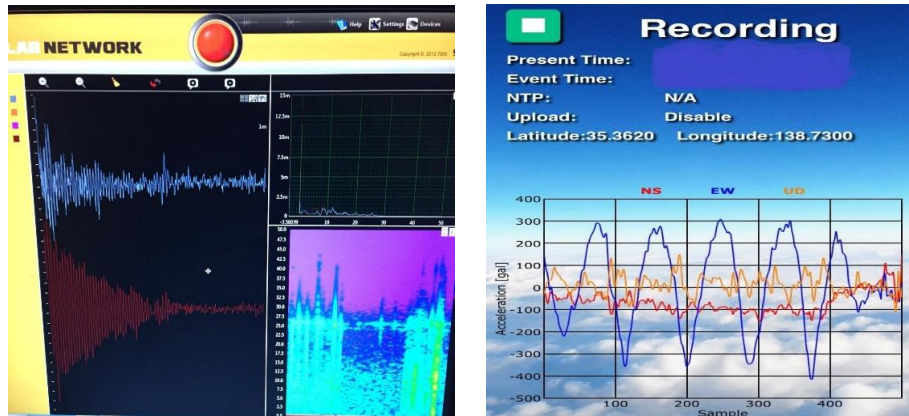
Şekil 3.19. Model yapıların sarsma tablasına bulonlar ile sabitlenmesi

Modeller üzerine ivmeölçerler ile birlikte Ios ve Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlar yerleştirilmiştir.



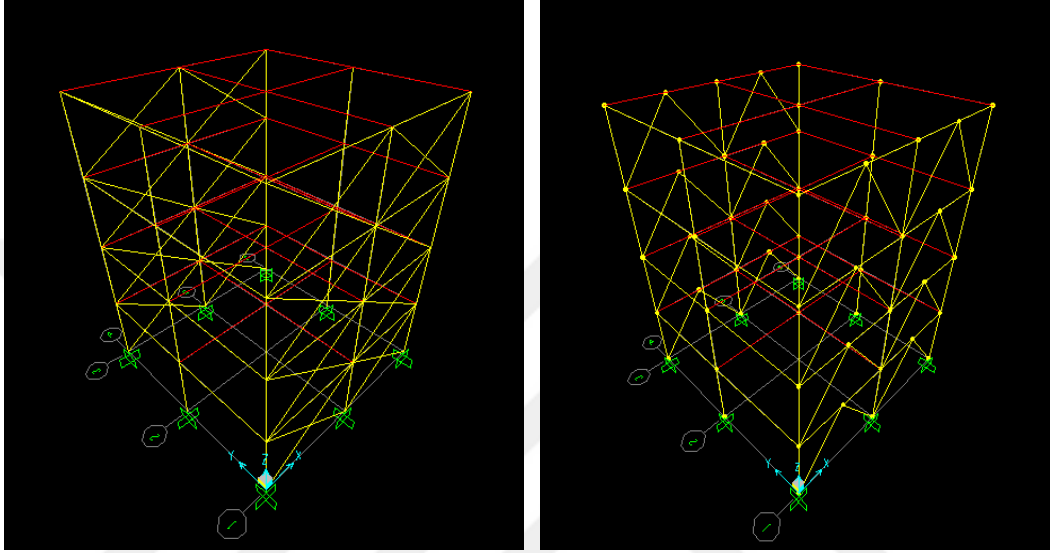
Şekil 3.20. Model yapılar üzerine akıllı cihazların yerleştirilmesi

İvmeölçerlerden veri toplama sistemi yardımıyla, Ios işletim sistemine sahip telefonlardan i-Jishin programı aracılığıyla, Android işletim sistemine sahip telefonda ise sensör uygulaması kullanılarak ivme kaydı veri alımı yapılmıştır.



Şekil 3.21. Sinyal işleme yazılımı ve İjishin uygulaması

Tüm veriler Seismosignal programı (Şekil 3.16.) yardımıyla incelenmiştir. İvmeölçerlerden ve akıllı telefonlardan alınan kayıtların ivme-zaman grafikleri çizilmiştir. Çalışmanın nümerik analizlerinde ise birbirinden farklı çelik yapı modellerinin, merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız halleri Sap2000 sonlu eleman programı ile hazırlanmıştır.



Şekil 3.22. Sap2000 merkezi çelik çapraz çizimleri

Nümerik model oluşturulurken kolonların zemine ankastre mesnetlendiği ve döşemelerin rijit diyafram davranış sergilediği kabul edilmiştir. Deneyler sırasında model yapıların tepe noktalarına yerleştirilen akıllı telefonların ve ivmeölçerlerin ağırlıkları nümerik modellere ilave edilmiştir. Nümerik analizlerde, deneysel analizler sonucu bulunan çelik yapı modellerinin periyot değerleri Sap2000 sonlu eleman programında eğilme rijitlikleri (EI) ve elastisite modülleri (E) değiştirilerek, en uygun hale getirilerek doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu aşamada modeller üzerinde zaman-tanım alanında analizler yapılarak, yapıların dinamik karakteristikleri, kat ötelenmeleri, taban kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda, ivmeölçerlerden, Ios ve Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlardan alınan sinyaller Seismosignal programı yardımıyla işlenerek, yapı modellerine ait periyotlar bulunmuştur. Sap2000 ve Seismosignal programlarından elde edilen tüm periyotlar kendi arasında karşılaştırılmıştır. Yapı modellerine uygulanan deprem kuvvetleri sonucunda yapı modelleri üzerinde oluşan taban kesme kuvvetleri ve kat ötelenmeleri

birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında merkezi çelik çaprazlarda dairesel kesit ile birlikte T ve kare kesit kullanılarak en uygun kesit türünü belirlemek için Sap2000 yardımıyla analizler yapılmıştır. Bu analizler sonrasında aynı kesit alanına sahip farklı kesit türleri aynı çaprazlı durumlar için karşılaştırılmıştır.

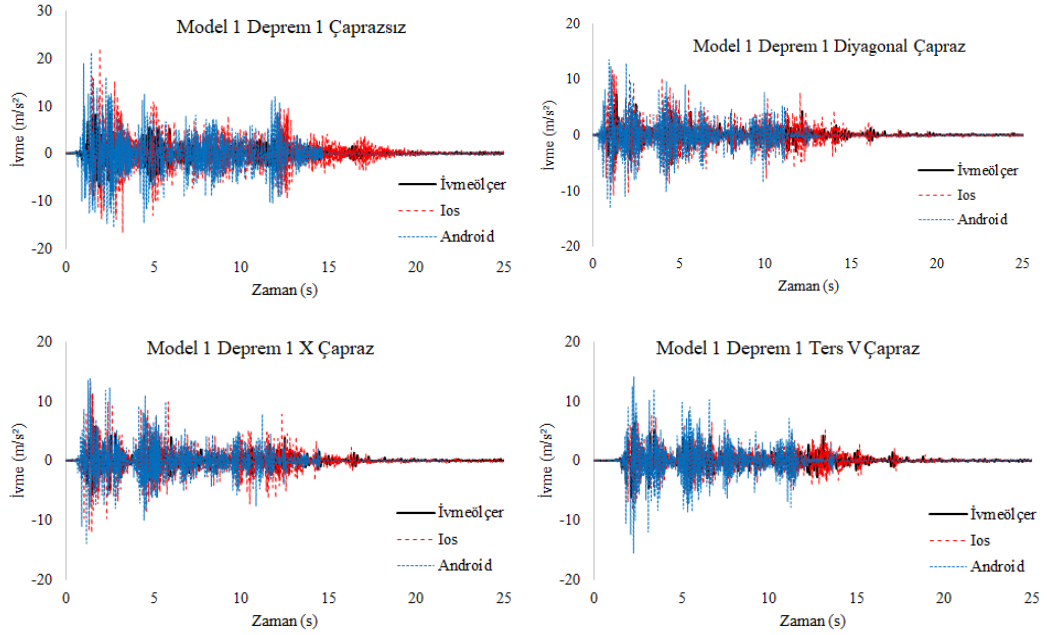


## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR

Sarsma tablasına ankastre olarak sabitlenen çelik yapı modellerine Şekil 3.18.'de görülen deprem kayıtları uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonrasında çelik yapı modellerinin, merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri, periyot değerleri ve grafikleri, taban kesme kuvveti değerleri ve grafikleri, görelî kat ötelenmelerine ve kat deplasmanlarına ait değerlerin grafikleri elde edilmiştir.

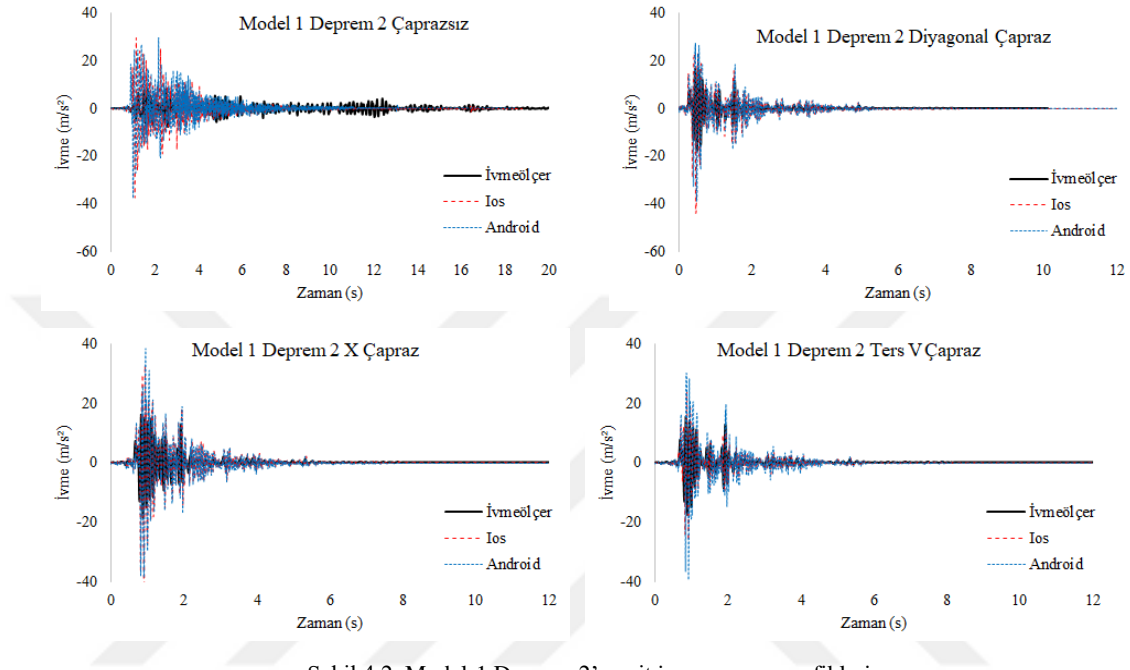
### 4.1. Model Yapılara Ait İvme-Zaman Değerleri ve Grafikleri

Deprem-1 kaydının uygulandığı Model-1'in çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için İvmeölçer, Ios ve Android ivme-zaman grafikleri Şekil 4.1.'de verilmiştir.

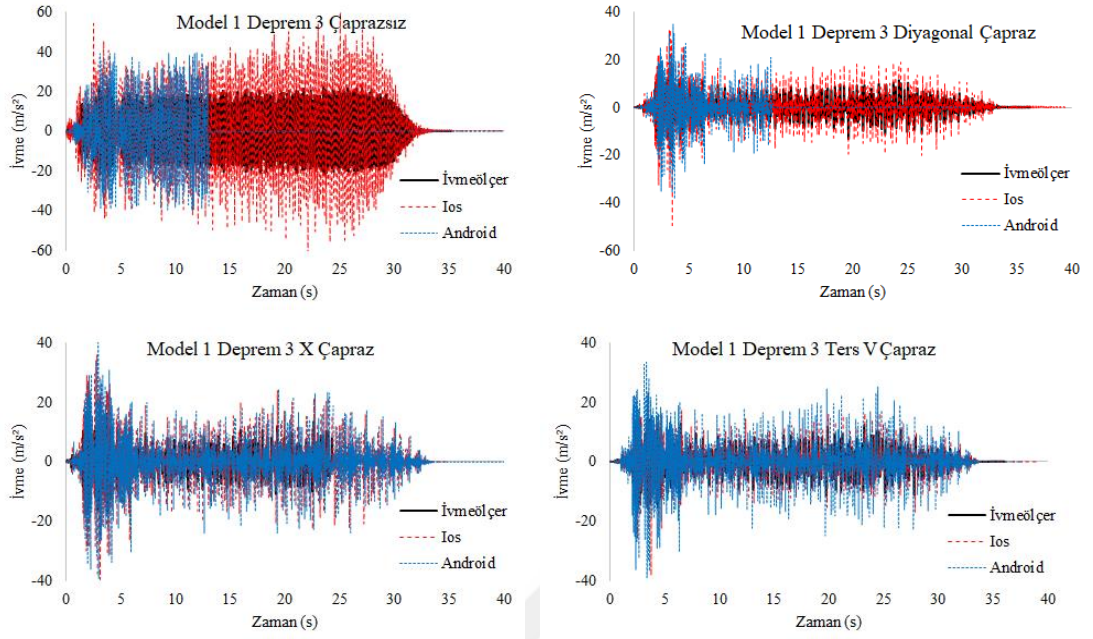


Şekil 4.1. Model-1 Deprem-1'e ait ivme-zaman grafikleri

Çelik çaprazlı yapı modelleri için maksimum ivme sonuçları yaklaşık değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Çelik çaprazların bulunmadığı yapı modelinde ise en büyük ivme değerleri çaprazlı yapı modellerinin yaklaşık iki katı büyüklüğündedir. Bu sonucun sebebi merkezi çelik çaprazların yapılara kazandırdığı rijitliktir.

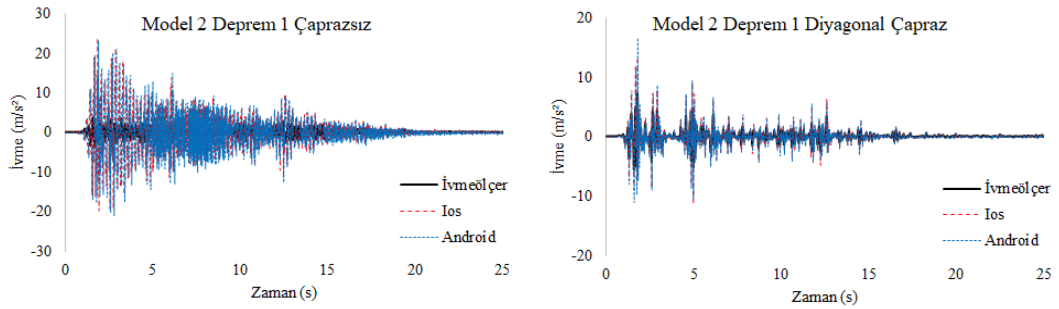


Deprem-2 kaydının uygulandığı Model-1'in çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.2.'de verilmiştir. İvmeölçere ait ivme sonuçları ile akıllı cihazlara ait ivme sonuçlarında grafikler birbirleri ile dengeli bir yaklaşım sergilemektedirler. Ancak ivme değerleri arasında yarı yarıya fark vardır. Akıllı cihazlar kendi arasında karşılaştırıldığında ise birbirleri ile yaklaşık ivme sonuçları vermektedirler. İvmeölçerler ile akıllı telefonlar arasında, ivme kaydı alınırken hassasiyet farkı olduğu söylenebilir.

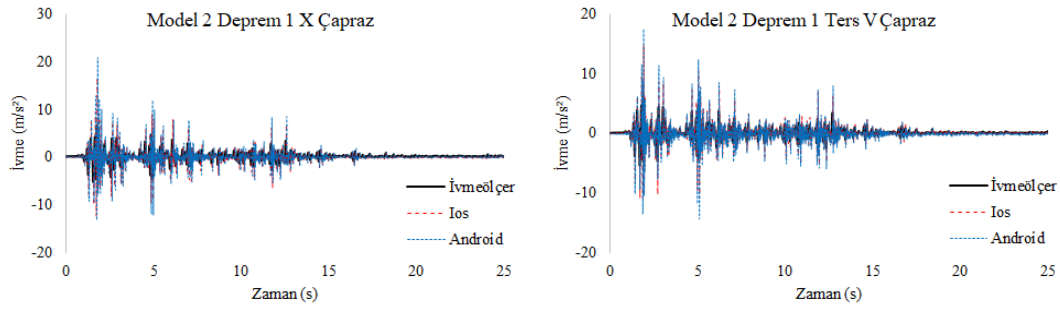


Şekil 4.3. Model-1 Deprem-3'e ait ivme-zaman grafikleri

Deprem-3 kaydının uygulandığı Model-1'in çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için İvmeölçerin, Ios ve Android telefonların ivme-zaman grafikleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. İvmeölçerlerden ve akıllı cihazlardan alınan ivme kayıtları sonucunda X ve ters V çapraz durumları için yaklaşık sonuçlar ortaya çıkmıştır. Çaprazsız ve diyagonal çelik çaprazlı durumlar için Android işletim sistemine sahip akıllı telefonda alınan ivme kayıtlarında kopmalar olduğu görülmektedir. Bu nedenle Android telefonda alınan verilerde ilerleyen zamanlarda yapılabilecek deneyler sırasında sorunlar yaşanabileceği söylenilebilir.

