

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME  
YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN  
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Moussa TWIZERE

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
Bilim Dalı : YAPI  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR

Ocak 2017

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME  
YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Moussa TWIZERE


Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bilim Dalı : YAPI

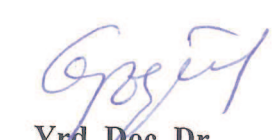
Bu tez tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.  
Naci ÇAĞLAR  
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr.  
Hüseyin KASAP  
Üye



Yrd. Doç. Dr.  
Zehra Ş. GARİP  
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.

Moussa TWIZERE

27.01.2017

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitiminin 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 Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR'a teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLOLAR LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	viii
SUMMARY .....	ix

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Konum Tanımı .....	1
1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmaları .....	2
1.3. Çalışma Amacı ve Kapsamı .....	4

## BÖLÜM 2.

SONLU ELEMANLARI YÖNTEMİ .....	6
2.1. Giriş .....	6
2.2. Düzlem Çerçevesi .....	7
2.2.1. Eleman rijitlik matrisi .....	8
2.2.2. Global rijitlik matrisi .....	11
2.2.3. Kütle matrisi .....	12
2.2.4. Sönüm matrisi .....	12
2.2.4.1. Rayleigh sönümü .....	13

BÖLÜM 3.	
DİNAMİK ANALİZ .....	14
3.1. Giriş .....	14
3.2. Hareket Denkleminin Doğrusal Olmayan Çözümü .....	15
3.2.1. Doğrusal ivme değişme yöntemi .....	15
BÖLÜM 4.	
GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI .....	19
4.1. TWIZ Code Programı .....	19
4.2. Örnek A Binası .....	21
4.2.1. Sonuçların karşılaştırılması .....	24
4.3. Örnek B Binası .....	28
BÖLÜM 5.	
SAYISAL UYGULAMALAR .....	33
5.1. Örnek 5.1 Binası .....	33
5.2. Örnek 5.2 Binası .....	39
5.3. Örnek 5.3 Binası .....	43
5.4. Örnek 5.4 Binası .....	47
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	51
KAYNAKLAR .....	52
EKLER .....	54
ÖZGEÇMİŞ .....	81

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$a$	: Rijitlik oranı
$A$	: Çubuğunun kesit alanı
$b$	: Kütle oranı
$C$	: Yapı sisteminin sönüm matrisi
$E_c$	: Betonun elastik modülü
$E_s$	: Donatının elastik modülü
$\xi$	: Sönümlenme katsayısı
$f_c$	: Beton akma dayanımı
$f_y$	: Donatı akma dayanımı
$[F]$	: Dış kuvvet
$[K]$	: Yapı sisteminin rijitlik matrisi
$[k_e]$	: Eleman rijitlik matrisi
$L$	: Eleman uzunluğu
$M$	: Eğilme Momenti
$[M]$	: Yapı sisteminin Kütle matrisi
$[M_e]$	: Eleman kütle matrisi
$M_p$	: Plastik momenti
$[T]$	: Transformasyon matrisi
$\{u\}$	: Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{u}\}$	: Hız vektörü
$\{\ddot{u}\}$	: Hareket ivmesi vektörü
$w_m$	: İlk doğal frekans
$w_n$	: İkinci doğal frekans
$\delta$	: Birim hacim

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çubuk Eleman.....	7
Şekil 2.2. Düşey yük etkisi altında moment diyagram.....	9
Şekil 2.3. Yatay yük etkisi altında moment diyagram .....	9
Şekil 2.4. Mafsalların eleman üzerine atanması.....	10
Şekil 2.5. Eleman düğüm noktalarında kütlelerin toplanması.....	12
Şekil 4.1. TWIZ Code program akış şeması .....	20
Şekil 4.2. Üç katlı iki açıklıklı çerçeve sistemi .....	21
Şekil 4.3. Marmara Deprem Kaydı .....	22
Şekil 4.4. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	22
Şekil 4.5. Koordinat bilgileri.....	23
Şekil 4.6. Serbestlik bilgileri.....	23
Şekil 4.7. Yer değiştirme X yönünde (yatay).....	27
Şekil 4.8. Yer değiştirme Z yönünde (dikey).....	27
Şekil 4.9. Rotasyon Y yönünde.....	27
Şekil 4.10. İki katlı tek açıklıklı çerçeve sistemi .....	28
Şekil 4.11. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	29
Şekil 4.12. Koordinat bilgileri.....	29
Şekil 4.13. Serbestlik bilgileri.....	29
Şekil 4.14. 2 Plastik mafsallar oluşması.....	30
Şekil 4.15. 4 Plastik mafsallar oluşması.....	31
Şekil 4.16. 6 Plastik mafsallar oluşması.....	32
Şekil 4.17. 8 Plastik mafsallar oluşması.....	32
Şekil 5.1. Örnek 5.1 yapısının kat planı .....	34
Şekil 5.2. Bingöl Deprem Kaydı [18] .....	34
Şekil 5.3. Örnek 5.1 yapısının B-B aksı.....	35
Şekil 5.4. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	35



Şekil 5.5. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	36
Şekil 5.6. İkinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	37
Şekil 5.7. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	37
Şekil 5.8. Dördüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ..	38
Şekil 5.9. Beşinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	38
Şekil 5.10. Örnek 5.2 Kat planı .....	39
Şekil 5.11. Örnek 5.2 Binasının 5-5 aksı .....	40
Şekil 5.12. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	40
Şekil 5.13. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	41
Şekil 5.14. İkinci Plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	41
Şekil 5.15. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ....	42
Şekil 5.16. Dördüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi	42
Şekil 5.17. Beşinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ....	43
Şekil 5.18. Örnek 5.3 Kat planı [2] .....	44
Şekil 5.19. Örnek 5.3 Binasının 2-2 aksı .....	44
Şekil 5.20. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	45
Şekil 5.21. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	45
Şekil 5.22. İkinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	46
Şekil 5.23. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ....	46
Şekil 5.24. Örnek 5.4 Kat planı [2] .....	47
Şekil 5.25. Örnek 5.4 Binasının B-B aksı .....	48
Şekil 5.26. Kolon ve kiriş kesitleri (cm) .....	48
Şekil 5.27. İlk plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	49
Şekil 5.28. İkinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi .....	49
Şekil 5.29. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi ....	50

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Koordinat bilgileri.....	23
Tablo 4.2. Serbestlik bilgileri.....	23
Tablo 4.3. Çubuk bilgileri .....	24
Tablo 4.4. Periyot sonuçları .....	24
Tablo 4.5. Seçilen zaman adımında eğilme momentin sonuçları (t=9.98 saniye) .....	25
Tablo 4.6. Seçilen zaman adımında eğilme momentin sonuçları (t=11.36 saniye) ...	26
Tablo 4.7. Koordinat bilgileri.....	29
Tablo 4.8. Serbestlik bilgileri.....	29
Tablo 4.9. Çubuk bilgileri .....	30
Tablo 4.10. 2 Plastik mafsallar oluşması .....	30
Tablo 4.11. 4 Plastik mafsallar oluşması .....	31
Tablo 4.12. 6 Plastik mafsallar oluşması .....	31
Tablo 4.13. 8 Plastik mafsallar oluşması .....	32
Tablo 5.1. Plastik mafsal dağılımı.....	36
Tablo 5.2. Plastik mafsal dağılımı.....	40
Tablo 5.3. Plastik mafsal dağılımı.....	45
Tablo 5.4. Plastik mafsal dağılımı.....	49

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Plastik Mafsal, Plastik Momenti, Sonlu Eleman Metodu, Deprem etkisi, Doğrusal olmayan analizi.

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla MATLAB tabanlı olarak çalışan bir bilgisayar kodu geliştirilmiş ve geliştirilen bu bilgisayar kodu doğrulanmıştır. TWIZ Code olarak adlandırılan bu programda Sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Betonarme binanın yapısal elemanlarının eğilme momenti kapasitelerinin bulunması için XTRACT programı kullanılmıştır.

Gerçek binalar arasından seçilen dört adet betonarme binanın deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan analizleri bu çalışma kapsamında geliştirilen TWIZ Code ile yapılarak, plastik mafsal dağılımı bulunmuş ve yapının deprem performansı değerlendirilmiştir. Deprem etkisi altındaki betonarme binaların deprem davranışının geliştirilen TWIZ Code programı ile etkin bir şekilde belirlenebileceği elde edilen sonuçlar ile gösterilmiştir.

# **NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS SUBJECTED TO EARTHQUAKE**

## **SUMMARY**

Keywords: Plastic Hinge, Plastic Moment, Finite Element Method, Earthquake, Nonlinear analysis.

In this work, the nonlinear analysis of reinforced concrete buildings was performed. a MATLAB based program called TWIZ Code was developed. The developed programme code was verified. Finit element method was used to develop the program. Two dimensional reinforced concrete structures were analysed using the developed program. Bending moments, shear forces, rotations and displacements of the structural members at the joints are determined through this program. XTRACT program was used to calculate the relationship of moment-curvature for RC beams and columns.

The developed program was used to analyse four different real reinforced concrete buildings in chapter of numerical studies. The nonlinear structural analysis of two dimensional structures subjected to earthquake load are carried out. The plastic hinge formations and dispertions in structural members are shown, then the performances of structures are evaluated.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla MATLAB tabanlı olarak çalışan bir bilgisayar kodu geliştirilmiş, geliştirilen bu bilgisayar kodu doğrulanmış ve seçilen yapıların analizleri yapılmıştır. TWIZ Code olarak adlandırılan bu programda sonlu elemanlar ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz yöntemleri kullanılmıştır.

### **1.1. Konu Tanımı**

Bir betonarme yapıda deprem etkisi altında elemanlarında (kirişler ve kolonlar) oluşan eğilme momenti, elastik sınır içinde olması durumunda bina için bir tehlike teşkil etmez. Eğer depreminin şiddeti belli bir büyüklüğün üzerinde ise elemanlarda oluşan eğilme momenti elastik sınırı aşar. Elastik sınırın aşıldığı yapı elemanlarında plastik mafsallar oluşur.

Bu çalışmada, yapı elemanlarında oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak, iki boyutlu betonarme yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapısal elemanların kesitlerine ait moment kapasiteleri XTRACT programı kullanılarak bulunmuştur. Bu plastik moment kapasiteleri göz önünde bulundurularak TWIZ Code ile gerçekleştirilen bu analizlerde betonarme yapıda deprem etkisinde oluşacak olan plastik mafsalları belirlenmiştir.

## 1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmaları

Birçok araştırmacı tarafından betonarme yapıların doğrusal olmayan analizleri ele alınmış ve bir çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de son 10 yılda bu konu ile ilgili yürütülen bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Zekai Celep'in [1] 2007'de yaptığı betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış plastik mafsalsız kabulü ve çözümleme konulu çalışmada, doğrusal olmayan davranışın dikkate alınmasının daha gerçekçi davranış ve kapasite hesabını mümkün kıldığı, taşıyıcı sistemin kuvvetli ve zayıf taraflarını belirleme imkanı verdiği sonucuna varılmıştır.

İsa, Y. [2], Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsüne Eylül 2009 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde yatay yüklere maruz betonarme yapıların doğrusal olmayan analizini ele almıştır. Çalışma kapsamında Matlab programlama dilinde iki program geliştirilmiştir. İlk Program kullanılarak, eksenel kuvvetler altında betonarme kolonların moment-eğrilik diyagramını bulmuştur. İkinci program kullanılarak plastik mafsalsız dağılımı belirlenmiş ve yapının analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ferhat, K. [3], Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne 2010 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde mevcut binaların performansında kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemleri karşılaştırmıştır. Bu iki yöntem kullanılarak yapılan analizler karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Demir, F. ve ark. [4] tarafından yapılan çalışmada TDY2007'nin, mevcut betonarme binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile incelenmesinde ortaya çıkan farklılıklar incelenmiş ve bu amaçla çeşitli programlar yazılmıştır. Çalışma kapsamında betonarme elemanların davranışının modellenmesi için Betonarme Elemanlarda Sargı ve Modelleme (BESAM) programı, yönetmelik kapsamında yapılan işlem adımlarını daha pratik hale getirmek için Doğrusal Elastik

Analiz Programı (DELAP) ve Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Programı (DELOP) hazırlanmıştır. Yazılan bu programlar yönetmelikteki can güvenliği performans seviyesindeki kriterlerin kontrolünü yapmaktadır. Yapılan hesaplamalarda SAP2000 paket programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında binaların planda ve düşey de düzensizliğinin sınırlı olduğu durumlar ve davranışa birinci modun etkili olduğu düşük katlı binalar tercih edilerek performans hesapları Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapılmıştır.

Güçlü, Ç. [5], Orta Doğu Teknik Üniversitesine Ocak 2013 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezini betonarme çerçevenin doğrusal olmayan analizi üzerine incelemiştir. Verilen betonarme çerçeveyi analiz etmek için sonlu elemanlar metodu kullanan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Çağlar, N., ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY2007) uygun olarak tasarlanmış 3 katlı betonarme bir yapının artımsal statik itme analizi (pushover) ve zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, 3 adet gerçek deprem kaydı kullanılarak SAP2000 paket programı yardımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, taban kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Sonuçların maksimum değerlerini veren yükleme durumunun göz önüne alınması nedeniyle her iki doğrultuda da maksimum yer değiştirme değerleri ve görelî kat öteleme oranları karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Özlem, Ç., ve ark. [7] tarafından 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van depremi sonucu hasar gören şehir merkezinde bulunan betonarme bir konut yapısının performansı doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemiyle incelenmiştir. Bu yapı 1975 deprem yönetmeliğine göre dizayn edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapının beklenen performans seviyesinden çok daha uzakta kaldığı belirtilmiştir.

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, deprem etkisi altındaki betonarme binaların zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizlerinin yapılmasıdır. Bu analizler ile deprem etkisi altında betonarme yapıların elemanlarında oluşacak olan plastik mafsalların belirlenmesi ve bu plastik mafsal dağılımı ile yapının deprem performansının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında, betonarme binaların iki boyutlu olarak doğrusal olmayan analizini gerçekleştirebilen bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır;

İlk bölümde konu hakkında genel bir bilgi verilmiş, konuyla ilgili daha önceki çalışmalar özetlenerek bu çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde, geliştirilen bilgisayar programının temelini oluşturan Sonlu elemanlar yöntemi ele alınmıştır. Yönteme ilişkin genel bilgiler sunulmuş, kullanılan formüllere yer verilmiş ve bu formüllerin oluşumu gösterilmiştir.

Üçüncü bölümde, betonarme binaların analizlerinde kullanılan Dinamik analiz hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, TWIZ Code olarak isimlendirilen bilgisayar programı tanıtılmıştır. Betonarme bir binanın doğrusal elastik analizi SAP2000 paket programı ve geliştirilen TWIZ Code ile yapılarak geliştirilen bilgisayar kodunun doğrulanması yapılmıştır.

Beşinci bölümde, sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Gerçek binalar arasından seçilen dört adet betonarme binanın doğrusal olmayan yapısal analizi TWIZ Code ile yapılarak, plastik mafsal dağılımı bulunmuş ve yapının performansı değerlendirilmiştir.



Son bölümde ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlar irdelenerek ileride yapılacak çalışmalara yönelik önerilerde bulunmuştur.

## **BÖLÜM 2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ**

### **2.1. Giriş**

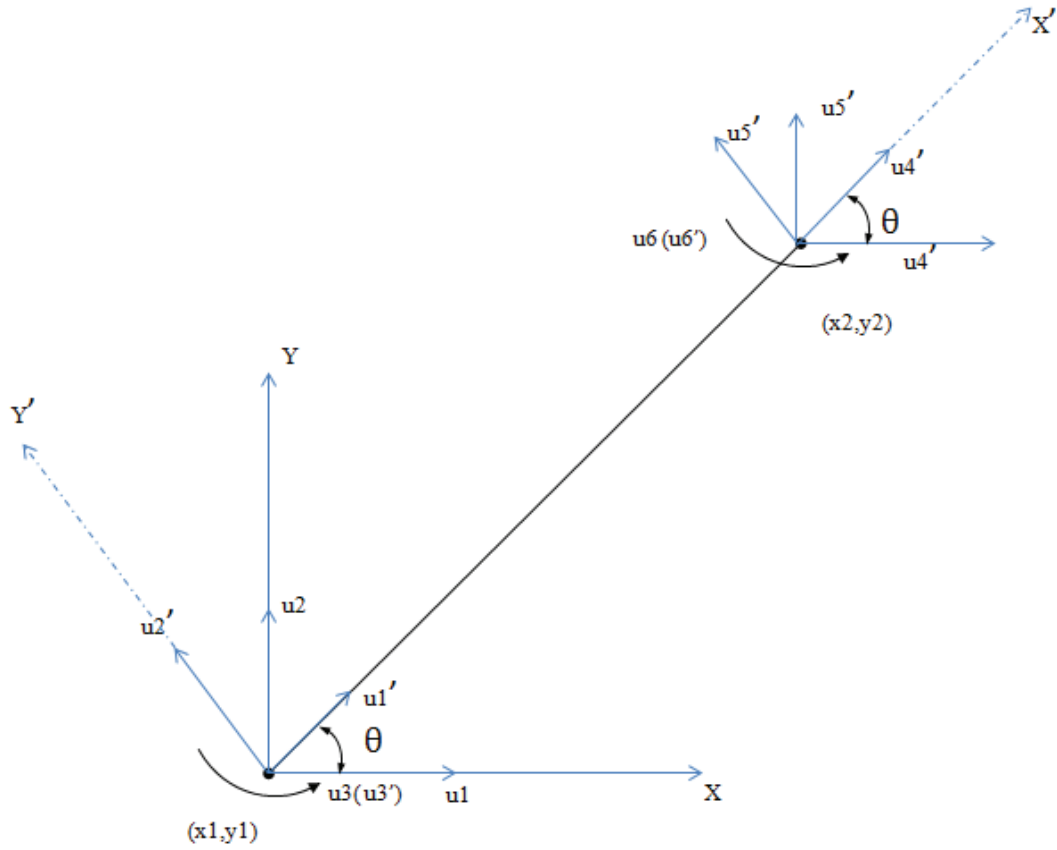
Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik alanlarının hemen hemen tamamında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde, sürekli bir ortamı tanımlayan karmaşık bir bölge, sonlu elemanlar adı verilen basit geometrik şekillere ayrılmaktadır. Malzeme özellikleri ve çözüm bağıntıları, bu sonlu elemanlar üzerinde tanımlanmakta ve elemanın köşelerindeki noktalarda bilinmeyen değerler cinsinden tarif edilmektedir. Sonlu elemanların toplama işlemi, yüklemesi, mesnetlenmesi ve sınır şartlarının uygun bir şekilde göz önüne alınmasıyla bir denklemler sistemi oluşturulmakta ve bu denklemler sisteminin çözümü ile ortamın yaklaşık olarak davranışına ulaşılmaktadır [8].

