

SAFECAST Araştırma Projesinin Bir Parçası Olarak İki Tip Prefabriğe Dış Kolon - Kiriş Birleşim Bölgesi

İçindekiler

BÖLÜM I

- İTÜ - Türkiye’de Denenen Birleşimler ve Numuneler *Endüstri Tipi* dış kolon-kiriş birleşimi *Konut Tipi* dış kolon-kiriş birleşimi
- Deneyin Özellikleri, Deney Düzeneği ve Ölçümler
- Deney Sonuçları
Tek Yönlü ArtanYüklemeler
İki Yönlü Artan Yüklemeler
- Yük - Yerdeğiştirme Eğrilerinin Karşılaştırılması
- İlk Değerlendirmeler, Yeni Deney Numuneleri ve Ek Deneyler
- Deneysel Çalışmalardan Sonraki Toplu Değerlendirme
- Kuramsal Çalışmalar
Tek Yönlü Artan Yükler için Hesap
İki Yönlü Artan Yükler için Hesap ve Eşdeğer Çevrimler
Üretilmesi
- Yapısal Modelleme ve Yapısal Çözümlemenin Önemi
Örnek 1
Örnek 2
- Boyutlandırma
- Sonuçlar
- Ekler

BÖLÜM II

Bu bölüm, SAFECAST Projesi kapsamında diğer ortak kurumlarda denenmiş ve değerlendirilmiş birleşimlerden seçilmiş bazılarının sonuçlarını ve boyutlandırma esaslarını kapsamaktadır. Konuda bütünlüğü sağlamak üzere *Beton Prefabrikasyon* dergisinin uygun bulunacak sonraki sayılarından birinde yayınlanacak ve aşağıdaki başlıkları kapsayacaktır:

Atina Ulusal Teknik Üniversitesi - NTUA : Yunanistan

Milano Politeknik - POLIMU : İtalya

Lubliyan Üniversitesi - UL : Slovenya

Birleşik Araştırma Merkezi - JRC - ELSA : Avrupa Birliği

Boyutlandırma

Konu daha sonra yayınlanacak ve tartışmaların yer alacağı son bir yazı ile toparlanacaktır.



Prof. Dr.
Faruk KARADOĞAN

Kasım 1944 Mersin doğumludur. Haziran 1966'da İTÜ İnşaat Fakültesini bitirmiştir. "İkinci Mertebe Teorisiyle Deprem Hesabı İçin Bir Metod" adlı tez ile 1973'de "Doktor Mühendis" ünvanını İTÜ İnşaat Fakültesinden almıştır. 1971'de Imperial College de kısa süreli, 1976'da Lehigh Üniversitesi-ABD'de uzun süreli bilimsel çalışmalarda bulunmuştur. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarının kurucu öğretim üyelerinden ve 1993-2006 döneminde Laboratuvar yöneticiliğini üstlenmiştir. Altı kitabın yazar ve editörleri arasındadır. Türkçe ve İngilizce kaleme alınmış 130'u aşkın makale ve bildirisi bulunmaktadır. Çok sayıda bitirme ödevi, yüksek lisans ve altı doktora çalışmasını yöneterek tamamlamıştır. Ulusal ve uluslararası ortak bilimsel çalışmalarını sürdürmektedir. İTÜ de Dekan Yardımcılığı, Rektör Yardımcılığı ve Rektör olarak yönetim görevleri üstlenmiştir.



Doç. Dr.
Ercan YÜKSEL

Aralık 1966 Eskişehir doğumludur. Haziran 1987'de İTÜ İnşaat Fakültesini bitirmiştir. "Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi" isimli tezyle 1998'de "Doktor" ünvanını almıştır. 1993'de Tokyo Üniversitesi ve BRI da, 2004'de New York State University at Buffalo'da bilimsel çalışmalar yapmıştır. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında deneysel çalışmalar yürütmektedir. Türkçe ve İngilizce yazılmış çok sayıda makale ve bildirisi bulunmaktadır. Ulusal ve uluslararası ortak bilimsel çalışmalarını sürdürmektedir. Halen İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı Eş-Başkanı olarak görev yapmaktadır.



Yrd. Doç. Dr.
İhsan Engin BAL

İnşaat Mühendisliği eğitimini 1996-2000 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde yaptı. 2003 yılına kadar onarım ve güçlendirme projelerinde çalıştı. 2003-2005 yılları arasında İTÜ Deprem Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2005 yılında tüm sınavları geçerek İtalyan Hükümeti'nden aldığı burs ile Pavia Üniversitesi ROSE School'da doktora eğitimine başladı, 2008 sonunda mezun oldu. 2011 sonuna kadar Kaliforniya merkezli bir firmada Türkiye, İtalya ve Lübnan bölgelerindeki güçlendirme işlerinden sorumlu baş mühendis olarak görev yaptı. Bir süre San Diego (Kaliforniya) ve Atina ofislerinde görev aldı. 2012 yılı başından itibaren ise İTÜ Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır.

BÖLÜM I

Giriş

SAFECAS T Avrupa Komisyonunun desteklediği uluslararası bütünler nitelikteki bir dizi projenin üçüncüsüdür. Amacı prefabrike yapı elemanlarından oluşan bina türü yapı sistemleri için yeni birleşim türleri geliştirmektir. Küçük ve orta boy girişimciler ya da onların oluşturduğu birlikler ve araştırma yaparak teknoloji geliştiren Avrupa Birliği Üye Devletlerinin bazı kurumlarını bir araya getiren proje, sorumluluklar paylaşarak aşama aşama tamamlanmaktadır. Sonunda uygulamacının önüne deneylerle sinanmış, tasarım ilkeleri belirlenmiş ve yeter güvencilikle kullanılabilir çözümler konulmaktadır.

Bu projenin üye ülkeler açısından önemli olan bir yanı, biraraya gelmekte olan araştırma kurumlarının ve araştırmacıların, birbirlerinden görme ve birbirlerinden öğrenme ortamının yaratılmasıdır. İçeriğinde süreklilik bulunan araştırma olgusu ve kavramı açısından bu, hem araştırmacılar hem de araştırmayı desteklemek konumunda olanlar için çok önemlidir. 10 milyon nüfuslu Portekiz, 45 milyon nüfuslu İspanya, 60 milyon nüfuslu İtalya, 2 milyon nüfuslu Slovenya, 11 milyon nüfuslu Yunanistan ve 75 milyon nüfuslu Türkiye'nin katkıda bulunduğu proje; işbirliğinin daha hızlı sonuç alma, güçbirliğinin de yükümlülükleri dağıtma açısından ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir. Portekiz'in büyük sarsma tablasının bulunduğu ulusal laboratuvarı, Slovenya'nın deprem mühendisliği konusundaki birikimi, İtalya'da Milano Politeknikte kurulan çalışma düzeni, yine İtalya İspra'da kurulu Avrupa Birliğinin büyük olanaklar sağlayarak desteklediği ELSA Laboratuvarı ile Yunanistan'ın ve İspanya'nın küçük boyutlu fakat çok etkin kullanılabilen laboratuvarları ülkemiz açısından dikkatle değerlendirilmelidir.

Araştırma ve teknoloji geliştirme kapsamında bu projede laboratuvar olanaklarıyla yer alan İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında 1/1 ölçekli sekiz, 1/2 ölçekli altı deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde kullanılan numunelerin hazırlanması, laboratuvarda sinanması ve bulguların değerlendirilmesi aşamalarında Türkiye Prefabrik Birliği ve destek veren teknik komiteleri ile İTÜ ve dışından pek çok araştırmacı bir araya gelmiş, ortak çalışmalardan çok yönlü yarar sağlanmış ve güçbirliğinin önemi bir kez daha yaşanmıştır.

SAFECAS T projesi, *döşeme elemanının döşeme elemanına, döşeme elemanının kirişe, kirişin kolona, kolonun temele, cephe elemanlarının cephe elemanlarına ve kirişlere* yeni bağlantı elemanları kullanılarak esas itibarıyla de kuru birleşimlerle bağlanmasına ve sistemde kavrama betonu (topping) kullanılmamasına yönelik olarak hazırlanmıştır. Ancak üye ülkelerin öncelikli gereksinimleri ve sağlanan parasal destekle süre de gözönüne alındığında çalışma programlarında bazı uyarlamalar yapılmıştır. Bu kapsamda olmak üzere cephe elemanlarına yönelik çalışmalar sınırlanmış, olası yeni bir proje içine aktarılmış ve bazı ıslak birleşimler de gözönüne alınmıştır. Bunlardan aşağıda ayrıntısı ile işlenecek olan iki farklı kolon - kiriş birleşimi *karma* ya da *melez* birleşimler olarak programda yerini almış ve ülkemizde denenerek elde edilen sonuçlar kullanıcılara sunulacak düzeye getirilmiştir. Kuru ve ıslak birleşimlerin ortak özelliklerini taşıyan bu birleşimlerde ülkemizdeki uygulamalara koşut olmak üzere kavrama betonunun da kullanılması öngörülmektedir.

Deprem etkisi karşısında kendisinden, öngörülen düzeyde yerdeğiştirme sünekliğini göstermesi beklenen ve bunu sağlarken de bütün elemanlarının kritik kesit ve bölgelerinde de genel süneklik beklentisini sağlamak üzere ona uyumlu bölgesel süneklikler sergilemesi istenen yapı sisteminin boyutlandırılmasında ve donatılmasında, elemanların birbirine yük aktarmakta olduğu birleşim bölgeleri ve yakın çevrelerinin önemi büyüktür.

Yerinde dökme betonla yapılan pek çok uygulamanın depremden sonra yıkılmasındaki önemli nedenler arasında, uygun donatılmayan birleşim bölgelerinin daha depremin başlangıcında dağılması gelmektedir. Kalıcı şekildeğiştirmelerin buralarda yığılması diğer bölgelerdeki taşıma kapasitelerinden ve süneklikten yararlanamadan sistemin elden çıkmasına neden olabilmektedir. Aynı tehlikenin daha büyüğü, önceden dökülen betonarme elemanların denenmemiş yöntemler ile biraraya getirilmesi ve yapıyı oluşturması önerildiğinde de mevcuttur. Bu tehlikeyi azaltmak üzere, önerilen iki farklı birleşim bölgesi için çeşitli deneyler yapılmış, simetrik olmayan kiriş kesitleri ile bu kesitlerde pozitif ve negatif eğilme momentleri oluştururken tek yönde artmakta olan yükler etkisindeki davranış ile iki yönlü yükler etkisindeki davranış, ayrı ayrı numuneler üzerinde incelenmiştir.

Bu yazının amacı deneysel çalışmalardan başlayarak varılan sonuçları özetlemek, yapılan gözlemleri paylaşmak, ara sonuçların nasıl genellenebileceğini tartıştıktan sonra çıktılarının yapısal çözümlerinde kullanılırken dikkat edilmesi gereken noktaları vurgulamak ve hesap esasları üzerinde durmaktır.

Bu Alanda Ülkemizde Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

Ertaş ve Özden (2006); deprem bölgelerinde kullanılmak üzere dört farklı prefabrike kolon-kiriş birleşim detayını tersinir tekrarlı yükler etkisinde denemiş ve monolitik sistem deneyi sonuçları ile karşılaştırmıştır. Islak birleşim, kaynaklı kompozit birleşim ve bulonlu birleşim deneysel olarak incelenen birleşimler arasındadır. CIPC kodlu numunede birleşim bölgesi kolon ve düğüm noktasında gerçekleştirilmiştir. Prefabrike kolon üretilirken kolonun orta kısmında yaklaşık 50 cm yüksekliğinde bir boşluk bırakılmıştır. Prefabrik kiriş üretiminde U şeklinde donatılar ilave edilmiştir. Birleşim esnasında prefabrik kiriş bu boşluğa oturtulmuş ve bu bölge çelik lifli beton ile doldurulmuştur. CIPB kodlu numunede kolondan ve kiriş ucundan çıkan U şeklindeki donatılar birbirinin içine geçecek şekilde yerleştirilmiştir. Yine çelik lifli beton ile boşluklar doldurulmuştur. CMP-W kodlu kompozit birleşim numunesinde, kiriş alt boyuna donatıları çelik plakaya kaynatılarak, üst donatılar ise kolon bölgesinde bırakılan boşluğa ankre edilmesi ile bağlantı gerçekleştirilmiştir. Mod-B kodlu numunede bulonların geçeceği boşluklar çelik boru yerine tolerans paylarını arttırmak için kutu profil kullanılarak oluşturulmuştur. Bulonları yerleştirmek için kiriş alt ve üstünde kanallar bırakılmıştır. Mod-B nin denenen numuneler arasında kapasite, süneklik ve enerji tüketim kriterlerine göre en iyi performansı gösterdiği belirtilmiştir.

Korkmaz ve Tankut (2005), prefabrike sistemler için bir kolon-kiriş birleşim tipinin deprem davranışını belirlemeye yönelik çalışma yapmıştır. İncelenen birleşim detayında; kiriş üst donatıları bindirmeli olarak, alt donatıları ise levhaya kaynaklanarak guseye ankre edilmektedir. Orta kirişler, kolonda bırakılan guselere oturtulup donatı bağlantıları yapıldıktan sonra betonlanmaktadır. Kaynaklı birleşim, yoğun donatı içeren kirişlerde önerilmektedir.

Kaya ve Arslan (2009), ard germeli prefabrike kolon-kiriş birleşimlerini farklı yük seviyeleri için deneysel olarak incelemiş ve ANSYS programı yardımıyla üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analizini yapmıştır. Analitik modellerin başlangıç rijitliğinin deney numunelerinkine göre daha düşük olduğu belirtilmiştir.

SAFECAS T Kapsamında İTÜ - Türkiye'de Denenen Birleşimler ve Numuneler

Çok katlı çerçevelerin dış kolon - kiriş birleşimlerine bağlanmakta olan kirişler, alt ve üst katlardaki kolonların düğüm noktasına aktarmakta olduğu ve düğüm noktası içinden geçerek gelen deprem etkilerinin toplamını karşılamak zorundadır; bu nedenle de diğer birleşim bölgelerinden daha öncelikle araştırılmalıdır. Ülkemizdeki beton - prefabrikasyon uygulamacılarından gelen bir istek ve üniversite - sanayi işbirliği kapsamında gelişen bir örnek olarak, SAFECAS T projesi çerçevesinde incelenen prefabrike iki farklı dış kolon - kiriş birleşim bölgesi Şekil 1 ve Şekil 2 de yer almaktadır.

Endüstri Tipi dış kolon - kiriş birleşimi

Bu birleşim tipinde, kısa bir kosolu bulunan alt kat kolonu ile birleşim bölgesi boş bırakılmış üst kat kolonu birlikte dökülmemekte, bunlardan bağımsız olarak hazırlanmış ve etriyelerinin bir bölümü dışarıda bırakılmış *öngermeli prefabrike kiriş* konsola oturtularak birleşim bölgesine yaklaştırılmaktadır, Şekil 1a. Kirişin alt köşesinde gömülü bulunan çelik plaka konsolun üzerine daha önceden yerleştirilmiş olan çelik plakaya kaynatılarak alt birleşim sağlanmaktadır. Daha sonra boşluklu döşemeler çerçeve düzlemine dik doğrultuda kirişe bastırılmakta, kolonlar arasındaki boşluktan döşemelerin en üstüne yakın konumda *yeter miktarda* U şeklindeki firkete donatı yerleştirilmektedir. Düzleme dik ikincil kirişlerin ve düğüm noktası içindeki sargı donatılarının da yerleştirilmesinden sonra yerinde beton dökülerek birleşim tamamlanmaktadır. Uygun bir zamanda kolona yaklaşmış bulunan kiriş yüzü ile kolon arasındaki boşluk, rötresi az harçla basınçlı olarak doldurulmaktadır.

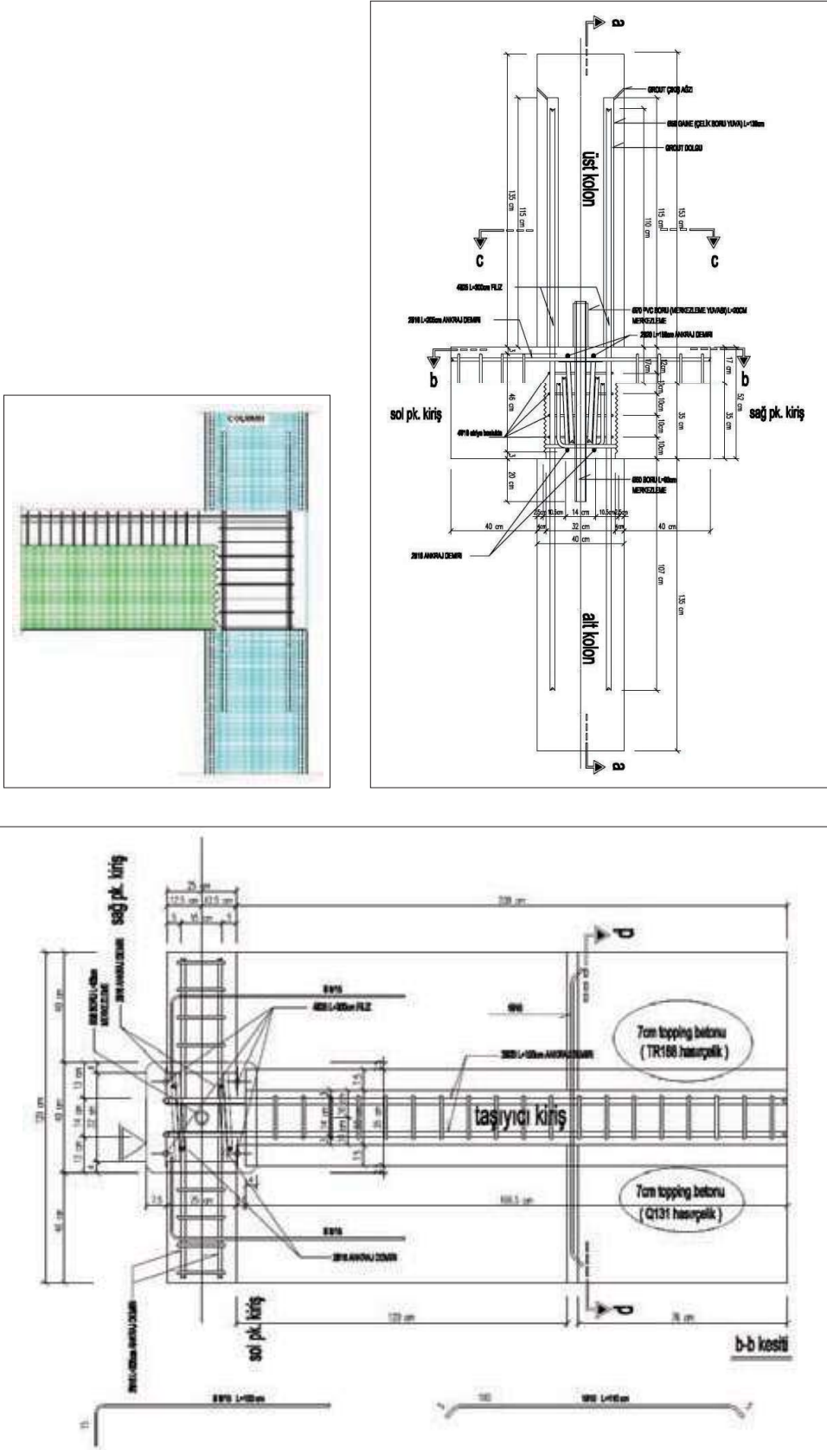
Bu tür birleşimin davranışını anlamak üzere, 1/2 ölçekli olarak hazırlanan 8 adet numunenin yapım aşamalarına aşağıdaki fotoğraflarda yer verilmektedir, Şekil 1b.



Şekil 1 b. Endüstri Tipi birleşimin yapım aşamaları

Konut Tipi dış kolon-kiriş birleşimi

Bu birleşim, endüstri tipi birleşimden farklı olarak bir kiriş ile iki kolon elemanın birleşimi olarak nitelendirilmelidir. Çünkü *endüstri tipindekine* benzer bir prefabrike öngermeli kiriş önce alt kolon ile birleştirilmekte sonra bu birleşimin üstüne yeni bir kolon özel bir detayla bağlanmaktadır. Ayrıntıları Şekil 2a da çizimsel olarak verilen bu birleşimde kısa konsol bulunmamakta, kiriş kolon kenarına oturmakta ve bu kolondan dört adet eşdeğer donatı filizi yükselmektedir. Kirişten çıkan alt ve üstteki eğilme donatıları bu filizlere takılmadan birleşim bölgesini geçerek alt kolonun dış yüzüne yaklaşabilmektedir. Düğüm noktası içinin sargı donatıları ile boşluklu döşeme elemanları ve kavrama betonunun en üstte yer alacak donatıları yerleştirildikten sonra yerinde beton dökümü başlayarak birinci aşama tamamlanmaktadır. Daha önce uygun dört delikle hazırlanmış bulunan üst kolon, kılavuzlama elemanının da yardımıyla eşdeğer filizlerin üzerine, alt kolonla yeni kolon arasında küçük bir aralık bırakılarak oturtulmakta, eşdeğer filizlerin çevresindeki boşluklara basılan harcın bu aralıktan dışarı çıkması beklenerek birleşim tamamlanmaktadır.



Şekil 2 a. Konut Tipi dış kolon - kiriş birleşimi

Bu tür birleşimi daha iyi tanıtabilmek üzere, kolon - kiriş birleşim bölgesi için 1/1 ölçekli olarak hazırlanan 6 adet numunenin yapım aşamalarına aşağıdaki fotoğraflarda yer verilmektedir, Şekil 4.



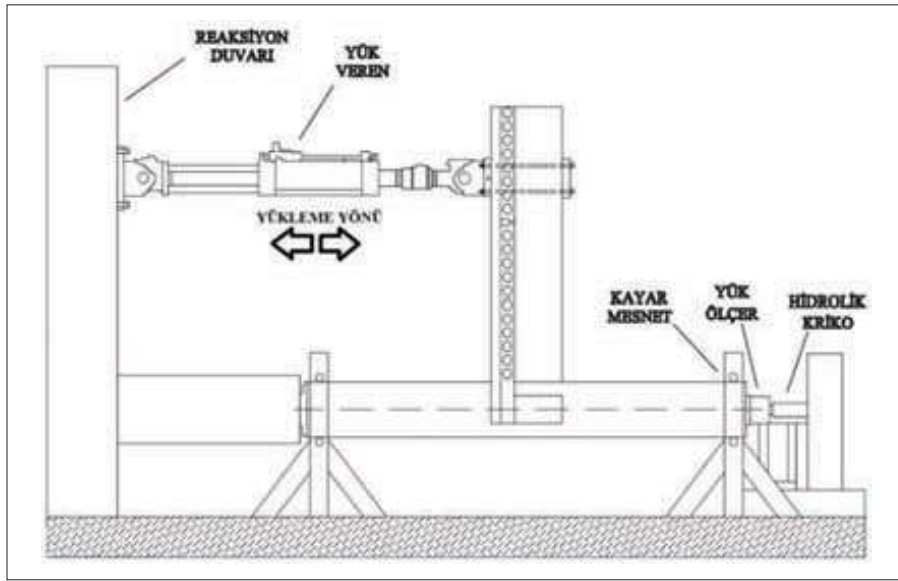
Şekil 2 b. *Konut Tipi* birleşimin yapım aşamaları

Deneyin Özellikleri, Deney Düzenegi ve Ölçümler

Hazırlanan kolon - kiriş birleşim bölgesi numuneleri 90 derece döndürülmüş konumda mesnetlenerek Şekil 3 deki düzen içinde denenmişlerdir. Deney düzeneginde yatay konumda bulunan kolonlara hidrolik veren ile yük uygulanıp, küçük dayanma elemanlarıyla alınan tepkiler ile kolonlar üzerinde aksel kuvvetler oluşturulmuştur. Deney düzeneginde düşey konumda bulunan kirişin ucuna mafsallı olarak bağlanan hidrolik veren ile bu uç ya sürekli itilmiş veya çekilmiş ya da yön değiştirerek artan yükler etkisinde bırakılmıştır. Bu yüklemelerde yatay konumdaki kolonlara moment ve aksel yük aktarılmış olmaktadır. Bu aktarım kolon grubu ortasında pratik olarak yok sayılabilecek bir düşey yerdeğiştirmeye neden olabilmektedir. Kesme kuvvetinin aksel kuvvette oluşturduğu değişim ise okunmakta ve yine yok sayılabilecek olan bu etki verenler üzerindeki ölçümlerden izlenebilmektedir.

Numunelerin deney sırasında yapacağı mutlak ve göreceli yerdeğiştirmeleri saptamaya yetecek kadar yerdeğiştirme ölçer ölçüm sistemine yerleştirilmiş ve bilgiler veri toplayıcıya aktararak değerlendirilmiştir, Şekil 4.

Tek yönlü ve yön değiştirerek artan yükler etkisinde kalacak her iki tipteki kolon - kiriş birleşim bölgesinin kritik kesitleri yüklem düzlemine dik doğrultudaki eksene göre simetrik değildir. Bu nedenle tek yönlü olarak artacak yüklerin sıfır yerdeğiştirme konumundan hangi yöne doğru bir hareketle yükleneceği sorunu vardır. Ters yöndeki yüklemenin farklı özellikte bir kesite yapılacağı açıktır. Tek yönlü olarak artan yüklem etkisinde, yüklem yönünün diğer doğrultudaki yüklem koşullarına etkisini gözleyebilmek üzere iki ayrı numunenin denenmesi kararlaştırılmıştır.



