

Yapısal Kaplama Betonu Uygulanan Önüretim Boşluklu Döşeme Sistemlerin Eğilme Davranışı

FLEXURAL BEHAVIOUR OF PRECAST CONCRETE HOLLOW CORE SLABS WITH CONCRETE TOPPING

ÖZET

Önüretim boşluklu döşeme elemanları sağladıkları yapım hızı, düşük zati yük/ilave yük oranı gibi üstünlükleri nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapım aşamasında, boşluklu döşemeler üzerinde farklı detaylar kullanılarak yapısal kaplama betonu oluşturulmaktadır. Yapısal kaplama betonu ile boşluklu döşeme elemanı arasında sağlanan kenetlenme, düzleme dik etkiyen yükler için döşeme eğilme kapasitesinin artırılmasının yanında, sağladığı büyük düzlem içi rijitlik sayesinde yapıya etkiyen yatay yüklerin taşıyıcı elemanlara aktarılmasında da önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde önüretim boşluklu döşeme elemanları üzerinde yapısal kaplama betonu oluşturulması için kullanılan üç farklı kenetlenme detayı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan hareketle, yapısal kaplama betonu oluşturulmasında kullanılan farklı detayların döşeme eğilme davranışına olan etkileri irdelenmiştir.

SUMMARY

Precast concrete hollow core slabs are commonly used in the construction industry because of their some advantages such as construction speediness, low self weight/live load ratio etc. In the construction, structural topping concrete is produced with different details on the precast hollow core slabs. When proper connection

is provided between precast hollow core slab and topping concrete, it will be crucial not only to increase the slab flexural capacity for transversal loading but also to engender slab inplane stiffness to distribute lateral forces acting to the structure between the load carrying systems. In this study, it is examined three distinct application details that are being used in Turkey to construct structural topping. Through the experimental results, it is evaluated the effects of different details utilized in the construction of structural topping concrete, on slab flexural capacity.

1. GİRİŞ

Önüretimli boşluklu döşeme elemanları (ÖBD) yapım hızı, düşük zati yük/ilave yük oranı ve düşük maliyeti gibi üstünlükleri nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ÖBD üretimi yapan yaklaşık on firmanın yıllık toplam üretimleri 2014'de 760000 m², 2015'de 558000 m² ve 2016'da da 583000 m² olmuştur.

Scott [1] 20 cm kalınlıklı 60 cm genişliğindeki ÖBD elemanları üzerinde eğilme deneyleri gerçekleştirmiş, elde ettiği sonuçları ACI [2]'de verilen bağıntıların sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bağıntıların, deneysel sonuçları oldukça yakın tahmin ettiği belirtilmiştir. Girhammar ve Pajari [3] ÖBD kalınlığını azaltıp yapısal kaplama betonu kalınlığını artırmanın genel inşaat maliyetini azaltabileceğini belirtmiştir. Bunun sağlanabilmesi için, önüretim ve taze beton katman-



Doç. 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.

ları arasındaki kenetlenmenin önemini vurgulamıştır. Yeterli kenetlenmenin olması durumunda ÖBD elemanların kayma kapasitelerinin %35'e kadar arttırılabileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Ajdukiewicz vd. [4], ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasında özel bir önlemin uygulanmadığı numuneler üzerinde bir deneysel çalışma yapmıştır. En büyük yükün %95'ine kadar iki beton katmanı arasındaki etkileşimin yeterli olduğu belirtilmiştir. Baran [5],



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.



Araş. Gör. Ahmet GÜLLÜ

2010 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2012 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimini tamamlamış ve aynı yıl doktora çalışmalarına başlamıştır. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanmış makaleleri, çok sayıda uluslararası ve ulusal toplantıda sunulmuş bildirileri bulunmaktadır.

yalın ÖBD elemanları ile herhangi bir önlemin alınmadan yapısal kaplama betonunun oluşturulduğu numuneler üzerinde deneyler yapmıştır. Yapısal kaplama betonu içeren numunede ilk çatlak oluşumuna kadar bütünsel davranışın bulunduğu, çatlama momenti ve başlangıç rijitliğinde yapısal kaplama betonunun etkisinin bulunduğu belirtilmiştir. Buna karşın, bütünsel davranış kaybolduktan sonra yapısal kaplama betonu içeren numunede elde edilen en büyük eğilme dayanımı yalın numunedeki ile benzer olmuştur. Yönetmelik denklemlerinin gerçekleştirilen deneyler için daha büyük kapasiteler tahmin ettiği belirtilmiştir. İbrahim vd. [6] 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.

Bu çalışmada, ülkemizde ÖBD sistemlerinde yaygın olarak kullanılan üç arayüz durumu deneysel olarak incelenmiştir. Bunlar;

1. Doğal yüzey pürüzlülüğü durumu (Yalın Numuneler)
2. ÖBD üst yüzeyinin pürüzlendirildiği durum (Pürüzlendirilmiş Numuneler)
3. Tek sıra kayma donatısı kullanılan durum (Kayma Donatılı Numuneler)

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

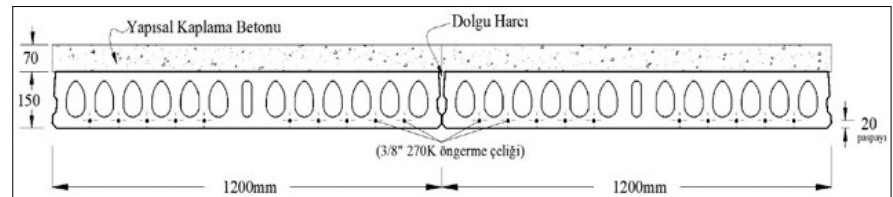
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

İki adet 1.2 m×6.0 m boyutlarındaki ÖBD paneli birleştirilerek 2.4 m×6.0 m ölçülerinde döşeme sistemleri oluşturulmuştur. ÖBD üzerine, üç farklı detay kullanılarak 70 mm kalınlığında donatılı yapısal kaplama betonu dökülmüştür. Her bağlantı türü için iki adet olmak üzere toplam altı adet numune üretilmiş ve denenmiştir, Şekil 1.

