

POLİSTİREN KÖPÜK VE KESME DONATILI BETONARME DÖŞEMELERİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

FIRAT KIPÇAK^{1*}, MUCİP TAPAN², ABDULHALİM KARAŞİN³ ve BARIŞ ERDİL⁴

¹Öğr.Gör., İnşaat Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

²Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

³Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği, Dicle Üniversitesi, Türkiye

⁴Doç.Dr., İnşaat Mühendisliği, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

* firatkipcak@yyu.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Betonarme döşeme yapı ağırlığını oldukça etkilemektedir. Yapı ağırlığının artması ile etkiyen deprem kuvvetleri büyümekte ve deprem sırasında yapı hasarları artmaktadır. Geleneksel plak, asmolen ve kaset döşemeler oldukça ağırdır. Bunlara alternatif boşluklu döşemeler gün geçtikçe araştırılmakta ve artmaktadır. Boşluklu döşemeler genellikle döşeme enkesitinin alt veya orta kısmında boşluk bırakılarak üretilmektedir. Döşemede bırakılan boşluklar ile kesit zayıflamakta ve yük kapasitesini düşürmektedir. Bu çalışmada döşeme orta katmanında polistiren köpüklü ve düşey yerleştirilmiş kesme donatılı döşemelerin eğilme davranışı deneysel araştırılmıştır. Bu amaçla bir adet dolu ve bir adet polistiren köpüklü betonarme döşeme 3 noktada eğilme deney yöntemine göre test edilmiştir. Döşemelerin tüm karakteristik özellikleri eşit iken yalnızca polistiren köpük oranı değişmektedir. Döşeme genişliği 100cm, uzunluğu 200cm ve yüksekliği 15cm'dir. Dolu döşeme referans döşemesi iken polistiren köpük boşluklu döşeme 3 eşit katmana ayrılmıştır. Alt ve üst katmanı betonarme orta katmanı ise belirli aralık ve sayıda kare beton bağlantılı ve polistiren köpüklü yapıdadır. Döşemeler her iki kenardan basit mesnet ile mesnetlenmiş ve açıklık ortasına düzgün çizgisel yayılı yük uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre polistiren köpük oranının %16.7 olması ile ağırlık %22'ye düşürülmüş. Ancak yük kapasitesi ve çökme miktarı düşmüştür. İki döşemenin kırılma türü aynı şekilde gerçekleşmiştir. Köpüklü döşemede ani dayanım kaybı veya gevrek kırılma görülmemiştir. Kesme donatısı kullanılması ile yük kapasite kaybı belirli oranda önlenmiştir. Bu deneysel çalışma Van YYU-BAP birimi tarafından FDK-2022-10020 proje kodu ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Betonarme Döşeme, Boşluklu Döşeme, Eğilme Deneyi, Kesme Donatılı Döşeme, Polistiren Köpük.

I. GİRİŞ

Betonarme döşemeler yapıda yatay taşıyıcı eleman olarak bulunmaktadır. Üzerine etkiyen sabit ve hareketli yükleri kirişlere aktarır. Aynı zamanda yapı kat diyaframını oluşturarak etkiyen deprem yüklerini kirişler ile birlikte kolonlara aktarır. Bu yükleri aktarırken belirli ölçüde yük ve deplasman kapasitelerine sahip olmaları gerekir. Bu kapasitelerin sağlanması için çoğunlukla plak döşeme tercih edilir. Ancak plak döşeme ile ağırlık sorunu ortaya çıkmaktadır. Yapı ağırlığı artmakta ve böylece etkiyen deprem yükleri artmaktadır. Örnek olarak bir konut binasının %40-60'ını döşemelerin oluşturduğu açıklanmıştır ([20], [16]). Döşeme ağırlığını malzeme yoğunluğu, döşeme yüksekliği, bırakılan boşluklar, nervür kirişleri gibi

