

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İÇİN KULLANILAN TİCARİ  
PROGRAMLARIN ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim GENCER**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Aralık 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İÇİN KULLANILAN TİCARİ  
PROGRAMLARIN ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İbrahim GENCER**

**(501121026)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ**

**Aralık 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İbrahim GENCER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İÇİN KULLANILAN TİCARİ PROGRAMLARIN ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Kutay ORAKÇAL**      .....

Boğaziçi Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      : **10 Kasım 2015**

**Savunma Tarihi**    : **22 Aralık 2015**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Desteğini ve özverisini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile bana ışık tutan değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Barış ERKUŞ'a, lisans eğitimimde ve sonrasında bilgi ve tecrübesini esirgemeyen Prof. Dr. Şevket ÖZDEN'e, mesleki hayatımdaki değerli yardımlarından dolayı Dr. Onur ERTAŞ'a ve lisansüstü eğitimimde bilgi, deneyim ve zamanlarını benimle paylaşan bütün hocalarıma teşekkür eder, en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen ve bu günlere gelmem için her türlü fedakarlığı yapan sevgili annem, eşim ve kardeşime en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Bu tez kapsamında kullanılan analiz programlarını sağlayan, İTÜ Çelik ve Ahşap Yapılar Bölümüne ve OTS inşaat firmasına teşekkür ederim.

Kasım 2015

İbrahim GENCER

İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Konu .....	1
1.2 Tez Çalışmasının Amacı .....	2
1.3 Tez Çalışmasının Kapsamı .....	2
1.4 Tez Çalışmasının İçeriği.....	3
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Giriş.....	5
2.2 Doğrusal Olmayan Davranış .....	5
2.3 Mafsal Teoremleri .....	5
2.3.1 Yayılı plastik mafsal teoremi .....	6
2.3.2 Yığılı plastik mafsal teoremi .....	9
2.3.3 Fiber mafsal teoremi.....	10
2.4 Analiz Yöntemleri .....	12
2.4.1 İtme analiz yöntemi .....	12
2.4.2 Zaman tanım aralığında analiz yöntemi .....	13
<b>3. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>15</b>
3.1 Giriş.....	15
3.2 Plastik Mafsal Teoremi .....	15
3.3 Plastikleşme Momenti .....	17

3.4 Kesitlerin Moment-Eğrilik İlişkisi .....	19
<b>4. MALZEME DAYANIM ŞEKİLDEĞİŞTİRME İLİŞKİLERİ İLE MOMENT EĞRİLİK İLİŞKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>25</b>
4.1 Giriş.....	25
4.2 Beton ve Donatı Çeliği Malzeme Özellikleri ile Kesit Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	25
4.3 Tanımlanan Beton ve Donatı Malzeme Modellerinin Karşılaştırılması.....	31
4.4 Yapısal Eleman Kesitlerinin Moment Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması.	40
<b>5. ÇUBUK YAPISAL ELEMAN VE YAPISAL SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ ÖRNEKLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI</b>	<b>49</b>
5.1 Giriş.....	49
5.2 Doğrusal Analizlerin Karşılaştırılması .....	50
5.3 Konsol Kolon Çubuk Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması.....	52
5.3.1 Konsol kolonda moment-eğrilik mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile elde edilen doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması	53
5.3.2 Konsol kolonda moment-eksenel yük etkileşim mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile elde edilen doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması .....	56
5.3.3 Konsol kolonda fiber mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması .....	60
5.3.4 Konsol kolonda ekstenel yük moment mafsal modelinin zaman aralığında dinamik analiz ile doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması .....	62
5.3.5 Konsol kolonda fiber mafsal modellerinin karşılaştırılması .....	65
5.4 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çubuk Çerçeve Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması .....	66
5.4.1 Sabit ekstenel yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelinin doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması .....	67
5.4.1.1 Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının itme analizi ile karşılaştırılması .....	67
5.4.1.2 Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının zaman tanım aralığında dinamik analizi ile karşılaştırılması.....	73
5.4.2 Doğrusal dinamik ekstenel yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması.....	80
5.4.3 Doğrusal olmayan dinamik ekstenel yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranış ile karşılaştırılması	86

5.5 Çok Katlı Çok Açıklıklı Çubuk Çerçeve Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması .....	92
5.5.1 Çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve modelin statik itme analizi ile doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması .....	94
5.5.2 Çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve modelin zaman tanım aralığında dinamik analizi ile doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması .....	100
5.6 Analiz Sürelerinin Karşılaştırılması .....	105
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>107</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>111</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>113</b>
EK-A Kesitlerin Programa Tanımlanması Seçenekleri .....	114
EK-B Konsol Kolonlarda Moment ve Eksenel Yük Moment Mafsal Sonuçları .	117
EK-C Kullanılan Kesitin Fiber Özellikleri.....	122
EK-D Fiber Mafsal ile İlgili Ek Çalışmalar .....	127
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>139</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ATC</b>	:Applied Technology Council
<b>DBYBHY-2007</b>	:Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007
<b>FEMA</b>	:Federal Emergency Management Agency
<b>SAP 2000</b>	:Yapısal matematik modellerin kurgulandığı ve çözümlendiği paket program
<b>PERFORM3D</b>	:Yapısal matematik modellerin kurgulandığı ve çözümlendiği paket program
<b>PEER</b>	:Pacific Earthquake Engineering Research Center
<b>XTRACT</b>	:Kesit analiz programı





## SEMBOL LİSTESİ

- $A_c$**  : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı  
 **$A_s$**  : Boyuna donatı alanı  
 **$a_i$**  : Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık  
 **$b_o$**  : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu  
 **$d$**  : Kirişin ve kolonun faydalı derinliği  
 **$E_c$**  : Betonun elastisite modülü  
 **$E_s$**  : Donatı çeliğinin elastisite modülü  
 **$g$**  : Yerçekimi ivmesi  
 **$L_p$**  : Plastik mafsal boyu  
 **$f_c$**  : Sargılı betonda beton basınç gerilmesi  
 **$f_{cc}$**  : Sargılı beton dayanımı  
 **$f_{ctm}$**  : Beton çekme dayanımı  
 **$f_{co}$**  : Sargısız betonun basınç dayanımı  
 **$f_e$**  : Etkili sargılama basıncı  
 **$f_s$**  : Donatı çeliğindeki gerilme  
 **$f_{sy}$**  : Donatı çeliğinin akma dayanımı  
 **$f_{su}$**  : Donatı çeliğinin kopma dayanımı  
 **$f_{yw}$**  : Enine donatının akma dayanımı  
 **$h_o$**  : Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasındaki kalan kesitin boyutu  
 **$k_e$**  : Sargılama etkinlik katsayısı  
 **$s$**  : Etriye aralığı  
 **$\rho_s$**  : Toplam enine donatının hacimsel oranı  
 **$\rho_x$**  : İlgili doğrultudaki enine donatının hacim oranı  
 **$\rho_x$**  : İlgili doğrultudaki enine donatının hacim oranı  
 **$\epsilon_c$**  : Beton basınç birim şekil değiştirmesi  
 **$\epsilon_{cu}$**  : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi  
 **$\epsilon_{sy}$**  : Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

- $\epsilon_s$  : Donatı çeliğinin çekme başlangıcındaki birim şekil değıştirmesi  
 $\epsilon_{su}$  : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değıştirmesi  
 $\phi_p$  : Plastik eğrilik istemi  
 $\phi_t$  : Toplam eğrilik istemi  
 $\phi_y$  : Eşdeğer akma eğriliğı  
 $\theta_p$  : Plastik dönme istemi  
 $\mu$  : Süneklik

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 4.1:</b> Malzemenin sargılı olması durumunda programların karşılaştırılması.	34
<b>Çizelge 4.2:</b> Araştırılan kesitlerdeki tanımlamalar.	41
<b>Çizelge 5.1:</b> Yapısal elemanlarda kullanılacak kesitler.	53
<b>Çizelge 5.2:</b> Sap2000 programı periyot ve modal katılım oranları.	94
<b>Çizelge 5.3:</b> Perform3D programı periyot ve modal katılım oranı.	94
<b>Çizelge C.1:</b> Kolon kesitinin donatı fiberleri.	122
<b>Çizelge C.2:</b> Kolon kesitinin sargısız beton fiberleri.	122
<b>Çizelge C.3:</b> Kolon kesitinin sargılı beton fiberleri.	123
<b>Çizelge C.4:</b> Kiriş kesitinin donatı fiberleri.	124
<b>Çizelge C.5:</b> Kiriş kesitinin sargısız beton fiberleri.	125
<b>Çizelge C.6:</b> Kiriş kesitinin sargılı beton fiberleri.	126
<b>Çizelge D. 1:</b> Kesitin fiber parçaları.	128



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Doğrusal olmayan davranışın farklı tipleri (PEER/ATC-72-1). ....	6
Şekil 2.2: Çevrimsel ilişki (Miromontes ve diğ. 1996). ....	8
Şekil 2.3: Dayanım şekil değiştirme ilişkisinde izotropik dayanım etkisi (Filippou ve diğ. 1983). ....	9
Şekil 2.4: Yapısal kesitlerin fiber parçalara ayrılması (Taucer, Spacone ve Filippou,1991). ....	11
Şekil 3.1: Konsol kolon için yığılı plastik davranış modeli. ....	16
Şekil 3.2: Eğilme momenti-eğrilik ilişkisi. ....	17
Şekil 3.3: İdealleştirilmiş bünye bağıntısı. ....	18
Şekil 3.4: Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi. ....	20
Şekil 3.5: Çeliğin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi. ....	21
Şekil 3.6: Kolonların üç boyutlu etkileşim yüzeyi. ....	22
Şekil 3.7: Eksenel yük düzeyinin moment-eğrilik ilişkisine olan etkisi. ....	22
Şekil 4.1: Betonarme kesit. ....	26
Şekil 4.2: Sap2000 sargısız beton modeli dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	27
Şekil 4.3: Sap2000 sargılı beton modeli dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	27
Şekil 4.4: Sap2000 donatı çeliği malzeme modeli dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	28
Şekil 4.5: Xtract sargısız beton modeli dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	28
Şekil 4.6: Xtract sargılı beton modeli dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	29
Şekil 4.7: Xtract donatı çelik modelinin dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	29
Şekil 4.8: DBYBHY sargılı ve sargısız beton malzeme modelinin dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	30
Şekil 4.9: DBYBHY donatı çeliği malzeme modelinin dayanım şekil değiştirme ilişkisi. ....	31
Şekil 4.10: Sap2000 programı malzemenin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	31
Şekil 4.11: Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının malzemenin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	32

<b>Şekil 4.12:</b> Sap2000 programı malzemenin sargılı olması halindeki gerilme-şekil .....	33
değiştirme grafiği. ....	
<b>Şekil 4.13:</b> Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının sargılı olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	33
<b>Şekil 4.14:</b> Sap2000 programı malzemenin sargısız ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	34
<b>Şekil 4.15:</b> Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının malzemenin sargısız ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	35
<b>Şekil 4.16:</b> Sap2000 programı malzemenin sargılı ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	36
<b>Şekil 4.17:</b> Sap2000 programı ve DBYBHY malzemenin sargılı ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	36
<b>Şekil 4.18:</b> Sap2000 programı malzemenin sargısız ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	37
<b>Şekil 4.19:</b> Sap2000 programı ve DBYBHY malzemenin sargısız ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	38
<b>Şekil 4.20:</b> Sap2000 programı malzemenin sargılı ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	38
<b>Şekil 4.21:</b> Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programı malzemenin sargılı ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	39
<b>Şekil 4.22:</b> Kesitin sargılı olması durumunda malzemenin sargılı veya sargısız olması halindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	39
<b>Şekil 4.23:</b> Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-3 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	42
<b>Şekil 4.24:</b> Xtract ve Sap2000 programında kesit-1 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	43
<b>Şekil 4.25:</b> Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-2 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	43
<b>Şekil 4.26:</b> Sap2000 programında kesit-5 ve kesit-6 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	44
<b>Şekil 4.27:</b> Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-5 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	45
<b>Şekil 4.28:</b> Sap2000 programında kesit-9 ve kesit-10 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	45
<b>Şekil 4.29:</b> Sap2000 programında kesit-9 ve kesit-11 için moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	46
<b>Şekil 4.30:</b> Sap2000 ile Xtract moment-eğrilik karşılaştırılması. ....	47
<b>Şekil 5.1:</b> Konsol kolon için yığılı plastik mafsal ve rijit bölge örneği. ....	50
<b>Şekil 5.2:</b> Konsol kolon için rijit eleman uzunluğu taban kesme kuvveti karşılaştırılması. ....	51
<b>Şekil 5.3:</b> Konsol kolon için rijit eleman uzunluğu yatay rijitlik karşılaştırılması. ....	51

<b>Şekil 5.4:</b> Sap2000 programınca kullanılan kesitlerin moment eğrilik ilişkileri karşılaştırmaları. ....	54
<b>Şekil 5.5:</b> Perform3D programınca kullanılan kesitlerin moment eğrilik ilişkileri karşılaştırmaları. ....	54
<b>Şekil 5.6:</b> Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-1 için moment-eğrilik karşılaştırılması.....	55
<b>Şekil 5.7:</b> Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-1 için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme karşılaştırılması. ....	56
<b>Şekil 5.8:</b> Kesit-1'in aksenal yük-moment ilişkisinin üç boyutlu etkileşim yüzeyi. .	57
<b>Şekil 5.9:</b> Kesit-1 aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi. ....	58
<b>Şekil 5.10:</b> Kesit-1 aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	58
<b>Şekil 5.11:</b> Kesit-2 aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	59
<b>Şekil 5.12:</b> Kesit-2 aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	59
<b>Şekil 5.13:</b> Kesit-2'nin aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme-yerdeğiştirme sonuçları. ....	60
<b>Şekil 5.14:</b> Kesit-4'nin aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme-yerdeğiştirme sonuçları. ....	61
<b>Şekil 5.15:</b> Kesit-2'nin aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme-yerdeğiştirme sonuçları. ....	61
<b>Şekil 5.16:</b> Kesit-4'nin aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme-yerdeğiştirme sonuçları. ....	61
<b>Şekil 5.17:</b> Dinamik analizlerde kullanılan bir düşey ivme katsayıları-zaman ilişkisi. ....	62
<b>Şekil 5.18:</b> Aksenal yükün olmadığı durumda plastik moment-plastik dönme sonuçları. ....	63
<b>Şekil 5.19:</b> Dinamik analizlerde kullanılan bir yatay ivme katsayıları-zaman ilişkisi. ....	63
<b>Şekil 5.20:</b> Aksenal yük olmadığı durum için kolon mafsalında plastik moment-plastik dönme ilişkisi. ....	64
<b>Şekil 5.21:</b> Aksenal yük var olduğu durum için kolon mafsalında plastik moment-plastik dönme ilişkisi.....	64
<b>Şekil 5.22:</b> Fiber parçalara ayrılmış kesitin analiz sonuçları. ....	65
<b>Şekil 5.23:</b> Yapısal elemanın örnek mafsal atamaları. ....	66
<b>Şekil 5.24:</b> Yapısal modelde kullanılan kolon kesiti. ....	68
<b>Şekil 5.25:</b> Kolon kesitinin aksenal yük moment mafsal modeli. ....	68
<b>Şekil 5.25:</b> Yapısal modelde kullanılan kiriş kesiti. ....	68

<b>Şekil 5.27:</b> Kiriş kesitinin aksenal yük moment mafsal modeli. ....	69
<b>Şekil 5.28:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	70
<b>Şekil 5.29:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	70
<b>Şekil 5.30:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	71
<b>Şekil 5.31:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	71
<b>Şekil 5.32:</b> Yapının Sap2000 ve Perform3D programlarına göre taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme (push-over) eğrisi-1 .....	72
<b>Şekil 5.33:</b> Yapının Sap2000 ve Perform3D programlarına göre taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme (push-over) eğrisi-2 .....	72
<b>Şekil 5.34:</b> Tepe yerdeğiştirme-İtme adım eğrisi.....	73
<b>Şekil 5.35:</b> Yapıya etkittirilen ivme-zaman kaydı .....	74
<b>Şekil 5.36:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	74
<b>Şekil 5.37:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	75
<b>Şekil 5.38:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	76
<b>Şekil 5.39:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	76
<b>Şekil 5.40:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1.....	77
<b>Şekil 5.41:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2.....	77
<b>Şekil 5.42:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1. ....	78
<b>Şekil 5.43:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2. ....	78
<b>Şekil 5.44:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon aksenal yük-moment sonuçları-1.....	79
<b>Şekil 5.45:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon aksenal yük-moment sonuçları-2.....	79
<b>Şekil 5.46:</b> Düşey yük-zaman grafiği .....	80
<b>Şekil 5.47:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	81
<b>Şekil 5.48:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	81



<b>Şekil 5.49:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	82
<b>Şekil 5.50:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	82
<b>Şekil 5.51:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1. ....	83
<b>Şekil 5.52:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2. ....	83
<b>Şekil 5.53:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1.....	84
<b>Şekil 5.54:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2.....	84
<b>Şekil 5.55:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-1.....	85
<b>Şekil 5.56:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-2.....	85
<b>Şekil 5.57:</b> Eksenel yük ölçeklendirme katsayısı-zaman eğrisi.....	86
<b>Şekil 5.58:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	87
<b>Şekil 5.59:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	87
<b>Şekil 5.60:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	88
<b>Şekil 5.61:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	88
<b>Şekil 5.62:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1. ....	89
<b>Şekil 5.63:</b> Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2. ....	89
<b>Şekil 5.64:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1.....	90
<b>Şekil 5.65:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2.....	90
<b>Şekil 5.66:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-1.....	91
<b>Şekil 5.67:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-2.....	91
<b>Şekil 5.68:</b> Çok katlı çerçeve sistem analiz modeli. ....	93
<b>Şekil 5.69:</b> Yapısal sistemindeki elemanlara atanan plastik mafsal sonucunda oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi. ....	95

<b>Şekil 5.70:</b> Yapısal sistemindeki elemanlara atanan fiber mafsalsal sonucunda oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi. ....	95
<b>Şekil 5.71:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	96
<b>Şekil 5.72:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	97
<b>Şekil 5.73:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	97
<b>Şekil 5.74:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	98
<b>Şekil 5.75:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları. ....	98
<b>Şekil 5.76:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları. ....	99
<b>Şekil 5.77:</b> Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-1.....	99
<b>Şekil 5.78:</b> Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-2.....	100
<b>Şekil 5.79:</b> Kocaeli depremi ivme – zaman grafiği .....	100
<b>Şekil 5.80:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	101
<b>Şekil 5.81:</b> Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	102
<b>Şekil 5.82:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	102
<b>Şekil 5.83:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları. ....	103
<b>Şekil 5.84:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları.....	103
<b>Şekil 5.85:</b> Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları.....	104
<b>Şekil 5.86:</b> Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-1.....	104
<b>Şekil 5.87:</b> Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-2.....	105
<b>Şekil A.1:</b> Malzemenin sargısız ya da sargılı durumlarının kullanılmasına genel bir bakış (Sap2000).....	114
<b>Şekil A.2:</b> Kesitin tanımlanmasında kullanılan ilgili değişkenlerin gösterimi (Sap2000). ....	115
<b>Şekil A.3:</b> Kesitin tanımlanmasında kullanılan ilgili değişkenlerin gösterimi (Xtract). ....	115
<b>Şekil A.4:</b> Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi gösterimi (Sap2000).....	116
<b>Şekil A.5:</b> Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi gösterimi (Perform-3D)...	116

<b>Şekil B.1:</b> Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-2 için moment-eğrilik karşılaştırılması.....	117
<b>Şekil B.2:</b> Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-2 için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme karşılaştırılması.....	117
<b>Şekil B.3:</b> Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-3 için moment-eğrilik karşılaştırılması.....	118
<b>Şekil B.4:</b> Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-3 için taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme karşılaştırılması.....	118
<b>Şekil B.5:</b> Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-4 için moment-eğrilik karşılaştırılması.....	119
<b>Şekil B.6:</b> Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-4 için taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme karşılaştırılması.....	119
<b>Şekil B.7:</b> Kesit-3 eksenel yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	120
<b>Şekil B.8:</b> Kesit-4 eksenel yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	120
<b>Şekil B.9:</b> Kesit-3 eksenel yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	121
<b>Şekil B.10:</b> Kesit-4 eksenel yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.....	121
<b>Şekil D. 1:</b> Kullanılan kesit ve düşey fiber gösterimi.....	127
<b>Şekil D. 2:</b> Farklı plastik mafsallıkların Perform3D ve Sap2000 programları tarafından karşılaştırılması.....	128
<b>Şekil D. 3:</b> Moment kolunum programlar tarafından yaklaşımı.....	129
<b>Şekil D. 4:</b> İtme analizi sonucu.....	130
<b>Şekil D. 5:</b> Benzeştirilmiş modellerde itme analizi sonucu.....	130
<b>Şekil D. 6:</b> Kullanılan kesit ve düşey fiber gösterimi-2.....	131
<b>Şekil D. 7:</b> Perform3D programında fiber parçaların sonuçları.....	131
<b>Şekil D. 8:</b> Düşey fiber gösterimi-3.....	132
<b>Şekil D. 9:</b> Detaylı olarak kullanılan kesit.....	132
<b>Şekil D. 10:</b> Konsol kolon ve plastik mafsallıkların gösterimi.....	133
<b>Şekil D. 11:</b> Konsol kolonda itme analizi ve zaman tanım alanında analiz gösterimi.....	133
<b>Şekil D. 12:</b> Mafsallıkların momenti-plastik dönme karşılaştırılması-1.....	134
<b>Şekil D. 13:</b> Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-1.....	134
<b>Şekil D. 14:</b> Mafsallıkların momenti-plastik dönme karşılaştırılması-2.....	135
<b>Şekil D. 15:</b> Mafsallıkların momenti-plastik dönme karşılaştırılması-3.....	135
<b>Şekil D. 16:</b> Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-2.....	136
<b>Şekil D. 17:</b> Mafsallıkların momenti-plastik dönme karşılaştırılması-4.....	136

**Şekil D. 18:** Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-3. .... 137

## DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ İÇİN KULLANILAN TİCARİ PROGRAMLARININ ÇERÇEVE SİSTEMLER İÇİN KARŞILAŞTIRILMASI

### ÖZET

Günümüzde performansa dayalı tasarım yönetmelikleri çerçevesinde doğrusal olmayan analizler daha sık yapılır hale gelmiştir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, doğrusal olmayan analiz yöntemleri üzerine uzun yıllardır yapılan araştırmalar, bu araştırmaların neticesinde geliştirilen akademik programların ticarileşmesi, pratikte ihtiyaç duyulan analizlerin daha rahatlıkla yapılmasını sağlamıştır. Ülkemizde önümüzdeki yıllarda yayınlanması beklenen yeni deprem yönetmeliği çerçevesinde de özellikle bazı yapı türleri için (örnek: yüksek binalar, taban yalıtımlı binalar) doğrusal olmayan analizlerin zorunlu olacağı tahmin edilmektedir. Bundan dolayı şu anda hali hazırda pratikte kullanılan ve doğrusal olmayan analiz yapabilen ticari programların karşılaştırılması faydalı olacaktır.

Bu tezin amacı, çerçeve tipi yapılar için doğrusal olmayan analiz yapabilen pratikte de Bu tezin amacı, çerçeve tipi yapılar için doğrusal olmayan analiz yapabilen pratikte de sıklıkla kullanılan ticari programların karşılaştırılmasıdır. Tez kapsamında, doğrusal olmayan analiz programları olarak Sap2000 ve Perform3D programları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kesit analizleri ve moment eğrilik ilişkilerinin karşılaştırılması için Xtract programı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan analizlerden önce, programların doğrusal analizlerini karşılaştırmak için doğrusal bir çubuk eleman üzerinde temel analizler yapılarak programlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan analiz karşılaştırmalarının ilk bölümünde, kullanılan malzeme modelleri ve bu modeller ile elde edilen moment eğrilik ilişkileri karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde, ise üç tip yapısal sistem modeli için karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu modeller, konsol kolon çubuk sistem, tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve sistem ve çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve sistemlerdir. Bu modellerden çerçeve olanları, üç boyutlu çerçeve bir sistemin DBYBHY-07 ve TS500 şartnamelerine uygun halde tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır.

Çubuk elemanlarda, doğrusal olmayan davranış için plastik mafsallık ve fiber mafsallık tipleri kullanılmıştır. Plastik mafsallık olarak da; eksenel yük-moment etkileşimi olmayan moment-eğrilik mafsallık ile üç boyutlu etkileşim mafsallık olan eksenel yük-moment mafsallık tipleri kullanılmıştır. Analiz yöntemleri olarak; Doğrusal olmayan statik itme ve doğrusal olmayan zaman-tanım alanı dinamik analizleri kullanılmıştır. Sap2000 programı ile verilen bir kesitin doğrusal olmayan davranışın modellenmesi birden fazla yöntemle yapılabilmektedir. Bu yöntemler de bu tez kapsamında karşılaştırılmıştır. Farklı çerçeve sistemlerinde; giriş ve kolon mafsallık moment dönme, kolon eksenel yük moment, kolon düşey şekil değiştirme, yapısal sistem taban kesme kuvveti ve devrilme momenti, tepe yerdeğiştirme ve tepe yerdeğiştirme zaman sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan detaylı analizler neticesinde aşağıda özetlenen sonuçlara varılmıştır:

- Beton ve çelik malzeme modelleri için, DBYBHY07 şartnamesinden, Sap2000 ve Xtract programlardan elde edilen dayanım-şekil değiştirme ilişkileri karşılaştırılmış, iki program arasındaki sonuçların yaklaşık olarak aynı olduğu, fakat program modelleri ile DBYBHY07’de belirtilen model arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.
- Kesitlerin moment eğrilik ilişkilerinin karşılaştırılmasında, Sap2000 ve Xtract programları arasında farklılıkların olduğu görülmüştür. Sap2000 içerisinde kesitin tanımlanması aşamasında çok fazla seçenek vardır. Karşılaştırılan bu seçenek ilişkilerinde aynı program farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Doğrusal olan modellerdeki karşılaştırmaların sonuçlarında ise, doğrusal sistemle arasında çok düşük seviyede de olsa bir farklılık olduğu görülmüştür.
- Yapısal sistemlerde elde edilen sonuçlar, hem yapısal model hem de eleman bazında verilmiştir. Sap2000 ve Perform-3D programı doğrusal olmayan analiz sonuçları arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.
- Çubuk sistemlerden elde edilen sonuçlara göre; Sap2000 programı tarafından program kontrollü olarak hesaplanan doğrusal olmayan sonuçlar ile Xtract ve Sap2000 programları tarafından kullanıcı kontrollü olarak hesaplanan sonuçlar arasında farklar vardır.
- Doğrusal olmayan modellemeler de kullanılan plastik ve fiber mafsallı sonuçlarına göre; taban kesme kuvvetleri, devrilme momenteri, eğrilik, yerdeğiştirme sonuçları arasında farklılıklar olduğu görülmüştür.
- Konsol kolon üzerinden yapılan çalışmalar neticesinde, fiber mafsallı modellerinin Sap2000 ve Perform3D’de farklı oldukları sonucuna varılmıştır. Bu farklılığın mafsallı merkez noktasının tanımlanması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- Programların diğer bir karşılaştırmasında ise, doğrusal olmayan analiz süreleri arasında yapılmıştır. Analizler, bir çok durumda, Sap2000’de saatler mertebesinde sürerken, benzer analizler Perform3D’de dakikalar mertebesinde sürmektedir. Doğrusal olmayan mafsallı modeli ne kadar karmaşık hale gelirse bu süreler o kadar uzamaktadır.
- Tüm çalışma neticesinde varılan genel sonuç, programların doğrudan karşılaştırılması yerine, deneysel sonuçlara kalibre edilmiş modellerin karşılaştırılmasının daha doğru olacağı yönündedir. Bunun en önemli sebebi iki programda kullanılan plastik mafsallı ve fiber mafsallı modellerinin hem matematiksel hem de uygulama anlamında farklılıklar olduğu yönünde varılan kanıdır.

# COMPARISON OF COMMERCIAL ANALYSIS PROGRAM USED FOR NON-LINEAR ANALYSIS OF FRAME SYSTEMS

## SUMMARY

Nonlinear analyses of structures within the performance based design framework have become more common in the past decade. The development of computer technology, research conducted on the nonlinear analysis in the past several decades and commercialization of academic research software made nonlinear analysis of structures more accessible to research and engineering community. It is also expected that nonlinear analysis would be mandatory for some type of structures (for example, tall buildings and base isolated buildings) in Turkey due to the new seismic design regulations that will be published in the following years. Therefore, it is considered that comparison of commercial analysis software that are capable of conducting nonlinear analysis and that are already used in practice would be beneficial.

The purpose of this thesis is to compare the commercial programs that are frequently used in practice for nonlinear analysis of structures for frame type structures. Perform3D and Sap2000 programs are selected as the nonlinear analysis programs for comparison. Also Xtract program is used to compare the results of section analysis and moment curvature relationships. Prior to the intensive nonlinear analyses, results of several linear analyses are compared for a simple linear frame element. In the first part of the nonlinear analyses, material models and moment-curvature relationships that are obtained using the material models are compared for several sections. In the second part, three types of structures are used for comparison: These are;

- Cantilever column system
- Single-story-single-span frame system
- Multi-layer multi-span frame system

Structures are extracted from their corresponding three dimensional versions, which are designed per DBYBHY07 and TS500 standards.

The nonlinear element models that are compared are;

- Plastic hinge model
- Fiber hinge model.

There are two types of plastic hinges. First one is a simple moment-rotation hinge, where no moment-axial force interaction is considered. The second model is a moment-axial load interaction model. For the fiber hinge, fibers are based on confined concrete, unconfined concrete and steel rebar material models. However, for comparison purposed, same material models are used in all models. For example,

Sap2000 uses an almost-smooth curve concrete, while Perform3D can only use piece-wise linear models with four linear parts. In this study, piece-wise linear model is adopted for Sap2000 as well. Further, for Sap2000, hinges that are manually created and automatically created are compared.

Two types of analyses methods are compared: These are:

- Static push-over analysis method
- Time History analysis method.

These analyses are conducted for different types of axial loads. In the single-span-single-story frame structure, for all types of axial loads same structural system and nonlinear elements are used. For investigation of effects of axial loads the following axial load schemes are used:

- A constant value of axial load
- Gradually increasing value of the axial load
- Saw tooth type of variation of the axial load

In the comparison of the results, the following parameters are used: Base shear, base moment, hinge curvature, hinge rotation, axial load, axial deformation, tip displacement. For the frame structures, these comparisons are provided for both a selected column and a selected beam.

Based on the results of the comprehensive comparison of the programs the following conclusions are derived:

- A linear frame element is used for comparison of linear analyses results. The results show that there is differences between Sap2000 and Perform, however this difference is not significant.
- Material models provided by DBHYBHY07 standard, and Sap2000 and Xtract programs are compared for steel rebar, confined concrete and unconfined concrete. The results show that material models provided by two programs are very close to each other, but they are different than the material models provided by DBHYBHY07 standard.
- Moment-curvature relationships obtained from Sap2000 and Xtract are compared. One can sue several methods to define the materials and obtained moment-curvature relationships. It is found that these methods may yield different results and they may be also different that the results obtained from Xtract. However, the differences are not very large.
- Intensive analyses conducted for the nonlinear structures (cantilever column and frame structures) show that Perform3D and Sap2000 provide different results. The difference may be significant in some cases and not significant in others.
- It is understood that fiber hinge model of Sap2000 is different than that of Perform3D from both mathematical and analysis method points of view. It is thought that one major difference is regarding the center point of the hinges, which results different moment arms when estimating the moments. This causes different yielding forces (shear and moment) and different initial stiffness of the structures.
- Analysis durations may be significantly different for Sap2000 and Perform3D. In many cases, Sap2000 analysis durations are in the order of hours, while same



analysis takes minutes in Perform3D. Analyses durations significantly increase when the number of nonlinear elements or number of fibers increase.

- A general conclusion arrived is as follows: would be more meaningful to compare these programs if a calibration of the nonlinear elements (plastic hinges, fiber hinges) is conducted based on real experimental data. It is understood that there are differences between the nonlinear models and analyses procedures of Sap2000 and Perform3D (e.g. fiber model center point) and these differences may results significant differences between the results obtained from these two programs by nature. Therefore, comparison of results after a calibration would be better than direct comparison of these programs as done in this study.



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konu

Dünyada ve ülkemizde hızla artmakta olan yapılaşma sayısı, yapıların tasarımında veya değerlendirilmesinde doğrusal olmayan analiz ve yöntemlerinin önemini arttırmaktadır. Ülkemizde genel olarak yapıların tasarımında doğrusal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat yapıların karmaşık/karma yapısal sistemler olarak tasarlanması doğrusal olarak tasarımı ve değerlendirme yöntemlerini kısıtlamaktadır. Doğrusal olarak tasarlanabilen yapıların dışında kalan yapıların tasarımı ve değerlendirmesinde doğrusal olmayan analiz yöntemlerin önemi artmaktadır.

Doğrusal olmayan analiz yöntemleri yapısal elemanların kesit özelliklerine, malzeme özelliklerine ve en önemlisi yapının konumu itibariyle depremselliğine bağlıdır.

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile bilgisayarların daha hızlı işlevlerini yerine getirmesine bununla birlikte doğrusal olmayan analizler gibi birçok konuda ticari programların gelişmesine sebep olmuştur. Bütün bunlara ek olarak araştırılan konuların yayılması ve yaygınlaşması ile de bu ticari programların kendilerini geliştirmesi ve kabul edilerek devam edilen konuların daha net olarak sonuçlandırılmasına katkı sağlamıştır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri de bu gelişmelere paralel olarak ilerlemiştir.

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden en bilineni statik itme analizidir ve birçok program bu analizi yapabilmektedir. Ancak bu yöntem her türlü yapılar için uygun olmayabilir (örnek, yüksek modların etkili olduğu yüksek binalar). Bu analiz yönteminde çevrimsel davranış genellikle modellenmez ve incelenmez.

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden zaman-tanım aralığında analizinde depremsellik de dikkate alınır. Bu analizde yapılar verilen deprem kaydı ya da kayıtlarının etkileri altındaki davranışı tahmin edilmeye çalışılır. Burada kullanılan matematiksel modellerin çevrimsel davranışı yansıtması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan bu yöntemler için yapısal eleman kesitlerinin doğrusal olmayan davranışlarının tanımlanması, yapısal çözüm yöntemlerinin seçilmesi ve yapısal sistemlerin hangi ticari programlar tarafından çözümleneceği ve sonuç olarak yapısal elemanların nasıl değerlendirilmesi gerektiği çok önemli konulardır.

Çubuk sistemlerde kullanılan en temel doğrusal olmayan modeller, basit moment-eğrilik modeli, daha karmaşık olan, moment-eksenel etkileşim modeli ve fiber modelidir. Pratikte, fiber model daha çok perde duvarlar için kullanılmakla beraber, çubuk elemanlar içinde kullanılmaktadır.

## **1.2 Tez Çalışmasının Amacı**

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı; betonarme perde içermeyen çubuk yapılarda doğrusal olmayan davranışın ve analizinin farklı ticari programlar tarafından incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır.

## **1.3 Tez Çalışmasının Kapsamı**

Ülkemizde yapıların doğrusal olmayan analizleri için pratik mühendislikte kullanılan şu programlar bu tez kapsamında incelenmiştir;

- Sap2000
- Perform3D

Uluslararası pratikte Perform3D özellikle yüksek binaların analizinde kullanılırken, ülkemizde bu programlardan daha sıklıkla kullanılanı ise, hem doğrusal hemde doğrusal olmayan analiz için Sap2000 programıdır. Ayrıca bu iki ticari programa ek olarak tez kapsamında; Xtract kesit analiz programı kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinin bulunmasında kullanılmıştır. Xtract programı ile elde edilen kesit analiz sonuçları uluslararası mühendislik ve araştırma alanlarında doğruluğu kabul görmüş bir programdır ve Sap2000 programından elde edilen kesit analiz sonuçlarının doğruluğunu irdelemek için kullanılmıştır.

Tez kapsamında, sadece çubuk modellerden oluşan (perde duvar içermeyen) üç farklı betonarme yapı modeli seçilerek bu modeller üzerinde doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu yapılar şunlardır:

- Konsol kolon

- Tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve
- Çok katlı çok açıklıklı betonarme çerçeve

Yapıların doğrusal olmayan davranış modellenmesinde modeller kullanılmıştır;

- Yığılı plastik mafsal modelleri
- Fiber mafsal modeli

Yığılı plastik mafsal modelleri içerisinde ise şu mafsal modelleri kullanılmıştır;

- Basit moment-dönme mafsal modeli
- Tek boyutlu moment-eksenel yük etkileşim mafsalı
- İki boyutlu moment-eksenel yük moment etkileşim mafsalı

Bu tez kapsamında kullanılan doğrusal olmayan analiz yöntemleri şunlardır;

- Statik itme analizi
- Zaman tanım alanında analiz

Statik itme analizlerinde hakim mod dikkate alınmıştır. Zaman tanım aralığında yapılan doğrusal olmayan analizler ise belirli bir zaman aralığında sürekli artan kuvvetler, artan-azalan kuvvetler (deprem kaydı kullanılmadan) ve seçilen bir deprem kaydı ile yapılan analizleridir.

#### **1.4 Tez Çalışmasının İçeriği**

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Her bölüm için bahsedilen konu içerikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1.Bölüm giriş bölümüdür. Bu bölümde incelenen yapılar, kullanılan doğrusal olmayan ticari programlar, analiz sırasında kullanılan yazılımlar ve sonuçların incelenmesi ile ilgili ön bilgiler verilmiştir. Bu şekilde tez çalışmanın genel şekli ifade edildiği bölümdür.

2.Bölüm betonarme yapı elamanlarında doğrusal olmayan davranış ve analizleri hakkında daha önceden yapılmış çalışmaların anlatıldığı bölümdür.

3. Bölüm doğrusal olmayan davranış ve modellemeler hakkında temel bilgilerin verildiği bölümdür. Plastik mafsal, akma momenti, doğrusal olmayan yapısal analiz

gibi temel terimlerin açıklamaları yapılmıştır. Plastik ve fiber mafsallar ile ilgili bilgiler verilmiş ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri hakkında açıklamalarda bulunulmuştur. Eleman davranışlarının modellenmesinde yararlanılan, moment-eğrilik arasındaki ilişkiden bahsedilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

Ayrıca bu bölümde aksel kuvvet taşıyan betonarme kolonlardaki moment-eğrilik ilişkisinden de bahsedilmiştir.

4. Bölümde, beton ve çelik malzeme modelleri tanımlanmıştır (gerilme şekildeğiştirme). Xtract, Sap2000 ve DBYBHY07 yönetmeliğinden elde edilen malzeme modelleri karşılaştırılmıştır. 3. Bölüm’de tanımlanan kesitin moment eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Burada Xtract ve Sap2000 programları kullanılmıştır. Sap2000 programı içerisinde malzeme modelleri “Materials” menüsünden veya “Section Designer” modülü içerisinde tanımlanabilmektedir. Bu iki farklı yöntemle tanımlanan modellerin hangi analizlerde kullanıldığı program klavuzunda açıkça anlatılmamıştır. Bundan dolayı, çok farklı malzeme tanım yöntemleri incelenmiştir.

5. Bölüm içerisinde yapısal çubuk elemanlardan oluşan, yapısal çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümde üç farklı çubuk yapısal taşıyıcı sistemler ile örneklendirmeler yapılmıştır. Bunlar:

- Konsol kolon
- Tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeve
- Çok katlı çok açıklıklı betonarme çerçeve

sistemleridir. Bu sistemlerde plastik mafsallık ve fiber mafsallar kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Yapısal sistem doğrusal olmayan davranışın analiz yöntemleri olarak

- Statik itme analizi,
- Zaman tanım aralığında doğrusal olmayan analiz yöntemleri,

olmak üzere iki adet analiz yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

6. Bölüm tez çalışması sonucunda elde edilen genel sonuçlardan bahsedildiği bölümdür.

## **2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

### **2.1 Giriş**

Bu bölümde ilk olarak doğrusal olmayan davranışlar hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, doğrusal olmayan analiz yöntemleri hakkında yapılan literatür araştırması açıklanacaktır. Verilen kaynaklar, temel bazı konular için (örn: mafsalsal) temel kaynakları içermekte olup, çok daha detaylı araştırma ve bilgi literatürde bulunabilir. Ayrıca bu bölümde bazı şekiller literatürden alınarak tekrar çizilmiştir.

### **2.2 Doğrusal Olmayan Davranış**

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır:

- Malzemenin (beton ve donatı) doğrusal-elastik olmaması nedeniyle, gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması,
- Geometri değişimleri nedeniyle, denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmamasıdır.

Tez çalışmasında, malzemenin doğrusal olmaması durumları incelenmiştir. Yapısal sistemin geometrisindeki şekil değiştirmeler tez kapsamında dikkate alınmamış ve incelenmemiştir. Çeşitli yüklemeler (düşey yükler, deprem yükleri, rüzgar yükleri vb.) sebebiyle yapısal sistemdeki şekil değiştirmeler hakkında detaylı bilgilere Robert L. ve William R. (2003)'nin çalışmalarından ulaşılabilir.

### **2.3 Mafsalsal Teoremleri**

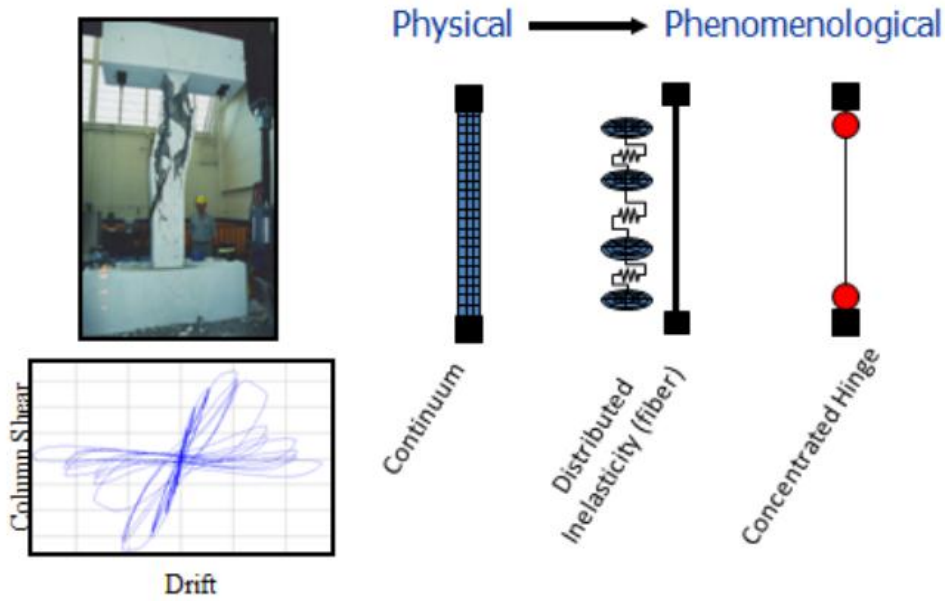
Yapısal taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışlarının kullanılması uzun yıllar alan çalışmalara dayanmaktadır. Günümüz teknolojisinin gelişmesi ve daha ayrıntılı matematiksel modeller kurularak daha karmaşık sayısal hesapların yapılması doğrusal olmayan analizlerin yapılmasına olanak sağlamıştır. Daha ayrıntılı ve daha gerçekçi

modellenen taşıyıcı sistemler ile daha kesin sonuçlara ulaşılmaktadır. Günümüze kadar gelen süreçte yapılmış olan modeller, doğrusal olmayan davranışın modellenmesinde yaklaşık olarak ya da idealize edilerek birçok gelişim göstermiştir. Bu bölümde, yapı elemanlarının doğrusal olmayan teoriye göre nasıl modellendikleri hakkında özet bilgiler verilecektir.

Doğrusal olmayan davranışın yapısal elemanlara aktarılmasında bazı yaklaşımlar kabul edilebilir. Bunlar; Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kolon kiriş birleşimlerinde doğrusal olmayan davranışın tanımlanması için kullanılan üç idealleştirilmiş modeldir.

Bu modeller:

- Sürekli sonlu eleman modeli (ing. continuum model)
- Yayılı fiber model (ing. distributed inelasticity (fiber) model)
- Yığılı mafsal modeli (ing. concentrated hinge model)



Şekil 2.1: Doğrusal olmayan davranışın farklı tipleri (PEER/ATC-72-1).

### 2.3.1 Yayılı plastik mafsal teoremi

Yayıllı plastik mafsal modelinde plastik şekil değiştirmelerin eleman uzunluğu boyunca belirli bir plastik bölgeye yayıldığı varsayımı yapılmıştır. Yayıllı plastik mafsal bu tez kapsamında kullanılmamıştır.

Gerçek bir kiriş veya kolon davranışında plastik mafsal boyu, yükün değişimine göre sürekli bir şekil değiştirme içerisindedir. Fakat analiz modellerinde bu değişimin



dikkate alınması pek pratik olmayacağından, plastik mafsal boyunun hesabı için çeşitli araştırmacılar tarafından belirli formüller geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanların bazıları Park ve Pauley (1975), Pauley ve Priestley (1992), Fardis ve Biskinis (2003)'de tarafından geliştirilen formüllerdir.

Doğrusal olmayan davranışın tanımlanmasında iki adet yaklaşım yapılabilir. Bunlar;

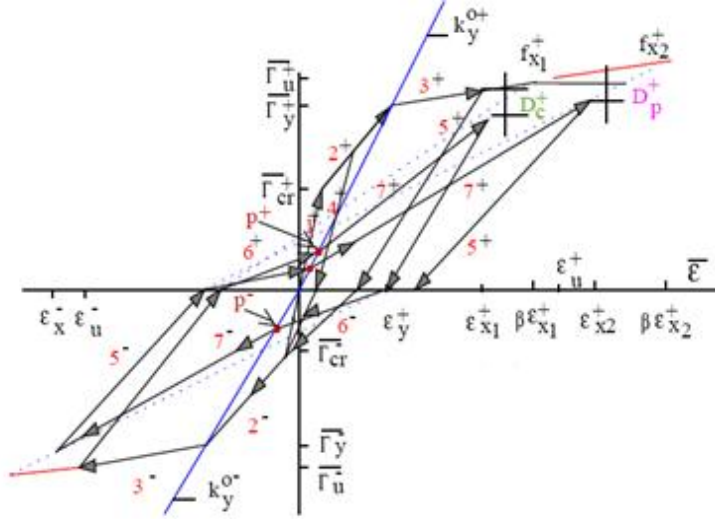
- Kinematik pekleşme,
- İzotropik pekleşmedir.

Plastisite teorisi, malzemenin plastikleşmesinden dolayı akma yüzeyi üzerinde hareket ve dağılım içerir. Bunu açıklamak gerekirse,

- Akma yüzeyinin genişlemesini ve yüzeyin bozulmasını ifade edebilmek için izotropik pekleşmenin düzenli olarak tanımlanması gerekmektedir.
- Rijit kütlelerin ötelenmesi tarafından tanımlanan hareketi ifade eder.

Çevrimsel bir pekleşme etkisi olarak görülen izotropik pekleşme, kinematik merkez yaklaşımı sayesinde toplam plastik gerilme hesabına kinematik değişken olarak alınabilir (Lemaitre ve Chaboche, 1984). Bu yaklaşım sayesinde, basit bir model ile farklı kinematik pekleşmeler dikkate alınabilir.

Gerilme eksenlerinde tanımlanan akma yüzeyine erişinceye kadar elastik şekil değiştirmeler meydana gelirken, akma yüzeyine eriştikten sonra, gerilmeler artarken ilk akma yüzeyinin dışına çıkılmaktadır. Bu durumda yükleme ile akma yüzeyi de beraber ötelenmektedir. Bu modele *kinematik pekleşme* adı verilir. Akma yüzeyinin ötelenmesi ile her gerilme seviyesinde boşalmanın elastik olması bu modelde dikkate alınır. Ayrıca boşalma sonucu, tekrar plastik şekil değiştirmelerin oluşumu başlamaktadır. Bu pekleşmede akma yüzeyinin hareketi için diğer bir kabul *izotropik pekleşmedir*. Bu modelde ise, akma yüzeyi yükleme ile genişlerken, boşalmada pekleşme daha geç meydana gelmektedir.

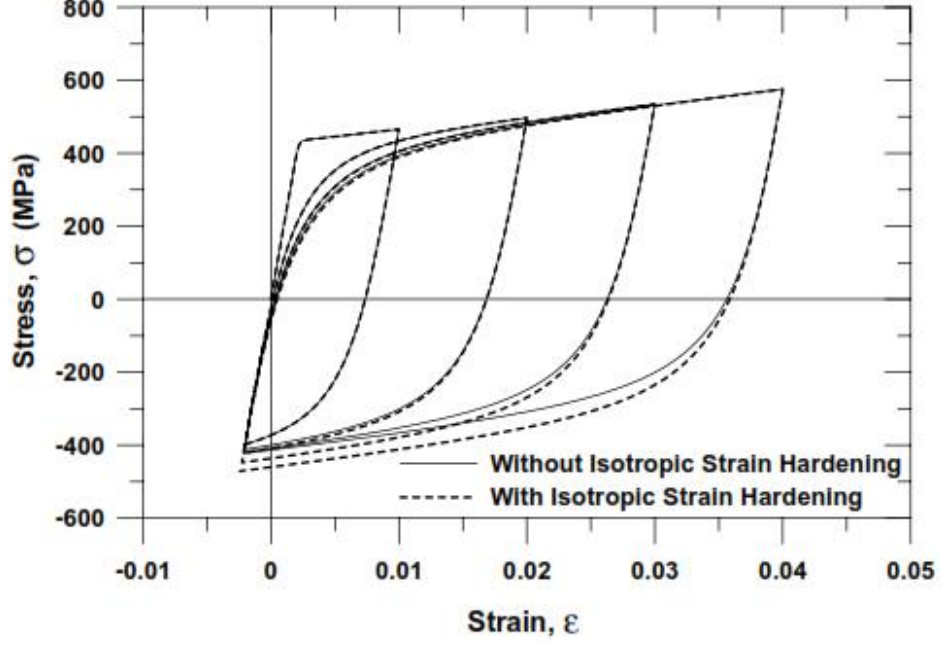


Şekil 2.2: Çevrimsel ilişki (Miromontes ve diğ. 1996).

Şekil 2.2'deki model, temel kinematik çevrimsel modeli ifade etmektedir. Bu model, içerisindeki farklı azalım hareketleri, dayanımda ve şekil değiştirmede meydana gelen doğrusal olmayan davranışları göstermektedir. Tekrarlı yükleme nedeniyle;

- mukavemet ve rijitlik azalması,
- şekil değiştirme ve göçme,

çevrimsel kurallar ile tanımlanan temel olgulardır (Prager, 1955). Çevrimsel ilişki hakkında detaylı araştırmalar yapılmıştır. Bunlar ile ilgili detaylı literatüre Ibarra ve Krawinkler (2005) ile Ibarra, Medina ve Krawinkler (2005) tarafından yapılan çalışmalardan ulaşılabilir.



**Şekil 2.3:** Dayanım şekil değiştirme ilişkisinde izotropik dayanım etkisi (Filippou ve diğ. 1983).

Kesit üzerindeki oluşan gerilme sonucunda, tipik dayanım şekil değiştirme ilişkisi şekil 2.3'deki gibi olmaktadır (Filippou ve diğ. 1983). Çevrimsel yük etkisi altındaki deneysel çalışmalar Menegetto ve Pinto (1973) modelleri üzerinden yapılmıştır. Çalışma sonuçları beklendiği gibidir. Filippou ve arkadaşları tarafından geliştirilen değişiklik, Menegetto ve Pinto modeline uyarlanmış ve dayanım şekil değiştirme ilişkilerinde dikkate alınmıştır.

### 2.3.2 Yığılı plastik mafsal teoremi

Yığılı plastik mafsal modeli, doğrusal olmayan davranışın tanımlanmasında yapısal kesitin kuvvet deformasyon ilişkisiyle açıklanabilmektedir. Örneğin; kolon kiriş birleşimleriyle ilgili yapılan testlerde, doğrusal olmayan davranışın gerilme bileşenlerinden oluşan eksenel yük moment akma yüzeyi ile tanımlanabileceğinden bahsedilmiştir (PEER/ATC-72-1).

Yapıların deprem davranışlarının incelenmesinde; standart elastik analiz ile elde edilemeyen yapının hasar almaya başladıktan sonra nasıl davranış göstereceği, bir eleman aktıktan sonra kuvvet dağılımının yapı içinde nasıl gerçekleşeceği gibi birçok bilgi edinilebilmektedir (Krawinkler ve Seneviratne, 1998).

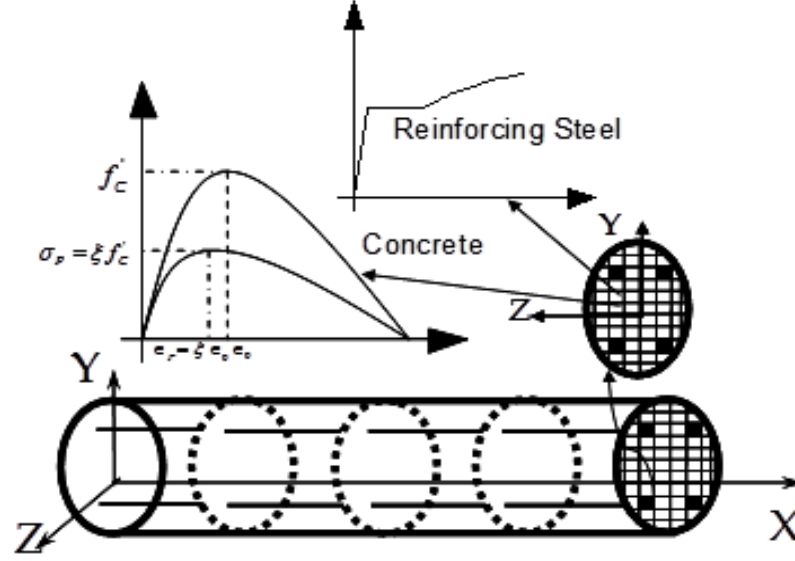
Doğrusal olmayan davranışın olduğu varsayılan bölgenin, eleman yüksekliği boyunca yayılı bir bölge de olduğu durumuna; *yığılı plastik davranış kabulü* ile ulaşılmaktadır. Yığılı plastik davranış kabulünde, bütün plastik şekil değiştirmelerin sonlu uzunluktaki bir bölgede toplandığı ve bu bölgede şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde meydana geleceği varsayılmaktadır. Bunun dışındaki bölgelerde, sistemin doğrusal elastik davrandığı kabul edilir. Deneysel çalışmalardan da elde edilen ve mühendislik mekaniğinin kuralları ile belirlenen (moment eğrilik ilişkisini içeren) dönen yaylar ile ifade edilir. Şekil değiştirme de bu yayın dönmesiyle ilişkilendirilir.

### **2.3.3 Fiber mafsal teoremi**

Fiber model, sonlu elemanlar modelinin matematiksel olarak daha basitleştirilmiş bir şeklidir. Genel olarak, bu mafsal; elemanın uzunluğu boyunca doğrusal olmayan davranışı ve akma aşamasını detaylı geometri ve malzeme özelliklerini kullanarak aktaran bir modeldir.

Sürekli sonlu eleman modeli betonarme kesitin bütün özelliklerini içerir. Boyuna donatı, etriye donatısı, betonun çatlama ve ezilme dayanımı, sünme, çeliğin akma ve kopma dayanımı, beton ile donatı arasındaki sürtünme ilişkisini içerir (PEER/ATC-72-1).

Fiber modeller, yapısal elemanın kesiti boyunca şekil değiştirme eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi ele alır. Bu yüzden kesitin sargılı olması durumundaki gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması çok önem kazanmaktadır (PEER/ATC-72-1).



**Şekil 2.4:** Yapısal kesitlerin fiber parçalara ayrılması (Taucer, Spacone ve Filippou,1991).

Kesit ile belirli sayıda parçaya ayrılan yapı elemanını ve bölünmüş parçaların tüm özelliklerini, kesitin geometrik merkezine indirgenmiş lifler temsil eder. Bu lifler sadece aksel davranış gösteren elemanlardır ve tüm kesitin eğilme davranışı bu liflerin uzama-kısalma ilişkileri ile belirlenir. Fiber modelin temelinde; düzlem kesitlerin düzlem kalacağı ve eğilme momenti altında gerilme dağılımının doğrusal olacağı kabulü yatar.

