

Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar

The Drop Weight Test Method to Determine Impact Strength of Concrete and A Review of Research

Meral OLTULU^{*a}, M. Gökhan ALTUN^b

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye

• Geliş tarihi / Received: 03.06.2017 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.11.2017 • Kabul tarihi / Accepted: 29.11.2017

Öz

Son yıllarda kullanım ömrü boyunca darbe etkilerine maruz kalabilecek yapıların performanslarının artırılabilmesi üzerinde çalışmaların sayısı artış göstermiştir. Darbe dayanımı konusunda malzeme özellikleri üzerinde yapılan çalışmalar ve test yöntemleri önem kazanmaktadır. Malzeme açısından darbe dayanımını artıracak bileşenler, katkıları ve oranları alanında yapılan çalışmaların yanısıra uygulanan yöntemler arasında en çok kullanılan test yöntemi olarak ağırlık düşürme deneyi dikkat çekmektedir. Çalışmamızda darbe dayanımı ve tespiti konularında yapılan çalışmalar özetlenerek sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ağırlık düşürme testi, Beton, Darbe dayanımı, Lif

Abstract

In recent years, the number of studies about increasing the performances of structures that may be exposed to impact effects during their lifetime has increased. Works on the material properties and test methods are getting important on the impact resistance. In addition to the studies in the field of components, additives and ratios that can increase the impact resistance in terms of material, one of the simple and highly preferred test method is drop weight test. In this review paper, investigations about impact resistance are summarized and some suggestions have been developed for future works.

Keywords: Drop weight test, Concrete, Impact resistance, Fiber

*a Meral OLTULU; mroltulu@atauni.edu.tr; Tel: (0442) 231 46 15; orcid.org/0000-0002-3779-6888

^b orcid.org/0000-0002-7952-1882

1. Giriş

Beton, oldukça karmaşık ve heterojen yapıya sahip kırılmalı kompozit bir malzemedir. Gevrek bir malzeme olan betonun çekme ve eğilme dayanımları oldukça düşük olmasına rağmen sahip olduğu yüksek basınç dayanımı kapasitesi betonu vazgeçilmez bir yapı malzemesi haline getirmektedir. Nitekim bu özelliği betonun günümüzde de en çok tercih edilen yapı malzemesi olmasını sağlamıştır (Baradan vd. 2010).

Son yıllarda beton ve betonarme yapılarda basınç dayanımı kadar darbe dayanımının da çok önemli bir kriter olduğu benimsenmiştir (Wan vd., 2016). Gelişmekte olan ülkemizde artan tüketim ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşam kalitesinin artırılması için başta nükleer santraller, askeri yapılar, havaalanı pistleri, demiryolları, köprüler, tüneller olmak üzere birçok yapı inşa edilmektedir. Bu yapıların kullanım ömrü boyunca darbe etkilerine maruz kaldıklarından dolayı herhangi bir güvenlik sorununa yol açmaması için darbe dirençlerinin yüksek olması gerekmektedir. Terör saldırılarının yoğun olarak yaşandığı ülkemiz için betonların darbe dayanımlarının önemi ayrıca ortaya çıkmakta olup bu alanda bilimsel araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Darbe etkisinin tespiti için İzod deneyi (Çanakçı, 2016), Charpy deneyi (Çanakçı, 2016), yüksek hızda mermi darbesi deneyi (Xiao vd., 2015), ağırlık düşürme deneyi (Nataraja vd., 2005) gibi birçok yöntem kullanılmakta, uygulama kolaylığı ve yöntem basitliği nedeni ile bu yöntemlerin arasında ağırlık düşürme deneyi dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada betonun darbe dayanımı hakkında bugüne kadar yapılan çalışmalar özetlenerek sonraki yapılacak olan bilimsel araştırmalara ışık tutmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda öncelikle darbe dayanımı tanımı, darbe dayanımını etkileyen faktörler, önemli olduğu yapılar ve tespit yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ardından literatür araştırması kapsamında, yapılan çalışmalar incelenerek bir takım kriterlere göre gruplandırılmıştır. Sonuç kısmında bu konuda ilerleyen dönemlerde yapılabilecek çalışma konu önerileri verilmiştir.

2. Darbe Dayanımı

Betonarme yapılar veya yapı elemanları kullanım ömrü süresince basınç, çekme ve eğilme gibi çeşitli dış yüklerin etkisine maruz kalmaktadırlar.

Dayanıklılığı ve faydalı ömrü daha yüksek beton elde etmek için betonun söz konusu dış yüklere karşı dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Son yıllarda beton ve betonarme yapılarda basınç, çekme ve eğilme dayanımı kadar darbe dayanımının da çok önemli olduğu kabul edilmiştir (Ranjan vd., 2014).