Numune teorik açıklığını beş eşit parçaya bölecek şekilde dört ara noktadan düşey yükleme yapılarak, eğilme deneyi icra edilmiştir. Eğilme etkisinde gerçekleşen düşey yerdeğiştirmelerin yanında, ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasındaki kayma ve kalkma hareketleri de izlenmiştir. Üç farklı birleşim türü için, iki beton katmanı arasında kaymanın başladığı aşamadaki ortalama kayma gerilmesi hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2.1. NUMUNE ÖZELLİKLERİ

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. ÖBD de 10 adet 3/8" çaplı 7 telli öngerme halatı kullanılmıştır.



Şekil 1. Döşeme sistemi tipik kesiti

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

Tablo 2. Döşeme sistemi için hesapla belirlenen taşıma kapasiteleri

Kapasite	Tek ÖBD için	İki ÖBD için	Deney Yüğü
Çatlama Momenti	51.50 kNm	103.00 kNm	122.60 kN
Moment Taşıma Gücü	147.36 kNm	294.70 kNm	350.80 kN
Kesme Kuvveti Taşıma Gücü	157.70 kN	315.40 kN	630.80 kN



a- Yüzey yıkaması

Şekil 2. ÖBD elemanların birleştirilmesi

b- Aranın harçla doldurulması



a- Yalın numuneler

Şekil 3. ÖBD-yapısal kaplama betonu arayüzünde uygulanan üç farklı detay

b- Pürüzlendirilmiş num.

TS 3233 [7] kullanılarak, ÖBD ve yapısal kaplama beton sınıfı BS40 varsayımıyla hesaplanan teorik taşıma kapasiteleri Tablo 2 de verilmiştir. Tablonun son kolonunda, bu kapasitelere ulaşmak için gerekli olan deney tekil yükü verilmektedir.

Numune üretiminde kullanılan beton ve dolgu harcı için farklı yaşlarda beton deneyleri yapılmıştır. 28 günlük betonlarda, ÖBD için 44.54 MPa, yapısal kaplama betonu için 44.31 MPa ve dolgu harcı için de 42.58 MPa basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

İki ÖBD arası harçla doldurulmadan önce yüzeyler temizlenmiş ve suya doygun hale getirilmiştir. Numunelerin hazırlanış sürecine ait iki fotoğraf Şekil 2'de yer almaktadır.

Kenar kalıpları oluşturulduktan sonra Q188/188 tipi hasır donatı paspayları üzerine yerleştirilmiş ve 7 cm kalınlıklı yapısal kaplama betonu dökülmüştür, Şekil 3.

2.2. YÜKLEME VE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Bir hidrolik verende üretilen kuvvet uygun yük dağıtma kirişleri kullanılarak dört eşit parçaya bölünmüştür. Oluşan reaksiyon kuvveti yüksek dayanımlı tijler yardımıyla kuvvetli laboratuvar döşemesine aktarılmıştır. Hidrolik verende oluşan kuvvet yükölçer kullanılarak elektronik olarak kaydedilmiştir. Deney düzeneğinin şematik resmi



c- Kayma donatılı numuneler

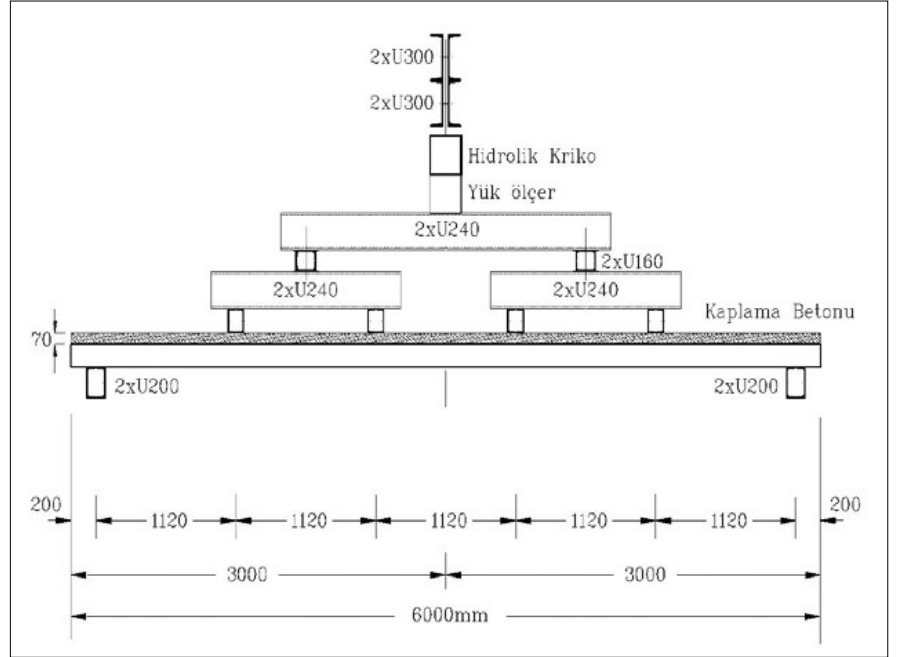


Y. Müh. Hakan SARUHAN

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.

ve bir fotoğrafı Şekil 4 de verilmiştir. Teorik açıklık $L=5600$ mm olarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı oldukça yavaş tutularak artan yükler etkisindeki davranış adım adım gözlenmiştir. Hidrolik veren kol boyu sona geldiğinde yük boşaltılmış ve çelik plakalar ilave edilerek yüklemeye devam edilmiştir.

Numuneler üzerindeki farklı kesitlerde gerçekleşen mutlak ve görel yerdıştirmelerin kaydedilmesi için yerdıştirme ölçerler kullanılmıştır. Mutlak yerdıştirme okumaları, her numuneyi oluşturan iki adet ÖBD nin açıklık ortası ile dörtte bir noktalarında ve mesnetlerde yapılmıştır. Görel yerdıştirme okumaları ise ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasındaki görel kayma ve kalkma hareketlerini belirlemek



Şekil 4. Deney düzeneği

üzere mesnet bölgelerinde yapılmıştır, Şekil 5.

Numunelerin açıklık orta kesitlerinde gerçekleşen şekildeğıştirmelerin kaydedilmesi için şekildeğıştirme ölçerler kullanılmıştır, Şekil 5. 60 mm kapasiteli şekildeğıştirme ölçerler farklı ko-



Şekil 5. ÖBD ve yapısal kaplama betonu arasında görel kayma ve açılma hareketlerini kaydetmek üzere kullanılan ölçüm düzeni (sol resim) ve açıklık kesitine yapıştırılmış şekildeğıştirme ölçerler (sağ resim)



Şekil 6. Yalın numunelerde, deney öncesinde yapısal kaplama betonunun ÖBD den ayrılması.



a) Deney başlangıcı



b) Deney sonu

Şekil 7. Yalın numunelere ait deney fotoğrafları

numlarda temizlenmiş beton yüzeye yapıştırılmıştır.

