

Kompozit Kolon-Betonarme Kiriş Birleşim Noktasının Tersinir Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışının Numerik Olarak İncelenmesi

Bengi ARISOY*¹, Fethi ŞERMET²

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35050, İzmir
(ORCID: 0000-0002-2785-0609)

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35050, İzmir
(ORCID: 0000-0001-8221-689X)

(Alınış / Received: 21.04.2017, Kabul / Accepted: 01.11.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.01.2018)

Anahtar Kelimeler
Betonarme
düğüm noktası,
Kompozit kolon,
Sonlu elemanlar
modeli

Özet: Bu çalışmada beton içine gömülü çelik profil ile oluşturulmuş kompozit kolon ve betonarme kiriş birleşim bölgesinin tersinir tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışı nümerik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında düğüm noktasının süneklik mertebesi ve göçme şekli incelenmiş, betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesi performansı ile karşılaştırılmıştır. Kompozit kolon içinde yer alan çelik profil çekirdek deformasyonların çoğunu sönmektedir. Artan yükler etkisi altında, çelik profil etrafında yer alan betonun ezilip, yumuşak donatının akmasına rağmen, çelik profil çekirdek akma mertebesine erişmemektedir. Bununla beraber kolonda oluşan lokal hasarların (betonda ezilme/yumuşak donatıda akma) düğüm noktasının davranışına etkisi önemlidir. Kuvvetli kolon-zayıf kiriş tasarımı gözetilmiş olan çerçeve iç birleşim bölgesi, sonlu elemanlar ile modellenmiş ve ABAQUS programı ile analiz edilmiştir. Betonarme kolon-kiriş ve kompozit kolon-betonarme kiriş ile teşkil edilmiş düğüm noktaları tekrarlı tersinir yük etkisi altındaki analiz edilmiş ve analiz sonuçları her iki birleşim bölgesinin göçme mekanizmaları, süneklik mertebeleri ve dayanımları açısından değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları her iki birleşim şeklinde de kolon ve kiriş birleşim yüzeylerindeki betonun ezilmesine rağmen, kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimi betonarme kolon-kiriş birleşimine göre göçmeden önce 1,32 kat daha fazla yük taşımış, 1,56 kat daha fazla yer değiştirme yapmıştır. Betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesinde dayanım betonun ezilmesi ile kontrol edilirken, kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktasında çelik profilin akması ile kontrol edilmiştir.

Numerical Analysis of Behavior of The Composite Column-Reinforced Concrete Beam Joints Subjected to Cyclic Loads

Keywords

Reinforced concrete joints, Composite columns, Finite element modeling

Abstract: In this paper, analytical behavior of the concrete encased steel profile composite column to reinforced concrete beam connection under cyclic loading is presented. The finite element model of the encased steel profile composite column to reinforced concrete beam and reinforced concrete beam to column are implemented in ABAQUS. Ductility level and failure type of the joints are studied and performance of connections are compared. Comparisons are made using load-displacement relation, failure mechanism and ultimate strength. It is found that the concrete encased steel profile column to reinforced concrete beam absorbs most of the lateral deformations relative to reinforced concrete column to beam connection. Analysis results indicated that composite column to reinforced concrete beam connection has 1.32 times load carrying capacity and 1.56 times larger deformation capacity than reinforced concrete column to beam connections. Although under increased loads, in the concrete encased steel composite column, the concrete around steel profile crushed and reinforcing bars yielded, the steel profile core does not reach to yielding.

*Sorumlu yazar: bengi.arisoy@ege.edu.tr

1. Giriş

Sismik yükler etkisi altındaki çerçeve sistemlerde, kolon-kiriş birleşim bölgesi en kritik bölge olduğu gibi davranışı en az anlaşılan bölgedir. Birden fazla elemanın birleştiği düğüm noktaları, eğilme, kesme ve eksenel yük kombinasyonları altında karmaşık bir davranış sergiler. Bu karmaşık davranış, düğüm noktalarında birleşen elemanların farklı özelliklere sahip olması, kompozit eleman ile betonarme elemanın oluşturduğu birleşim bölgesi gibi, ile daha da artmaktadır. Kompozit elemanların yük etkisi altındaki davranışlarının belirlenmesine ait çalışmalar 1940'lı yıllarda başlamasına rağmen, birleşim bölgelerine ait çalışmalar daha yenidir. Konu üzerine yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Lee ve çalışma arkadaşları kompozit döşeme-çelik kolon elemanlardan inşa edilmiş altı katlı prototip çerçeve sistemi tersinir tekrarlı yükler etkisi altında test etmişler, kompozit döşemenin çelik kolona bağlandığı birleşim bölgesinin dönme rijitliğini arttırdığını rapor etmişlerdir [1-3]. Chung-Che ve Chia-Ming (2002), normal beton kullanarak moment aktaran betona gömülü kompozit kolon-çelik kiriş birleşim noktasının tersinir tekrarlı yükleme altındaki performansını incelemişlerdir ve tersinir yük etkisinde mafsallaşmaların çelik kirişlerde oluştuğunu ancak kompozit kolonun kirişin saplandığı beton yüzeylerinde göçmelerin gerçekleştiğini rapor etmişlerdir [4]. Mu-Xuan ve çalışma arkadaşları (2013), normal dayanımlı beton kullanılarak kompozit kolon-çelik kafes kiriş hibrit birleşim noktasının