Darbe dayanımı, betonların ani olarak etki eden tekrarlı dinamik yükler altında gösterdiği direnç olarak tarif edilmektedir. Darbe dayanımının patlayıcı madde etkisine maruz kalan yapılar başta olmak üzere su yapıları, endüstriyel yapılar, hava alanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri amaçlı yapılar, nükleer santraller gibi yapılarda çok yüksek olması istenmektedir (Yazıcı ve Sezer, 2008).

Geleneksel betonun darbeli yüklere karşı direnci oldukça zayıftır ve betonda bu etki ile oluşan çatlaklar kontrolsüz olarak gelişmektedir. Bunun sonucunda beton performans açısından kayba uğramaktadır (Yazıcı ve Sezer, 2008). Betonun zayıf olan bu özelliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Darbe dayanımı üzerinde mineral katkı ve lif ilavesi gibi birçok yöntem ile olası iyileştirmeler ve saptanmasına yönelik uygun deney yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

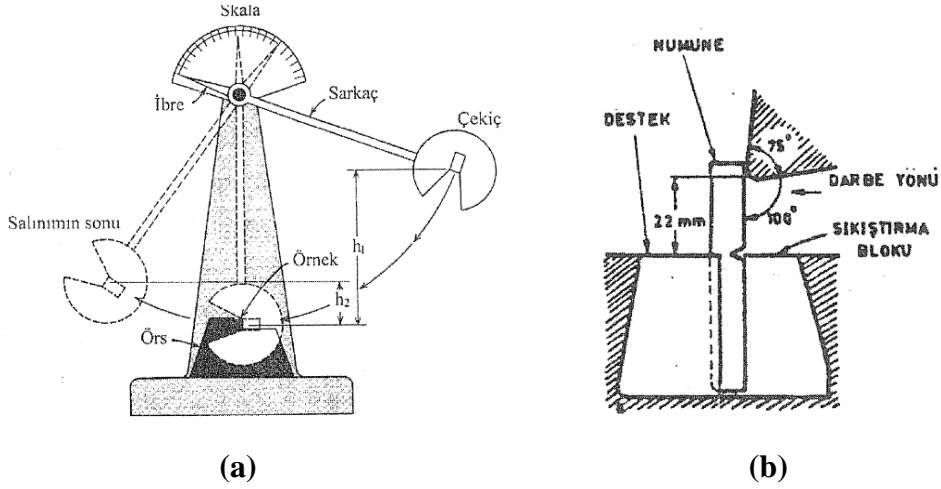
3. Darbe Dayanımının Tespiti

Betonun darbe dayanımını belirlemek amacı ile kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler genel olarak metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını tespit etmek amacı ile tercih edilen Charpy ve İzod darbe deneyleri ile beton veya betonarme elemanların darbe dirençlerini belirlemek amacıyla kullanılan yüksek hızda mermi darbesi ve ağırlık düşürme deneyi olarak sınıflandırılabilir.

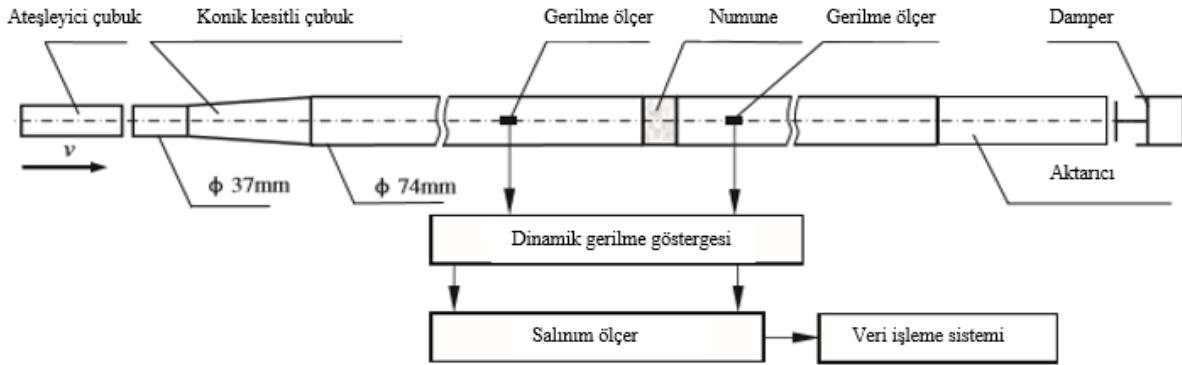
Charpy deneyi Şekil 1.a'da görüldüğü gibi iki mesnede yatay olarak yaslanan basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmenin etkisi ile söz konusu numunenin kırılması için harcanan enerji ilkesine dayanır (Çanakçı, 2016). Şekil 1.b'de gösterilen İzod darbe deneyi ise dikey ve konsol kiriş halinde çenesine yerleştirilen numunenin yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilimler etkisi ile numunenin kırılması için sarfedilen enerji ilkesine dayanır (Çanakçı,

