Makale id= 4

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-6338-4553

Monotonik Yük Etkisi Altında Perlitli Betonarme Kirişlerin Yapısal Davranışlarının İncelenmesi

Araştırmacı Melih Şakir Polat[1] , Doç.Dr. Atila Kumbasaroglu[1] , Prof.Dr. Hakan Yalciner[1] , Doç. Dr. Yaşar Ayaz [2] , Arş.Gör. Ahmet İhsan Turan[1] , Arş.Gör. Alper Çelik[3]
[1]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
[2]Malatya İnönü Üniversitesi
[3]Ankara Üniversitesi

*Corresponding author: Melih Şakir Polat

Özet: *Mevcut yapı stoku incelendiğinde, betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu durum artan nüfusla birlikte kentleşme ve sanayileşmedeki artış ile birleşince betonarme yapı üretiminin hammaddesi konumunda bulunan betona olan ihtiyacı da gün geçtikçe artırmaktadır. Belirtilen ihtiyaç doğrultusunda, beton üretiminde betonun malzeme mekanik özelliklerinden (betonda basınç dayanımı, birim şekil değiştirme, süneklik vb.) ödün vermeden hem ekonomik hem de ekolojik olguları dikkate alarak beklenen ihtiyacın karşılanması gerekmektedir. Gerçekleştirilecek çalışma kapsamında hem geleneksel hem de doğal perlit agregası kullanılarak toplamda 4 adet betonarme kiriş numunesinin üretilmesi planlanmıştır. Gerçekleştirilecek yükleme deneyleri sonrasında, numunelerin yük-deplasman ilişkisi, enerji tüketme kapasitesi, hasar dağılımları incelenecektir. Tüm deney verileri ışığında, doğal perlit agregasının betonarme kirişlerde kullanılabilirlik durumu ortaya çıkarılacaktır.*

Anahtar Kelimeler: *Betonarme Kiriş, Doğal Perlit Agregası, Hafif Beton*

Investigation of the Structural Behavior of Reinforced Concrete Beam With Perlite Under the Effect of Monotonic Load

Abstract: *When the existing structure stock is examined, it can be seen that the majority of buildings have reinforced concrete (RC) carrier systems. This case, combined with the increasing population and the increase in urbanization and industrialization, to be increased the need for concrete, which is the raw material of RC building production, day by day. In line with the stated need, the expected need must be met by taking into account both economic and ecological facts in concrete production without compromising the material mechanical properties of concrete (compressive strength, strain, ductility, etc. in concrete). Within the scope of the study, it is planned to fabricate a total of 4 RC beam specimens using both conventional and natural perlite aggregate. After the loading tests, the load-displacement relationship, energy consumption capacity and damage distributions of the specimens will be investigated. In the light of all test data, the usability of natural perlite aggregate in RC beams will be revealed.*

Keywords: *Reinforced Concrete Beam, Natural Perlite Aggregate, Lightweight Concrete*

1. GİRİŞ

Betonarme yapılara olan ihtiyacın nüfus ve sanayileşmedeki büyüme ile birlikte artması beton malzeme özelliklerindeki gelişmelere ek olarak ekonomik ve ekolojik üretime yönelmeyi de zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda Tablo 1'de özetlenen çalışmalarda araştırmacılar tarafından betonun beton basınç dayanımı,

elastisite modülü, şekil değiştirme kapasitesi vb. betonun mekanik özelliklerini iyileştirme, doğaya verilen zararı en aza indirme ve üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde geleneksel beton üretiminde kullanılan agrega yerine kullanılan malzemeler doğal kaynak, alternatif ve atık malzemeler olarak üç ana başlıktan oluşmaktadır.

Tablo 1 Literatür özeti (Alternatif/Atık malzemeler ile üretilen betonun performansının incelenmesi)