Şekil 3. Deney düzenegi



Şekil 4. Ölçüm düzeneği

Tablo 1. Numunelerin isimlendirme düzeni

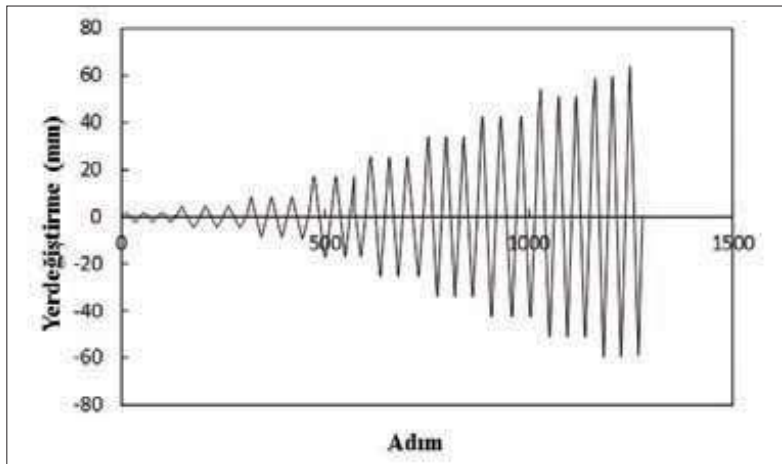
Endüstri Tipi	ITMNM	ITMPM	ITC-1	ITC-2
Konut Tipi	RTMNM	RTMPM	RTC-1	RTC-2

IT: Endüstri Tipi, RT: Konut Tipi, M: Monotonik yükleme, C: Tersinir tekrarlı yükleme, PM: Pozitif Moment, NM: Negatif Moment

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin isimleri ve önemli özellikleri Tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo 1 de 8 deneyin yapılması öngörülmekle birlikte, ilk aşamada 10 deney gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulguların ışığında numune detayları üzerinde yapılan değişiklikler ile endüstri ve konut tiplerinden ikişer numune daha üretilerek sadece iki yönlü artan yüklemeler için toplam dört numune daha denenmiştir. İyileştirilme arayışları içinde yapılan değişikliklerin ayrıntıları ileriki paragraflarda yer almaktadır.

İki yönlü artan yüklemelerin sağlanabilmesi için kiriş ucuna uygulanan yerdeğiştirme çevrimleri Şekil 5 de verilmektedir. Bu çevrimlerin küçükten başlayarak arttığı ve her yerdeğiştirme genliği için üçer kez yinelendiği görülmektedir. SAFECAST projesi kapsamında yön değiştiren yükler etkisinde denenilen tüm numunelerde bu yükleme düzeni kullanılmıştır. Bazı durumlarda numunelere deney düzeneğinin elverdiği ölçüde en büyük yerdeğiştirmeler uygulanarak deney sonlandırılmıştır.



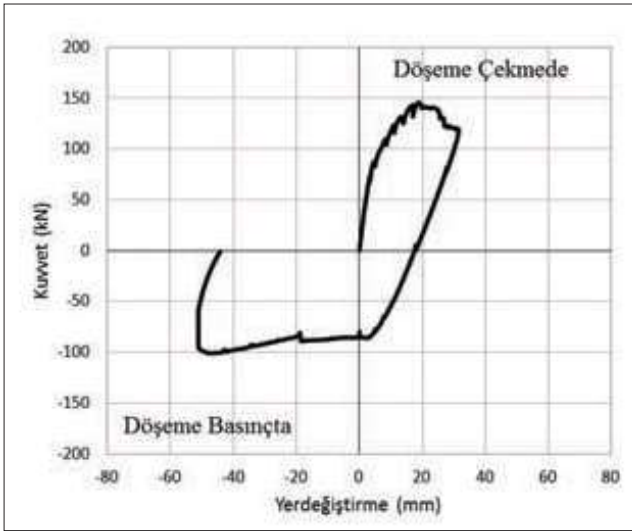
Şekil 5. İki yönlü giderek artan yerdeğiştirme çevrimleri

Deney Sonuçları

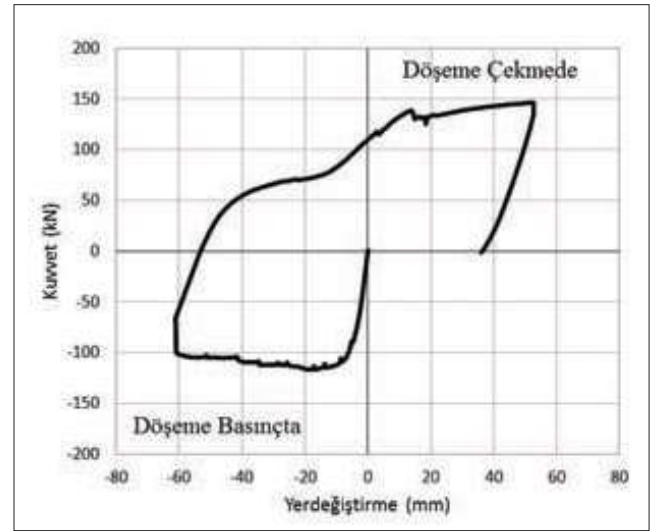
Yapılan deneylerin ve ulaşılan sonuçların hepsinin bu yazı içerisinde ayrı ayrı ele alınması olanağı yoktur. Burada ortak önemli özellikleri bulunan bazı örnek deney sonuçları üzerinde durulması benimsenmiştir. Ancak Ekler bölümünde bazı başka işlenmiş sonuçlara yer verilmekte ve ulaşılan tüm bilgilerin paylaşımı amacıyla bu bilgilerin yüklendiği bir elektronik ortam adresi de verilmektedir.

Tek Yönlü Yüklemeler

Endüstri tipi kolon-kiriş birleşim bölgesinin artan tek yönlü yükler etkisinde sergilediği davranış Şekil 6 da verilmektedir. Bu eğrilerin karşılaştırılmasından görüldüğü gibi; *endüstri tipi* birleşimler için, döşemenin çekme gerilmeleri etkisinde bırakıldığı tek yönlü artan yükleme durumu devamında basınç etkisine girmesinin dayanım üzerinde etkisi görece olarak azdır. Bu özellik döşemenin basınç gerilmeleri etkisinde bırakılarak başlatılan deney sonuçlarında da gözlenmektedir.



Döşeme çekmede olarak başlatılan yükleme



Döşeme basınçta olarak başlatılan yükleme

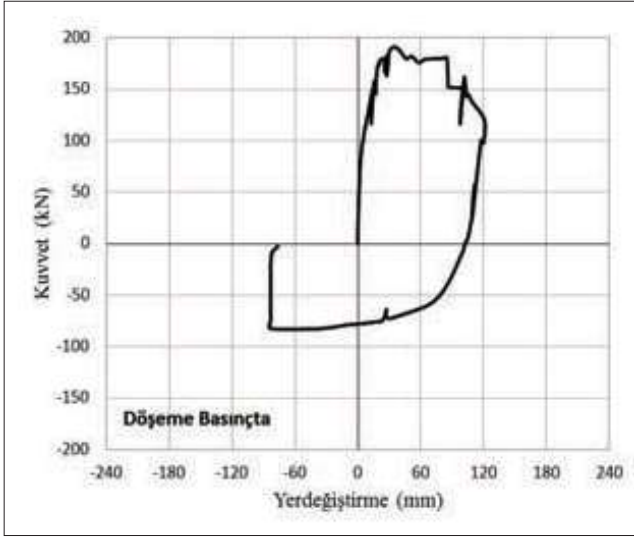
Şekil 6. Endüstri Tipi birleşimde tek yönlü yükleme sonuçları

Konut tipi kolon-kiriş birleşim bölgesinin artan tek yönlü yükler etkisinde sergilediği davranış da Şekil 7 de verilmektedir. Bu deney sonuçları göstermektedir ki;

- Döşemenin çekme gerilmeleri etkisinde bırakılarak başlatılan deneyde ulaşılan dayanıma, döşemenin basınç gerilmeleri etkisinde bırakılarak başlatılan deneyden sonra ulaşamamaktadır,
- Döşemenin basınç gerilmeleri etkisinde bırakılarak başlatılan deneyde ulaşılan dayanıma, döşemenin çekme gerilmeleri etkisinde bırakılarak başlatılan deneyden sonra belirgin bir farkla da olsa yaklaşmaktadır.

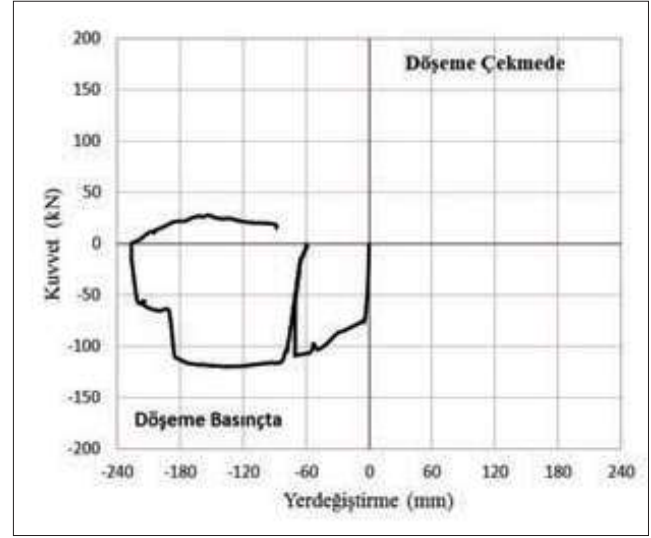
Bu karşılaştırma, döşemenin basınçta bırakılarak başlatılan yüklemenin döşemenin çekmede kaldığı zamanki dayanımını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Simetrik olmayan kritik kesitlerin iki yöndeki rijitlik ve dayanımları beklendiği gibi birbirinden farklıdır.

Tek yönlü artan yüklemelerden elde edilen bu eğrilerin, içinde küçük çevrimler yanında bir tane de diğerlerinden farklı darbe etkisi bulunduran *yakın depremlerin* yapı üzerindeki etkilerini yaklaşık olarak andırdığı bilinmektedir, [Krawinkler vd. 2001], [DBYBHY, 2007]. Oysa Şekil 5 de öngörülen yükleme biçimi uzaktaki bir depremin karakteristiklerini yansıtmaya yöneliktir. Dolayısıyla bu iki farklı yükleme sonunda ulaşılmış olan davranış özelliklerinin birbiriyle karşılaştırılması önem taşımaktadır. Böyle bir karşılaştırmaya aşağıdaki bölümlerde yer verilmektedir.



Döşeme çekmede olarak başlatılan yükleme

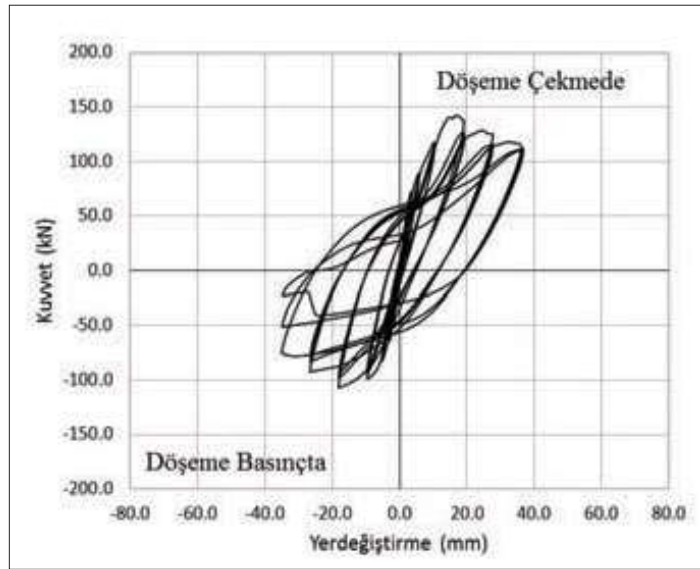
Şekil 7. Konut Tipi birleşimde tek yönlü yükleme sonuçları



Döşeme basınçta olarak başlatılan yükleme

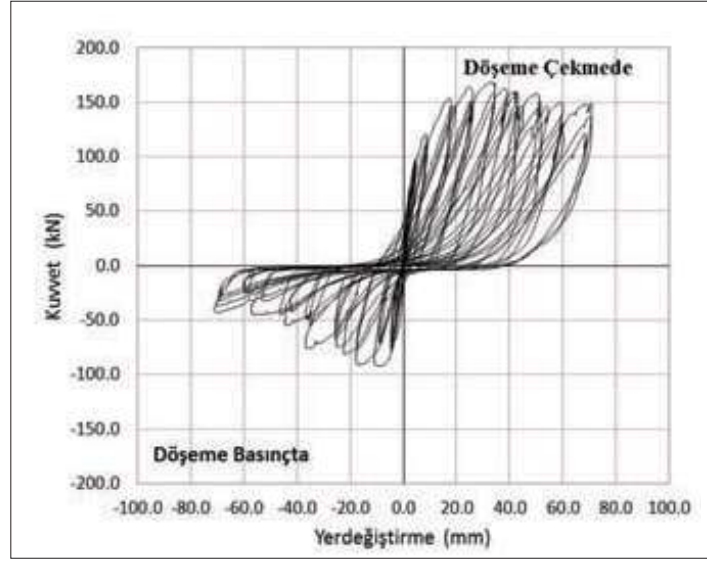
İki Yönlü Yükleme

İki yönlü artan yükler etkisindeki *endüstri tipi* kolon - kiriş birleşim bölgelerinin sergilediği davranış biçimi Şekil 8 deki örnekte verilmektedir. Şekilden ilerleyen çevrimlerde dayanımın ve rijitliğin azalmakta olduğu, önemli bir kayma oluşması ile karşılaşılmadığı ancak döşemenin çekmede ve basınçta olması durumlarında karakteristik büyüklüklerin birbirinden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Endüstri tipi numunelerin tipik yük - yerdeğiştirme çevrimleri

Konut tipi kolon-kiriş birleşim bölgelerinin iki yönlü artan yükler etkisinde sergilediği davranışın, ortak özellikler taşıyan bir örneği Şekil 9 da yer almaktadır. Her iki yönde de dayanım azalması gösteren bu davranış biçiminin *endüstri tipi* birleşimden iki farklı olduğu gözlenmektedir. Bunlardan birincisi kuvvetli kayma oluşması, ikincisi ise çevrimler ilerledikçe rijitlik azalma hızının düşük olmasıdır.



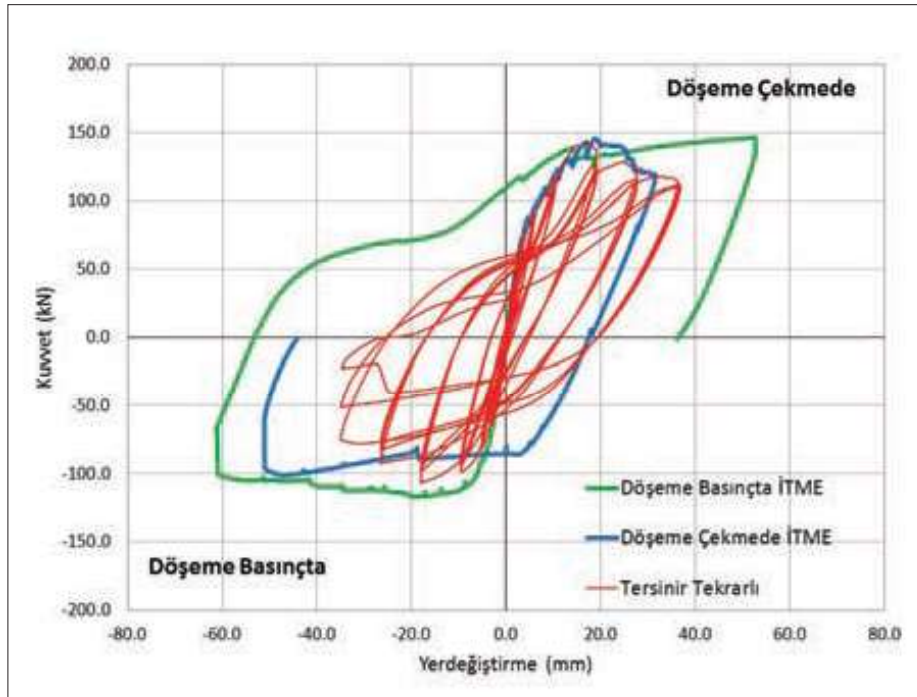
Şekil 9. Konut tipi numunelerin tipik yük - yerdeğiştirme çevrimleri

Yük - Yerdeğiştirme Eğrilerinin Karşılaştırılması

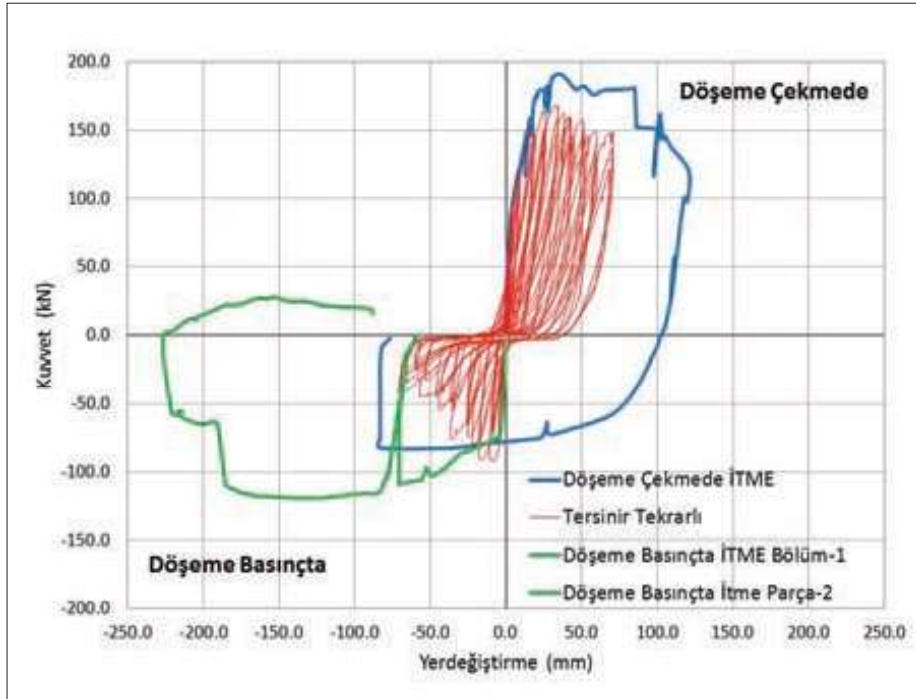
Endüstri ve konut tipi benzer numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek ve iki yönde artan yükler etkisindeki davranışlar sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11 de yük - yerdeğiştirme eğrileri üzerinden birbiriyle karşılaştırılmaktadır.

Gözlem sonuçları şöyle sıralanabilir;

- i- Döşemenin çekme gerilmeleri altında olması durumunda birinci dörtte bir'de tek yönlü ve iki yönlü artan yüklemelerin etkisindeki sistem birbirine oldukça yakın davranış sergilerken, üçüncü dörtte bir'de tek yönlü artan yüklemeye dayanımlar yakın olmakla birlikte dayanım azalması gözlenmemektedir.



Şekil 10. Endüstri tipi numunelerde karşılaştırma



Şekil 11. Konut tipi numunelerde karşılaştırma

- ii- Döşeme basınçta başlayan tek yönlü artan yükleme durumunda üçüncü dörte bir’de dayanım daha fazla ve kaybı azdır. Bunun devamında yine dayanımın kararlı olduğu görülmektedir; oysa aynı bölgede iki yönlü artan yükler dayanım kaybına neden olmaktadır.
- iii- Yük - yerdeğiştirme eğrileri arasındaki fark *konut tipi* birleşimlerde daha çarpıcı düzeyde ortaya çıkmaktadır, Şekil 11. Dayanım ve çevrimler ilerledikçe artan dayanımdaki azalma dikkat çekici düzeydedir. Buna karşılık rijitlikteki azalmalar birinci dörte bir’de önemli değilken üçüncü dörte bir’de yeniden önem kazanmaktadır.
- iv- *Konut tipi* için yük-yerdeğiştirme eğrilerinde genel olarak gözlenen kayma oyulmaları ikinci dörte bir’de tek yönlü artan yükler için ortaya çıkmamaktadır.

Bu gözlemler doğrultusunda yük artımı yöntemiyle sistemin taşıma gücünün tanımında hangi yük - yerdeğiştirme eğrilerinin gözönünde bulundurulmasının uygun olacağı konusuna özellikle simetrik olmayan sistemler için dikkat edilmesi gerekecektir, Bkz.Şekil 42. Aynı düşüncelerle zaman artımı yöntemi uygulanırken kullanılacak çevrim modellerinin yukarıda sıralanan deneysel çalışma sonuçlarını en iyi biçimde yansıtabilmesi sağlanmalıdır.

İlk Değerlendirmeler, Yeni Deneysel Numuneleri ve Ek Deneysel

Endüstri tipi numunelerde, deneysel çalışma sonuçlarından göçme biçimine yönelik olarak yapılan iki önemli gözlem aşağıda verilmiştir.

- i- Kiriş alt ucundaki levha ile ona dik konumdaki kaynaklı etriyelerin kaynaklarından kopması ve kolon - kiriş birleşim bölgesi içinde eğik çekme çatlaklarının ortaya çıkması yani önemli kalıcı şekildeğiştirmelerin birleşim bölgesi içerisinde yoğunlaşması, Şekil 12.
- ii- Kiriş alt boyuna donatılarının kopması, Şekil 12.

Buna karşılık; *Konut tipi* numunelerde gözlenen ortak hasar, düğüm noktası içinde doksan derece kıvrılmış olarak bulunan kiriş alt donatısının sıyrılması şeklindedir, Şekil 13.



Hasarın düğüm noktası içine doğru ilerlemesi



Kiriş alt boyuna donatılarının kopması

Şekil 12. Endüstri tipi numunelerde karşılaştırma



Hasarın düğüm noktası içine doğru ilerlemesi



Kiriş alt boyuna donatılarının kopması

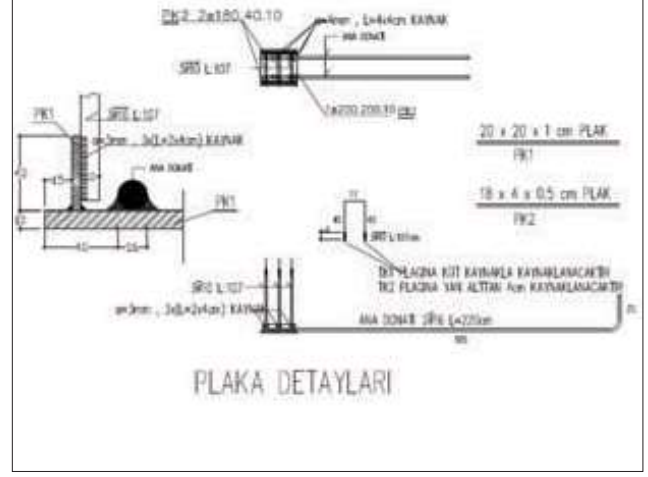
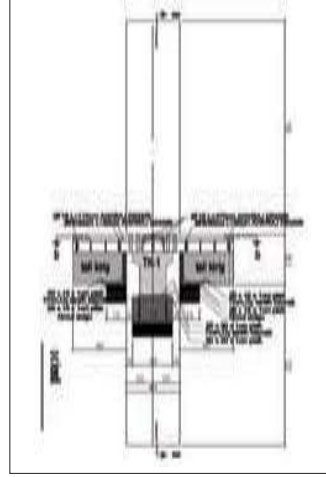
Şekil 13. Konut tipi numunelerde karşılaştırma

Mevcut birleşimlerde çok büyük değişikliklere gitmeden erken göçmeyi daha da geciktirecek ve birleşimin davranışını istenen doğrultuya yönlendirecek küçük bazı değişikliklerle numunelerin yenilenmesi ve sadece iki yönlü artan yükler etkisinde denemesine karar verilmiştir.