2016). Bu yöntemin dışında Şekil 2’de düzeneği görülen yüksek hızda mermi darbe deneyi de yapılmakta olup bu deney bir cismin belirli bir

hızda dayanımı ölçülecek malzemeye fırlatılması sonucunda oluşan deformasyonları ölçmeye yaramaktadır (Xiao vd., 2015).



Şekil 1. (a) Charpy deney cihazı, (b) İzod deney cihazı (Çanakçı, 2016)



Şekil 2. Yüksek hızda mermi darbesi deney cihazı (Xiao vd., 2015)

Betonların darbe direncini tespit etmek amacı ile basit ve en çok tercih edilen yöntem olan ağırlık düşürme deney aletinin şematik olarak gösterimi Şekil 3’de verilmektedir.

Söz konusu ağırlık düşürme deneyi yönteminin esasları ACI 544.2R standardında detaylı olarak tarif edilmektedir. Standartta göre bu deney, 4.45 kg ağırlığındaki yükün 457 mm yükseklikten 64x150 mm boyutlarındaki disk numunenin üzerine yerleştirilen 64 mm çapında çelik bilye üzerine düşürülerek yapılmaktadır. Ayrıca deney sonuçları aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad V = gt \quad m = \frac{W}{g}$$

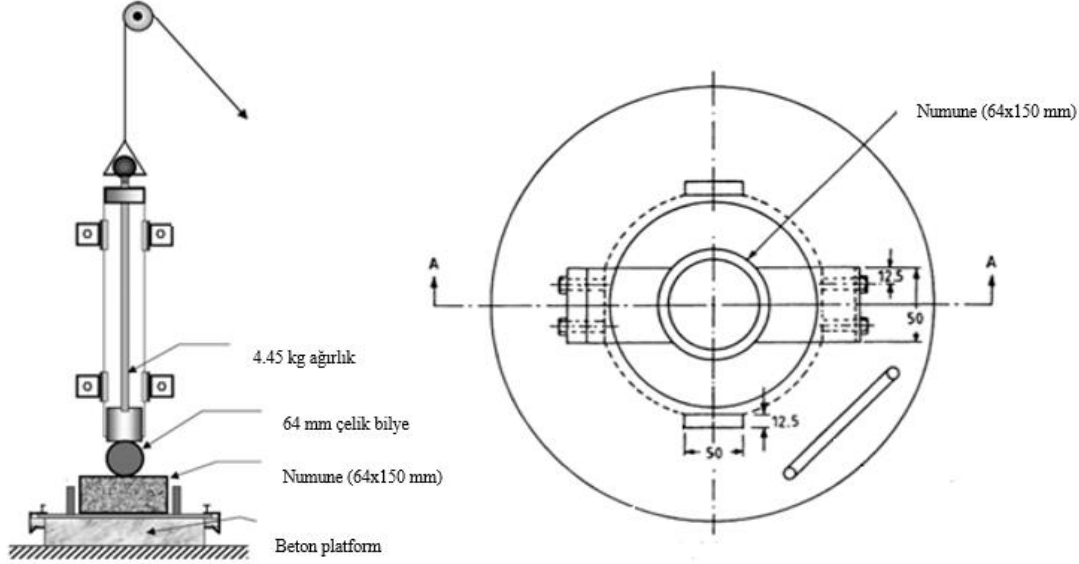
$$U = \frac{mV^2}{2} \quad \text{Darbe Dayanımı} = n \times U$$

U = Bir vuruşta meydana gelen enerji, kNmm
W = Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı, kg,
m = Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi, N,

H = Darbe deneyinde tokmağın düşme yüksekliği, mm,
 t = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme süresi, sn,
 g = Yerçekimi ivmesi, mm/sn²,
 V = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı, mm/sn,

n = Vuruş sayısı, ad.

Gevrek bir malzeme olan geleneksel betonun darbe dayanımı düşük olup, bu değer beton bileşenleri ve deney koşullarına göre değiştiğinden darbe dayanımını etkileyen parametreler üzerinde daha çok durmak gerekmektedir.