Kesitte tanımlanan beton ve çelik liflerin uzama-kısalma rijitlikleri, kesitin eğilme rijitliğini oluşturur. Her bir fiber belirli bir uzunluğa sahiptir ve bunlar uç uca eklenerek yapı elemanını meydana getirir. Fiber elemanların uzama-kısalma ilişkisinde etkili olacak kuvvet talebi, fiber uzunluğunun orta noktasında hesaba katılır. Bu elemana bağlı olarak fiber elemanların uzunluğunun seçimi de önemlidir. Burada gözetilecek durum; yapı elemanın da en kritik etkilerin oluşması beklenen kesitin, fiber elemanın orta noktasına denk gelecek şekilde tanımlanmasıdır. Örneğin; konsol kiriş davranışı gösteren elemanlar da en kritik kesit mesnete en yakın kesit olduğundan, mesnete yakın bölgelerde fiber eleman uzunluklarının kısa seçilmesi önemlidir.

## 2.4 Analiz Yöntemleri

Yapısal sistemlerin elastik ötesi davranışlarının araştırılmasında iki farklı analiz yöntemi uygulanır. Bunlar; itme analiz yöntemi ile zaman tanım alanında analiz yöntemleridir.

### 2.4.1 İtme analiz yöntemi

Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemidir. Yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden, yatay yük ile tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisine dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik itme analizinde, yapı deprem yüklerini taşımaya zorlanır. Yöntemin uygulanmasında, yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yer değiştirmeye ulaşıncaya kadar itmeye zorlanmaktadır.

Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerinin neden, nasıl ve hangi durumlarda kullanılması gerektiği konusunda detaylı çalışmalar mevcuttur (Lawson ve diğ, 1994). Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin getirdiği sınırlamalar, bu yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılan temel sorunlar ve yatay yük dağılımına bağlı olarak analiz sonuçlarının değişimi üzerinde durulmuştur.

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlendiği ve yöntemlerin hassasiyeti değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (Krawinkler ve Seneviratne, 1998). Ayrıca doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinin hangi durumlarda geçerli sonuçlar vereceği ve hangi durumlarda analiz sonuçlarının gerçeklikten uzaklaşacağı incelenmiştir.

Elnashai (2000) tarafından yapılan çalışmada, elastik ötesi doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinin kullanımı üzerindeki önemli noktalara değinilmiş ve bu analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarının belirlenmesinde kullanılan bu yöntemlerin uygulanabilirliğini artırmak için yapılabilecek gelişmelere değinilmiştir. Doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemleri sonuçlarının zaman tanım aralığında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara yaklaştıran gelişmeler yapılmıştır.

Chopra ve Goel (2001), sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemlerindeki temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde, artan deprem yüklerine bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile belirlenmektedir. Yöntem dokuz katlı düzlem bir çerçeveye uygulanmış ve sonuçları doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Chopra ve Goel, 2001).

#### 2.4.2 Zaman tanım aralığında analiz yöntemi

Sismik ya da dinamik olarak tanımlan yükler altında, yapının dinamik davranışı hesaplamak basit birleştirme metodu geliştirilmiştir (Newmark, 1959). Çok bilinen bu yöntemin detayları burada verilmeyecektir. *Newmark Metodu* olarak isimlendirilen bu yöntemde, yapının dinamik davranışını tanımlayan sürekli hareket denklimi ilk önce artımsal denkleme çevrilir.

$$m \Delta \ddot{u}_i + c \Delta \dot{u}_i + (\Delta f_s)_i = \Delta p_i \quad (2.2)$$

Daha sonra yer değiştirme, hız ve ivme arasındaki bağlantılardan bu denklem her adımda çözülebilecek cebirsel bir şekle çevrilir ve artımsal olarak çözülebilir. Doğrusal olmayan kuvvetler ise Newton-Raphson yöntemi yada dengelenmemiş kuvvetlerin düzeltilmesi yöntemi ile her adımda hesaplanabilir. Bilindiği kadarı ile Sap2000 Newton-Raphson yöntemi, Perform3D diğer yöntemi kullanmaktadır.

Diferansiyel hareket denkleminin farklı çözüm yöntemleri çok kapsamlı bazı çalışmalarda karşılaştırılmıştır.(örnek: Subbaraj ve Dokainish, 1989).

Zaman tanım aralığında yapılan analiz yöntemi, farklı şiddetlerdeki kuvvetli yer hareketlerinde yapıların davranışlarını tahmin edebilmek için kullanılan en ileri yöntem olarak kabul edilmektedir (PEER/ATC72-1). Bu yöntemde amaç, taşıyıcı sistemin davranışının zamana bağlı olarak verilen bir ivme kaydı etkisi altında zamana bağlı olarak integrali ile elde edilmesidir. Analiz aşamasında, taşıyıcı sistemde bulunan her bir yapısal eleman için iç kuvvetler, yer değiştirmeler, elastik ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanmaktadır.

Zaman tanım aralığındaki analizler ile ilgili olan diğer bir konu, analizin modal ya da doğrudan integral metod seçimidir. Modal zaman tanım aralığındaki analiz, yapının her modunu ayrı ayrı çözümlenerek sonuca varmak için bütün modlarını birleştirme işlemini yapar. Modal çözümler artımsal ya da analitik olabilir. Direct integration zaman tanım aralığında ki analiz metodunda ise her zaman aralığında bütün yapı için çözüm yapılır. Modal analiz doğrusal olmayan yapılar için kullanılamaz. Fakat direct integration metodu hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yapılar için kullanılabilir. Pratik mühendislikte, genelde direct intergration metodu kullanılmaktadır (Wilson, 2004).

Sönüm zaman-tanım alanındaki analizlerde dikkat edilmesi gereken önemli bir konudur. Sönüm, serbest titreşim halindeki yapıların, titreşim düzeylerini azaltan bir etkidir. Sönüm oranı yükseldikçe, yapıda ortaya çıkacak yerdeğiştirmeşer azalır. Sönüm oranı ne kadar düşük olursa yapı o kadar fazla yerdeğiştirme yapar. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizler de, yer değiştirme değerlerinin gerçeğe daha yakın olması için, sisteme etki ettirilecek yükler belirli bir sönüm oranı dikkate alınarak hesaplanır. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucu, %2 ile %5 arasında bir sönüm oranının yapılarda görülebileceği anlaşılmaktadır (PEER/ATC72-1). Sönümleme modeli olarak genelde Rayleigh sönüm modeli kullanılır. Bu yöntemde sönümleme matrisi şu şekilde ifade edilir Genel denklem;

$$C = a [M] + b[K] \quad (2.1)$$

Buradaki  $a$  ve  $b$  katsayıları, en büyük ve en küçük etkin modun sabit bir sönümleme kabulü ile hesaplanmaktadır.

Miranda (2000), zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan analizleri doğrusal olan analizler ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmada, elastik bir sistemin maksimum yer değiştirmesi kullanılarak hesaplanan elastik ötesi yer değiştirme ve süneklik oranları üzerine yapılan kapsamlı istatistiksel analizler mevcuttur. Elastik ötesi yer değiştirme oranları, çok sayıda kayıtlı deprem hareketleri etkisinde, değişik elastik ötesi deformasyonlar gösteren tek serbestlik dereceli sistemler için hesaplanmıştır. Sonuç olarak, tasarımda yapıların yaklaşık olarak ortalama elastik ötesi yerdeğiştirme oranlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, basitleştirilmiş bir yöntem sağlayan analiz sonuçları verilmiştir.



### 3. DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

#### 3.1 Giriş

Bu bölümde, doğrusal olmayan davranış hakkında genel bilgiler verilmiştir. Tez kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan modeller ve kullanılan yöntemlerde yapılan kabuller hakkında bilgiler verilmiştir.

Yapıların doğrusal olmayan davranışını etkileyen parametrelerin neler olduğu ve bu parametrelerin davranışı nasıl etkilediği açıklanmıőtir.

Bu bölüm üç aőamadan oluşmaktadır. İlk aőama, plastik mafsalsal teoremdir. Bu teorem hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. İkinci aőama, plastik mafsalsalın moment değerinin incelenmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise, kesitlerin moment eğrilik ilişkileri hakkında bilgiler verilmiştir. Kesitlerin moment eğriliklerini etkileyen aksenal yük parametresi için yapılan sayısal çalışmanın bir örneği bu bölümde yer almaktadır.

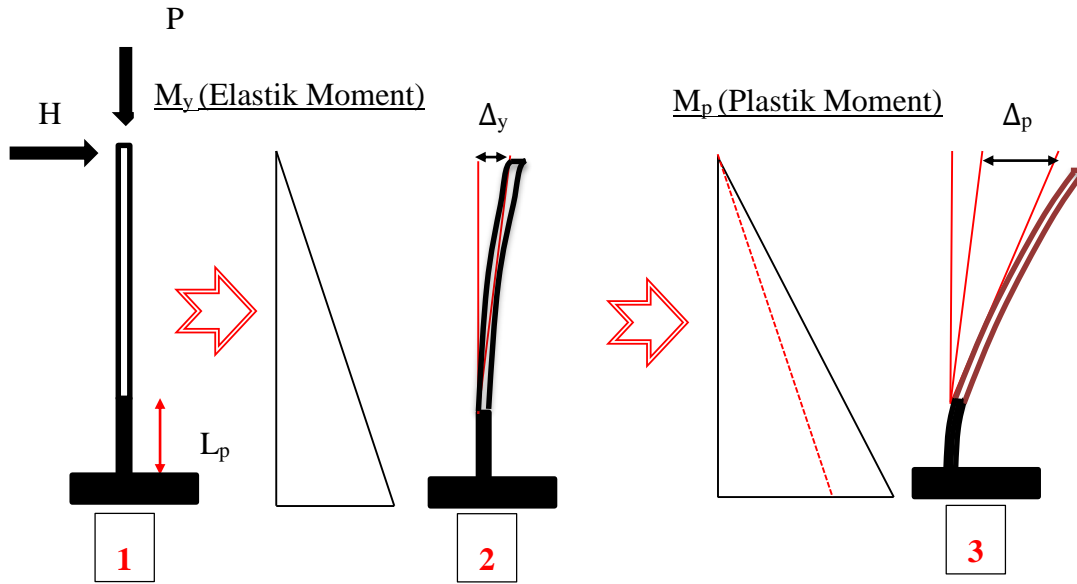
#### 3.2 Plastik Mafsalsal Teoremi

Doğrusal olmayan analizde, elastik analizden farklı olarak elemanların belirli bir dayanım kapasitesi mevcuttur. Yapısal eleman üzerindeki yük etkileri arttıka rijitliğinde azalma olur. Kritik bölgelerde dayanım değerine ulaştıktan sonra eleman sabit sayılabilecek yük değeri altında deformasyon yaparak enerji sönümlemeyi sürdürür. Bu durum eleman deformasyon kapasitesini kaybedene kadar devam eder. Doğrusal olmayan analizdeki bu dayanım deformasyon ilişkisi *plastik mafsalsal* yoluyla modellenenebilir.

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olması durumunun dikkate alındığı yöntemler ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallık (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayılır. (Özer, 2007).

Doğrusal ötesi davranışın olduğu varsayılan bölgenin eleman yüksekliği boyunca yayılı olarak veya yoğunlaşmış bir bölge olarak dikkate alınması durumuna göre yığılı plastik davranış hipotezleri bulunmaktadır.

Yığılı plastik davranış hipotezine göre; elemanlara ait doğrusal ötesi davranış parametreleri, bu davranışın eleman uçlarında yoğunlaşacağı varsayımına dayanarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Konsol kolon için Moment grafiği ve şekil değiştirme davranışı.

Şekildeğiştirmemiş konsol kolon Şekil 3.1'de 1 nolu gösterimdeki gibidir. Artan dış yükler altında, sistem akma momentine ulaşıncaya kadar elastik ötelenme yaparak akma elastik dönme seviyesine ulaşır ve 2 nolu gösterimdeki hali alır. Elastik ötelenme yaparak elastik sınırı aşan sistem artan dış yüklerden dolayı plastik ötelenme yapmaya başlar ve sistem 3 numaralı gösterimdeki hali alarak, doğrusal olmayan davranış sergilemiş olur. Doğrusal olmayan davranış  $L_p$  olarak adlandırılan plastik mafsallık uzunluğu boyunca sisteme etki eder.

Plastikleşme, bir elemanda iki uç noktası (A ve B) arasında yayılır. Bu iki noktanın birbirlerine göre dönmesi toplam eğriliğin giriş boyunca integrali ile Denklem 1.1'deki gibi hesaplanabilir.

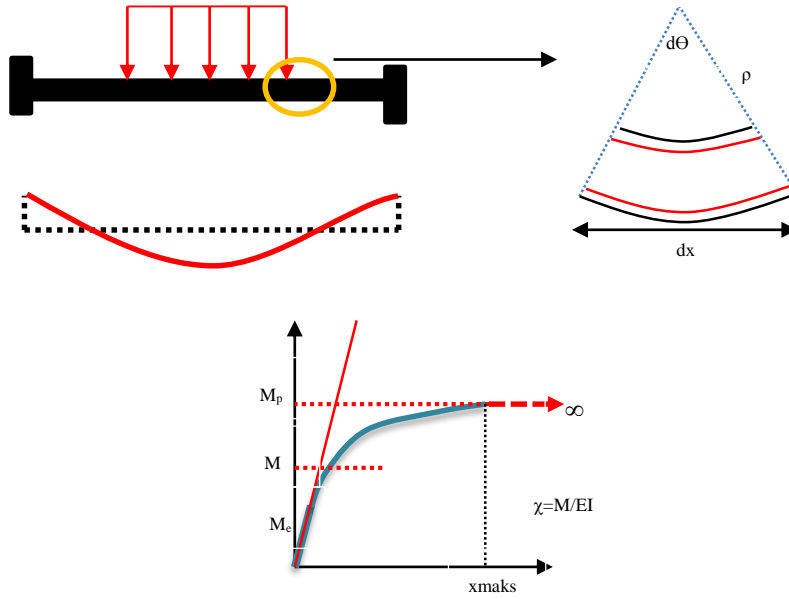
$$\theta_{BA} = \int_A^B \phi_t dx = \int_A^B (\phi_{elastik} + \phi_{plastik}) dx = \int_A^B \phi_{elastik} dx + \int_A^B \phi_{plastik} dx \quad (1.1)$$

Çoğu durumda plastik eğrilik elastik eğriliğe göre büyük olduğu için yalnızca plastik eğrilik durumu göz önüne alınabilir. Plastikleşen bölgedeki eşdeğer plastik mafsal boyu hesaplanan en büyük plastik eğrilik değerinin toplam dönmeye bölünmesiyle denklem 1.2’de verildiği gibi elde edilir.

$$L_p = \frac{\theta_{BA\ plastik}}{\theta_{p\ max}} = \frac{1}{\theta_{p\ max}} = \int_A^B \phi_{plastik} dx \quad (1.2)$$

Deprem yönetmeliğinde, plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğunu, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit kabul edilmiştir.

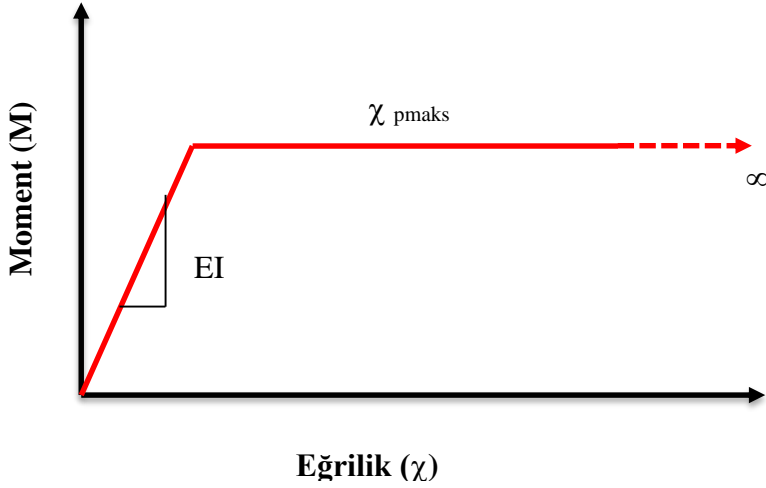
### 3.3 Plastikleşme Momenti



Şekil 3.2: Eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.

Şekil 3.2’de yer alan grafikte doğrusal olarak artan malzemenin elastikliğini göstermektedir. Bu kısımda moment-eğrilik ilişkisi doğrusal olarak artacaktır. Doğrunun bir noktasında kesit artık elastik moment kapasitesine ulaşarak kesitte sabit yük altında şekil değiştirmeler oluşacaktır. Bu noktaya kesitin plastikleşme momenti (M<sub>p</sub>) denir.

Plastik mafsalsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 3.3). Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi ve betondaki birim kısalmanın ( $\epsilon_{co}$ ) sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilmektedir (Özer, 2007).



**Şekil 3.3:** İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.

Plastik mafsalsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

$$M < M_p \text{ için } \chi = M/EI \quad (3.1a)$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \longrightarrow \chi_{p, maks} \quad (3.2b)$$

şeklinde iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 3.3).

Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi, plastik şekil değiştirmeler, eleman üzerinde  $I_p$  uzunluğunda bir bölgede toplanmakta ve en büyük eğrilik  $\chi_{p, maks}$  değerine eşit olmaktadır.

Betonarme yapı sistemlerinde, plastik mafsalların dönme kapasiteleri aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişmektedir:

- Betonun ve donatı çeliğinin  $\sigma$ - $\epsilon$  diyagramlarını belirleyen  $\epsilon_{cu}$  ve  $\epsilon_{su}$  sınır birim boy değişimi değerleri,
- Betonun  $\epsilon_{cu}$  birim kısalmasını etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları,

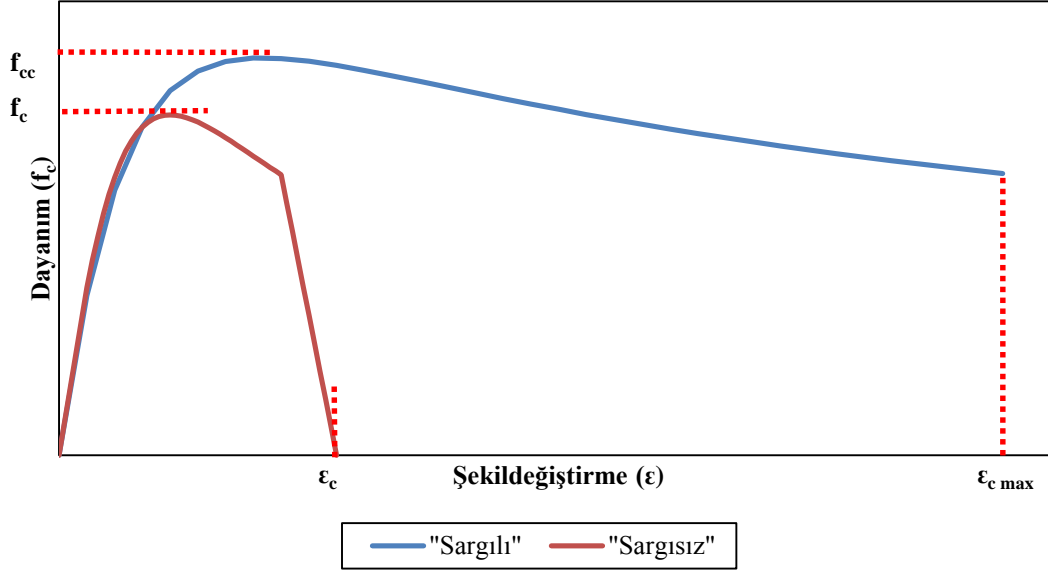
- Eleman boyunca eğilme momentinin değişimi,
- Kesitteki normal kuvvet değeridir.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklaması yapılan plastik mafsal hipotezinin esaslarını şu şekilde vermek mümkündür:

- Bir kesitte artan dış yüklerle birlikte, eğilme momenti de artarak  $M_p$  plastik moment değerine erişince, o kesitte plastik mafsal oluşmaktadır. Artmaya devam eden dış yükler altında, plastik mafsal gerçek bir mafsal gibi serbestçe dönmekte ve kesitteki eğilme momenti  $M=M_p$  olarak sabit kalmaktadır. Plastik mafsaldaki  $\theta_p$  plastik dönme değeri artarak  $\theta_{p, maks}$  dönme kapasitesine erişince sistem kullanılamaz hale gelmekte, yani göçmektedir.
- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranmaktadır.
- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi durumunda,  $M_p$  plastik momenti yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvet değerine bağlı olarak akma koşulundan (karşılıklı etki diyagramı) elde edilen indirgenmiş plastik moment ( $M_p$ ) değeri kullanılmaktadır.

### 3.4 Kesitlerin Moment-Eğrilik İlişkisi

Beton malzemesi, basınç etkisinde oldukça iyi bir performans göstermektedir. Beton, yapısı gereği gevrek, yani yük altında ani güç tükenmesine maruz kalan bir malzemedir. Beton malzemesi çelik ile birlikte kullanıldığında ise, sünek davranış gösterir ve yapılar için oldukça kullanışlı bir hale gelir. Deprem yönetmeliğinde ‘sargısız’ ve ‘sargılı’ olmak üzere iki ayrı beton modeli tanımlanmıştır. Sargılı betonun davranışı; enine donatının hacimsel oranı, aralığı, dağılımı, çap ve dayanımı, boyuna donatının oranı ve kesit içinde dağılımı, betonun basınç dayanımı ve cinsi, yükleme hızı ve biçimi, eğilme etkisindeki elemanlarda aksel kuvvetin seviyesi gibi pek çok parametreye bağlıdır. Şekil 3.4’de Deprem Yönetmeliğindeki sargılı ve sargısız betonların gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 3.4: Betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

Kolon, kiriş ve perde gibi betonarme kesitlerin plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi için malzeme modelleri kullanılmaktadır. Bu malzeme modelleri DBYBHY'nin bilgilendirme eki 7B bölümünde açıklanmakta ve grafik gösterimleri Bölüm 2'de Şekil 2.1 ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Sargılanmamış beton olarak tanımlanan betonu sadece kabuk betonu olarak kabul etmemek gerekmektedir. Aynı zamanda DBYBHY'de belirtilen sargılama donatı şartlarına uygun olmayan betonarme kesitlerin, enine donatılarının içinde kalan beton da sargılanmamış beton olarak düşünülmelidir.

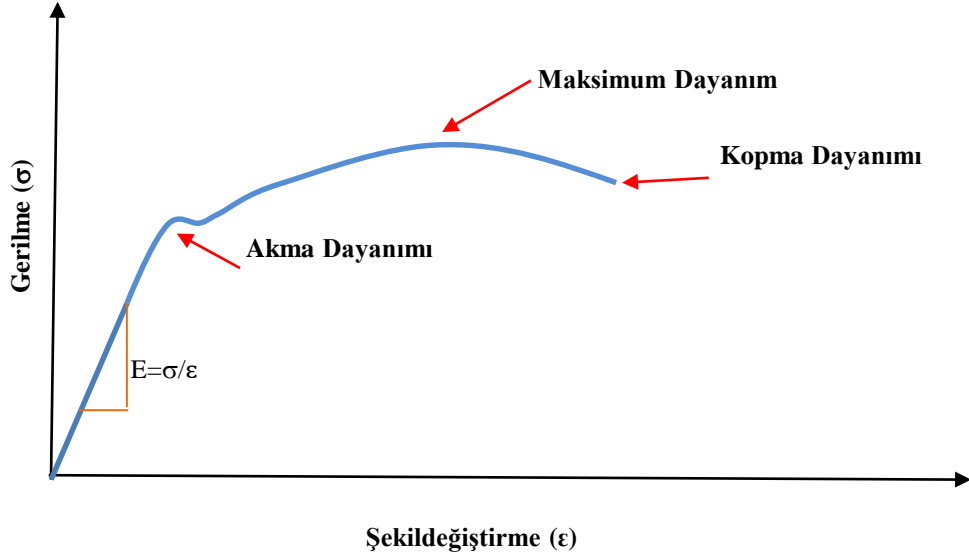
Şekil 3.4'de iki farklı sargılama donatısı düzeni için, sargılanmış ve sargılanmamış beton gerilme şekil değiştirme ilişkileri gösterilmiştir.

Çelik çekme mukavemeti oldukça iyi olan bir malzemedir. Sünek davranışa sahip olan çelik basınç etkisinde yalnız kullanıldığında burkulmaya maruz kalır. Bu yüzden beton ile kullanıldığında etkili olur. Çelik, kuvvet etkisinde göstermiş olduğu davranışla gerilme şekil değiştirme eğrisinde üç bölgede incelenir. Bunlar aynı zamanda deprem yönetmeliğinde de yer alan:

- Elastik bölge: çeliğin kalıcı şekil değiştirmeye maruz kalmadığı ve dış etkinin ortadan kaldırıldığında tekrar eski haline geleceği bölgedir.
- Plastik bölge: çeliğin kalıcı şekildeğiştirmeye maruz kaldığı bölgedir.

- Pekleşme bölgesi: çeliğin büyük şekildeğiştirmelerinin etkisinde kaldığı ve kesitin alanında küçülmelerin olduğu, çelikte sertleşmelerin başladığı ve kopma noktasına yaklaştığı bölgedir.

Çeliğin deprem yönetmeliğinde tanımlanan bu gerilme şekildeğiştirme ilişkisi şekil 3.5’de gösterilmiştir.



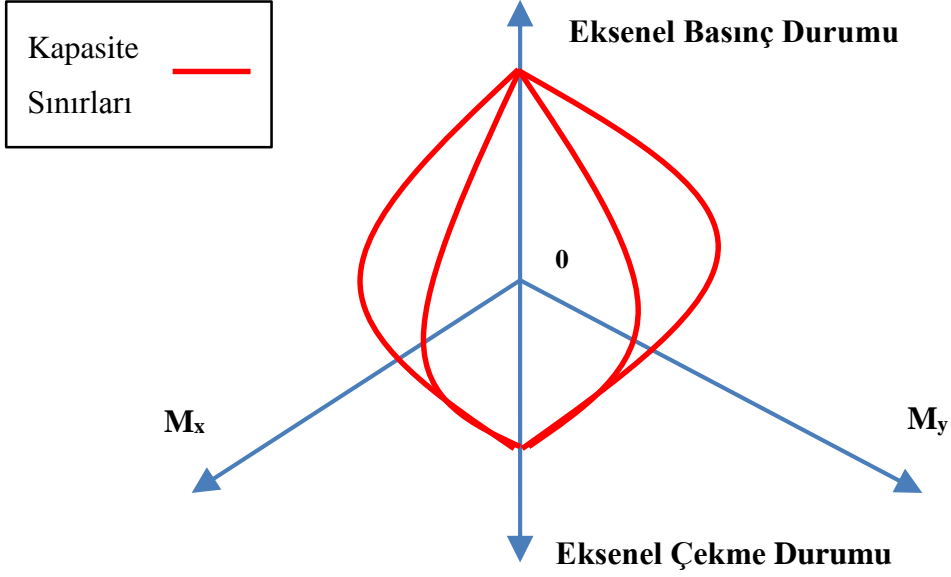
**Şekil 3.5:** Çeliğin gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi.

Kolon doğrusal olmayan davranışlarının modellenenilmesi için iki tip özelliğin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar:

- Normal kuvvet ve iki eksen etrafındaki moment bileşenlerinde oluşan üç boyutlu etkileşim yüzeyi,
- Üç boyutlu etkileşim yüzeyinin üzerinde veya dışında, kolon/perdenin moment-eğrilik ilişkisidir.

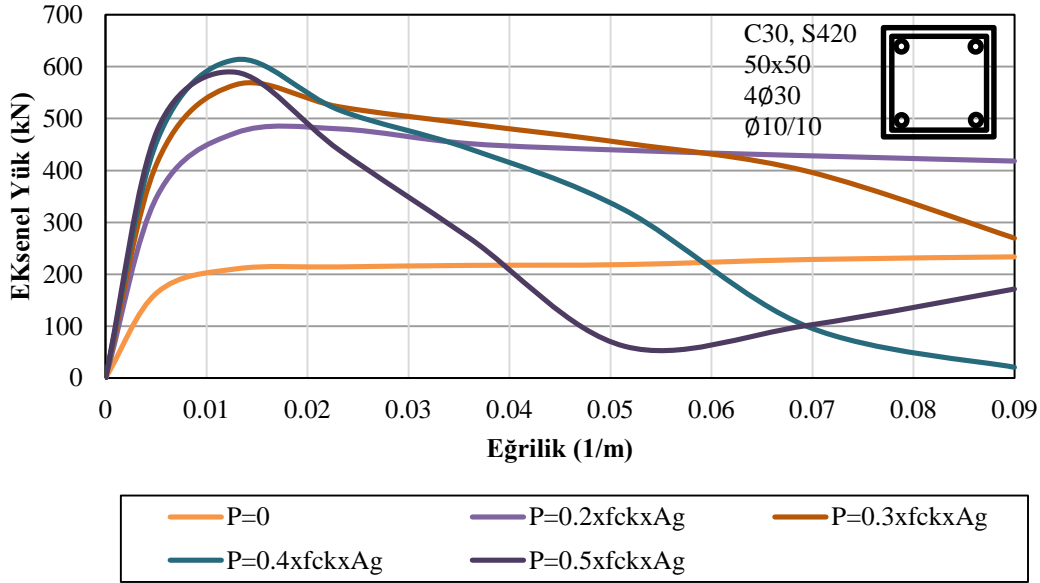
Moment-eğrilik ilişkisi kolon/perdenin maruz kaldığı aksenal yük düzeyine göre değişkenlik gösterir.

Şekil 3.6’da bir kolonun, normal kuvvet ve iki eksen etrafında moment bileşenlerinde oluşan üç boyutlu etkileşim yüzeyi gösterilmektedir. Bu üç boyutlu etkileşim yüzeyi üzerinde veya dışındaki normal kuvvet-moment çifti durumlarında, kolon doğrusal elastik kapasitesini tamamlar. Plastikleşme davranışını, süneklığe ve o anda maruz kaldığı aksenal yük düzeyine uygun moment-eğrilik ilişkisine bağlı olarak gösterir.



Şekil 3.6: Kolonların üç boyutlu etkileşim yüzeyi.

Şekil 3.7’de bir kolonun farklı eksenel basınç kuvveti değerleri altında eğrilik değişimleri göstermektedir. Kullanılan kesit Şekil 3.7’de ki kesittir. Görüldüğü gibi kolona etkiyen eksenel basınç kuvveti arttıkça moment-eğrilik eğrisinin altında kalan alan küçülmekte ve yutulan enerji, yani süneklik azalmaktadır. Süneklik, kolonun göçme eğriliğinin akma eğriliğine oranı olarak tanımlanır. Eksenel basınç yükünün artması bu oranın küçülmesine neden olur.



Şekil 3.7: Eksenel yük düzeyinin moment-eğrilik ilişkisine olan etkisi.



Kirişlerin doğrusal olmayan davranışlarının modellenmesi için kiriş mesnet kesitlerinin alt ve üst bölgelerinin çekme olması durumlarına göre moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Kirişlerde aksenal yük oluşmadığı kabul edilirse; kirişlerin moment-eğrilik ilişkisi, kolon ve perdelerdeki gibi değişken değildir ve sabittir.



## **4. MALZEME DAYANIM ŞEKİLDEĞİŞTİRME İLİŞKİLERİ İLE MOMENT EĞRİLİK İLİŞKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **4.1 Giriş**

Bu bölümde; iki farklı araştırma yapılmıştır. İlki, malzeme modellerinin dayanım şekildegıştırme ilişkisi, diğeri ise kesitlerin moment eğrilik ilişkilerinin karşılaştırılmasıdır. Araştırılan bütün karşılaştırmalarda; Sap2000, Xtract ve DBYBHY07 yönetmeliğinin dayanım şekildegıştırme ve moment eğrilik hesapları kullanılmıştır.

Dayanım şekildegıştırme ilişkilerinin karşılaştırılması aşamasında, Sap2000 ticari programının farklı tanımlama yollarının sonuçlara etkileri araştırılmıştır. Xtract programı ve DBYBHY-07'nin de hesaplamış olduğu ilişkiler ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Moment eğrilik ilişkilerinin karşılaştırılmasında ise, Sap2000 ve Xtract kesit analiz programı sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu incelenen bölümde ise, Sap2000 programının farklı şekilde tanımlanan kesitlerin doğrusal olmayan moment ve eğrilik sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar Xtract programı tarafından elde edilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

### **4.2 Beton ve Donatı Çeliği Malzeme Özellikleri ile Kesit Özelliklerinin Karşılaştırılması**

Bölüm 2'de beton malzeme davranışının kesitte sargılı ya da sargısız olması durumları için şekil 2.1'de ki gibi bir davranış sergilediği gösterilmiştir. Beton çekirdek kısmı (etriye içerisinde kalan bölgenin) sargılı, beton kabuk kısmı ise (etriyenin dışında kalan bölgenin) sargısız beton modeli olarak tanımlanır (DBYBHY'07). Bu bölümde; Sap2000 ticari analiz programının beton basınç dayanım şekildegıştırme ilişkilerinin çeşitli yollar kullanılarak tanımlanması ve karşılaştırılması yapılacaktır. Tanımlanan

kesitlerde meydana gelen sonuçlara nasıl sebep olduğu ve yönetmeliğin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi ile arasındaki farklılıklar karşılaştırılacaktır.

Karşılaştırma da;

- Malzeme modellerinde kesitte tanımlanan sargılı ya da sargısız olması durumu,
- Tanımlanan malzeme modellerinin kesitlerin sargılı ya da sargısız olması durumları,

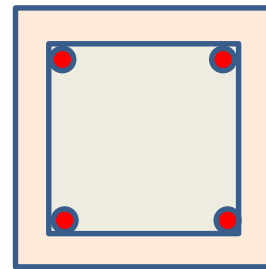
olarak incelenmiştir.

Araştırılan durumda malzeme menüsü yöntemi ve section designer menüsü yöntemleri kullanılmıştır. Aşağıda malzeme ve kesit modelleri sıralanmıştır:

- Malzemenin sargılı olması (M-C) (Malzeme Menüsü Yöntemi)
- Malzemenin sargısız olması (M-U) (Malzeme Menüsü Yöntemi)
- Kesitin sargılı olması (S-C) (Malzeme Menüsü Yöntemi)
- Kesitin sargısız olması (S-U) (Malzeme Menüsü Yöntemi)
- Kesitin sargılı ve malzemenin sargısız olması (S-C)-(M-U) (Section Designer Menüsü Yöntemi)
- Kesitin sargılı ve malzemenin sargılı olması (S-C)-(M-C) (Section Designer Menüsü Yöntemi)

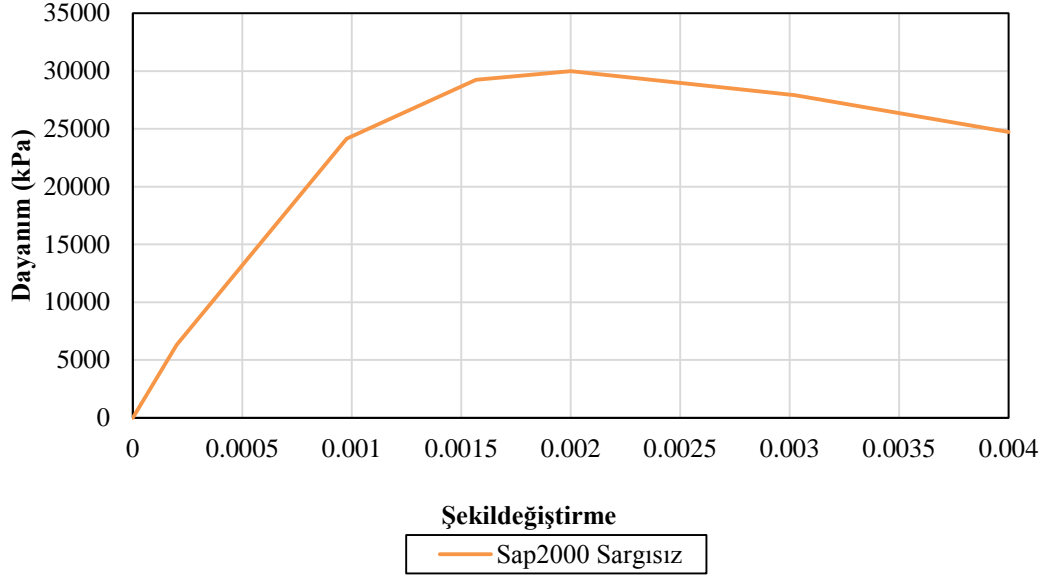
Kesit özellikleri;

- b: 50 cm
- h: 50 cm
- d': 5 cm
- $f_c$ : 30 MPa
- $f_y$ : 420 MPa
- düşey donatı 4Ø30
- etriye 1Ø10/10
- $\epsilon_{co}$ : 0.002
- $\epsilon_{cu}$ : 0.004
- $E_c$ :32000 MPa
- $E_s$ :200000 MPa

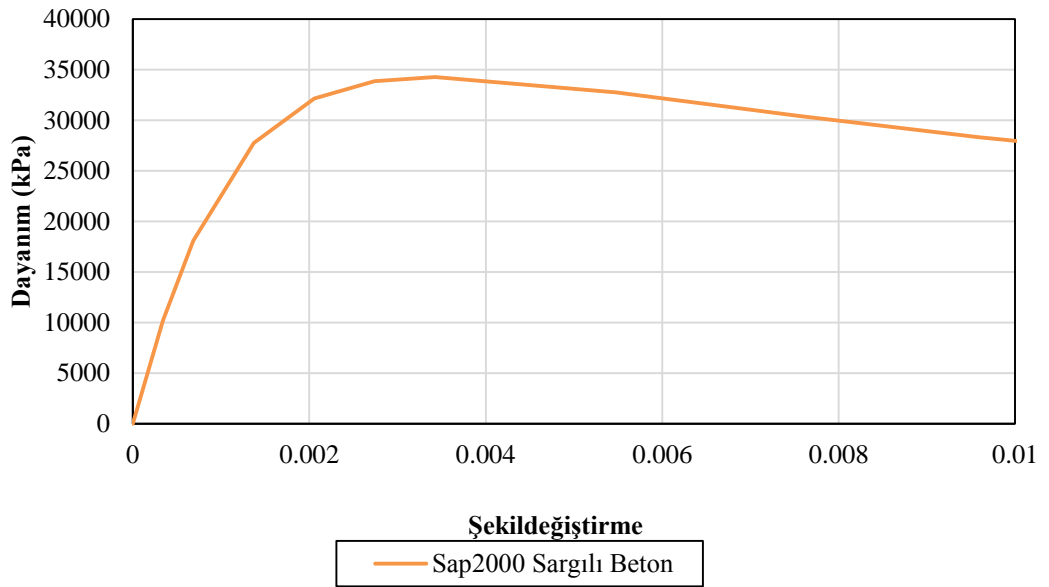


Şekil 4.1: Betonarme kesit.

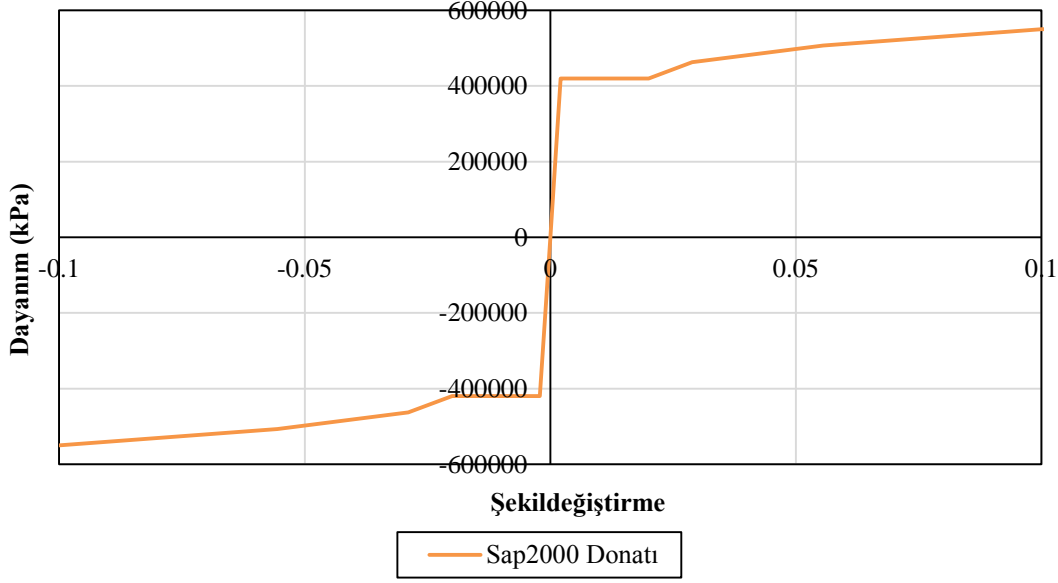
Sap2000 programında, sargısız ve sargılı beton modeli ile donatı çeliği modelinin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda; programa tanımlanan, malzemenin dayanım şekildeğiştirme ilişkileri farklı yöntemler uygulanarak yapılabilmektedir. Bu yöntemler yukarıda sırasıyla açıklanmıştır.



Şekil 4.2: Sap2000 sargısız beton modeli dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

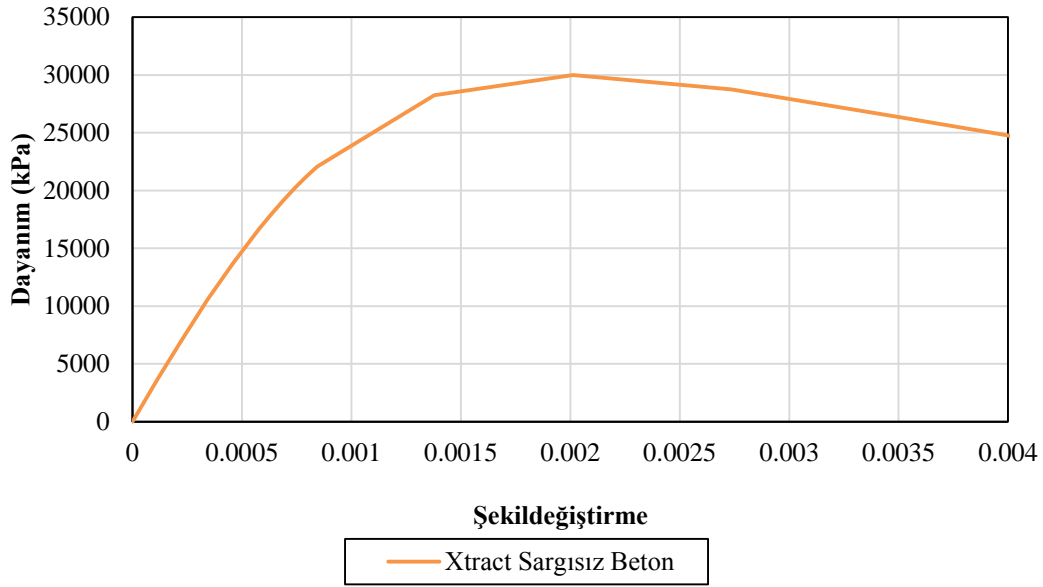


Şekil 4.3: Sap2000 sargılı beton modeli dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

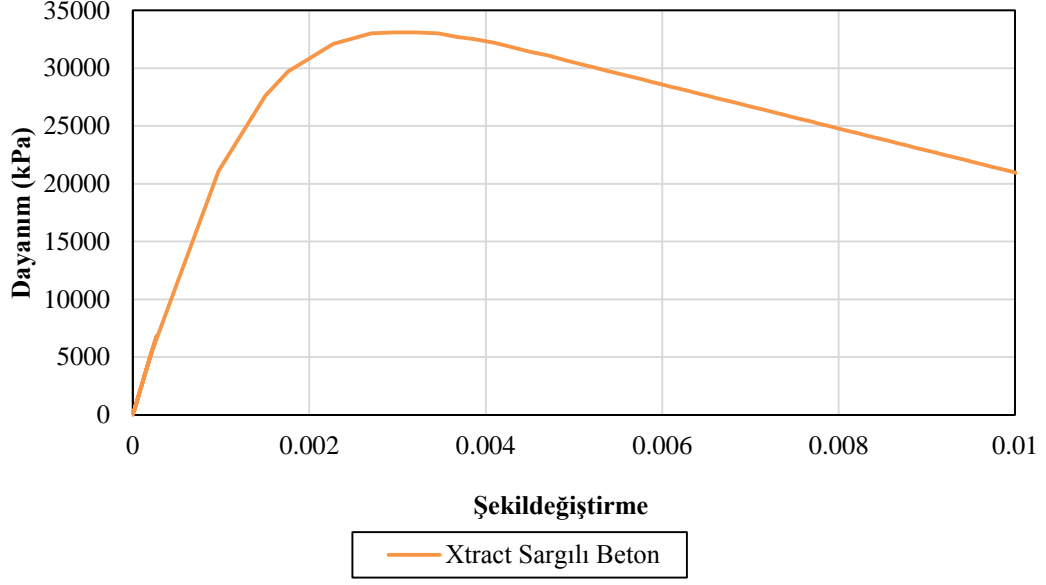


**Şekil 4.4:** Sap2000 donatı çeliği malzeme modeli dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

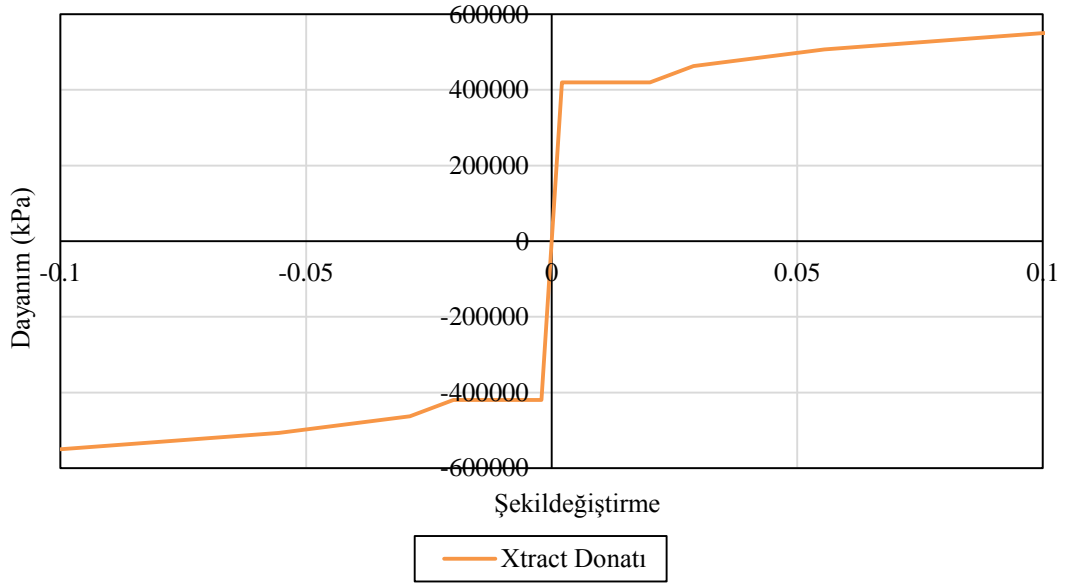
Xtract programında, sargısız ve sargılı beton modeli ile donatı çeliği modelinin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda; program tamamen kullanıcı esaslı olmasından dolayı, tek bir yöntem ile malzemenin dayanım şekildeğiştirme ilişkileri girilebilmektedir.



**Şekil 4.5:** Xtract sargısız beton modeli dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil 4.6: Xtract sargılı beton modeli dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil 4.7: Xtract donatı çelik modelinin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

DBYBHY'07 bilgilendirme Eki 7B'de bahsedilen beton modelleri, Mander beton modeli temel alınarak tanımlanmıştır. Aşağıda sargılı ve sargısız beton için gerilme birim şekildeğiştirme ilişkileri ifade ve denklemler ile hesaplanmıştır.

Sargılı betonda, basınç dayanım ilişkisi aşağıdaki denklemle verilmektedir:

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r-1+x^r} \quad (4.1)$$

Sargılı beton ile sargısız beton arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle verilmektedir:

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (4.2)$$

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254} \quad (4.3)$$

Sargılı betondaki etriyenin etkisi aşağıdaki denklemler ile ilişkilidir:

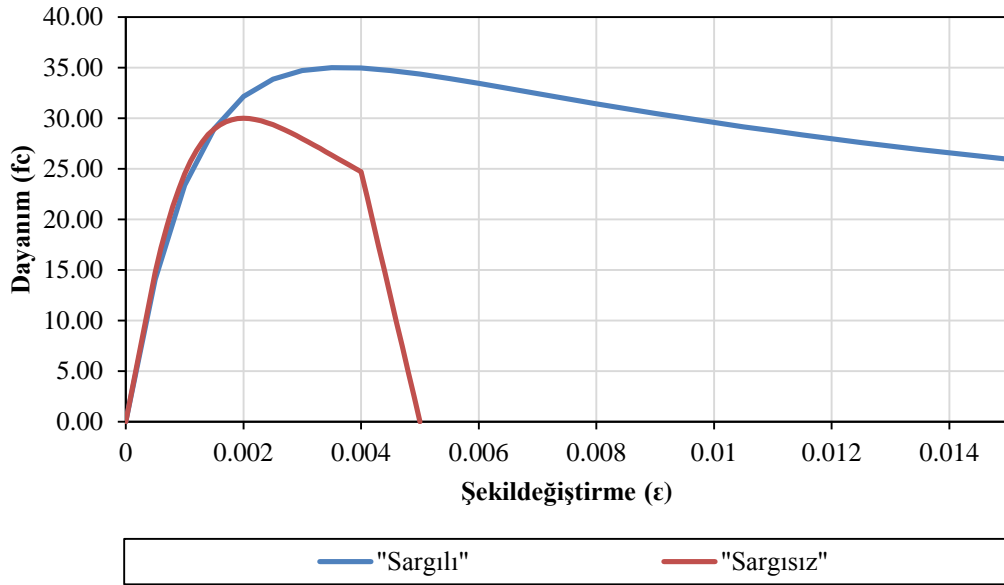
$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} ; f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.4)$$

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (4.5)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} ; \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] ; \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (4.6)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} ; E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} [MPa] ; E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (4.8)$$



**Şekil 4.8:** DBYBHY sargılı ve sargısız beton malzeme modelinin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

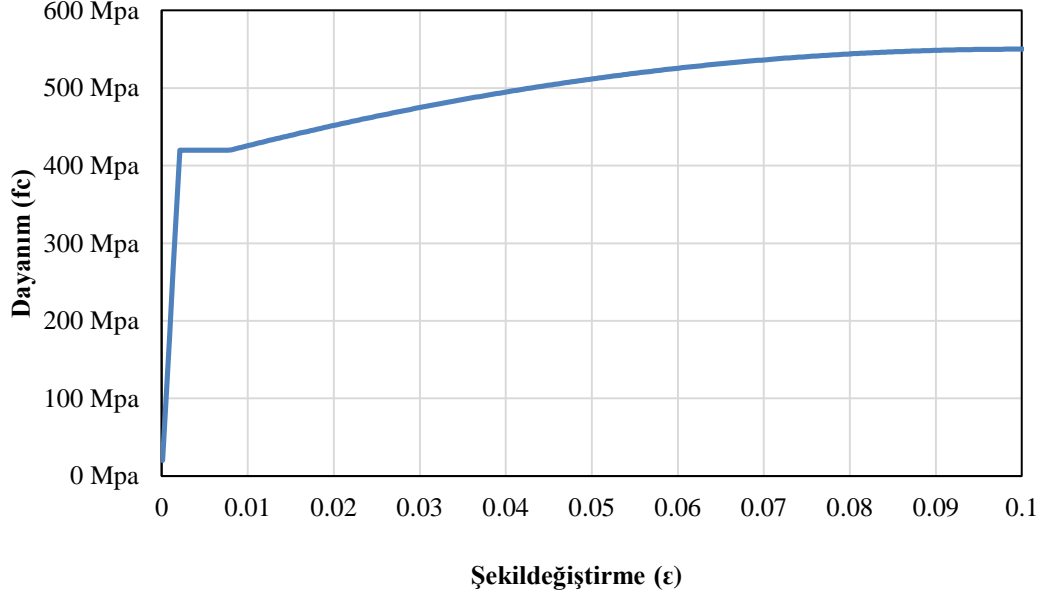
Donatı çeliğindeki gerilme şekildeğiştirme ilişkisi ise aşağıdaki denklemler ile yönetmelik tarafından verilmektedir:

$$f_s = E_s \varepsilon_s ; (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (4.9)$$

$$f_s = f_{sy} ; (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (4.10)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} ; (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (4.11)$$

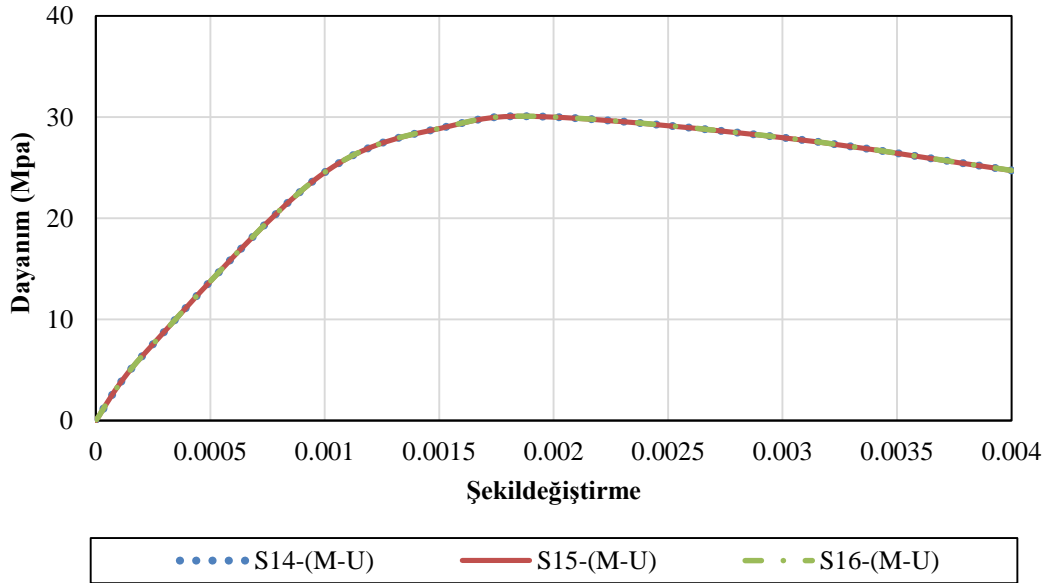




**Şekil 4.9:** DBYBHY donatı çeliği malzeme modelinin dayanım şekildeğiştirme ilişkisi.

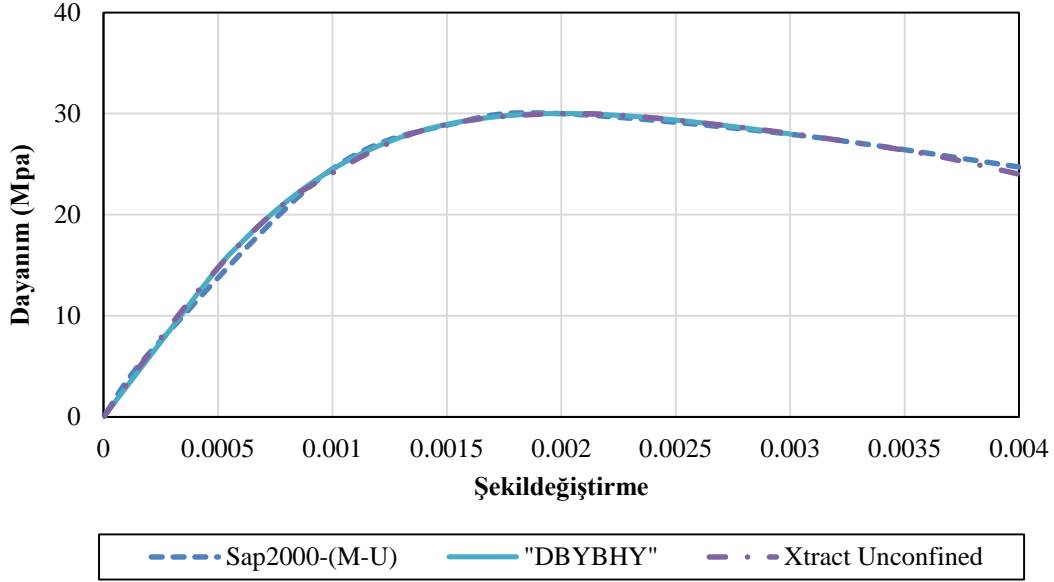
#### 4.3 Tanımlanan Beton ve Donatı Malzeme Modellerinin Karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan beton sargılı ve sargısız malzeme modellerinin gerilme şekildeğiştirme ilişkisi ile donatı çeliğinin malzeme modeli ilişkisi hesapları, programlar ve yönetmelik tarafından verilmiştir. Şekil 4.10'da ise bu dayanım ilişkilerinin karşılaştırmaları yapılmıştır.



