

ÖNGERİLMELİ BOŞLUKLU DÖŞEME SİSTEMLERİNDE DİYAFRAM DAVRANIŞI

Ümit ÖZKAN¹, Pınar İNCİ²

ÖZET

Döşemede diyafram davranışı döşemeyi oluşturan yapısal bileşenlere, deprem ve rüzgar gibi yatay yüklere direnç gösteren bir yatay eleman hareketi sağlar. Çok çeşitli yöntemler ile oluşturulabilen diyafram, yatay yüke direnç göstermek için düşey elemanlar arasında bağlantı kurar ve depreme dayanıklı yapı tasarımında, atalet kuvvetlerinin transferini sağlar. Bu rolleriyle diyafram davranışı, binaların depremsel etkilere karşı davranışları incelendiğinde, karmaşık ve anlaşılması güç bir konudur. Tamamı yerinde dökme yapı sistemlerinde yapının doğrusal elastik davranış sergilediği bölgede, atalet kuvvetlerinin transferinde döşeme diyaframı yeterli rijitlik ve dayanımı sağlar gibi bir basitleştirme yapılabilir, ancak ön gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinde diyafram hareketinin sağlanması, dikkat gerektiren bir konudur. Bu çalışmada, ön üretimli yapı tasarımında esas alınan çeşitli ülke standartları, yapılan deneysel ve analitik çalışmalar incelenerek, ön gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinde diyafram davranışı ifade edilmeye çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER