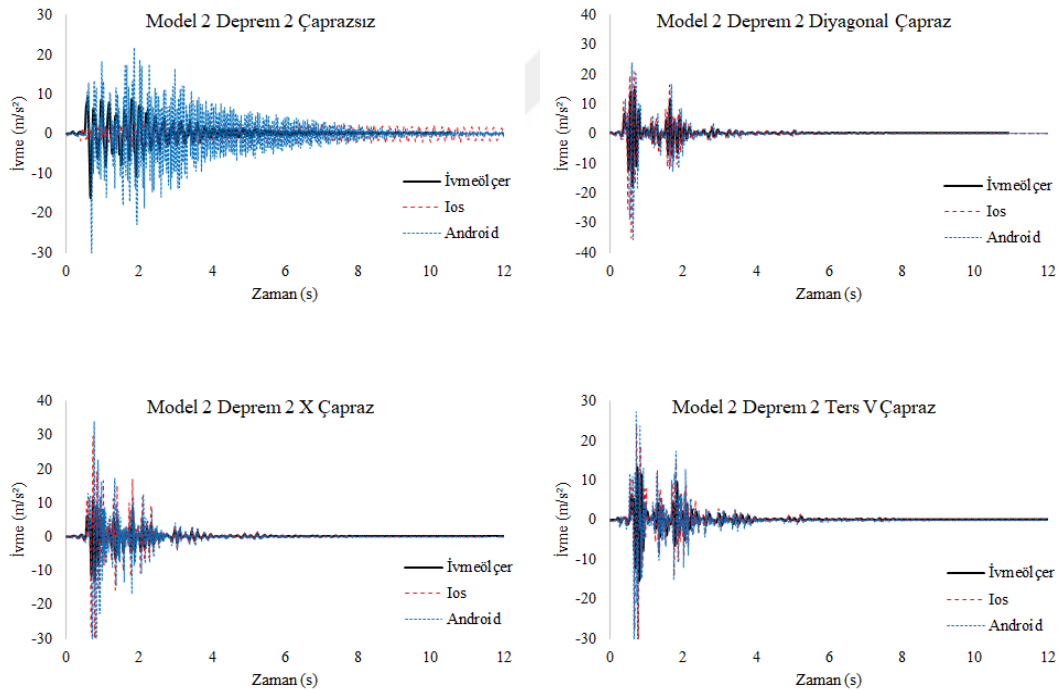


Şekil 4.4. Model-2 Deprem-1'e ait ivme-zaman grafikleri



Şekil 4.4. (devamı)

Deprem-1 kaydının uygulandığı Model-2'nin çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.4.'te verilmiştir. İos ve Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlardan alınan ivme kayıtları incelendiğinde diyagonal, X ve ters V çaprazlı durumlar için ivme değerleri ve grafikleri yaklaşık değerlerdedir. İvmeölçerlerden alınan verilere bakıldığında ise daha düşük ivme değerlerine sahiptir. Bu farkların sebepleri akıllı telefonların frekans bandının farklı olmasıdır.

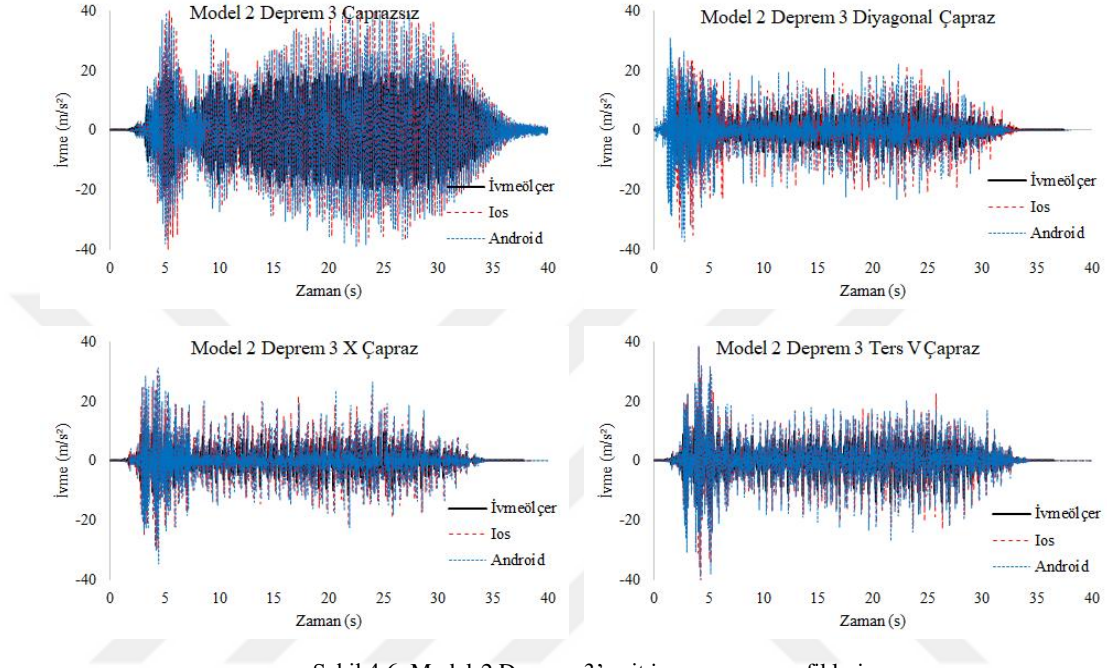


Şekil 4.5. Model-2 Deprem-2'ye ait ivme-zaman grafikleri

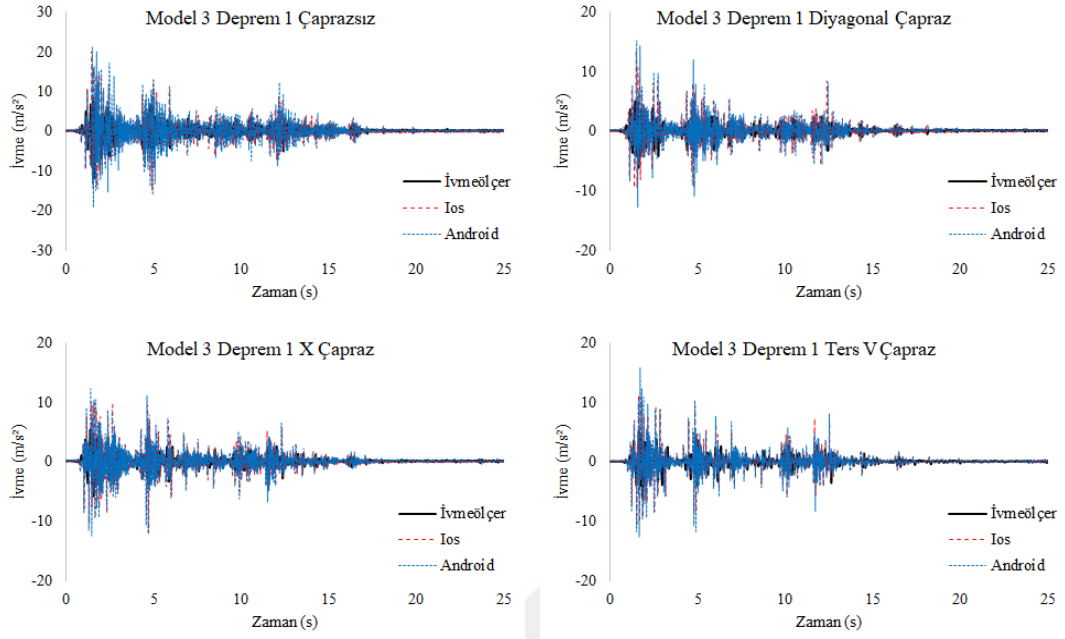
Deprem-2 kaydının uygulandığı Model-2'in çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.5.'te verilmiştir. İvmeölçerlerden alınan verilerde, çaprazlı ve çaprazsız sistemlerin ivme değerleri arasında farkın çok fazla olmadığı



görülmektedir. Android telefonda alınan veriler incelendiğinde çaprazsız sistemde, Ios ve ivmeölçere göre daha düzensiz hareket sağladığı anlaşılmaktadır. Bu düzensizliğin oluşma sebebi olarak akıllı telefonların frekans bandının farklılığı gösterilebilir.

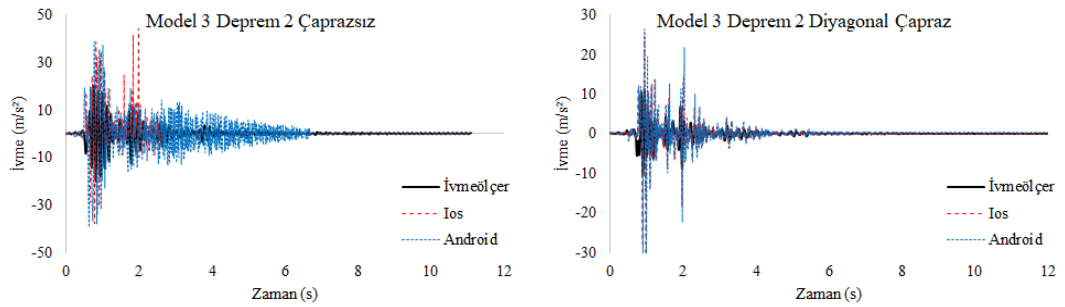


Deprem-3 kaydının uygulandığı Model-2'nin çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.6.'da verilmiştir. Çaprazlı sistemlerden alınan veriler kendi arasında karşılaştırıldığında ivme-zaman grafiklerinin birbirleri ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. Çaprazlı sistemler ile çaprazsız sistemlerden alınan ivme kayıtları kıyaslandığında ise çaprazsız sistemlerin ivme değerlerinin daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak ise rijitliğin artması veya azalmasıyla yapı periyotlarında oluşan farklılıklara bağlı olarak yapı spektrum eğrisinde meydana gelen değişkenlik durumu gösterilebilir. Bu değişkenlik yapılarında deprem talebinin artmasına sebep olmaktadır. İvme değerlerinde bu talepten dolayı artma veya azalma meydana gelebilir.

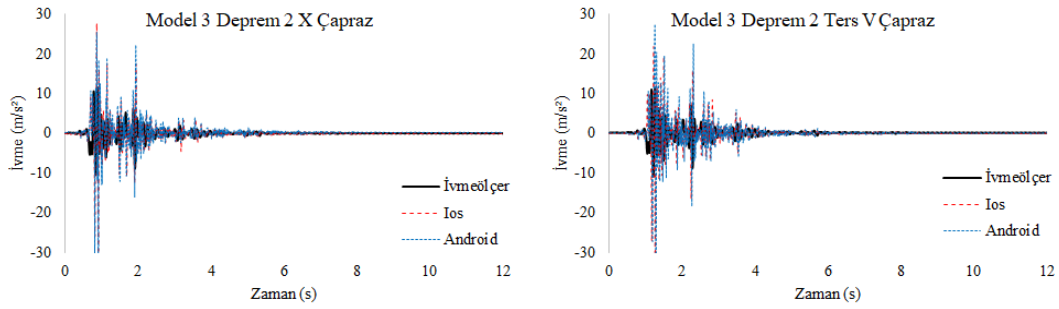


Şekil 4.7. Model-3 Deprem-1'e ait ivme-zaman grafikleri

Deprem-1 kaydının uygulandığı Model-3'ün çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.7.'de verilmiştir. Çaprazlı ve çaprazsız yapı modelleri üzerinden veri alımı yapan ivmeölçerden, Ios ve Android telefonlardan alınan ivme kayıtları sonrasında çelik çaprazlı modeller için ivme değerlerinin pik noktaları yaklaşık olarak aynıdır. Çaprazsız sistemler için oluşturulan grafikler ise çaprazlı sistemler ile benzerlik gösterse de sayısal değer olarak çaprazlı sistemlere göre daha büyüktür.

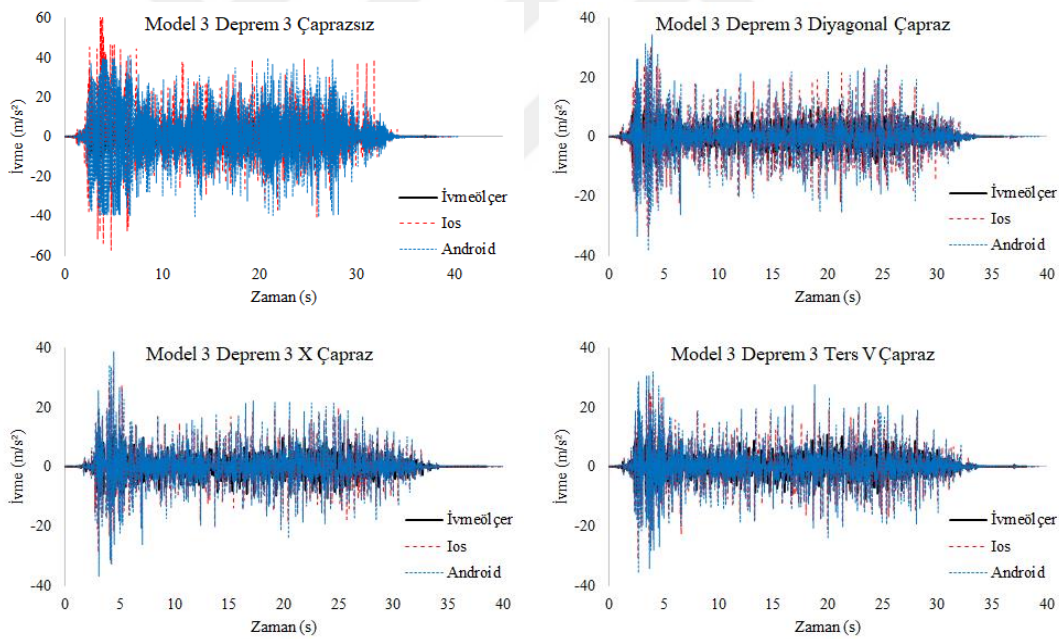


Şekil 4.8. Model-3 Deprem-2'ye ait ivme-zaman grafikleri



Şekil 4.8. (devamı)

Deprem-2 kaydının uygulandığı Model-3'ün çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.8.'de verilmiştir. Ios işletim sistemine sahip telefonda alınan veriler, çaprazsız sistemlerde ivmeölçerden alınan ivme kayıtları ile benzer sonuç vermemektedir. Çaprazlı sistemler için grafikler incelendiğinde birbirleri ile dengeli grafikler oluşmuştur.



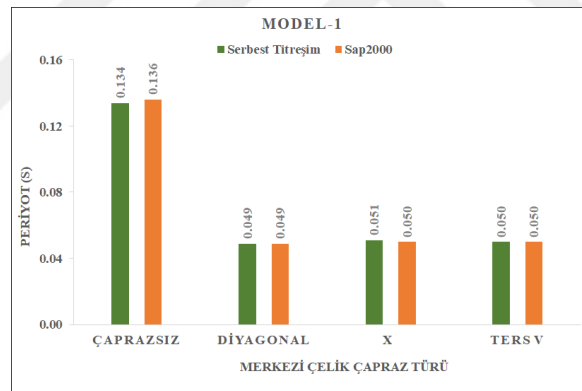
Şekil 4.9. Model-3 Deprem-3'e ait ivme-zaman grafikleri

Deprem-3 kaydının uygulandığı Model-3'ün çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için ivme-zaman grafikleri Şekil 4.9.'da verilmiştir. Veriler sonrasında oluşturulan grafiklerde İvmeölçerden, Ios ve Android telefonlardan alınan verilerin çaprazlı sistemler ile örtüştüğü görülmüştür. Android telefonda alınan verilere bakıldığında ise çaprazsız durumlarda ivme değerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ios

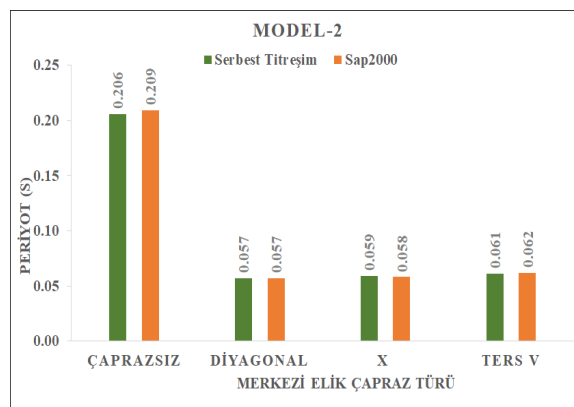
cihazdan alınan verilere göre çaprazsız sistemlerde kayıtların sonlarına doğru Android ve ivmeölçere göre farklı pik değerler yapıldığı fark edilmiştir. Bu sonuç akıllı cihazların ve ivmeölçerlerin frekans bandının farklılığından kaynaklanabilir.