Bir çok mühendislik probleminin kapalı matematiksel çözümünü elde etmek neredeyse imkansızdır. Kapalı matematiksel çözüm, sistemin herhangi bir noktasındaki bilinmeyenlerin değerlerini veren matematiksel ifade olarak tanımlanabilir. Değişik malzeme özellikleri, sınır koşulları ve geometrileri içeren karmaşık problemler için kapalı çözümler bulmak oldukça zordur. Bu tür sistemlerin davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile kolayca çok daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilir. Sonlu elemanlar analizinde, tek bir işlemde tüm yapıyı çözmek yerine çözümler, yapıyı meydana getiren her eleman için ayrı ayrı formüle edilmekte ve bir araya getirildiğinde tüm yapının davranışı elde edilmektedir. Sonlu eleman analizinde analiz yöntemi oldukça basitleştirilmesine karşın yapılacak işlem sayısı, temel yapıyı oluşturan sonlu eleman sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle gereken işlemler ancak bilgisayarlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde analizler iki veya üç boyutlu olarak gerçekleştirilebilse de, bazı

problemlerinin çözümünde uygun sonuca ulaşabilmek için iki boyutlu üçgen veya dörtgen elemanlar kullanmak da yeterli olabilmektedir.

## 2.2. Düzlem Çerçevesi

Bu çalışmada yapı düzlem çerçeve olarak model yapılmıştır. Her bir düğüm noktasında iki yer değiştirme ve bir dönme deformasyonu vardır (Şekil 2.1.). Noktasal yer değiştirme vektörü aşağıdaki gibi tespit edilmiştir;



Şekil 2.1. Çubuk Eleman

$$D = [u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6]^T \quad (2.1)$$

$$d = [u_1', u_2', u_3', u_4', u_5', u_6']^T \quad (2.2)$$

$X'$  ve  $Y'$  lokal eksenler, kosünüs doğrultmanları  $\ell$  ve  $m$  olarak tanımlanır. ( $\ell = \cos \theta$ ,  $m = \sin \theta$ )

$$\ell = \frac{(x_2 - x_1)}{L} = \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)}} \quad (2.3)$$

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{L} = \frac{(y_2 - y_1)}{\sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)}} \quad (2.4)$$

Transformasyon matrisi (T) kullanılarak, lokal eksenlerde bulunan eleman deplasman (d) ve kuvvet (q) matrisi global eksene taşınır [9,10].

$$T = \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -m & \ell & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ell & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -m & \ell & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\{d\} = \{T\}\{D\} \quad (2.6)$$

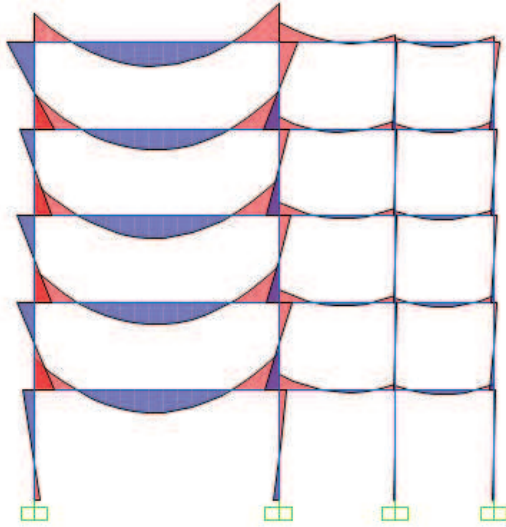
$$\{q\} = \{T\}\{Q\} \quad (2.7)$$

### 2.2.1. Eleman rijitlik matrisi

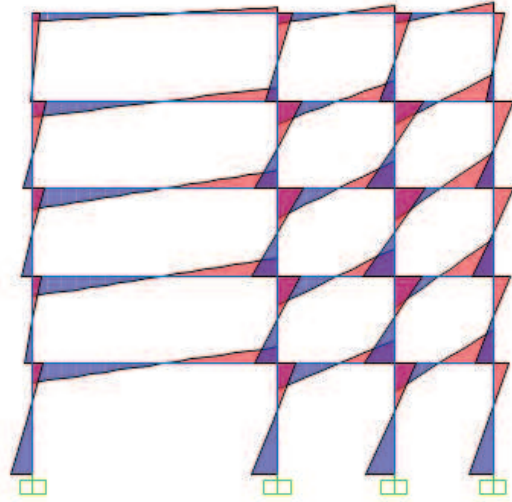
Herhangi bir elemanın eleman rijitlik matrisi (ke), elemanın malzeme özellikleri (E), eleman düğüm noktalarının koordinatları (L), elemanın kesit özellikleri (I) ve eleman sınır şartları belirlendikten sonra kolayca yazılabilir. Çerçeve bir sistemde tüm elemanların eleman rijitlik matrisleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k_e = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Düşey (kalıcı ve hareketli yük) ve yatay (rüzgar ve deprem yükü) etkisi altındaki betonarme yapılarda en çok elemanın uç bölgeleri zorlanır (Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.).



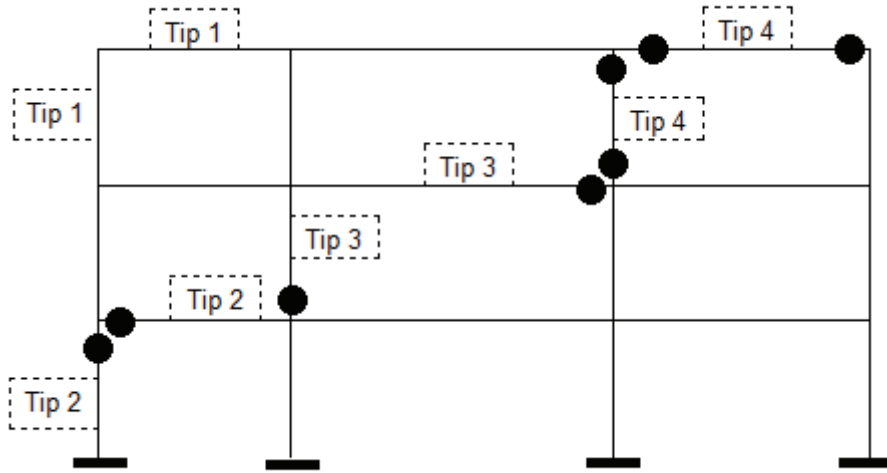
Şekil 2.2. Düşey yük etkisi altında moment diyagram



Şekil 2.3. Yatay yük etkisi altında moment diyagram

Şekil 2.2. ve 2.3.'den de görüldüğü gibi yapıların en çok uç bölgeleri zorlandığından hasarların genellikle eleman uçlarında yoğunlaştığı varsayılır. Bu çalışmada da, oluşan hasarların (plastik mafsal) elemanın uçlarında oluştuğu varsayılacaktır. Elemanın uçlarında plastik mafsal oluşması durumunda, elemanın sınır şartları değiştiği için eleman rijitlik matrisi de zorunlu olarak değişecektir. Plastik mafsalların farklı kombinasyonlardaki dağılımlarına göre eleman rijitlik matrisinin değişimi şekil 2.4.'da gösterilmiştir.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Tip 1} & & \text{Tip 2} \\
 ke = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} & & ke = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{L^3} & \frac{3EI}{L^2} & 0 & -\frac{3EI}{L^3} & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{L^2} & \frac{3EI}{L} & 0 & -\frac{3EI}{L^2} & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{L^3} & -\frac{3EI}{L^2} & 0 & \frac{3EI}{L^3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI}{L^3} & 0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$



$$\begin{array}{ccc}
 \text{Tip 3} & & \text{Tip 4} \\
 ke = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI}{L^3} & 0 & 0 & -\frac{3EI}{L^3} & \frac{3EI}{L^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI}{L^3} & 0 & 0 & \frac{3EI}{L^3} & -\frac{3EI}{L^2} \\ 0 & \frac{3EI}{L^2} & 0 & 0 & -\frac{3EI}{L^2} & \frac{3EI}{L} \end{bmatrix} & & ke = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Şekil 2.4. Mafsalların eleman üzerine atanması

### 2.2.2. Global rijitlik matrisi

Yukarıda gösterilen  $\{d\} = \{T\}\{D\}$  ve  $q = k'd$  denklemleri kullanılarak, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$q = k'TD \quad (2.9)$$

Buradan hareketle  $Q = T^T q$  kullanılarak  $Q = T^T k'TD$  bulunur ve bu denklem düzenlendiğinde aşağıdaki denklem elde edilir.

$$Q = KD \quad (2.10)$$

Buradan da global rijitlik matrisine ulaşılır,

$$K = T^T k'T \quad (2.11)$$

denklemin matris formunu aşağıdaki gibidir.

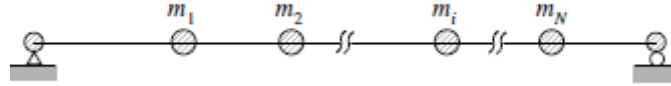
$$K = \begin{bmatrix} \left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2\right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2\right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2\right) & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2\right) & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{2EI}{L} \\ -\left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2\right) & -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda_x^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_y^2\right) & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y \\ -\left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & -\left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2\right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \left(\frac{AE}{L} - \frac{12EI}{L^3}\right) \lambda_x \lambda_y & \left(\frac{AE}{L} \lambda_y^2 + \frac{12EI}{L^3} \lambda_x^2\right) & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x \\ -\frac{6EI}{L^2} \lambda_y & \frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \lambda_y & -\frac{6EI}{L^2} \lambda_x & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$\lambda_x = \cos \theta$  ve  $\lambda_y = \sin \theta$  ifade etmektedir.

Bu çalışmada, her eleman için rijitlik matrisleri bulunup global rijitlik matrisinde yerine yazılır.

### 2.2.3. Kütle matrisi

Sonlu elemanlar yönteminde, herhangi bir yapının elemanlarının kütesinin elemanların (kolon ve kirişler) düğüm noktalarında yığılı/toplanmış olarak bulunduğu varsayılır (Şekil 2.5.) [11].



Şekil 2.5. Eleman düğüm noktalarında kütlelerin toplanması

$$[Me] = \frac{\delta AL}{2g} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$\delta$  =birim hacim,  $g$ =yer ivmesi,  $A$ =kesit alanı,  $L$ =eleman uzunluğu göstermektedir.

Global kütle matrisi rijitlik matrisine benzer şekilde elemanın kütle matrisini kullanılarak yazılabilir.

### 2.2.4. Sönüm matrisi

Yapıların dinamik karakteristiklerini belirleyen kütle, sönüm ve rijitlik üç parametre vardır. Sönüm, doğal sönüm ve eklenen sönüm olarak sınıflandırılabilir.



### 2.2.4.1. Rayleigh sönümü

Tek serbestlik dereceli sistemler için sönümleme katsayısı değeri  $C = 2m\omega\xi$  olarak yazılabilir. Çok serbestlik dereceli sistemler için ise Rayleigh sönüm formülü kullanılabilir (Denklem 2.14).

$$C = aK + bM \quad (2.14)$$

$\omega$ =doğal frekans,  $\xi$ =sönümleme katsayısı,  $K$ =rijitlik matrisi,  $a$ = rijitlik oranı  $b$ =kütle oranı göstermektedir.

Kütle oranı ve rijitlik payını bulmak için 2.15 denklemini kullanılır. Dinamik analizinde katkısı büyük olan yüksek mod frekanslarının kullanılması tavsiye edilmektedir [12].

$$\begin{Bmatrix} \xi_m \\ \xi_n \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{w_m} & w_m \\ \frac{1}{w_n} & w_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

Burada  $w_m$  ilk doğal frekansı ve  $w_n$  ise ikinci doğal frekansını ifade etmektedir

## BÖLÜM 3. DİNAMİK ANALİZ

### 3.1. Giriş

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme çerçeve yapıların doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Bu amaçla Matlab programı kullanılarak yapı modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizlerini yapabilen bir program kodu geliştirilmiştir. Bu bölümde, TWIZ Code olarak isimlendirilen bu bilgisayar kodunun yazılımında kullanılan dinamik analiz hakkında genel bir bilgi verilecektir.

Bir yapının dinamik analizindeki ilk adım, matematik modelinin kurulmasıdır. Her hangi bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısı serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Yapılar sürekli sistemler olmasına rağmen, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla sistem ayrıklaştırılır ve belirli sayılarda serbestlik dereceli sistemler oluşturulur.

Betonarme binalar için yapılan bu ayrıklaştırmada kat kütlelerinin binaların kat seviyesinde toplanmış/yığılmış olarak bulunduğu varsayılarak işlemler yapılır. Matematik modeli oluşturulmuş olan sistemin dinamik davranışının tanımlanabilmesi için hareket denkleminin yazılması gereklidir. Hareket denklemi, sisteme etki eden kuvvetlerle atalet kuvvetinin dengesi olarak yazılabilir;

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{F(t)\} \quad (3.1)$$

Burada,  $\{\ddot{u}\}$  hareket ivmesi vektörü,  $\{\dot{u}\}$  hız vektörü,  $\{u\}$  yerdeğiştirme vektörü,  $[M]$  kütle matrisi,  $[C]$  sönüm matrisi,  $[K]$  rijitlik matrisi,  $\{F(t)\}$  dış yük vektörüdür.

### 3.2. Hareket Denkleminin Doğrusal Olmayan Çözümü

Doğrusal olmayan davranışta kayma modülü şekil değiştirmelere, dolayısıyla zamana bağlı olarak değiştiğinden rijitlik matrisi ve sönüm matriside zamana bağlı olarak değişmektedir.

Sistemin hareketinde  $\Delta t$  lik bir artımdan sonra,  $t+\Delta t$  zamanına gelindiğinde yer değiştirmelerde oluşacak artım  $\Delta u(t) = u(t + \Delta t) - u(t)$  olur ve aynı zamanda bu değişimden dolayı hareket denklemindeki kuvvetlerde oluşacak olan artımların da dengede olması gerekir. Hareket denklemindeki bu değişim aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$[M]\{\Delta \ddot{u}(t)\} + [C(t)]\{\Delta \dot{u}(t)\} + [K(t)]\{\Delta u(t)\} = \{\Delta F(t)\} \quad (3.2)$$

Bu denklemin sayısal çözümü için geliştirilen yöntemlerden Doğrusal İvme Değişimi Yöntemidir. Bu çalışmada geliştirilen TWIZ Code'da, zaman tanım alanında adım adım integrasyon ve Doğrusal İvme Değişimi Yöntemi kullanıldığı için, bu bölümde bu yöntemi kısaca özetlenecektir.

#### 3.2.1. Doğrusal ivme değişimi yöntemi

Hız ifadesi  $u(t + \Delta t)$ , kuvvet serisine açılır ve serinin ilk üç terimi dikkate alınır, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\dot{u}(t + \Delta t) = \dot{u}(t) + \ddot{u}(t)\Delta t + \dddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} \quad (3.3)$$

Buna karşılık gelen yer değiştirme ise, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u(t + \Delta t) = u(t) + \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \dddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^3}{6} \quad (3.4)$$

Dikkate alınan adım için ivmenin doğrusal değiştiği kabul edilirse,  $\ddot{u}(t) = \frac{\Delta \ddot{u}(t)}{\Delta t}$

denklemini sabit alınarak aşağıdaki ifadeler elde edilebilir.

$$\Delta \dot{u}(t) = \ddot{u}(t)\Delta t + \Delta \ddot{u}(t)\frac{\Delta t}{2} \quad (3.5)$$

$$\Delta u(t) = \dot{u}(t)\Delta t + \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{2} + \Delta \ddot{u}(t)\frac{(\Delta t)^2}{6} \quad (3.6)$$

Bu bağıntılardan ivme ve hız artımları çözümlerse, aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\Delta \ddot{u}(t) = \frac{6\Delta u(t)}{(\Delta t)^2} - 6\frac{\dot{u}(t)}{\Delta t} - 3\ddot{u}(t) \quad (3.7)$$

$$\Delta \dot{u}(t) = \frac{3\Delta u(t)}{\Delta t} - 3\dot{u}(t) - \frac{\ddot{u}(t)\Delta t}{2} \quad (3.8)$$

Bu sonuçların 3.2 denklemindeki artımlara ait hareket denkleminde yerine yazılması ile yer değiştirme vektöründeki artım  $\{\Delta u(t)\}$  için, aşağıdaki denklem elde edilebilir.

$$[K^*(t)]\{\Delta u(t)\} = \{\Delta F^*(t)\} \quad (3.9)$$

Etkili rijitlik matrisi  $[K^*(t)]$  ve etkili yük artım vektörünün  $\{\Delta F^*(t)\}$  açık ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[K^*(t)] = [K(t)] + 3 \frac{[C(t)]}{\Delta t} + 6 \frac{[M]}{(\Delta t)^2} \quad (3.10)$$

$$\{\Delta F^*(t)\} = \{\Delta F(t)\} + [M] \left( 6 \frac{\{\dot{u}(t)\}}{\Delta t} + 3\ddot{u}(t) \right) + [C(t)] \left( 3\dot{u}(t) + \{\ddot{u}(t)\} \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (3.11)$$

$$\{\Delta F^*(t)\} = \{\Delta F(t)\} + [M] \left( 6 \frac{\{\dot{u}(t)\}}{\Delta t} + 3\ddot{u}(t) \right) + [C(t)] \left( 3\dot{u}(t) + \{\ddot{u}(t)\} \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (3.11)$$

Sayısal çözümlerde  $u(t)$  ve  $\dot{u}(t)$  değerleri, başlangıç şartları olarak veya bir önceki adımın sonuçları olarak belirlidir. Yük vektörü, sönüm ve rijitlik matrisleri belirli olduğuna göre, karşı gelen ivme vektörü 3.1 denkleminde, aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\{\ddot{u}(t)\} = \left( \{F(t)\} - [C(t)]\{\dot{u}(t)\} - [K(t)]\{u(t)\} \right) [M]^{-1} \quad (3.12)$$

Hızlarda meydana gelen artımda 3.8 denkleminde bulunur. Sonuç olarak göz önüne alınan adım sonrası hız ve yer değiştirme değerleri için, aşağıdaki denklemler elde edilir [13].

$$\dot{u}(t + \Delta t) = \dot{u}(t) + \Delta \dot{u}(t + \Delta t) \quad (3.13)$$

