

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ YETERSİZ
DETAYLANDIRILMIŞ BETONARME
BİNALARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI
PERFORMANS LİMİTLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Faruk POLAT

Ekim, 2021
İZMİR

**KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ YETERSİZ
DETAYLANDIRILMIŞ BETONARME
BİNALARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI
PERFORMANS LİMİTLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı**

Faruk POLAT

**Ekim, 2021
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FARUK POLAT, tarafından **DOÇ. DR. SADIK CAN GİRGİN** yönetiminde hazırlanan **“KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ YETERSİZ DETAYLANDIRILMIŞ BETONARME BİNALARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI PERFORMANS LİMİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sadık Can GİRGİN

Yönetici

Prof. Dr. Serap KAHRAMAN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ali DEMİR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini hiç esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Sadık Can Girgin'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmama yaptığı katkılardan dolayı Doç. Dr. İbrahim Serkan Mısır'a çok teşekkür ederim.

Dokuz Eylül Üniversitesi bünyesinde bulunduğum süre boyunca benimle paylaştığı tüm bilgi ve birikimden dolayı Prof. Dr. Serap Kahraman'a teşekkürü borç bilirim.

Asdeasoft ekibinden İnşaat Mühendisi Francesca Marafini'ye, İnşaat Mühendisi Dr. Massimo Petracca'ya değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımı destekleyen sevgili annem Zehra Polat'a, gece gündüz çalışma tempoma ayak uydurarak bana sonsuz destek veren eşim Av. Zülal Polat'a, bilgi ve birikimleriyle her zaman yanımda olan dostlarım İnş. Yük. Müh. Sena Begüm Kendir ve İnş. Müh. Arda Karakaya'ya teşekkür ederim.

Faruk POLAT

KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİ YETERSİZ DETAYLANDIRILMIŞ BETONARME BİNALARDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI PERFORMANS LİMİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Mevcut betonarme binaların sismik performans değerlendirmesinde farklı hasar modlarının yansıtılabilmesi için uygun analitik modelleme yaklaşımları gereklidir. Kolon-kiriş birleşimleri hem dayanım hem ötelenme limitleri açısından mevcut betonarme binaların sismik performansı için belirgin bir etken olsa da performans değerlendirmesinde mühendislik pratiği olarak rijit birleşim varsayımı dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada, kesme etkilerine karşı eksik detaylandırılmış kolon-kiriş birleşimlerine sahip dört katlı mevcut bir betonarme yapı örneği dikkate alınmıştır. Sayısal model kolon-kiriş birleşim bölgelerini temsil eden dönel yaylar ile yayılı plastisite esaslı kesit hücresi (fiber) ve makro elemanlardan oluşturulmuştur. Şekil değiştirebilir kolon-kiriş birleşim modeli tanımlanan üç boyutlu yapısal modelin ölçeklenmiş deprem kayıtları kullanılarak STKO (Scientific Toolkit for OpenSees) ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Kolon-kiriş birleşim modeli, birleşimin ortasında tanımlanan sıfır uzunlukta bir dönme yayı, buna bağlı iki düğüm noktası, kolon ve kiriş elemanlara uzatılan rijit bağlantılardan oluşturulmuştur. Moment-kesit dönmesi ilişkileri, dönel yaylar ile birleşimin davranışını belirleyen kayma gerilmeleri ve kayma birim şekil değiştirmelerine bağlı olarak tanımlanmıştır. Mevcut yapıda yer alan bir dış ve bir iç kolon-kiriş birleşimindeki kolon ve kirişlerin kesit deformasyonları ile birleşimdeki kesit dönmeleri arasındaki ilişkiler TBDY (2018)'de yer alan kesit dönmesi limitleri ile değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme binalar, kolon-kiriş birleşimi modellemesi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz, mevcut bina değerlendirmesi, sismik performans

INVESTIGATION OF STRAIN-BASED PERFORMANCE LIMITS IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH INADEQUATELY DETAILED BEAM-COLUMN JOINTS

ABSTRACT

Appropriate analytical modeling approaches are required to reflect different damage modes in the seismic performance evaluation of existing reinforced concrete buildings. Although the beam-column connections are a significant factor for the seismic performance of existing reinforced concrete buildings in terms of both strength and drift limits, the rigid connection assumption is considered as an engineering practice in the performance evaluation. In this study, an existing four-storey reinforced concrete structure with poorly detailed beam-column connections against shear effects is considered. The numerical model is composed of rotational springs representing the beam column joint areas, distributed plasticity-based cross-section cell (fiber) and macro elements. Nonlinear time history analyses of the three-dimensional structural model with defined deformable beam-column joint are performed with STKO (Scientific Toolkit for OpenSees) using scaled earthquake records. The beam-column joint model is formed from a zero-length rotational spring defined in the middle of the joint, two connected nodes, and rigid connections extended to the column and beam elements. Moment-rotation relationships are defined by rotational springs based on shear stresses and shear strains. The relations between the sectional deformations of columns and beams of an outer and inner beam-column joint and section rotations at the joint were evaluated with the section rotation limits in TBDY (2018).

Keywords: Reinforced concrete buildings, beam-column joint modeling, non-linear time history analysis, evaluation of existing buildings, seismic performance

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
BÖLÜM İKİ – LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR	4
2.1 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri ile İlgili Deneysel Çalışmalar.....	4
2.2 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri ile İlgili Analitik Çalışmalar.....	6
BÖLÜM ÜÇ-SÜNEK OLMAYAN MEVCUT BETONARME BİNA ÖRNEĞİ..	13
3.1 Mevcut Bina Örneği ve Modeli.....	13
3.2 Malzeme Modelleri.....	15
3.3 Kolon Kiriş Birleşim Bölgesi Modeli.....	18
3.4 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Modelleme Parametreleri.....	20

BÖLÜM DÖRT-ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER.....23

4.1 Doğrusal Olmayan Sayısal Model Yaklaşımları.....	23
4.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Modeli.....	25
4.3 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi.....	26

BÖLÜM BEŞ –ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUÇLARI.....31

5.1 Kolon ve Kiriş Elemanlarda Moment-Kesit Dönmesi İlişkisi.....	32
5.2 TBDY (2018)’e Göre Performans Limitlerinin Belirlenmesi.....	34
5.3 Kolon-Kiriş Birleşim Deformasyonları Sonuçları.....	35

BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR.....45

KAYNAKLAR 46

EKLER 53

Ek 1. Kolon Kiriş Birleşimleri <i>Pinching4</i> Parametreleri.....	53
Ek 2. STKO ile Mevcut Bina Modelinin Oluşturulması.....	61
Ek 3. İç ve Dış Birleşim Bölgelerindeki Kolon-Kiriş Deformasyonları.....	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 (a) Kocaeli depreminde hasar gören kolon-kiriş birleşimi (b) Yetersiz kayma donatısı bulunan birleşimde gelişen çatlaklar.....	2
Şekil 1.2 (a) 17 Ağustos 1999 İzmit depreminde kolon-kiriş birleşimlerinin göçmesi sonucu oluşan kısmi bina çökmesi (b) 3.kat kolon-kiriş birleşim bölgesi (c) 2.kat kolon-kiriş birleşim bölgesi.....	2
Şekil 2.1 Güçlendirilmiş deney numunesi (Mısır ve Kahraman, 2013)	6
Şekil 2.2 (a) Rijit birleşim modeli (b) Diyagonal yay modeli.....	7
Şekil 2.3 Birleşim bölgesinin şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4 Birleşim davranışı için önerilen analitik model: dönel yay.....	9
Şekil 2.5 (a) Çerçeve analizleri için birleşimdeki kesmenin idealize edilmiş modeli (b) Çerçeve analizleri için birleşimdeki kesmenin ve donatı sıyrılmasının idealize edilmiş modeli	10
Şekil 2.6 Geçiş elemanlı birleşim modeli.....	11
Şekil 2.7 Kolon-kiriş birleşim bölgesi modeli.....	11
Şekil 3.1 İncelenen betonarme çerçeve türü binanın kalıp planı.....	13
Şekil 3.2 Yapı konumunu ve deprem bölgesini gösteren deprem tehlike haritası.....	14
Şekil 3.3 Yatay elastik tasarım spektrumu	14
Şekil 3.4 İncelenen betonarme çerçeve türü binanın birleşimli çerçeve modeli.....	15
Şekil 3.5 Concrete04 beton modeli	16
Şekil 3.6 Steel02 donatı modeli	16
Şekil 3.7 Kolon-kiriş en kesit boyutları ve boyuna donatı detayları.....	17
Şekil 3.8 25/50 boyutlarındaki kolon kesiti için sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	17

Şekil 3.9 25/50 boyutlarındaki kiriş kesiti için sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.....	17
Şekil 3.10 Kullanılan kolon-kiriş birleşim modeli	18
Şekil 3.11 Birleşimde kayma gerilmesi-kayma birim şekil değiştirmesi	19
Şekil 3.12 S01 dış kolon-kiriş birleşimi x yönü için moment-dönme ilişkisi.....	21
Şekil 3.13 S01 dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için moment-dönme ilişkisi.....	22
Şekil 3.14 S06 iç kolon-kiriş birleşimi x yönü için moment-dönme ilişkisi.....	22
Şekil 3.15 S06 iç kolon-kiriş birleşimi y yönü için moment-dönme ilişkisi.....	22
Şekil 4.1 Kolon-kiriş elemanlar için davranış modelleri	23
Şekil 4.2 Kolon-kiriş elemanlar için fiber (lif) esaslı model integrasyon kesitleri	24
Şekil 4.3 Kolon-kiriş elemanlar için fiber (lif) esaslı model.....	24
Şekil 4.4 Kolon-kiriş birleşimi düğüm modellerini gösteren çerçeve detayı.....	25
Şekil 4.5 Modelde kolon-kiriş birleşiminin şekil değiştirmiş görünümü	26
Şekil 4.6 Ölçeklenmiş kuvvetli yer ivmesi kayıtlarının (D1-D6) spektrumları.....	27
Şekil 4.7 Ortalama eğrisi.....	28
Şekil 4.8 Imperial Valley 06 El Centro Array #12 x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	28
Şekil 4.9 Imperial Valley 06 El Centro Array #12 y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	28
Şekil 4.10 Superstitions Hills- 02 Westmorland Fire Sta x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	29
Şekil 4.11 Superstitions Hills- 02 Westmorland Fire Sta y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	29
Şekil 4.12 Northridge 01 – El Monte Fairview Av x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	29

Şekil 4.13 Northridge 01 – El Monte Fairview Av y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	29
Şekil 4.14 Lander Amboy x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	29
Şekil 4.15 Lander Amboy y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	30
Şekil 4.16 Northridge 01 – LA-Pico ve Sentous x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	30
Şekil 4.17 Northridge 01 – LA-Pico ve Sentous y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	30
Şekil 4.18 Lander Baker Fire Station x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	30
Şekil 4.19 Lander Baker Fire Station y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı.....	30
Şekil 5.1 Betonarme binanın sayısal modeli.....	31
Şekil 5.2 Analiz boyunca izlenen köşe ve iç kolon-kiriş birleşimi.....	32
Şekil 5.3 KZ03 ve KZ21 kirişi moment-eğrilik grafiği.....	32
Şekil 5.4 KZ06 ve KZ24 kirişi moment-eğrilik grafiği.....	33
Şekil 5.5 SZ01 kolonu x ve y yönü moment eğrilik grafiği.....	33
Şekil 5.6 SZ06 kolonu x ve y yönü moment eğrilik grafiği.....	33
Şekil 5.7 X yönü görelî kat ötelenme oranlarının bina yüksekliği boyunca değişimi...	36
Şekil 5.8 Y yönü görelî kat ötelenme oranlarının bina yüksekliği boyunca değişimi...	36
Şekil 5.9 Dış birleşim moment-kesit dönmesi ilişkisi.....	37
Şekil 5.10 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. kat görelî kat ötelenme oranı...	37
Şekil 5.11 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. kat görelî kat ötelenme oranı...	38
Şekil 5.12 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-KZ03 kesit dönmeleri.....	38
Şekil 5.13 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-KZ21 kesit dönmeleri.....	39
Şekil 5.14 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi.....	39

Şekil 5.15 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi.....	40
Şekil 5.16 İç birleşim moment-kesit dönmesi ilişkisi.....	40
Şekil 5.17 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. kat görelî kat ötelenme oranı.....	41
Şekil 5.18 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. kat görelî kat ötelenme oranı.....	41
Şekil 5.19 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-KZ06 kesit dönmeleri.....	42
Şekil 5.20 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-KZ24 kesit dönmeleri.....	42
Şekil 5.21 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi.....	43
Şekil 5.22 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi.....	43
Şekil 5.23 Yapı y yönü yer değıştirmiş çerçeve görünümü.....	44

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Köşe kolon-kiriş birleşimi x yönü için <i>Pinching4</i> parametrelerinin elde edilmesi.....	20
Tablo 3.2 Orta kolon-kiriş birleşimi x yönü için <i>Pinching4</i> parametrelerinin elde edilmesi.....	21
Tablo 3.3 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için <i>Pinching4</i> parametrelerinin elde edilmesi.....	21
Tablo 3.4 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için <i>Pinching4</i> parametrelerinin elde edilmesi.....	21
Tablo 4.1 Seçilen ve ölçeklenen güçlü yer ivmesi kayıtları.....	27
Tablo 5.1 Kesit dönmesi performans limit değerlerinin elde edilmesi.....	34

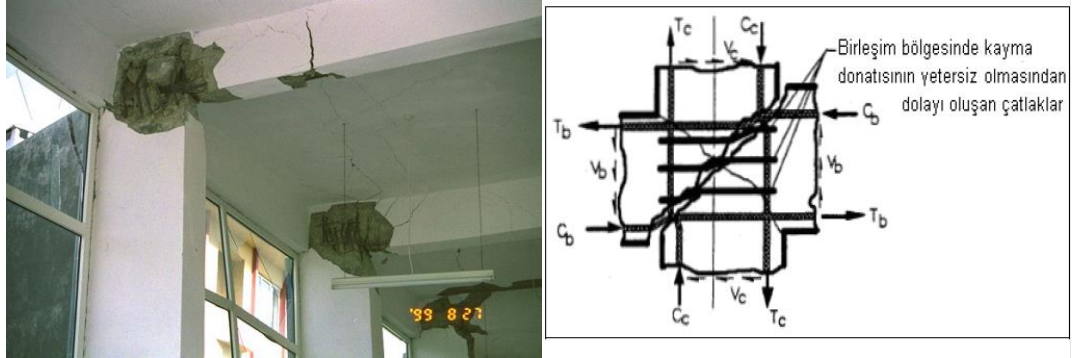
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir bölümü birinci derece deprem riski altında bulunmakta olup, bu risk seviyesini arttıran durum ise mevcut binaların tasarım veya uygulama aşamalarında yapılan hata ve eksikliklerdir. Mevcut betonarme binaların çok büyük bir bölümünde düşük dayanımlı beton ve düz yüzeyli donatı kullanılmasının yanında, imalat aşamasında yapılan hatalar nedeniyle acı tecrübelerle karşı karşıya kalınmıştır. Güçlü yer ivmelerine maruz mevcut betonarme yapıların kolon-kiriş birleşimlerinde ciddi hasar ve şekil değiştirmelerin olduğu geçmiş depremlerde raporlanmıştır. Sünek olmayan betonarme binalar, depremlerde ağır hasar görmüş, kısmen veya tamamen çökmüş, yetersiz sismik performans göstermiştir. Kolon-kiriş birleşimlerinde boyuna donatı sıyrılması ve yetersiz kesme dayanımına bağlı hasarlar, yapıların yanal yük taşıma kapasitelerini azaltarak toptan göçmesine neden olan ana faktör olmuştur. Yapı stoku içerisinde önemli oranda betonarme bina Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) 1975koşullarına göre tasarlanmıştır. Son yirmi beş yılda gerçekleşen depremlerde (Kocaeli, 1999; Bingöl, 2003; Van, 2011; İzmir/Samos; 2020) özellikle kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan yapısal hasarların oldukça yaygın olduğu görülmüştür.

Deprem Yönetmeliği (1975) kapsamında kolon, kiriş, perde duvar gibi betonarme elemanların minimum boyutları ve donatı detayları tanımlanmış, kolon-kiriş birleşimlerinin kesme hesabı için esaslar verilmiştir. Ancak saha uygulamalarında, birleşimdeki enine donatı detayları ve yönetmelikte belirtilen diğer gereklilikler sınırlı kalmış, ilgili detaylar 1998 Deprem yönetmeliğinde yer alana kadar yeterince sağlanamamıştır (Aydınoğlu, 2007). Tasarımın düşey yüklere göre yapıldığı 1975 öncesi betonarme binaların birleşimlerinde oluşan deprem hasarlarının, birleşimde yetersiz veya eksik enine donatı (Şekil 1.1, Şekil 1.2), yetersiz birleşim hacmi, düz yüzeyli donatı ve düşük dayanımlı beton kullanımı sonucunda meydana geldiği belirlenmiştir (Engindeniz ve diğer, 2005; Mısır ve Kahraman, 2013). Ayrıca kenetlenme boyu yetersizliği, kiriş açıklık donatısının süreksizliği gibi nedenlerin de

birleşimlerde deprem hasarlarına neden olabildiği raporlamıştır (Kunnath ve diğer., 1995).



1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Deprem yönetmeliklerinde betonarme binaların kapasite tasarım ilkelerine göre sünek bir deprem davranışı sergileyebilmesi için birleşim bölgelerinin kesme güvenliğinin sağlanarak, rijit birleşim kabulü ile deprem yüklerinden kaynaklı kesit tesirlerinin aktarılabilmesi hedeflenmektedir. Mevcut betonarme binalarda ise kolon-kiriş birleşimlerinde uygulamadaki eksikliklere bağlı olarak sistemde ortaya çıkabilecek hasar modlarını yansıtabilen yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Kolon-kiriş birleşim bölgesi eksik detaylandırılmış mevcut betonarme bina için tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sayısal model çalışmalarının amacı, güçlü yer ivmelerine bağlı meydana gelen şekil değiştirme taleplerinin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de verilen performans limitleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

Çalışma kapsamında, literatürde yer alan şekil değiştirebilen bir kolon-kiriş birleşim modeliyle oluşturulan yapı performansı incelenmiş ve iç ve dış kolon-kiriş birleşim bölgelerinde gelişebilecek deformasyonların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Kolon-kiriş birleşimlerinin etkin modellenmesi sağlandıktan sonra yönetmeliklerin performans limitleri doğrultusunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yardımıyla mevcut yapının gerçek davranışı hakkında gerçekçi bilgiye ulaşılması amaçlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler kapsamında ölçeklenmiş 6 adet deprem kaydı kullanılarak analizler sonucunda görelî kat ötelenme oranları, kolon ve kiriş yer değiştirmiş eksen dönmeleri, taban kesme kuvveti, elastik olmayan deformasyonlar gibi parametreler elde edilmiştir.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

2.1 Birleşim Bölgeleri ile İlgili Yapılan Deneysel Çalışmalar

Kolon-kiriş birleşimlerinin davranışını benimsemek için yapılan çalışmalar 1970’li yılların sonlarına dayanmaktadır. Hanson ve Conner (1967) kolon-kiriş birleşimlerinde enine donatı koşullarını belirlemek amacıyla bu alandaki ilk deneysel çalışmayı yaparak çok katlı bir binanın kritik bir bölümünü temsil eden tam ölçekli yerinde dökme betonarme 7 adet kolon-kiriş birleşimini deprem yüklemesi altında test etmiştir. Marques ve Jirsa (1975) yaptıkları deneysel çalışmada 22 adet numune üzerinde birleşim bölgesindeki kiriş boyuna donatılarının birleşimdeki kanca açıları; pas payı, kolon eksenel yükü gibi parametreler dikkate alınarak incelenmiştir. 90 ve 180 derece kanca yapılmış kiriş boy donatılarının birleşimin dayanımında bir fark ortaya koymadığını belirtmişlerdir. 90’lı yıllara gelindiğinde ise birleşim bölgeleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar oldukça artmış ve çalışmalarda parametreler çok daha çeşitli hale gelmiştir.

Ehsani ve Wight (1985) döşemelerin ve döşeme içindeki enine kirişlerin kolon kiriş birleşim bölgeleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada varılan sonuç birleşim bölgesi etrafındaki döşeme ve enine kirişlerin birleşimde bir sargı etkisi gösterdiği ve birleşimde oluşan kayma gerilmelerinde kayda değer bir düşüş meydana getirdiği olmuştur. Soroushian ve diğer. (1991) yaptıkları çalışmada beton basınç dayanımının ve betondaki sargı donatısının kiriş boyuna donatılarının birleşimdeki kancalarının dayanımına etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Meinheit ve Jirsa (1981) tarafından yapılan çalışmada 14 test numunesi üzerinde birleşim bölgelerinin yapısal davranışı araştırılmıştır. Birleşim bölgesindeki sargı donatısı miktarının, birleşime yakın enine kiriş bulunmasının ve birleşimin geometrisinin kolon kiriş birleşim bölgesindeki kesme dayanımına olan etkisi belirlenmiştir. Kaku ve Asakusa (1991) tarafından yapılan deneysel çalışmada kirişlerin akma durumundaki kesme dayanımının 2 katı kadar kesme kuvvetine maruz kalan 18 adet birleşim bölgesi numunesini çevrimsel yüklemeler altında test etmişlerdir. Ölçtükleri kesme şekil değiştirme değerlerinin 0,008 değerini geçtikten sonra birleşimdeki kesme etkisine

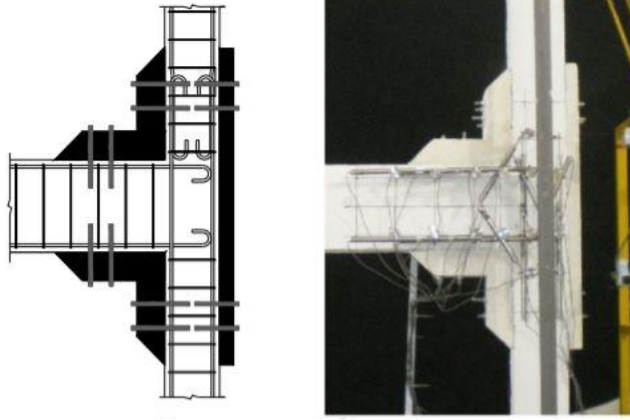
bağlı deformasyonların arttığını gözlemlemişlerdir. Tsonos ve diğer. (1992) birleşim bölgesine yerleştirilen çapraz donatıların sismik direnci arttırdığını göstermek amacıyla yapılan çalışmada 20 adet tam ölçeklenmiş dış kolon-kiriş birleşimi üzerinde çevrimsel yüklemelerle deneyler gerçekleştirmişlerdir. Birleşimdeki kesme gerilmesi, çapraz donatı miktarı, kolon-kiriş eğilme kapasitesi gibi değişkenlerin göz önüne alındığı çalışmanın sonucunda, birleşim bölgesinde çapraz eğimli donatı kullanılmasının dış kolon-kiriş birleşim bölgelerinin sismik direncini iyileştirmenin en etkili yollarından biri olduğu gösterilmiştir.

Higazy ve diğer. (1996) orta ve yüksek katlı betonarme yapıların ara kat kolonlarında düşey yer hareketi ve yüksek devrilme momenti sonucu oluşabilen azaltılmış kolon basıncı ve çekmelerinin iç kolon-kiriş birleşimleri sismik performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Seçilen normal ve yüksek dayanımlı 6 adet birleşimin sarsma tablası ile yapılan testleri sonucunda kolonlarda oluşan eksenel basınç artışının birleşim bölgesi performansına olumlu yönde katkı yaparken, kolonlarda oluşacak eksenel çekme kuvvetlerinin birleşim performansını %40-%50 arasında düşürdüğü gözlemlenmiştir. Hwang ve diğer. (2005) ters çevrimsel yükleme altında 9 adet dış kolon kiriş birleşimi üzerinde yaptıkları deneylerde birleşimde enine donatı kullanımının kesme kapasitesine efektif bir katkı sağladığını ortaya koymuşlardır. Tsonos (2000) 3 adet kolon-kiriş birleşimi ile yaptığı çalışmada birleşimde dikey yerleştirilen enine donatıların etkisini incelemiştir. Dikey olarak yerleştirilen enine donatıların birleşimlerin sismik performansına olumlu etkide bulunduğunu göstermiştir.

Hakuto ve diğer. (2000) 1970'lerden önce inşa edilmiş ve standartlara göre yetersiz donatı kullanılmış iç ve dış kolon-kiriş birleşimleri üzerinde yaptıkları çalışmada, kiriş donatılarının birleşime olan ankraj boyları, kanca şekilleri ve birleşimde enine donatı bulunması gibi değişkenler kullanarak 6 adet numuneyi test etmişlerdir. Mevcut uygulamaya göre ankrajlı kiriş donatıları ile kolon-kiriş birleşim bölgesi performansındaki iyileşmeyi göstermişlerdir. Kuang ve Wong (2006) tersine çevrimsel yüklemeler altındaki 5 adet dış kolon-kiriş birleşimi kiriş boyuna donatılarının birleşimdeki kanca pozisyonları, kolon boyuna donatılarının bindirme konumu gibi değişkenler göz önüne alınarak test edilmiştir. Kiriş boyuna donatılarının birleşimde 90 derece içeri doğru kanca yapılarak uygulanmasının birleşimin

performansına katkısı ortaya konulmuştur. Murty ve diğer. (2003) düşey yüklere göre tasarlanmış betonarme çerçevelerin dış kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine donatı bulunması ve kiriş boyuna donatısının ankraj durumu gibi değişkenlerin göz önüne alındığı toplamda 4 farklı numune üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. İncelenen 4 numune, 4 adet kiriş boyuna donatısı ankraj çeşidi ve 3 adet birleşimdeki enine donatı bağlantı çeşidi içermektedir. Enine donatının ve kiriş boyuna donatı ankraj durumunun birleşimdeki sismik performansa olumlu etkisi ortaya konulmuştur.

Mısır ve Kahraman (2013) çalışmalarında, sismik etkilere karşı yetersiz detaylandırılmış, biri referans olmak üzere 2/3 ölçekli üç adet dış kolon-kiriş birleşim bölgesi testlerini tersinir-tekrarlı yüklemeler etkisinde gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.1). Testler sırasında referans numunede birleşimde ilk eğilme çatlaklarının %0,15 ötelenme oranında; ilk kesme çatlaklarının ise %0,75 ötelenme oranında geliştiği gözlenmiştir. Birleşim yanal dayanıma %0,5 ötelenme oranında ulaşıldığı, %3,5 ötelenme oranında ise ağır hasar durumuna geçtiği gözlenmiştir.

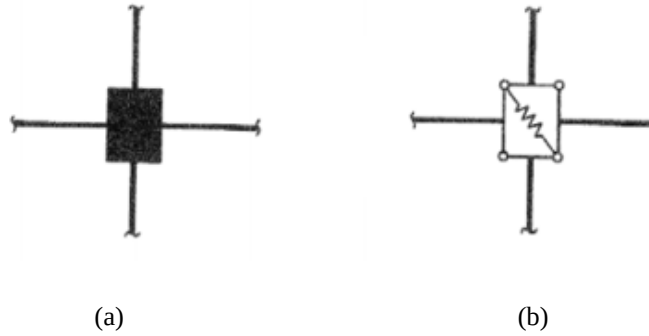


Şekil 2.1 Güçlendirilmiş deney numunesi (Mısır ve Kahraman, 2013)

2.2 Birleşim Bölgeleri ile İlgili Yapılan Analitik Çalışmalar

Literatürde kolon-kiriş birleşimlerinin davranışının benzeştirilebilmesi amacıyla kullanılan yığılı plastisite ve yayılı plastisite esaslı modeller yer almaktadır. Yığılı plastisite modellerinde birleşime bağlı kolon ve kirişler ile birleşimde deneysel çalışmalara göre kalibre edilen dönel yaylar tanımlanarak makro modeller oluşturulmaktadır.

Paulay ve diğer. (1978) kolon-kiriş birleşim bölgesinin analitik modelinin oluşturulması üzerine bu alanda yapılan ilk çalışmalardan birini ortaya koymuştur. Sismik hareketler altında iç kolon-kiriş birleşimini detaylı olarak incelemiş ve basit bir analitik model oluşturulmuş ve biri kesme donatısı diğeri ise beton basınç çubuğu olan 2 kesme direnci mekanizması üzerine tartışmışlardır. Pessiki ve diğer. (1990) son 50 yılda orta derecede sismik bölgelerde yaygın olarak kullanılan hafif betonarme kolon ve iç kolon-kiriş betonarme detaylarının incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada mevcut yapısal analiz programlarının rijit birleşim bölgesi kabulü yaparak çerçeveleri çözümlediğine değinmiş ve buna alternatif bir model oluşturulmuştur (Şekil 2.2). Merkezde diyagonal bir yay rijitliği bulunan kare bir kutu şeklinde modellenmiş olan birleşim kolon-kiriş birleşim bölgesi davranışını oldukça etkili bir biçimde idealize etmektedir.



Şekil 2.2 (a) rijit birleşim modeli, (b) Diyagonal yay modeli (Pessiki diğer., 1990)

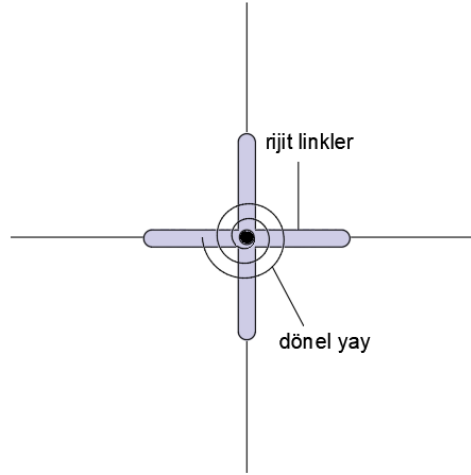
Hoffman ve diğer. (1992) birleşim bölgesi modelini daha doğru bir yaklaşımla yapabilmek için birleşime bağlı diğer elemanların özelliklerinin birleşime yansıtılması gerektiğini savunmuştur. Birleşim bölgesine bağlı eğilme elemanlarının kapasiteleri azaltılarak birleşimdeki kesme kapasitesini azaltmayı hedefleyen bir model ortaya koymuşlardır. Bracci ve diğer. (1992) önceki deneysel çalışmalardan elde edilen veriler göz önüne alınarak hesaplanan bazı mühendislik katsayıları ile kolon, kiriş elemanların rijitliklerinin düşürülmesini öneren bir model önermişlerdir. Priestly (1997) kuvvet-yer değiştirme ilişkisini ortaya koyan hesap yöntemleriyle uygun bir sismik tasarım yapılacağını belirtmiştir. Birleşime kenetlenen kiriş boy donatılarının

ankraj kısmındaki kanca yönlerine göre birleşimde oluşacak asal çekme gerilmelerinin farklı formüllerle hesaplanması gerektiğini göstermiştir.

