

ÇOK KATLI BETONARME PANEL YAPILARIN YATAY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI: TEORİK VE DENEYSEL ARAŞTIRMA

Abdulkerim İLGÜN¹, Ergin ATIMTAY²

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya

²ODTÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Makalenin Geliş Tarihi:

ÖZET: Bu çalışmanın konusu, tünel kalıp tekniği ile inşaa edilen çok katlı yapıların deprem yükleri altındaki dayanım ve davranışının araştırılmasıdır. Bu amaçla, tünel kalıp teknolojisi uygulanmış yapıların yatay elemanları olan döşemeler ile düşey elemanları olan perdelerin birleşim bölgelerinden oluşan bir kesit modellenmiştir

Modellenen yapı sistemi, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında çelik profillerden imal edilmiş yatay yük çerçevesinde tersinir-tekrarlanır yük altında denenmiştir. Modeller üzerindeki tersinir-tekrarlanır yatay yük uygulaması; perde ve döşeme boyutları sabit olmak üzere, perdelerdeki donatı miktarlarına ait parametreler değiştirilerek 4. kat, 3. kat ve 2. katlardan uygulanmıştır.

Betonarme perdelerde yatay ve düşey donatı aralıklarının etkisinin belirlenmesi için TİPA; TİPB ve TİPC olmak üzere üç çeşit model üzerinde deneyler yapılmıştır. Numunelerde kullanılan donatı düzenine göre moment-eğrilik, yük-şekil değiştirme ve perde tabanında meydana gelen yük-deplasman grafikleri hazırlanmıştır. Bu değerler kendi içlerinde ve teorik araştırmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca perde kesitinin, yerleştirilen donatıların kopma anındaki moment kapasiteleri deneysel ve teorik olarak irdelenmiştir. Model perdeler yatay yük uygulaması sırasında meydana gelen çatlaklar incelenerek göçme türleri hakkında görüşler ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Betonarme panel yapılar, perdeli yapılar, yatay yükleme davranışı.

ABSTRACT: The subject of this research is the study of the strength and behavior of multi-story buildings constructed by the tunnel-framework technique subjected to earthquake excitations. For this purpose, a section composed of the connection regions of the structural walls which are the vertical members and the floors which are the lateral members of the buildings constructed by the tunnel-framework technology is modeled.

The modeled structural system has been tested under reverse-cyclic loading within a lateral load testing frame assembled from steel profiles at Selcuk University, Engineering-Architecture Faculty, Civil Engineering Department Structures Laboratory. The reversed-cyclic loading are applied on the models at the 4th, 3rd and 2nd floor levels by varying the parameters belonging to the amount of reinforcement and keeping the thickness of shear wall and slab constant.

In order to determine the effect of the spacing of vertical reinforcement in reinforced concrete shear walls, experiments have been carried out on three different models namely Type-A; Type-B and Type-C. The diagrams of moment-curvature, load-deformation and load-displacement of the bottom of shear wall are plotted with respect to the reinforcement patterns used in the specimens. These values are compared with each other and with the results obtained from the theoretical study.

Moreover, for the shear wall sections, the moment capacities of the embedded reinforcing bars at the time of failure are discussed experimentally and theoretically. By inspecting the cracks of the model shear walls occurred during the application of lateral force, some conclusions have been made about the failure modes.

Key words: Reinforcement panel structures, shear-walled structures, lateral loading behavior.

GİRİŞ

Son yıllarda, Ülkemizde hızlı nüfus artışı yanında kentsel bölgelere göç sebebi ile konut açığı giderek artmış ve bu açığın kapatılması bir mecburiyet haline gelmiştir. Aynı problem bütün dünya ülkelerinde de ortaya çıkmış ve buna bağlı olarak yoğun şekilde yüksek yapılara ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır.

Günümüzde yüksek yapılar, perdeli, perdeli-çerçevesel olarak projelendirilip uygulanmaktadır. Son yıllarda Ülkemizde yüksek yapı uygulamalarının artması, özellikle bu yapıların projelendirilmesi ile ilgili çeşitli sorunların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu nedenle ülkemizdeki uygulamaları hızla artan yüksek yapıların yatay yüklere göre projelendirilmesi de giderek daha çok önem kazanmaktadır. Bu toplu konutların birçoğu da yüksek yapı olarak projelendirilip inşaa edilmektedir. Bu konutların birçoğunda tünel kalıp sistemi uygulanmakla birlikte, henüz Dünyada da panel sistemle yapılan yüksek yapılarla ilgili çalışmalar yeterli değildir.

Tünel kalıp sistemi ve perde çerçeve karışımı taşıyıcı sistemler, yüksek yapılarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu taşıyıcı sistemlerin deprem dayanıklılığı henüz tam olarak anlaşılmış ve kesin çözümlere kavuşturulmuş değildir.

Çalışmamızda panel yüksek yapıların yatay yüklere göre hesaplanması, analitik metotlarla da yapılmıştır. Ayrıca bir deney düzeneği oluşturularak, panel yüksek yapıların modeli üzerinde test çalışmaları yapılarak elde edilen test sonuçları ile analitik hesap metotlarının sonuçları karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir.

Günümüze kadar yapılan araştırmaların sonucu oluşan "bilgi birikimi" ile deprem bölgelerinde de çok yüksek betonarme yapılar gerçekleştirilmiştir. Bu yapılar

gerçekleştirilirken belirli kabuller, yaklaşımlar ve tecrübe birikimi kullanılmış ve henüz tam açıklığa kavuşmayan problemlere "emniyetli" çözümler getirilmiştir.

Zaman içinde "emniyetli" olarak yapılan bazı kabullerin hiç de emniyetli olmadığı anlaşılmakta, deprem geçirmiş yüksek yapılarda ise, hiç bilinmeyen yeni problemler ortaya çıkmaktadır. Yüksek yapıların yoğun olarak uygulanmaya başlandığı günümüzde, yüksek yapıların bilimsel olarak araştırılması ve henüz tam açıklığa kavuşmayan noktalara bilimsel cevapların bulunması son derece önemlidir.

Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın konusu, tünel kalıp tekniği ile inşaa edilen çok katlı yapıların deprem yükleri altındaki dayanım ve davranışının araştırılmasıdır. Tünel kalıp teknolojisi kullanılarak inşaa edilmiş çok katlı yapılar, Türkiye'de toplu konut alanında standart uygulama haline gelmiş durumdadır. Bu nedenle çok sayıda insanın yaşamını devam ettirdiği tünel kalıplı yapıların, yatay yükler altındaki davranışının ve güvenliğinin bilinmesi son derece önemli hale gelmiştir. Tünel kalıp teknolojisi ile imal edilen çok katlı yapıların deprem güvenliği konusundaki belirsizlikler bu yapıların, yıkıcılığı yüksek olan olası bir deprem altında kabul edilemez ölçüde hasar görmelerine yol açabilecektir. Bu büyük risklerin araştırılması ve gerekiyorsa tedbirlerin alınması bir zorunluluktur.

Bu çalışmanın amaçları;

1. Tünel kalıp sistemi ile inşaa edilmiş yapıların, yatay yükler altındaki davranışının belirlenmesi,
2. Bu yapılarda, sistemin uygulandığı şekli ile, sakıncalı ve eğer varsa hatalı yönlerinin ortaya çıkarılması,

3. Tünel kalıp uygulanan yapıların, yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması ile ilgili önerilerin ortaya konulması,

4. Türkiye’de tünel kalıplı çalışma sistemine “bilgi birikimi” kazandırılması,

5. Tünel kalıp teknolojisi ile daha önce inşaa edilmiş yapıların, ne tür bir yatay yük riski altında olduğunun araştırılarak, bu risklere karşı alınması gereken önlemler hakkında görüş ve önerilerin ortaya konulması, olarak sıralanabilir.