sismik davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında kompozit elemanların yük-deplasman eğrileri, birleşim noktasında kesme kuvveti davranışı, dayanım, rijitlik, süneklik, enerji yutma kapasitesi ve deformasyon analiz edilmiştir [5]. Fei-Yu Liao ve çalışma arkadaşları, beton ile doldurulmuş çelik tüp kompozit tekrarlı yükler altında davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozit kolonların dayanıklılık, süneklik, rijit deformasyon ve enerji yutma kapasitesi incelenmiştir [6]. Lei Zeng ve çalışma arkadaşları, yüksek dayanımlı betondan üretilmiş kompozit çerçeve sisteminin tekrarlı yüklemeye altındaki davranışını incelemişlerdir. Tüm deney elemanları birleşim noktasının kesme açısından yetersiz davranış sergiledikleri bildirmişlerdir [7]. Cristina ve çalışma arkadaşları, yüksek dayanımlı beton kullanarak betona gömülü çelik kompozit kolonların monotonik ve tekrarlı yükler altındaki davranışını incelemişlerdir [8]. Cheng-Cheng Chen ve çalışma arkadaşları, betona gömülü geniş flanşlı yapısal çelik profilin tekrarlı yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışmada eğilme eksenine bağlı olarak çelik profilin ana eksen ve zayıf ekseninin süneklik ve sargılama üzerine etkisi incelenmiştir [9].

İncelenmiş çalışmalarda genel olarak kompozit kolon, kompozit kolon-kompozit kiriş birleşimi, kompozit kolon-çelik kiriş birleşimi davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada betona gömülü çelik profil ile imal edilmiş kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesinin tekrarlı tersinir yükler etkisi altındaki davranışını numerek olarak incelenmiştir. Numerek analiz sonuçları betonarme kolon-kiriş birleşimi için de tekrarlanmıştır ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. Çalışmanın Kapsamı

Depreme dayanıklı çerçeve türü yapı tasarımında deprem yükünün şekil değiştirmeler ile harcanması temel alınmaktadır. Bu yaklaşımda en önemli parametre yapının sünekliğidir. Sünek bir yapı, elemanlarının deprem yükleri etkisi altında plastik şekil değiştirmeler yapmasına rağmen dayanımını korur. Betonarme yapılar sünek davranışın sağlanması için donatılandırılırlar. Özellikle kolon elemanlarda sünek davranışın garanti edilmesi amacıyla farklı tasarımlara da gidilmektedir. Çelik profil çekirdekli betonarme kolon bunlardan biridir. Bu çalışmada kolon elemanın sünekliğini arttırmak amacıyla I kesitli yapısal çelik elemanı betona gömülerek çelik çekirdekli bir kompozit kolon tasarlanmıştır. Düğüm noktasında yer alan kiriş elemanı olarak ise uygulamada yaygın olarak kullanılan kompozit kiriş yerine betonarme kiriş tasarlanmıştır. Böylece kompozit kolon-betonarme düğüm noktası elde edilmiştir. Konu hakkında yapılmış çalışmalar kompozit kolonların sismik yükler etkisi altında sünek davranış gösterdiğini teyit etmiştir ([10-15], ve birçok diğer çalışmalarda). Bununla beraber, kompozit elemanlardan oluşan düğüm noktalarının davranışını düğüm noktasını oluşturan elemanların tipine göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim bölgesinin tersinir tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışını numerek olarak incelenmiştir. Çalışma aynı zamanda betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesinin incelenmesini de kapsamaktadır. Böylece farklı iki şekilde tasarlanmış düğüm noktasının sismik yükler etkisindeki davranışını kıyaslanabilecektir.

3. Kolon-kiriş birleşim bölgesi sismik davranışı

Moment aktaran çerçevelerin süneklik ve deformasyon kapasitesi düğüm

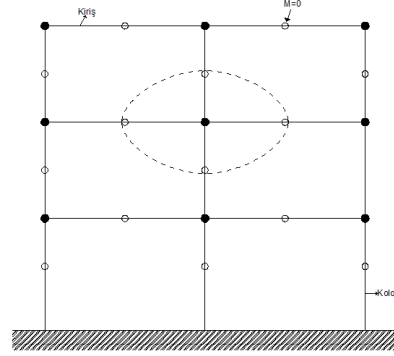
noktalarının göçmeden sonra yük taşıma kapasitesine bağlıdır. Kolon-kiriş düğüm noktasının davranışı da yüklerin harcanmasında zayıf olan kesme dayanımı ve donatı ve beton arasındaki aderans kuvvetleri ile kontrol edilir. Bir kolon-kiriş birleşiminde, kendisine bağlanan elemanlardan gelen kuvvetleri diğerlerine aktaracak dayanıma sahip olması, kolonların üzerlerine gelen yükü kolaylıkla taşıyabilmesi için düğüm noktasında oluşacak çatlakların sınırlı olması ve düğüm noktalarının deformasyonunun kat rölatif deformasyonunu arttırmaması beklenir [16]. Bunlara ek olarak da, moment aktaran çerçevelerde kuvvetli kolon-zayıf kiriş tasarım prensibine göre tasarımda, plastik mafsalların kirişlerin uçlarında oluşması ve kirişlerin tasarım gücü ötesinde eğilme direnci geliştirmesi beklenmektedir. Bununla beraber tasarım kurallarına uyulsa bile, düğüm noktasının sünekliği, düğüm noktasına bağlanan elemanların dayanımlarının birbirine uygun olması sağlanmalıdır.

