

Önüretim Boşluklu Döşeme Sistemlerin Eğilme Davranışı

Doç.Dr. Ercan Yüksel Dr. Yavuz Durgun Araş.Gör. Ahmet Güllü Y. Müh. Hakan Saruhan

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 arttırılmasının 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 detailes utilized in the construction of structural topping concrete, on slab flexural capacity.

1. Giriş

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]’da verilen bağıntıların sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bağıntıların, deneysel sonuçları oldukça yakın tahmin ettiği belirtilmiştir. Girhammar ve Pajari [3] ÖBD kalınlığını azaltıp yapısal kaplama betonu kalınlığını arttırmanın genel inşaat maliyetini azaltabileceğini belirtmiştir. Bunun sağlanabilmesi için, önüretim ve taze beton katmanları 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], 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.

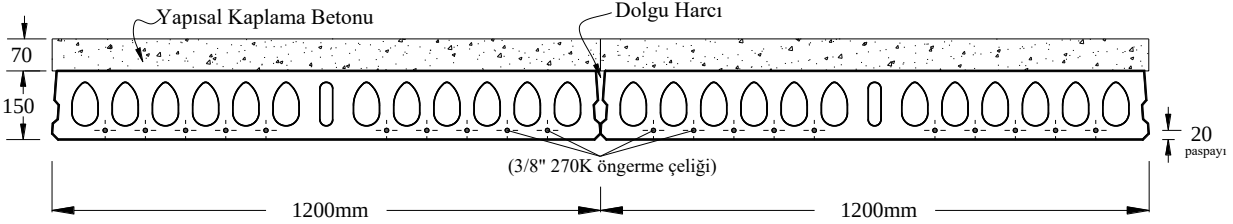
Bu çalışmada, ülkemizde ÖBD sistemlerinde yaygın olarak kullanılan *üç arayüz durumu* deneysel olarak incelenmiştir. Bunlar;

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 Çalışma

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.



Şekil 1. Döşeme sistemi tipik kesiti

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

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

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.

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

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.



a- Yüzey yıkaması



b- Aranın harçla doldurulması

Şekil 2. ÖBD elemanların birleştirilmesi

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



a- Yalın numuneler

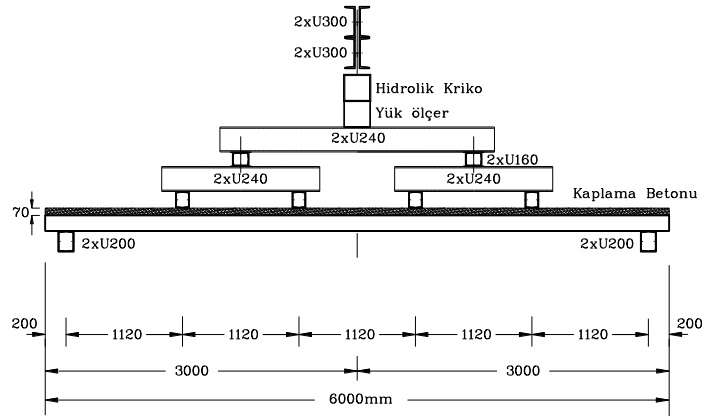
b- Pürüzlendirilmiş num.

c- Kayma donatılı numuneler

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

2.2. Yükleme ve ölçüm sistemleri

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 ve bir fotoğrafı Şekil 4 de verilmiştir. Teorik açıklık $L=5600 \text{ mm}$ 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 yükleme devam edilmiştir.

**Şekil 4.** Deney düzeneği

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 ile dörtte bir noktalarında ve mesnetlerde yapılmıştır. Görelî yerdeğiştirme okumaları ise ÖBD ile yapısal kaplama betonu arasındaki görelî kayma ve kalkma hareketlerini belirlemek üzere mesnet bölgelerinde yapılmıştır, Şekil 5.