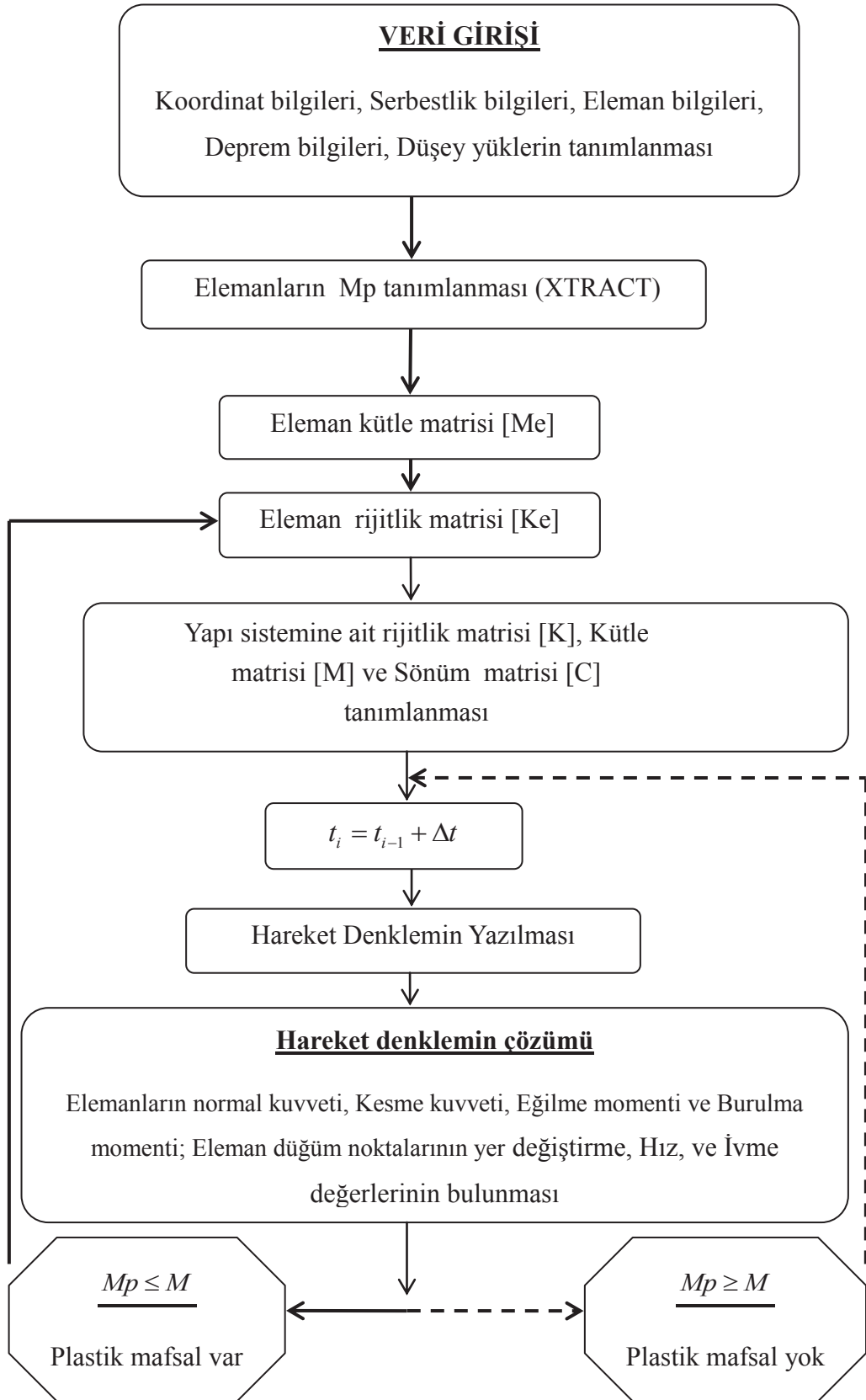
$$u(t + \Delta t) = u(t) + \Delta u(t + \Delta t) \quad (3.14)$$

## **BÖLÜM 4. GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR KODU**

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme çerçeve yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizini yapabilen ve MATLAB [14] tabanlı olarak çalışan bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. TWIZ Code olarak adlandırılan bu programda sonlu elemanlar ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz yöntemleri kullanılmıştır.

### **4.1. TWIZ Code programı**

TWIZ Code programı ile düzlem betonarme çerçeve sistemler analiz edilerek çubuk ucu kuvvetleri ve bu çubukların düğüm noktalarının yer değiştirme, hız ve ivme değerleri hesaplanmaktadır. Her bir eleman için hesaplanan eğilme momenti (M) değerleri ile bu elemanların eğilme momenti kapasiteleri ( $M_p$ ) karşılaştırılmakta ve plastik mafsalları dağılımı belirlenmektedir. TWIZ Code programına ait akış şeması Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



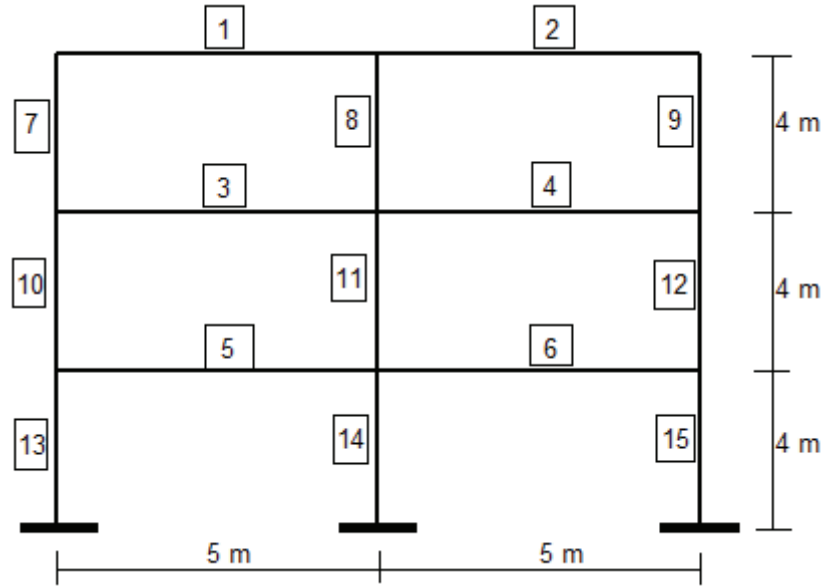
Şekil 4.1. TWIZ Code program akış şeması



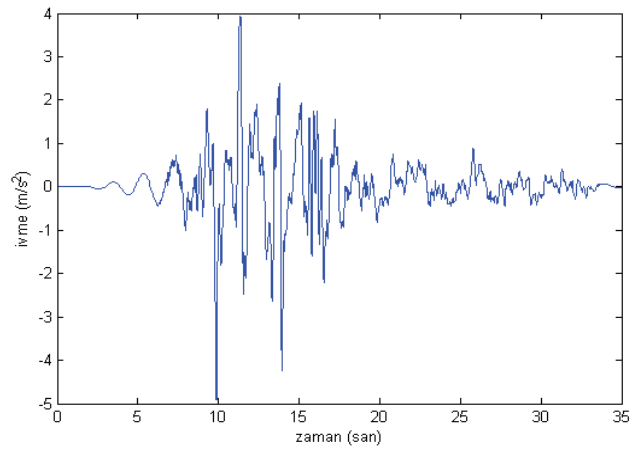
Bu çalışma kapsamında, SAP2000 [15] programı sonuçları kullanılarak TWIZ Code programının doğrulaması yapılmıştır. Seçilen bir betonarme çerçeve yapısı hem TWIZ Code hem de SAP2000 ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

#### 4.2. Örnek A Binası

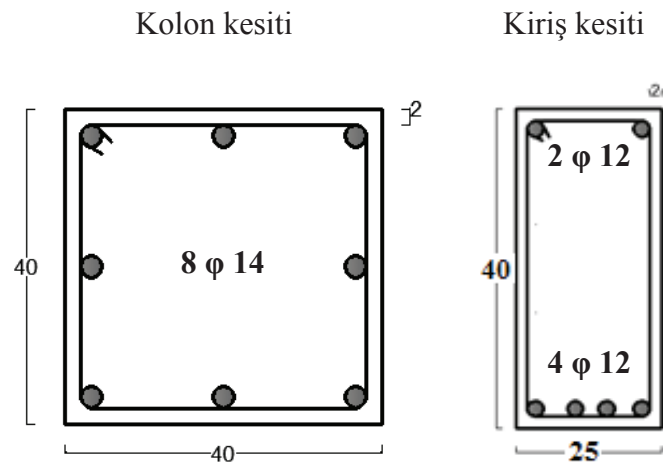
Kat yüksekliği 4m ve açıklıkları 5m olan üç katlı ve iki açıklıklı betonarme binanın (Şekil 4.2.) Marmara depremi (Şekil 4.3.) etkisi altındaki doğrusal elastik analizinin hem TWIZ Code hem de SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapıya ait kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 4.4.'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Yapıda kullanılan donatının elastik modülü  $E_s$  (210 GPa) ve akma dayanımı  $f_y$  (420 MPa), betonun elastik modülü ise  $E_c$  (28 GPa) ve betonun basınç dayanımı  $f_c$  (25 MPa) olarak seçilmiştir.



Şekil 4.2. Üç katlı iki açıklıklı çerçeve sistemi



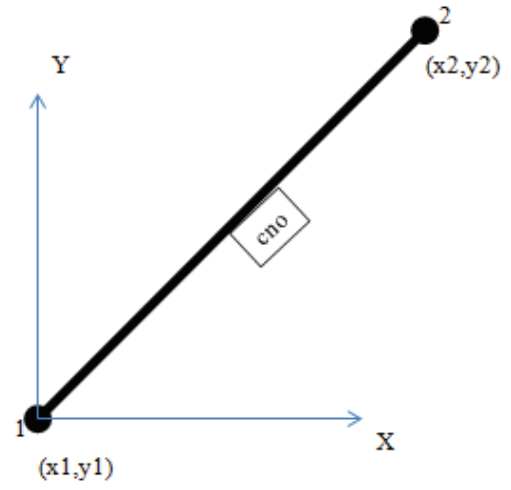
Şekil 4.3. Marmara Deprem Kaydı



Şekil 4.4. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Tablo 4.1. Koordinat bilgileri

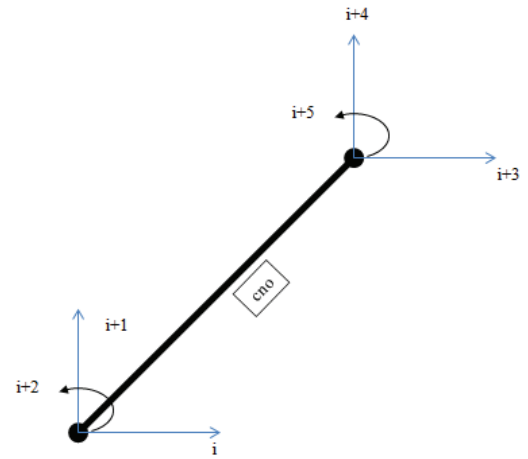
Cno	x1	y1	x2	y2
1	0	12	5	12
2	5	12	10	12
3	0	8	5	8
4	5	8	10	8
5	0	4	5	4
6	5	4	10	4
7	0	12	0	8
8	5	12	5	8
9	10	12	10	8
10	0	8	0	4
11	5	8	5	4
12	10	8	10	4
13	0	4	0	0
14	5	4	5	0
15	10	4	10	0



Şekil 4.5. Koordinat bilgileri

Tablo 4.2. Serbestlik bilgileri

cno	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	10	11	12	13	14	15
2	13	14	15	16	17	18
3	19	20	21	22	23	24
4	22	23	24	25	26	27
5	28	29	30	31	32	33
6	31	32	33	34	35	36
7	10	11	12	19	20	21
8	13	14	15	22	23	24
9	16	17	18	25	26	27
10	19	20	21	28	29	30
11	22	23	24	31	32	33
12	25	26	27	34	35	36
13	28	29	30	1	2	3
14	31	32	33	4	5	6
15	34	35	36	7	8	9



Şekil 4.6. Serbestlik bilgileri

Tablo 4.3. Çubuk bilgileri

cno	b (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	E (GPa)
1	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
2	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
3	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
4	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
5	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
6	0,25	0,40	0,10	0,001333	28
7	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
8	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
9	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
10	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
11	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
12	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
13	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
14	0,40	0,40	0,16	0,002133	28
15	0,40	0,40	0,16	0,002133	28

#### 4.2.1. Sonuçların karşılaştırılması

TWIZ Code ve SAP2000 ile doğrusal analiz ile çözülen örnek A binasının periyot değerleri Tablo 4.4.'da,  $t = 9.98$  saniye ve  $t = 11.36$  saniyeye karşılık gelen eğilme momenti değerleri ise Tablo 4.5. ve Tablo 4.6. verilmiştir.

Tablo 4.4. Periyot sonuçları

Mod	Periyot		Hata (%)
	TWIZ Code	SAP2000	
1	0,3159	0,3191	1,00
2	0,0980	0,0990	1,01
3	0,0560	0,0570	1,23
4	0,0207	0,0207	0,00
5	0,0180	0,0179	0,56
6	0,0180	0,0179	0,56
7	0,0126	0,0125	0,80
8	0,0124	0,0123	0,81
9	0,0101	0,0100	1,00
10	0,0079	0,0078	<b>1,28</b>
11	0,0078	0,0078	0,00
12	0,0076	0,0076	0,00

Örnek A yapısına ait analiz sonuçlarında TWIZ Code ile SAP2000 arasındaki en büyük hata, periyot değerleri için % 1.28 (Tablo 4.4.), eğilme momenti için % 1.91 (Tablo 4.5.) ve % 5.32 (Tablo 4.6.) olduğu görülmektedir.

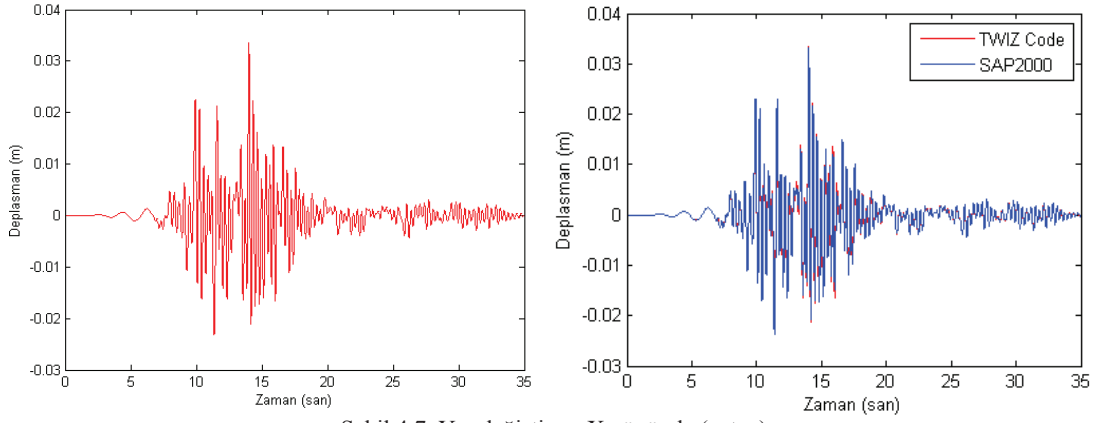
Tablo 4.5. Seçilen zaman adımında eğilme momentin sonuçları (t=9.98 saniye)

Çubuk	Node	Eğilme momenti (kNm)		Hata (%)
		TWIZ Code	SAP2000	
1	1	27,44	27,80	1,29
1	2	24,14	24,36	0,90
2	2	23,93	24,36	1,77
2	3	27,27	27,80	1,91
3	4	58,60	59,02	0,71
3	5	54,85	55,11	0,47
4	5	54,63	55,11	0,87
4	6	58,39	59,02	1,07
5	7	80,13	80,39	0,32
5	8	72,90	72,97	0,10
6	8	72,74	72,97	0,32
6	9	80,01	80,39	0,47
7	1	27,44	27,80	1,29
7	4	6,43	6,36	1,10
8	2	48,08	48,72	1,31
8	5	27,96	28,20	0,85
9	3	27,27	27,80	<b>1,91</b>
9	6	6,30	6,36	0,94
10	4	52,17	52,65	0,91
10	7	35,62	36,00	1,06
11	5	81,52	82,02	0,61
11	8	71,98	72,39	0,57
12	6	52,09	52,65	1,06
12	9	35,54	36,00	1,28
13	7	44,52	44,38	0,32
13	10	103,08	104,20	1,07
14	8	73,65	73,55	0,14
14	11	117,70	118,53	0,70
15	9	44,47	44,38	0,20
15	12	103,03	104,20	1,12

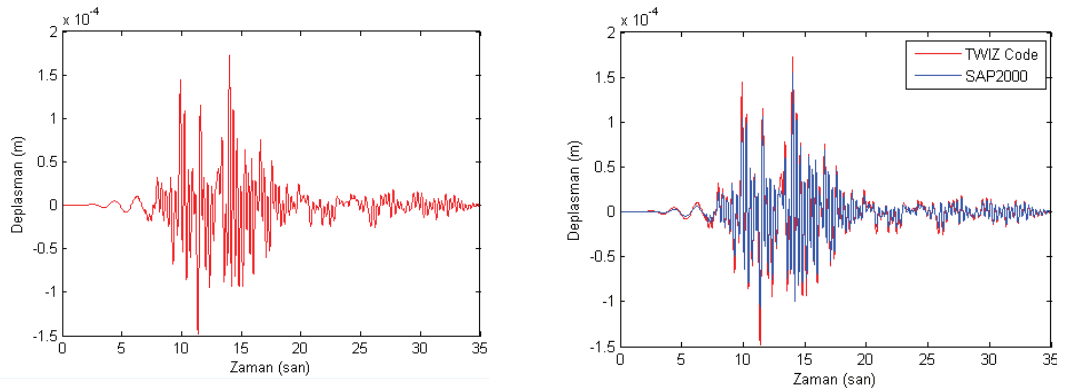
Tablo 4.6. Seçilen zaman adımında eğilme momentin sonuçları (t=11.36 saniye)

Çubuk	Node	Eğilme momenti (kNm)		Hata (%)
		TWIZ Code	SAP2000	
1	1	30,81	30,41	1,32
1	2	27,10	26,64	1,71
2	2	26,92	26,64	1,05
2	3	30,67	30,41	0,87
3	4	65,00	64,09	1,42
3	5	60,95	59,82	1,89
4	5	60,77	59,82	1,58
4	6	64,98	64,09	1,39
5	7	87,12	85,69	1,67
5	8	79,26	77,8	1,88
6	8	79,14	77,8	1,72
6	9	87,01	85,69	1,54
7	1	30,81	30,41	1,32
7	4	7,66	7,27	<b>5,32</b>
8	2	54,02	53,28	1,39
8	5	31,84	31,15	2,21
9	3	30,67	30,41	0,87
9	6	7,56	7,27	3,93
10	4	57,49	56,82	1,19
10	7	40,58	39,96	1,56
11	5	89,88	88,5	1,56
11	8	80,28	78,87	1,79
12	6	63,27	64,09	1,28
12	9	40,51	39,96	1,39
13	7	46,54	45,73	1,77
13	10	110,19	109,49	0,64
14	8	78,11	76,73	1,80
14	11	126,04	124,72	1,06
15	9	46,49	45,73	1,67
15	12	110,17	109,49	0,62

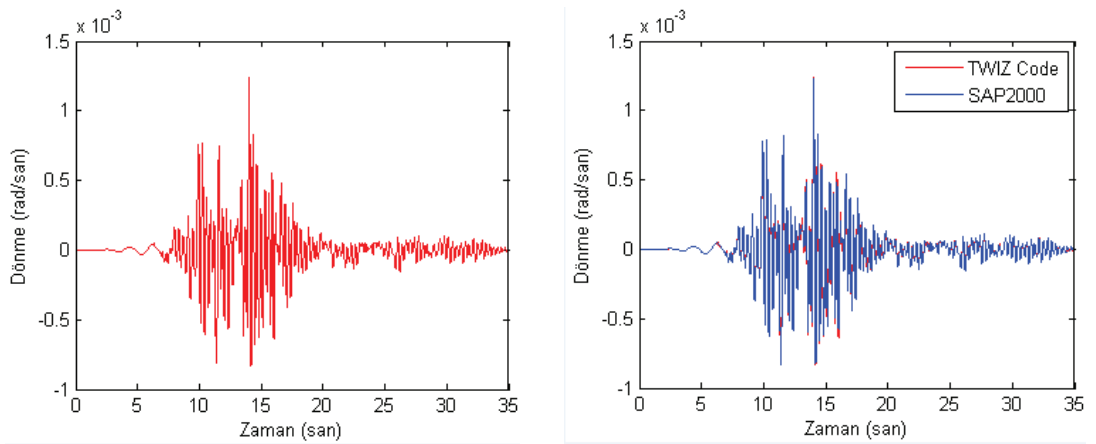
TWIZ Code ve SAP2000 programı ile doğrusal elastik olarak analiz edilen örnek A binasının X doğrultusu boyunca yer değiştirmesi (Şekil 4.7.), Z doğrultusu boyunca yer değiştirmesi (Şekil 4.8.) ve Y doğrultusu boyunca dönme (Şekil 4.9.) verilmiştir.