Yazar	Kullanılan Agrega	Araştırma Konusu	Değişken Parametreler	Malzeme Tipi
Lydon (1982)	Doğal perlit agregası	Beton basınç dayanımı	Agrega kullanım oranı	Doğal kaynak
Gökçe vd. (2010)	Doğal perlit agregası	Beton basınç dayanımı, ultra ses geçiş hızları ve birim hacim ağırlıkları	S/Ç oranı, Granülometri dağılımı	
Topçu vd. (2015)	Genleştirilmiş perlit	Ultrases geçiş hızı, eğilme deneyi, su emme ve ısıl iletkenlik	Granülometri dağılımı, agrega yüzdesi (%0, %10, %20, %30 ve %40)	
Mansour (2020)	Doğal perlit agregası	Betonun işlenebilirliği ve mekanik özellikleri	Agrega kullanım oranı	
Chihaoui vd, (2022)	Doğal puzolan ve doğal perlit	Alkali silika reaksiyon direnci	Agrega kullanım oranı (%0, %10 ve %20)	
Ragul vd. (2022)	Doğal perlit agregası	Beton basınç dayanımı	Agrega kullanım oranı (%5, %10, %15 ve %20)	
Düzgün (2005)	Çelik tel	Beton basınç, çekme ve eğilme dayanımı	Çelik tel kullanım oranı (%2,%5,%7)	Alternatif malzemeler
Tayşi vd. (2017)	Cam elyaf	Betonun basınç, çekme dayanımı ve işlenebilirliği	Cam elyaf kullanım oranı (%0.5, %1 ve %1.5)	
Yalciner vd. (2018)	Geo-grid	Betonarme kiriş eğilme ve kesme dayanımı	Korozyon seviyesi (2, 3, 5, 6, ve 9%)	
Bicer vd. (2019)	Polipropilen lif	Betonarme kiriş eğilme dayanımı	Polipropilen lif kullanım oranı (%0.5, %1 ve %1.5)	
Akçaözoğlu (2008)	Pet şişe	Hafif beton üretimi	Pet şişe kulllanım oranı	
Emiroğlu vd. (2009)	Atık lastik	Elastisite modülü	Atık lastik kullanım oranı	
Vadivel vd. (2011)	Atık kauçuk lastiği	Beton basınç dayanımı	Atık kauçuk lastiği (0%-%6)	
Rashid vd. (2012)	Kil tuğla atığı	Elastisite modülü ve beton basınç dayanımı	Kil tuğla atığı kullanım oranı %25, %50, %75 ve %100	
Gonzalez vd. (2014)	Atık seramik	Beton basınç ve çekme dayanımı	Atık seramik kullanım oranı (%5-10)	Atık malzemeler
Abraham vd. (2017)	Atık demir tozu	Beton basınç ve çekme dayanımı	Atık demir tozu kullanım oranı (0% ve %10)	
Shafigh vd. (2017)	Palm yağı kazan klinkeri	Beton numunelerin yoğunluk, basınç ve yarmada çekme dayanımı	Palm yağı kazan klinkeri kullanım oranı (0%-50)	
Çakır vd. (2018)	İnşaat molozu, silis dumanı	Beton çekme dayanımı	Silis dumanı içeriği (%0-5-10), İnşaat molozu (0-40%)	
Abed vd. (2019)	Odun atığı	Beton basınç dayanımı	Odun atığı kullanım oranı (%25-%30)	

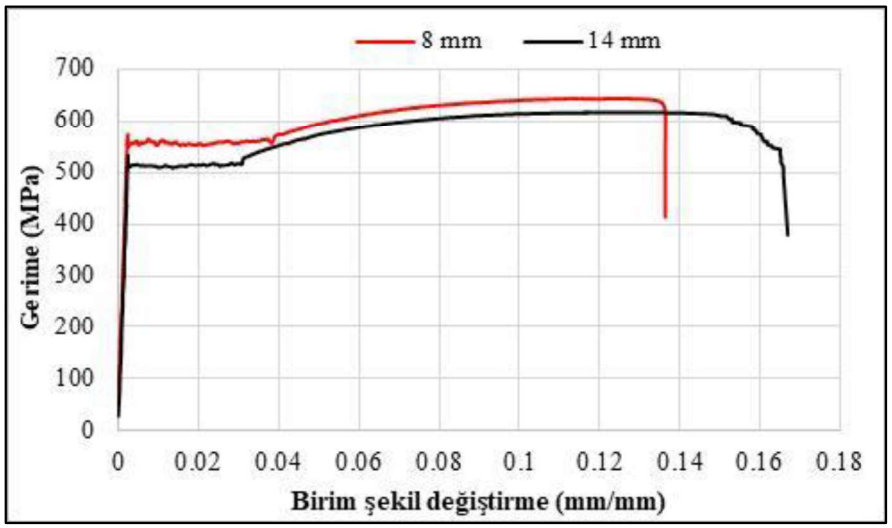
Yazar	Kullanılan Agrega	Araştırma Konusu	Değişken Parametreler	Malzeme Tipi
Eren (2020)	Atık döküm kumları	İşlenebilirlik, su emme kapasitesi ve kılcal geçirimlilik	Kum oranları	
Zhang vd. (2020)	Uçucu kül	Rötre çatlakları	Uçucu kül kullanım oranı (0% ve %20.80)	
Şahan vd. (2021)	Kazınmış asfalt	Beton basınç dayanımı	Kazınmış asfalt kullanım oranı (%5, %10, %20 ve %30)	
Durak vd. (2022)	Atık demir tozu	Betonun aşınma, eğilme ve basınç dayanımı	Atık demir tozu kullanım oranı (%10, %20 ve %30)	