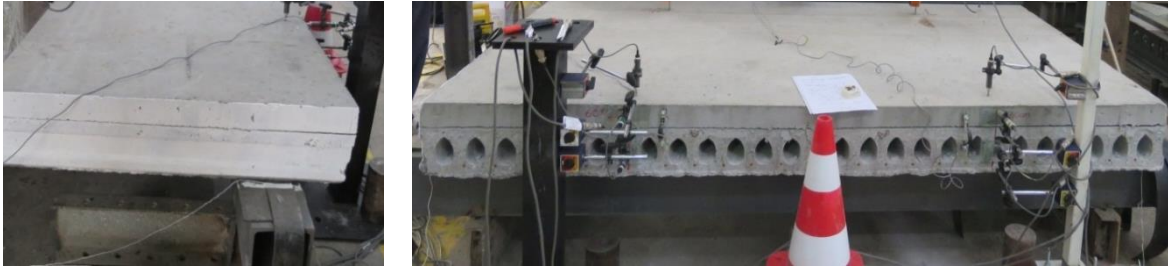
Numunelerin açıklık orta kesitlerinde gerçekleşen şekildeğiştirmelerin kaydedilmesi için şekildeğiştirme ölçerler kullanılmıştır, Şekil 5. 60 mm kapasiteli şekildeğiştirme ölçerler farklı konumlarda temizlenmiş beton yüzeye yapıştırılmıştır.



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

2.3. Yalın 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.



Şekil 6. Yalın numunelerde, deney öncesinde yapısal kaplama betonunun ÖBD den ayrılması
Bu numuneler için gerçekleştirilen deneylere ait iki fotoğraf Şekil 7 de verilmiştir.



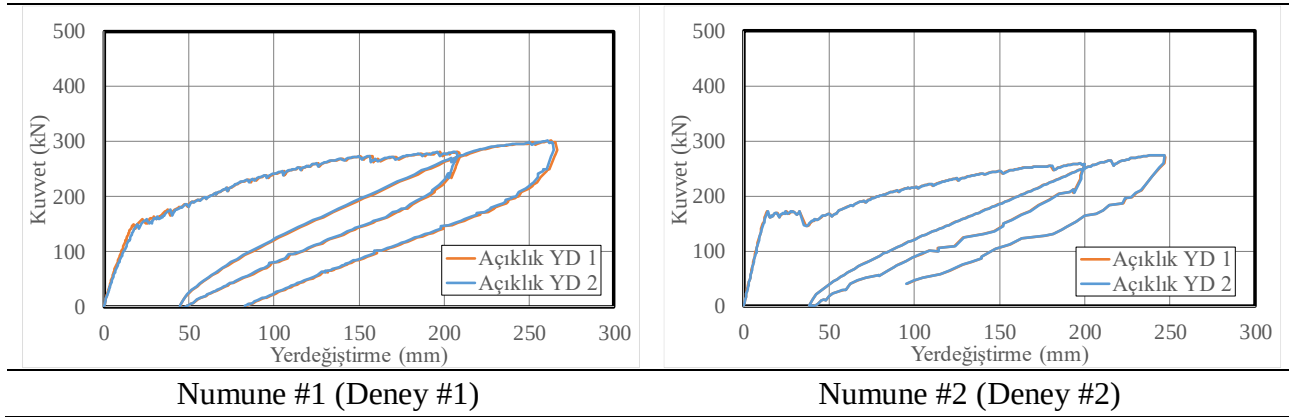
a) Deney başlangıcı



b) Deney sonu

Şekil 7. Yalın numunelere ait deney fotoğrafları

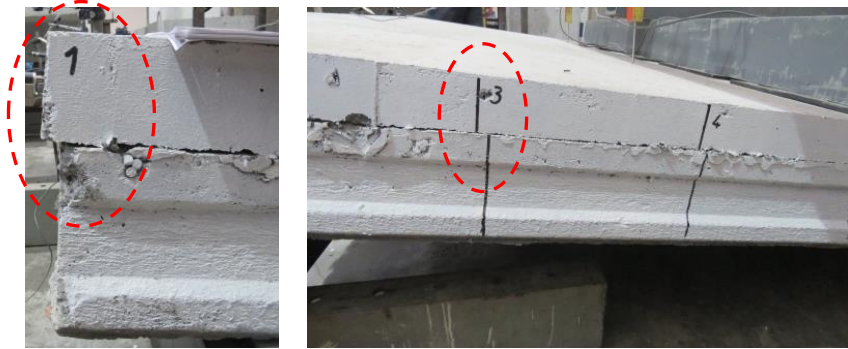
Yalın numunelerde elde edilen yük–açıklık ortası yerdeğiştirme eğrileri Şekil 8’de verilmiştir.