2.3. YALIN NUMUNELER

Yapısal kaplama betonu doğal pürüzlülüğe sahip ÖBD üzerinde oluşturulmuştur. Deney öncesinde, bu numunelerin uç bölgelerinde yapısal kaplama betonunun ÖBD den ayrıldığı görülmüştür, Şekil 6.

Bu numuneler için gerçekleştirilen deneylere ait iki fotoğraf Şekil 7 de verilmiştir.

Yalın numunelerde elde edilen yük-açıklık ortası yerdeğiştirme eğrileri Şekil 8'de verilmiştir.

Grafiklerden izlenebileceği gibi, döşeme sistemini oluşturan iki ÖBD den alınan sonuçlar çok benzerdir. Bu durum, iki ÖBD elemanının beraber çalıştığını, yapılan yüklemenin enine doğrultuda düzgün dağıtıldığını göstermektedir. Her iki deneyde ilk çatlak yaklaşık 170 kN da gerçekleşmiştir. Ulaşılan en büyük dayanımlar Numune #1 için 300 kN, Numune #2 için 280 kN olmuştur. Gidilen en büyük yerdeğiştirme 260 mm dir. Bu değer teorik açıklığa oranı L/22'ye karşı gelmektedir.

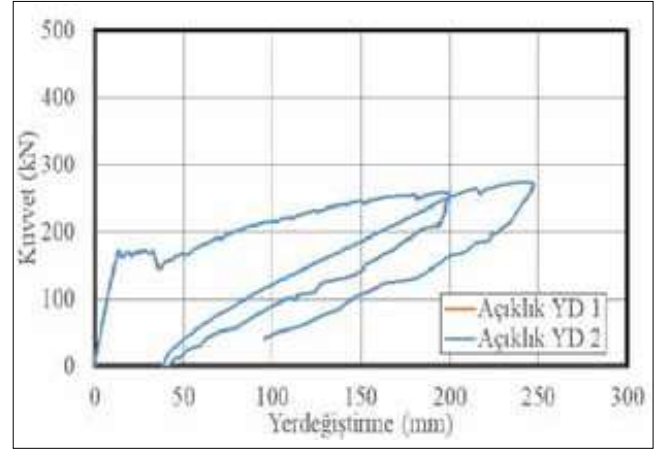
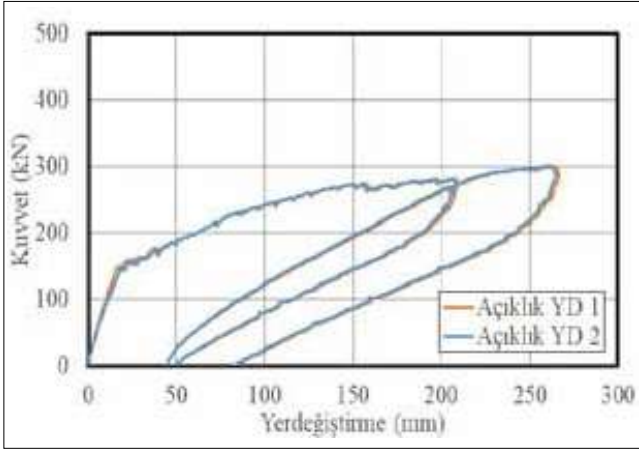
Yalın numunelerde artan düzey yükler etkisinde iki beton katmanı arasında gerçekleşen görelî kayma ve kalk-

ma hareketleri gözle görülmüş (Bkz. Şekil 9) ve Şekil 10 da grafik olarak verilmiştir.

Yapısal kaplama betonunun yaptığı görelî kayma ve kalkma hareketleri ilk eğilme çatlaklarının oluşumuyla başlamıştır. Kaydedilen en büyük kayma hareketi 14 mm, en büyük kalkma hareketi de 3.5 mm olmuştur.

Yalın numunelerde oluşan çatlaklar Şekil 11 de şematik olarak gösterilmiştir. Eğilme çatlakları yüklem noktaları arasında kalmıştır.

Yalın numunelerde 24 adet eğilme çatlakları oluşmuştur. En büyük yük



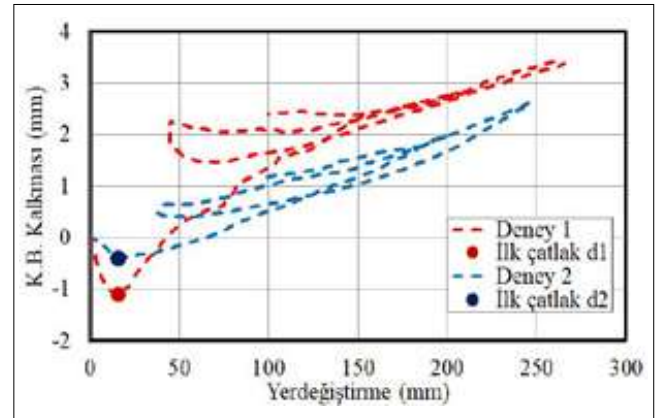
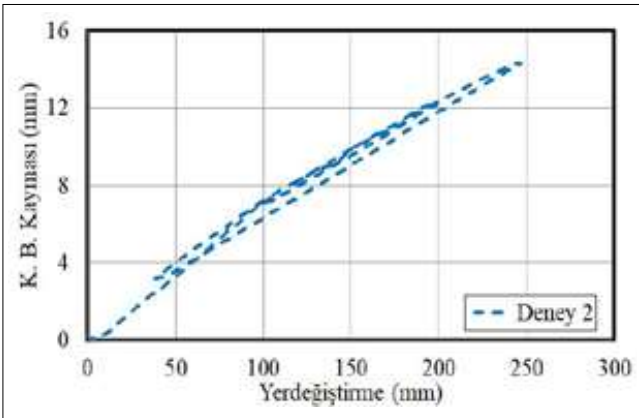
Numune #1 (Deney #1)

Numune #2 (Deney #2)

Şekil 8. Yalın numunelerde toplam yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkileri