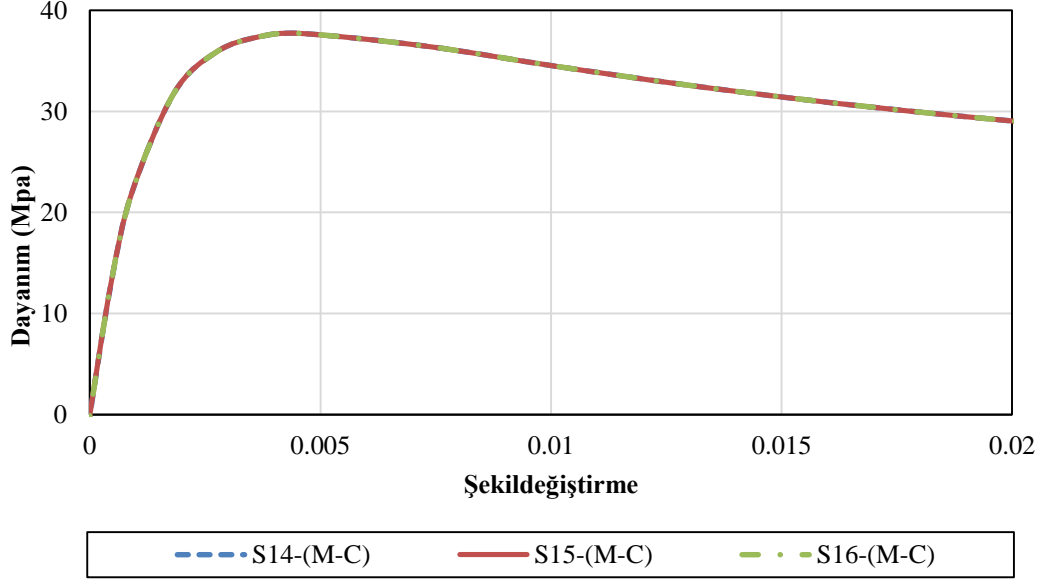
**Şekil 4.10:** Sap2000 programı malzemenin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 4.10'da Sap2000 programının farklı versiyonları için ayrı ayrı tanımlanan beton basınç dayanımı 30 MPa olan malzemenin sargısız olması durumunda dayanım şekildeğiştirme ilişkisinin aynı hesaplandığı gösterilmiştir. Grafikler de programın diğer versiyonları arasındaki karşılaştırma ile uyum sağladığı anlaşılmıştır. Tanımlamalar daha önceki bölümde açıklandığı gibidir.



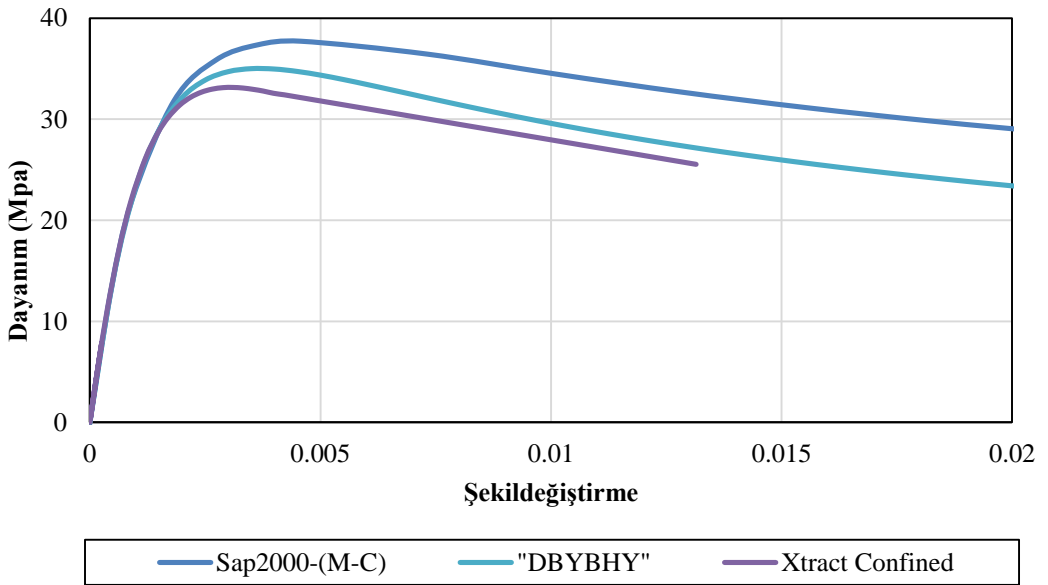
**Şekil 4.11:** Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının malzemenin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 4.11'de Sap2000, Xtract programının ve DBYBHY bölüm 7B de açıklandığı gibi hesaplandığı durumda malzeme modelinin sargısız olması durumu için dayanım şekildeğiştirme ilişkisini göstermektedir. Yapılan karşılaştırma da, grafikten de anlaşıldığı gibi betonun sargısız olması durumunda Sap2000, Xtract ve DBYBHY aynı eğri üzerinde çakışmaktadır.



**Şekil 4.12:** Sap2000 programı malzemenin sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 4.12’de malzemenin sargılı olması durumu için gerilme şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Programlar tarafından hesaplanan ve daha önceki sargısız malzeme modelinde olduğu gibi kendi içinde de aynı sonuçları vermiştir.



**Şekil 4.13:** Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

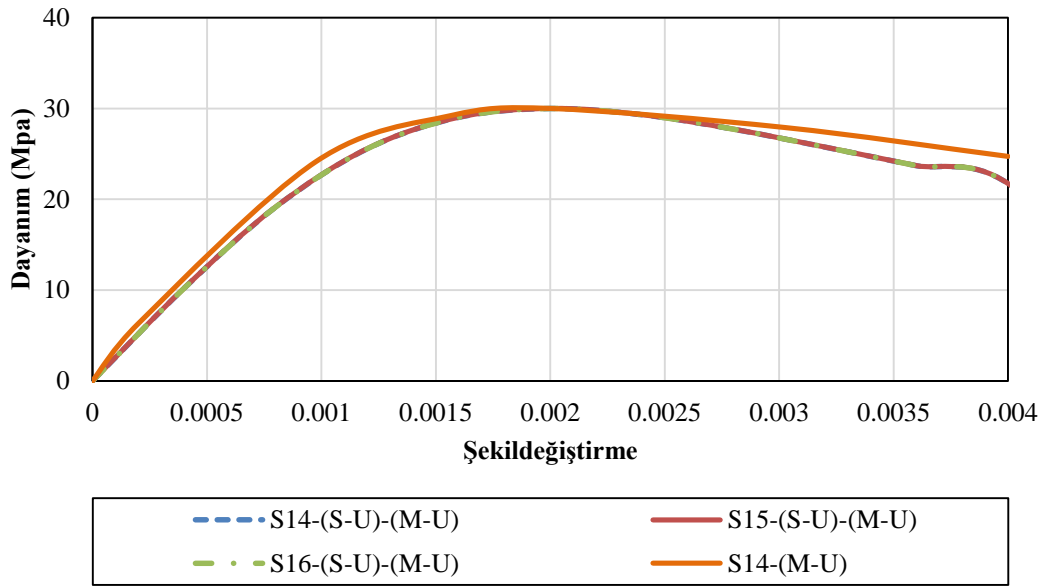
Şekil 4.13’de Sap2000, Xtract programının ve DBYBHY bölüm 7B’de açıklandığı gibi hesaplandığı durumda, malzeme modelinin sargılı olması için dayanım şekildeğiştirme ilişkisi gösterilmektedir. Malzemenin sargılı olması durumu sargısız

olması durumuna göre farklı bir karşılaştırma sonucu vermiştir. Programlar arasında, Sap2000 programı malzemenin sargılı olması halinde daha fazla dayanım kazandığını grafiğe yansımıştır.

**Çizelge 4.1:** Malzemenin sargılı olması durumunda programların karşılaştırılması.

PROGRAM	DAYANIM (MPa)	HATA(%)
Sap2000	37.7	13.6
Xtract	33.2	0.0
DBYBHY	34.9	5.1

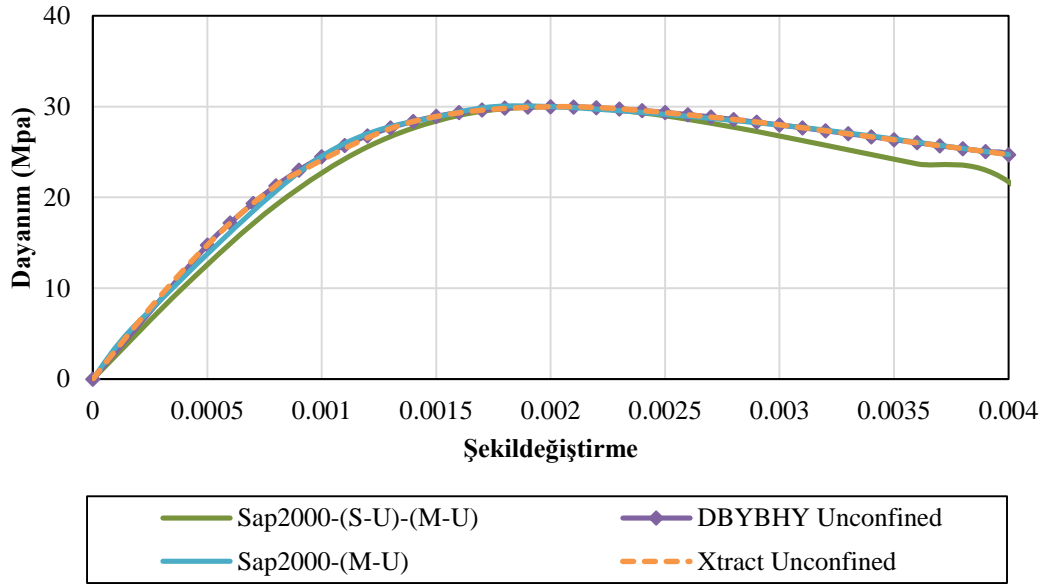
Çizelge 4.1’de farklı ticari programların malzemenin sargılı olması halinde aynı beton, aynı etriye düzeni ve dayanımına sahip kesit için farklı dayanım değerleri vermiştir (Şekil 4.1). Çizelgede bu değerler arasındaki fark, hata yüzdeleri olarak da yansıtılmıştır.



**Şekil 4.14:** Sap2000 programı malzemenin sargısız ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

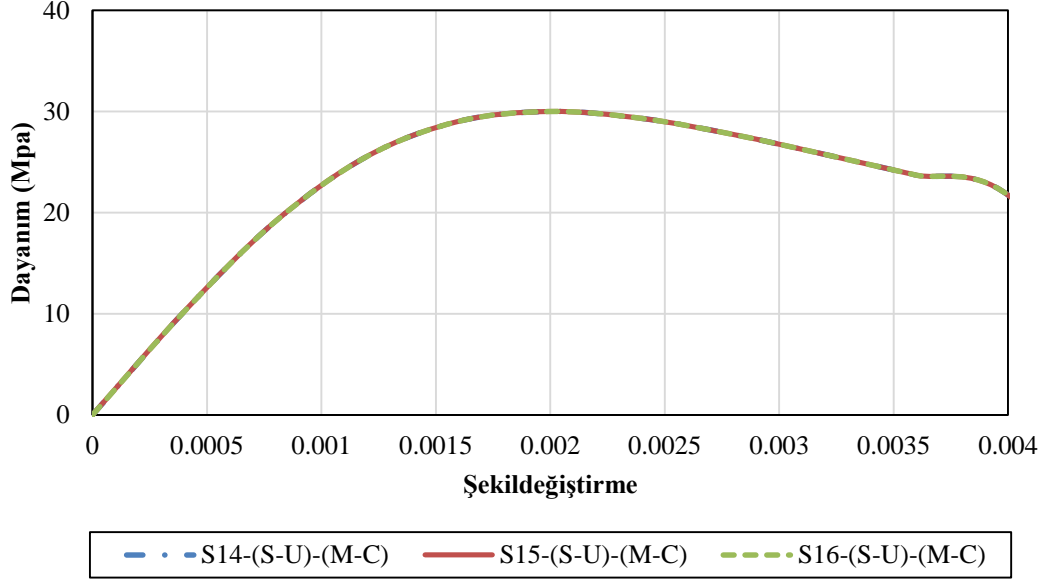
Şekil 4.16’de Sap2000 programının malzeme modelinin sargısız ve kesit modelinde sargısız olması durumunda, Sap2000 ticari programı kesiti sargısız dayanım şekildeğiştirme eğrisi ilişkisi olarak hesaplamaktadır. Aynı grafikte malzemenin de sargısız halindeki dayanım şekildeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Malzemenin sargısız

olması durumu için verilen grafikler ile kıyaslama yapıldığında, kesitin sargısız olması malzemenin sargılı ya da sargısız olmasına bağlı değildir (Şekil 4.10).



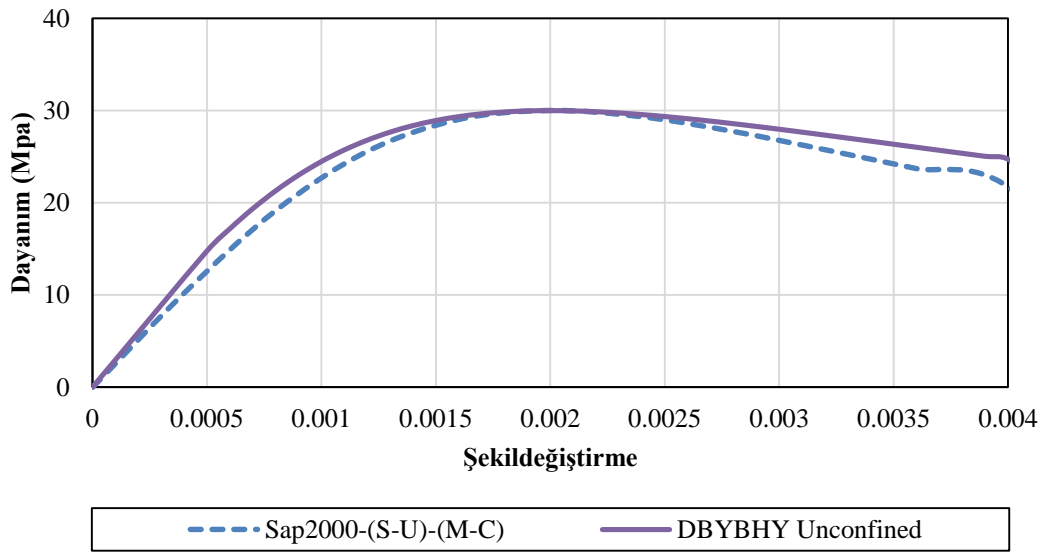
**Şekil 4.15:** Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programının malzemenin sargısız ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 4.15’de Sap2000 ve Xtract (kesit analiz) programları ile DBYBHY’nin Bölüm 7B kısmında anlatılan malzemenin sargısız ve kesitinde sargısız olması durumu için dayanım şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Şekil 4.11 ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuç olarak; malzemenin ya da kesitin sargısız olması durumunda betonun dayanım şekildeğiştirme ilişkileri benzer sonuçlar vermektedir.



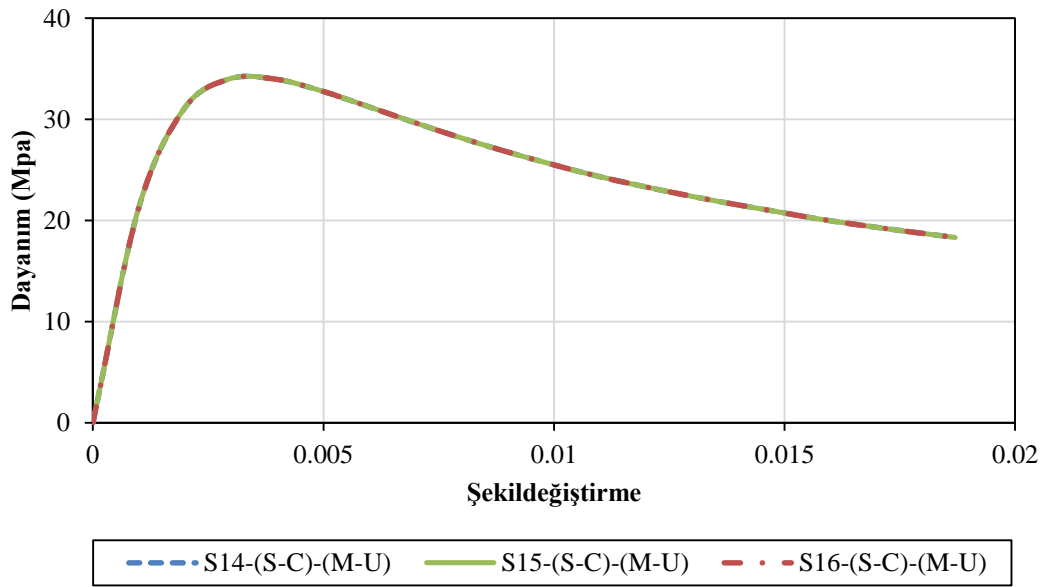
**Şekil 4.16:** Sap2000 programı malzemenin sargılı ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Daha önceki Bölüm 2’de de anlatılan ve Şekil 2.2’de gösterilen sargılı ve sargısız beton basınç dayanım şekildeğiştirme ilişkilerinin arasındaki fark belirgindir. Fakat Şekil 4.16’da gösterilen beton basınç dayanım şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırmasında ise, malzemenin sargılı olması kesitin sargısız dayanım şekildeğiştirme ilişkisine sargısız model gibi etki etmektedir. Malzemenin sargılı ya da sargısız olması, kesitin dayanım şekildeğiştirme ilişkisine herhangi bir etkisi olmamaktadır.



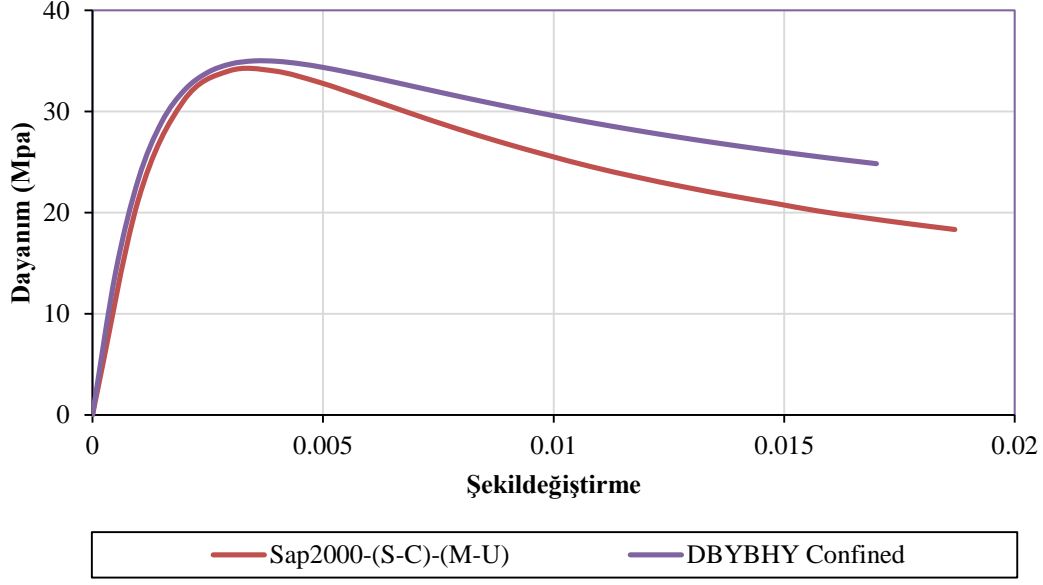
**Şekil 4.17:** Sap2000 programı ve DBYBHY malzemenin sargılı ve kesitin sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Malzemenin sargısız olması durumları için yapılan karşılaştırmalarda, tüm programların benzer hatta aynı sonuçları verdiği hesaplanmıştı (Şekil 4.11). Fakat karşılaştırması yapılan malzemenin sargılı kesitin sargısız olması durumu için yukarıdaki şekilde Sap2000 ve DBYBHY arasındaki kıyaslamada maksimum dayanım değerleri aynı olmasına rağmen, doğrusal şekildeğiştirme değerleri farklı hesaplanmıştır. Xtract programında; malzemenin sargılı olup, kesitin sargısız olması durumunun program seçenekleri içerisinde yer almamasından dolayı karşılaştırmalarda verilememiştir. Şekil 4.11'deki karşılaştırmada, aynı sonuçları vermesi sebebiyle grafiğe yansıtılmamıştır.

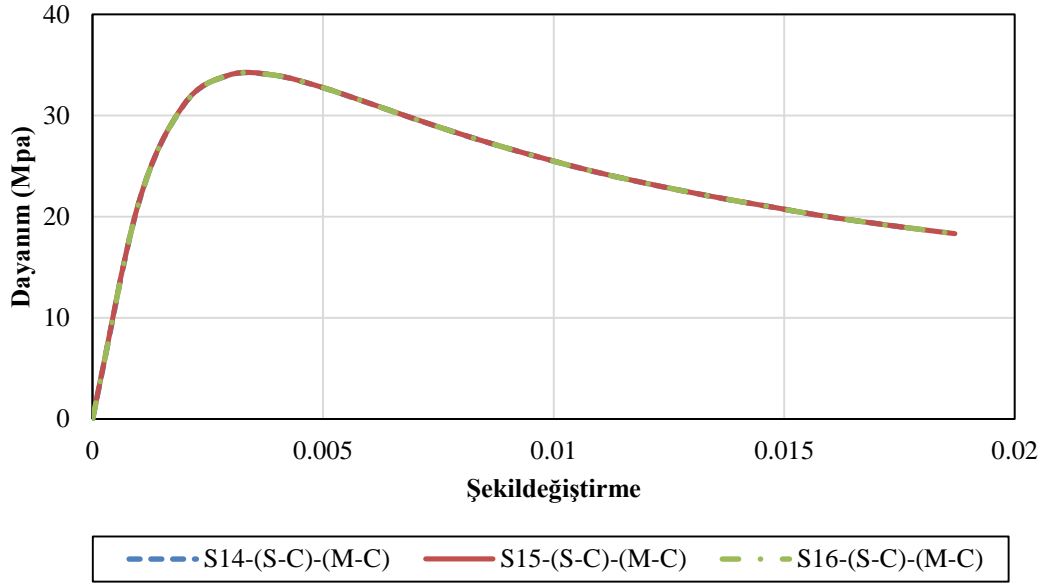


**Şekil 4.18:** Sap2000 programı malzemenin sargısız ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 4.18'de tanımlanan malzemenin sargısız olması durumu halinde, kesitin sargılı olma hali karşılaştırılmıştır. Yapılan kıyaslamada programın versiyonları arasında herhangi bir sonuç değişikliği yoktur. Ayrıca malzemenin sargısız olması dayanım-şekildeğiştirmeye herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

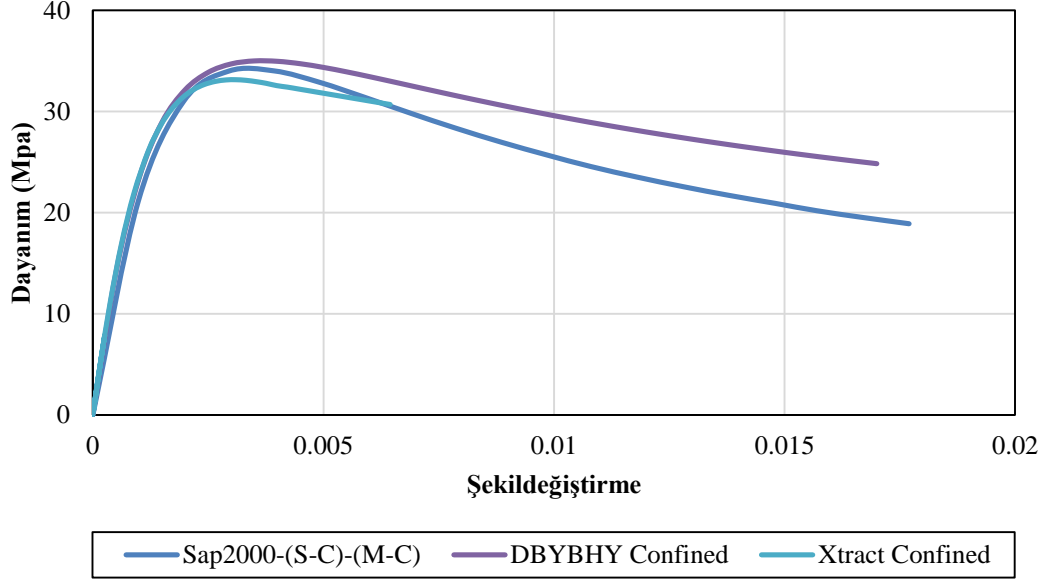


**Şekil 4.19:** Sap2000 programı ve DBYBHY malzemenin sargısız ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

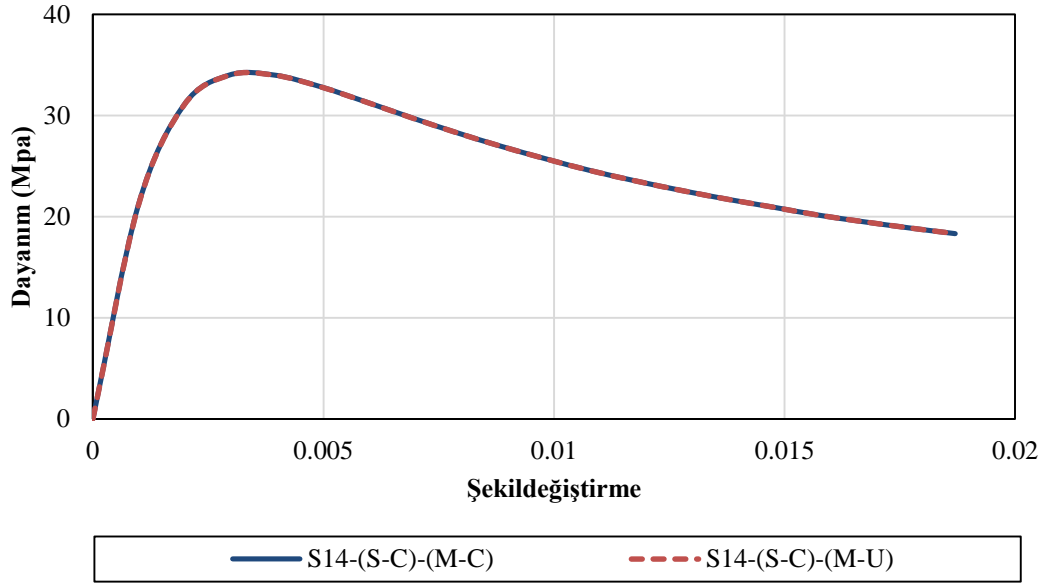


**Şekil 4.20:** Sap2000 programı malzemenin sargılı ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.





**Şekil 4.21:** Sap2000 programı, DBYBHY ve Xtract programı malzemenin sargılı ve kesitin sargılı olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.



**Şekil 4.22:** Kesitin sargılı olması durumunda malzemenin sargılı veya sargısız olması halindeki gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Yukarıdaki çalışmalarda; Sap2000 programının V14, V15, V16 versiyonlarından, Xtract programı ve DBYBHY'den yararlanılmıştır. Çalışmada sadece tek kesit şekil 4.1 ve sabit parametreler kullanılmıştır. 20 farklı analiz yapılmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Çalışmanın Malzeme menüsü ve Section designer menüsü yöntemleriyle ilgili sonuçlara ulaşılmıştır:

- Sap2000 programının çeşitli versiyonları belirlenen kesit için aynı sonuçlar vermektedir. (İki yöntem)
- Malzemenin sargılı ya da sargısız olması Sap2000 programında tarafından hesaplanan dayanım şekildeğiştirme ilişkisinde aynı sonuçlar vermektedir. (Malzeme menüsü yöntemi)
- Malzemenin sargılı ya da sargısız olması, kesitin sargılı ya da sargısız olmasına göre değişmektedir. Kesit sargılı ise bu duruma göre beton dayanım şekildeğiştirme ilişkisi hesaplanmakta, sargısız olması durumunda bu ilişki dikkate alınıp hesap yapılmaktadır. (Section designer menüsü yöntemi)
- Sap2000, Xtract programlarının sonuçları arasında benzer bir dayanım şekildeğiştirme ilişkisi var iken, DBYBHY'07 bilgilendirme eki 7B'deki beton dayanım şekildeğiştirme ilişkileri arasında fark vardır. Bu fark şekildeğiştirmelerin eşit olduğu değer de yüksek dayanım sonucunu vermektedir. Bu da kesitin daha fazla bir dayanım da kesitin plastikleşmeye ulaşacağını ifade etmektedir.

#### **4.4 Yapısal Eleman Kesitlerinin Moment Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması**

Daha önceki bölümlerde detaylı anlatıldığı üzere, moment eğrilik ilişkisi doğrusal olmayan analiz için önemli bir tanımlamadır. Bu tanımlama, kesitin elastik davranışının sona ermesi ile sabit moment etkisi sonucu şekildeğiştirmenin devam etmesini, kesitin plastikleşme davranışını ifade eder. Çalışmanın bu bölümünde, malzeme, kesit ve donatı özelliklerinin değiştirilmesi Şekil 4.1'de ki kesit kullanılarak Sap2000 programında moment-eğrilik ilişkisindeki değişimler araştırılmıştır.

Malzeme değişkeninde, programda tanımlanan malzemenin sargılı ya da sargısız olması durumu dikkate alınmıştır. Kesit değişkeni ise programa tanımlanan kesitin tek parça olarak tanımlanması, program tarafından otomatik tanımlanması veya iki farklı kesit (sargılı ya da sargısız) olarak tanımlanması ile analizler yapılmıştır. Donatı değişkeninde otomatik olarak program tarafından atama, kullanıcı tarafından atama gibi çeşitli yollar ile tanımlamalar yapılmış ve analizler tamamlanmıştır.

Kesitleri tanımlarken kullanılan kısaltmalar ve açıklamaları aşağıdaki gibidir:

**Çizelge 4.2:** Araştırılan kesitlerdeki tanımlamalar.

	<b>Par 1*</b>	<b>Par 2*</b>	<b>Par 3*</b>	<b>Par 4*</b>	<b>Par 5*</b>	<b>Par 6*</b>
<b>Kesit-1</b>	C	-	A	-	C	-
<b>Kesit-2</b>	C	-	A	-	U	-
<b>Kesit-3</b>	U	-	A	-	C	-
<b>Kesit-4</b>	U	-	A	-	U	-
<b>Kesit-5</b>	C	-	M	S	C	-
<b>Kesit-6</b>	C	-	M	D	C	-
<b>Kesit-7</b>	U	-	M	S	C	-
<b>Kesit-8</b>	U	-	M	D	C	-
<b>Kesit-9</b>	U	C	M	-	C	U
<b>Kesit-10</b>	U	U	M	-	U	U
<b>Kesit-11</b>	U	C	A	-	C	U
<b>Kesit-12</b>	U	U	A	-	U	U

Par1\*: Çekirdek betonu için kullanılan betonun malzeme özelliklerinde sargılı ya da sargısız olarak atanması durumu (C: sargılı, U: sargısız)

Par2\*: Kabuk betonu için kullanılan betonun sargılı ya da sargısız olarak atanması durumu (C: sargılı, U: sargısız)

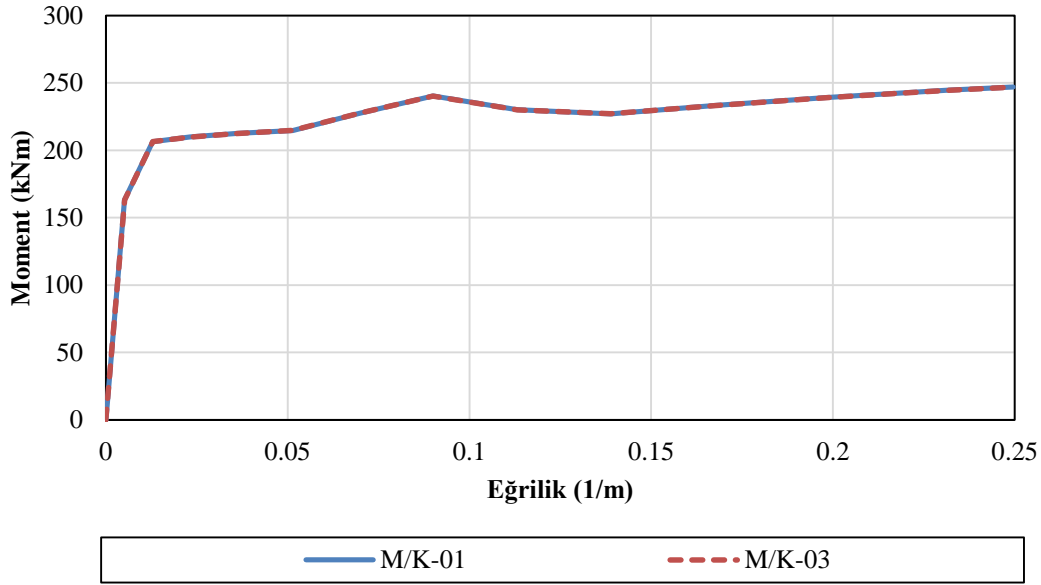
Par 3\*: Kesitin donatısının kullanıcı ya da program tarafından atanması (A: program, M: kullanıcı)

Par 4\*: Kesitteki donatının kullanıcı tarafından atanması halinde program tarafından atanan donatı ile özelliklerinin aynı ya da farklı olması hali (S: aynı, D: farklı)

Par 5\*: Çekirdek betonu için kullanılan betonun kesit özelliklerinde sargılı ya da sargısız olarak atanması durumu (C: sargılı, U: sargısız)

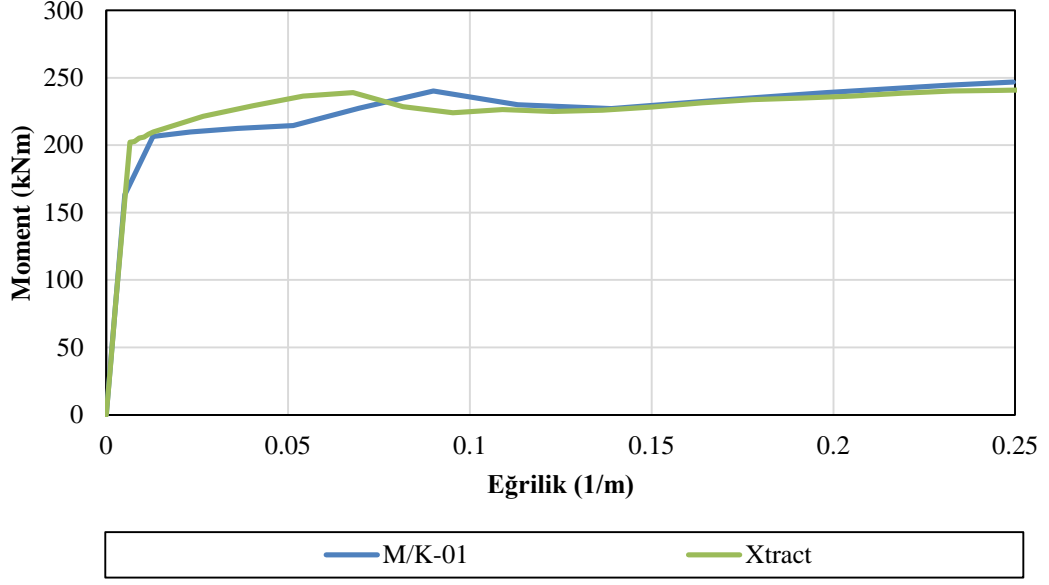
Par 6\*: Kabuk betonu için kullanılan betonun kesit özelliklerinde sargılı ya da sargısız olarak atanması durumu (C: sargılı, U: sargısız)

Şeklinde tablodaki değerler açıklanmıştır. Kesitler yukarıdaki gibi tanımlanarak analiz edilmiş ve aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmaları gösterilmiştir. Programa tanımlanma seçenekleri Ek-A'da verilmiştir.



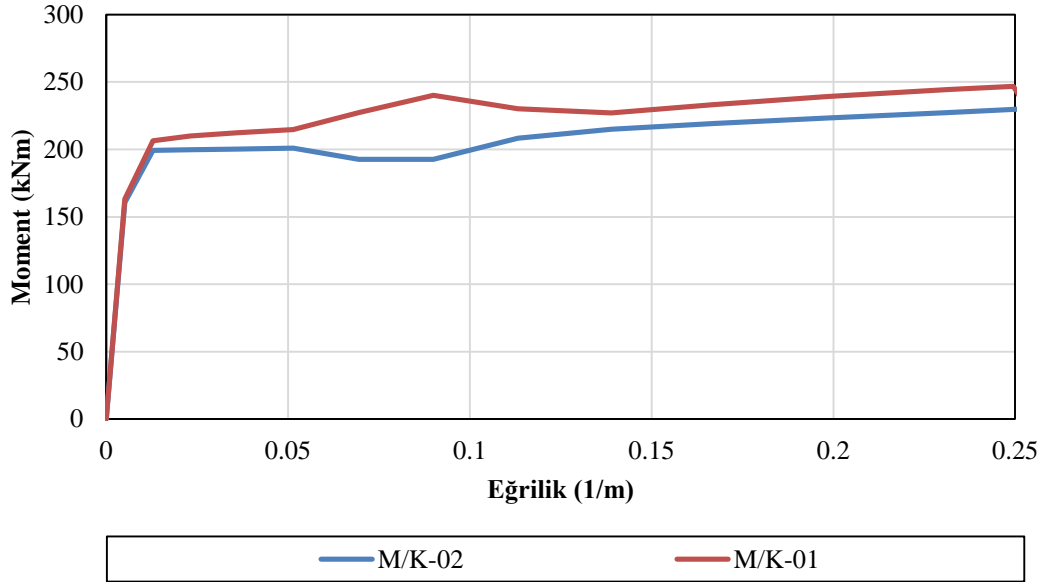
**Şekil 4.23:** Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-3 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

Şekil 4.1'de kabul edilen kesitin; beton malzemesi hakkındaki bilgi daha önceki Bölüm 4.2'de sargısız ve sargılı durumlarının dayanım şekil değiştirme ilişkisi verildiği gibidir. Donatı çeliğinin de aynı bölümde tanımlandığı gibi, beton malzemesinin sargısız veya sargılı olması arasında moment eğrilik ilişkisi açısından herhangi bir farklılık Sap2000 programında bulunamamıştır (Şekil 4.23).



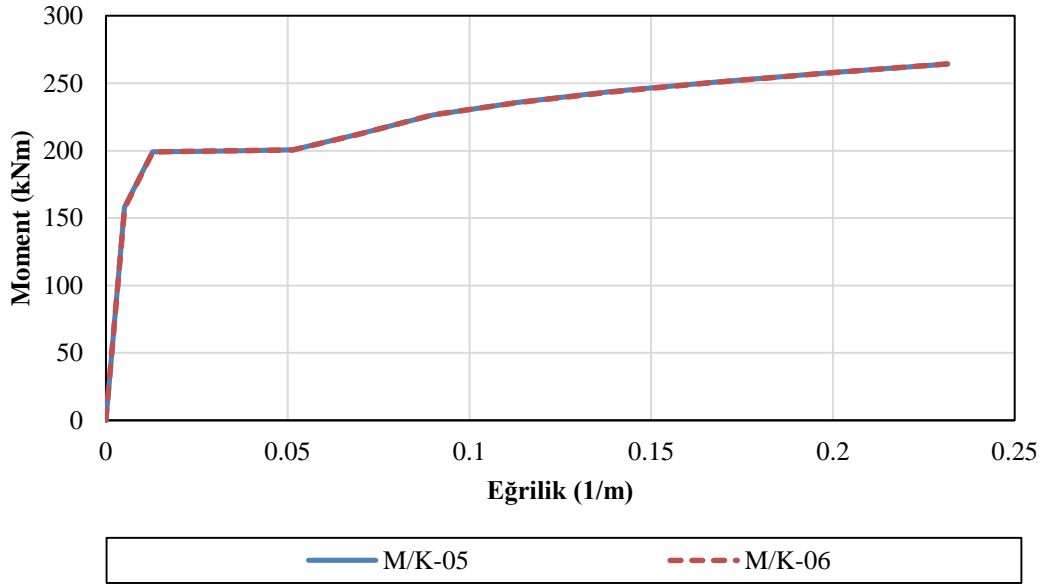
**Şekil 4.24:** Xtract ve Sap2000 programında kesit-1 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

Şekil 4.23’de yapılan çalışmanın aynısı Xtract programında yapılmıştır. İki program arasındaki karşılaştırma da moment eğrilikleri farklılık göstermektedir (Şekil 4.24). İki program da kesitin akma moment-eğrilik değerlerini aynı hesaplarken, ara değerlerde yani kesitin sünek davranış gösterdiği değerlerde farklı moment-eğrilik değerlerini hesaplamaktadır.



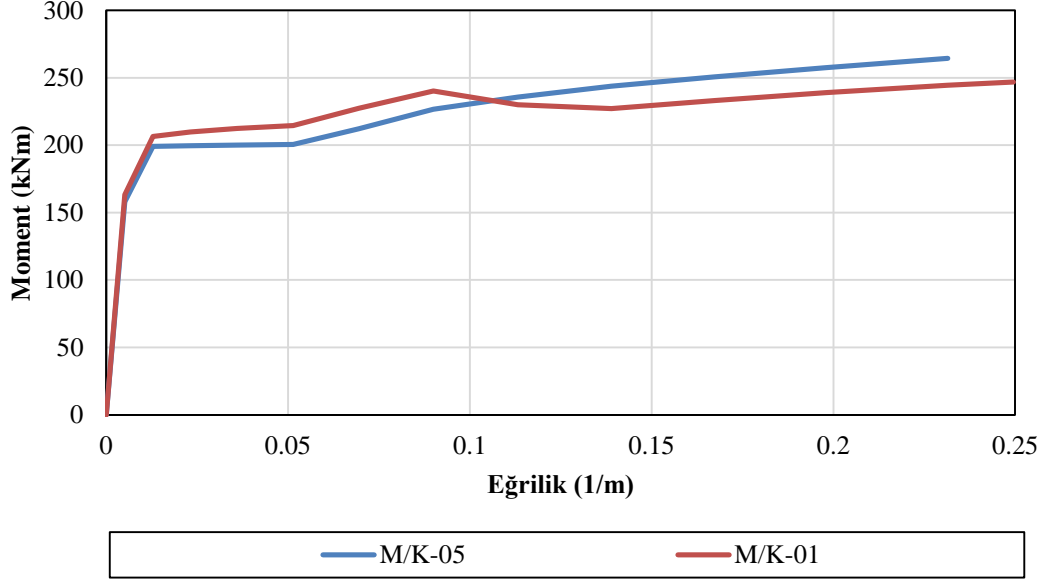
**Şekil 4.25:** Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-2 için moment-eğrilik karşılaştırması.

İki kesitin sadece kesit modeli sargılı ya da sargısız olarak tanımlama değışkenlik göstermektedir. Diğer parametreler iki kesit içinde sabittir. Kesit-1 ile kesit-2 arasındaki karşılaştırma şu şekildedir: Sap2000 programının kesitin sargılı ya da sargısız olması moment-eğrilik ilişkisine belirli bir değere kadar herhangi bir değışiklik olmadığını göstermiştir(Şekil 4.25). Bu eğrilik değeri kesitin sünekliğini etkiler yani daha fazla enerji yutma özelliğini değıştirir. Plastikleşme momentinin ise aynı olduğu hesaplanmıştır.



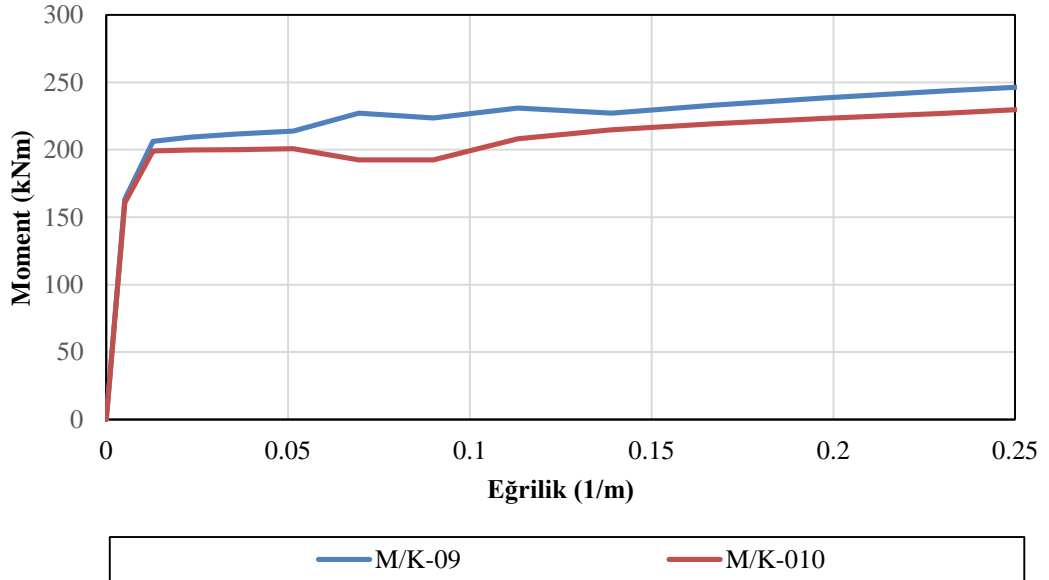
**Şekil 4.26:** Sap2000 programında kesit-5 ve kesit-6 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

İki kesitin karşılaştırılması malzemeyi tanımlarken sargılı modeldeki donatı ile kesit tanımlarken donatının aynı ya da farklı olması arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi içindir. Sonuç olarak Şekil 4.26'da görüldüğü gibi iki kesitin bu özelliği moment-eğrilik ilişkisine aynı grafikte yansımaktadır.



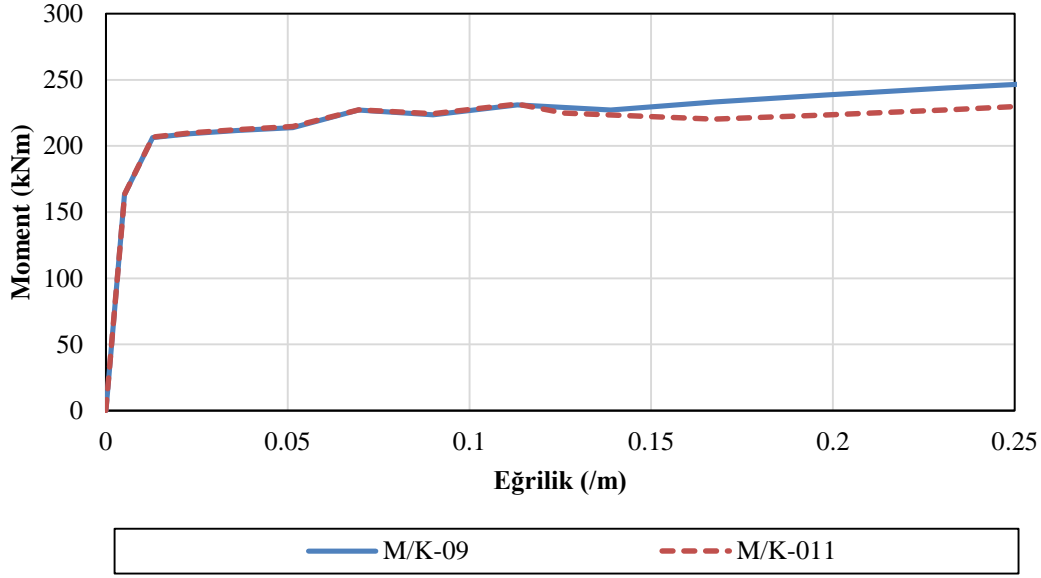
**Şekil 4.27:** Sap2000 programında kesit-1 ve kesit-5 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

İki kesitin karşılaştırılmasının nedeni, kesiti tanımlarken girilen donatının program tarafından (kesit-1) ya da kullanıcı tarafından (kesit-5) girilmesi durumlarındaki değişimin anlaşılabilmesi içindir. Şekil 4.27’de bu ilişki grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, donatının iki şekilde girilmesi arasında farklılıklar vardır.



**Şekil 4.28:** Sap2000 programında kesit-9 ve kesit-10 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

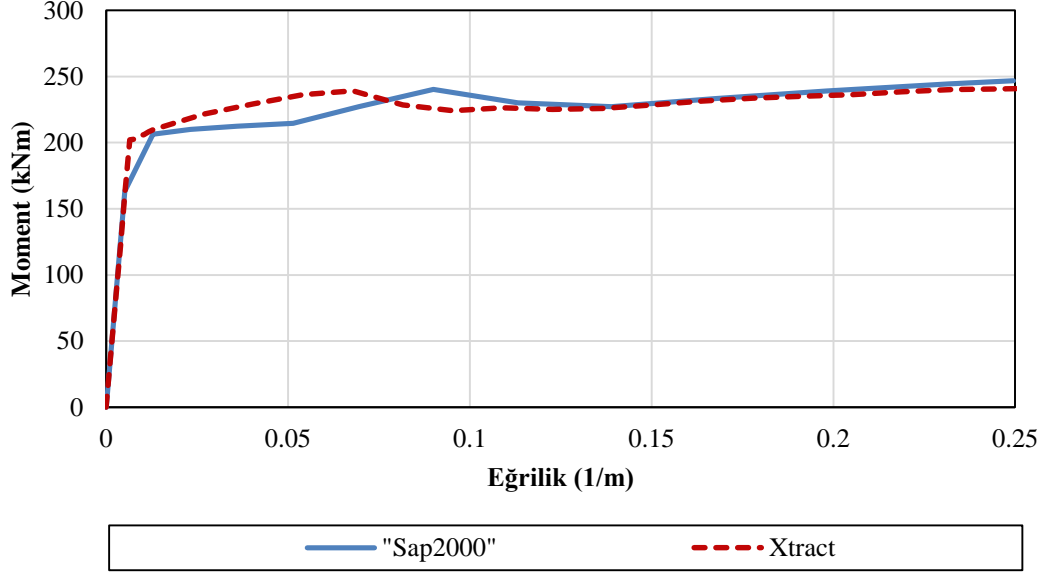
İki kesitin tanımlanmasında, kesitin kabuk betonunun ayrı, çekirdek betonunun ayrı olarak girilmesi ve sadece değişken parametre olarak çekirdek betonu seçilerek değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda çekirdek betonunun malzeme özelliklerinde sargılı olması durumu ile sargısız olması durumları arasında farklılıklar olduğu hesaplanmıştır. Sargılı olan modelin moment-eğrilik ilişkisinin diğer modele göre daha fazla olduğu Şekil 4.28’de hesaplanmıştır.



**Şekil 4.29:** Sap2000 programında kesit-9 ve kesit-11 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

İki kesitin tanımlanmasında, kesit-9 ile kesit-10’nun tanımına ek olarak donatının kullanıcı tarafından ya da program tarafından girilmesi değerlendirilmiştir. Sonuç Şekil 4.29’da ki gibi belirli bir eğriliğe kadar aynı olan moment değeri ve o değerden sonra değişkenlik göstermektedir.





**Şekil 4.30:** Sap2000 ile Xtract moment-eğrilik karşılaştırılması.

Bu iki program kullanılan kesit için yaklaşık aynı grafiği göstermekle beraber nihai olarak tanımlanan eğriliği de yaklaşık değerdedir.

Genel sonuç olarak,

- Ticari programlarda yapılan karşılaştırmalarda malzeme karşılaştırmasında karşılaşılan sonuç gibi kesitin sargılı yada sargısız olması moment eğrilik ilişkisini etkilememektedir.
- Kesitin tanımlanırken kullanıcı kontrollü ya da program kontrollü olarak girilen donatı düzeninde yapılan karşılaştırmada moment eğrilik ilişkileri farklılık göstermektedir.



## 5. ÇUBUK YAPISAL ELEMAN VE YAPISAL SİSTEMLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞININ ÖRNEKLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

### 5.1 Giriş

Bu bölümde; ilk olarak doğrusal modellerde dönme yayı araştırılmıştır. İkinci kısımda ise, iki boyutlu taşıyıcı sistemler seçilerek doğrusal olmayan çeşitli analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu bölümde karşılaştırılan bütün yapısal sistem ve modellerde, Sap2000 ile Perform3D ticari programları kullanılmıştır. Modellerde doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Sonuçlar ise, yapısal sistem ve eleman bazında verilmiştir.

Bu çalışmanın ilk bölümünün amacı; doğrusal olmayan modellerin incelenmeden önce doğrusal modeller ile aralarındaki sonuç farklılıklarının nasıl olduğunu araştırmaktır. İkinci ve asıl çalışmada ise, yapısal sistemlerin doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin ticari programlar tarafından elde edilen sonuçlarını karşılaştırmasıdır.

Doğrusal modellerde doğrusal olmayan davranışın araştırılması aşamasında, dönme yaylarının plastik bölgeye geçmeden elde edilen sonuçların elastik sistemle arasındaki farkı irdelenmektedir.

Yapısal sistemlerdeki doğrusal olmayan analiz araştırmalarında; çubuk çerçeve taşıyıcı sistem olarak;

- Konsol kolon çubuk,
- Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve,
- Çok katlı ve çok açıklıklı çubuk çerçeve sistemler seçilmiştir.

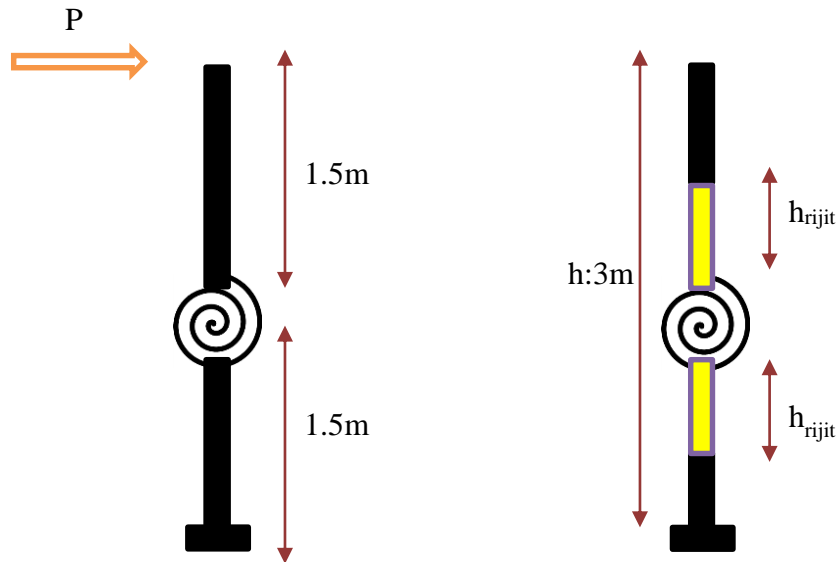
Seçilen her model için;

- mafsalların sonuçları,
- yapısal sistemi oluşturan çubuk çerçeve elemanlarının sonuçları,

- yapısal sistemin doğrusal olmayan davranış sonuçları araştırılıp karşılaştırılmıştır.

## 5.2 Doğrusal Analizlerin Karşılaştırılması

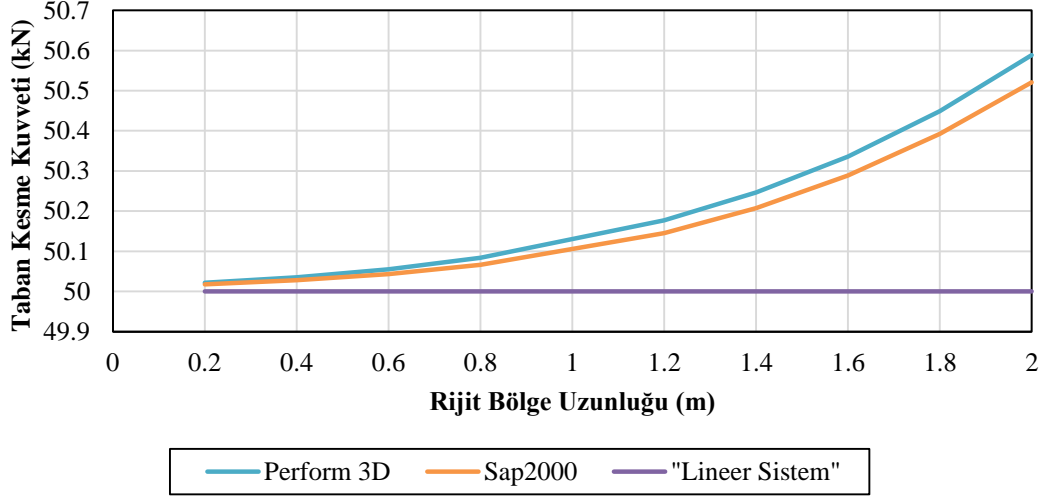
Doğrusal modellerdeki araştırmanın amacı, doğrusal olmayan mafsal modellerindeki dönme yayının ne gibi parametrelere bağlı olduğu ve nasıl sonuçlar ile karşılaşılabileceğinin araştırılmasıdır. Plastik mafsalı doğrusal olmayan analiz modellerinde rijit plastik mafsal olarak tanımlanamaz mümkündür. Bu tip mafsal modelinde yapısal eleman akma kuvvetine gelinceye kadar herhangi bir şekil değiştirmeye uğramaz. Mafsal başta sonsuz rijit kabul edilir. Mafsalın akma kuvvetine ulaştıktan sonra döndüğü varsayılır.



