

Yapısal Kaplama Betonunu Uygulanan Önüretim Boşluklu Döşeme Sistemlerin Yatay Kayma Davranışı

"THE SHEAR BEHAVIOUR OF THE INTERFACE BETWEEN HOLLOW-CORE SLABS AND CAST-IN-PLACE TOPPING CONCRETE"

Reinforced concrete precast hollow core slabs (PHS) are widely used in practice owing to relatively low dead weights as well as the short durations for production and assemblage. Concrete topping is produced on PHS to obtain composite section. In 124th issue of this journal (November 2017), the bending behavior of composite slabs designed in different forms is discussed in the article titled "Bending Behavior of Precast Hollow Slab Systems with Structural Topping Concrete". In current paper, the horizontal shear behavior of composite slabs that are formed by using two dissimilar shear reinforcement (single row and three row) is investigated experimentally. Shear type test was applied to the experiments to reach relatively large interface shear stresses between PHS and topping concrete. Interface shear strengths of 0.70 MPa and 1.20 MPa were obtained in the cases of single row and three rows of shear reinforcement.

ÖZET

Betonarme önüretim boşluklu döşemeler (ÖBD) düşük özağırlık ile yüksek üretim ve montaj hızı gibi nedenlerle uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. ÖBD ler üzerinde donatılı yapısal kaplama betonu oluşturula-

rak kompozit kesit elde edilmektedir. Bu derginin 124. Sayısında (Kasım 2017), farklı biçimlerde oluşturulmuş kompozit döşemelerin eğilme davranışı "Yapısal Kaplama Betonunu Uygulanan Önüretim Boşluklu Döşeme Sistemlerin Eğilme Davranışı" başlıklı yazıda incelenmiştir. Bu makalede, iki farklı yoğunlukta (tek sıra ve üç sıra) kayma donatısı ile oluşturulmuş kompozit döşemelerin yatay kayma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. ÖBD ve yapısal kaplama betonu arayüzünde daha büyük kayma gerilmelerine erişmek amacıyla, numuneler kayma deneyine tabi tutulmuştur. Arayüz kayma dayanımları, tek sıra kayma donatılı numunelerde 0.70 MPa, üç sıra kayma donatılı numunelerde ise 1.20 MPa olarak gerçekleştirilmiştir.

1. GİRİŞ

Önüretimli boşluklu döşeme elemanları (ÖBD) yapım hızı, düşük zati yük/ilave yük oranı ve düşük maliyet gibi üstünlükleri nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Girhammar ve Pajari [1] inşaat maliyetini azaltabilmek için yapısal kaplama betonunun kalınlığını artırıp ÖBD kalınlığını azaltmayı önermiştir. Bunun sağlanabilmesi için, iki farklı beton tabakasının birlikte çalışmasının gerekliliği belirtilmiştir. Tabakalar arasında yeterli kenetlenmenin bulunması durumunda ÖBD'nin kayma kapasitesinin %35'e kadar artırılabilceği deneysel olarak gösterilmiştir. Baran [2] yapı-



Prof. Dr. Ercan YÜKSEL

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1987 yılında mezun olmuştur. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programında, 1990 yılında yüksek lisans, 1998 yılında doktora çalışmalarını tamamlamıştır. 1993'de Tokyo Üniversitesi ve Building Research Institute'de, 2004'de New York State University at Buffalo'da bilimsel çalışmalar yapmıştır. Türkçe ve İngilizce dillerinde yayımlanmış çok sayıda makale ve bildirisini bulunmaktadır. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı Sorumluluğu görevini yürütmektedir.

sal kaplama betonu ile ÖBD arasında kenetlenme için hiç bir önlemin alınmadığı numuneler ile yalın ÖBD numuneler üzerinde tek yönlü itme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapısal kaplama betonu bulunan numunelerin ilk çatlama aşamasına kadar bütünsel davranış sergilediği, çatlama momenti ve başlangıç rijitliğinde yapısal kaplama betonunun etkili olduğu gösterilmiştir. Ancak çatlama sonrasında bütünsel davranış kaybolmuş ve yalın ile ya-

pısal kaplama betonu kullanılmış numunelerde eğilme dayanımları benzer olarak gerçekleşmiştir. İbrahim vd. [3] yapısal kaplama betonu bulunan ÖBD sistemleri üzerinde üç nokta eğilme deneyleri gerçekleştirmiştir. İki farklı yüzey pürüzlülüğü ve üç farklı yüzey ıslaklık durumu (kuru, ıslak ve göllenmiş durumlar) deneysel çalışmanın değişkenleridir. İki beton katmanı arasında kenetlenmenin sonuna kadar korunması ve daha büyük eğilme dayanımları için pürüzlü ve ıslak yüzey kullanımı önerilmiştir. Araujo vd. [4] kompozit yapısal elemanlarda kullanılan başlı kayma çivilerini ÖBD üzerinde kullanmış ve oluşturulan sistemin kayma davranışını deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel sonuçlar, başlı kayma çivilerinin kesme kapasitesini etkileyen en önemli parametrenin yerinde dökme yapısal kaplama betonunun basınç dayanımı olduğunu göstermiştir. Yapısal kaplama betonunun dayanımı 40 MPa ve üzerinde olduğunda hasarın başlı kayma çivileri üzerinde gerçekleştiği, 30 MPa'dan az olması durumunda ise yapısal kaplama betonunun davranış üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Souza [5] ÖBD elemanlarda kullanılacak başlı kayma çivileri için yeni bir yerleşim şekli önermiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalara göre önerilen yerleşim biçiminin davranışının iyi olduğu belirtilmiştir. Al-Negheimish [6] elemanların üretimini hızlandırmak için kendiliğinden yerleşen beton kullanımını önermiştir. Çalışmada benzer özelliklere sahip, normal ve kendiliğinden yerleşen beton kullanarak üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylerin benzer sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, donatı çeliğinin bükülmesi ile oluşturulan kayma kama-larının ve yerleşim biçimlerinin ÖBD

numunelerin kompozit davranışına etkisi tartışılmıştır. Bu amaçla üretilen 4 adet gerçek boyutta ikiz numunenin iki tanesinde sadece ÖBD elemanların birleşim kesitinde kayma donatısı kullanılmıştır, (Z1K-1, Z2K-1 numuneleri). Diğer iki numunede ise birleşim kesitine ek olarak, ÖBD elemanların orta kesitinin 2 şer metrelik uç bölümlerinde kayma donatısı kullanılmıştır, (Z1K-3, Z2K-3 numuneleri).