## 4.2. Periyot Değerleri ve Grafikleri

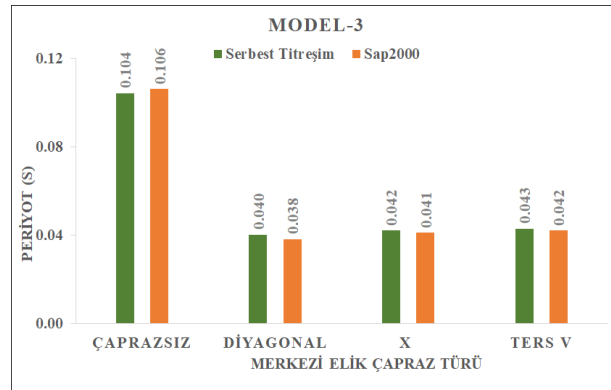
Çelik yapı modelleri üzerinde serbest titreşim deneyleri yapılarak Seismosignal programı yardımıyla periyot değerleri bulunmuştur. Bu değerler ile Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla bulunan periyot değerleri ile karşılaştırılmıştır. İvmeölçerden, Ios ve Android telefonlardan elde edilen veriler Seismosignal'de filtrelenerek, çelik yapı modellerinin periyot değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kendi aralarında kıyaslanmıştır. Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de Model 1-2-3'e ait serbest titreşim deneylerinden ve Sap2000'den elde edilen periyot sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Model-1 - Serbest titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları



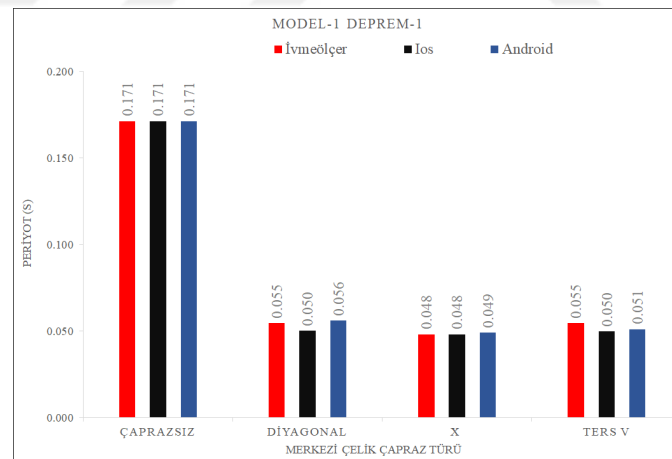
Şekil 4.11. Model-2 - Serbest titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları



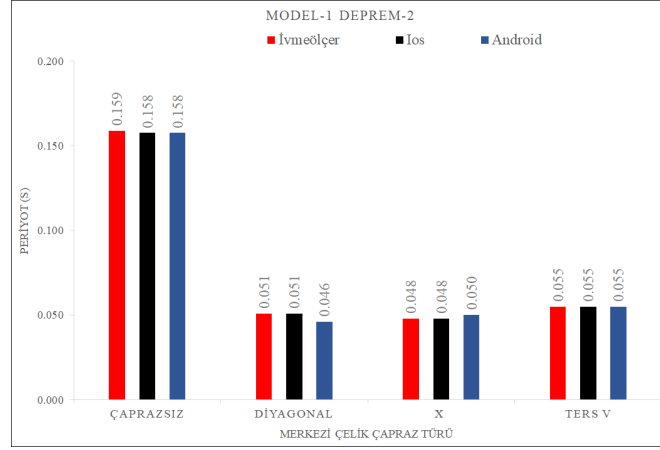
Şekil 4.12. Model-3 - Serbest titreşim ve Sap2000 periyot sonuçları

Serbest titreşim deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlara göre yapı modelleri arasındaki periyot sıralaması  $M2 > M1 > M3$  şeklindedir. Bunun sebepleri olarak model yapıların ağırlıkları ve rijitlikleri gösterilebilir. Model yapıların ağırlık sıralaması  $M2 > M1 > M3$  biçimindedir.

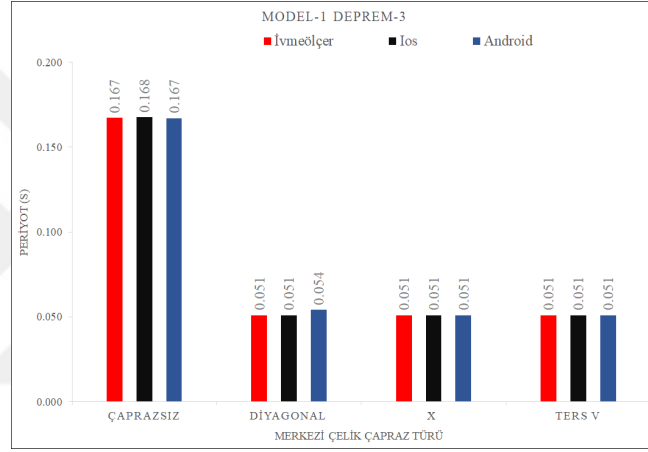
Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de Deprem 1-2-3 kayıtları etkisindeyken Model 1'de oluşan periyot değerleri verilmiştir.



Şekil 4.13. Model-1 Deprem-1 - periyot sonuçları

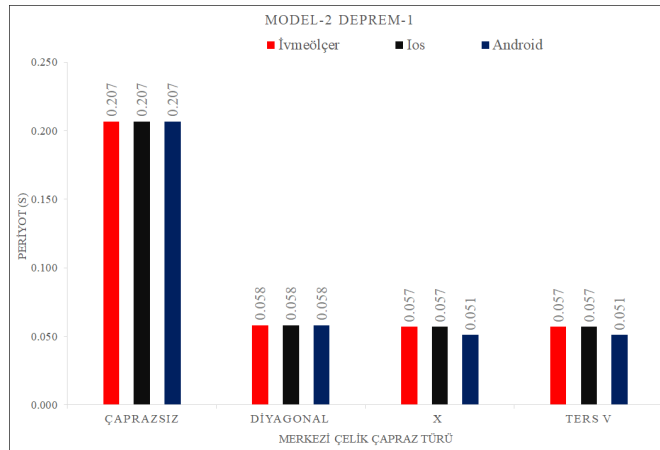


Şekil 4.14. Model-1 Deprem-2 - periyot sonuçları

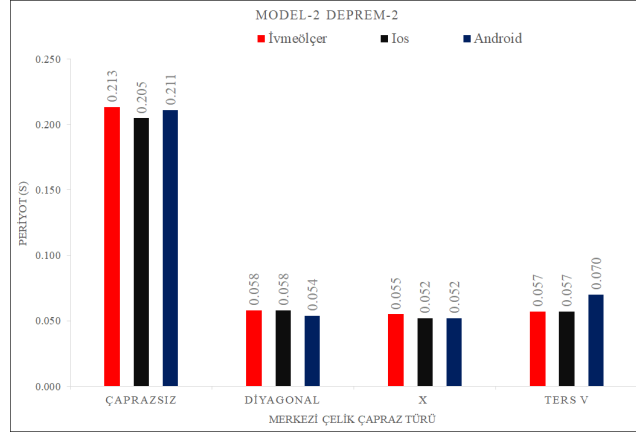


Şekil 4.15. Model-1 Deprem-3 - periyot sonuçları

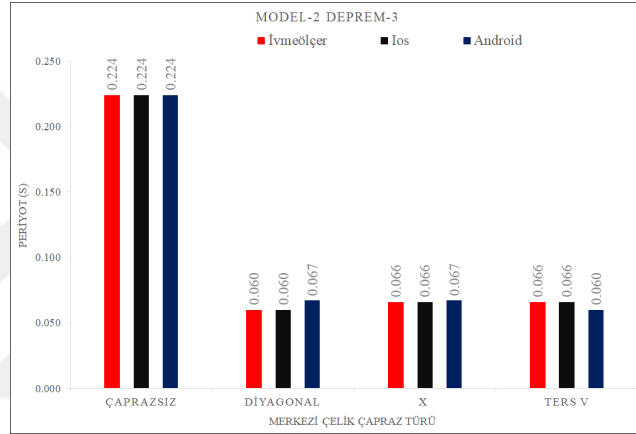
Şekil 4.16., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de farklı deprem kayıtları etkisindeyken Model 2'de oluşan periyot sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Model-2 Deprem-1 - periyot sonuçları

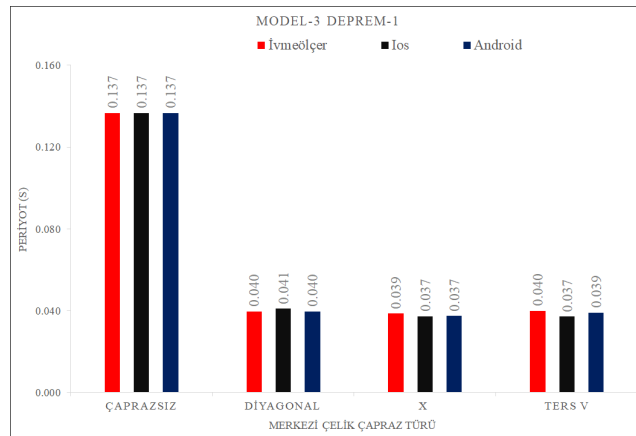


Şekil 4.17. Model-2 Deprem-2 - periyot sonuçları

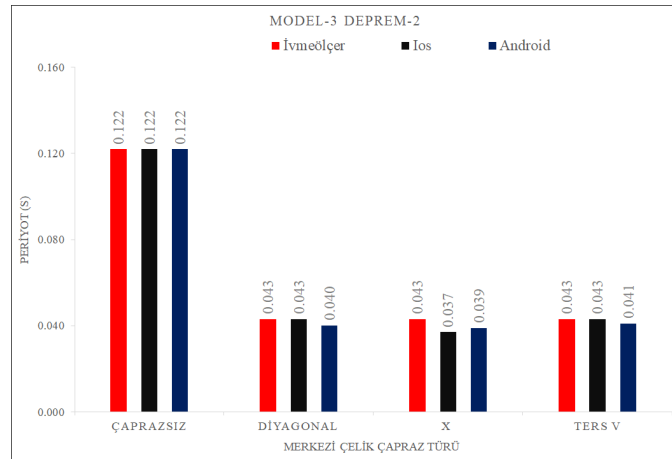


Şekil 4.18. Model-2 Deprem-3 - periyot sonuçları

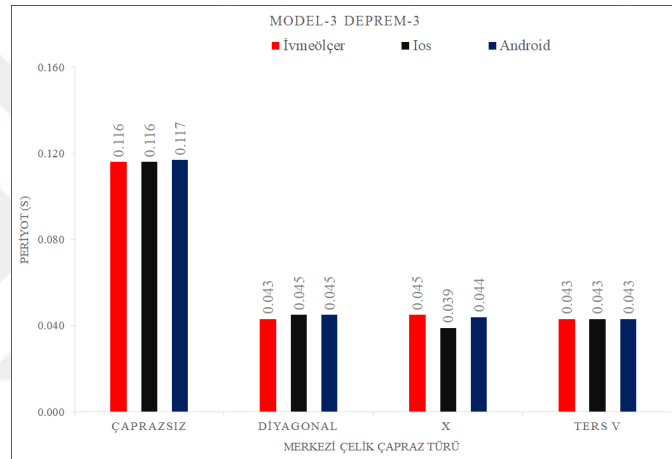
Şekil 4.19., Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.'de deprem kayıtları uygulandıktan sonra Model 3'te oluşan periyot değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Model-3 Deprem-1 - periyot sonuçları



Şekil 4.20. Model-3 Deprem-2 - periyot sonuçları



Şekil 4.21. Model-3 Deprem-3 - periyot sonuçları

Periyot değerleri, çelik yapı modellerinin merkezi çelik çaprazlı ve çaprazsız durumları için, farklı deprem kuvvetleri altında incelenmiştir. İvmeölçerlerden, akıllı telefonlardan alınan veriler incelenip periyot değerleri karşılaştırılmıştır. Çelik yapı modellerine uygulanan deprem kuvvetleri sonrasında çaprazlı sistemlerin, çaprazsız sistemlere göre daha rijit davranış sergilemesinden dolayı periyot değerlerinin daha küçük olduğu görülmüştür. Çelik yapı modellerine uygulanan diyagonal, X ve ters V çapraz türleri karşılaştırıldığında periyotlar yaklaşık değerlerde çıkmıştır. Çelik yapı modellerinin periyotları aynı çapraz durumu ve aynı deprem kayıtları etkisindeyken Denklem 4.1'e göre kıyaslanmıştır.

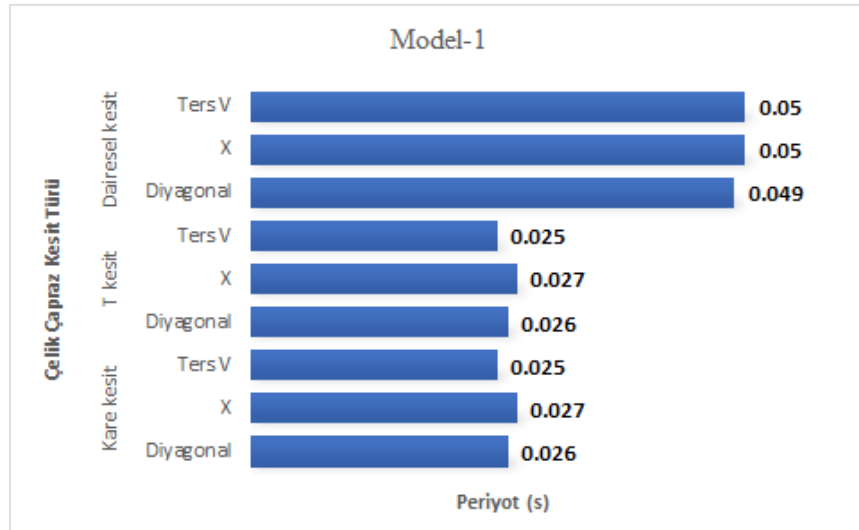
$$T=2\pi.\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{k}}$$

(4.1)

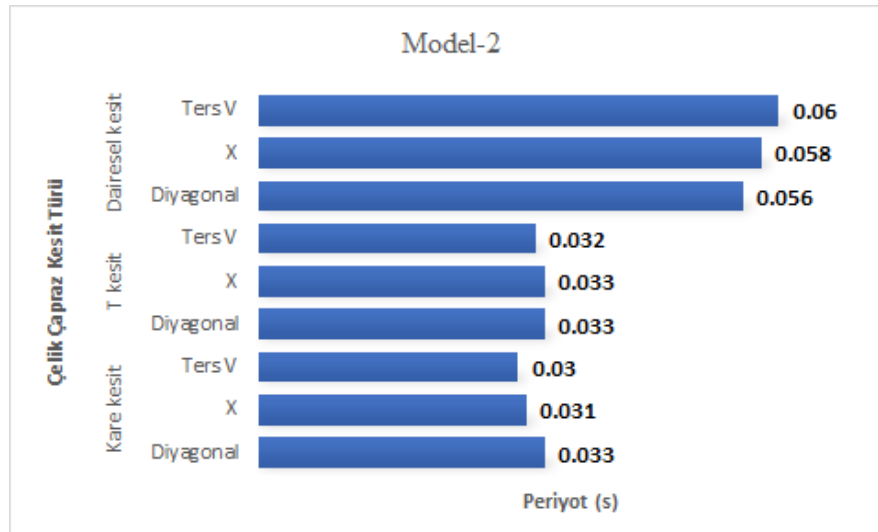


Burada T; periyot değerini, m; modelin kütlesini, k; model yapıya ait rijitliği göstermektedir. Model yapıların çaprazsız durumları karşılaştırıldığında ağırlığı fazla olan Model-2'nin Model-1 ve Model-3'e göre daha uzun süreli bir periyot değeri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Model-3'ün yapı plandaki düzensizlikten dolayı, Model-1'e göre kütlede azalmalar oluşmuştur. Bu kütle azalmasından kaynaklı olarak Model-3'ün periyot değerleri Model-1'e göre daha az çıkmıştır. Model-2'nin periyot değerleri ise diğer model yapılara göre ağırlığından dolayı daha fazladır. Deneysel ve nümerik analizler sonucunda Sap2000 sonlu eleman programından elde edilen veriler ile serbest titreşim ve zorlanmış titreşim deneyleri sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldığında, periyot değerlerinin yaklaşık olduğunu ve deneysel ve nümerik analizlerin birbirini periyot değerleri açısından doğruladığı görülmektedir.