Şekil 4.7. Yer değiştirme X yönünde (yatay)



Şekil 4.8. Yer değiştirme Z yönünde (dikey)

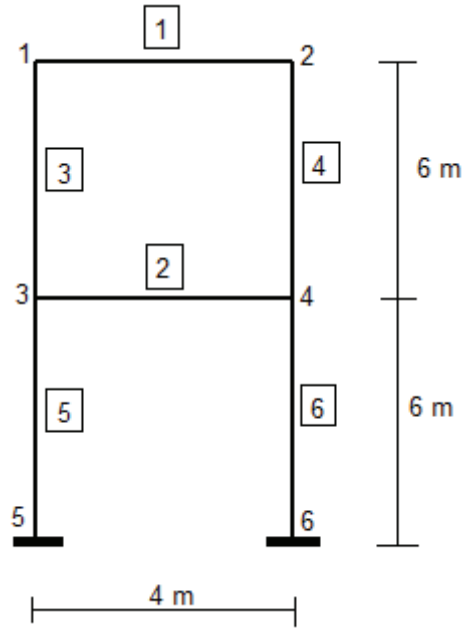


Şekil 4.9. Rotasyon Y yönünde

### 4.3. Örnek B Binası

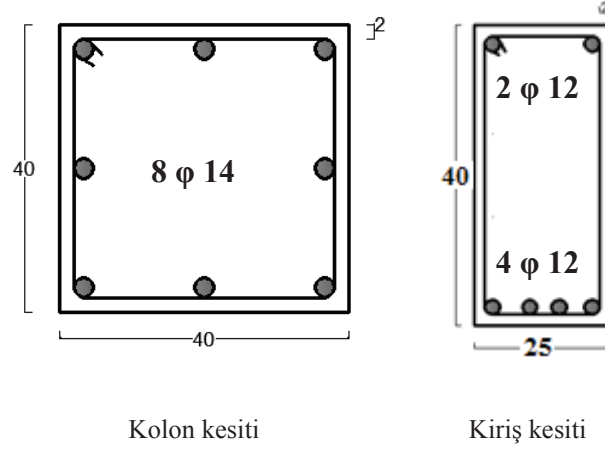
TWIZ Code programı ile betonarme çerçevelerinin doğrusal olmayan analizleri zaman tanım alanında yapılabilmektedir. Örnek olarak bir betonarme çerçeve yapısının (Örnek B) analizi ve plastik mafsalsal dağılımı verilmiştir.

Kat yüksekliği 6m ve açıklıkları 4m olan iki katlı ve tek açıklıklı betonarme binanın (Şekil 4.10.) Marmara depremi (Şekil 4.3.) etkisi altındaki doğrusal elastik analizinin hem TWIZ Code hem de SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapıya ait kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 4.12.'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Yapıda kullanılan donatının elastisite modülü  $E_s$  (210 GPa) ve akma dayanımı  $f_y$  (420 MPa), betonun elastik modülü ise  $E_c$  (28 GPa) ve betonun basınç dayanımı  $f_c$  (25 MPa) olarak seçilmiştir.



Şekil 4.10. İki katlı tek açıklıklı çerçeve sistemi

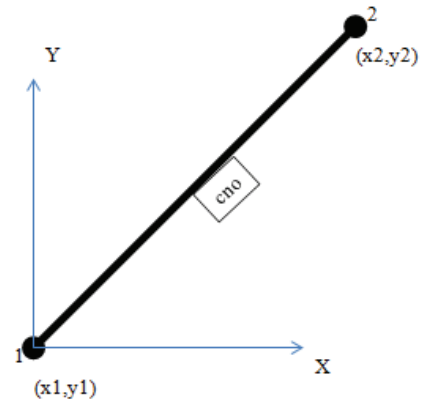




Şekil 4.11. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Tablo 4.7. Koordinat bilgileri

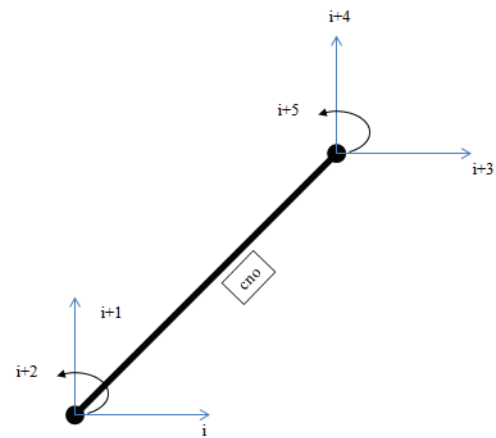
cno	x1	y1	x2	y2
1	0	12	4	12
2	0	6	4	6
3	0	12	0	6
4	4	12	4	6
5	0	6	0	0
6	4	6	4	0



Şekil 4.12. Koordinat bilgileri

Tablo 4.8. Serbestlik bilgileri

cno	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	7	8	9	10	11	12
2	13	14	15	16	17	18
3	7	8	9	13	14	15
4	10	11	12	16	17	18
5	13	14	15	1	2	3
6	16	17	18	4	5	6



Şekil 4.13. Serbestlik bilgileri

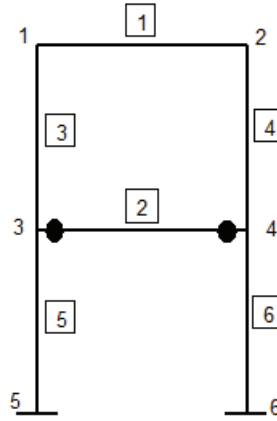
Tablo 4.9. Çubuk bilgileri

cno	b (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	E (GPa)	Mp (kNm)
1	0,25	0,40	0,10	0,001333	28	37,56
2	0,25	0,40	0,10	0,001333	28	37,56
3	0,40	0,40	0,16	0,002133	28	94,52
4	0,40	0,40	0,16	0,002133	28	94,52
5	0,40	0,40	0,16	0,002133	28	94,52
6	0,40	0,40	0,16	0,002133	28	94,52

Tablo 4.10. da ve Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi ilk plastik mafsallar zemin kat kiriş uçlarında 9.10'inci saniyede oluşmaktadır.

Tablo 4.10. 2 Plastik mafsallar oluşması

cno	Node	Zaman (sa)	M (kNm)	Mp (kNm)
2	3	9,10	38,72	37,56
2	4	9,10	38,72	37,56

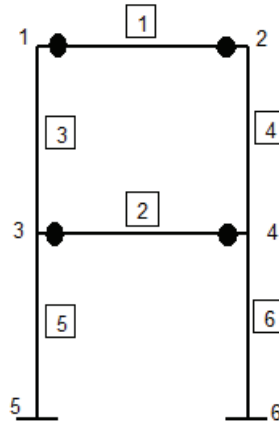


Şekil 4.14. 2 Plastik mafsallar oluşması

İkinci plastik mafsall grubu (Şekil 4.15.) ise deprem hareketinin 9.27'inci saniyesinde ikinci kat kirişlerinde de plastik mafsall oluşarak toplam 4 adet plastik mafsall oluşmuştur.

Tablo 4.11. 4 Plastik mafsallar oluşması

cno	Node	Zaman (sa)	M (kNm)	Mp (kNm)
2	3	9,10	38,72	37,56
2	4	9,10	38,72	37,56
1	1	9,27	39,44	37,56
1	2	9,27	39,44	37,56

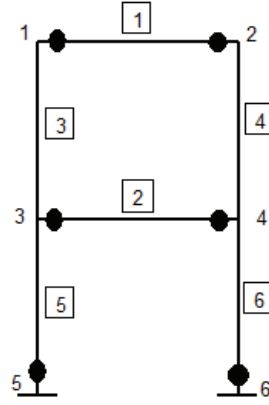


Şekil 4.15. 4 Plastik mafsallar oluşması

Üçüncü plastik mafsalları grubu (Şekil 4.16.) ise deprem hareketinin 9.42'inci saniyesinde kolonlarında da plastik mafsalları oluşarak toplam 6 adet plastik mafsalları oluşmuştur.

Tablo 4.12. 6 Plastik mafsallar oluşması

Cno	Node	Zaman (sa)	M (kNm)	Mp (kNm)
2	3	9,10	38,72	37,56
2	4	9,10	38,72	37,56
1	1	9,27	39,44	37,56
1	2	9,27	39,44	37,56
5	5	9,42	95,10	94,52
6	6	9,42	95,10	94,52

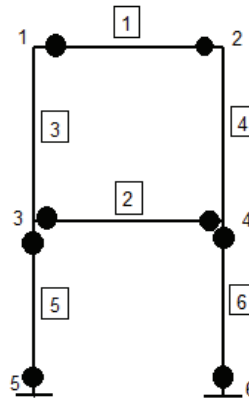


Şekil 4.16. 6 Plastik mafsallar oluşması

Dördüncü plastik mafsal grubu (Şekil 4.17.) ise deprem hareketinin 9.43'inci saniyesinde 8 adet plastik mafsal oluşmuştur.

Tablo 4.13. 8 Plastik mafsallar oluşması

Cno	Node	Zaman (sa)	M (kNm)	Mp (kNm)
2	3	9,10	38,72	37,56
2	4	9,10	38,72	37,56
1	1	9,27	39,44	37,56
1	2	9,27	39,44	37,56
5	5	9,42	95,10	94,52
6	6	9,42	95,10	94,52
5	3	9,43	96,18	94,52
6	4	9,43	95,18	94,52



Şekil 4.17. 8 Plastik mafsallar oluşması

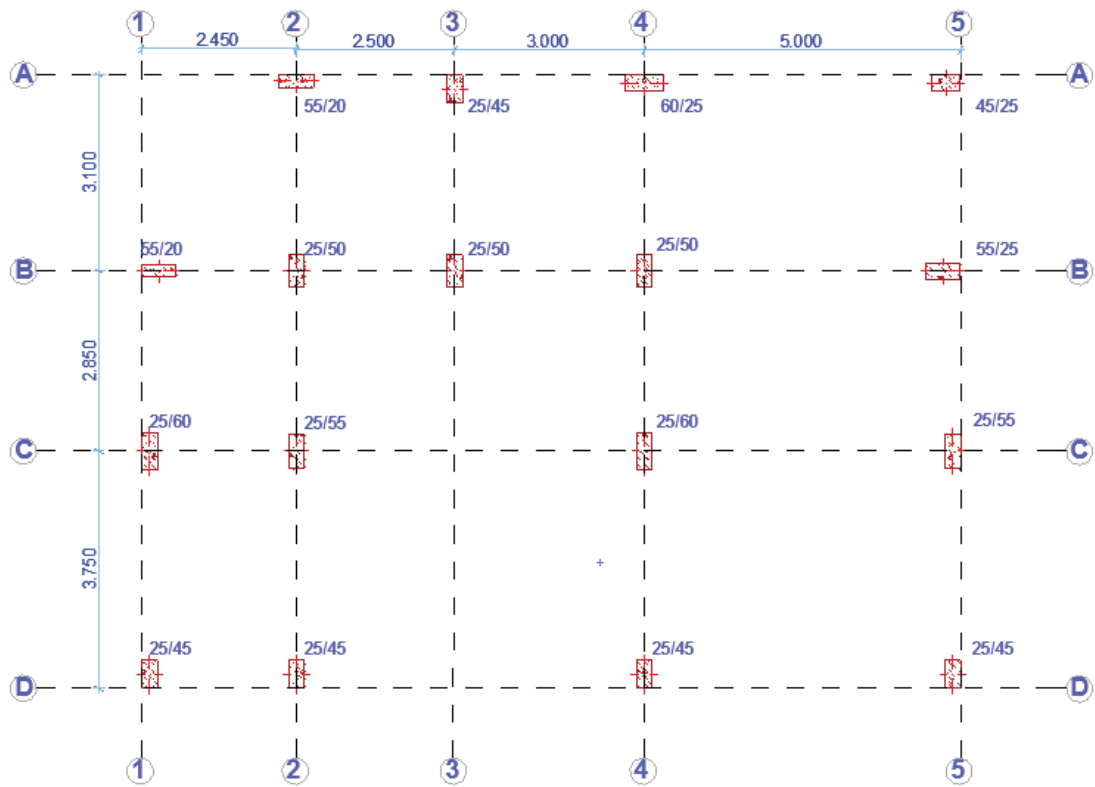
## **BÖLÜM 5. SAYISAL UYUGULAMALAR**

Bu çalışmada, iki boyutlu betonarme yapıların doğrusal olmayan analizlerinin zaman tanım alanında yapılabilen ve TWIZ Code olarak isimlendirilen bir program geliştirilmiştir. MATLAB [13] programlama dili kullanılarak geliştirilen bu programda betonarme kesitlerin moment eğrilik ilişkileri XTRACT [16] program ile bulunmuştur.

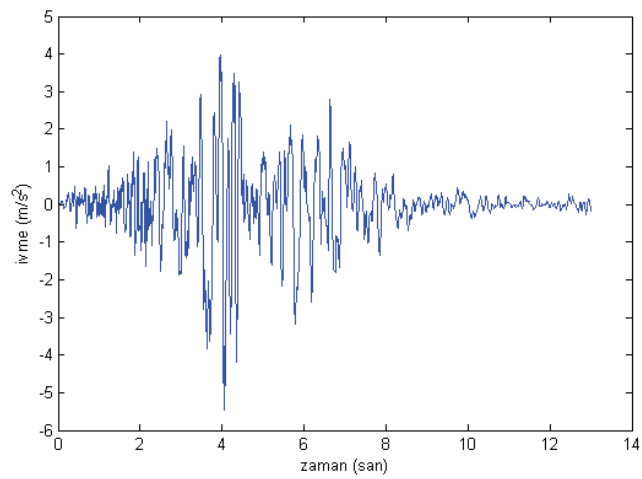
Bu bölümde, literatürden seçilen 4 adet betonarme binanın belirlenen aksları TWIZ Code ile analiz edilerek bu yapıların deprem performansları belirlenmiştir.

### **5.1. Örnek 5.1 Binası**

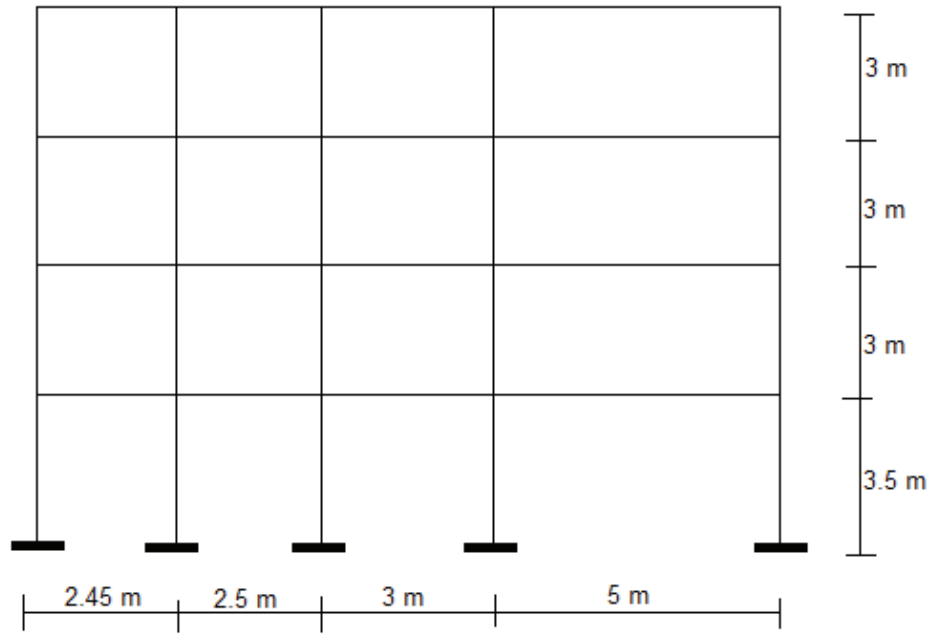
Örnek 5.1 binası Bingöl depreminden etkilenen binalardan seçilmiştir [17]. Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 5.1.'de verilmektedir. Yapı 9.7x12.95m boyutlarında ve dört katlı olarak yapılmıştır. Yapının zemin katı 3.5 m ve diğer katı 3 m yüksekliğindedir. Örnek 5.1.'de Bingöl depremi (Şekil 5.2.) etkisi altındaki doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için B-B aksı seçilmiştir (Şekil 5.3.). Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 5.4.'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek .A'da sunulmuştur.



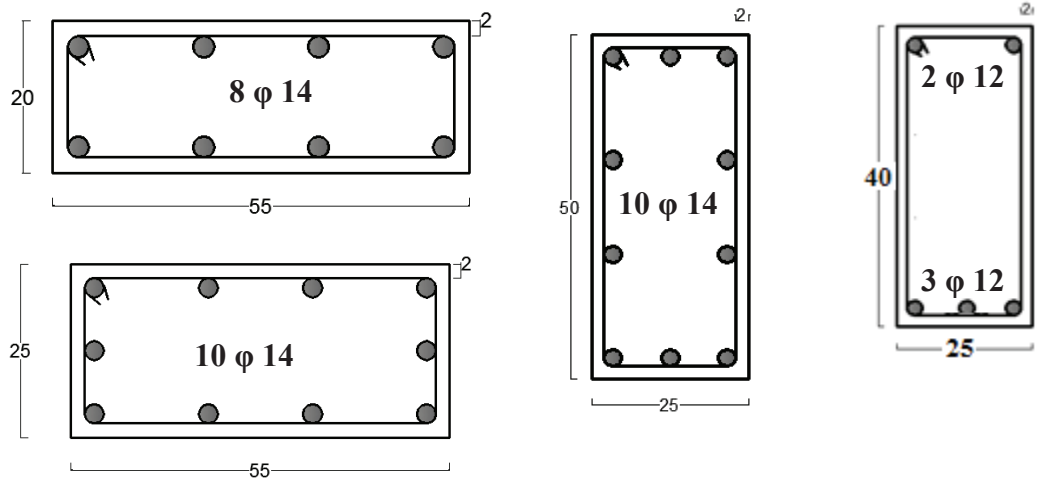
Şekil 5.1. Örnek 5.1 yapısının kat planı



Şekil 5.2. Bingöl Deprem Kaydı [18]



Şekil 5.3. Örnek 5.1 yapısının B-B aksı



Kolon kesiti

Kiriş kesiti

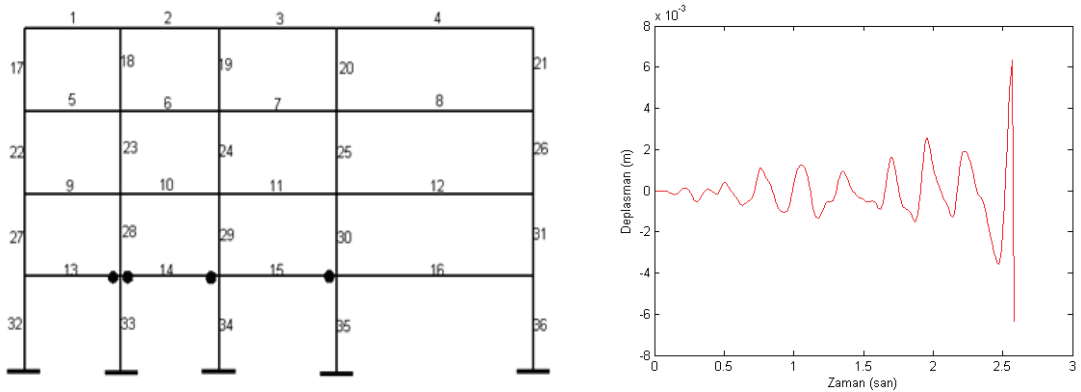
Şekil 5.4. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Örnek 5.1 yapısının seçilen B-B aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Tablo 5.1. de sunulmuştur.