ÖBD elemanı ile yapısal kaplama betonu arayüzde uygulanan farklı kayma donatısı yerleşiminin, oluşturulan döşeme sisteminin genel kayma davranışına etkileri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında (YDMLab) gerçekleştirilen kayma deneyleri ile araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

İki adet 1.2 m×6.0 m boyutlarındaki ÖBD paneli birleştirilerek 2.4 m×6.0 m ölçülerinde döşeme sistemleri oluşturulmuştur. ÖBD üzerinde, iki farklı kayma donatı düzeni uygulanarak 70 mm kalınlığında hasır donatılı yapısal kaplama betonu oluşturulmuştur. Her bir yerleşim durumu için iki adet olmak üzere toplam dört numune üretilmiş ve denenmiştir, Şekil 1, Şekil 2.

ÖBD elemanı ile yapısal kaplama betonu arasında daha büyük kayma gerilmeleri oluşturabilmek amacıyla Z2K-1 ve Z2K-3 numunelerinde bir uçta 2 m lik bölümde ÖBD boşlukları yüksek dayanımlı harç ile doldurulmuştur, Şekil 3. Uygulanan kayma deneylerinde, yüklenme dolgu yapılan kenar tarafından yapılmıştır.

Deneysel ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasındaki kayma ve kalkma hareketleri izlenmiştir. İki farklı kayma donatısı yerleşim durumu için, beton katmanları arasında ayrılmanın başla-



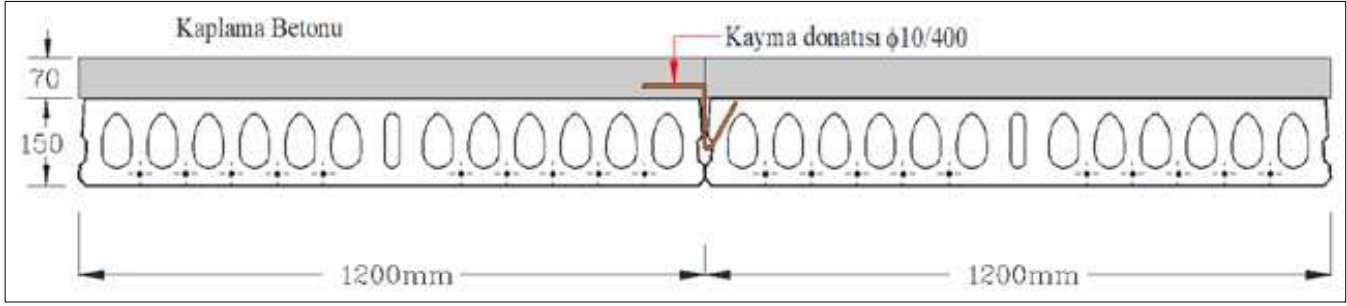
Dr. Yavuz DURGUN

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun olmuştur. Yüksek Lisans ve Doktorasını İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programı'nda tamamlamıştır. 2005 yılında New York State University at Buffalo'da bulunarak bilimsel çalışmalarına katkı sağlamıştır. Halen İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda görev yapmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzeydeki çalışmalarını sürdürmektedir.

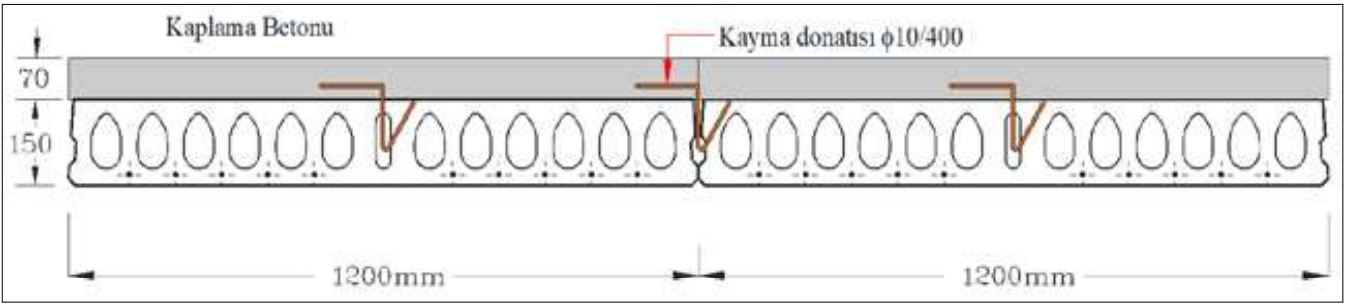


Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜLLÜ

2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programında 2012 yılında yüksek lisans, 2018 yılında da Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. Mart 2019 dan bu yana İstanbul Gedik Üniversitesinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanmış makaleleri, çok sayıda uluslararası ve ulusal toplantıda sunulmuş bildirileri bulunmaktadır.



a- Z1K-1 ve Z2K-1 numuneleri



b- Z1K-3 ve Z2K-3 numuneleri

Şekil 1. Döşeme sistemi tipik kesiti



Şekil 2. Kayma donatılarının yerleşimi

diği aşamadaki ortalama kayma gerilmesi hesaplanmıştır.