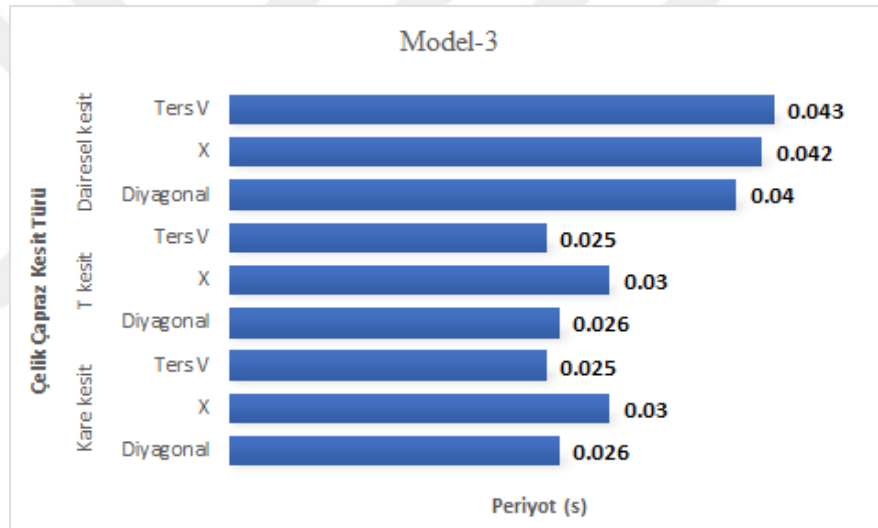
Tez konusu kapsamında en uygun kesit türünü belirlemek için Sap2000 programı yardımıyla çalışmalar yapılmıştır. Aynı kesit alanına sahip dairesel, T ve kare kesit türleri merkezi çelik çapraz olarak tasarlanmıştır. Sap2000 ile yapılan analizler sonucunda dairesel, T ve kare kesite ait periyot değerleri Şekil 4.22., Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'te verilmiştir.



Şekil 4.22. Model-1 Farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları



Şekil 4.23. Model-2 Farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları



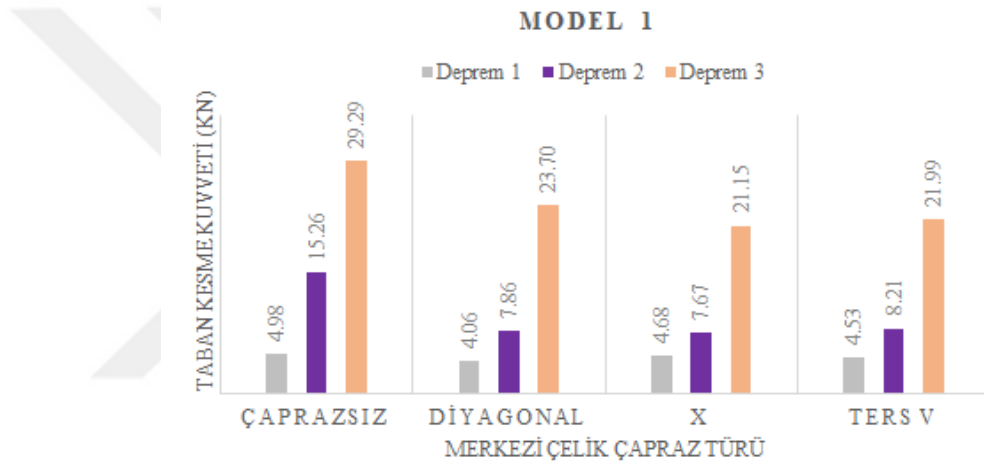
Şekil 4.24. Model-3 Farklı kesit türlerine ait periyot sonuçları

Periyot değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında aynı kesit alanına sahip çapraz türlerinden kare kesitli ve T kesitli çelik çaprazların model yapıları dairesel kesitli çelik çapraza göre daha rijit hale getirmiştir. Rijitlik artışından dolayı T ve kare kesitli çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinin periyotları, dairesel kesitli çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinin periyotlarından daha düşük değerdedir. T ve kare kesitli çelik çaprazların model yapıların periyotlarına etkisi birbirleri ile benzerdir. Yapı ağırlığı fazla olan Model-2'nin T ve kare kesitli çaprazlı sistemlerinde, periyot değerleri Model-1 ve Model-2'nin T ve kare kesitli çaprazlı sistemlerine göre daha fazladır. Yapıya kazandırılan rijitlik açısından farklı kesit türüne sahip çaprazlar

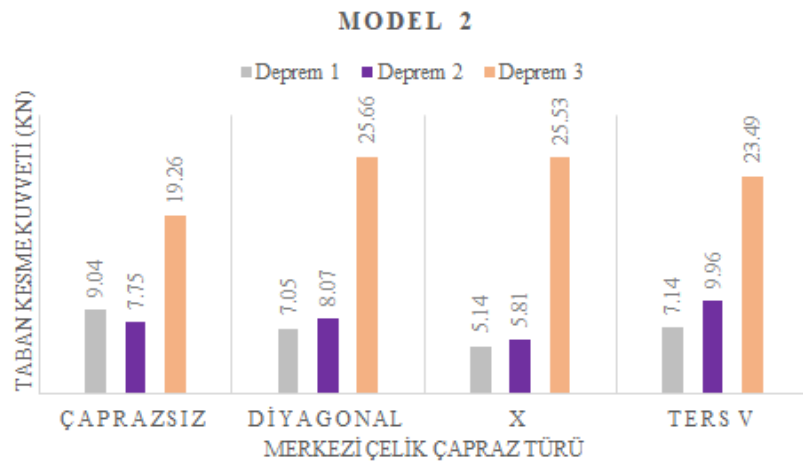
karşılaştırıldığında ise kare kesitli ters V çelik çapraz türünün diğer kesit türlerine göre daha etkili olmuştur. Dairesel kesite sahip çelik çaprazlar ile diğer kesit türlerine sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde, periyot değişim oranı yaklaşık %45 civarındadır.

### 4.3. Taban Kesme Kuvvetleri ve Grafikleri

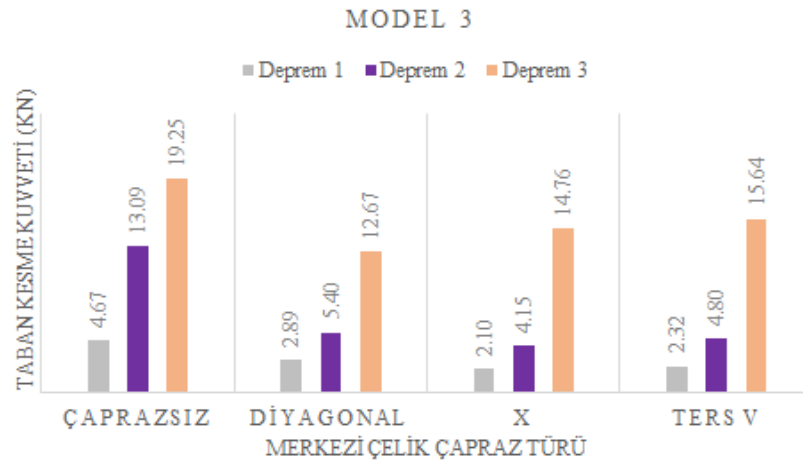
Sap2000 sonlu eleman programından elde edilen veriler sonucunda, model yapılara ait taban kesme kuvvetleri Şekil 4.25., Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Model-1 - Taban kesme kuvveti değerleri



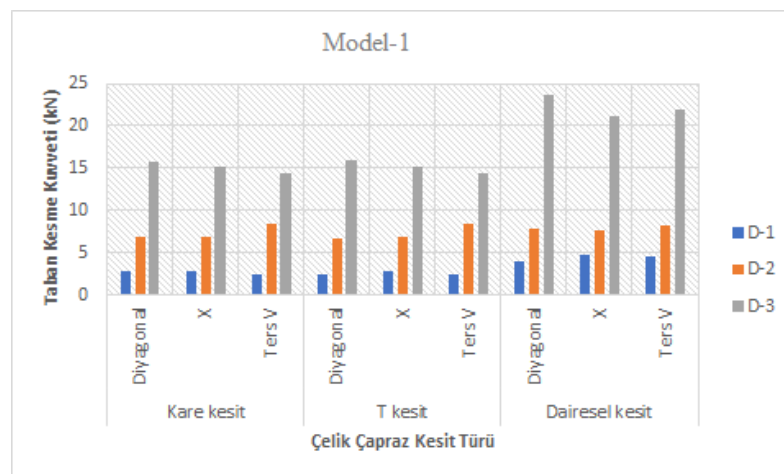
Şekil 4.26. Model-2 - Taban kesme kuvveti değerleri



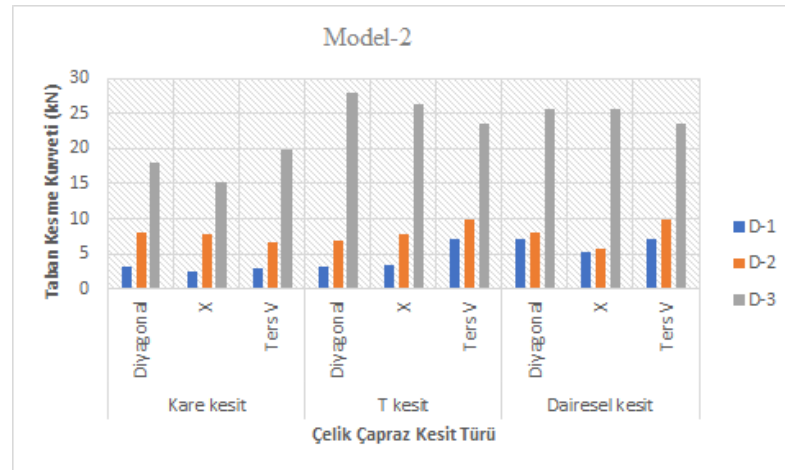
Şekil 4.27. Model-3 - Taban kesme kuvveti değerleri

Grafikler incelendiğinde deprem kayıtları arasında maksimum ivmesi Deprem-1 ve Deprem-2'ye göre büyük olan Deprem-3'ün yapılarda oluşturduğu taban kesme kuvvetlerinin Deprem-1 ve Deprem-2'nin oluşturduğu taban kesme kuvvetlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yapılara gelen ivmelerin yapılarda oluşturduğu deprem talebindeki değişkenlik olduğu söylenilebilir. Tüm modeller için çaprazlı sistemler karşılaştırıldığında yapı ağırlıklarının büyükten küçüğe doğru sıralaması Model-2, Model-1, Model-3 şeklindedir.

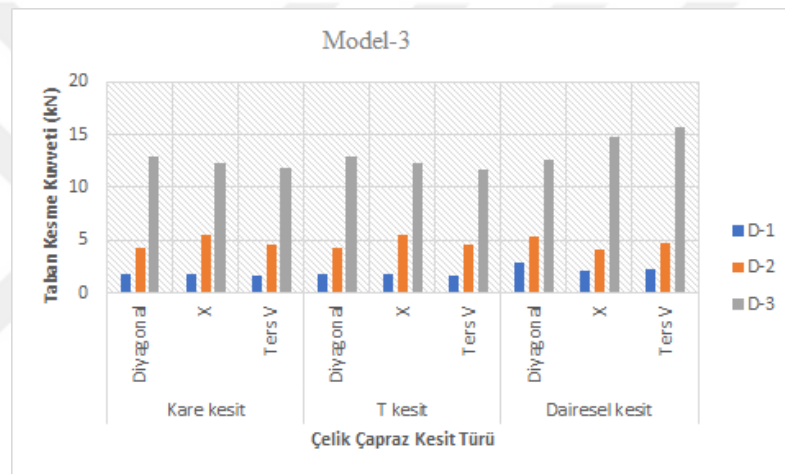
Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla, farklı kesit türlerine sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerine etkiyen taban kesme kuvvetleri elde edilip Şekil 4.28., Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Model-1 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri



Şekil 4.29. Model-2 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri



Şekil 4.30. Model-3 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri

Tablo 4.1. Model-1 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri (kN)

Deprem Kaydı	Kare kesit			T kesit			Dairesel kesit		
	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V
D-1	2.75	2.89	2.54	2.53	2.89	2.52	4.06	4.68	4.53
D-2	6.79	6.79	8.4	6.73	6.8	8.42	7.86	7.67	8.21
D-3	15.82	15.1	14.43	15.89	15.09	14.37	23.70	21.15	21.99

Tablo 4.2. Model-2 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri (kN)

Deprem Kaydı	Kare kesit			T kesit			Dairesel kesit		
	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V
D-1	3.24	2.55	2.85	3.25	3.47	7.14	7.05	5.14	7.14
D-2	8.12	7.89	6.59	6.87	7.9	9.97	8.07	5.81	9.96
D-3	17.99	15.27	19.72	28.01	26.2	23.52	25.66	25.53	23.49

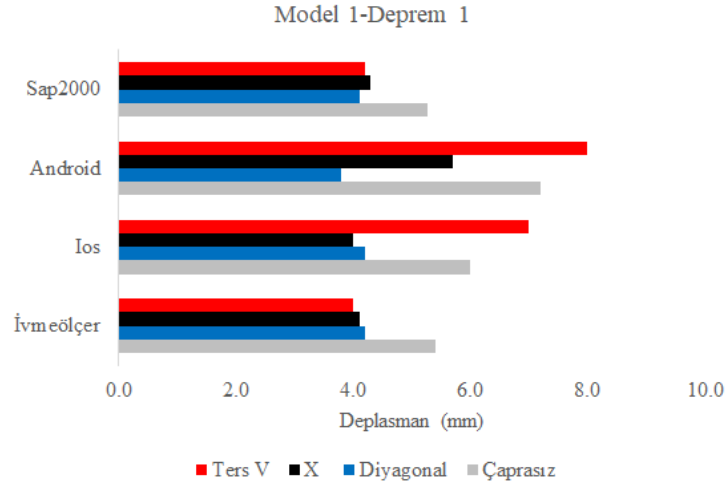
Tablo 4.3. Model-3 Farklı kesit türlerine ait taban kesme kuvveti değerleri (kN)

Deprem Kaydı	Kare kesit			T kesit			Dairesel kesit		
	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V	Diyagonal	X	Ters V
D-1	1.83	1.76	1.58	1.81	1.76	1.58	2.89	2.10	2.32
D-2	4.3	5.56	4.53	4.24	5.56	4.53	5.40	4.15	4.80
D-3	12.89	12.29	11.77	12.85	12.28	11.75	12.67	14.76	15.64

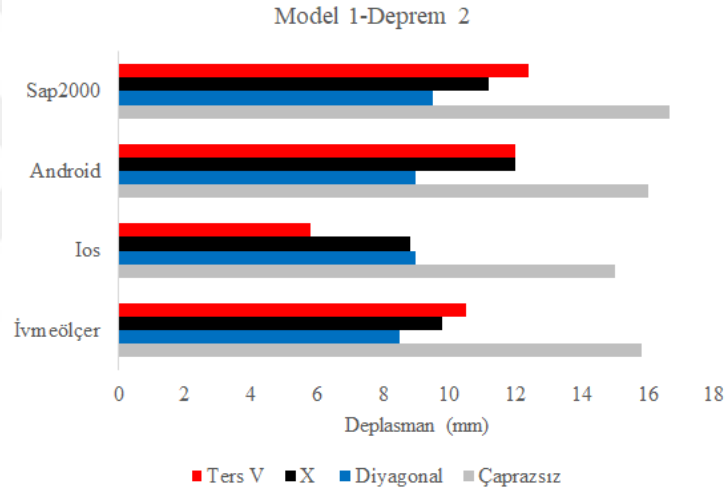
Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla farklı kesit türlerine sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerine deprem 1-2-3 kayıtları uygulanmıştır. Yapılara uygulanan deprem kayıtları sonrasında oluşan taban kesme kuvvetleri değerleri Tablo 4.1., Tablo 4.2., Tablo 4.3'te verilmiştir. T ve kare kesit türüne sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde oluşan taban kesme kuvveti değerleri daireysel kesite sahip çelik çapraz türünün bulunduğu yapı modellerine oluşan taban kesme kuvvetine göre daha düşük değerlerdedir. Uygulanan deprem kayıtlarının pik ivme değerleri büyüklük sıralaması D-3>D-2>D-1 şeklindedir. Bu sonuçlara dayanarak T ve kare kesite sahip çelik çaprazların bulunduğu yapılarda oluşan taban kesme kuvveti değerleri M2>M1>M3 sıralamasına sahiptir.