Ön gerilme, boşluklu döşeme, diyafram, rijitlik

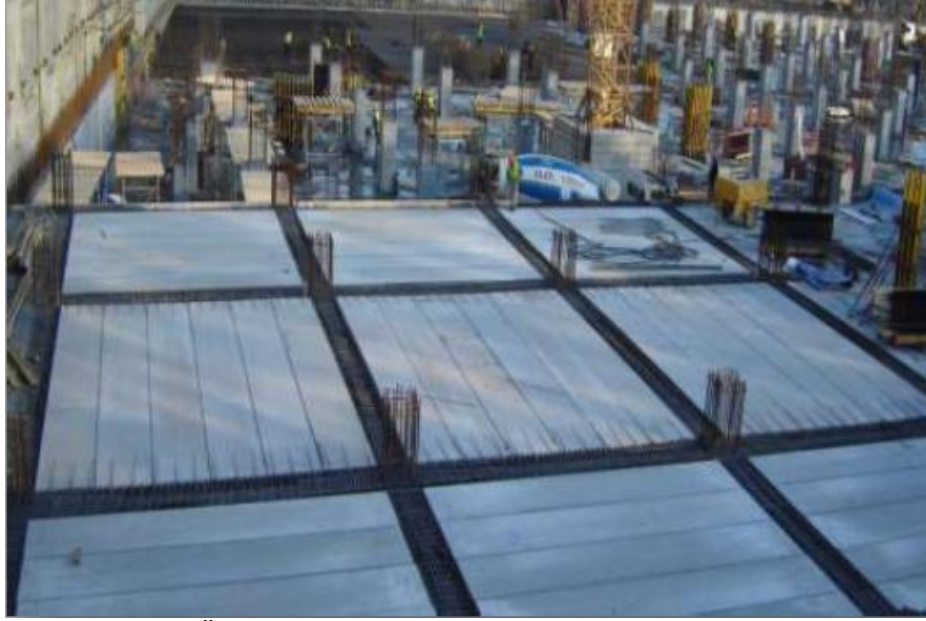
1 GİRİŞ

Yapılarda döşemelerin öncelikli görevi düşey yükleri karşılamaktır. Ayrıca her bir kattaki kolon ve perdeleri olağan bir yatay yer değiştirmeye karşı birbirine bağlar. Bu göreviyle, binaların deprem ya da rüzgâr gibi yatay yüklere maruz kalması durumunda, bu kuvvetlerin düşey elemanlar arasında yayılmasını sağlayan diyafram davranışına olanak sağlar. Diyafram etkisi, bir döşemeyi teşkil eden bir veya daha fazla elemanın bir makas veya derin kiriş gibi çalışarak kendisine etkiyen yatay yükleri yayarak düşey elemanlara aktarmasıdır. Oluşan diyafram, binaların deprem performansında büyük önem taşımaktadır. Genellikle yerinde dökme betonarme döşemeler, iyi tasarlandıkları sürece, rahatlıkla rijitlik ve dayanım gerekliliklerini karşılayabilirler. Bu sebeple, yatay yükler altında tasarlanmış bir yapıda çoğu zaman döşemelerin davranışı üzerine hesap yapmaya ihtiyaç duyulmaz. Öte yandan, ön üretimli yapıların tasarımı yapılırken, bu şekilde bir diyafram davranışı, ön üretimli döşeme elemanları arasındaki kesme transferi mekanizmasına ve diğer yapısal elemanlar ile döşeme arasındaki bağlantılar ile ilişkili olduğu için doğrudan kabul görmez. Bu tür sistemlerde

¹ Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., Teknik ve Teknoloji Geliştirme Müdürü, umit.ozkan@ym.com.tr

² Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., Teklif Mühendisi, pınar.inci@ym.com.tr

diyafram davranışının etkili olabilmesi tüm bağlantıların doğru yapılmasıyla söz konusu olabilir. Ön üretimli boşluklu döşeme elemanları bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Menegotto ve Monti, 1996), (Şekil 1.1).



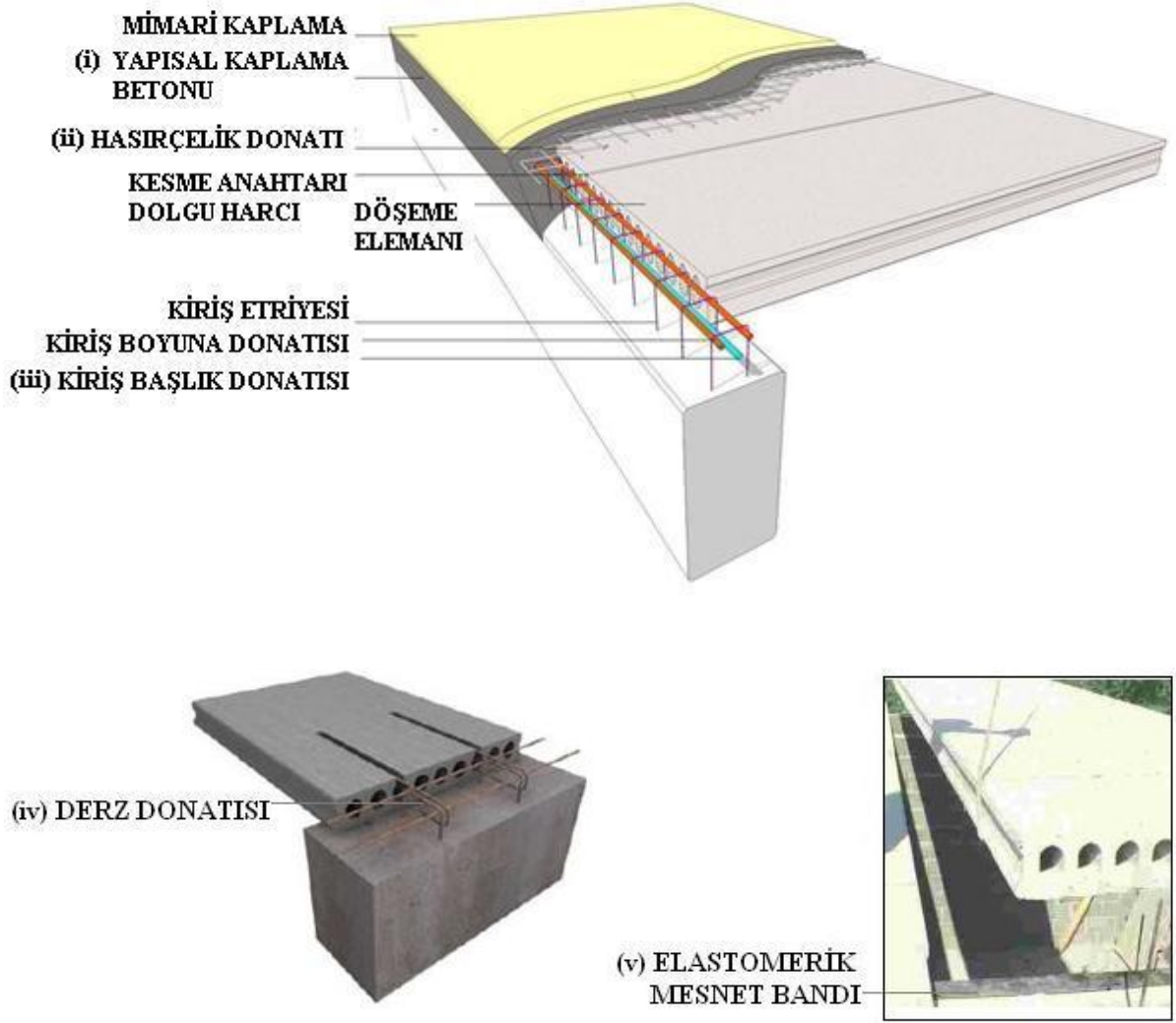
Şekil 1.1: Ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının montajı