2.1. Numune Özellikleri

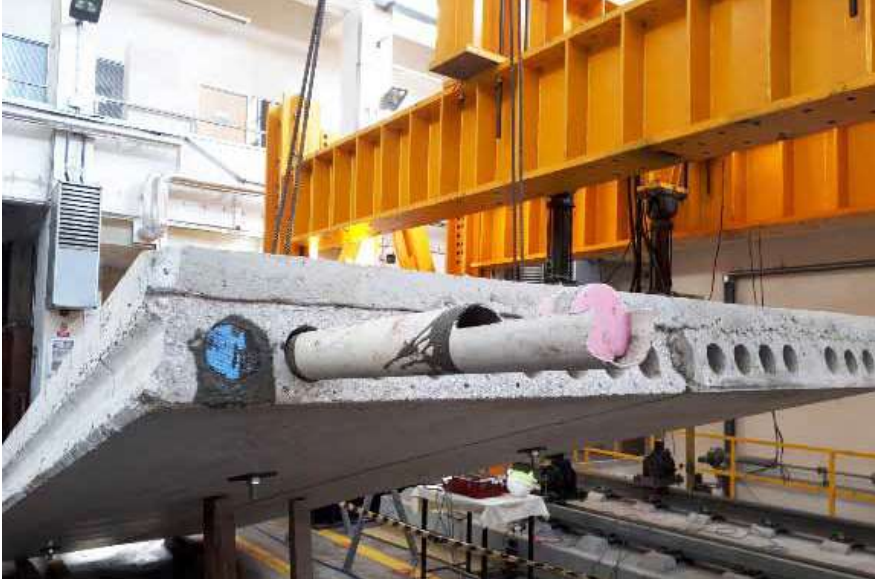
Genel geometrik özellikleri Şekil 1 de verilen döşeme sistemi için; ÖBD ve kompozit duruma karşı gelen kesit büyüklükleri, tek panel esas alınarak, Tablo 1 de verilmiştir. Numuneler TS 3233 [7]'ye göre tasarlanmıştır.

Numunelerin üretiminde C35 beton ve 10 adet 3/8" çapında 7 telli öngerme halatı kullanılmıştır. Yan yana getirilen panellerin arasındaki boşluk çimento esaslı harç ile doldurulmuştur. Harcın çimento-kum oranı 1/3 dür. İki ÖBD arası harçla doldurulmadan önce yüzeyler temizlenmiş ve suya doymun hale getirilmiştir. Kenar kalıpları oluşturulduktan sonra ÖBD elemanları



İnş. Yük. Müh. Hakan SARUHAN

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1987 yılında mezun olmuştur. Yüksek Lisansını İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programı'nda 1990 yılında tamamlamıştır. 1993 yılında İTÜ Yapı ve Teknik Daire Başkanlığı'nda uzman kadrosunda, kontrol mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 1996'dan itibaren görevlendirildiği İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda çalışmalarını sürdürmektedir. JICA, TÜBİTAK, NATO, FP6, FP7 ve BAP projelerinde görev almıştır. Yapı ve Deprem Mühendisliği alanında ulusal, uluslararası seminer ve sempozyumlarda sunulmuş bildirileri bulunmaktadır. İngilizce bilmektedir.



Şekil 3. Z2K-1 ve Z2K-3 numunelerinde ÖBD boşluklarının harç ile doldurulması

Tablo 1. Tek ÖBD için kesit özellikleri

Özellik	Yalın Durum	Kompozit Durum
Döşeme yüksekliği (cm)	15	22
Döşeme genişliği (cm)	120	120
Kesit alanı (cm ²)	1196	2036
Kesit ağırlık merkezinin alt başlığa uzaklığı (cm)	7.53	12.06
Atalet momenti (cm ⁴)	30046	92857
Kesit mukavemet momenti (alt başlığa göre) (cm ³)	3990	7702
Alt donatının alt kenara uzaklığı (cm)	2	2
Üst donatının üst kenara uzaklığı (cm)	3	10

üzerine Q188/188 tipi hasır donatı paspayları üzerine yerleştirilmiş ve 70 mm kalınlıklı yapısal kaplama betonu dökülmüştür.

2.2. Yükleme ve Ölçüm Sistemleri

Bir hidrolik verende üretilen kuvvet rijit bir dağıtma kirişi ile numune genişliği boyunca dağıtılmıştır. Hidrolik verende oluşan kuvvet, yükölçer ile elektronik olarak kaydedilmiştir. Mesnet tepkileri laboratuvar döşemesine aktarılmıştır. Deney düzeneğinin şematik resmi ve bir fotoğrafı Şekil 4 de verilmiştir. Teorik açıklık $L=5600$ mm olarak gerçek-

leşmiştir. Yük sağ mesnete 800 mm, sol mesnete de 4800 mm mesafeden etkilmiştir. Yükleme hızı oldukça yavaş tutularak artan yükler etkisindeki davranış adım adım gözlenmiştir.

Numuneler üzerindeki farklı kesitlerde gerçekleşen mutlak ve görelî yerdeğiştirmelerin kaydedilmesi için yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Mutlak yerdeğiştirme okumaları, her numuneyi oluşturan iki adet ÖBD nin açıklık ortası, yükleme kesiti ($D1$ yerdeğiştirme) ve mesnetlerde yapılmıştır. Görelî yerdeğiştirme okumaları ise ÖBD

ile yapısal kaplama betonu arasındaki görelî kalkma ($D2$ yerdeğiştirme) ve kayma ($D3$ yerdeğiştirme) hareketlerini belirlemek üzere mesnet bölgelerinde yapılmıştır. Yükleme kesitlerinde gerçekleşen şekildeğiştirmelerin kaydedilmesi için şekildeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. 60 mm kapasiteli şekildeğiştirme ölçerler farklı konumlarda temizlenmiş beton yüzeye yapıştırılmıştır.