Hwang ve Lee (1999) dış kolon-kiriş birleşimlerinde kesme dayanımlarının belirlenmesi için bir öneride bulunmuşlardır. Şerit ve kafes modeli olarak adlandırılan yöntem, literatürde rapor edilen deneysel verilerle hesaplanmış kesme dayanımları ile karşılaştırılarak tatmin edici bir sonuca varmışlardır. Sarsam ve Phipps (1985) monotonik yükleme altındaki dış kolon-kiriş birleşim bölgelerinin diyagonal çatlama mukavemeti tahmin etmek için bir öneride bulunmuşlardır. Fleury ve diğer. (2000) birleşim bölgesinin modellenmesinde beton katkısını ve donatı aderansını içeren sonlu elemanlar yöntemiyle geliştirilmiş bir kolon-kiriş birleşim bölgesi modeli önermişlerdir. Tsonos (2007) dört adet yarım ölçekli dış kolon-kiriş birleşiminin sismik performansını incelediği çalışmada şerit kafes mekanizmasını kullanarak birleşimlerdeki kesme dayanımının belirlenmesi için bir formül geliştirmiştir. Scott ve diğer. (1994) 15 adet dış kolon kiriş birleşim bölgesi numunesi üzerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak yapılan çalışmada birleşimde oluşan kesme dayanımının belirlenmesi için diyagonal basınç bloğundan faydalanılarak bir formül oluşturmuşlardır.

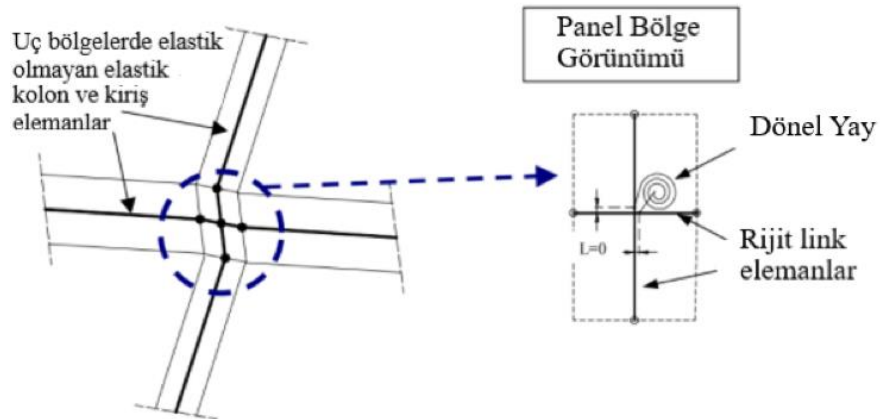
Girgin (2020) çalışmasında, kolon-kiriş birleşimleri için modelleme varsayımlarının sünek olmayan betonarme binaların performans değerlendirmesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sayısal benzeşim modeli, kolon-kiriş bağlantıları için kafes kiriş esaslı elemanları; kirişler ve kolonlar için fiber esaslı elemanları içermektedir. Mevcut bir betonarme binanın iki boyutlu dört ve altı katlı betonarme çerçeveleri artımsal dinamik analizleri yapılarak tasarlanıp analiz edilmiştir. Birleşim bölgesindeki kesit dönmesi ve karşılık gelen birim deformasyonlar, sünek olmayan betonarme çerçevelerinin performans değerlendirmesi için yönetmelik hükümleriyle karşılaştırılmıştır.

Literatürde birleşimlerin yaylar ile modellendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Alath ve Kunnath (1995) kolon-kiriş birleşim bölgesi merkezinde bir dönel yay ve kiriş elemanlara bağlı rijit linkler ile oluşturulmuş makas modeli diye adlandırılan (Şekil 2.3) bir model oluşturmuşlardır.



Şekil 2.3 Birleşim bölgesinin şematik gösterimi (Alath ve Kunnath,1995)

Youssef ve diğer. (2001) kiriş kolon birleşimi ve betonarme taşıyıcı duvarlar için makro modeller geliştirmiştir. Geliştirilen modellerde plastik mafsallık bölgesinde kesme, eğilme ve donatı sıyrılması deformasyonlarını temsil eden elemanlar kullanılmıştır. Pampanin ve diğer. (2003), düşey yüklere göre tasarlanmış yapılar için, birleşimde basınç ve eğilme deformasyonları ile birleşimin kesme mekanizmasını yansıtan bir model önermiştir. (Şekil 2.4)

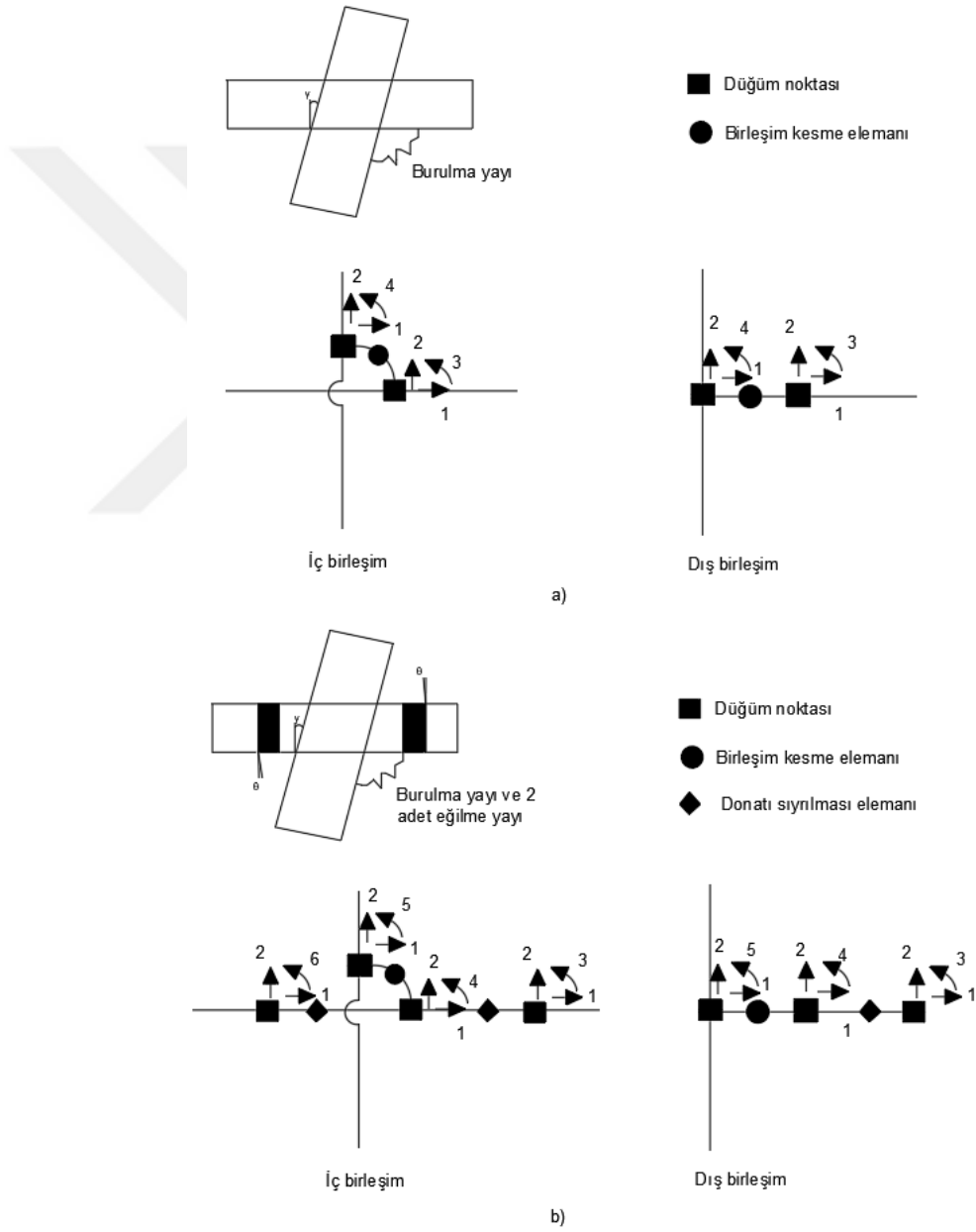


Şekil 2.4 Birleşim davranışı için önerilen analitik model: dönel yay (Pampanin ve diğer.,2003)

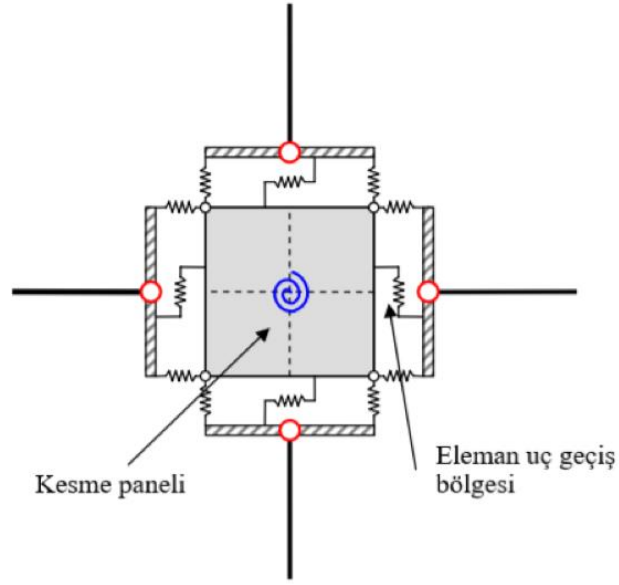
Biddah ve Ghobarah (1999) betonarme yapıların kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme deformasyonu ve donatı sıyrılmasını hesaba katan bir makro eleman modeli

geliştirmiştir. Birleşim bölgesinde biri kesme deformasyonu diğeri ise donatı sıyrılmasını temsil eden seri halde iki adet yay ile (Şekil 2.5) idealleştirilmiştir.

Lowes ve Altoontash (2003) yaptıkları çalışmada betonarme kolon-kiriş bağlantılarının tersinir çevrimsel yüklemeler altındaki tepkisini ölçmek için yaylar ile bir birleşim modeli önermişlerdir (Şekil 2.6). Dört düğüm on iki serbestlik dereceli bir sistemden oluşan düğüm noktası modelinin deprem yükü simülasyonunda kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir.

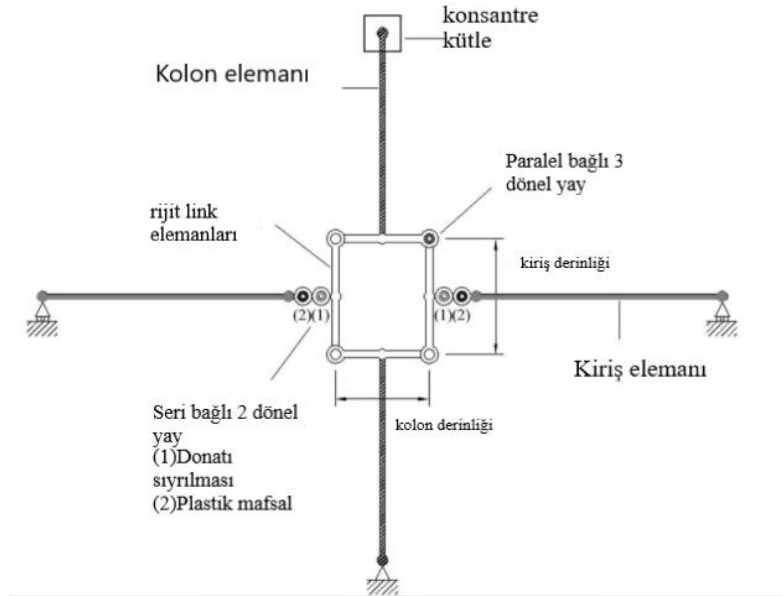


Şekil 2.5 (a) Çerçeve analizleri için birleşimdeki kesmenin idealize edilmiş modeli (b) Birleşimdeki kesmenin ve donatı sıyrılmasının idealize edilmiş modeli (Biddah ve Ghobarah, 1999)



Şekil 2.6 Geçiş elemanlı birleşim modeli (Lowes ve Altoontash, 2003)

Shin ve Lafave (2004) yaptıkları çalışmada yay elemanlarla modelledikleri kolon-kiriş birleşim bölgesinde eleman uçlarına tanımlanan rijit linkler ile 4 düğüm noktasında doğrusal olmayan dönel yaylar kullanmışlardır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kolon-kiriş birleşim bölgesi modeli (Shin ve Lafave, 2003)

Favvata ve diğer. (2008), çevrimsel yükleme altında kolon-kiriş birleşimlerinin gerçek davranışını modellemede başlangıç rijitliği, beton basınç dayanımı, dayanım bozulması ve çevrim sıkışması gibi temel özellikleri göz önünde bulundurarak köşe birleşimler için bir model önermiştir. Bayhan ve diğer. (2017), Alath ve Kunnath (1995) tarafından önerilen makas birleşim modelini uygulayarak betonarme çerçevelerde yetersiz detaylandırılmış kiriş-kolon birleşimlerinin etkilerini incelemiştir. Benzer şekilde Celik ve ellingwood (2008) makas modeli üzerinde çalışmış ve çeşitli geliştirmeler yapmıştır.

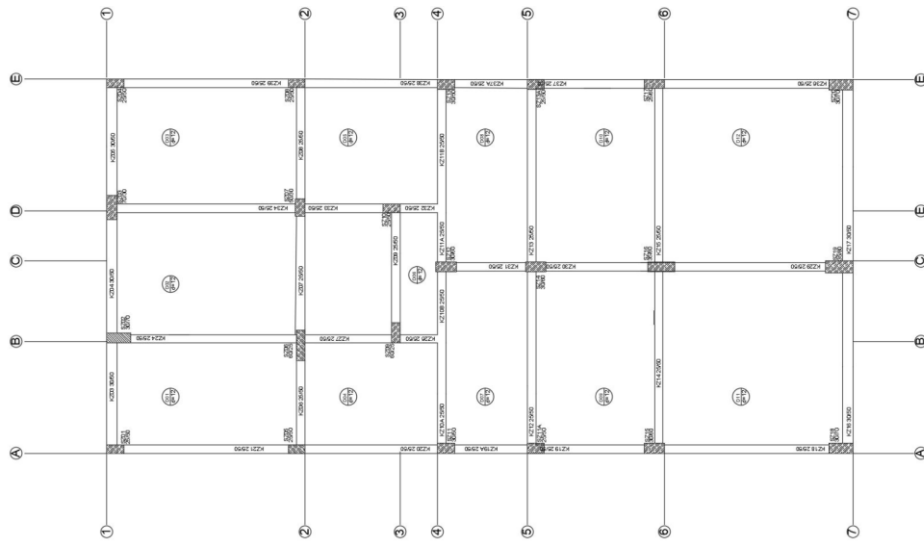
Jeon ve diğer. (2015) yaylar kullanarak geliştirdikleri modellerde donatı sıyrılması, eğilme ve kemse etkilerini göz önünde bulundurmuşlardır. De Risi ve diğer. (2017), enine donatısı olmayan dış kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yükleme altında davranışını modellemek için birleşim panelinde ek yay gereksinimini çıkararak makas modelini iyileştirmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada kullanılacak olan birleşim modeli olarak seçilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

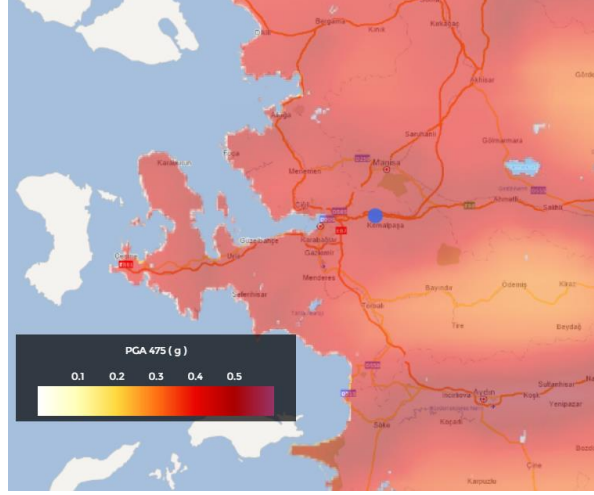
SÜNEK OLMAYAN MEVCUT BETONARME BİNA ÖRNEĞİ

3.1 Mevcut Bina Örneği ve Modeli

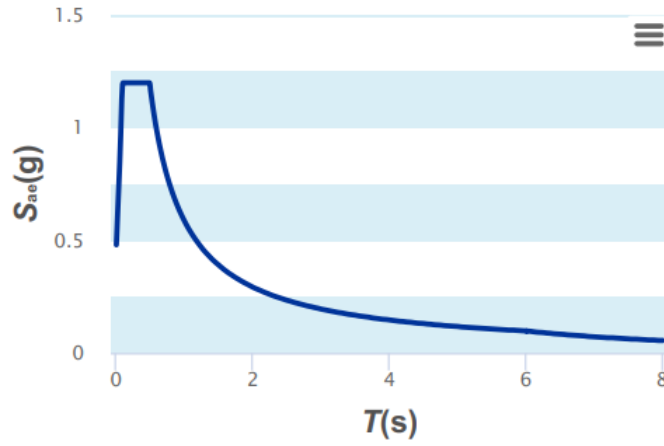
Modellemede dikkate alınan 4 katlı çerçeve tipi bina örneği, 11 m x 22 m plan ölçülerinde (Şekil 3.1), zemin katta 3,85 m ve normal katlarda 2,85 m kat yüksekliğine sahip, toplam 12,4 m yüksekliğinde konut amaçlı kullanılan bir yapıdır (BYS=6, $10,5 < h \leq 17,5$ m). Konut binası olarak tasarlanan yapı (BKS=3), ZD zemin sınıfında, deprem seviyesi yüksek olan ($0,75 \leq S_{DS}$, DTS=1) bir bölgede inşa edilmiştir. Yer Hareketi Düzeyi DD2 alınarak güncel Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH, 2018) üzerinden, yatay elastik ivme spektrumu karakteristik değerleri $S_S=1.15$, $S_1=0,288$, $F_S=1,039$ ve $F_1=2,024$ olarak belirlenmiş, $S_{DS}=1,198$ ve $S_{D1}=0,583$ olarak hesaplanmıştır. En büyük yer ivmesi $PGA=0,469$ ve en büyük yer hızı $PGV=29,075$ olarak Deprem Tehlike Haritası üzerinden alınmıştır. Mevcut yapının kiriş boyutları 25/50 cm ve 30/50 cm; kolon boyutları ise 25/50 cm, 30/70 cm, 25/60 cm, 30/60 cm ve 35/80 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlığı 12 cm plak döşeme olup, döşeme yükleri her kirişe düzgün yayılı yük olarak uygulanmıştır (Şekil 3.2). Kat ağırlıkları zemin katta 3116 kN, 1. ve 2. katta 2748 kN ve 3. kat için 1831 kN'dur.



Şekil 3.1 İncelenen betonarme çerçeve türü binanın kalıp planı

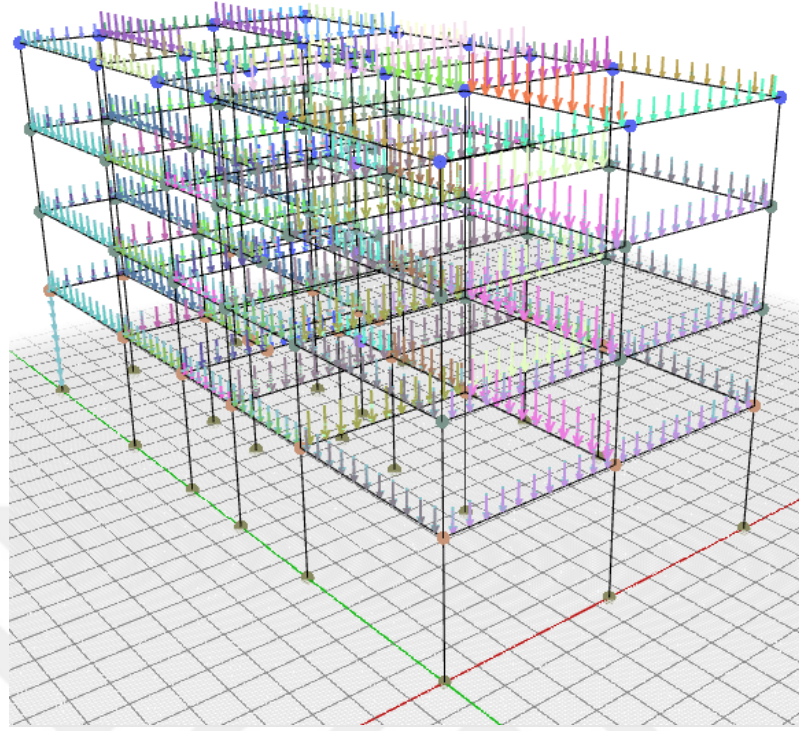


Şekil 3.2 Yapı konumunu ve deprem bölgesini gösteren deprem tehlike haritası (TDTH, 2018)



Şekil 3.3 Yatay elastik tasarım spektrumu $T_A = 0.097$ (s) $T_B = 0.487$ (s) $T_L = 6.000$ (s)

İncelenen betonarme çerçeve türü yapının Opensees tabanlı STKO (Scientific Toolkit for Opensees) Petracca ve diğer. (2017) yazılımı ile hazırlanan üç boyutlu modeli (Şekil 3.2)'de verilmiştir. Opensees McKenna ve diğer. (2000), Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde performansa dayalı deprem mühendisliği araştırmaları için hesaplama platformu olarak geliştirilmiştir. STKO ise 2019 yılından itibaren beta sürümüyle başlayarak hızla geliştirilen Opensees grafik kullanıcı ara yüzüdür. Yapı modelinde her bir kolon ve kiriş kuvvet esaslı yayılı plastisite davranış modeline sahip beş integrasyon noktalı bir eleman ile tanımlanmıştır. Yapının hâkim doğal titreşim periyodu, $T_1 = 0,73$ sn'dir.

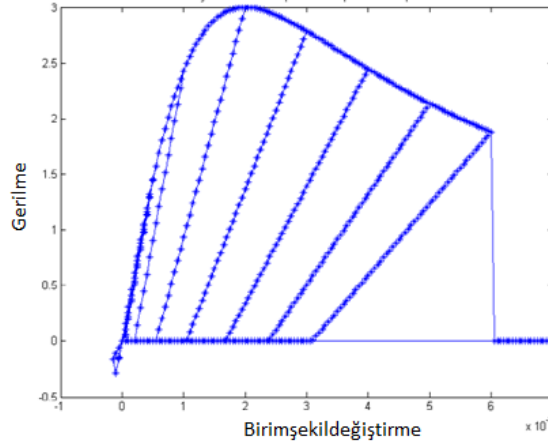


Şekil 3.4 İncelenen betonarme çerçeve türü binanın birleşimli çerçeve modeli

3.2 Malzeme Modelleri

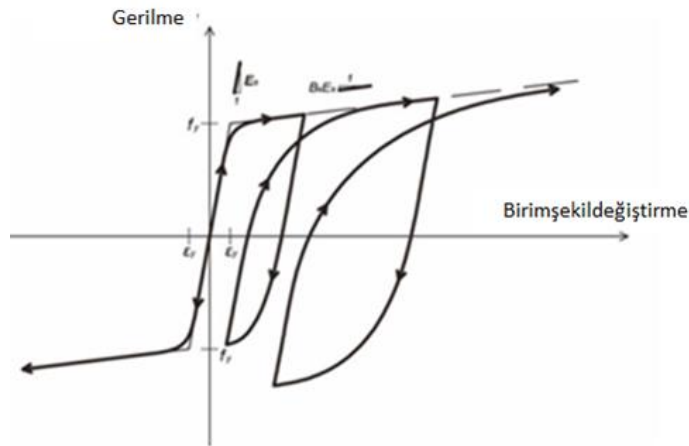
Mevcut yapı modelinde kullanılan beton dayanımı 15 MPa donatı çeliği ise S420 olarak belirlenmiştir. Kolon ve kiriş kesitlerinde betonun gerilme-birim deformasyon ilişkileri için OpenSees’de bulunan ve Mander ve diğer. (1988) tarafından geliştirilen beton modelini benzeştiren Concrete04 malzeme modeli kullanılmıştır (Şekil 3.5). Mander tarafından önerilen beton modelinde sargı donatısıyla sarılmış beton malzemenin tek yönlü veya çevrimsel yüklemeler altında davranışı tanımlanmıştır. Concrete04 malzeme modelinde sargılı ve sargısız kısımlar için elastisite modülü tanımı yapılabilmektedir. Elastisite modülü Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$E = 5000\sqrt{f_{ck}} \quad (3.2)$$

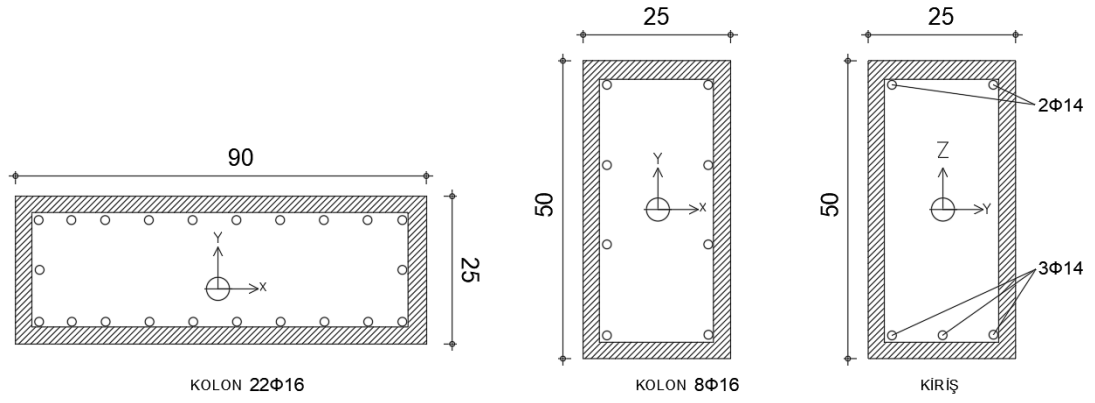


Şekil 3.5 Concrete04 beton modeli (opensees.berkeley.edu)

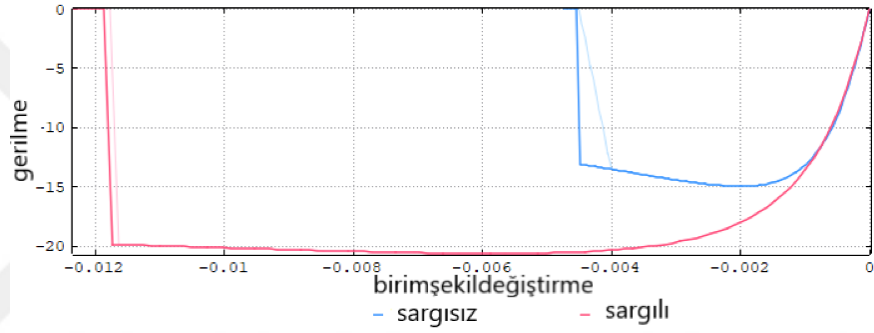
Donatılar için (Şekil 3.6)'da verilen Giuffré-Menegotto-Pinto donatı modeli (1973) (Steel02) Filippou ve diğer. (1983) tanımlanarak bu modelde $R0 = 20$, $cR1 = 0,925$, $cR2 = 0,15$ ve $B_s = 0,02$ değerleri dikkate alınmıştır. (Şekil 3.7)'de verilen kolon ve kiriş kesitleri için sargılı beton basınç dayanımları sırasıyla 20,6 MPa ve 17,23 MPa olarak hesaplanmıştır. Sargılı beton birim şekil değiştirmeleri ϵ_{cc} ve ϵ_{ccu} sırasıyla kolon için 0,0058, 0,0118 (Şekil 3.8) kiriş için 0,0035 ve 0,0078 (Şekil 3.9) olarak hesaplanmıştır.