Donatı olarak sadece ön germe halatları bulunduran, uzun yataklarda kalıpsız olarak üretilen, büyük açıklıklar geçebilen boşluklu döşeme elemanlarında diyafram hareketinin sağlanması için literatürde geçen uygulama detayları şu şekildedir:

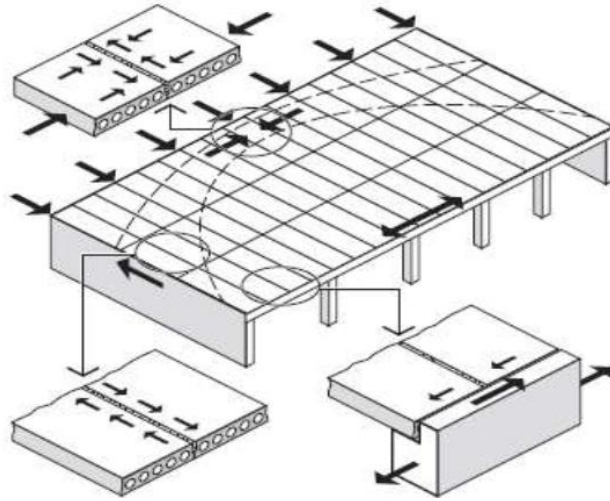
- (i) boşluklu döşeme elemanı ve kenar kirişleriyle paralel çalışan yerinde dökme yapısal kaplama betonu;
- (ii) yapısal kaplama betonu donatısı olarak geçen hasır çelik;
- (iii) döşeme elemanlarının derzlerinden uzanan donatıya birleştirilen kiriş donatısı;
- (iv) boşluklu döşeme elemanı ile mesnetlendiği kirişin rijit bağlantısını sağlamak için boşluklu döşeme elemanlarının arasına koyulan ve mesnetlendiği kirişe kadar uzanan derz donatısı;
- (v) boşluklu döşeme elemanı ile mesnetlendiği kiriş birleşiminde yerinde beton dökümü öncesi söz konusu olan plastik mafsal bölgesinde olası deformasyonu önlemek için elastomerik mesnet bandı uygulaması (MacPherson, Mander, Bull, 2005), (Şekil 1.2)