#### 4.4. Model Yapılara ait Deplasman Değerleri ve Grafikleri

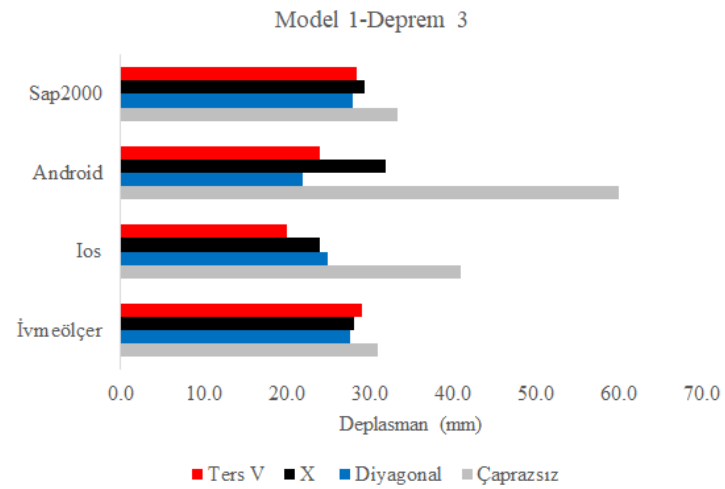
Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla Model 1'in farklı deprem kuvvetlerine maruz bırakılmasından sonra ortaya çıkan tepe deplasmanları Şekil 4.31., Şekil 4.32., Şekil 4.33.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Model-1 Deprem-1 - tepe deplasman değerleri

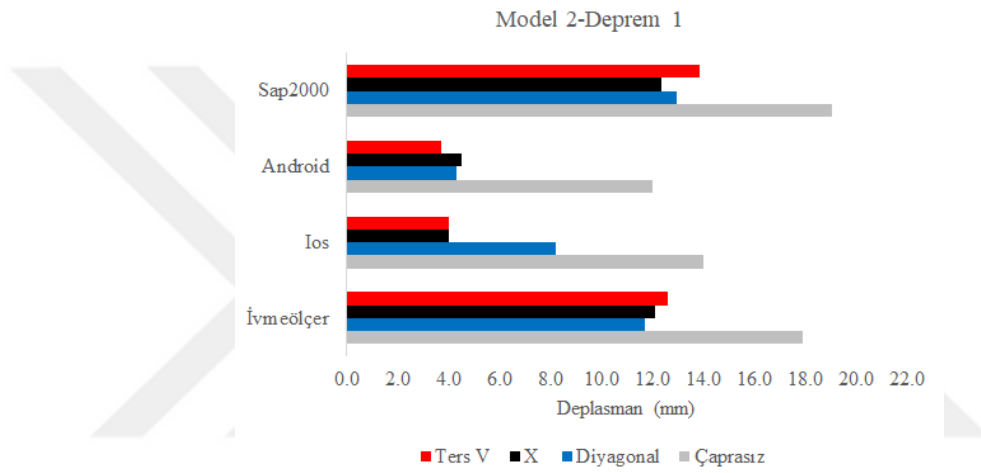


Şekil 4.32. Model-1 Deprem-2 - tepe deplasman değerleri

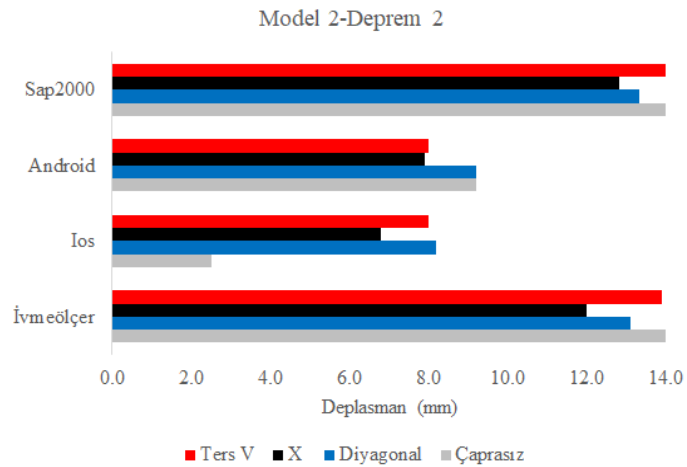


Şekil 4.33. Model-1 Deprem-3 - tepe deplasman değerleri

İvmeölçerden alınan veriler kendi arasında karşılaştırıldığında çaprazlı sistemlerin yapıyı daha rijit hale getirmesinden dolayı deplasman değerleri çaprazsız sistemlere göre daha düşük değerlerdedir. İvme değerleri büyüklük sıralamasının, Deprem-3, Deprem-2 ve Deprem-1 şeklinde olan deprem kayıtlarının yapılara uygulanması sonrasında tepe deplasmanlarının, en büyük ivme değerine sahip olan Deprem-3 kaydında daha fazla olduğu görülmüştür. Tepe deplasman sıralaması ise Deprem-3, Deprem-2 ve Deprem-1 şeklindedir. Bu sonuçtan hareketle ivme değerleri yükseldikçe yapılarda oluşan tepe deplasman değerlerinin artabileceği söylenebilir.

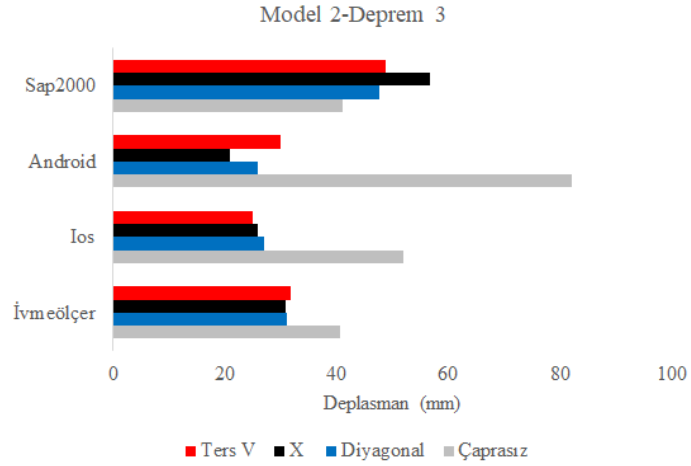


Şekil 4.34. Model-2 Deprem-1 - tepe deplasman değerleri



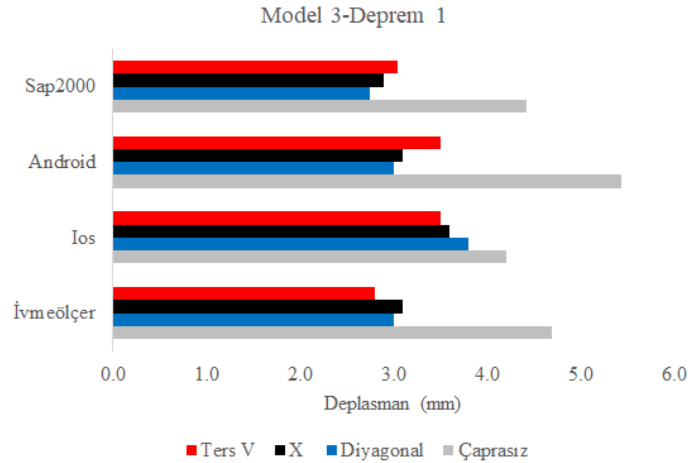
Şekil 4.35. Model-2 Deprem-2 - Tepe deplasman değerleri



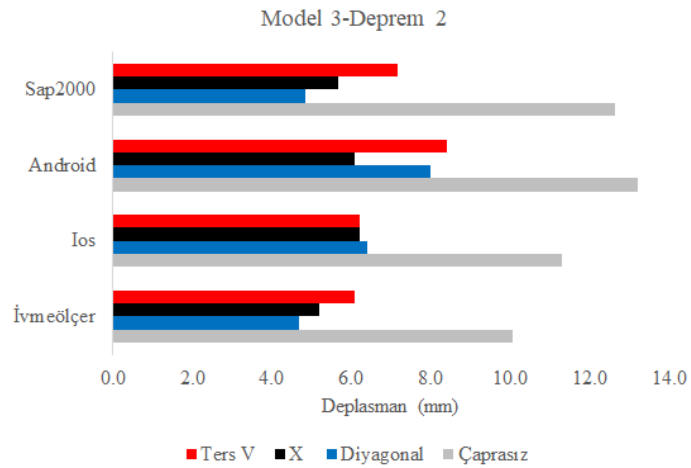


Şekil 4.36. Model-2 Deprem-3 - Tepe deplasman değerleri

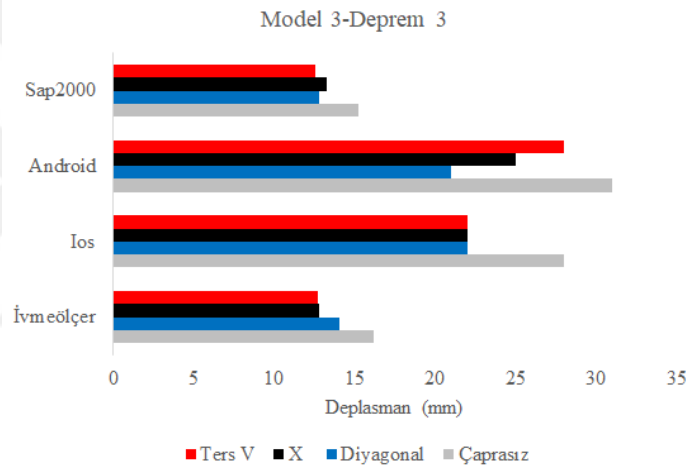
Model-2'in farklı deprem kuvvetlerine maruz bırakılmasından sonra ortaya çıkan tepe deplasmanları Şekil 4.34., Şekil 4.35., Şekil 4.36.'da gösterilmiştir. Ios ve Android telefonların aldıkları verilerde benzerlik olduğu ancak Ios işletim sistemli telefonun bazı deprem kuvvetleri altındayken farklı kayıtlar aldığı görülmüştür. Buna sebep olarak farklı sürelerde veri alması ve hassasiyet değişkenliği gösterilebilir. Çaprazsız sistemler çaprazlı sistemlere göre daha fazla deplasman yapmışlardır. Ancak Şekil 4.35.'de ters V çapraz ile çaprazsız durumun yaklaşık değerlerde deplasman yaptıkları tespit edilmiştir.



Şekil 4.37. Model-3 Deprem-1 - tepe deplasman değerleri



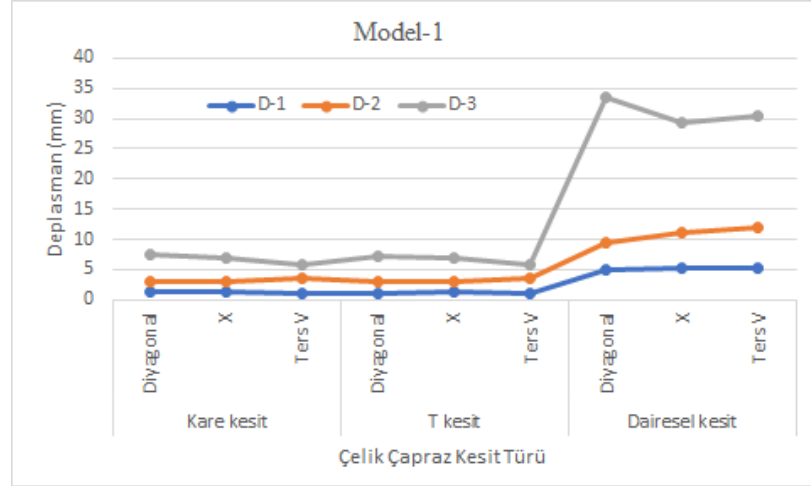
Şekil 4.38. Model-3 Deprem-2 - tepe deplasman değerleri



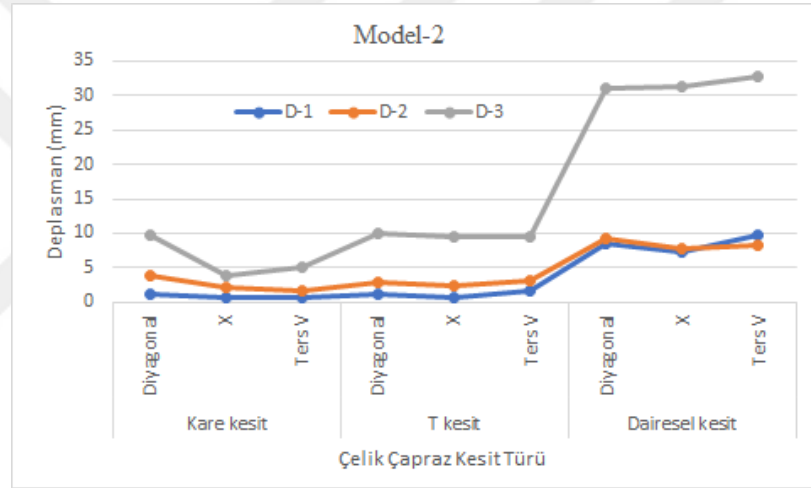
Şekil 4.39. Model-3 Deprem-3 - tepe deplasman değerleri

Model 3'ün farklı deprem kuvvetlerine maruz bırakılmasından sonra ortaya çıkan tepe deplasmanları Şekil 4.37., Şekil 4.38., Şekil 4.39.'da gösterilmiştir. İvmeölçerden alınan verilere göre yapıların çaprazlı durumları için, deplasman sonuçlarının yaklaşık değerlerde olduğu görülmüştür. Çaprazsız sistemler ile çaprazlı sistemler arasında deprem kayıtları ile değişkenlik gösteren bir yapı mevcuttur.

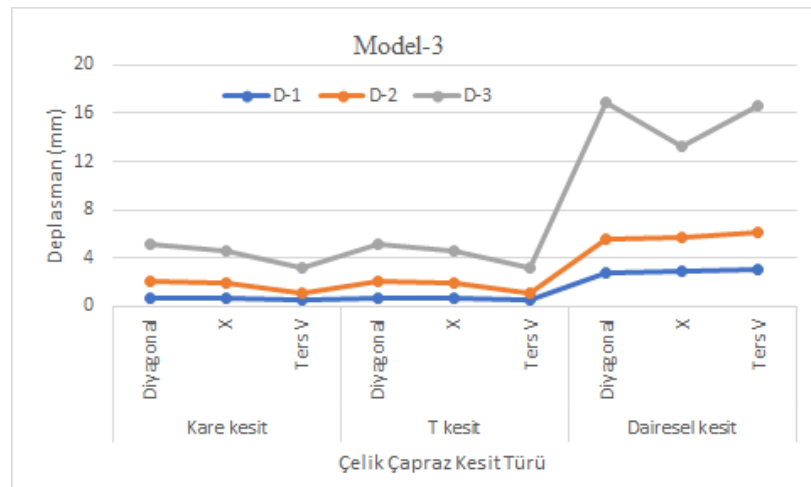
Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla, farklı kesit türlerine sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerine uygulanan deprem kayıtları sonrasında oluşan deplasman değerleri Şekil 4.40., Şekil 4.41. ve Şekil 4.42.'de verilmiştir.