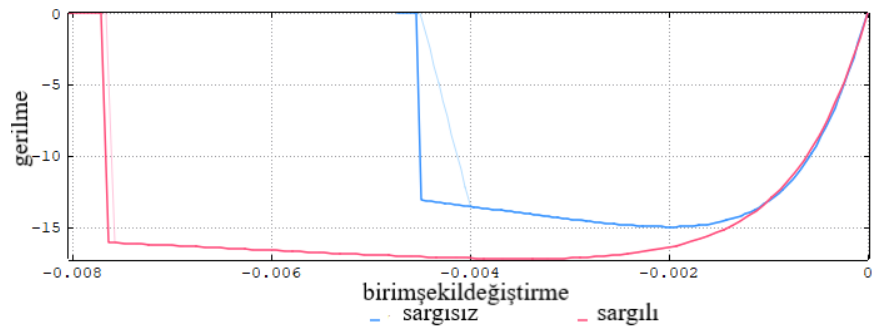
Şekil 3.6 Steel02 donatı modeli (opensees.berkeley.edu)



Şekil 3.7 Kolon ve kiriş enkesit boyutları (paspayı 40 mm) ve boyuna donatı detayları



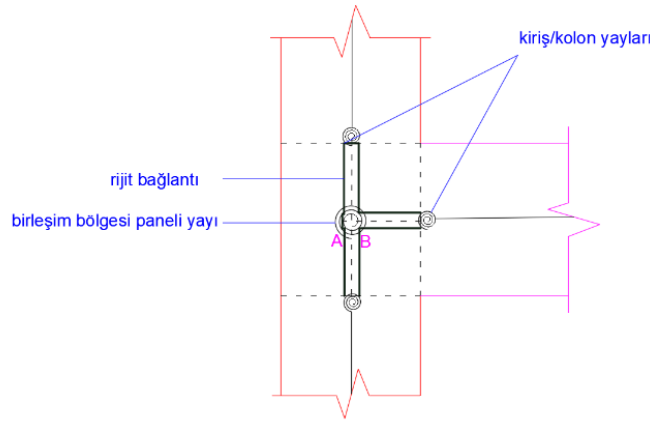
Şekil 3.8 25/50 boyutlarındaki kolon kesiti için sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 3.9 25/50 boyutlarındaki kiriş kesiti için sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme grafiği

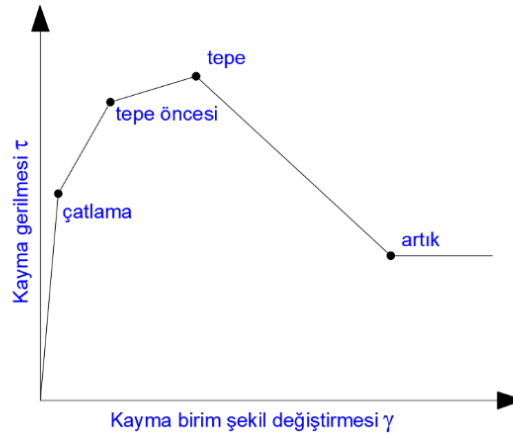
3.3 Kolon-Kiriş Birleşim Modeli

Binanın kolon-kiriş birleşimlerinde enine donatı eksikliği olup bu yetersizliklerin modellenerek yapının davranışına etkisini inceleyebilmek için şekil değiştirebilen kolon-kiriş birleşimlerine sahip bir yapı modeli oluşturulmuştur. Şekil değiştirebilen kolon-kiriş birleşim modelinde birleşimin merkezinde sıfır uzunluklu bir dönme yayı tanımlanmış, bu yaya A ve B olmak üzere iki düğüm noktası atanmış, kolon elemanlar A düğümüne bağlı rijit bağlantıya, kiriş eleman ise B düğümüne bağlı rijit bağlantıya iliştilmiştir (Şekil 3.10). Jeon ve diğer. (2015)'nin yaptıkları çalışmayı geliştirerek makas modeline farklı bir bakış açısı kazandıran De Risi ve diğer. (2017), enine donatısı olmayan birleşimlerin modellenmesi için uygun bir model olan makas modelini iyileştirmiştir.



Şekil 3.10 Kullanılan kolon-kiriş birleşim modeli (De Risi ve diğer., 2017)

Dış kolon-kiriş birleşimlerinin kesme kapasitelerine bağlı olarak elde edilen kayma birim şekildeğişimi-kayma gerilmesi ilişkisi çatlama ($\gamma_{cr} = \%0,04, \tau_{cr}$), tepe öncesi ($\gamma = \%0,17; 0,85\tau_{max}$), tepe noktası ($\gamma_{max} = \%0,49, \tau_{max}$) ve kalıcı deformasyon ($\gamma_{res} = \%4,41; 0,43\tau_{max}$) olmak üzere (Şekil 1.9b)'deki gibi dört karakteristik nokta ile tanımlanmıştır (Jeon ve diğer., (2015); De Risi ve diğer., (2017)). İç kolon-kiriş birleşimlerinde dönmeler (kayma birim şekildeğişimleri $\gamma_{cr} = \%0,07, \gamma_{0.85} = \%0,6, \gamma_{max} = \%2,0$ ise $\gamma_{res} = \%6,5$ ve ile dikkate alınmıştır.



Şekil 3.11 Birleşimde kayma gerilmesi- kayma birim şekil değişimi (De Risi ve diğer., 2017)

Şekil değiştirebilen birleşimlere sahip yapı modelinde, birleşim paneli yayı için tanımlanan moment-kesit dönmesi ilişkisinde ise M_j : birleşime etkiyen moment değeri, A_j : birleşimin yatay en kesit alanı, h_c : kolonun ilgili doğrultudaki en kesit boyutu, L_b : kiriş açıklığı, L_c : kolon boyu olmak üzere Denklem (3.1) ile belirlidir (De Risi ve diğer, 2017).

$$M_j = \tau_j \cdot A_j \frac{1}{\frac{1 - \frac{h_c}{2L_b} - \frac{1}{jd_b} - \frac{1}{2L_c}} \quad (3.1)$$

Çatlama anındaki kayma gerilmesi, P : kolona etkiyen eksenel yük, f_c : beton basınç dayanımı olmak üzere Denklem (3.2) ile elde edilmektedir (Uzumeri, 1977).

$$\tau_{j,cr} = 0,29\sqrt{f_c} \sqrt{1 + 0,29 \frac{P}{A_j}} \quad (3.2)$$

En büyük kayma gerilmesi ise Jeon ve diğer. (2015) tarafından verilen yaklaşımla Denklem (3.3) ile tanımlanmaktadır.

$$\tau_{max} = 0,586(TB)^{0,774}(BI)^{0,495}(JP)^{1,25}(f_c)^{0,941} \quad (3.3)$$

Denklem 3.2-3.6’da verilen $\tau_{j,cr}$ çatlama dayanımını, τ_{pp} tepe öncesi dayanımını, τ_{max} en yüksek tepe dayanımını, τ_{res} artık dayanımını, M_j birleşime etkiyen moment değerini, TB düzlem dışı faktörü (iki kiriş bağlantısı olması durumunda 1,2 olarak alınır), ρ_{ort} kiriş ortalama donatı oranını, A_s kiriş alt donatısını, A_s' kiriş üst donatısını, BI kiriş donatı indeksini, JP geometrik faktörü (iç birleşimler için 1, dış birleşimler için 0,75), P kolon aksenal yükünü, f_c beton dayanımını, f_y çelik donatı dayanımını, b_c ve h_c kolon ebatlarını, b_w ve h_b kiriş ebatlarını, L_b kiriş uzunluğunu, L_c kolon uzunluğunu, d_b kiriş için etkili derinliği ifade etmektedir.

$$\tau_{pp} = 0,85\tau_{max} \quad (3.4)$$

$$\tau_{res} = 0,43\tau_{max} \quad (3.5)$$

$$BI = \rho_{ort} \frac{f_y}{f_c} \quad (3.6)$$

3.4 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Modelleme Parametreleri

Enine donatısı bulunmayan dış ve iç kolon-kiriş birleşimlerinin kesme kapasitelerine bağlı elde edilen moment-kesit dönmesi ilişkileri OpenSees’de yer alan *Pinching4* malzeme modeli ile tanımlanarak Şekil 3.12-Şekil 3.15’te gösterilmiştir. Dış ve iç birleşimlerde *Pinching4* modeli parametrelerinin elde edilmesi için yapılan hesaplar Tablo 3.1-Tablo 3.4’te gösterilmiştir. İç ve dış birleşim için incelenen kolonların dışındaki bütün kolonlar için hesaplanan birleşim parametreleri EK-1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1 Köşe kolon-kiriş birleşimi x yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

KÖŞE KOLON (KOLON S101-S104 25/50)X																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.296	77.0	0.00335	1	0.094	0.8	15	142.5	1E+05	420	500	250	1500	0.9	250	500	460	2850
Tepe önces	1.377	81.9																
Tepe	1.620	96.3																
Artık	0.696	41.4																

Tablo 3.2 Orta kolon-kiriş birleşimi x yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

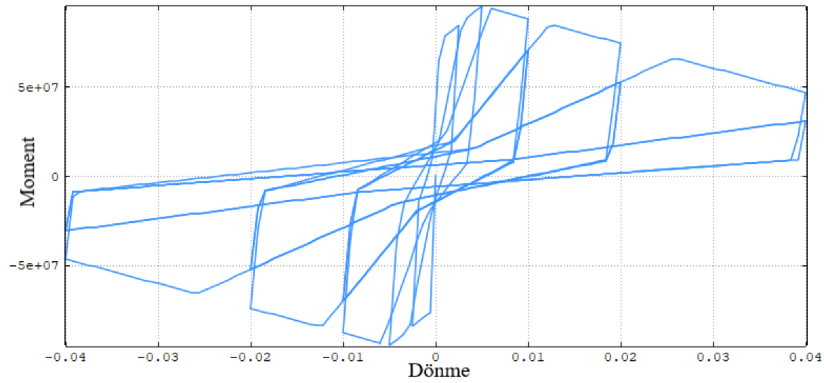
ORTA KOLON SZ06 X																		
	t _j .cr	M _j	ρ _k .kort	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.48	172.7	0.00335	1.2	0.094	1	15	569.9	225000	420	250	900	2925	0.88	250	500	460	2850
Tepe önces	2.27	265.3																
Tepe	2.67	312.1																
Artık	1.15	134.2																

Tablo 3.3 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

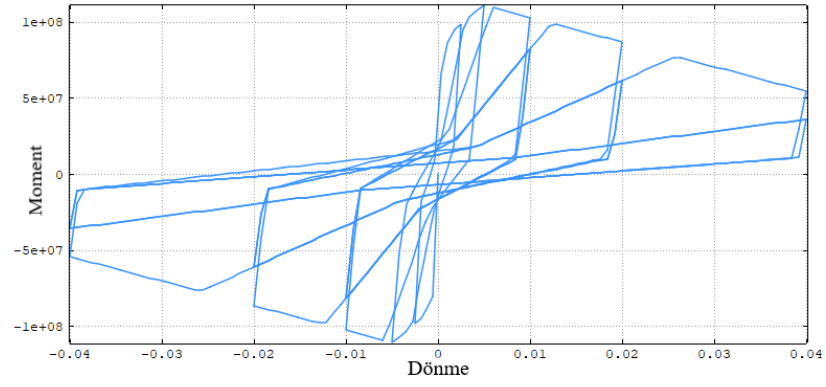
KÖŞE KOLON (KOLON S101-S104 25/50)Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.296	78.9	0.00437	1	0.122	0.8	15	142.5	1E+05	420	250	500	2425	0.9	250	500	460	2850
Tepe önces	1.571	95.7																
Tepe	1.849	112.6																
Artık	0.795	48.4																

Tablo 3.4 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

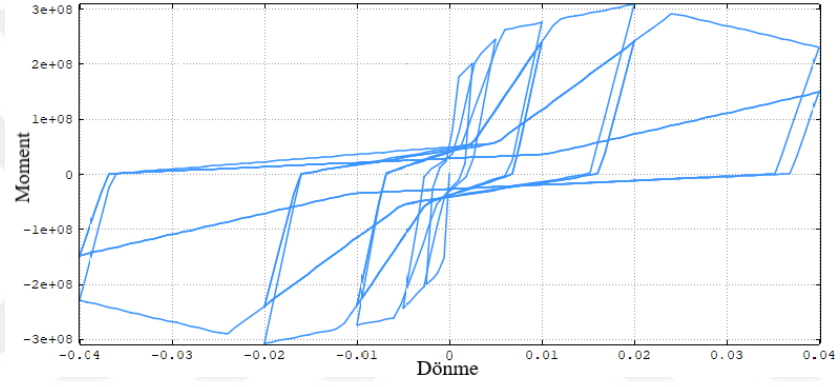
ORTA KOLON SZ06 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.479	149.5	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	225000	420	900	250	3725	0.88	250	500	460	2850
Tepe önces	2.134	215.8																
Tepe	2.511	253.8																
Artık	1.080	109.1																



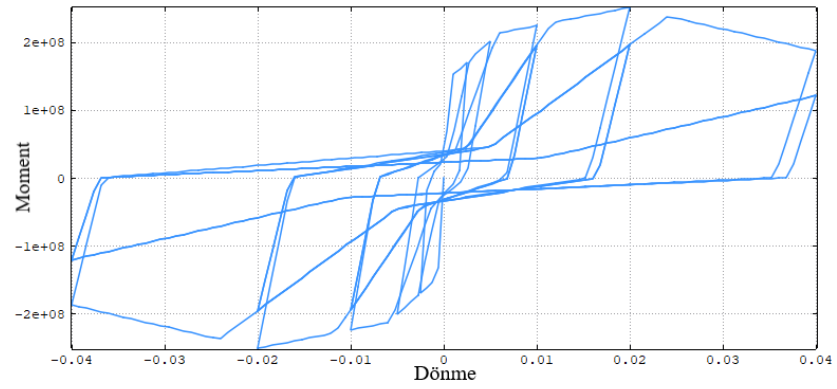
Şekil 3.12 S01 dış kolon-kiriş birleşimi x yönü için moment-dönme ilişkisi



Şekil 3.13 S01 dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için moment-dönme ilişkisi



Şekil 3.14 S06 iç kolon-kiriş birleşimi x yönü için moment-dönme ilişkisi



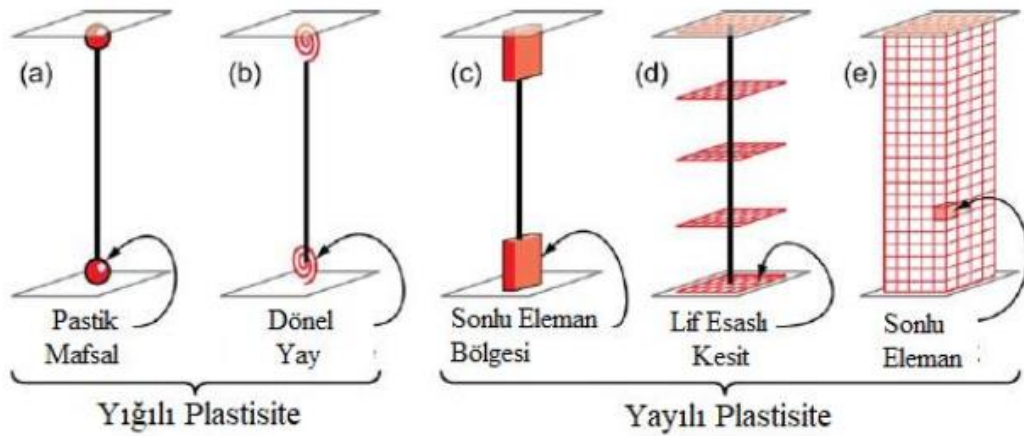
Şekil 3.15 S06 iç kolon-kiriş birleşimi y yönü için moment-dönme ilişkisi

BÖLÜM DÖRT

ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLER

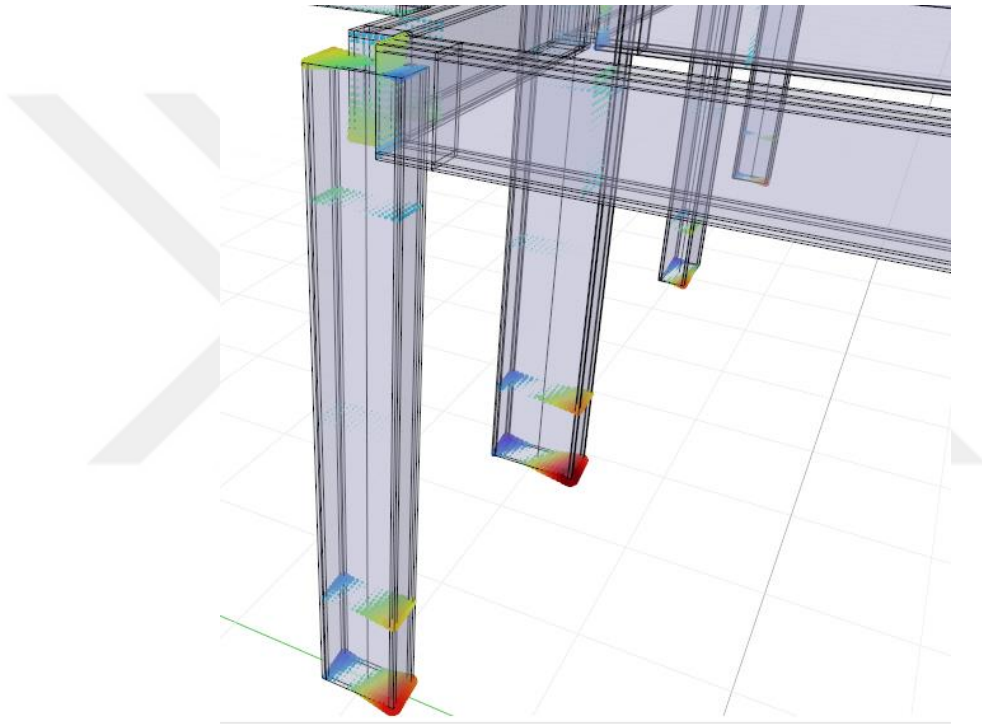
4.1 Doğrusal Olmayan Analiz Model Yaklaşımları

Yapısal sistemlerin sismik performans değerlendirmesi, önemli hasar modlarını ve dayanım, rijitlik ve enerji tüketim özelliklerini temsil eden uygun analitik modeller gerektirmektedir. Yapı elemanlarının doğrusal olmayan yük-deformasyon ilişkilerini ifade edebilmek için kullanılan matematiksel modeller genel olarak yığılı ve yayılı plastisite yaklaşımı olarak iki grupta incelenir (Şekil 4.1). Bu iki yaklaşımdan ilki olan yığılı plastisite yaklaşımı, temel olarak dayanım ile deformasyon (moment-kesit dönmesi v.b.) ilişkisinin yapı elemanlarının belirli bölgelerine tanımlanması ile uygulanmaktadır. Yayılı plastisite yaklaşımında ise sadece eğilme etkileri dikkate alınarak betonarme kesitler liflerine (hücrelerine) ayrılmakta ve her hücre için beton ve donatı tek eksenli malzeme modelleri tanımlanmaktadır. Bununla beraber, son yıllarda yaygın olarak uygulanan kafes kiriş analojisi ile betonarme elemanların düşey, yatay ve diyagonal doğrultuda kafes sistem elemanları ile temsil edilerek, betonda çekme güçlenmesi ve dayanım azalması etkilerinin dikkate alınması ile oluşturulmaktadır.

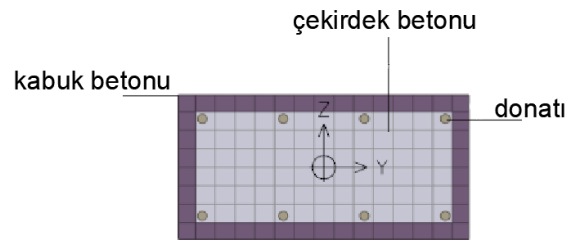


Şekil 4.1 Kolon-kiriş elemanlar için davranış modelleri Deierlein ve diğer., (2010)

Bu çalışmada kolon ve kiriş elemanlar doğrusal olmayan model yaklaşımlarından yayılı plastisite yaklaşımı kullanılarak lif esaslı kesit (fiber) elemanlar olarak modellenmiştir. Bu yaklaşım yapısal modelleme programlarındaki analiz süresini bir miktar uzatsa da çok daha rasyonel sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Lif esaslı kesit olarak tasarlanan kolonun 5 integrasyon noktası (Şekil 4.2), sargısız beton (kabuk betonu), sargılı beton (çekirdek betonu) ve donatıları (Şekil 4.3) ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Kolon-kiriş elemanlar fiber (lif) esaslı model integrasyon kesitleri

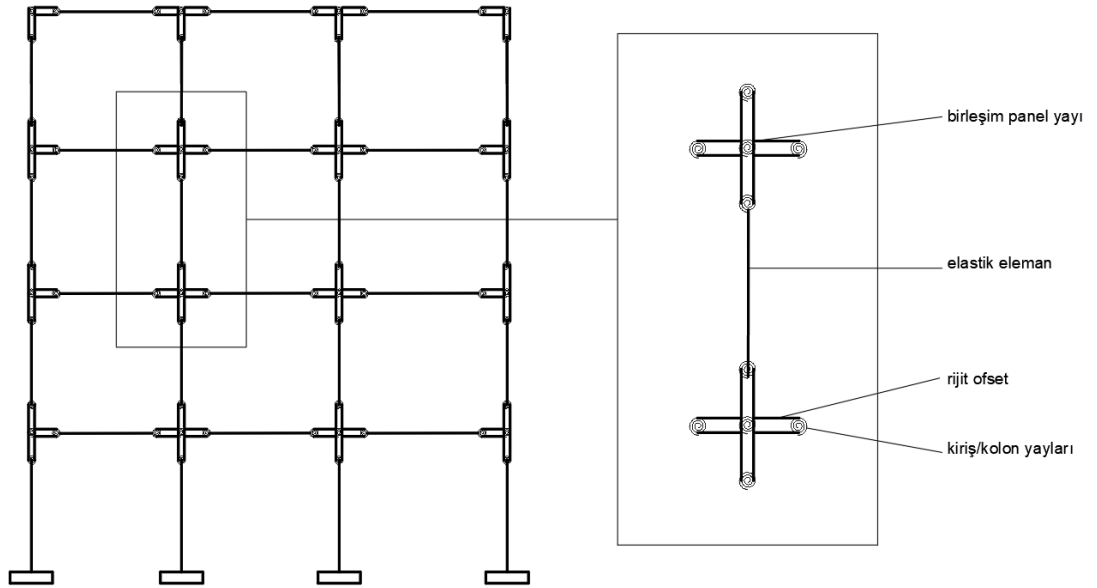


Şekil 4.3 Kolon-kiriş elemanlar için fiber (lif) esaslı model

4.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Modeli

Zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılırken zamana bağlı olarak yapıya etki eden yükler yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı göz önünde bulundurularak sistemdeki hareket denkleminin adım adım çözülmesi esasına dayanmaktadır. Analiz aşamalarında her adıma karşılık gelen iç kuvvet ve plastik şekil değiştirmeler hesaplanmaktadır. Böylece deprem talebi karşısında ulaşılan en büyük yer değiştirme ve iç kuvvet değeri tespit edilmiş olur (Celep ve Kumbasar 2004).

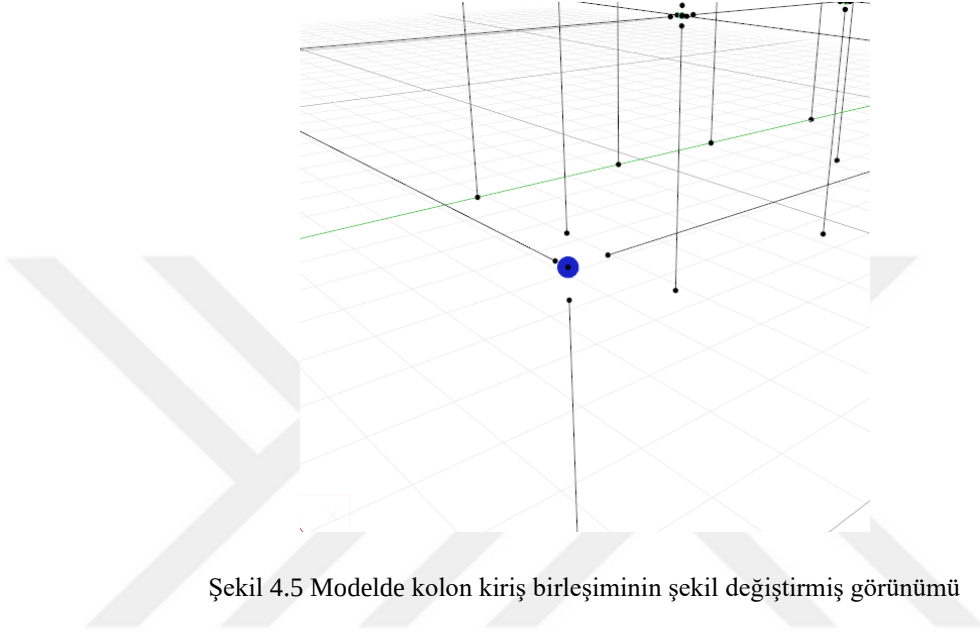
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için hazırlanan modelde birleşim bölgeleri için birleşim panel yayı rijit link elemanlar ile kolon-kiriş yaylarına bağlanmış, buradan da kolon ve kiriş elastik elemanlarla düğüm noktaları birbirine bağlanarak çerçeve sistem oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Lif esaslı kesit kullanılarak elde edilen kolon kiriş elemanlarda yayılı plastisite yaklaşımı ile doğrusal olmayan davranış elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Kolon-kiriş birleşimi düğüm modellerini gösteren çerçeve detayı

STKO programı ile modellenen yapının dış kolon-kiriş birleşimi şekil 4.5 ile gösterilmiştir. Programda tanımlanan çevrim sıkışması çevrimsel model parametreleri ile düğüm noktalarında şekil değiştirebilen birleşim modellenmiştir. Analiz

aşamasında birleşim bölgelerinde program içinde bulunan Gauss Nokta Gösterimi kullanılarak birleşimde oluşan kayma deformasyonları/dönme değerlerindeki değişim anlık olarak izlenmiştir. Bu şekilde, en çok hasar alan birleşimler tespit edilerek verilerin toplanması ve grafiklere dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Modelde kolon kiriş birleşiminin şekil değiştirmiş görünümü

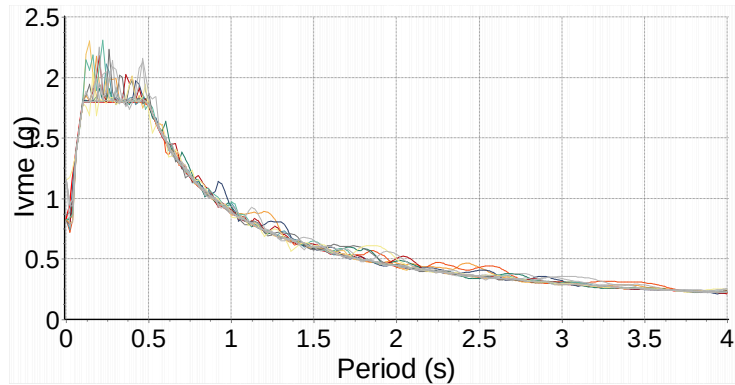
4.3 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Çalışmada yapılan dinamik analizlerde kullanılmak üzere ölçeklenmiş ivme kayıtları TBDY-2018’de tanımlanan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklenmesi konusundaki madde uyarınca elde edilmiştir. Yerel zemin sınıfı ZD olan bir zemin üzerine inşa edilmiş olan mevcut yapının TDTH (2018) kullanılarak tasarım yatay elastik tasarım ivme spektrum verileri elde edilmiştir. PEER (2014) veri tabanı kullanılarak elde edilen ham ivme kayıtları (Tablo 4.1) de verilmiştir. Gerçek yer ivmesi kayıtları maksimum yer ivmesi, etkin olduğu süre ve frekans içeriği göz önünde bulundurularak seçilip kayıtlar içerisinde kullanılan 6 adet gerçek yer ivmesi kaydı SeismoSoft (2018) tarafından geliştirilen SeismoMatch programı ile ölçeklenerek hedef tasarım spektrumu elde edilmiştir (Mısıır ve diğer.,2000). TBDY 2.5.3’te belirtildiği üzere dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından küçük olmayacaktır. Seçilen

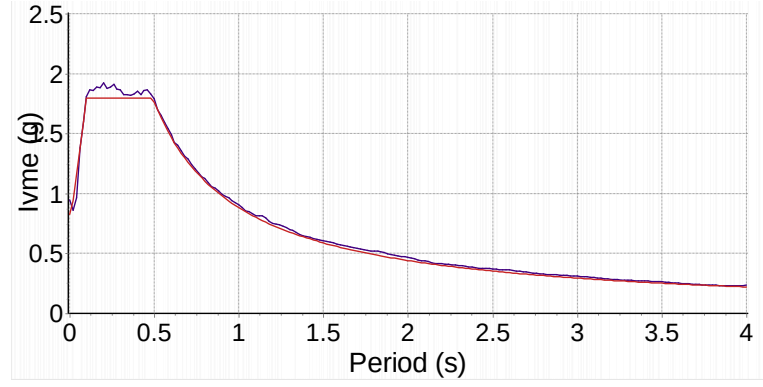
kayıtlardan elde edilen spektrum eğrilerinin geometrik ortalamasının hedef spektruma uygunluğu en büyük ve ortalama uyumsuzluk değeri ile karşılaştırılmış ve uygun olduğu tespit edilmiştir. Deprem kayıtlarını Spektral ivme-periyod grafiğine dönüştürmek için SeismoMatch yazılımı kullanılmıştır. Dönüştürülen kayıtlar tasarım spektrumu ile üst üste getirilerek (Şekil 4.6) de gösterilmiştir. Deprem yer hareketinden elde edilen spektrum ortalamaları ise (Şekil 4.7) ile verilmiştir.

Tablo 4.1 Seçilen ve ölçeklenen kuvvetli yer ivmesi kayıtları

No	Deprem	Yıl	İstasyon	Kayıt No	Mag	MEC	H1 Kayıt	H2 Kayıt
1	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #12	RSN175	6.53	Yanal atımlı	H-E12140	H-E12230
2	Superstition Hills-02	1987	Westmorland Fire Sta	RSN728	6.54	Yanal atımlı	B-WSM090	B-WSM180
3	Northridge-01	1994	El Monte- Fairview Av	RSN970	6.69	Ters fay	FAI095	FAI185
4	Landers	1992	Amboy	RSN832	7.28	Yanal atımlı	ABY000	ABY090
5	Northridge-01	1994	LA- Pico ve Sentous	RSN1000	6.69	Ters fay	PIC090	PIC180
6	Landers	1992	Baker Fire Station	RSN836	7.28	Yanal atımlı	BAK050	BAK140

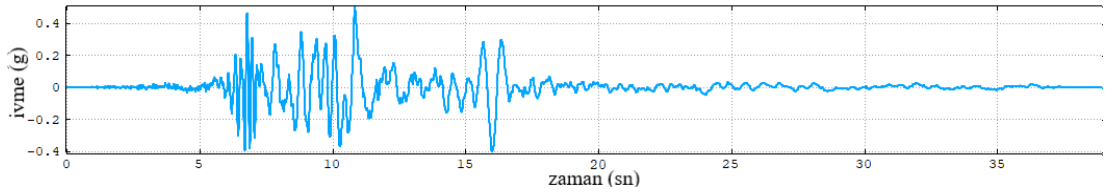


Şekil 4.6 Ölçeklenmiş kuvvetli yer ivmesi kayıtlarının (D1-D6) spektrumları

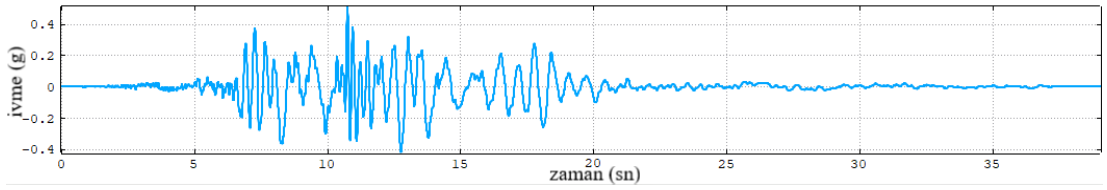


Şekil 4.7 Ortalama eğrisi.