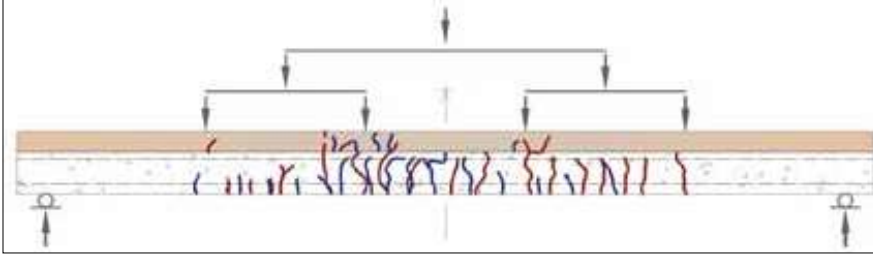
Şekil 9. Yalın numunelerin eğilmesinde yapısal kaplama betonunun ÖB üzerinde hareketi



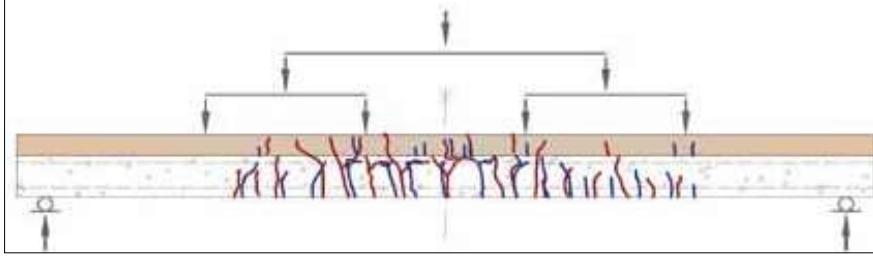
a) Kayma hareketi

b) Kalkma hareketi

Şekil 10. Yalın numunelerde yapısal kaplama betonunun görel hareketleri



a) Ön Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#1 (kırmızı), Numune#2 (mavi))



b) Arka Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#1 (kırmızı), Numune#2 (mavi))

Şekil 11. Yalın numunelerde oluşan çatlaklar

düzeyinde gözlenen en büyük çatlak genişliği 1.6 mm, ortalama çatlak genişliği de 0.7 mm olmuştur.

2.4. PÜRÜZLENDİRİLMİŞ NUMUNELER

ÖBD elemanların üst yüzeyleri üretim aşamasında basit bir düzenek kullanılarak 6 mm derinliğinde sürekli formda pürüzlendirilmiştir. Deney öncesinde, yapısal kaplama betonu ile ÖBD arasında ayrılma gözlenmemiştir. Bu numunelere ait deney fotoğrafları Şekil 12 de verilmiştir.

Bu numunelerde elde edilen toplam düşey yük açıklık ortası düşey yerdeğiştirme grafikleri Şekil 13 de verilmiştir. Numuneleri oluşturan iki ÖBD ele-

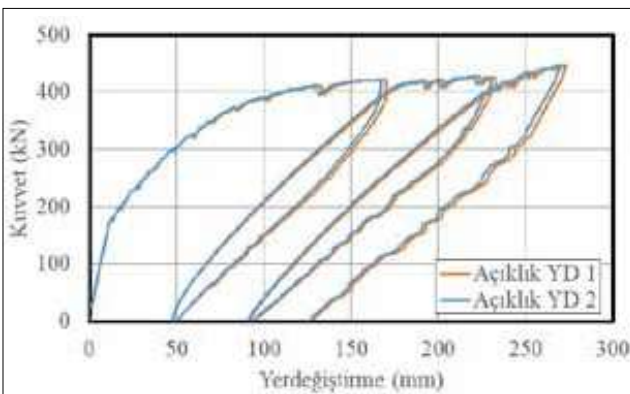


a) Deney başlangıcı

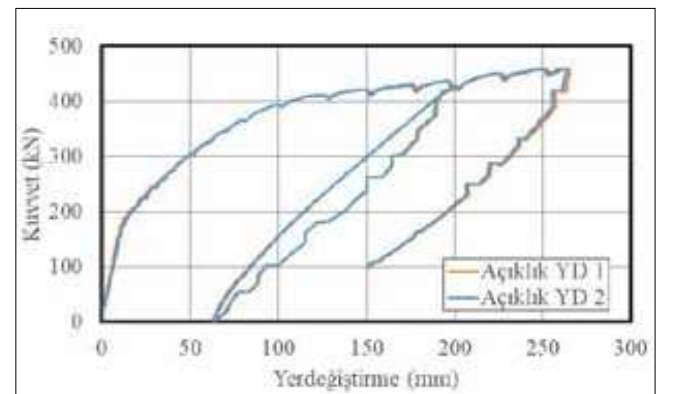


b) Deney sonu

Şekil 12. Pürüzlü numunelere ait deney fotoğrafları

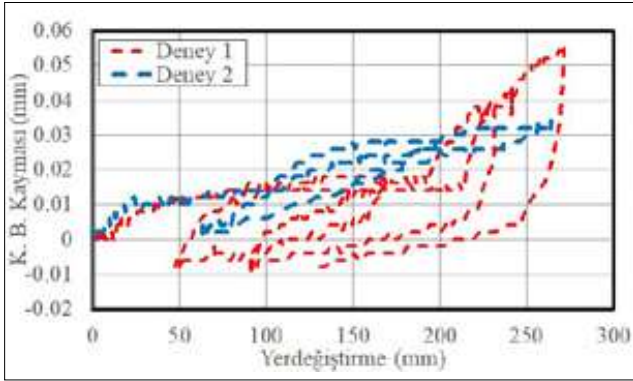


Numune#3 (Deney #1)

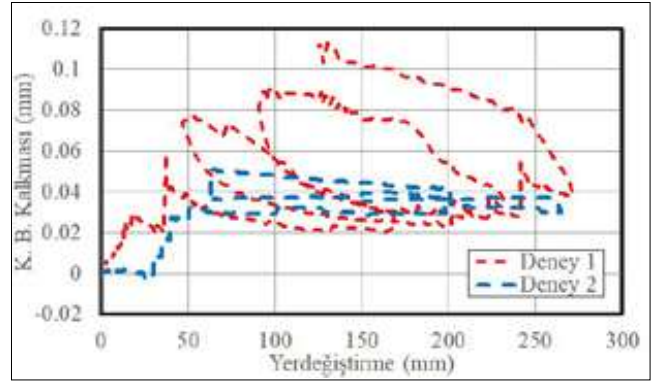


Numune #4 (Deney #2)