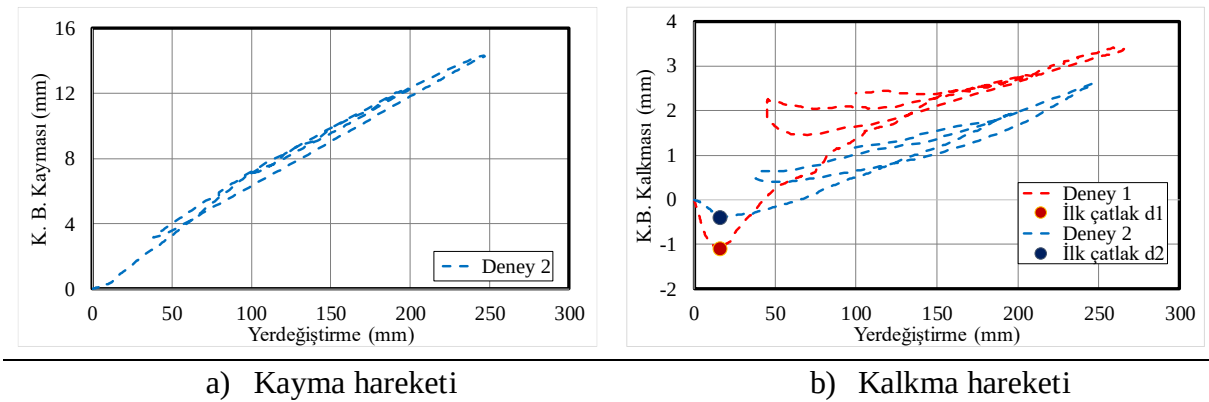
Şekil 8. Yalın numunelerde toplam yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkileri

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 düşey yükler etkisinde iki beton katmanı arasında gerçekleşen göreceli kayma ve kalkma hareketleri gözle görülmüş (Bkz. Şekil 9) ve Şekil 10 da grafik olarak verilmiştir.



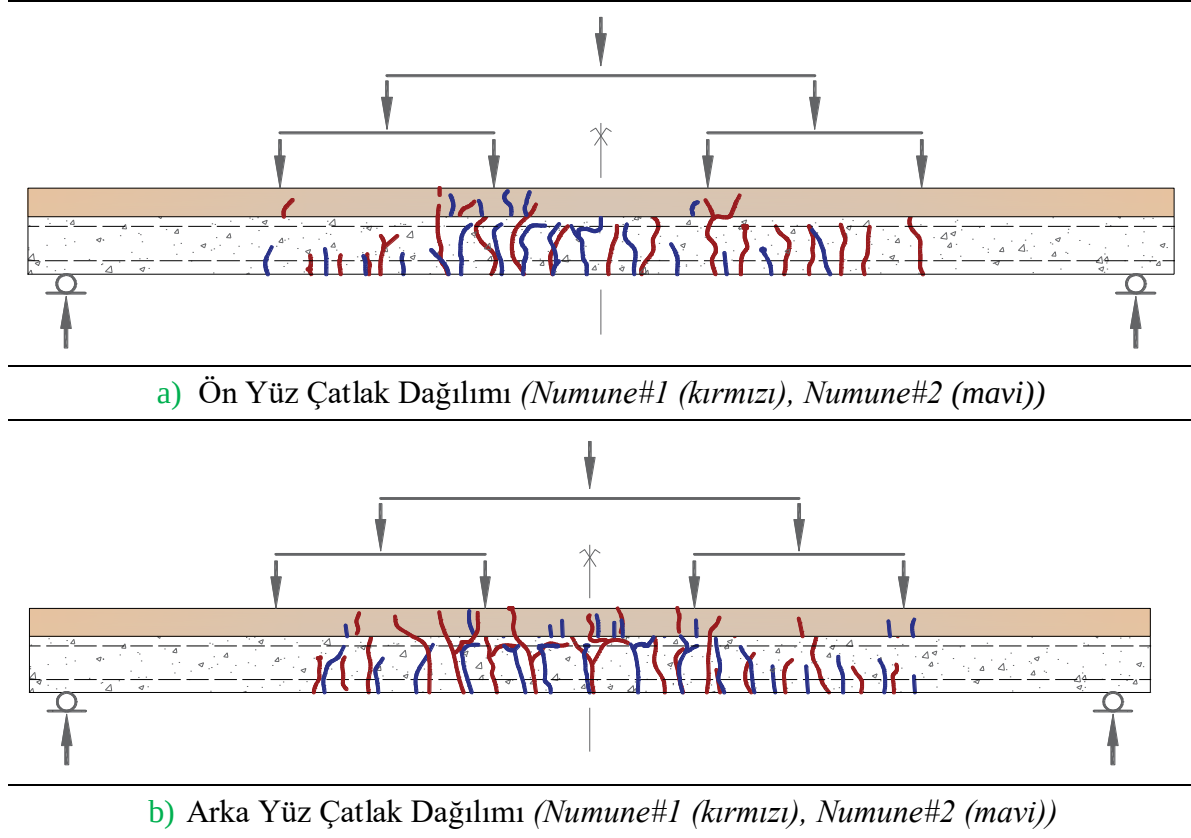
Şekil 9. Yalın numunelerin eğilmesinde yapısal kaplama betonunun ÖBD üzerinde hareketi