Şekil 4.40. Model-1 Farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları



Şekil 4.41. Model-2 Farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları

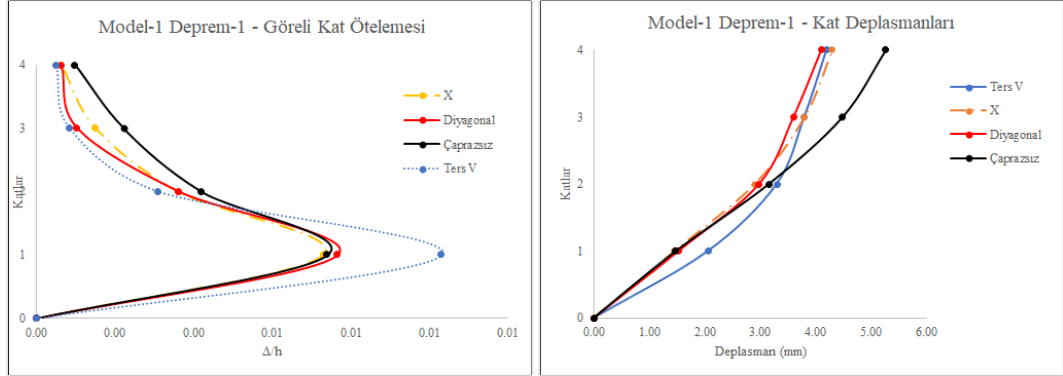


Şekil 4.42. Model-3 Farklı kesit türlerine ait deplasman sonuçları

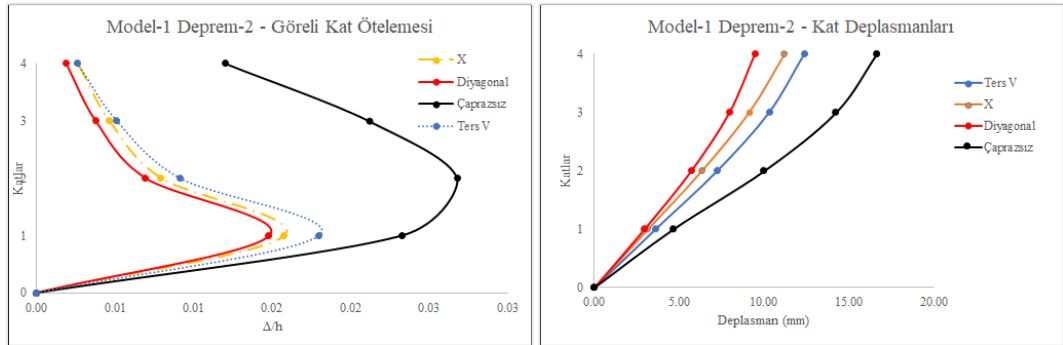
Sap2000 sonlu eleman programıyla elde edilen deplasman verileri Şekil 4.40., Şekil 4.41. ve Şekil 4.42.'de karşılaştırılmıştır. Kare ve T kesite sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde oluşan deplasman değerleri dairesel kesite sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerine göre daha azdır. Bunun sebebi kare ve T kesite sahip çelik çaprazların yapıyı daha rijit hale getirmesidir. Kare ve T kesite sahip çelik çaprazlar birbirleri ile benzer deplasman değerleri vermektedir. Deprem kayıtları arasında en şiddetli deprem olan deprem 3'te elde edilen deplasman değerleri diğer deprem kayıtlarına göre tüm kesitlerde daha yüksektir.

#### 4.5. Model Yapılara ait Görelî Kat Ötelenme ve Deplasman Grafikleri

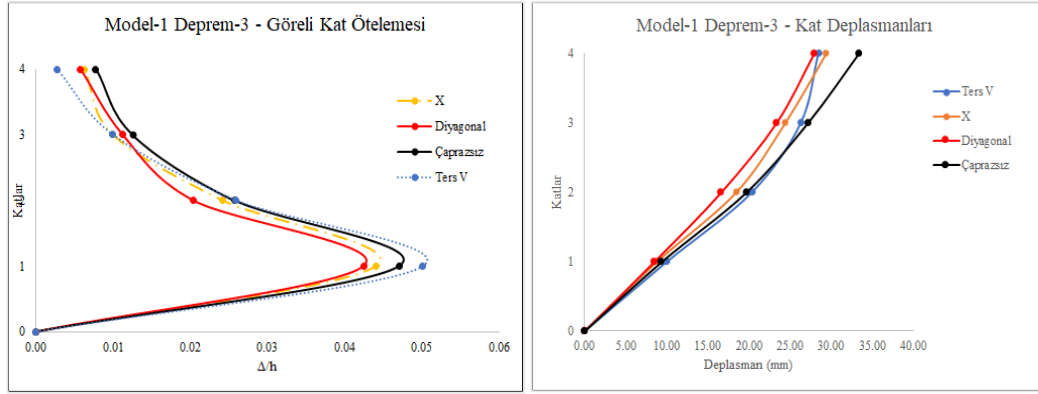
Sap2000 sonlu eleman program yardımıyla, Model 1-2-3'ün farklı deprem kayıtlarına maruz bırakılmasından sonra ortaya çıkan görelî kat ötelenmeleri ve kat deplasmanları Şekil 4.43., Şekil 4.44., Şekil 4.45., Şekil 4.46., Şekil 4.47., Şekil 4.48., Şekil 4.49., Şekil 4.50., Şekil 4.51.'de gösterilmiştir.



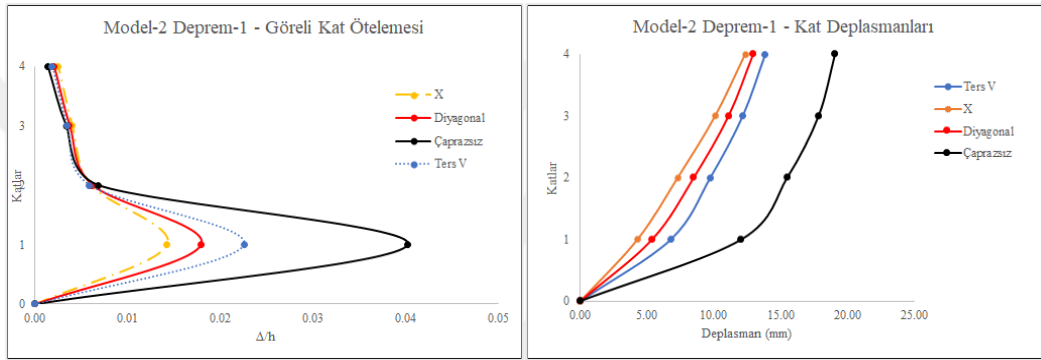
Şekil 4.43. Model-1 Deprem-1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



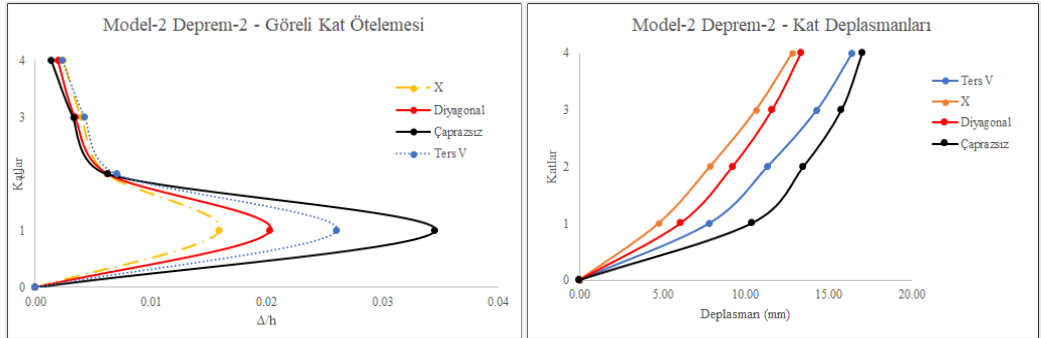
Şekil 4.44. Model-1 Deprem-2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



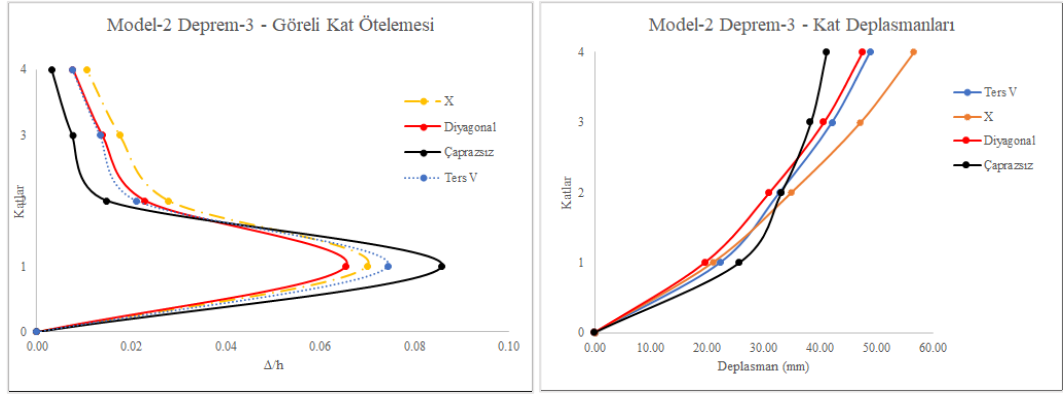
Şekil 4.45. Model-1 Deprem-3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



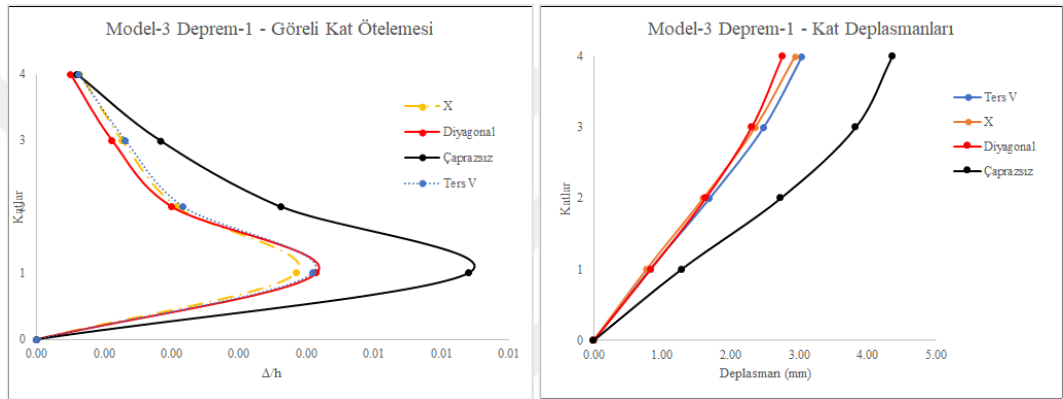
Şekil 4.46. Model-2 Deprem-1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



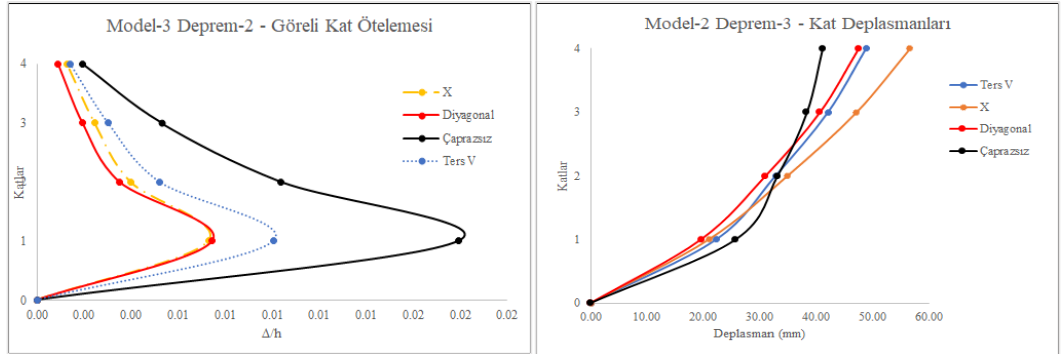
Şekil 4.47. Model-2 Deprem-2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



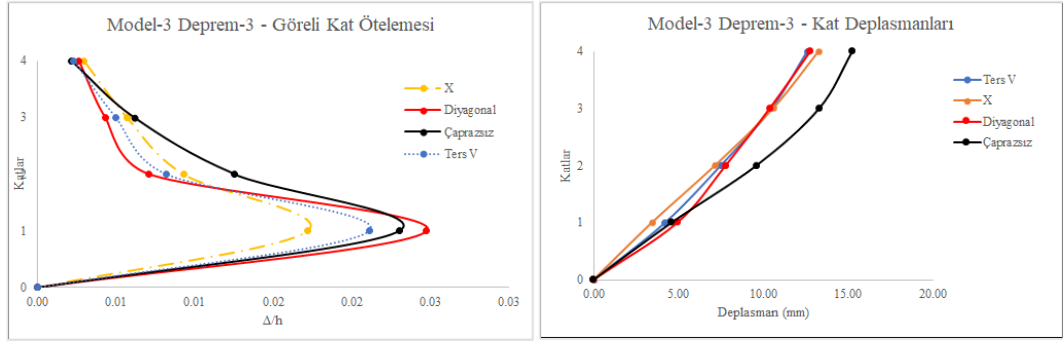
Şekil 4.48. Model-2 Deprem-3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



Şekil 4.49. Model-3 Deprem-1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



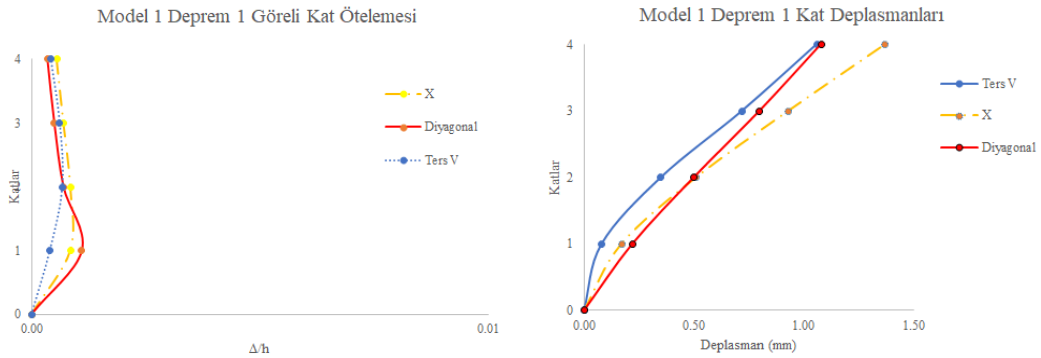
Şekil 4.50. Model-3 Deprem-2'ye ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



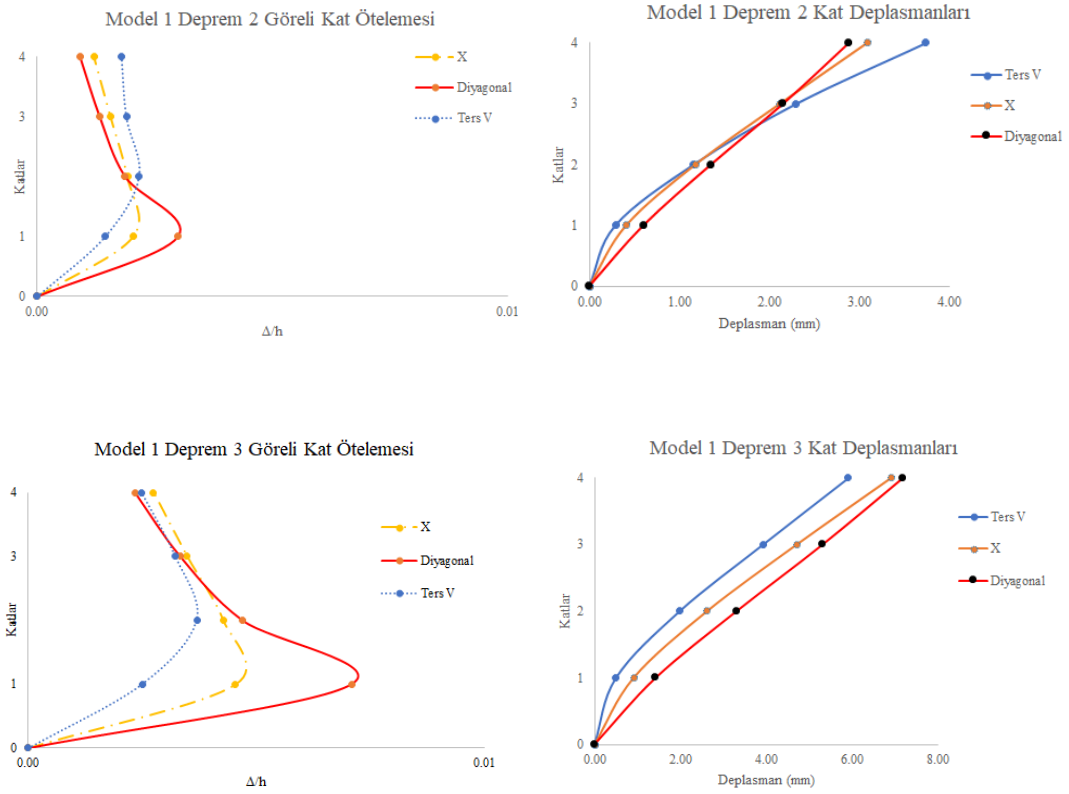
Şekil 4.51. Model-3 Deprem-3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları

Çaprazlı sistemlerde yapı modelleri çaprazsız sistemlere göre daha rijit davranış sergilemişlerdir. Bunun sonucu olarak görelî kat ötelenmelerinde sınırlamalar meydana gelmiştir. Bu da yapıların daha güvenli hale gelmesine katkı sağlamaktadır. Bir başka sonuç olarak ise yapılarda oluşan deplasman değerlerinin çaprazsız sistemlerde daha fazla olmasıdır. Görelî kat ötelenmeleri grafiklerinde çaprazlı sistemlerin birbirleri ile farklı davranışlar sergiledikleri görülmüştür. Buna sebep olarak ise çaprazlı sistemlerin yapıya kazandırdığı rijitlik farklılığı gösterilebilir.