**Şekil 5.1:** Konsol kolon için yığılı plastik mafsal ve rijit bölge örneği.

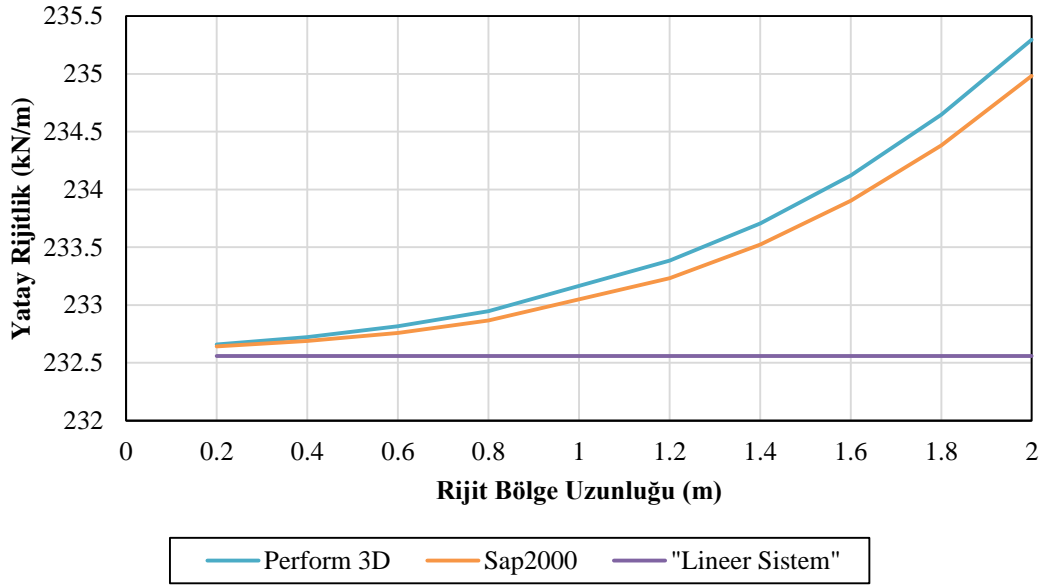
Konsol kolon olarak tasarlanan bu tip model de rijit bölge farklı uzunluklar seçilerek doğrusal statik itme analizleri yapılmıştır. İtme analizlerin de sabit yatay bir yük uygulanmıştır.

Şekil 5.1'de rijit bölge içerisinde tanımlanan plastik mafsal eşdeğer sistem olarak isimlendirilmiştir. Doğrusal sistem ise konsol tek bir parça kolon sistemi olarak adlandırılmıştır. Bu iki sistem arasında tabanda oluşacak moment ile rijit bölge uzunluğu arasında ki karşılaştırma yapılmıştır. Rijit bölge uzunluğu arttıkça sistemin tabanında oluşan moment değeri artmaktadır.



**Şekil 5.2:** Konsol kolon için rijit eleman uzunluğu taban kesme kuvveti karşılaştırılması.

Şekil 5.2’de ise yayların ucunda bulunan rijit bölgenin uzunluğunun tabanda oluşan kesme kuvvetiyle arasındaki ilişki grafiksel olarak yansıtılmıştır.



**Şekil 5.3:** Konsol kolon için rijit eleman uzunluğu yatay rijitlik karşılaştırılması.

Yukarıdaki grafikte, konsol kolonun tepe yerdeğiştirme değerinin, rijit eleman uzunluğuyla arasındaki karşılaştırma yapılmıştır. Doğrusal sistemle olan karşılaştırmalardan anlaşılabilir; rijit bölge uzunluğu arttıkça yapının rijitliği artmaktadır. Bu bölümde yapılan çalışma da, plastik mafsallın iki rijit bölge içerisinde oluştuğu ve bu bölgelerin uzunluklarının herhangi bir mafsall oluşmamış doğrusal bir sistem ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapısal sistemdeki kesitin eğrilik isteminin elastik bölge ve inelastik bölge olarak idealleştirilebileceğinden bahsedilmiştir. Bu elastik dağılımın, dönme ve ötelenme olarak yapıya etkileyen moment-rijitlik denklemleri kullanılarak hesaplanabileceği anlatılmıştır. İnelastik bölgenin, plastik mafsalsın kesitin kritik olan bölgesinde oluşağını söylemiştir (Park and Pauley).

### **5.3 Konsol Kolon Çubuk Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması**

Daha önceki bölümler de, konsol kolon yapısal çubuk sistemin doğrusal davranışı araştırılıp çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde doğrusal olmayan davranışın çeşitli yükleme durumları için karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 3.1’de gösterilen yapısal model kullanılmıştır. Bu bölümün alt bölümlerinde, mafsals modelleri olarak;

- moment-eğrilik mafsalsı,
- moment-eksenel yük etkileşim mafsalsı,
- fiber mafsals tipleri kullanılmıştır.

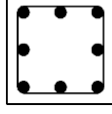
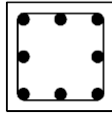
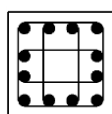
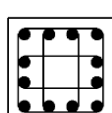
Yapısal analiz yöntemleri olarak ise;

- statik itme analizi
- zaman-tanım alanında analiz yöntemleri kullanılmıştır.

Analizlerin uygulanışında kolon yapısal elemanı üzerindeki basınç değerinin, ekstenel yük moment etkileşim mafsalsı üzerine olan etkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, çeşitli ekstenel yükleme durumları sisteme uygulanarak mafsalsın davranışları karşılaştırılmıştır.

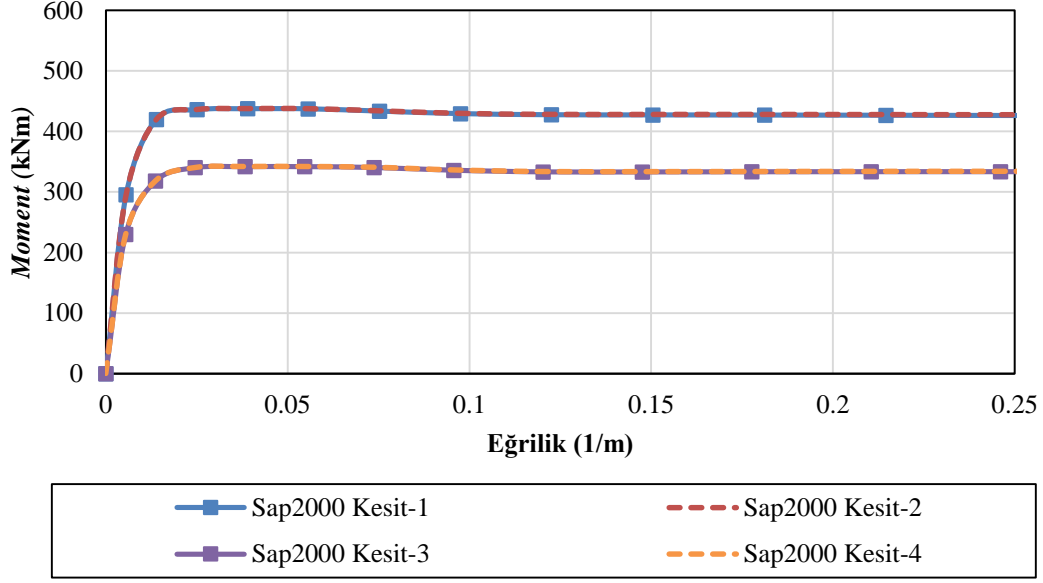
Aşağıdaki Çizelge5.1’de kesitler ve donatı detayları verilmiştir. Dört adet kesit belirlenmiş, boyutları sabit tutularak farklı düşey donatı ve etriye oranları seçilmiştir. Daha sonra moment-eğrilik karşılaştırmaları Sap2000 ve Xtract ticari programları tarafından yapılmıştır. Aynı kesitlere farklı doğrusal olmayan tipte analizler belirlenerek, konsol kolondaki doğrusal olmayan davranışların Perform-3D ve Sap2000 programları tarafından analizleri gerçekleştirilip karşılaştırmaları yapılmıştır.

**Çizelge 5.1:** Yapısal elemanlarda kullanılacak kesitler.

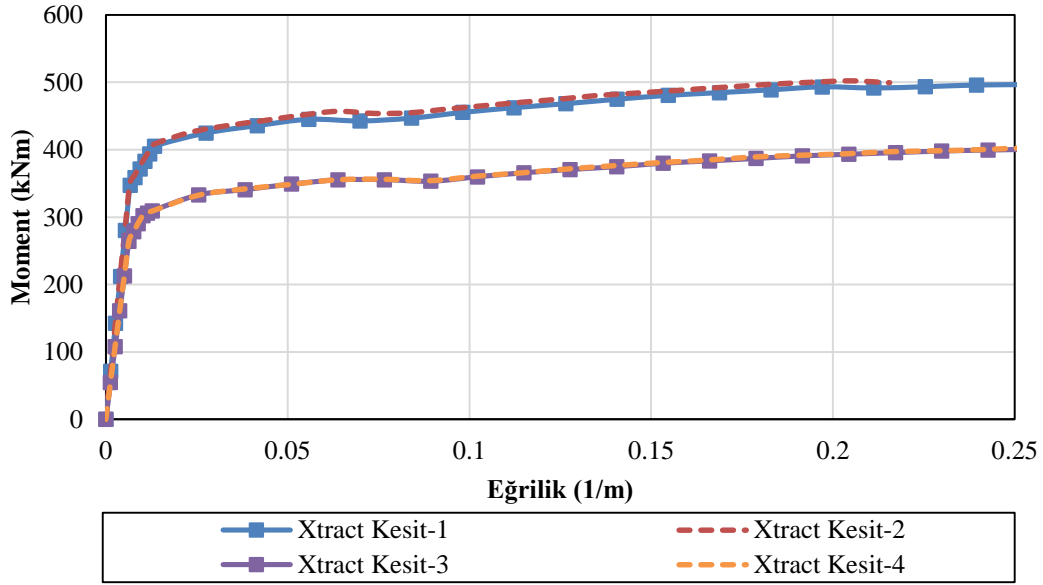
Kesit İsmi	Kolon Kesiti	Kesit Boyutları (cm)	Düşey Donatı	Yatay Donatı	Düşey Donatı Oranı
Kesit-1		50x50	8Ø30	Ø12/10	0.0226
Kesit-2		50x50	8Ø30	Ø12/8	0.0226
Kesit-3		50x50	12Ø20	2Ø12/10	0.0151
Kesit-4		50x50	12Ø20	2Ø12/8	0.0151

### 5.3.1 Konsol kolonda moment-eğrilik mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile elde edilen doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması

Yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları etkileyen çeşitli parametreler vardır. Tez çalışmasının kapsamında, bu parametrelerin yapısal elemanın doğrusal olmayan davranışı nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu kapsamda belirlenen kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri ve analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yatay itme analizleri konsol kolonun tepe deplasman değeri yüksekliğin %5'i mertebelerinde olacak şekilde yapılmıştır.



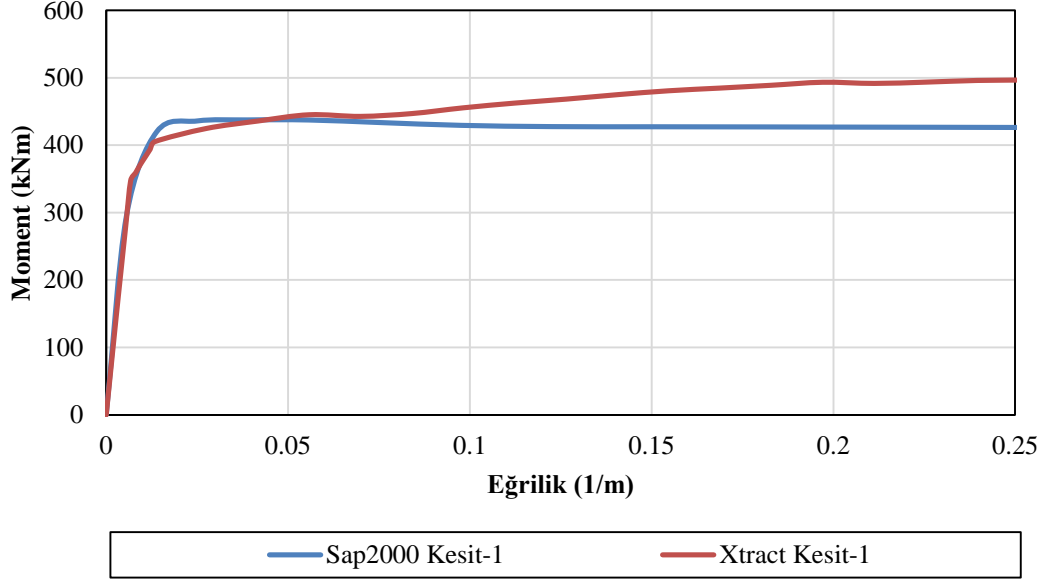
Şekil 5.4: Sap2000 programınca kullanılan kesitlerin moment eğrilik ilişkileri karşılaştırmaları.



Şekil 5.5: Perform3D programınca kullanılan kesitlerin moment eğrilik ilişkileri karşılaştırmaları.

Kesitlerin moment eğrilik ilişkileri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de ki grafiklerde gösterilmiştir. Boyuna donatı arttıkça, kesitlerin moment akma değerinin arttığı bu karşılaştırmada açıkça görülmektedir.

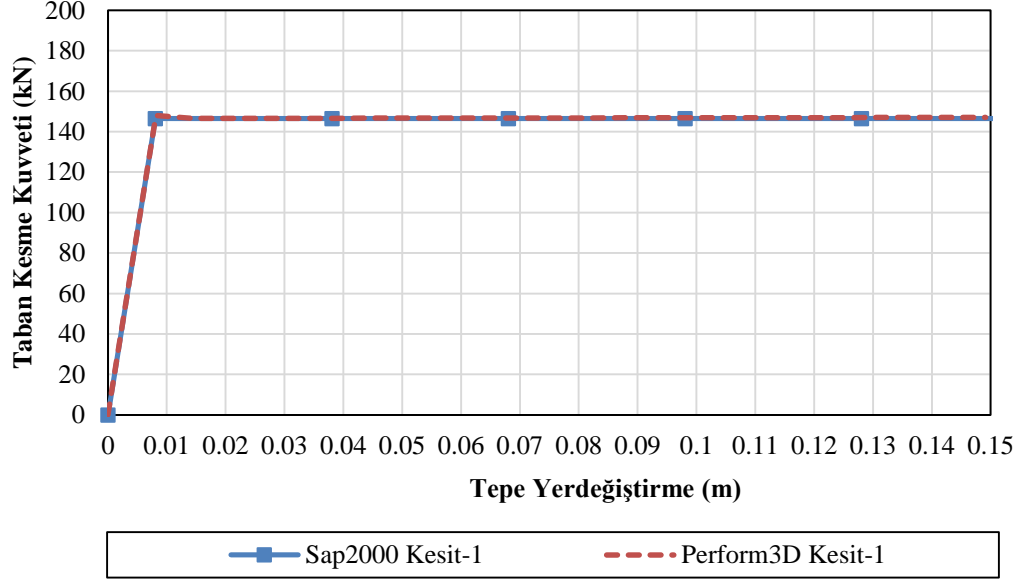




**Şekil 5.6:** Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-1 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

Kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinin programlar tarafından karşılaştırılması sonucunda iki programın farklı değerler verdiği hesaplanmıştır (Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6). İki program, kendi içerisinde aynı yöntemler ile tanımlanan modellerin karşılaştırılmasında benzer sonuçları vermiştir. Fakat programların seçilen kesit-1 modelindeki karşılaştırmasında, Sap2000 programı elastik bölgeden sonra kesitin moment değerinin sabit devam edip güç tükenmesine ulaştığı sonucunu vermiştir. Xtract programı ise aynı kesitin elastik dönme sınırından sonra pekleşme oluşarak, artan moment değerleriyle elastik ötesi dönme üst sınırına ulaşacağı sonucunu vermektedir.

Moment eğrilik ilişkilerinin doğrusalleştirme aşamasında, bu farklılığın analiz sonuçlarını etkilemesi beklenir. Çünkü; doğrusalleştirme teknikleri arasında elastik kısmın iki program tarafından yaklaşık aynı eğimle hareket ettiği varsayılır. Elastik ötesi kısımda pekleşmesiz bir doğrusalleştirme, Sap2000 tarafından verilen sonuç vermektedir. Fakat pekleşmenin dikkate alınacağı analizlerde, Xtract programının verdiği sonuç gibi olması beklenir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, kesitlerin elastik ötesi davranışlarını tanımlayabilmek için Xtract programının vermiş olduğu moment-eğrilik ilişkileri kabul edilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda, Sap2000 ve Perform3D ticari programları kullanılarak kolon kesitleri tanımlanmıştır. Konsol kolon modeli oluşturulmuş ve yukarıda tanımlanan kesitler atanmıştır. Matematiksel modeller oluşturularak farklı kolon kesitleri için itme analizi uygulanmıştır.



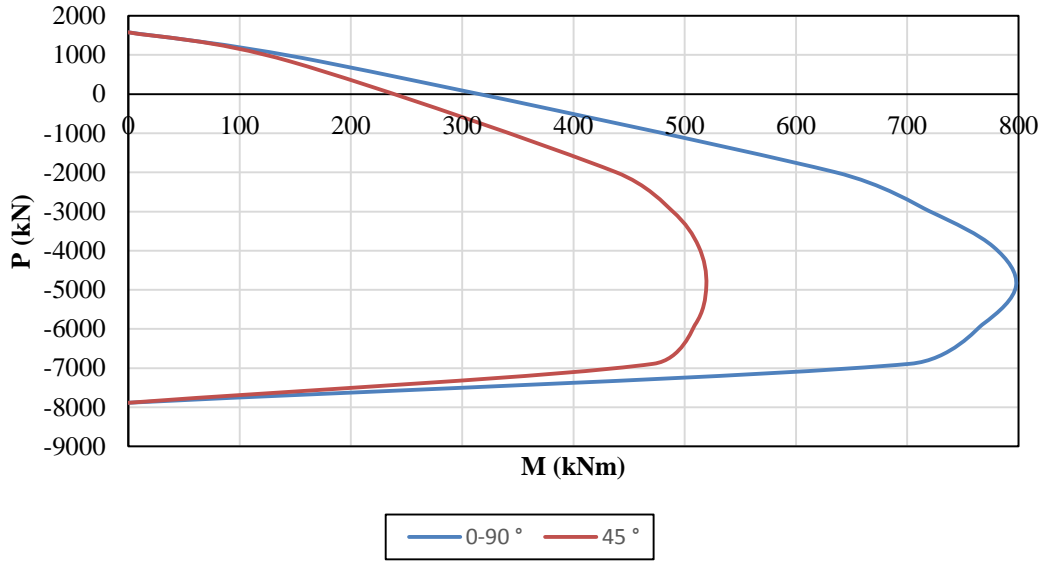
**Şekil 5.7:** Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-1 için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme karşılaştırılması.

Şekil 5.7’de kesit-1 için tanımlanan moment-eğrilik ilişkileri atanarak, Sap2000 ve Perform-3D programları tarafından itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada mafsal tipi olarak, aksenal yükün taşınmadığı varsayılan kirişlere tanımlanan doğrusal olmayan davranış modeli seçilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan bölümler de, konsol kolonun tabanında hesaplanan kesme kuvveti ve buna karşılık gelen tepedeki yatay yerdeğiştirme değerlerinin aynı değere sahip olduğu hesaplanmaktadır. Bu analiz de, seçilen mafsal tipinin davranışının aksenal yük değeriyle olan ilişkilerini karşılaştırılmıştır. İlerideki bölümlerde bu araştırmanın daha kesin sonuçlarına ulaşılabacaktır. Diğer kesitlerin sonuçları Ek-B’da verilmiştir.

### **5.3.2 Konsol kolonda moment-aksenal yük etkileşim mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile elde edilen doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması**

Yapı elemanlarından olan kolonlar, çerçeve kirişleri tarafından taşınan düşey yükleri alarak temele aktardıklarından dolayı sürekli aksenal yüklere maruz kalırlar. Ayrıca yanal yükler altında bu yükler değişkenlik gösterebilir. Kolonların bu davranışlarını modelleyebilmek için, Bölüm 3’de anlatılan üç boyutlu etkileşim yüzeyine sahip mafsal modeline ihtiyaç vardır. Bu yüzey her aksenal kuvvet için hesaplanan moment-eğrilik ilişkisini içermektedir. O aksenal kuvvete karşılık olarak hesaplanan moment-

eğrilik grafiğindeki plastik moment değeri bu yüzeyi tanımlar. Aşağıda kesit-1 için örnek üç boyutlu etkileşim yüzeyi 0, 45 ve 90 derece için gösterilmiştir.



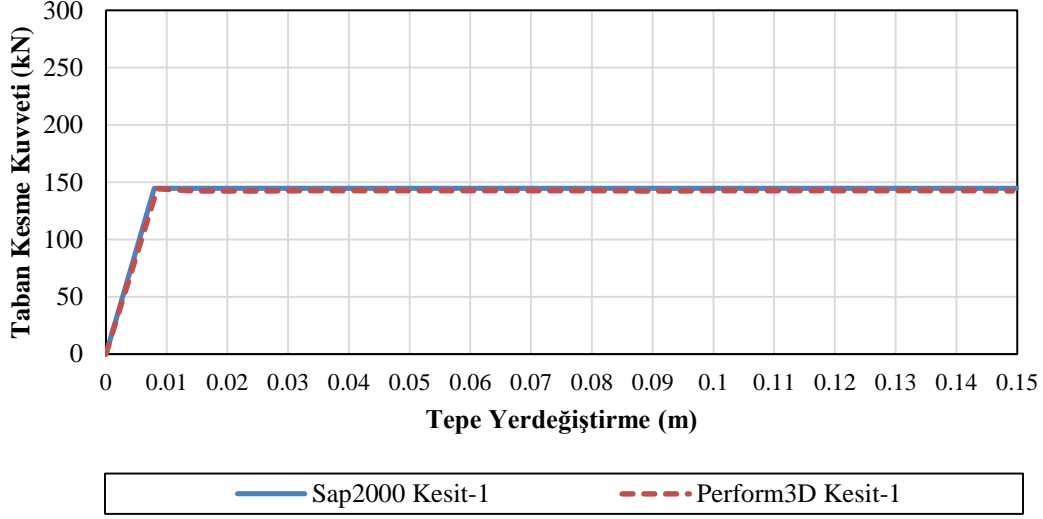
**Şekil 5.8:** Kesit-1'in aksenal yük-moment ilişkisinin üç boyutlu etkileşim yüzeyi.

Bu tip mafsali tanımlarken, kesitin belirli aksenal yük durumlarında akmaya götüren moment değerini hesaplayarak üç boyutlu bir etkileşim yüzeyi oluşturur. Bu yüzey kesitin doğrusal olmayan davranışının matematiksel mafsali modelini oluşturmaktadır.

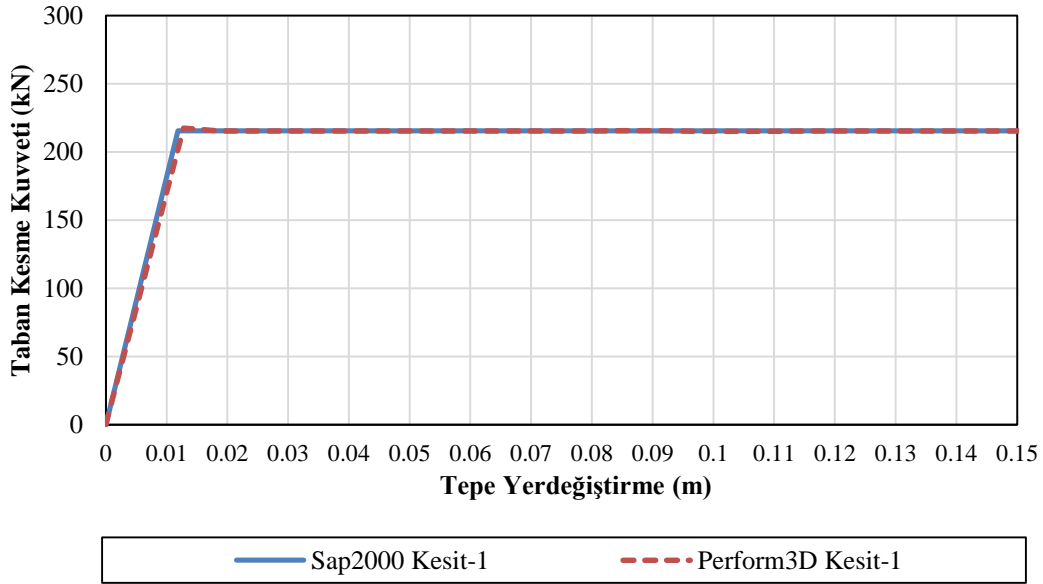
Yapılan çeşitli program hesap ve değerlendirme araştırmalarının sonucunda bu bölümde aşağıdaki analizler yapılmıştır;

- Yatay kuvvet sabit ve aksenal kuvvet olmadığı durum,
- Yatay kuvvet sabit ve aksenal kuvvet var olduğu durumdur.

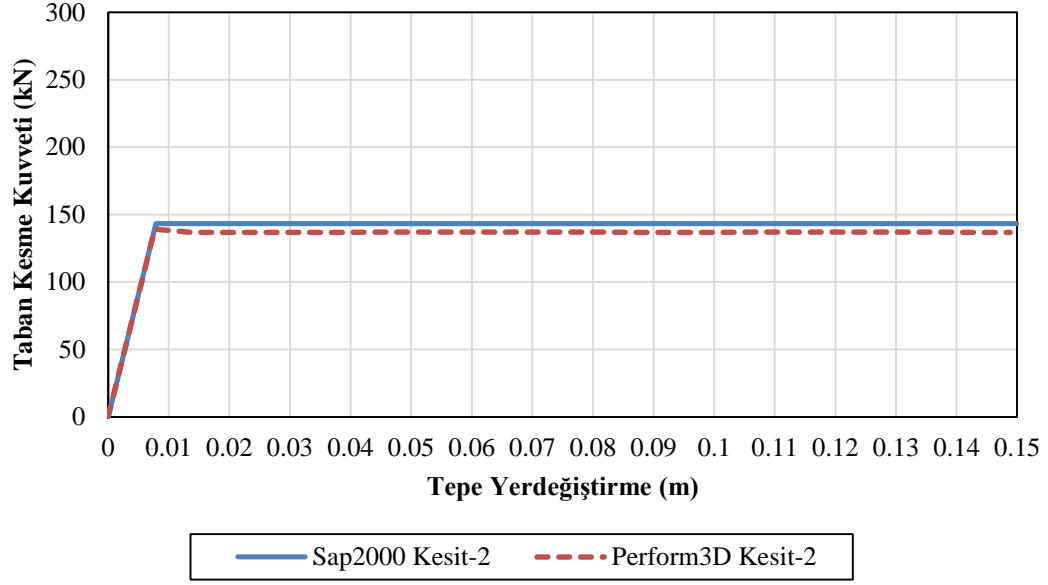
İki farklı program tarafından yapılan değerlendirmelerde, elastik bölgedeki taban kesme tepe deplasman oranlarının aynı fakat plastik bölgedeki taban kesme kuvvet değerlerinin yaklaşık farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılık diğer kesitlerde de gözlemlenmiştir. Fakat Kesit -1 ve Kesit-4'de benzer davranışlar elde edilmiştir. Diğer kesitlerin sonuçları Ek-B'de verilmiştir.



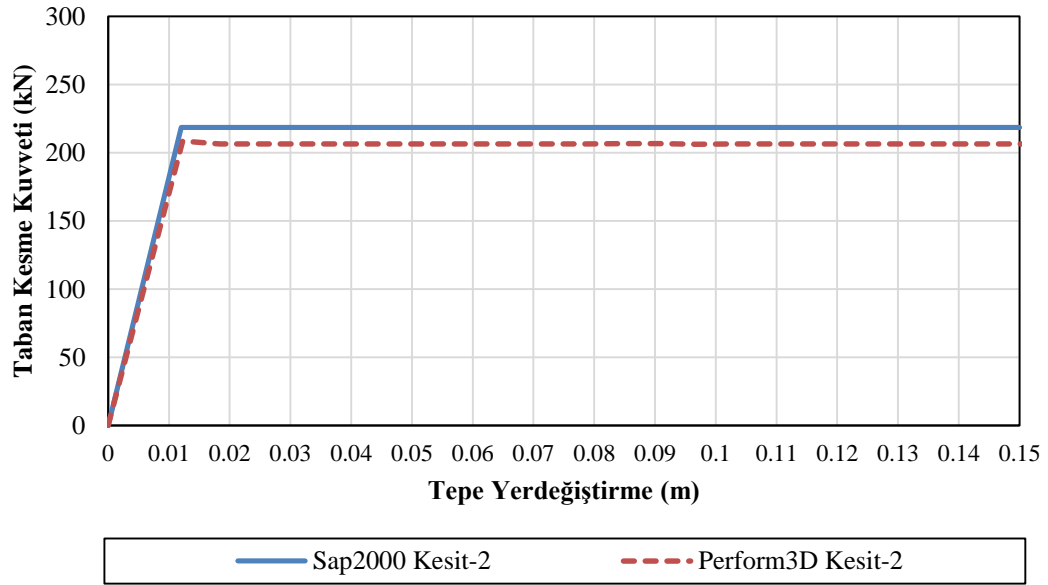
**Şekil 5.9:** Kesit-1 aksel yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



**Şekil 5.10:** Kesit-1 aksel yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



**Şekil 5.11:** Kesit-2 eksenel yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



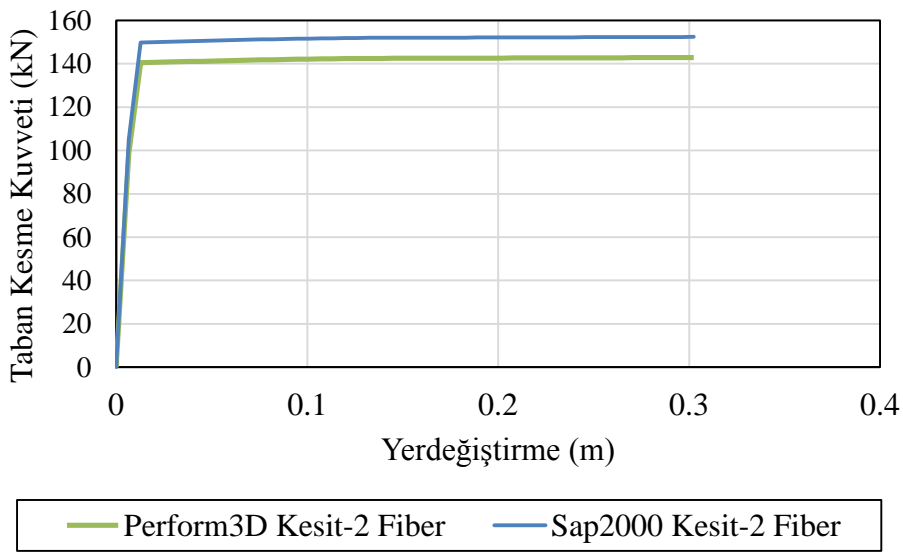
**Şekil 5.12:** Kesit-2 eksenel yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.

Yapılan analizler sonucunda; tanımlanan etkileşim yüzeylerine göre kesitler, eksenel yük olmadığı ve eksenel yükün olduğu durumlar olarak karşılaştırılmıştır. İki farklı program tarafından yapılan değerlendirmelerde, elastik bölgedeki taban kesme tepe yerdeğiştirme oranlarının aynı fakat plastik bölgedeki taban kesme kuvvet değerlerinin yaklaşık farklı olduğu hesaplanmıştır. Bu farklılık diğer kesitlerde de hesaplanmıştır. Fakat kesit -1 ve kesit-4’de aynı sonuçlarla karşılaşılmıştır. Diğer kesitlerin sonuçları ek-B’de verilmiştir.

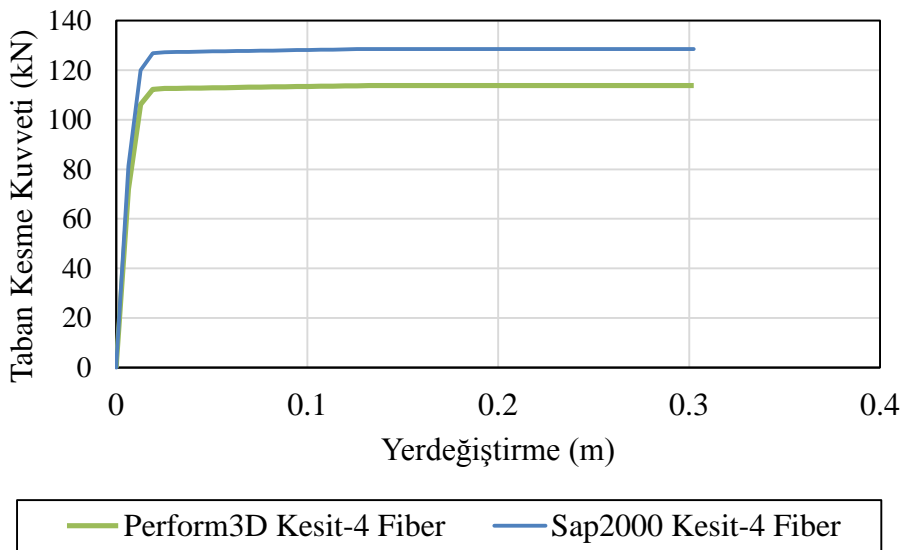
### 5.3.3 Konsol kolonda fiber mafsal modelinin yatay kuvvet etkisinde itme analizi ile doğrusal olmayan davranışının karşılaştırması

Daha önceki bölümlerde tanımlanan kesitlere fiber modeller atanarak aksenal yükün farklı durumları için itme analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarında, taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkileri karşılaştırılmıştır.

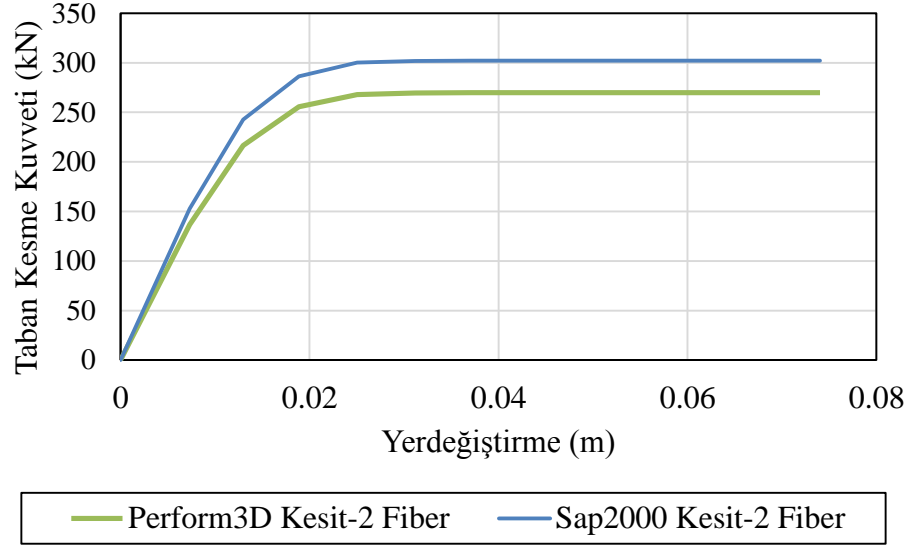
Elde edilen sonuçlarda iki programdan elde edilen sonuçlarda doğrusal bölgenin çok benzer ancak rijitliklerde farklılık olduğu gözlenmektedir. Elastik olmayan bölge için ise, akma kuvvetlerinin farklı olduğu görülmektedir.



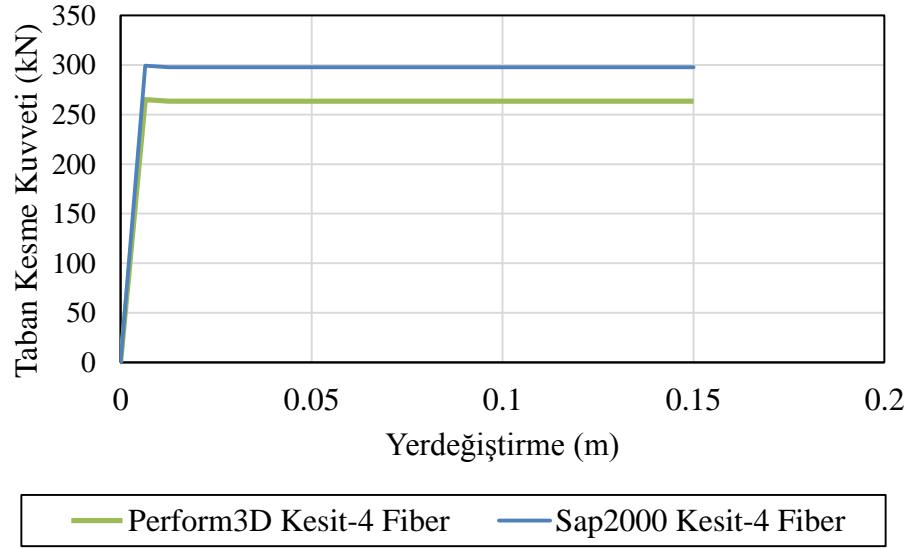
Şekil 5.13: Kesit-2'nin aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme- yerdeğiştirme sonuçları.



**Şekil 5.14:** Kesit-4'nin aksenal yükün olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme- yerdeğiştirme sonuçları.



**Şekil 5.15:** Kesit-2'nin aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme- yerdeğiştirme sonuçları.



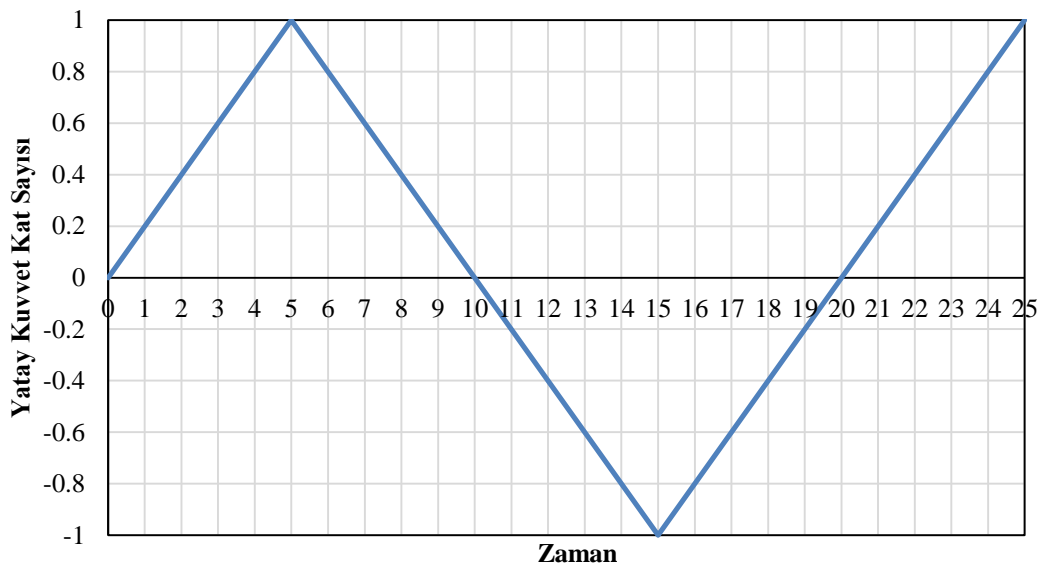
**Şekil 5.16:** Kesit-4'nin aksenal yükün var olduğu durum için Sap2000 ve Perform3D programlarındaki taban kesme- yerdeğiştirme sonuçları.

Yapılan diğer çalışmada ise; aksenal yükün varlığında kullanılan kesitlerin itme analiz sonuçları verilmiştir. İki programda rijit bölgeyi aynı hesaplandığı gözlenmiştir. Elastik olmayan bölgede ise davranış farklılık göstermektedir.

### 5.3.4 Konsol kolonda aksel yük moment mafsal modelinin zaman aralığında dinamik analiz ile doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması

Bu bölümde değişken yanal yük dinamik yük kullanılmasının davranışa etkisi incelenmiştir. Analizlerde, yapısal eleman kesiti olarak Çizelge 5.1'den kesit-1 seçilerek bütün analizlerde bu kesit ve donatı düzeni kullanılmıştır.

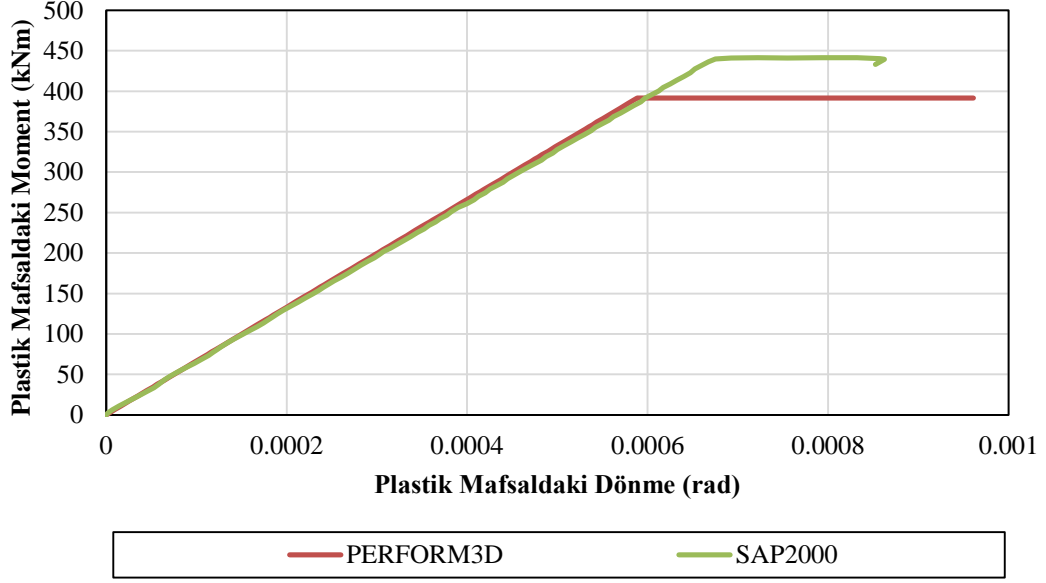
Analizlerde kullanılan yanal yükün zamana bağlı değişimi Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Burada yanal kuvvet, yanal kuvvetin seviyesinin, plastik mafsal modelinin akma değerine yaklaşık olarak eşit olacağı şeklinde oluşturulmuştur.



Şekil 5.17: Dinamik analizlerde kullanılan bir düşey ivme katsayıları-zaman ilişkisi.

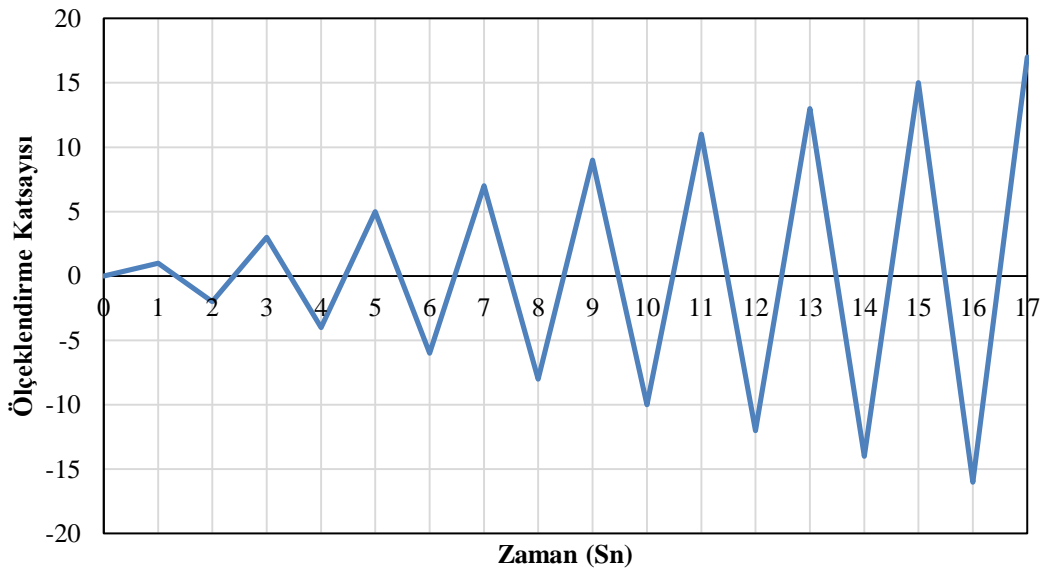
Yukarıdaki grafikte aksel yük (P) olmadığı ve yatay yük ( $F_x$ ) değeri çeşitli zaman aralıklarında artan azalan bir grafik çizerek 25 sn sonra sonlanmaktadır.



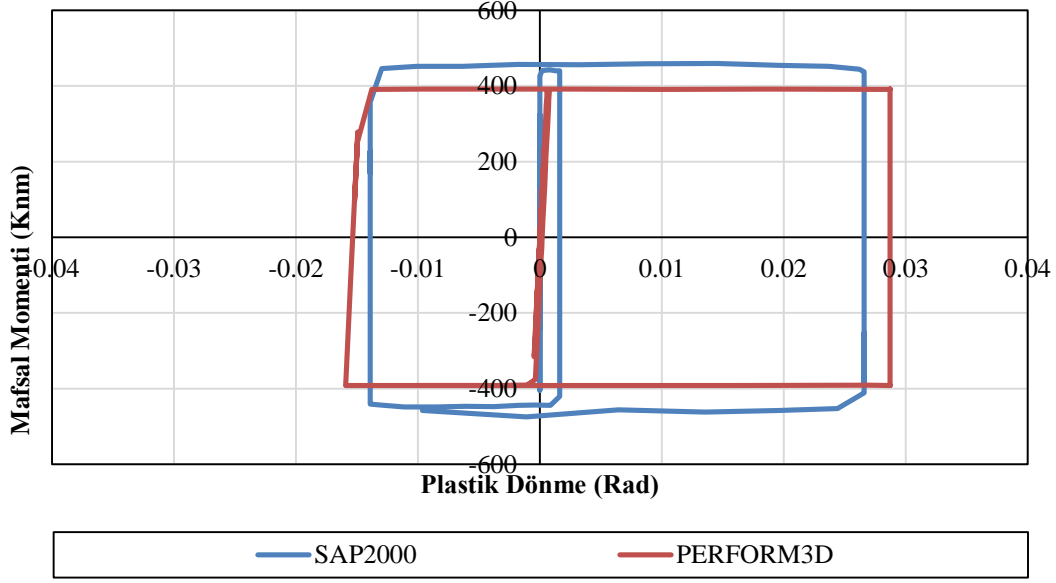


**Şekil 5.18:** Eksenel yükün olmadığı durumda plastik moment-plastik dönme sonuçları.

Yukarıda yapılan çalışmalar, plastik mafsal modelinin akma değerine yaklaşık eşit bir yatay kuvvet etkittirilerek yapılan analiz sonuçlarını göstermektedir. Yapılan çalışmanın asıl amacı; bir yer hareketinin ivme zaman aralıklarında yapıya etkittirilmesi sonucunda oluşacak yapısal davranışın izlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, aynı konsol kolona belirli zaman aralıklarında ivme verilip plastik mafsal modelindeki elastik ve plastik dönmelerin programlarca sonuçları karşılaştırılacaktır.

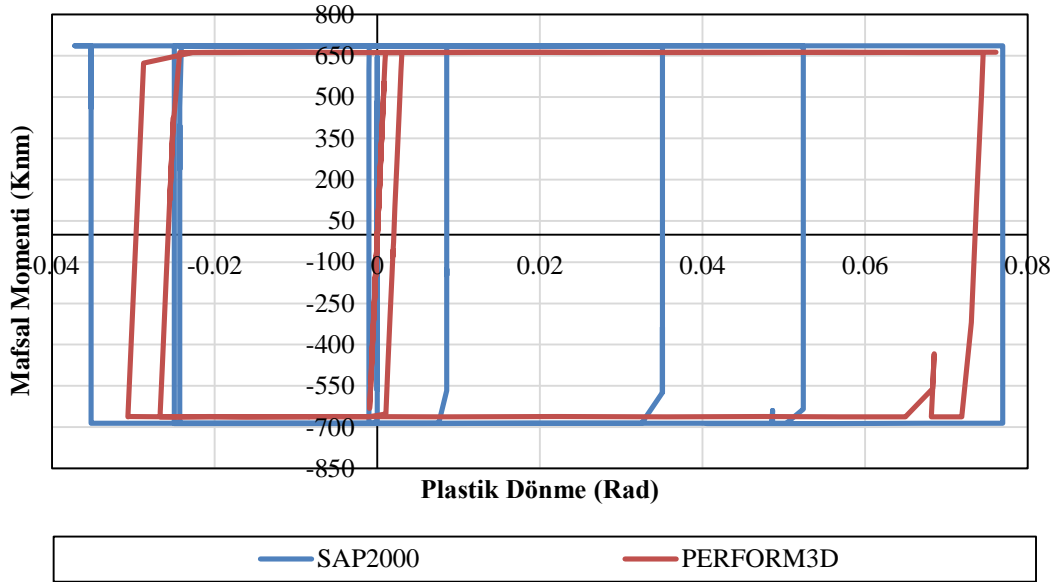


**Şekil 5.19:** Dinamik analizlerde kullanılan bir yatay ivme katsayıları-zaman ilişkisi.



**Şekil 5.20:** Eksenel yük olmadığı durum için kolon mafsasında plastik moment- plastik dönme ilişkisi.

Eksenel yükün olmadığı durum için elde edilen plastik mafsal momenti ve dönmesi şekildeki gibidir (Şekil 5.20). Grafikte yaklaşık eşit moment ve dönme değerlerinde plastik mafsalın oluştuğu ve aktığı grafikten anlaşılmaktadır.



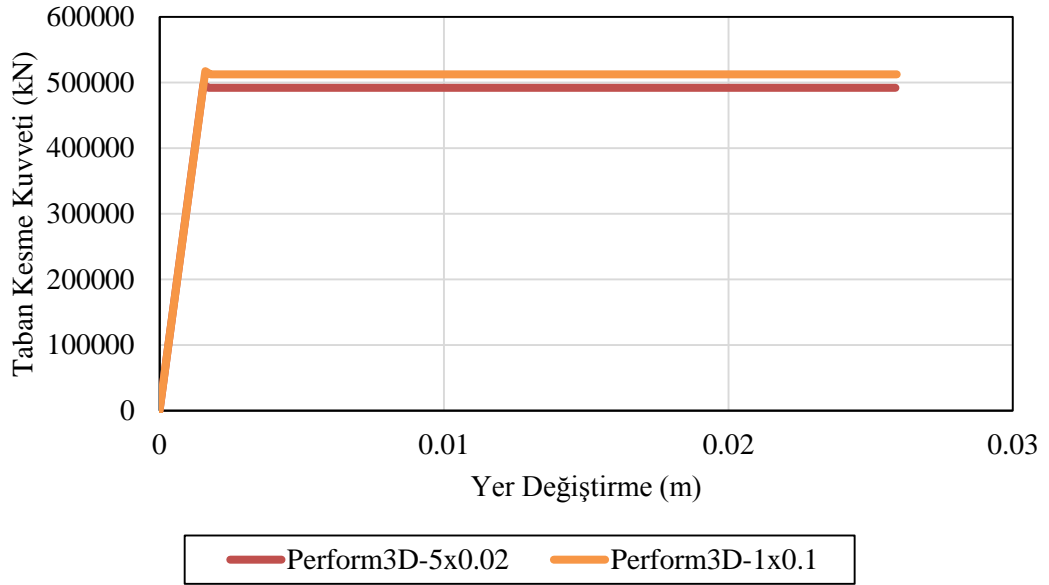
**Şekil 5.21:** Eksenel yük var olduğu durum için kolon mafsasında plastik moment- plastik dönme ilişkisi.

Şekil 5.21’de ise eksenel yükün sabit değerde tutulup plastik mafsal dönme ve moment değerlerinin oluşturulması analizi gerçekleştirilmiştir. Eksenel yük değerinin olmadığı durum (Şekil 5.20) ile eksenel yükün var olduğu durum (Şekil 5.21)

arasındaki ilişki mafsal moment değerlerinin karşılaştırılmasıyla anlaşılabilir. Eksenel yük olmadığı durumda, plastik moment değeri yaklaşık 400 kN'dır. Yükün olduğu durumda, bu değer yaklaşık olarak 650 kN olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer farklı olmasının sebebi; bölüm 3'de anlatıldığı gibi üç boyutlu etkileşim yüzeyini oluşturan farklı eksenel yük değerlerinde farklı moment değerinin olmasıdır (Şekil 5.3).

### 5.3.5 Konsol kolonda fiber mafsal modellerinin karşılaştırılması

Konsol kolon yapısal sistemde, kesitlerin fiber olarak atanması durumunda çeşitli analizler yapılmıştır. Bu bölümde sadece farklı sayıda ve farklı boyda mafsal kullanılması durumu gösterilmiştir. Diğer analizlerin detayları Ek-D'de açıklanmış ve grafiklerle anlatılmıştır.



Şekil 5.22: Fiber parçalara ayrılmış kesitin analiz sonuçları.

Yukarıdaki Şekil 5.22'de düşeyde farklı fiberlere bölünmüş kolonun yapılan itme analizi sonuçları verilmiştir. Grafikten ve tezin ek kısmında verilen sonuç grafiklerinden anlaşılacağı üzere, fiber mafsal boylarının doğrusal olmayan davranışın sonuçlarında önemli değişikliklere sebep olduğu gözlenmiştir.

#### 5.4 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çubuk Çerçeve Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması

Çubuk elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemler kendi içerisinde birden fazla tek açıklıklı çerçeve sistemler oluşturur. Her bir çerçeve kendi içerisinde iki adet kolon bir adet kirişten oluşmaktadır. Yapısal sistemi oluşturan bu yaklaşım sonucunda bu bölümdeki araştırma gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında bu bölümde tek açıklıklı çubuk çerçeve modelinin doğrusal olmayan davranışının araştırılması yapılacaktır (Şekil 5.23). Yapılacak olan karşılaştırmalarda;

- Statik İtme analizi,
- Zaman tanım aralığında analiz yöntemleri kullanılacaktır.

Her bir elemanın doğrusal olmayan davranışın tanımlanmasında;

- Plastik mafsalsal,
- Fiber mafsalsal,

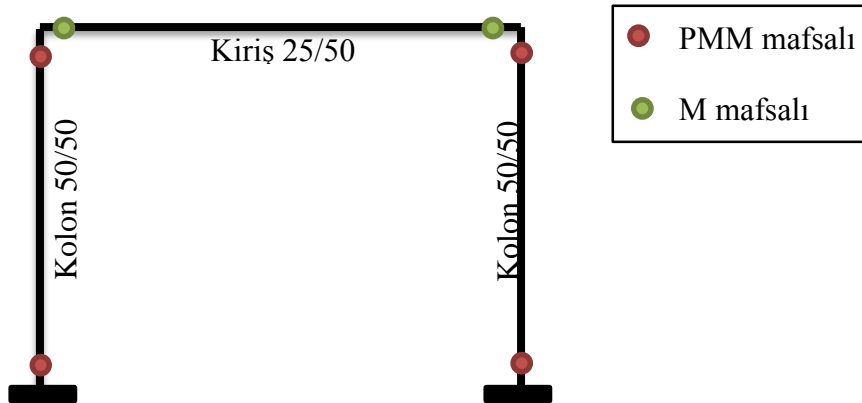
davranış modelleri kullanılacaktır.

Kullanılan analiz yöntemlerinde eksenel yükün çeşitli durumları ele alınacaktır.

Bunlar,

- Eksenel yükün sabit bir değer olması,
- Eksenel yükün artan bir değer olması,
- Eksenel yükün artıp azalan bir değer olması,

durumları ele alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.23: Yapısal elemanın örnek mafsalsal atamaları.

#### **5.4.1 Sabit eksenel yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelinin doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması**

Bu bölümde sabit eksenel yük itme ve zaman tanım aralığında analizler yapılmıştır. Yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışları modellenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

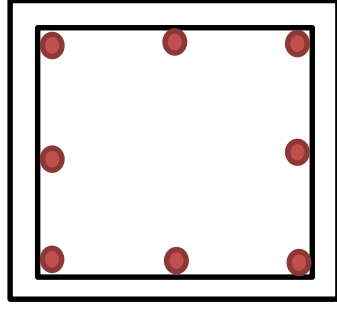
##### **5.4.1.1 Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının itme analizi ile karşılaştırılması**

Bu bölümde tek katlı tek açıklıklı bir çerçeve modeli incelenmiştir. Bu yapısal model üzerinde kolonlarda eksenel yük moment plastik mafsalı ve fiber mafsalı, kirişlerde moment plastik mafsalı ve fiber mafsalı atanarak bir itme analizi gerçekleştirilmiştir. Mafsal atamaları iki farklı şekilde yapılmıştır;

- Kullanıcı kontrollü,
- Program kontrollü.