Model perdeler üzerinde yapılacak deneylerden şu sonuçların çıkarılması beklenmektedir;

1. Kat seviyelerinde yatay döşeme plağı ile rijitleştirilmiş tünel kalıp perdesi eğilme altında nasıl bir çatlama davranışı gösterecektir?

a. Hesaplanmış yatay yüklere maruz döşemeli perdede enerji tüketimi nasıl olmaktadır?

b. Kırılma modu (eğilme ve/veya kesme olarak) nasıl gerçekleşmektedir?

c. Süneklik özellikleri nasıldır?

2. Eğilme çatlaklarının derinliği, genişliği nasıl olacak ve bunlar yapının dayanımıyla oluşacak deplasmanı nasıl etkileyecektir?

3. Eğik asal çekme çatlakları oluşacak mı? Oluşursa, nasıl meydana gelecek, oluşan çatlak, yukarı katlara doğru ilerlediği zaman, kat aralarındaki döşeme diyaframından nasıl geçecektir?

4. Çatlayan perde duvarlarda stabilite problemleri oluşacak mıdır?

5. Tünel kalıp teknolojisinin kullanıldığı yapılarda hasar nasıl meydana gelmektedir? Bu hasarın kabul edilebilir ve tamir edilebilir sınırlarda oluşması sağlanabilecek midir?

6. Perde-döşeme birleşim bölgelerinde oluşabilecek hasar durumu tespit edilebilecek midir?

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında ölçeği 1/5 olan 8 adet model perde sistemi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Deney numuneleri, değişik parametreler dikkate alınarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Donatı düzenine göre TİP A, TİP B, TİP C olmak üzere toplam 3 tip perde modeli geliştirilerek denenmiştir (İlgün, A.).

Deney Modelinin Geliştirilmesi

Deneylerde kullanılacak model perde duvar, uygulamada dört katlı ve tünel kalıp sistemi ile yapılmış bir betonarme yapının 1/5 oranında küçülmesi suretiyle tasarlanmıştır. Model, tünel kalıp sistemi ile yapılmış bir yapının sadece bir aksına ait olup, perdenin tamamı ile, perdeye saplanan kat döşemelerinin (½) lik parçaları alınarak düzenlenmiştir (Şekil 1,2).

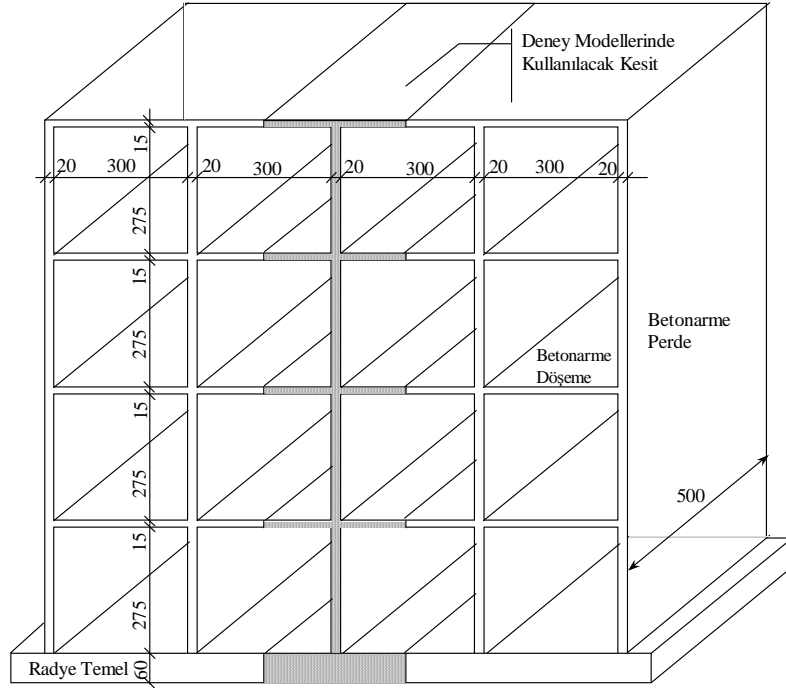
Üretilen model perdeye ait boyut ve malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Deneylerde Yapılan Ölçümlerin Tanımı

Perdelerde göçme yüküne erişinceye kadar yapılan yüklemelerin, her kademesinde perdenin önceden belirlenen farklı yerlerindeki yatay ve düşey deplasmanların ölçülmesi için LVDT’ler kullanılmıştır. Perdenin mesnet bölgesinde, uçların bir birlerine göre yük/sehimleri hazırlanarak karşılıklı yüklemelerde, yük/sehimin kontrol yapılmıştır. Ayrıca perdelerin ön ve arka yüzlerinin temel kısımlarında da ölçüm yapılarak temelin deney esnasında düşey ve yatay yönde deplasman kontrolü için Şekil 3, moment eğrilik grafiklerini hazırlamak için ise Şekil 4 deki LVDT yerleşimi kullanılmıştır.

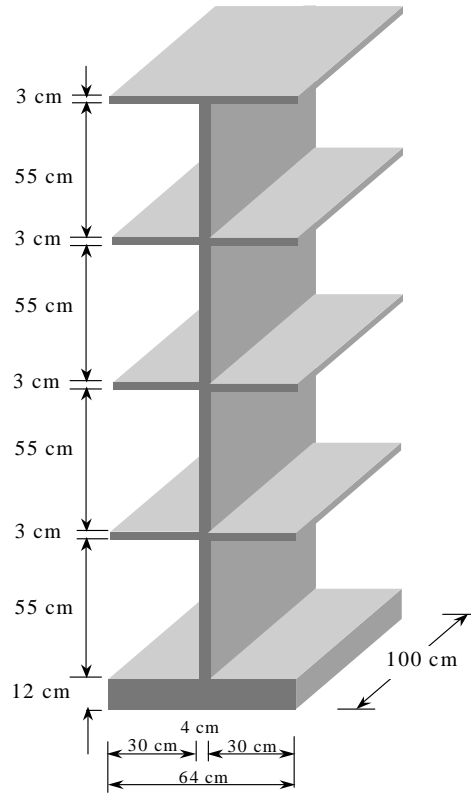
Deneyler, S.Ü. Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında bulunan 10 tonluk eğilme çerçevesinde yapılan değişikliklerle elde edilen yatay yük çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, yükleme işlemi yükün tatbik edileceği noktaya bağlanan ve elle kumanda edilen hidrolik kriko ile yapılmıştır. Yük, perdelerin kat seviyelerinde bulunan Load Cell (yük ölçer) vasıtasıyla perdeye aktarılmıştır.

Yükleme başladıktan sonra, belli aralıklarla seçilen yük kademelerinde ölçülen bütün düşey ve yatay deplasmanlar / sehimler, deney düzeneğine bağlanmış bulunan ve bu amaçla hazırlanmış bir programla çalışan bilgisayar vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır. Bu yükleme ileri ve geri şeklinde uygulanarak deprem yükü gibi değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Tünel Kalıp sistemi ile yapılan bir perdeli yapı (ölçüler cm).

Figure 1.