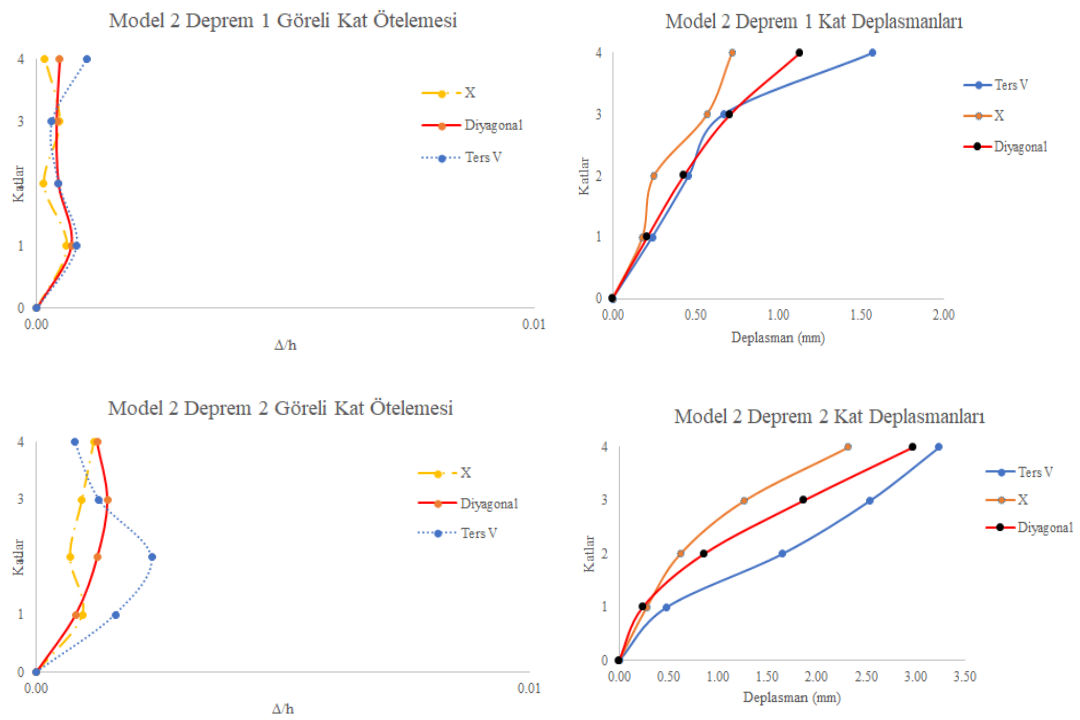
Sap2000 sonlu eleman programıyla, T kesit türüne sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde oluşan görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları elde edilmiş ve Model 1-2-3'e ait değerler Şekil 4.52., Şekil 4.53., Şekil 4.54.'te verilmiştir.



Şekil 4.52. Model-1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları

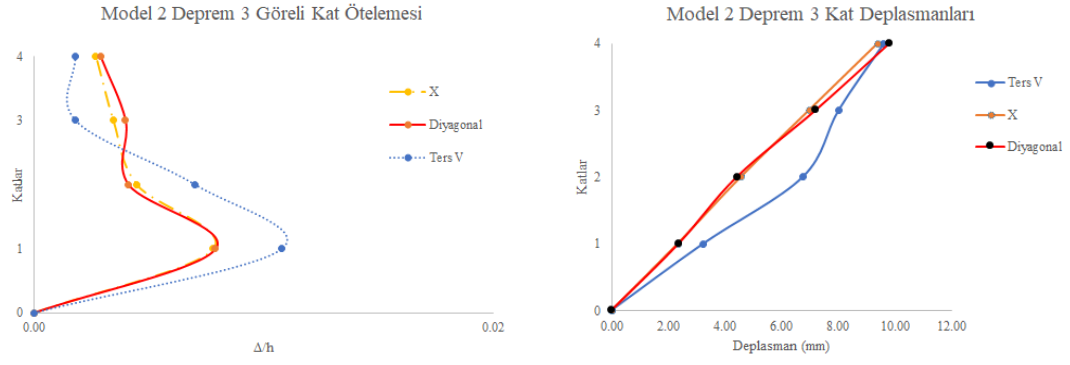


Şekil 4.52. (devamı)

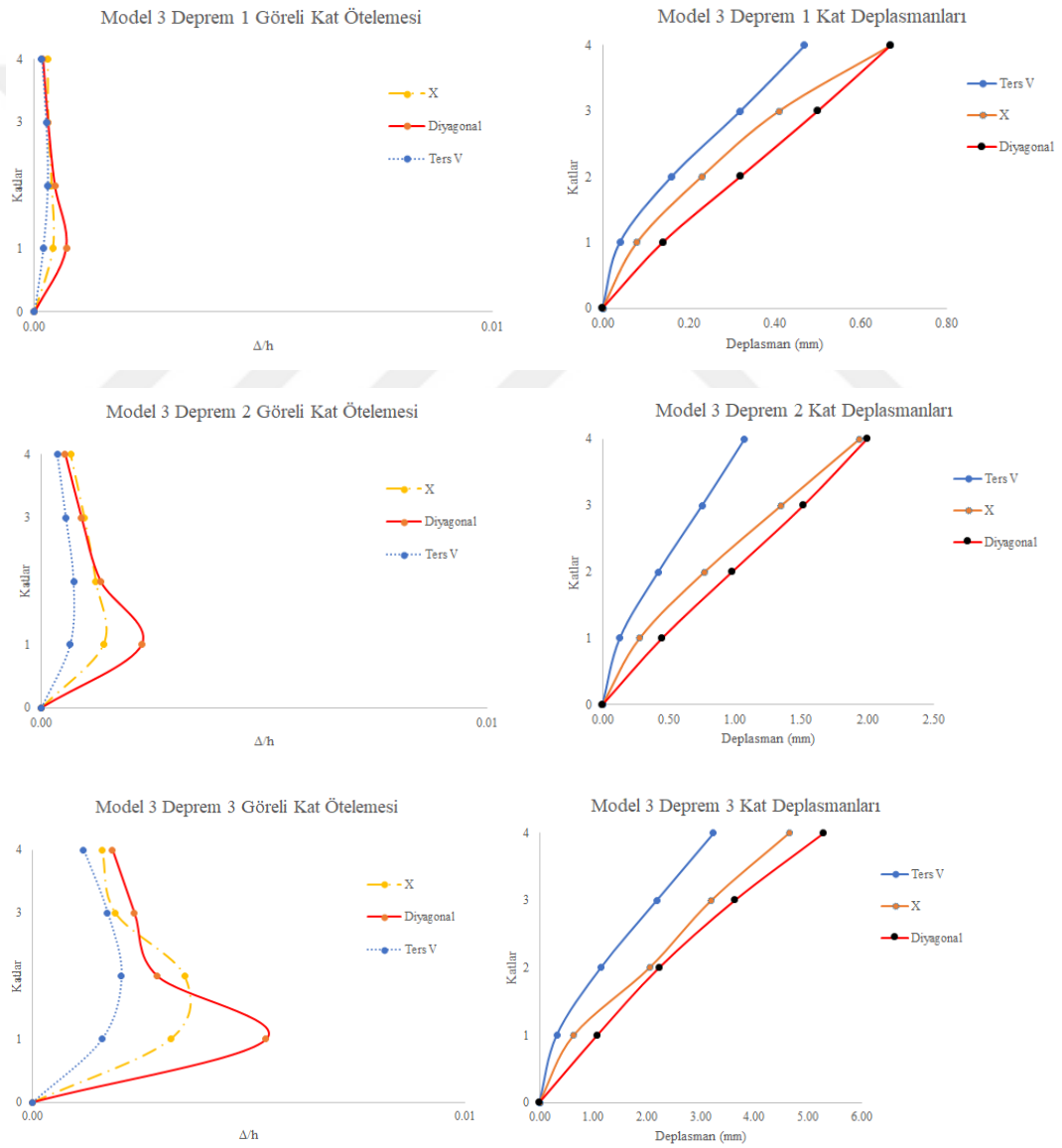


Şekil 4.53. Model-2'ye ait görelî kat ötelemeleri ve deplasmanları





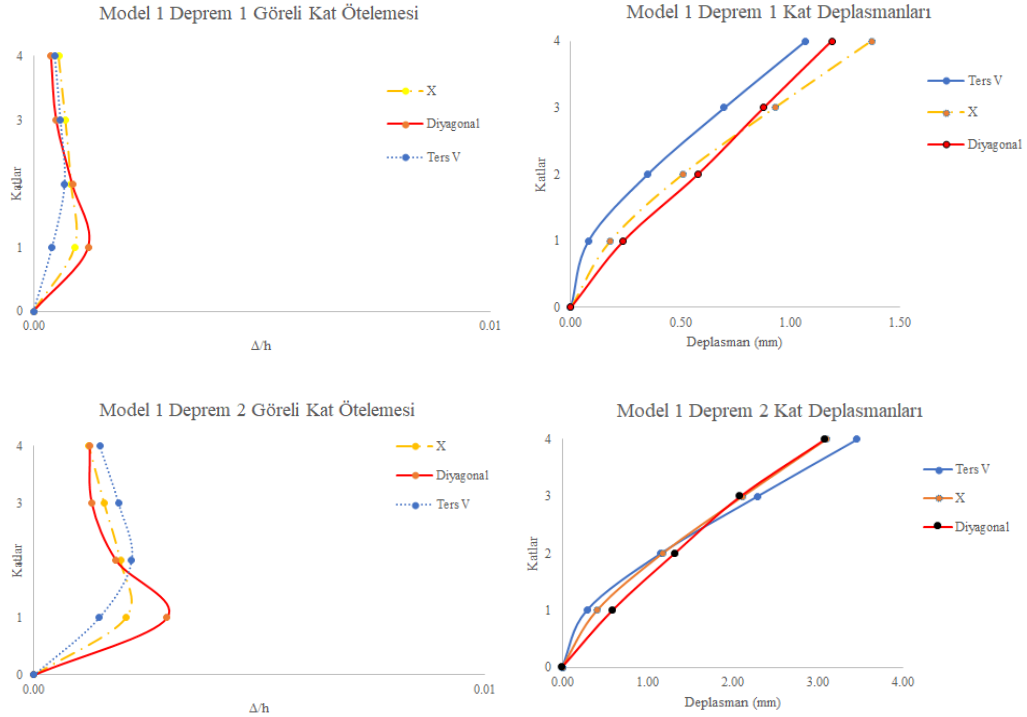
Şekil 4.53. (devamı)



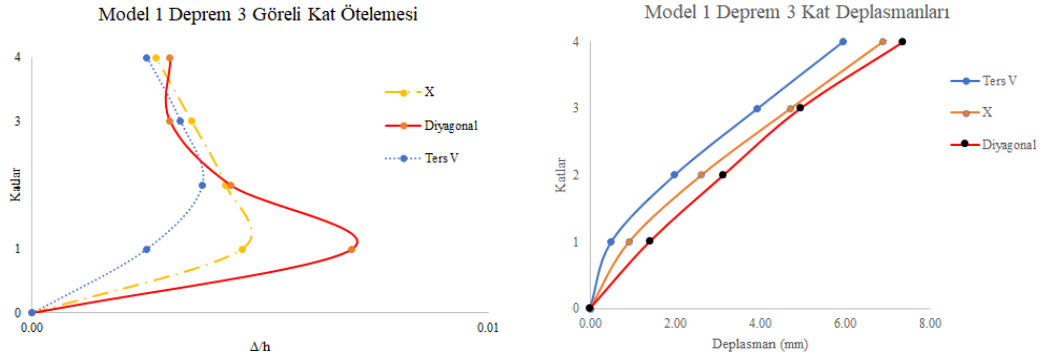
Şekil 4.54. Model-3'e ait görel kat ötelenmeleri ve deplasmanları

Sap2000 sonlu eleman programıyla, T kesit türüne sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde oluşan görelî kat ötelemeleri ve deplasmanları elde edilmiştir. Model-3'e ait değerler Şekil 4.54'te verilmiştir. Model yapılarında oluşan görelî kat ötelenme ve deplasman değerleri farklı çapraz türleri karşılaştırılmıştır. Ters V çapraz türüne sahip yapı modellerinde deplasman değerlerinin X ve diyagonal çaprazlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ters V çapraz türlerinin yapıyı daha rijit hale getirmesidir. Çelik çaprazların model yapıların görelî kat ötelenmelerinde ve deplasmanlarında sınırlamalar yaptığı gözlemlenmiştir. Bu da yapıların daha güvenli hale gelmesini sağlamaktadır.

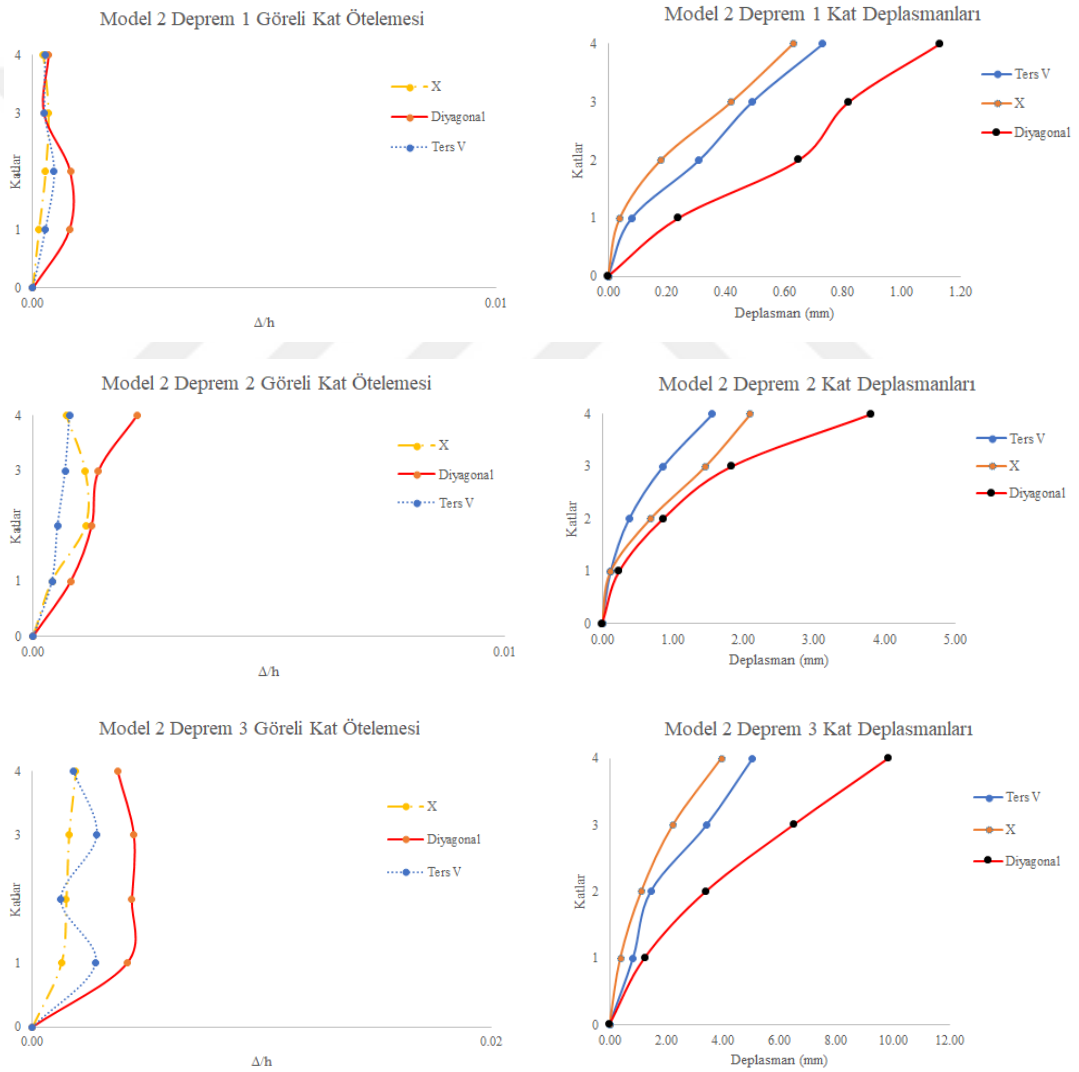
Sap2000 sonlu eleman programıyla, kare kesit türüne sahip çelik çaprazların bulunduğu yapı modellerinde oluşan görelî kat ötelemeleri ve deplasmanları elde edilmiştir. Model 1-2-3'e ait değerler Şekil 4.55., Şekil 4.56., Şekil 4.57.'de verilmiştir.