Betonarme elemanlarda aderans kuvvetlerini arttıran unsurlar donatı yüzeyi, donatılar arasındaki beton miktarı, sürtünme yüzeyi miktarı, donatının beton ile çok iyi sarılmış olması olarak sıralanabilir. Belirtilen unsurlar kesme kuvvetlerinin aktarılması, dolayısı ile düğüm noktasının performansını etkilemektedir.

Bu çalışmada, kolon elemanın içine yerleştirilecek çelik profil, önceki paragrafta belirtilen beton-donatı aderans kuvvetlerini etkileyecek unsurları sağladığı gibi sürtünme yüzeyi açısından daha etkilidir ve düğüm noktasının performansını arttırması beklenmektedir.

4. Eleman tasarımı

Çalışma kapsamında nümerik analizi yapılacak olan birleşim bölgesi düzlem çerçeve ara düğüm noktasıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Nümerik analizlerde modellenmesi yapılacak olan düğüm noktası (kesikli oval şekil ile gösterilmiştir)

Düğüm noktasına saplanacak olan elemanların boyutları yatay yük etkisindeki çerçevenin moment sıfır noktalarından yararlanarak tespit edilmiştir. Nümerik analizlerde modellenecek olan düğüm noktasını teşkil eden betonarme kolon- kiriş elemanların tasarımları betonarme kolon/kiriş sünek davranış tasarım ilkelerine ve Deprem Bölgelerinde yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'de [17] verilen tasarım kurallarına uygun olacak şekilde, çelik profil gömülü kompozit kolon elemanların tasarımı Çelik Yapıların Tasarımı, 2016 taslak şartnamesinde [18] ve EUROCODE 4'de [19] verilen tasarım kurallarına uygun olarak yapılmıştır.

4.1. Kompozit kolon tasarımı

EUROCODE 4 ve Çelik Yapıların Tasarımı ve Yapım Kuralları taslak yönetmeliğine (2016) göre yapılmış çelik profil gömülü kompozit kolonun tasarımı Şekil 2'de verilmiştir

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları taslak yönetmeliğine göre betona gömülü kompozit elemanlar için minimum kurallar:

(a) Yapısal çelik çekirdeğin enkesit alanı, toplam kompozit enkesit alanının en az %1 i kadar olmalıdır.

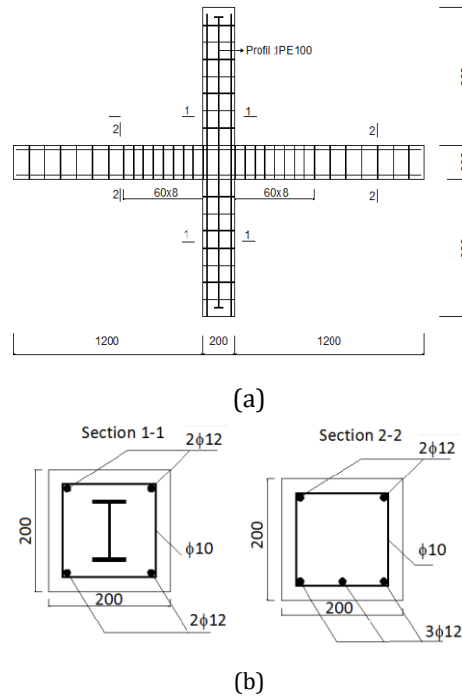
(b) Kompozit kesitte boyuna ve enine donatı kullanılmalıdır. Enine donatı etriye veya spiral fret şeklinde olabilir. Etriye kullanılması durumunda 10mm çapında etriyeler en fazla 300mm aralıkla, 12mm veya daha büyük çaplı etriyeler en fazla 400mm aralıkla teşkil edilmelidir. Etriye aralığı kompozit elemanın en küçük kenar uzunluğunun 0.5 katından daha fazla olamaz.

(c) $\rho_{sr} = A_{sr} / A_g$ ile tanımlanan boyuna donatı oranı, ρ_{sr} nin minimum değeri 0,004 olacaktır. Burada A_g , kompozit elemanın toplam enkesit alanı, A_{sr} , boyuna donatı alanıdır. Nümerik analizlerde kullanılacak elemanların tasarımı yukarıda verilen kurallara uygun olarak tasarlanmıştır.