Şekil 10. Yalın numunelerde yapısal kaplama betonunun görelî hareketleri

Yapısal kaplama betonunun yaptığı görelî kayma ve kalkma hareketleri ilk eğilme çatlağının 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 yükleme noktaları arasında kalmıştır.

**Şekil 11.** Yalın numunelerde oluşan çatlaklar

Yalın numunelerde 24 adet eğilme çatlağı oluşmuştur. En büyük yük düzeyinde gözlenen en büyük çatlak genişliği 1.6 mm, ortalama çatlak genişliği de 0.7 mm olmuştur.

2.4. Pürüzlendirilmiş 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 elemanının çok benzer davranış gösterdikleri grafiklerden izlenebilmektedir.

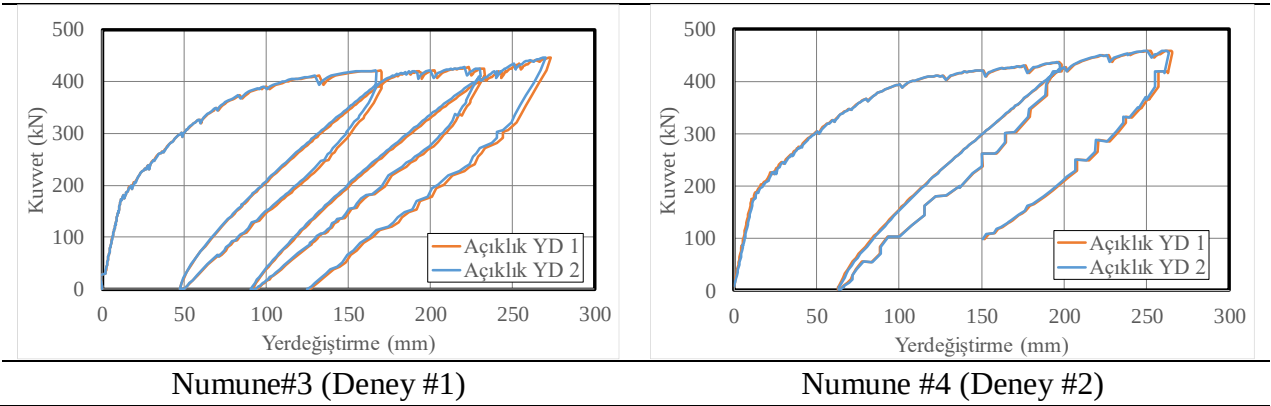


a) Deney başlangıcı



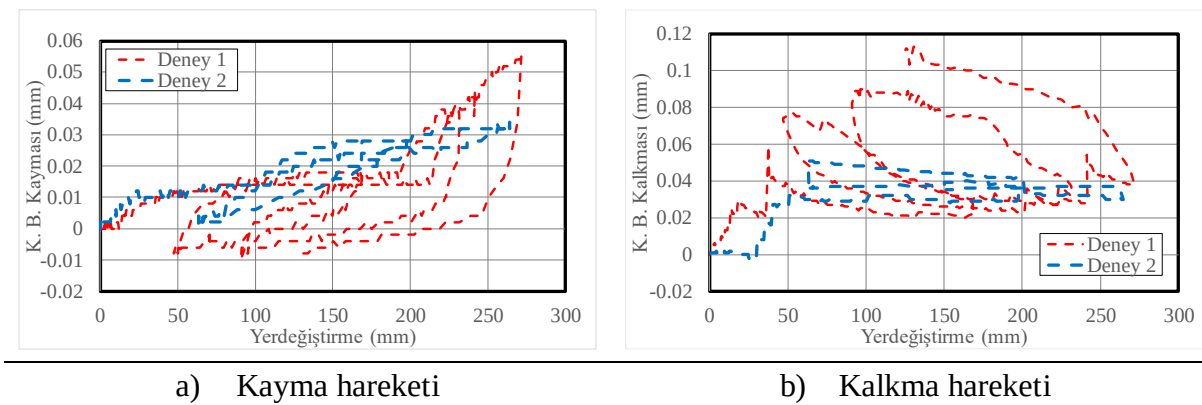
b) Deney sonu

Şekil 12. Pürüzlü numunelere ait deney fotoğrafları



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

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.

