

BETON DAYANIMINDAKİ DEĞİŞİMİN ÇARPMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Erkan KANTAR¹, Addussamet ARSLAN², Özgür ANIL²

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa.

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

erkan.kantar@bayar.edu.tr, aarslan@gazi.edu.tr, oanil@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 06.04.2010; Kabul/Accepted: 28.04.2010)

ÖZET

Betonarme yapıların etkisi altında kaldığı, davranışı en az bilinen yükleme tipi çarpma yüklemesidir. Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlemiş ve beton basınç dayanımındaki değişimin, betonun çarpma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada beş adet normal ve beş adet yüksek dayanımlı olmak üzere toplam on adet donatısız beton kiriş elemanı üretilmiş ve beş farklı yükseklikten düşürülen sabit ağırlıklı çekiçle, çarpma yüklemesi uygulanarak test edilmiştir. Meydana gelen çarpma etkisiyle oluşan ivme, zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Deney elemanlarının hız, deplasman ve enerji değişimleri hesaplanmıştır. Farklı yüksekliklerden düşürülen sabit ağırlıklı çekicinin normal ve yüksek dayanımlı betonda meydana getirdiği göçme modları gözlenmiştir. Beton basınç dayanımındaki değişimin beton çarpışma davranışı üzerinde önemli değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Basınç dayanımının artması ile tüketilen enerjinin, çekiç düşme sayısının, ivmenin arttığını ve deplasmanların azaldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Beton basınç dayanımı, Çarpma davranışı, Serbest ağırlık düşürme.

EFFECT OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH VARIATION ON IMPACT BEHAVIOUR

ABSTRACT

The least well known loading type is the impact loading that are affecting on to RC structures. For these reason an experimental study is conducted, and the effect of concrete compression strength variation on impact behavior of concrete investigated. Total ten beam specimens at which five of them are manufactured with normal compression strength concrete without reinforcement are prepared. Remaining five had high concrete compression strength. These specimens are tested under the impact loading that is applied by dropping constant weight hammer from five different heights. The acceleration due to impact loading is measured against time. The change of velocity, displacement and energy are calculated for all specimens. The failure modes of the specimens with normal and high concrete compression strength are observed under the loading of constant weight impact hammer that are dropped from different heights. The increase in compression strength of concrete is significantly affected on the impact behaviors of the specimen, and as the compression strength increase impact behavior improved. Dissipated energy, the number of the hammer drops, and accelerations are increased, and displacement is dropped.

Keywords: Compression Strength of Concrete, Impact Behavior, Free Fall of Weight.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Dünyada yaşayan her insan başına yılda ortalama 1 ton beton imalatı yapılmaktadır [1]. Beton her türlü yapıda ekonomik ömrü boyunca çok çeşitli yüklere maruz kalmaktadır. Betonarme yapılara

etki eden yükler statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılabilir. Dinamik yükler; patlayıcıların yarattığı şoklar, mermi veya roket çarpması, rüzgârlar, depremler, beton köprü –petrol platformu ayaklarına gemi çarpması, heyelan bölgesi olan yerlerde yapılan betonarme yapıların üzerine kaya düşmesi ve makine titreşimleri vb. olarak sıralanabilirler. Dinamik yükler

içerisinde, özellikleri en az bilinen ve incelenmiş yüklemelerden biri çarpma yüklemesidir. Çarpma yüklemesi statik yükler gibi kalıcı ve etki özellikleri (süresi, büyüklüğü) belirli olmamakla birlikte anlık şiddeti diğer yüklemelere göre çok daha fazla değerlere ulaşabilmektedir [2, 3]. Teknolojik gelişmelerle birlikte çelik, beton gibi temel yapı malzemelerinin çarpma gibi farklı yükler altında gösterdikleri davranış biçimi daha da önem kazanmıştır. Örneğin nükleer santrallerde reaksiyonlar sırasında ortaya çıkan yükler kısa sürede, çok büyük değerlere ulaşabilmektedir. Çok fazla sayıda insanın yaşadığı, askeri önemi olan veya stratejik olarak çok önemli yapıların çarpma etkilerini de gözönüne alarak tasarlanmaları bir gereklilik haline gelmiştir.

Çarpma deneyleri yakın tarihimize kadar temel yapı malzemelerinden olan çelik üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat betonun aktif kullanımı yaygınlaştıkça, çarpma etkisi altında davranışı önem kazanmaya başlamıştır. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda deney metodları ve prosedür hakkında herhangi bir standart oluşturulamamıştır [4-7]. Fakat ASTM E 23 yönetmeliği çarpma deneylerinde kullanılacak limitlerin belirlenmesinde ve kullanılan test düzeneklerinin performanslarının artırılmasında önemli gelişmeler kaydetmiştir [8]. Yapılan çalışmalar incelediğinde yapı malzemeleri üzerindeki çarpma deneylerinin iki ana eksen üzerinde yürütüldüğü görülmüştür. Bunlardan birincisi, numunelerin çeşitli test aletleri yardımıyla, darbe kuvvetleri altında incelenmesi esasına dayanmaktadır. Bu tür çalışmalar daha çok çelik malzemesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Diğer çalışmalarda ise ağırlık düşürücü aletlerin kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntem beton üzerinde yapılan çarpma deneylerinde daha çok kullanılmıştır [9, 10]. Literatürde betona ilave edilen polipropilen veya çelik lifler gibi katkıların çarpma davranışına olan etkileri incelenmiştir [11, 12]. Bu çalışmalarda lif katkılarının betonun çarpma davranışını olumlu etkilediği belirlenmiştir. Ancak lif katkıları betonun işlenebilirliğini ve basınç dayanımını azaltmakta, maliyetini artırmaktadır. Çok büyük miktarlarda dökülecek beton elemanlarda lif katkılarının homojen olarak dağıtılmaları ve etkilerinin her yerde aynı olması da uygulanabilirlik açısından mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle beton çarpma davranışının iyileştirilmesi amacıyla sadece standart beton karışımları ile beton basınç dayanımının artırılmasının çarpma davranışı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için deneysel bir çalışma düzenlenmiştir.