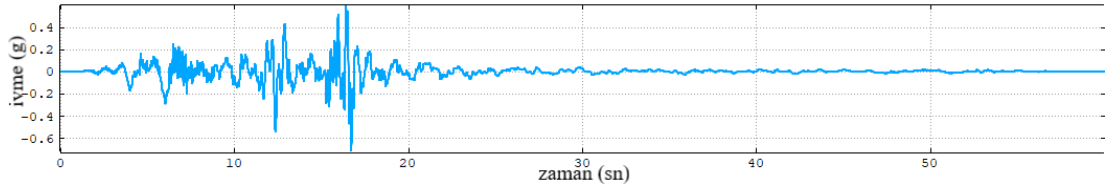
Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan 6 adet ölçeklenmiş deprem kaydı (Şekil 4.8), (Şekil 4.9), (Şekil 4.10), (Şekil 4.11), (Şekil 4.12), (Şekil 4.13), (Şekil 4.14), (Şekil 4.15), (Şekil 4.16), (Şekil 4.17), (Şekil 4.18) ve (Şekil 4.19), ile gösterilmiştir.



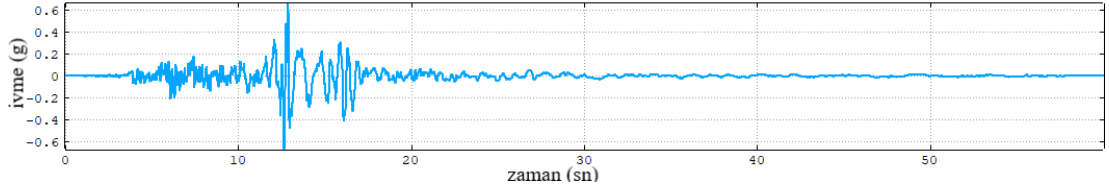
Şekil 4.8 Imperial Valley 06 El Centro Array #12 x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



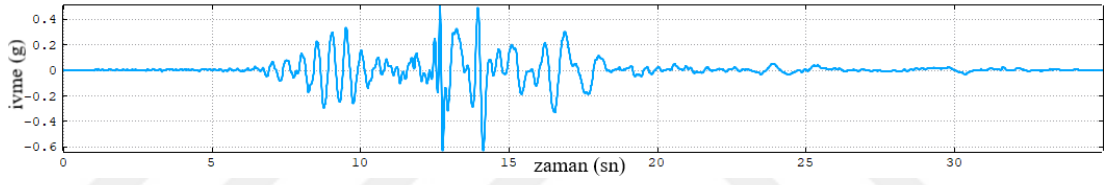
Şekil 4.9 Imperial Valley 06 El Centro Array #12 y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



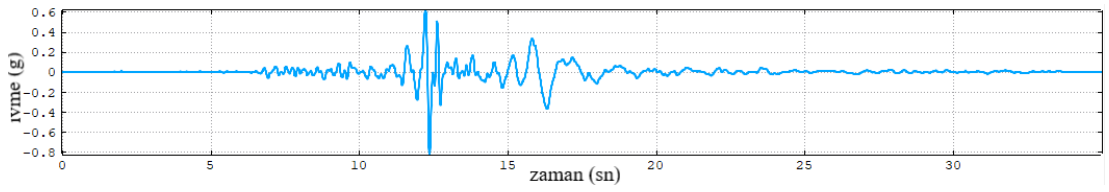
Şekil 4.10 Superstitions Hills-02 Westmorland Fire Sta x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



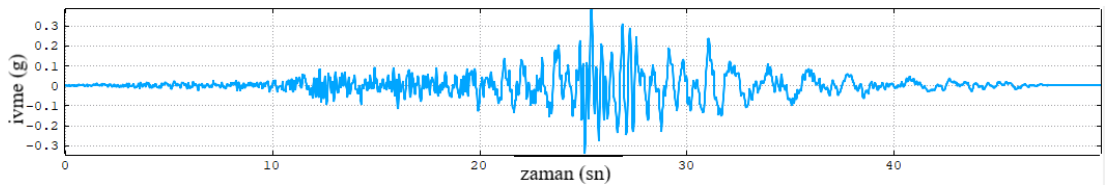
Şekil 4.11 Superstitions Hills-02 Westmorland Fire Sta y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



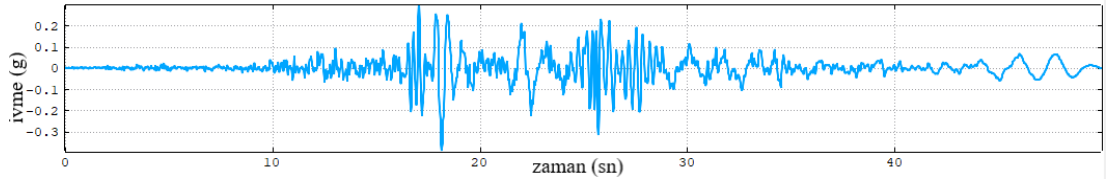
Şekil 4.12 Northridge 01- El Monte Fairview Av x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



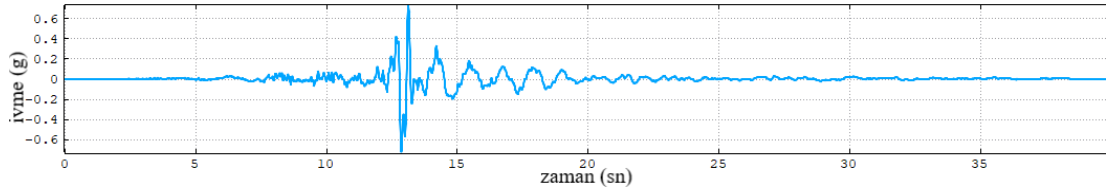
Şekil 4.13 Northridge 01- El Monte Fairview Av y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



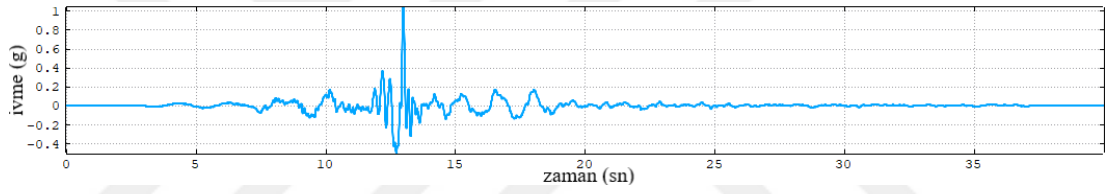
Şekil 4.14 Landers Amboy x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



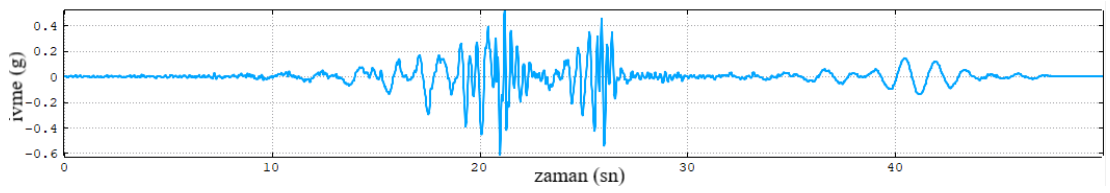
Şekil 4.15 Landers Amboy y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



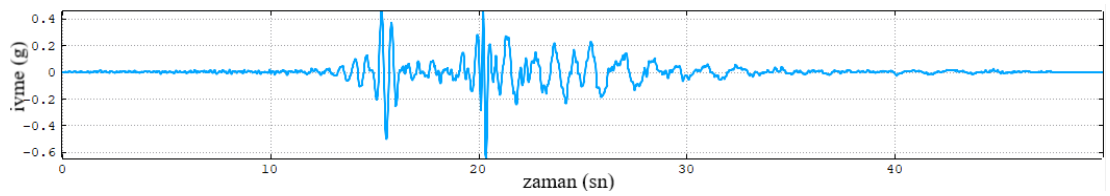
Şekil 4.16 Northridge 01 LA-Pico ve Sentous x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



Şekil 4.17 Northridge 01 LA-Pico ve Sentous y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı



Şekil 4.18 Landers Baker Fire Station x yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı

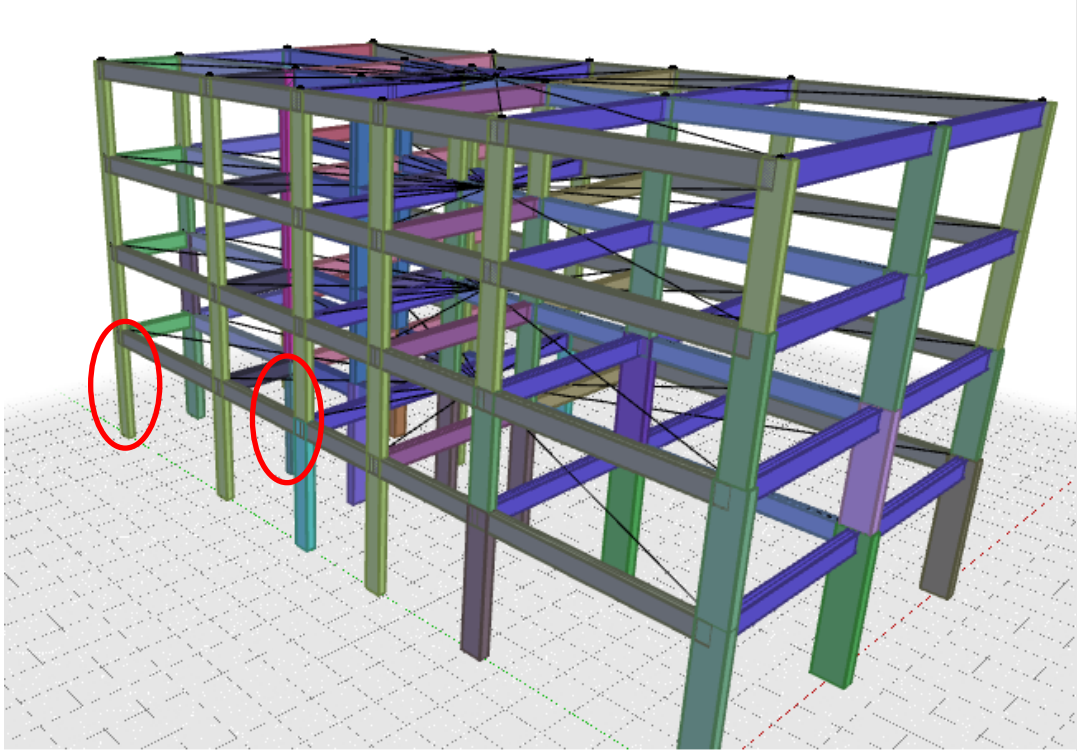


Şekil 4.19 Landers Baker Fire Station y yönü ölçeklendirilmiş deprem kaydı

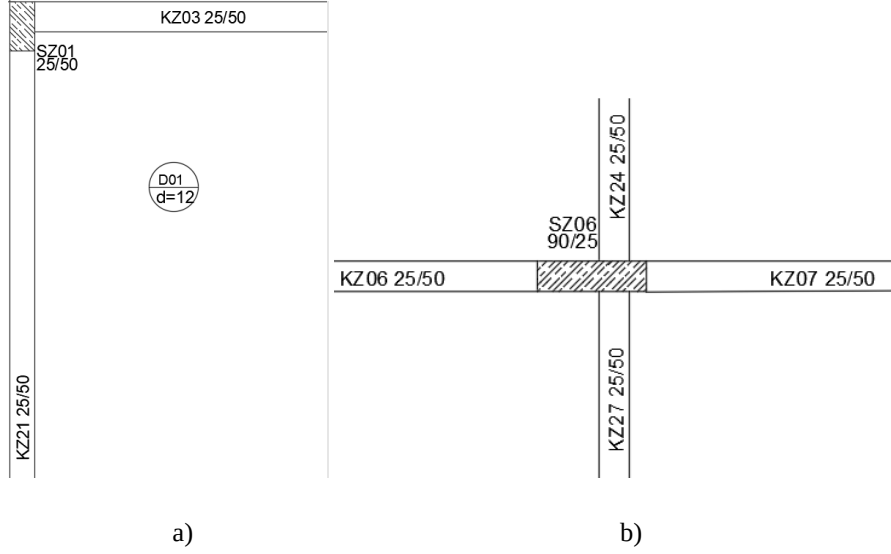
BÖLÜM BEŞ

ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ SONUÇLARI

Betonarme çerçevelerden teşkil edilen dört katlı mevcut betonarme binanın sayısal modeli (Şekil 5.1)'de görülmektedir. Şekil üzerinde işaretlenen bir iç ve bir dış olmak üzere 2 adet birleşim tipi üzerinde incelemeler yapılmıştır. Binanın zemin katında bulunan köşe kolon-kiriş birleşimine (Şekil 5.2.a) mesnetli KZ03 ve KZ21 kirişleri, SZ01 kolonunun kesit deformasyonları ve ayrıca birleşimde gelişen kayma deformasyonları analiz boyunca izlenmiştir. Aynı şekilde bina zemin katında bulunan iç kolon-kiriş birleşimine (Şekil 5.2.b) mesnetli KZ06 ve KZ24 kirişleri, SZ06 kolonunun kesit deformasyonları ve birleşim kayma deformasyonları analiz boyunca izlenmiştir.



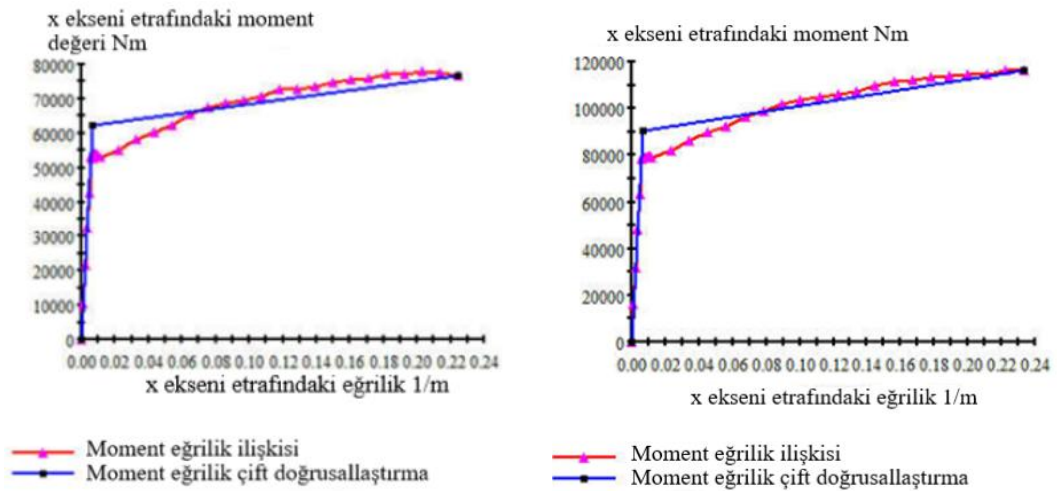
Şekil 5.1 Betonarme binanın sayısal modeli



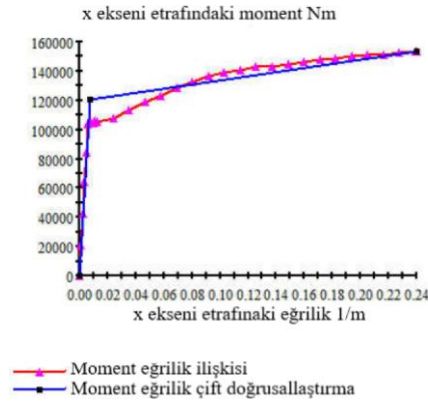
Şekil 5.2 Analiz boyunca izlenen köşe ve iç kolon-kiriş birleşimi

5.1 Kolon ve Kiriş Elemanlarda Moment-Kesit Dönmesi İlişkisi

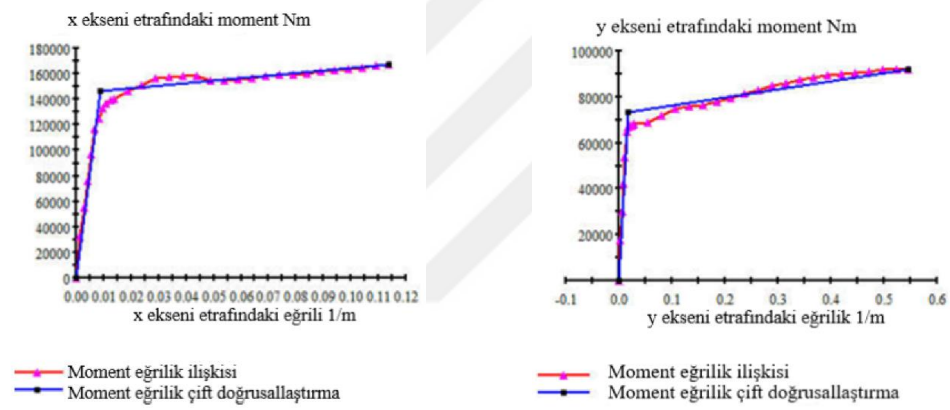
Kolon-kiriş çerçeve tipi taşıyıcı sistem elemanlarında elastik ötesi davranışlardan kaynaklı oluşan çatlakların oluşturduğu sonsuz eğrilik kesit davranışını belirlemek için kullanılmaktadır. Köşe birleşim için eksenel yük altında kolon ve kiriş elemanların moment eğrilik grafikleri XTRACT programı kullanılarak elde edilmiştir. Buradan hareketle elde edilen ϕ_y : akma eğriliği, ϕ_u : göçme öncesi eğrilik değerleri ile kesit performansı hakkında bilgiler elde edilmiştir.



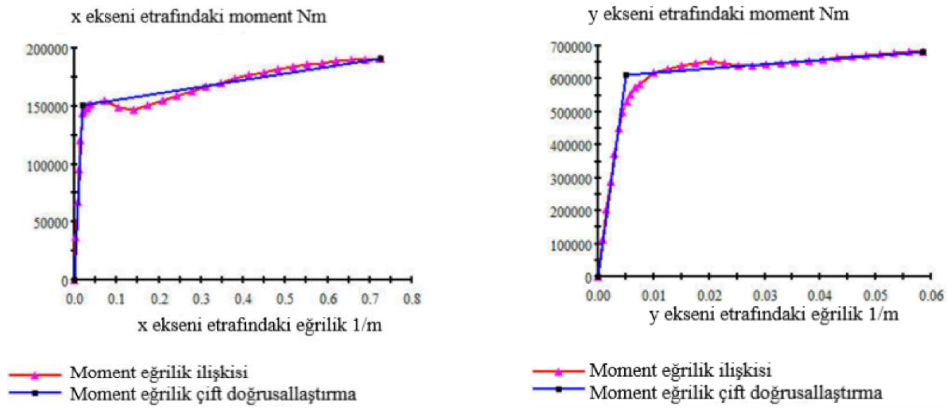
Şekil 5.3 KZ03 ve KZ21 kirişi moment-eğrilik grafiği



Şekil 5.4 KZ06 ve KZ24 kirişi moment-eğrilik grafiği



Şekil 5.5 SZ01 Kolon x ve y yönü moment-eğrilik grafiği



Şekil 5.6 SZ06 Kolon x ve y yönü moment-eğrilik grafiği

5.2 TBDY (2018)'e Göre Performans Limitlerinin Belirlenmesi

TBDY (2018)'de betonarme elemanların göçme öncesi, göçmenin önlenmesi ve kontrollü hasar performans düzeyleri için plastik dönme sınırları Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 ile tanımlanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (5.1)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})} \quad (5.2)$$

Denklem 5.1'de ϕ_y : akma eğriliği, ϕ_u : göçme öncesi eğrilik, L_p : plastik mafsallık boyu, L_s : kesme açıklığı, d_b : boyuna donatı çapıdır. Buna göre XTRACT Chadwell ve Imbsen, (2004) yazılımı kullanılarak SZ01 kolonunun göçme öncesi toplam kesit dönmesi limitleri x yönünde 0,015 radyan ve y yönünde 0,109 radyan olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde iç birleşim kolonu SZ06 göçme öncesi toplam kesit dönmesi limitleri x yönünde 0,143 radyan, y yönünde ise 0,007 radyan olarak hesaplanmıştır. Kirişlerde ise göçme öncesi toplam kesit dönmesi limiti KZ03 kirişi için 0,044 radyan, KZ21 kirişi için 0,047 radyan, KZ06 kirişi için 0,047 radyan ve KZ21 kirişi için 0,047 radyan olarak hesaplanmıştır.

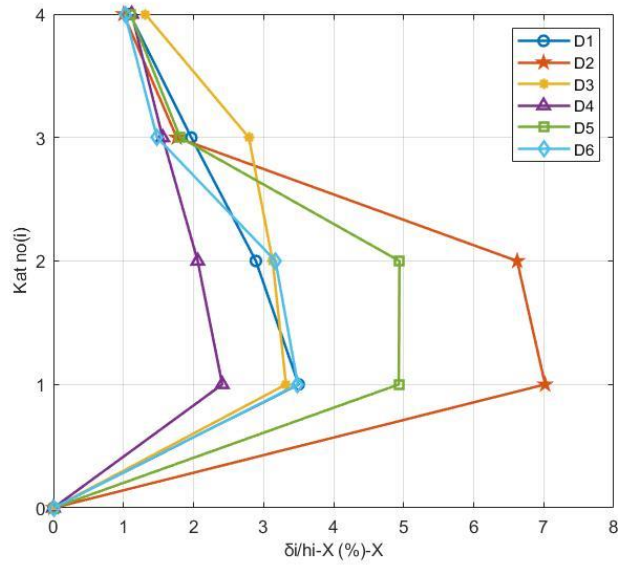
Tablo 5.1 Kesit dönmesi performans Limit değerlerinin elde edilmesi

	ϕ_u (1/m)	ϕ_y (1/m)	L_p (m)	L_s (m)	d_b (mm)	θ_p (rad)	θ_t (rad)
SZ01x	0,1139	0,00690	0,125	1,675	16	0,014	0,015
SZ01y	0,535	0,01264	0,25	1,675	16	0,106	0,109
KZ03	0,2244	0,00566	0,25	1,5	14	0,043	0,044
KZ21	0,2336	0,00603	0,25	2,45	14	0,046	0,047
SZ06x	0,4505	0,02120	0,45	1,675	16	0,133	0,143
SZ06y	0,0507	0,00410	0,125	1,675	16	0,006	0,007
KZ06	0,2398	0,00623	0,25	1,25	14	0,045	0,047
KZ24	0,2336	0,00623	0,25	2,45	14	0,046	0,047

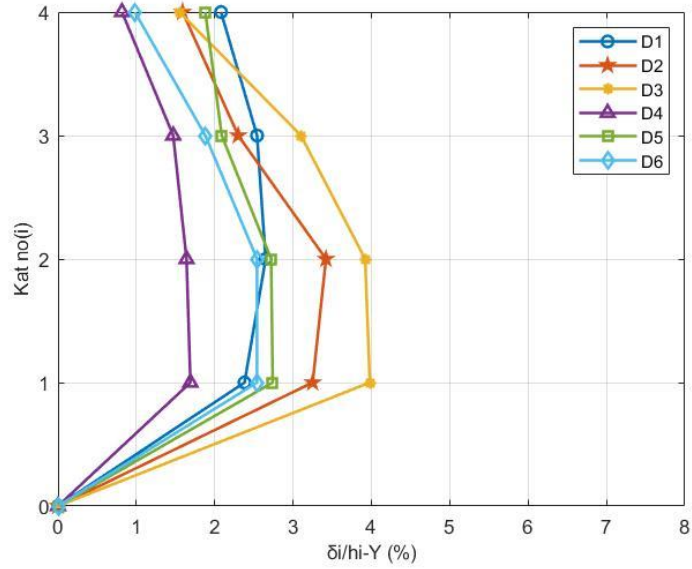
KZ03 ve KZ21 (Şekil 5.12), (Şekil 5.13)'de görüldüğü gibi kirişlerde %1 kesit dönmesine ulaşmadan önce birleşimlerin en büyük kayma birim şekildeğişimi ($\gamma_{\max}=\%0,49$) ve buna karşılık gelen dayanımlarının aşıldığı görülmektedir. SZ01 kolonunda ise kısa doğrultuda eleman kontrollü hasar performans limitine ulaşıldığı görülse de analizler sırasında maksimum birleşim deformasyonlarının ($\gamma_{\max}=\%0,49$) daha önce gerçekleştiği belirlenmiştir. KZ06 ve KZ24 (Şekil 5.19), (Şekil 5.20)'de görüldüğü gibi kirişlerinde de %1 kesit dönmesine ulaşmadan önce birleşimlerin en büyük kayma birim şekildeğişimi ($\gamma_{\max}=\%2$) ve buna karşılık gelen dayanımların aşıldığı görülmektedir. SZ06 kolonunda ise x doğrultusunda kesit dönmesi kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar limitlerinin altında kalırken kolonun zayıf yönü olan y yönünde birleşim kayma dayanımına ($\gamma_{\max}=\%2$) karşılık gelen ortalama %2,42'lik kesit dönmesi kontrollü hasar ve göçme öncesi performans limitlerinin üstünde olduğu görülmektedir.

5.3 Kolon-Kiriş Birleşim Deformasyonları Sonuçları

6 adet deprem kaydı kullanılarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda kat sayısı ile görelî kat ötelenme oranlarının ilişkileri (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8)'de verilmiştir. Ötelenme talepleri TBDY 2018 de bulunan görelî kat ötelemeleri sınırlarının oldukça üstünde kalmıştır. Özellikle 1. ve 2. katlar görelî kat ötelenme değerleri yapının hem x hem y yönünde %4 ve %7 gibi değerlere varmaktadır. Bir önceki deprem yönetmeliğimiz DBYBHY 2007'de bulunan 0.0016 görelî kat ötelemesi sınırı göz önüne alındığında bile yapı y yönü D4 depremi dışındaki bütün depremlerde ötelenme talebinin verilen limitin üstünde kaldığı gözlemlenmiştir. SZ01 köşe kolon-kiriş birleşiminde x yönündeki deformasyonlar γ_{23} , y yönündeki deformasyonlar ise γ_{12} olmak üzere görelî kat ötelenme oranlarına ve kolon, kiriş kesit dönmelerine göre değişimleri grafikler halinde verilmiştir.