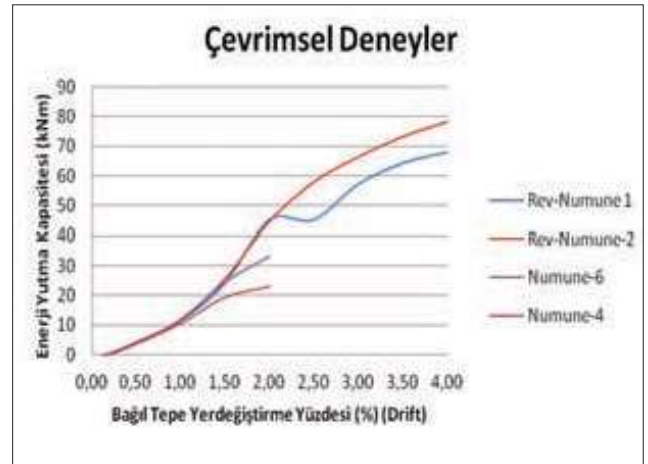
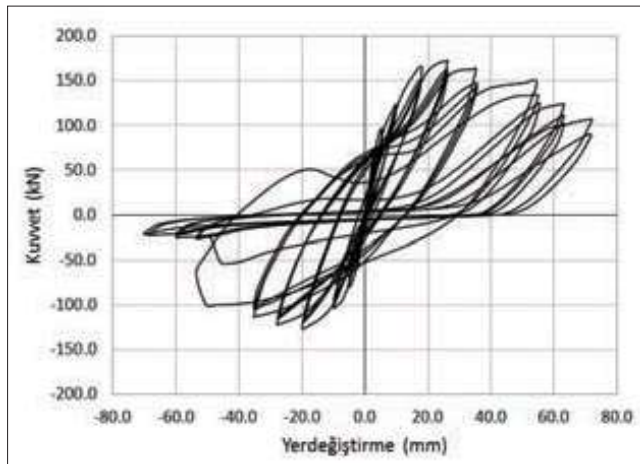
Endüstri tipi birleşimde öngörülen iyileştirmeler Şekil 14 de gösterilmektedir. Özetlemek gerekirse, etriye çapları arttırılmış ve kiriş alt ucundaki yatay çelik levhaya dikey olarak kaynaklanmış bir levhaya da kaynaklanmışlardır. Yatay levhaya kaynaklanan kiriş alt donatılarının karbon içerikleri gözden geçirilmiş ve özenli bir kaynak oluşturulmuştur. Böylelikle donatıdaki hasar düğüm noktası dışına taşınmak istenmiş, bu amaçla kaynaktan dolayı donatıdaki dayanım azalması, kaynağın etkin kalınlığı ve boyu ile levha kalınlığına dikkat edilmiştir.

Bu önlemler alındıktan sonra üretilen iki numunenin, iki yönlü artan yükler etkisindeki davranışları Şekil 15 de yer almaktadır. Önceki çevrimlerle karşılaştırıldığında, daha önce üzerinde durulan genel özelliklerin iyileştirilmiş numunelerde de görüldüğü

ayrıca enerji tüketme kapasitelerinde de bir artış olduğu sayısal verilerin işlenmesinden sonra elde edilen ve Şekil 15 de sunulan eğrilerden anlaşılmaktadır.



Şekil 14. Endüstri tipi birleşimde yapılan iyileştirmeler



Şekil 15. İyileştirilmiş Endüstri tipi numunelerde yük-yerdeğiştirme çevrimleri ve yığılımlı enerji grafikleri



Hasarın düğüm noktası içine doğru ilerlemesi



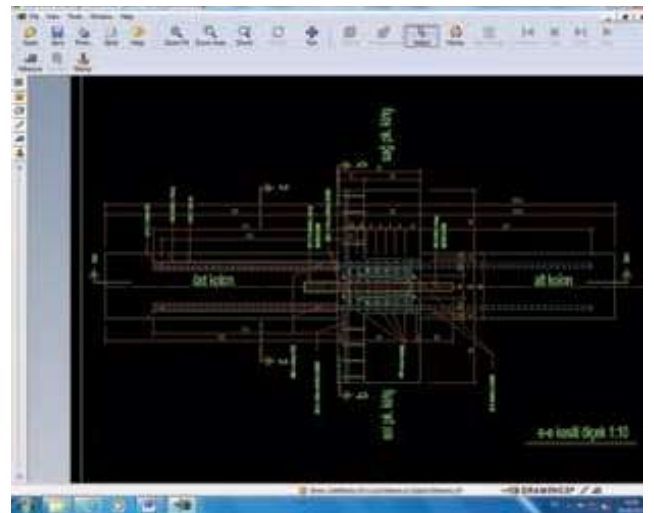
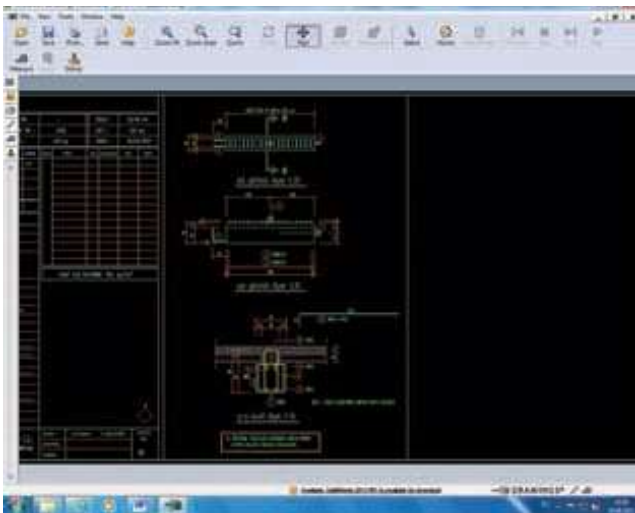
Kiriş alt boyuna donatılarının kopması

Şekil 16. İyileştirilmiş Endüstri tipi numunelerde hasar durumu

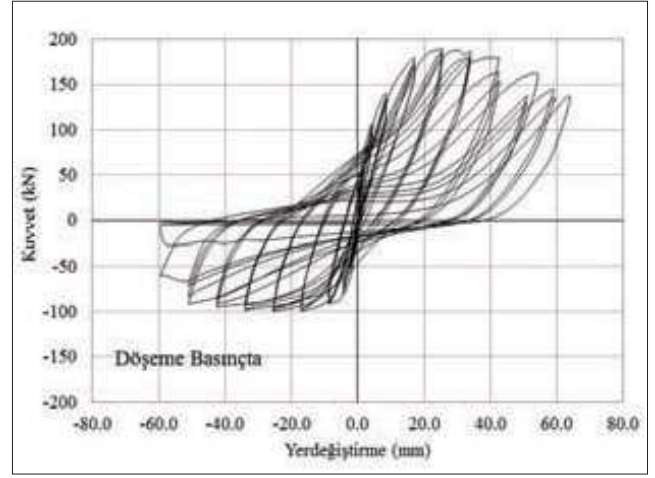
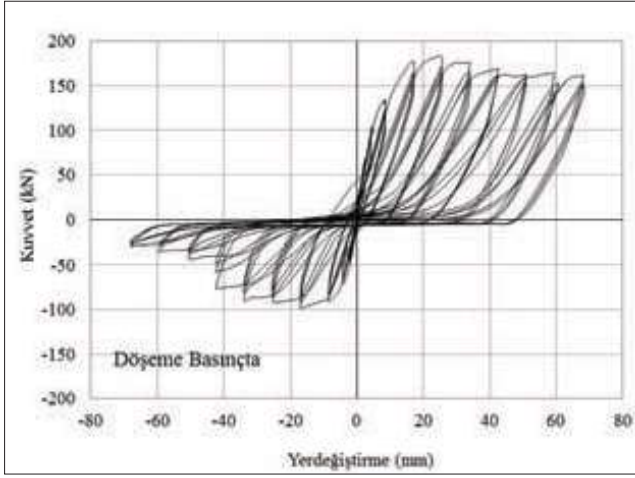
Deneylerden sonra gözlenen hasar konusunda bir fikir edinmek için, Şekil 16 incelenirse göçme biçiminin istenilen doğrultuda değişmiş olduğu yani düğüm noktası içine doğru yönelen hasarın ileri çevrimler dahil olmak üzere bölgeden uzaklaştırılmış olduğu görülebilecektir.

İyileştirme çalışmaları kapsamında *konut tipi* kolon - kiriş birleşimleri için iki farklı ayrıntının esas alındığı iki ayrı numune yapılmıştır;

- i- İlk numunede, daha önce sıyrılan kiriş alt boyuna donatısının çapı korunarak kenetlenme boyu artırılmış ve sıyrılmaya üzerindeki etkisi denenmek istenmiştir,
- ii- İkinci numunede ise kiriş alt boyuna donatı toplam alanı sabit tutulmak üzere kullanılan donatı çapları düşürülmüş ve sayıları artırılmıştır. Burada amacın kiriş alt donatısının betona yapışacağı yüzey alanını artırmak böylelikle sıyrılmayı geciktirmek olduğu açıktır, Şekil 17.



Şekil 17. Konut tipi birleşimde yapılan iyileştirmeler



Şekil 18. İyileştirilmiş *Konut tipi* numunelerde yük-yerdeğiştirme çevrimleri

Kenetlenme boyunun artırılıp donatı çapının sabit tutulduğu numunenin iki yönlü çevrimler etkisinde sergilediği yük - yerdeğiştirme eğrileri Şekil 18 de yer almaktadır. Bu eğrilerin daha önce denenen numunelerin Şekil 11 deki yük - yerdeğiştirme çevrimleri ile karşılaştırılmasından, belirgin farkların ortaya çıkmadığı söylenebilir. Ancak Şekil 11 ile yapılan karşılaştırmalarda özellikle üçüncü dördte bir bölgesinde kayma oyulmalarının azalması şeklinde bazı farkların ortaya çıktığı da görülmektedir.



Kiriş alt boyuna donatısının çapı korunarak kenetlenme boyunun artırıldığı durum

Kiriş alt boyuna donatısı çapların azaltılıp, sayılarının artırıldığı durum

Şekil 19. İyileştirilmiş *Konut tipi* numunelerde hasar durumu

Deney sonunda düğüm noktası civarında gözlenen hasar durumu Şekil 19 da topluca verilmektedir. Her iki numunede de kalıcı şekilde değişimlerin düğüm noktası içinde olmadığı ve istendiği gibi kiriş uçlarında toplandığı gözlenmektedir.

Yapılan karşılaştırmalar, iyileştirmelerin hangi yönlerde olmasının daha etkili olacağı konusunda fikir verirken yeni bazı ayrıntıları da gündeme taşımaktadır. Bunlardan biri *konut tipi* birleşimde kirişin alt ve üstündeki boyuna donatıların düğüm noktası içinde 90 derece büküldükten sonra birbirine kaynaklanması için gereken önlemleri alma önerisidir.

Deneysel Çalışmalardan Sonraki Toplu Değerlendirme

Deneysel çalışmaların sergilediği ortak davranışlar biraraya getirilip değerlendirildiğinde şu sonuçları çıkarmak mümkündür:

- i- Tek yönlü artan yükler etkisindeki davranışlar ile iki yönlü artan simetrik yükler etkisindeki davranışlar beklendikleri gibi simetrik değillerdir.
- ii- İki yönlü artan simetrik yükler etkisindeki yük - yerdeğiştirme çevrimlerinin zarfları ile tek yönlü artan yükler etkisinde ulaşılan yük-yerdeğiştirme eğrileri ve gözlenen dayanımlar her iki yönde de birbirinden çok farklı olabilmektedir. *Uzak deprem* etkisini daha iyi yansıtır olması açısından iki yönlü yükler sonucunda oluşan davranış ve onun zarfını çözümlenmelerde esas almak yerinde olacaktır. Bu durumun boyutlamayı güvenli tarafta bırakacağı düşünülerek, *yakın deprem* durumunda da benimsenmesi uygun görünmektedir.
- iii- İki yönlü artan simetrik yüklemelerin sergilediği yük-yerdeğiştirme çevrimleri ilerledikçe dayanım ve rijitlik azalmaları gözlenmekte, bazı durumlarda da daha ilk çevrimlerden başlayarak önemli düzeyde kayma oyulmaları görülebilmektedir.

Bu özellikler göz önünde tutulduğunda, gerek *endüstri tipi* gerekse *konut tipi* birleşimler çözümlenmelerde mod süperpozisyonu, doğrusal veya doğrusal olmayan zaman artımı yöntemleri, yük artımı yöntemi vb. eşdeğer herhangi bir yöntem kullanılırken *yarı rijit birleşim* olarak gözönüne alınmalıdır.

Tüm deneyleri kapsayan aşağıdaki gözlemler de tasarım esasları oluşturulurken dikkate alınmalıdır;

- i- Boşluklu döşemeler kirişten çıkan filiz etriyeler ve kavrama betonu sayesinde kolon - kiriş bölgesindeki elemanlarla ileri düzeyde bütünleşebilmektedir, mevcut tasarım esasları uygun görünmektedir.
- ii- Kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde kaymadan dolayı göçme, özellikle iyileştirmelerden sonra gözlenmemiştir, mevcut tasarım esasları uygun görünmektedir.
- iii- Eğilmeden dolayı kalıcı şekilde değişimlerin kiriş üzerinde; *endüstri tipi birleşimde* kısa konsol önünde, *konut tipi birleşimde* ise kirişin kolona birleşmekte olduğu yüzde birikmesi sağlanabilmektedir.
- iv- İki yönlü artan yüklemeler etkisinde bırakılan *konut tipi birleşimin* çevrimlerinde kuvvetli kayma oyulmaları gözlenebilmesine karşın eşdeğer donatı filizlerinde sıyrılma belirtisi olmamıştır; bunu sağlamakta olan mevcut tasarım esasları uygun görünmektedir.

Kuramsal Çalışmalar

Konunun *tek yönlü* ve *iki yönlü* artan yükler için hesap olmak üzere iki ayrı kümede incelenmesi uygun olmaktadır.

Tek yönlü artan yükler için hesapta, malzeme bakımından doğrusal olmayan özelliklerin gözönüne alındığı çubuk elemanlardan yararlanılan ve İTÜ de geliştirilmiş olan bir bilgisayar programından yararlanılmıştır.

İki yönlü artan yükler için yapılan hesaplarda ise ortak kullanım ve geliştirmeye açık olan OPENSEES yazılımı ile SAP2000 paket programındaki çevrim modelleri ve yine çubuk elemanlar kullanılmıştır.

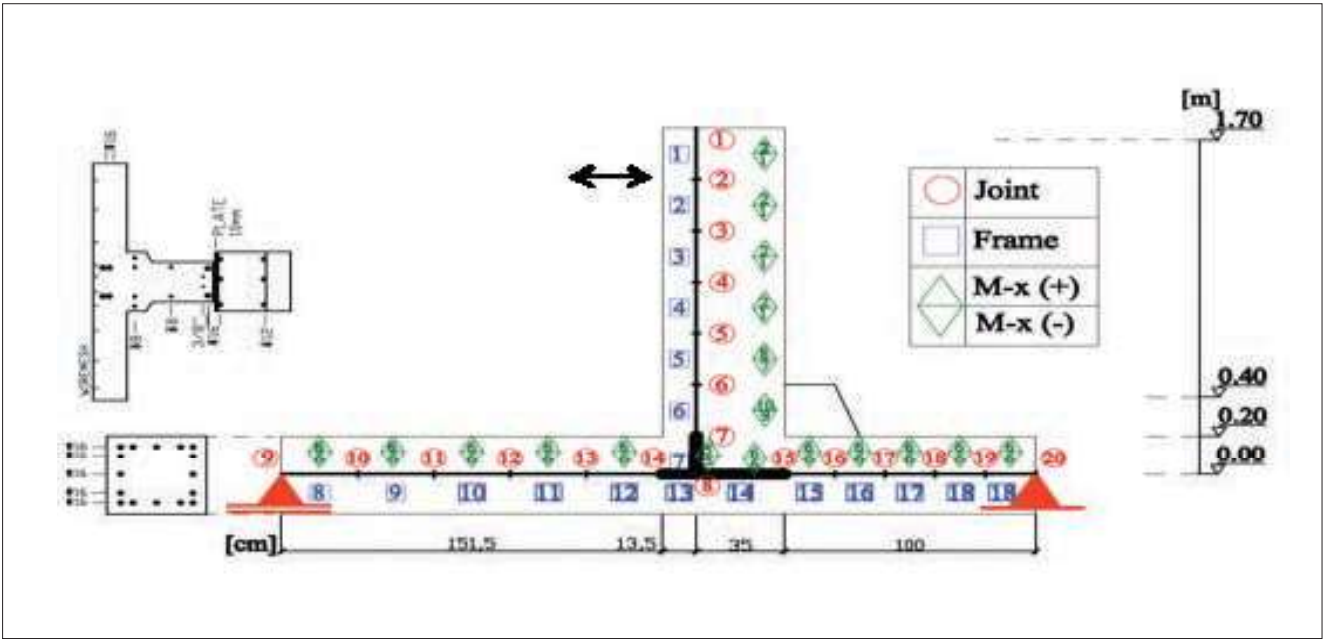
Tek Yönlü Artan Yükler için Hesap

Endüstri tipi prefabrike numunelerin yapısal modeli, DOC2B (1998) yazılımı ile oluşturulmuş ve pek çok kez uyarılma amaçlı çözümlenmeler yapılmıştır.

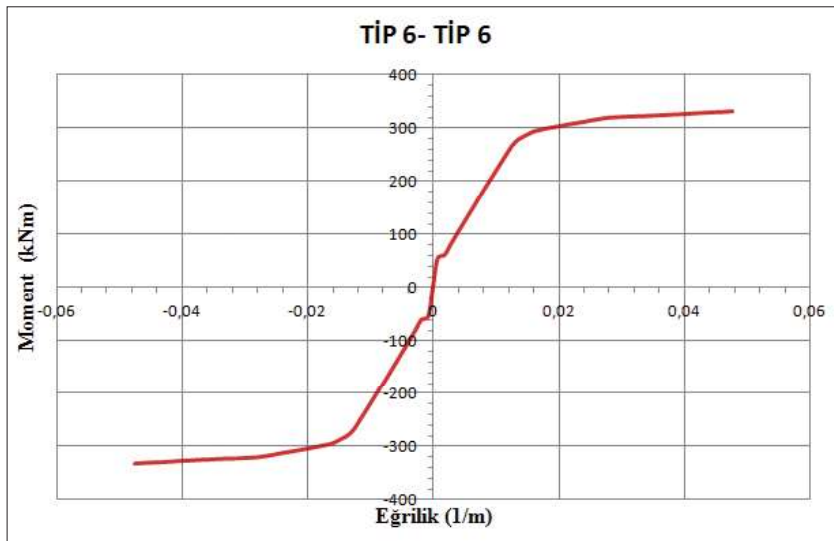
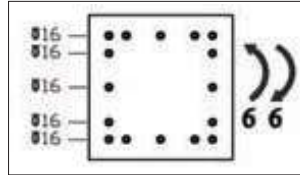
DOC2B yazılımı, yük artımı yöntemini kullanarak malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan davranış gösteren düzlem yapı sistemlerinin çözümlenmesinde kullanılmaktadır. Deney numunesini oluşturan elemanlar, programın mevcut

kapasitesi doğrultusunda çubuk eleman kullanılarak idealleştirilmiştir. Deney numunesini oluşturan kolon ve kiriş elemanların ağırlık merkezlerinden geçen eksenlere çubuk sonlu elemanlar yerleştirilmiştir.

DOC2B için hazırlanan yapısal modelde, kolon-kiriş birleşimini oluşturan 7, 13 ve 14 numaralı çubuklar, davranışı daha doğru yansıtmak amacıyla birbirlerine rijit olarak bağlanmışlardır, Şekil 20. Hidrolik veren, yapısal modelde 1 numaralı düğüm noktasına etkililen yatay tekil yük ile temsil edilmiştir.



Şekil 20. Endüstri Tipi birleşimin görünüşü ve yapısal modeli

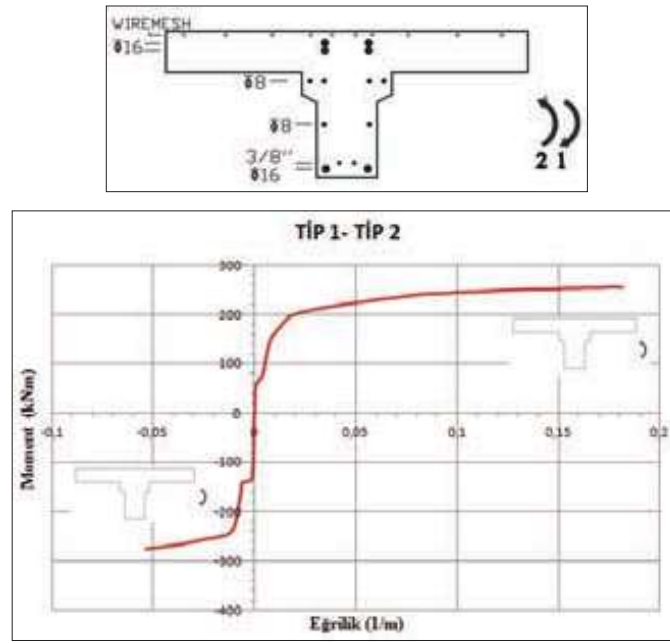


Şekil 21. Kolon kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi

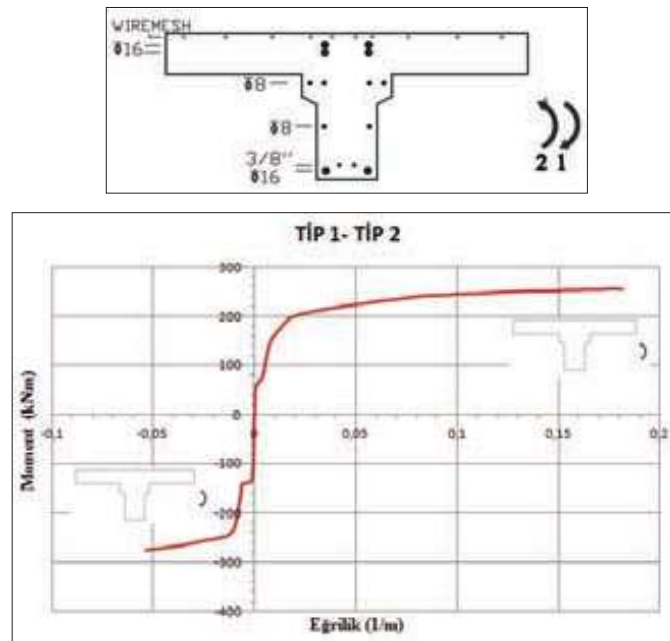
Yapısal modelde yatay konumdaki kolonun ağırlığı, temsil eden çubuk elemanlar üzerine düzgün yayılı yük, düşey konumdaki girişin ağırlığı da 1 numaralı düğüm noktasına düşey tekil yük olarak etkilmiştir.

Çubuk elemanların malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı *moment - eğrilik ilişkileri* ile ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan çözümlere için, DOC2B içindeki M-KAPA alt programı ile farklı tiplerdeki kesitlere ait moment - eğrilik ilişkileri elde edilmiştir.

Kolon elemanı tüm kesitlerinde aynı özellikte olduğundan, *yapısal modelde* 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18 ve 19 numaralı çubuklarla temsil edilen kolon için tek tip kesit kullanılmış ve *TİP 6* olarak adlandırılmıştır.

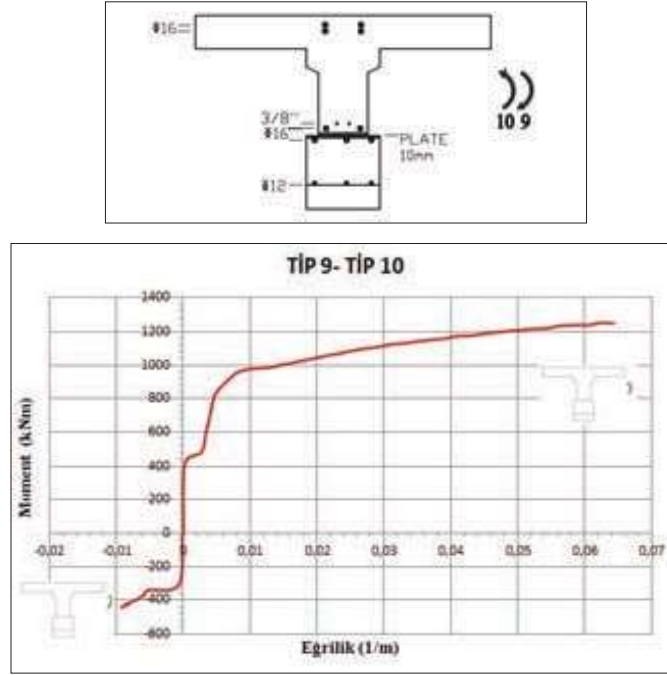


Şekil 22. Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP 1-2)



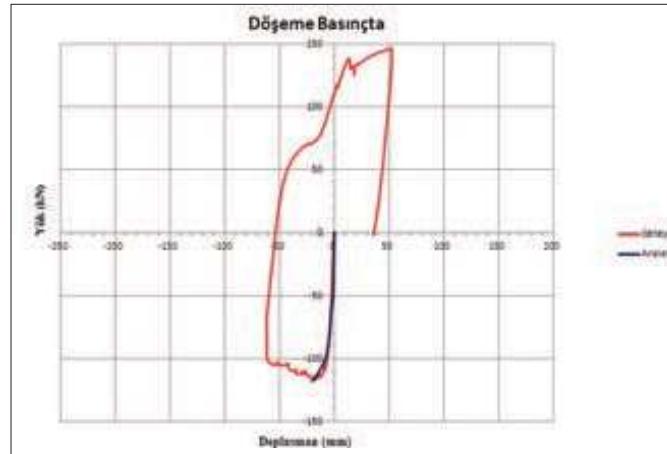
Şekil 23. Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP 7-8)

Kiriş elemanlarının kesitlerinde farklı donatı düzeni bulunduğundan, yapısal modelde 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı çubuklarda ifade edilen kiriş kesiti için, TİP 1, TİP 2, TİP 7, TİP 8, TİP9, TİP 10 olmak üzere altı farklı kesit tipi oluşturulmuştur. Farklı kiriş kesitleri ve bu kesitlere ait moment-eğrilik ilişkileri Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24 de verilmiştir. Pozitif ve negatif moment taşıma kapasitelerinin beklendiği gibi farklı oluşuna dikkat edilmelidir; çünkü bu olgu birleşimin yer alacağı sistem davranışı üzerinde, özellikle yük artımı yöntemi uygulanırken, etkili olabilecektir.