Tablo 5.1. Plastik mafsalları dağılımı

Mafsalları (no)	sayı	Zaman (sa)
1	4	2,58
2	6	2,75
3	12	3,05
4	9	3,13
5	8	3,72

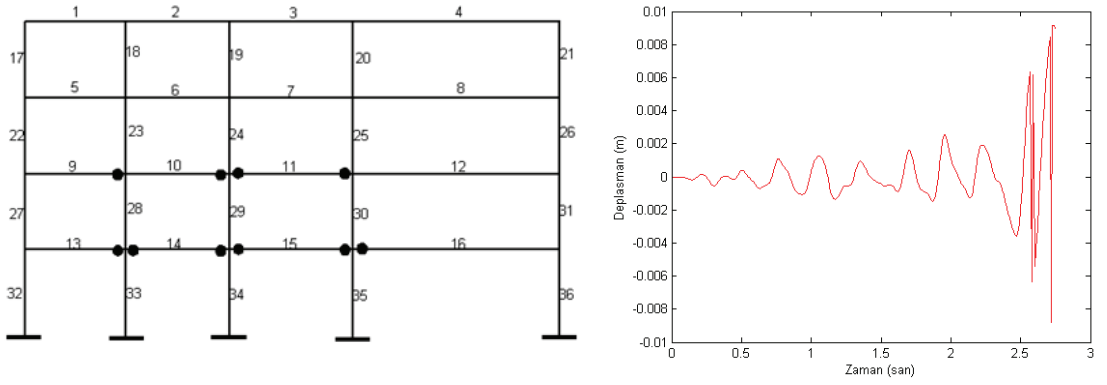
Şekil 5.5.'de görüldüğü gibi ilk plastik mafsallar zemin kat kiriş uçlarında 2.58'inci saniyede oluşmaktadır.



Şekil 5.5. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

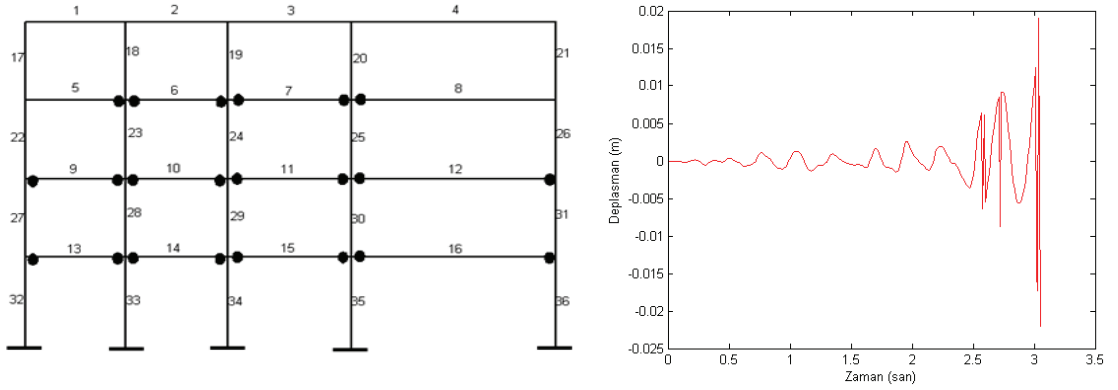
İkinci plastik mafsalları grubu (Şekil 5.6.) ise deprem hareketinin 2.75'inci saniyesinde ikinci kat kirişlerinde de plastik mafsalları oluşarak toplam 10 adet plastik mafsalları oluşmuştur.





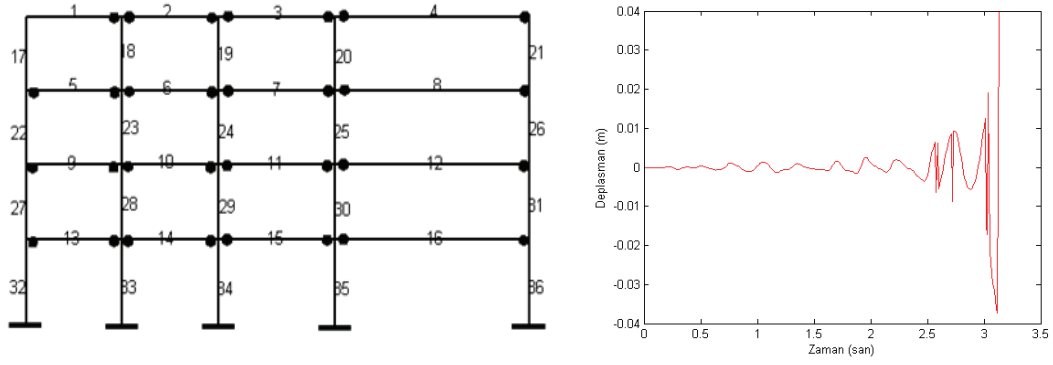
Şekil 5.6. İkinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

Üçüncü plastik mafsalsal grubu (Şekil 5.7.) ise deprem hareketinin 3.05'inci saniyesinde üçüncü kat kirişlerinde de plastik mafsalsal oluşarak toplam 22 adet plastik mafsalsal oluşmuştur.



Şekil 5.7. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

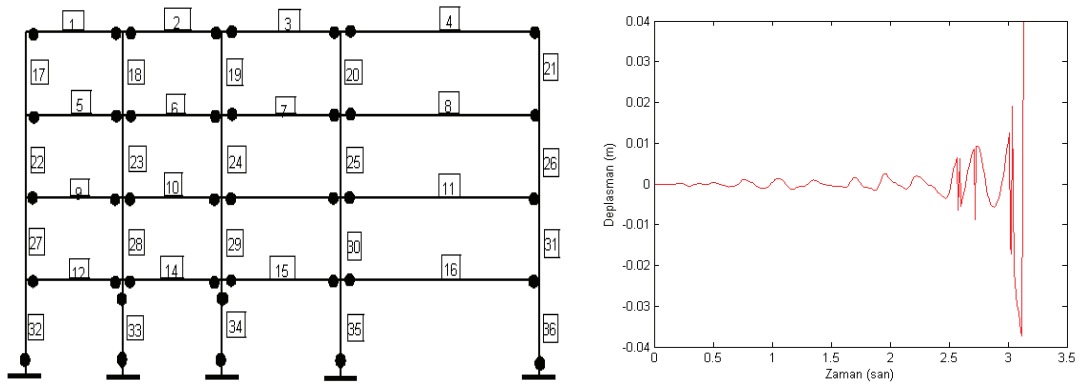
Dördüncü plastik mafsalsal grubu (Şekil 5.8.) ise deprem hareketinin 3.13'üncü saniyesinde dördüncü kat kirişlerinde de plastik mafsalsal oluşarak toplam 31 adet plastik mafsalsal oluşmuştur.



Şekil 5.8. Dördüncü plastik mafsallı grup ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

Bu ana kadar yapının kolonlarında herhangi bir plastik mafsallı oluşmamış olup meydana gelen tüm plastik mafsallar kirişlerindedir.

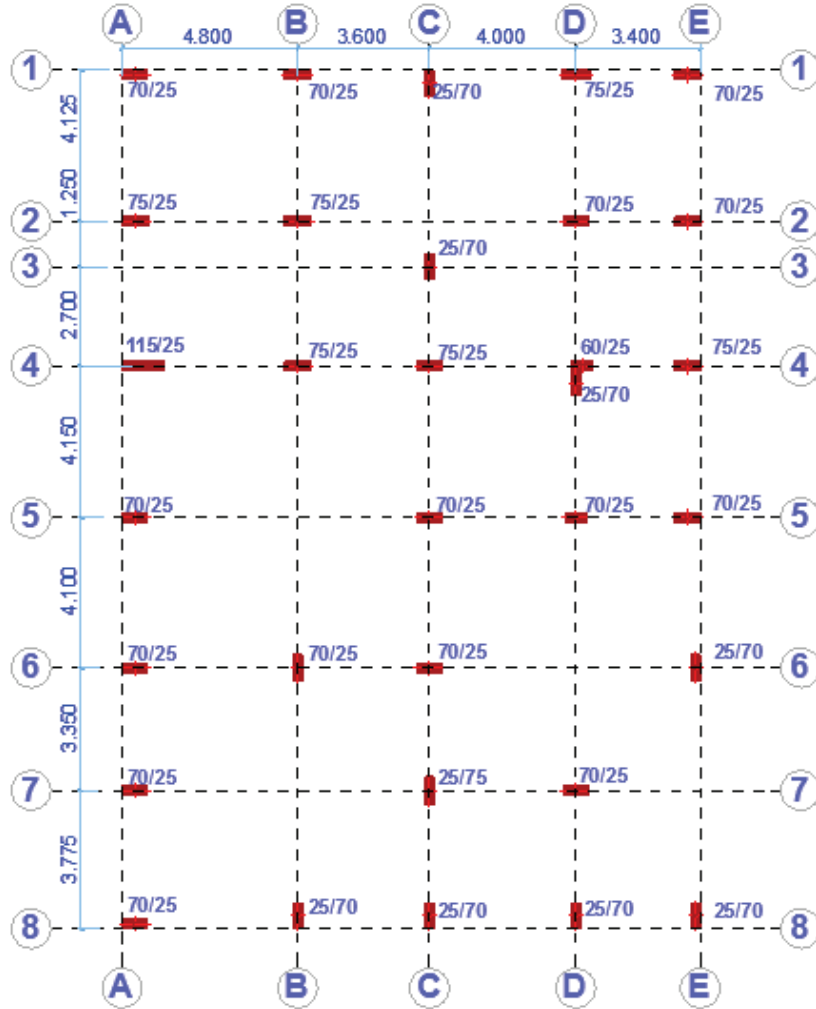
Beşinci plastik mafsallı grup (Şekil 5.9.) ise deprem hareketinin 3.72'inci saniyesinde oluşmaktadır. Depremin bu anında kolon uçlarında da plastik mafsallı oluşmakta ve kirişler dahil toplam 38 adet plastik mafsallı oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarının alt uçlarının tamamında plastik mafsallı oluşmakta ve ayrıca 33 ve 34 nolu kolonun her iki ucunda da plastik mafsallı olduğundan yapı stabilitesini kaybetmekte ve yıkılmaktadır.



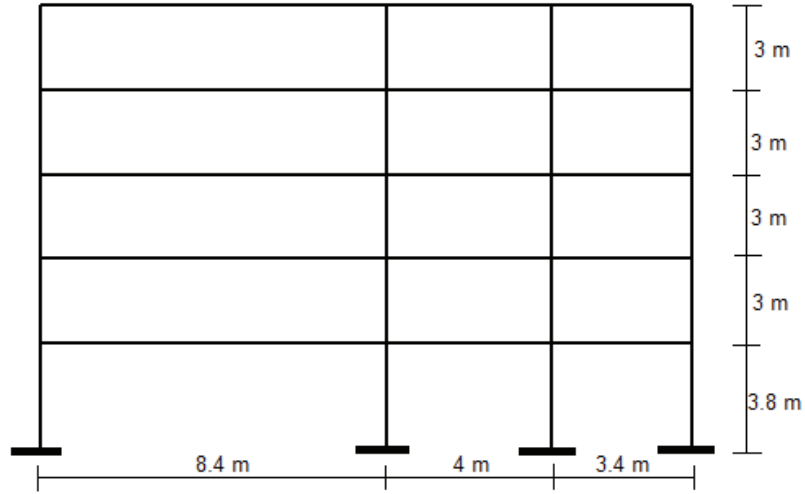
Şekil 5.9. Beşinci plastik mafsallı grup ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

## 5.2. Örnek 5.2 Binası

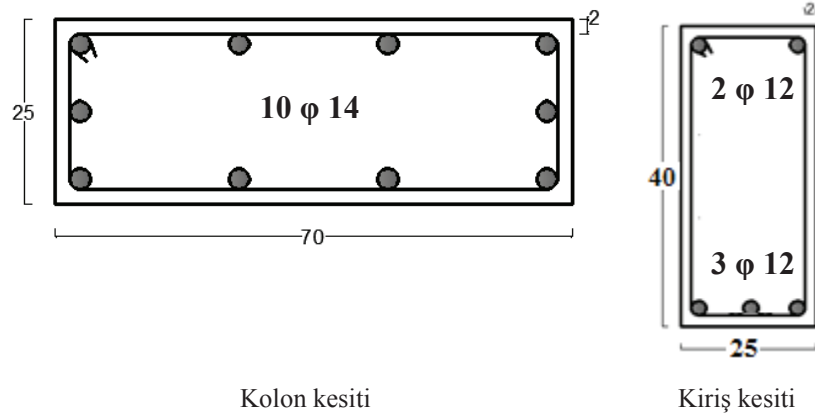
Örnek 5.2 binası Bingöl depreminden etkilenen binalardan seçilmiştir [17]. Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 5.10.'da verilmektedir. Yapı 23.45x15.8 m boyutlarında ve beş katlı olarak yapılmıştır. Yapının zemin katı 3.8 m ve diğer katı 3 m yüksekliğindedir. Örnek 5.2.'de deprem (Şekil 5.2.) etkisi altındaki doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için 5-5 aksı seçilmiştir (Şekil 5.12.). Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 5.13.'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 5.10. Örnek 5.2 Kat planı



Şekil 5.11. Örnek 5.2 Binasının 5-5 aksı



Kolon kesiti

Kiriş kesiti

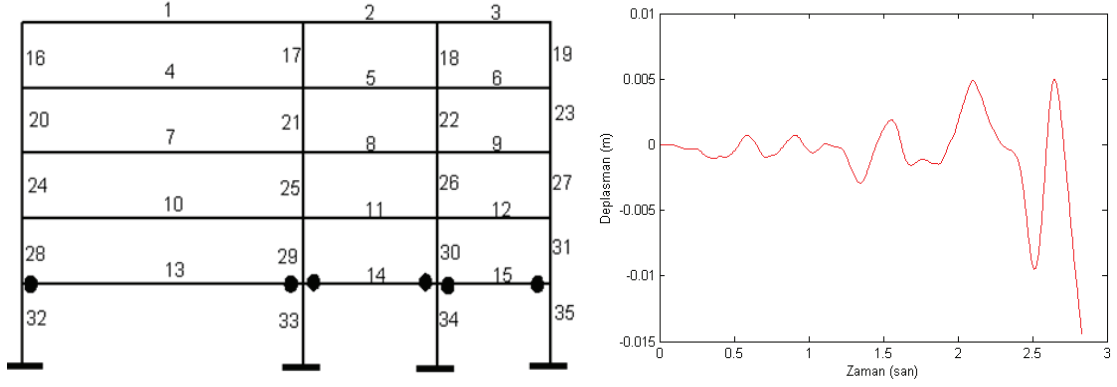
Şekil 5.12. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Örnek 5.2 yapısının seçilen 5-5 aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Tablo 5.2.'de sunulmuştur.

Tablo 5.2. Plastik mafsalları dağılımı

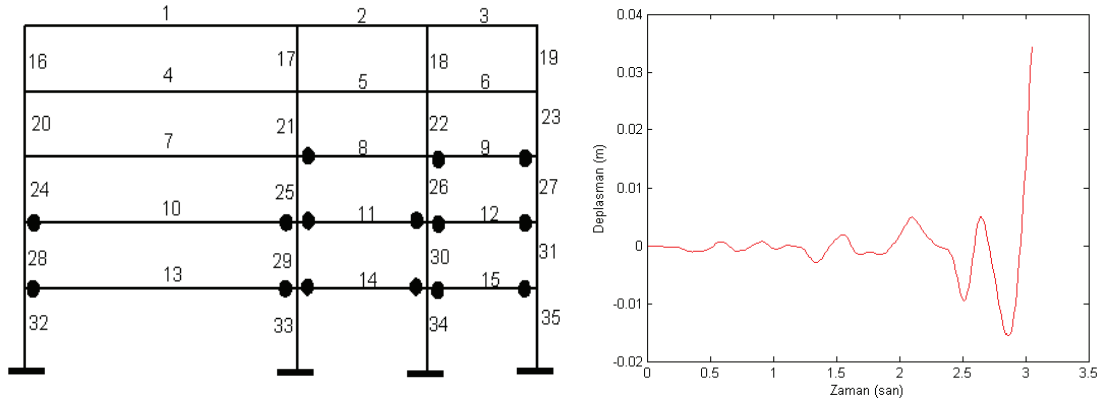
Mafsalları (no)	Sayı	Zaman (sa)
1	6	2,83
2	9	3,05
3	6	3,12
4	3	3,27
5	6	3,33

Şekil 5.13.'ta görüldüğü gibi ilk plastik mafsallar zemin kat kiriş uçlarında 2.83'üncü saniyede oluşmaktadır.



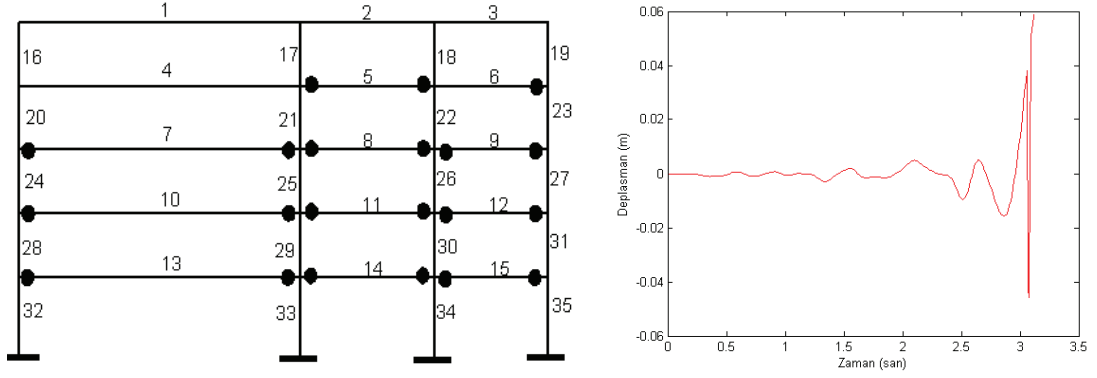
Şekil 5.13. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

İkinci plastik mafsal grubu (Şekil 5.14.) ise deprem hareketinin 3.05'inci saniyesinde ikinci ve üçüncü kat kirişlerinde de plastik mafsal oluşarak toplam 15 adet plastik mafsal oluşmuştur.