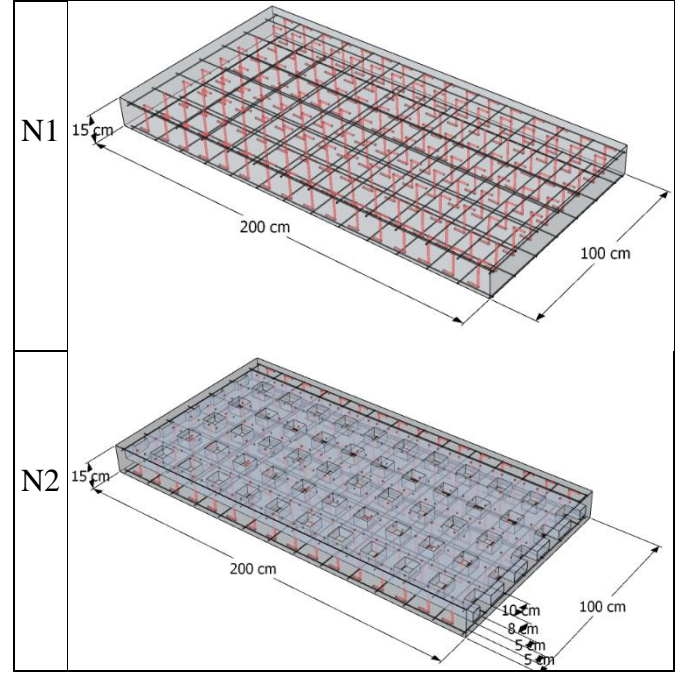
parametreler etkilemektedir. Ülkemizde boşluklu döşemelerin yerini çoğunlukla asmolen ve kaset döşeme türleri almaktadır. Bu tür döşemelerde de aynı şekilde ağırlık sorunu devam etmektedir. Boşluklu döşemeler kübik, dikdörtgen prizma, küre, elipsoid gibi farklı türlerde inşa edilmektedir ([9], [6], [11], [16]). Boşluklar içi dolu polistiren, gaz beton, plastik veya içi boş plastikten üretilebilir ([13], [14], [8], [15]). Boşluklar döşeme kesitinde süreksizlik ve boşluk çevresinde gerilme yığılması oluşturduğundan döşeme düşey yük ve deplasman kapasitelerinde düşüş yaşanmaktadır ([12], [13], [14], [21], [7], [10], [16]). Yük kapasitesini arttırmak için kesit yüksekliğinin artırılması, düşey kesme çeliklerin kullanılması, döşeme altına karbon elyaf takviyeli polimer/plastiğin kullanılması gibi

birçok yöntem bulunmaktadır. Düşey yerleştirilmiş kesme donatılarının döşeme eğilme ve önemli düzeyde kesme kapasitelerini arttırdığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir ([1], [18]). Bu çalışmada bir adet dolu referans ve döşeme ağırlığını düşürmek amacıyla araştırılan bir adet polistiren köpük boşluklu döşeme test edilmiştir. İki döşemede de yapılan araştırmalar dikkate alınarak kapasite düşüşlerini önlemek için belirli oranda düşey kesme donatısı kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan araştırmada 1 adet dolu referans N1 döşemesi ve 1 adet %16.7 polistiren köpüklü N2 döşemesinin eğilme deneyleri yapılmıştır. Polistiren köpüklü döşeme 5cm'lik 3 katmandan oluşmaktadır. Alt ve üst katmanı betonarme orta katmanı polistiren köpükle bırakılan boşluklu ve kare beton bağlantılı yapıdadır. Şekil 1'de döşeme görselleri verilmiş. Görsellerde gri renk betonu kırmızı renk ise boşluğu temsil etmektedir. Deney döşemelerinin genişliği 100cm, uzunluğu 200cm ve yükseklikleri 15cm'dir. Köpük arasında kısa yönde 5 uzun yönde 15 adet kare beton bağlantısı bulunmaktadır. Şekil 2'de verildiği gibi döşemeler mesnetlenmiş ve açıklığın ortasında çizgisel yayılı yük çelik profil yardımı ile uygulanmıştır. Yükleme test boyunca 1000N/s olarak sabit tutulmuştur. Şekil 3'te verildiği gibi döşemeler uzun ve kısa doğrultuda, çekme ve basınç kısmında TS500'e uygun olarak $\Phi 6/75$ donatı 0.0026 donatı oranı ile yerleştirilmiştir. Pas payı 15mm alınmış, çekme ve basınç donatıları pas payına uygun yerleştirilmiştir. $\Phi 6$ kesme donatıları her iki yönde 10cm aralıklarla düşey yerleştirilmiş, köşeleri 90° kancalı çiroz şeklinde yapılmıştır. Döşemeye etkiyen düşey yük değerleri yük hücresinden, çökme değerleri ise açıklığın ortasına yerleştirilen 2 adet LVDT'den ölçülmüştür. Döşemelerde 28 günlük standart silindir basınç dayanımı [3]'te verilen standarda uygun bir şekilde deneyleri yapılmış 34.62MPa, elastisite modülü 28398.83MPa olan beton kullanılmıştır. Beton yoğunluğu 25kN/m³ alınmıştır [19]. Donatı olarak [5]'te verilen standarda uygun olarak deneyleri yapılmış akma dayanımı 504.9MPa, çekme dayanımı 558.15MPa, elastisite