Yapısal hafif beton (LWC) bir yapı bileşeni olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Hossain 1997). Yapısal hafif beton yoğunluğu tipik olarak 1400 ila 2000 kg/m3 arasında değişmektedir (ACI 211.2 1981). Tablo 1'den görüleceği üzere hafif beton üretiminde bir çok atık veya katkı malzeme kullanılmaktadır. Geleneksel agregaya göre daha hafif agregaların kullanılması, yapıya ses ve ısı yalıtım özelliği kazandırmasına ek olarak yapının ölü yükünün azalmasını sağlayarak taşıyıcı elemana etkiyen deprem yüklerini azaltmaktadır. Böylece betonarme elemanda donatı ihtiyacını azaltarak ekonomik anlamda da katkı sunacağı birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Hossain 2004;Topçu 1997; Mor 1993).

2. MATERYAL ve YÖNTEM

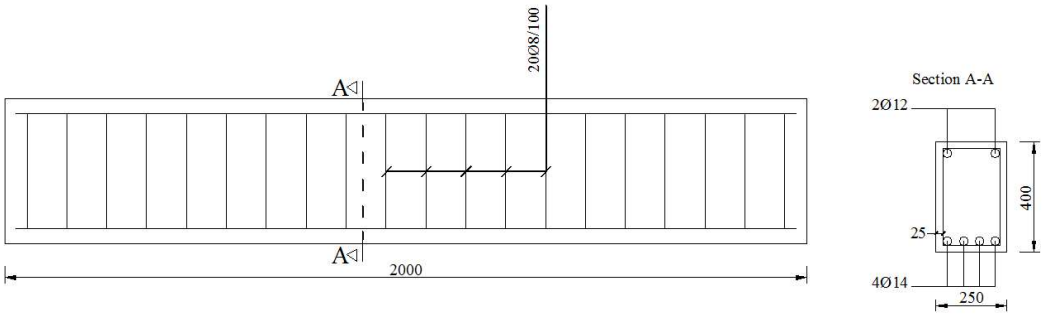
1.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri

Betonarme kiriş numunelerinin eksenel eğilme deneyleri, özdeş beton sınıfı (25-40 MPa), kesit özellikleri, donatı oranı ve detayına sahip olacak şekilde, geleneksel agrega ve doğal perlit agregasından üretilmiş toplamda 4 adet betonarme kiriş numunesi üzerinde gerçekleşmiştir. Donatı kafeslerinin üretiminden önce tasarımlarda dikkate alınacak donatıların mekanik özellikleri çekme deneyi ile belirlenmiştir. Donatılarının mekanik özellikleri; 8 mm için akma dayanımı 572 MPa, kopma dayanımı 644 MPa, akma ve kopmadaki gerinim değeri 0.00245 ve 0.0137 olarak, 14 mm donatı için akma dayanımı 530 MPa, kopma dayanımı 616 MPa, akma ve kopmadaki gerinim değeri 0.00225 ve 0.0163 olarak hesaplanmıştır. Donatıların elastik modülü $2x10^5$ MPa olarak hesaplanmıştır. Betonarme kirişler beton üretiminde kullanılan agrega tipine P (doğal perlit agregası), C (geleneksel agrega) ve hedef basınç dayanımına göre 20 ve 40 MPa olarak isimlendirilmiştir. (Örn. Doğal perlit agregası ile üretilen 25 MPa basınç dayanımına sahip numune P25)



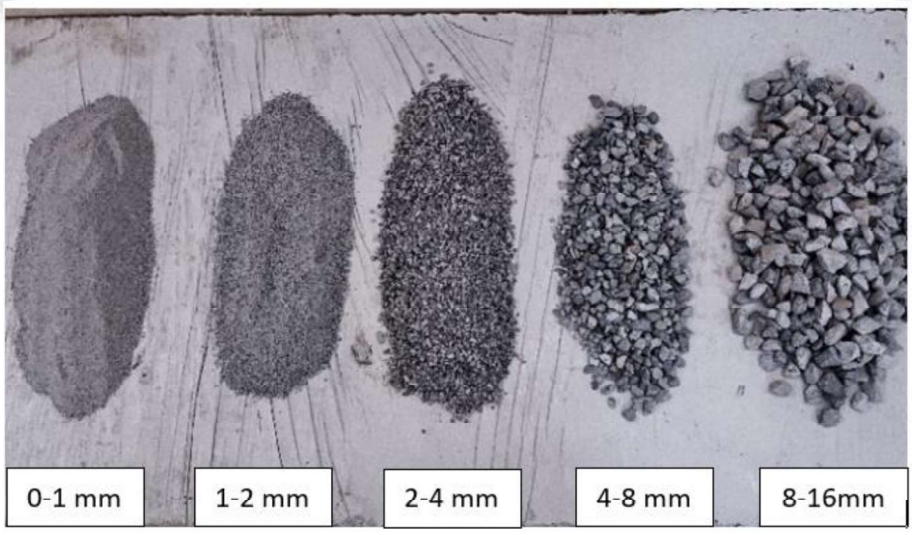
Şekil 1. Donatı mekanik özellikleri.