4. Birleşim bölgesi tasarımı

Bu çalışmada çelik profil çekirdekli beton kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktasının tersinir tekrarlı yük etkisi altındaki davranışı, göçme şekilleri, yük aktarma/dayanım performansı nümerik olarak analiz edilmek ve depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına uygun tasarlanmış betonarme kolon-kiriş düğüm noktasının aynı yükler etkisi altındaki davranışı ile kıyaslamak üzere geometrik ölçüleri aynı olan elemanlar tasarlanmıştır. Analiz edilecek düğüm noktası, 200x200mm ölçülerinde kolon ve kiriş elemanların düzlemde birleştiği, çerçeve sistemin iç düğüm noktası olarak tasarlanmıştır. Kirişlerde moment sıfır noktası düğüm noktasından 1200mm, kolonlarda moment sıfır noktası düğüm noktasından 800mm uzakta tasarlanmıştır. Kompozit kolon içine IPE100 çelik profil gömülmüş, ayrıca 4 ϕ 12 boyuna donatı ve ϕ 10/10 kesme donatısı eklenmiştir. Kiriş, çekme bölgesinde 3 ϕ 12, basınç bölgesinde 2 ϕ 12 boyuna donatı ve ϕ 10/6 kesme donatısı ile tasarlanmıştır. Kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktasının

tersinir tekrarlı yükler etkisindeki davranışını kıyaslamak üzere analiz edilecek betonarme kolon-kiriş düğüm noktasında kolon içine çekme ve basınç bölgelerine 3 ϕ 12 boyuna, ϕ 10/6 kesme donatısı, kiriş içine kompozit kolon-betonarme kiriş birleşiminde kiriş içinde kullanılan donatı miktarında donatı kullanılmıştır. Analiz edilecek birleşim bölgesi detayları Şekil 2'de ve malzeme özellikleri Tablo 1' gösterilmiştir.



Şekil 2. a) Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim, b) Eleman kesit detayları

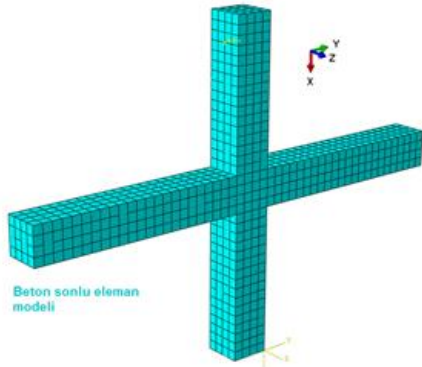
Düğüm noktası birleşim elemanı kiriş moment sıfır ve kolon alt noktasından basit mesnetlenmiş ve kolon üst moment sıfır noktasından tersinir tekrarlı yük ile yüklenerek analiz edilmiştir. Düğüm noktaları ABAQUS programı içinde modellenmiş ve lineer olmayan analiz yöntemi ile analiz edilmiştir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

	Basınç Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Beton	30		2400	32	0.2
Çelik Profil	420	420	7850	200	0.3
Donatı Çubuğu	420	420	7850	200	0.3

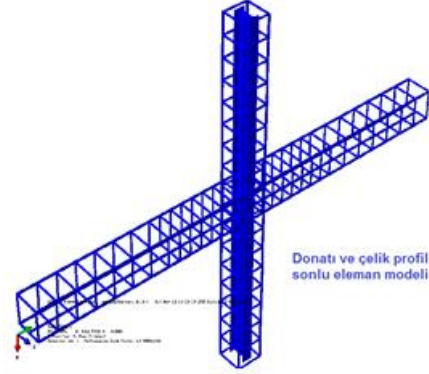
5. Sonlu elemanlar modeli

Kompozit kolonun sonlu eleman modelinin hazırlanmasında çelik profilin beton tarafında tam olarak sarılmasına özellikle dikkat edilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi modellemesi ABAQUS kullanıcı kılavuzuna [20] uygun olarak beton ve IPE100 çelik profil için üç boyutlu katı eleman (B31), çelik profil için çubuk eleman (T3D2) kullanılarak yapılmıştır. Her iki tip düğüm noktası birleşimi beton sonlu elemanlar modeli Şekil 3, kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktası donatı sonlu elemanlar modeli Şekil 4, ve betonarme kolon-kiriş birleşimi donatı sonlu elemanlar modeli Şekil 5'de verilmiştir.

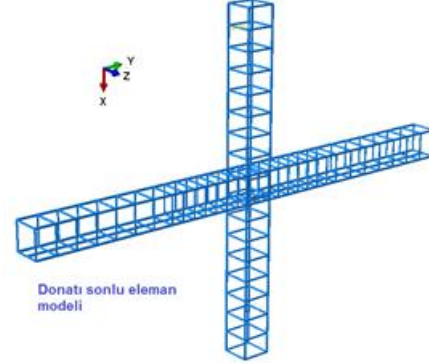


Şekil 3. Düğüm noktası beton sonlu elemanlar modeli

Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim eleman modeli kolon alt ucu ve kiriş uçlarından düşey yer değiştirmeler engellenecek şekilde sabit mesnetli olarak bağlanmıştır ve kolon üst ucundan yatay olarak yüklenmiştir.

