

DEPREMİN TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Hatice Gizem ŞAHİN * 

Mustaf Mohamud ABDIRAHMAN ** 

Ali MARDANI *** 

Adem DOĞANGÜN **** 

Alınma: 28.10.2024; düzeltme: 19.01.2025; kabul: 14.02.2025

Öz: Türkiye’de meydana gelen ve asrın felaketi olarak adlandırılan 6 Şubat Depremleri 11 ilde 50 binden fazla can kaybına ve 40 bin civarında yapının yıkılmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın temel amacı, ana depremin yanında ardışık ve artçı depremleri de dikkate alarak, depremin beton dayanımı üzerindeki etkilerini irdelemektir. Diğer taraftan ülkemizde özellikle depremde enkaz haline gelmiş binalardan alınan karotların deneye tabi tutulması sonucu elde edilen dayanım değerleri ile proje betonunda öngörülen beton sınıfının karşılaştırılmasının doğru olup olmadığının ortaya konulması da amaçlanmaktadır. Depremlerin beton dayanımı üzerindeki etkisi; taze ve sertleşmiş beton olarak iki ayrı grup beton üzerinde değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, taze betonun 3 güne kadar depremden etkilendiği ve dayanımında %15-20 gibi belirli oranlarda düşüşler olduğu ortaya konulmuştur. Depreme maruz kalmış bir yapıdaki beton dayanımının depremden etkilenmesini her durumda geçerli olabilecek şekilde ortaya koyabilen bir çalışmaya yazarlar tarafından rastlanılmamıştır. Önümüzdeki yıllarda depremlerden elde edilen veriler kullanılarak yapay zekâ ortamında belirli deprem etkileri için de olsa dayanım düşüşünü ortaya koyan çalışmaların yapılması olasıdır. Dolayısıyla günümüzde deprem geçirmiş ve enkaz haline gelmiş bir bina için projesindeki beton sınıfı için öngörülen dayanımla, enkazdan alınan karotların dayanımlarını doğrudan karşılaştırmak doğru bir yaklaşım değildir. Zira henüz karot sonuçlarının nasıl değerlendirileceği yönetmelik ve standartlarımızda belli değildir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Beton, Basınç Dayanımı, Taze ve sertleşmiş beton

Effects of Earthquake on Fresh and Hardened Concrete

Abstract: February 6 earthquakes, which occurred in Turkey and were called the disaster of the century, caused more than 50 thousand deaths and the collapse of around 40 thousand structures in 11 provinces. The main purpose of this study is to examine the effects of consecutive and aftershock earthquakes on concrete strength, considering the main earthquake. It is also aimed to reveal whether the comparison of the strength values obtained by testing the cores taken from buildings that have been destroyed in earthquakes in our country and the concrete class envisaged in the project concrete is correct or not. It was revealed because of experimental studies that fresh concrete is affected by earthquakes for up to 3 days and its strength decreases by 15-20%. In the coming years, it is possible that studies will be conducted using data obtained from earthquakes using artificial intelligence to reveal the decrease in strength, even for certain earthquake effects. Therefore, it is not a correct approach to directly compare the strength of the

* Hatice Gizem Şahin Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

** Mustaf Mohamud Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

*** Ali Mardani Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

**** Adem Doğangün Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

concrete class foreseen in the project of a building that has been subjected to an earthquake and turned into rubble with the strength of the cores taken from the rubble.

Keywords: Earthquake, Concrete, Compressive Strength, Fresh and Hardened Concrete

1. GİRİŞ

6 Şubat 2023 tarihinde, Türkiye'nin güneydoğusunda Kahramanmaraş ve Elbistan merkezli 7,7 ve 7,6 büyüklüğünde iki büyük deprem meydana gelmiştir. Deprem Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde 11 ili içine alan 108.812 km²'lik bir alanda etkili olmuştur (Şekil 1). Diğer ülkelerle birlikte 350.000 km² civarında bir alan bu depremden etkilenmiştir. Ülke tarihinde yaşanmış en yıkıcı deprem fırtınası olarak kayıtlara geçen bu iki ana şoka ait kuvvetli yer hareketi kayıtları, saha gözlemleri ve bölge halkından alınan bilgilere göre ilk depremin Hatay ve Kahramanmaraş'ta ikinci depremin ise özellikle Malatya'da daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 1:
06.02.2023 depremlerinin etkili olduğu coğrafya (AFAD 2024)

Meydana gelen deprem ivmeleri bazı bölgelerde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) öngörülen ivme değerlerini aşmıştır. Depremlerin ardından büyüklüğü 6,7 Mw'e kadar varan 45 binin üzerinde artçı sarsıntı meydana gelmiştir. Depremler, Türkiye dışında da başta Suriye olmak üzere Lübnan, Kıbrıs, Irak, İsrail, Ürdün, İran ve Mısır'da da hissedilmiştir. Depremler özellikle Suriye'de etkili olup binaların yıkılmasına, can kayıplarına ve yaralanmalara neden olmuştur. 6 Şubat depremleri sonucunda resmi rakamlara göre Türkiye'de en az 53 bin 537, Suriye'de ise en az 8 bin 476 kişi hayatını kaybederken, 122 binden fazla kişi ise yaralanmıştır (Wikipedia, 2024).