Şekil 13. Pürüzlü numunelerde toplam yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkisi

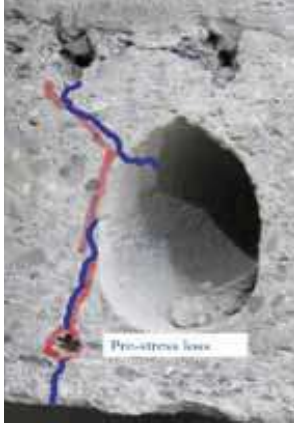


a) Kayma hareketi



b) Kalkma hareketi

Şekil 14. Pürüzlü numunelerde yapısal kaplama betonunun görel hareketleri

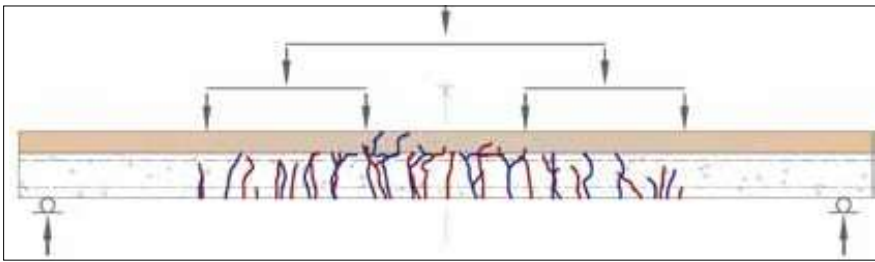


a) ÖBD gövdesinde kayma çatlakları ve öngerme halatlarında sınırlı sıyrılma hareketi

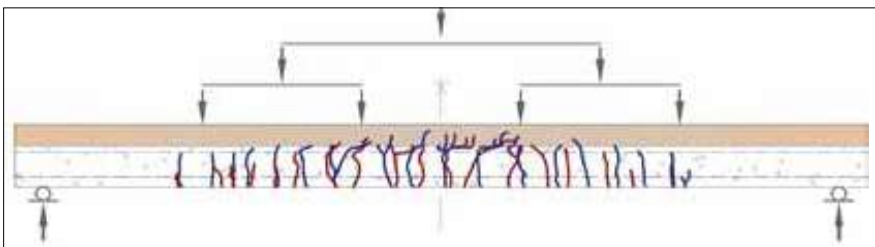


b) ÖBD elemanları birleşim kesitinde çatlak

Şekil 15. Pürüzlendirilmiş numunelerde en büyük yük düzeyinde gözlenen hasarlar



a) Ön Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#3 (kırmızı), Numune#4 (mavi))



b) Arka Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#3 (kırmızı), Numune#4 (mavi))

Şekil 16. Pürüzlendirilmiş numunelerde oluşan çatlaklar

manının çok benzer davranış gösterdikleri grafiklerden izlenebilmektedir.

İlk çatlak 180 kN da meydana gelmiştir. Bu değer, yalın numuneler için elde edilen değerlere çok yakındır. Ulaşılan en büyük dayanım yaklaşık 450 kN olmuştur. Bu değer, yalın numunelerde elde edilen dayanımın yaklaşık 1.5 katıdır. Pürüzlendirilmiş numunelerde açıklık ortasında gerçekleşen en büyük düşey yerdeğiştirme 270 mm olmuştur. Bu değer açıklığa oranlandığında L/21 sonucuna ulaşılmaktadır.

Pürüzlendirilmiş numunelerde, yapısal kaplama betonuyla ÖBD arasında ölçülen en büyük görel kayma hareketi 0.12 mm, en büyük ayrılma hareketi de 0.06 mm olmuştur. Bu değerlerin pratik olarak sıfıra çok yakın oldukları söylenebilir, Şekil 14. Bu ölçüm ve gözlemlere dayalı olarak, yapısal kaplama betonunun deneyin sonuna kadar ÖBD ile birlikte çalıştığı söylenebilir.

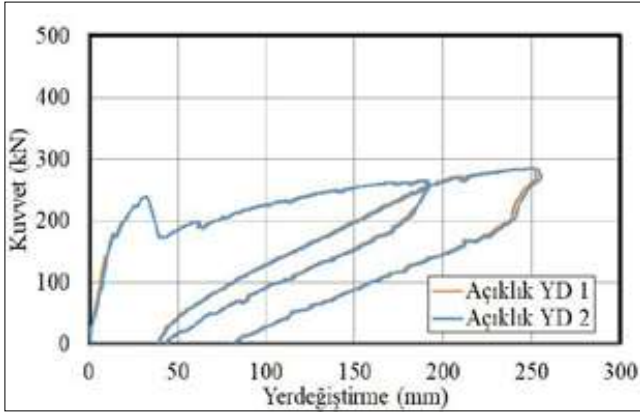
ÖBD ile yapısal kaplama betonunun birlikte çalışması döşeme sisteminin düşey yük taşıma kapasitesini arttırmış, ancak bu durum başka bir hasar modunu ortaya çıkarmıştır. 450 kN luk en büyük yük düzeyine yaklaşıırken, ÖBD gövdesinde kayma çatlak oluşumu, öngerme halatlarında sınırlı sıyrılma hareketi ve iki ÖBD elemanının



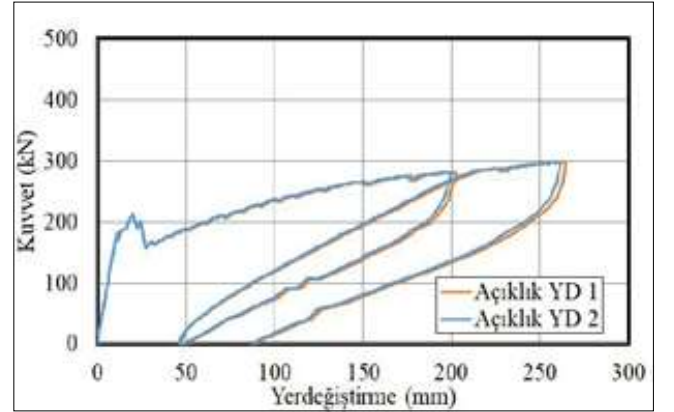
Şekil 17. Pürüzlendirilmiş numunelerde gerçekleşen bazı çatlakların ilerleme şekilleri