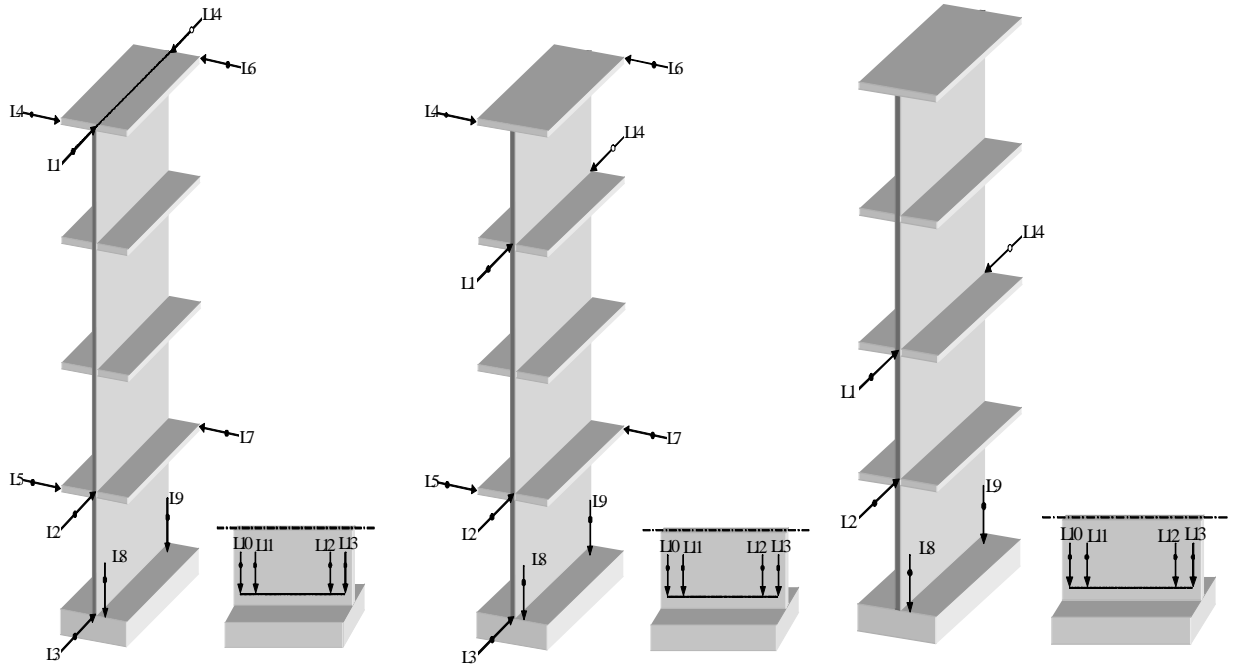


Şekil 2. Dizayn edilmiş model perde.

Figure 2.

Tablo 1. Üretilen model perdeler için boyut ve malzeme özellikleri (İlgün, A.).
Table 1.

Deney no	TİP	Beton sınıfı	Boyutlar			Hesap açıklığı l (cm)	Ölçülen d (cm)	Dozaj (kg/m ³) E/C	Donatı				f _c (kg/cm ²)	E (kg/cm ²) E _s =10270·√f _c +140000	n E _s /E _c	f _{st} (kg/cm ²)	f _y (kg/cm ²)	f _{su} (kg/cm ²)
			b _w (cm)	h (cm)	d (cm)				Tipi	Donatı Düzeni	Alanı (cm ²)	Oranı						
1	TİP A	BS16	4	100	97	232	96.5	350 0.60	BÇİV (bk)	Q131/131 (15*15)	1.37	0.0034	167	268682	7.45	16	4209	6474
2	TİP A	BS16	4	100	97	232	96	350 0.60	BÇİV (bk)	Q131/131 (15*15)	1.37	0.0034	164	267447	7.48	14,5	4209	6424
3	TİP B	BS16	4	100	97	232	97	350 0.60	BÇİV (bk)	Q131/131 7.5*15	2.74	0.0069	152	266617	7.50	16	4209	6424
4	TİP B	BS16	4	100	97	174	96.5	350 0.60	BÇİV (bk) BÇİ	Q131/131 (7.5*15)	2.74	0.0069	157	268682	7.45	15,5	4209 2350	6424 3520
5	TİP B	BS16	4	100	97	174	96.5	350 0.60	BÇİV (bk) BÇİ	Q131/131 (7.5*15)	2.74	0.0069	164	267447	7.48	13	4209 2350	6424 3520
6	TİP C	BS16	4	100	97	116	97.5	350 0.60	BÇİV (bk) BÇİ	Q131/131 (7.5*7.5)	4.74	0.012	155	267860	7.47	16,5	4209 2350	6424 3520
7	TİP C	BS16	4	100	97	116	97	350 0.60	BÇİV (bk) BÇİ	Q131/131 7.5*7.5 4Ø8	4.74	0.012	161	270312	7.40	14,6	4209 2350	6424 3520
8	TİP C	BS16	4	100	97	116	97.5	350 0.60	BÇİV (bk) BÇİ	Q131/131 (7.5*7.5) 4Ø8	4.74	0.012	171	268272	7.46	16,5	4209 2350	6424 3520



a) 1.2.3. deneyler

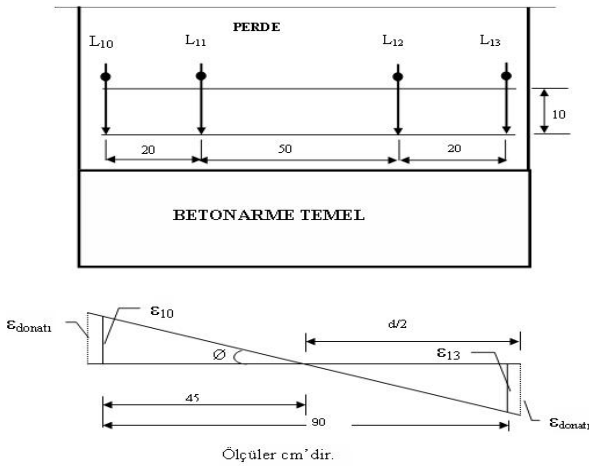
b) 4.5.6. deneyler

c) 7.8. deneyler

Şekil 3. Deneylerde yapılan deplasman ölçümleri ve LVDT yerleşim yerleri.

Figure 3.

Bu arada yükleme maksimum değerine kadar arttırıldıktan sonra yük boşaltılarak enerji de hesaplanmış ve deney tamamlanmıştır.



Şekil 4. Perde-temel birleşim bölgesinde perdedeki birim deformasyon.

Figure 4.

DENEYLER VE ELEMANLARIN TANITILMASI

Deney perde modeli

Deneylerin tamamında kullanılan perde model ve boyutları Şekil 2'de görüldüğü gibi; kat yüksekliği 58 cm, döşeme kalınlığı 3 cm, perde genişliği 4 cm, temel derinliği 12 cm, döşemelerin sağ ve sol kanat uzunlukları 30'ar cm olarak toplam dört katlıdır. Bu değerler pratikte kullanılan ölçülerin yaklaşık olarak 1/5'ini temsil etmektedir.

1.2. ve 3. deneyde kesiti TİP A, 4.5. ve 6. deneylerde TİP B, 7. ve 8. deneylerde ise TİP C parametrelerine sahip deney numunesi kullanılmıştır (Şekil 5).

Deney Düzeni

Deney sırasında hidrolik presle deney elemanına uygulanan F yükü, perdenin 4., 3. ve 2. kat seviyelerinde yerleştirilen, yatayda ve düşeyde mafsallı çelik profiller yardımıyla perdeye aktarılmıştır.

Perdelere uygulanan F yükü, sıfırdan başlayarak yavaş yavaş arttırılmış ve göçme oluşumuna kadar tersinir-tekrarlanır yatay yüklemeye devam edilmiştir.

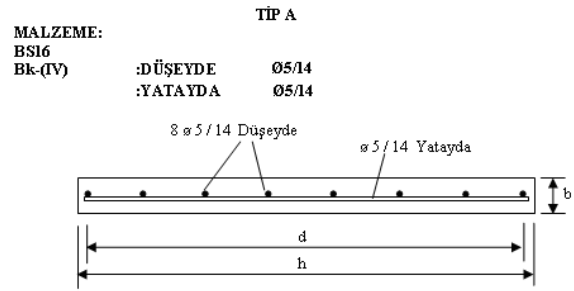
Kat seviyelerindeki yüklemenin etkisi ile mesnette (temel üzerinde) meydana gelen maksimum moment,

$$M=F \cdot L_i \quad (1)$$

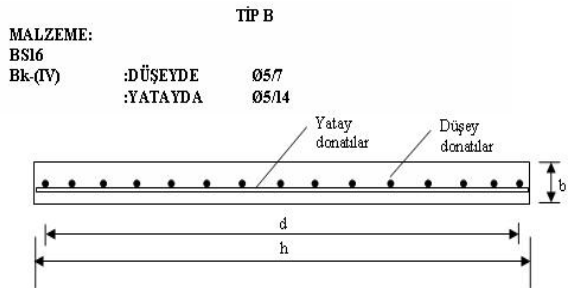
değerindedir. Eğilme momenti yükün uygulandığı noktalarda sıfır değerinden başlamak üzere temele kadar doğrusal olarak artacaktır, kesme kuvveti ise,

$$V=F \quad (2)$$

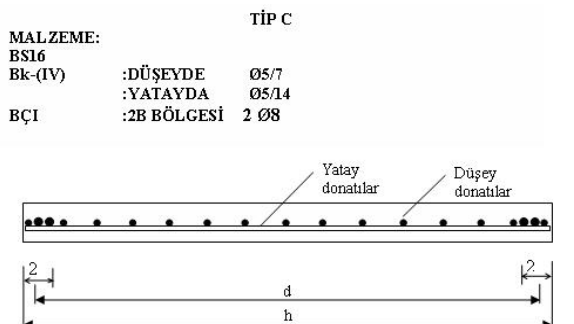
değerinde olup, mesnetlerden başlayarak tekil yüklerin etki ettiği noktaya kadar sabittir (Şekil 6).