Şekil 24. Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP 9-10)

Biri döşemenin basınçta olduğu durum, diğeri de döşemenin çekmede olduğu durum olmak üzere iki farklı çözümleme yapılmıştır. Her iki yön için artan yatay yükler etkisinde elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi, ilgili deney numunelerine ait eğri ile üst üste konularak incelenmiştir, Şekil 25, Şekil 26.

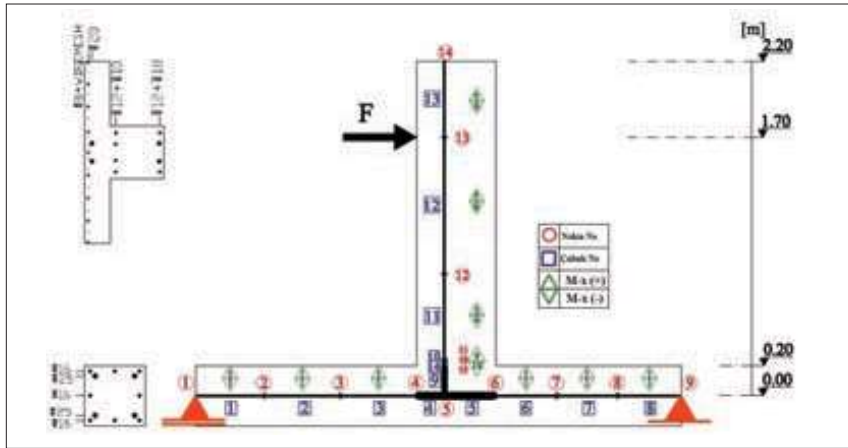


Şekil 25. Döşemenin basınçta olduğu durum için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

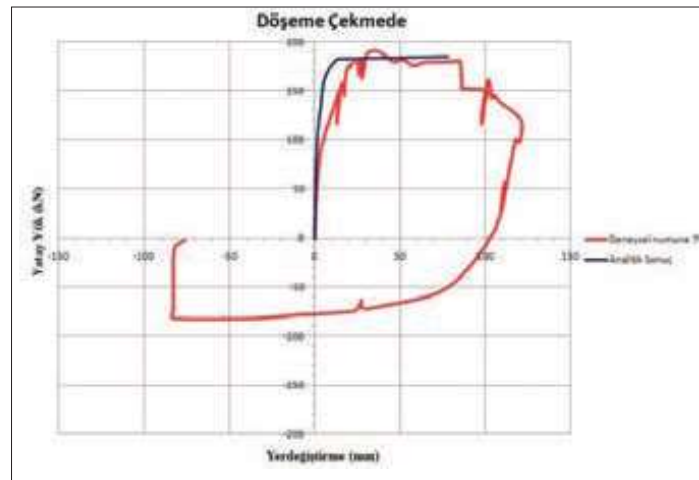


Şekil 26. Döşemenin çekmede olduğu durum için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

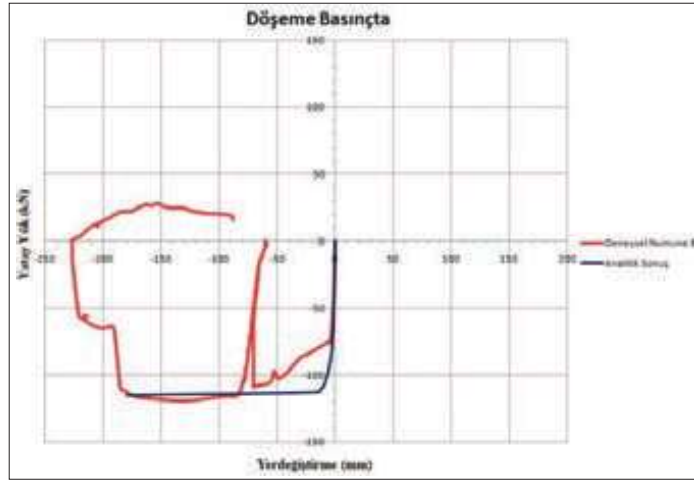
Konut tipi bileşim için hazırlanan yapısal model ve iki yönde uygulanan yük artımı yöntemiyle ulaşılan sonuçlar Şekil 27, 28 ve 29 da verilmiştir.



Şekil 27. Konut Tipi birleşim için hazırlanan matematik model



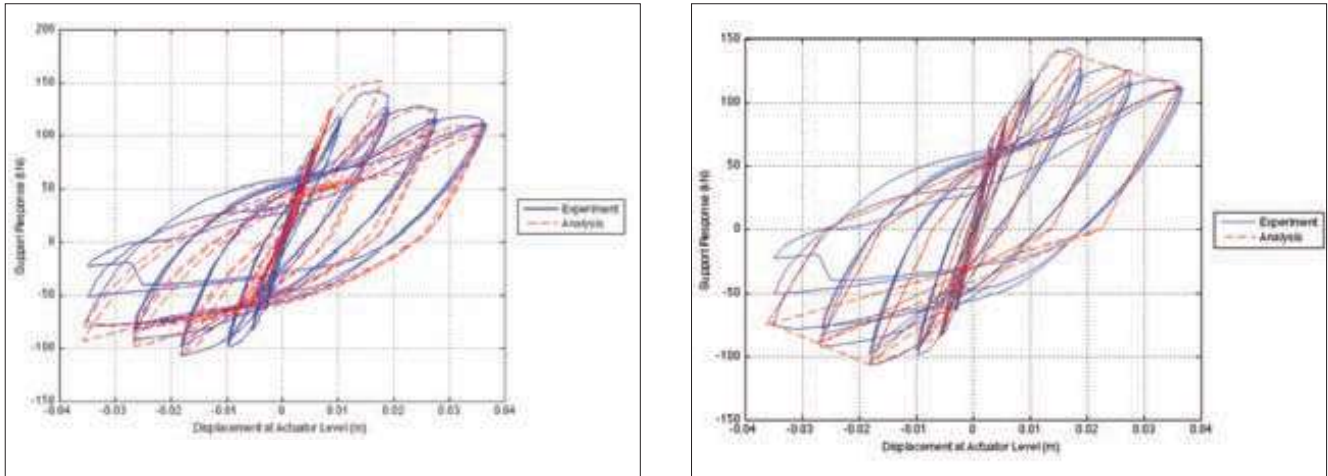
Şekil 28. Konut Tipi birleşim için elde edilen yatay yük yerdeğiştirme ilişkisi



Şekil 29. Konut Tipi birleşim için elde edilen yatay yük yerdeğiştirme ilişkisi

İki Yönlü Artan Yükler için Hesap ve Eşdeğer Çevrimler Üretilmesi

Deneysel çalışmalar tasarım aşaması için çok önemli olmakla birlikte her zaman sınırlı sayıda numune üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Numunelerin bazı özellikleri örneğin *boyutları*, *malzeme cinsi*, *donatı yüzdeleri* vb. değişikçe denenmiş numunelerin sergilediği davranışların benzerlerinin sergileneceği düşüncesiyle o veriler ile yaklaşık yük şekildeğiştirme eğrileri üretmek uygulamaya büyük katkı sağlamaktadır. Bu konuda iki yol izlenebilmektedir.

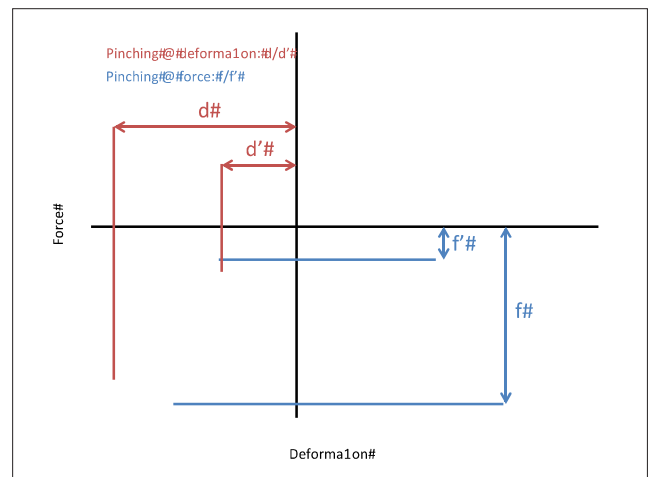
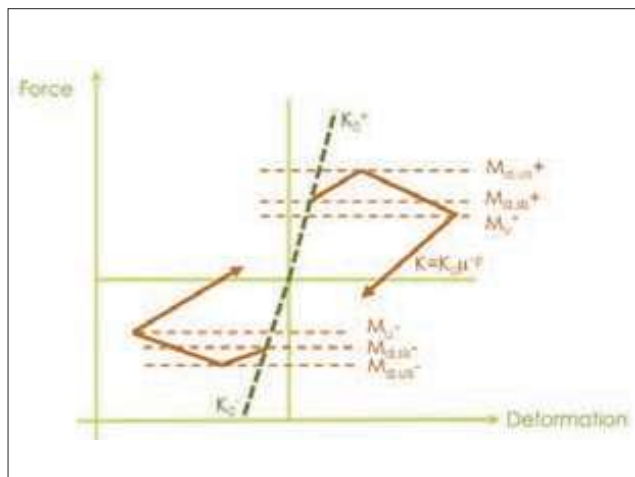
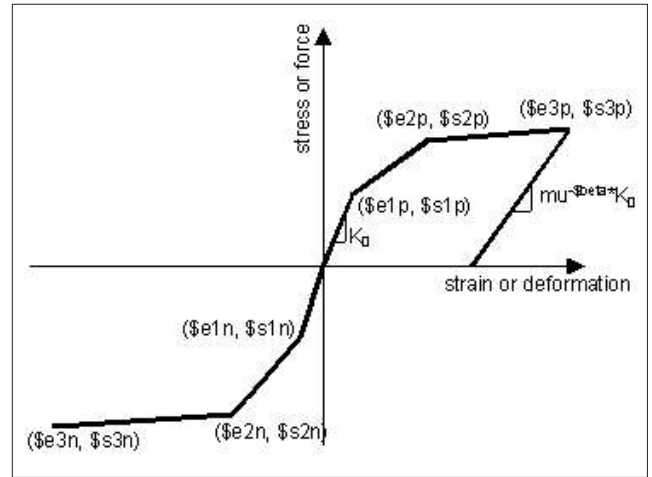
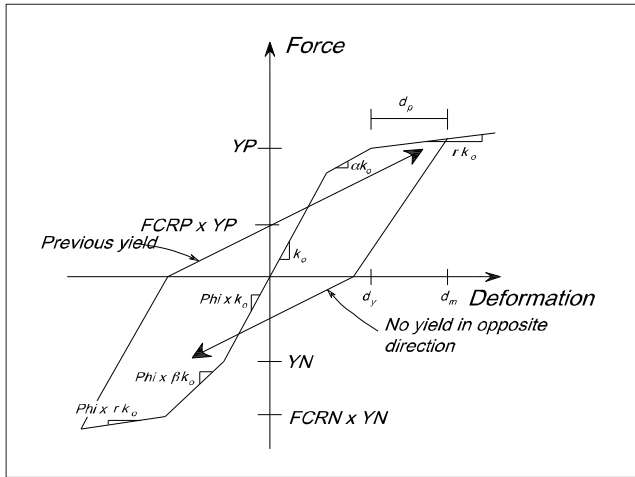


Şekil 30. Uyarılama Çalışmaları

Birinci yolda deneysel olarak üretilmiş *yük - yerdeğiştirme* ya da *moment-eğrilik* veya *moment - dönme* gibi çevrimlerin benzerlerine sonlu elemanlar yönteminin genel uygulama yolu izlenerek ulaşılır. Bu aşamada *yüklerin iki yönlü oluşu*, *malzemenin doğrusal olmayışı*, *donatı ile beton arasındaki bağlantı* vb. değişkenler olabildiğince gerçekçi biçimde gözönünde tutulmaktadır. Çubuk, levha, plak, kabuk, üç boyutlu elemanlar ve sınır koşullarını temsil edebilecek özel bağlantı elemanlarının kullanılacağı modellerde *implicit* ya da *explicit* yollar izlenebilir. Deneysel çalışmada malzeme ve yüklemeler gerçek değerleriyle olaya katkıda bulunmakta; malzeme ve yük katsayıları 1.0 alınmaktadır. Aderans ne kadar ve nereden başlayarak etkili olabiliyorsa, sargılama ne ölçüde etkili ise herşey ortadadır, kuramsal varsayımlar ve hiçbir bağlantı yoktur. Dolayısıyla ilk yapılan denemelerden sonra deneysel çalışmalarla kuramsal bulgular arasındaki farklar gerçeğe yakın deneme - yanımlarla giderilmeye çalışılır. Ulaşılan sonuçlar değerlendirilir. Örneğin sonlu elemanlar kullanılarak gelinen sonuçlar sistemin tüm

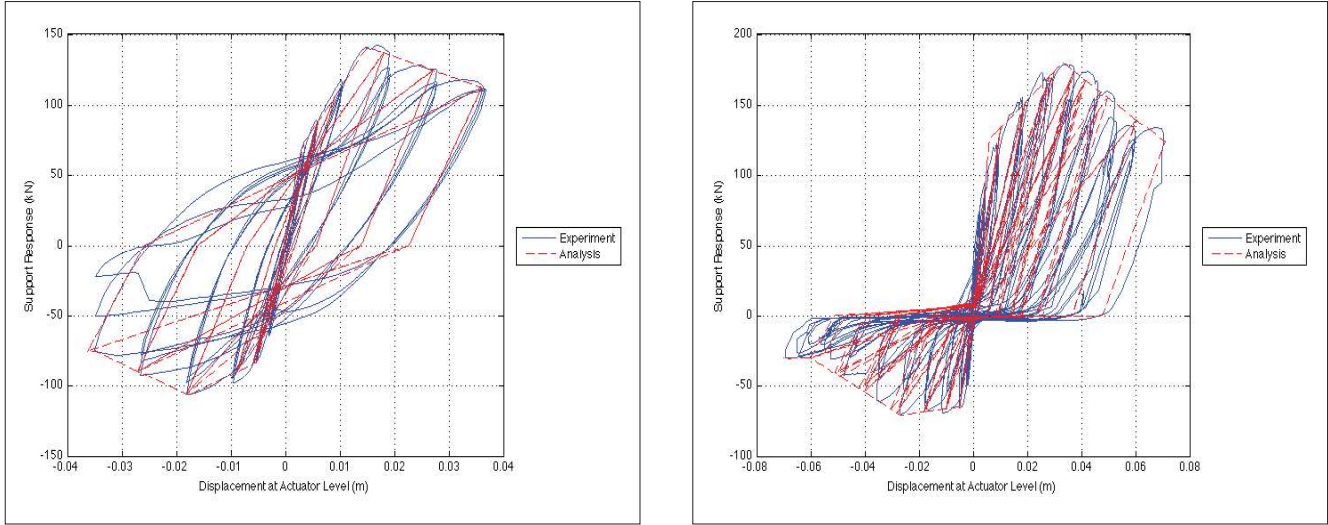
birleşim yerlerinde kolayca kullanılabilir ise doğrudan uygulamaya aktarılması mümkün olacaktır. Tek yönde artan yatay yükler için bir boyutlu doğrusal olmayan çubuk elemanlardan kurulan kolon - kiriş birleşim bölgesi modelleri buna örnek verilebilir. Değilse, örneğin modelde bilinmeyenlerin sayısı çok artıyor, gereken işlemci zamanı çok uzuyor ve dolayısıyla pratik olamıyorsa basitleştirici yollar üzerinde durulacaktır. Uyarlamaların iyi sonuç vermesi; deneylerin, benzer özellikteki birleşimlerde deney yapmaya gerek kalmadan kapsama olanağının bulunması demektir.

İkinci yol, birinci aşamadaki uyarlamalardan sonra ulaşılan çevrimler veya doğrudan doğruya deneysel çalışmanın verdiği çevrimlere uygun bir yöntem geliştirilerek benzer çevrimler üretmektir. Bu yöntemler arasında yaygın bilgisayar programlarınınca kullanılmakta olan ikisi çizimsel olarak Şekil 31 de verilmektedir. Bunlardan ilki OPENSEES (2012) yazılımında kullanılan *Hysterisis* çevrimleridir. Çevrimlerin zarf eğrilerini belirleyen köşe noktalarını tanımlamak üzere esas itibarıyla deneylerden bulunan çevrimlere gidilecek ve oradan sağlanan değerlerle model oluşturulabilecektir. Deneysel olarak izlenen kolon-kiriş birleşim bölgesi kesitlerinin simetrik olmayışı çevrimlerin tanımı için iki grup parametrenin belirlenmesini gerektirmektedir. *Konut tipi* birleşimde kuvvetli kesme oylumaları gözlenmekte olduğundan bu amaçla verilmesi gerekli ek parametreler de Şekil 31 de belirtilmektedir.



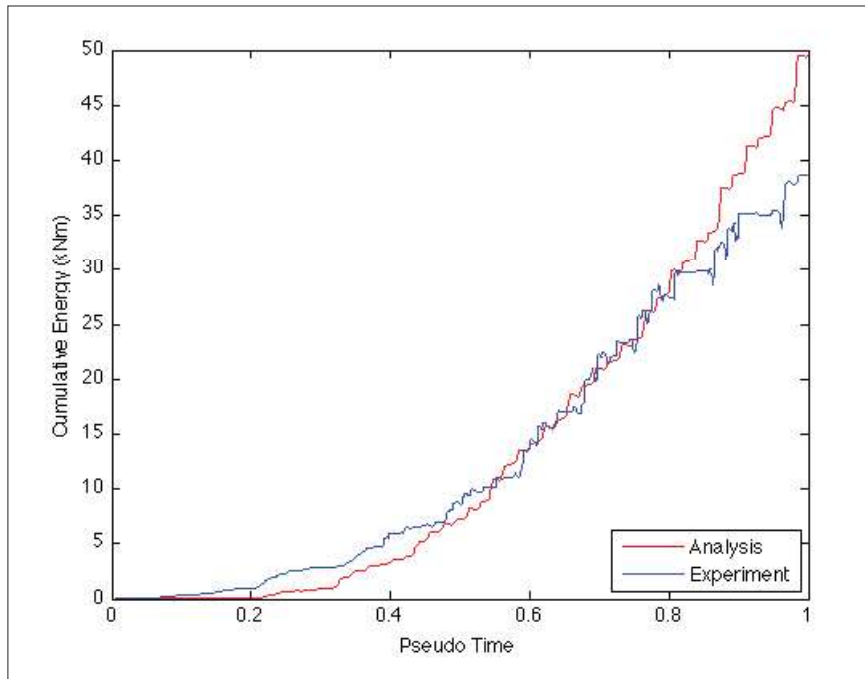
Şekil 31. Davranış modelleri

Endüstri ve *konut tipi* birleşimler için yapılan uygulamalardan elde edilen çevrimler benzeştirilmek istenen çevrimlerle üst üste gösterilerek bir karşılaştırma olanağı sağlanmıştır, Şekil 32.



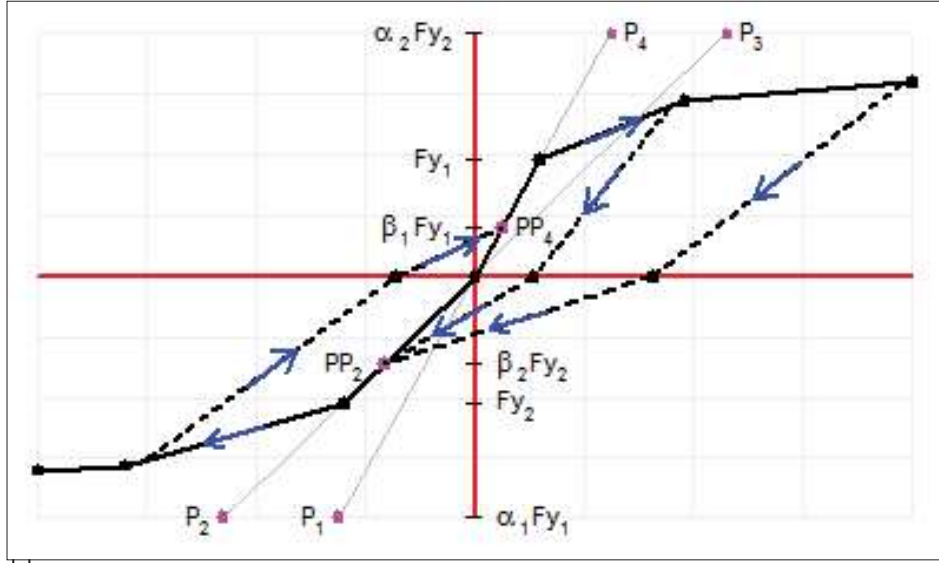
Şekil 32. Endüstri ve Konut tipi birleşimler için kuramsal ve deneysel çevrimler

Pek çok olasılığı kapsayan bir dizi denemeden ve eniyileştirme uğraşından sonra kuramsal olarak ulaşılan sonuçların yeterliliği konusunda karar vermek için deneysel ve kuramsal çevrimlerin kapadıkları alanlar yani *yığışımli çevrimsel enerjiler* karşılaştırılabilir. Büyük kayma oyulmalarının oluştuğu *konut tipi* birleşim için yapılan bu karşılaştırmanın sonucu Şekil 33 de sunulmaktadır.

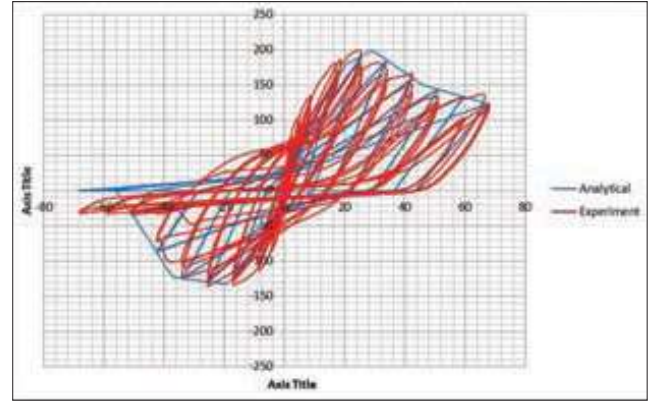
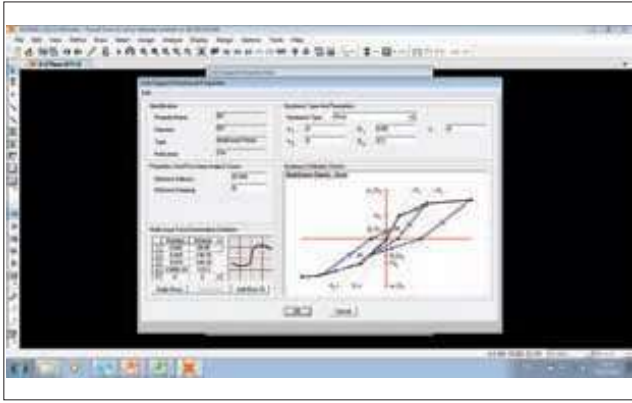


Şekil 33. Konut tipi birleşim için deneysel ve kuramsal yığışımli çevrimsel enerji karşılaştırması

Yine yaygın olarak kullanılan ve benzeşik çevrimler üreten algoritmalardan biri de Pivot algoritmasıdır, Şekil 34, [Dowell vd., 1998]. Yapılan sayısal denemelerden sonra *endüstri tipi* kolon - giriş birleşim bölgesini temsil edebilecek gerekli değişkenler için Şekil 35 de verilen değerlere ulaşılmış ve bu değerlerle elde edilen çevrimler tipik bir deneysel çalışma sonucu ile birlikte Şekil 35 de üst üste sunulmuştur.

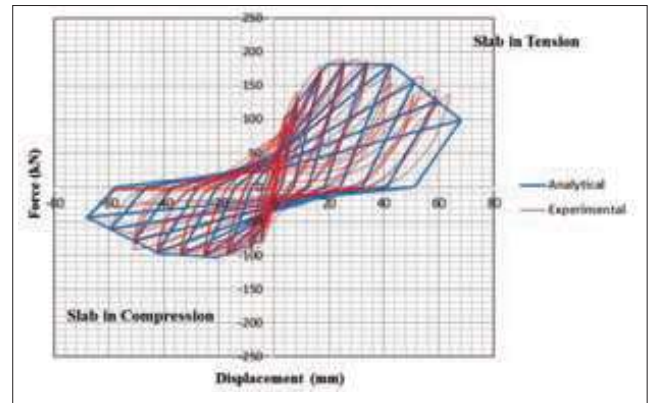
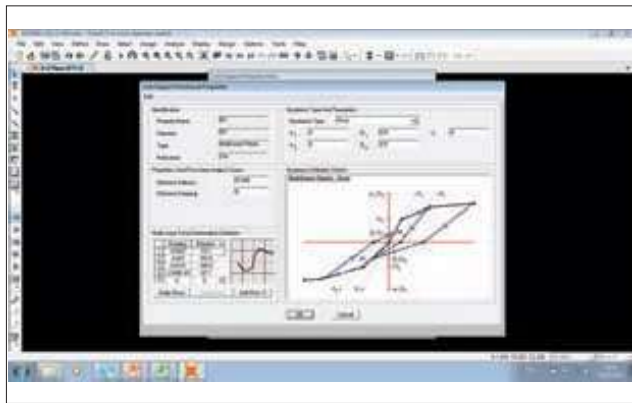


Şekil 34. Pivot model



Şekil 35. Endüstri tipi birleşim için pivot model değişkenleri, deneysel ve kuramsal çevrimlerin karşılaştırılması

Geliştirilmiş *konut tipi* birleşimlerden birisi için yapılan benzer çalışmaların sonuçlarında varılan katsayılar ve ulaşılan çevrimler Şekil 36 da verilmektedir.