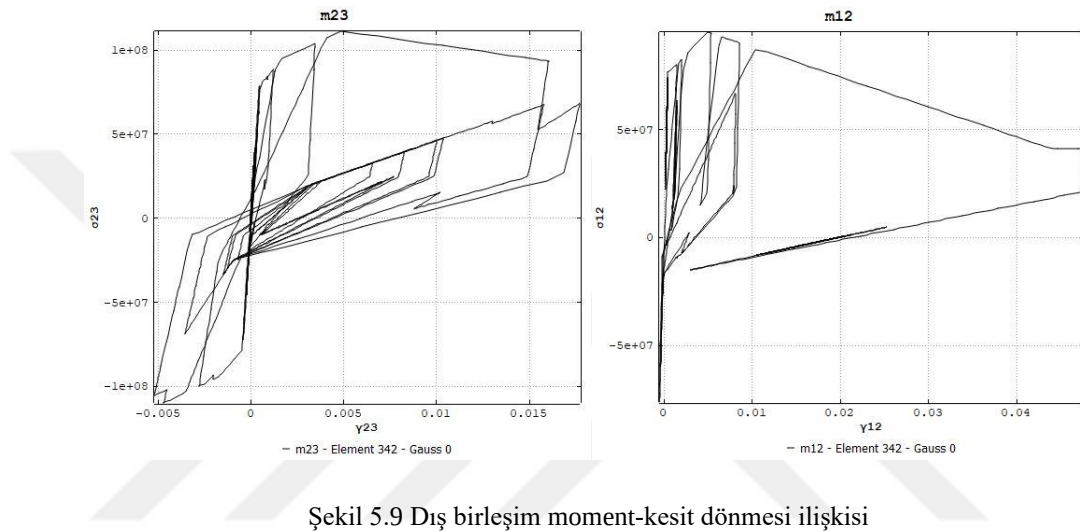
Şekil 5.7 X yönü görel kat ötelenme oranlarının bina yüksekliği boyunca değişimi



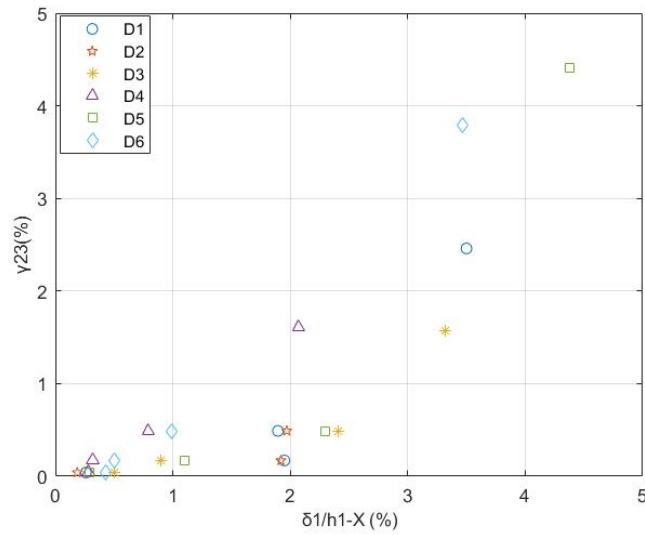
Şekil 5.8 Y yönü görel kat ötelenme oranlarının bina yüksekliği boyunca değişimi

Dış birleşimdeki moment kesit dönmesi ilişkisi (Şekil 5.9) ile verilmiştir. Dış kolon-kiriş birleşiminin 6 adet deprem kaydı için x yönündeki birleşim deformasyonları ile en büyük görel kat ötelenme oranı ilişkileri (Şekil 5.10) ve (Şekil 5.11)'de sunulmuştur. Deprem kayıtlarına göre değerler dikkate alındığında, birleşimin çatlama

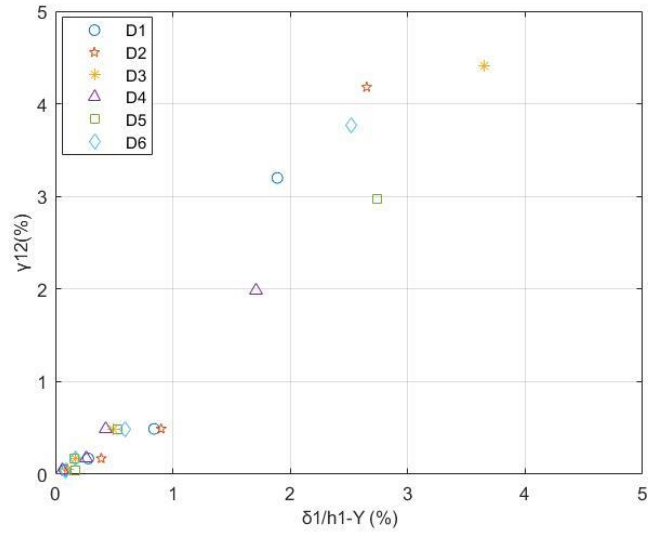
dayanımına ($\gamma_{cr}=\%0,04$) x yönünde ortalama $\%0,32$, y yönünde ortalama $\%0,18$ görece kat ötelenme oranında; birleşim dayanımına karşılık gelen deformasyona ($\gamma_{max}=\%0,49$) ise x yönünde ortalama $\%1,48$; y yönünde ise ortalama $\%0,6$ görece kat ötelenme oranında ulaştığı belirlenmiştir. Birleşimin kayma dayanımındaki deformasyonlarına her iki yönde de $\%1$ görece kat ötelenme oranına ulaşılmadan önce ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.9 Dış birleşim moment-kesit dönmesi ilişkisi

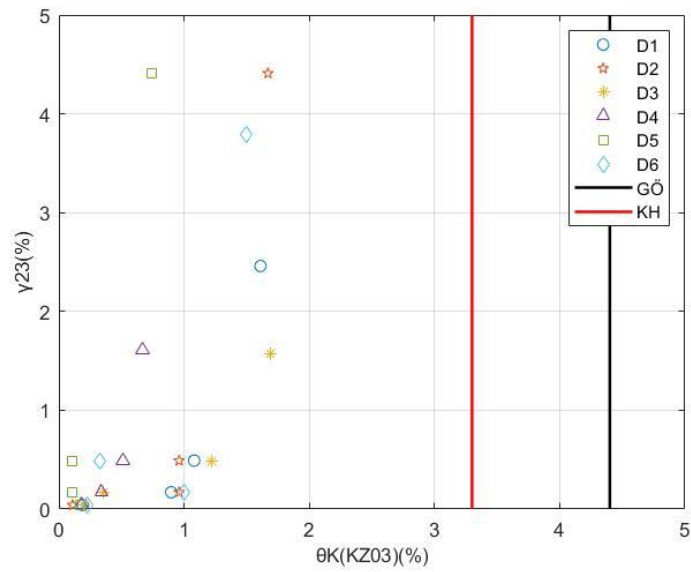


Şekil 5.10 Dış birleşim kayma birim şekil değişimi-1. katta görece kat ötelenme oranı

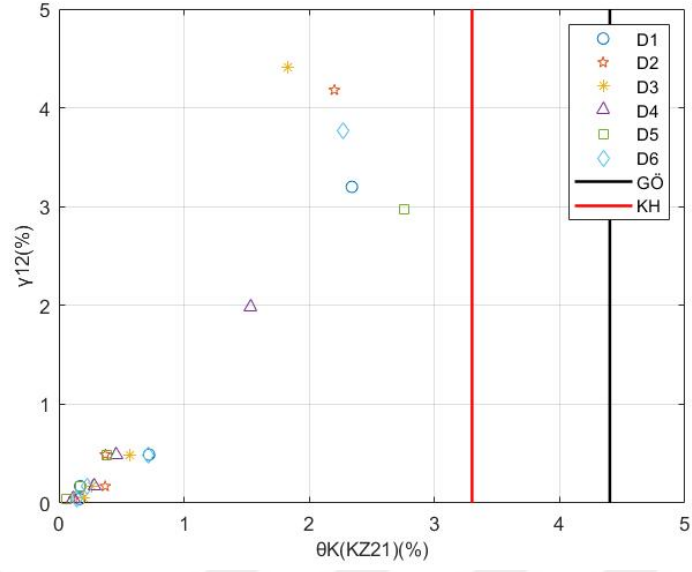


Şekil 5.11 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. katta görel kat ötelenme oranı

Kolon ve kirişlerde görel kat ötelenme oranına bağlı olarak yer değiştirmiş eksen dönmeleri hesaplanmıştır. Birleşimlerin kayma dayanımına karşılık gelen tepe noktasına ($\gamma_{\max}=\%0,49$) ulaştığında; x yönündeki KZ03 kirişindeki ortalama kesit dönmesi $\%0,7$; y yönündeki KZ21 kirişinde ise en büyük kesit dönmesi $\%0,53$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.12), (Şekil 5.13).

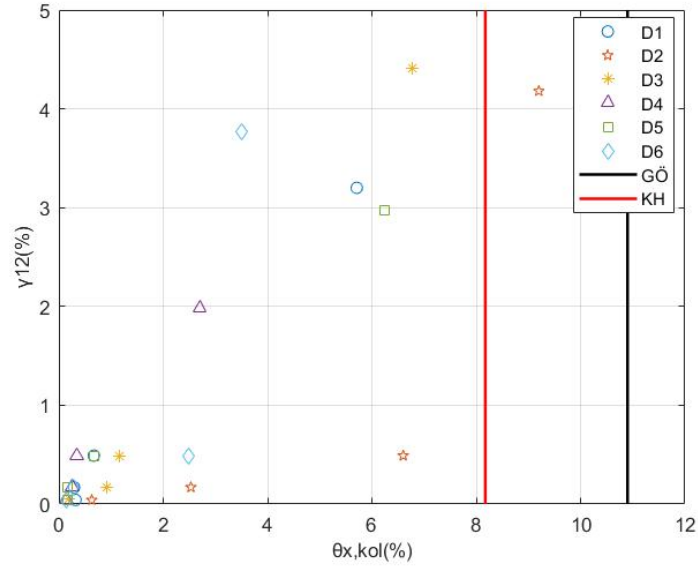


Şekil 5.12 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi- KZ03 kiriş kesit dönmeleri

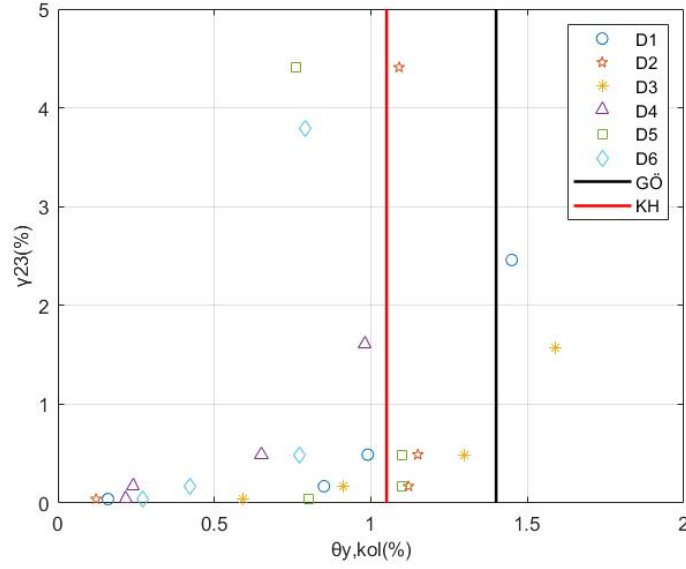


Şekil 5.13 Dış birleşim kayma birim şekil değişimi- KZ21 kiriş kesit dönmeleri

SZ01 kolonunda ise birleşim kayma dayanımına ulaştığında kolonda x yönünde kesit dönmesi (θ_{y-y}) değerlerinin ortalaması %0,93; y yönünde kesit dönmesi (θ_{x-x}) değerlerinin ortalaması ise %1,98 değerindedir (Şekil 5.14), (Şekil 5.15).

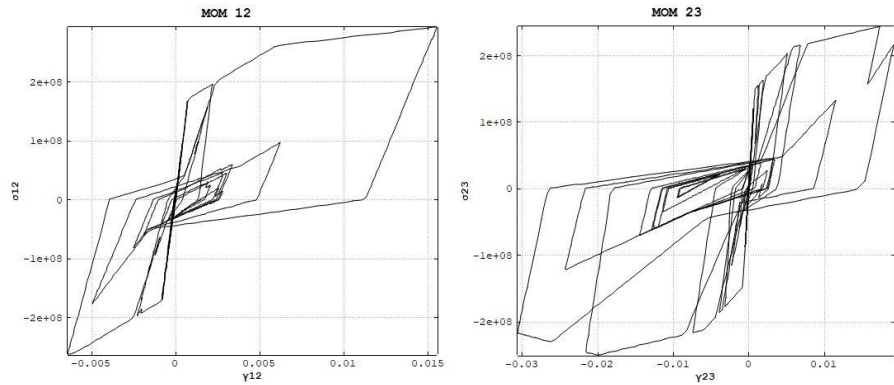


Şekil 5.14 Dış birleşim kayma birim şekil değişimi-kolon kesit dönmesi

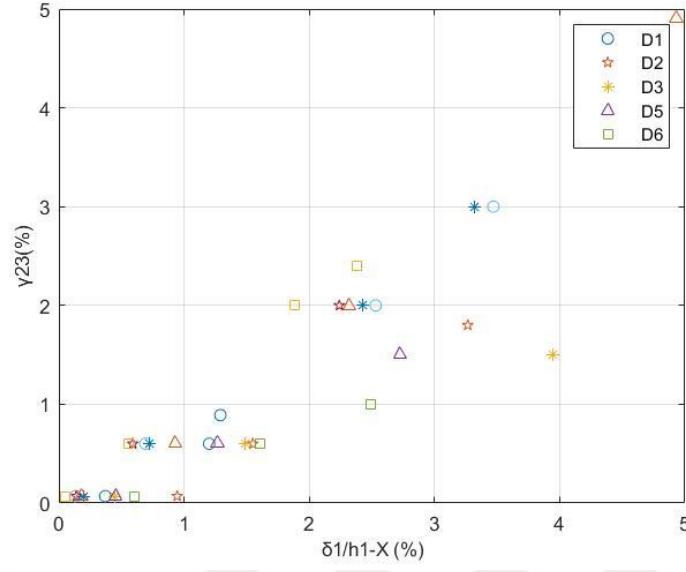


Şekil 5.15 Dış birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi

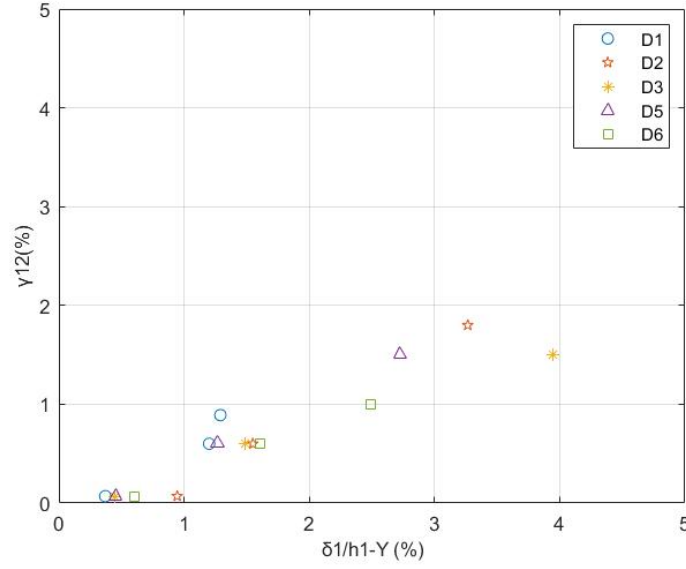
İç birleşim moment, kesit dönmesi ilişkileri (Şekil 5.16) ile verilmiştir. İç kolon-kiriş birleşiminin 6 adet deprem kaydı için x yönündeki birleşim deformasyonları ile en büyük göreceli kat ötelenme oranı ilişkileri (Şekil 5.17) ve (Şekil 5.18)'de sunulmuştur. Deprem kayıtlarına göre değerler dikkate alındığında, birleşimin çatlama dayanımına ($\gamma_{cr}=\%0,07$) x yönünde ortalama $\%0,14$, y yönünde ortalama $\%0,56$ göreceli kat ötelenme oranında; birleşim dayanımına karşılık gelen deformasyona ($\gamma_{max}=\%2$) ise x yönünde ortalama $\%2,48$; y yönünde ise ortalama $\%2,74$ göreceli kat ötelenme oranında ulaştığı belirlenmiştir. Her iki yönde de $\%1$ göreceli kat ötelenme oranına ulaşmadan çatlama noktasına geldiği gözlemlenmiştir. Birleşimin kayma dayanımındaki deformasyonlarına ise her iki yönde de ortalama $\%3$ göreceli kat ötelenme oranına ulaşmadan önce ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.16 İç birleşim moment-kesit dönmesi ilişkisi

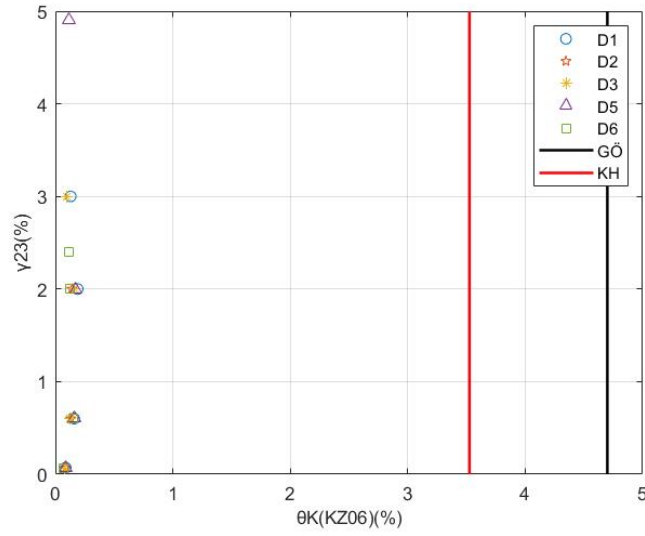


Şekil 5.17 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. katta görel kat ötelenme oranı

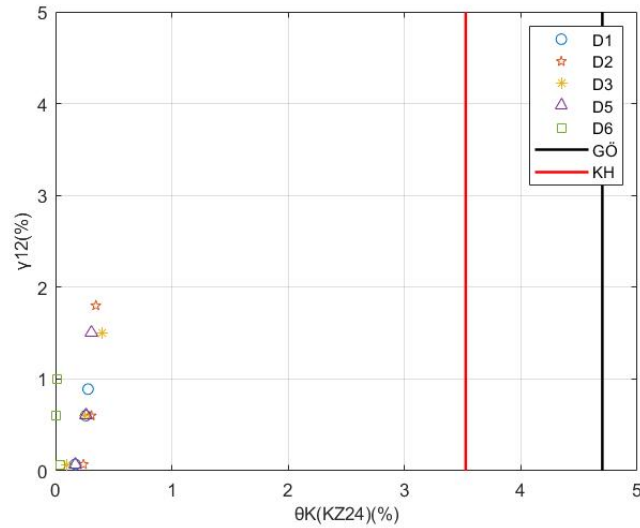


Şekil 5.18 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-1. katta görel kat ötelenme oranı

Kolon ve kirişlerde görel kat ötelenme oranına bağlı olarak yer değiştirmiş eksen dönmeleri hesaplanmıştır. Birleşimlerin kayma dayanımına karşılık gelen tepe noktasına ($\gamma_{max}=\%2$) ulaştığında; x yönündeki KZ06 kirişindeki ortalama kesit dönmesi %0,16; y yönündeki KZ24 kirişinde ise ortalama kesit dönmesi %0,27 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.19), (Şekil 5.20).

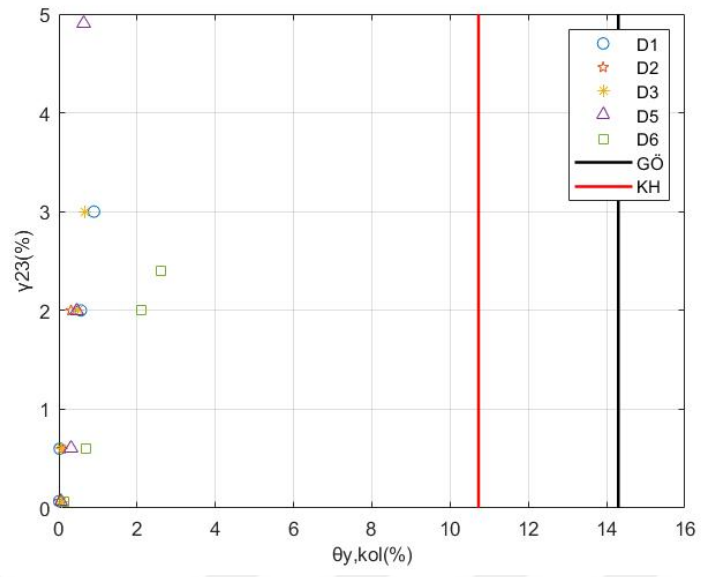


Şekil 5.19 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi- KZ06 kiriş kesit dönmeleri

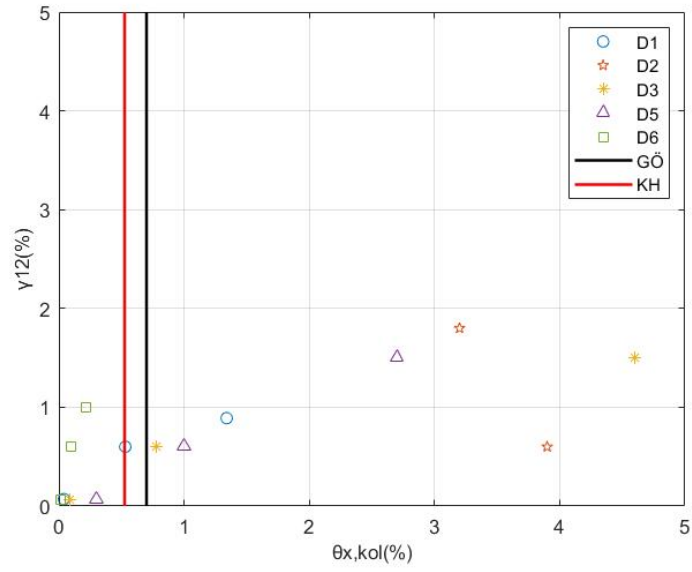


Şekil 5.20 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi- KZ24 kiriş kesit dönmeleri

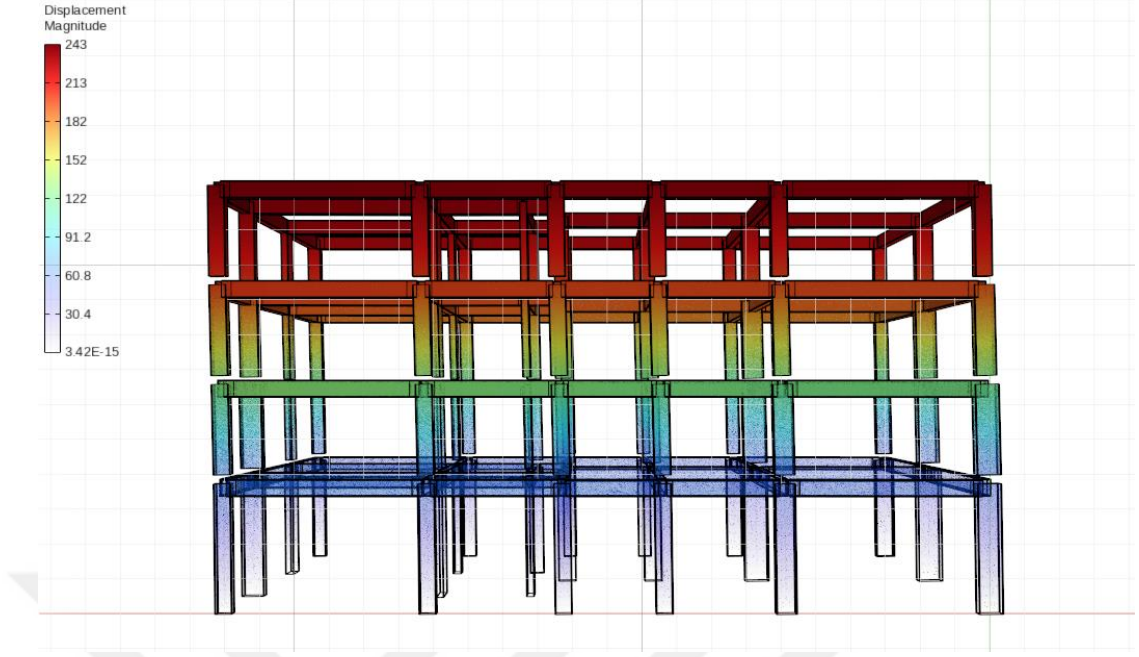
SZ06 kolonunda ise birleşim kayma dayanımına ($\gamma_{\max}=\%2$) ulaştığında kolonda x yönünde kesit dönmesi (θ_{y-y}) değerlerinin ortalaması $\%0,78$; y yönünde kesit dönmesi (θ_{x-x}) değerlerinin ortalaması ise $\%2,42$ değerindedir (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22). X yönündeki kesit dönmesi TBDY2018 e göre hesaplanan kesit dönmesi limitlerine ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Ancak y yönünde birleşim kayma dayanımına karşılık gelen ortalama $\%2,42$ 'lik kesit dönmesi kontrollü hasar ve göçme öncesi performans limitlerinin üstünde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi



Şekil 5.22 İç birleşim kayma birim şekildeğişimi-kolon kesit dönmesi



Şekil 5.23 Yapı y yönü yer değiştirmiş çerçeve görünümü

Yapının y yönüne ait yer değiştirmiş çerçeve görüntüsünde doğrusal olmayan deprem analizleri sonucunda bu yönde yaptığı deplasman değerleri belirtilmiştir (Şekil 5.23). Özellikle 1. ve 2. katlar görelî kat ötelenme değerleri yapının y yönünde ortalama %2,8 değerine ulaşmıştır. Buradan hareketle görelî kat ötelenmelerinin hem geçmiş deprem yönetmeliklerimizde hem de şu an kullanımda olan deprem yönetmeliğimizdeki görelî kat ötelenme sınırlarının oldukça üstünde kaldığı görülmüştür.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, kolon-kiriş birleşimlerine enine donatı yerleştirilmemiş mevcut betonarme çerçeve türü bir binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. İç ve dış kolon-kiriş birleşimlerinde kesme kapasiteleri belirlenerek elde edilen moment-dönme yayları ile birleşim davranışının yapı davranışına etkileri araştırılmıştır. Zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilen yapıda incelenen dış kolon-kiriş birleşimindeki kolon ve kirişlerin TBDY (2018)'de verilen kesit deformasyon limitlerine ulaşmadan birleşimlerin en büyük dayanımına ulaşarak kalıcı deformasyon bölgesi içerisinde bulunduğu belirlenmiştir. İç birleşimde kiriş elemanların belirlenen performans limitlerine ulaşmadığı gözlenirken, kolon elemanın ise zayıf yönü olan y yönünde göçme öncesi performans limitinin üstünde olduğu belirlenmiştir. Dış birleşimler için yapılan değerlendirmede kirişler %1 kesit dönmesi değerine ulaşmadan kesitte deformasyonların meydana geldiği, kolonlarda ise belirlenen performans limitlerine ulaşmadan kesitlerde çatlama meydana geldiği belirlenmiştir.

Deprem yönetmeliğimizde mevcut bina performansının belirlenmesindeki modelleme aşamalarında birleşimin rijitliği için koşullar yer almamaktadır. Rijit kolon-kiriş birleşimleri kabulü ile performans analizleri gerçekleştirilen betonarme binaların hasar seviyelerinin şekil değiştirebilen kolon-kiriş birleşimi kabulü ile analiz edilen binalara göre daha düşük seviyede kalabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kolon-kiriş birleşimleri eksik detaylandırılmış mevcut betonarme binalar için sismik performansın belirlenmesinde görelî kat ötelenme oranlarının sınırlandırılması ya da kolon ve kiriş performans limitlerinin azaltılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Birleşim bölgesinde donatı sıyrılması, burkulması ve kopmasını hesaba katan malzeme modelleri dikkate alınarak daha fazla sayısal çalışma yapılmalıdır. Ayrıca, gelecekteki çalışmalar kapsamında güçlü yer hareketi kayıtlarının sayısı artırılarak birleşimler için performans sınır durumları incelenmelidir.

KAYNAKLAR

Alath, S. ve Kunnath, S.K. (1995). Modeling inelastic shear deformations in RC beam-column joints. *Proceedings, 10th Engineering Mechanics Conference, ASCE*, 822-825.

Aydinoğlu, M.N. (2007). Deprem katsayısından performansa göre tasarıma: bir mühendisin bakış açısından deprem mühendisliğinin 40 yılı. *İstanbul Bülten TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı*, 97(2008), 10-29.

Bayhan, B., Özdemir, G. ve Gülkan, P (2017). Impact of joint modeling approach on performance estimates of older-type RC buildings. *Earthquake Spectra*, 33(3), 1101-1123.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY). 26454 Sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Biddah, A., ve Ghobarah, A. (1999). Modelling of shear deformation and bond slip in reinforced concrete joints. *Structural Engineering and Mechanics: An International Journal*, 7(4), 413-432.

Bracci, J.M., Reinhorn, A.M. ve Mander, J.B. (1992). Seismic resistance of reinforced concrete frame structures designed only for gravity loads: part I-design and properties of a one-third scale model structure. *New York; U.S. National Center for Earthquake Engineering Research; Dec. 1992. 123. ilus, Tab. Technical Report NCEER, 92-0027*

Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı* (3.Baskı) İstanbul: Beta Dağıtım.

- Celik, O.C. ve Ellingwood, B.R. (2008), Modeling beam-column joints in fragility assessment of gravity load designed reinforced concrete frames, *Journal of Earthquake Engineering*, 12(3), 357-381.
- Chadwell, C.B. ve Imbsen, R.A. (2004). XTRACT: A tool for axial force-ultimate curvature interactions. In *Structures 2004: Building On The Past, Securing The Future* 1-9.
- De Risi, M.T., Ricci, P. ve Verderame, G.M. (2017). Modelling exterior unreinforced beam-column joints in seismic analysis of non-ductile RC frames. *Earthquake Engineering ve Structural Dynamics*, 46(6), 899-923.
- Deierlein, G.G., Reinhorn, A.M. ve Willford, M.R. (2010). Nonlinear structural analysis for seismic design. *NEHRP Seismic Design Technical Brief*, 4, 1-36
- Ehsani, M. R. ve Wight, J. K. (1985). Effect of transverse beams and slab on behavior of reinforced concrete beam-to-column connections. In *Journal Proceedings*. 82(2), 188-195.
- Engindeniz, M., Kahn, L. F., & Abdul-Hamid, Z. (2005). Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: State of the art. *ACI Structural Journal*, 102(2), 1-13.
- Favvata, M.J., Izzuddin, B.A. ve Karayannis, C.G. (2008). Modelling exterior beam-column joints for seismic analysis of RC frame structures. *Earthquake Engineering ve Structural Dynamics*, 37(13), 1527-1548.
- Fleury, F., Reynouard, J.M. ve Merabet, O. (2000). Multicomponent model of reinforced concrete joints for cyclic loading, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 126(8), 804-811.

- Filippou, F. C. (1985). Simple model for reinforcing bar anchorages under cyclic excitations. *NASA STI/Recon Technical Report N*, 86, 23760.
- Girgin, S.C. (2020). Effect of modeling beam-column joints on performance assessment of columns in non-ductile RC frames. *Teknik Dergi*, 31(6), 10339-10358.
- Hakuto, S., Park, R., ve Tanaka, H. (2000). Seismic load tests on interior and exterior beam-column joints with substandard reinforcing details. *Structural Journal*, 97(1), 11-25.
- Hanson, N.W. ve Conner, H. (1967). Seismic resistance of reinforced concrete beam-column joints, *Journal of The Structural Division*, 93(5), 533-560.
- Higazy, E.M.M., Elnashai, A.S., Agbabian, M.S. (1996). Behaviour of beam-column connections under axial column tensions, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 122(5), 501-511.
- Hwang, S.J. ve Lee, H.J. (1999). Analytical model for predicting shear strength of exterior RC beam-column joints for seismic resistance, *ACI Structural journal*, 96(5), 846-857.
- Hwang, S.J., Lee, H.J., Liao, T.F., Wang, K.C., Tsai, H.H. (2005). Role of hoops on shear strength of reinforced concrete beam-column joints, *ACI Structural Journal*, 102(3), 445-453.
- Jeon, J.S., Lowes, L.N., DesRoches, R., Brilakis, I. (2015). Fragility curves for non-ductile reinforced concrete frames that exhibit different component response mechanisms. *Engineering Structures*, 85, 127-143.
- Kaku, T., ve Asakusa, H. (1991). Ductility estimation of exterior beam-column subassemblages in reinforced concrete frames. *Special Publication*, 123, 167-186.