a) TİP A deney elemanlarına ait donatı düzenleri.



b) TİP B deney elemanlarına ait donatı düzenleri.



c) TİP C deney elemanlarına ait donatı düzenleri.

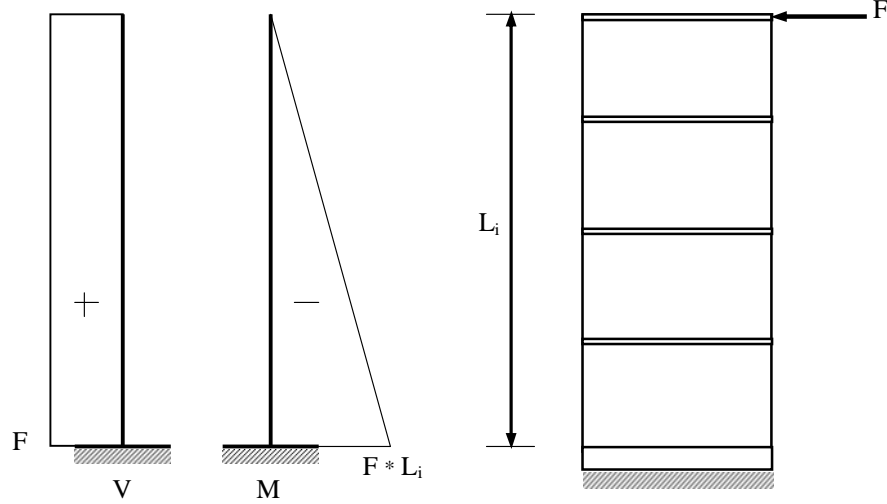
Figure 5.

Şekil 5. Deneylerde kullanılan deney elemanlarına ait donatı düzenleri.
DENEY DÜZENİĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

Deney Düzenliği

Hazırlanan model perdelerin test edilmesinde, Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda bulunan üç boyutlu rijit çelik çerçeve sistemi kullanılmıştır. Yükleme

çerçevesi, pompa ve yük hücresinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey yönde hareketini ve dönmesini sıfıra yakın değerlerde minimize edecek ve deneydeki ölçümlere tesir etmeyecek mertebede olacak şekilde rijit olarak tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi Resim 1'de görülmektedir.



Şekil 6. Deneylerde uygulanan yükleme ve kesit tesiri diyagramları.

Figure 6.



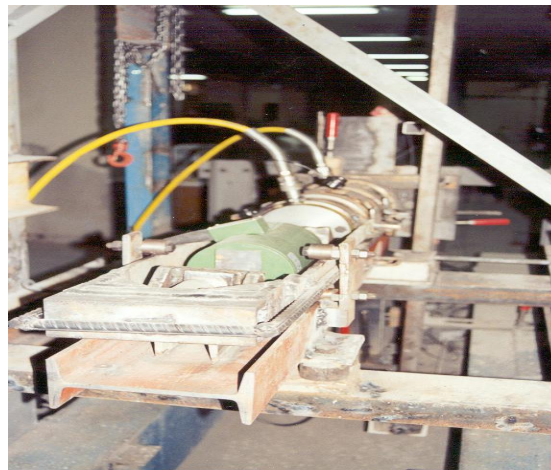
Resim 1. Deney rijit çerçevesinin genel görünüşü.

Picture 1.

Yük Ölçme Tekniği

Numunelere hidrolik kriko yardımıyla uygulanan çekme veya basınç kuvveti yük hücresi kullanılmak suretiyle okunmuştur. Applied Measurements Limited markalı İngilterede imal edilen yük hücresi, tatbik edilen yük durumunda basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı

olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda yük hücresinden okunan yük ekrandan da takip edilebilmektedir. Bu deneylerde 100 ve 200 kN kapasitedeki yük hücreleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yük hücreleri ve bağlantı sistemi Resim 2 ve 3 'de görülmektedir.



Resim 2. Deneylerde kullanılan yük ölçüm düzeneği.

Picture 2.



Resim 3. Deneysel olarak kullanılan yüklem sistemi.

Picture 3.

Yer Değişikliklerinin Ölçülmesi

Deney süresince deney elemanlarında meydana gelen yer değişiklikleri ile boy kısalma ve uzamalarının ölçümleri, elektronik LVDT ler kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. markalı Japon malı LVDT ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. Kullanılan bu LVDT ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. LVDT lerin çıkış uçları data logger sistemine bağlanmaktadır. Deneysel olarak 100 ve 200 mm lik LVDT ler kullanılmıştır. Deneysel olarak kullanılan LVDT ler ve bağlantı sistemi Resim 4'de görülmektedir.

Perdenin mesnet bölgesinde, uçların birbirlerine göre yük/sehimleri hazırlanarak karşılıklı yüklemelerde, yük/sehimin kontrolü yapılmıştır. Ayrıca perdelerin ön ve arka yüzlerinin temel kısımlarında da ölçüm

yapılarak temelin deney esnasında düşey ve yatay yönde de deplasman yapıp yapmadığı kontrol edilmiştir.

Yük ve Yer Değişiklik Ölçümlerinin Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Yük hücresi ve LVDT'ler den alınan gerilmeler, ara bağlantı elemanları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Data logger sistemi, üzerinde yük hücresi ve LVDT'lerin bulunduğu 16 adet kanala sahiptir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. İşlem gören kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayara kayıt edildiği gibi deney anında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Bir deney süresince, istenen zaman sıklığında kayıt almak mümkün olduğu için, deney süresince oldukça çok sayıda okuma yapmak mümkündür (Resim 5).



Resim 4. Deneylerde kullanılan yer değiştirme ölçüm sistemleri.

Picture 4.



Resim 5. Yük ve yer değiştirme okumalarını değerlendiren data logger sistemi.

Picture 5.

Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Deney sırasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden faydalanarak deney numunelerinin davranış özellikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, her bir deney için, yük-deplasman ilişkisi, moment-eğrilik ilişkisi dayanım zarfı, rijitlik azalımı ve tüketilen enerji grafikleri çizdirilmiştir.

Yük-deplasman grafiklerinin çizdirilmesi

Yük-deplasman grafiklerinin çizdirilmesi amacıyla, deney sırasında yük hücresinden okunan yük değerleri ile çerçeve üst kirişi ağırlık merkezi seviyesindeki net deplasman değerleri elde edilmiştir. Net deplasman değerlerinin elde edilmesi için aşağıdaki işlem prosedürü izlenmiştir.