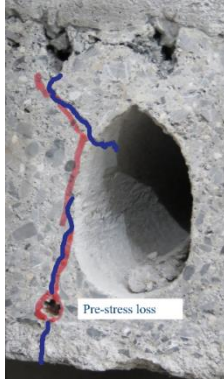


Şekil 14. Pürüzlü numunelerde yapısal kaplama betonunun göreceli hareketleri

Pürüzlendirilmiş numunelerde, yapısal kaplama betonuyla ÖBD arasında ölçülen en büyük göreceli 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 yaklaşılrken, ÖBD gövdesinde kayma çatlağı oluşumu, öngerme halatlarında sınırlı sıyrılma hareketi ve iki ÖBD elemanının birleşim kesitinde çatlak oluşumu gözlenmiştir, Şekil 15.

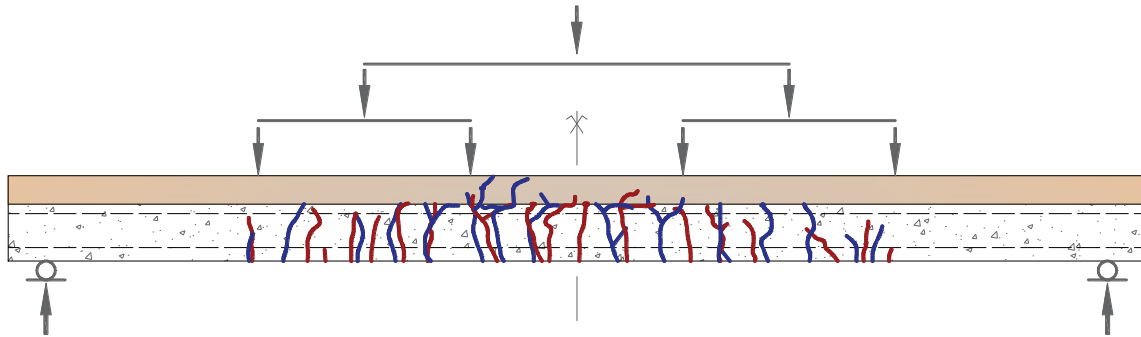


a) ÖBD gövdesinde kayma çatlağı ve öngerme halatlarında sınırlı sıyrılma hareketi

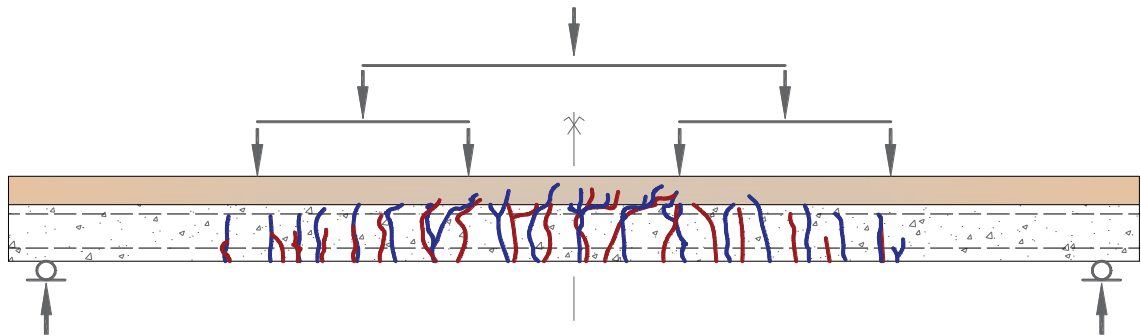
b) ÖBD elemanları birleşim kesitinde çatlak

Şekil 15. Pürüzlendirilmiş numunelerde en büyük yük düzeyinde gözlenen hasarlar

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



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

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.