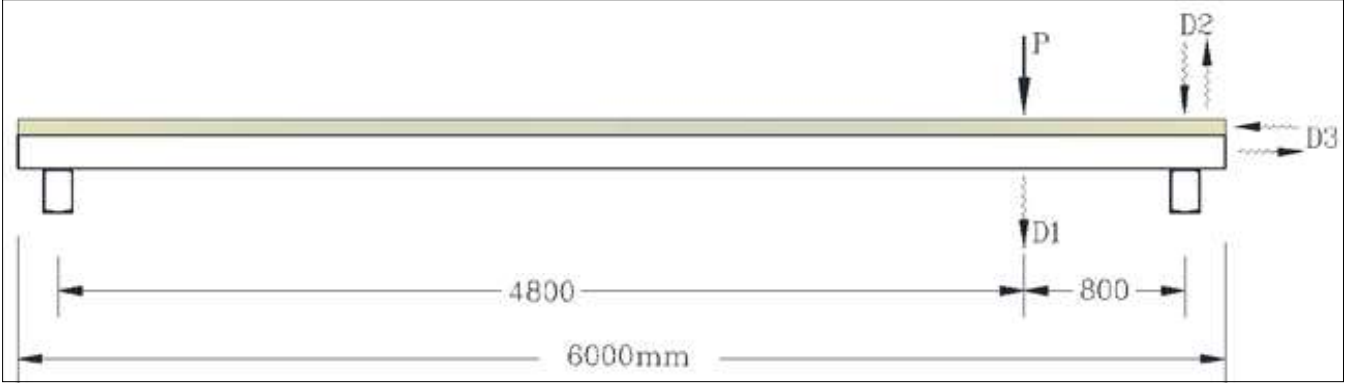
2.3. Z1K-1 ve Z2K-1 Numuneleri

Yapısal kaplama betonu doğal pürüzlülüğe sahip ÖBD üzerinde oluşturulmuştur. Kayma donatıları yalnızca iki ÖBD elemanının birleştiği kesitte yer almaktadır ve 400 mm ara ile yerleştirilmiştir, Şekil 1. Z2K-1 numunesinde, yükleme tarafındaki 2m lik kenar bölümde ÖBD boşlukları harç ile doldurulmuştur.

Monolitik olarak arttırılan yük ile yük altında gerçekleşen düşey yerdeğiştirme ($D1$) arasındaki ilişki Şekil 5'de gösterilmiştir. Z1K-1 numunesinde yaklaşık 19 mm yerdeğiştirme olduğu esnada yük 400 kN'a ulaştıktan sonra ani bir şekilde 300 kN'a düşmüş ve yük boşaltılana kadar bu seviyede devam etmiştir. Z2K-1 numunesinde ise en büyük yük 350 kN civarında oluşmuştur. Yaklaşık 22 mm yerdeğiştirmeden sonra yük 300 kN'a düşmüş ve yük boşaltılana kadar bu seviyede kalmıştır.

İki deneyden elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Numunelerin başlangıç rijitliğinin yaklaşık olarak aynı olduğu ve 20 mm lik yerdeğiştirmeden sonra oluşan kuvvetlerin benzer seviyede kaldığı görülmektedir.

Eğilme deneylerinde beton katmanlar arasında deney sonunda 20 mm kayma ve 6 mm kalkma hareketleri göz-

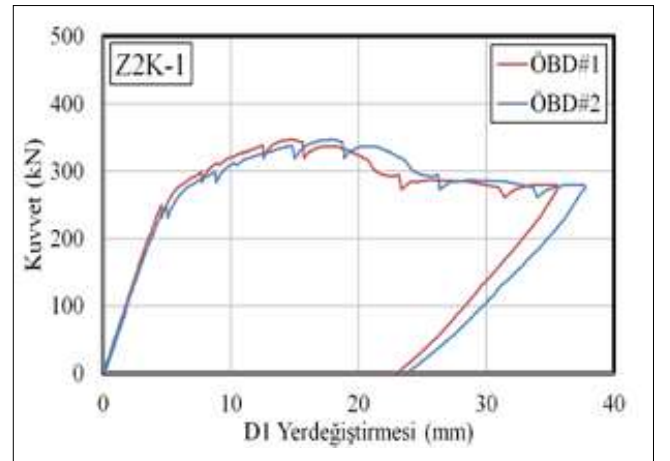
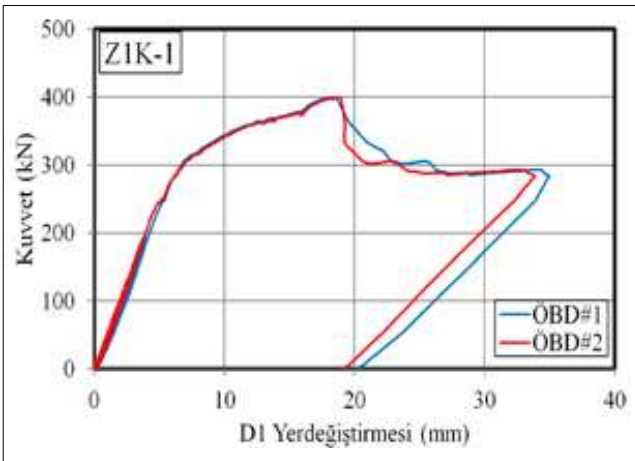


Şekil 4. Deney düzeneği

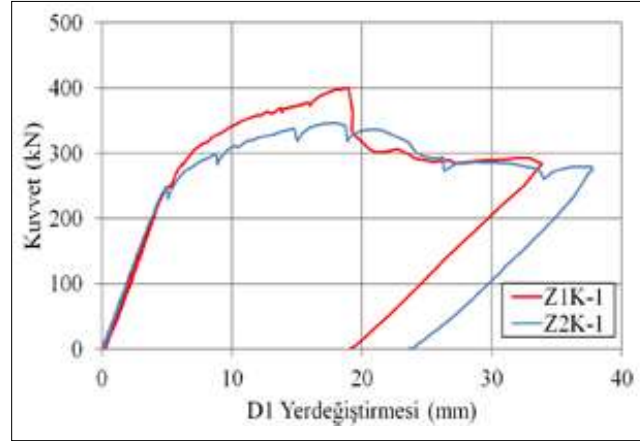
lenmişken [8], kayma deneylerinde kayma ve kalkma hareketleri çok çok küçük kalmıştır. Şekil 7 de kuvvet altında gerçekleşen düşey yerdeğiştirme (D1) ile beton katmanlar arasındaki kalkma (D2) ve kayma (D3) hareketinin değişimi verilmiştir.