Şekil 8'den görüleceği gibi deney numunesinin kat seviyesinde yapmış olduğu yatay deplasman, kat seviyesindeki LVDT'den okunan L_1 ve L_{14} (Yük ölçer tarafında), perde mesnetlerde olası yatay deplasmanlar, temel seviyesindeki LVDT'lerden okunan L_3 , yine

temelde olası mesnet çökme ve kalkma değerleri ise temel üzerindeki LVDT'lerden okunan L_8 ve L_9 şeklindedir. Şekil 8'deki notasyonlar kullanılarak kat seviyesindeki net deplasman;

Kat seviyesinde okunan yatay deplasman

$$\delta_{\text{toplam}} = (|L_1| + |L_{14}|) / 2 \quad (3)$$

Mesnetteki yatay deplasman

$$\delta_y = |L_3| \quad (4)$$

Mesnetteki dönmeden dolayı oluşan yatay deplasman

$$\delta_\phi = (|L_8| + |L_9|) * H / 90 \quad (5)$$

Net yatay deplasman değeri

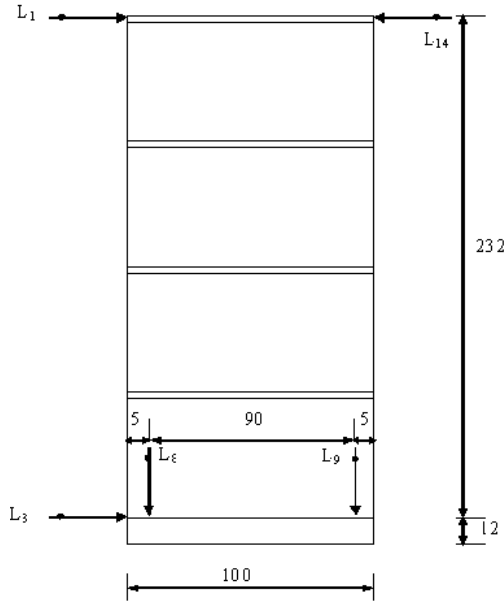
$$\delta_{\text{net}} = \delta_{\text{toplam}} - \delta_y - \delta_\phi \quad (6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

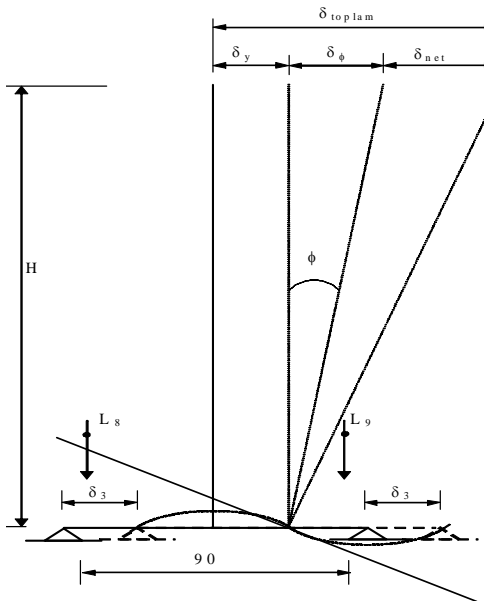
Tüketilen enerji grafiklerinin çizdirilmesi

Tersinir-tekrarlanır yatay yüke maruz deney elemanları, üzerine gelen enerjinin bir kısmını deformasyona uğratarak tüketmektedir. Tüketilen bu enerji, özellikle

deprem gibi dinamik yükleme durumu için oldukça önemlidir. Bu çalışmada da deney numunelerinin tüketmiş oldukları enerji değerleri elde edilmiştir. Fizik kurallarından da bilindiği gibi enerji yapılan işe, iş ise kuvvet ile kat edilen yolun çarpımına eşittir.



Şekil 7. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği.
Figure 7.



Şekil 8. Net yatay deplasmanların hesaplanması (ölçüler cm'dir).
Figure 8.

Bu nedenle deney numunelerinin tüketmiş olduğu enerji, her çevrimde yük-deplasman eğrisinin kapamış olduğu alana eşittir. Ancak her çevrimde elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji grafiğinin çizdirilmesi daha gerçekçi olacağı düşünüldüğünden, her bir numune için buna göre toplam tüketilen enerji grafiği çizdirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak, ileri yüklemde yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan E_1 hesaplanmıştır. Daha sonra geri yüklemde yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan E_2 hesaplanmış ve bu çevrim için toplam tüketilen enerji E_1 ve E_2 değerlerinin toplanması suretiyle hesaplanmıştır (Köken, A.). Bundan sonra her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 9).

Moment- eğrilik grafiklerinin çizdirilmesi

Hidrolik presle deney elemanına uygulanan tersinir-tekrarlanır F yükü, perdenin 4., 3. ve 2. kat seviyelerinde yerleştirilen, yatayda ve düşeyde mafsallı çelik profiller yardımıyla perdeye aktarılmıştır.

Perdelere uygulanan F yükü, sıfırdan başlayarak yavaş yavaş artırılmış ve göçme oluşumuna kadar yüklemeye devam edilmiştir.

Kat seviyelerindeki yüklemenin etkisi ile mesnette (temel üzerinde) meydana gelen maksimum moment,

$$M = F \cdot L_1 \quad (7)$$

değerindedir.

Perde duvarın temelle birleşim düzeyinin üstüne, 10 cm aralıklı paralel iki çizgi çizilerek, bu çizgilerin üzerine aralıkları şekilde verilen 8 adet çelik düğme ile 4 adet LVDT yerleştirilmiştir.

Deney elemanın 4. kat seviyesinden tersinir yatay yük uygulanmıştır. Uygulanan yatay yük ile yükün temel seviyesine olan mesafesi çarpılarak eğilme moment hesaplanmıştır.

Sol taraftaki çelik düğmeler arasındaki 10 cm açıklık küçülürken (-), sağ taraftaki büyümüş (+) olarak ölçümler alınmıştır (Δs). Ölçülen bu değerler çelik düğmeler arasındaki mesafeye (s) bölmek suretiyle birim deformasyon (ϵ) hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = |\Delta s / s| \quad (8)$$

Ölçülen değerler tam donatı üzerinde olmadığından, donatıda meydana gelen uzamalar benzer üçgenler yardımı ile hesaplanmıştır.

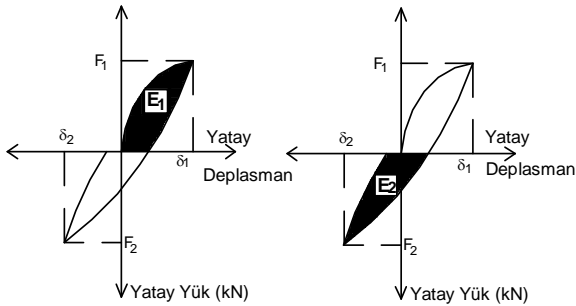
Temel ile perdenin birleşim bölgesinde meydana gelen eğrilik ise;

$$\theta = |\Delta s_1 + \Delta s_2| / x \quad (9)$$

($x = d$) olarak hesaplanmıştır. Burada,

Δs_1 ve Δs_2 deney elemanının çekme ve basınç bölgesindeki uzamalardır.

Hesaplanan moment değerleri ile eğrilik değerleri excell programı kullanılarak grafik haline dönüştürülmüştür.



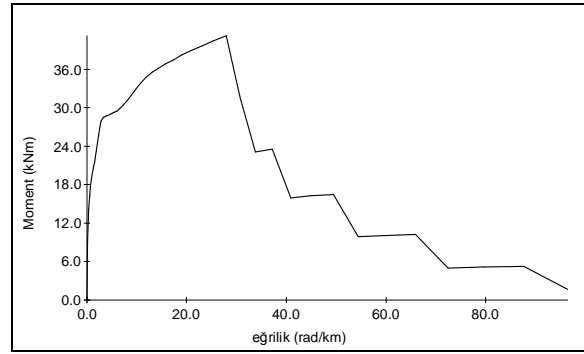
Şekil 9. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması.

Figure 9.