Şekil 2.de betonarme kiriş numunelerine ait kesit özellikleri ve donatı detaylar gösterilmektedir.



Şekil 2. Kesit ve donatı detayı.

Şekil 2'de gösterilen betonarme kiriş numunesi genişliği 250 mm, yüksekliği 400 mm ve net açıklığı ise 2000 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme kiriş numunelerinin pas-payı kalınlığı 25 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kesitin çekme bölgesinde nervürlü 14 mm çapında 4 adet çekme donatısı, basınç bölgesinde ise 2 adet nervürlü 12 mm çapında donatı kullanılmıştır. Kesme donatılarının hesabı için TS 500 (2000) göz önüne alınmış olup, beton tarafından karşılanan kesme dayanımının, betonun çatlamadaki kesme dayanımının 0.65'i kadar olması öngörülerek, her bir betonarme kiriş numunelerinin sargı donatıları için 8 mm çapında iki kollu nervürlü etriyeler kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan 0-1 mm, 1-2 mm, 2-4mm, 4-8 mm ve 8-16 mm çaplarına sahip doğal perlit agregaları Şekil 3'te gösterilmektedir.

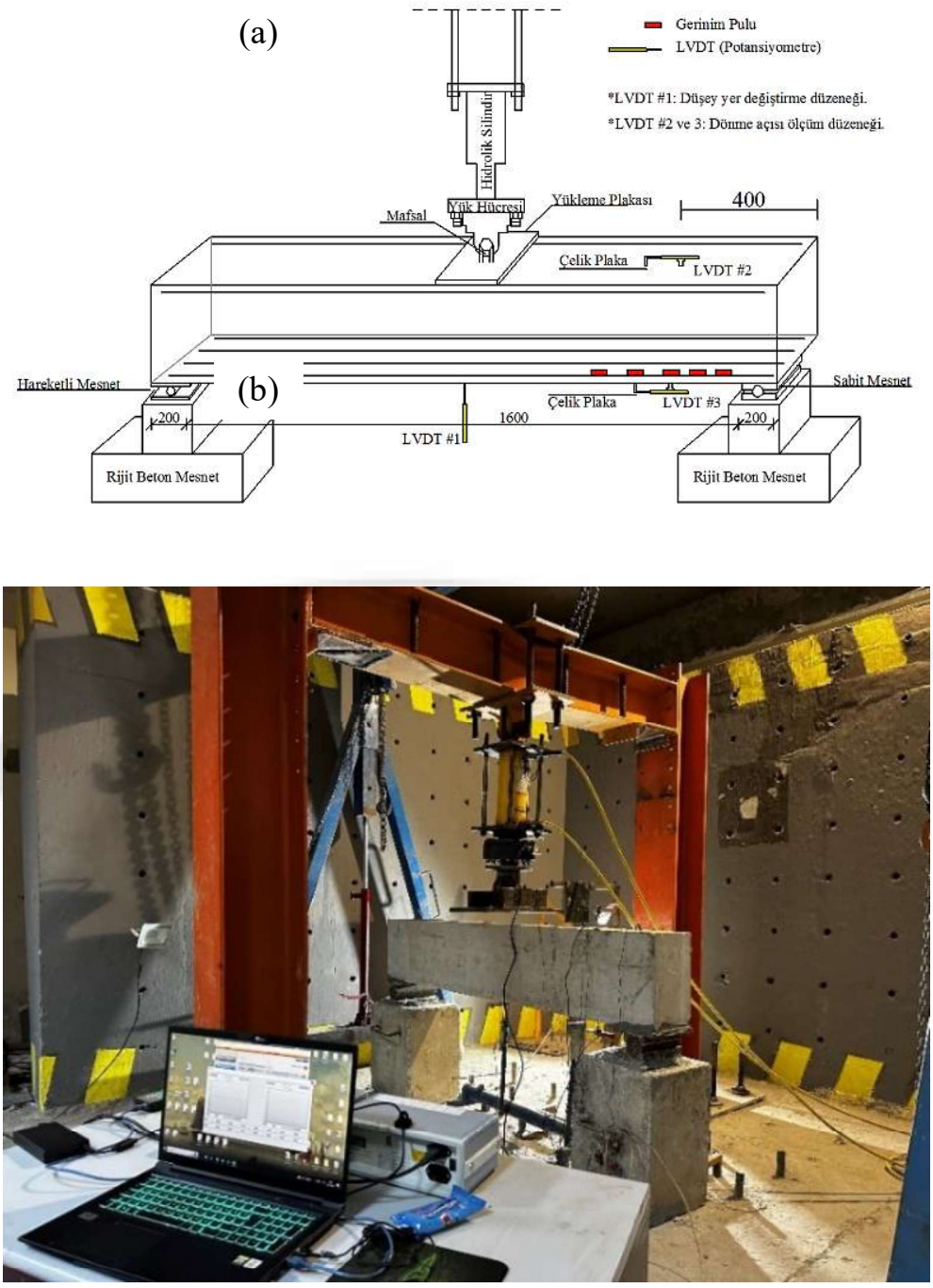


Şekil 3. Farklı çaptaki doğal perlit agregaları.

1.2. Yükleme ve Ölçüm Düzeneği

Şekil 4'te, geleneksel ve doğal perlit kullanılarak üretilen aynı beton basınç dayanıma sahip betonarme kiriş numunelerinin eğilme deneyleri üç noktadan yükleme ve ölçüm deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyleri için eksenel yüklemede, çelik çerçeve sistemine monte edilmiş bir adet 600 kN kapasitesine sahip hidrolik piston kullanılmıştır. Deney sürecinde hidrolik piston tarafından uygulanan yük pistonun ucuna sabitlenen 1000 kN kapasiteye sahip yük hücresi ile kayıt altına alınmıştır. Yükleme düzeneğinde, hidrolik silindir ile yükleme plakası arasında mafsal kullanılarak ayrıca dış merkezli yüklemenin önüne geçilmiştir. Hidrolik silindir altında tasarlanan yükleme plakası