Şekil 3. Ağırlık düşürme deney cihazı (Nataraja vd., 2005)

4. Darbe dayanımını etkileyen beton parametreleri

Darbe dayanımının yüksek olmasını istediğimiz beton esasında farklı malzemelerin (iri agrega, ince agrega, çimento ve su) birleşmeleri ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kompozit bir malzemedir. Bu yüzden betonun mekanik özellikleri ve darbe dayanımı birçok faktörden etkilenmektedir. Betonun darbe dayanımı; betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinden (agrega çeşidi, maksimum agrega tane çapı, su/çimento oranı), kullanılan katkı malzemelerinin özelliklerinden (mineral katkı çeşidi ve kullanım oranı, lif çeşidi, geometrisi, narinlik oranı ve kullanım oranı) ve ortam koşullarından (beton sıcaklığı, yükleme hızı) etkilenmektedir. Betonun darbe dayanımını etkileyen faktörleri şematik olarak Şekil 4'de ki gibi özetleyebiliriz.

4.1. Agregat etkisi

Yapılan çalışmalar agrega çeşidinin (kalker esaslı doğal agrega, bazalt esaslı doğal agrega, geri

kazanılmış agrega) betonun darbe dayanımını direkt olarak etkilediğini göstermektedir. Bazalt ve kalker esaslı olmak üzere iki farklı agrega çeşidinin kullanıldığı Aliabdo vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada bazalt agregalı betonların darbe dayanımlarının kalker agregalı betonların darbe dayanımlarına oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Sürdürülebilirlik açısından geri kazanılmış agregaların betonda tekrar kullanımının popüler olduğu günümüzde mekanik özellikleri belli bir orana kadar düşüren bu atık agregaların darbe dirençlerini de olumsuz etkilediği bilinmektedir. Rao vd. (2011) ile Erdem vd. (2011) tarafından yapılan çalışmalarda geri kazanılmış agregaların betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda Rao vd. (2011) yaptıkları çalışmada GKA oranlarını %25, 50 ve 100 olarak belirlemiştir. Erdem vd. (2011) ise GKA oranını %100 olarak belirlemiş olup ayrıca karışımlara %1.0 oranlarında polipropilen ve çelik lif ilave etmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre GKA kullanımının betonların darbe dayanımlarını

olumsuz etkilediğini, lif kullanımının ise olumlu etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Geri kazanılmış malzeme olarak nitelendirilen kauçuk kullanımının da betonların mekanik özelliklerini ve darbe dayanımlarını etkilediği çalışmalarda literatürde mevcuttur. Al-Tayeb vd. (2013) yaptıkları çalışmada %10 ve 20 oranlarında, Khalil vd. (2015) ise yaptıkları çalışmada %10, 20, 30 ve 40 oranlarında kauçuk kullanarak hazırladıkları beton karışımlarının darbe dirençlerini incelemişlerdir. Sonuçta kauçuk kullanım oranı artışı ile betonların darbe dayanımlarının arttığını belirlemişlerdir.