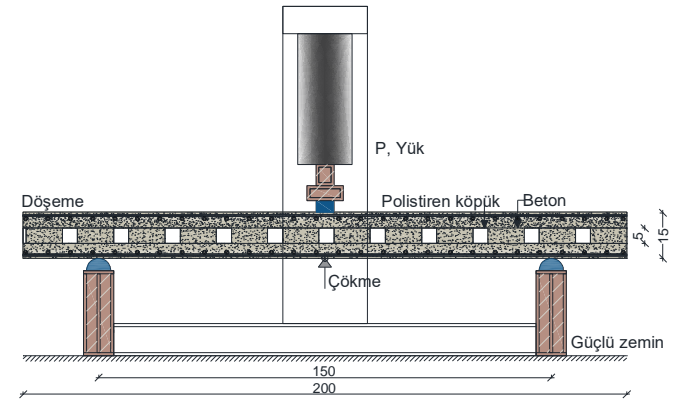
modülü 211608.68MPa olan çelik hasırlar kullanılmıştır.



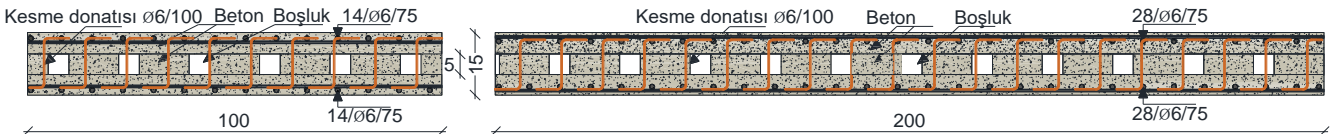
Şekil 1. Deney döşemeleri görselleri.

Tablo 1. Deney döşemeleri karakteristik özellikleri.

Döşeme	Orta katman boşluklar arasında bulunan kare beton, cm	Çekme ve basınç donatı oranı	Kesme donatı oranı, 1/m ²	Boşluk oranı, %	Ağırlık, kN (γ=25 kN/m ³)
N1	0	0.0026	0.0034	0	7.5
N2	8x8x5	0.0026	0.0034	16.7	5.85



Şekil 2. Döşeme yükleme, mesnet konumları.

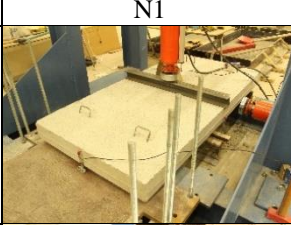









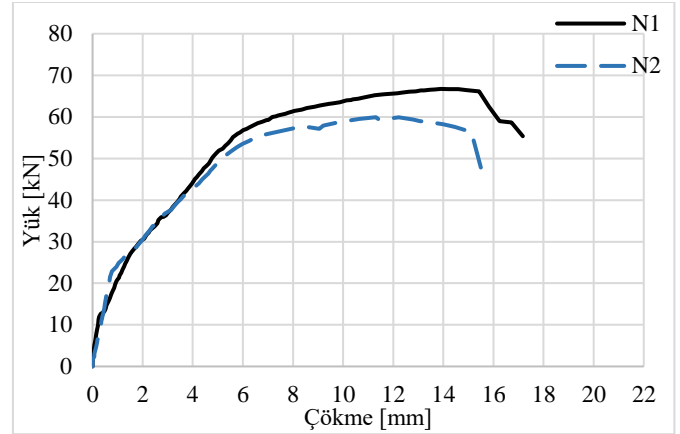
Şekil 3. Döşeme ölçü ve donatı detayları.