TEORİK MOMENT KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI

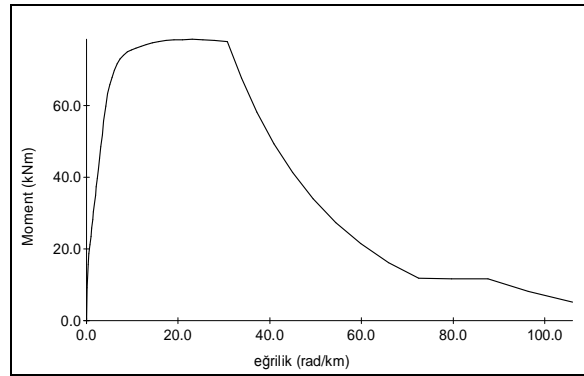
Response 2000 programı ile Perde Analizi

Response 2000 betonarme basit kesitli yapıların malzeme özelliklerine göre, moment kapasitelerini, çatlama, kayma, kesme, moment-eğrilik ilişkilerini ve bunlara ait grafikleri teorik olarak hesaplayıp sonuçlandıran bir programdır. Bu program kullanılarak çalışmanın deney modelleri TİP A; TİP B; TİP C'ye ait teorik moment taşıma kapasiteleri ve moment-eğrilik diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 10,11,12).



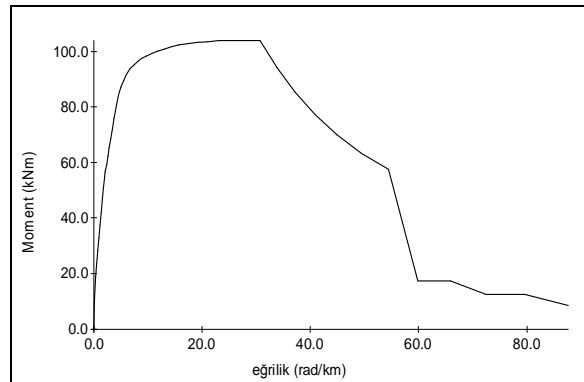
Şekil 10. Response 2000'e göre TİP A deney elemanı teorik moment-eğrilik diyagramı.

Figure 10.



Şekil 11. Response2000'e göre TİP B deney elemanı teorik moment-eğrilik diyagramları.

Figure 11.



Şekil 12. Response2000'e göre TİP C deney elemanı teorik moment-eğrilik diyagramları.

Figure 12.

ACI 318-71 Göre Teorik Moment Kapasite Hesabı

CARDENAS A.E., ve diğerleri (1973), yaptıkları çalışmalarında, ACI yapı şartnamesi (ACI 318-71) bölüm 11.6'de tartışılan perde duvarlar için özel şartlara uygun 6 adet yüksek ve 7 adet alçak perde üzerindeki deney sonuçlarını sunmuşlardır.

Deneysel çalışmada perde duvarlara yatayda tersinir, düşeyde ise sabit yük uygulayarak sonuçların ACI yapı şartnamesi (ACI 318-71) bölüm 11.6'da tartışılan perde duvarlar ile ilgili kısımlara uygunluğunu göstermişlerdir

Yaptıkları deneysel çalışmalardan elde ettikleri perdeler için ait moment taşıma kapasitelerini, nümerik olarak ifade edilen dikdörtgen kesitli perdelerin moment taşıma kapasiteleri ile karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada da kullanılacak olan bu nümerik ifade, denklem (10)'de verilmiştir.
 $M_u = A_s \cdot f_y \cdot l_w \cdot [(1 + N_u / A_s \cdot f_y) (1/2 \cdot c / 2 \cdot l_w) -$

$$c^2 / l_w (1 + \frac{c^2}{3 \cdot l_w})] \quad (10)$$

Denklem (10)'deki c değeri,
 $c = l_w (q + a) / 2q + 0,85 \cdot \frac{c}{l_w} \quad (11)$

Denklem (11)'deki q değeri,
 $q = A_s \cdot f_y / l_w \cdot h \cdot f_c' \quad (12)$

ve denklem (11)'deki a değeri,
 $a = \frac{c}{87000} \quad (13)$

olarak verilmiştir.

Çalışmada kullanılan deney numunelerinin teorik moment kapasiteleri, deney numunelerde kullanılan beton ve çelik malzemelerinin deneysel dayanımları dikkate alınarak denklem (10)'a göre hesaplanmıştır, hesaplanan moment kapasiteleri Tablo 3'de verilmiştir. Deneysel moment taşıma kapasiteleri ile Response2000 programı ve CARDENAS A.E., ve diğerleri (1973)' göre elde edilen teorik moment taşıma kapasiteleri de birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Teorik ve deneysel moment taşıma kapasiteleri.

Table 2.

		As (mm ²)	f _y (kN/mm ²)	f _c (kN/mm ²)	M _u (kNm)	M _{response 2000} (kNm)	M _{deney} (kNm)
1.DENEY	TİP A	13.7	420.9	16.7	32.030	41.3	30
2.DENEY	TİP A	13.7	420.9	16.7	32.064	41.3	29
3.DENEY	TİP B	27.4	420.9	15.2	63.797	78.7	32
4.DENEY	TİP B	27.4	420.9	15.7	63.797	78.7	35
6.DENEY	TİP C	47.4	420.9	15.5	110.122	104	82
7.DENEY	TİP C	47.4	420.9	16.1	110.122	104	84
8.DENEY	TİP C	47.4	420.9	17.1	110.122	104	81

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışma ile tersinir-tekrarlanı yatay yük altındaki betonarme panel (Tünel kalıplı) çok katlı yapıların modellerinin salt eğilme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin laboratuvar ortamında deneye tabi tutulması ile elde edilen sonuçlar, donatı çeliği ve beton üzerine geliştirilmiş davranış modellerinin kullanılması ile bulunan kuramsal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile varılan sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir.

TİP A, TİP B, ve TİP C numuneleri kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin birim eğrilik sünekliği ve şekil değiştirme sünekliği diyagramları hazırlanırken teorik sonuçlara uygunluğu yakın olan deneyler seçilmiştir. TİP A için 1. deney, TİP B için 4. deney ve TİP C için 6. deney seçilerek hazırlanan sonuçlar (Şekil 13-18)'de sunulmuştur.

Ayrıca, TİP A, TİP B, ve TİP C numuneleriyle gerçekleştirilen deneylerin birim eğrilik sünekliği ve şekil değiştirme sünekliği sayısal sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 3. (ACI 318-71) ve Cardenas A.E., Hanson J.M., Corley W.G. ve Hognestad E.

(1973)'e göre teorik moment taşıma kapasiteleri.

Table 3.

	As (mm ²)	f _y (kN/mm ²)	f _c (kN/mm ²)	I _w (mm)	h (mm)	M _u (kNm)
TİP A	13.7	420.9	16.7	1000	40	32.03
TİP A	13.7	420.9	16.7	1000	40	32.06
TİP B	27.4	420.9	15.2	1000	40	63.79
TİP B	27.4	420.9	15.7	1000	40	63.79
TİP C	47.4	420.9	15.5	1000	40	110.12
TİP C	47.4	420.9	16.1	1000	40	110.12
TİP C	47.4	420.9	17.1	1000	40	110.12

Tablo 4. Deneysel birim eğrilik sünekliği sonuçları.

Table 4.

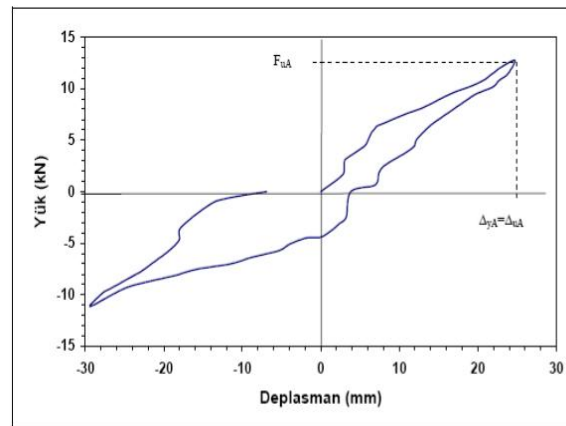
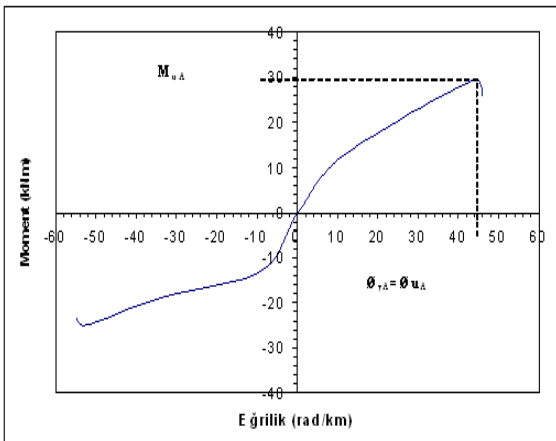
	M _u (kNm)	M _y (kNm)	Φ _u (rad/km)	Φ _y (rad/km)	μ _Φ =Φ _u /Φ _y	Tüketilen Enerji (kNmm)
TİP A (1. Deney)	30	--	43	43	1	225
TİP B (3. Deney)	35	--	65	65	1	1100
TİP C (6. Deney)	83	83	24	18	1.33	2000

Tablo 5. Deneysel şekil değiştirme sünekliği sonuçları.