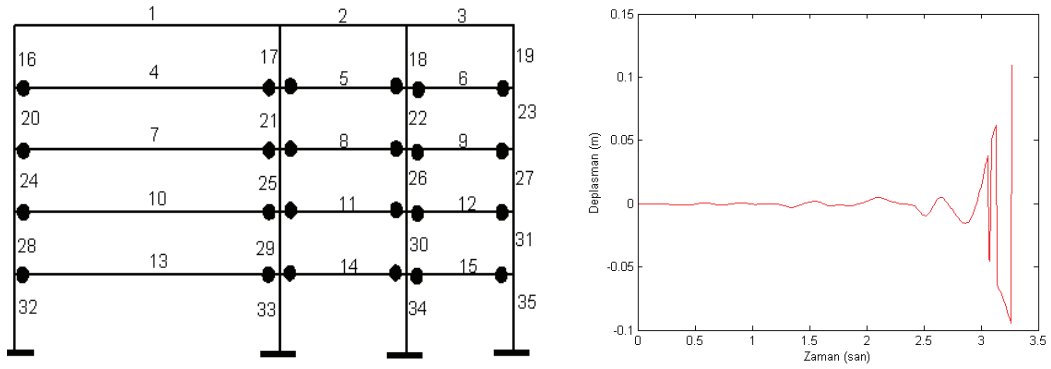
Şekil 5.14. İkinci plastik mafsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

Üçüncü plastik mafsal grubu (Şekil 5.15.) ise deprem hareketinin 3.12'inci saniyesinde dördüncü kat kirişlerinde de plastik mafsal oluşarak toplam 21 adet plastik mafsal oluşmuştur.



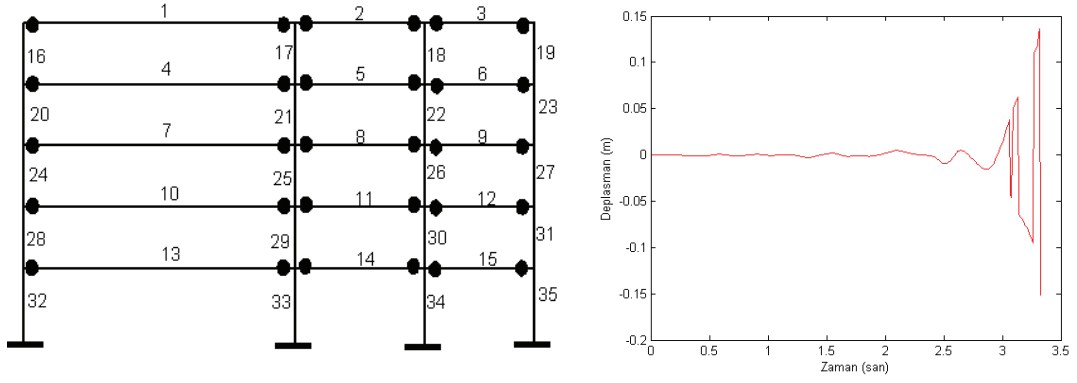
Şekil 5.15. Üçüncü plastik mafsallı yapı ve tepesi yerdeğiştirme

Dördüncü plastik mafsallı yapı (Şekil 5.16.) ise deprem hareketinin 3.27'inci saniyesinde dördüncü kat kirişlerinde plastik mafsallı yapılarak toplam 24 adet plastik mafsallı yapı oluşmuştur.



Şekil 5.16. Dördüncü plastik mafsallı yapı ve tepesi yerdeğiştirme

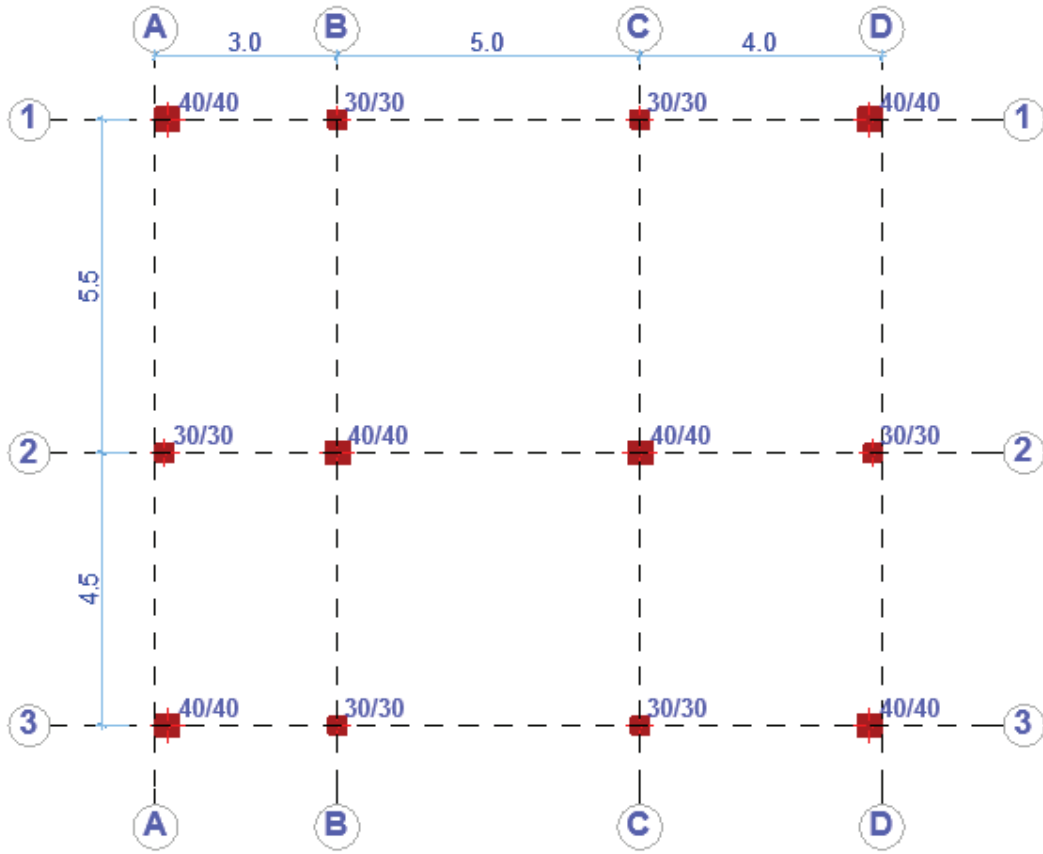
Beşinci plastik mafsallı yapı (Şekil 5.17.) ise deprem hareketinin 3.33'üncü saniyesinde 30 adet plastik mafsallı yapı oluşmuştur. Sonuç olarak Bingöl depremi etkisi altındaki bu yapının kirişlerinde 30 adet mafsallı yapı oluşmuş kolonlarında ise mafsallı yapı oluşmamıştır. Dolayısıyla bu bina deprem az hasarlı olarak karşılamıştır.



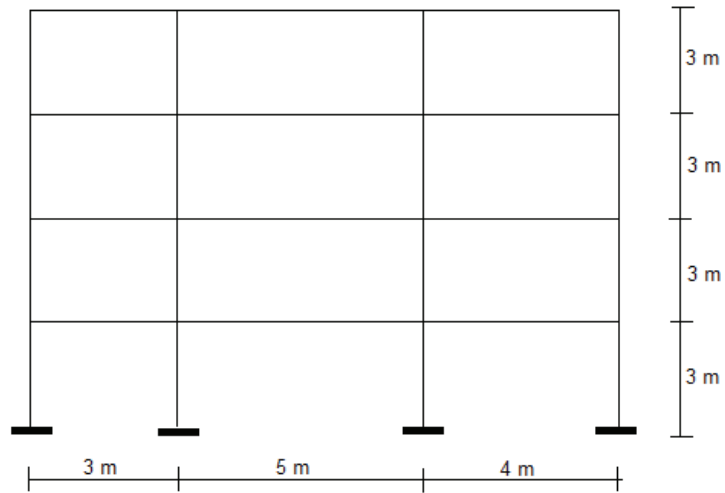
Şekil 5.17. Beşinci plastik mafsall grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

### 5.3. Örnek 5.3 Binası

Bu bina İsa Yıldırım tezinin [2] çalışmasından seçilmiştir. Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 5.18.'de verilmektedir. Yapı 10x12 m boyutlarında ve dört katlı olarak yapılmıştır. Yapının katları 3 m yüksekliğindedir. Örnek 5.3'de bingöl deprem (Şekil 5.2.) etkisi altındaki doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için 2-2 aksı seçilmiştir (Şekil 5.19.). Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 5.20.'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek C.'de sunulmuştur.

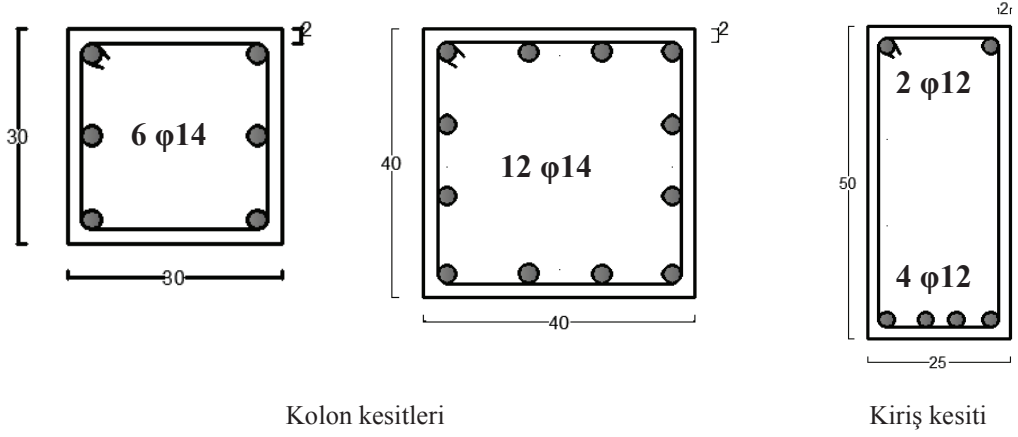


Şekil 5.18. Örnek 5.3 Kat planı [2]



Şekil 5.19. Örnek 5.3 Binasının 2-2 aksı





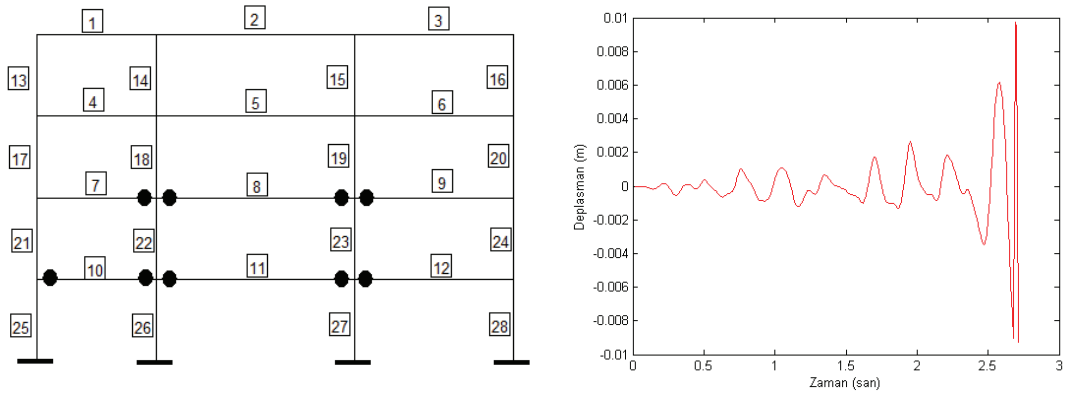
Şekil 5.20. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Örnek 5.3 yapısının seçilen 2-2 aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Tablo 5.3.'te sunulmuştur.

Tablo 5.3. Plastik mafsalları dağılımı

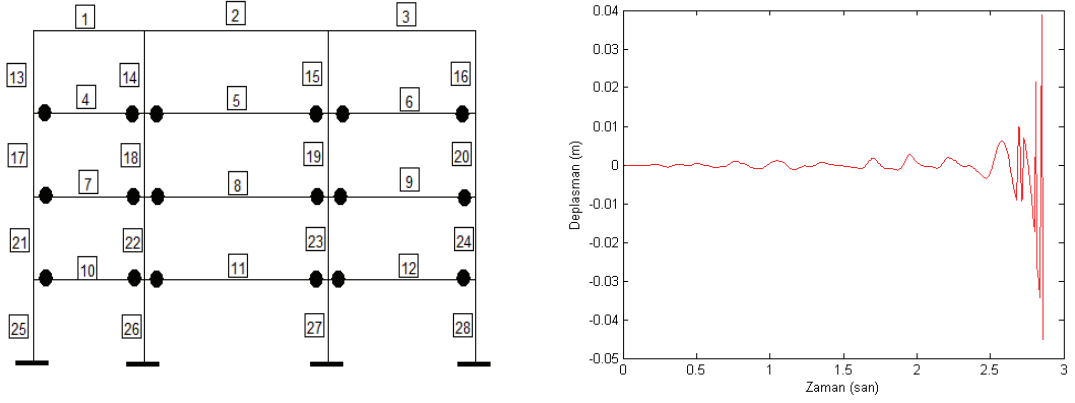
Mafsalları (no)	Sayı	Zaman (sa)
1	9	2,71
2	9	2,86
3	8	2,91

Şekil 5.21.'de görüldüğü gibi ilk plastik mafsallar zemin kat ve ikinci kat kiriş uçlarında 2.71'inci saniyede oluşmaktadır.



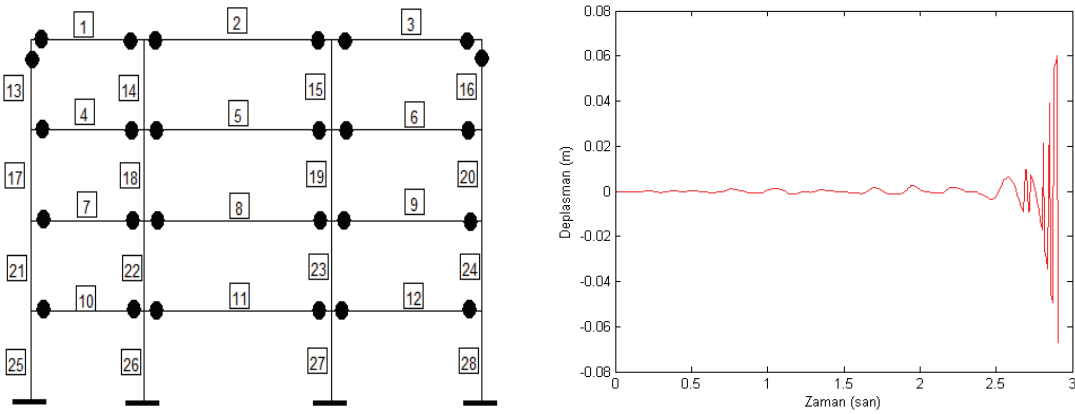
Şekil 5.21. İlk plastik mafsallar ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

İkinci plastik mafsalsal grubu (Şekil 5.22.) ise deprem hareketinin 2.86'inci saniyesinde üçüncü kat kirişlerinde de plastik mafsalsal oluşarak toplam 18 adet plastik mafsalsal oluşmuştur.



Şekil 5.22. İkinci plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

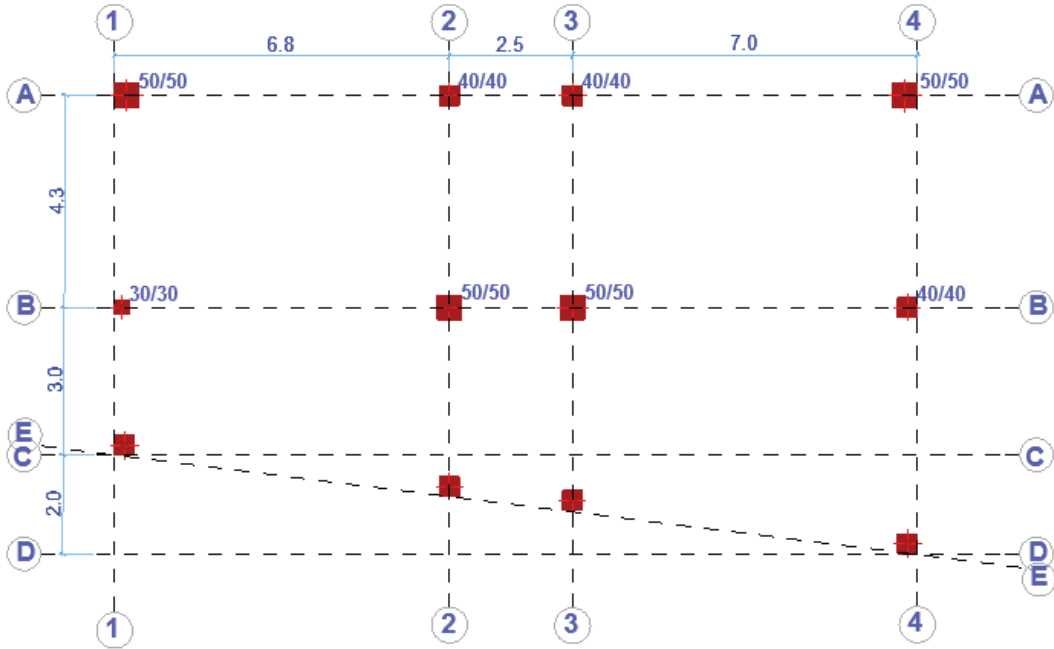
Üçüncü plastik mafsalsal grubu (Şekil 5.23.) ise deprem hareketinin 2.91'inci saniyesinde dördüncü kat kirişlerinde ve dördüncü kat kolonlarında da plastik mafsalsal oluşarak toplam 26 adet plastik mafsalsal oluşmuştur.