**Şekil 17.** Pürüzlendirilmiş numunelerde gerçekleşen bazı çatlakların ilerleme şekilleri**2.5. Kayma Donatılı Numuneler**

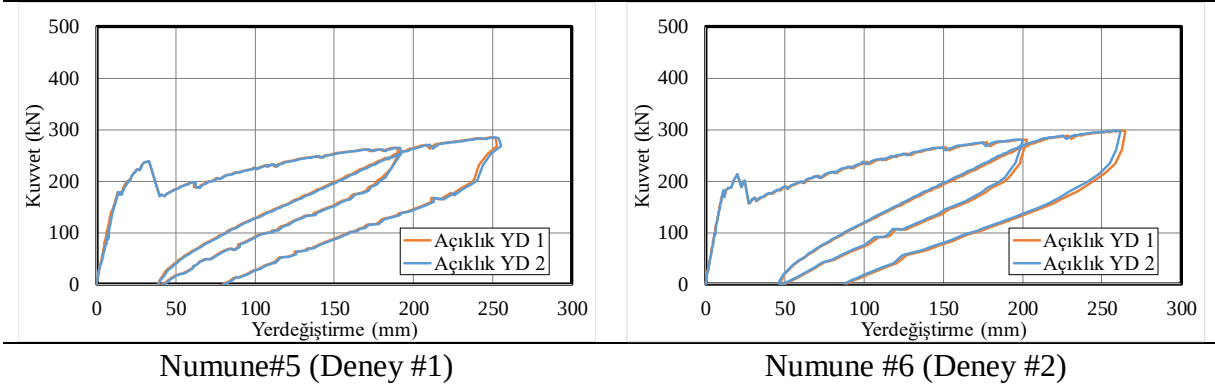
Doğal pürüzlülüğe sahip ÖBD ler ile yapısal kaplama betonu arasındaki kenetlenmeyi artırmak üzere, ÖBD ler arasındaki cepe yerleştirilen harç içerisine $\phi 14$ kayma donatıları ekilmiştir. Bu elemanlar, hasır donatı yerleştirildikten sonra şaşırmalı olarak kıvrılmıştır.

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

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

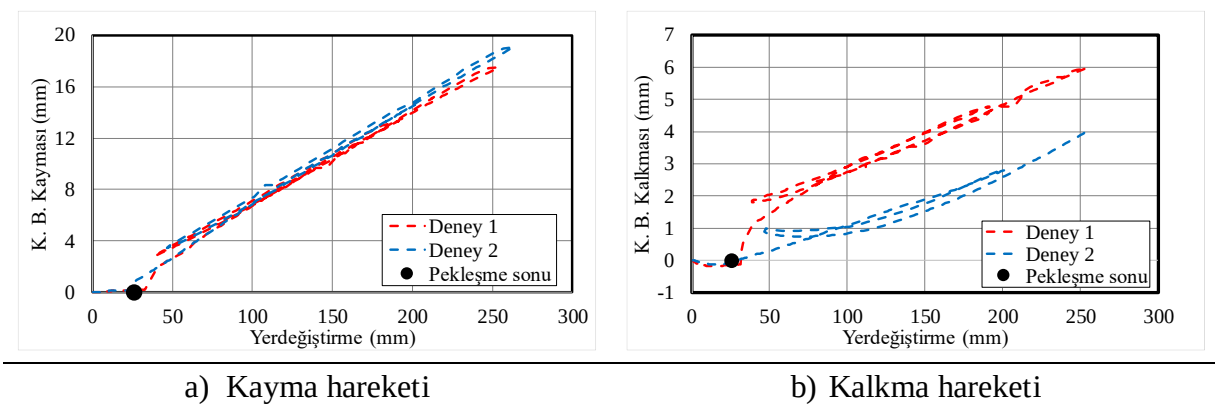
Bu numunelerde elde edilen toplam yük açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 19'da verilmiştir. Diğer dört numuneye benzer olarak, ÖBD'de ilk eğilme çatlağı yaklaşık 170 kN'da oluşmuştur. Yapısal kaplama betonu tabakasında kaymanın belirgin olarak gözlemlendiği yük seviyesi Numune #5 de 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-yerdeğiştirme ilişkilerinin genel şekli yalın

numunelere benzemektedir. Açıklık ortasında ulaşılan en büyük yerdeğiştirme 250 mm (L/23) olmuştur.