sayesinde, hidrolik silindir vasıtasıyla aktarılan yükün, betonarme kiriş numunelerinin mesnet bölgelerine iletilmesi suretiyle, betonarme kiriş numunelerinde eğilme hâkim bir davranış elde edilmiştir.



Şekil 4. Deney Düzeneği Şematik Gösterimi (a), Deney Düzeneği(b).

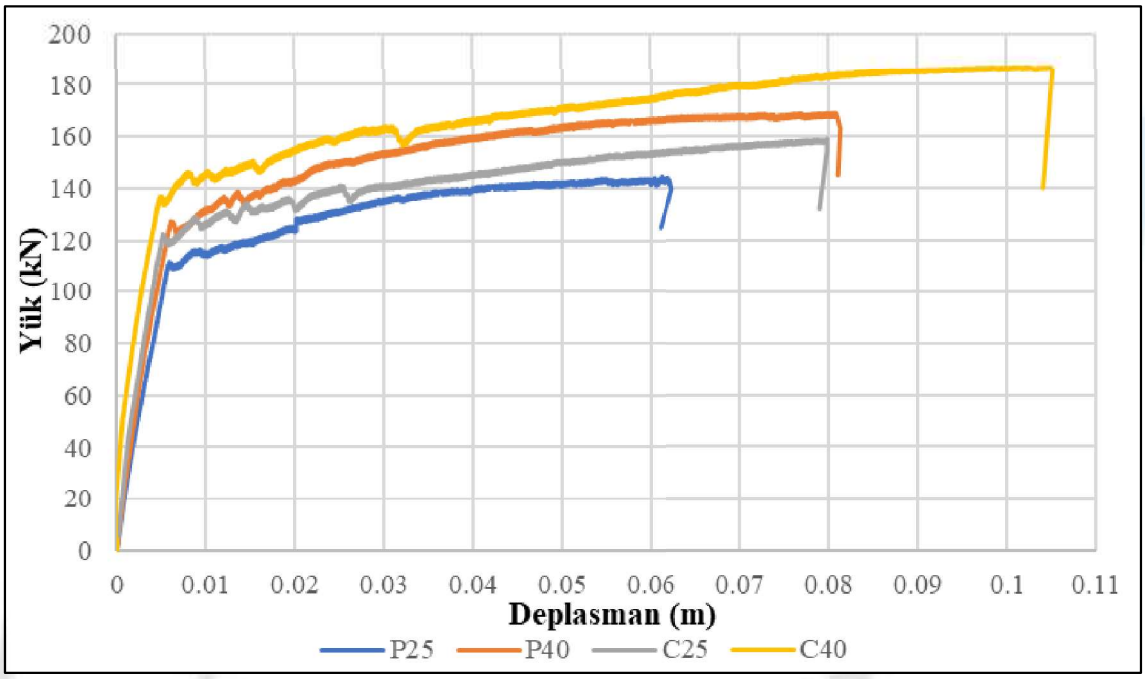
Betonarme kiriş numuneleri, iki adet rijit beton blokunun üstüne yerleştirilerek deney düzeneğinin sınır şartları sağlanmıştır. Sınır şartları, rijit beton bloklar ile betonarme kiriş numuneleri arasına yerleştirilen çelik levhalar ile yük deplasman ilişkisinin sağlıklı ölçülebilmesi açısından, sabit ve hareketli mesnet olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4'te ki yük-deplasman ilişkisi, enerji yutma kapasitesi gibi yapısal parametrelerin ölçülebilmesi amacıyla, betonarme kiriş numunelerinin orta açıklık mesafesine yerleştirilen 150 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel (LVDT#1) yardımı ile yüklemeyle eş zamanlı olarak, betonarme kiriş numunelerinin eksenel düşey yer değiştirmeleri kayıt altına alınmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Betonarme kiriş numunelerinin yükleme deneylerinden elde edilen ölçüm verileri ışığında yük deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Ek olarak elde edilen yük-deplasman eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla betonarme kirişlerin göçme moduna ulaşıncaya kadar tüketmiş oldukları enerji değerleri elde edilmiştir.