Göçme durumuna, yükleme kesiti ile mesnet kesiti arasında oluşan kayma çatlakları ile ulaşılmıştır. Z1K-1 numunesinde oluşan kayma çatlakları daha geniş ve uzun olarak gerçekleşmiştir. Yük artımları ilerledikçe, Z1K-1 numunesinde ÖBD elemanın kesitinde alt ve üst başlıkta çatlaklar gözlenmiştir, Şekil 8.

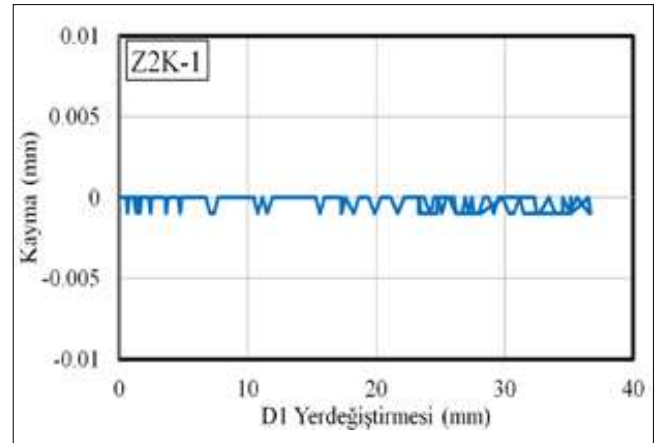
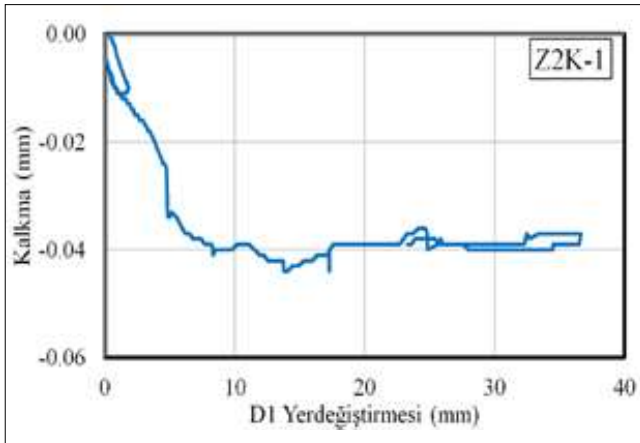
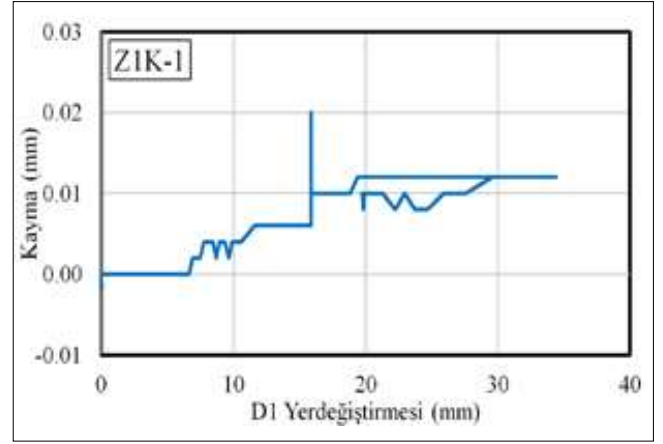
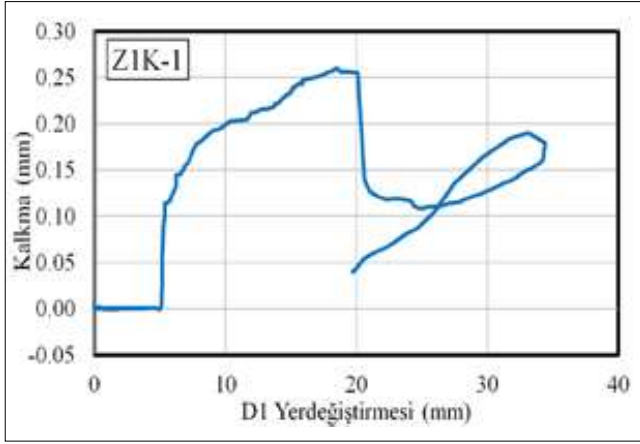
Z2K-1 numunesinde de göçme durumuna, yükleme kesiti ile mesnet kesiti arasında oluşan kayma çatlakları ile ulaşılmıştır. Ancak oluşan çatlakların



Şekil 5. Tek sıra kayma donatılı numunelerin (Z1K-1 ve Z2K-1) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri



Şekil 6. Z1K-1 ve Z2K-1 numunelerinin yük-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 7. Beton katmanlar arasında gerçekleşen göreceli hareketler

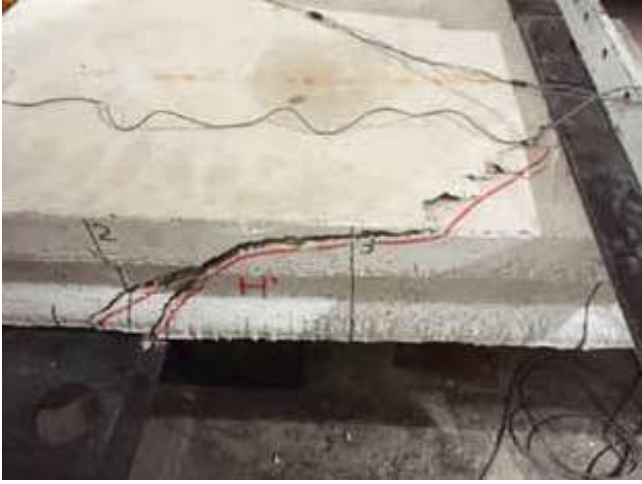
genişlik ve uzunlukları sınırlı olmuştur. Yük artımları ilerledikçe, Z2K-1 numunesinde de ÖBD elemanın kesitinde diyagonal çatlak oluşmuştur, Şekil 9.

Z1K-1 numunesinde artan yüklerle

birlikte çekme bölgesinde pas payı dökülmüş ve öngörme donatıları açığa çıkmıştır, Şekil 10. Z2K-1 numunesinde çekme bölgesinde büyük çatlaklar oluşsa da pas payı dökülmesi gerçekleşmemiştir, Şekil 10.