Bu bağlantı detayları, yapıya etkiyen yatay yüklerin taşıyıcı elemanlara iletilmesini sağlayarak diyafram hareketini gerçekleştirir. Böyle bir tasarım çerçevesinde ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanları yeniden tanımlanacak olursa, döşemeye planda etkiyen düşey yükler karşılanır, sisteme planda rijitlik ve dayanım sağlanır, yani diyafram hareketi gerçekleşir (Fleischman ve diğerleri, 2005). (Şekil 1.3). Boşluklu, ön gerilmeli döşeme sistemleri ile ilgili geçmişte yapılmış birçok bilimsel çalışma, diyafram davranışının sağlanması konusuna öncelik vermiştir. Bu çalışmada da yer verilen bağlantı detaylarının etkinliği üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır (Mac Pherson C.J. ve diğerleri,2005). Uygulama örneklerinde sıklıkla karşılan yerinde dökme yapısal kaplamaya sahip ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarında diyafram davranışının sağlanması ile ilgili literatürde bir çok çalışma yer almaktadır. Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar ile yapısal kaplama kullanılmadan sadece ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanları ile oluşturulan döşemelerin diyafram davranışının varlığı ortaya koyulmuştur. (Hawkins, Ghosh, 1997), (Menegotto, Monti, 1996). Bu çalışmada, ön

gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinde diyafram hareketinin sağlanması ile ilgili temel tasarım detayları ve yabancı yönetmeliklerde yer alan kabuller incelenmiş ve ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarında diyafram hareketinin nasıl sağlandığı gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Diyafram hareketinin sağlanması için gerekli bağlantı detayları

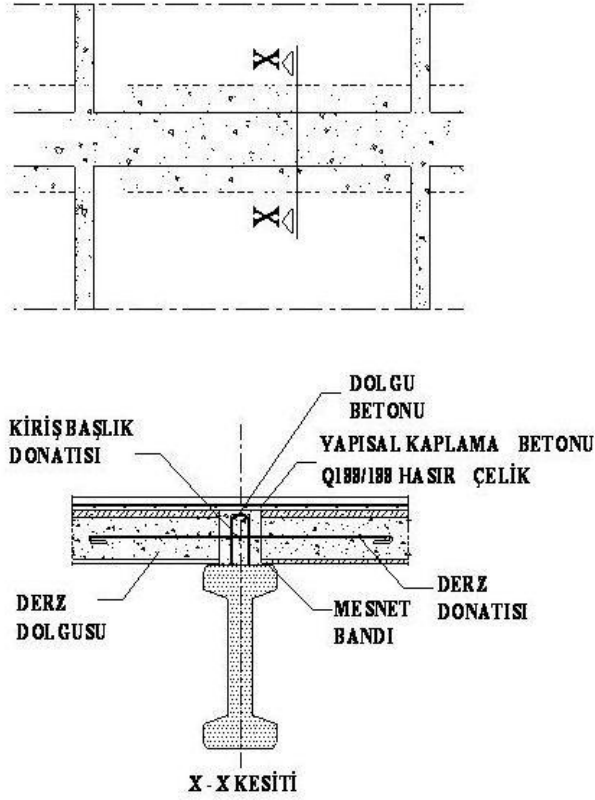


Şekil 1.3: Yatay yüklerin diğer yapısal elemanlara iletilmesi

2 DİYAFRAM TASARIMI

Ülkemizde de uygulamasına sıklıkla rastlanılan, yerinde dökme yapısal kaplama betonuna sahip, ön gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinin kullanıldığı yapıların tasarımında, özellikle depreme dayanıklı yapı tasarımı göz önüne alındığında, döşeme sistemlerinin diyafram davranışının dikkate alınıp alınmaması büyük önem taşımaktadır. Bununla ilgili ACI 318-08’de, “*yerinde dökme yapısal kaplama betonuna sahip, donatıları ve bağlantılarının, yükleri mesnetlendiği kirişlere; bağlantı elemanlarına ve yatay yüklere direnen sistemlere transfer edebildiği ön üretimli boşluklu döşeme sistemlerinde diyafram kullanımına izin verilmelidir*” ifadesi yer almaktadır.