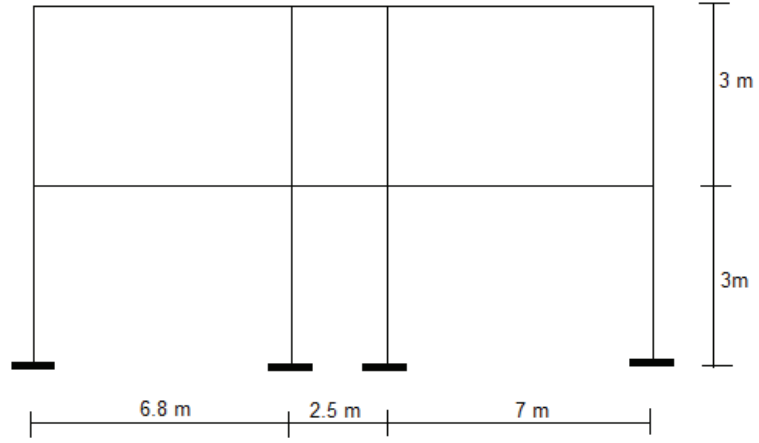
Şekil 5.23. Üçüncü plastik mafsalsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

#### 5.4. Örnek 5.4 Binası

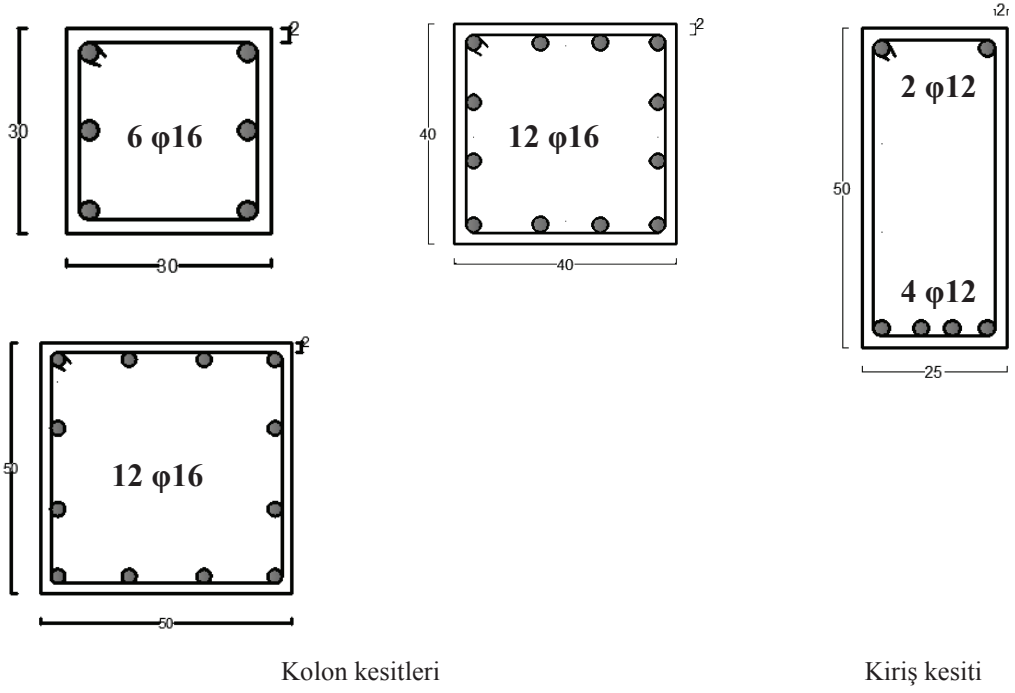
Bu bina İsa Yıldırım tezinin [2] çalışmasından seçilmiştir. Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 5.24.'te verilmektedir. Yapı 9.3x16.3 m boyutlarında ve iki katlı olarak yapılmıştır. Yapının katları 3 m yüksekliğindedir. Örnek 5.4'de Bingöl depremi (Şekil 5.2.) etkisi altındaki doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için B-B aksı seçilmiştir (Şekil 5.25.). Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 5.26.'da verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek D'de sunulmuştur.



Şekil 5.24. Örnek 5.4 Kat planı [2]



Şekil 5.25. Örnek 5.4 Binasının B-B aksı



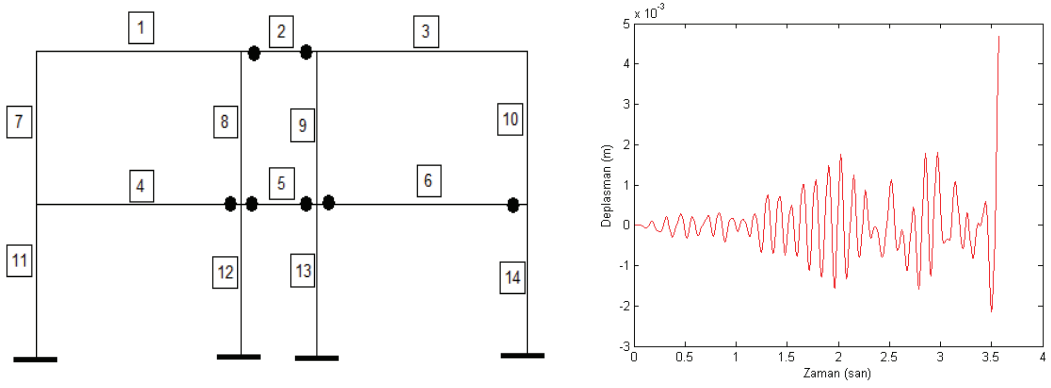
Şekil 5.26. Kolon ve kiriş kesitleri (cm)

Örnek 5.4 yapısının seçilen B-B aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Tablo 5.4.'de sunulmuştur.

Tablo 5.4. Plastik mafsal dağılımı

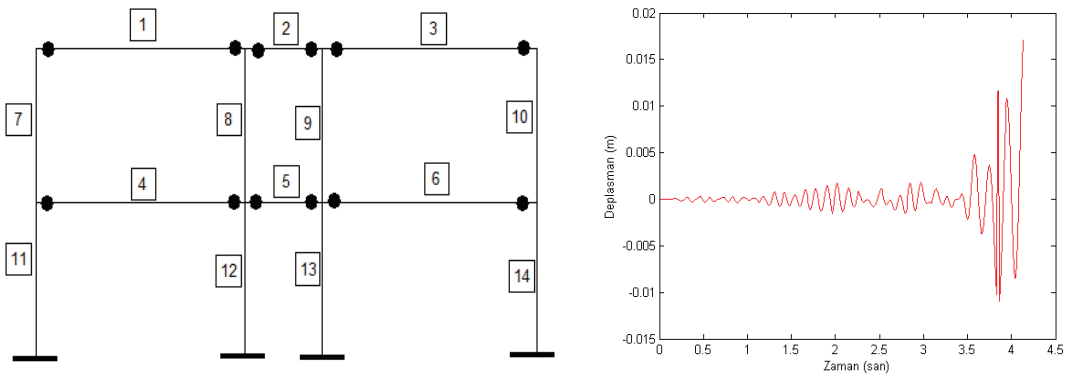
Mafsal no	Sayı	Zaman (san)
1	7	3,57
2	5	4,13
3	6	4,38

Şekil 5.27.'da görüldüğü gibi ilk plastik mafsallar zemin kat ve ikinci kat kiriş uçlarında 3.57'inci saniyede oluşmaktadır.



Şekil 5.27. İlk plastik mafsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

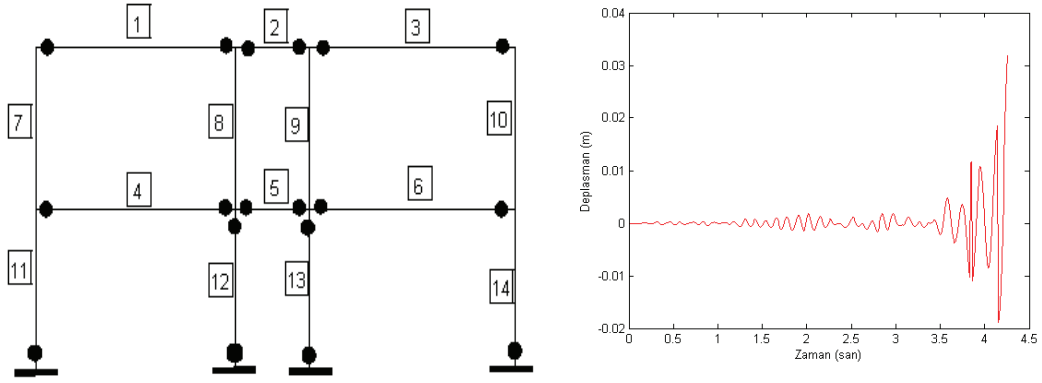
İkinci plastik mafsal grubu (Şekil 5.28.) ise deprem hareketinin 4.13'üncü saniyesinde tüm kirişlerinde de plastik mafsal oluşarak toplam 12 adet plastik mafsal oluşmuştur.



Şekil 5.28. İkinci plastik mafsal grubu ve yapının tepe noktası yerdeğiştirmesi

Bu ana kadar yapının kolonlarında her hangi bir plastik mafsall oluşmamış olup meydana gelen tüm plastik mafsallar kirişlerindedir.

Üçüncü plastik mafsall grubu (Şekil 5.29.) ise deprem hareketinin 4.38'inci saniyesinde oluşmaktadır. Depremin bu anında kolon uçlarında da plastik mafsall oluşmakta ve kirişler dahil toplam 18 adet plastik mafsall oluşmaktadır. Zemin kat kolonlarının alt uçlarının tamamında plastik mafsall oluşmakta ve ayrıca 12 ve 13 nolu kolonun her iki ucunda da plastik mafsall oluştuğundan yapı stabilitesini kaybetmekte ve yıkılmaktadır.



Şekil 5.29. Üçüncü plastik mafsall grubu ve yapının tepe noktası yerdeğışirmesi

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki betonarme yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla MATLAB tabanlı olarak çalışan bir bilgisayar kodu geliştirilmiş, geliştirilen bu bilgisayar kodu doğrulanmış ve seçilen yapıların analizleri yapılmıştır. TWIZ Code olarak adlandırılan bu programda sonlu elemanlar ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz yöntemleri kullanılmıştır.

Betonarme bir binanın doğrusal elastik analizi SAP2000 paket programı ve geliştirilen TWIZ Code ile yapılmıştır. Bu analiz sonuçları kullanılarak geliştirilen bilgisayar kodunun doğrulanması yapılmıştır. TWIZ Code sonuçları ile SAP2000 sonuçları karşılaştırıldığında periyot değerleri için en büyük hatanın % 1.28 ve eğilme momenti için en büyük hatanın % 5.32 civarlarında olduğu görülmektedir.

Gerçek binalar arasından seçilen dört adet betonarme binanın doğrusal olmayan yapısal analizi TWIZ Code ile yapılarak, plastik mafsalları dağılımı bulunmuş ve yapının performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Bingöl depremi etkisi altındaki birinci bina ve dördüncü binaların kirişlerinde ve kolonlarında plastik mafsallar oluştuğu ve yapıların ağır hasarlı olduğu görülmüştür. İkinci ve üçüncü binada ise plastik mafsalların sadece kirişlerde oluştuğu ve binaların az hasarlı olduğu belirlenmiştir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, üç boyutlu betonarme yapıların doğrusal olmayan analizlerini yeni programlar geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Zekai, Ç., Betonarme Sistemlerde doğrusal olmayan davranış plastik mafsallık kabulü ve çözümleme. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul 2007.
- [2] İsa, Y., Betonarme yapıların doğrusal olmayan analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [3] Ferhat, K., Binaların performans analizi için kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü 2010.
- [4] Demir, F. Ve ark., Mevcut betonarme binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile incelenmesi üzerine bir değerlendirme. II. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı., Hatay, 1-9, 2013.
- [5] Güçlü, Ç., Nonlinear analysis of reinforced concrete frame structures. Middle East Technical University, School of Natural Science, Master of Science Civil Engineering, 2013.
- [6] Çağlar, N., Öztürk, H., Demir, A., Akkaya, A., TDY2007'ye Göre Tasarlanmış Betonarme Bir Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi. ISITES, Karabük, 2087-2094, 2014.
- [7] Özlem, Ç., Alemdar, B., Pushover and nonlinear time history analysis evaluation of a RC building collapsed during the Van (Turkey) earthquake on October 23, 2011. Springer Science+Business Media Dordrecht., August 2013.
- [8] Chandrupatla, R., Introduction to Finite Elements in Engineering. Third Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1-5, 2002.



- [9] Hibbeler, R.C., Structural Analysis eight edition . Published by Pearson Prentice Hall, New Jersey, 1-719, 2012.
- [10] Günay, D., Mühendisler için sonlu elemanlar metodunun temelleri Sakarya Üniversitesi Yayınları, Adapazarı, 1-236, 1993.
- [11] Penzien, J. Clough, R., Dynamics of structures, third edition, published by Computers & Structures, Inc. 1-752, Berkeley, 2003.
- [12] Anil, C., Dynamic of Structures , Fourth edition Prentice Hall. Berkley, 1-980, 2012.
- [13] Vucetic, M., Dobry, R., Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107, 1991.
- [14] Moller, A .F., A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. MATLAB, The MathWorks, Inc., Neural Networks. Natick, Massachusetts, United States. 525-533, 1993.
- [15] SAP2000., Integrated Finite Element Analysis and Design of Structure: Analysis Reference. Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 2000.
- [16] XTRACT and User Manual., Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive. Suite 130 Sacramento, CA 95827.
- [17] SERU [Structural Engineering Research Unit], Middle East Technical University, Ankara, Turkey; Archival Material from Bingol Database located at website <http://www.seru.metu.edu.tr>, May, 2011.
- [18] <http://kyhdata.deprem.gov.tr>, Erişim Tarihi: 08.10.2016.

## EKLER

### EK A: Örnek 5.1

Örnek 5.1 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
1	0	12,50	2,45	12,50
2	2,45	12,50	4,95	12,50
3	4,95	12,50	7,95	12,50
4	7,95	12,50	12,95	12,50
5	0	9,50	2,45	9,50
6	2,45	9,50	4,95	9,50
7	4,95	9,50	7,95	9,50
8	7,95	9,50	12,95	9,50
9	0	6,50	2,45	6,50
10	2,45	6,50	4,95	6,50
11	4,95	6,50	7,95	6,50
12	7,95	6,50	12,95	6,50
13	0	3,50	2,45	3,50
14	2,45	3,50	4,95	3,50
15	4,95	3,50	7,95	3,50
16	7,95	3,50	12,95	3,50

Örnek 5.1 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	16	17	18	19	20	21
2	19	20	21	22	23	24
3	22	23	24	25	26	27
4	25	26	27	28	29	30
5	31	32	33	34	35	36
6	34	35	36	37	38	39
7	37	38	39	40	41	42
8	40	41	42	43	44	45
9	46	47	48	49	50	51
10	49	50	51	52	53	54
11	52	53	54	55	56	57
12	55	56	57	58	59	60
13	61	62	63	64	65	66
14	64	65	66	67	68	69
15	67	68	69	70	71	72
16	70	71	72	73	74	75

Örnek 5.1 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
17	0	12,50	0	9,50
18	2,45	12,50	2,45	9,50
19	4,95	12,50	4,95	9,50
20	7,95	12,50	7,95	9,50
21	1,95	12,50	12,95	9,50
22	0	9,50	0	6,50
23	2,45	9,50	2,45	6,50
24	4,95	9,50	4,95	6,50
25	7,95	9,50	7,95	6,50
26	1,95	9,50	12,95	6,50
27	0	6,50	0	3,50
28	2,45	6,50	2,45	3,50
29	4,95	6,50	4,95	3,50
30	7,95	6,50	7,95	3,50
31	12,95	6,50	12,95	3,50
32	0	3,50	0	0
33	2,45	3,50	2,45	0
34	4,95	3,50	4,95	0
35	7,95	3,50	7,95	0
36	12,95	3,50	12,95	0

Örnek 5.1 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
17	16	17	18	31	32	33
18	19	20	21	34	35	36
19	22	23	24	37	38	39
20	25	26	27	40	41	42
21	28	29	30	43	44	45
22	31	32	33	46	47	48
23	34	35	36	49	50	51
24	37	38	39	52	53	54
25	40	41	42	55	56	57
26	43	44	45	58	59	60
27	46	47	48	61	62	63
28	49	50	51	64	65	66
29	52	53	54	67	68	69
30	55	56	57	70	71	72
31	58	59	60	73	74	75
32	61	62	63	1	2	3
33	64	65	66	4	5	6
34	67	68	69	7	8	9
35	70	71	72	10	11	12
36	73	74	75	13	14	15

Örnek 5.1 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
1	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,89
2	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
3	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
4	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
5	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,89
6	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
7	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
8	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
9	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,89
10	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
11	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
12	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
13	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,89
14	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
15	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
16	0,25	0,40	0,10	0,001333333	26,15	33,33
17	0,55	0,20	0,11	0,000366667	26,15	41,09
18	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	164,3
19	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	165,8
20	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	172,7
21	0,55	0,25	0,1375	0,000716146	26,15	72,94
22	0,55	0,20	0,11	0,000366667	26,15	44,5
23	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	181,3

Örnek 5.1 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
24	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	183,4
25	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	196,3
26	0,55	0,25	0,1375	0,000716146	26,15	82,73
27	0,55	0,20	0,11	0,000366667	26,15	47,5
28	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	196,2
29	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	199,6
30	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	214,3
31	0,55	0,25	0,1375	0,000716146	26,15	90,23
32	0,55	0,20	0,11	0,000366667	26,15	51,58
33	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	209,8
34	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	214,2
35	0,25	0,50	0,125	0,002604167	26,15	225,1
36	0,55	0,25	0,1375	0,000716146	26,15	98,48

Örnek 5.1 Plastik mafasal dağılımı

cno	Zaman (sa)	M (kNm)	Mp(kNm)
14	2,56	33,9943	33,33
14	2,56	33,5511	33,33
15	2,57	34,7461	33,33
13	2,58	39,57363	33,89
15	2,70	36,0047	33,33
16	2,70	36,4583	33,33
10	2,71	33,8511	33,33
11	2,73	39,0959	33,33
11	2,73	36,238	33,33
9	2,75	34,8493	33,89
10	3,00	35,3859	33,33
12	3,01	39,1574	33,33
12	3,01	34,3616	33,33
13	3,02	34,43191	33,89
6	3,03	36,41134	33,33
6	3,03	35,87987	33,33
7	3,03	33,92241	33,33
9	3,03	39,89323	33,89
16	3,04	36,9378	33,33
5	3,05	50,18689	33,89
7	3,05	36,05314	33,33
8	3,05	37,01026	33,33
5	3,09	35,98755	33,89
8	3,09	34,0605	33,33

Örnek 5.1 Plastik mafsal dağılımı

cno	Zaman(sa)	M(kNm)	Mp(kNm)
2	3,11	40,46062	33,33
2	3,11	38,95591	33,33
3	3,11	35,12706	33,33
3	3,11	38,8371	33,33
1	3,13	76,1447	33,89
4	3,13	57,8918	33,33
4	3,13	41,2482	33,33
1	3,49	35,4459	33,89
33	3,69	209,9242	209,8
33	3,70	222,329	209,8

## EK B: Örnek 5.2

Önek 2 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
1	0	15,80	8,40	15,80
2	8,40	15,80	12,40	15,80
3	12,40	15,80	15,80	15,80
4	0	12,80	8,40	12,80
5	8,40	12,80	12,40	12,80
6	12,40	12,80	15,80	12,80
7	0	9,80	8,40	9,80
8	8,40	9,80	12,40	9,80
9	12,4	9,80	15,80	9,80
10	0	6,80	8,40	6,80
11	8,40	6,80	12,40	6,80
12	12,40	6,80	15,80	6,80
13	0	3,80	8,40	3,80
14	8,40	3,80	12,40	3,80
15	12,40	3,80	15,80	3,80
16	0	15,80	0	12,80
17	8,40	15,80	8,40	12,80
18	12,40	15,80	12,40	12,80
19	15,80	15,80	15,80	12,80
20	0	12,80	0	9,80
21	8,40	12,80	8,40	9,80
22	12,40	12,80	12,40	9,80