Her iki numunede deney sonunda öngörme donatılarında sınırlı miktarda sınırlı gözlenmiştir, Şekil 11.

Yapısal kaplama betonu ile ÖBD arasındaki yatay kayma gerilmesi, iki



Kayma çatlakları

Şekil 8. Z1K-1 numunesinin deney sonundaki hasar durumu



ÖBD kesitinde oluşan çatlaklar



Kayma çatlakları

Şekil 9. Z2K-1 numunesinin deney sonundaki hasar durumu



ÖBD kesitinde oluşan çatlaklar



Z1K-1

Şekil 10. Çekme bölgesinde oluşan hasar durumu



Z2K-1



Z1K-1



Z2K-1

Şekil 11. Öngerme donatılarında gözlenen sıyrılmalar

beton katmanının kenetlenmesinin bozulmaya başladığı aşamaya kadar (1) Denklemiyle hesaplanabilir. Bu denklemde; τ_h yatay kayma gerilmesini, T kesite etkiyen kesme kuvvetini, S kesit statik momentini, I kesit atalet momenti, b_{wi} etkileşim yüzeyi genişliğini göstermektedir.

$$\tau_h = \frac{T \times S}{I \times b_{wi}} \quad (1)$$

ÖBD elemanları ile yapısal kaplama betonu arasında oluşan kayma gerilmeleri Şekil 12'te gösterilmiştir. Z1K-1 numunesinde ulaşılan en büyük kayma gerilmesi 0.9 MPa iken, Z2K-1

numunesinde en fazla 0.7 MPa kayma gerilmesi değerine ulaşılmıştır.

2.4. Z1K-3 ve Z2K-3 Numuneleri

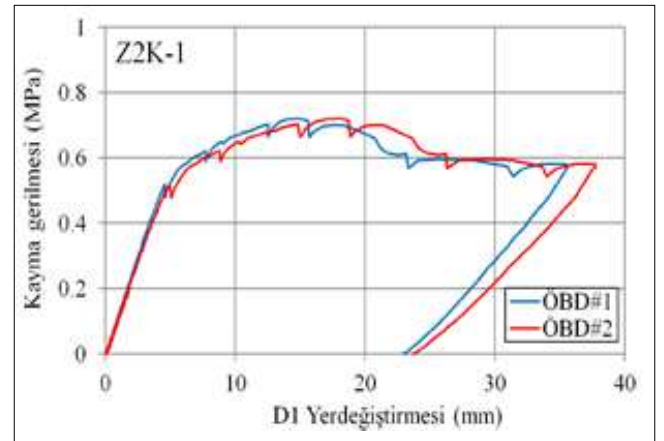
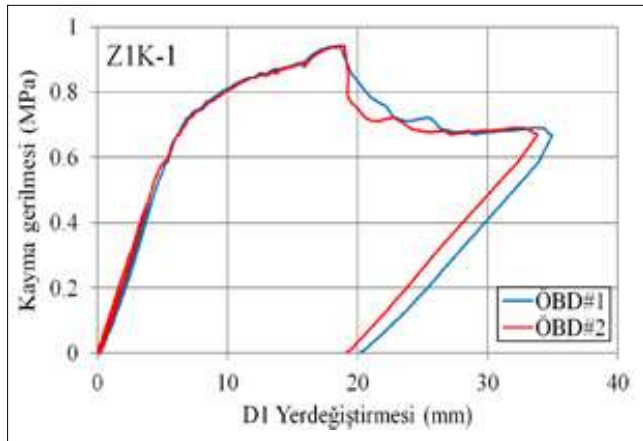
Yapısal kaplama betonu doğal pürüzlülüğe sahip ÖBD üzerinde oluşturulmuştur. Kayma donatıları hem iki ÖBD elemanının birleştiği kesitte hem de ÖBD elemanların 2 şer metrelik mesnet bölgelerinde yer almaktadır. Kayma donatısı aralığı 400 mm dir. Z2K-3 numunesinde, yükleme tarafındaki 2m lik kenar bölümde ÖBD boşlukları harç ile doldurulmuştur.

Gerçekleştirilen kayma deneylerinde ulaşılan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri

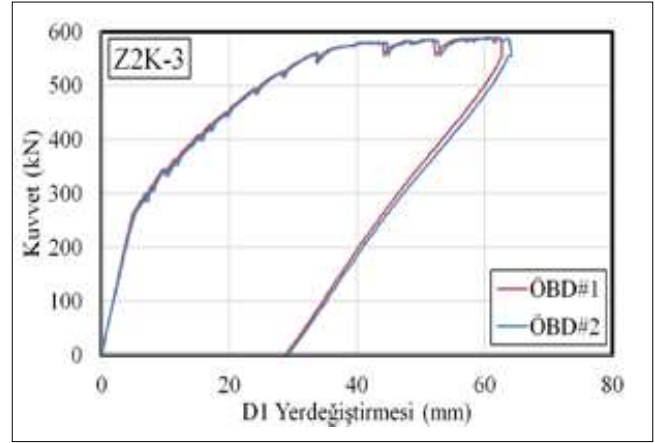
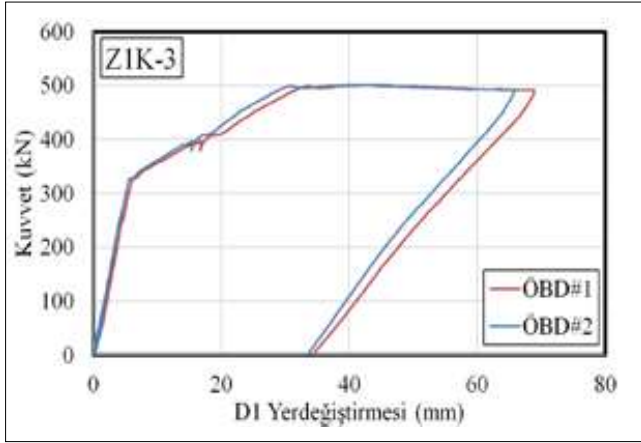
Şekil 13'te yer almaktadır. Z1K-3 ve Z2K-3 numunelerinde sırasıyla 500 kN ve 580 kN değerinden sonra yerdeğiştirmeler artsa da kuvvetin sabit kaldığı gözlemlenmiştir.