Şekil 2.1’de görülen yerinde dökme yapısal kaplama beton uygulamasına sahip ön gerilmeli boşluklu döşeme sisteminde, döşemenin derin bir kiriş gibi çalışması yaklaşımı ile diyafram tasarımı yapılır. Betonarme perdeler ya da yatay yüklere direnç gösteren sistemler (hatıl, perde ya da kiriş), bu kirişe mesnet görevi yapar. Bu kiriş benzeşiminde kirişin “başlık” kısmı çekme ve basınç gerilmelerine çalışır. Diyaframdaki kesmeye ise yine bu kiriş benzeşimindeki “gövde” tarafından direnç gösterilir (PCI). Ayrıca ACI 318-08’de yerinde dökme beton uygulamasının döşeme burkulmasına karşı, bu beton uygulaması içindeki donatının ise ön üretimli birleşimlere kesme transferinin devamlılığını sağlaması açısından gerekli olduğu ifade edilmektedir. Her iki standartta ve yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda altı çizilen bağlantı ihtiyaçları, gerekli kesme transferinin sağlandığı komple bir sistemi kurmak için ortaya koyulmuştur.



Şekil 2.1: Ön gerilmeli boşluklu döşeme sisteminde derin kiriş analojisi

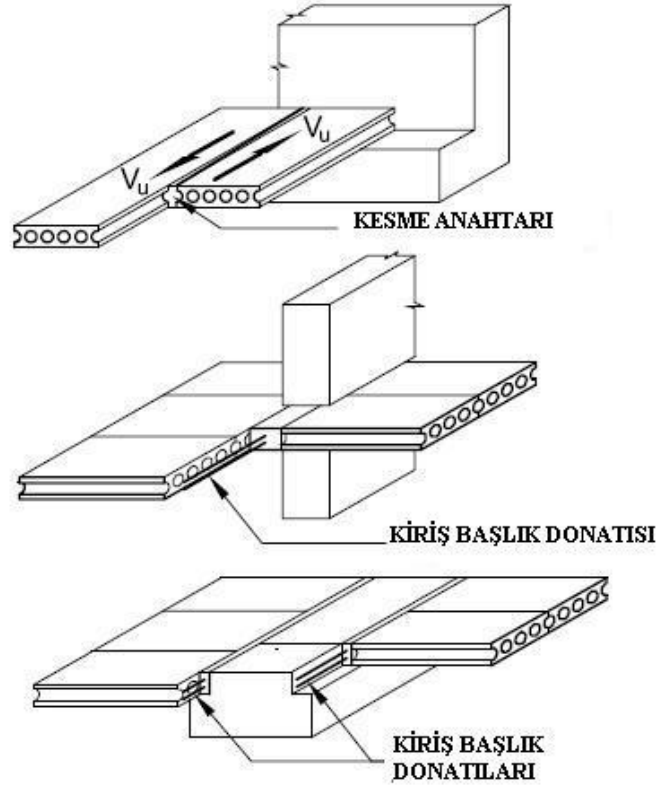
3 ELEMANLAR ARASINDA KESME TRANSFERİ

Kompozit, yerinde dökme yapısal kaplama betonu uygulamasına sahip bir boşluklu döşeme sisteminde diyafram hareketi hem yerinde dökme beton uygulamasına, hem de ön üretimli döşeme elemanına bağlıdır. Burada üzerinde önemle durulması gereken nokta, başarılı bir diyafram tasarımı için, ön üretimli eleman ile yerinde dökme beton uygulamasının kompozit davranış göstermesidir. Yerinde dökme beton ile altında uzanan ön üretimli eleman arasında kesme transferinin gerçekleşmesi gerekmektedir (Fleischman ve diğerleri, 2005). Kesme transferi ise “kesme sürtünmesi” teorisi ile açıklanmaktadır.