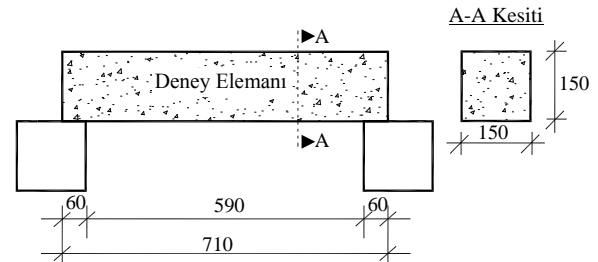
Bu çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonun çarpma etkisi altında nasıl bir davranış sergilediği araştırılmıştır. Deneysel çalışmada 10 adet donatısız beton kiriş numunesi üretilmiştir. 5 adedi normal dayanımlı, 5 adedi ise yüksek dayanımlı betondan üretilen deney elemanları serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği ile test edilmiştir. Deney elemanlarına

serbest düşme 5 farklı yükseklikten uygulanmıştır. Yükseklikler sırası ile 300, 350, 400, 450 ve 500 mm'dir. Çalışma sırasında; beton dayanımındaki değişimin; çatlak gelişimleri, vurucu düşme sayısı, numunedeki ivme dağılımı ve numunelerin göçme sırasında göstermiş oldukları davranış üzerinde neden olduğu farklılıklar incelenmiştir. Yapılan ölçümler kullanılarak deney elemanlarının hız, deplasman ve yutulan enerji miktarları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Deney Elemanları ve Malzeme (Test Specimens and Materials)

Deneysel çalışmada 710x150x150 mm boyutlarında donatısız, beton kiriş elemanları üretilmiştir. Deneysel program kapsamında 5 adet normal dayanımlı ve 5 adet yüksek dayanımlı olmak üzere toplam 10 adet deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarına çarpma yüklemesi özel olarak üretilen serbest ağırlık düşürücü bir araç yardımıyla uygulanmıştır. Deney elemanlarına sabit ağırlık 5 farklı yükseklikten düşürülmüştür. Deneylere küçük yükseklikten başlanmış ve her deney elemanına sabit ağırlık belirli bir yükseklikten düşürülerek ölçümler alınmıştır. Deney elemanlarına çarpma etkisi göçme meydana gelene kadar uygulanmış ve davranışları gözlenmiştir. Düşme yükseklikleri 300, 350, 400, 450 ve 500 mm'dir. Normal beton basınç dayanımlı birinci elemana 300 mm yükseklikten düşürülen sabit ağırlık, yüksekliği her deney elemanında 50 mm artırılarak 5. deney elemanında 500 mm değerine ulaşmıştır. Aynı yüklem programı yüksek beton basınç dayanımlı deney elemanı serisinde de uygulanmıştır. Deney elemanlarının geometrik boyutları normal ve yüksek dayanımlı deney serisi için özdeş olup Şekil 1'de verilmiştir. Deney elemanlarının özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Deney Elemanlarının Geometrik Boyutları (Figure 1. Dimensions of Test Specimens)

Deney elemanlarının beton basınç dayanımları aynı özellikte betondan üretilen 150x300 mm boyutlarında standart silindirik numunelerine uygulanan aksel basınç testi ile belirlenmiştir. Normal basınç dayanımlı betondan üretilen 5 deney elemanı ve yüksek dayanımlı 5 deney elemanının betonları bir kerede dökülerek deney elemanı serilerindeki elemanların beton basınç dayanımlarının birbirine

yakın olması sağlanmıştır. Her deney elemanından alınan 5 adet silindir numune üzerinde yapılan test sonucunda belirlenen beton basınç dayanımları Tablo 1’de verilmiştir. Normal ve yüksek dayanımlı beton serisinde üretilen beşer adet deney elemanının basınç dayanımları birbirlerine oldukça yakın elde edilmiştir. Deney elemanları beton basınç dayanımları arasındaki korelasyon oldukça yüksektir. Normal beton basınç dayanımlı deney elemanlarının basınç dayanımları arasındaki varyasyon değeri ve standart sapması sırası ile 0.06 ve 0.25 değerindedir ve oldukça düşüktür. Yüksek dayanımlı deney elemanları için ise varyasyon ve standart sapma değerleri 0.10 ve 0.31 olarak hesaplanmıştır. Normal ve yüksek basınç dayanımlı beton üretimi için kullanılan malzemelerin ağırlıkça karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Deney Elemanları (Table 1. Test Specimens)

Deney Elemanı	Eleman Boyutları (mm)	Beton Basınç Dayanımı	Ağırlık Düşme Yüksekliği (mm)	Beton Dayanımı (MPa)
1	710x150x150	Normal Basınç Dayanımlı Beton	300	24,86
2	710x150x150		350	24,36
3	710x150x150		400	24,72
4	710x150x150		450	25,00
5	710x150x150		500	24,58
6	710x150x150	Yüksek Basınç Dayanımlı Beton	300	45,23
7	710x150x150		350	45,89
8	710x150x150		400	46,02
9	710x150x150		450	45,78
10	710x150x150		500	45,56

Üretilen normal ve yüksek basınç dayanımlı beton deney elemanları ve silindirik numunelere aynı şartlar altında kür uygulanmıştır. Deney elemanları dökümünden bir gün sonra su tankına yerleştirilmiş ve 7 gün su tankında bekletildikten sonra aynı laboratuvar ortamında 20 gün bekletilmiştir.

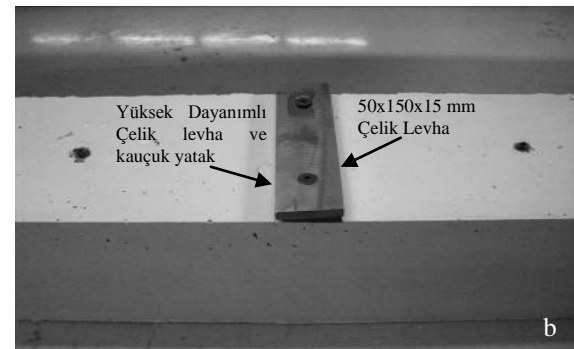
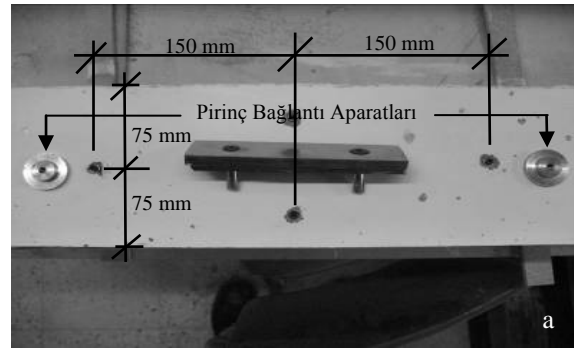
Tablo 2. Beton Karışım Oranları (Table 2. Concrete Mix Properties)

Normal Basınç Dayanımlı Beton		
Malzeme	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça Yüzde (%)
Çimento	22,5	20,9
Çakıl (7-15 mm)	40	37,3
Kum (0-7 mm)	30	27,9
Su	15	13,9
Yüksek Basınç Dayanımlı Beton		
Malzeme	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça Yüzde (%)
Çimento	42,3	18
Silis Dumanı	4,23	1,8
Çakıl (7-15 mm)	44,65	19
Kum (0-7 mm)	122,20	52
Plastikleştirici	0,48	0,2
Su	21,15	9

Karışımlarda agrega olarak 0-7 mm ve 7-15 mm dane çaplarına sahip, iki tip malzeme kullanılmıştır. Beton üretiminde KPÇ 42.5 tipinde portland çimentosu kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için deney elemanlarına çimento ağırlığının 1% oranında akışkanlaştırıcı, ve 10% oranında silis dumanı eklenmiştir.