Şekil 18. Kayma donatılı numunelerde, deney öncesinde yapısal kaplama betonunun köşe bölgelerde ÖBD den ayrılması



Numune #5 (Deney #1)



Numune #6 (Deney #2)

Şekil 19. Kayma donatılı numunelerde toplam yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkisi

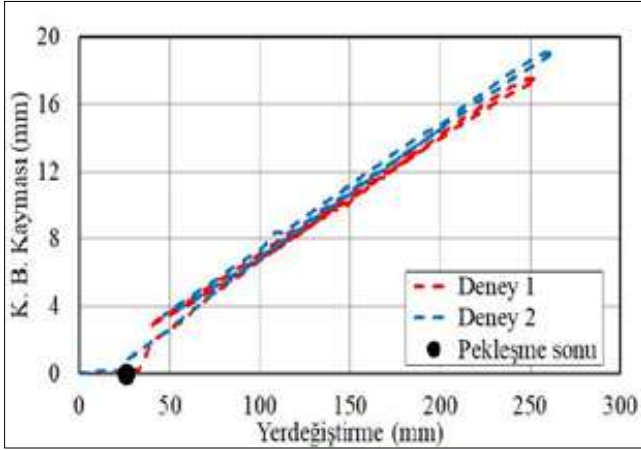
birleşim kesitinde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir, Şekil 15.

Pürüzlendirilmiş numunelerde gerçekleşen çatlaklar Şekil 16 da verilmiştir. Düşey yükün artmasıyla, gerçekleşen çatlak genişlikleri de artmıştır.

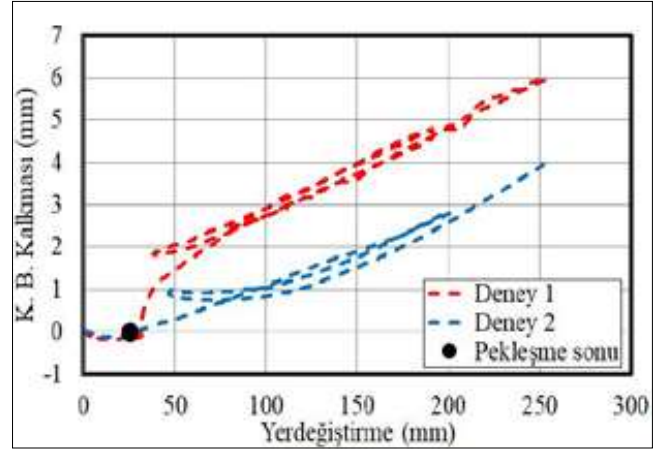
Toplam 20 adet çatlak oluşmuştur. Bazı çatlakların ilerleme biçimlerini gösteren fotoğraflar Şekil 17 de verilmiştir. En büyük yük düzeyinde gözlenen en büyük çatlak genişliği 3.4 mm, ortalama çatlak genişliği de 1.3 mm olmuştur.

2.5. KAYMA DONATILI NUMUNELER

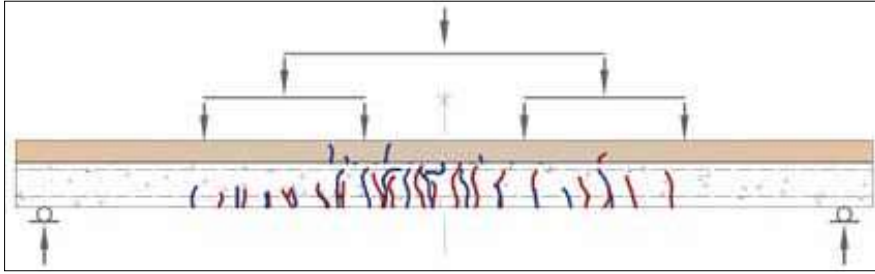
Doğal pürüzlülüğe sahip ÖBD ler ile yapısal kaplama betonu arasındaki kenetlenmeyi artırmak üzere, ÖBD ler arasındaki cepe yerleştirilen harç içerisine $\phi 14$ kayma donatıları ekilmiştir. Bu



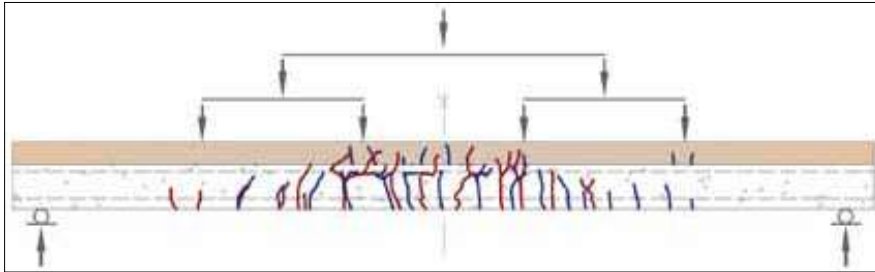
a) Kayma hareketi



b) Kalkma hareketi

Şekil 20. Kayma donatılı numunelerde yapısal kaplama betonunun görece hareketleri

a) Ön Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#5 (kırmızı), Numune#6 (mavi))



b) Arka Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#5 (kırmızı), Numune#6 (mavi))

Şekil 21. Kayma donatılı numunelerde çatlak dağılımı

elemanlar, hasır donatı yerleştirildikten sonra şaşırmalı olarak kıvrılmıştır.

Bu numunelerde de deney öncesinde ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasında köşe bölgelerde yoğunlaşan ayrılmalar gözlenmiştir, Şekil 18. Köşe bölgeler, ekilen kayma donatısının olmadığı alanlara karşı gelmektedir.