- Kunnath, S.K., Hoffmann, G., Reinhorn, A.M., ve Mander, J.B. (1995). Gravity Load-Designed Reinforced Concrete Buildings--Part II: Evaluation of Detailing Enhancements. *Structural Journal*, 92(4), 470-478.
- Kuang, J.S. ve Wong, H.F. (2006). Effects of beam bar anchorage on beam-column behaviour, *Structures and Buildings*, 159(2), 115-124
- Lowes, L.N. ve Altoontash, A. (2003). Modeling reinforced-concrete beam-column joints subjected to cyclic loading, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 129(12), 1686-1697.
- Mander, J.B., Priestley, M.J., Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826.
- Marques, J.L.G. ve Jirsa, J.O. (1975). A study of hooked bar anchorages in beam column joints, *ACI Journal*, 72(18), 198-209.
- Menegotto, M., and Pinto, P.E. (1973). Method of analysis of cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior of elements under normal force and bending. *Preliminary Report IABSE*, 13.
- Meinheit, D. ve Jirsa, J.O., (1981). Shear strength of R/C beam-column connections, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 107(ST11), 2227-2244.
- McKenna, F., Fenves, G.L., Scott, M.H., Jeremic, B. (2000). Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)
- Misir, I.S. ve Kahraman, S. (2013). Strengthening of non-seismically detailed reinforced concrete beam-column joints using SIFCON blocks. *Sadhana*, 38(1), 69-88.

Mısır İ.S, Girgin S.C, Daş E., Göksoy C., Eraslan F.T, Demirbaş H. Koçbulut H. (2019). Önüretimli Betonarme Endüstriyel Binaların 2019 Deprem Yönetmeliği Kapsamında Dayanıma ve Şekil Değiştirmeye Göre Tasarımı. *Beşinci Uluslararası Deprem Mühendisliği Konferansı Ankara*.

Murty, C.V.R., Rai, D.C., Bajpai, K.K., ve Jain, S.K. (2003). Effectiveness of reinforcement details in exterior reinforced concrete beam-column joints for earthquake resistance. *Structural Journal*, 100(2), 149-156.

Pacific Earthquake Engineering Research Center (2014). *PEER NGA Ground Motion Database*. 22 Temmuz 2021, <https://ngawest2.berkeley.edu/site>.

Pampanin, S., Magenes, G., and Carr, A. (2003). Modelling of shear hinge mechanism in poorly detailed RC beam-column joints. *Proceedings Federation International du Beton Symposium. Concrete Structures in Seismic Regions, Federation International du Beton, Athens*, 171-172.

Paulay, T., Park, R., Priestley, M.J.N. (1978). Reinforced concrete beam-column joints under seismic actions, *ACI Structural Journal*, 75(6), 585-593.

Pessiki, S.P., Conley, C.H., Gergely, P., White, R.N. (1990). Seismic behavior of lightly reinforced-concrete column and beam-column joint details. *Technical Report NCEER-90-0014 National Centre for Earthquake Engineering Research, Suny/Buffalo*, 707-716.

Petracca, M., Candeloro, F., Camata, G. (2017). STKO User Manual. ASDEA Software Technology, Pescara, Italy.

Priestley, M.J.N., (1997). Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 1(1), 157-192.

- Sarsam, K.F. ve Phipps, M.E. (1985). The shear design of in-situ reinforced beam-column joints subjected to monotonic loading, *Magazine of Concrete Research*, 37(130), 16-28.
- SeismoSoft (2018). *SeismoMatch, A computer application capable of adjusting earthquake accelerograms to match a specific target response spectrum, Version 2018*, 11 Haziran 2021, <http://www.seismosoft.com>.
- Scott, R.H., Feltham, I., Whittle, R.T. (1994). Reinforced beam-column connections and BS 8110, *The Structural Engineer*, 72(4), 55-60.
- Shin, M. ve Lafave, J.M. (2004). Modeling of cyclic joint shear deformation contributions in RC beam-column connections to overall frame behavior, *Structural Engineering and Mechanics*, 18(5), 645-669.
- Soroushian, P. ve Choi, K.B. (1991). Analytical evaluation of straight bar anchorage design in exterior joints, *ACI Structural Journal*, 88(2), 161-168.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- TDTH (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Tsonos, A.G. (2007). Cyclic load behavior of RC beam-column subassemblages of modern structures, *ACI Structural Journal*, 104(4), 468-478.
- Tsonos, A.G., Tegos, I.A., Penelis, G.G. (1992). Seismic resistance of type 2 exterior beamcolumn joints reinforced with inclined bars, *ACI Structural Journal*, 89(1), 3-12.

Tsonos, A. G. (2000). Effect of vertical hoops on the behavior of reinforced concrete beam-to-column connections. *European Earthquake Engineering*, 14(2), 13-26.

Youssef, M. ve Ghobarah, A. (2001). Modeling of RC beam-column joints and structural walls, *Journal of Earthquake Engineering*, 5(1), 93-111.

Uzumeri, S.M. (1977). Strength and ductility of cast-in-place beam-column Joints. *American Concrete Institute Annual Convention, Symposium on Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones*, San Francisco, 293-350.



EKLER

EK-1: Kolon-Kiriş Birleşimi *Pinching4* Parametreleri

KÖŞE KOLON (KOLON S101-S104 25/50)X																		
	τj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.296	77.0	0.00335	1	0.094	0.8	15	142.5	1E+05	420	500	250	1500	0.9	250	500	460	2850
Tepe önces	1.377	81.9																
Tepe	1.620	96.3																
Artık	0.696	41.4																

Şekil A.1 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

KÖŞE KOLON (KOLON S118-S120 30/70)X																		
	τj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.229	119.4	0.00335	1	0.094	0.8	15	142.5	2E+05	420	700	300	2512.5	0.9	250	500	460	2850
Tepe önces	1.377	133.8																
Tepe	1.620	157.4																
Artık	0.696	67.69																

Şekil A.2 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

KÖŞE KOLON (KOLON S101-S104 25/50)Y																		
	τj,cr	Mj	ρs,kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fý	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.296	78.9	0.00437	1	0.122	0.8	15	142.5	1E+05	420	250	500	2425	0.9	250	500	460	2850
Tepe önces	1.571	95.7																
Tepe	1.849	112.6																
Artık	0.795	48.4																

Şekil A.3 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

KÖŞE KOLON (KOLON SZ18-SZ20 30/70)Y																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{s,kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
cracking	1.229	132.3	0.00437	1	0.122	0.8	15	142.5	2E+05	420	300	700	2425	0.9	250	500	460	2850
Pre-peak	1.571	169.2																
Peak(Tmax)	1.849	199																
Residual	0.795	85.59																

Şekil A.4 Köşe kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ06 X																		
	t _{j.cr}	M _j	ρ _{k.ort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.48	172.7	0.00335	1.2	0.094	1	15	569.9	225000	420	250	900	2925	0.88	250	500	460	2850
Tepe önces	2.27	265.3																
Tepe	2.67	312.1																
Artık	1.15	134.2																

Şekil A.5 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ06 Y																		
	t _{j,cr}	M _j	ρ _{k,ort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.479	149.5	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	225000	420	900	250	3725	0.88	250	500	460	2850
Tepe önces	2.134	215.8																
Tepe	2.511	253.8																
Artık	1.080	109.1																

Şekil A.6 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ07 X																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.628	115.1	0.00335	1.2	0.094	1	15	569.9	150000	420	300	500	3325	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.272	160.6																
tepe	2.672	188.9																
artık	1.149	81.22																

Şekil A.7 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ07 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.628	110.5	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	150000	420	500	300	3775	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.134	144.8																
tepe	2.511	170.4																
artık	1.080	73.27																

Şekil A.8 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ09 X																		
	t _{j.cr}	M _j	ρ _{k.ort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.628	132	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	150000	420	250	600	1625	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.134	173																
tepe	2.511	203.5																
artık	1.080	87.52																

Şekil A.9 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ09 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.628	114.2	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	150000	420	600	250	1825	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.134	149.7																
tepe	2.511	176.1																
artık	1.080	75.72																

Şekil A.10 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ10 X																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.712	101	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	125000	420	500	250	1625	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.134	126																
tepe	2.511	148.2																
artık	1.080	63.72																

Şekil A.11 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ10 Y																		
	t _{j,cr}	M _j	ρ _{k,ort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	bc	hc	L _b	j	bw	hb	db	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.712	110.1	0.00295	1.2	0.083	1	15	569.9	125000	420	250	500	1700	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.134	137.3																
tepe	2.511	161.5																
artık	1.080	69.43																

Şekil A.12 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ12 X																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.556	125.3	0.00335	1.2	0.094	1	15	569.9	180000	420	600	300	5050	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.272	182.9																
tepe	2.672	215.2																
artık	1.149	92.54																

Şekil A.13 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ12 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.556	177	0.00612	1.2	0.171	1	15	569.9	180000	420	300	600	1025	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	3.062	348.5																
tepe	3.603	410																
artık	1.549	176.3																

Şekil A.14 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ14 X																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.556	125.3	0.00344	1.2	0.096	1	15	569.9	180000	420	600	300	5050	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.303	185.5																
tepe	2.710	218.2																
artık	1.165	93.84																

Şekil A.15 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ14 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.556	139	0.00612	1.2	0.171	1	15	569.9	180000	420	300	600	2525	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	3.062	273.7																
tepe	3.603	322																
artık	1.549	138.5																

Şekil A.16 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ16 X																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.416	178.4	0.00335	1.2	0.094	1	15	569.9	280000	420	800	350	5050	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	2.272	286.1																
tepe	2.672	336.6																
artık	1.149	144.7																

Şekil A.17 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

ORTA KOLON SZ16 Y																		
	tj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
çatlama	1.416	194.2	0.00612	1.2	0.171	1	15	569.9	280000	420	350	800	3725	0.88	250	500	460	2850
tepe öncesi	3.062	419.9																
tepe	3.603	494																
artık	1.549	212.4																

Şekil A.18 Orta kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ02)Y																		
	τj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.326	142.8	0.00443	1.2	0.124	0.75	15	284933	210000	420	300	700	2425	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.821	196																
Tepe	2.142	230.6																
Artık	0.921	99.17																

Şekil A.19 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ03)X																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.326	135.8	0.00525	1.2	0.147	0.75	15	284933	210000	420	300	700	3370	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.980	202.8																
Tepe	2.330	238.6																
Artık	1.002	102.6																

Şekil A.20 Dış kolon-kiriş birleşimi x yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ03)Y																		
	τj,cr	Mj	ρ,kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.326	128.5	0.00335	1.2	0.094	0.75	15	284933	210000	420	700	300	2625	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.585	153.6																
Tepe	1.865	180.7																
Artık	0.802	77.72																

Şekil A.21 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DİŞ KOLON (KOLON SZ05-SZ08)																		
	tj,cr	Mj	ρ,kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.448	87.81	0.00525	1.2	0.147	0.75	15	284933	125000	420	500	250	1250	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.980	120.1																
Tepe	2.330	141.3																
Artık	1.002	60.77																

Şekil A.22 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DİŞ KOLON (KOLON SZ05-SZ08)																		
	t _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.448	83.5	0.00437	1.2	0.122	0.75	15	284933	125000	420	250	500	4375	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.809	104.4																
Tepe	2.129	122.8																
Artık	0.915	52.8																

Şekil A.23 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DİŞ KOLON (KOLON SZ11-SZ13)																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.399	97.07	0.00335	1.2	0.094	0.75	15	284933	150000	420	500	300	2525	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.585	110																
Tepe	1.865	129.4																
Artık	0.802	55.66																

Şekil A.24 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ11-SZ13)																		
	τj,cr	Mj	ρ,kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.399	99.73	0.00437	1.2	0.122	0.75	15	284933	150000	420	300	500	3025	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.809	129																
Tepe	2.129	151.8																
Artık	0.915	65.27																

Şekil A.25 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ11A-SZ13A)X																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.448	82.77	0.00344	1.2	0.096	0.75	15	284933	125000	420	500	250	2525	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.608	91.93																
Tepe	1.891	108.2																
Artık	0.813	46.51																

Şekil A.26 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ11A-SZ13A)Y																		
	t _j ,cr	M _j	ρ _k ort	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.448	87.6	0.00437	1.2	0.122	0.75	15	284933	125000	420	250	500	2550	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.809	109.5																
Tepe	2.129	128.8																
Artık	0.915	55.4																

Şekil A.27 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ15-SZ17)X																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.357	113	0.00335	1.2	0.094	0.75	15	284933	180000	420	600	300	2525	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.585	132																
Tepe	1.865	155.3																
Artık	0.802	66.79																

Şekil A.28 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DIŞ KOLON (KOLON SZ15-SZ17)Y																		
	τj.cr	Mj	ρ.kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.357	115.3	0.00437	1.2	0.122	0.75	15	284933	180000	420	300	600	3900	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.809	153.8																
Tepe	2.129	180.9																
Artık	0.915	77.8																

Şekil A.29 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DİŞ KOLON (KOLON SZ19)X																		
	τ _{j,cr}	M _j	ρ _{kort}	TB	BI	JP	f _c	P	AJ	f _y	b _c	h _c	L _b	j	b _w	h _b	d _b	L _c
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.278	161	0.00335	1.2	0.094	0.75	15	284933	280000	420	800	350	5040	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	1.585	199.7																
Tepe	1.865	235																
Artık	0.802	101																

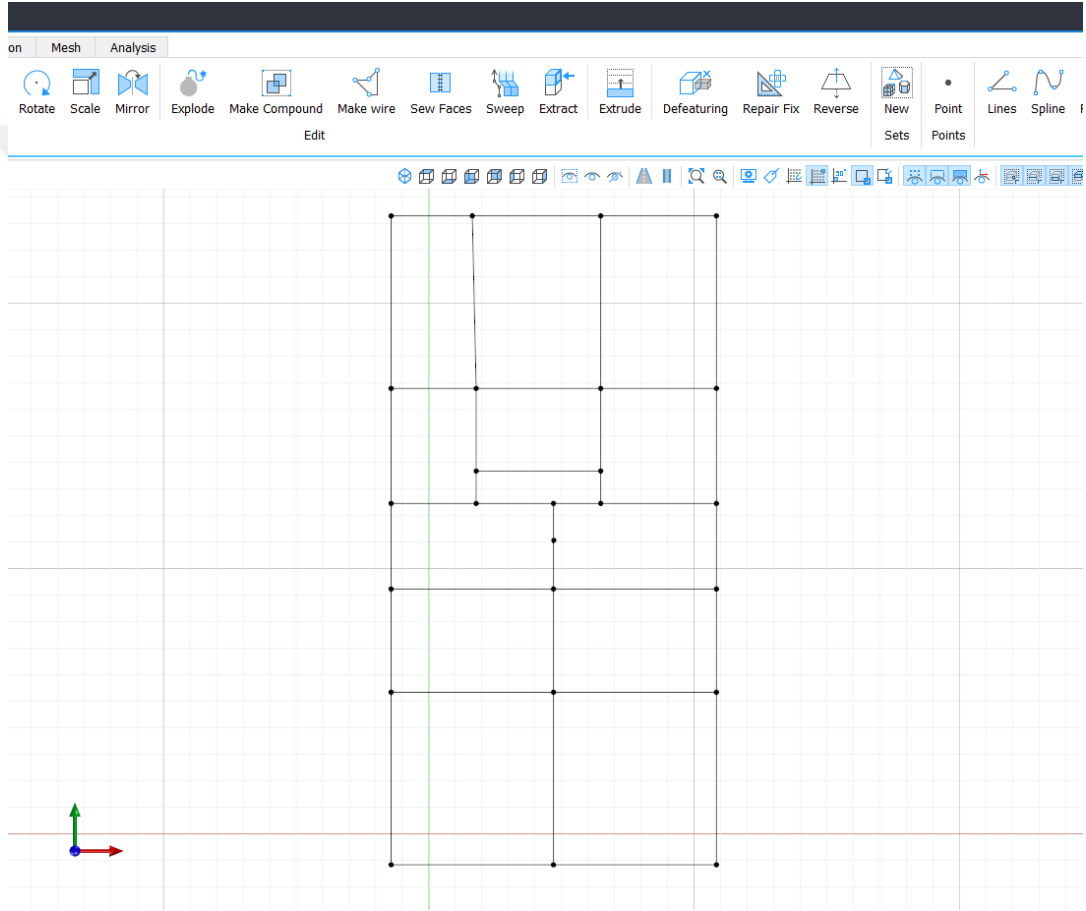
Şekil A.30 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

DİŞ KOLON (KOLON SZ19)Y																		
	tj,cr	Mj	ρ,kort	TB	BI	JP	fc	P	AJ	fy	bc	hc	Lb	j	bw	hb	db	Lc
	(MPa)	(KNm)					(MPa)	(KN)	(mm2)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Çatlama	1.278	191.7	0.00612	1.2	0.171	0.75	15	284933	280000	420	350	800	2250	0.875	250	500	460	2850
Tepe öncesi	2.137	320.5																
Tepe	2.515	377.1																
Artık	1.081	162.1																

Şekil A.30 Dış kolon-kiriş birleşimi y yönü için *Pinching4* parametrelerinin elde edilmesi

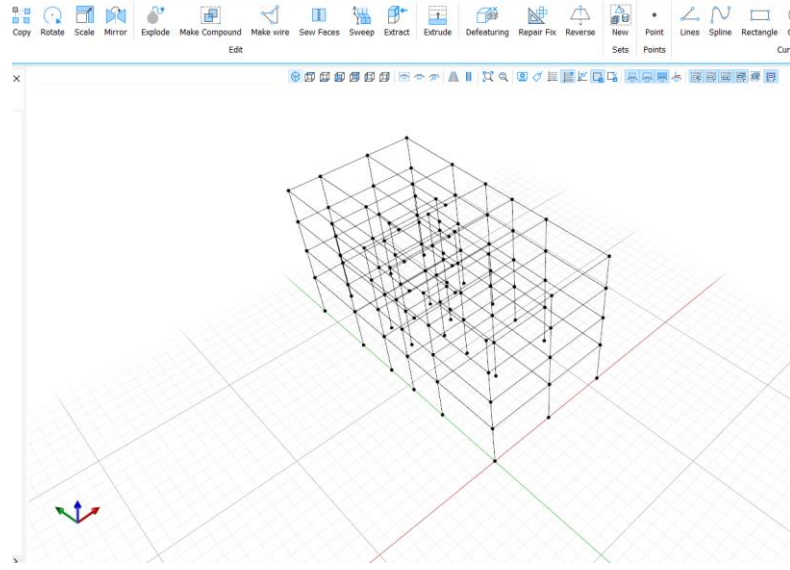
EK-2: STKO ile Mevcut Bina Modelinin Oluşturulması

Betonarme çerçevlerden oluşan dört katlı mevcut betonarme binanın sayısal modeli, 80 adet düğüm noktası, 180 adet fiber kesit ve kat kütle merkezlerinde birleşen 4 adet rijit diyafram kullanılarak oluşturulmuştur. Bu bölümde yapının STKO sayısal modelleme programı aşamaları gösterilerek yapı modellenmesi hakkında bilgiler verilmiştir.



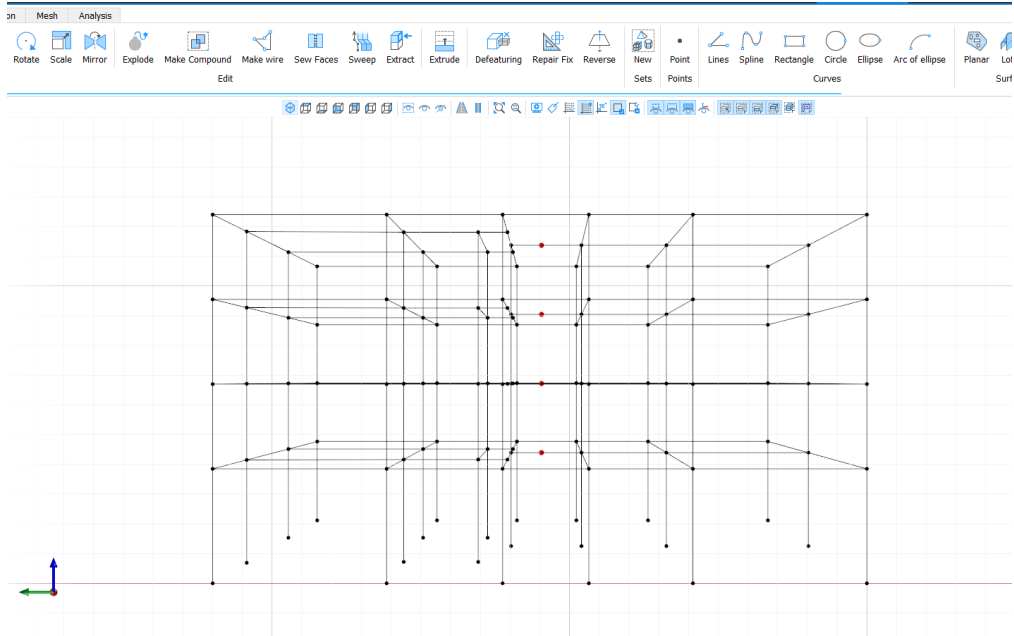
şekil B.1 STKO programında kat çubuk elemanlar ile kat planı gösterimi

İlk olarak kalıp planını oluşturmak için programda bulunan çizgi (line) komutu kullanılarak 2 boyutlu görünümde akslar arası mesafeler çizilir. Böylelikle eleman geometrileri ve birleşim bölgelerinin konumları belirlenmiş olur. Bütün elemanlar seçilip tek bir çizgiye çevirme (make wire) komutu kullanılarak elemanlar birbirine bağlanmıştır.



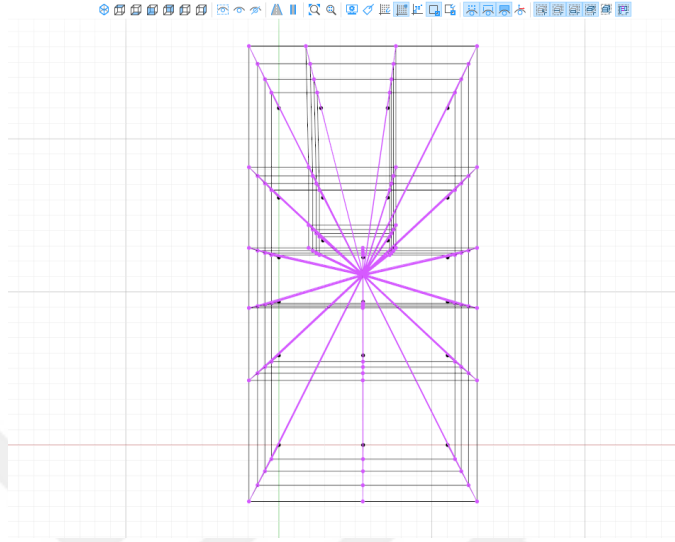
Şekil B.2 STKO programında perspektif görünümü

İkinci aşamada katları oluşturmak için düşey yönde kat yüksek kat planları kopyalama (copy) komutu kullanılarak kat mesafeleri kadar z aksı üzerinde kopyalanır. Kat seviyeleri belli olduktan sonra düşey çizgi elemanlar çizilerek yapı kolonları olacak olan elemanlar oluşturulmuştur.



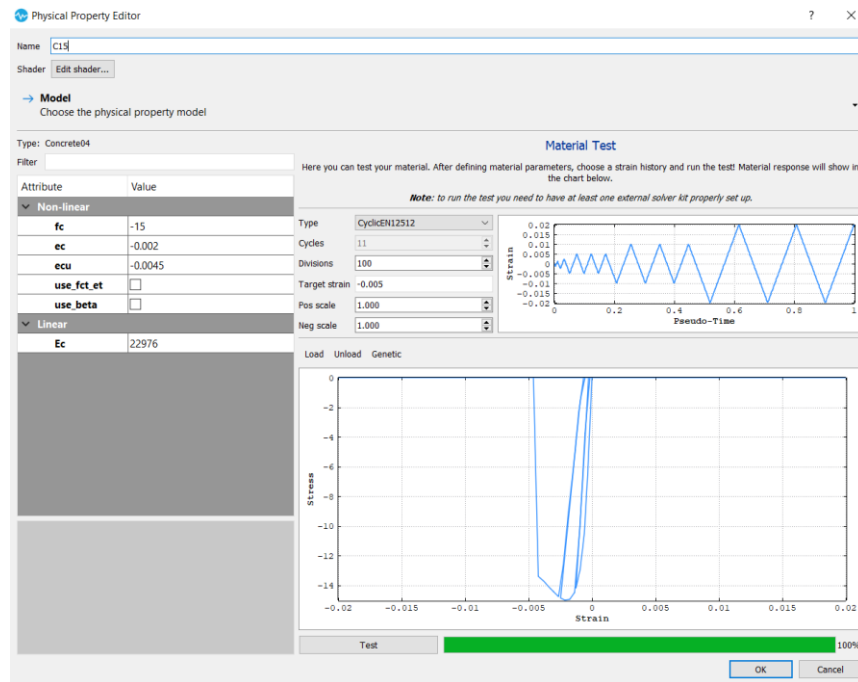
Şekil B.3 Katlardaki ana düğüm noktalarını gösteren yan görünümü

Yapının kat ötelenmelerini öğrenmek için kullanılan ana düğüm noktası (master node) tüm kat seviyelerinin geometrik merkezinden geçecek şekilde tanımlanmıştır.



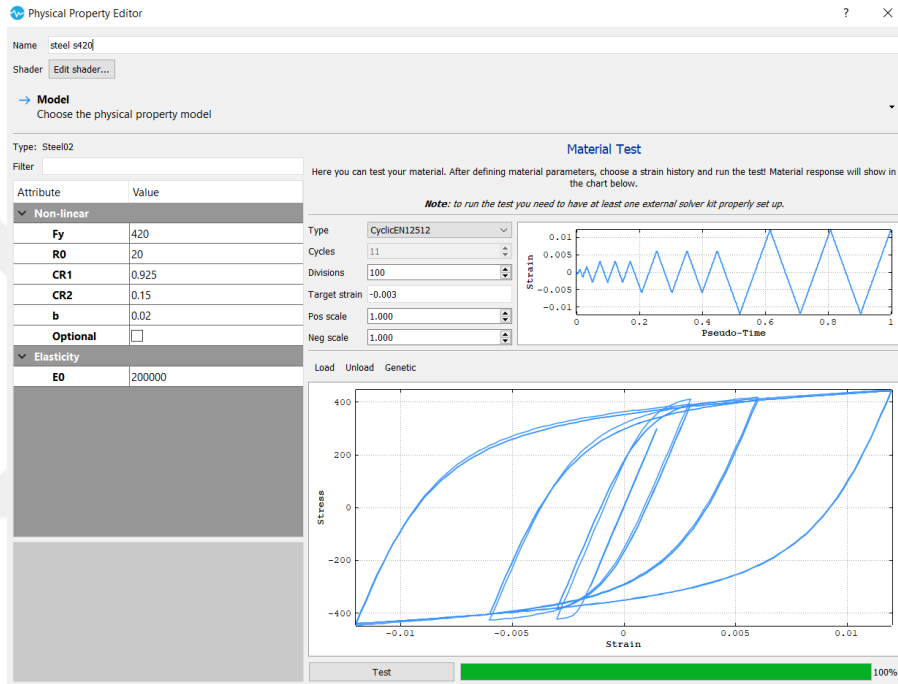
Şekil B.4 Rijit diyaframların tepe görünümü

Kat seviyelerinde rijit diyaframlar tanımlamak için yapının geometrik merkezinde bulunan ana düğüm noktaları kullanılmıştır.



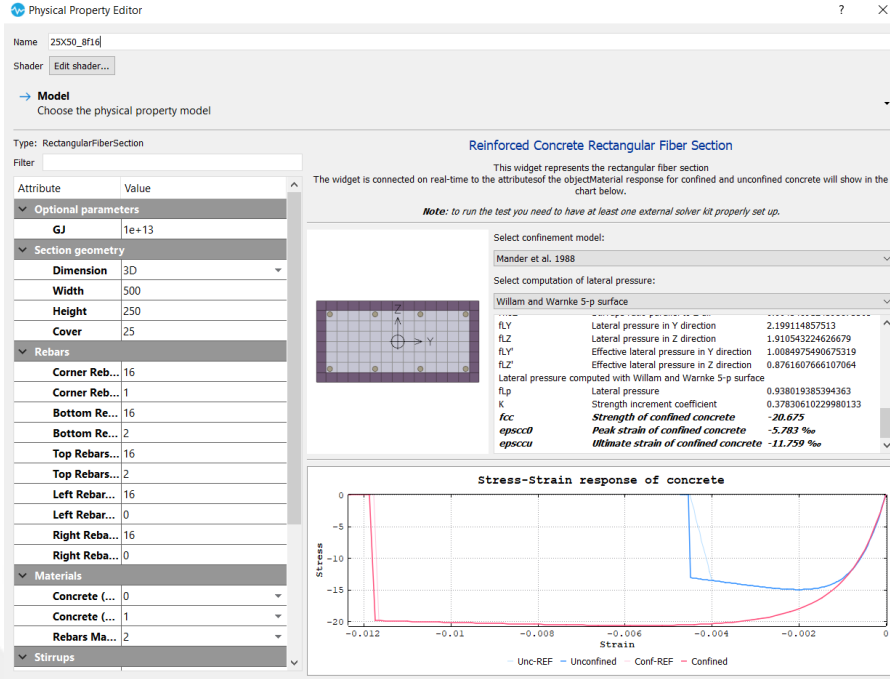
Şekil B.5 Beton malzeme tanımı

Yapı malzemeleri tanımlanması kısmında C15 beton malzeme elastisite modülü içeren concrete04 malzeme kullanılarak yapılmıştır. Aynı şekilde çelik malzeme içinse S420 tanımlamak için fiziksel özellikler bölümünde steel02 seçilerek tanımlama yapılmıştır. Bu ara yüzlerde malzemenin doğru tanımlanıp tanımlanmadığını görebilmek için bir test bölümü bulunmakta. Gerilme- birim şekil değiştirme grafiğini vererek malzeme davranışını grafik olarak göstermektedir.