3.1. Yük-Deplasman Eğrileri

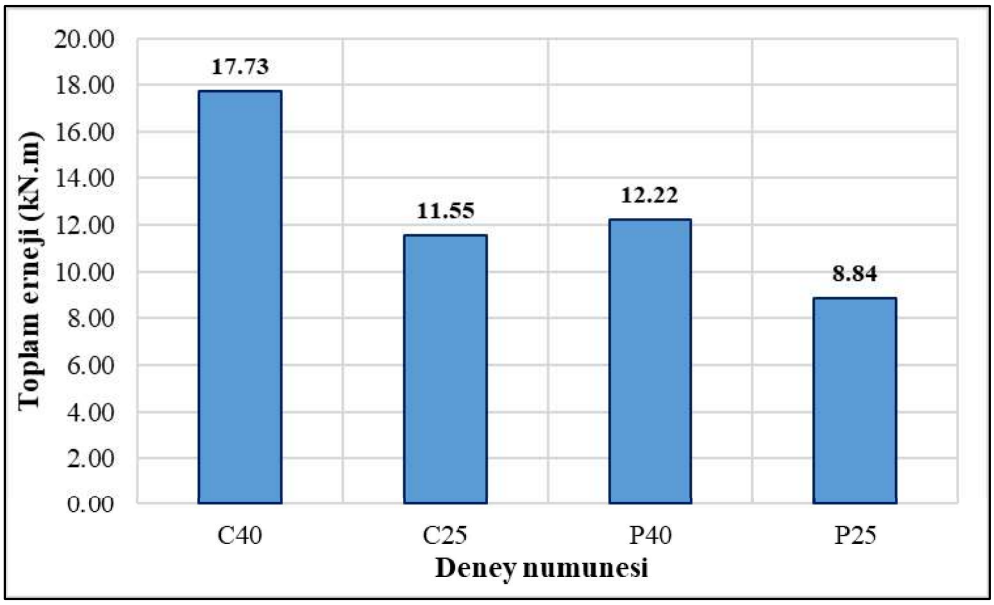
Şekil 5'te 4 farklı numune için elde edilen yük – deplasman eğrileri gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde C40 numunesi dikkate alındığında taşıma gücü kapasiteleri P40,C25 ve P25 numuneleri için sırasıyla % 9.8, % 15.1 ve % 22.9 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 5. Yük-Deplasman eğrisi.