Bu numunelerde elde edilen toplam yük açıklık ortası düşey yerdeğiştirme

ilişkileri Şekil 19'da verilmiştir. Diğer dört numuneye benzer olarak, ÖBD'de ilk eğilme çatlakları yaklaşık 170 kN'da oluşmuştur. Yapısal kaplama betonu tabakasında kaymanın belirgin olarak gözlemlendiği yük seviyesi Numune #5 de 240 kN, Numune #6 da 207 kN olarak gerçekleşmiştir. Her iki deneyde de ulaşılan en büyük dayanımlar yaklaşık 300 kN dur. Döşeme sistemini oluşturan iki ÖBD elemanı benzer davranış göstermiştir. Yük-yer-

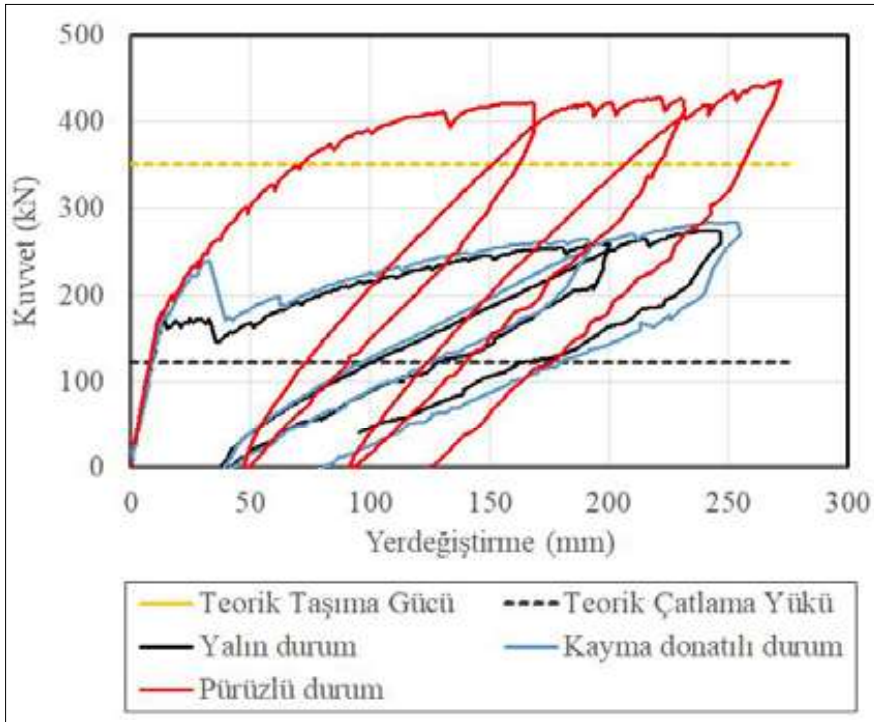
değiştirme ilişkilerinin genel şekli yalın numunelere benzemektedir. Açıklık ortasında ulaşılan en büyük yerdeğiştirme 250 mm ($L/23$) olmuştur.

Kayma donatılı numunelerde ÖBD elemanları ile yapısal kaplama betonu arasında gerçekleşen görece kayma ve ayrılma hareketleri artan yükler için ölçülmüş ve oluşan grafikler Şekil 20'de verilmiştir. Oluşan davranış yalın numune durumuna benzemektedir. En büyük yük etkisinde gerçekleşen kayma hareketi 19 mm, kalkma hareketi de 6 mm olmuştur.

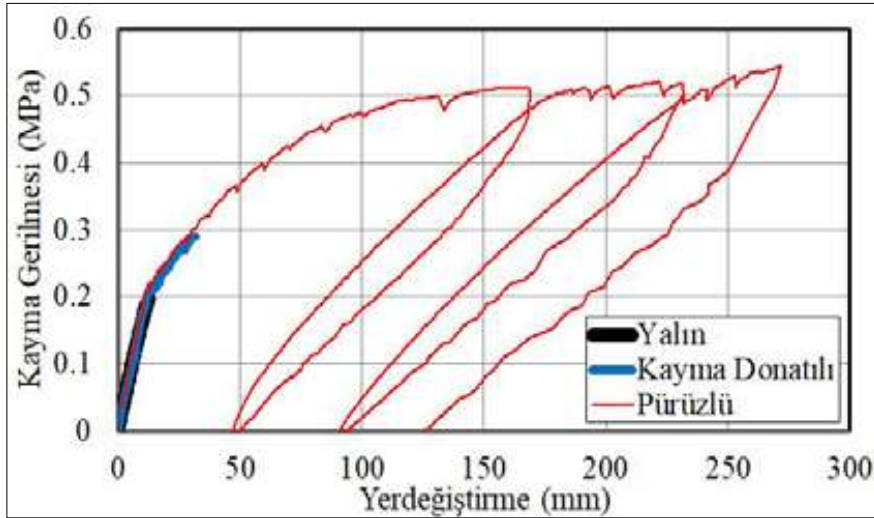
Kayma donatılı numunelerde toplam 24 adet çatlak meydana gelmiştir, Şekil 21. En büyük yük düzeyinde oluşan en büyük çatlak genişliği 5 mm, ortalama çatlak genişliği de 1.5 mm olmuştur.

3. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE YORUMLANMASI

Üç farklı arayüz detayı durumu için elde edilen toplam yük-orta nokta düşey yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 22'de birlikte verilmiştir. Tüm numunelerde ilk çatlama yükü yaklaşık 170 kN civarında gerçekleşmiştir. Hesapla belirlenen teorik çatlama yükü 123 kN değeri de grafikte yatay siyah kesikli çizgi ile gösterilmiştir. İlk çatlama



Şekil 22. Üç farklı arayüz durumu için elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri



Şekil 23. ÖBD ile yapısal kaplama betonu arayüzünde gerçekleşen kayma gerilmeleri

sonra numuneler farklı davranış göstermiştir. Kayma donatılı ve pürüzlendirilmiş numuneler aynı eğimle devam ederken, yalın numunelerde çatlama yükü civarında yerdeğiştirme artmıştır. Kayma donatılı numunelerde, yapısal kaplama betonunun belirgin kayma hareketi gözlemlendikten sonra dayanım ani olarak düşmüş ve yalın numune

grafiğine benzer bir davranış oluşmuştur. Teorik taşıma gücüne karşı gelen 351 kN değeri de grafik üzerinde yatay kesikli turuncu çizgi ile gösterilmiştir. Sadece pürüzlü numunelerde teorik eğilme kapasitesinin üzerine çıktığı görülmektedir.

Yapısal kaplama betonu ile ÖBD arasındaki yatay kayma gerilmesi, iki

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.