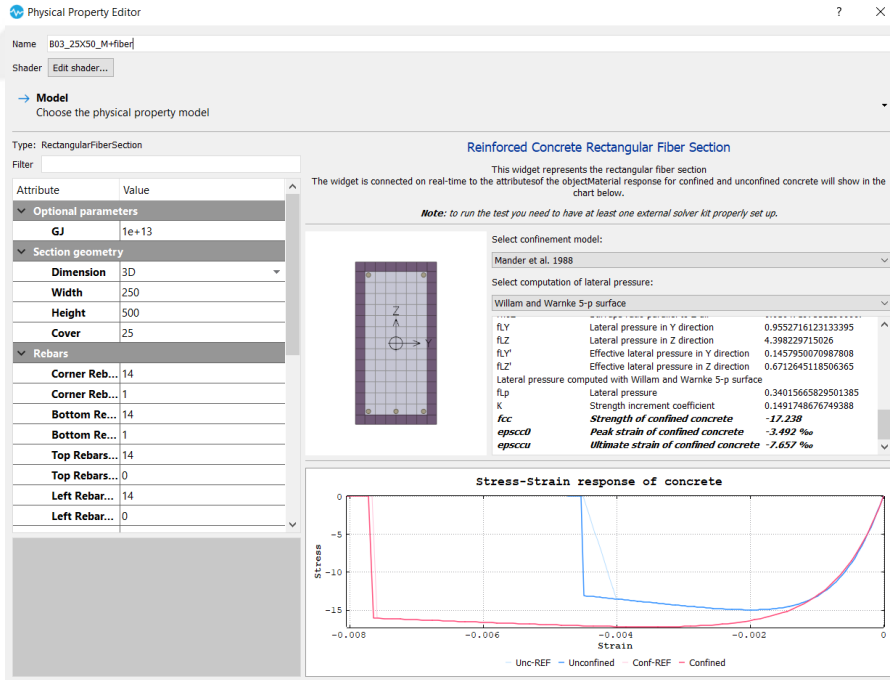


Şekil B.6 Çelik malzeme tanımı

Lif esaslı kesitlerin tanımlanması kısmında kesit içerisine yerleştirilen donatılar ve pozisyonları program içinde yerleştirilmiştir. Köşe, kenar donatı çapları ayrıca etriye donatı aralıkları ve çapları girilerek donatı sargılı ve sargısız beton modelini oluşturabilmek için Mander beton modeli seçilmiştir. Burada programın test bölümünden donatılı ve donatısız olmak üzere beton için çekirdek ve kabuk beton davranışı gerilme- birim şekil değiştirme grafiği olarak oluşturulmuştur.



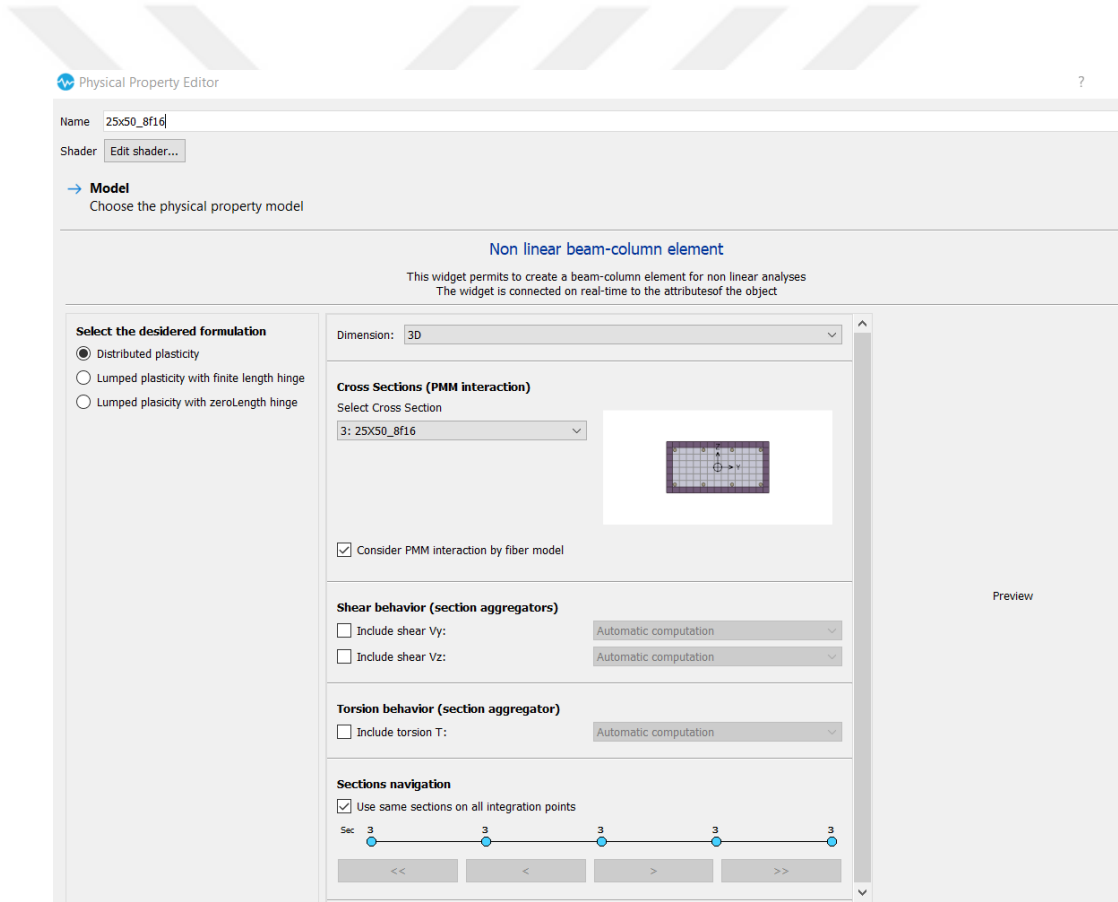
Şekil B.7 Lif esashı kolon kesiti



Şekil B.8 Lif esashı kiriş kesiti

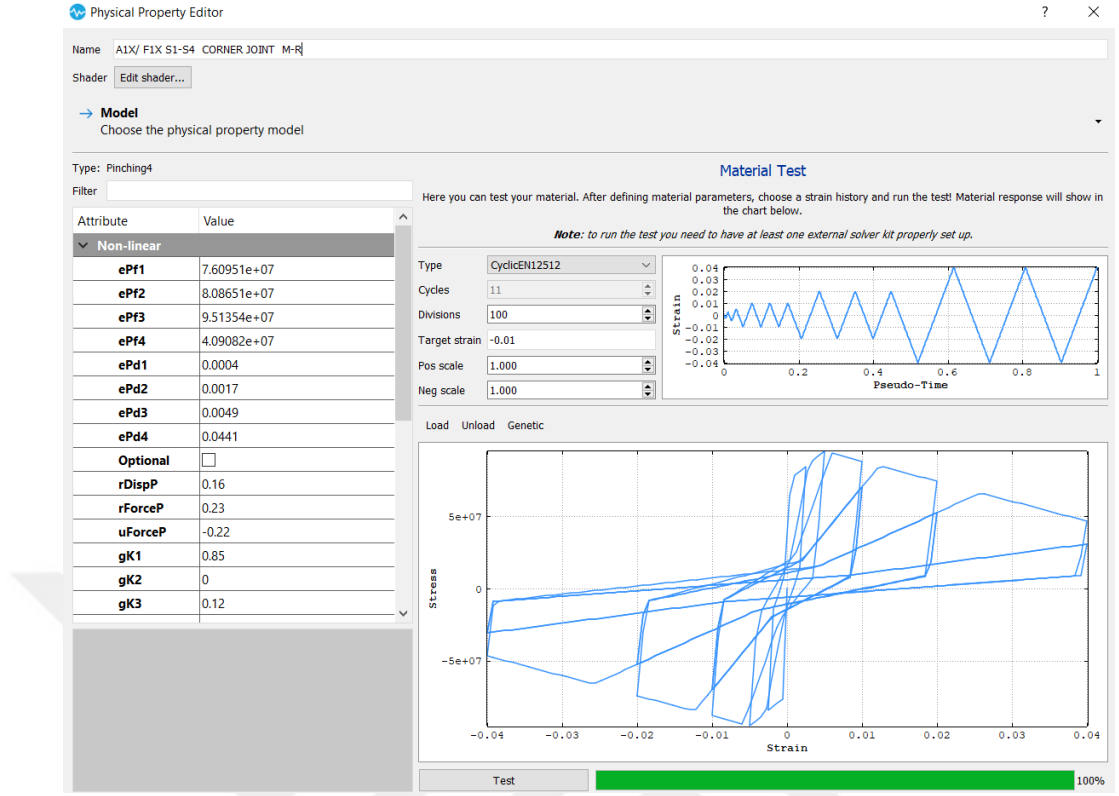
Kiriş elemanların lif esaslı kesitleri hazırlanmış ancak burada kolondan farklı olarak kesit hizalama (section offset) komutu kullanılarak kirişlerin üst seviyeleri kolon üst seviyelerine hizalanmıştır. Kiriş eleman için de sargılı beton özellikleri Mander beton modeli kullanılarak elde edilmiştir.

Bir sonraki adımda doğrusal olmayan analizler için yayılı plastisite yaklaşımı kolon-kiriş elemanı tanımlanmıştır. Tanımlanan eleman kolon kesitlerine atanmıştır. Aynı işlem kirişler için de yapılmış ve kiriş elemanlara yayılı plastisite yaklaşımı kiriş eleman atanması yapılmıştır.

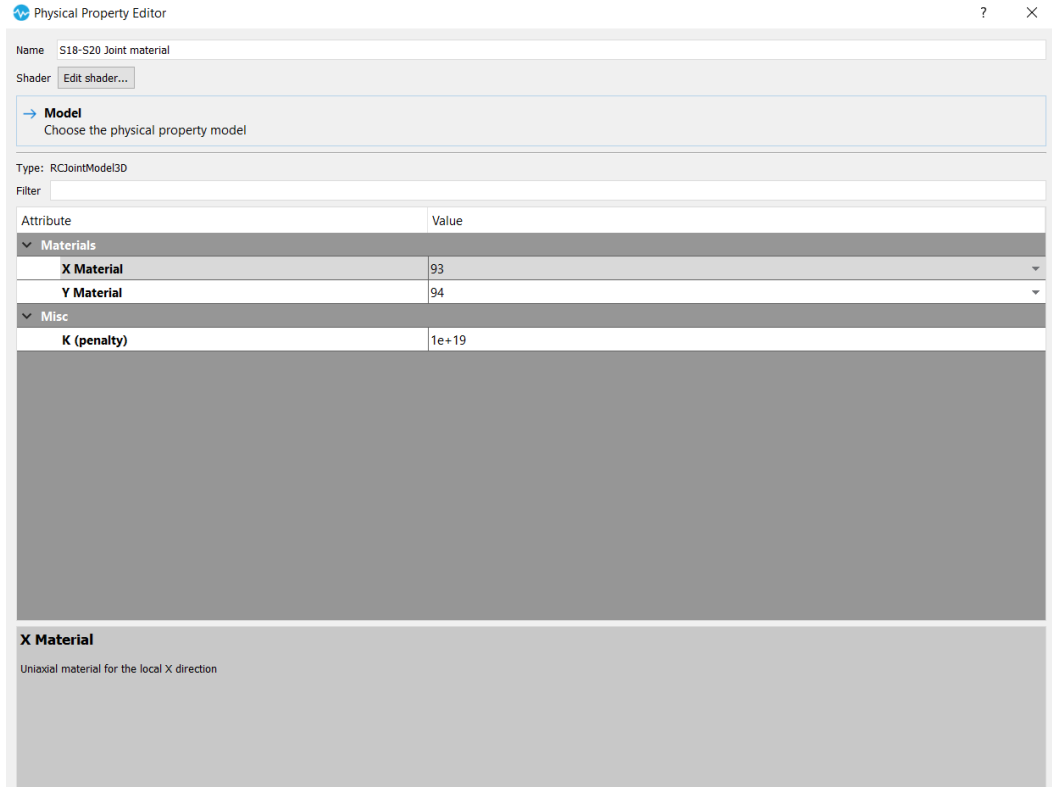


Şekil B.9 Yayılı plastisite davranışının tanımlanması

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri tek eksenli malzeme (pinching4) tanımlanarak şekil değiştirebilen bir yapıya gelmesi sağlanmıştır. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile tanımlanan malzeme daha sonra STKO içinde bulunan RCjointmodel3D birleşim bölgesi modeline tanımlanarak düğüm noktalarına atanmıştır.

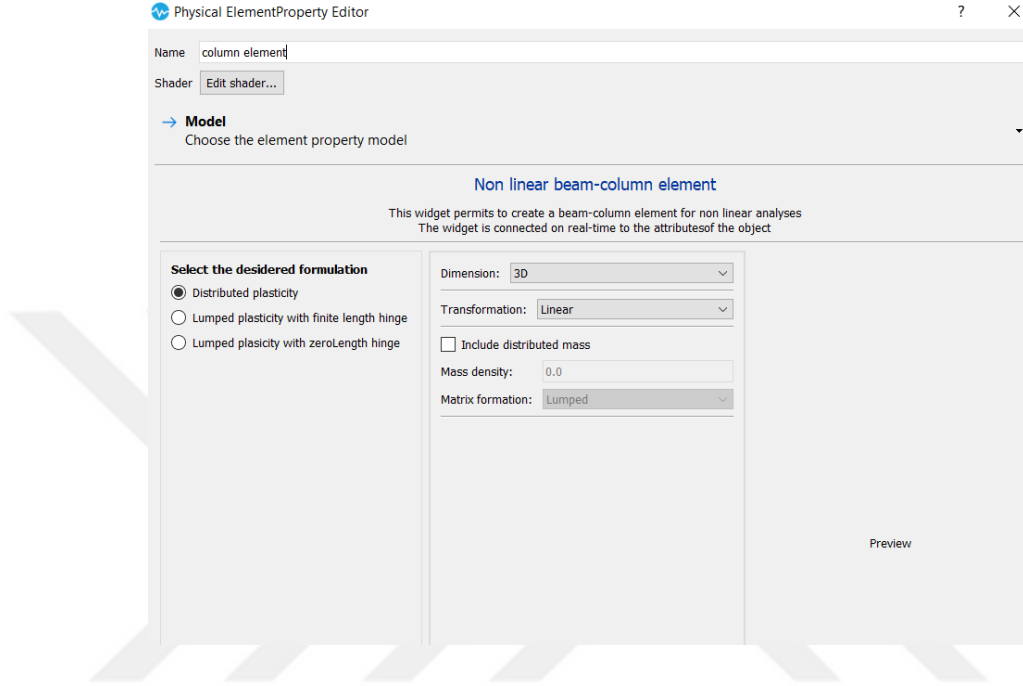


Şekil B.10 Pinching4 malzeme modelinin tanımlanması

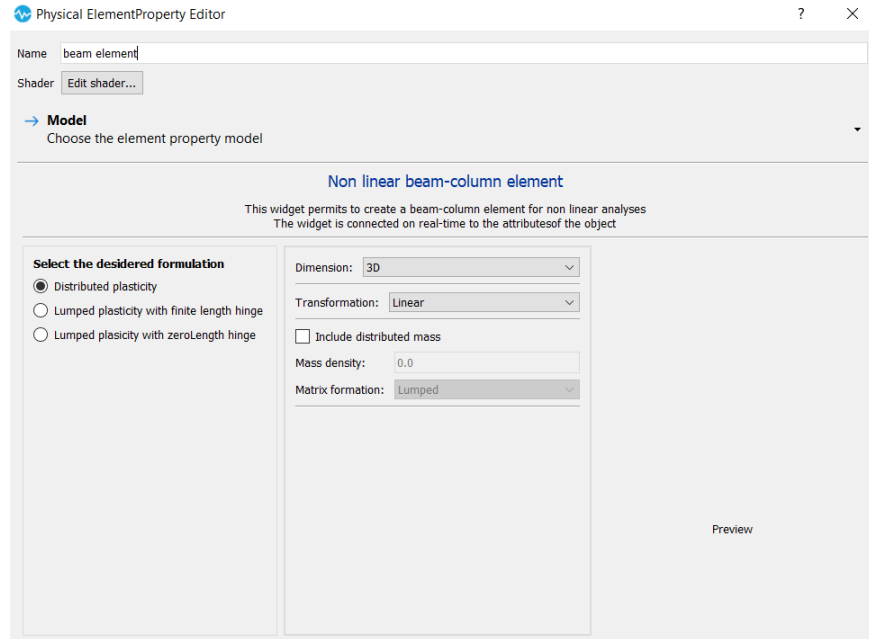


Şekil B.11 RCjoinmodel3D tanımı

Elaman özellikleri tanımlama editöründe fiziksel özellikleri tanımlanan elemanlar için yayılı plastisite yaklaşımı kolon eleman projedeki bütün kolonlara tanımlanır. Aynı işlem yayılı plastisite yaklaşımı tanımlanarak bütün kirişlere uygulanmıştır.

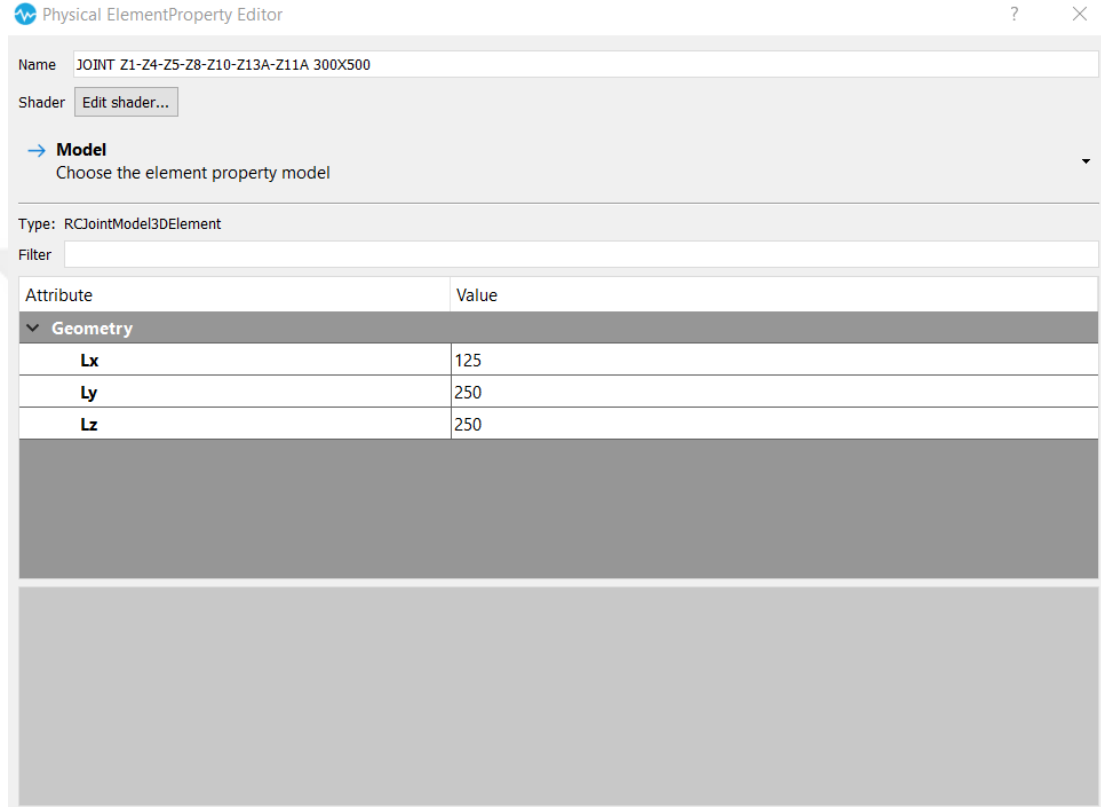


Şekil B.12 Kolon elemanda yayılı plastisite tanımı



Şekil B.13 Kiriş elemanda yayılı plastisite tanımı

Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki plastik mafsalları boyutları ayrı ayrı hesaplanmış ve STKO programı içerisinde bulunan RCJointModel3DElement kullanılarak x,y,z koordinatlarındaki mesafeleri belirlenmiştir. Bütün birleşimler için ayrı ayrı hesaplanan değerler önce editörde tanımlanıp daha sonra birleşimlere atanmıştır.



Şekil B.14 Plastik mafsalları boyut tanımlama

STKO programında yük, mesnet koşulları ve diyaframlar (conditions) koşulları bölümünde yapılmaktadır. Üç global yönde de hareketi kısıtlanmış ankastre mesnetler kolon alt düğüm noktalarına tanımlanmıştır. Aynı şekilde kat ötelenmelerini ölçmek ve diyaframların merkezlerini belirlemek için atanan ana düğüm noktaları düşeyde ötelenme, x ve y yönünde dönme davranışı göstermeyecek şekilde mesnetleri oluşturulmuştur.

Condition Editor

Name: fix base

Shader: Edit shader...

→ **Model**
Choose the condition model

Type: fix

Filter

Attribute	Value
Constraint	
Dimension	3D
ModelType	U-R (Displacement+Rotation)
dof	
Ux	☒
Uy	☒
Uz	☒
Rx	☒

Şekil B.15 Mesnet tanımları

Condition Editor

Name: fix diaphragm master nodes

Shader: Edit shader...

→ **Model**
Choose the condition model

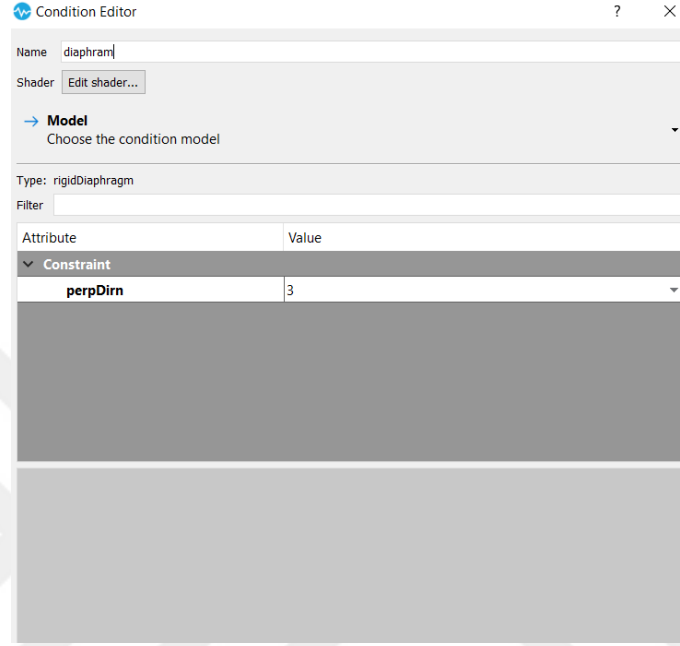
Type: fix

Filter

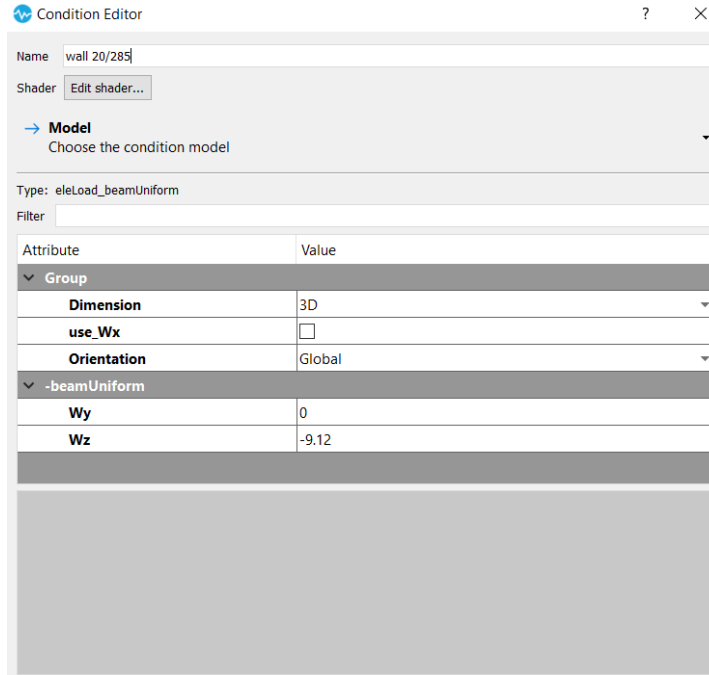
Attribute	Value
Constraint	
Dimension	3D
ModelType	U-R (Displacement+Rotation)
dof	
Ux	☐
Uy	☐
Uz	☒
Rx	☒
Ry	☒
Rz	☐

Şekil B.16 Mesnet tanımları

Rijit diyaframlarlar tanımlanan ana düğüm noktalarına atanmıştır. Katta bulunan tüm düğüm noktaları seçildikten sonra sağ tuş komutu ile bağlanacak olan ana düğüm noktası seçilir ve diyafram oluşturulmuş olur.

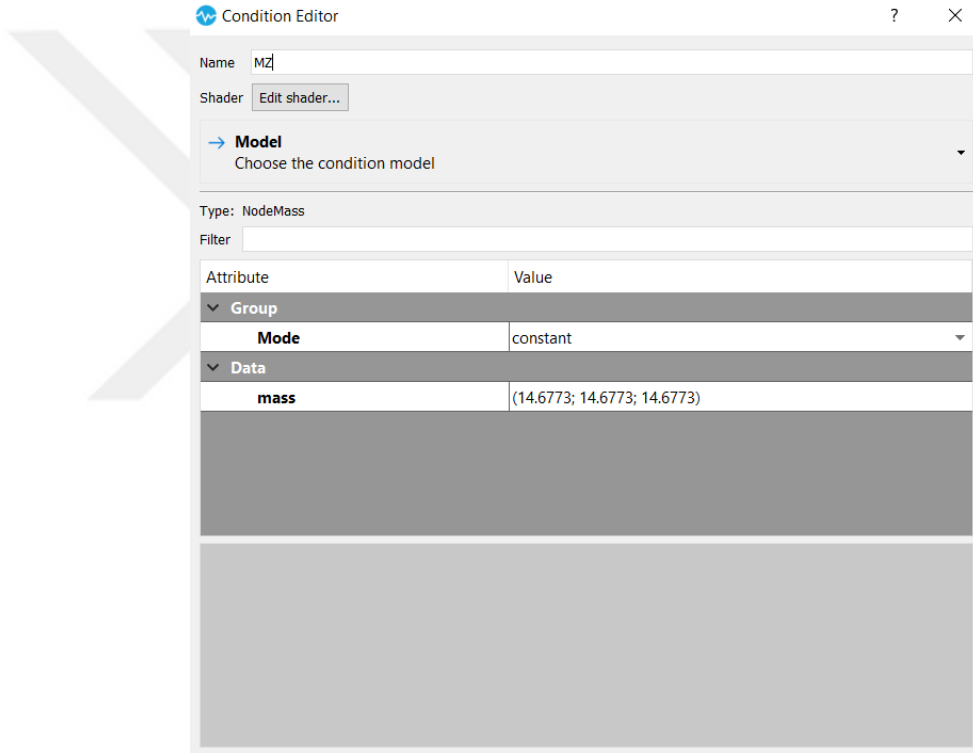


Şekil B.17 Rijit diyafram tanımı



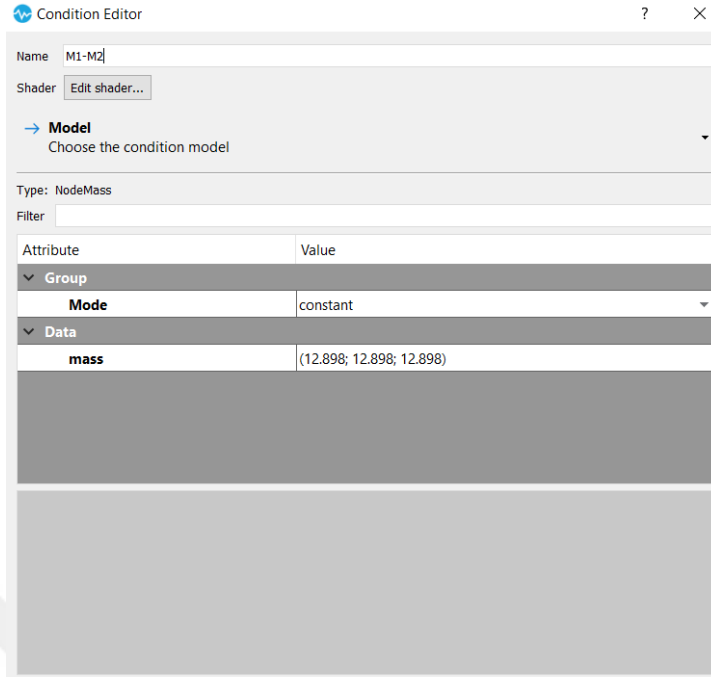
Şekil B.18 Duvar yükünün tanımlanması

Duvar yüklerinin tanımı 20 cm, 10 cm oluşuna ve kat yüksekliğine bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra hareketli yükler hareketli yük katılım katsayısı ile küçültülerek döşeme elemanlarından gelen zati ağırlıkla toplanmıştır. Toplanan düşey yüklerin tamamı hesaba katılarak döşemelerden kirişlere aktarılan yükler kirişlerin üzerine düzgün yayılı yük olarak uygulanmıştır. Döşemelerdeki yük dağılımları zarf modeli kullanılarak yapılmıştır. Kiriş üzerinde olan duvar yükleri doğrudan kiriş eleman üzerine düzgün yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Çatı katında hareketli yükler dikkate alınmamıştır.

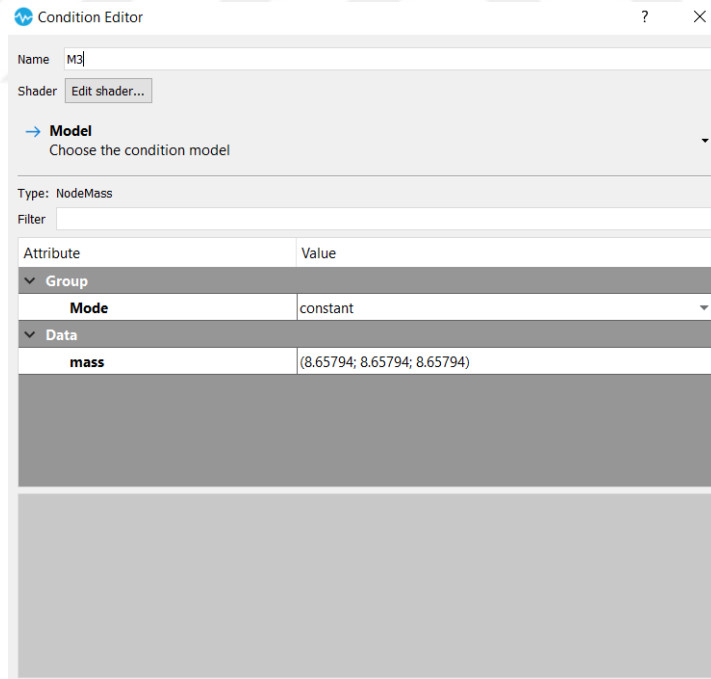


Şekil B.19 Kat kütlelerinin birleşim noktalarına aktarılması

Kolon-kiriş birleşim bölgelerine tanımlanan kat kütleleri yapı kat ağırlığının birleşim adedine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Birleşim bölgelerine düşey kütle olarak uygulanmıştır.