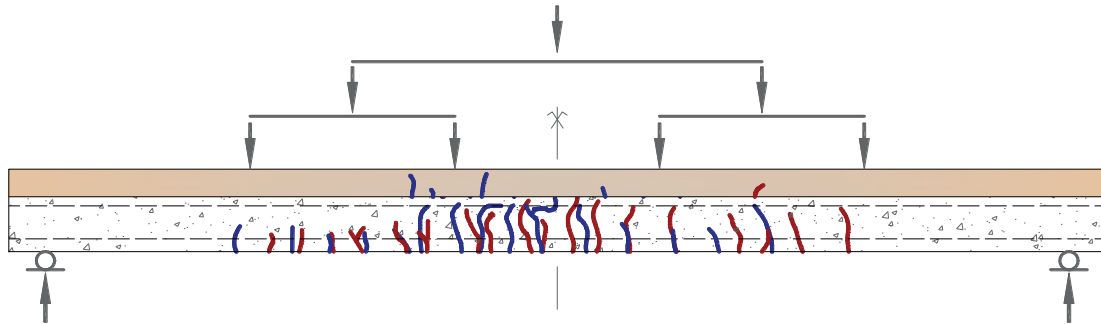
Şekil 19. Kayma donatılı numunelerde toplam yük-açıklık ortası düşey yerdeğiştirme ilişkisi

Kayma donatılı numunelerde ÖBD elemanları ile yapısal kaplama betonu arasında gerçekleşen göreceli 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.

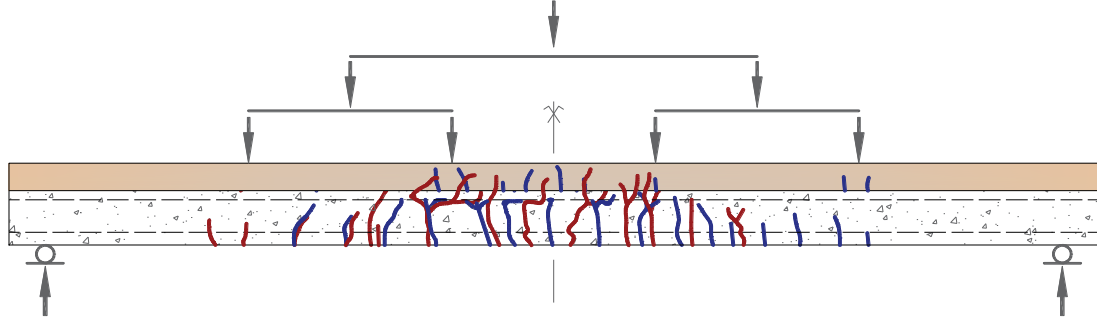


Şekil 20. Kayma donatılı numunelerde yapısal kaplama betonunun göreceli hareketleri

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.



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

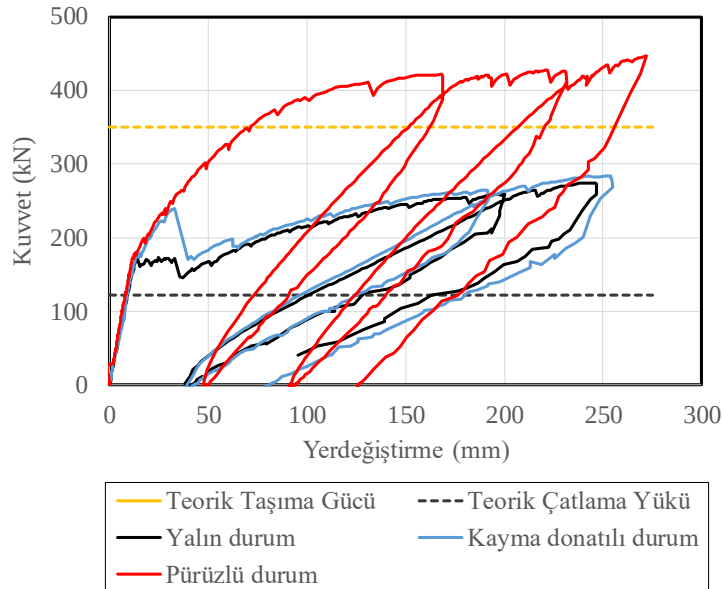


b) Arka Yüz Çatlak Dağılımı (Numune#5 (kırmızı), Numune#6 (mavi))

Şekil 21. Kayma donatılı numunelerde çatlak dağılımı

3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Yorumlanması

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 sonrası 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 düşmüştür 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 çıkıldığı görülmektedir.