Şekil 36. Konut tipi birleşim için pivot model değişkenleri, deneysel ve kuramsal çevrimlerin karşılaştırılması

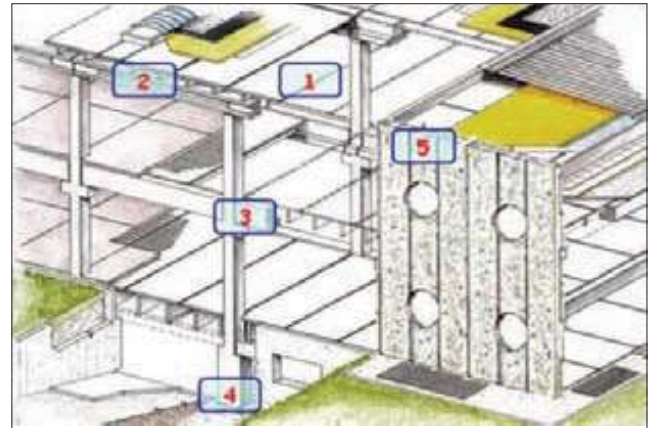
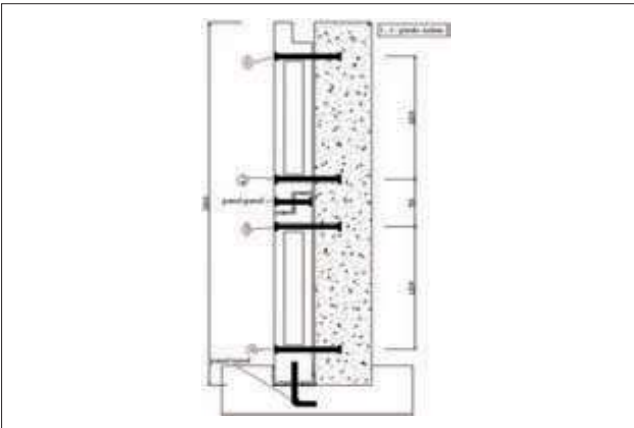
Yapısal Modelleme ve Yapısal Çözümlemenin Önemi

Yapı davranışını gerçeğe en yakın biçimde yansıtabilecek bir yapısal modelin oluşturulması ve onunla sistemin çözülmesinden sonra elde edilecek iç kuvvet dağılımına göre boyutlandırmanın yapıda öngörülen beklentileri sağlayacak biçimde gerçekleştirilmesi, özellikle kat sayıları artmaya başlayan prefabrike yapılar söz konusu olduğunda, yeni bilgi, bulgu ve yöntemlere bağlı olmaktadır.

Konu burada ikiye ayrılarak; bu paragrafta *yapısal modelleme* ve yapısal çözümleme izleyen paragrafta ise *boyutlandırma* üzerinde durulacaktır.

Yapısal çözümleme denildiğinde genel olarak, kurulmuş olan yapısal modelin, tanımlanmış olan statik ve dinamik dış etkiler altındaki iç kuvvet dağılımı ile yerdeğiştirmelerinin seçilen bir yöntemle bulunması anlaşılmaktadır. Dinamik dış etkiler deprem etkileri olduğunda çeşitli deprem yüklemesi düzeylerinde yapının sergileyeceği performansın yakından izlenmesi bu amaçla da *yük artımı* ve *zaman artımı yöntemlerine* başvurulması kaçınılmazdır.

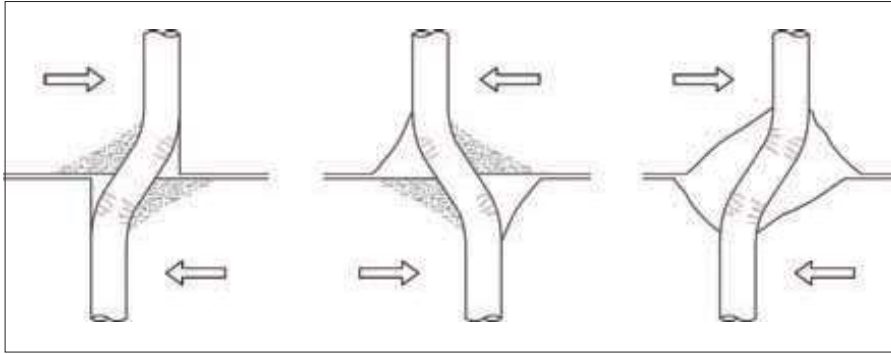
Çalışmanın başlangıcında yanıtlanması gereken bazı sorular ve alınması gereken bazı kararlar bulunmaktadır. Yapısal modelin bilinmeyen sayısı sistemin gerçek davranışını yansıtmaya yetecek kadar mıdır? Birleşimlerin davranışı gerçeğe ne kadar yakın olarak yapısal modele yansıtılabiliştir? Eşdeğer deprem yükleriyle hesap mı uygundur, modların süperpozisyonu mu kullanılmalıdır, spectrum analizi yeterli midir, zaman artımı yöntemiyle mi hesap yapılmalıdır? Hesabın başlangıcındaki rijitlik varsayımları uygun olacak mıdır, öngörülen sistem sünekliliği sağlanabilecek midir, yatay yük azaltma katsayısı tüm modlar için kullanılabilir midir? Bölgesel süneklilik sınırları aşılmakta mıdır? Yapının bütünüyle göçmeye karşı güvenliği ne kadar olabilecektir? Bu amaçla yük artımı yöntemiyle bir çalışma yapılmalı mıdır? Bu gerekli ise tek yöndeki yük artımı yöntemi ile ulaşılan sonuçlar, göz önünde tutulması gereken gerçek yapı davranışını yansıtabilmekte midir?



Şekil 37. Saplama ile gerçekleştirilebilecek çeşitli birleşimler

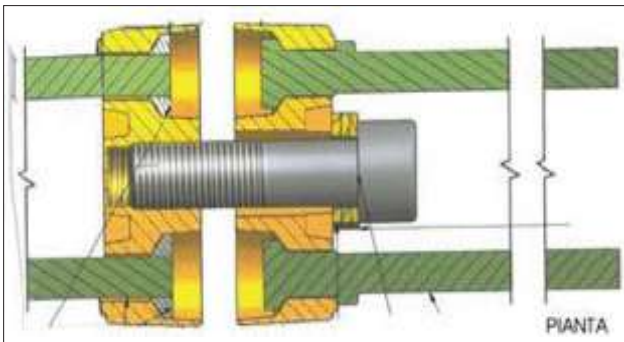
Hangi yöntem seçilmiş olursa olsun prefabrike yapıların tasarımında yapısal çözümlenme ve boyutlandırma evreleri birbirine uyumlu olmak durumundadır. SAFECAST projesi kapsamında yapılan deneysel ve kuramsal çalışmaların hepsi bu konuda katkı oluşturmaya yöneliktir. Örneğin çeşitli eleman birleşimlerinin tek yönlü ve iki yönlü yükler etkisindeki davranışının deneysel çalışmalarla gözlenmesi yapısal modellerde kullanılacak *bölgesel iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının zaman içindeki hızlı ve yavaş değişimi, çeşitli şekildeğiştirme düzeylerinde gözlenen hasar, enerji yutma kapasiteleri, bölgesel süneklilikler, şekildeğiştirme kapasiteleri ve göçme biçimleri* konusunda çok önemli bilgiler sağlamaktadır. SAFECAST kapsamında ulaşılan bu yöndeki bilgilerin bazıları Bölüm II de yer almakla birlikte, elemanlar arasında kullanılan ve saplamalarla gerçekleştirilen birleşimlerdeki davranışın yapısal çözümlenmeye olabilecek etkileri aşağıdaki iki örnek üzerinde konunun önemini vurgulamak üzere irdelenmektedir.

İki yönlü artan yükler etkisindeki bir saplama, kirişle kolonu birbirine bağlayan olabileceği gibi bir döşeme elemanını kirişe ya da yatay veya düşey konumdaki çevre panellerini birbirine, temele ya da kolon veya kirişe de bağlayan olabilir, Şekil 37. Bu birleşimler artan yüklerin başlangıcında saplamalarda kesme kuvveti ve kayma şekildeğiştirmeleri ağırlıklı bir gerilme - şekildeğiştirme alanı oluştururken yükler arttıkça iki yönden durum değişmektedir. Saplama giderek daha çok çekmeye çalışırken saplamanın çevresinde beton dayanımının kaçınılmaz olarak sınırları aştığı bölgelerde oyulmalar ortaya çıkacaktır, Şekil 38.



Şekil 38. Saplama çevresinde ortaya çıkan oyulmalar

Oyulmalar nedeniyle etkin boyu uzayan saplamaların rijitlikleri değişmiş olmakta yapıda kullanılan saplama sayısı ve yapısal özellikler nedeniyle bu durum iç kuvvet dağılımları üzerinde etkili olabilmektedir. Saplamanın sağladığı mesnetlenmenin tam bir mafsal olarak basitleştirilmesinde güçlük vardır. Bu konuda SAFECAST kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan bazılarının sonuçları Bölüm II de yer almaktadır. Ancak daha gerçekçi olan mafsallı yerine yarı mafsallı bir birleşimin ortaya çıktığını varsaymaktır.



a) Kiriş ya da özel panellerde kesitlerin alt ve üst donatılarında süreklilik sağlayan birleştirici eleman örneği



b) Alt ve üst donatılarda sürekliliğin sağlanmasına yönelik bir birleşim

Şekil 39. Birleşimler

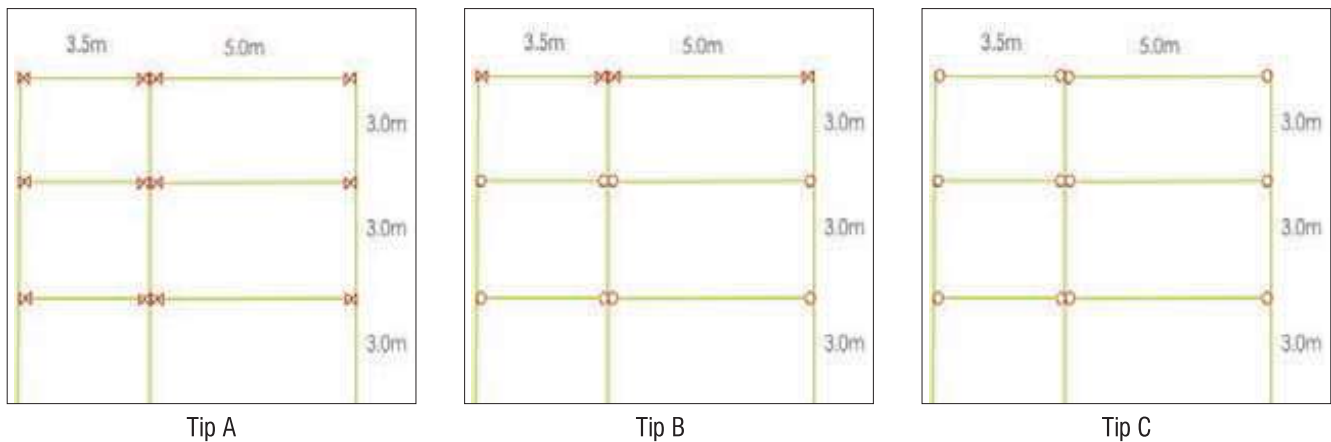
Saplamaya ek olarak yan yana gelen prefabrike elemanların eğilme donatılarının sürekliliğini sağlamak üzere çeşitli birleşim elemanları tasarlanabilmektedir. SAFECAST kapsamında kullanılanlardan biri Şekil 39a da görülmektedir. Kesitin aktarabileceği moment miktarının artırılması amaçlanmaktadır. Bu belirli ölçüde sağlanabiliyor olsa da tam moment aktaran birleşim elde edildiğini söylemek kolay değildir. Ortaya yarı rijit bir birleşim çıkmıştır, Şekil 39b.

Aşağıda yer alan iki örnekten birincisi *mafsallı*, *yarı mafsallı*, *yarı rijit* ve *rijit* birleşimlerin düzlem az katlı bir çerçevedeki etkilerini, yapısal modelin davranışı üzerinden göstermektedir. Çerçevenin simetrik alınmayışı da, simetrik olmayan kiriş birleşimlerinin böylesi çerçevelerde yük artımı yöntemi sonuçlarını nasıl etkileyebileceğini gösterebilmek içindir. İkinci örneğin amacı ise yapısal özellikler nedeniyle var olan döşeme düzlem içi şekildeğişirmelerinin bu tür birleşimler nedeniyle artarak sistem davranışını nasıl değiştirebileceğini göstermektedir.

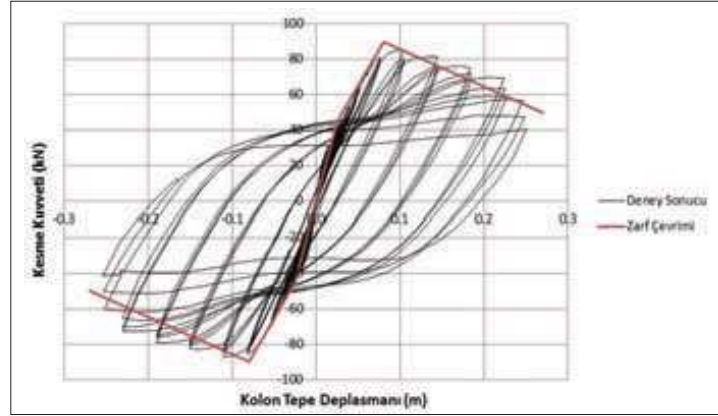
Örnek 1

Oluşturulan iki açıklıklı ve üç katlı çerçeveler üzerinde kuramsal çalışmalar yapılmıştır, Şekil 40. İncelenen sistemde kolonlar 40×40 cm kesitli ve %2 boyuna donatı oranına sahiptir. Kirişler ise 20×48.5 cm kesitli olup, tabla genişliği 120 cm dir. Doğrusal olmayan davranış için kiriş uçlarında ve alt kat kolonlarının alt uçlarında plastik mafsallar tanımlanmış, bu kesitler arasında elemanların elastik davranış sergilediği varsayılmıştır.

İlk olarak modellemede kullanılan zarf eğrisinin sistem davranışına etkisi irdelenmiştir. Bu amaçla Şekil 40 da verilen Tip A çerçevesi kullanılmıştır. Birinci modelde kirişler için tanımlanan doğrusal olmayan birleşim modelinin anahtar değişkenleri tek yönlü artan yüklemeye yapılarak elde edilen deneysel sonuçlardan, ikinci modelde ise iki yönlü artan yüklemeler yapılarak elde edilen deneysel sonuçların zarf eğrilerinden alınmıştır. Her iki modelde de tekrarlı çevrimsel kolon deneylerinden elde edilen sonuçlar üzerine oturtulan zarf eğrileri kullanılmıştır, Şekil 41, [Yüce, 2009]. Şekil 40 da verilen çerçevelerde mimari nedenlerle iki açıklıktaki kiriş boyutları aynı olsa da dayanım değerleri farklı olacaktır. Kısa açıklıkta yer alan kirişte daha az eğilme donatısı olması durumunu yansıtabilmek için, SAFECAST deneylerinden elde edilen ve 5 m lik kiriş için aynen kullanılan zarf eğrisinin dayanım değerleri kısa kirişin sol ucunda %50, sağ ucunda ise %30 azaltılarak kullanılmıştır. Çevrimsel malzeme modellerinde β boşaltma katsayısı 1.0, rijitlik ve dayanım azaltma katsayıları da 1.0 alınmıştır. Kayma oyulması olmadığı varsayılarak ilgili katsayı 0.0 seçilmiştir. Kiriş kesiti için döşeme çekmedeyken 265 kNm, döşeme basınçtayken de 175 kNm taşıma gücü momenti elde edilmiştir. Yine kiriş kesitinde akmaya karşı gelen dönme; döşeme çekmedeyken %1, döşeme basınçtayken %0.6 olarak belirlenmiştir.

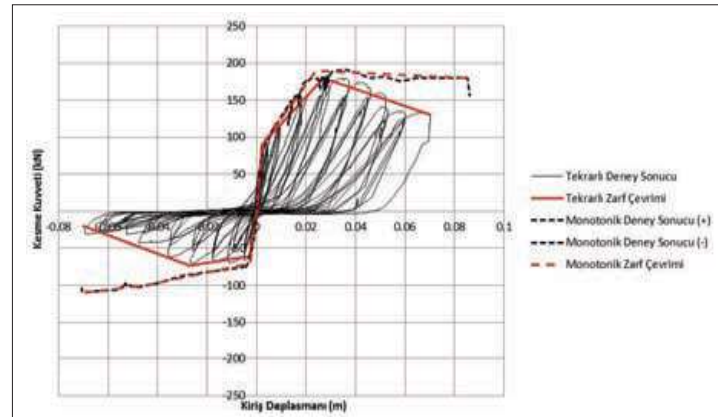


Şekil 40. Kiriş uç birleşimleri farklı üç simetrik olmayan çerçeve

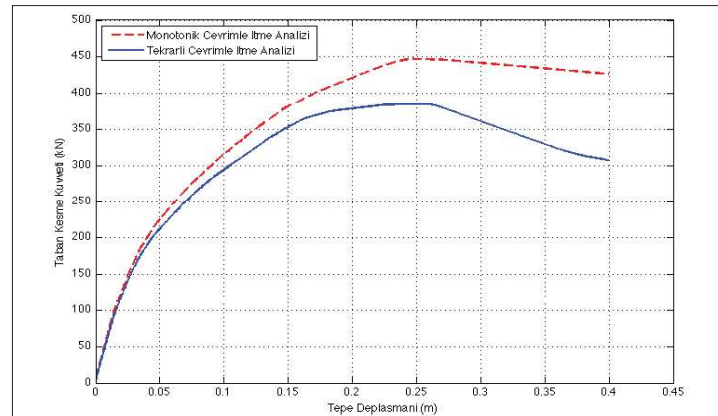


Şekil 41. Tüm kolonlarda kullanılan zarf eğrileri [Yüce, 2009]

Tek ve iki yönlü artan çevrimsel yüklemeler etkisinde yapılan çözümlerlerin sonuçları, iki yükleme tipi arasındaki en belirgin farklılığın en büyük dayanımdan sonraki bölgede gerçekleştiğini göstermektedir. Tek yönlü artan yüklemelerde, iki yönlü artan çevrimsel yüklemenin en büyük dayanım değerine ulaşıldıktan sonra önemli dayanım düşüşü olmayıp, bazen bir miktar dayanım artışına rastlanırken iki yönlü artan çevrimsel yüklemelerde ani dayanım düşüşü gözlenmektedir, Şekil 42.



Şekil 42. Konut tipi kolon-kiriş birleşimine ait zarf eğrileri



Şekil 43. Yük artımı yöntemi ile elde edilen iki davranış

Yük artımı yöntemi ile iki farklı durum için elde edilen *taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi* ilişkisi Şekil 43 de verilmektedir. İki eğri arasında en büyük dayanımlar cinsinden yaklaşık %20 fark vardır. Beklendiği gibi, en büyük dayanım değerine

ulaşıldıktan sonra iki yönlü artan yükler etkisindeki çevrimsel davranışın zarf eğrilerinin kullanıldığı modelde dayanım düşüşü daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu durumun, özellikle yüksek süneklik talebi olan yapılarda dikkate alınması gerektiği açıktır.

Yukarıda açıklandığı gibi, zarf eğrisinin tek yönlü artan yüklemelerden mi yoksa iki yönlü artan çevrimsel yüklemelerden mi elde edildiği konusu, sistem davranış eğrisinin en büyük dayanım sonrası bölümünü daha çok etkilemektedir. Çevrimsel davranışın temsil edildiği modellerdeki elemanlarda, özellikle yüksek yerdeğiştirme değerlerine ulaşıldığında elemanlardan beklenen süneklik düzeylerinin artmakta oluşu önemlidir. Her iki modelleme durumu için, hesaplanan süneklik istemleri Tablo 2 de verilmektedir. Buna göre,

- Çevrimsel yüklenen elemanların davranışları kullanılarak oluşturulan modelde aynı yapı tepe yerdeğiştirmesi için daha yüksek süneklik değerleri elde edilmektedir,
- İki farklı model arasındaki süneklik talebi farkı, üst katlarda artmaktadır.

Tablo 2. Süneklik talepleri

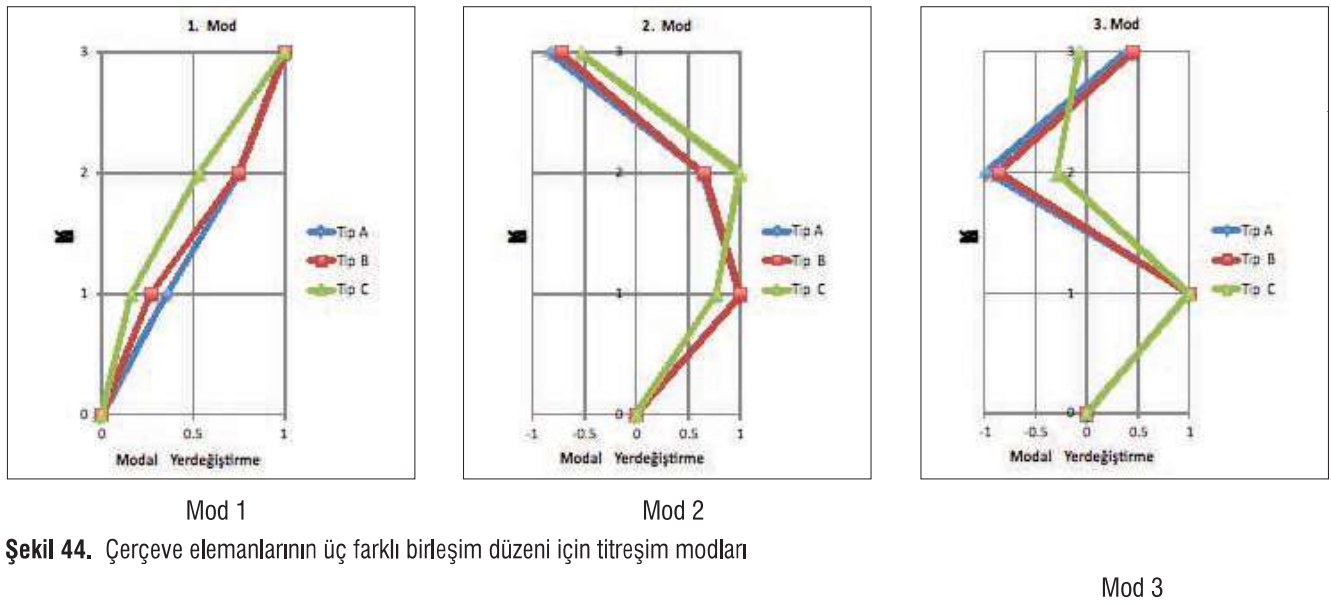
		1nci Kat Kirişlerinde Süneklik Talepleri			
Çevrim Modeli	Tepe Yer Değiştirmesi	Sol Kiriş Sol Uç	Sol Kiriş Sağ Uç	Sağ Kiriş Sol Uç	Sağ Kiriş Sağ Uç
Monotonik Yüklemede n Alındı	1%	5.0	4.2	3.5	5.4
	2%	9.6	9.1	7.7	10.8
	4%	18.0	19.7	15.9	21.5
Çevrimsel Yüklemede n Alındı	1%	5.0	4.3	3.5	5.5
	2%	9.6	9.3	7.8	10.8
	4%	17.2	19.4	15.8	20.5

		2nci Kat Kirişlerinde Süneklik Talepleri			
Çevrim Modeli	Tepe Yer Değiştirmesi	Sol Kiriş Sol Uç	Sol Kiriş Sağ Uç	Sağ Kiriş Sol Uç	Sağ Kiriş Sağ Uç
Monotonik Yüklemede n Alındı	1%	3.5	3.2	2.6	4.2
	2%	7.6	7.6	6.5	8.8
	4%	15.2	17.4	14.2	18.5
Çevrimsel Yüklemede n Alındı	1%	3.6	3.4	2.8	4.3
	2%	7.8	7.8	6.7	9.0
	4%	16.5	19.6	16.1	20.3

		3ncü Kat Kirişlerinde Süneklik Talepleri			
Çevrim Modeli	Tepe Yer Değiştirmesi	Sol Kiriş Sol Uç	Sol Kiriş Sağ Uç	Sağ Kiriş Sol Uç	Sağ Kiriş Sağ Uç
Monotonik Yüklemede n Alındı	1%	2.0	0.8	0.5	2.1
	2%	5.5	3.9	3.3	5.6
	4%	12.5	11.4	9.5	14.0
Çevrimsel Yüklemede n Alındı	1%	2.2	0.9	0.6	2.3
	2%	5.8	4.4	3.7	6.0
	4%	15.1	15.4	12.8	17.4

		Kolon Tabanlarında Süneklik Talebi		
Çevrim Modeli	Tepe Yer Değiştirmesi	Sol Kolon	Orta Kolon	Sağ Kolon
Monotonik Yüklemede n Alındı	1%	0.3	0.4	0.3
	2%	0.6	0.7	0.7
	4%	1.5	1.6	1.5
Çevrimsel Yüklemede n Alındı	1%	0.3	0.3	0.3
	2%	0.6	0.7	0.6
	4%	1.2	1.3	1.2

İkinci aşamada, Şekil 40 da verilen üç çerçeve tipi için, giriş uç birleşim şeklinin titreşim özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. A tipi çerçevede tüm birleşimler rijit, C tipi çerçevede tüm birleşimler mafsallı ve B tipi çerçevede ise sadece en üst katta birleşimler rijit diğerlerinde mafsallıdır. Beklendiği gibi C tipi çerçeve, bir konsol davranışı içinde eğilme şekildedir. A tipi bundan farklı bir mod şekli sergilemektedir. Tip B de üst katdaki birleşimlerin mafsallıdan rijit birleşime dönüştürülmesi ile mod şekilleri hemen konsolun mod şekillerinden uzaklaşmaktadır, Şekil 44. Yatay rijitlikler üzerinde etkili olan bu kararın serbest titreşim periyotları üzerinde de beklenen doğrultuda etkili olduğu Tablo 3 deki değerlerden anlaşılmaktadır.