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

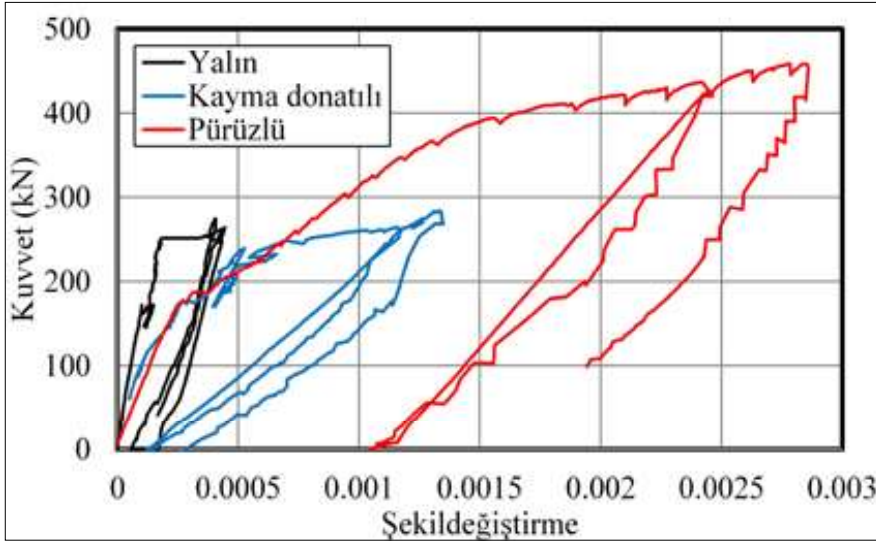
Üç farklı arayüz durumunda, yapısal kaplama betonunda görece kayma hareketinin başladığı aşamaya kadar hesaplanmış arayüz kayma gerilmeleri Şekil 23'de verilmiştir. Gerçekleşen en büyük kayma gerilmeleri yalın durum için 0.2 MPa, kayma donatılı durum için 0.3 MPa ve pürüzlendirilmiş durum için 0.50 MPa olmuştur.

Açıklık orta kesitte, yapısal kaplama betonu üst yüzeyine yapıştırılan şekil-değiştirme ölçerden alınan beton birim kısalmaları Şekil 24'de verilmiştir.

Ulaşılan en büyük beton birim kısalmaları; yalın durumda 0.0004, kayma donatılı durumda 0.0013, pürüzlendirilmiş numunelerde ise 0.0028 olarak gerçekleşmiştir. Yalın ve kayma donatılı numunelerde yapısal kaplama betonu ÖBD den ayrıldıktan sonra iki beton katmanı ayrı çalışırken, pürüzlendirilmiş numunede deney sonuna kadar kesit bütünlüğü korunmuştur. Bu sebeple, açıklık ortasında kesit üst liflerinde betonda ezilme başlangıç seviyesine gelinmiştir.

4. SONUÇLAR

Önretim boşluklu döşeme elemanı ile yapısal kaplama betonu arasındaki kenetlenmeye yönelik uygulanan üç farklı detay için, gerçek boyuttaki döşeme sistemleri üzerinde eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 24. Açıklık ortasında yapısal kaplama betonu üst yüzeyinde kaydedilen beton birim kısalmaları elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri

- Tüm numuneler benzer başlangıç rijitliğine sahiptir.
- İlk çatlama yükü tüm numunelerde yaklaşık 170 kN olarak gerçekleşmiştir. Bu değer, teorik çatlama yükünün üzerindedir.
- İlk çatlak oluşumuna kadar tüm numunelerde iki beton katmanı bütünlük olarak çalışmıştır.
- Yalın numunede ilk eğilme çatlaklarının oluşumundan sonra rijitlik düşmekte ve yerdeğiştirmeler artmaktadır. Bu aşamadan sonra yapısal kaplama betonunda görece kayma ve kalkma hareketleri büyümektedir.
- Pürüzlendirilmiş numunelerde, iki beton katmanı arasındaki kenetlenme deney sonuna kadar korunmuştur.
- Sadece pürüzlendirilmiş numunelerde teorik taşıma gücünün üzerine çıkılabilmektedir.
- Emniyetle aktarılan kayma gerilmeleri; *yalın (pürüzsüz yüzey)* durumunda **0.20 MPa**, *kayma donatılı (pürüzsüz yüzey)* durumunda **0.30 MPa**, *pürüzlendirilmiş (kayma donatısız)*

durumda **0.50 MPa** olarak gerçekleşmiştir.

- Kayma donatılı numunelerde uygulanan detayda, kayma donatısı yerleştirildiği cep çevresinde etkili olmuştur. Bu numunelerde, iki beton katmanı arasındaki kenetlenme gerilmesi yalın duruma göre yaklaşık %50 artmıştır. Kayma donatılarının önüretim boşluklu döşemelerin tüm birleşim kesitlerine uygulanması durumunda, bu yöntemin daha etkili olabileceği öngörülmektedir.
- Pürüzlendirilmiş numunelerde (pürüz derinliği 5-6 mm) elde edilen sonuçlar, literatürlerde verilen 0.50 MPa *yatay kayma gerilmesi sınırı* ile uyumaktadır.
- Pürüzlendirilmiş numunelerde eğilme kapasitesine yaklaştığında gövde çatlakları, öngerme kayıpları ve birleşim bölgesinde ayrılma gibi hasarlar oluşmaya başlamıştır.

Bu çalışmanın devamında üretilen dört yeni numunede *pürüzlendirilmiş yüzey ve kayma donatısı* birlikte kullanılmıştır. Deneyler tamamlandığında, sonuçları bu satırlardan paylaşılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Scott NL. Performance of precast prestressed hollow core slab with composite concrete topping. PCI J 1973; 18(2):64-77.
- [2] ACI Building code requirements for structural concrete. Detroit (MI): American Concrete Institute; 2005.
- [3] 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.
- [4] Ajdukiewicz A, Kliszczewicz A, Weglors M. Experimental study on the effectiveness of interaction between pre-tensioned hollow-core slabs and concrete topping. Architecture Civil Engineering Environment 2008;1:57-66.
- [5] Baran E. Effects of cast-in-place concrete topping on flexural response of precast concrete hollow-core slabs. Eng Struct 2015;98:109-117.
- [6] 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.
- [7] TS 3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Şubat 1979, Türk Standartları Enstitüsü.

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. Göküt Barka ve İnş. Yük. Müh. Hakan Ataköy'e, numunelerin üretimini yapan Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'ne, deneyleri gerçekleştiren İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı (YDMLab)'na ve katkı sağlayan tüm öğrencilerimize teşekkür ederiz.