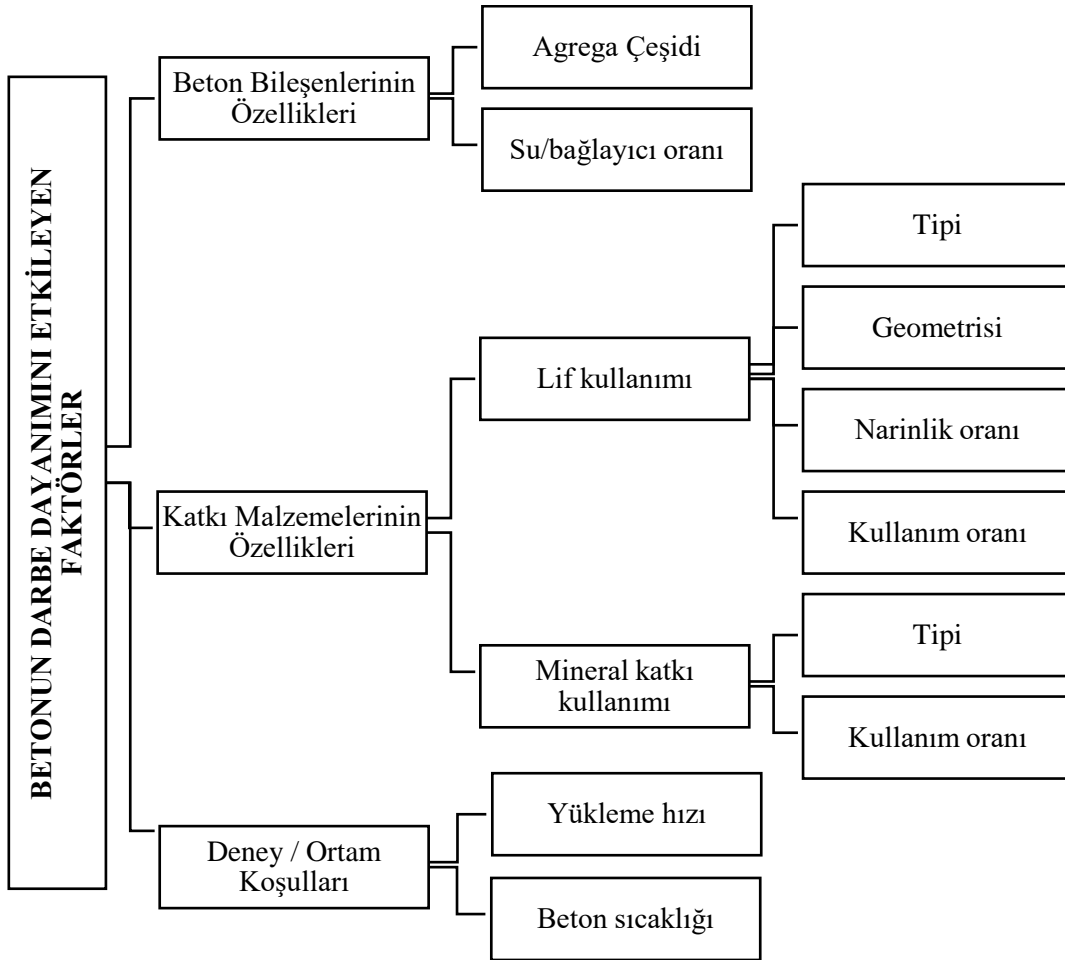
Kullanılan agrega tipinin yanı sıra maksimum agrega tane çapının da betonların darbe dayanımları üzerindeki Yazıcı ve Sezer (2008) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. 10, 15, 20 ve 25 mm maksimum agrega tane çapının kullanıldığı ayrıca tüm karışımlara %1.0 oranında çelik lif ilave edilen çalışmada maksimum agrega tane çapının 20 mm olduğu betonların en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

4.2. Çimento Etkisi

Beton karışım oranları belirlenirken çimento miktarı özellikle su/çimento oranı seçimi önemli bir konudur. Farklı su/çimento oranına sahip betonların üretildiği çalışmalarda genellikle su/çimento oranı düşük olan betonların darbe yükleri karşısında daha iyi performans sergiledikleri belirlenmiştir (Nataraja vd., 2005; Zeynal ve Yazıcı, 2008; Nia vd., 2012). Buna zıt olarak sınırlı sayıda çalışmada ise su/çimento oranı yüksek olan karışımların darbe dayanımları yüksek çıkmıştır (Mindess vd., 1986).

4.3. Mineral Katkı ilavesi

Betonların mekanik özelliklerini geliştiren mineral katkıları (silis dumanı, uçucu kül, cüruf, metakaolin gibi) darbe dayanımını da geliştirmekte özellikle silis dumanı kullanımı betonların mekanik özellikleri üzerinde etkili olmasının yanı sıra betonların darbe dayanımlarını da arttırmaktadır (Toutanji vd., 1998; Nili ve Afroughsabet, 2010a, b).



Şekil 4. Betonun darbe dayanımını etkileyen faktörler

4.4. Lif İlavesi

Mekanik özellikleri ve darbe dayanımını geliştiren diğer ve en etkili olan yöntem lif ilavesidir. Yapılan çalışmalarda en çok bu yöntem tercih edilmiş olup eklenen liflerin darbeden gelen enerjiyi sönmülmesi ve çatlaklar arası köprü görevi yaparak dağılmayı engellemesi en temel nedenlerdendir.

Günümüzde farklı lifler (çelik lif, polipropilen lif, cam lif, bazalt lif, poliamid lif, polivinil alkol lif, seramik lif, polietilen lif, naylon lif, kevlar lif, doğal lifler vb.) beton üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları çelik ve polipropilen lifler olup, darbe dayanımına en fazla katkı sağlayan Tablo 1'de görüldüğü gibi çelik liflerdir. Lif çeşidinin yanısıra lif geometrisi, narinlik oranı ve kullanım oranları da betonların darbe dayanımlarını doğrudan etkilemektedir. Farklı tip, geometri, narinlik oranı ve kullanım oranına sahip lifler kullanılarak üretilen betonların darbe dayanımlarını inceleyen çalışmalardan kısaca aşağıda bahsedilmektedir. Lifler beton hacmini yüzdesi olarak alınmıştır.