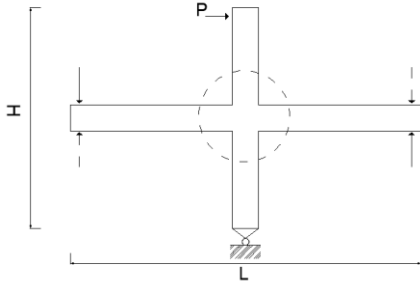


Şekil 4. Kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktası donatı sonlu elemanlar modeli



Şekil 5. Betonarme kolon-kiriş düğüm noktası donatı sonlu elemanlar modeli

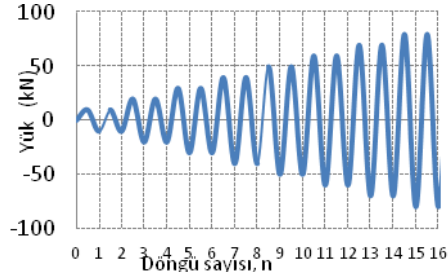
Birleşim elemanı mesnet koşulları ve yükleme şekli Şekil 6'da verilmiştir. Modelde kompozit kolon içinde yer alan çelik profil ile beton arasında bağlantıyı tanımlayan kontak elemanlar tanımlanmıştır.



Şekil 6. Birleşim elemanı sınır koşulları ve yükleme şekli

Kompozit kolonun elasto-plastik davranışı betonarme kolon-kiriş elasto-plastik davranışı olarak simule edilmiştir. Betonarme ve beton-çelik kompozit elemanların yük etkisi altında plastik mafsallaşmaların olduğu bölgelerde gerilme dağılımları ve plastik deformasyonların önemi büyüktür ve dolayısı ile modellerdeki eleman sayısı yeterli miktarlarda olmalıdır. Modellerde eleman sayısı kritik bölgelerde arttırılmalıdır. Çalışmada, betonarme kolon- kiriş modelinde beton için 1632 (C3D8R) eleman, donatı için 5852 (T3D2) eleman kullanılmıştır. Kompozit kolon-betonarme kiriş modelinde beton 1632 (C3D8R) eleman, donatı için 6799 eleman kullanılmıştır. IPE100 yapısal çelik profili için 20 (B31) eleman kullanılmıştır.

Her iki tip birleşim bölgesi, kompozit kolon-betonarme kiriş ve betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesi, tersinir tekrarlı yük etkisi altında analiz edilmiştir (Şekil 7).

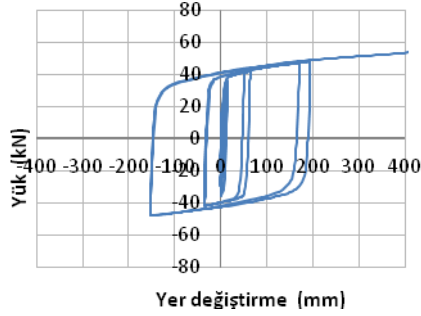


Şekil 7. Tekrarlı tersinir yük döngüsü

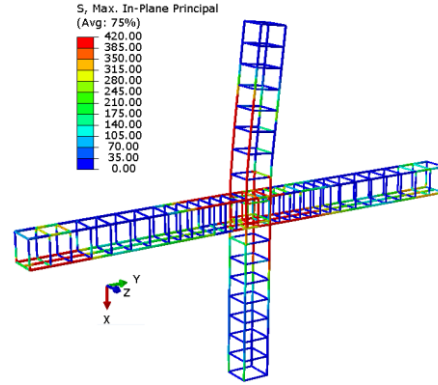
6. Numerik Analiz Sonuçları

Her iki tip birleşim elemanının - kompozit kolon-betonarme kiriş ve betonarme kolon-betonarme kiriş- tersinir tekrarlı yük etkisi altındaki davranışı lineer olmayan analiz yöntemi ile ABAQUS programı ile analiz edilmiştir. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim elemanında basınç ve çekme gerime artışları 9. çevrimde başlamış, 10. çevrimden sonra da betonda en büyük basınç, donatılarda akma gerilmelerine 47,97 KN'da ulaşılmıştır. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim elemanının düğüm noktası yük-yer değiştirme diyagramı Şekil 8'de, birleşim elemanı gerilme dağılımları Şekil 9'da verilmiştir. Yük-yer değiştirme grafiği, Şekil 7'de verilen yük döngüsünün birleşim elemanının birleşim bölgesinde seçilmiş bir elemanın deplasmanı ile ilişkilendirilmesidir. Deplasmanı ölçülen eleman kolon-kiriş eksenlerinin birleştiği noktadan seçilmiştir, böylece çerçeve sistemin düğüm noktası deplasmanları, çerçeve yatay yük etkisi altındayken ne mertebelerde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 8' de görüldüğü üzere birleşim elemanı göçme gerilmelerine ulaşmış olduğu 47,97 KN yüke karşılık düğüm noktası 185mm yer değiştirme yapmıştır