Kesme sürtünmesi, ön üretimli ve ön gerilmeli beton tasarımında oldukça kullanışlı bir araçtır (PCI, 7.sürüm) Kesme sürtünmesi teorisinin kullanımına ACI 318-08 Bölüm 11.7’de rastlanabilir. PCI’da yer alan “*yerinde dökme beton uygulaması ile boşluklu döşeme sistemlerinde diyafram davranışı sağlanır*” ifadesi ACI 318-08’de yer alan kesme sürtünmesi teorisine dayanmaktadır. ACI 318-08, kesme transferi yapması istenen farklı zamanlarda dökülmüş iki beton yüzeyinde ya da ön üretimli yapılarda döşeme elemanlarında, bağlantıdaki donatı detaylarında kesme sürtünmesi teorisinin kullanılabilceğini ifade etmektedir. Kesme sürtünmesi teorisinin temel kabulü şu şekildedir: Direkt kesme alanında bulunan betonun çatlamaması için gerekli sünekliği bu alana koyulan donatı kazandırır. Bu sebeple donatıda oluşan çekme gerilmesi, çatlağa normal kuvvet sağlar ve bu kuvvet çatlak yüzeyinde sürtünmeyle kombinasyon oluşturur. Kompozit elemanlar arasındaki yüzey (yerinde dökme beton ve boşluklu döşeme elemanı arasındaki yüzey) ya da iki boşluklu döşeme elemanı arasındaki derzler yani ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının oluşturduğu diyaframın kesme bağlantıları için böyle bir çatlak benzeşimi yapılabilir. Bu analogi temel alınarak ACI 318-08’de “*ön gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinde, döşeme üzerindeki kompozit beton*

uygulamasını diyafram davranışı sağlar. Bu kompozit uygulamadaki kesme donatısı kesme sürtünmesi analizi ile bulunabilir” ifadesi yer almaktadır.

Döşeme üzerine gelen düşey ve yatay yüklerin yerinde dökme betonarme uygulamayla sağlanan kesme transferi ile yayıldığı ön gerilmeli boşluklu döşeme sistemlerinde, bu yüklerin mesnetlendiği kiriş, hatıl ya da taşıyıcı duvarlara aktarılması; kesme transferinin tamamlanması yani diyafram hareketinin gerçekleşmesi açısından zorunludur. Birleşimi sağlamak için de döşeme elemanları arasındaki derzden uzanan ve uygulamalarda “derz donatısı” olarak geçen kesme donatısı, döşeme elemanının mesnetlendiği kiriş başlık donatısına çeşitli detaylar verilerek bağlanır (Şekil 3).



Şekil 3: Kesme transferini tamamlayan bağlantılar (PCI, 2004)

4 SONUÇ

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının diyafram davranışının, eşleniği olan yerinde dökme sistemler ile kıyaslandığında, aynı şekilde sağlandığı görülmüştür. Bu konu ile ilgili akademik çalışmalar; döşeme elemanlarının yaygın kullanımda olduğu 1970'lerden günümüze dek sürmüştür. Yurtiçi ve yurtdışında yapılan birçok çalışmanın sonucunda, ön gerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının kompozit kesitler oluşturduğu yapısal kaplama betonu ile birlikte diyafram davranışı sağlayabildiği görülmüştür. Yine bu sistemlerin birbirleri ile olan bağlantılarının, yapısal kaplama betonu ile prefabrik elemanların bağlantılarının, döşeme elemanlarının kiriş, perde, vb. yapı elemanları ile olan bağlantılarının doğru yapılması durumunda diyafram hareketinin sağlandığı, yatay yüklerin sorunsuz bir şekilde kolonlara aktarıldığı hem deneysel, hem de teorik olarak gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. ACI 318-08, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI Committee 318, 2008 456 pp, Michigan/USA
2. Fleishman, R.B., vd. (2005), Seismic Design Methodology for Precast Concrete Diaphragms Part 1: Design Framework, PCI Journal
3. Hawkins, N.M., Ghosh, S.K., (2000), Proposed Revisions to 1997 NEHRP Recommended Provisions for Precast Concrete Structures, Part 3-Diaphragms, PCI Journal.
4. MacPherson, C.J., vd., (2005), Reinforced concrete seating details of hollow-core floor systems, (2005), NZSEE Conference, New Zealand.
5. Menegotto, M. Ve Monti, G., (1996), Diaphragm Action of Precast Floors, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Universita La Sapienza, Via a Gramsci 53, 00197 Roma, Italy
6. NZS 3101, (2004), Standards New Zealand, Wellington, NZ.
7. PCI Design Handbook, (2004), 6th edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago/USA