Z1K-3 ve Z2K-3 numunelerinde elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 14'de karşılaştırılmıştır. Z1K-3 numunesinde 280 kN, Z2K-3 numunesinde ise 330 kN seviyesinde ilk çatlaklar oluşmuştur.

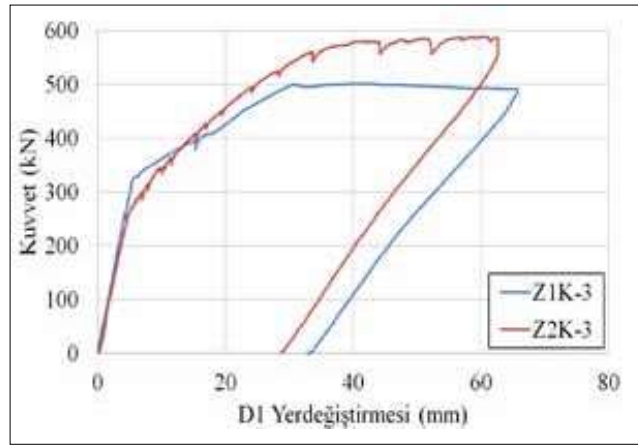
Z1K-3 ve Z2K-3 numunelerinde iki beton katmanı arasında gözlenen kalkma (D2) ve kayma (D3) hareketleri Şekil 15 de verilmiştir. Oluşan büyüklüklerin



Şekil 12. Tek sıra kayma donatılı numunelerde (Z1K-1 ve Z2K-1) iki beton katmanı arasında gerçekleşen kayma gerilmeleri



Şekil 13. Üç sıra kayma donatısı bulunan numunelerin (Z1K-3 ve Z2K-3) kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri



Şekil 14. Z1K-3 ve Z2K-3 numunelerine ait yük yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması

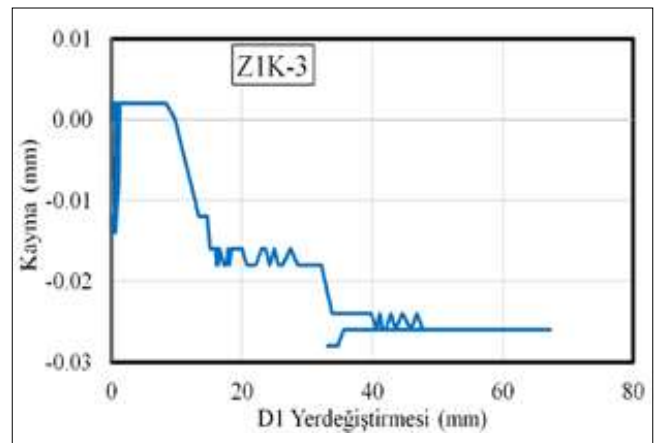
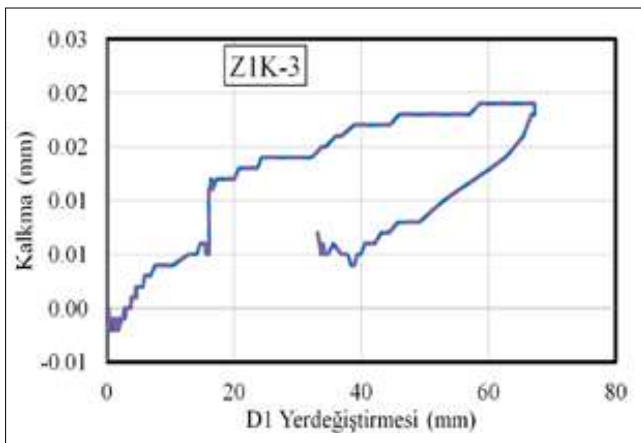
sıfıra çok yakın oldukları görülmektedir.

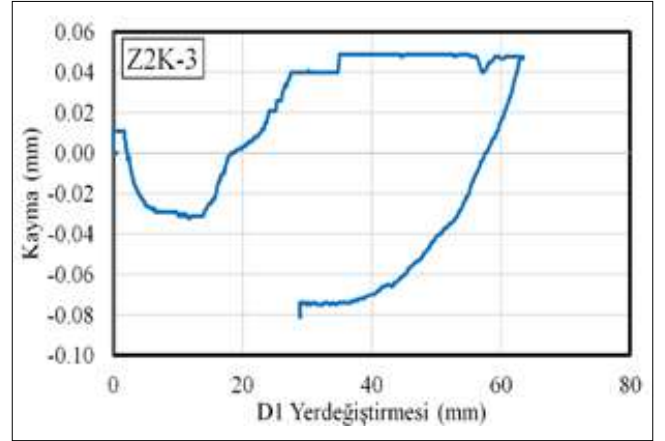
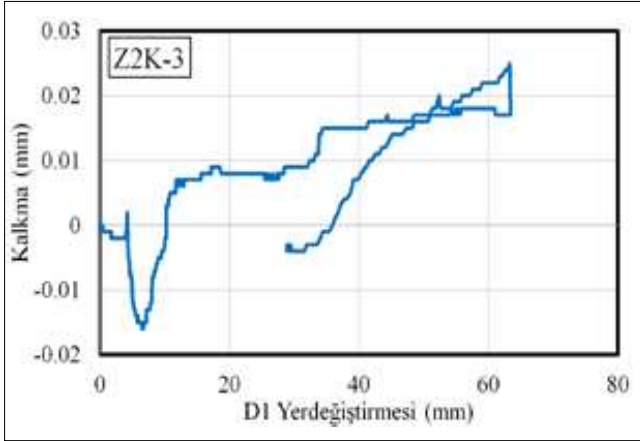
Z1K-3 numunesinde, göçme yüklemesi kesiti ile mesnet kesiti arasında oluşan kesme çatlağı ile olmuştur. ÖBD

boşlukları yüklemesi bölgesinde harç ile doldurulmuş Z2K-3 numunesinde ise davranışı eğilme çatlakları kontrol etmiştir, Şekil 16.