Table 5.

	N _u (kN)	N _y (kN)	Δ _u (mm)	Δ _y (mm)	μ _Δ =Δ _u /Δ _y
TİP A (6. Deney)	12	---	25	25	1
TİP B (3. Deney)	14	---	45	45	1
TİP C (6. Deney)	71	--	89	65	1.37

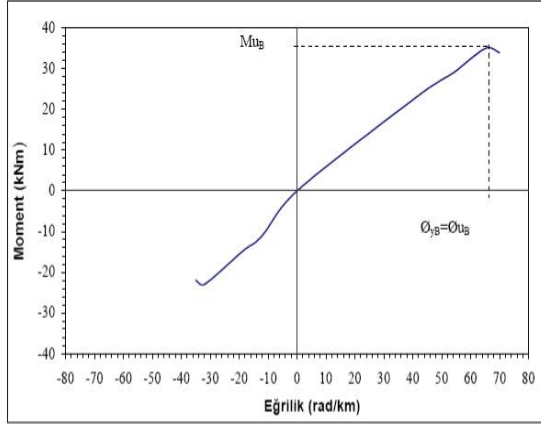
Figure 13.



Şekil 13. TİP A deneyi birim eğrilik sünekliği (1. Deney).

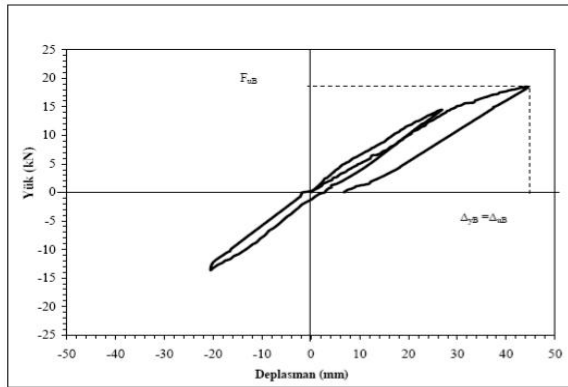
Şekil 14. TİP A deneyi şekil değiştirme sünekliği (1.Deney).

Figure 14.



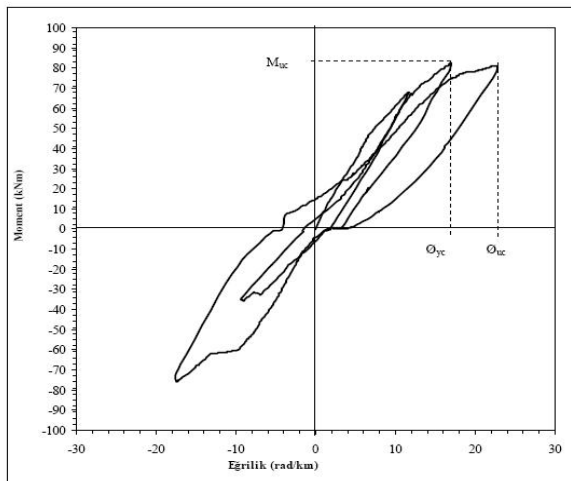
Şekil 15. TİP B deneyi birim eğrilik sünekliği

Figure 15.



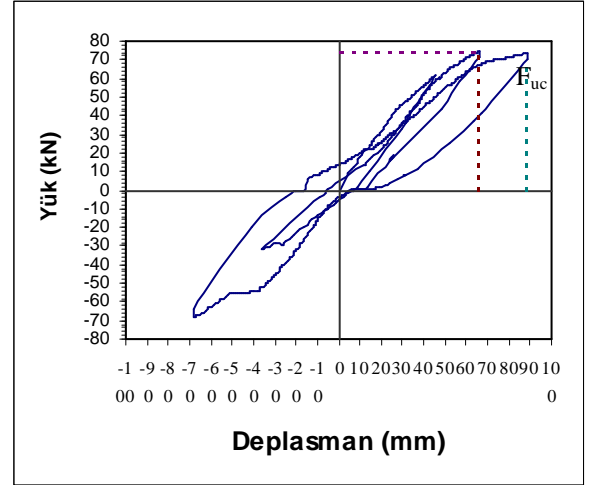
Şekil 16. TİP B deneyi şekil değiştirme sünekliği.

Figure 16.



Şekil 17. TİP C deneyi birim eğrilik sünekliği.

Figure 17.



Şekil 18. TİP C deneyi şekil değiştirme sünekliği.

Figure 18.

Moment Taşıma Kapasiteleri

TİP A, TİP B ve TİP C modelleri üzerinde yapılan deneysel moment taşıma kapasiteleri ve aynı özelliklere sahip modellerin teorik moment taşıma kapasitelerini içeren değerler Tablo 3'de verilmiştir. TİP A, TİP B deneylerinde donatı akmadan koptuğundan, deneysel değerler teorik değerlerle uygunluk göstermemiştir. TİP C deneyinde ise, yine donatı akmadan basınç bölgesinde donatı burkulması sonucu beton ezilmesi olduğundan deneysel değerler teorik değerlerle uygunluk göstermemiştir.

Şekil Değiştirme ve Birim Eğrilik Sünekliği

Deneysel çalışmanın değişkenleri olarak düşünülen farklı düşey ve yatay gövde donatısının etkileri üzerinde yapılan inceleme, perde uç bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarı ve cinsinin dayanım ve süneklik üzerinde azda olsa etkili olduğu göstermiştir.

TİP A ve TİP B deneylerinde, betonun çatlamasıyla donatı kopmuştur. Dolayısıyla numunelerde öteleme sünekliği oluşmamıştır.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 1 < 4 \text{ (gerekli)}$$

Öteleme sünekliği, başarılı deprem enerjisi tüketimi için olması istenilen $\mu_{\Delta}=4$ değerinden çok küçüktür.

TİP C numunesi üzerinde yapılan deneyde ise; beton çatladıktan sonra donatı akmadan basınç bölgesinde donatı burkulmasından dolayı beton ezildiğinden deneye son verilmiştir. Azda olsa , süneklik oluşmuştur.

$$\Delta_y = 65 \text{ mm}$$

$$\Delta_u = 89 \text{ mm}$$

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{89}{65} = 1.37 < 4 \text{ (gerekli)}$$

Öteleme sünekliği, başarılı deprem enerjisi tüketimi için olması istenilen $\mu_\Delta=4$ değerinden çok küçüktür.

TİP A ve TİP B deneylerinde, betonun çatlamasıyla donatı kopmuştur. Dolayısıyla numunelerde eğrilik sünekliği oluşmamıştır.

TİP C numunesi üzerinde yapılan deneyde ise; beton çatladıktan sonra donatı akmadan basınç bölgesinde donatı burkulmasından dolayı beton ezildiğinden deneye son verilmiştir. Azda olsa , eğrilik sünekliği oluşmuştur.

$$\mu_\phi = 1.33 < 12-15 \text{ (gerekli)}$$

Eğrilik sünekliği, başarılı deprem enerjisi tüketimi için olması istenilen $\mu_\phi=12-15$ değerinden çok küçüktür.