Üretilen deney elemanları priz sürelerinin tamamlanmasından sonra test edilmeye hazırlanmıştır.

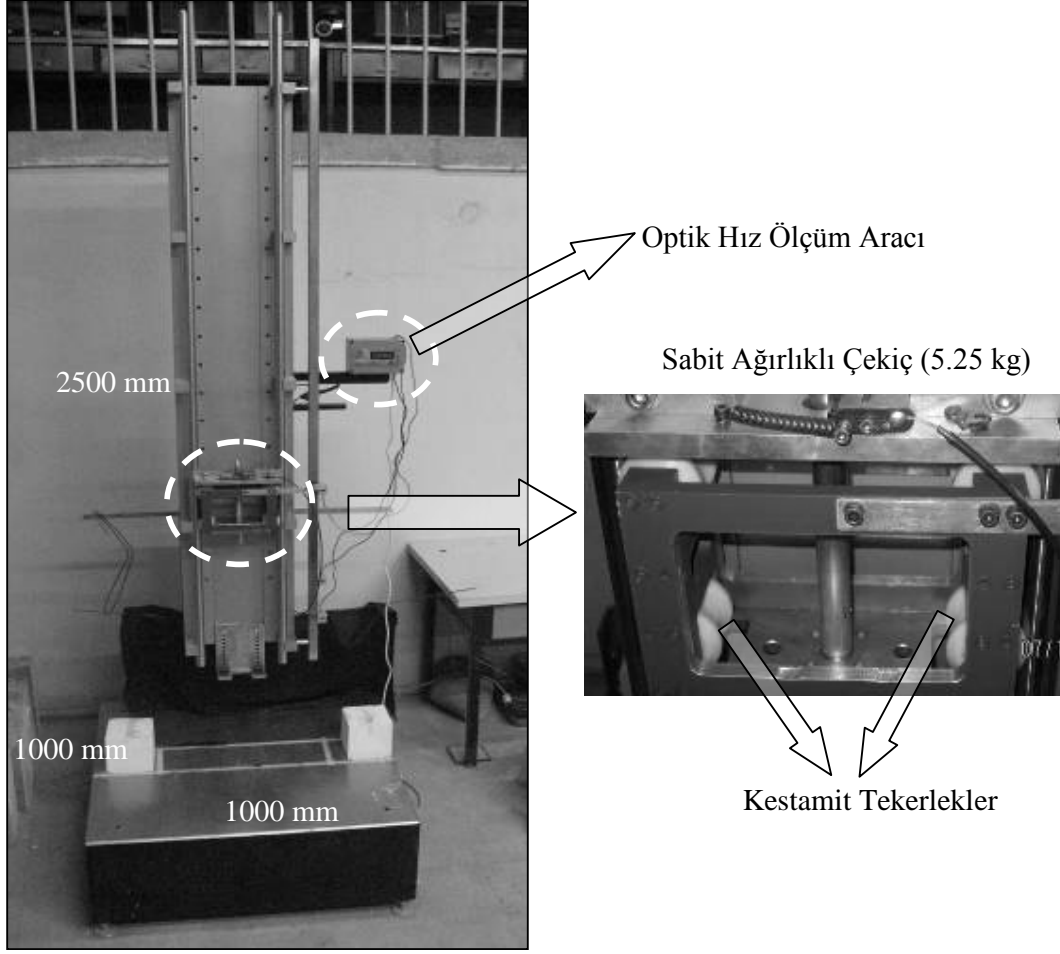
Aynı beton dayanımına sahip deney elemanlarının testi aynı günde yapılmıştır. Daha sonra sabit ağırlıklı çekicinin oluşturacağı çarpma etkisinin ölçülebilmesi için kullanılacak sensörlerin yerleri belirlenmiş ve özel prinç aparatlar belirlenen yerlere dubeller ile sabitlenmiştir. Ayrıca sabit ağırlıklı çekicinin deney elemanı üzerine düşerek yüklemeyi aktaracağı bölgeye özel olarak üretilen çok yüksek dayanımlı çelik bir parça kauçuk yatağı ile birlikte iki adet çelik dubelle bağlanmıştır. Böylelikle deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesinin çizgisel olarak kesite yayılması sağlanmıştır. Bu aparatlar bütün deney elemanlarında aynı noktalara bağlanarak alınan ölçümlerin ve uygulanan yüklemenin özdeş olması sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deney Elemanlarına Bağlanan Ölçüm Aparatları (Figure 2. Measuring Devices of Specimens)

2.2. Deney ve Ölçüm Düzenegi (Test Setup and Instrumentation)

Literatür incelendiğinde çarpma deneylerinde kullanılan ağırlık düşürücü araçların farklı yükseklik ve farklı ağırlık seçeneklerine imkan sağlayacak şekilde tasarlandığı görülmüştür. İncelenen çalışmalar ışığında sabit ağırlık düşürücü aracın boyutları belirlenmiştir. Çarpma deneylerinde sonuçları etkileyen en önemli faktörlerden biri olan eksantrisite (dış merkezlik) yapılan ön düşürme testleri sonunda sıfırlanmıştır. Eksantrisitenin sıfırlanması işlemi, deney düzenegi tabanındaki çelik platformun ağırlığının artırılmasıyla sağlanmıştır. Tasarlanan düzeneğe ait bazı detaylar Şekil 3’de gösterilmiştir. Tabandaki platform boyutları 1000 mm olan kare şeklinde çelik malzemeden imal edilmiş olup 1000 kg



Şekil 3. Deney Düzeneği (Figure 3. Test Setup)

ağırlığındadır. Deney düzeneği 2500 mm yükseklikten değişik ağırlıklar düşürme kapasitesine sahiptir. Deneylerde kullanılan çekicinin ağırlığı 5.25 kg olup bütün testlerde sabit tutulmuştur. Düşme yükseklikleri ise 300-500 mm arasında değişim göstermiştir. Deney elemanlarına çarpma yüklemesi her yükseklikte göçmeye ulaşana kadar uygulanmıştır. Deneyler sırasında elde edilen sonuçları etkileyen bir diğer faktör olan sürtünme özel malzemeler kullanılarak azaltılmıştır. Vurucu çekicinin serbest düşmesi sırasında, kılavuzluğunu yapan sert krom kaplı taşlanmış millerle iletişimini tekerlek şeklinde tasarlanmış, kestamit malzemesinden imal edilmiş parçalar sağlamıştır.