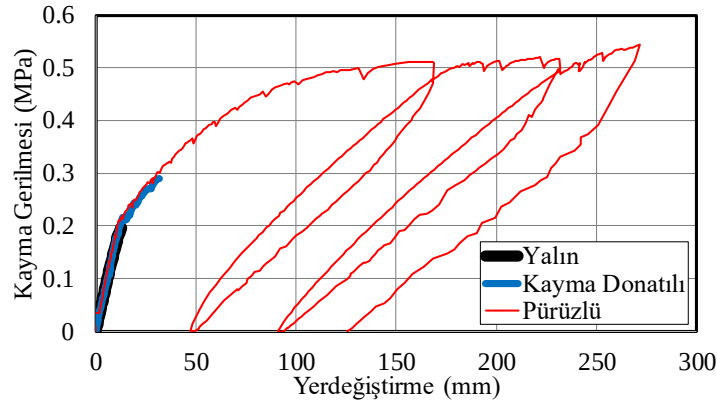
Şekil 22. Üç farklı arayüz durumu için elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri

Yapısal kaplama betonu ile ÖBD arasındaki yatay kayma gerilmesi, iki beton katmanının kenetlenmesinin bozulmaya başladığı aşamaya kadar (1) Denklemiyle hesaplanabilir. Bu

denklemdede; τ_h yatay kayma gerilmesini, T kesite etkiyen kesme kuvvetini, S kesit statik momentini, I kesit atalet momenti, b_{wi} etkileşim yüzeyi genişliğini göstermektedir.

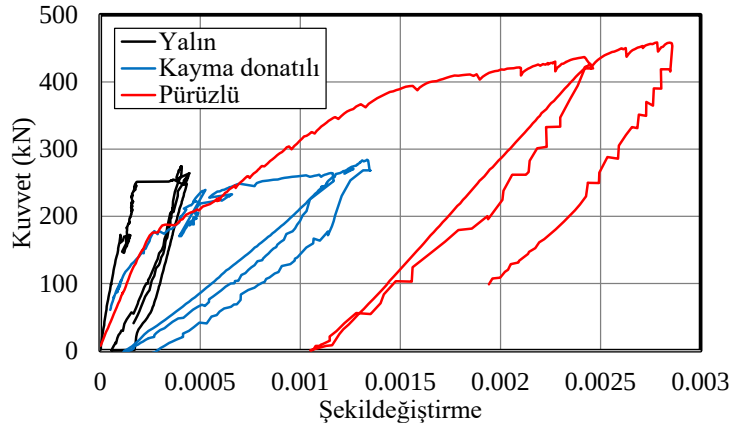
$$\tau_h = \frac{T \times S}{I \times b_{wi}} \quad (1)$$

Üç farklı arayüz durumunda, yapısal kaplama betonunda görelî 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.



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

Açıklık orta kesitte, yapısal kaplama betonu üst yüzeyine yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerden alınan beton birim kısaltmaları Şekil 24’de verilmiştir.



Şekil 24. Açıklık ortasında yapısal kaplama betonu üst yüzeyinde kaydedilen beton birim kısaltmaları

Ulaşılan en büyük beton birim kısaltmaları; 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 ayırdıktan 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

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

- 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 çalışmaktadır.
- Yalın numunede ilk eğilme çatlağının oluşumundan sonra rijitlik düşmekte ve yerdeğiştirmeler büyümektedir. Bu aşamadan sonra yapısal kaplama betonunda göreceli kayma ve kalkma hareketleri büyümektedir.
- Pürüzlendirilmiş numunelerde, iki beton katmanı arasındaki kenetlenme deney sonuna kadar korunmuştur.
- Teorik taşıma gücü sadece pürüzlendirilmiş numunelerde geçilebilmiştir.
- Emniyetle aktarılan kayma gerilmeleri *yalın durumda* 0.20 MPa, *kayma donatılı durumda* 0.30 MPa, *pürüzlendirilmiş durumda* da 0.50 MPa olmuştur.
- Kayma donatılı numunelerde uygulanan detayda, kayma donatısı yerleştirildiği cep çevresinde etkili olmaktadır. 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 yöntem daha etkili olabilecektir.
- Pürüzlendirilmiş numunelerde eğilme kapasitesine yaklaşıldığında gövde çatlağı, öngerme kayıpları ve birleşim bölgesinde ayrılma gibi hasarlar oluşmaya başlamıştır.

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. Günkut 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.