İtme analizi karşılaştırmasında plastik mafsal tipinde iki analiz ile fiber mafsal tipinde de iki analiz olmak üzere toplamda dört adet analiz yapılmıştır. Analizler ‘Sap2000’ programı tarafından yapılan kısım içindir. Diğer karşılaştırma yapılacak programda ise ‘Perform-3D’ kullanıcı kontrollü bir mafsal atamaları yapıldı. Yapıda mafsal modellerinin karşılaştırılması için toplamda altı adet itme analizi yapılmıştır.

Kullanılan yapısal elemanlardan kolon kesiti daha önce Bölüm 5.3’de Çizelge-1’deki kesit-1’dir (Şekil 5.24). Kiriş kesiti ise detaylı olarak Şekil 5.23’de verilmiştir. Kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerinden elde edilen mafsal modellerinin detayları aşağıdaki gibidir.

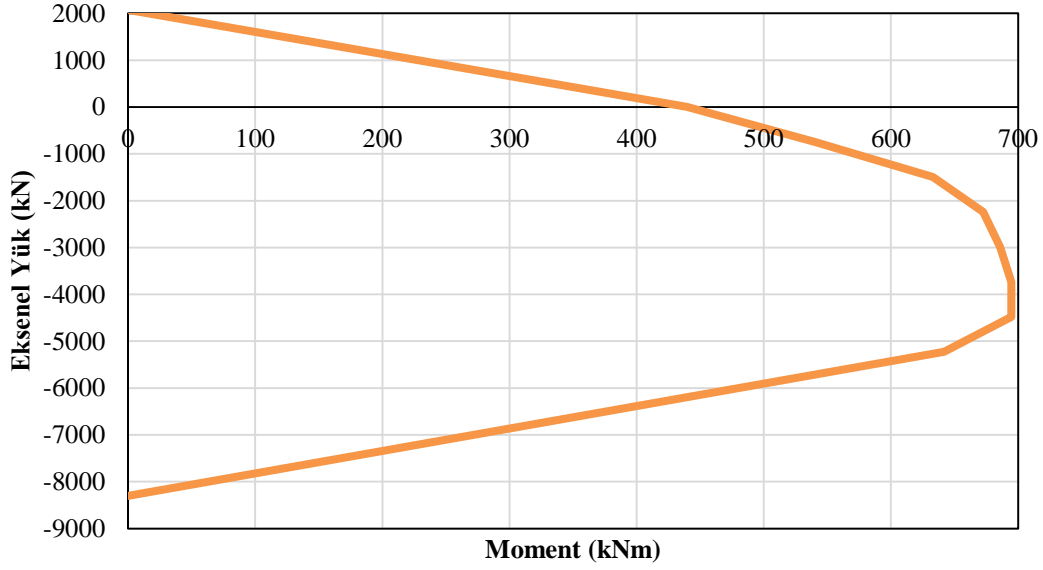


Kesit-1

Düşey donatı 8Ø30

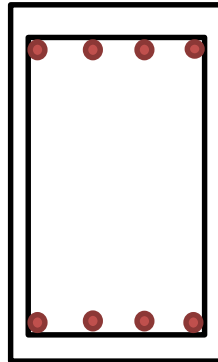
Etriye Ø12/10

Şekil 5.24: Yapısal modelde kullanılan kolon kesiti.



Şekil 5.25: Kolon kesitinin eksenel yük moment mafsalsal modeli.

Yapısal modellemede kullanılan kolon kesitinin Xtract programında çeşitli eksenel yüklemelere göre hesaplanan akma momentlerine göre plastik mafsalsal için kullanılan eksenel yük moment ilişkisi Şekil 5.25’de detaylı olarak gösterilmiştir.

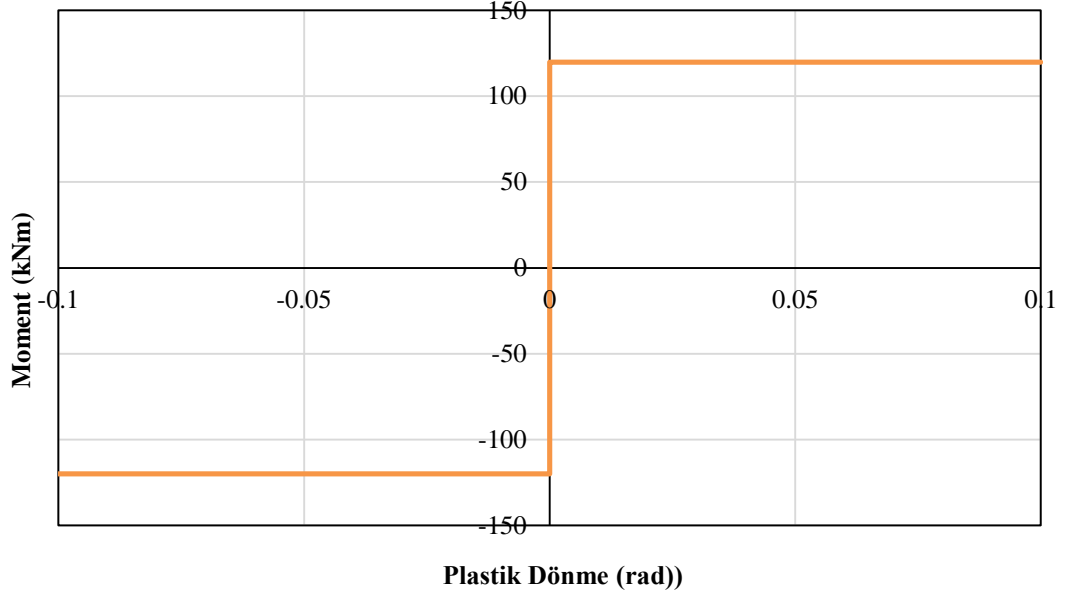


Eğilme donatısı (Alt – Üst)

4Ø14 + 4Ø14

Etriye Ø12/10

Şekil 5.26: Yapısal modelde kullanılan kiriş kesiti.



**Şekil 5.27:** Kiriş kesitinin eksenel yük moment mafsal modeli.

Yapısal eleman olarak tasarlanan kiriş kesitinin plastik dönme moment ilişkisi kolon kesitinin eksenel yük moment ilişkisiyle aynı program tarafından belirlenen değerler kabul edilerek elde edilmiştir (Şekil 5.27).

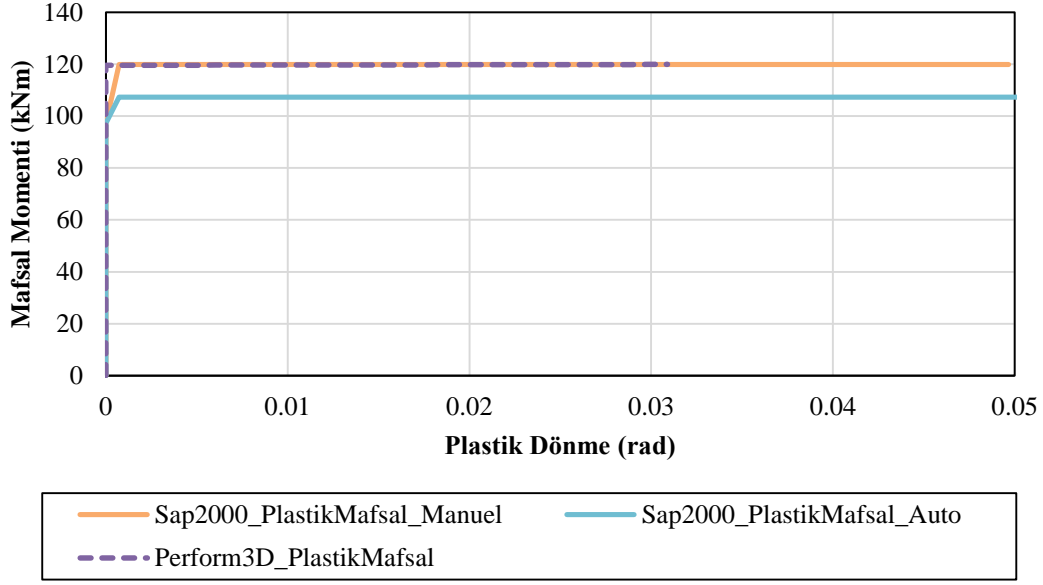
Kesitlerin doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde diğer bir yöntem olarak fiber model kullanılmıştır. Fiber parçalara ayrılması Ek-C'de verilmiştir. Yükleme durumu ise yapılan modal analiz sonucunda x yönündeki hakim moda göre itme analizi yapılmıştır. Bu itme analizi yapının yüksekliğinin %5'i mertebelerinde yanal tepe yerdeğiştirme ile sınırlandırılmıştır.

İtme analizi yapısal elemanlara etkileyen düşey yüklerin belirli bir değer olduğu ve bu değerde sabitlendiği kabul edilerek analiz bu düşey yüklerin sonrasında yapılmıştır.

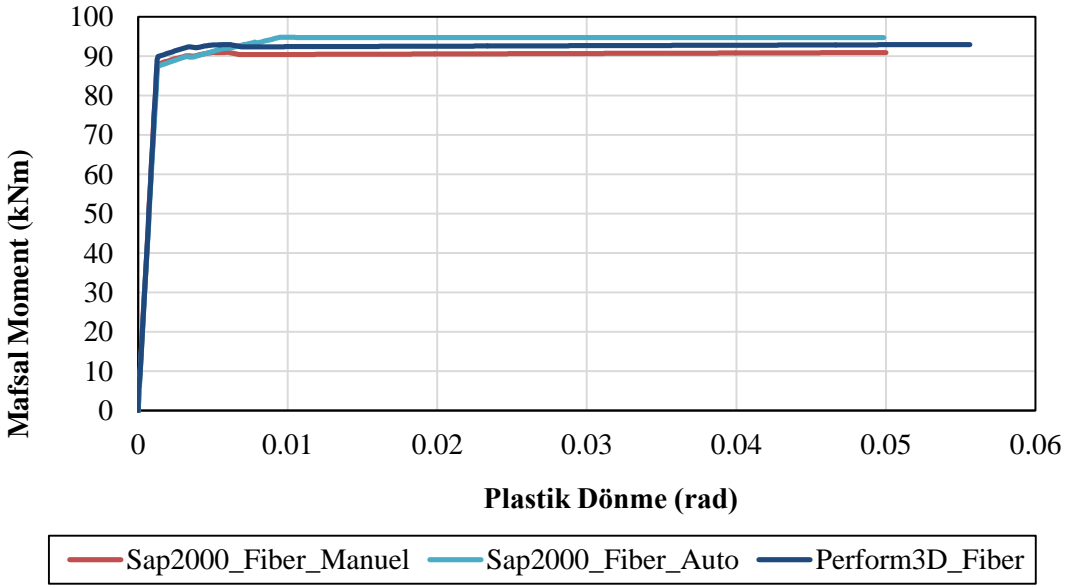
Yapılan itme analizi sonucunda her bir yapısal elemanın için;

- mafsal sonuçları,
- itme eğrisi,
- tepe yerdeğiştirme itme adım,

ilişkileri karşılaştırılmıştır.

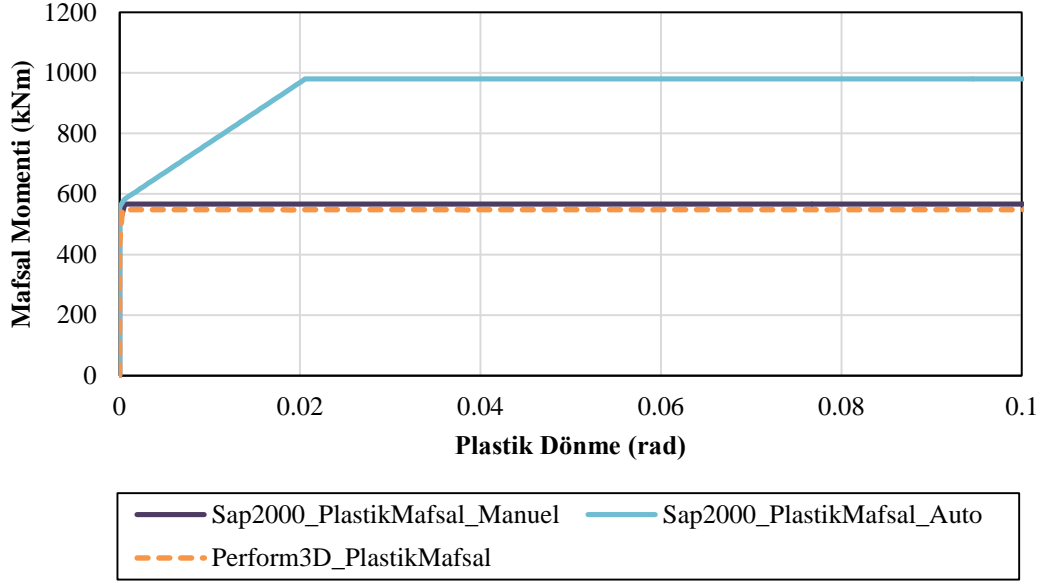


**Şekil 5.28:** Kiriş yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

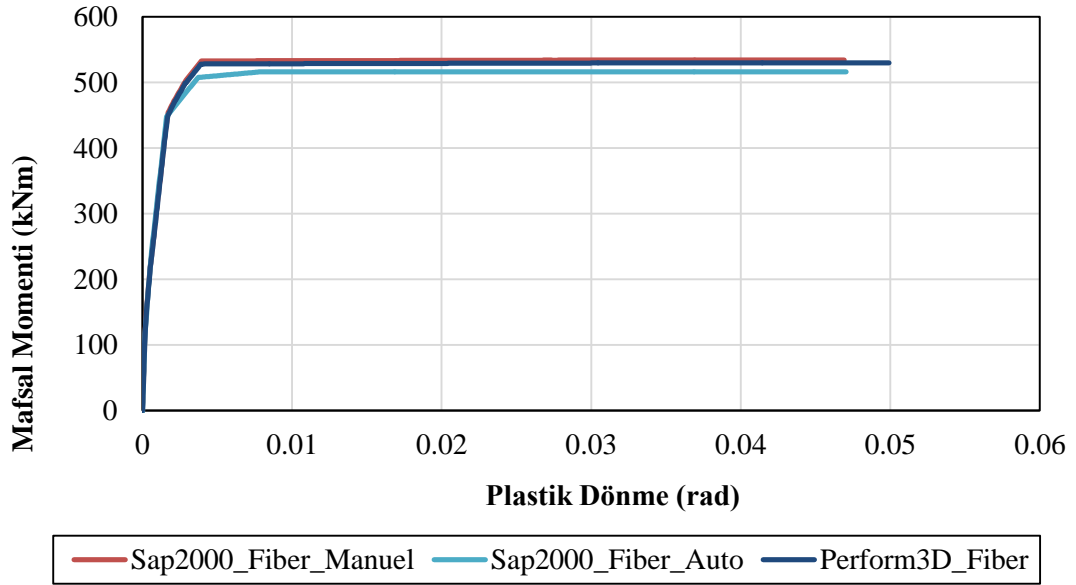


**Şekil 5.29:** Kiriş yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

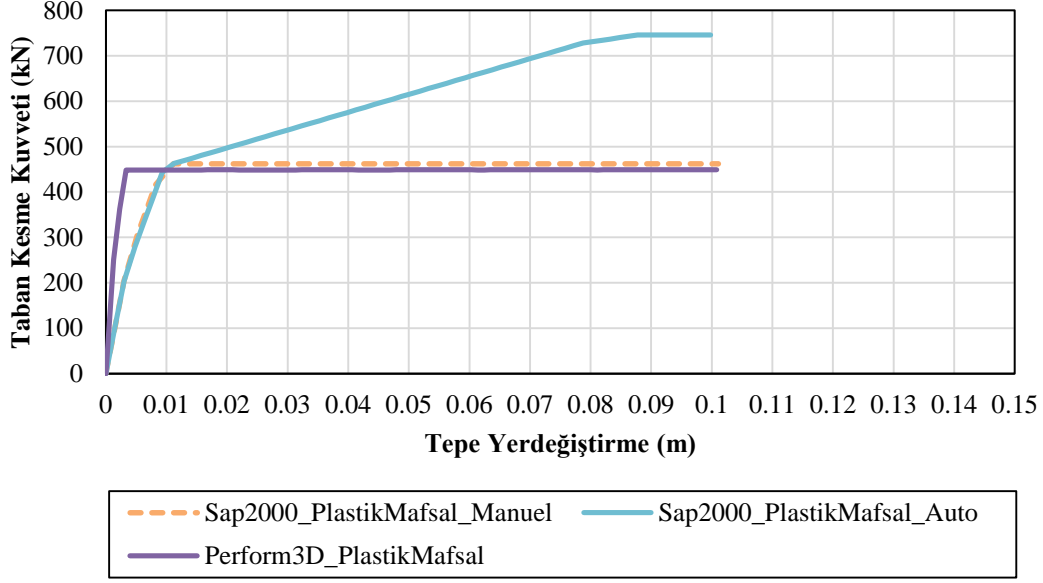




Şekil 5.30: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

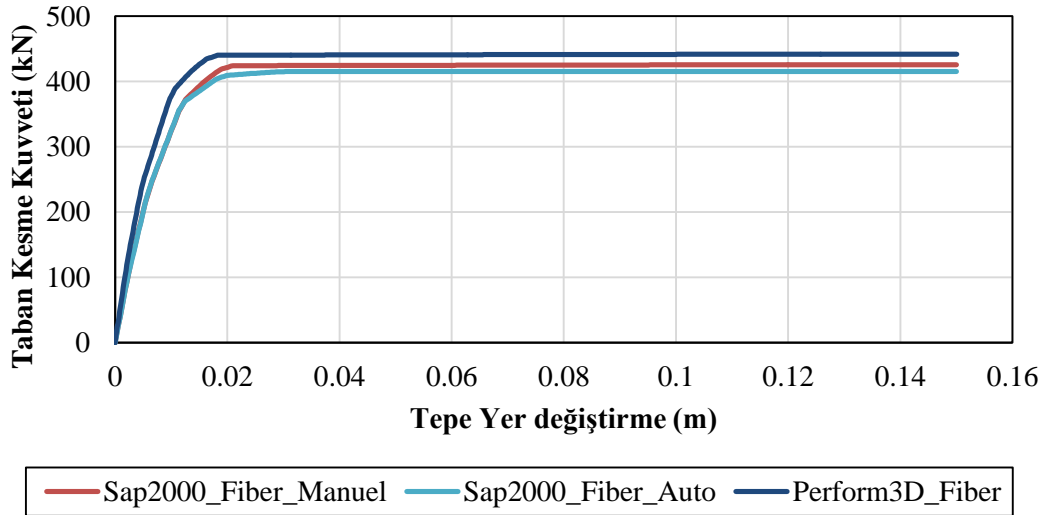


Şekil 5.31: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.



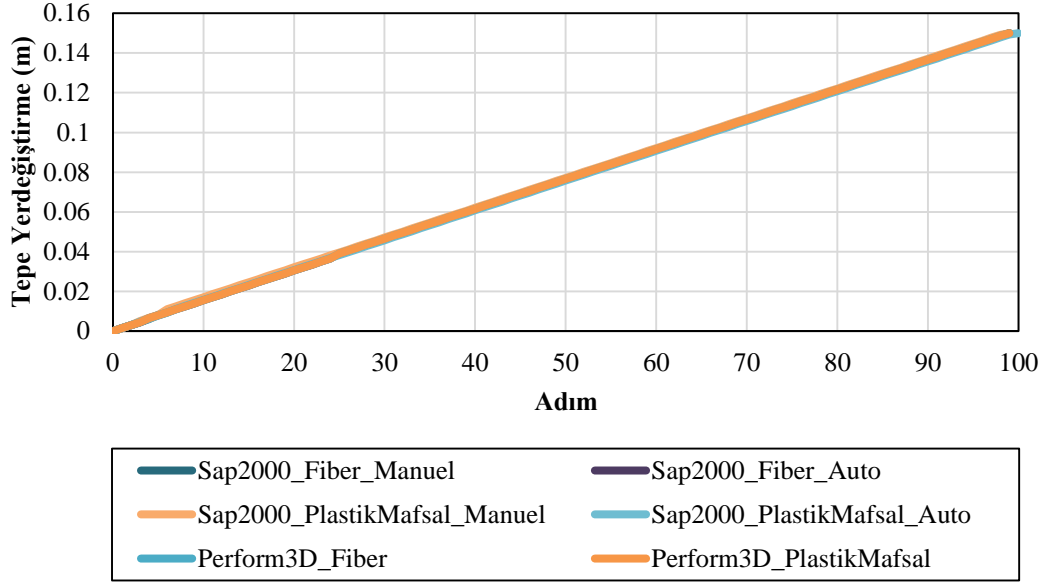
**Şekil 5.32:** Yapının Sap2000 ve Perform3D programlarına göre taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme (push-over) eğrisi-1

Mafsal özelliklerinin kullanıcı tarafından tanımlanması durumları Sap2000 ve Perform-3D programları tarafından hesaplanan itme eğrilerinin karşılaştırılması ile davranışın başlangıç rijitliği dışında benzer olduğu gözlenmiştir. Fakat programa kesitin tanımlanması ve o tanımlanan kesitten program tarafından otomatik olarak mafsal atanması durumun karşılaştırmasında ise yapı plastikleşmenin artarak devam ettiği hesaplandığı görülmüştür (Şekil 5.32).



**Şekil 5.33:** Yapının Sap2000 ve Perform3D programlarına göre taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme (push-over) eğrisi-2

Fiber mafsals kullanılması ile moment mafsals kullanılması durumu karşılaştırıldığında taban kesme kuvvetlerinin benzer olduğu anlaşılmaktadır. Fakat mafsalsın program tarafında otomatik olarak tanımlanması durumunda fiber mafsals ile elde edilen verdiği sonuçtan daha doğru sonuç elde edildiği görülmüştür.

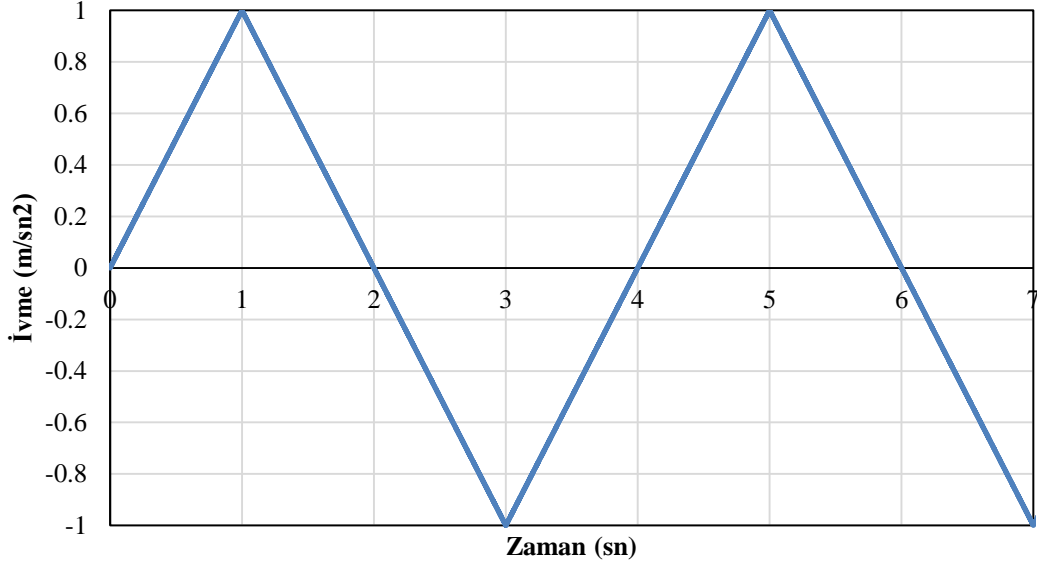


Şekil 5.34: Tepe yerdeğiştirme-İtme adım eğrisi

Araştırılan mafsals tiplerinin tepe yerdeğiştirme eğrisinde gösterilen ilişkisi aynı adımda aynı tepe yerdeğiştirme değeri verdiği hesaplanmıştır (Şekil 5.34).

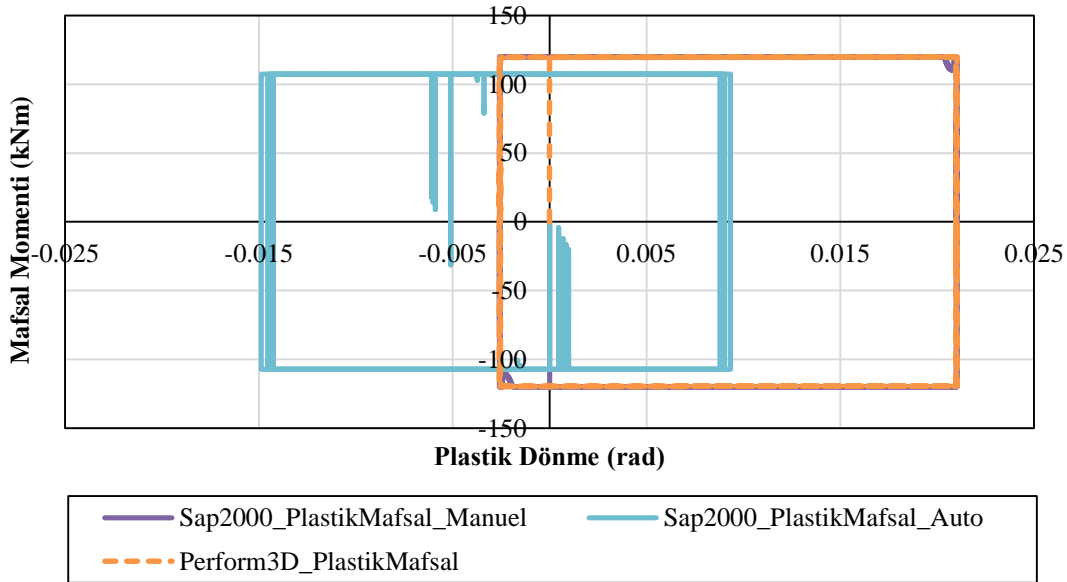
#### 5.4.1.2 Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının zaman tanım aralığında dinamik analizi ile karşılaştırılması

Bu bölümde daha önceki bölümde tanımlanan tek katlı çerçeve yapısal modelinin doğrusal olmayan davranışı sabit aksenal yük altında yatayda tanımlanan bir ivme kaydı ile analizi yapılmıştır. Girilen ivme kaydı aşağıdaki gibidir (Şekil 5.35).



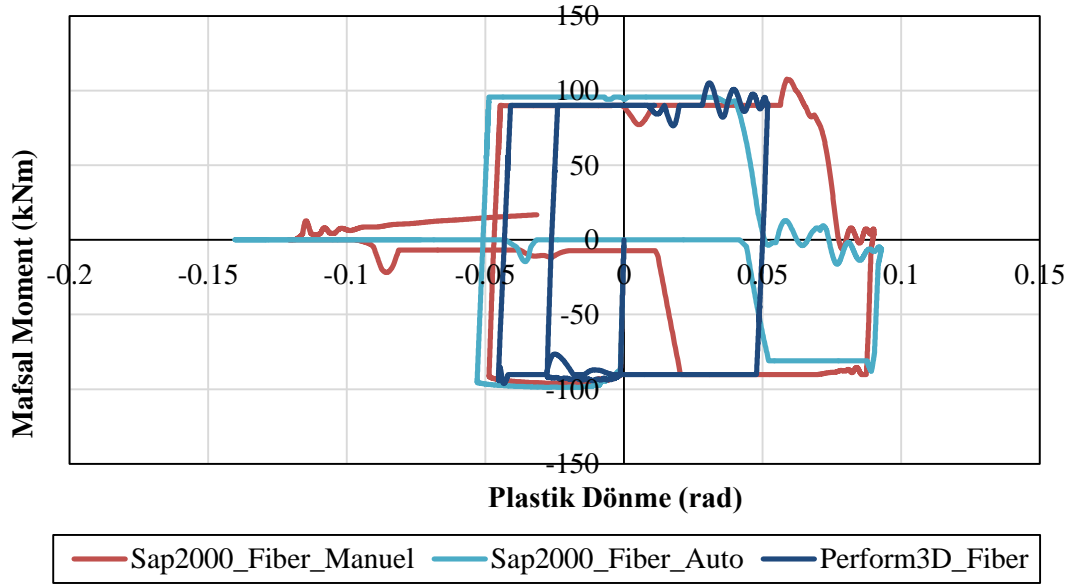
**Şekil 5.35:** Yapıya etkittirilen ivme-zaman kaydı

Bu ivme zaman kaydı 0.001 zaman aralıklarında 7 saniye süreli toplam 7000 veri içermektedir. Yapılan zaman tanım aralığındaki analizin sonucunda; her bir yapısal elemanın mafsal sonuçları, yapı tepe yerdeğiştirme, kolon düşey yerdeğiştirme ve kolon eksenel yük-moment eğrisi ilişkileri karşılaştırılmıştır. Yapısal modelde araştırılan iki program tarafından toplamda altı adet farklı model sonuçları aşağıdaki gibidir (Şekil 5.36).



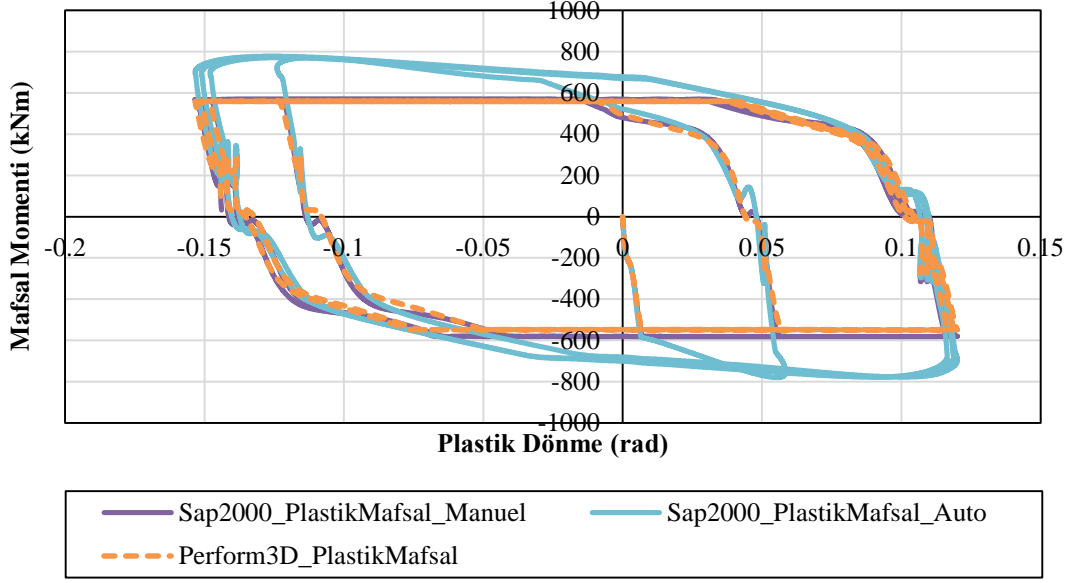
**Şekil 5.36:** Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Çerçeve modelin kiriş yapısal elemanında tanımlı olan moment mafsalsal sonuçları karşılaştırılmıştır. Xtract programı tarafından hesaplanan mafsalsal değerleri ile yapılan analiz sonuçları ile Sap2000 programına girilen kesit özellikleriyle program tarafından tanımlanan moment mafsalsal sonuçlarının aynı olmadığı görülmüştür. Çevrimin oluştuğu dönme değerlerinin uyuşmadığı fakat akma moment değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Kullanıcı tarafından hesaplanan mafsalsal sonuçlarının iki program tarafından yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırması ise aynıdır.

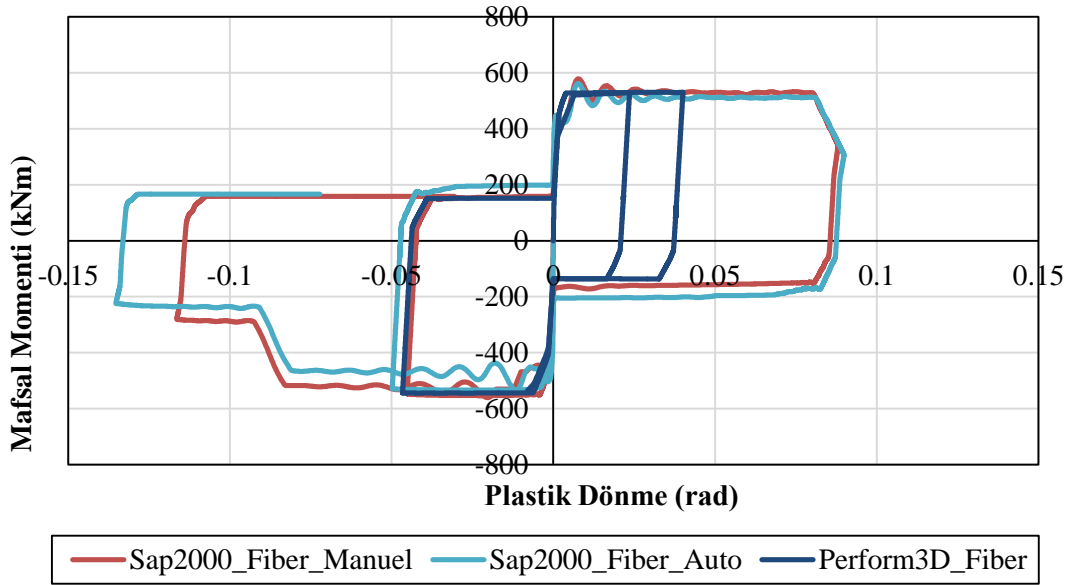


**Şekil 5.37:** Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Şekil 5.37’de fiber mafsalsal kullanılan modellerin analizlerinde ise, akma moment değerlerinin yaklaşık olarak aynı elde edildiği fakat Perform3D ile Sap2000 programları arasındaki dönme değerlerinde bazı noktalarda farklılık olduğu görülmektedir.

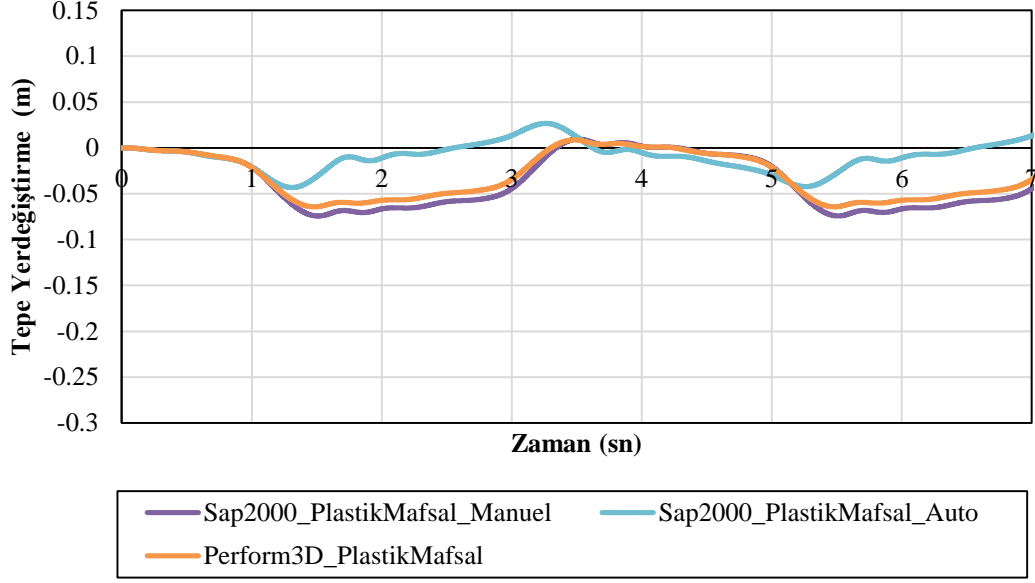


Şekil 5.38: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

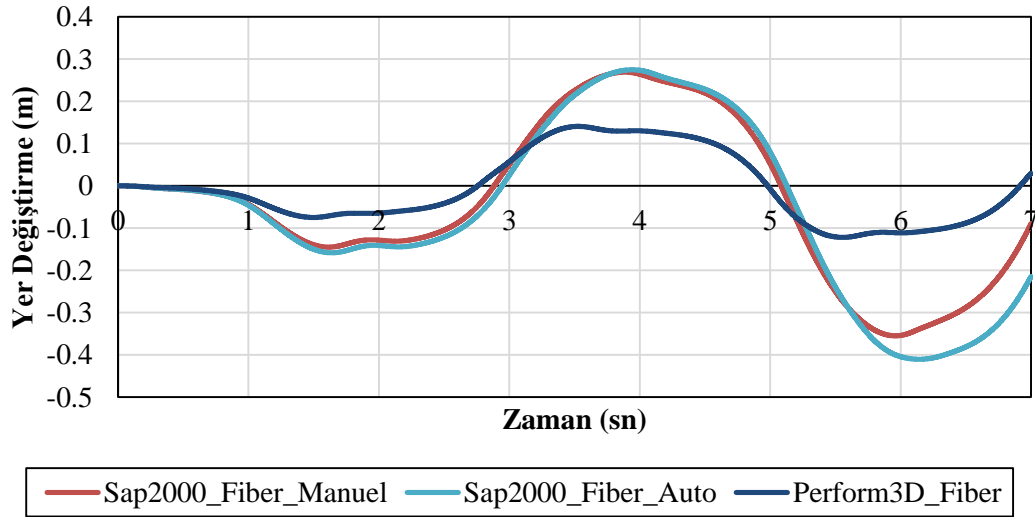


Şekil 5.39: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Kolon yapısal elemanda ise, fiber ve moemnt-eksenel yük etkileşim mafsal tipleri yaklaşık aynı akma moment değerleri oluştuğu gözlemlenmiştir. Fakat plastik moment değerleri ile plastik dönme değerleri birbirinden farklılık gösterdiği Şekil 5.39'da gösterilmiştir.

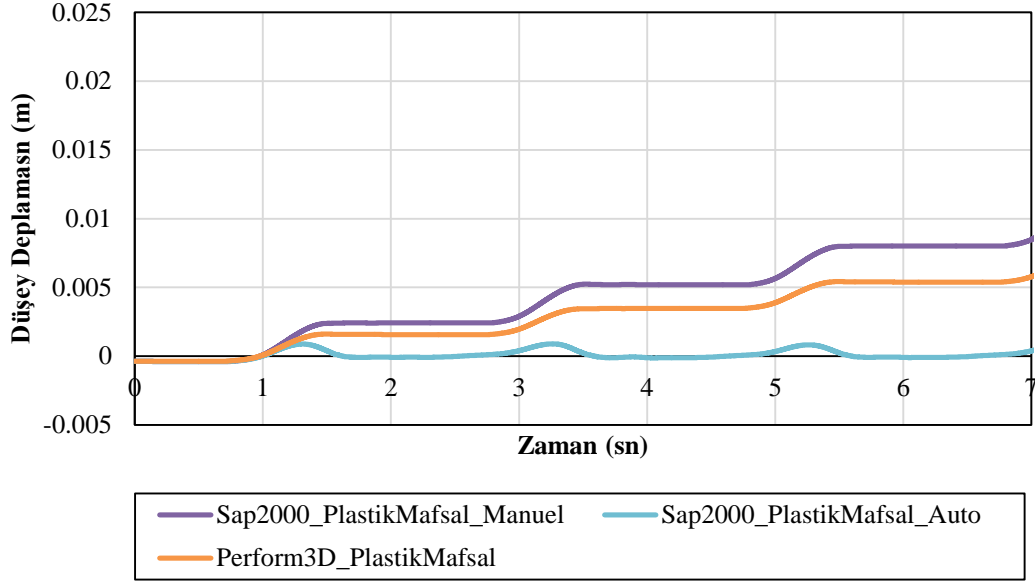


**Şekil 5.40:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1.

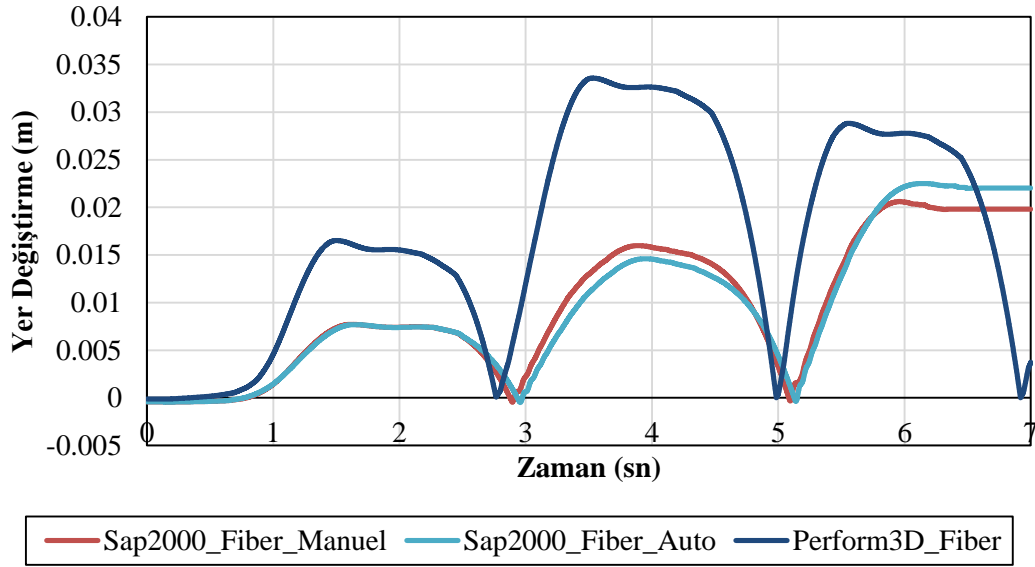


**Şekil 5.41:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2.

Tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve yapısal sistemde, zaman tanım aralığında yapılan dinamik analiz sonucu olarak karşılaştırılan tepe yerdeğiştirme zaman ilişkilerinde fiber ile plastik mafsal atamaları farklı değerler vermiştir (Şekil 5.40 ve Şekil 5.41). Plastik mafsal olarak atanan sistemde, tepe yerdeğiştirme maksimum değeri yaklaşık 0.07 m iken, fiber mafsal durumunda ise yaklaşık 0.40 m dir. Fakat fiber mafsalda Perform3D ile Sap2000 programları kendi içerisinde farklı değerler verdiği gözlemlenmiştir.



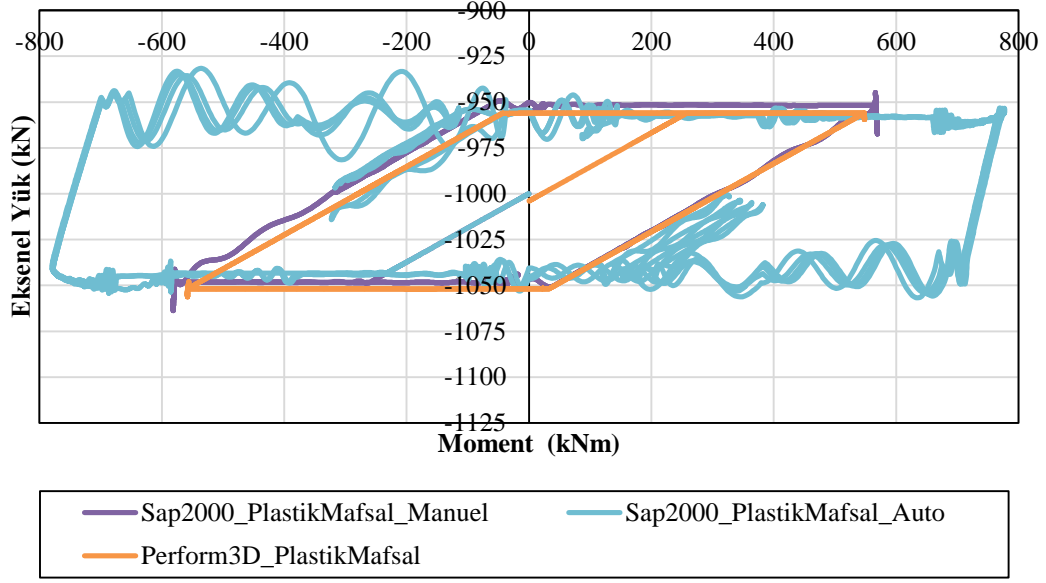
**Şekil 5.42:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1.



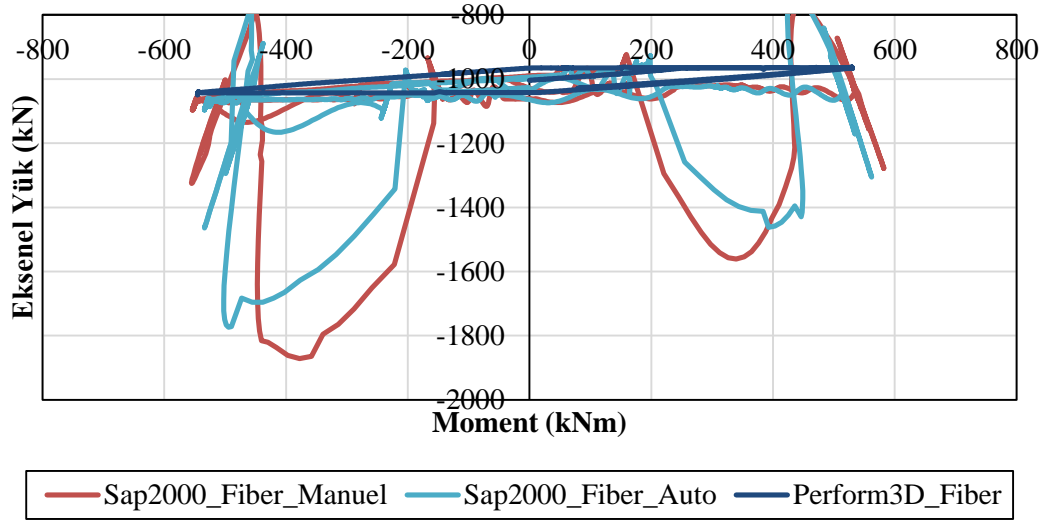
**Şekil 5.43:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2.

Şekil 5.43'de, kolonda yapılan analiz sonucunda düşey yerdeğiştirmeler karşılaştırılmıştır. Bu analizlerde oluşan yerdeğiştirmeler fiber mafsal tipi kullanılarak yapılan analizlerde oluşan yerdeğiştirmelerden daha fazladır.





**Şekil 5.44:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-1.

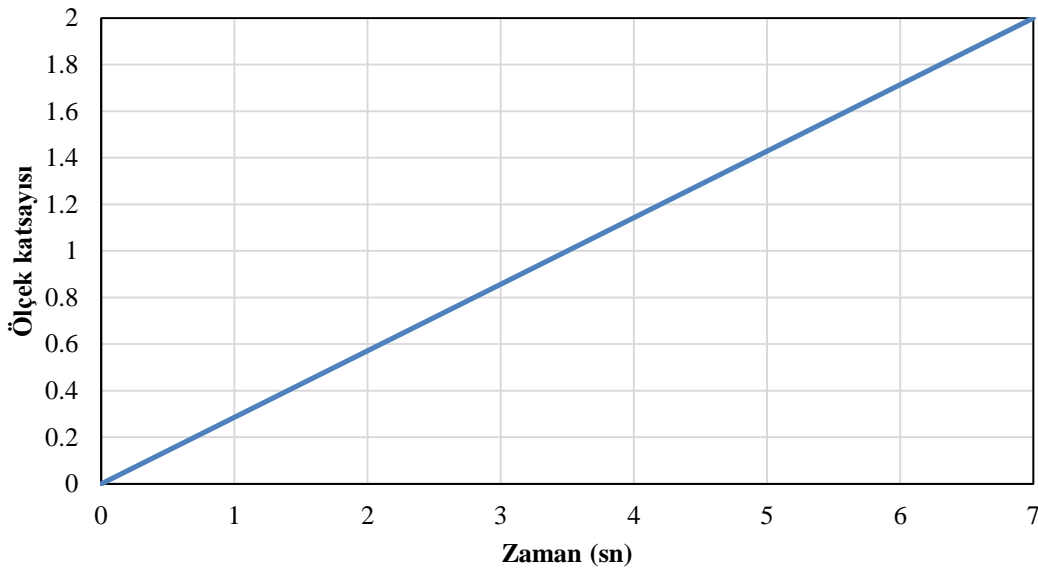


**Şekil 5.45:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-2.

Çerçeve sistemde kolon eksenel yük değerinin plastik moment değeriyle olan ilişkileri karşılaştırması yapılmıştır. Programın tanımladığı mafsals tipinde daha önceki karşılaştırmalarda hesaplanan farklı sonuç değerleri, bu karşılaştırmada da benzer bir sonuç vermektedir. Benzer sonuçlar veren kullanıcı kontrollü mafsals atama sonuçlarında, Sap2000 ile Perform-3D programlarının analiz sonuçları yaklaşık aynıdır.

### 5.4.2 Doğrusal dinamik aksenal yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranışının karşılaştırılması

Bu bölümde düşey ve yatay yükün dinamik olarak tanımlandığı zaman analında analizler yapılmıştır. Fakat itme analizi zaman tanım aralığında bir analiz olmamasından dolayı statik yükler altında daha önceki bölümde yapılan analizler ile karşılaştırılmış ve sonuçları grafiklere yansıtılmıştır. Düşey yük Şekil 5.46'daki gibi tanımlanmıştır. Tanımlanan aksenal yük değeri zaman tanım aralığında grafikteki değerler ile çarpılarak analizinde kullanılmıştır.

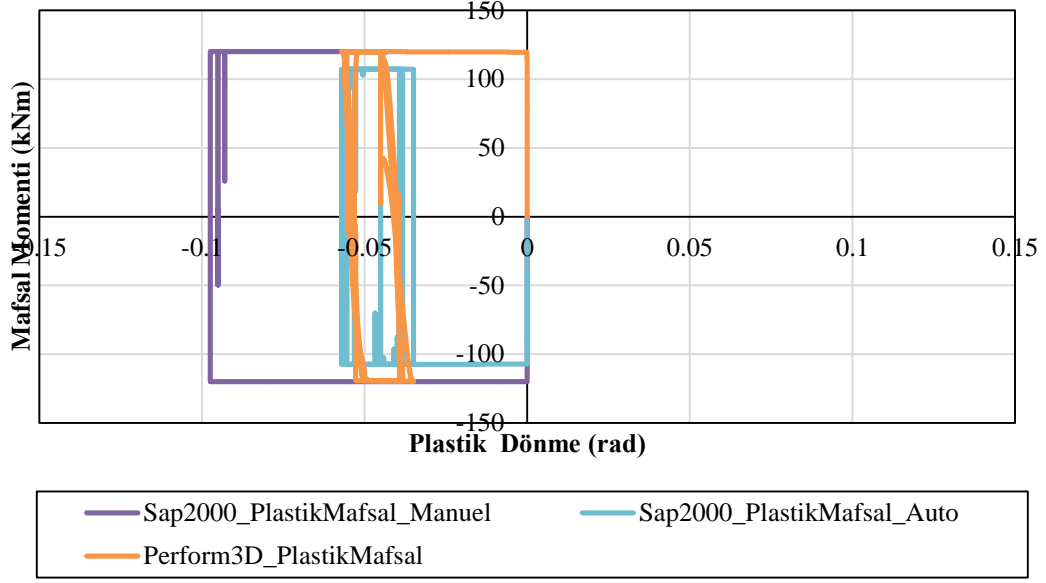


Şekil 5.46: Düşey yük-zaman grafiği

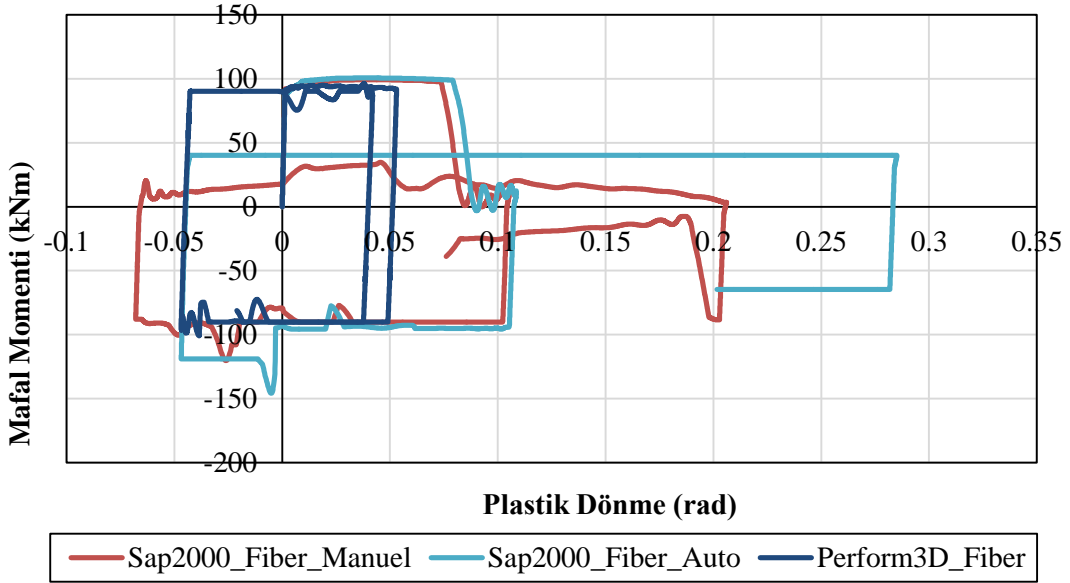
Toplamda 7 saniye süreli düşey yük ile aynı süreli ivme kaydı durağan bir yapıya etkittirildi. Yapılan zaman tanım aralığındaki bu analizlerin sonucunda her bir yapısal elemanın;

- Mafsal sonuçları,
- Yapı tepe yerdeğiştirme,
- Kolon düşey şekil değiştirme,
- Kolon aksenal yuk-moment,

eğrileri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerin sonucu aşağıdaki gibidir (Şekil 5.47).



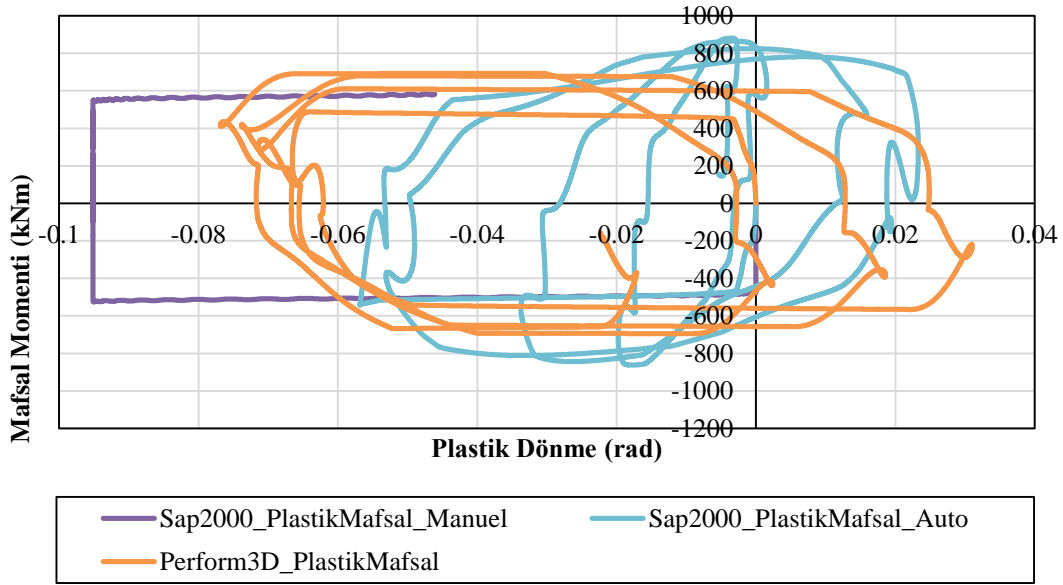
Şekil 5.47: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.