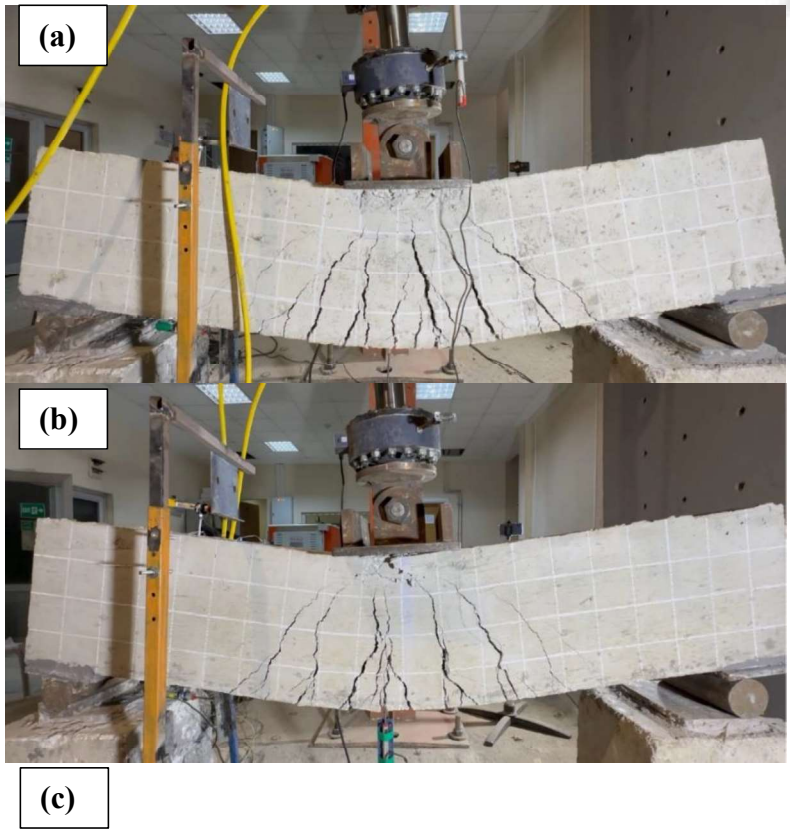
3.2. Enerji Kapasiteleri

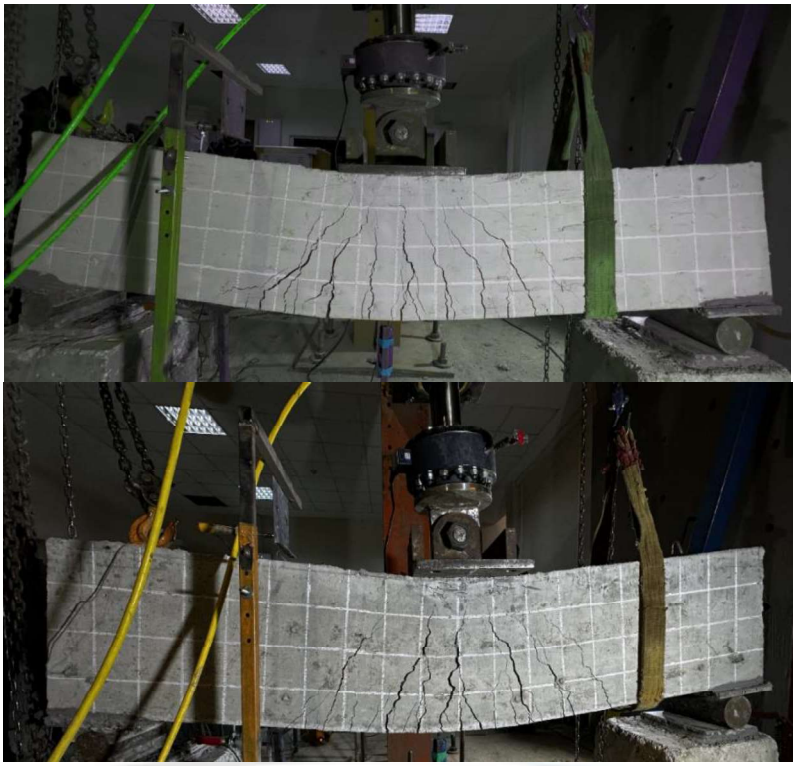
Dış yükler etkisi altında hasara uğrayan betonarme kirişlerin yük-deplasman eğrilerinin sınırladığı bölgelerin altında kalan alanların hesaplanmasıyla Şekil 6'da verilen enerji kapasiteleri hesaplanmıştır. Elde edilen enerji kapasiteleri dikkate alındığında C40 numunesine göre enerji kapasitelerinin P40, C25 ve P25 numuneleri için sırasıyla % 30.4, %34.2 ve % 49.6 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Numunelerin enerji kapasiteleri.

Toplam enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde geleneksel betondan imal edilen kirişlerin, perlitli betondan imal edilen kirişlere göre enerji yutma kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Betonarme kirişlerin yükleme deneyi sonrası hasar durumları Şekil 7'de görülmektedir. Numunelerin çatlak dağılımları incelendiğinde tüm numuneler için özdeş bir şekilde kiriş orta açıklık bölgesinde çatlak genişliklerinin maksimum değere ulaştığı, açıklık bölgesinden mesnet bölgesine doğru çatlak genişliklerinin daraldığı ve en uç noktalarda ise çatlakların kılcal hale geldiği görülmektedir.