III. BULGULAR

Döşemelerden elde edilen yük ve çökme deplasman değerleri anlık ölçülmüş ve bulgulara göre şekil 4'teki grafikler çizilmiştir. Elde edilen grafiklerden ve kayıtlardan akma yükü ile maksimum yük ve bunlara karşılık gelen çökme değerleri belirlenmiştir. N1 döşemesi 66.72kN, N2 döşemesi ise 59.93kN maksimum yüke ulaşmıştır. Akma noktaları iki döşemede yaklaşık 31kN ile eşit bulunmuştur. Eğilme çatlakları oluşmuş ve çatlaklar yükün uygulandığı noktada döşeme altından başlayarak kesitin yaklaşık %90'lık üst kısmına ilerlemiştir. Döşemelere etkiyen yük arttıkça alt donatıların bazıları akma bazıları kopma sonrası göçme yaşanmıştır. N2 döşemesinde kırılma daha erken gerçekleşmiş ve çökme miktarı daha düşük çıkmıştır. Ayrıca N2 döşemesinde kılcal çatlakların daha yaygın olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Döşemeler test öncesi ve sonrası görselleri.

	N1	N2
Öncesi		
Sonras 1		
Sonras 1		
Sonras 1		



Şekil 4. Döşemeler yük ve çökme grafiği.

Başlangıç rijitlikleri iki döşemede de 20kN olarak bulunmuştur. 4mm'lik çökme noktasından sonra N2'de polistiren köpük nedeniyle daha fazla yük düşüşü görülmüştür. N1 dolu döşeme çökme kapasitesi daha yüksek çıkmıştır. Kesme donatıları beklendiği gibi ani ve gevrek kırılmayı önlemiştir.

IV. TARTIŞMA

Döşemede bırakılan %16.7 boşluk oranı ağırlıkta %22'lik, maksimum yükte ise %10.17'lik düşüşe neden olmuştur. Ağırlığın bu kadar büyük düşürülmesi döşeme davranışına oldukça avantaj sağlamıştır. Oluşan yük kaybı ise nispeten küçük kaldığı söylenebilir. Benzer çalışmalarda da boşluk oranına bağlı eğilme ve kesme kapasitelerinin düştüğü görülmüştür ([12], [13], [14], [21], [7], [10], [16]). Maksimum yük/ağırlık oranları N1 döşemesi için 8.89, N2 döşemesi için 10.24 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre döşeme performansının %13.18 kadar arttığı söylenebilir. Ayrıca döşeme ağırlığında oluşturduğu büyük düşüş ile bina ağırlığını düşüreceği ve deprem performansını arttıracığı da kabul edilebilir. İki döşemede de kesme kırılması oluşmadan eğilme kırılması yaşanarak göçme gerçekleşmiştir. Bu doğrultuda kesme donatılarının yük aldığı ve davranışı olumlu yönde etkilediği görülmüştür ([1], [18]). Ayrıca literatür araştırmalarına göre kesme donatısı kullanılmayan döşemelerden daha sünek davranış olduğu görülmüştür.

V. SONUÇLAR

Çalışmada ülkemizde çoğunlukla kullanılan plak, asmolen ve kaset döşeme sistemlerine alternatif döşeme ağırlığının azaltıldığı polistiren köpük boşluklu ve referans dolu olmak üzere iki döşemenin deneyi yapılmıştır. Deney 3 noktada eğilme deney yöntemine göre yapılmış.