Çekicinin numune ile etkileşimi kauçuk yataklı çelik bir plaka ile gerçekleştirilmiştir. İçsel etkileri azaltmak için ise bu çelik plaka altında sert kauçuk malzeme yerleştirilmiştir. Çelik plaka ve sert kauçuk 50x150x15 mm boyutlarındadır. Kauçuk yataklı çelik plaka numuneler üzerine çelik dübeller yardımı ile sabitlenmişlerdir. Vurucu çekicinin deney elemanı üzerine vurma hızını ölçmek için deney düzeneğine bir elektronik araç yerleştirilmiştir. Araç üzerine yerleştirilen optik fotoseller yardımıyla serbest düşme sırasında ne kadarlık bir zamanın geçtiği belirlenebilmekte ve buradan çekiç hızı

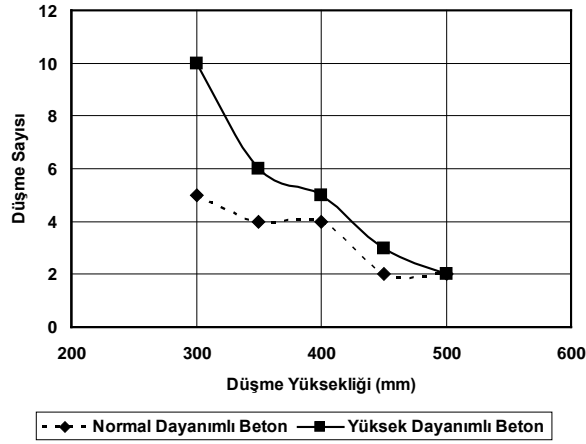
hesaplanabilmektedir. 2 Adet ivme ölçer deney elemanına simetrik olacak şekilde numune simetri merkezinin her iki yanına 150 mm uzaklığa yerleştirilmiştir. Yerleştirilen 2 ivme ölçer ile beton kiriş deney elemanlarının sol ve sağ yarılarındaki ivme değerlerinin nasıl değişim gösterdiği ölçülmüştür. İvme ölçerler numuneler üzerine çelik dübeller yardımıyla monte edilen özel prinç aparatlara monte edilmişlerdir. Deney elemanlarının test edilmesi sırasında ivme ölçerlerden alınan veriler bir veri toplayıcı tarafından bilgisayara aktarılmış, özel bilgisayar programları yardımıyla bilgisayardan takip edilmiş ve değerlendirmeleri yapılmıştır.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR (RESULT AND DISCUSSIONS)

3.1. Gözlemlenen Davranış ve Göçme Modları (Observed Behavior and Failure Modes of Specimens)

Deney elemanlarına belirlenmiş olan 5 ayrı yükseklikten düşürülen sabit ağırlıklı (5.25 kg) çekiç ile göçmeye ulaşmaya kadar çarpma yüklemesi uygulanmıştır. Her bir düşmede ivme ölçerler kullanılarak numunelerde oluşan içsel etkiler belirlenmiştir. Deney esnasında her bir deney elemanının çatlak oluşumu, ivme-zaman ilişkisi, çekiç düşme sayısı ve numunelerin genel davranışı takip

edilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan düşme sayısının düşme yüksekliği ile değişimi Şekil 4’deki grafikte verilmiştir. Normal ve yüksek beton basınç dayanımlı deney elemanlarında düşme yüksekliği arttıkça deney elemanlarına uygulanan düşme sayısı da azalmıştır. Artan düşme yüksekliği ile yüksek beton basınç dayanımlı deney elemanlarında düşme sayısı normal basınç dayanımlı deney elemanlarına göre daha hızlı bir azalım göstermiştir. 500 mm düşme yüksekliğine sahip yüksek ve normal basınç dayanımlı deney elemanları 2 düşmede göçmüştür. Deney düzeneğindeki ölçüm aleti ile alınan düşme süreleri düşme yüksekliği ile değişim göstermiş olup beton basınç dayanımı ile aralarında bir ilişki bulunmamaktadır. 300, 350, 400, 450 ve 500 mm düşme yüksekliklerinde ölçülen düşme süreleri sırası ile 0.235, 0.262, 0.286, 0.297 ve 0.314 saniye olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Düşme Yüksekliği ile Sayısı Arasındaki İlişki (Figure 4. Drop Height-Drop Number Relation of Specimens)

Normal ve yüksek basınç dayanımlı beton kiriş deney elemanlarının çarpma yüklemesi altındaki hasar biçimleri ve göçme şekilleri birbirinden farklılık göstermiştir. Normal basınç dayanımlı deney elemanlarında süneklığın, yüksek basınç dayanımlı deney elemanlarına göre daha fazla olması nedeniyle düşürülen ağırlık normal dayanımlı deney elemanlarında daha az sayıda zıplama (re bound) gerçekleştirmiştir. Yüksek dayanımlı deney elemanlarında ise daha fazla zıplama oluşmuştur. Normal dayanımlı deney elemanlarında zıplama sayısının daha az olmasına deney elemanlarının süneklığının yüksek olması nedeniyle uygulanan çarpma kuvvetinin daha hızlı sönümlenmesinin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca normal dayanımlı deney elemanlarında takip eden düşmeler sonrasında oluşan kılcal çatlakların gelişmesi ve genişliğinin artması gözlemlenmiştir. Yüksek dayanımlı deney elemanlarında düşme sayısı daha fazla olmasına rağmen çatlak gelişimi çok ani olmuş ve deney elemanı birbirini takip eden düşmeler sonrası gözlemlenebilir hiçbir hasar belirtisi göstermeden birden göçmüştür.