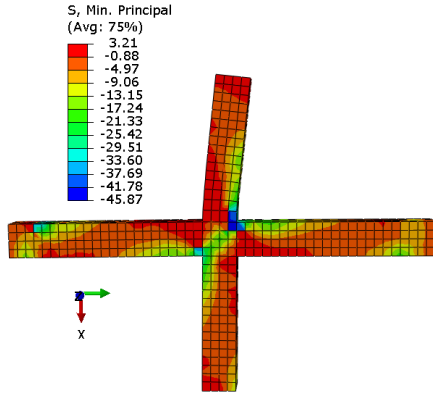
Şekil 9'da verilen eleman gerilme dağılımları betondaki en büyük basınç nümerik analiz sırasında yükleme ve gerilme ilişkisinin takip edilebilmesi, malzemelerin hangisinin önce göçtüğünün tespit edilme olanağını sağlamıştır. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı yük döngüsü tamamlandığında kiriş içindeki donatılar akmış (Şekil 10), yük diğer yönden etkimeye başladığında kolon donatıları en büyük akma gerilmelerine ulaşmış, analize devam edildiğinde 10. yük döngüsünde beton en büyük gerilmesi 30MPa'la ulaşmıştır.



Şekil 8. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim tepe noktası yük-düğüm noktası yer değiştirmesi



Şekil 10. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı donatı gerilme dağılımları

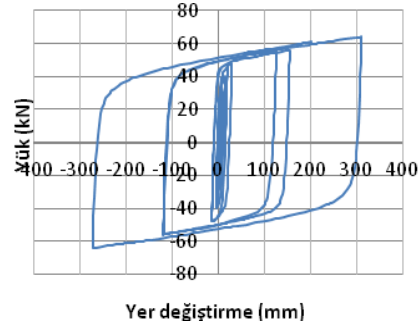


Şekil 9. Betonarme kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı beton gerilme dağılımları

Artan yükler etkisi altında tam göçme 45 MPa basınçta gerçekleşmiştir. Beton basınç gerilme dağılımları incelendiğinde, basınç gerilmelerinin kolon ve kirişin birleştiği bölgede hem kiriş hem de kolon üzerinde oluştuğu görülmüştür.

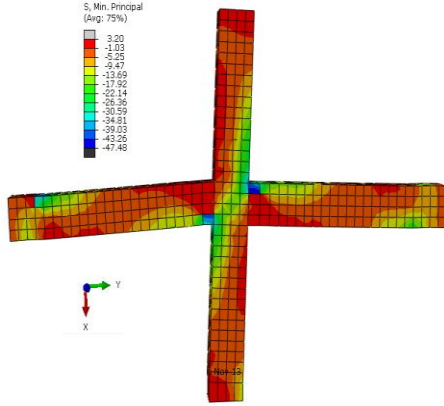
Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanının düğüm noktası yük-yer değiştirme diyagramı Şekil 11'de, birleşim elemanı gerilme dağılımları Şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11'de görüldüğü üzere birleşim elemanı göçme gerilmelerine ulaşmış olduğu 63,62 KN yüke karşılık düğüm noktası 303mm yer değiştirmesi yapmıştır.



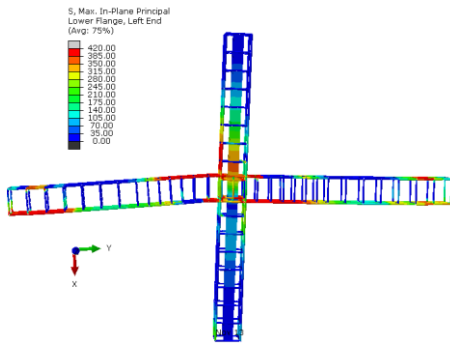
Şekil 11. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim tepe noktası yük-düğüm noktası yer değiştirmesi

Şekil 12'de verilen kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı beton gerilme dağılımları incelendiğinde basınç gerilmelerinin kolon ve kiriş birleşim bölgesinde sadece kiriş üzerinde oluştuğu görülmüştür. Kompozit kolon içinde yer alan çelik profil kolon elemanın sünek olmasını sağlamış, bu bölgedeki beton ezilmesine rağmen basınç yükünü çelik profil taşımaya devam etmiş, dolayısı ile göçme kiriş kısmında gerçekleşmiştir.



Şekil 12. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı beton gerilme dağılımları

Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı donatı çekme gerilmeleri diyagramı Şekil 13'de verilmiştir.

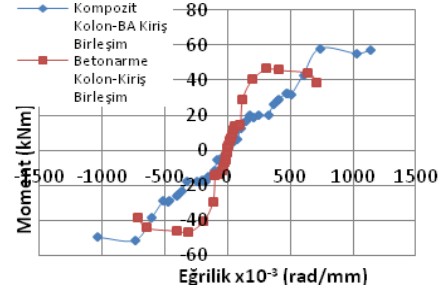


Şekil 13. Kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı donatı gerilme dağılımları

Kompozit kolon içinde yer alan yapısal çelik profilin etkisiyle gerilmeler daha dengeli bir yayılma göstermiştir. Çelik profil, yumuşak donatının akmasından sonra çekme gerilmelerinin alarak taşıma kapasitesini ve sünekliği arttırmıştır. Tekrarlı yüklemeler boyunca çelik elemanlarda burkulma gözlenmemiştir. Bununla beraber takip edilen yüklemelerde analizlerinde, kiriş

donatıları, kolon donatılarından önce akmıştır.