Denklem (1) kullanılarak Z1K-3 numu-

nesi için elde edilen en büyük kayma gerilmesi 1.1 MPa iken, bu değer Z2K-3 için 1.2 MPa olarak gerçekleşmiştir, Şekil 17.





Şekil 15. Beton katmanlar arasında gerçekteşen görel hareketler

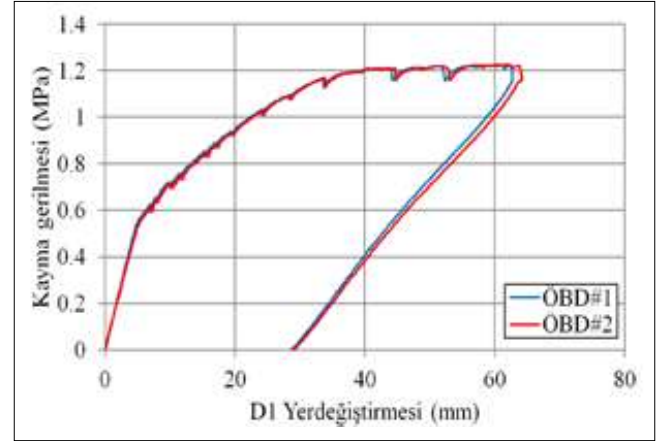
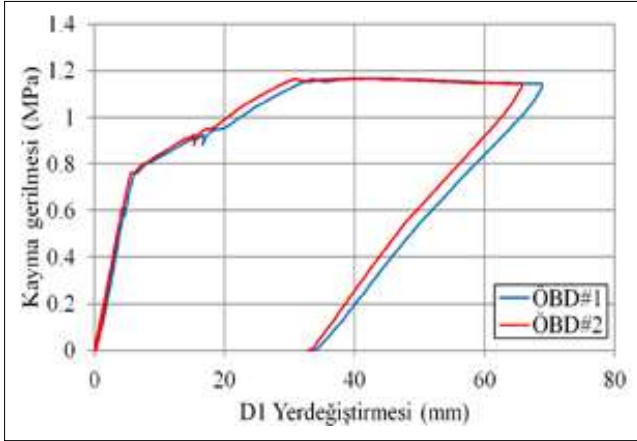


Z1K-3 numunesi



Z2K-3 numunesi

Şekil 16. Üç sıra kayma donatılı numunelerin (Z1K-3 ve Z2K-3) deney sonundaki hasar durumları



Şekil 17. Üç sıra kayma donatılı numunelerde (Z1K-3 ve Z2K-3) iki beton katmanı arasında oluşan kayma gerilmeleri

3. SONUÇLAR

Önüretim boşluklu döşeme elemanı ile yapısal kaplama betonu arasındaki kenetlenmeye yönelik olarak uygulanan iki farklı kayma donatısı yerleşimi için, gerçek boyuttaki döşeme sistemleri üzerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Ulaşılan önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Numuneler benzer başlangıç rijitliğine sahiptir.
- İlk çatlak tüm numunelerde benzer bir yükleme aralığında (270-300 kN) gerçekleşmiştir.
- Tüm numunelerde iki beton katmanı bütünlük olarak çalışmaktadır.
- Göçmeye yükleme kesiti ile mesnet kesiti arasında oluşan kayma çatlakları ile erişilmiştir. Z2K-3 numunesinde davranış eğilme çatlakları tarafından kontrol edilmiştir.
- İki beton katmanı arasında oluşan kayma gerilmesi *tek sıra kayma donatısı durumunda* 0.70 MPa, *üç sıra kayma donatılı durumda* ise 1.20 MPa olmuştur.
- Pratikte kayma donatıları tüm ÖBD elemanlarının arasına yerleştirilirse, üç sıra kayma donatılı numunelerin

gerçeği daha iyi temsil ettiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Girhammar UA, Pajari M. Tests and analyses on shear strength of composite slabs of hollow core units and concrete topping. *Constr Build Mater* 2008;22:1708-1722.
- [2] Baran E. Effects of cast-in-place concrete topping on flexural response of precast concrete hollow-core slabs. *Eng Struct* 2015;98:109-117.
- [3] Ibrahim IS, Elliott KS, Abdullah R, Kueh ABH, Sarbini NN. Experimental study on the shear behavior of precast concrete hollow core slabs with concrete topping. *Eng Struct* 2016;125:80-90.
- [4] Araujo DL, Sales MWR, Paulo SM, El Debs ALHC. Headed steel stud connectors for composite steel beams with precast hollow-core slabs with structural topping. *Eng Struct* 2016;107:135-150.
- [5] T. de Souza P, Kataoka MN, El Debs ALHC. Experimental and numerical analysis of the push out test on shear studs in hollow core slabs. *Eng Struct* 2017;147:398-409.
- [6] Al-Negheimish A, El Sayed AK,

Khanbari MO, Alhozaimy AM. Structural behavior of prestressed SCC hollow core slabs. *Construction and Building Materials* 2018; 182:334-345.

- [7] TS 3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Şubat 1979, Türk Standartları Enstitüsü.
- [8] Yüksel E, Durgun Y, Güllü A, Saruhan H. Yapısal kaplama betonu uygulanan önüretim boşluklu döşeme sistemlerinin eğilme davranışı. *Beton Prefabrikasyon* 2017; 124:5-16.

TEŞEKKÜR

Türkiye Prefabrik Birliğinin desteklediği bu araştırma; İTÜNOVA Teknoloji Transfer Ofisinde, bir AR-GE projesi olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın her aşamasındaki değerli katkılarından dolayı İnş. Müh. Günkut Barka ve İnş. Yük. Müh. Hakan Ataköy'e, numunelerin üretimini yapan PB Prefabrike Beton İnşaat San. ve Tic. A.Ş.'ne, deneyleri gerçekleştiren İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı (YDMLab)'na ve katkı sağlayan tüm öğrencilerimize teşekkür ederiz.