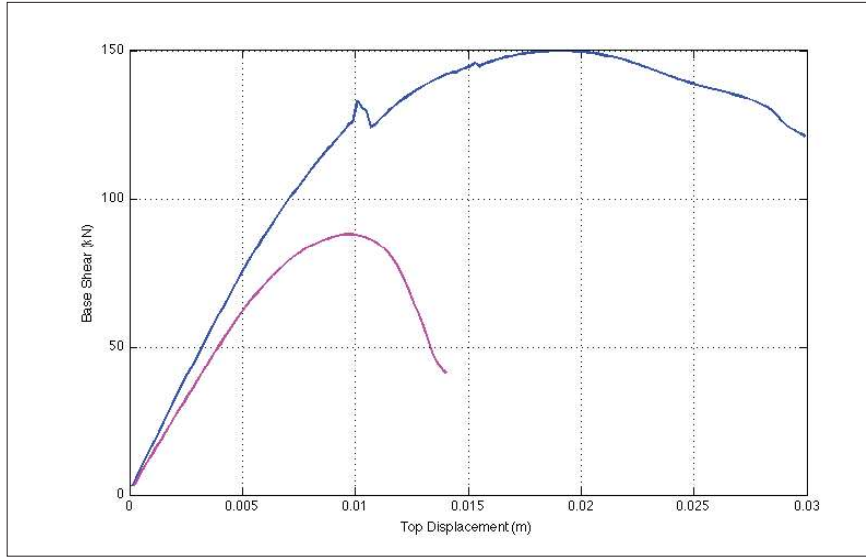


Şekil 44. Çerçeve elemanlarının üç farklı birleşim düzeni için titreşim modları

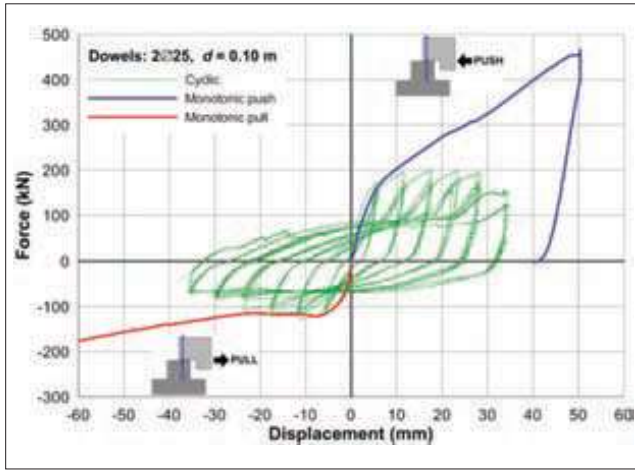
Tablo 3. İlk üç titreşim moduna ait periyotlar

Bina Tipi	T1 (sn)	T2 (sn)	T3 (sn)
A	0.45	0.15	0.09
B	1.07	0.21	0.10
C	1.86	0.32	0.14

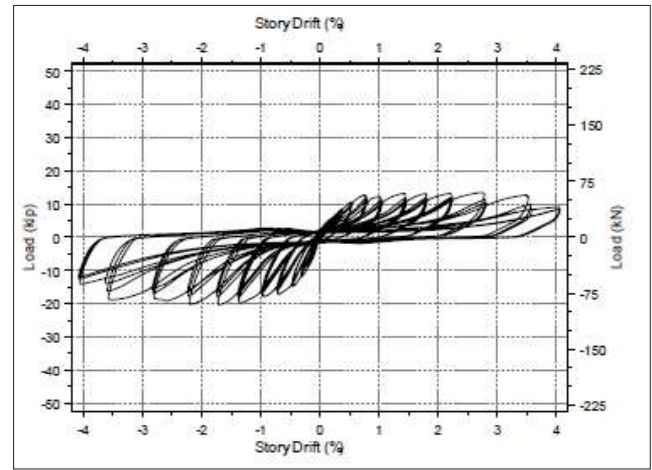
Üçüncü aşamada, Şekil 40 da verilen Tip A çerçevesinde yatay doğrultuda iki yönde yük artımı yöntemi uygulaması yapılmıştır. Şekil 45 de verilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme ilişkilerinin farklı karakterde olduğu görülmektedir. Giriş ve kolon kesitlerinin ya da prefabrike elemanlar arası birleşimlerin iki yönlü artan yükler etkisindeki davranışlarının simetrik olmadığı durumlarda, Şekil 46 a, b, yapı sisteminin de simetrik olmaması, yük artımı yönteminin uygulanma yönünü önemli kılmaktadır.



Şekil 45. İki farklı yönde uygulanan yük artımı yöntemi sonuçları



a



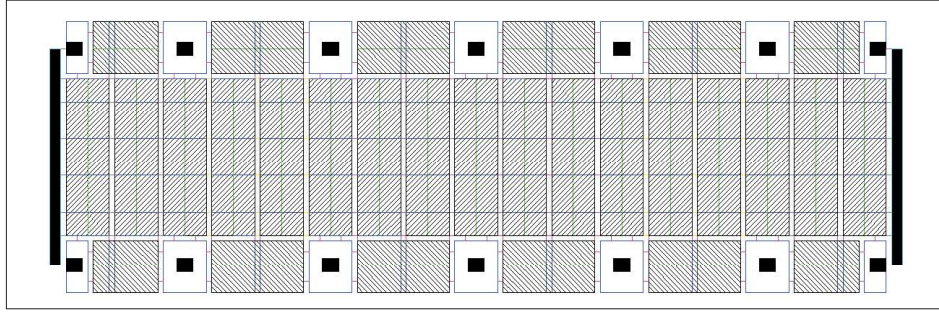
b (Ertas vd., 2006)

Şekil 46. Rijit bir kolona saplama ile bağlanan kiriş ve saplamanın davranışı, Bkz Bölüm II.

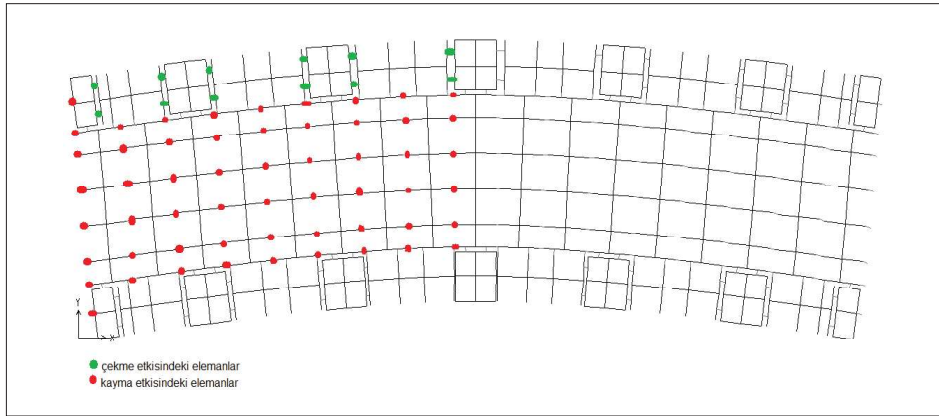
Örnek 2

Önemli ölçüde yatay yük çeken perde vb. elemanlar arasındaki açıklıkların bu açıklığa dik yapı boyutuna oranı büyüdükçe, döşemelerin düzlemleri içindeki şekildeğişimleri yatay yük dağılımı üzerinde etkili olabilmekte ve *döşeme tipi yapı* olarak anılan bu tür yapıların hesabında bu özelliğin gözönüne alınması zorunluğudur.

Rijit prefabrike elemanların saplama ile birbirine birleştirildiği özel iki döşeme türü beş katlı yapı, döşemeleri düzlemleri içinde rijit sayılarak, yürürlükteki yönetmeliklere göre boyutlandırıldıktan sonra döşeme düzlem içi şekildeğişimleri göz önüne alınarak irdelenmiştir, [Demir, 2011], [Taslak, 2011], Şekil 47. En büyük iç kuvvet ve şekildeğişirme farklılıklarının gözlemlendiği ilk kat tavanı esas alındığında ve yük artımı yöntemi sonuçları gözden geçirildiğinde, *saplama doğru ve doğru olmayan davranışlarının yapının genel davranışı üzerinde kontrol edici etkileri olabileceği, döşeme eleman saplama ile birbirine bağlanacaklarsa kalıcı şekildeğişimlerin bu elemanlarda yığılabildiği ve hesabın başında yapı için öngörülen genel sünekliğe ulaşabilmek için çok büyük bölgesel süneklikler gerektiği* gözlenmektedir Şekil 48.



Şekil 47. Rijit prefabrike panellerden oluşan döşeme türü bir yapı



Şekil 48. Döşeme düzlem içi şekildeğiştirmeler ve saplamaların akması

Boyutlandırma

Boyutlandırmanın güvenilirliği herşeyden önce yapısal çözümlenin sağladığı iç kuvvet dağılımının gerçeğe ne kadar yakın olabildiği ile ilgilidir. Bu da hesabın başlangıcında yapılan ve çözümlenmeye yönelik varsayımların incelenmekte olan sistem için geçerlilik düzeyine bağlıdır.

Deneysel ve kuramsal çalışmalarla ulaşılan bulgular gözönünde tutularak gerçekleştirilecek yapısal çözümler, bu güçlüklerin aşılmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu çalışmanın öncelikli amaçları arasında bulunan birleşimlerin hesabı uygulamaya kolaylık sağlayacak biçimde için nasıl basitleştirilebilecektir?

SAFECAST projesi kapsamında ele alınan çok sayıdaki birleşimin tasarımı aşağıda ikiye ayrılarak incelenmektedir;

- i- İTÜ de denenmiş ve değerlendirilmiş olan iki tip karma birleşim,
- ii- Diğer kurumlarda denenmiş ve değerlendirilmiş birleşimlerden seçilmiş bazıları

Bu özetlemedeki mantık düzeni içerisinde sırasıyla dayanım kapsamında olmak üzere göçme biçimleri ve hesaba esas olacak bağıntılar, süneklik, enerji yoğaltabilme, şekildeğiştirebilme ve hasar üzerinde durulacaktır.

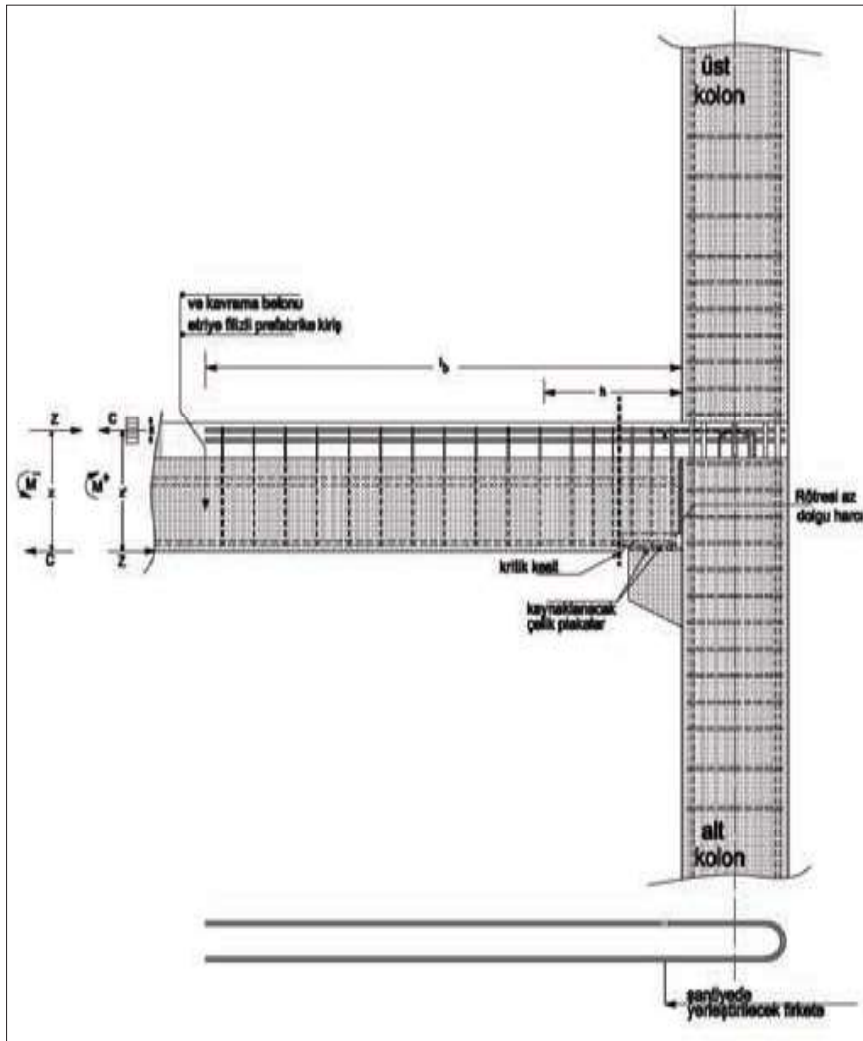
Göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta her iki birleşimde de bulunan prefabrike kirişlerin yerlerine konduklarında sınır koşullarının basit mesnetlenmiş kirişlere benzediğidir. Bu kirişler üzerine konan döşeme elemanları ve kavrama betonu da öz ağırlıklarını bu sınır koşulları ile sisteme aktarırlar. Yerinde dökülen betonun dayanım kazanmasından sonra sisteme etkiyecek hareketli yükler, deprem ve rüzgar yükleri vb. deneylerle saptanan rijitlik düzeyindeki simetrik olmayan birleşim bölgeleriyle bu dış etkilere karşı koyacaktır. Bu açıklama geleneksel prefabrike yapı oluşturma yöntemine dayanmakta ve uygulamada büyük kolaylık sağlamaktadır. Ancak tartışmaya ve geliştirilmeye açık olduğu düşünülmelidir. Birleşimin başlangıçta

mafsallı sonra bir ölçüde rijit olması, kirişi mesnetleyen kolon köşesi ya da kısa konsolun boyutlandırılmasının kirişten gelecek kesme kuvvetiyle olmasını gerektirmektedir.

Endüstri ve Konut Tipi Birleşimler İçin Moment Taşıma Mekanizmaları

Negatif moment etkisindeki *endüstri tipi* birleşimde; moment, ıslak beton içinde kalan donatının *Z çekme kuvveti* ve ona eşit fakat ters yönde alttaki kısa konsol üstündeki levha kaynaklarında ortaya çıkan *C basınç kuvvetinin* birlikte oluşturdukları momentle dengelenir. *Z* ve *C* arasındaki manivela kolu *z'* dir, Şekil 49.

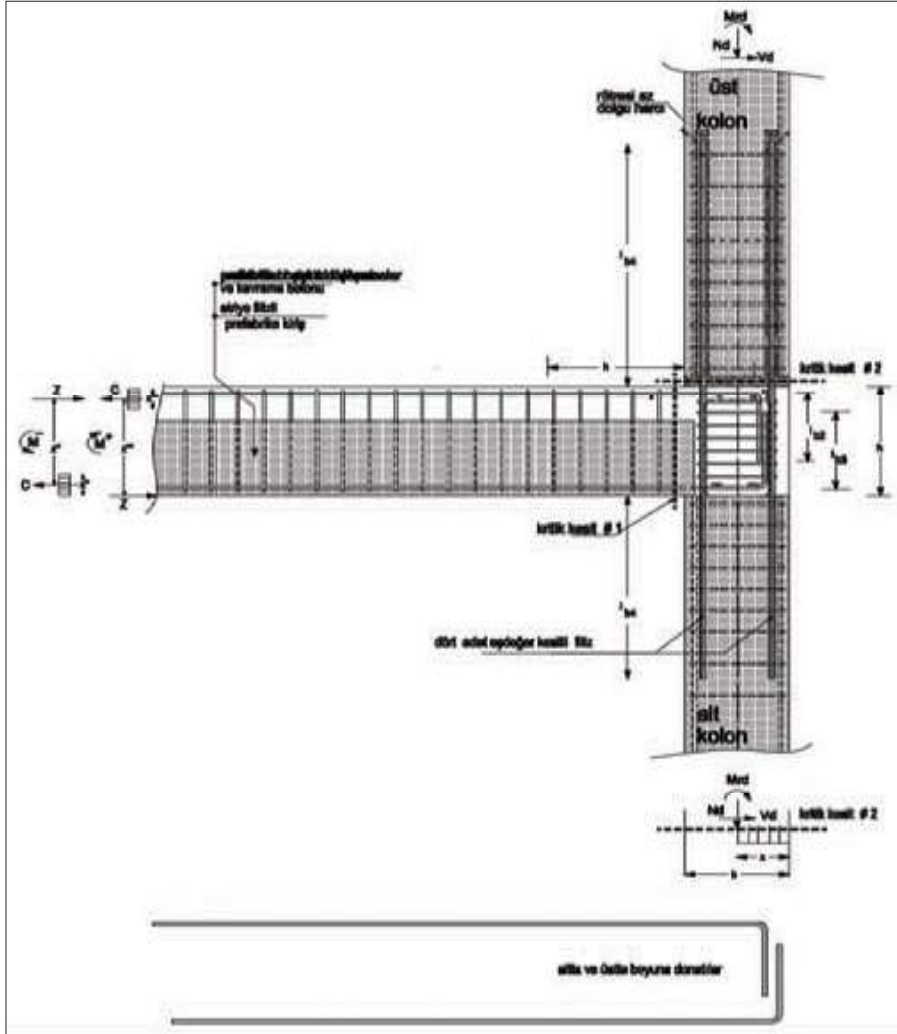
Aynı birleşimin pozitif moment etkisinde kalması durumunda; moment, kiriş altı ve kısa konsol üstü plakalarını birbirine bağlayan kaynaklardaki *Z çekme kuvveti* ile betonarme döşeme içinde oluşan basınç gerilmelerinin bileşkesi olan *C basınç kuvvetinin* oluşturduğu momentle karşılanır. Bu kez manivela kolu *z* dir.



Şekil 49. Endüstri tipi birleşimin pozitif ve negatif momente karşı koyuşu

Negatif moment etkisindeki *konut tipi* birleşimde; *Z çekme kuvvetleri* ıslak beton içindeki donatıda, ona eşit olan *C basınç kuvvetleri* ise kiriş alt kenarına yakın oluşan basınç gerilmelerinin bileşkesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetlerin aralarındaki manivela kolu *z''* dir, Şekil 50.

Aynı birleşimin pozitif moment etkisinde kalması durumunda, aralarındaki mesafe *z'''* olan ve kiriş altındaki donatının *Z çekme* ve ıslak betonla oluşan döşemedeki ona eşit *C basınç kuvvetinin* ortaya koyacağı moment oluşmaktadır.



Şekil 50. Konut tipi birleşimin pozitif ve negatif momente karşı koyuşu

Kuramsal göçme biçimleri

Negatif moment etkisindeki *endüstri tipi* birleşimlerde gözlenebilen göçme biçimleri şunlardır;

- Üstteki boyuna donatıların akması,
- Üstteki boyuna donatıların sıyırılması,
- Prefabrike kirişle üstündeki döşeme arasında olması gereken yatay kayma dayanımının aşılması,
- Kısa konsolla kiriş altındaki kaynaklı birleşimin kırılması.

Pozitif moment etkisindeki *endüstri tipi* birleşimlerde gözlenebilen göçme biçimleri şunlardır;

- Kısa konsolla kiriş altındaki kaynaklı birleşimin kırılması,
- Prefabrike kirişle üstündeki döşeme arasında olması gereken yatay kayma dayanımının aşılması.

Negatif moment etkisindeki *konut tipi* birleşimlerde gözlenebilen göçme biçimleri şunlardır;

- Üstteki boyuna donatıların akması,
- Üstteki boyuna donatıların sıyırılması,
- Prefabrike kirişle üstündeki döşeme arasında yatay kayma dayanımının aşılması.

Pozitif moment etkisindeki *konut tipi* birleşimlerde gözlenebilen göçme biçimleri şunlardır;

- Altta boyuna donatının akması,
- Altta boyuna donatının sıyırılması,
- Prefabrike kirişle üstündeki döşeme arasında olması gereken yatay kayma dayanımının aşılması.

Kuramsal hesapta kullanılacak bağıntılar**Endüstri tipi birleşim** (Şekil 49)

Kritik kesitin taşıyabileceği en büyük negatif moment $M_{Rd} = A_{st} f_{yd} z'$ bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada A_{st} ve f_{yd} sırasıyla kesitteki toplam üst donatı alanı ile $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ dir. f_{yk} donatının karakteristik akma dayanımını göstermektedir.

- a- **Eğilme**: Aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

Burada M_{Ed} yapısal çözümlenmeden gelen tasarım momentini göstermektedir. M_{Rd} depreme karşı koyan çerçevedeki kapasite tasarımı önlemlerinde kullanılacaktır.

- b- **Donatının kenetlenmesi**: Her donatı için aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$l_b \text{ u } f_{bd} \geq \gamma_R A_s f_{ym}$$

Burada l_b , A_s , u , f_{ctd} sırasıyla döşeme içindeki üst donatının kenetlenme boyu, donatı kesit alanı, donatı çeper uzunluğu ve ıslak birleşimdeki betonun çekme dayanımı, γ_R ise dayanım fazlalığı çarpanıdır. Aderans dayanım gerilmesinin alabileceği en büyük değer f_{bd} ile donatının ortalama akma gerilmesi f_{ym} aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir;

$$f_{bd} = 2.25 f_{ctd}$$

$$f_{ym} = 1.08 f_{yk}$$

- c- **Yatay kayma**: Bu amaçla aşağıdaki eşitsizliğin sağlanıp sağlanmadığına bakılmalıdır;

$$A_{ss} f_{yd} \geq \gamma_R A_{st} f_{ym}$$

Burada A_{ss} kiriş yüksekliği h ya eşit alınabilecek olan birleşim bölgesinde prefabrike kirişten çıkan filiz etriyelerin toplam kesit alanını göstermektedir.

- d- **Alt bağlantı**:

$$R = \gamma_R A_{st} f_{ym}$$

Kritik kesitte pozitif momentin alabileceği en büyük değer

$$M_{Rd} = R_R z$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada z

$$z = h - x / 2 \leq 0.96h$$

dir, x ise

$x = R_R / (f_{cd} b)$ ifadesiyle hesaplanacaktır. Bu bağıntıda R_R ve b sırasıyla yukarıda göçme biçimlerine bağlı olarak bulunan alt birleşim dayanımları arasında en küçük olanı ile döşemenin çalışan tabla genişliğini göstermektedir.

- e- **Eğilme**: Aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$M_{Rd} \geq \gamma_R M_{Ed}$$

burada M_{Ed} yapısal çözümlenmeden elde edilen tasarım momentidir.

- f- **Yatay kayma**: Bu amaçla aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$A_{ss} f_{yd} \geq \gamma_R R_R$$

burada A_{ss} kiriş yüksekliği h ya eşit alınabilecek olan birleşim bölgesinde prefabrike kirişten çıkan filiz etriyelerinin toplam kesit alanını göstermektedir.

Konut tipi birleşim (Şekil 50)**Kritik kesit # 1 – Asimetrik kesit**

Kritik kesitin taşıyabileceği en büyük negatif moment $M_{Rd} = A_{st} f_{yd} z''$ bağıntısı ile bulunabilecektir. Burada $z'' = h - x'' / 2 \leq 0.96 h$ ile hesaplanmalı ve $x'' = A_{st} f_{yd} / (f_{cd} b)$ olarak alınmalıdır. Bu ifadede b prefabrike kiriş genişliğini göstermektedir.

- a- **Eğilme** : Aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

burada M_{Ed} yapısal çözümlenme sonucu bulunan tasarım momentidir. M_{Rd} depreme karşı koyan çerçevedeki kapasite tasarımı önlemlerinde kullanılacaktır.