Şekil 7. Deney numuneleri: a) C25 b) C40, c) P25, d) P40

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğal perlit agregası kullanılarak ve geleneksel betondan üretilen iki farklı beton basınç dayanımına sahip özdeş kirişlerin monotonik yük etkisi altındaki yük-deplasman ilişkisi ve kümülatif enerji kapasiteleri deneysel çalışma kapsamında incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Geleneksel agrega ile üretilen betonarme kiriş numunelerin enerji kapasitelerinin doğal perlit agregası ile üretilen kirişlerden daha yüksek olduğu,
2. Yük-deplasman eğrileri dikkate alındığında perlit kullanılarak üretilen numunelerin yük ve deplasman değerlerinin geleneksel agrega ile üretilen numunelere göre daha sınırlı kaldığı,
3. Numunelerin akma konumuna kadar olan rijitlik değerleri incelendiği zaman C25 ve P40 numunelerinin başlangıç rijitlik değerlerinin benzer olduğu, C40 numunesinin ise daha rijit bir davranış sergilediği,
4. Deneylerin tamamlanmasının ardından hasarlar incelendiğinde eğilme çatlaklarının her iki tip numune içinde benzer formlarda oluştuğu gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın finansal desteği İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından desteklenen FBA-2024-3343 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın yazarları İnönü Üniversitesine desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

ACI Committee 211 (1981). Standard Practice for Selecting Proportions of Structural Lightweight Concrete (ACI 211.2-81). *American Concrete Institute*, Detroit, USA.

Akçaözoğlu, S., 2008. Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 283.

Bicer, K., Yalciner, H., Balkıs, A. P., & Kumbasaroglu, A. (2018). Effect of corrosion on flexural strength of reinforced concrete beams with polypropylene fibers. *Construction and building materials*, *185*, 574-588.

Building and Environment, Vol. 42, Issue. 12, pp. 4108–4116.

Chihaoui, R., Siad, H., Senhadji, Y., Mouli, M., Nefoussi, A. M., & Lachemi, M. (2022). Efficiency of natural pozzolan and natural perlite in controlling the alkali-silica reaction of cementitious materials. Case Studies in Construction Materials, 17, e01246

DURAK, U., & ŞİMŞEK, A. A. (2022). Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu temelli geopolimer sistemlerde atık demir tozunun agrega yerine kullanımının araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(2), 812-828.

García-González, J., Rodríguez-Robles, D., Juan-Valdés, A., Morán-del Pozo, J. M., & Guerra-Romero, M. I. (2015). Ceramic ware waste as coarse aggregate for structural concrete production. Environmental technology, 36(23), 3050-3059.

Gökçe, H.S.,Durmuş, G, Şimşek, O., 2010, Malzemeler, Politeknik Dergisi, Cilt 13, Sayı

Hossain K.M.A. (2004). Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 2, pp. 283-291.

Lydon, F.D., Concrete Mix Design, Applied Science Publishers, 2nd ed., London, 1982.

Mansour, S. M. (2020). Physical-mechanical properties of steel fibre-reinforced self-compacting concrete containing natural perlite addition. International Journal of Microstructure and Materials Properties, 15(2), 122-140.

Mor A. (1993). Steel-Concrete Bond in High-strength Lightweight Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 1, pp.76–82.

Ragul, P., Hari, M. N. T., Arunachelam, N., & Chellapandian, M. (2022). An experimental study on the partial replacement of fine aggregate with perlite in cement concrete. Materials Today: Proceedings, 68, 1219-1224

Tayşi, N. Cam Elyaf İçeren Betonarme Kirişin Eğilme Davranışı İçin Deneysel Çalışma, 20. Mekanik Kongresi, Bursa

Topçu I.B. and Uygunoğlu T. (2007). Properties of Autoclaved Lightweight Aggregate Concrete,

Topçu, İ. B.,Gökbel, İ. M. S, B Işıkdağ 2015, II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu SBS 2015, 28-30 Mayıs 2015, Türkiye.

Vadivel, T. S., & Thenmozhi, R. (2011). Experimental behaviour of concrete with waste tyre rubber as coarse aggregate. Nature, Environment and Pollution Technology, 10(2), 173-178.

Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., & Ergun, U. (2018). Effects of geo-grid and conventional stirrups on reinforced concrete beams with polypropylene fibers. In *Structures* (Vol. 13, pp. 230-242). Elsevier.