Döşemelerin ölçüleri, beton dayanımı, çelik miktarı ve dayanımı aynı iken polistiren köpük miktarı değişmiştir. Sonuçlara göre döşeme ağırlığının belirli oranda azaltılabildiği ancak yük kapasitesinde düşüş olacağı söylenebilir. Döşeme Polistiren köpük oranının %16.7 olmasına rağmen başlangıç rijitlikleri ve akma yükü dolu döşeme ile aynı çıkmıştır. Ağırlığın boşlukla düşürülmesi ile döşeme performansı belirli oranda artmıştır. Boşluğun orta katmanda olması ve %16.7 olması nedeniyle beklenen kesme kırılması görülmemiştir. İki döşemede sünek kırılma göstermiş ve eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu bağlamda kesme donatılı döşemelerde kırılma türünün belirli oranda kontrol altına alınabileceği söylenebilir. Plak ve diğer döşemelere alternatif daha düşük zaman, maliyet ve işçilik gerektiren orta katmanı boşluklu döşemelerin kullanılabileceği görülmüştür. Bu çalışmaya ek kesme donatılarının, boşluk miktarlarının ve beton türünün değiştirildiği döşeme deneylerinin yapılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmaya destek veren VAN YYU-BAP birimine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deney döşemelerinin üretildiği ETE-Betona, deneylerin gerçekleştirildiği İNOVAN Teknik Yapıya teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] Alawi A. A. ve Jabir H. A., “Experimental behavior of laced reinforced concrete one way slab under static load”. *Journal of Engineering*. Sayı 22, No 5, 2016.
- [2] Alfred, A., Yee, P.E., Hon, D., “Engineering structural and economic benefits of precast/ prestressed concrete construction”. *PCI Journal*, 46(4):34-42, 2001.
- [3] Beton deneyleri-bölüm 3: deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, TSE, Ankara. 2003.
- [4] Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü. TS-500/2000.
- [5] Çelik-Betonarme İçin Donatı Çeliği. Türk Standartları Enstitüsü, TS 708.
- [6] Chung, J. H., Jung, H. S., Bae, B. I., Choi, C. S., ve Choi, H. K., “Two-way flexural behavior of donut-type voided slabs”. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(1), 1-13, 2018.
- [7] Di Giacinto D., Losanno D., Ruocco E., ve Grassia L., “A novel steel-concrete composite flooring system: development and preliminary experimental investigation”. *The 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering, ICSECT 2019*, 19.142,
- [8] Fanella, D. A., Mahamid, M., ve Mota, M., “Flat plate-voided concrete slab systems: design, serviceability, fire resistance, and construction”. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 22(3), 04017004, 2017.
- [9] Ibrahim, A. M., Ali, N. K., ve Salman, W. D. “Flexural capacities of reinforced concrete two-way bubbledeck slabs of plastic spherical voids”. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 9-20, 2013.
- [10] Jabir, H.A., Mhalhal, J.M., ve Al-Gasham, T.S., “Conventional and bubbled slab strips under limited repeated loads: A comparative experimental study”. *Construction Materials*, 14, 00501. 2021.
- [11] Khouzani, M. A., Zeynalian, M., Hashemi, M., Mostofinejad, D., ve Farahbod, F., “Study on shear behavior and capacity of biaxial ellipsoidal voided slabs”. *In Structures* (Sayı. 27,1075-1085). 2020.
- [12] Kim S H., “Shear strength of void slab with polystyrene forms”. *Applied Mechanics and Materials*, Sayı 217-219, 626-629, 2012.
- [13] Kim, S.H., “Flexural behavior of void rc and pc slab with polystyrene forms”. *Key Engineering Materials*, Sayı 452-453, 61-64, 2011.
- [14] Kim, S.H., Lee, K.K., Lee, H.S., Lee, K.J., Kang, I.S., “Bending and shear strength of i-slab with polystyrene forms”. *Key Engineering Materials*, Sayı 385-387, 353-356, 2008.
- [15] Moeeni, M., ve Langroudi, J. R., “Tension stiffening in reinforced concrete hollow core slabs”. *Asian Journal of Civil Engineering*, 1-13, 2022.
- [16] Pawar, A.J., Mathew, N.S., Dhake, P.D., ve Patil, Y.D., “Flexural behavior of two-way voided slab”. *Materials Today: Proceedings*, (2022).
- [17] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018*. Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, TBDY-2018.
- [18] Wang Y., Liu H.T., Dou G. F., XI C. H. ve Qian L. “Experimental study of multi-ribbed one-way composite slabs made of steel fibre, foam, and normal concrete”. *Archives of Civil Engineering*, Vol. LXIV Konu:2. 2018.
- [19] *Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk*. Türk Standartları Enstitüsü, TS ISO 9194.
- [20] Yardim, Y., “Development of lightweight composite slab system for residential building”, PhD thesis, Malaysia, 2008.
- [21] Yardim, Y., Waleed, A.M.T., Saleh Jaafar, M., Laseima, S., “AAC-concrete lightweight precast composite floor slab”. *Construction and Building Materials*, 40, 405-410. 2013.