Moment-eğrilik ilişkisi kesit davranışının en iyi şekilde anlaşılması için kullanılan parametredir. Kesit özelliklerinin farklı olması açısından kolonun kirişe saplandığı bölgedeki moment-eğrilik grafiği Şekil 14'de verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanının eğrilik sünekliği betonarme kolon-kiriş birleşim elemanından yüksek olmakla beraber, daha rijit bir davranış sergilediği görülmüştür.

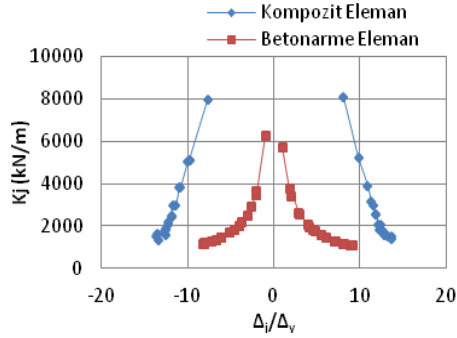


Şekil 14. Birleşim elemanları moment-eğrilik ilişkisi

7. Rijitlik

Birleşim elemanlarının artan yer değiştirmeler sonucunda rijitlik derecelerinde değişim gözlemlenmiştir. Döngüsel rijitlik katsayıları, yük-deplasman ilişkisini kullanarak $K_j = P_j / \Delta_j$ kolaylıkla elde edilebilir. Burada P_j , yük, Δ_j yer değiştirmelerdir. Betonarme kiriş-kolon ve çelik profil gömülü kompozit kolon-betonarme kiriş birleşim elemanı yük etkisi altında rijitlik katsayısı, K_j , bağlı yer değiştirmeye (Δ_j / Δ_y) bağlı grafiği Şekil 14'de verilmiştir. Burada Δ_y akma anındaki yer değiştirmedir. Şekil 15'de verilen grafik incelendiğinde her iki birleşim elemanı da betonun çatlaması donatı çeliğinin ve çelik profilin akması sonucu belirgin bir şekilde rijitlik kaybı

meydana gelmiş olduğu görülmektedir. Bununla beraber kompozit kolon-betonarme birleşim elemanının daha rijit davrandığı belirlenmiştir



Şekil 15. Rijitlik değişimlerinin bağlı yer değiştirmeye bağlı grafiği

Tablo 2. Yük ve deplasman değerleri

Eleman	Akma				Maksimum Yük				Kopma			
	P _y (kN)		Δ _y (mm)		P _{max} (kN)		Δ _{max} (mm)		P _u (kN)		Δ _u (mm)	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Betonarme	34,9	19,18	9,69	41,94	47,99	47,96	170,35	153,12	40,79	40,77	175,38	162,35
Kompozit	47,94	47,65	29,99	13,28	63,99	63,99	311,01	271	54,39	54,39	316,24	278,2

Tablo 3. Süneklik oranları ve enerji yutma kapasitesi

Eleman	μ(+)	μ(-)	μ _{ort}	E _{toplam} (J)
Betonarme	18,09	3,87	10,98	1263,51
Kompozit	10,54	18,09	14,32	2867,06

8. Süneklik

Yük-yer değiştirme eğrilerinden yararlanılarak yapılan süneklik değerlendirmesinde betonarme kolon - kiriş birleşimi 34,90kN' da akmaya başlamış olup 9,69mm deplasman yapmıştır. Çevrimsel yükün artmasıyla birlikte birleşim bölgesinin taşıdığı yük ve deplasman artmaktadır. Maksimum taşıma kapasitesine 47,99kN' da ulaşmış olup 170,35mm deplasman yapmıştır (Şekil 8).

Kompozit kolon- betonarme kiriş birleşimi 47,94kN' da akmaya başlamış olup 29,99mm deplasman yapmaktadır. Eleman maksimum taşıma kapasitesine 63,99kN' da ulaşmış olup 311,01mm deplasman yapmıştır (Şekil 11). Süneklik oranları açısından değerlendirme yapılmak istenirse; süneklik oranı, $\mu = \Delta_y / \Delta_u$, akma anındaki deplasmanın, Δ_y , maksimum yükün %85'ine karşılık gelen deplasmana, Δ_u , oranı olarak hesaplanabilir [21]. Birleşim elemanlarına ait akma yükü, maksimum yük, kopma yükü ve bu yüklere karşılık gelen yer değiştirmeler Tablo 2'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak hesaplanan süneklik oranları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de görüldüğü üzere kopma anında kompozit birleşim elemanı betonarme birleşim elemanına göre daha fazla deplasman yaparak daha sünek davranış sergilemiştir.