Bu değerlere ilaveten Swamy ve Jojagha (1982) yaptıkları çalışmada çengelli ve saplı çelik liflerin, uzun boyları ve yüksek narinlik oranları sebebi ile darbe yükleri karşısında en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca Marar vd. (2001) ile Mohammadi vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada da liflerin narinlik oranı ve kullanım oranı arttıkça betonun darbe dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

4.4. Deney Koşulları

Betonun darbe dayanımını etkileyen diğer bir durum ise deney (yükleme hızı, beton sıcaklığı gibi) koşullarıdır. Mindess ve Yan (1993) tarafından yapılan çalışmada beton sınıfı 40 ve 75 MPa, çelik ve polipropilen lif oranı %1.0 olan beton karışımları hazırlanarak 1.34, 1.84 ve 2.67 m/s olmak üzere üç farklı yükleme hızında darbe dayanımları incelenmiştir. En iyi sonucu 1.84 m/s yüklem hızı ile test edilen 40 MPa dayanıma sahip çelik lif katkılı karışımların verdiği belirlenmiştir.

Banthia vd. (1998) tarafından yapılan çalışmada makro lifli betonların darbe dayanımlarının mikro lifli betonlara göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Darbe dayanımı hususunda en iyi sonucu ise makro ve mikro çelik liflerin karışık kullanıldığı betonların verdiği belirlenmiştir.

Ayrıca yüksek yüklem hızı ve düşük sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda betonların darbe dayanımlarının daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Yapıların maruz kalabileceği darbe etkisine karşı performansının geliştirilmesi gerekmektedir. Darbe dayanımı için uygulanan testler ile ölçüm yöntemlerinin incelendiği pek çok çalışma bulunmakla beraber literatürde yaygın olarak ağırlık düşürme testinin kullanıldığı görülmektedir. Darbe etkisinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlere ilaveten bu dayanımı etkileyen pek çok parametre olduğu bilinen bir gerçektir. Tüm bu bilgilerin ışığında çalışmada betonun darbe dayanımının tespitinde ağırlık düşürme deney yöntemi ve yapılan çalışmalar özetlenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalardan hareketle bu konuda çalışma yapacak kişiler için aşağıda konu ile ilgili çalışma önerileri verilmiştir.

- Genelde normal ve yüksek dayanımlı betonlar için yapılan darbe çalışmalarının diğer özel betonlar içinde belirlenmesi konusunda literatürde eksiklik görülmekte, özellikle yaygın kullanıma sahip ve birçok avantajı olan kendiliğinden yerleşen betonların darbe dayanımları detaylı olarak incelenmelidir.
- Agregası açısından farklı tip agregası kullanımı da detaylı bir şekilde değerlendirilmeli ve agregası tipi ile doğrudan alakalı olan hafif beton, ağır beton, geri kazanılmış agregalı beton gibi bazı özel betonların darbe dayanımları farklı mineral katkıları ve lifler kullanılarak irdelenmelidir.
- Literatürde sayısı çok olan lifli betonların darbe dayanımlarının yanısıra kullanılmamış bazı doğal, yapay ve atık liflerin kullanımları da araştırılmalıdır.
- Liflerin özelliklerini belirleyen; lif geometrisi, narinlik oranı, çekme gerilmesi gibi karakteristik özelliklerinin detaylı olarak incelendiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Farklı birleşik mekanik etkilere ve çevresel etkilere maruz kalmış betonların darbe dayanımlarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılması gerçek durum hakkında daha belirleyici sonuçlar vereceğinden önemlidir.
- Tüm bu etkileri kullanarak malzeme modellemesi yapılması ve darbeyi yansıtan modellerin kurulması beklenilmekte, deneysel çalışmaların istatistiksel yöntemlerle desteklenmesi önem taşımaktadır.