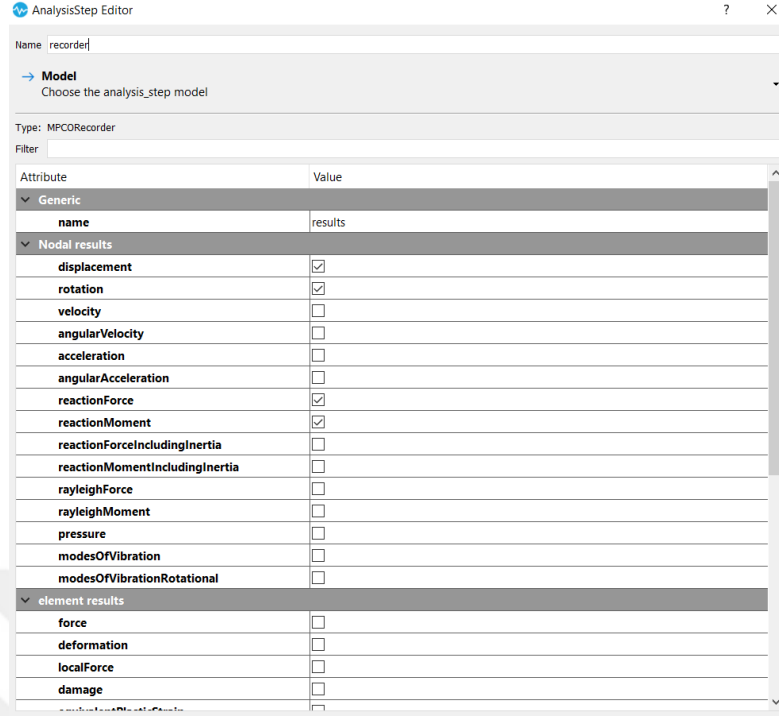


Şekil B.20 Kat kütlelerinin birleşim noktalarına aktarılması



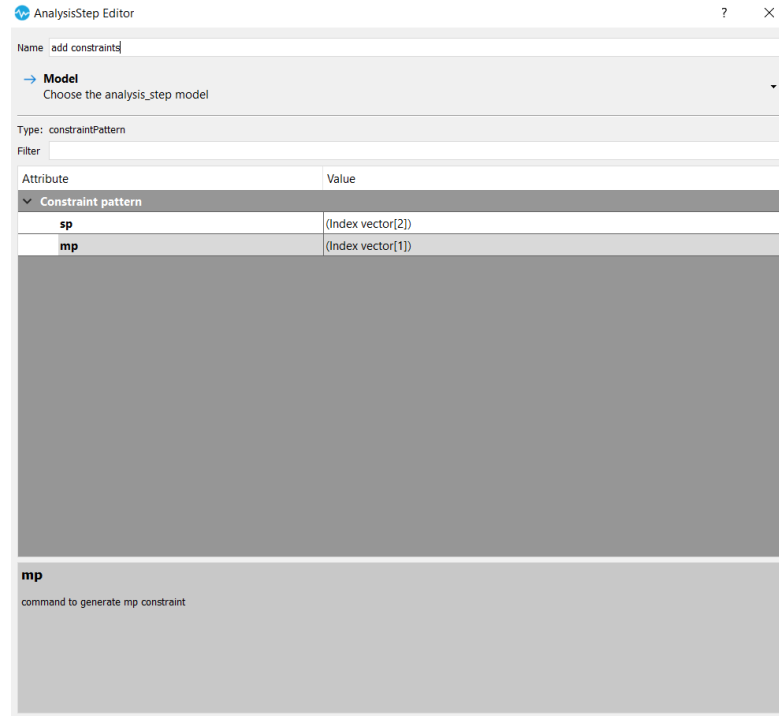
Şekil B.21 Kat kütlelerinin birleşim noktalarına aktarılması

Sonuçlar bölümünde elde edilmek istenen veriler işaretlenerek analiz sonucunda programda elde edilmek istenen verilere ulaşılmış olur.



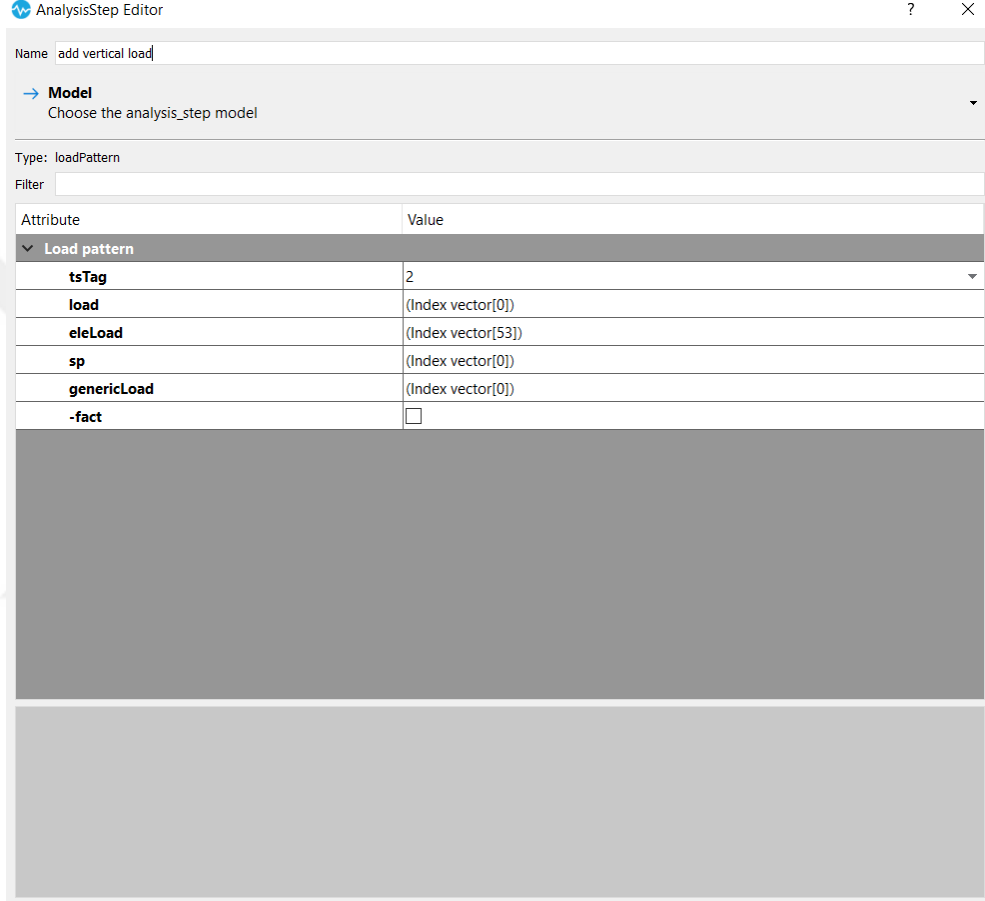
Şekil B.22 Analiz editörünün düzenlenmesi

Analiz aşamasında tek noktalı mesnet ve çok noktalı mesnet olmak üzere diyafram ve ankastre mesnetler tanımlanır.



Şekil B.23 Mesnetlerin analiz aşamasında tanımı

Daha önce tanımlanan ve atanan yüklerin tamamı analiz bölümünde bir arada yük modeli bölümünde gösterilir. İlk olarak düşey yükler bu bölümde tanımlanarak düşey analiz verisi hazırlanmış olur.



The screenshot shows the 'AnalysisStep Editor' window. The 'Name' field is 'add vertical load'. The 'Model' dropdown is set to 'Model'. The 'Type' is 'loadPattern'. The 'Filter' field is empty. Below the filter is a table with two columns: 'Attribute' and 'Value'.

Attribute	Value
Load pattern	
tsTag	2
load	(Index vector[0])
eleLoad	(Index vector[53])
sp	(Index vector[0])
genericLoad	(Index vector[0])
-fact	☐

Şekil B.24 Düşey yük analizinin tanımı

AnalysisStep Editor

Name: vertical analysis

→ Model
Choose the analysis_step model

Type: AnalysesCommand

Filter

Attribute	Value
analysis	
analysisType	Static
constraints	
constraints	Penalty Method
alphaS	1e+18
alphaM	1e+18
numberer	
numbererType	Reverse Cuthill-McKee Numberer
system	
system	UmfPack SOE
-lvalueFact	☐
algorithm	
algorithm	Newton
use_formTangent	☐
test	
testCommand	Norm Displacement Increment Test
tol	0.001
iter	100
use_nType	☐
integrator	
staticIntegrators	Load Control
duration	1
analyze	

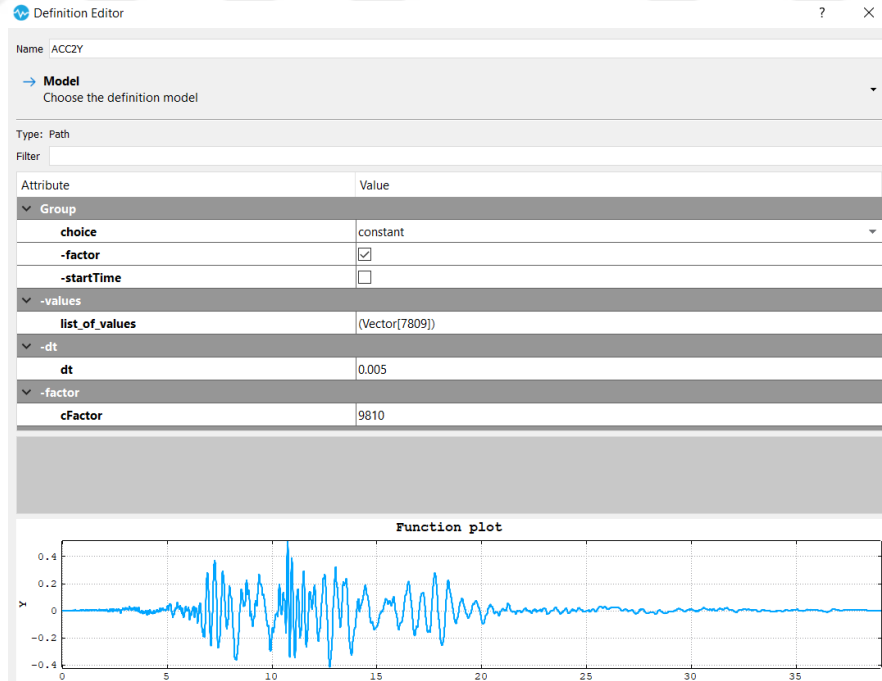
Şekil B.25 Düşey analiz parametrelerinin girilmesi

Analiz dosyası oluşturulmuş ve burada düşey yük analizi için gereken veriler girilmiştir. Analiz tipi statik seçilmiş, mesnetler için penaltı metodu kullanılmış ve penaltı metodunda kullanılan alfa S, alfa M katsayıları 1E+18 olarak belirlenmiştir. Algoritma olarak Newton seçilmiş ve test komutu standart yer değiştirme artışı olarak belirlenmiştir. Artış toleransı 0.001 ve yineleme değeri 100 kabul edilmiştir. Düşey yük analizi için açılan bu analiz sekmesinde sabit zaman adımı ve sabit yük belirlenmiş yük kontrollü entegre seçilerek düşey yük analiz komutu tamamlanmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için seçilip ölçeklenen deprem kaydı x ve y yönleri için ayrı ayrı programda tanımlanır. Burada zaman aralığı ve yük faktörü gibi veriler girilmelidir.



Şekil B.26 Deprem kayıtlarının tanımlanması



Şekil B.27 Deprem kayıtlarının tanımlanması

AnalysisStep Editor

Name: excitationx

→ Model
Choose the analysis_step model

Type: UniformExcitation

Filter

Attribute	Value
direction	dx
Group	
-vel0	☐
-fact	☐
-vel	☐
-disp	☐
-int	☐
-accel	
tsTag	6

direction in which ground motion acts:
corresponds to translation/rotation along the global axis
[Uniform Excitation Pattern](#)

Şekil B.28 Deprem analiz parametrelerinin tanımı

Tanımlanan deprem kayıtları analiz bölümünde bulunan *Uniformexcitation* modeli içerisine dahil edilerek kaydın analize katılması sağlanır. *Uniformexcitation* modeli, belir bir yönde hareket eden modele düzgün bir uyarım uygulanmasına olanak vermektedir.

AnalysisStep Editor

Name: excitationy

→ Model
Choose the analysis_step model

Type: UniformExcitation

Filter

Attribute	Value
direction	dy
Group	
-vel0	☐
-fact	☐
-vel	☐
-disp	☐
-int	☐
-accel	
tsTag	7

Şekil B.29 Deprem analiz parametrelerinin tanımı

Dinamik analiz editöründe tanım yapılırken algoritma olarak Krylov-Newton kullanılmıştır. Bu komut, değiştirilmiş Newton yönteminin yakınsamasını hızlandırmak için bir Krylov alt uzay hızlandırıcısı kullanan bir KrylovNewton algoritması nesnesi oluşturmak için kullanılır. Newmark entegratörü kullanılan dinamik analizde gama ve beta değerleri sırasıyla 0.5 ve 0.25 girilmiştir. Uyarlanabilir zaman adımı kullanılan analizde analiz adımı ve analiz süresi deprem kaydına göre belirlenmiştir.

Attribute	Value
transientIntegrators	Newmark Method
gamma	0.5
beta	0.25
analyze	
Time Step Type	Adaptive Time Step
numIncr	7809
duration	39.045
AdaptiveControl	
max factor	1
min factor	1e-08
max factor incr	1.5
min factor incr	0
loadConst	
loadConst	☐
wipeAnalysis	
wipeAnalysis	☒

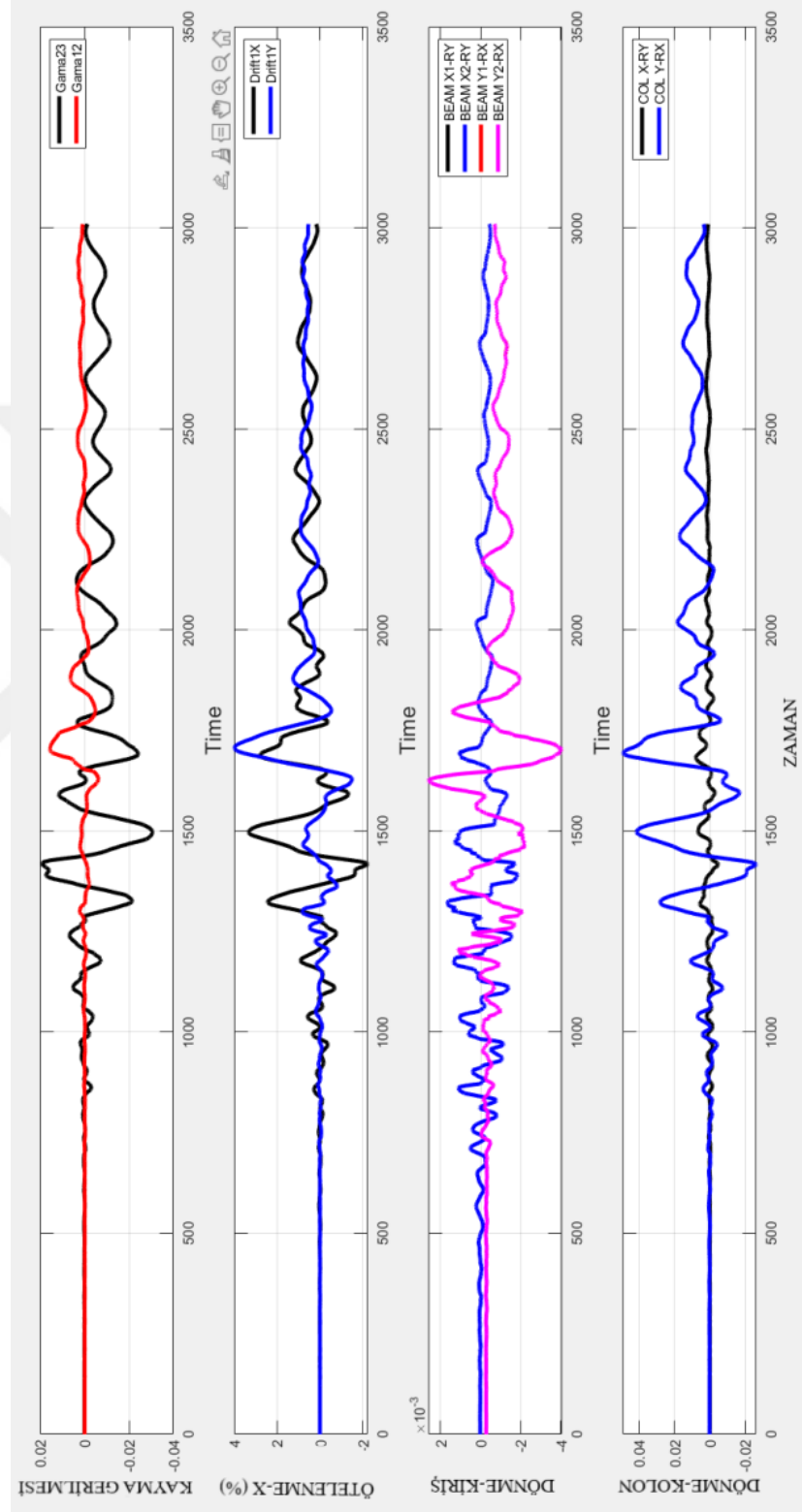
max factor incr

Given that: - $dT(adaptive) = factor * dT(initial)$
- $factor = factor(old) * factor_increment$
- $factor_increment = desired_iter / num_iter$
then:
- $factor_increment \geq min_factor_incr$

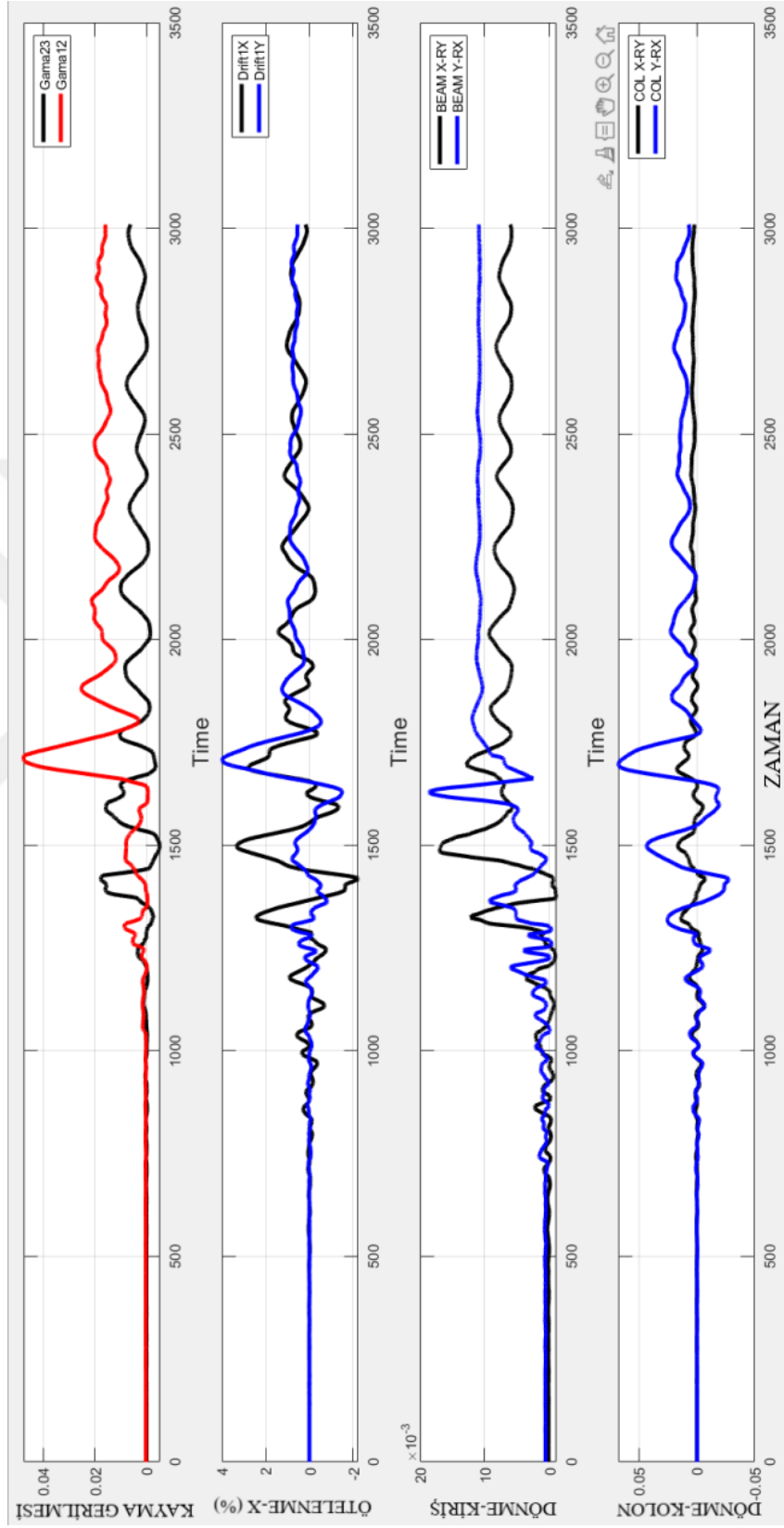
Şekil B.30 Dinamik analiz parametrelerinin girilmesi

Bu aşamaya kadar bütün model tamamlanmış ve gerekli analiz parametreleri girilmiştir. Analiz deprem kaydının uzunluğuna bağlı olarak ortalama 20 dakika kadar sürmektedir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için STKO programı içerisinde bulunan (post processor) işlem sonrası bölümü kullanılmaktadır. Burada kaydedici (recorder) bölümünde seçilen bütün sonuçlar görülebilmekte ve karşılaştırmalı grafikler elde edilebilmektedir.

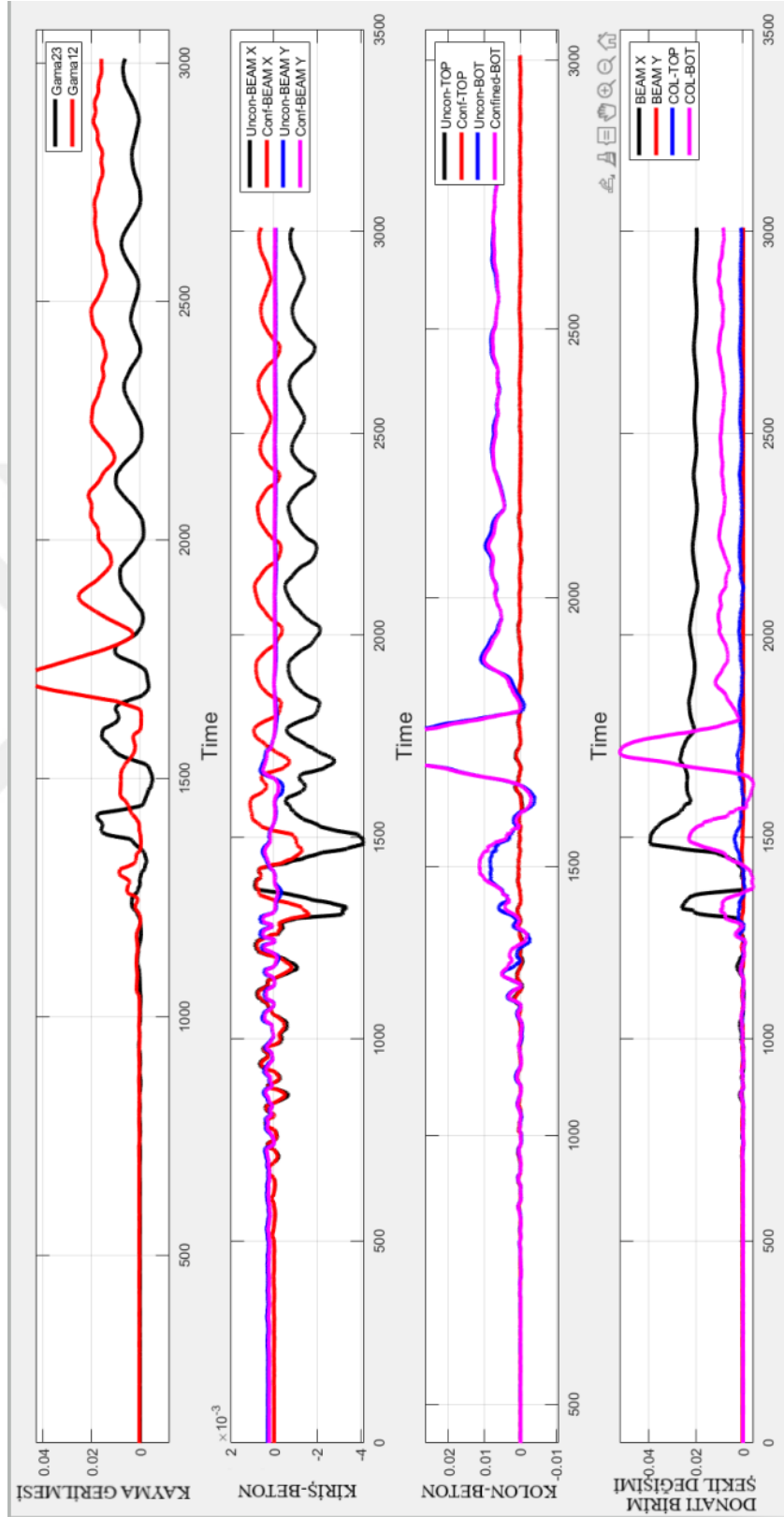
EK-3: İç ve Dış Birleşim Bölgelerindeki Kolon-Kiriş Deformasyonları



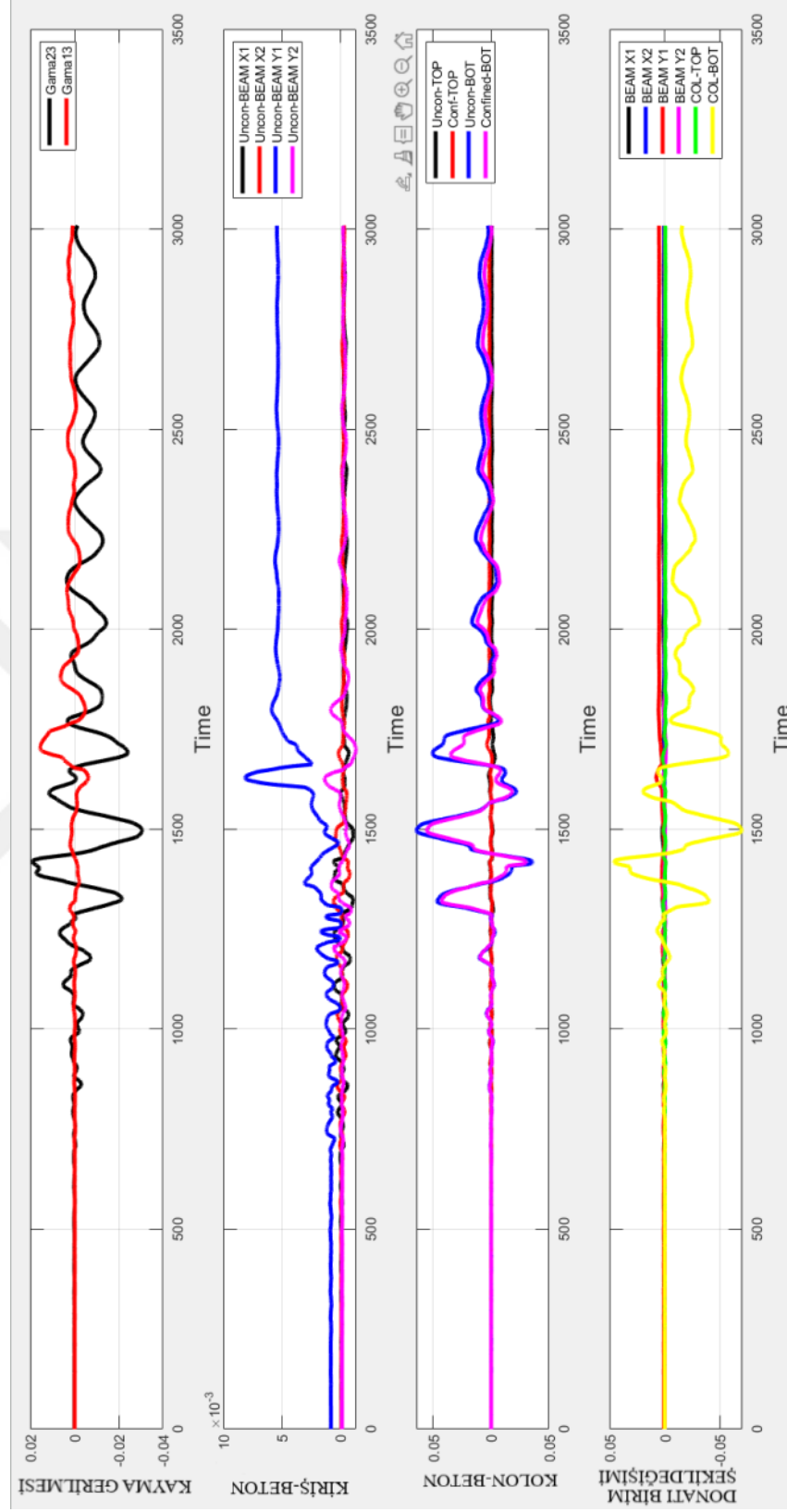
Şekil C.1 İç kolon-kiriş birleşimi 4.deprem kaydına ait dönme değerleri



Şekil C.2 Dış kolon-kiriş birleşimi 4.deprem kaydına ait dönme değerleri



Şekil C.3 Dış kolon-kiriş birleşimi 4.deprem kaydına ait beton ve donatı birim şekil değişimleri



Şekil C.4 İç kolon-kiriş birleşimi 4.deprem kaydına ait beton ve donatı birim şekil değişimleri