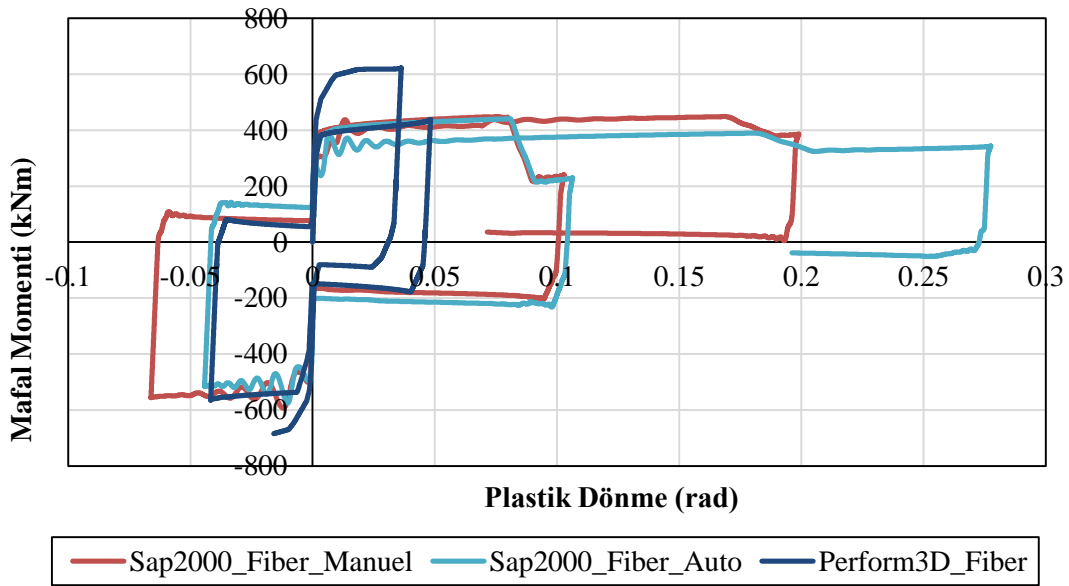
Şekil 5.48: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Çerçeve modelin dinamik analiz olarak karşılaştırması durumunda, kiriş yapısal elemanın doğrusal olmayan davranışının plastik mafsal sonuçlarında dönmenin sadece bir tarafa olduğu hesaplanmıştır. Fiber modelde ise bu dönme değerlerinin pozitif ve negatif olarak oluştuğu hesaplanmıştır. Perform-3D programı tarafından elde edilen sonuçlarda; kirişteki dönme değerlerinin pozitif ve negatifte simetrik olarak hesaplandığı gözlenmiştir. Plastik mafsal karşılaştırmasında ise çıkan sonucun mafsal

davranışı olarak gözlenip bütün programlarda da aynı sonucu vermesinden ötürü mafsalsın genel davranışı olarak kabul edilebilir.



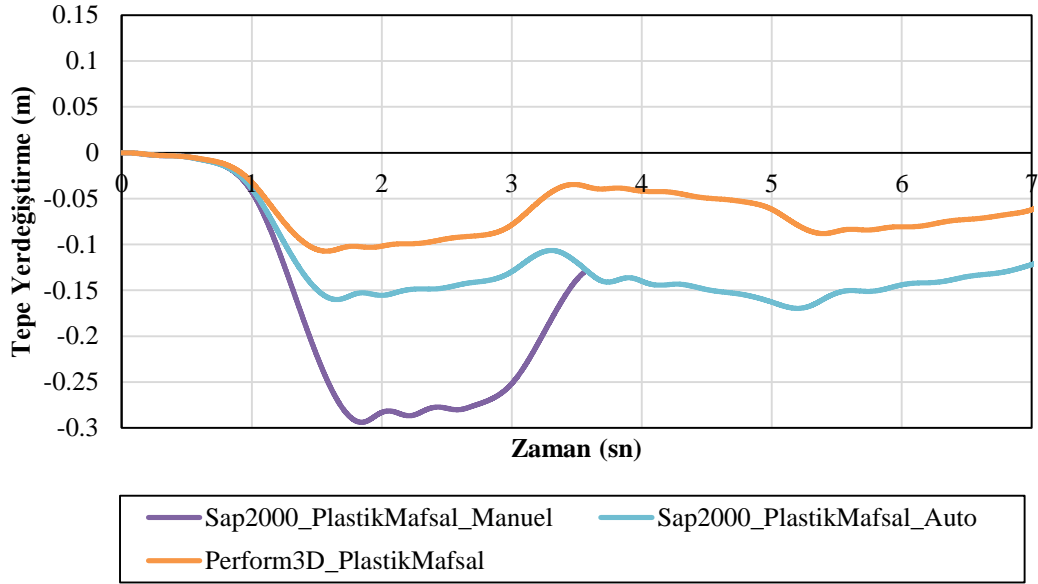
Şekil 5.49: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.



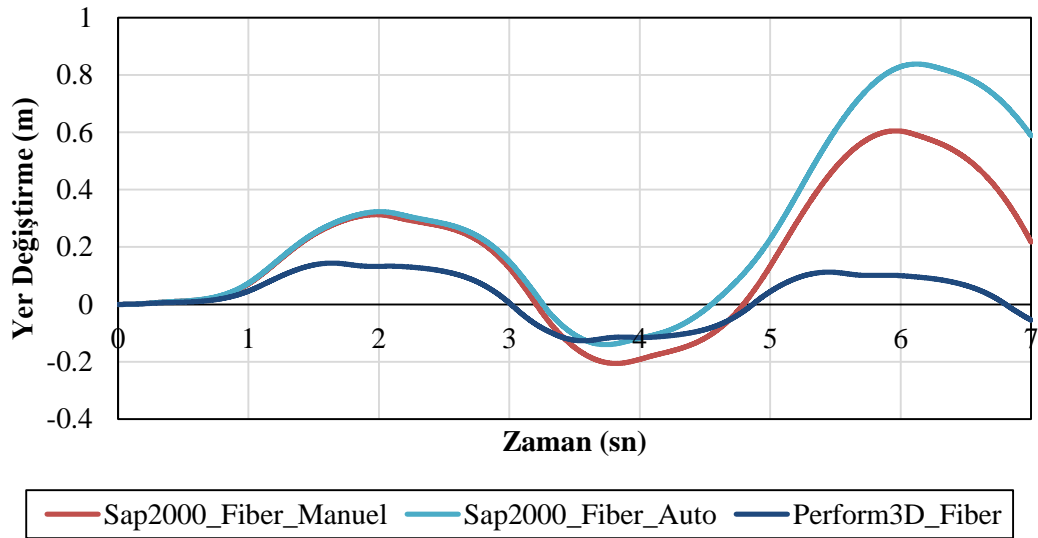
Şekil 5.50: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Kolon yapısal taşıyıcı sistem elemanlarının, doğrusal olmayan davranışlarının tanımlanmasında kullanılan her aksenal yük değerine göre farklı akma moment değerleri alması gerekmektedir.

Kolon yapısal sistem elemanın, doğrusal olmayan davranışının karşılaştırması diğer çerçeve sistemlerdeki analizler sonucunda oluşan karşılaştırmalara benzer bir sonuç verdiği görülmektedir. Bütün programlar yaklaşık olarak davranışın akma momentini ve akma dönme değerlerini vermiştir.



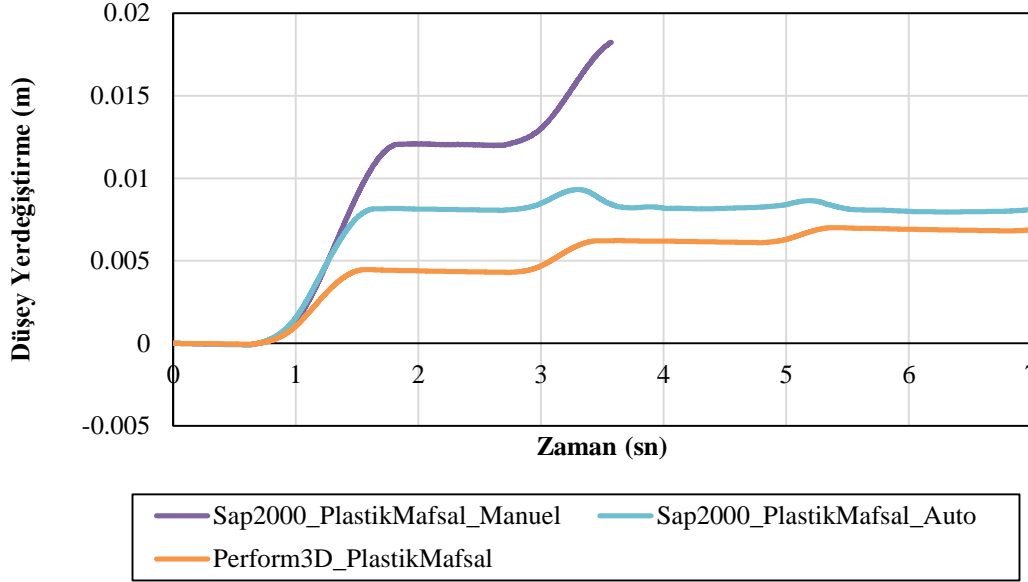
**Şekil 5.51:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1.



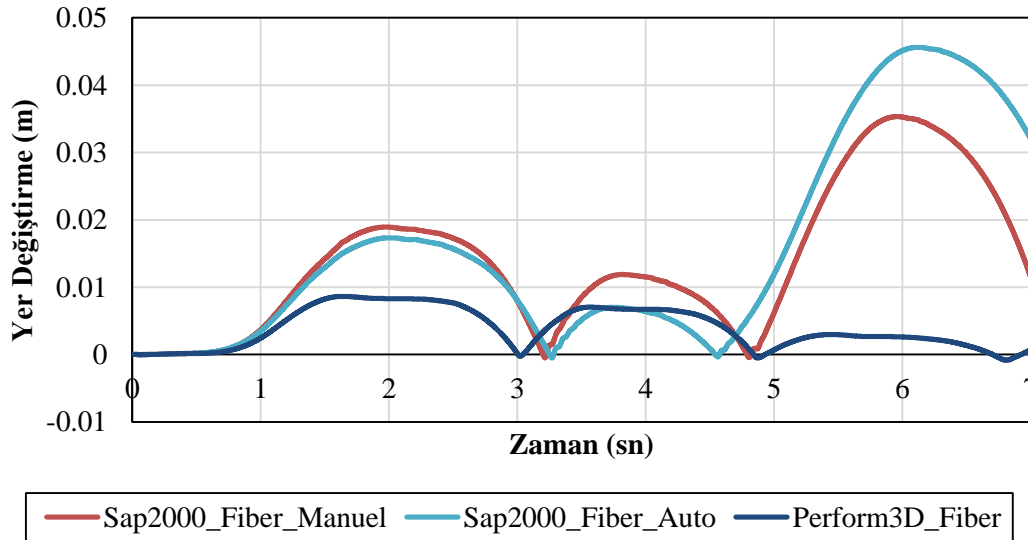
**Şekil 5.52:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2.

Yapısal sistemde Şekil 5.52'de elemanlarda doğrusal olmayan davranışın tanımlanması aşamasında fiber mafsal özelliklerinden yararlanılmıştır. İvme zaman ilişkisinin negatif ve pozitif hareketleri dikkate alındığında, fiber mafsal modelde

oluşan tepe yerdeğiştirme değerlerinin Perform3D programında daha tutarlı bir sonuç olduğu anlaşılmaktadır. Plastik mafsallarda, tepe yerdeğiştirme değeri hep negatif bölgede kalmıştır. Fakat pozitif yöne de hareket etmiş ama negatif bölgede kalmıştır.

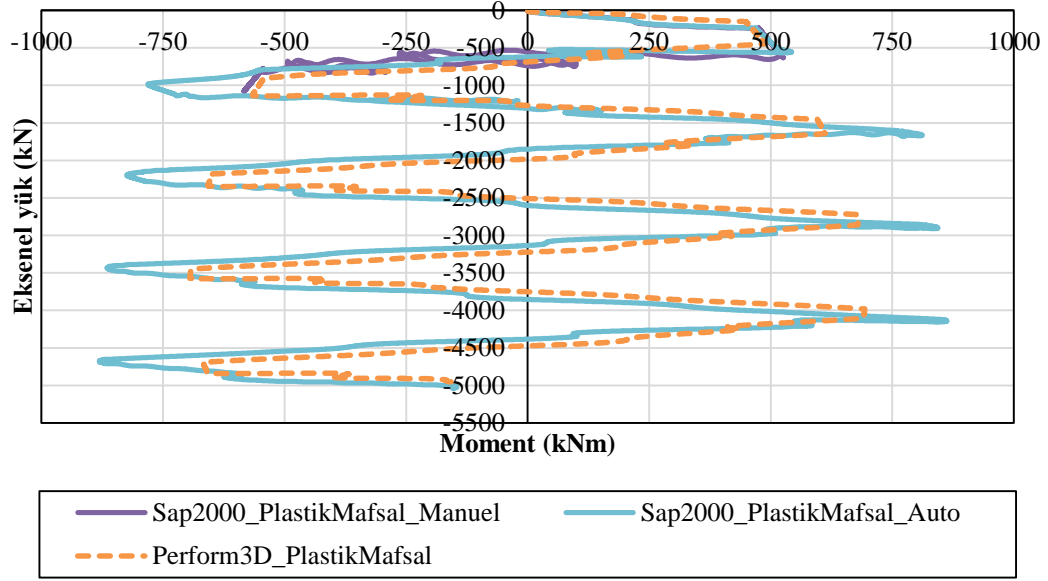


**Şekil 5.53:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1.

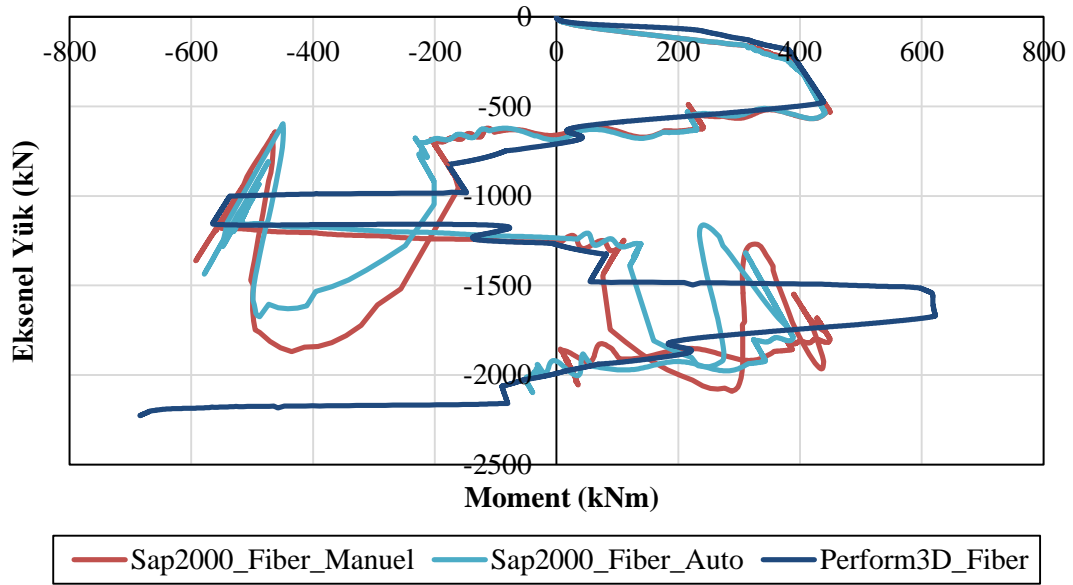


**Şekil 5.54:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2.

Kolondaki düşey yük değeri Perform-3D programı tarafından daha az hesaplanmıştır.



**Şekil 5.55:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-1.



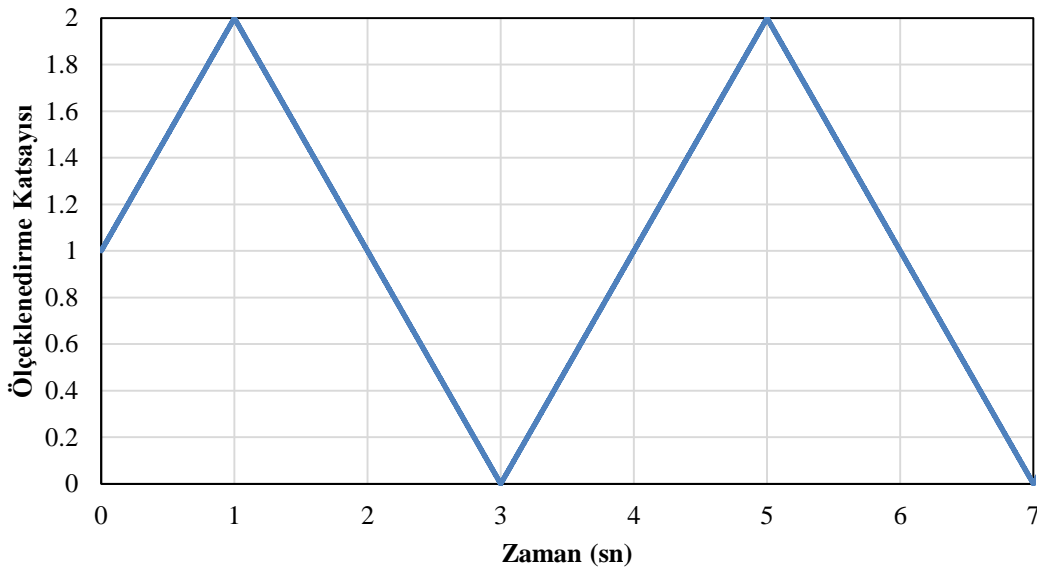
**Şekil 5.56:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-2.

Kolon eksenel yük moment mafsal karşılaştırmasında ise, elde edilen sonuçlar birbirleriyle yaklaşık aynı kabul edilebilir. Yalnız Sap2000 programı tarafından atanan plastik mafsal ile fiber mafsal moment değerleri diğer program ve mafsal moment değerlerine göre daha fazla hesaplamıştır.

### 5.4.3 Doğrusal olmayan dinamik aksenal yük etkisinde tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve modelin doğrusal olmayan davranış ile karşılaştırılması

Eksenel yükün değişkenliğinin etkisi, mafsalsal ve fiber modelleri kullanılan ve daha önce incelenen tek katlı çerçeve modelinde, zaman tanım alanında analiz yapılarak incelenmiştir.

Bu analizlerde kullanılan yatay dinamik ivme daha önceki analizler ile aynıdır. Tek değişken parametre tanımlanan aksenal yük-zaman ilişkisidir. Bu diyagram ise aşağıdaki gibidir (Şekil 5.57).



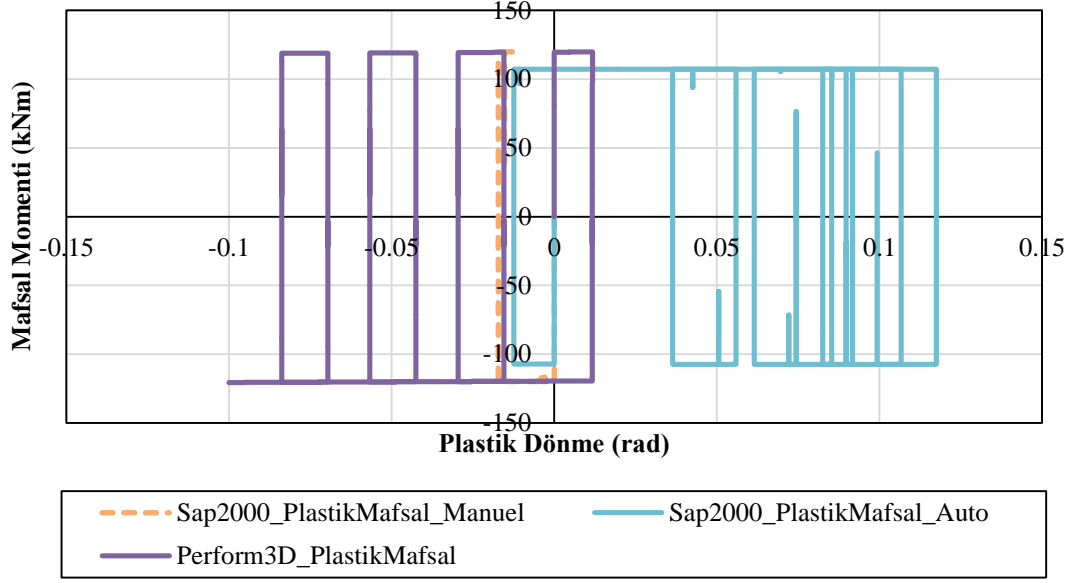
Şekil 5.57: Aksenal yük ölçeklendirme katsayısı-zaman eğrisi

Toplamda 7 saniye süreli zaman aralıkları saniyenin binde biri olarak düzenlenmiş toplamda 7000 veri düşey yük ile aynı süreli ivme kaydı durağan bir yapıya etkittirildi. Yapılan zaman tanım aralığındaki bu analizlerin sonucunda her bir yapısal elemanın için;

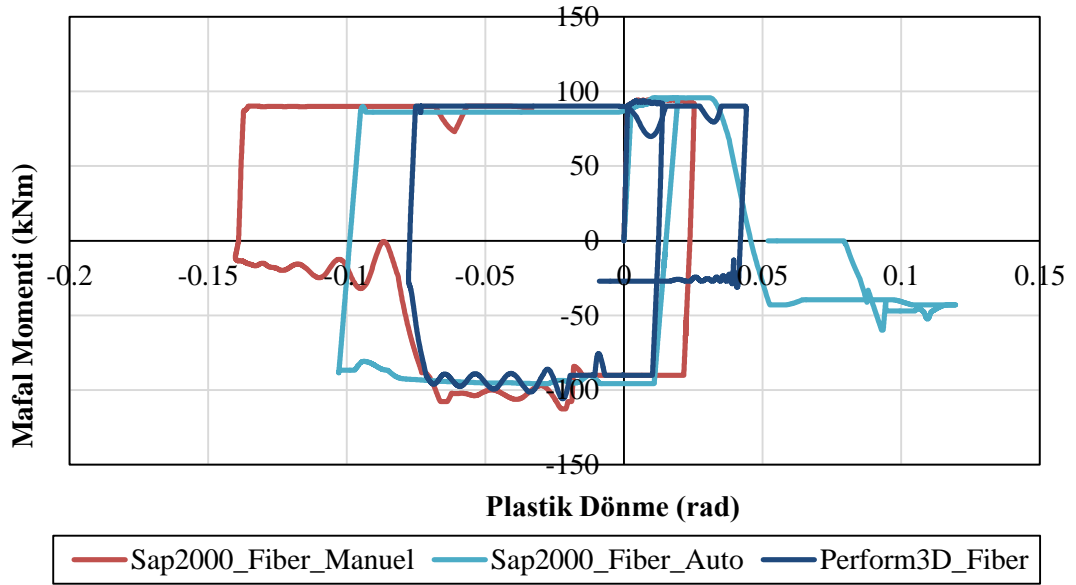
- Mafsalsal sonuçları,
- Yapı tepe yerdeğiştirme,
- Kolon düşey şekil değiştirme,
- Kolon aksenal yuk-moment,

ilişkileri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerin sonucu aşağıdaki gibidir.

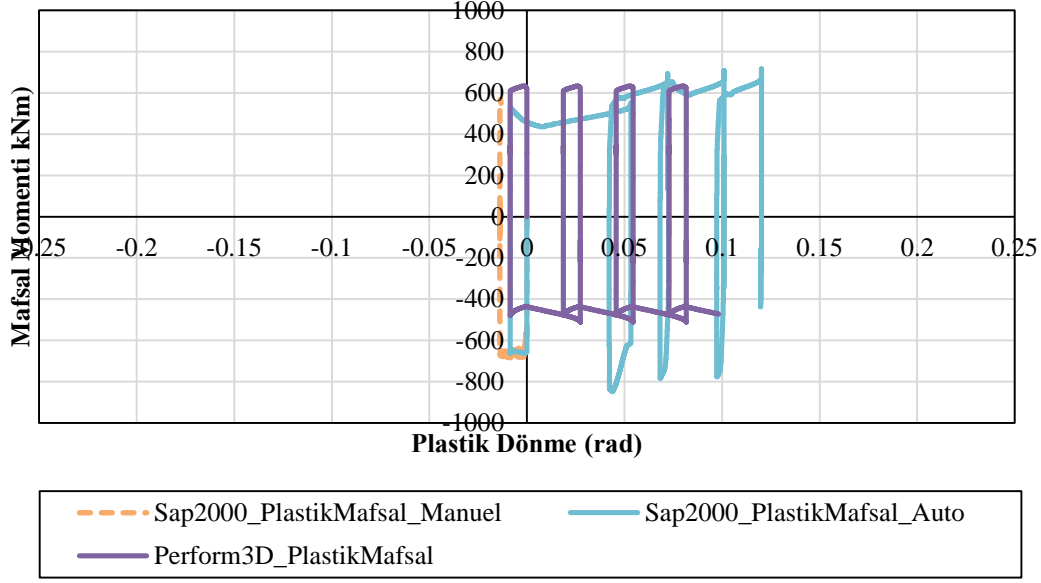




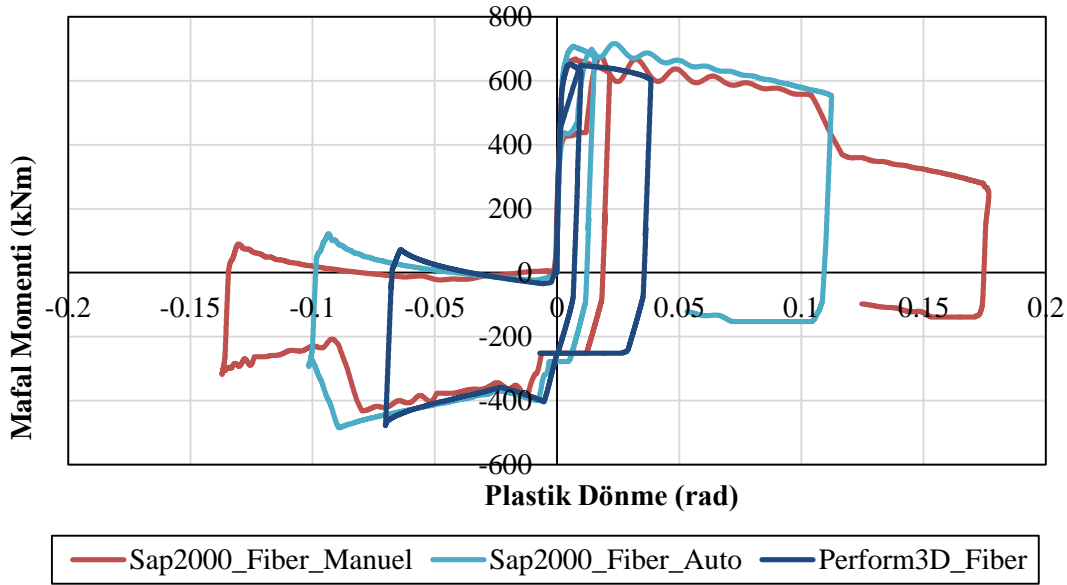
Şekil 5.58: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.



Şekil 5.59: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

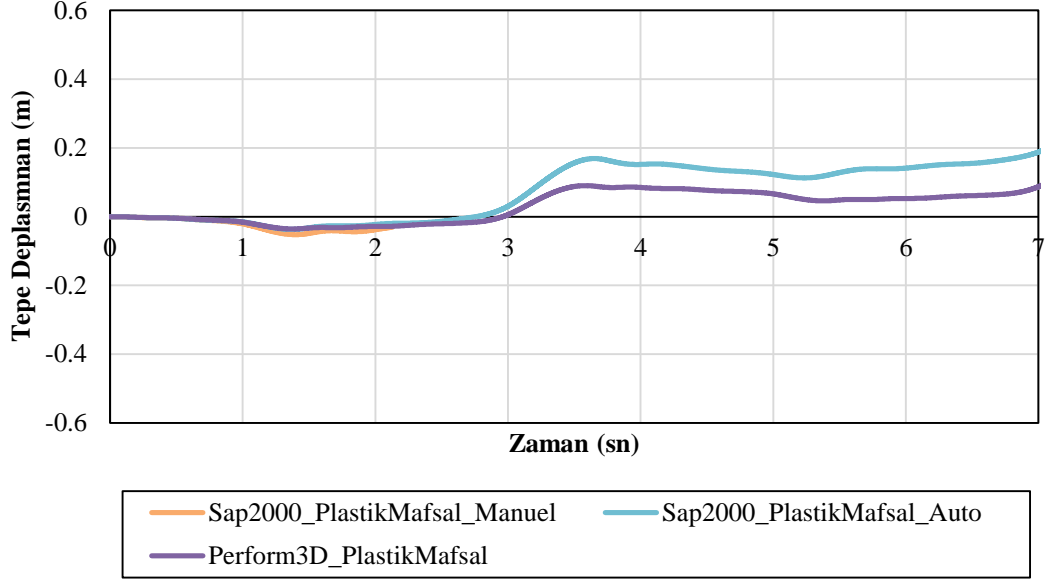


Şekil 5.60: Kolon yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

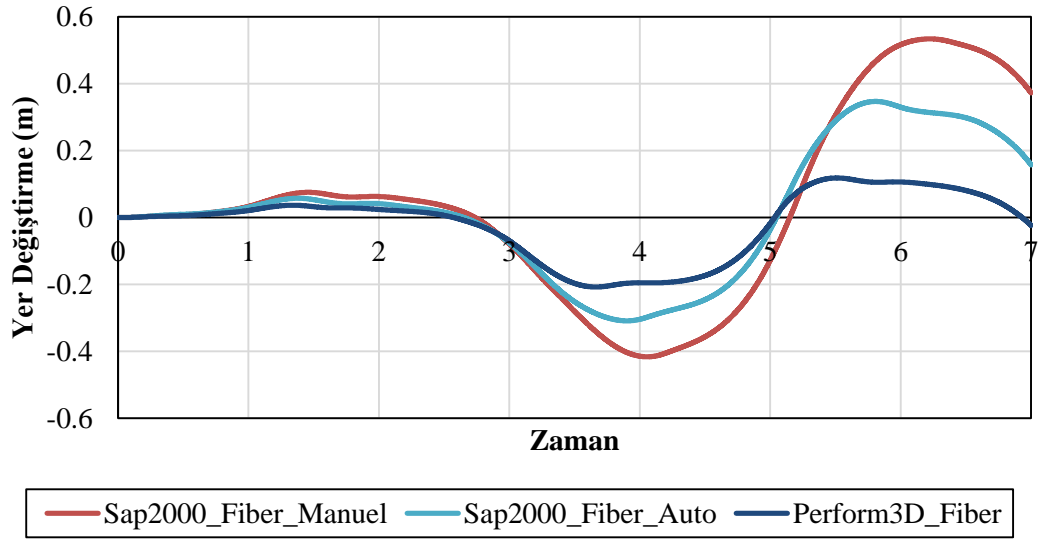


Şekil 5.61: Kolon yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

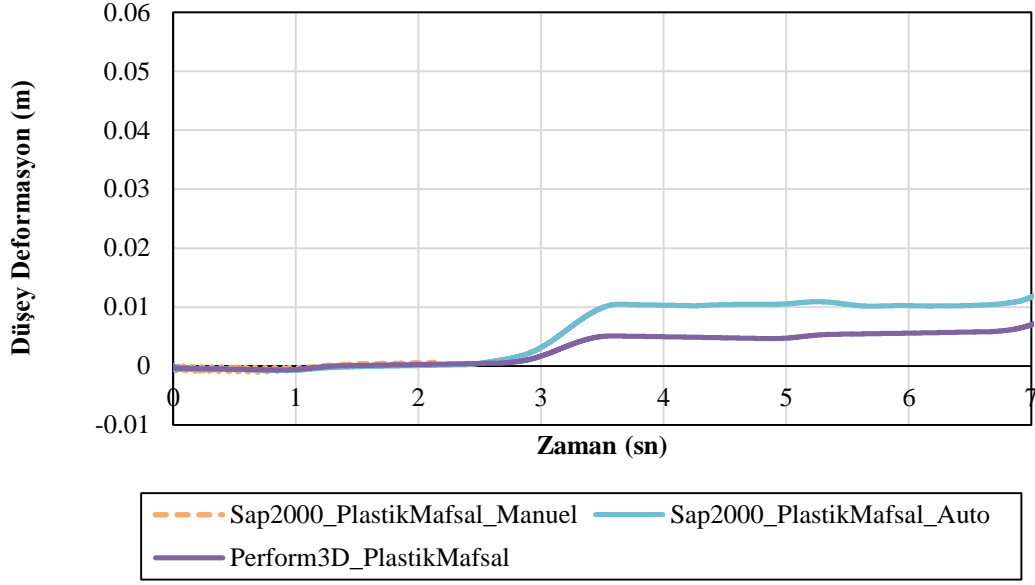
Yapısal sistemdeki kolonların üzerlerine değişken eksenel yük verilmiştir. Dinamik bir aralıkta tanımlanan eksenel yük değeri yatay ivme değeriyle elde edilen sonuç yukarıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Eksenel yük değerinin değişken olması halinde, kolon mafsal tanımlarındaki gibi her eksenel yük değerinde farklı akma momenti oluşması beklenir.



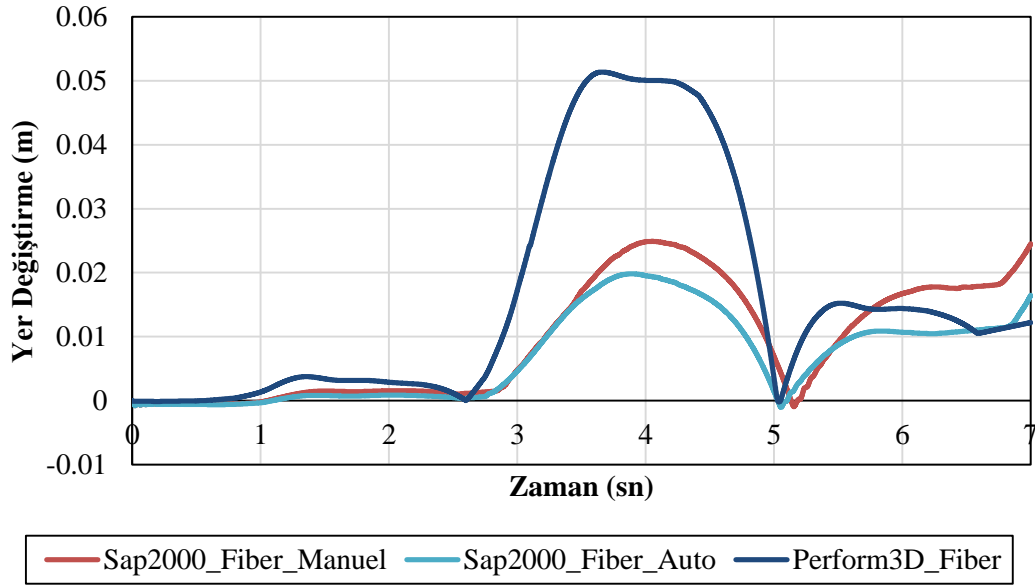
**Şekil 5.62:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-1.



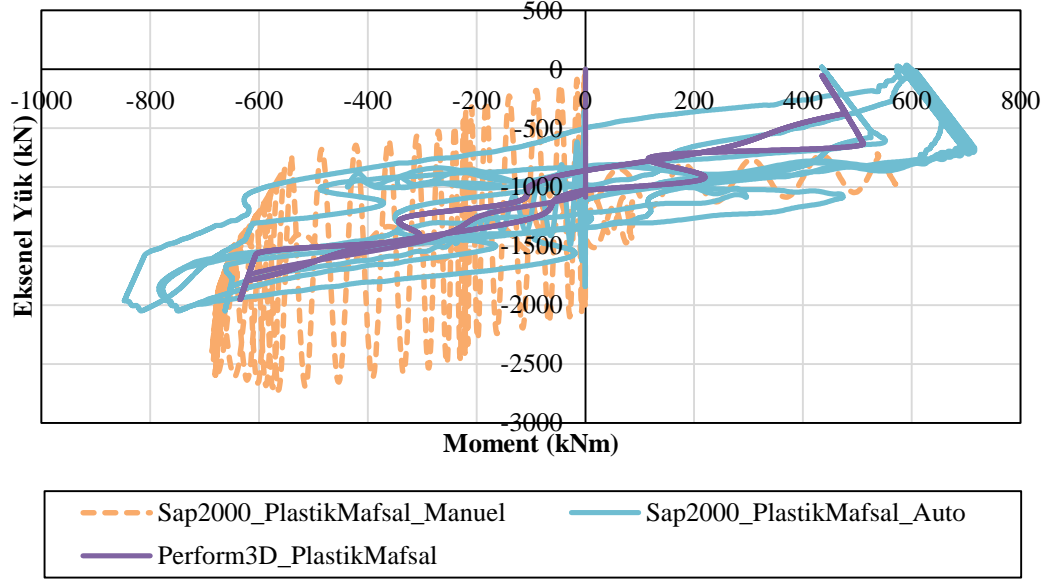
**Şekil 5.63:** Yapısal sistemin Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan tepe yerdeğiştirme-zaman eğrisi-2.



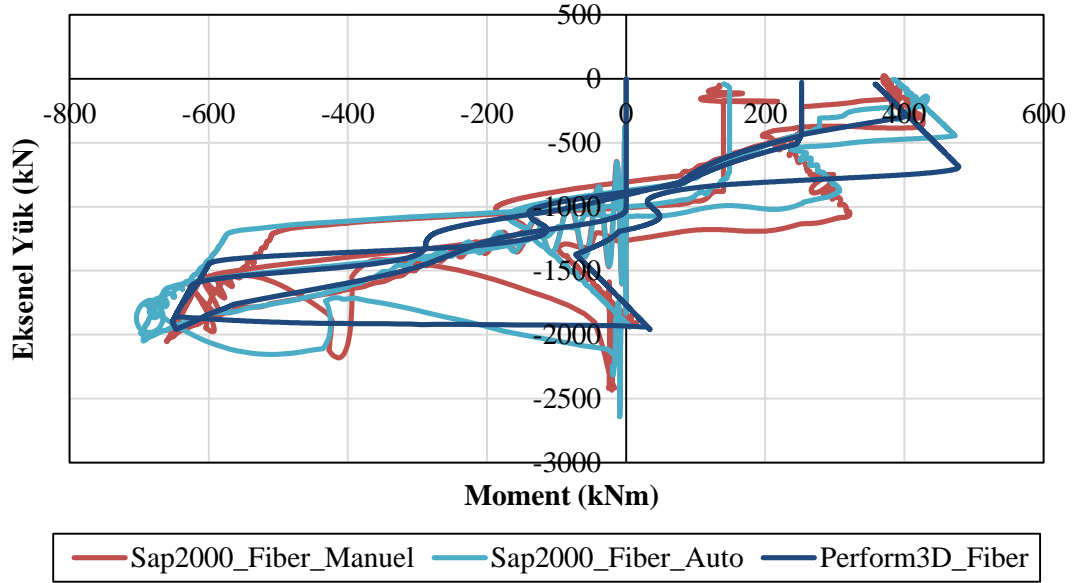
Şekil 5.64: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-1.



Şekil 5.65: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan düşey yerdeğiştirme- zaman sonuçları-2.



**Şekil 5.66:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-1.



**Şekil 5.67:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan kolon eksenel yük-moment sonuçları-2.

Bu bölümde yapılan çalışmanın amacı, eksenel yük değerinin değişken olması, özellikle dinamik olarak yüklenmesi, durumlarında doğrusal olmayan davranışın kolonlarda nasıl bir sonuç oluşturacağıdır. Doğrusal olmayan davranışın tanımlanması, kesitin her eksenel yük değerinde farklı akma moment değerleri olması ve bu ilişkinin mafsal olarak tanımlanmasına bağlıdır. Sonuç olarak, değişen eksenel yük değerlerinde mafsal momenti farklı değerler almıştır

## 5.5 Çok Katlı Çok Açıklıklı Çubuk Çerçeve Model Örneğinin Doğrusal Olmayan Davranışının Karşılaştırılması

Bu bölümde çok katlı çok açıklıklı çerçeve sistemin doğrusal olmayan davranışının statik ve dinamik yükler etkisi altındaki analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapının taşıyıcı sistemi, spektral analiz çözüm yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Spektral analiz çözüm Sap2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile çerçeve taşıyıcı sistem elemanlarının donatı yerleşimideha Çizelge 1'deki kesit-1 yapısal kolon elemanı olarak kabul edilmiştir. Kiriş kesitinde ise daha önceki bölümde yapısal analizlerde kullanılan kiriş kesiti kabul edilmiştir.

Yapının analizinde araştırma konuma göre sadece iki boyutlu bir analiz modeli oluşturulmuştur.

Yapının doğrusal olmayan davranışının araştırılmasında;

- Sap2000,
- Perform3D,

programları kullanılmıştır.

Yapısal analiz olarak;

- Statik itme analizi,
- Zaman tanım alanında analiz,

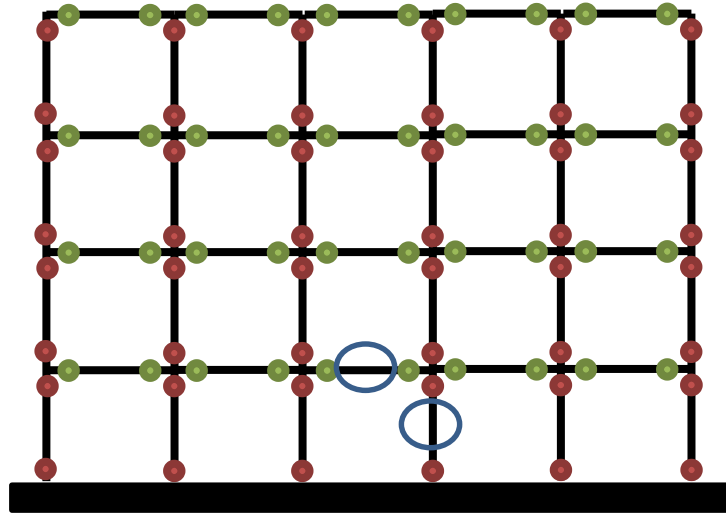
kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan davranış modelleri olarak;

- Plastik mafsal modeli,
- Fiber mafsal modeli,

kullanılarak yapılmıştır. Yapının tamamında kolon ve kiriş çerçeve sistemi kullanılmıştır. Yapıda herhangi perde bulunmamaktadır. Kolon ve kiriş boyutları ve donatı düzenleri birbirleriyle aynı olup aynı plastik ve fiber mafsal atanmıştır. Plastik

mafsal ve fiber mafsal modellerinin tanımlanması daha önceki bölümde hesaplandığı gibidir. Kullanılacak yapının matematiksel modeli Şekil 5.68'deki gibidir.



**Şekil 5.68:** Çok katlı çerçeve sistem analiz modeli.

İki farklı programda yapısal elemanlara doğrusal olmayan davranışın tanımlanması şu modeller kullanılarak yapılmıştır;

#### Sap2000

- Xtract kesit analiz modeli kullanılarak oluşturulan moment-eksenel yük etkileşim mafsal modeli,
- Sap2000 programına kesit tanımlanarak program tarafından otomatik oluşturulan moment-eksenel yük etkileşim mafsal modeli,
- Kesitin fiberler oluşturularak tanımlanan fiber mafsal,
- Sap2000 programına kesitin otomatik olarak tanımlanarak program tarafından oluşturulan fiber mafsal modeli.

#### Perform3D

- Xtract kesit analiz modeli kullanılarak oluşturulan moment-eksenel yük etkileşim mafsal modeli,
- Kesitin fiberler oluşturularak tanımlanan fiber mafsal.

Her iki program tarafından doğrusal olmayan davranış yukarıdaki gibi tanımlanmıştır. Toplamda çok katlı çerçeve sisteminde oniki adet analiz yapılmış ve ilerideki bölümlerde de sonuçları paylaşılmıştır.

### 5.5.1 Çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve modelin statik itme analizi ile doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması

Statik analiz olarak; yapının toplam kat yüksekliğinin %5'i oranında yatay yerdeğiştirme sınırına kadar itme uygulanmıştır. Programlar tarafından elde edilen modal analiz sonuçlarında ilgili yöndeki hakim moda göre itme analizi uygulanmıştır. Yapıya düşey yüklerin tamamının etkidiği düşünülerek itme analizi yapılmıştır.

Yapının düğüm noktalarındaki kütle değerleri her iki program içinde aynı değerdedir.

Hakim modun kütle katılım oranları aynı değerdedir. Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'de bu oranlar verilmiştir. Analizlerde ilk önce düşey yüklerin tamamı yapıya etkittirilmiş, daha sonra itme analizleri yapılmıştır. Yapısal sistemde sadece Şekil 5.68'de işaretlenmiş kolon ve kiriş yapısal çubuk eleman için sonuçlar verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Sap2000 programı periyot ve modal katılım oranları.

Modal Adım	Periyod	Katılım (%)	Kütle Katılım (%)
1	0,447567	0,8235	0,8235

**Çizelge 5.3:** Perform3D programı periyot ve modal katılım oranı.

Modal Adım	Periyod	Katılım (%)	Kütle Katılım (%)
5	0,4477	0,8235	0,8235

Bu tezin kapsamında herhangi bir yapının performans seviyesi araştırılmadığı için bu itme yerdeğiştirme sınırı hedef yerdeğiştirme olarak kabul edilip analiz edilmiştir.

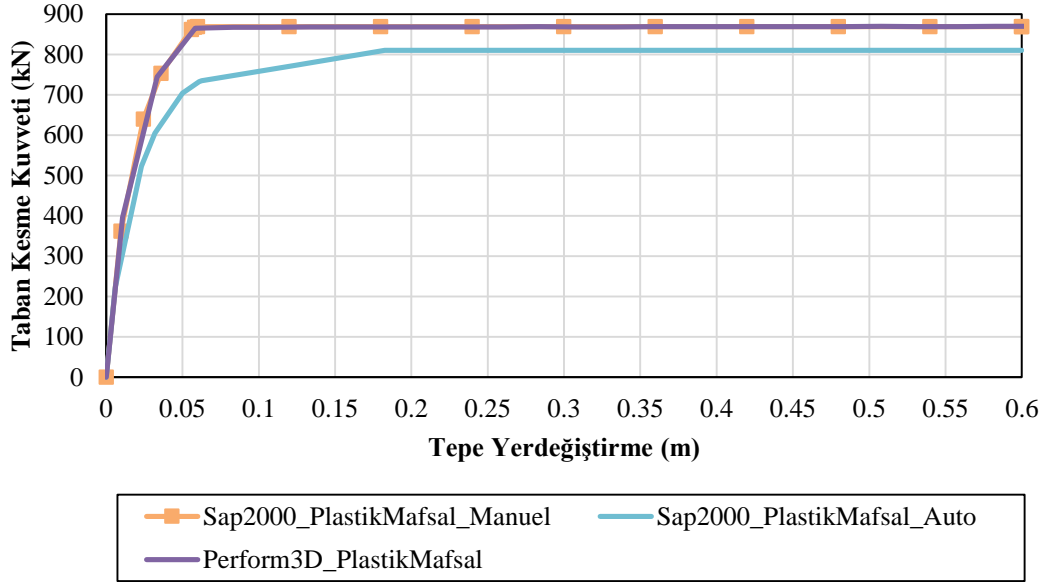
Yapının statik itme analizinin sonuçları olarak;

- Kolon mafsalları sonuçları,
- Kiriş mafsalları sonuçları,
- İtme taban kesme – tepe yerdeğiştirme sonuçları (pushover curve),
- Çerçeve sistem tepe yerdeğiştirme adım sonuçları,
- Yapısal eleman (kolon) eksenel yük – moment sonuçları,

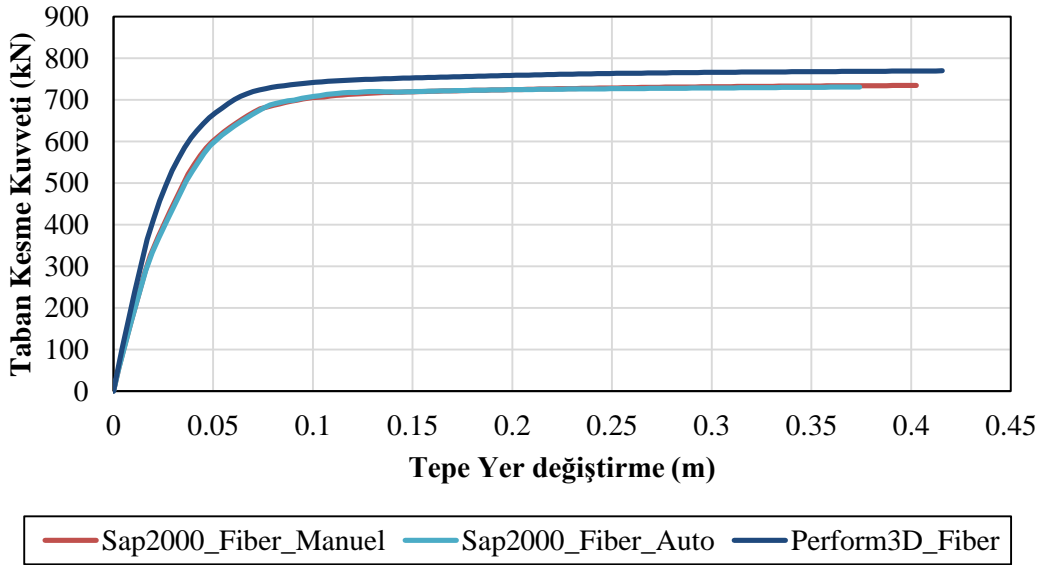
karşılaştırılarak grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 5.68’de gösterilen yapısal sistemin düşey yüklerin tamamının yapıya etkittirilmesinden sonra yatayda hakim periyodun etkisiyle itme analizinin hedef yerdeğiştirme kadar ittirilmiştir.



Şekil 5.69: Yapısal sistemdeki elemanlara atanan plastik mafsal sonucunda oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi.



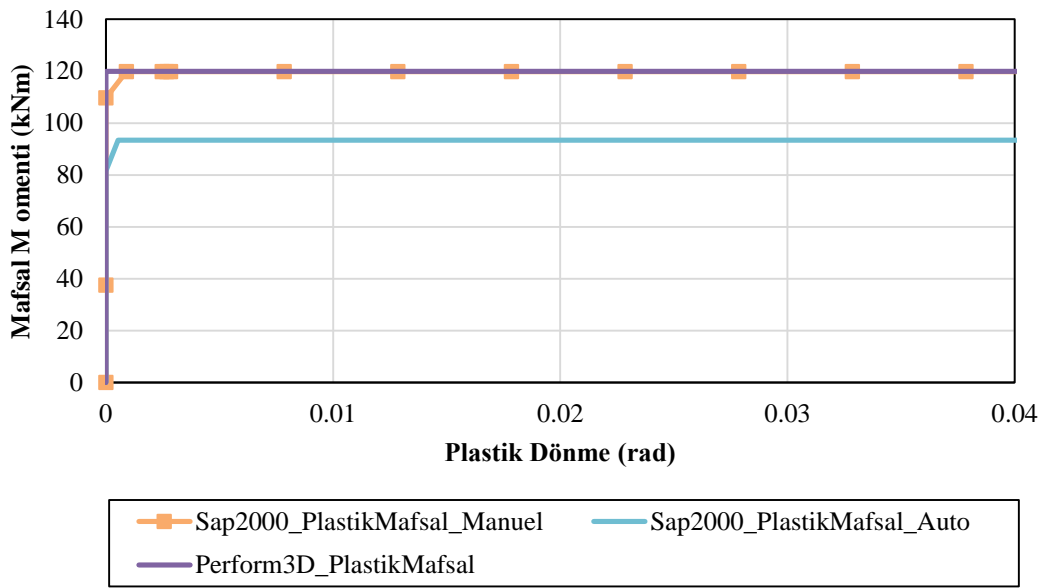
Şekil 5.70: Yapısal sistemdeki elemanlara atanan fiber mafsal sonucunda oluşan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme eğrisi.

Şekil 5.69 ve Şekil 5.70’da verilen grafikler yapısal sistemin her kolonuna etkiyen aksel yük sonrasında hakim mod tarafından itilen yapının tabanında oluşan kesme kuvvetinin tepede oluşan yerdeğiştirme değeri ile arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

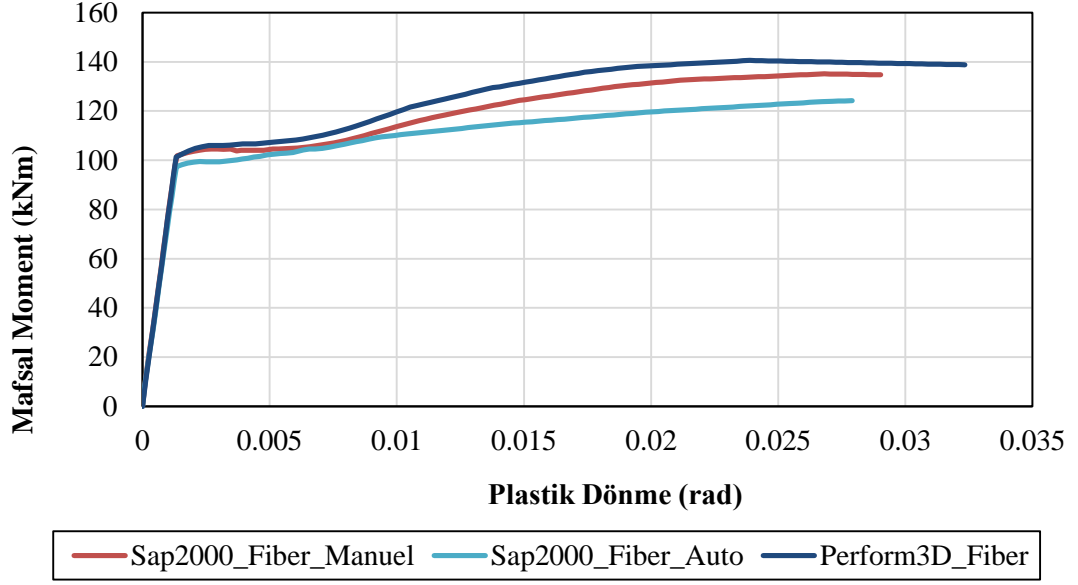
Yapının her katı 3 m ve 4 katlı olmasından dolayı  $12 \cdot 0.05 = 0.6$  m yapının ötelenmesine izin verilmiştir. İki ayrı grafik sırasıyla plastik mafsalları tanımlanan yapısal sonucu ile fiber mafsalları tanımlanan yapısal sonucu vermektedir.

Plastik mafsalları sonuçlarında; taban kesme kuvvetinin 900 kN olarak hesaplandığı modelde, fiber mafsalları sonucu olarak yaklaşık 750 kN olarak hesaplanmıştır. Yapısal modeller bire bir aynı olmasından dolayı fiber tanımla ve plastik mafsalları tanımlama arasındaki farklılıktan kaynaklı sonuçlar açığa çıkmaktadır.

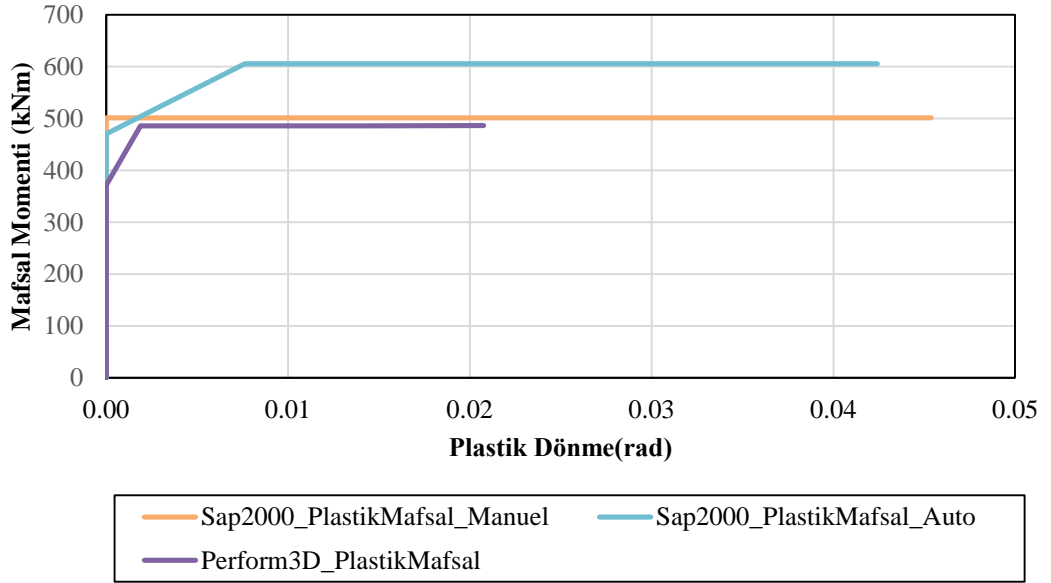
Yapısal sistemde sadece Şekil 5.68’de işaretlenmiş kolon ve giriş yapısal çubuk eleman için sonuçlar verilmiştir.