- b- **Donatının kenetlenmesi** : Her donatı için aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır;

$$l_{b1} u f_{bd} \geq \gamma_R A_s f_{ym}$$

burada l_{b1} , A_s , u , f_{ctd} sırasıyla döşeme içinde yer alan üst donatının eşdeğer kenetlenme boyu, o donatının kesit alanı, çevre uzunluğu ve yerinde dökülen betonun çekme dayanımıdır. Aderans dayanım gerilmesinin alabileceği en büyük değer f_{bd} ile donatının ortalama akma gerilmesi f_{ym} aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir.

$$f_{bd} = 2.25 f_{ctd}$$

$$f_{ym} = 1.08 f_{yk}$$

Döşeme içinde kalan kiriş üst donatısı için $(l_{b2} + a_c) \geq l_{b1}$ olması önerilmekte veya bu olamıyorsa alttan gelip yukarı kırılan donatıya kaynaklanması öngörülmektedir. Burada a_c kolon genişliğini göstermektedir. Birleşim bölgesinde yer alan alttaki donatıların kenetlenme boyu l_{b3} en az l_{b2} ye eşit olmalı ya da bunlara karşılık gelen üst donatıya kaynaklanmalıdır.

- c- **Yatay kayma**; Bu amaçla aşağıdaki eşitsizliğin sağlanıp sağlanmadığına bakılmalıdır; $A_{ss} f_{yd} \geq \gamma_R A_{st} f_{ym}$ burada A_{ss} kiriş yüksekliği h ya eşit alınabilecek olan birleşim bölgesinde prefabrike kirişten çıkan filiz etriyelerin toplam kesit alanını göstermektedir.

Kritik kesitte *pozitif momentin* alabileceği en büyük değer $M_{Rd} = A_{st} f_{yd} z''''$ bağıntısı ile belirlenebilecektir. Burada $z'''' = h - x''''/2 \leq 0.96h$ şeklinde hesaplanacak ve $x'''' = A_{st} f_{yd} / (f_{cd} b)$ alınacaktır. İfadedeki b etkin döşeme tabla genişliğini, A_{st} ise toplam boyuna donatı kesit alanını göstermektedir.

- d- **Eğilme** : a maddesine gidiniz.
e- **Donatının kenetlenmesi** : b maddesine gidiniz.
f- **Yatay kayma**: c maddesine gidiniz.

Kritik kesit #2 Simetrik kesit

Bu kesit eğilme momenti M_{Rd} , aksenal kuvvet N ve kesme kuvveti V nin birlikte etkisi altındadır. Boyuna donatıların aktığı düşünülerek aşağıdaki iki göçme biçimi üzerinde durulacaktır.

- a- $\gamma_R M_{Rd}$ ve N' in birlikte etkilediği **Çekme donatılarının sıyrılıp çıkması**:

Bu amaçla aşağıdaki eşitsizlik sağlanmalıdır,

$$l_{b4} u f_{bd} \geq \gamma_R A_s f_{ym}$$

Burada u ve A_s sırasıyla kesitteki dört eşdeğer filizden birinin çevresi ile kesit alanını göstermektedir. Bağlıntıdaki aderans gerilmesinin en büyük değeri f_{bd} ve donatının ortalama akma gerilmesi f_{ym} aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir;

$$f_{bd} = 0.45 f_{md}$$

$$f_{ym} = 1.08 f_{yk}$$

f_{md} burada kesitte kullanılan dolgu betonunun silindirik basınç dayanımını ve f_{yk} ise donatının karakteristik akma gerilmesini göstermektedir.

- b- **Yatay kayma**: Bu amaçla aşağıdaki eşitsizliğin gerçekleşip gerçekleşmediği gözden geçirilmelidir;

$$V_{Rd} \geq \gamma_R V_d, \text{ burada}$$

$$V_{Rd} = V_{dd} + V_{fd}$$

$$V_{dd} = 1.3 A_d (f_{cd} f'_{yd})^{1/2} \leq 0.25 A_d f'_{yd}$$

$$V_{fd} = 0.5 b x f'_{cd}$$

$$f'_{cd} = 0.5 f_{cd}$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemlerde b , x , f_{cd} , A_d ve f'_{yd} sırasıyla 2 *nolu kritik kesitin* genişliği, basınç bölgesi derinliği, yerinde dökülen beton ya da kolondaki betondan hangisinin basınç dayanımı küçükse onun basınç dayanımı, akmamış bulunan eşdeğer filiz donatı toplam alanı ve eşdeğer filiz donatıların tasarım akma dayanımını göstermektedir.

Önerilen γ_R değeri *orta düzeyde süneklik varsayımı* ile 1.2 dir.

Hasar ve Bölgesel Süneklikler

Deneylerde elde edilen bölgesel süneklik oranları Tablo 4 de toplu olarak verilmektedir. Ulaşılan değerler 3.5 ile 12.5 aralığında değişmektedir. Bazı numunelerde *yüksek düzeyde bölgesel süneklik* elde edilirken bazı numunelerde *normal (orta düzeyde) bölgesel süneklik* elde edilmiştir.

Tüm numunelerin *normal (orta düzeyde) bölgesel süneklığe* sahip olduğunu söylemek aşırı güvenli tarafta kalmak anlamına gelmekle birlikte bu tür birleşimlerden oluşan sistemlerin genel süneklliğini tanımlamak için ilave hesapların yapılması da gerekmektedir.

Güvenli tarafta kalan yaklaşımla; pozitif ve negatif eğilme momenti etkisinde bulunan ve deneysel olarak incelenen tipteki kiriş - kolon birleşimleri ve kiriş - kolon - kolon birleşimlerinde bölgesel süneklığın normal (orta) düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şekildeğiştirmeler

Görelî kat ötelenmesinin yaklaşık %1 e kadar olan değerlerinde düğüm noktasına birleşen elemanların uçları yaklaşık aynı dönmeyi yapmaktadır. *Konut tipi* birleşimde kiriş ucunda kolon uçlarına göre daha büyük görelî dönmeler meydana gelmektedir. Deneysel gözlemlere göre kayma çatlaklarının düğüm nokası içine girmesi ve kiriş boyuna donatılarının sıyırılması kiriş ucunda daha büyük görelî dönmelerin meydana gelmesinde etkili olmaktadır.

Görelî kat ötelenmesi %1 düzeyinde iken, düğüm nokası bütünlüğünü korumakta ve numunede dayanım azalması gözlenmemektedir.

Sonuçlar

Prefabrike yapıların *kenar açıklık kolon - kiriş birleşim bölgeleri* için ülkemizdeki bazı uygulamalardan esinlenerek gelen öneriler doğrultusunda gerçekleştirilen iki ayrı tip dış kolon - kiriş birleşim bölgesi, Avrupa Birliği destekli uluslararası bir ortak proje kapsamında ele alınmıştır.

Yatay yükler etkisindeki gerçek bir yapı davranışını laboratuvar ortamında elde edebilmek üzere olabildiğince büyük ölçekli 14 deney gerçekleştirilmiştir. Bunlardan 8'i 1/2, 6'sı da 1/1 ölçekli deneylerdir.

Kirişlerin iki yönde farklı olan eğilme özellikleri üzerinde etkili olacak boşluklu döşeme, kavrama betonu ve düğüm nokası üzerinde sargılama etkisi olan kiriş düzlemine dik ikincil kiriş parçaları da modele katılmıştır.

Tek yönde artan monotonik yükler ile artan iki yönlü yükler etkisinde bırakılan numuneler, iç kuvvet dağılımları statikçe belirli numunelerdir.

Ulaşılan sonuçların çeşitli açılardan ayrı ayrı değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Bilimsel bulgular

Ayrıntıları önceki bölümlerde yer alan çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilen deneysel ve ikinci aşamasında birinciye bağlı olarak geliştirilen kuramsal çalışmalar, araştırma ve / veya uygulama ağırlıklı çalışmakta olan meslektaşlarımıza aşağıdaki bulguları sağlamaktadır;

- i- Tek yönde artan yükler etkisindeki birleşim bölgesi davranışı ile iki yönlü tersinerek artan yükler etkisindeki davranış, konut tipi birleşimde daha çarpıcı olmak üzere, birbirinden farklıdır.
- ii- Gerek endüstri tipi gerekse konut tipi birleşimlerde birbirinden farklı düzeylerde olmak üzere, ilerleyen çevrimlerde dayanım kaybı, rijitlik azalması ve konut tipinde belirgin olarak kayma oyulmaları gözlenmektedir.
- iii- Tek yönlü artan yatay yükler etkisindeki birleşim bölgesi davranışı, bir boyutlu ve malzeme bakımından doğrusal olmayan çubuk elemanlar kullanılarak sağlanabilmektedir.
- iv- İki yönlü tersinir yükler etkisinde deneysel yollarla elde edilmiş çevrimsel davranışları, uygulamada kullanılan bazı modellerle yeter doğrulukta olmak üzere, yeniden üretmek mümkün olabilmektedir. Bu yol deneylerden elde edilen sonuçların benzer özellikler taşıyan, fakat denenmemiş birleşimlere de yaygınlaştırılabilmesi anlamına gelmektedir.
- v- Birleşim bölgesine gelen dış etkilerin yön değiştirmesi durumunda davranış simetrik değildir. Bu tür birleşim bölgelerinin yer aldığı yapı sisteminin de simetrik olmaması durumunda; yük artımı yönteminin kullanıldığı çözümlerinde, yüklemenin yönü elverişsiz yük-yerdeğiştirme eğrilerinin elde edilebilmesi açısından önemli olabilmektedir.
- vi- Endüstri tipi birleşim bölgeleri için önerilmiş ve sınanmış olan yeni kaynaklı birleşim detayları deprem olgusunu daha iyi yansıtan iki yönlü tersinir yükler etkisinde daha kararlı yüklenme çevrimleri oluşturmakta ve çeşitli erken göçme olasılıklarını ortadan kaldırmaktadır. Böylelikle kaynaklı eğilme ve kayma donatılarının kopması gecikmekte bunu izleyen kolon kiriş birleşim bölgesi içine kayma çatlaklarının erken girmesi önlenmektedir.

Table 4. Gözlenen hasarlar ve bölgesel süneklik düzeyleri

(IT: Endüstri Tipi, RT: Konut Tipi, M: Tek yönlü artan, C: Çevrimsel, NM: Negatif Moment, PM: Positive Moment)

Gözlenen Önemli Hasarlar		Süneklik		
Döşeme çekmede		Döşeme basınçta	Döşeme çekmede	Döşeme basınçta
ITMPM		%3 görelî ötelemede çelik plakaya kaynaklı etriyelerin kopması %3.5 görelî ötelemede kiriş boyuna donatısının kopması		7.0
ITMNM-1	%1 görelî ötelemede birleşimde ilk çapraz çatlakların oluşumu		3.7	
ITMNM-2	%1 görelî ötelemede kavrama betonu içindeki hasır donatıda ilk kopmanın gerçekleşmesi ve birleşim içinde çapraz çatlakların oluşumu		8.4	
ITC1		%2.0 görelî ötelemede kiriş boyuna donatılarının kopması	4.4	6.4
ITC2		%2.0 görelî ötelemede kiriş boyuna donatılarının kopması	6.3	4
RTMNM	%2 görelî ötelemede kavrama betonu içindeki hasır donatıda ilk kopmanın gerçekleşmesi, kiriş alt yüzünde betonda ilk ezilmenin oluşumu		4.1	
RTMPM		%2.5 görelî ötelemede kirişin birleşim bölgesinden ayrılması ve boşluklu döşeme elemanının çatlaması		-
RTC1	%2.5 görelî ötelemede hasır donatısının kopması ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde pas payının dökülmesi	%1.5 görelî ötelemede kolon kiriş birleşim bölgesinin arka tarafının çatlaması	10.8	7.1
RTC2	%2.0 görelî ötelemede hasır donatısının kopması, Kolon-kiriş birleşim bölgesinde pas payının dökülmesi	%1.5 görelî ötelemede kolon kiriş birleşim bölgesinin arka tarafının çatlaması	11.9	5.5
IITC1	%2.0 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının burkulması	%3.0 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının kopması	4.2	3.6
IITC2	%2.0 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının burkulması	%2.5 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının kopması	4.0	3.5
IRTC1	%2.5 görelî ötelemede kolon kiriş birleşim bölgesinin pas payının dökülmesi	%1.50 görelî ötelemede kirişin birleşim bölgesinden ayrılması ve boşluklu döşeme panelinin çatlaması	12.5	6.3
IRTC2	%3.0 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının burkulması	%1.50 görelî ötelemede kirişin birleşim bölgesinden ayrılması ve boşluklu döşeme panelinin çatlaması %3.5 görelî ötelemede kiriş alt boyuna donatısının kopması	12.2	12.3

vii- Konut tipi birleşim bölgelerinin davranışını daha iyiye götürmek üzere yapılan detay değişikliklerinden, donatı çaplarını azaltma ve dolaylı olarak donatı yüzeyini artırarak sıyrılmayı geciktirmek, özellikle bir yöndeki kayma oyulmasını azaltma yönünde etkili olmaktadır.

viii- Tasarı aşamasında alınacak önlemlerle kolon - kiriş birleşim bölgesinin içi yeterli kayma dayanımına sahip olduğu sürece kalıcı şekilde değişimlerin endüstri tipi birleşimlerde kısa konsolların ucundaki ve yakın çevresindeki kiriş bölgesinde, konut tipi birleşimlerde ise kolonların önünde kiriş üzerinde olması sağlanabilmektedir. Bu haliyle prefabrike elemanların biraraya getirilmekte olduğu her iki birleşim bölgesinin de birdöküm rijit sayılan birleşim bölgelerinden

farkı kalmayacak, benzer önlemler alınarak benzer güvenlik düzeylerine ulaşılabilmesi mümkün olacaktır. Ancak gerek prefabriğe birleşimli sistemler için olsun gerekse de birdöküm sistemler için olsun kapasite tasarımı esaslı önlemlerle göçme biçimlerinin kontrolü esastır. Tek katlı sistemler için daha güvenilir önlemler verilebilirken, çok katlı sistemler için bu kolay olamamaktadır. Hangi nedenlerle olursa olsun kesitlerde ortaya çıkan dayanım fazlalıkları bu hesaplarda gözönünde bulundurulmalı istenmeyen durumlara neden olabilecek haller üzerinde durulmalıdır. Bunlar yazının ikinci bölümünde tartışılacak konular arasındadır.

Ülkemiz ve AR-GE Alışkanlıkları Yönünden Bazı Sonuçlar

Uluslararası bir projenin rekabet öncesi aşamaya kadar sürdürülerek başarı ile tamamlanması kolay olmadığı gibi, katkıda bulunan taraflarca alınması gereken bazı dersleri de içermektedir;

- Her ülke ve/veya her kuruluş projenin geldiği noktadan başlayarak öncelikleri doğrultusunda yol alamaya devam etmelidir; araştırma yeni araştırmaları ve yeni araştırmacıları ortaya çıkararak devam etmelidir.
- Bu amaçla biriken deneyime ve bilgiye paydaşlarca ulaşılabilirdir.
- Araştırmayı destekleyen kuruluşlar elde edilen gelişmeleri göz önünde tutarak desteklerini arttırmalıdır.
- Pahalı ve zaman alıcı kapsamlı projelerin, bütünler nitelikte olmak üzere parçalara ayrılarak eşgüdüm içerisinde yürütülme üzere dağıtılması olanakları üzerinde durulmalıdır.

Teşekkür ve Bir Öneri

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde çok sayıda araştırmacının ve uygulamanın içinden gelen yapı mühendisleri ile Türkiye Prefabrik Birliği yetkililerinin, çeşitli düzeylerde önemli katkıları bulunmaktadır. Maddi ve manevi katkılar için teşekkürlerimizi sunmayı önemli bir görev saymaktayız. Bu bağlamda; Prof.Dr. Sumru PALA, Prof.Dr. Gülten GÜLAY, Prof. Dr. Alper İLKİ, İnş. Yük.Müh. Ahmet BAL, İnş. Yük. Müh. Aytaç ŞAHİN, İnş. Yük. Müh. Pınar İNCİ, İnş. Yük. Müh. Vedat KAPLAN, İnş. Yük. Müh. Hakan SARUHAN, Doç. Dr. Yasin FAHJAN, Dr. Şeref POLAT, İnş. Yük. Müh. Günkut BARKA, İnş. Yük. Müh. Hakan ATAÖY, Dr. Murat ŞENER ve İnş. Yük. Müh. Ümit ÖZKAN'a özel olarak teşekkür ederiz.

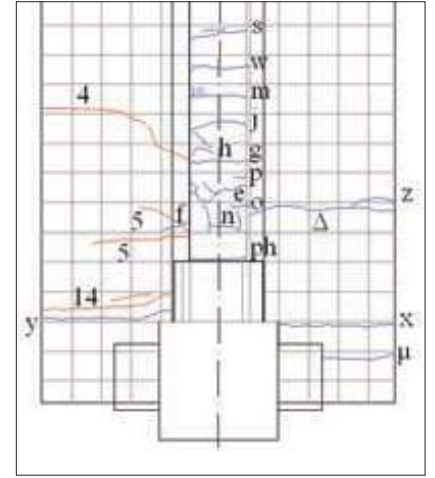
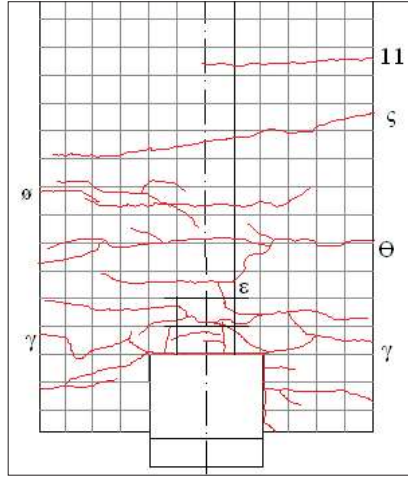
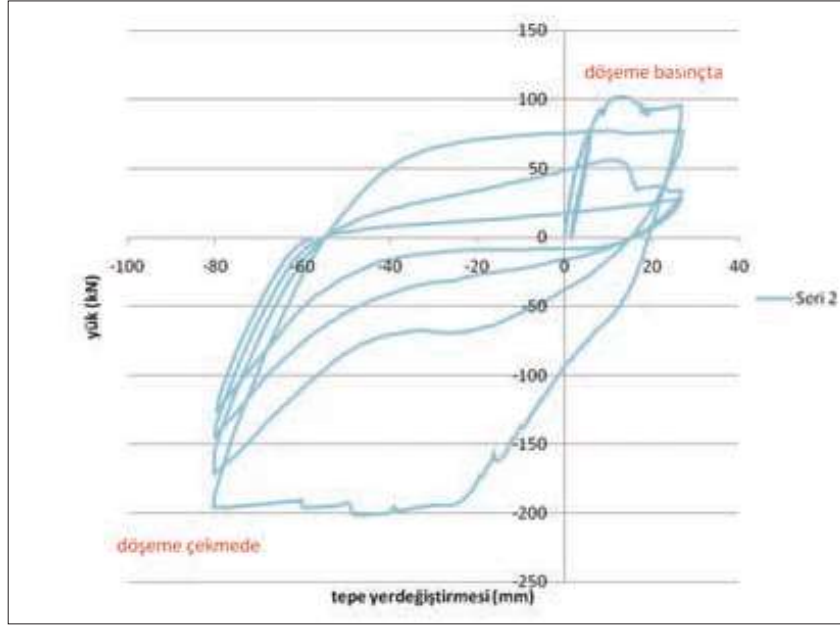
Üretilen veri ve ulaşılan bulgular farklı açılardan yapılabilecek yeni değerlendirmelere açıktır. Bu amaçla www.safecastproject.eu adresindeki bilgilere ulaşılabilir.

Kaynaklar

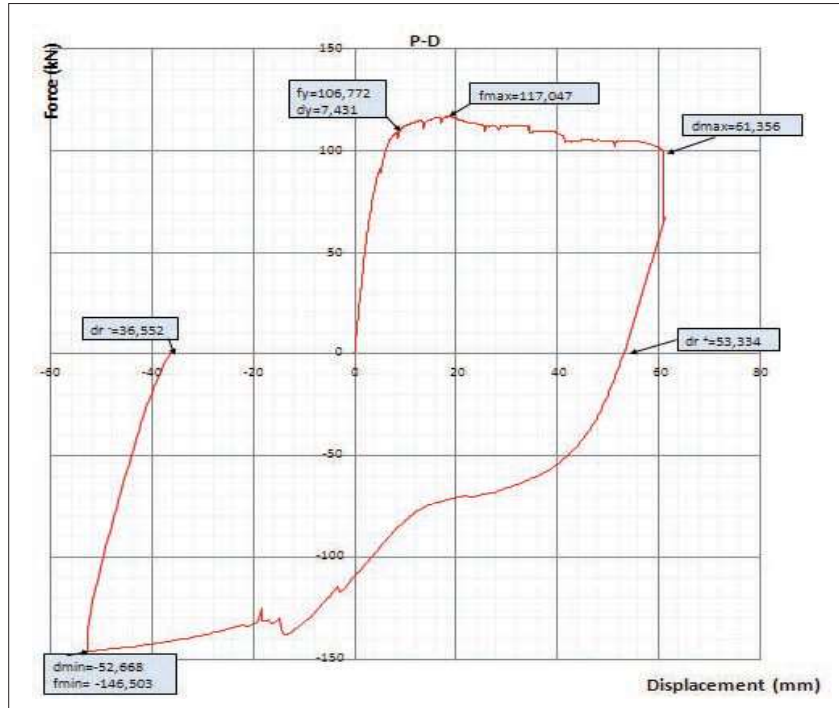
- DBYBHY, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Ankara.
- Demir, A., "Tümü Prefabriğe Elemanlardan Oluşan Döşeme Tipi Yapılarda Döşeme Düzlem İçi Rijitliğinin Yapı Davranışına Etkisi-Yatay Panelli Perdeler", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- Dowell, R.K., Seible, F., Wilson, E., "Pivot Hysteresis Model for Reinforced Concrete Members", ACI Structural Journal, V.95, No. 5, September-October, 1998, 607-617.
- DOC2B, Yüksel, E., "Bazı Düzensizlikler İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 1998.
- Ertas, O., Ozden, S., Ozturan, T., "Ductile Connections in Precast Concrete Moment Resisting Frames", PCI Journal, May-June 2006.
- Kaya, M., Arslan, A.S., "Analytical Modeling of Post-Tensioned Precast Beam-to-Column Connections", Materials and Design 30 (2009), 3802-3811.
- Korkmaz, H. H., Tankut, T., "Performance of A Precast Concrete Beam to Beam Connection Subject to Reversed Cycling Load", Engineering Structures 27 (2005) 1392-1407.
- Krawinkler, H., Parisi, F., Ibarra, L., Ayoub, A., Medina, R., "Development of a Testing Protocol for Woodframe Structures", Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, 2001.
- OpenSees, "The Open System for Earthquake Engineering Simulation", Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2012.
- Taslak, M.B., "Tümü Prefabriğe Elemanlardan Oluşan Döşeme Tipi Yapılarda Döşeme Düzlem İçi Rijitliğinin Yapı Davranışına Etkisi- Düşey Panelli Perdeler", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
- Yüce, S.Z. "Basitleştirilmiş Betonarme Sistemlerin Deprem Hesabı için Yerdeğiştirmeleri Esas Alan Bir Yöntem", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2009.