Tablo 1. Darbe dayanımı ile ilgili yapılan çalışmalar

| Araştırmacılar (Yayın tarihi) | Kullanılan lif türü ve oranı (%) | Diğer Değişkenler | Kontrol numunelerine göre darbe dayanımı artış yüzdesi |
|-------------------------------------|--|---|--|
| Swamy and Jojagha, (1982) | Çelik lif (1.0) | Lif geometrisi | %520 - 3505 |
| Mindess vd., (1986) | Polipropilen lif (0.5) | Su/çimento oranı | %19 -24 |
| Mindess ve Vondran, (1988) | Polipropilen lif (0.1-0.3-0.5) | | %12-40 |
| Mindess ve Yan, (1993) | Polipropilen lif (1.0) Çelik lif (1.0) | Darbe hızı | %(-22)-86 |
| Wang vd., (1996) | Polipropilen lif (0.25-0.5) Çelik lif (0.25-0.5-0.75-1.0) | | %17-582 |
| Toutanji vd., (1998) | Polipropilen lif (0.1-0.3-0.5) | Silis dumanı oranı, lif uzunluğu | %40 -4100 |
| Banthia vd., (1998) | Karbon lif (1.0) Makro ve mikro çelik lif (1.0) | | %3.6 -210 |
| Nataraja vd., (1999) | Çelik lif (0.5) | | %80 |
| Marar vd., (2001) | Çelik lif (0.5-1.0-1.5-2.0) | Narinlik oranı | %260-7360 |
| Song vd., (2005) | Çelik lif (1.0) | | %317 |
| Nataraja vd., (2005) | Çelik lif (0.5-1.0-1.5) | Su/çimento oranı | %268 - 2450 |
| Ramakrishna ve Sundararajan, (2005) | Doğal lif (0.5-1.0-1.5-2.0) | | %40 -1713 |
| Badr vd.,(2006) | Polipropilen lif (0.7) | | %40 |
| Yazıcı ve Sezer , (2008) | Çelik lif (1.0) | Maksimum agrega tane çapı | %682-800 |
| Zeynal ve Yazıcı, (2008) | Mikro çelik lif (0.3) Çelik lif (0.4-0.8-1.2) | Su/çimento oranı | %210-4095 |
| Mohammadi vd. (2009) | Çelik lif (1.0-1.5-2.0) | | %41-67 |
| Xu vd., (2010) | Polivinilalkol lif (0.3-0.6-0.9-1.2) | | %23-91 |
| Nili ve Afroughsabet, (2010a) | Çelik lif (0.5-1.0) | Su/bağlayıcı oranı | %232-2516 |
| Nili ve Afroughsabet, (2010b) | Polipropilen lif (0.2-0.3-0.5) | Su/çimento oranı | %42- 845 |
| Erdem vd., (2011) | Çelik lif (1.0) Polipropilen lif (1.0) | | %(-57)-414 |
| Caf ve Bingöl, (2012) | Çelik lif (0.5-1.0-1.5-2.0) Polipropilen lif (gr) 300-600-900-1200 | | %1-1064 . |
| Nia vd., (2012) | Polipropilen lif (0.2-0.3-0.5) Çelik lif (0.5-1.0) | Su/bağlayıcı oranı | %42-2516 |
| Su ve Xu, (2013) | Seramik lif (0.1-0.2-0.3) | | %(-28)-47 |
| Aliabdo vd., (2013) | Polipropilen lif (0.1-0.2) Çelik lif (1.0-2.0) | Agrega tipi | %13-81 |
| Gupta vd., (2015) | Kauçuk lif (5-10-15-20-25) | Su/bağlayıcı oranı, silis dumanı oranı | %46-472 |