Normal basınç dayanımlı deney elemanlarında kırılmanın oluşmasında agrega dağılımının daha önemli rol oynadığı, deney elemanlarında oluşan çatlakların agregaların etkisiyle dallanma gösterdiği ve çatlak dağılımının deney elemanları arasında değişim göstermesine neden olduğu düşünülmektedir. Normal beton basınç dayanımlı deney elemanlarında oluşan kırılma düzlemi kiriş alt yüzünden başlayarak çarpma yüklemesinin uygulandığı noktaya doğru ilerlerken kiriş eksenine ile açmış ve kırılma düzlemi agrega dağılımından etkilenmiştir. Test edilen beş adet normal beton basınç dayanımlı deney elemanında oluşan kırılma düzlemleri birbirinden farklı açıda ve şekilde meydana gelmiştir. Normal beton basınç dayanımlı deney elemanlarında kırılma düzlemi incelendiğinde, kırılmanın agrega ve matris arasındaki ara yüzeyden gerçekleştiği, agregalarda kırılma meydana gelmediği görülmüştür. Yüksek dayanımlı deney elemanlarında ise kırılma düzlemi hemen hemen kiriş orta noktasından geçerek yüklemenin uygulandığı çelik plakaya doğru dik bir açı ile ilerlemiştir. Kırılma düzlemi kiriş eksenine yaklaşık olarak dik bir şekilde oluşmuştur. Deney elemanlarının hepsinde kırılma düzlemi aynı şekilde kiriş eksenine dik olarak oluşum göstermiştir. Ayrıca kırılma düzleminin agrega dağılımından çok daha az etkilendiği gözlemlenmiştir. Kırılma düzlemi incelendiğinde kırılmanın agrega ve matrisi keserek meydana geldiği görülmüştür. Deney elemanlarının kırılma düzlemlerinden örnek olarak alınmış iki fotoğraf Şekil 5’de verilmiştir.

3.2. Elemanlarının İvme, Hız, Yerdeğiştirme Davranışları (Acceleration, Velocity and Displacement Behaviors of Specimens)

Deney elemanlarının çarpma yüklemesi etkisi altındaki içsel davranışlarını incelemek için kiriş elemanları üzerinden simetrik olarak iki ivme ölçümü alınmıştır. Deney elemanlarından alınan zamana bağlı ivme ölçümleri kullanılarak zamana göre hız ve deplasman değişimi grafikleri elde edilmiştir.



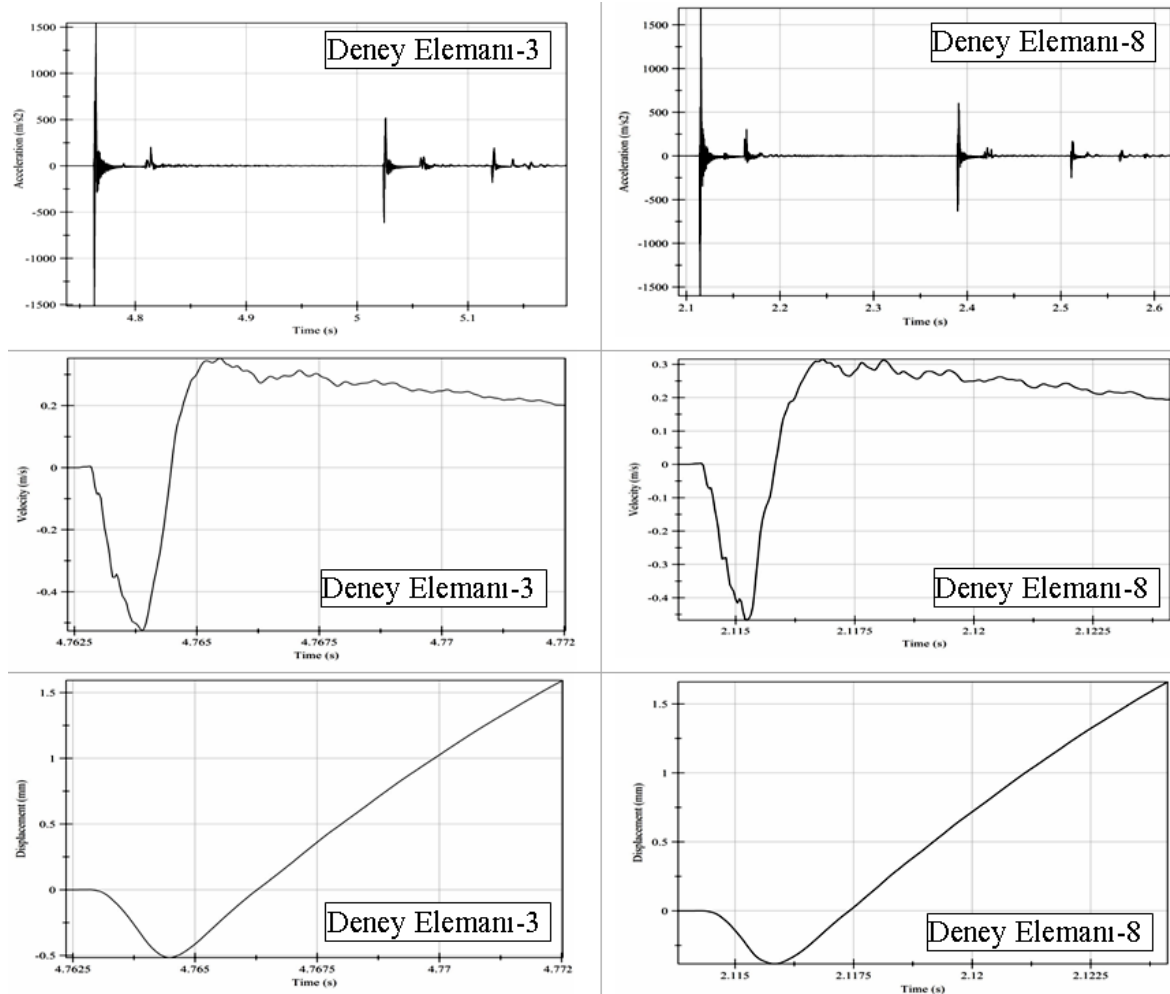
Şekil 5. Deney Elemanları Kırılma Düzleminde Örnekler (Figure 5. Example of Specimens Failure Plane)

Hız ve deplasman grafikleri ivmenin zamana göre integralleri alınarak hesaplanmıştır. Normal dayanımlı deney elemanlarından örnek olarak Specimen 3 deney elemanının, yüksek dayanımlı deney elemanları için ise Specimen 8 deney elemanı maksimum ivme, hız ve deplasman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Ayrıca simetri ekseninin sol ve sağ tarafından ölçülen maksimum, minimum ivme değerleri ve göçmenin meydana geldiği düşmelerdeki ivme değerleri ile ivmelerin azalım yüzdeleri Tablo 3'de verilmiştir. Deney elemanlarından ölçülen ivme grafikleri incelendiğinde deneye başlanan ilk düşmede sol ve sağ taraftan simetrik olarak alınan ivme ölçümlerinin simetriden dolayı birbirlerine oldukça yakın değerlere

sahip olduğu görülmüştür. Ancak betonun homojen bir malzeme olmaması ve artan düşme sayısı ile oluşan kılcal çatlak yerlerinin değişim göstermesi simetrik ivme dağılımını bozmuş ve hasarın yoğunlaştığı taraftaki ivme değerinde daha fazla düşüş meydana gelmiştir. Tablo 3'de verilen değerler incelendiğinde kirişlerin sol ve sağ tarafında maksimum ve göçme anında ölçülen ivme değerlerinin farklılaşımı görülmektedir. Normal ve Yüksek beton basınç dayanımlı deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerindeki azalım oranı, minimum ivme değerindeki azalım oranından daha fazla meydana gelmiştir.