Enerji Tüketimi Kapasiteleri

Yük-Deplasman eğrilerinden elde edilen enerji değerleri karşılaştırılarak enerji yutma kapasiteleri, faydalı yüksekliğe göre düzeltilmiş tüketilen enerji kapasiteleri ve yutulan enerji miktarları hesaplanmıştır. Enerji tablosu incelendiğinde TİP C model perdelerinde enerji yutma kapasitelerinin diğer model perdelerine göre daha çok enerji tükettiği ancak onunda yetersiz olduğu gözlenmiştir.

Perde Uç Donatılarının Moment Taşıma ve Enerji Yutma Kapasitelerine Katkısı

Perde duvarların uç bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarlarındaki artışın, dayanım artışından daha yüksek olduğu, başka bir deyişle ulaşılan yük seviyelerindeki artışın donatı miktarındaki artış kadar olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum ortaya çıkan büyük süneklik kayıpları da hesaba katıldığında, duvarın dayanımını arttırmak için boyuna donatı miktarının

arttırılmasının doğru bir yaklaşım olmadığını göstermektedir.

Davranışa İlişkin Sonuçlar

Deneye tabi tutulan model perde elemanları, basit eğilme etkisindeki betonarme bir elemandan beklenen davranışı göstermiştir. Normal beton ve Q131/131 hasır çeliği kullanılan TİP A ve TİP B modellerinin deneylerinin sonucunda az sayıda çatlak olduğu, ancak çatlak genişliklerinin büyük olduğu görülmüştür. Yeni Deprem yönetmeliğinde tavsiye edilen perde uç bölgelerinde donatının arttırılmasıyla geliştirilen TİP C modelinde ise; çatlak sayılarını arttırdığı ve çatlakların kılcal olarak 2., 3. katlara kadar yükseldiği görülmüştür. Bu ise numunede az da olsa enerji tüketiminin başladığının göstergesidir.

Bütün model perdelerde denge altı donatı yerleştirilmesinden dolayı meydana gelen kırılmaların tamamında çekme kırılmasına ulaşılmadığından, bütün kırılmalar eğilmeden dolayı meydana gelmiştir. Denenen tüm elemanların moment eğrilik ilişkileri incelendiğinde, donatı oranlarının yönetmeliklerdeki sınıflamalara benzer olarak konması sonucunda bile tüm deney elemanlarının oldukça yetersiz davranışlar gösterdiği gözlenmiştir

Gerek yük-deplasman eğrilerinden ve gerekse moment-eğrilik ilişkilerinden görüleceği gibi model perdelerin eğilme altındaki taşıma kapasitesine ve akma yüküne ulaşmasında, beton basınç dayanımının ve beton kalitesinin etkisinin çok az olduğu, belirleyici faktörün donatı miktarı ve kalitesi olduğu gözlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

Çok katlı betonarme panel yapıların yatay yük altındaki davranışı: teorik ve deneysel araştırma konulu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak, belirli sayıda yapılan analitik ve deneysel çalışmaların getirdiği kısıtlamaların ulaşılan sonuçların geçerliliğini etkilediği de unutulmamalıdır.

1. Doğal Periyodu küçük ($T < 0.2$ saniye) tünel kalıp binalarda, beton çatlamasından önce oluşan elastik deprem kuvvetleri, beton çatlamasından sonra büyüme eğilimi göstermektedir. Normal olarak, mühendisçe beklentiler bunun tam tersi yönündedir. Bu davranış, deprem etkisi altında beton çatlamasının oluşmasından sonra, tünel kalıp yapıyı çökme riski ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bu riskten ancak büyük süneklik ile kurtulunabilir.

2. Deney elemanlarının kesitleri için geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilen yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden, yukarıda bahsedilen sünekliğin olmadığı anlaşılmaktadır.

3. Yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden çok ilginç bir gözleme ulaşılmaktadır. Momente maruz perde kesitinde beton çatlar çatlamaz, betonun çekme ile taşıdığı iç kuvvetler boşalmakta ve boyuna donatıya aktarılmaktadır. Ancak, boyuna donatı yüzdesi çok küçük olduğundan, betonunun çatlamasına tekabül eden moment değerine ulaşılmamaktadır.

4. TİPA, TİPB ve TİPC deney numunelerinde;

$$\frac{M_y}{M_u} = 1$$

olmaktadır. Bu çok gevrek bir kırılma türünün işaretidir.

5. TİP A ve TİP B deney elemanlarında beton çatlar çatlamaz donatı kopmuş ve süneklik oluşmamıştır.

6. TİP C deney elemanlarında ise, az da olsa enerji yutma meydana gelmiştir. Ancak tersinir yükleme sonucu kesitte plastik mafsallaşma gerçekleşmediğinden yeterli süneklik oluşmamıştır.

Deprem güvenli olması istenen bir panel yapıda (tünel kalıplı) bu "kabul edilemez" bir durumdur.

7. Piyasada hasır donatı ile üretilen perdeler (TİPA) ile boyuna gövde donatısının iki katına çıkarılması ile elde edilen yeni model (TİP B) nin davranışlarının özdeş olduğu görülmüştür.

Öneriler

Tünel kalıp model perdeler üzerinde yapılan analitik ve deneysel çalışmaların sonuçlarından ve bunların değerlendirilmesinden aşağıdaki öneriler oluşturulmuştur.

1. Değişik parametrelere sahip imal edilen (tünel kalıp) model perdeleri üzerinde Yatay Yük-Moment-Eğrilik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmada, ideal boyuna donatı yüzdesi, donatının kesit içerisindeki dağılımı, çelik cinsi, uç bölgelerin oluşturulması ve donatılması, eksenel yük düzeyi, uç bölgelerin sargı donatı, beton kalitesi (çekme dayanımı için) gibi parametrelerin etkinliği iyice açıklığa kavuşturulmalıdır.

2. Değişik parametrelere sahip tünel kalıp deney numuneleri üzerinde laboratuvar araştırmalarına devam edilmelidir.

3. Piyasada mevcut durumları ile, hasır donatının dayanım ve süneklik araştırmaları planlanmalıdır. Değişik üretim merkezlerinde üretilen ve değişik kalite olabilen hasır donatının minimum, maksimum ve ortalama dayanım-süneklik-kopma özellikleri iyice açığa çıkarılmalıdır. Punto kaynağın hasır donatının dayanımı ve süneklik özelliklerini ne ölçüde etkilediği araştırılmalıdır.

4. Uygulanmış mevcut tünel kalıp binaların deprem altında nasıl davranacakları araştırılmalıdır. Bireysel perdeler gelen deprem etkileri altında perde duvarların çatlayıp çatlamayacağı araştırılmalıdır. Bu çalışmalar, mevcut tünel kalıp binaların risk faktörünün ortaya çıkarması açısından oldukça önemli olacaktır.

5. Mevcut tünel kalıp binalar, eğer çatlama ve çökme riski altında iseler, nasıl güçlendirilebilirler? Bu soruya cevap verebilecek araştırmalar planlanmalıdır.

6. Eğilme momentinin ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu perde temel bölgesinde donatının, akmadan burkulmasını engellemek için, yatay donatı aralıklarına dikkat edilmelidir.

8. Perde baş bölgelerinde mutlaka sünekliği fazla olan yumuşak donatı kullanılmalıdır.

İLGÜN, A., (2003) , Çok Katlı Betonarme Panel Yapıların Yatay Yük Altında Davranışı:Teorik Ve Deneysel Araştırma, Doktora Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

KÖKEN, A., (2003) , Tersinir-Tekrarlanır Yatay Yükleme Altındaki Çok Katlı Ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

CARDENAS, A.E., HANSON, J.M., CORLEY, W.G., AND HOGNESTAD, E., (1973), Design Provisions for Shear Walls, Journal of the American Concrete Institute, No. 3, Proceedings, Bölüm 70, No. 3, .sayfa 221-230.

<http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/download.htm>