9. Enerji yutma kapasitesi

Enerji yutma kapasitesi genel olarak yük-deplasman eğrisi altında kalan alan hesaplanarak kıyaslama yapılabilir. Buna göre kompozit birleşim elemanı enerji yutma kapasitesi 2868,06 Joule iken betonarme birleşim elemanın 1263,51 Joule olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla kompozit birleşim elemanın enerji yutma kapasitesinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

10. Sonuç ve değerlendirme

Bu çalışmada, kompozit kolon ve betonarme kiriş birleşim bölgesinin tersinir tekrarlı yükler etkisi altındaki

davranışı nümerik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında düğüm noktasının süneklik mertebesi ve göçme şekli incelenmiş, betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesi performansı ile karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda beton ve çelik elemanlarında en büyük basınç ve çekme gerilmeleri kolon-kiriş kesişim bölgesinde meydana gelmiştir. Betonarme kolon-kiriş birleşim elemanı 47,97 kN'a kadar yatay yük taşırken 19,4 cm yer değiştirme yapmıştır. Kompozit kolon-betonarme birleşim elemanı ise 63,62 kN yatay yük taşırken 30,3 cm yer değiştirme yapmıştır. Analiz sonuçları her iki birleşim şeklinde de kolon ve kiriş birleşim yüzeylerindeki betonun ezilmesine rağmen, kompozit kolon-betonarme kiriş birleşimi betonarme kolon-kiriş birleşimine göre göçmeden önce 1,32 kat daha fazla yatay yük taşımış, 1,56 kat daha fazla yer değiştirme yapmıştır. Betonarme kolon-kiriş birleşim bölgesinde dayanım betonun ezilmesi ile kontrol edilirken, kompozit kolon-betonarme kiriş düğüm noktasında çelik profilin akması ile kontrol edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada ABAQUS analizlerinin tamamlanmasında emeği geçen Dr. Emin HÖKELEKLİ'ye teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynakça

- [1] Lee, S. J. (1987). Seismic behavior of steel building structures with composite slabs," thesis presented to Lehigh University at Bethlehem, Pa, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- [2] Lee S-J, Lu L-W. Cyclic tests of full-scale composite joint subassemblages. JStruct Eng, ASCE 1989(8):1977-98.
- [3] Lee S-J, Lu L-W. Cyclic load analysis of composite connection subassemblages. In: BJORHOVDE, COLSON, HAJJAR, STARK, editors. Connections in steel. Chou CC, Uang CM., " Cyclic performance of a type of steel beam to steel-encased reinforced concrete column moment connection" Journal of Constructional Steel Research 2002; 58 : 637-663.
- [4] Tao MX, Fan JS, Nie JG., "Seismic behavior of steel reinforced concrete column-steel truss beam hybrid joints" (2013).
- [5] Liao FY, Han LH, Tao Z. " Behaviour of composite joints with concrete encased CFST columns under cyclic loading: Experiments" Engineering Structures 2014; 59: 745-764.
- [6] Zeng L, Cui Z, Xiao Y, Jin S, and Wu Y., " Cyclical Behavior of Concrete-Encased Composite Frame Joints with High Strength Concrete" Hindawi Publishing Corporation 2015; Article ID 873162.
- [7] Campian C, Nagy Z, Pop M., " Behavior of Fully Encased Steel-Concrete Composite Columns Subjected to Monotonic and Cyclic Loading" Procedia Engineering 2015 ; 117 : 439 - 451.
- [8] Chen CC, Chen Chien C, Hoang TT., "Role of concrete confinement of wide-flange structural steel shape in steel reinforced concrete columns under cyclic loading" Engineering Structures 2016; 110 : 79-87.
- [9] Weng, C.C., Yen, S.I. Comparisons of concrete-encased composite column strength provisions of ACI code and AISC specification, Engineering Structures, 2002; 24: 59-72.
- [10]

- [11] Di Sarno, L., Pecce, M.R., Fabbrocino, G. Inelastic response of composite steel and concrete base column connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 2007; 6:3 819-832
- [12] Ellobody, E., Young, B. Numerical simulation of concrete encased steel composite columns. 2011] *Journal of Constructional Steel Research*; 67:211-222
- [13] Begum M, Driver, R.G. Elwi, A.E. Behaviour of partially encased composite columns with high strength Concrete. *Engineering Structures*, 2013, 56: 1718-1727.
- [14] Gonçaves, R., Carvalho, J. An efficient geometrically exact beam element for composite columns and its application to concrete encased steel I-sections. *Engineering Structures*, 2014; 75:213-224
- [15] Yu-Feng An, Lin-Hai Han, Roeder, C. Performance of concrete-encased CFST box stub columns under axial compression, *Structures* 3 (2015) 211-226.
- [16] Park, R., and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, 1975, 786p.
- [17] *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, 2007.
- [18] *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik*, 2017
- [19] *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures Part-1: general rules and rules for buildings*. Brussels :European committee for Standardization; 2005
- [20] *ABAQUS standard user's manual*. Vol. 1, 2 and 3 Version 6.8-1, USA: Hibbitt, Karlsson and Sorensen. Inc.; 2008.
- [21] *Specification for test methods of seismic buildings*. Beijing: rchitecture Industrial Press of China; 1997 [in English].