Tablo 3. Deneylerden Ölçülen Maksimum İvme, Hız ve Deplasman Değerleri (Tablo 3. Measured Maximum Acceleration, Velocity and Displacements of Specimens)

Deney El. No	Maksimum İvme (gal)				Göçme İvmesi (gal)				İvmedeki Azalım Oranı (%)				Hız (m/sn)		Deplasman (mm)	
	Sol Taraf		Sağ Taraf		Sol Taraf		Sağ Taraf		Sol Taraf		Sağ Taraf		Maks	Min	Maks	Min
	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks	Min	Maks	Min				
1	260,47	-272,92	143,41	-213,94	166,00	-195,28	83,15	-177,80	57	40	72	20	-0,320	0,345	-0,290	1,446
2	132,41	-137,54	176,95	-175,83	53,90	-116,80	89,10	-165,29	146	18	99	6	-0,429	0,370	-0,384	1,831
3	157,39	-154,51	123,76	-142,25	76,50	-123,92	69,06	-120,81	106	25	79	18	-0,526	0,392	-0,517	1,932
4	190,10	-212,89	158,55	-264,10	145,68	-118,13	154,88	-250,30	30	80	2	6	-0,548	0,426	-0,553	2,265
5	158,09	-258,67	199,70	-238,81	158,10	-235,68	184,77	-213,78	20	10	8	12	-0,574	0,585	-0,589	2,507
6	149,00	-124,97	194,00	-167,13	64,40	-99,98	80,16	-98,56	192	25	181	70	-0,368	0,339	-0,315	1,266
7	199,29	-146,06	168,08	-147,77	87,55	-146,77	72,00	-132,70	128	11	145	11	-0,420	0,355	-0,307	1,584
8	172,38	-163,16	208,33	-224,94	132,15	-141,99	149,40	-197,61	30	15	42	20	-0,467	0,415	-0,384	1,659
9	148,21	-193,74	205,22	-206,06	68,16	-158,60	87,86	-152,72	117	26	134	35	-0,481	0,480	-0,406	1,833
10	141,34	-272,92	148,57	-150,83	128,15	-228,10	108,08	-139,96	10	20	37	8	-0,533	0,539	-0,356	2,066



Şekil 6. Maksimum İvme, Hız ve Yerdeğiştirme Grafiklerinden Örnekler (Figure 6. Example of Maximum Acceleration, Velocity and Displacement Graphs)

Ayrıca normal dayanımlı deney elemanlarında meydana gelen ivme azalımı yüksek dayanımlı deney elemanlarına göre daha azdır. Bu bulgular hem maksimum ve minimum ivmenin ölçüldüğü düşmeler hem de göçmenin meydana geldiği düşmeler için aynıdır. Göçmenin meydana geldiği düşmelerde de ölçülen maximum ivmelerdeki azalım oranı minimum ivmelerdeki azalım oranından büyük elde edilmiştir. Ayrıca yüksek dayanımlı deney serisindeki azalım oranları normal dayanımlı seriden daha büyüktür.

Çekicin numune ile ilk etkileşimi meydana geldikten sonra, aşağı yönlü yani yerçekimi ivmesi doğrultusunda ilk deformasyon meydana gelmektedir. Deplasman-zaman grafiklerinde deformasyonun meydana geldiği bu ilk kesim, deformasyon değerlerinin çok küçük olmasından dolayı görünmemektedir. Bu durum, numune göçmeye ulaşınca kadar uygulanan tüm yükleme adımlarında artarak meydana gelmiştir. Oluşan deformasyonun her düşmede artış göstererek testin devam etmesi, numune içerisinde görünmeyen çatlaklar ve deformasyonların ilk düşmeden itibaren ortaya çıkmaya başladığının önemli bir göstergesidir. İvme de ilk çarpma anında deplasman ile aynı yönde bir artış göstermektedir. Sönümlenme etkisi ile çekiç hareketini numune üzerinde sönümlerken numuneden her kalktığı (re bound) anda tekrar ters yönde bir ivmelenme söz konusu olmaktadır. İvme-zaman grafikleri incelendiğinde rebound sayısının ve oluşan ivme değerlerinin farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu bulgu malzemenin iç yapısının homojen olmadığı ve her düşmede deney elemanlarının içerisinde göremediğimiz değişken kılcal çatlakların meydana geldiğini göstermektedir. Ancak rebound sayısı normal beton basınç dayanımlı deney elemanlarında yüksek dayanımlı deney elemanlarına göre daha az meydana gelmiştir. Genel olarak, ivme – zaman grafiğine benzer olarak çekicin deney elemanı üzerinde her zıplama (re bound) gerçekleştirdiği anda hız – zaman grafiği de değişim göstermektedir. Önce deformasyon ile aynı yönde bir hız artışı meydana gelmekte, çekicin numune ile etkileşimi bittikten sonra numune ters yönde orijinal yerine gelecek şekilde hızlanmaktadır. Fakat göçmenin meydana geldiği düşmelerde hız – zaman grafikleri incelendiğinde tüm hız ilerlemesi göçmenin olduğu doğrultuda meydana gelmektedir. Çekicin numuneye aktardığı enerjinin dolayısıyla ivmenin azalmasıyla birlikte hızlar azalarak sönümlenmektedir. İvme – zaman grafiklerinde olduğu gibi hız – zaman grafiklerinde de hızların genlikleri simetrik değildir.