6. Kaynaklar

- ACI 544.2R, 2009. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, USA.
- Aliabdo, A.A., Abd-Elmoaty, A.M. ve Hamdy, M., 2013. Effect of Internal Short Fibers, Steel Reinforcement and Surface Layer on Impact and Penetration Resistance of Concrete, Alexandria Engineering Journal, 52, 407-417.
- Al-Tayeb, M.M., Abu-Bakar, B.H., Ismail, H. ve Akil, H.M., 2013. Effect of Partial Replacement of Sand by Recycled Fine Crumb Rubber on the Performance of Hybrid Rubberized Normal Concrete Under Impact Load Experiment and Simulation, Journal of Cleaner Production, 59, 284-289.
- Badr, A., Ashour, A.F. ve Platten, A.K., 2005. Statistical Variations in Impact Resistance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete, International Journal of Impact Engineering, 32, 1907-1920.
- Banthia, N., Yan, C. ve Sakai, K., 1998. Impact Resistance of Fiber Reinforced Concrete at Subnormal Temperatures, Cement and Concrete Composites, 20, 393-404.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., 2010, Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Türkiye Hazır Beton Birliği, ISBN 975-92122-2-6, İstanbul, 318s.
- Caf, M. ve Bingöl, A.F., 2012. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çanakçı, A., 2016. KTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Deney Föyü.
- Erdem, S., Dawson, A.R. ve Thom, N.H., 2011. Microstructure Linked Strength Properties and Impact Response of Conventional and Recycled Concrete Reinforced with Steel and Synthetic Macro Fibers, Construction and Building Materials, 25, 4025-4036.
- Foti, D. ve Paparella, F., 2014. Impact Behavior of Structural Elements in Concrete Reinforced with PET Grids, Mechanics Research Communications, 57, 57-66.
- Gupta, T., Sharma, R.K. ve Chaudhary, S., 2015. Impact Resistance of Concrete Containing Waste Rubber Fiber and Silica Fume, International Journal of Impact Engineering, 83, 76-87.
- Khalil, E., Abd-Elmohsen, M. ve Anwar, A.M., 2015. Impact Resistance of Rubberized Self Compacting Concrete, Water Science, 29, 45-53.
- Marar, K., Eren, Ö. ve Çelik, T., 2001. Relationship Between Impact Energy and Compression Toughness Energy of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete. Materials Letters, 47, 297-304.
- Mindess, S., Banthia, N. ve Bentur, A., 1986. The Response of Reinforced Concrete Beams with a Fibre Concrete Matrix to Impact Loading, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 8, 165-170.
- Mindess, S. ve Vondran, G., 1988. Properties of Concrete Reinforced with Fibrillated Polypropylene Fibres Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 18, 109-115.
- Mindess, S. ve Yan, C., 1993. Perforation of Plain and Fibre Reinforced Concretes Subjected to Low Velocity Impact Loading, Cement and Concrete Research, 23, 83-92.
- Mohammadi, Y., Azad, R.C., Singh, S.P. ve Kaushik, S.K., 2008. Impact Resistance of Steel Fibrous Concrete Containing Fibres of Mixed Aspect Ratio, Construction and Building Materials, 23, 183-189.
- Nataraja, M.C., Dhang, N. ve Gupta, A.P., 1999. Statistical Variations in Impact Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight Test, Cement and Concrete Research, 29, 989-995.
- Nataraja, M.C., Nagaraj, T.S. ve Basavaraja, S.B., 2005. Reproportioning of Steel Fibre Reinforced Concrete Mixes and Their Impact Resistance, Cement and Concrete Research, 35, 2350-2359.
- Nia, A.A., Hedeyatian, M., Nili, M. ve Afroughsabet, V., 2012. An Experimental and Numerical Study on How Steel and Polypropylene Fibers Affect the Impact Resistance in Fiber Reinforced Concrete, International Journal of Impact Engineering, 46, 62-73.

- Nili, M. ve Afroughsabet, V., 2010a. Combined Effect of Silica Fume and Steel Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete, International Journal of Impact Engineering, 37, 879-886.
- Nili, M. ve Afroughsabet V., 2010b. The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete, Construction and Building Materials, 24, 927-933.
- Ranjan, R., Banerjee, S., Singh, R.K. ve Banerji, P., 2014. Local Impact Effects on Concrete Target Due to Missile an Empirical and Numerical Approach, Annals of Nuclear Energy, 68, 262-275.
- Ramakrishna, G. ve Sundararajan, T., 2005. Impact Strenth of a few Natural Fibre Reinforced Cement Mortar Slabs: A Comparative Study, Cement and Concrete Composites, 27, 547-553.
- Rao, M.C., Bhattacharyya, S.K. ve Barai, S.V., 2011. Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load, Construction and Building Materials, 25, 69- 80.
- Song, P.S., Wu, J.C., Hwang, S. ve Sheu, B.C., 2005. Assessment of Statistical Variations in Impact Resistance of High Strength Concrete and High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 35, 393-399.
- Su, H. ve Xu, J., 2013. Dynamic Compressive Behavior of Ceramic Fiber Reinforced Concrete Under Impact Load, Construction and Building Materials, 45, 306-313.
- Swamy, R.N. ve Jojagha, A.H., 1982. Impact Resistance of Steel Fibre Reinforced Lightweight Concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 4, 209-220.
- Toutanji, H., McNeil, S. ve Bayasi, Z., 1998. Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Concrete, Cement and Concrete Research, 28, 961-968.
- Wan, F., Jiang, Z., Tan, Q. ve Cao, Y., 2016. Response of Steel Tube Confined Concrete Targets to Projectile Impact, International Journal of Impact Engineering, 94, 50-59.
- Wang, N., Mindess, S. ve Ko, K., 1996. Fibre Reinforced Concrete Beams Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 26, 363-376.
- Xiao, J., Li, L., Shen, L. ve Poon, C.S., 2015. Compressive Behavior of Recycled Aggregate Concrete Under Impact Loading, Cement and Concrete Research, 71, 46-55.
- Xu, B., Toutanji, H.A. ve Gilbert, J., 2010. Impact Resistance of Polyvinyl Alcohol Fiber Reinforced High Performance Organic Aggregate Cementitious Material, Cement and Concrete Research, 40, 347-351.
- Yazıcı, Ş. ve Sezer, G.İ., 2008. Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agregada Maksimum Boyutunun Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 237-245.
- Zeynal, E. ve Yazıcı, Ş., 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.