EKLER

Pilot Numune (ITC)



ITMPM

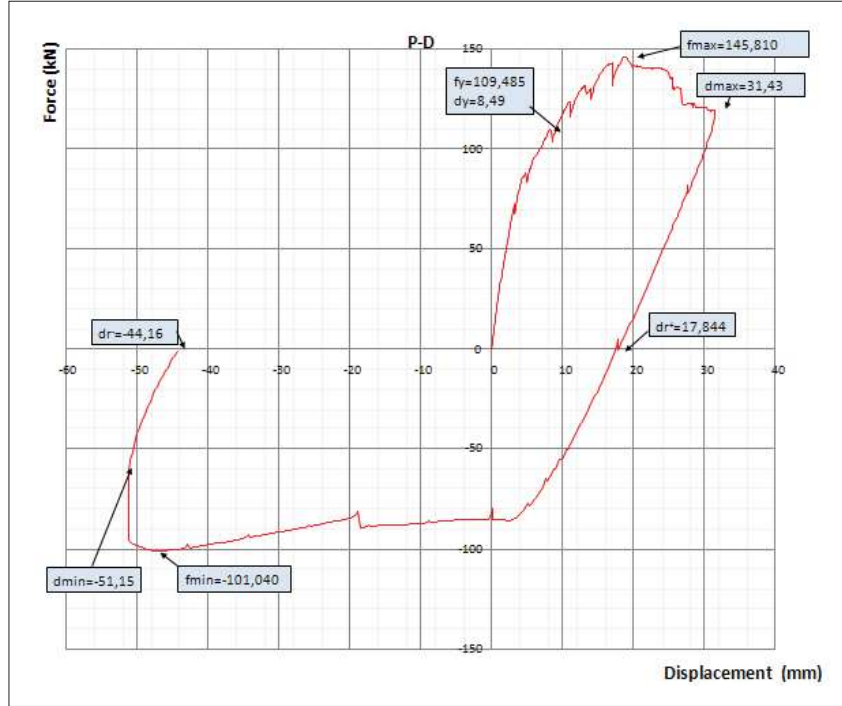
**Monotonik yükleme - Döşemenin basınçta olduğu durum**

"Akma" Dayanımı*	107 kN
Maksimum dayanım	117 kN
"Akma" Uzaması* (d_y)	7.4 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	6.26 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	61 mm
Süneklik oranı	$7 (d_{u,15\%}/d_y)$

* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



ITMNM - 1



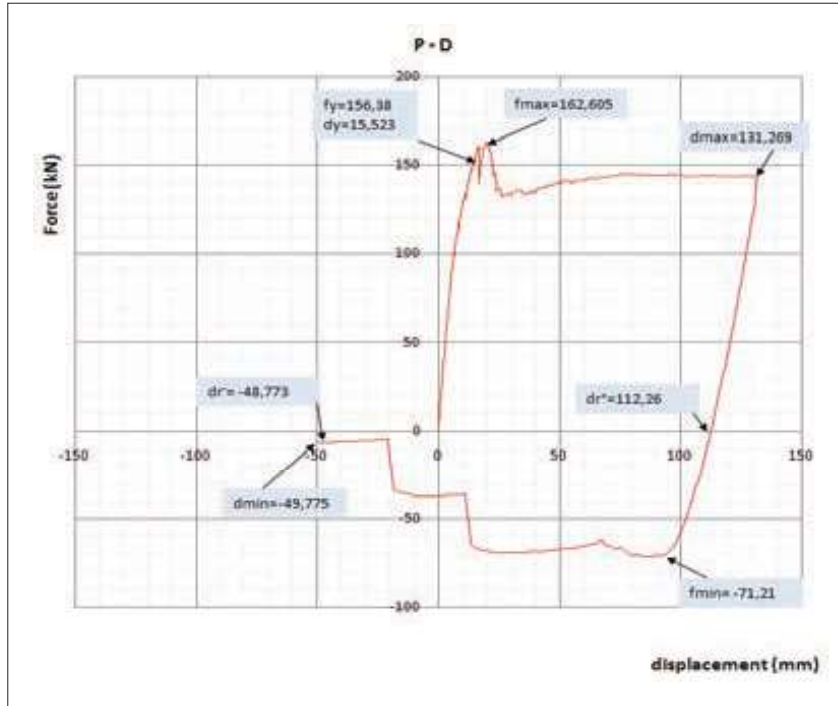
Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum

“Akma” Dayanımı*	109 kN
Maksimum dayanım	146 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	8.54 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	11.688 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	31 mm
Süneklik oranı	3.7 (d_{max}/d_y)

* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



ITMNM - 2



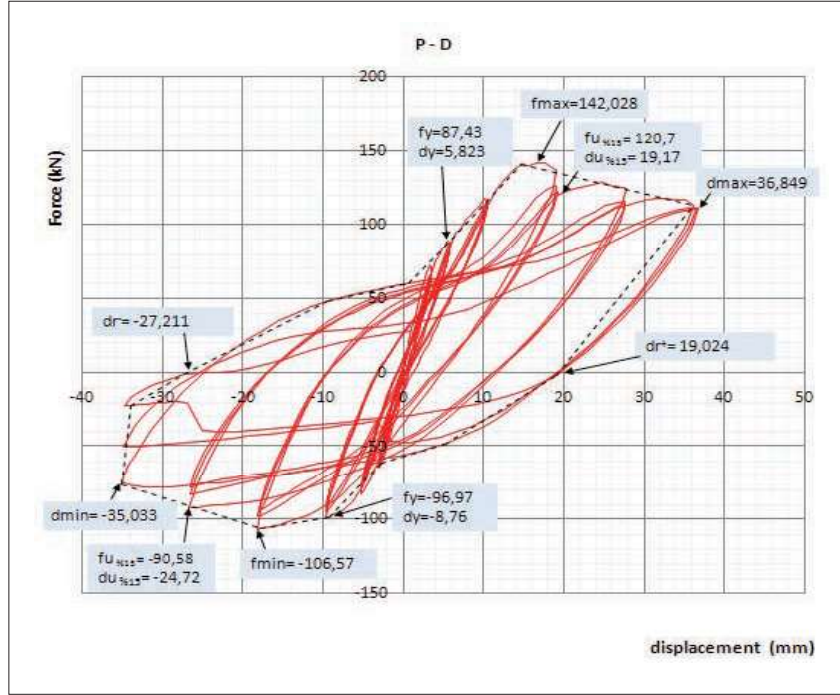
Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum

"Akma" Dayanımı*	156.38 kN
Maksimum dayanım	162.61 kN
"Akma" Uzaması* (d_y)	15.523 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	12.23 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	131.236 mm
Süneklik oranı	8.4 (d_{max}/d_y)

* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



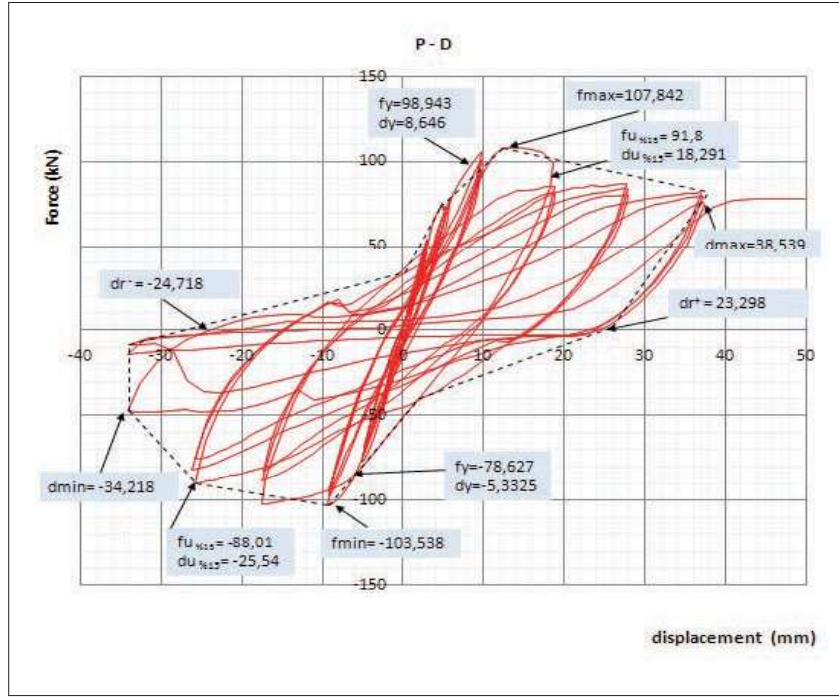
ITC - 1



	Çevrimsel Yükleme	
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basıncıta
“Akma” Dayanımı*	99 kN	-78 kN
Maksimum Dayanım	108 kN	-103 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	8.64 mm	-5.33 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	18.291 mm	-25.54 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,10t}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	38.539 mm	34,218 mm
Süneklik Oranı	4.46	6.42
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	23.449 kNm	



ITC - 2

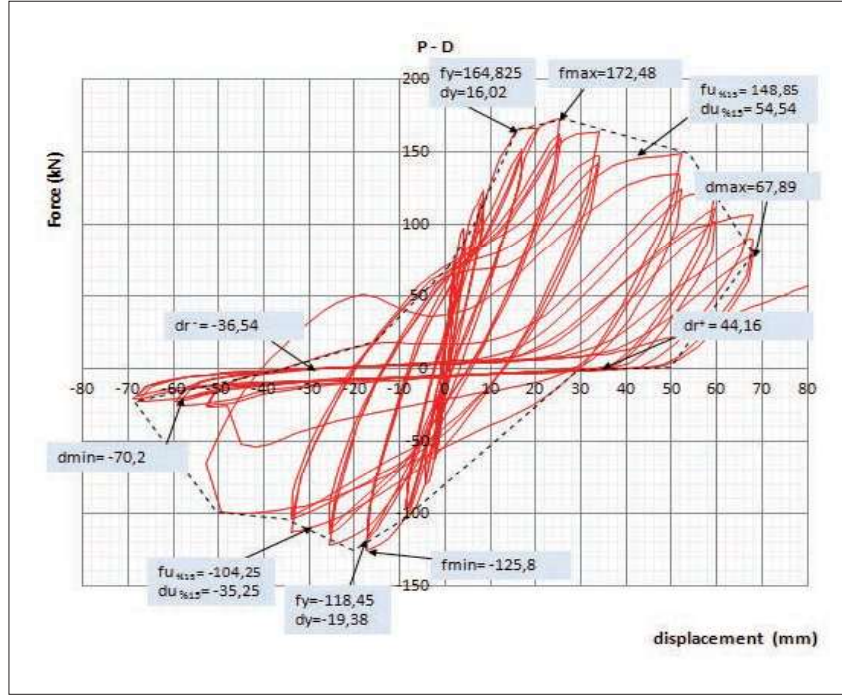

Çevrimsel Yükleme

	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	87 kN	-96 kN
Maksimum Dayanım	142 kN	-106 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	5.82 mm	-8.76 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	19.17 mm	-24.72 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	36.849 mm	35.033 mm
Süneklik Oranı	6.32	4
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	33.854 kNm	

* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



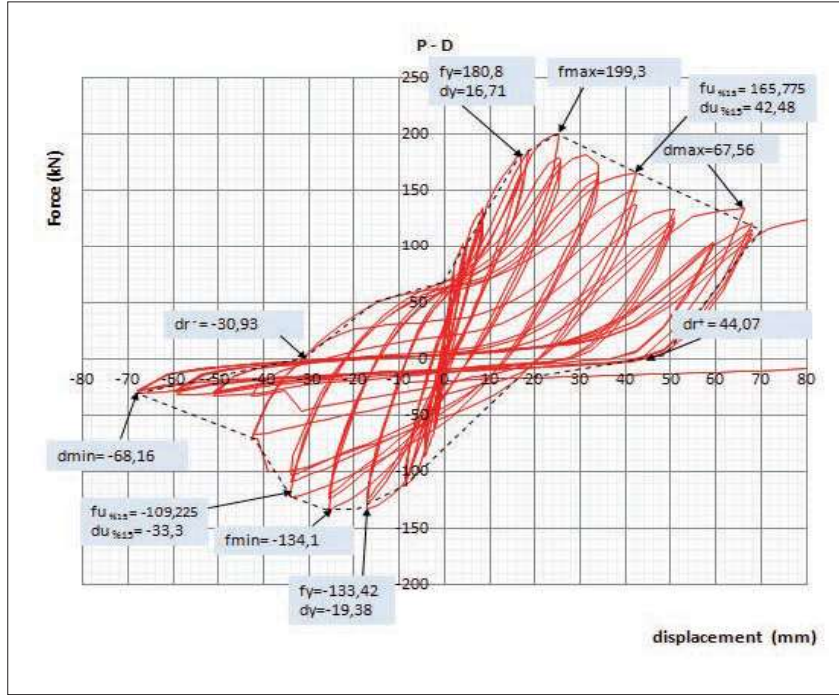
R – ITC - 1



	Çevrimsel Yükleme	
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	164.83 kN	-118.45 kN
Maksimum Dayanım	172.48 kN	-125.8 kN
“Akma” Uzaması* (d _v)	16.02 mm	-19.38 mm
Kopma Uzaması (d _{u,15%} ; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	54.54 mm	-35.25 mm
Kopma Uzaması (d _{u,tot} ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	67.89 mm	70.2 mm
Süneklik Oranı	4.23	3.62
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	68.73 kNm	



R – ITC - 2

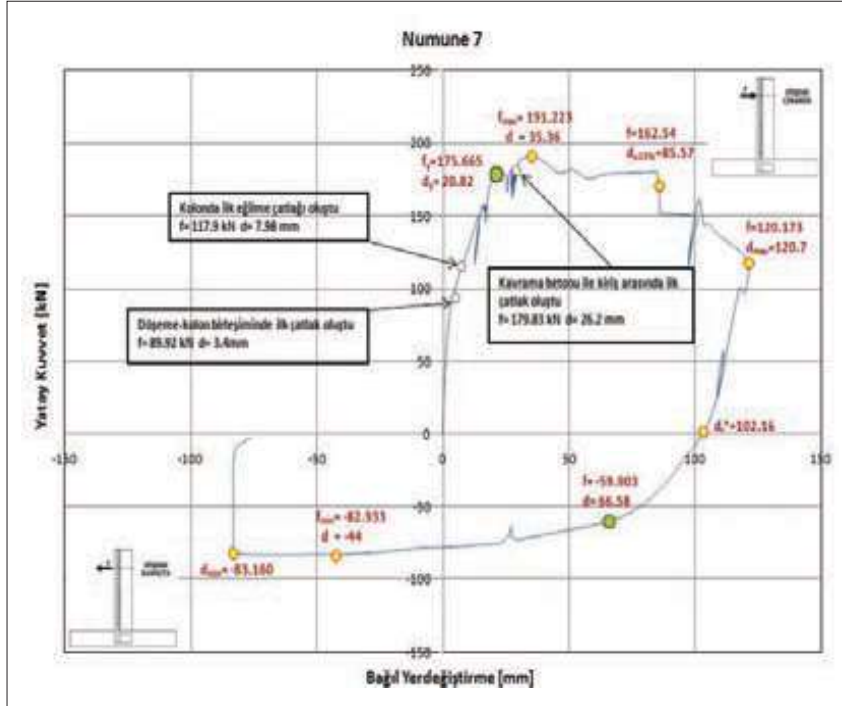


Çevrimsel Yükleme

	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	180.80 kN	-133.42 kN
Maksimum Dayanım	199.30 kN	-134.10 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	16.71 mm	-19.38 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	42.48 mm	-33.30 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	67.56 mm	-68.16 mm
Süneklik Oranı	4.04	3.52
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	79.023 kNm	



RTMNM



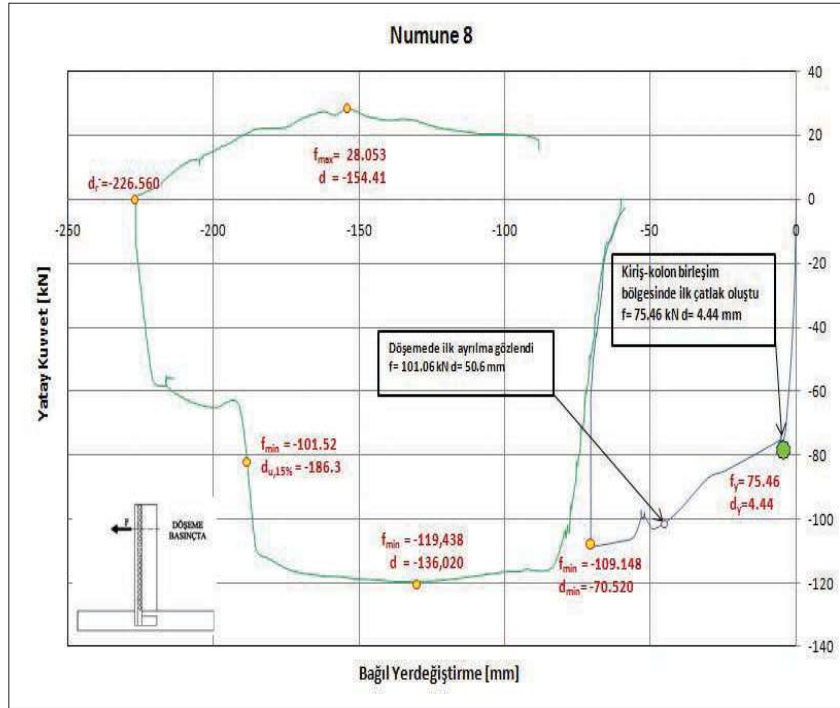
Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum

"Akma" Dayanımı*	175.665 kN
Maksimum dayanım	191.223 kN
"Akma" Uzaması* (d_y)	20.82 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	85.857 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	120.7 mm
Süneklik oranı	4.12 ($d_{u,15\%}/d_y$)

* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



RTMNM



Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum

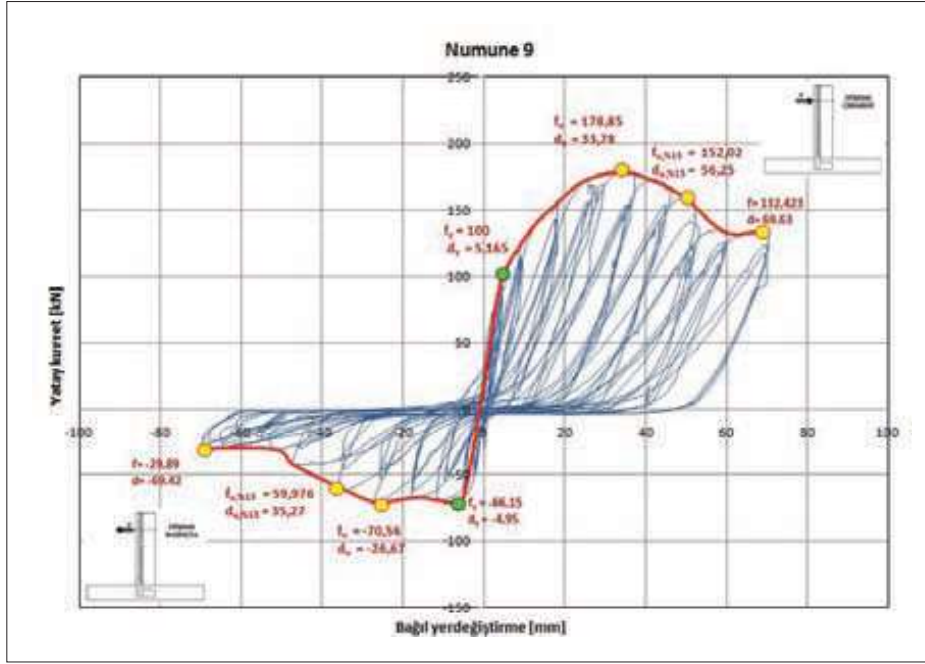
"Akma" Dayanımı*	75.46 kN
Maksimum dayanım	119.438 kN
"Akma" Uzaması* (d_y)	4.44 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	186.305 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	185.304 mm
Süneklik oranı	~**

* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

** Kopma uzamasının akma uzamasına oranı gerçeği yansıtmayacak derecede büyük bir değer olduğundan süneklik tespit edilememiştir.



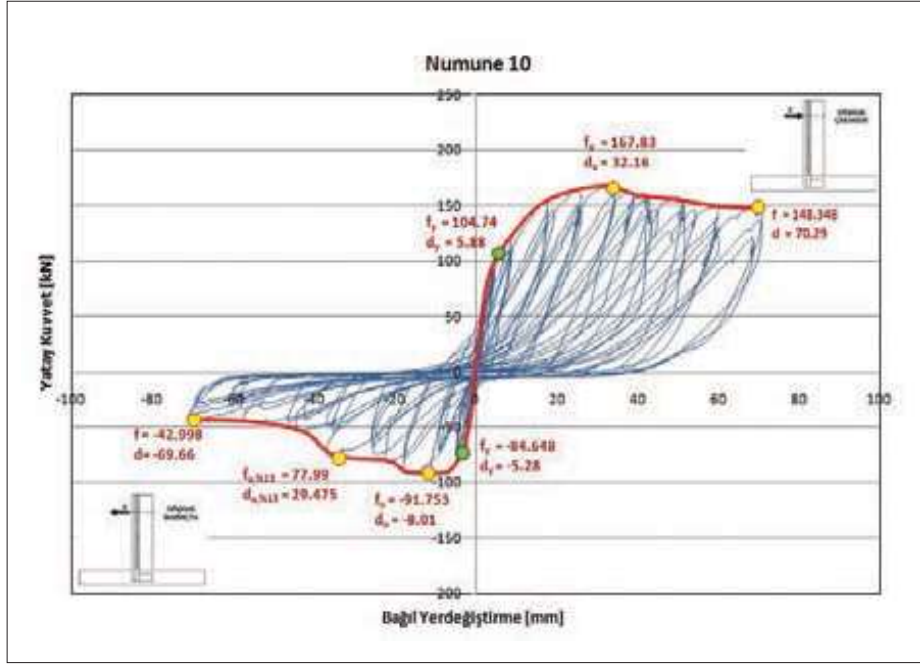
RTC - 1



	Çevrimsel Yükleme	
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	100 kN	66.15 kN
Maksimum Dayanım	178.85 kN	70.56 kN
“Akma” Uzaması* (d_v)	5.165 mm	4.95 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	56.25 mm	35.27 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	69.63 mm	69.42 mm
Süneklik Oranı	10.89	7.13
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	42.06 kNm	



RTC - 2



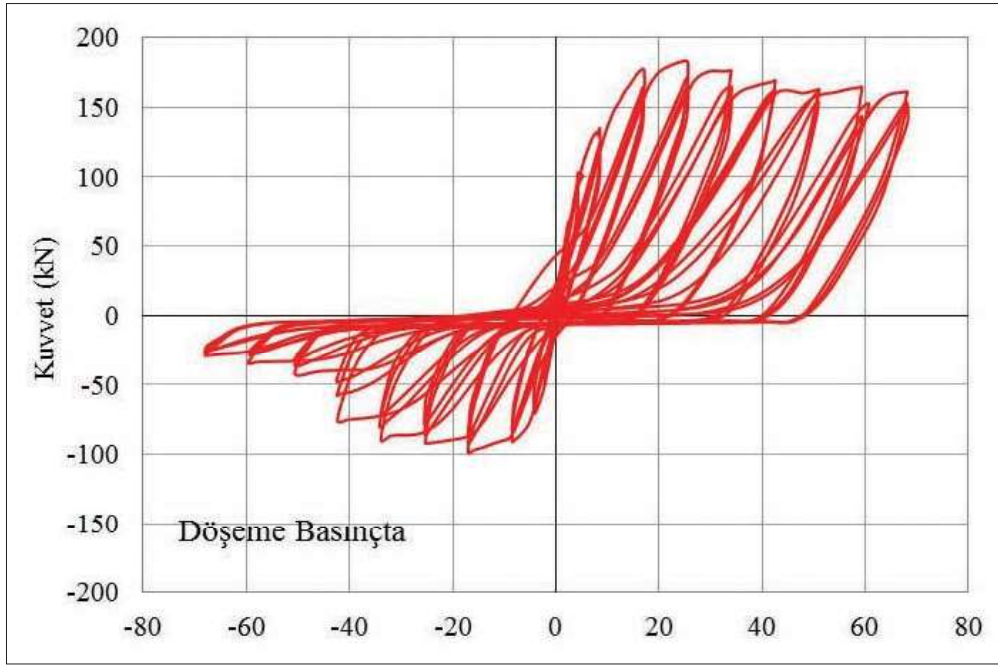
Çevrimsel Yükleme

	Döşeme Çekmede	Döşeme Basıncıta
“Akma” Dayanımı*	104.74 kN	84.648 kN
Maksimum Dayanım	67.83 kN	91.753 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	5.88 mm	5.28 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	70.29 mm	29.475 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	70.29 mm	69.66 mm
Süneklik Oranı	11.95	5.58
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	54.01 kNm	

* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



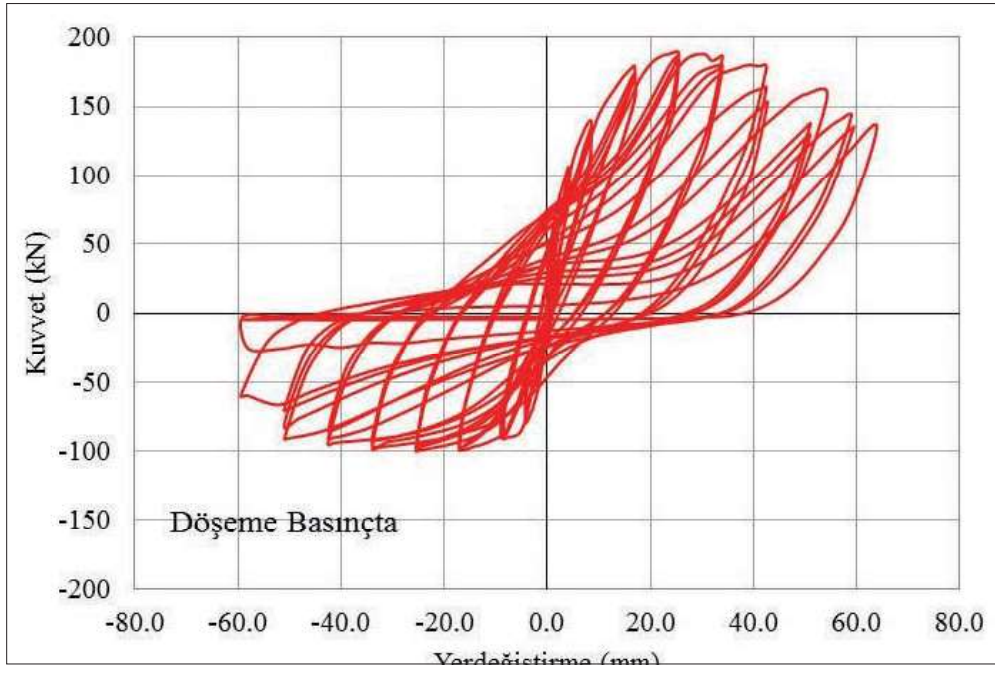
R – RTC - 1



	Çevrimsel Yükleme	
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	103.5 kN	66.85 kN
Maksimum Dayanım	182.46 kN	98.43 kN
“Akma” Uzaması* (d_v)	5.46 mm	4.06 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	68.13 mm	25.44 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)		
Süneklik Oranı		
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi		



R – RTC - 2



	Çevrimsel Yükleme	
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	104.65 kN	79.98 kN
Maksimum Dayanım	186.90 kN	99.73 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	4.11 mm	4.23 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	50.07 mm	52.03 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)		
Süneklik Oranı		
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi		