Deney elemanlarından ölçülen ivmelerin zamana göre integrali alınarak hesaplanan deplasman değerleri maksimum ivmenin ölçüldüğü düşme için hesaplanarak Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde normal beton dayanımlı deney elemanlarından hesaplanan aşağı yönlü deplasman değerlerinin yüksek dayanımlı deney elemanlarından

ortalama 19% daha büyük olduğu görülmüştür. Beş farklı yükseklikte uygulanan çarpma testlerinin tümü için normal dayanımlı deney elemanlarından ölçülen aşağı yönlü deplasman değerlerinin hepsi yüksek dayanımlı deney elemanlarından daha büyüktür. Düşme yüksekliği arttıkça normal dayanımlı deney elemanları ile yüksek dayanımlı deney elemanları arasındaki deplasman farkı da artış göstermiştir. Çekicin numune üzerinde çarpma etkisini söntüleyip zıt yönlü hareketine başlaması sonucunda deney elemanlarında oluşan yukarı yönlü deplasman değerleri ile aşağı yönlü deplasman değerleri için elde edilen bulgular benzerdir. Normal dayanımlı deney serisi için ölçülen yukarı yönlü deplasmanlar yüksek dayanımlı seriden ortalama 32% daha büyük hesaplanmıştır.

3.3. Deney Elemanları Tarafından Yutulan Enerji (Absorbed Energy Capacities of Specimens)

Deney elemanlarının enerjileri hesaplanırken çarpma sırasında enerji kaybının meydana gelmediği ve çekiç tarafından kaybedilen potansiyel enerjisinin tümünün beton kiriş elemanlar tarafından içsel deformasyon enerjisine çevrildiği kabul edilmiştir. Ayrıca hesaplamalarda lineer elastik malzeme kabulü yapılmış ve beton kirişlerin çatlama momentleri kullanılmıştır. Beton deney elemanları tarafından depolanan deformasyon enerjisi değerleri hesaplanırken sadece eğilme momenti etkisi ile depolanan enerji değerleri hesaplanmış ve kesme kuvveti etkisinde oluşan enerji ihmal edilmiştir. Kirişteki yerdeğiştirme profili sinüsoidal olarak kabul edilerek Eşitlik 1 ile ifade edilmiştir. Çekiç üzerindeki t anındaki toplam enerji kaybı değerinin tamamının kirişe aktarıldığı kabul edilmiştir.

$$u(x, t) = u_0(t) \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \quad (1)$$

Eşitlik 2’de verilen denklemde Eşitlik 3’de verilen kinetik enerji T(t) ve eğilme enerjisi U(t) değerleri yerine konularak Eşitlik 4 elde edilmiştir [9].

$$\Delta E_0(t) = T(t) + U(t) \quad (2)$$

$$T(t) = \frac{\rho B D l}{4} \dot{u}^2(x, t) \quad (3)$$

$$\Delta E_0(t) = \frac{\rho B D l}{4} u_0^2(t) + \frac{\pi^4 E I}{4 l^3} u_0^2(t) \quad (4)$$

Yapılan deneylerden ölçülen ivme değerlerinden elde edilen hız değerleri Eşitlik 3’de yerine konularak kinetik enerji değerleri hesaplanmıştır. Sinüsoidal olarak kabul edilen deformasyon profili kullanılarak hesaplanan eğilme enerjisi ile kinetik enerji değerleri toplanarak deneysel olarak ölçülen enerji değerleri hesaplanmıştır. Deney ölçümleri kullanılarak normal ve yüksek beton kapasitesine sahip deney elemanları için hesaplanan enerji tüketimi değerleri maksimum ivmenin ölçüldüğü düşme için Tablo 4’de verilmiştir.

Normal dayanımlı deney serisi için maksimum ivmenin ölçüldüğü düşme için hesaplanan enerji değerleri yüksek dayanımlı seri için elde edilen değerlerden ortalama %17 daha büyüktür. Normal dayanımlı deney elemanlarının daha fazla deplasman yapması ve sünekliliğinin daha fazla olmasının sadece maksimum ivmenin ölçüldüğü tek düşme için elde edilen bu farkın nedenleri olduğu düşünülmektedir. Ancak yüksek dayanımlı deney elemanlarının göçmeye ulaştıkları düşme sayılarının normal dayanımlı deney elemanlarından çok daha fazla olduğu unutulmamalı ve yüksek dayanımlı deney elemanları tarafından tüketilen kümülatif enerjinin normal dayanımlı deney elemanlarından daha büyük olduğu gözardı edilmemelidir. Enerji tüketim kapasiteleri arasındaki bu fark düşme sayılarının düşme yüksekliğinin artması ile azalması sonucunda azalım göstermekte ve 500 mm düşme yüksekliğine sahip normal ve yüksek dayanımlı deney elemanları birbirine çok yakın enerji tüketim kapasitesi sergilemektedir.

Tablo 4. Deney Elemanlarının Yuttuğu Enerji
(Tablo 4. Absorbed Energy Capacities of Specimens)

Deney Elemanı	Enerji (J)
1	1,346
2	1,769
3	2,649
4	1,742
5	3,159
6	1,295
7	1,689
8	2,090
9	2,219
10	1,797

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında beton kirişlerin serbest ağırlık düşürme test düzeneği ile çarpma etkisi altında test edilerek incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler ağırlık düşürme yüksekliği ve beton basınç dayanımıdır. İki farklı beton basınç dayanımına sahip deney elemanı grubuna 5 farklı yükseklikten sabit ağırlıklı çekiç düşürülerek çarpma davranışları incelenmiştir. Değerlendirmeler, deney elemanlarını göçmeye götüren düşme sayısı, ivme, hız, deplasman zaman değerleri, enerji kapasiteleri, çatlak şekli ve çatlak gelişimi incelenerek yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Tüm dünyada çok yaygın olarak kullanılan bir inşaat malzemesi olan betonun çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışı henüz bir standardı olmayan ve belirli bir test düzeneği olmayan bir yükleme türüdür. Bu konudaki deneysel verilerin son derece sınırlı olması nedeniyle sonuçların genelleştirilmesi oldukça zordur. Bu konudaki deneysel verilerin bu nedenle

son derece önemli olduğu düşünülmektedir. Yapılan testlerde son yıllarda betonun çarpma davranışını incelemekte en fazla kullanılan serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılmıştır.

- Çarpma davranışının değerlendirilmesinde incelenen önemli parametrelerinden biri olan düşme sayısının beton basınç dayanımı ile değişim gösterdiği belirlenmiştir. Beton basınç dayanımı yüksek olan deney serisindeki deney elemanlarını göçmeye ulaştıran düşme sayılarının normal dayanımlı deney elemanlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak ağırlık düşürme yüksekliği arttıkça yüksek ve normal dayanımlı deney elemanları arasındaki düşme sayısı farklılıkları gittikçe azalmış ve 500 mm düşme yüksekliğindeki yapılan testlerde yüksek ve normal dayanımlı deney elemanları 2 düşmede göçmeye ulaşmıştır.