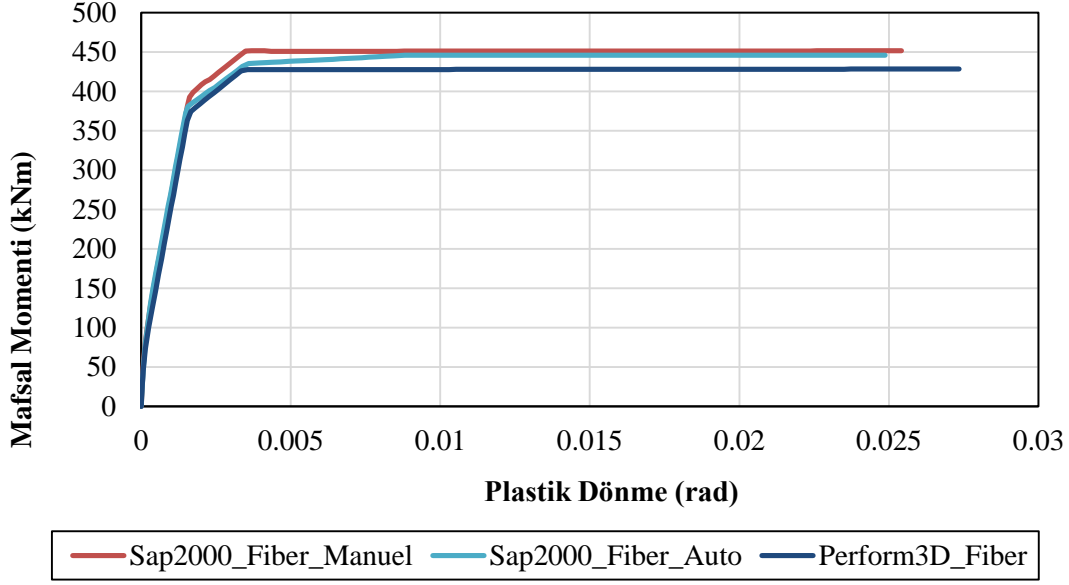
Şekil 5.71: Giriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalları momenti-plastik dönme sonuçları.



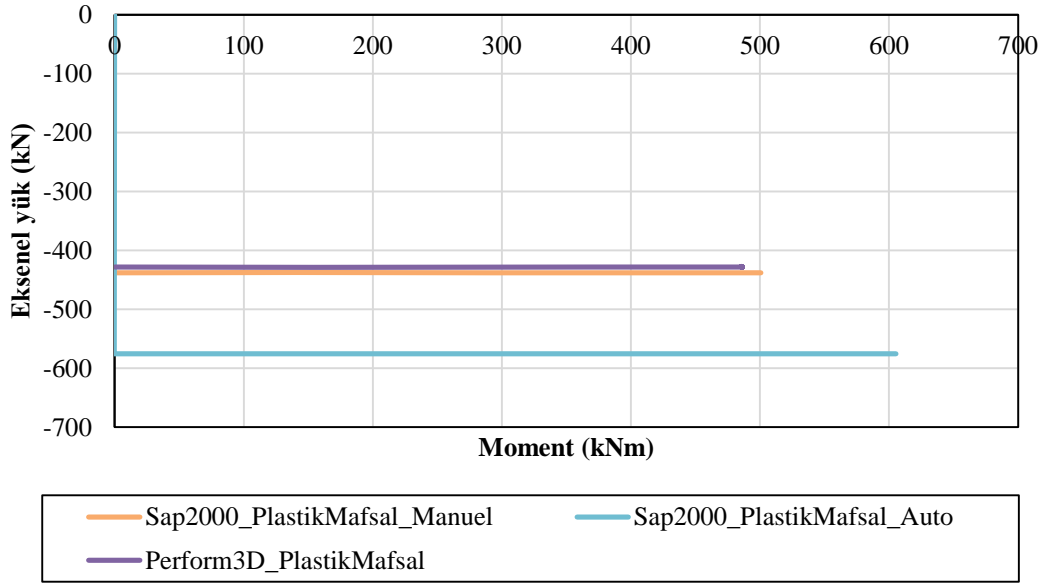
Şekil 5.72: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.



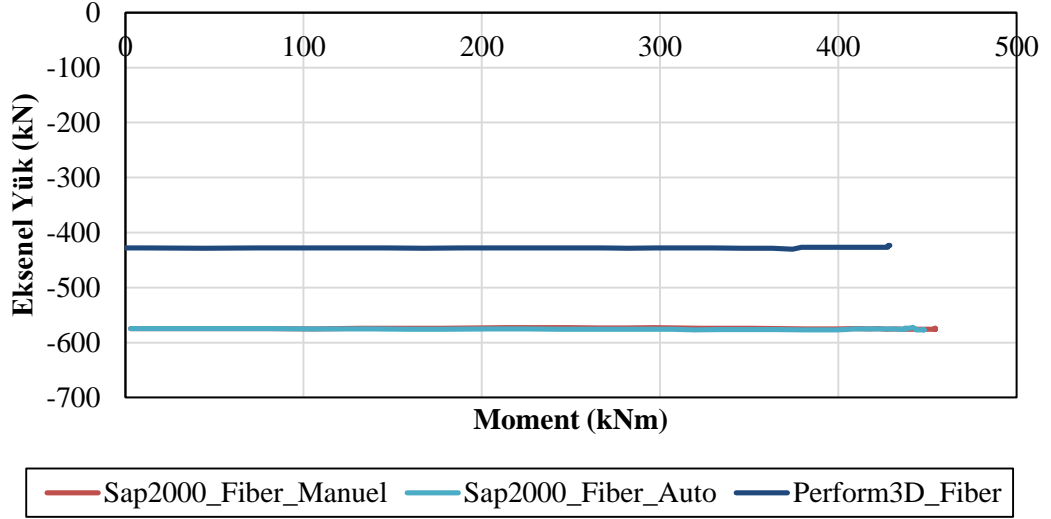
Şekil 5.73: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.



Şekil 5.74: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

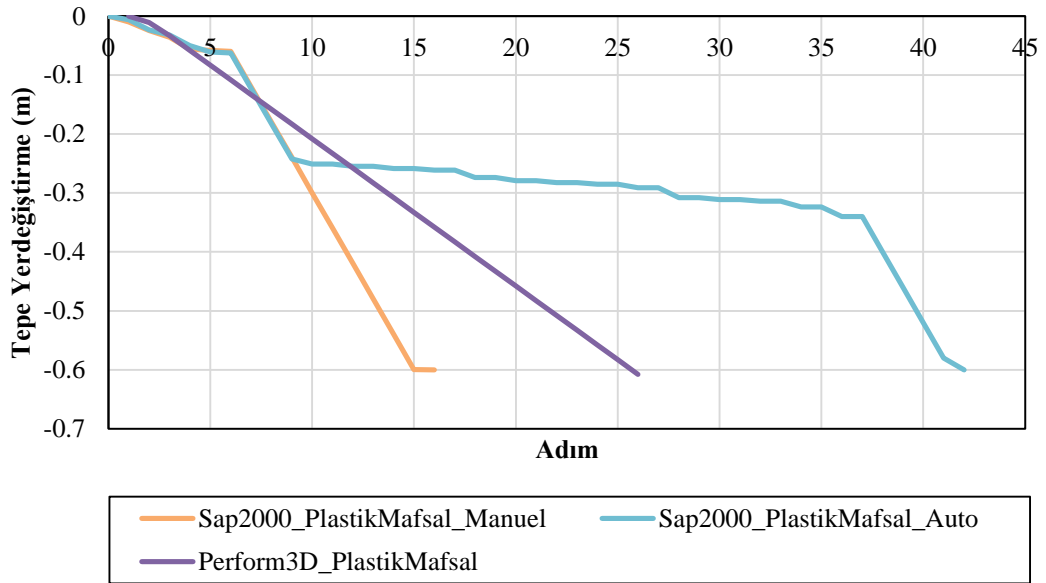


Şekil 5.75: Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-eksenel yük sonuçları.

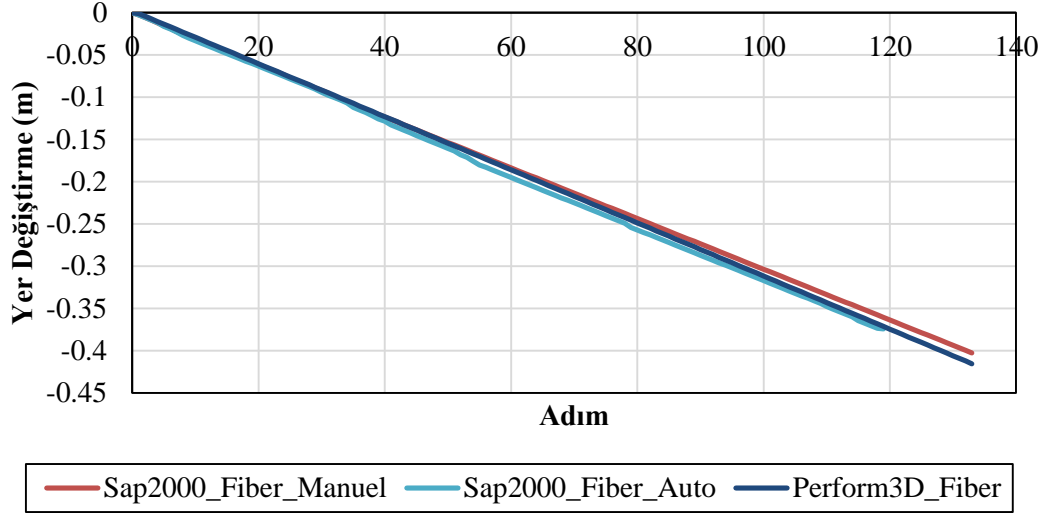


**Şekil 5.76:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları.

Şekil 5.76’da seçilen kolonun yapı analizi boyunca üzerindeki eksenel yük moment etkileşim ilişkileri grafiksel olarak verilmiştir. Buradaki amaç yapı analizi sırasında kolondaki eksenel yük değişiminin nasıl olduğunu anlayabilmektir. Grafiklerden anlaşılan Sap2000 programı tarafından tanımlanan kesitin doğrusal olmayan davranışın plastik mafsalsal olarak ve fiber mafsalsal olarak atanması sonuçlarında eksenel yük değerinin birbiriyle örtüştüğüdür. Fakat kullanıcı tarafından tanımlanan plastik mafsalsal atanması sonucunun farklı olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 5.77:** Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-1.

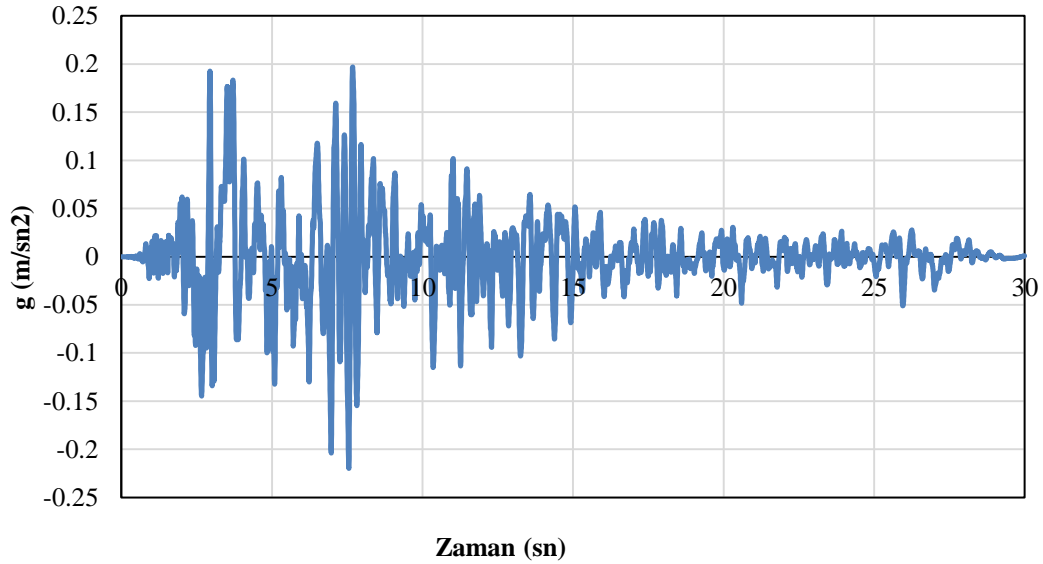


Şekil 5.78: Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-2.

### 5.5.2 Çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve modelin zaman tanım aralığında dinamik analizi ile doğrusal olmayan davranışın karşılaştırılması

Bu bölümde seçilen bir tarihsel ivme kaydı için deprem analizi yapılmıştır.

Seçilen kayıt Kocaeli depremine aittir Şekil 5.79'de gösterilmiştir. Bu kayıt İzmit istasyonundan alınmış olup en yüksek yer ivmesi yaklaşık olarak 0.2g'dir.



Şekil 5.79: Kocaeli depremi ivme – zaman grafiği

Kocaeli deprem kaydı 0.005 sn aralıklarla toplam 30 sn süren bir ivme – zaman kaydı olup toplamda 6000 veri bulunmaktadır. Yapıya ilk önce düşey yükler etkittirilmiştir.

Daha sonra düşey yüklerin varlığı sırasında yatay yönde deprem ivmeleri etkittirilerek yapının doğrusal olmayan davranışı elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

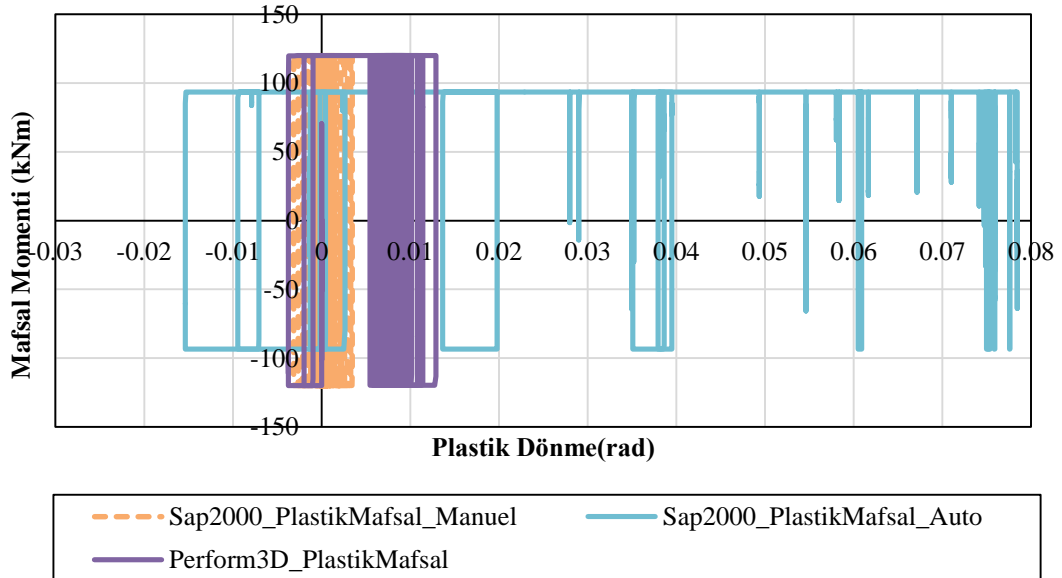
Şekil 5.68’de gösterilen yapısal sistemin düşey yüklerin tamamının yapıya etkittirilmesinden sonra Şekil 5.79’de gösterilen yatay ivme kaydı yapıya etkittirilerek yapısal sistemin plastik mafsalları ve fiber mafsallarla tanımlanan doğrusal olmayan davranış sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapının statik itme analizinin sonuçları olarak;

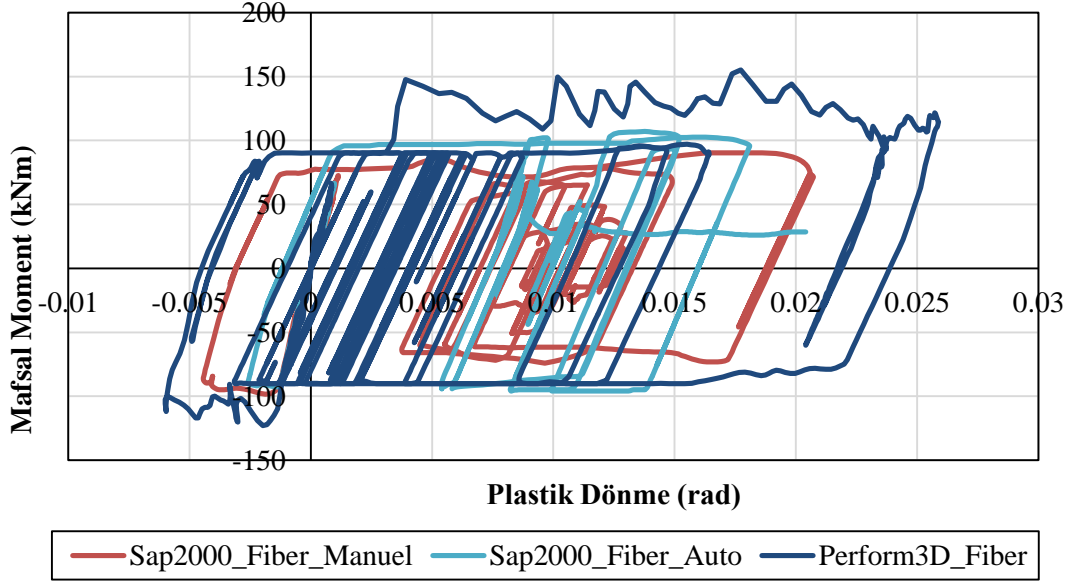
- Kolon mafsalları sonuçları,
- Kiriş mafsalları sonuçları,
- Çerçeve sistem tepe yerdeğiştirme zaman sonuçları,
- Yapısal eleman (kolon) eksenel yük – moment sonuçları,

karşılaştırılarak grafiksel olarak verilmiştir.

İki boyutlu düzlem çerçeve taşıyıcı sistemde her katta beş adet kiriş, altı adet kolon olmak üzere dört katta toplam yirmi adet kiriş, yirmi dört adet kolon yapısal taşıyıcı eleman vardır. Yapılan analiz sonuçlarının, her eleman için ayrı ayrı değerlendirilmesi tezin kapsamı dışındadır. Bu tez kapsamında sadece işaretli kolon ve kirişin farklı ticari programlarca analiz sonuçları verilecektir (Şekil 5.68).



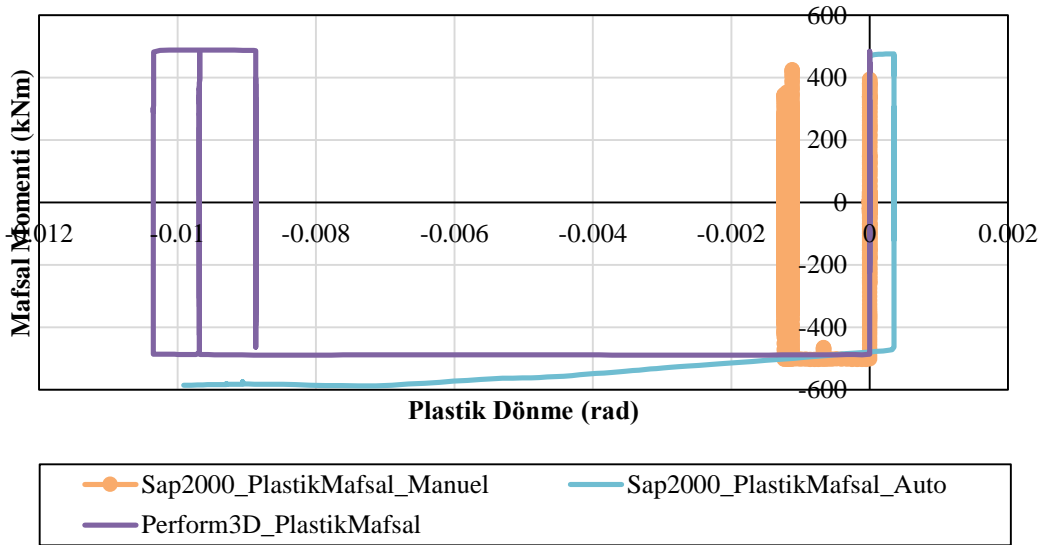
Şekil 5.80: Kiriş yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalları momentleri-plastik dönme sonuçları.



**Şekil 5.81:** Kiriş yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.

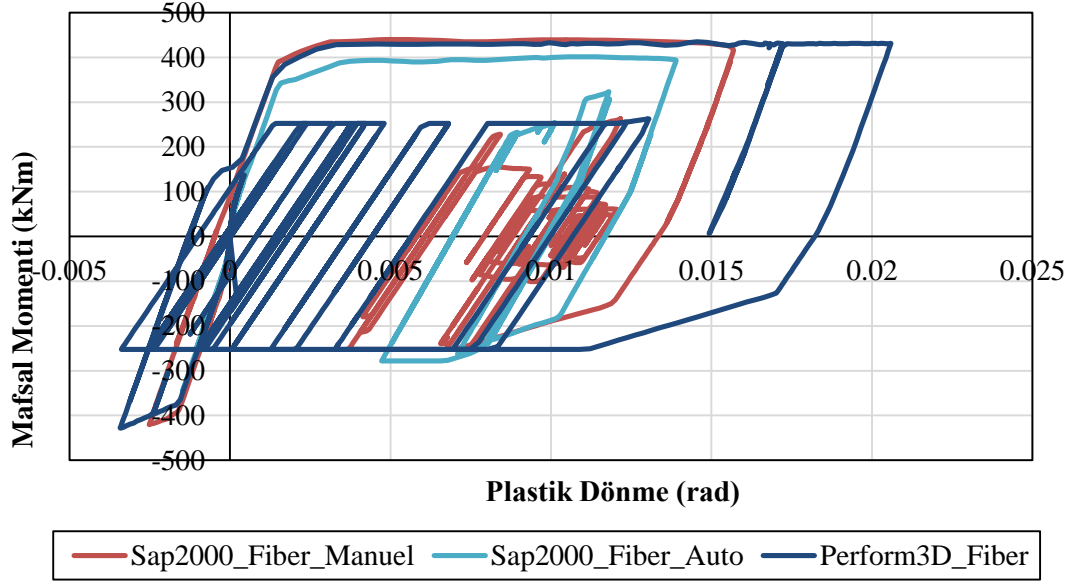
Şekil 5.80’de plastik mafsalsal kullanılan kiriş yapısal elemanın plastik mafsalsal atanarak tanımlanan doğrusal olmayan davranış modelinin karşılaştırıldığı grafikte, plastik mafsalsalın Sap2000 programı tarafından tanımlanan davranışı ile kullanıcı tarafından tanımlanan davranışına göre daha fazla plastik dönme yaptığı görülmektedir.

Fiber mafsalsal olarak tanımlanan karşılaştırma sonucunda, Perform3D programı tarafından hesaplanan kiriş plastik dönme sonucunun daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.81).



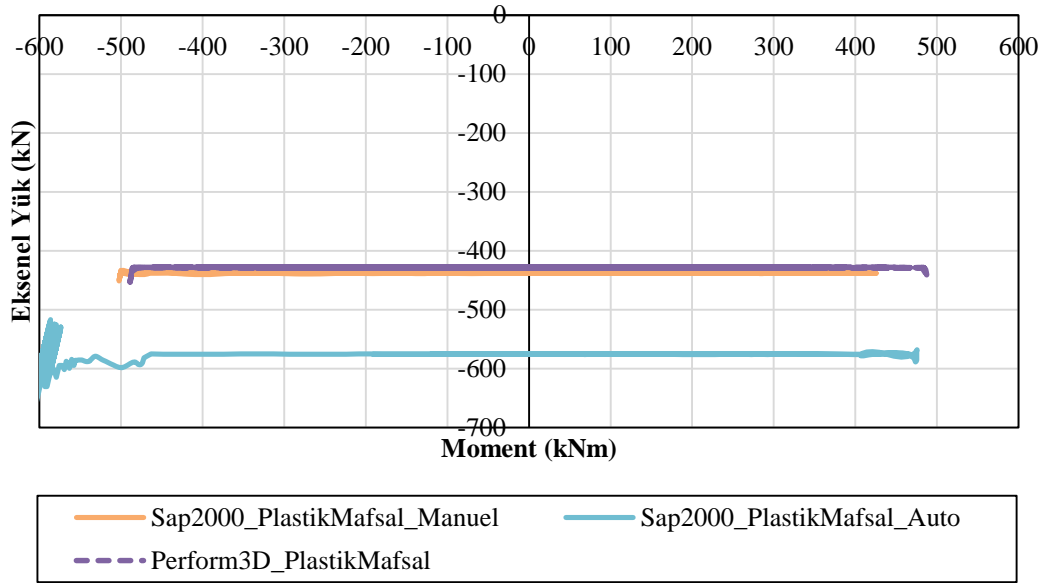
**Şekil 5.82:** Kolon yapısal elemanın Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsalsal momenti-plastik dönme sonuçları.



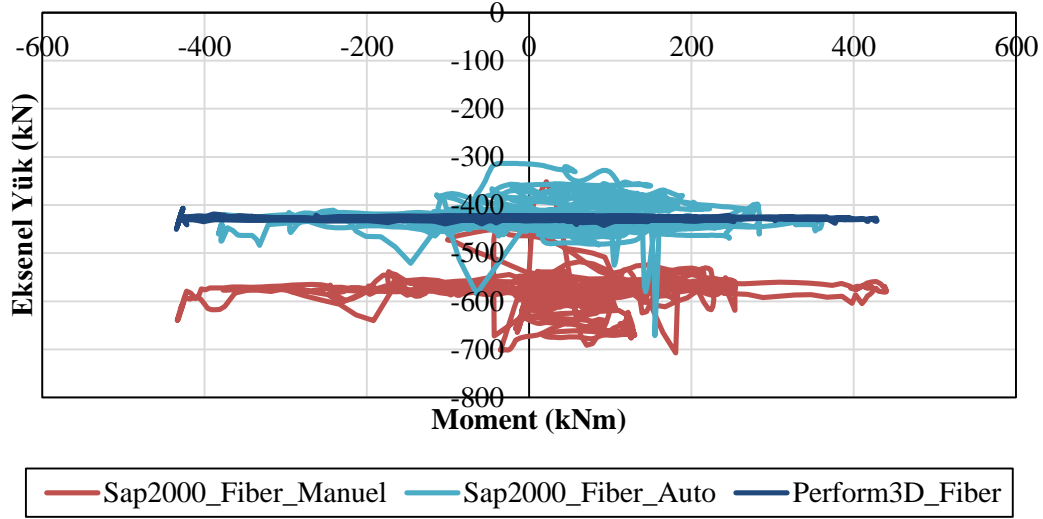


**Şekil 5.83:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsal momenti-plastik dönme sonuçları.

Şekil 5.83’de görüldüğü üzere, kolonların davranışı önceki bölümlerde kirişler için gözlemlenen davranışla benzerdir.

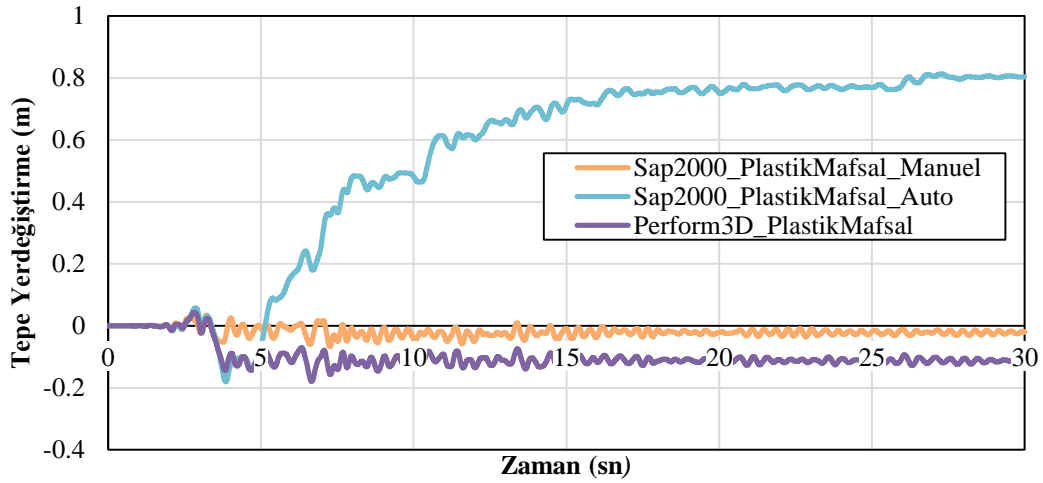


**Şekil 5.84:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan plastik mafsal momenti-eksenel yük sonuçları.



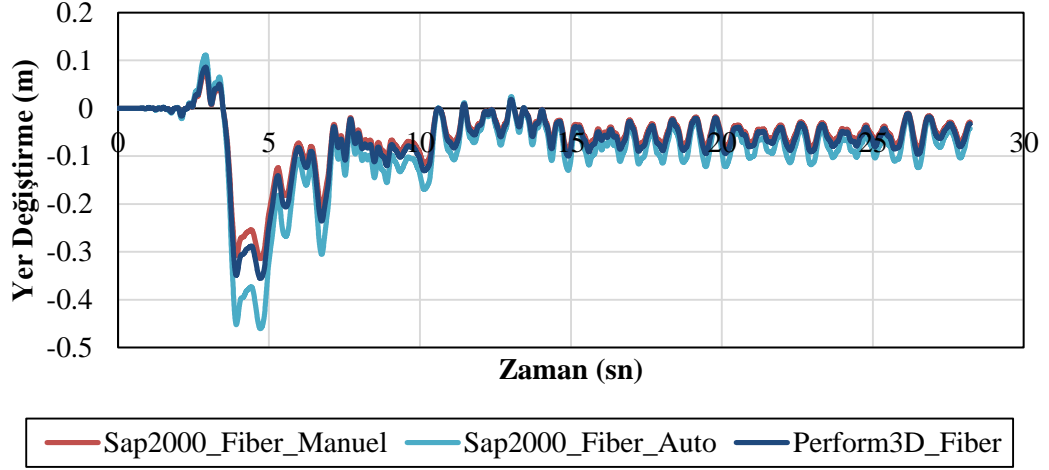
**Şekil 5.85:** Kolon yapısal elemanının Sap2000 ve Perform3D programları tarafından hesaplanan fiber mafsalsal momenti-eksenel yük sonuçları.

Daha önce bölümde aynı taşıyıcı sistemin hakim moda göre yapılan itme analizinin sonuçlarında, plastik mafsalsal ve fiber ile tanımlanan doğrusal olmayan davranışın eksenel yük değerlerinin kullanıcı tarafından tanımlanan davranış ile arasındaki fark gözlenmişti, benzer bir sonuç zaman tanım aralığında yapılan analiz sonuçlarında da karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 5.86:** Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-1.

Yapının bir düğüm noktasının ivmenin uygulandığı zaman içerisindeki ötelenme zaman ilişkileri grafiksel olarak yansıtılmıştır. Sap2000 programı tarafından atanan doğrusal olmayan davranışın incelendiği modelin, tepe yerdeğiştirme ötelenmesi diğerlerine göre belirli bir zaman diliminden sonra ters yönde bina yüksekliğinin yaklaşık %8 i mertebelerine ulaşmıştır.



**Şekil 5.87:** Yapısal sistemin tepe yerdeğiştirme-adım sonuçları-2.

### 5.6 Analiz Sürelerinin Karşılaştırılması

Doğrusal olmayan analizlerin ticari programları tarafından yapılan çözüm süreleri araştırılmıştır. İki ticari programın çözüm süreleri arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Sap2000 programının çözüm süresi saat bazında iken, Perform3D programının çözüm süresi dakika bazındadır. Bu süre farklılıklarının çok fazla olmasından dolayı herhangi bir grafiksel gösterim yapılmamıştır.



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu lisansüstü tez çalışmasında, doğrusal olmayan davranış hakkında genel bilgiler verilip davranışın sonuçları irdelenmiştir. Bu davranışın çeşitli tanımlanma yöntemleri irdelenmiş bunların ticari programlar tarafından karşılaştırmaları yapılmıştır. Doğrusal olmayan davranışın tanımlanması;

- Plastik mafsal hipotezi,
- Fiber mafsal hipotezi,

ile araştırılmıştır. Bu mafsallar malzeme ve kesit bazında programlar tarafından çeşitli karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapısal elemanları oluşturan malzeme modellerinin doğrusal olmayan davranışlarının karşılaştırılması sonucunda;

- Sap2000 programının versiyonları arasında sonuç karşılaştırmalarında herhangi bir farklılık yoktur.
- Malzemenin sargılı ya da sargısız olması Sap2000 programı tarafından hesaplanan gerilme-şekil değiştirme ilişkisinde aynı sonuçlar vermektedir.
- Malzemenin sargılı ya da sargısız olması, kesitin sargılı ya da sargısız olmasına göre değişmektedir. Kesit sargılı ise sargılı duruma göre beton dayanım şekil değiştirme ilişkisi hesaplanmakta, sargısız olması durumunda ise bu ilişki dikkate alınıp hesap yapılmaktadır.
- Sap2000 ve Xtract programlarının sonuçları arasında benzer bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisi varken, DBYBHY'07 bilgilendirme eki 7B'deki beton gerilme - şekil değiştirme ilişkileri arasında fark vardır. Bu fark şekil değiştirmelerin eşit olduğu değerde yüksek gerilme sonucunu vermektedir. Bu da kesitin daha fazla bir gerilmeye kesitin plastikleşmeye ulaşacağını ifade etmektedir.

Doğrusal olmayan davranışın malzeme modelleri olarak yapısal eleman kesitlerine atanması ile araştırılan moment eğrilik ilişkileri karşılaştırmaları sonucunda;

- Ticari programlarda yapılan karşılaştırmalarda malzeme karşılaştırmasında karşılaşılan sonuç gibi kesitin sargılı yada sargısız olması moment eğrilik ilişkisini etkilememektedir.
- Kesitin tanımlanırken kullanıcı kontrollü ya da program kontrollü olarak girilen donatı düzeninde yapılan karşılaştırmada moment eğrilik ilişkileri farklılık göstermektedir.

Belirlenen doğrusal olmayan davranışların çubuk yapısal eleman içeren konsol kolon, tek katlı tek açıklıklı çubuk çerçeve model ve çok katlı çok açıklıklı çubuk çerçeve modeller için incelenmiştir. Bu modellerin doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile karşılaştırmaları sonucunda;

Konsol kolon modellerde yapılan karşılaştırmaların sonucu;

- Düşey donatı değeri arttıkça kesitlerin moment akma değerinin arttığı hesaplanmıştır.
- Fiber modellenen kesitlerin doğrusal olmayan modellemesinde programların elastik bölge rijitliklerinin farklı hesaplandığı gözlenmiştir.
- Plastik mafsallı tanımlayan aksel yük moment değerleri, doğrusal olmayan davranışta aksel yük değerinin farklı olması halinde farklı akma moment değerlerini almıştır.
- Yapısal elemanların programa tanıtılması ve doğrusal olmayan davranışın modellenmesi karşılaştırmalarında, kullanıcı kontrollü durum ile program kontrollü durum arasında fark vardır. Bu fark program tarafından tanımlanması durumunda, plastikleşme değerini artırarak yapının göçme durumuna taşırken, diğer durumda sabit moment değerinde yapı göçme durumuna gelmektedir.
- Yapısal elemanlar kesitlerinin doğrusal olmayan davranışlarının fiber olarak tanımlanması durumunda çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda, analitik olarak programların karşılaştırılmayacağı, sadece deneysel çalışma yapılarak programların karşılaştırılmasının daha doğru sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

Tek katlı tek açıklıklı modellerde yapılan karşılaştırmaların sonucunda;

- Doğrusal olmayan davranışın fiber mafsallı olarak tanımlanmasında Perform3D ve Sap2000 programları kiriş yapısal elemanında aynı akma moment değerini verirken, plastik mafsallı sonuçlarında Perform3D programı daha büyük bir

akma moment değeri vermektedir. Bu farklılık kullanıcı kontrollü bir mafsal sonuçlarında davranışın tanımlanmasında önem kazanmaktadır.

- Eksenel yük değerinin değişken olduğu durumlarda farklı akma moment değerleri kolon için doğru hesaplanmaktadır.
- Program tarafından modellenen doğrusal olmayan davranış durumunda akma moment değerleri ile kullanıcı tarafından modellenen akma moment değerlerinden daha fazladır.
- Sap2000 programı tarafından tanımlanan kesitin doğrusal olmayan davranışın plastik mafsal olarak ve fiber mafsal olarak atanması sonuçlarında, eksenel yük değerinin birbiriyle örtüştüğü fakat kullanıcı tarafından tanımlanan plastik mafsal atanması sonucunun farklı olduğu anlaşılmıştır.
- Perform3D ile yapılan itme analizleri ile Sap2000 ticari programı arasında yapılan itme analizleri karşılaştırmalarında, Perform3D programının diğer programa göre doğrusal olmayan davranışa geçtiği fakat Sap2000 programının doğrusal olmayan davranışa daha geçemediği hesaplanmıştır.

Çok katlı çok açıklıklı modellerde yapılan karşılaştırmaların sonucunda;

- İtme analizi ile yapılan karşılaştırmalarda, fiber mafsal modellerinin plastik mafsal modellerine göre daha az taban kesme kuvveti aldığı hesaplanmıştır.
- Sap2000 programı tarafından tanımlanan kesitin doğrusal olmayan davranışın plastik mafsal olarak ve fiber mafsal olarak atanması sonuçlarında, eksenel yük değerinin birbiriyle örtüştüğü fakat kullanıcı tarafından tanımlanan plastik mafsal atanması sonucunun farklı olduğu anlaşılmıştır.
- Zaman tanım aralığındaki analiz sonuçlarına göre, kullanıcı tarafından tanımlanan doğrusal olmayan davranış sonuçları ile program tarafından tanımlanan sonuçlara göre daha az akma değerine sahip olduğu hesaplanmıştır.
- Kolon eksenel yük değeri, yapı tepe yerdeğiştirme ötelenmesi Sap2000 programı tarafından hesaplanan doğrusal olmayan davranış modelleri fiber ve plastik mafsal sonuçlarında daha fazla değer vermektedir.

Gerçekleştirilen sayısal çalışma neticesinde çalışmanın daha fazla geliştirilmesi amacıyla sunulan önerilen şu şekilde sıralanmıştır;

- Yapısal sistemi oluşturan çubuk çerçeve modeller, üç boyutlu olarak modellenip, doğrusal olmayan analizler yapılarak mafsal özellikleri irdelenebilir.
- Kolon aksenal yüküne bağlı olarak akma moment değerleri araştırmak için, daha farklı düşey yükleme yöntemleri seçilerek plastik moment değerleri araştırılabilir.
- Fiber mafsal özellikleri tek bir düzlem üzerinde olmayıp düşeyde fiber parçalara ayrılarak doğrusal olmayan analizler yapılarak karşılaştırılabilir.



## KAYNAKLAR

- Chopra, A. K.** (1995). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. ABD: Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California at Berkeley.
- Chopra, A. K., Goel, R.** (2001). A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 561-582.
- DBYBHY.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Dokainish, M. A. and Subbaraj, K.** (1989) "A Survey Of Direct Time-Integration Methods In Computational Structural Dynamics-I. Explicit Methods. Mechanical Engineering Department, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- Fardis, M. N. and Biskinis, D.** (2003). "Deformation of RC members, as controlled by flexure or shear". . Tokyo, Japan: Proceedings of the International Symposium Honoring Shunsuke Otani on Performance-Based Engineering for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Structures,.
- Elnashai, A. S.** (2000). Advanced inelastic static pushover analysis for seismic design and assessment. *G.Penelis International Symposium on Concrete and Masonry Structures*. 23-24.
- Fahjan, Y.** (2011). "Dynamic of Structures" Department of Earthquake and Structural Engineering. Kocaeli: Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü.
- Krawinkler, H. and Seneviratne. G.** (1998). "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation". *Engineering Structures*,20,4-6:452-464.
- Lawson, R. S., Vance, V. and Kwawinkler, H.** (1994). Nonlinear static push-over analysis-why, when, and how?. *Proceeding 5th US National Conference on Earthquake Engineering. Vol I.*, 283-292.
- Ibarra, L. F. and Krawinkler, H.** (2005). "Global collapse of frame structures under seismic excitations", Ph.D. Dissertation, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, CA.
- Ibarra, L. F., Medina, R. A., and Krawinkler, H.** (2005). "Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(12), 1489-1511.
- Mander, J. B., Priestley, J. N. and Park, R.** (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1827.

- Miramontes, D., Merabet, O. and Reynouard, J. M.** (1996). Kinematic hardening model based on general plasticity for reinforced concrete structures.
- Miranda.** (2000). Inelastic displacement ratios for structures on firm sites. *Journal Of Structural Engineering*, Vol.126,10,1150-1159.
- Newmark, N.** (1959). A Method of Computation for Structural Dynamics. *ASCE Journal of the Engineering Mechanics Division*. Vol. 85 No. EM3.
- Özer, E.** (2007). *Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Ders Notu.
- Paulay, T., and Priestly, M. J. N.** (1972). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y.
- Park, R. and Paulay, T.** (1974). *Reinforced Concrete Structures*.
- Paulay, T.** (1993). *Simplicity and Confidence in seismic design*. West Sussex: John Wiley and Sons Interscience.
- PEER/ATC.** (2006). Modeling acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER/ATC Report 72-1). Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering.
- PERFORM-3D.** (2005). Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures. Berkeley, California, USA: Computers and Structures, Inc.
- Prager, W.** (1955). The theory of plasticity - a survey of recent achievements. *Proc. Instn. of Mech. Engrs.*, London, England. 169, 41 - 57.
- Robert, L. and William, R. S.** (2003). *Analysis Of Geometrically Nonlinear Structures*. Springer Science And Business Media, B.V.
- SAP2000.** (2009). Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, California.
- Wilson, E. L.** (1973). Nonlinear Dynamic Analysis of Complex Structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1, 241-252.
- Wilson, E. L.** (2004). *Static and Dynamic Analysis of Structures (4th ed.)*. Berkeley: Computers and Structures,.
- XTRACT.** (2004). Cross Section Analysis Program of Structural Engineers. Imbsen Software Systems.

## **EKLER**

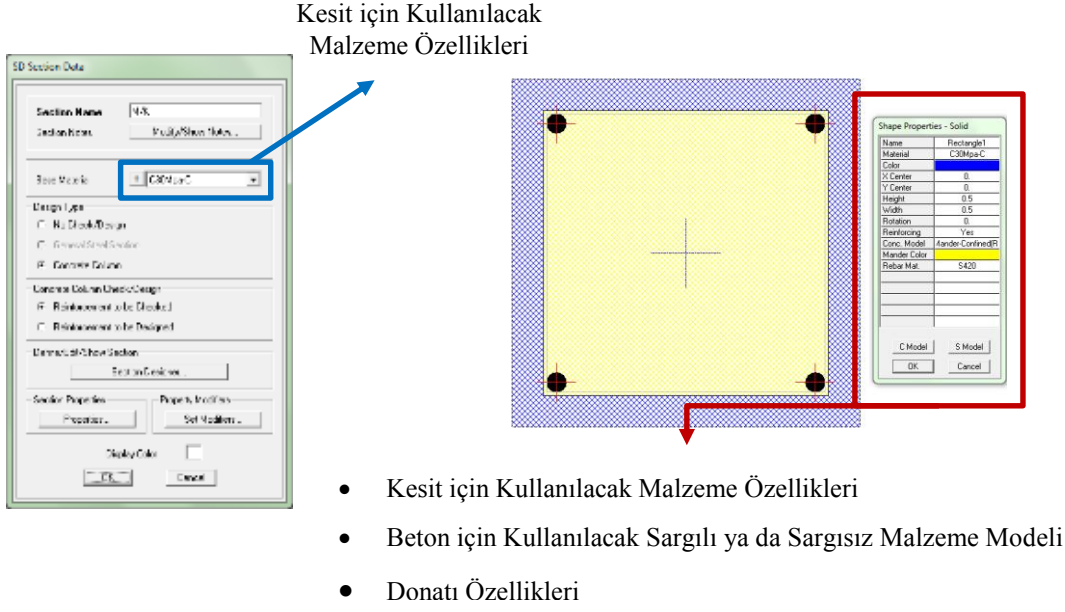
**EK-A: Kesitlerin Programa Tanımlanması Seçenekleri**

**EK-B: Konsol Kolonlarda Moment Mafsal Sonuçları**

**EK-C: Kullanılan Kesitin Fiber Özellikleri**

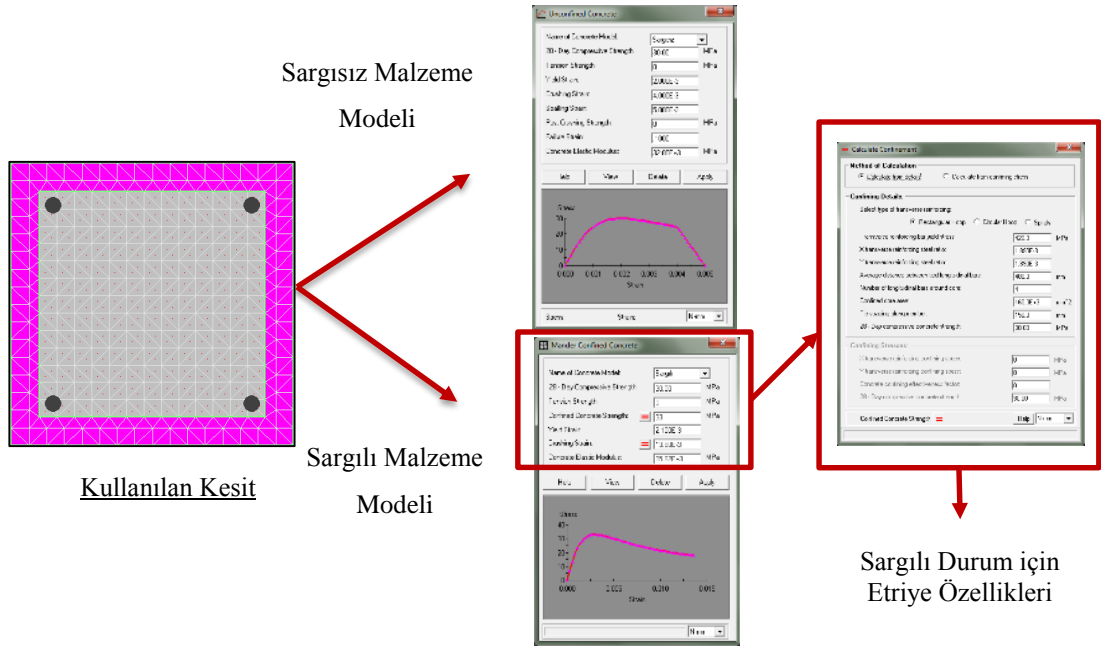
**EK-D: Fiber Mafsal ile İlgili Ek Çalışmalar**





**Şekil A.2:** Kesitin tanımlanmasında kullanılan ilgili değişkenlerin gösterimi (Sap2000).

Xtract programında kullanılan kesitlerin malzeme model tanımlanması aşaması kısaca aşağıda gösterilmiştir.

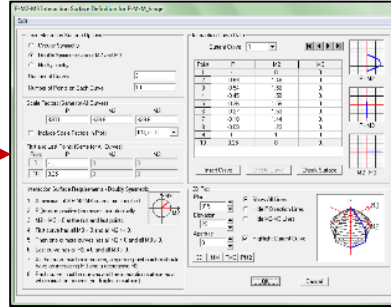
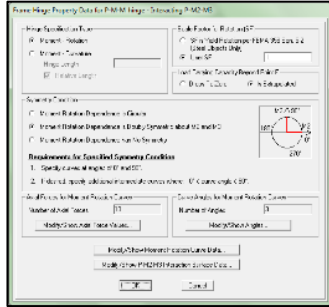


**Şekil A.3:** Kesitin tanımlanmasında kullanılan ilgili değişkenlerin gösterimi (Xtract).

Malzeme ve kesitlerin doğrusal olmayan malzeme modellerinin tanımlanmasından sonra, yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışlarının tanımlanması yapılmıştır.

Bu aşamada aşağıda Sap2000 ve Perform-3D ticari programlarının davranış tanımlama aşamaları gösterilecektir.

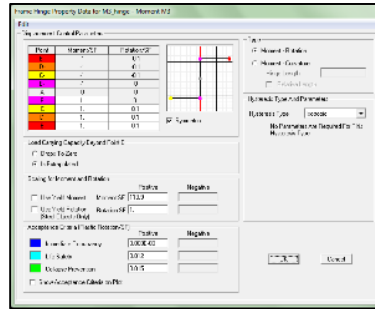
Sap2000 arayüzünden Define -> Section Properties -> Hinge Properties -> Tanımlanan Kesitin Doğrusal Olmayan Davranış Modeli (PMM veya M mafsali) -> Kesitin tanımlanmasında kullanılan değişkenlere bağlı olarak gerekli parametreler düzenlenir.



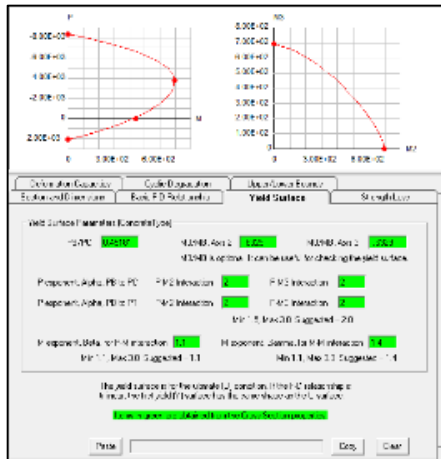
PMM Mafsali  
Yük Değerleri

Kolon Eksenel Yük-  
Moment Mafsali Modeli  
Özellikleri

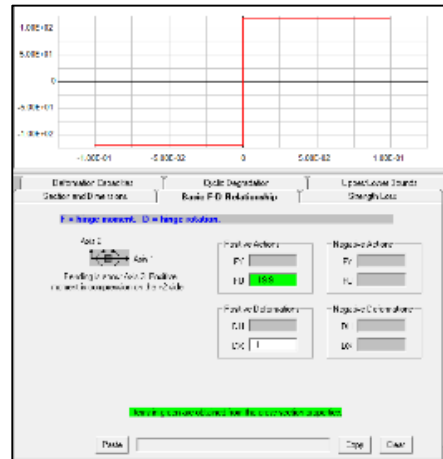
Kiriş Mafsali  
Modeli Özellikleri



Şekil A.4: Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi gösterimi (Sap2000).



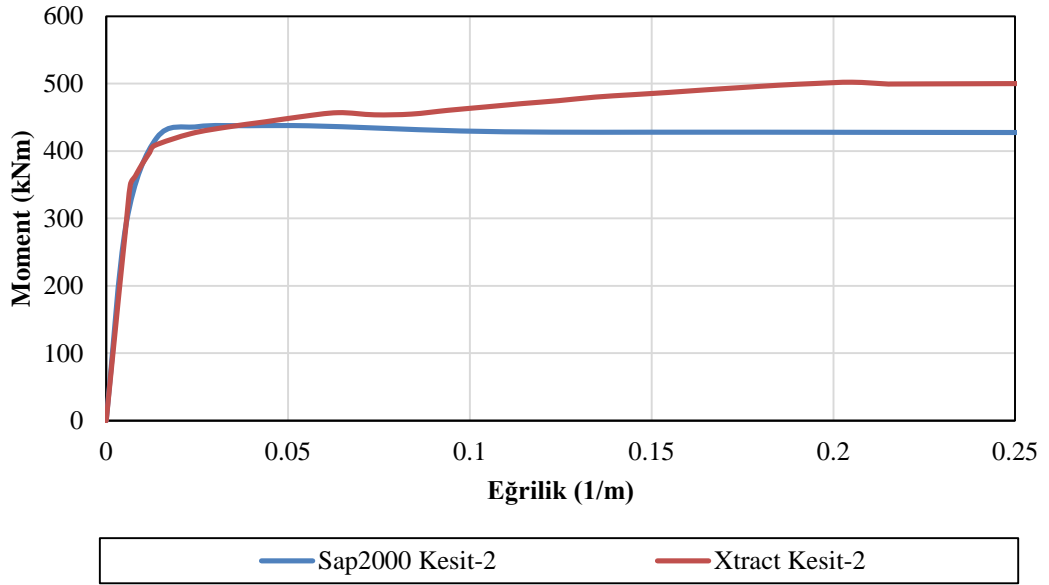
Kolon Eksenel Yük-  
Moment Mafsali Modeli  
Özellikleri



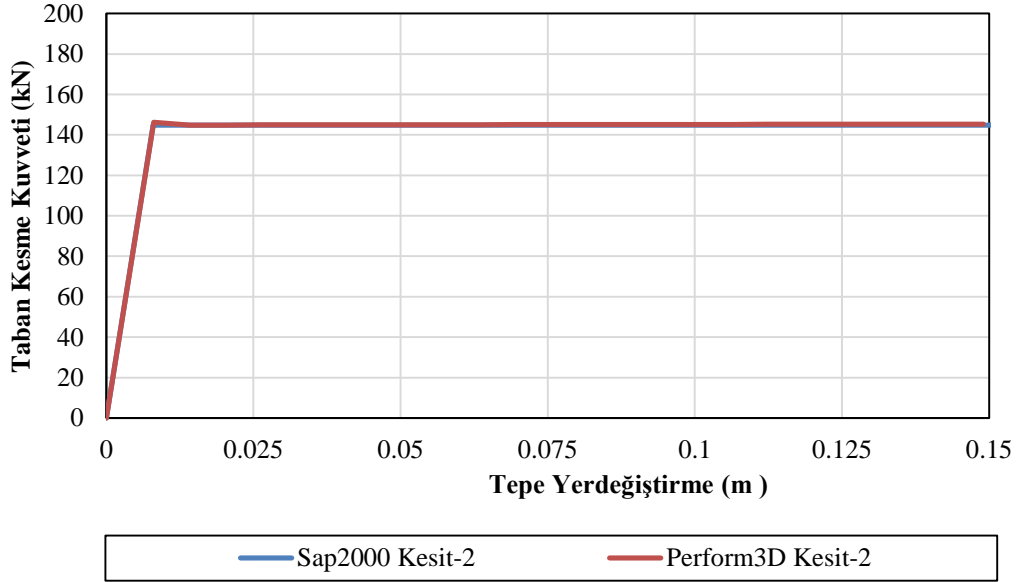
Kiriş Mafsali  
Modeli Özellikleri

Şekil A.5: Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi gösterimi (Perform-3D).

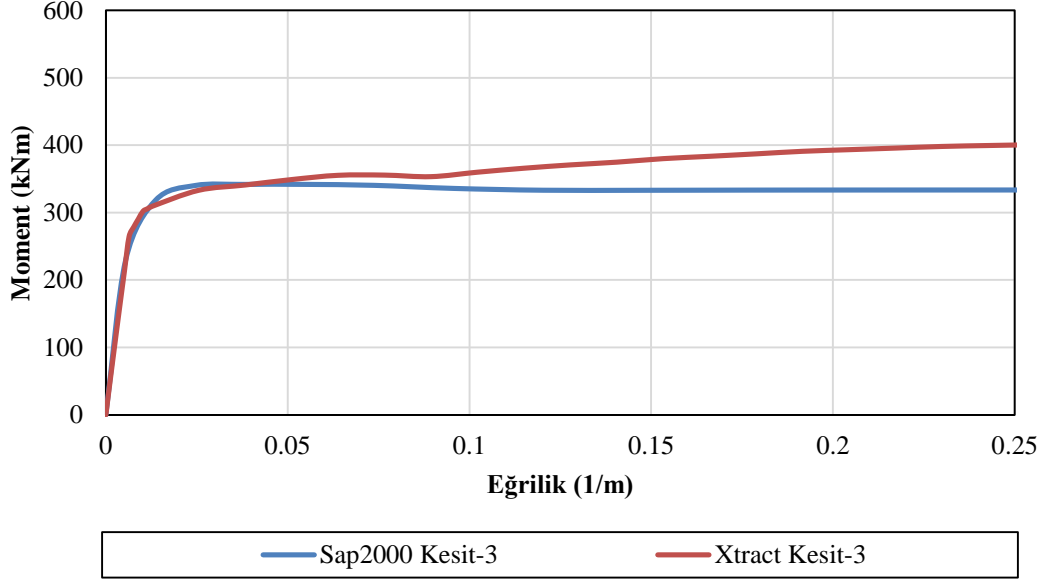
## EK-B Konsol Kolonlarda Moment ve Eksenel Yük Moment Mafsal Sonuçları



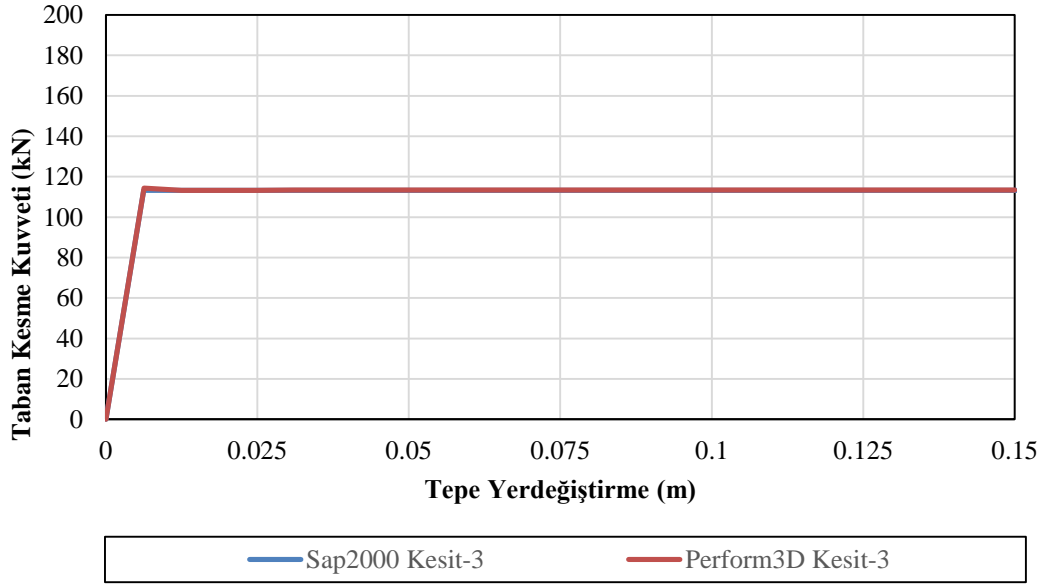
Şekil B.6: Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-2 için moment-eğrilik karşılaştırılması.