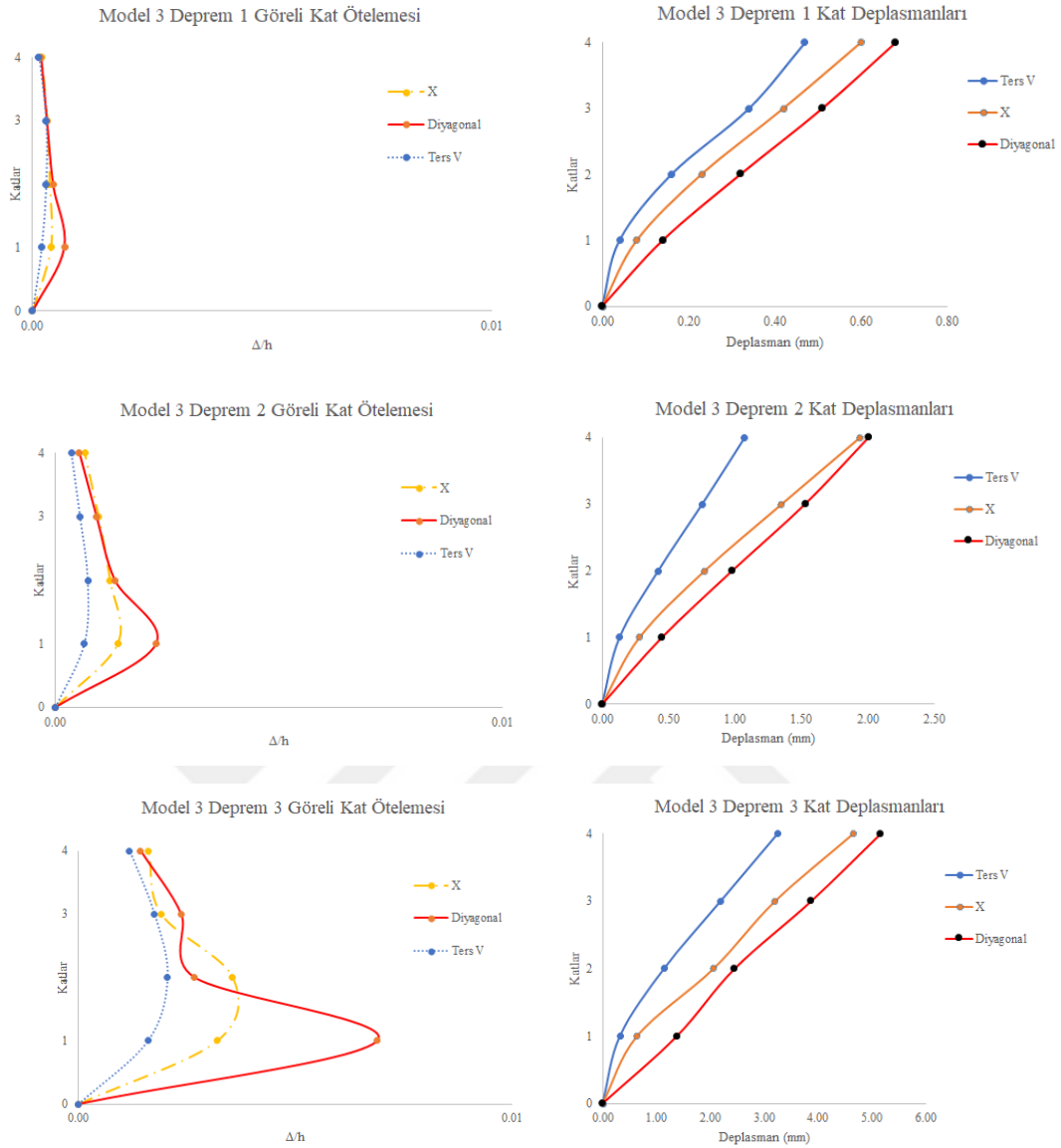
Şekil 4.55. Model-1'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları



Şekil 4.55. (devamı)



Şekil 4.56. Model-2'ye ait görelî kat ötelemeleri ve deplasmanları



Şekil 4.57. Model-3'e ait görelî kat ötelenmeleri ve deplasmanları

Model yapılarında oluşan görelî kat ötelenme ve deplasman değerleri farklı çapraz türleri karşılaştırılmıştır. Ters V çapraz türüne sahip yapı modellerinde deplasman değerlerinin X ve diyagonal çaprazlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ters V çapraz türlerinin yapıyı daha rijit hale getirmesidir. Çelik çaprazların model yapıların görelî kat ötelenmelerinde ve deplasmanlarında sınırlamalar ya gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada 3 farklı çelik yapı modeli üzerinde merkezi çelik çapraz etkisinin araştırmak için, 3 farklı deprem kaydı kullanılarak sarsma tablası yardımıyla deneysel ve nümerik analizler yapılmıştır. Merkezi çelik çapraz türü olarak kullanılan diyagonal, X ve ters V çaprazların çelik yapı modellerinin periyot değerlerine, sönüm oranlarına, taban kesme kuvvetlerine, tepe ve kat deplasmanlarına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca en uygun kesit türünü belirleyebilmek için Sap2000 programı yardımıyla merkezi çelik çaprazların modellenmesi sırasında aynı kesit alanına sahip, dairesel, kare ve T kesit türleri kullanılmıştır. Deneysel analiz sonuçları Seismosignal programı yardımıyla incelenmiş olup, nümerik analizleri Sap2000 sonlu eleman programı yardımıyla yapılmıştır. Sonuç olarak çalışmadan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- a. Merkezi çelik çaprazlar arasında yapılara en fazla rijitlik kazandıran çapraz türü X çaprazdır. Tüm çapraz türlerinin yapıların rijitliklerini arttırdıkları görülmüştür. Bu rijitlik artıştan dolayı yapı periyotlarında azalmalar olmuştur.
- b. Merkezi çelik çaprazların, yapı modellerinin deplasmanlarını sınırladığı gözlemlenmiştir.
- c. Fayda/maliyet açısından en uygun kesit türünün, işçilik gereksiniminin az olmasından dolayı kare kesit olduğu görülmüştür. T kesitli çapraz türlerinin ise en maliyetli kesit türü olduğu tespit edilmiştir.
- d. İvme değerlerinin büyük olduğu deprem kayıtlarının yapı deplasmanlarını artırıcı etkisi mevcuttur.
- e. Ardışık katlar arasında oluşan yumuşak kat düzensizliğinin yapı modelinin ağırlığını artırmasından dolayı yapılara gelen taban kesme kuvvetini artırdığı söylenebilir.

- f. Android işletim sistemine sahip telefonlar aynı saniye içerisinde birden fazla veri alımı yapmaktadırlar.
- g. Android işletim sistemine sahip telefonlarda ivme kayıtlarının alınması sırasında kopmalar yaşanmıştır. Ayrıca Ios ve Android cihazlara serbest titreşim uygulanırken (düşük titreşimlerde) veri alımı gerçekleşmemiştir. Bu Android ve Ios telefonların frekans bandının ivmeölçere göre farklı olması ile açıklanabilir.
- h. Ios ve Android için bazı frekans aralıklarında istenmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Ancak uygun frekans aralıklarında ivmeölçerlerle oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir
- i. Merkezi çelik çaprazların kullanıldığı yapı modellerinde, çaprazsız sistemlere oranla periyot değerleri daha küçük çıkmıştır. Bu sonuçlar hem ivmeölçerler ile hem de akıllı cihazlar ile doğrulanmıştır.
- j. Merkezi çelik çaprazların kullanıldığı yapı modellerinde, çaprazsız sistemlere oranla görelî kat ötelemesi ve tepe noktası deplasman değerleri daha az çıkmıştır.
- k. Yapı ağırlığı fazla olan modellerde taban kesme kuvveti daha büyük değerlere ulaşmıştır. Bunun yanı sıra ivme değerlerinin fazla olduğu deprem kayıtlarında daha büyük taban kesme kuvveti değerleri meydana gelmiştir.
- l. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda ivmeölçerlerden elde edilen ivme ve yer değiştirme verileri ile Sap2000 sonuçları ile karşılaştırıldığında oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akıncı, E. 2005. Depreme dayanıklı yapı tasarımında burulma düzensizliğinin incelenmesi. T.C. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akşar, B. Doğru, S. Çakır, F. Shen, J. Akbaş, B. 2015. Merkezi çaprazlı çerçevelerde dayanım farklılığı sonucu oluşan burulma etkileri. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu., Eskişehir, 177-185.
- Armağan Korkmaz, K. Ay, Z. Çarhoğlu, I. Çelik, D. Nuhoglu, A. 2013. Planda düzensizlikleri olan çelik yapıların güçlendirme tiplerinin değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(2): 29-39.
- Asfuroğlu, S. 2018. Çok katlı çelik binaların itme analizi. T.C. Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Atmaca, M. 2013. Betonarme yapılarda performans analizi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ayar, B. 2019. Yapıların burulma düzensizliği ve depremin doğrultuları arasındaki ilişki. T.C. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bahçecioğlu, A.Ş. 2005. Planda düzensiz yapıların deprem etkileri altındaki davranışı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, T. 2008. Yapıların dinamik davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Başot, T. 2010. Betonarme yüksek bir binada DBYHHBY ile İYBDY ilkelerinin doğrusal olmayan dinamik çözümleme ile karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Berker Alıcıoğlu, M. 2011. Merkezi çelik çaprazlı yapılarda uygun çapraz kesiti geometrisinin ve çapraz türünün belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Beyaz, T. 2004. Zemin etkisinden arındırılmış deprem kayıtlarına göre Türkiye için yeni bir deprem enerjisi azalım bağıntısının geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Birdal, F. 2015. Betonarme yapıların sismik davranışlarının sarsma tablasında deneysel olarak incelenmesi ve analitik olarak modellenmesi. T.C. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Boztaş, Ö. 2015. Burulma düzensizliğine sahip betonarme çerçevesiz taşıyıcı sistemlerin performansına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. T.C. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bulut, Y. 2013. Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde çapraz düzeninin çelik çerçevelerin dinamik davranışına etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Chopra, A.K. 2001. Yapı Dinamiği Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları, 4. Cilt. Palme Yayıncılık, 1-944.
- Çileli, E. 2008. Çok katlı çelik yapılarda çaprazlı çerçeve sistemlerin DBYBHY 2007'ye göre tasarımı ve süneklik düzeylerinin karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Döker, S.A. 2010. Deprem kuvveti etkisindeki betonarme binalarda yapısal düzensizliklerin irdelenmesi ve lineer olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Durgun, Y. 2013. Yapı tanı teknikleri kullanılarak yapıların hasar tespiti. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Eşsiz, Ö. 2005. Deprem bölgelerinde çok katlı çelik yapı tasarımı. Deprem Sempozyumu Kocaeli, 657-664.
- Genç, Y. 2017. Burkulması önlenmiş çaprazların merkezi çaprazlı çerçevelerin deprem davranışına etkisi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gök, S.G. 2013. A3 düzensizliği olan çok katlı betonarme bir yapının Türk, Eurocode ve ACI 318 yönetmeliklerine göre tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.



- Hasel, F.B. 2013. Prefabrik konsol kolonların tasarımında uygun deprem kaydı seçimi ve davranışın irdelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- İlker Akgönen, A. 2017. Yüksek sünek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışının incelenmesi. Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, Kahramanmaraş, 20(3): 16-23.
- Kahraman, İ. 2013. Seismic liquefaction: 1-G model testing system andshake table tests. İzmir Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaduman, M. 2012. Çelik Yapılar, 7. Cilt. Nobel Akademik Yayıncılık, 1-212.
- Kıran, F. 2010. Binaların Performans analizi için kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kocabaş, S. 2005. Çelik yapıların Sap2000 programı ile analiz ve tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kural, M., Zeybek, Ö., 2011. Merkezi çelik çaprazla teşkil edilmiş çok katlı çelik yapıların ikinci mertebe analizi. İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 10(20): 1-14
- Omid, A.J. 2017. Sarsma tablası için geliştirilmiş ölçekli yapı-zemin modeli üzerinde sayısal ve deneysel incelemeler. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Öztürk, H., Dok, G., Demir, A. 2018. Yüksek yapı dinamik karakteristiklerinin sarsma tablası deneyleri ile belirlenmesi. Published in 2ND International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management. 4-6 Mayıs, Sakarya.
- SAP2000 (2015) Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual, Computers and Structures, Inc. California, USA.
- Sarıdoğan, S. 2013. Farklı tür ve nitelikli asma tavan sistemlerinin sismik performansının sarsma tablası deneyleri ile belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Seismoignal v.2018. A Computer Program For Static And Dynamic Nonlinear Analysis Of Framed Structures. Seismosoft
- Suci, E. 2016. Burulma düzensizliği bulunan betonarme yapıların statik itme analizi ile yapı performansının belirlenmesi. T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Şahbaz, U. 2005. Planda çıkıntı düzensizliğine sahip betonarme yapıların deprem yükü etkisi altında karşılaştırmalı analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Şahin, Ö., Çağlar, N., Çelebi, E. 2017 Küçük Ölçekli sarsma tablası test modelleri için uygun ölçeklendirme katsayısının araştırılması. Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science. 29-30 September, Baku.
- Toprak, T. 2012. Burulma düzensizliği olan yapılarda sismik izolasyon kullanımının deprem yükleri altındaki davranışa olan etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Torun, A. Çunkaş, M. 2009. İki ekseninde salınım yapan sarsma tablası tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 85-96.
- Türk, B. 2016. Merkezi çelik çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemin tasarım kurallarının ve performansının değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Türker, H.T. Mertayak, C. Çolak, H. 2011. Periyot hesaplamasında P-Δ etkisi sarsma tablası deneyi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara.
- Yaman, Z., Ağcakoca, E. 2018. Dairesel kesite sahip merkezi çelik çaprazların performans analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2) 340-349.
- Yön, B. Sayın, E. 2011. Betonarme perdeler ve çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmelerin karşılaştırılması. 6 th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 237-242.
- Yurdasev, Z. 2008. Merkezi ve dış merkez çelik yapı sistemlerinde doğrusal olmayan davranışın incelenmesi ve süneklik düzeyinin belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Xie, B., Lie, J., Zhao, X. 2019. Research on damage detection of a 3D steel frame model using smartphones. School of Civil Engineering, Dalian University of Technology. China.
- Qadersheen, A. 2015. Evaluating nonlinear behavior of a reinforced concrete building with shear walls and concentric steel bracings. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

## ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜÇ, 24.09.1993'de Tokat'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Tokat'ta tamamladı. 2011 yılında Ahmet Altıkulaç Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2016 yılında Sakarya'da özel bir inşaat firmasında şantiye şefi olarak çalışmaya başladı beraberinde yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam etti. 2018 yılında çalıştığı firmadan ayrıldı ve yüksek lisans eğitimine ağırlık verdi.