- Normal ve yüksek basınç dayanımlı beton kiriş deney elemanlarının çarpma yüklemesi altındaki hasar biçimleri ve göçme şekilleri birbirinden farklılık göstermiştir. Normal basınç dayanımlı deney elemanlarında sünekliliğin yüksek basınç dayanımlı deney elemanlarına göre daha fazla olması nedeniyle düşürülen ağırlık normal dayanımlı deney elemanlarında daha az sayıda zıplama (re bound) gerçekleştirmiş, yüksek dayanımlı deney elemanlarında ise daha fazla zıplama oluşmuştur.

- Deney elemanlarında meydana gelen kırılma yüzeyleri incelendiğinde normal dayanımlı deney elemanlarında kırılma düzleminin agrega dağılımından etkilendiği ve kırılmanın genellikle agrega ile matris ara yüzeylerinden geçerek agrega yüzeylerinin matristen ayrılması ile gerçekleştiği gözlenmiştir. Agregada dağılımı normal dayanımlı deney elemanlarında oluşan çatlakların ve kırılma yüzeyinin dallanma göstererek değişimine neden olmuş ve beş deney elemanının hepsinde meydana gelen kırılma düzlemleri değişim göstermiştir. Yüksek dayanımlı beton dayanımına sahip deney elemanlarında kırılma düzlemleri incelendiğinde kırılmanın hem agregalarda hem de matrisin kendisinde meydana geldiği görülmüş ve agrega dağılımının kırılma düzleminin şeklini değiştirmede çok daha az etkili olduğu gözlenmiştir. Yüksek dayanımlı deney elemanlarının hepsinde oluşan kırılma düzlemi birbirine çok benzer bir şekilde kırış ekkenine dik olarak çarpma yüklemesinin uygulandığı çelik levhanın yerleştirildiği bölümde meydana gelmiştir.

- Betonda çarpma etkisi altında elde edilen ivme-zaman grafikleri incelendiğinde düşme sayısı arttıkça çekiçte oluşan potansiyel enerjinin çarpma etkisiyle kinetik enerjiye dönüşümüyle malzemenin iç yapısında gözle görülmeyen hasarların kalıcı olduğu, malzeme yapısına göre düşme sayısına bağlı olarak

elastik durumdan plastik duruma geçildiği ve göçmeye ulaşıldığı gözlenmektedir.

- Normal ve yüksek beton basınç dayanımlı deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerindeki azalım oranı, minimum ivme değerindeki azalım oranından daha fazla meydana gelmiştir. Ayrıca normal dayanımlı deney elemanlarında meydana gelen ivme azalımı yüksek dayanımlı deney elemanlarına göre daha azdır. Bu bulgular hem maksimum ve minimum ivmenin ölçüldüğü düşmeler hem de göçmenin meydana geldiği düşmeler için aynıdır.

- Normal beton dayanımlı deney elemanlarından hesaplanan aşağı yönlü deplasman değerlerinin yüksek dayanımlı deney elemanlarından ortalama %19 daha büyük olduğu görülmüştür. Beş farklı yükseklikte uygulanan çarpma testlerinin tümü için normal dayanımlı deney elemanlarından ölçülen aşağı yönlü deplasman değerlerinin hepsi yüksek dayanımlı deney elemanlarından daha büyüktür. Düşme yüksekliği arttıkça normal dayanımlı deney elemanları ile yüksek dayanımlı deney elemanları arasındaki deplasman farkı da artış göstermiştir.

- Normal dayanımlı deney serisi için maksimum ivmenin ölçüldüğü düşme için hesaplanan enerji değerleri yüksek dayanımlı seri için elde edilen değerlerden ortalama %17 daha büyüktür. Normal dayanımlı deney elemanlarının daha fazla deplasman yapması ve sünekliğinin daha fazla olmasının sadece maksimum ivmenin ölçüldüğü tek düşme için elde edilen bu farkın nedenleri olduğu düşünülmektedir. Ancak yüksek dayanımlı deney elemanlarının göçmeye ulaştıkları düşme sayılarının normal dayanımlı deney elemanlarından çok daha fazla olduğu unutulmamalı ve yüksek dayanımlı deney elemanları tarafından tüketilen kümülatif enerjinin normal dayanımlı deney elemanlarından daha büyük olduğu gözardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Nagaraj, T.S., Shashiprakash, S.G., Raghuprasad, B.K., "Reproportioning concrete mixes", **ACI Mater. J.**, Vol. 90, No. 1, 50–58, 1993.
2. Goldsmith, W., "**Impact: The Theory and Physical Behavior of Colliding Solids**", London Edward Arnold Limited, 145-240, 1960.
3. Murtiadi, S., "**Behavior of high-strength concrete plates under impact loading**", Master Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland, 1999.
4. Kishi, N., Konno, H., Ikeda, K., Matsuoka, K.G., "Prototype impact tests on ultimate impact resistance of PC rocksheds", **Int J Impact Eng.**, Vol. 27, No. 9, 969–85, 2002.
5. Ong, K.C.G., Basheerkhan, M., Paramasivam, P., "Resistance of fibre concrete slabs to low velocity projectile impact", **Cement Concrete Composites**, Vol. 21, No.5–6, 391–401, 1999.
6. Mindess, S., Cheng, Y., "Perforation of plain and fibre reinforced concretes subjected to low-velocity impact loading", **Cement Concrete Research**, Vol. 23, No. 1, 83–92, 1993.
7. Barr, B., Baghli, A.A., "Repeated drop-weight impact testing apparatus for concrete", **Magazine Concrete Research**, Vol. 40 No. 144, 167–76, 1989.
8. Siewert, T. A., Manahan, M. P., McCowan, M.P., Holt, J. M., Marsh, F. J., Ruth, E. A., "The history and importance of impact testing", **ASTM**, 1999.
9. Banthia, N. P., "**Impact resistance of concrete**", PhD Thesis, The University of British Columbia, 1987.
10. Bull, P. H., Edgren, F., "Compressive strength after impact of CFRP-foam core sandwich panels in marine applications", **Composites: Part B**, 35: 535-541 (2004).
11. Badr, A., Ashour, A.F., Platten, A.K., "Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete", **International Journal of Impact Engineering**, Vol. 32, 1907–1920, 2006.
12. Nataraja, M.C., Nagaraj, T.S., Basavaraja. S.B., "Reproportioning of steel fibre reinforced concrete mixes and their impact resistance", **Cement and Concrete Research**, Vol. 35 , 2350 – 2359, 2005.