Şekil B.7: Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-2 için taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme karşılaştırılması.

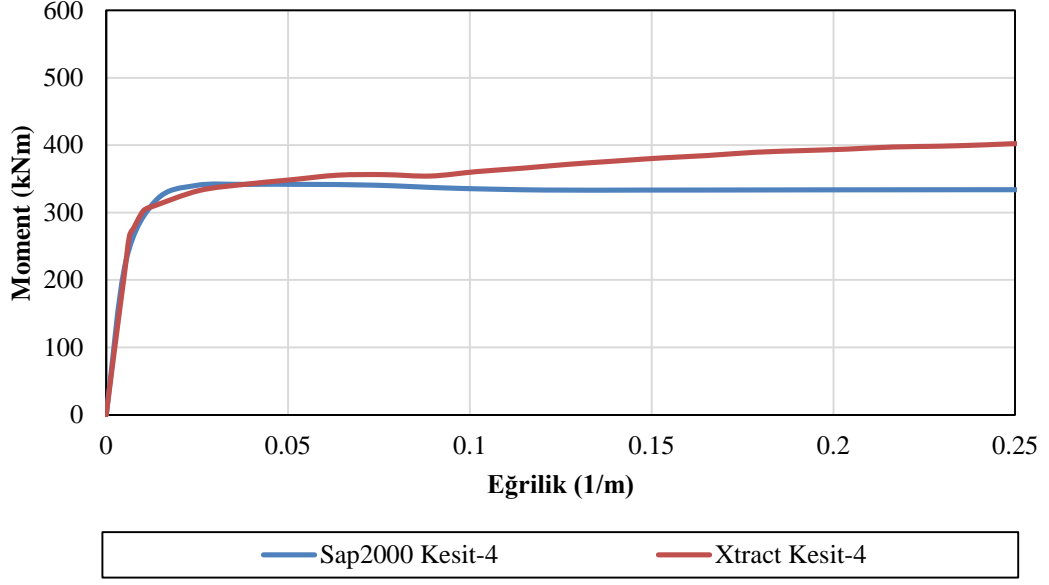


Şekil B.8: Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-3 için moment-eğrilik karşılaştırılması.

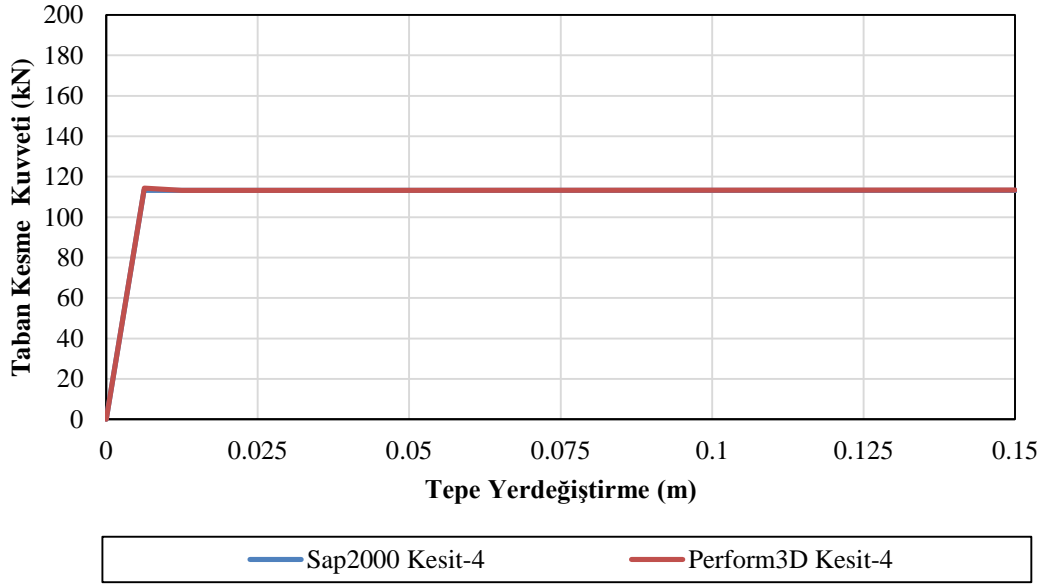


Şekil B.9: Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-3 için taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme karşılaştırılması.

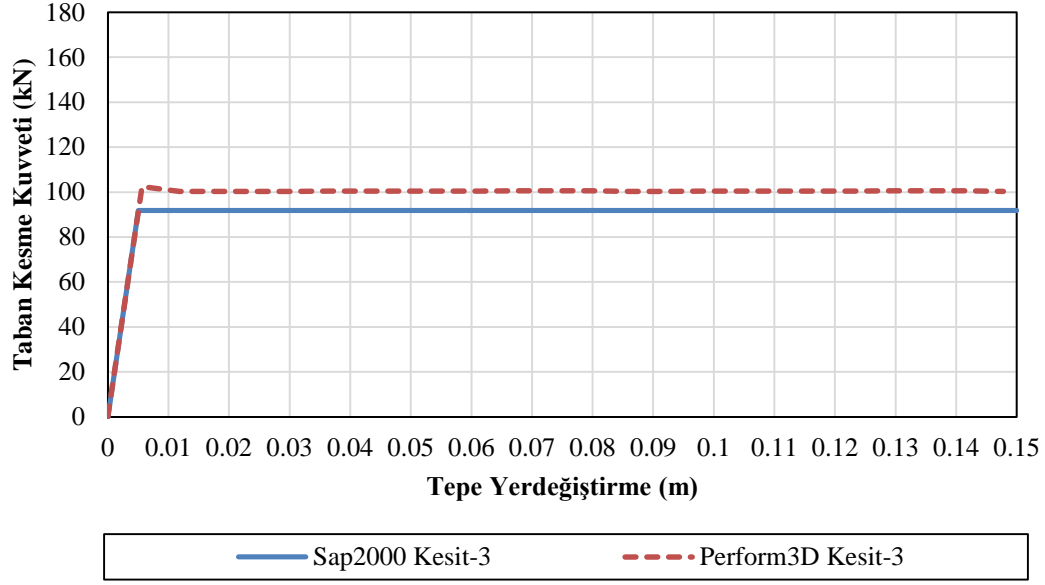




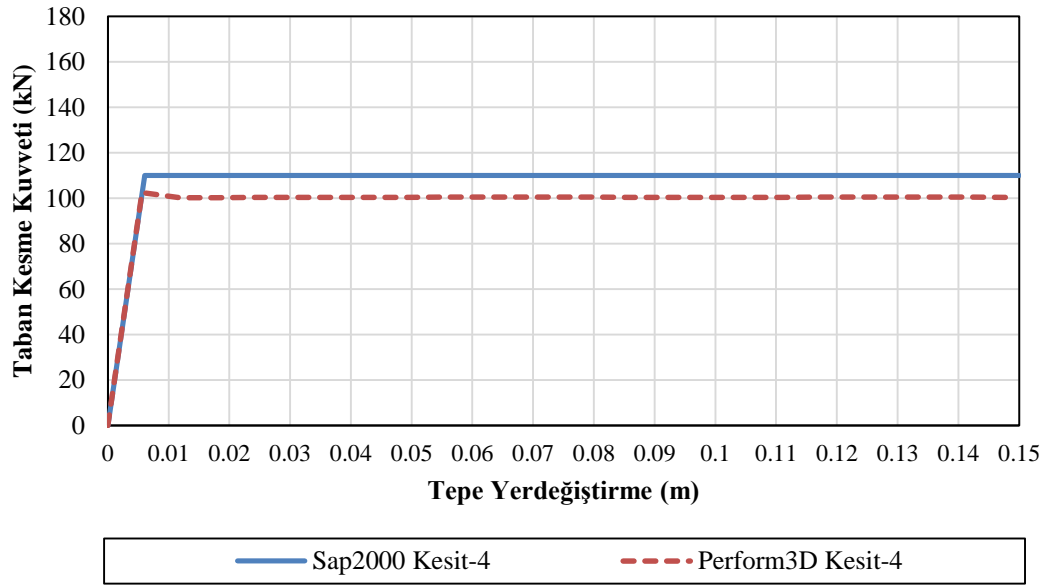
**Şekil B.10:** Sap2000 ve Xtract programlarında kesit-4 için moment-eğrilik karşılaştırılması.



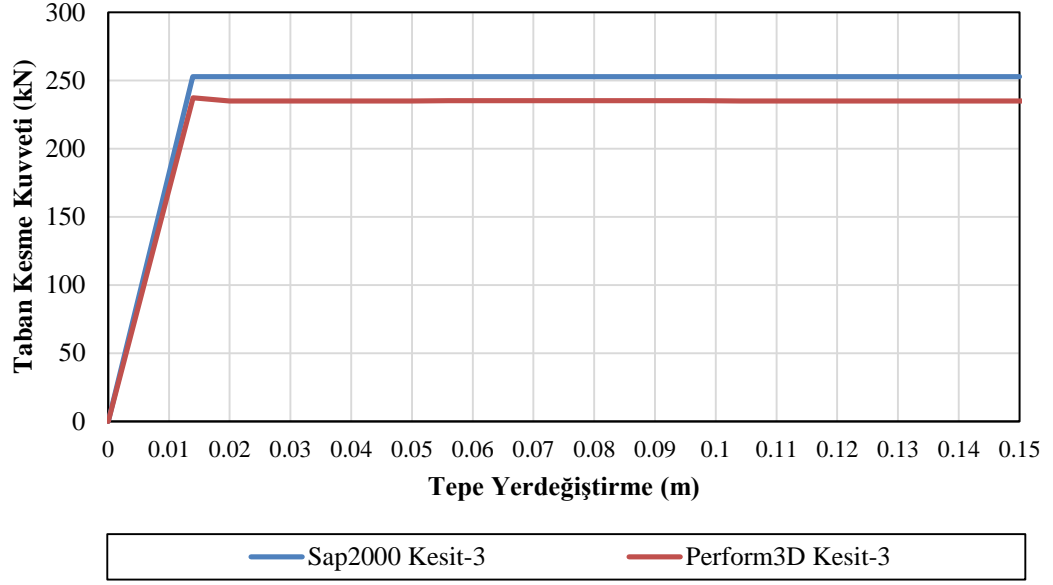
**Şekil B.11:** Sap2000 ve Perform3D programlarında kesit-4 için taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme karşılaştırılması.



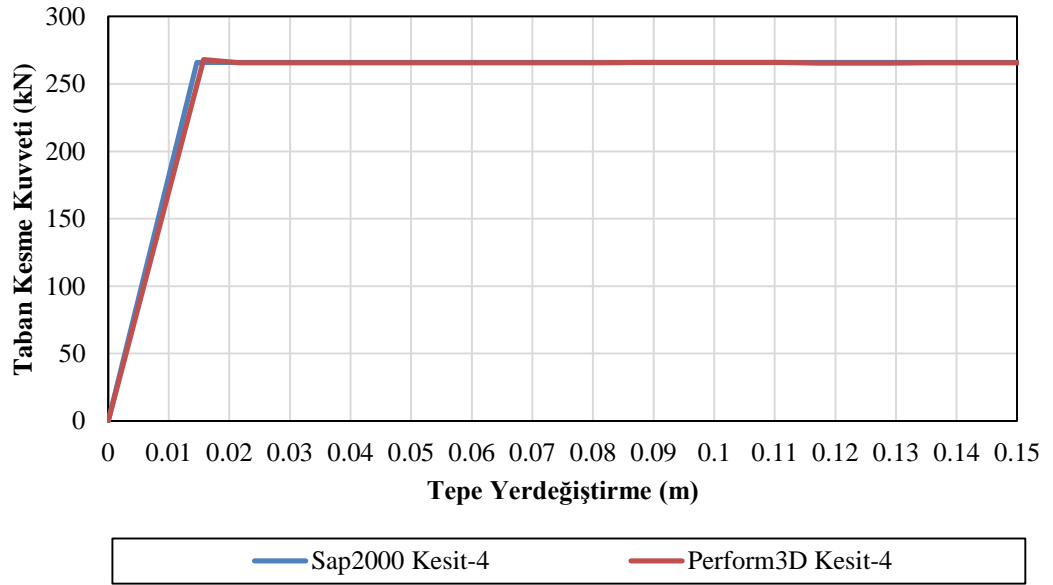
**Şekil B.12:** Kesit-3 aksenal y¼k¼n olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



**Şekil B.13:** Kesit-4 aksenal y¼k¼n olmadığı durum için Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



**Şekil B.14:** Kesit-3 aksenal y¼k¼n var olduğu durum i¼in Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.



**Şekil B.15:** Kesit-4 aksenal y¼k¼n var olduğu durum i¼in Sap2000 ve Perform3D programlarında taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkisi.

## EK-C Kullanılan Kesitin Fiber Özellikleri

**Çizelge C.1:** Kolon kesitinin donatı fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksenini (m)	Y Eksenini (m)	Fiber Malzemesi
1	0.0006	-0.192	0.192	S420
2	0.0006	0	0.192	S420
3	0.0006	0.192	0.192	S420
4	0.0006	-0.192	0	S420
5	0.0006	0.192	0	S420
6	0.0006	-0.192	-0.192	S420
7	0.0006	0	-0.192	S420
8	0.0006	-0.192	-0.192	S420

**Çizelge C.2:** Kolon kesitinin sargısız beton fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksenini (m)	Y Eksenini (m)	Fiber Malzemesi
1	0.0051	-0.2	0.2	C30 Sargısız
2	0.003	-0.1	0.235	C30 Sargısız
3	0.003	0	0.235	C30 Sargısız
4	0.003	0.1	0.235	C30 Sargısız
5	0.0051	0.2	0.2	C30 Sargısız
6	0.003	-0.235	0.1	C30 Sargısız
7	0.003	0.235	0.1	C30 Sargısız

**Çizelge C.2 (Devamı):** Kolon kesitinin sargısız beton fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksen (m)	Y Eksen (m)	Fiber Malzemesi
8	0.003	-0.235	0	C30 Sargısız
9	0.003	0.235	0	C30 Sargısız
10	0.003	-0.235	-0.1	C30 Sargısız
11	0.003	0.235	-0.1	C30 Sargısız
12	0.0051	-0.2	-0.2	C30 Sargısız
13	0.003	-0.1	-0.235	C30 Sargısız
14	0.003	0	-0.235	C30 Sargısız
15	0.003	0.1	-0.235	C30 Sargısız
16	0.0051	0.2	-0.235	C30 Sargısız

**Çizelge C.3:** Kolon kesitinin sargılı beton fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksen (m)	Y Eksen (m)	Fiber Malzemesi
1	0.0049	-0.185	0.185	C30 Sargılı
2	0.007	-0.1	0.185	C30 Sargılı
3	0.007	0	0.185	C30 Sargılı
4	0.007	0.1	0.185	C30 Sargılı
5	0.0049	0.185	0.185	C30 Sargılı
6	0.007	-0.185	0.1	C30 Sargılı
7	0.01	-0.1	0.1	C30 Sargılı
8	0.01	0	0.1	C30 Sargılı
9	0.01	0.1	0.1	C30 Sargılı

**Çizelge C.3 (Devamı):** Kolon kesitinin sargılı beton fiberleri.

<b>Fiber No</b>	<b>Fiber Alanı (m<sup>2</sup>)</b>	<b>X eksenini (m)</b>	<b>Y Eksenini (m)</b>	<b>Fiber Malzemesi</b>
10	0.007	0.185	0.1	C30 Sargılı
11	0.007	-0.185	0	C30 Sargılı
12	0.01	-0.1	0	C30 Sargılı
13	0.01	0	0	C30 Sargılı
14	0.01	0.1	0	C30 Sargılı
15	0.007	0.185	0	C30 Sargılı
16	0.007	-0.185	-0.1	C30 Sargılı
17	0.01	-0.1	-0.1	C30 Sargılı
18	0.01	0	-0.1	C30 Sargılı
19	0.01	0.1	-0.1	C30 Sargılı
20	0.007	0.185	-0.1	C30 Sargılı
21	0.0049	-0.185	-0.185	C30 Sargılı
22	0.007	-0.1	-0.185	C30 Sargılı
23	0.007	0	-0.185	C30 Sargılı
24	0.007	0.1	-0.185	C30 Sargılı
25	0.0049	0.185	-0.185	C30 Sargılı

**Çizelge C.4:** Kiriş kesitinin donatı fiberleri.

<b>Fiber No</b>	<b>Fiber Alanı (m<sup>2</sup>)</b>	<b>X eksenini (m)</b>	<b>Y Eksenini (m)</b>	<b>Fiber Malzemesi</b>
1	0.0015	-0.081	0.206	S420
2	0.0015	-0.027	0.206	S420

**Çizelge C.4 (Devamı):** Kiriş kesitinin donatı fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksen (m)	Y Eksen (m)	Fiber Malzemesi
3	0.0015	0.027	0.206	S420
4	0.0015	0.081	0.206	S420
5	0.0015	-0.081	-0.206	S420
6	0.0015	-0.027	-0.206	S420
7	0.0015	0.027	-0.206	S420
8	0.0015	0.081	-0.206	S420

**Çizelge C.5:** Kiriş kesitinin sargısız beton fiberleri.

Fiber No	Fiber Alanı (m <sup>2</sup> )	X eksen (m)	Y Eksen (m)	Fiber Malzemesi
1	0.0046	-0.0833	0.2	C30Sargısız
2	0.025	0	0.235	C30Sargısız
3	0.0046	0.0833	0.2	C30Sargısız
4	0.003	-0.11	0.1	C30Sargısız
5	0.003	0.11	0.1	C30Sargısız
6	0.003	-0.11	0	C30Sargısız
7	0.003	0.11	0	C30Sargısız
8	0.003	-0.11	-0.1	C30Sargısız
9	0.003	0.11	-0.1	C30Sargısız
10	0.0046	-0.0833	-0.2	C30Sargısız
11	0.0025	0	-0.235	C30Sargısız
12	0.0046	0.0833	-0.2	C30Sargısız

**Çizelge C.6:** Kiriş kesitinin sargılı beton fiberleri.

<b>Fiber No</b>	<b>Fiber Alanı (m<sup>2</sup>)</b>	<b>X eksenı (m)</b>	<b>Y Eksenı (m)</b>	<b>Fiber Malzemesi</b>
1	0.0037	-0.0683	0.185	C30 Sargılı
2	0.0058	0	0.185	C30 Sargılı
3	0.0037	0.0683	0.185	C30 Sargılı
4	0.0053	-0.0683	0.1	C30 Sargılı
5	0.0083	0	0.1	C30 Sargılı
6	0.0053	0.0683	0.1	C30 Sargılı
7	0.0053	-0.0683	0	C30 Sargılı
8	0.0083	0	0	C30 Sargılı
9	0.0053	0.0683	0	C30 Sargılı
10	0.0053	-0.0683	-0.1	C30 Sargılı
11	0.0083	0	-0.1	C30 Sargılı
12	0.0053	0.0683	-0.1	C30 Sargılı
13	0.0037	-0.0683	-0.185	C30 Sargılı
14	0.0058	0	-0.185	C30 Sargılı
15	0.0037	0.0683	-0.185	C30 Sargılı

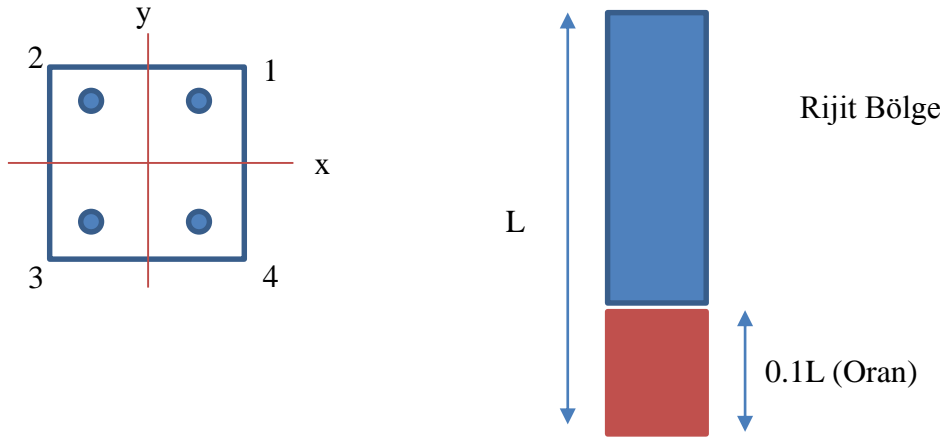


## EK-D Fiber Mafsal ile İlgili Ek Çalışmalar

Fiber mafsal sonuçlarının daha iyi irdelenmesi için konsol kolon yapısal sistemi üzerinde bazı ek çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar çeşitli başlıklar altında özetlenmiştir.

### Perform3D ve SAP2000 fiber mafsal karşılaştırması

Bu çalışmada, Perform3D ve SAP2000’de konsol kolon modeli kullanılarak bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmada fiber dışında kalan doğrusal bölge çok yüksek rijitlikle (eğilme, kesme ve alan artımı ile) modellenmiştir. Fiber mafsal boyu tüm çubuk boyunun %10’u olarak kabul edilmiştir. Kullanılan kesit Şekil D. 1’de ve Çizelge D. 1’de gösterilmiştir. Bu kesit, sadece program sonuçlarının karşılaştırılmasında kolay olması açısından seçilmiştir ve gerçek bir kesit değildir.

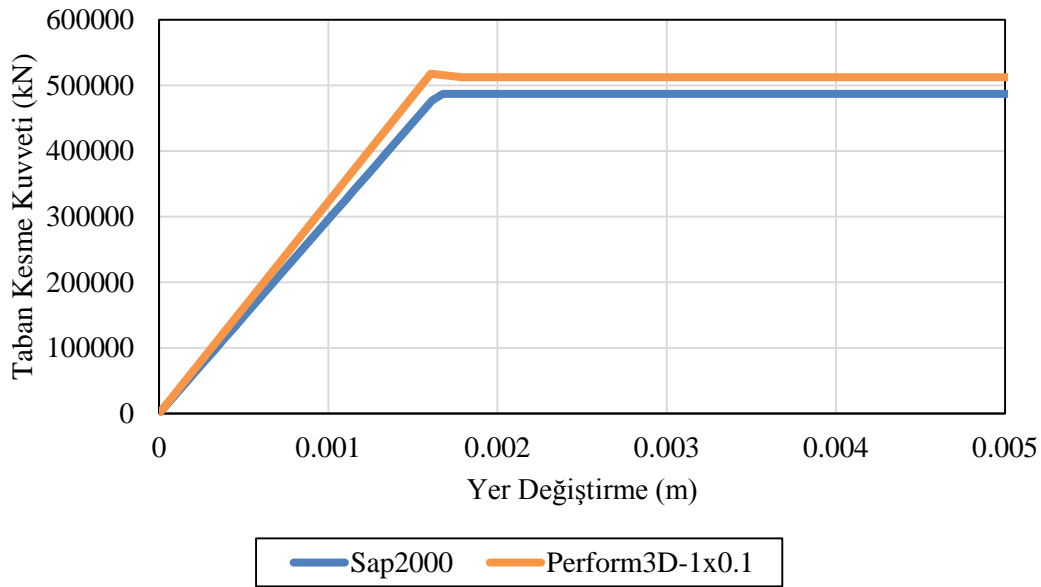


**Şekil D. 1:** Kullanılan kesit ve düşey fiber gösterimi.

Konsol kolonun düşeyde fiberlere ayrılması yukardaki şekilde gibidir. Kesitteki bütün fiberler donatı çeliği olarak modellenmiştir.

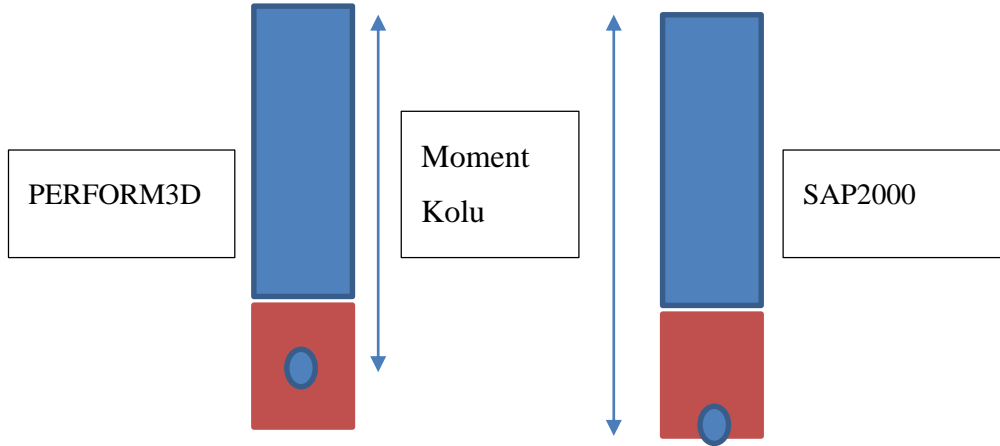
**Çizelge D. 1:** Kesitin fiber parçaları.

	Alan (m <sup>2</sup> )	x	y
1	1.00	1	1
2	1.00	-1	1
3	1.00	-1	-1
4	1.00	1	-1



**Şekil D. 2:** Farklı plastik mafsallı boylarının Perform3D ve Sap2000 programları tarafından karşılaştırılması.

Şekil D. 2’den görüldüğü üzere, İki program arasında başlangıç rijitliği bakımından farklı değer ve akma durumunda farklı kesme kuvveti hesaplandığı gözlenmiştir. Bu farklılığın nedeninin SAP2000 ve Perform3D’deki fiber modellerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki program kullanım klavuzlarında, fiber modellerinin detayları verilmemiştir. Ancak, bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda farklılığı fibere gelen moment hesaplanırken, kullanılan fiber merkezi ve moment kolu ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

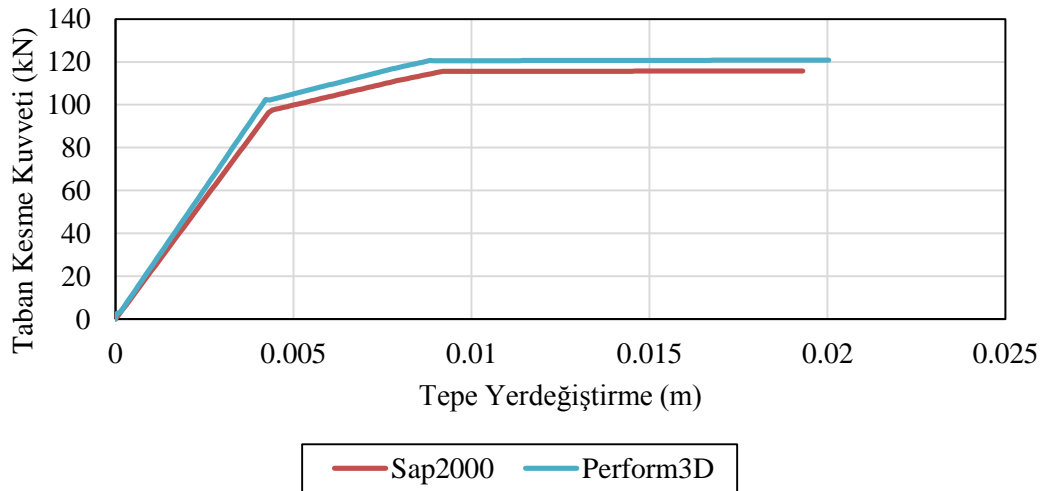


**Şekil D. 3:** Moment kolunum programlar tarafından yaklaşımı.

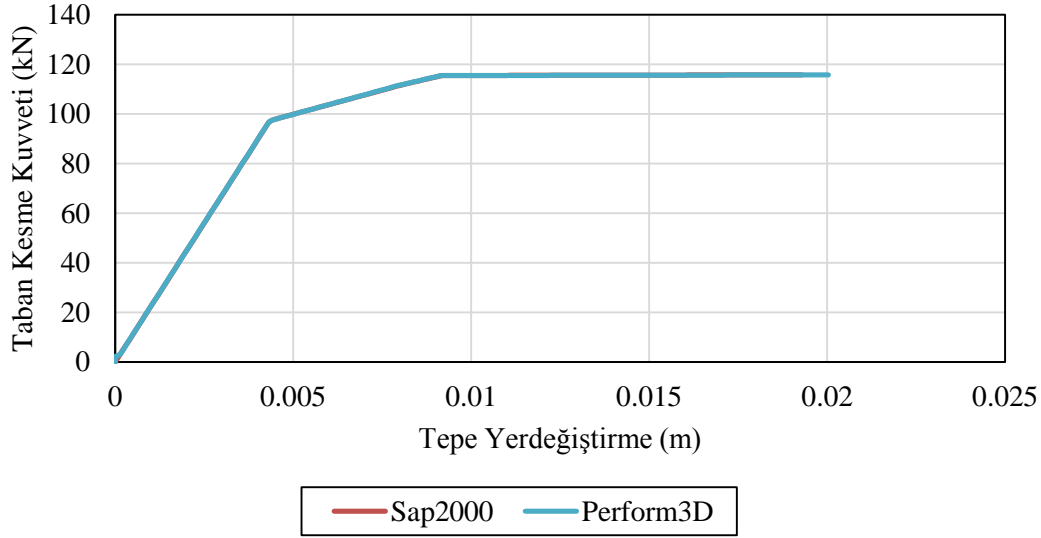
Ayrıca birden fazla çubuk elemanın olduğu yapılarda bu farklılığın artacağı ve daha gözle görülür hale geleceği düşünülmektedir.

#### **Rijitlik ve akma kuvvetlerinin benzeştirilmesi ile ilgili çalışma**

Bir önceki çalışmadan görüldüğü üzere, SAP2000 ve Perform3D fiber modellerinde farklılıklar mevcuttur ve bu farklılıklar farklı başlangıç rijitliği ve akma kuvvetlerine neden olmaktadır. Sadece program analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında faydalı olabileceği düşüncesi ile, konson kolon örneğinden rijitliği ve akma kuvvetini benzeştirmek amacı ile bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, Şekil D. 1’de gösterilen kesit kullanılmıştır. Rijitlik ve akma kuvvetlerin benzeşmesi için, Sap2000 programında kullanılan beton ve çelik malzeme modellerinin rijitliği, Şekil D. 2’de gösterilen başlangıç rijitliklerin birbirine oranı mertebesinden azaltılmıştır. Şekil D. 4’de benzeştirilmiş modellerin itme analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



**Şekil D. 4:** İtme analizi sonucu.

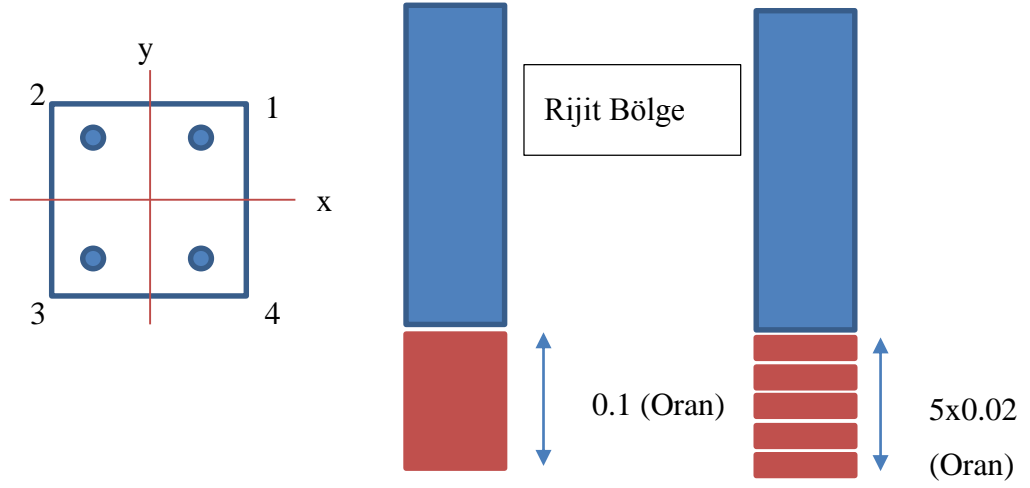


**Şekil D. 5:** Benzeştirilmiş modellerde itme analizi sonucu.

Şekil D. 5’de benzeştirilmiş modellerin tamamen aynı sonuç verdiği görülmektedir. Burada vurgulanması gereken nokta, akma kuvvetlerinin sadece rijitlik benzeştirmesi ile aynı seviyelere gelmesidir. Bu çalışma, Perform3D ve SAP2000 modellerinde, fiber kuvvetlerinin hesaplanmasında, fiber merkez noktasının farklı olduğu düşüncesini güçlendirmektedir.

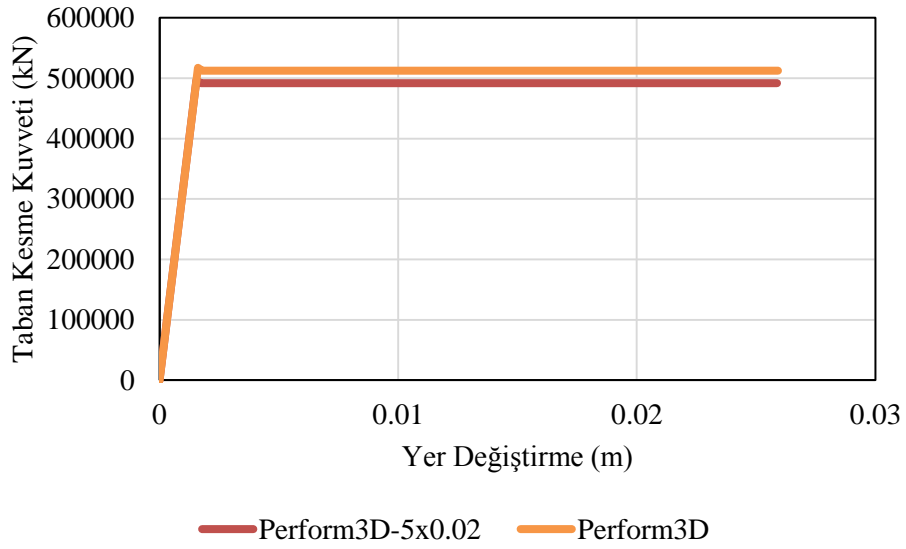
#### **Perform3D programında mafsal boyu ve sayısı ile ilgili inceleme**

Bu çalışma Perform3D’de plastik mafsal boyunun ve sayısının etkisi ile ilgilidir. Plastik mafsal boyu belirlenen kesit ve uzunluk sabit kalmak şartıyla plastik mafsal boyunun değiştirilerek yapılan analiz sonuçlarını içermektedir Şekil D. 6. Bu çalışmada fiber dışında kalan doğrusal bölge çok yüksek rijitlikle (eğilme, kesme ve alan artımı ile) modellenmiştir. Mafsal boyuna atanan fiber parçaların kolon boyunun % 0.1’lik kısmına 5 eşit parça olarak atanması durumu ile tek bir parça olarak atanması durumlarının Perform3D programı tarafından elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir.



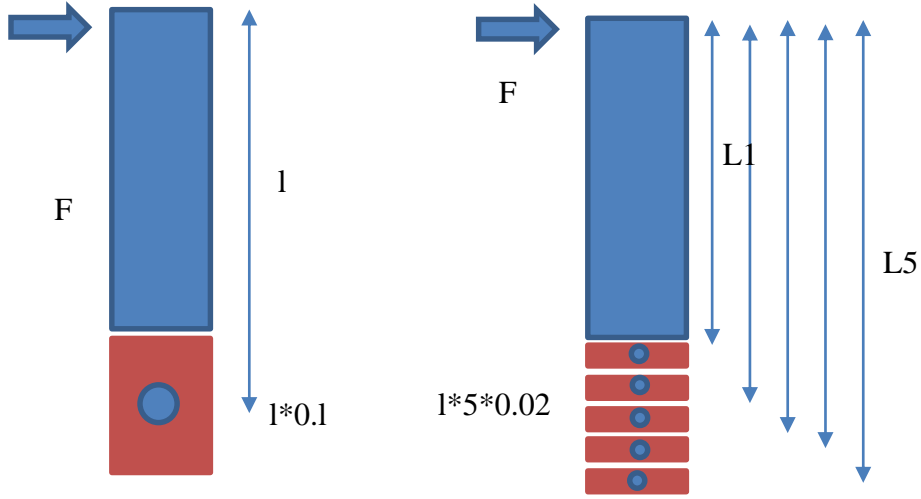
**Şekil D. 6:** Kullanılan kesit ve düşey fiber gösterimi-2.

Konsol kolonun düşeyde fiberlere ayrılması yukardaki şekildeki gibidir.



**Şekil D. 7:** Perform3D programında fiber parçaların sonuçları.

Başlangıç rijitliklerinde bir farklılık yok iken, farklı akma taban kesme kuvveti olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin fiber akma momentinin ve kuvvetinin hesaplanmasında kullanılan fiber merkezleri ilgili olduğu tahmin edilmektedir



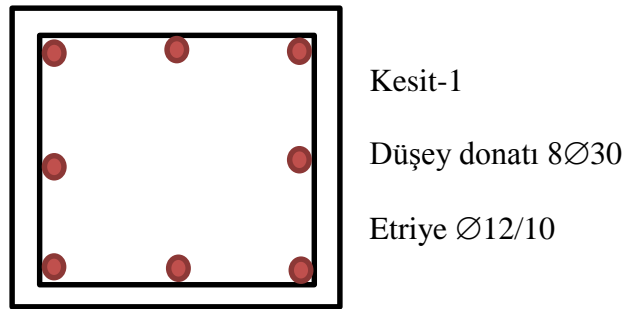
**Şekil D. 8:** Düşey fiber gösterimi-3.

Bu şekilde görüldüğü üzere, tek fiberli kolonda akma kuvvetinin oluşması için daha yüksek bir kuvvet uygulanması gerekmektedir.

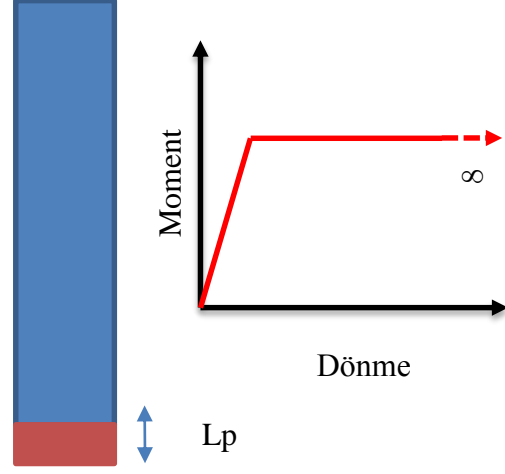
#### **SAP2000 programında analiz yöntemleri ile ilgili inceleme**

Çalışmalar sırasında SAP2000 programında kullanılan statik itme ve zaman-tanım aralığındaki analizlerde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıkları irdelemek için iki farklı kesitte incelemeler yapılmıştır.

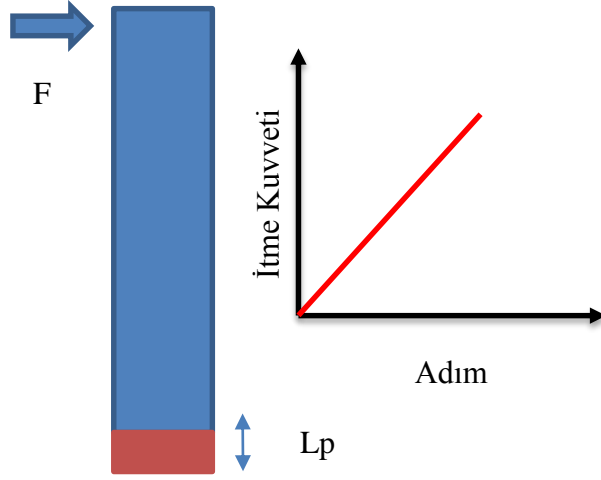
İlk kesit, bu tez kapsamında kullanılan fiberlerin çok detaylı modellendiği kesittir Şekil D. 9.



**Şekil D. 9:** Detaylı olarak kullanılan kesit.

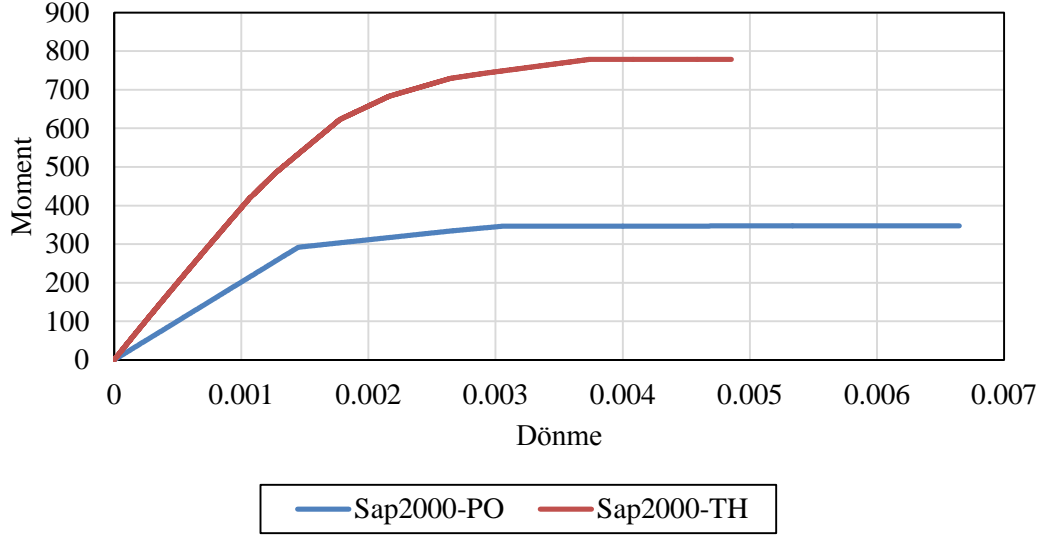


**Şekil D. 10:** Konsol kolon ve plastik mafsals gösterimi.

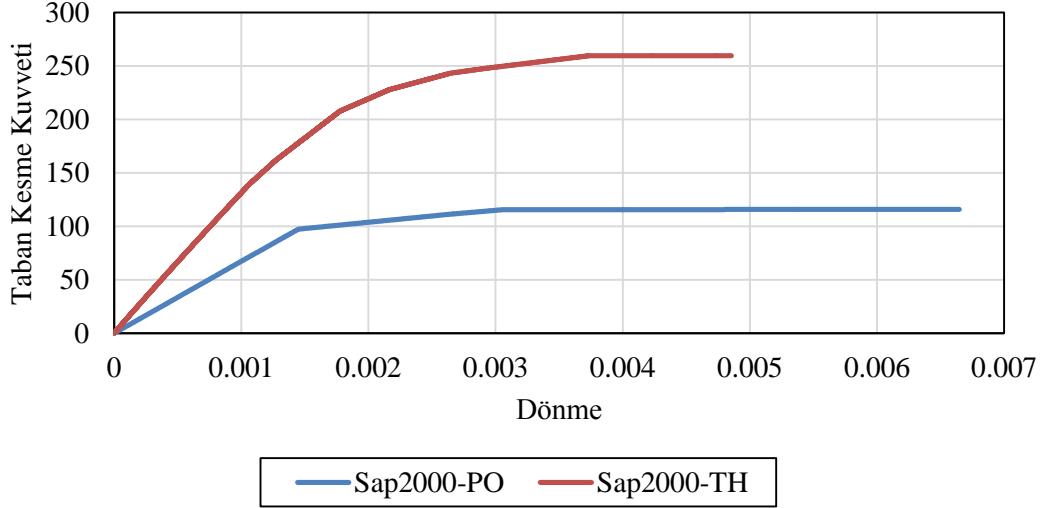


**Şekil D. 11:** Konsol kolonda itme analizi ve zaman tanım alanında analiz gösterimi.

Şekil D. 12 ve Şekil D. 13’de itme analizi ile zaman-tanım aralığındaki analizin karşılaştırılmıştır. Bu grafikten görüldüğü üzere, SAP2000 programında kullanılan fiber zaman-tanım aralığında yapılan analizlerde olması gerekenden daha yüksek bir akma kuvveti oluşturmuştur. Bu sonucun artımsal analiz parameterleri ile ilgili olabileceği düşüncesi ile zaman aralığı ve toleranslar çok küçük seviyelere ve iterasyon sayıları da çok yüksek seviyelere çıkarılmış ve analizler tekrarlanmış, ancak sonuçlarda bir değişiklik olmamıştır (burada gösterilmemiştir).



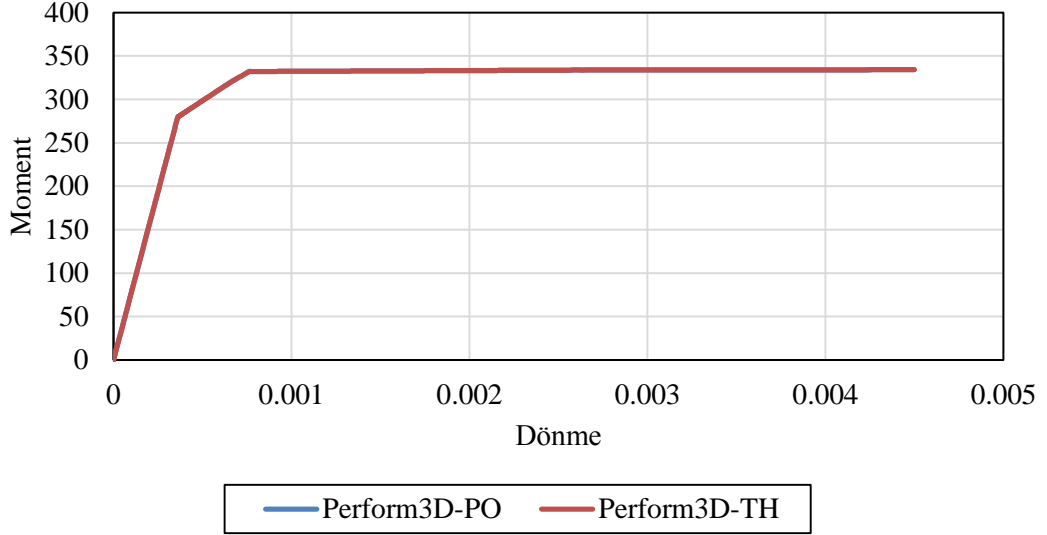
**Şekil D. 12:** Mafsal momenti-plastik dönme karşılaştırılması-1.



**Şekil D. 13:** Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-1.

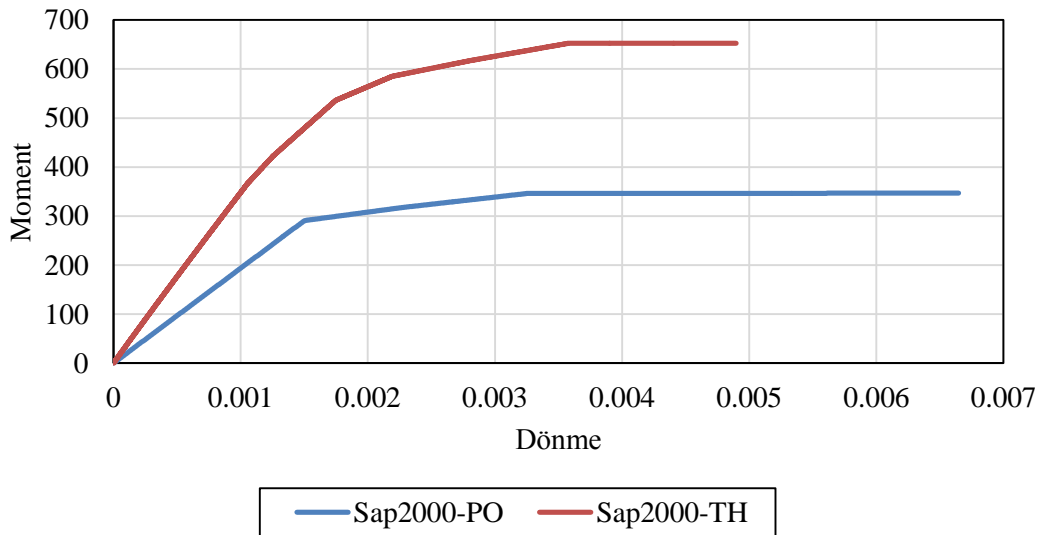
SAP2000’de yukarıda özetlenen benzer sonuçların Perform3D’de de olabileceği düşüncesi ile benzer analizler Perform3D’de tekrarlanmış ve sonuçlar Şekil D. 14’da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, Perform3D’de itme ve zaman tanım aralığı analiz sonuçlarında bir farklılık oluşmamıştır ve sonuçlar SAP2000 itme analizlerine çok yakındır.



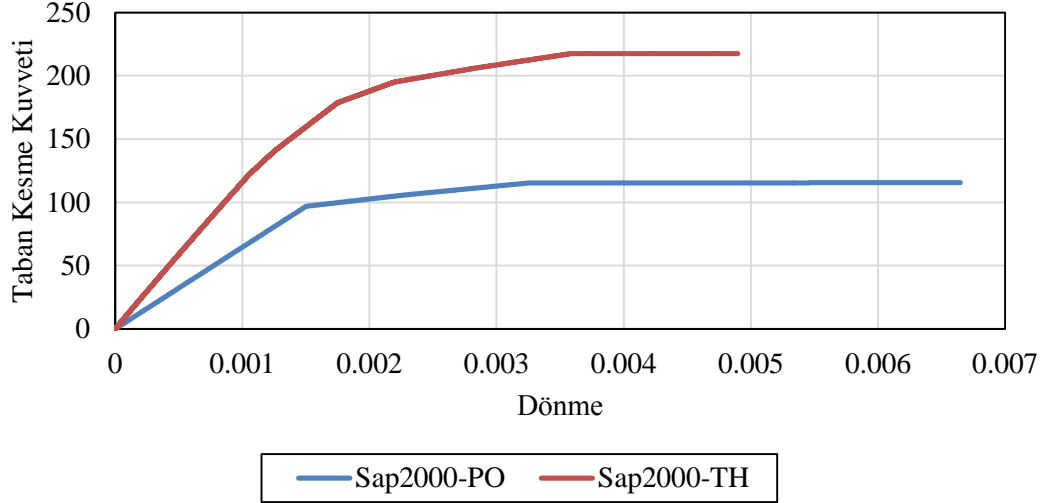


**Şekil D. 14:** Mafsal momenti-plastik dönme karşılaştırılması-2.

Akma kuvvetlerinden bu farkın nedenini anlamak amacı ile fiber sayılarının daha az olduğu bir kesitte benzer analizler tekrarlanmış ve sonuçlar Şekil D. 15 ve Şekil D. 16 'de gösterilmiştir. Bu değişiklikte basınca çalışan donatıların silinmesi, yani sadece çekmeye çalışan donatıların olması durumudur. Görüldüğü üzere, zaman-tanım aralığı analizlerinde elde edilen akma kuvvetleri azalmıştır. Buradan, SAP2000 programında, zaman-tanım aralığında analiz yapılırsa, fiber sayısı nedeni ile sonuçların değişebileceği anlaşılmaktadır.

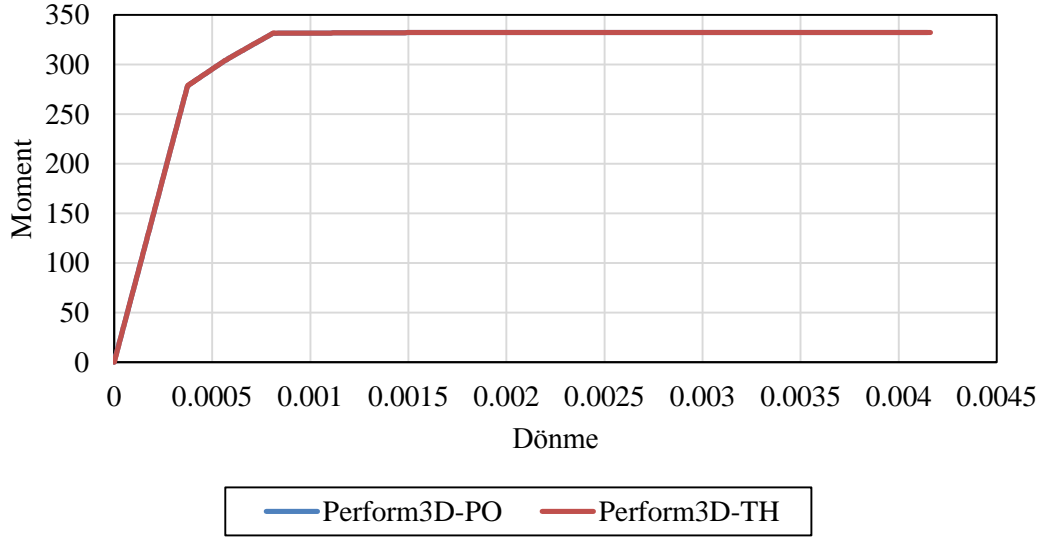


**Şekil D. 15:** Mafsal momenti-plastik dönme karşılaştırılması-3.



**Şekil D. 16:** Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-2.

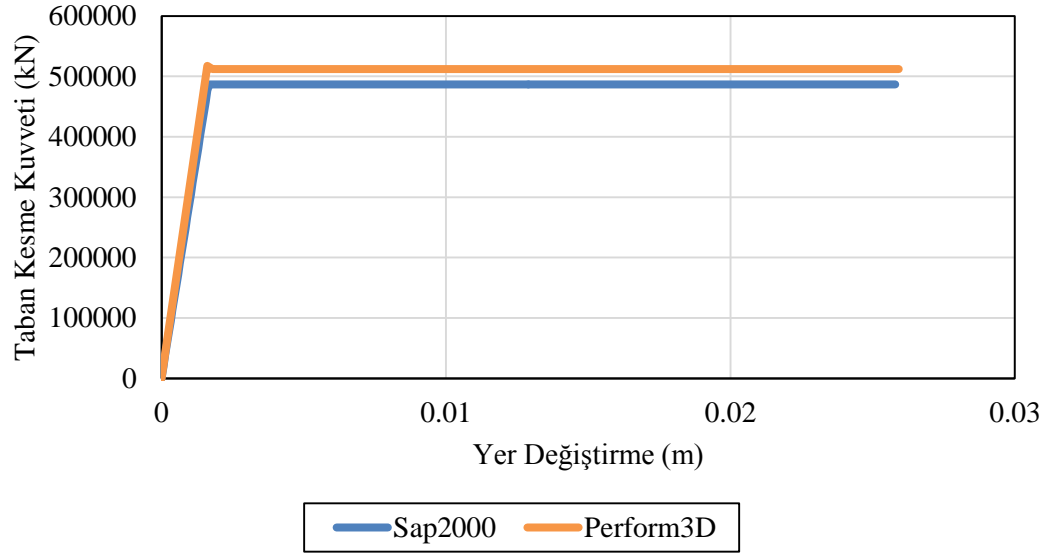
Fiber sayısının çok az olduğu bir durum için üçüncü bir çalışma yapılmıştır. [Burada basınç donatısını kaldıralım ancak beton fiberlerini de oldukça azaltalım. Mesala 4 adet beton fiberi (iki üstte iki altta) iki adet te çekme donatı fiberi olsun]. Bu şekilden görüldüğü üzere, fiber sayısının daha az olduğu kesitlerde SAP2000 itme ve zaman-tanım aralığı analizleri benzer sonuçlar vermektedir. Bu çalışmadan SAP2000 zaman-tanım aralığı analizlerinde, kesitlerde çok fiber olması durumunda iterasyonların çok doğru olarak yakınsamadığı sonucu çıkmaktadır.



**Şekil D. 17:** Mafsal moment-i-plastik dönme karşılaştırılması-4.

Fiber sayısının, karşılaştırmada kolaylık olması bakımından, sadece donatılardan oluştuğu Şekil D. 1'de gösterilen kesit için dördüncü bir çalışma yapılmış, bu çalışmada, SAP2000 ve Perform3D sonuçları karşılaştırılmıştır Şekil D. 18.

Görüldüğü üzere, fiber sayısının çok az olduğu bu durumda da SAP2000 sonuçları Perform 3D sonuçlarına yakındır.



Şekil D. 18: Taban kesme kuvveti-dönme karşılaştırılması-3.



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad** : İbrahim GENCER

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 05/10/1988

**E-posta** : ibrahimgencer09@gmail.com

### **ÖĞRENİM DURUMU:**

**Lisans** : Kocaeli Üniversitesi- İnşaat Mühendisliği (2012)