Önek 2 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	13	14	15	16	17	18
2	16	17	18	19	20	21
3	19	20	21	22	23	24
4	25	26	27	28	29	30
5	28	29	30	31	32	33
6	31	32	33	34	35	36
7	37	38	39	40	41	42
8	40	41	42	43	44	45
9	43	44	45	46	47	48
10	49	50	51	52	53	54
11	52	53	54	55	56	57
12	55	56	57	58	59	60
13	61	62	63	64	65	66
14	64	65	66	67	68	69
15	67	68	69	70	71	72
16	13	14	15	25	26	27
17	16	17	18	28	29	30
18	19	20	21	31	32	33
19	22	23	24	34	35	36
20	25	26	27	37	38	39
21	28	29	30	40	41	42
22	31	32	33	43	44	45



Önek 2 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
23	15,80	12,80	15,80	9,80
24	0	9,80	0	6,80
25	8,40	9,80	8,40	6,80
26	12,40	9,80	12,40	6,80
27	15,80	9,80	15,80	6,80
28	0	6,80	0	3,80
29	8,40	6,80	8,40	3,80
30	12,40	6,80	12,40	3,80
31	15,80	6,80	15,80	3,80
32	0	3,80	0	0
33	8,40	3,80	8,40	0
34	12,40	3,80	12,40	0
35	15,80	3,80	15,80	0

Önek 2 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
23	34	35	36	46	47	48
24	37	38	39	49	50	51
25	40	41	42	52	53	54
26	43	44	45	55	56	57
27	46	47	48	58	59	60
28	49	50	51	61	62	63
29	52	53	54	64	65	66
30	55	56	57	67	68	69
31	58	59	60	70	71	72
32	61	62	63	1	2	3
33	64	65	66	4	5	6
34	67	68	69	7	8	9
35	70	71	72	10	11	12

## Örnek 2 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
1	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
2	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
3	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
4	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
5	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
6	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
7	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
8	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
9	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
10	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
11	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
12	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
13	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
14	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
15	0,25	0,40	0,10	0,001333	26,15	33,89
16	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	228,2
17	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	243,8
18	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	224,8
19	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	187,6
20	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	270,2
21	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	302,3
22	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	263,1
23	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	227,4
24	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	306,7

## Örnek 2 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
25	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	323,5
26	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	298,6
27	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	246,8
28	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	322,6
29	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	335
30	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	316,2
31	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	269
32	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	326,2
33	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	322,3
34	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	323,5
35	0,70	0,25	0,175	0,000911	26,15	286,1

## Örnek 5.2 Plastik mafsals dağılımı

cno	Zaman (sa)	M(kNm)	Mp(kNm)
15	2,79	38,06688	33,89
14	2,81	41,08511	33,89
14	2,81	41,5001	33,89
13	2,83	37,65297	33,89
13	2,83	38,38385	33,89
15	2,83	45,00809	33,89
12	3,01	-36,3165	33,89
10	3,03	-34,0454	33,89
11	3,03	-47,264	33,89
11	3,03	-47,7331	33,89

Örnek 5.2 Plastik mafsal dağılımı

cno	Zaman (sa)	M(kNm)	Mp(kNm)
8	3,05	-35,5191	33,89
9	3,05	-39,4716	33,89
9	3,05	-42,3974	33,89
10	3,05	-37,7997	33,89
12	3,05	-74,3271	33,89
7	3,07	48,9224	33,89
7	3,07	48,93932	33,89
8	3,07	51,12238	33,89
6	3,09	-38,6974	33,89
5	3,12	-34,1351	33,89
5	3,12	-34,2087	33,89
6	3,25	34,21615	33,89
4	3,27	-90,2121	33,89
4	3,27	-91,8371	33,89
3	3,29	-34,4377	33,89
1	3,31	-47,8215	33,89
1	3,31	-35,7437	33,89
2	3,31	-51,7776	33,89
2	3,31	-53,1133	33,89
3	3,33	130,6444	33,89

## EK C: Örnek 5.3

Örnek 5.3 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
1	0	12	3	12
2	3	12	8	12
3	8	12	12	12
4	0	9	3	9
5	3	9	8	9
6	8	9	12	9
7	0	6	3	6
8	3	6	8	6
9	8	6	12	6
10	0	3	3	3
11	3	3	8	3
12	8	3	12	3
13	0	12	0	9
14	3	12	3	9
15	8	12	8	9
16	12	12	12	9
17	0	9	0	6
18	3	9	3	6
19	8	9	8	6
20	12	9	12	6
21	0	6	0	3
22	3	6	3	3

Örnek 5.3 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	13	14	15	16	17	18
2	16	17	18	19	20	21
3	19	20	21	22	23	24
4	25	26	27	28	29	30
5	28	29	30	31	32	33
6	31	32	33	34	35	36
7	37	38	39	40	41	42
8	40	41	42	43	44	45
9	43	44	45	46	47	48
10	49	50	51	52	53	54
11	52	53	54	55	56	57
12	55	56	57	58	59	60
13	13	14	15	25	26	27
14	16	17	18	28	29	30
15	19	20	21	31	32	33
16	22	23	24	34	35	36
17	25	26	27	37	38	39
18	28	29	30	40	41	42
19	31	32	33	43	44	45
20	34	35	36	46	47	48
21	37	38	39	49	50	51
22	40	41	42	52	53	54

Örnek 5.3 Koordinat bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
23	8	6	8	3
24	12	6	12	3
25	0	3	0	0
26	3	3	3	0
27	8	3	8	0
28	12	3	12	0

Önek 5.3 Serbestlik bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
23	43	44	45	55	56	57
24	46	47	48	58	59	60
25	49	50	51	1	2	3
26	52	53	54	4	5	6
27	55	56	57	7	8	9
28	58	59	60	10	11	12

Örnek5.3 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
1	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
2	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
3	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
4	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
5	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
6	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
7	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
8	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
9	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
10	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
11	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
12	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
13	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	69,42
14	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	177,4
15	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	181,1

Örnek5.3 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
16	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	72,05
17	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	86,36
18	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	217,6
19	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	229,9
20	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	91,11
21	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	101,8
22	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	246,5
23	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	253,9
24	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	109,1
25	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	115,3
26	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	270,9
27	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	279,1
28	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	120,1

Örnek 5.3 Plastik mafsal dağılımı

cno	Zaman (sa)	M(kNm)	Mp(kNm)
10	2,67	54,16961	48,95
7	2,68	52,3715	48,95
11	2,68	51,33477	48,95
11	2,68	52,4494	48,95
12	2,68	55,71926	48,95
9	2,69	51,3493	48,95
10	2,70	48,9835	48,95
8	2,71	54,30233	48,95

Örnek 5.3 Plastik mafsal dağılımı

cno	Zaman(sa)	M(KNm)	Mp(kNm)
8	2,71	54,24007	48,95
12	2,79	54,3206	48,95
7	2,80	60,1303	48,95
9	2,80	63,35198	48,95
4	2,83	53,1786	48,95
5	2,84	52,46695	48,95
5	2,84	53,59272	48,95
6	2,84	55,56411	48,95
4	2,85	49,5297	48,95
6	2,86	77,80749	48,95
1	2,88	51,5472	48,95
2	2,89	50,171	48,95
2	2,89	51,5282	48,95
3	2,89	50,1275	48,95
1	2,91	82,78018	48,95
3	2,91	77,25703	48,95
13	2,91	82,7802	69,42
16	2,91	77,257	72,05



**EK D: Örnek 5.4**

Örnek 5.4 Koordinat Bilgileri

cno	x1	y1	x2	y2
1	0	6	6,80	6
2	6,80	6	9,30	6
3	9,30	6	16,30	6
4	0	3	6,80	3
5	6,80	3	9,30	3
6	9,30	3	16,30	3
7	0	6	0	3
8	6,80	6	6,80	3
9	9,30	6	9,30	3
10	16,30	6	16,30	3
11	0	3	0	0
12	6,80	3	6,80	0
13	9,30	3	9,30	0
14	16,30	3	16,30	0

Örnek 5.4 Serbestlik Bilgileri

c no	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	13	14	15	16	17	18
2	16	17	18	19	20	21
3	19	20	21	22	23	24
4	25	26	27	28	29	30
5	28	29	30	31	32	33
6	31	32	33	34	35	36
7	13	14	15	25	26	27
8	16	17	18	28	29	30
9	19	20	21	31	32	33
10	22	23	24	34	35	36
11	25	26	27	1	2	3
12	28	29	30	4	5	6
13	31	32	33	7	8	9
14	34	35	36	10	11	12

Örnek5.4 Eleman özellikleri

cno	b(m)	h(m)	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E(GPa)	Mp(kNm)
1	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
2	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
3	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
4	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
5	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
6	0,25	0,50	0,125	0,002604167	28	48,95
7	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	87,06
8	0,50	0,50	0,25	0,005208333	28	282,5
9	0,50	0,50	0,25	0,005208333	28	282,7
10	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	201,5
11	0,30	0,30	0,09	0,000675	28	108,4
12	0,50	0,50	0,25	0,005208333	28	331,7
13	0,50	0,50	0,25	0,005208333	28	333,3
14	0,40	0,40	0,16	0,002133333	28	229

Örnek 5.4 Plastik mafsal dağılımı

cno	Zaman(sa)	M(kNm)	MP(kNm)
5	3,50	51,06633	48,95
5	3,50	50,80712	48,95
2	3,57	54,2184	48,95
2	3,57	53,6624	48,95
4	3,57	49,1418	48,95
6	3,57	54,7814	48,95
6	3,57	50,2942	48,95
1	3,82	58,53586	48,95
3	3,82	64,86263	48,95
3	3,82	55,67359	48,95
4	3,84	50,0719	48,95
1	4,13	52,4894	48,95
12	4,25	373,3217	331,7
13	4,25	373,4205	333,3
12	4,26	376,471	331,7

```
% TWIZ CODE PROGRAMI %
```

```
a=;
```

```
anastre=;
```

```
bm=;
```

```
max_dof=max(max(a(:,6:11)));
```

```
SDOF=max_dof;
```

```
rrr=a(:,12);  
Plast=a(:,19);  
ug=;  
dt =;  
nt =;  
gaama = 1/2 ;beta = 1/4 ;  
lambda=;  
umy=1;  
mom1=zeros(size(a,1),nt);  
mom2=zeros(size(a,1),nt);  
shear1=zeros(size(a,1),nt);  
shear2=zeros(size(a,1),nt);  
KOO=1;  
status(:,6) = zeros;  
tim=1;  
stopp=0;  
while(umy~=0)  
K=zeros(max_dof);  
M=zeros(max_dof);  
umy=0;  
for i=1:size(a,1)  
x1=a(i,2);  
y1=a(i,3);
```

```

x2=a(i,4);

y2=a(i,5);

A=a(i,16);

I=a(i,17);

E=a(i,18);

[L,cosx,cosy]=calc_cosxy(x1,y1,x2,y2);

T=Tm2df(cosx,cosy);

if rrr(i)==1

Km=msm2dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

Kmm=Km;

v(['cosxy' num2str(i)]) = [cosx cosy];

v(['T' num2str(i)]) = Tm2df(cosx,cosy);

v(['k' num2str(i)]) = msm2dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

end

if rrr(i)==2

Km21=msm21dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

Kmm=Km21;

v(['cosxy' num2str(i)]) = [cosx cosy];

v(['T' num2str(i)]) = Tm2df(cosx,cosy);

v(['k' num2str(i)]) = msm21dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

end

if rrr(i)==3

Km22=msm22dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

```

```

Kmm=Km22;

v(['cosxy' num2str(i)]) = [cosx cosy];

v(['T' num2str(i)]) = Tm2df(cosx,cosy);

v(['k' num2str(i)]) = msm22dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

end

if rrr(i)==4

Km3=msm3dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

Kmm=Km3;

v(['cosxy' num2str(i)]) = [cosx cosy];

v(['T' num2str(i)]) = Tm2df(cosx,cosy);

v(['k' num2str(i)]) = msm3dfk(E,A,I,L,cosx,cosy);

end

z=a(i,6:11);

for k=1:size(Kmm,1)

for j=1:size(Kmm,1)

K(z(k),z(j))=Kmm(k,j)+K(z(k),z(j));

end

end

MM=mass2dfk(A,L,cosx,cosy);

v(['Mm' num2str(i)]) = mmm2df(A,L,rho);

v(['cosxy' num2str(i)]) = [cosx cosy];

v(['T' num2str(i)]) = Tm2df(cosx,cosy);

z=a(i,6:end);

```

```

for Mm=1:size(MM,1)
    for j=1:size(MM,1)
        M(z(Mm),z(j))=MM(Mm,j)+M(z(Mm),z(j));
    end
end
end

for nnn=anastre*3;
    M(:,1:nnn)=[];
    M(1:nnn,:)=[];
    K(:,1:nnn)=[];
    K(1:nnn,:)=[];
end

sdof=SDOF-nnn;
[VV,DD]=eig(K,M);
[WW,kkk]=sort(diag(DD));
VV=VV(:,kkk);
Factor=diag(VV'*M*VV);
Phi=VV/(sqrt(diag(Factor)));
Omega=diag(sqrt(Phi'*K*Phi));
Mr=-M*[repmat(1,1,sdof)]';
ww = diag(Omega(1:lambda)) ;
phi = Phi(:,1:lambda) ;
periode=zeros(lambda,1);

```

```

for lll=1:lambda
periode(lll)=2*3.14/(ww(lll,lll));

end

BB=[1/ww(1,1) ww(1,1);1/ww(2,2) ww(2,2)];
AA=inv(BB)*[0.05;0.05]*2;
C=AA(1)*M+AA(2)*K;

M = phi'*M*phi ;
C = phi'*C*phi ;
K = phi'*K*phi ;
Mr= phi'*Mr ;

n = length(M) ;

a1 = gaama/(beta*dt) ; a2 =1/(beta*dt^2) ;
a3 = 1/(beta*dt) ; a4 = gaama/beta ;
a5 = 1/(2*beta) ; a6 = (gaama/(2*beta)-1)*dt ;

if tim==1

depl = zeros(n,nt) ;
vel = zeros(n,nt) ;
accl = zeros(n,nt) ;
U = zeros(sdof,nt) ;
ACEL=zeros(sdof,nt) ;
VEL=zeros(sdof,nt) ;

depl(:,1) = zeros ;
vel(:,1) = zeros ;

```



```

accl(:,1) = zeros;

P=zeros(n,1);

DP=zeros(n,1) ;

P0 = zeros(n,1) ;

end

U(:,1) = phi*depl(:,1) ;

ACEL(:,1) = phi*accl(:,1) ;

VEL(:,1) = phi*accl(:,1) ;

Kcap = K+a1*C+a2*M ;

aa = a3*M+a4*C ;

bb = a5*M+a6*C ;

t=zeros(nt,1);

for zzzz = tim:nt

P(:,zzzz)=Mr*ug(zzzz);

if tim==1

P(:,1)=0;

end

end

for kkkk= tim:nt-1

DP(:,kkkk)=P(:,kkkk+1)-P(:,kkkk);

end

for iii = tim:nt-1

delP = DP(:,iii)+aa*vel(:,iii)+bb*accl(:,iii) ;

```

```

delu = Kcap\delP ;
delv = a1*delu-a4*vel(:,iii)-a6*accl(:,iii) ;
dela = a2*delu-a3*vel(:,iii)-a5*accl(:,iii);
depl(:,iii+1) = depl(:,iii)+delu ;
vel(:,iii+1) = vel(:,iii)+delv ;
accl(:,iii+1) = accl(:,iii)+dela ;
U(:,iii+1) = phi*depl(:,iii+1) ;
ACEL(:,iii+1) = phi*accl(:,iii+1);
VEL(:,iii+1) = phi*accl(:,iii+1);
end

anc=zeros(3,1);
for iii=tim:nt
for i=1:size(a,1)
yy=a(i,13);
zk=a(i,6:11)-nnn;
if yy==1
mom1(i,iiii)=v.(['k'num2str(i)](3,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);U(zk(4):zk(6),iiii)]);
mom2(i,iiii)=v.(['k'num2str(i)](6,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);U(zk(4):zk(6),iiii)]);
shear1(i,iiii)=v.(['k'num2str(i)](1,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);U(zk(4):zk(6),iiii)]);
shear2(i,iiii)=v.(['k'num2str(i)](4,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);U(zk(4):zk(6),iiii)]);
else
mom1(i,iiii)=v.(['k' num2str(i)](3,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);anc];
mom2(i,iiii)=v.(['k' num2str(i)](6,:)*[U(zk(1):zk(3),iiii);anc];

```

```

shear1(i,iiii)=v.(['k' num2str(i)](1,:))*[U(zk(1):zk(3),iiii);anc];
shear2(i,iiii)=v.(['k' num2str(i)](4,:))*[U(zk(1):zk(3),iiii);anc];

end

if(abs(mom1(i,iiii))>=abs(Plast(i)))

umy=umy+1;

if((rrr(i)==2))

rrr(i)=4;

fprintf('mom1(%d,%d)=      %.2f      >      %d.      So      Hinge
rrr(%d)=%d\n',i,iiii,mom1(i,iiii),Plast(i),i,rrr(i));status(KOO,:)= [i  iiii  1  mom1(i,iiii)
Plast(i)  rrr(i)];

KOO=KOO+1;

else

rrr(i)=3;

fprintf('mom1(%d,%d)=      %.2f      >      %d.      So      Hinge      rrr(%d)=%d
\n',i,iiii,mom1(i,iiii),Plast(i),i,rrr(i));

status(KOO,:)= [i  iiii  1  mom1(i,iiii)  Plast(i)  rrr(i)];

KOO=KOO+1;

end

end

if (abs(mom2(i,iiii))>=abs(Plast(i)))

umy=umy+1;

if((rrr(i)==3))

rrr(i)=4;

fprintf('mom2(%d,%d)=      %.2f      >      %d.      So      Hinge      rrr(%d)=%d
\n',i,iiii,mom2(i,iiii),Plast(i),i,rrr(i));

```

```

status(KOO,:)= [i iiii 2 mom2(i,iiii) Plast(i) rrr(i)];
KOO=KOO+1;

else

rrr(i)=2;

fprintf('mom2(%d,%d)= %.2f > %d. So Hinge rrr(%d)=%d\n',i,iiii,mom2(i,iiii),Plast(i),i,rrr(i));

status(KOO,:)= [i iiii 2 mom2(i,iiii) Plast(i) rrr(i)];

KOO=KOO+1;

end

end

end

if(umy>0)

tim=iiii+1;

break;

end

end

if stopp==1

display('STRUCTURE COLLAPSE !!!!!');

break;

end

end

```

## **ÖZGEÇMİŞ**

Moussa Twizere, 20.01.1990'da Ruanda'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Musanze'de tamamladı. 2007 yılında Musanze Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Ruanda Devlet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.