Gülerce ve diğ., (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, yakın kaynak bölgesinden gelen kayıtların çoğunun, tipik darbe benzeri özelliklere sahip hız dalga formları içerdiği bildirilmiştir. Wu ve diğ., (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, darbe benzeri hareketlerin önemli deformasyonlara sebep olabileceği ve yapısal çökme riskini arttırabileceği belirtilmiştir. Büyük genlikli, uzun periyotlu hız darbelerinin yıkıcı etkilerinin 1966 Parkfield depremi, 1971 San Fernando depremi, 1979 Imperial Valley depremi, 1992 Landers depremi, 1994 Northridge depremi ve 1999 Chi-Chi depreminde gözlemlendiği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Wu ve diğ., 2023; Bertero ve diğ., 1978).

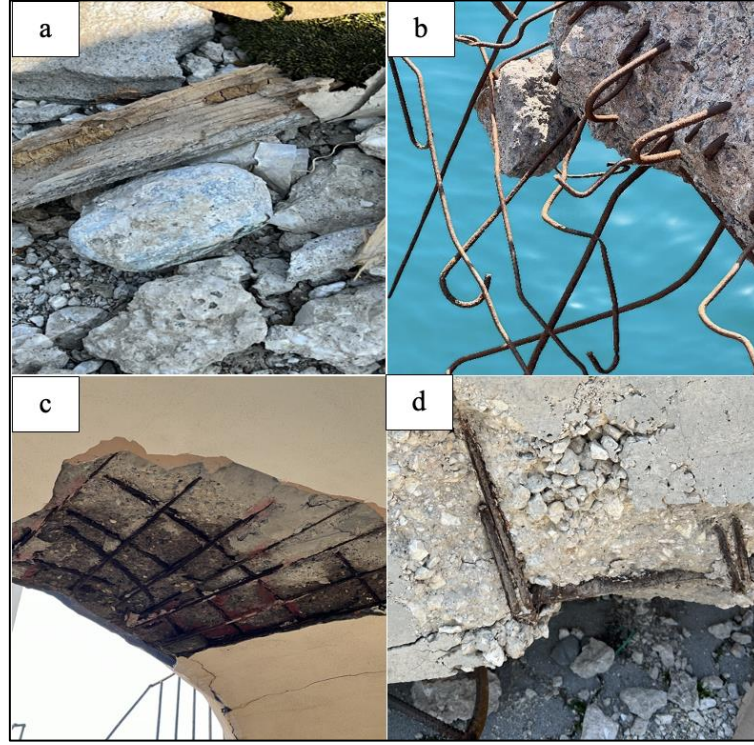
Yukarıda yapılan açıklamalardan görüldüğü gibi 6 Şubat depremleri sadece Türkiye'nin değil yıkıcılık ve can kayıpları açısından Dünyanın başta gelen en büyük depremleri arasında yerini almıştır. Genel olarak, depremlerin dört ilde yerel işgücü piyasaları üzerinde çok daha büyük etkisi olmuştur. Deprem nedeniyle kaybedilen işgücü Adıyaman'da %48,1, Hatay'da %45,2, Kahramanmaraş'ta %43,1 ve Malatya'da %58,8 olarak rapor edilmiştir (ILO 2023). Depremin oldukça yıkıcı ve büyük bir alanda etkili olması, can kayıplarının yanında mal kayıplarına ve ticari faaliyetlerin aksamasından dolayı maddi zararlara yol açmıştır. Bunun doğal bir sonucu olarak depremler sonucu oluşan yıkımlar, hasarlar, ölümler, yaralanmalar, maddi

tazminat davaları hızlı bir şekilde artmış ve ilerleyen zamanlarda sayılarının 200 bin civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Deprem sonrası enkazlardan insanların çıkarılması ya da ulaşım yollarının açılması bağlamında enkazların bir an önce kaldırılması gerekmektedir. Buna karşı bir durum olarak da zaman alıcı hukuki süreçler açısından enkaz kaldırılmadan önce delillerin toplanması gerekmektedir. Böylesi bir yıkıma yol açan geniş alana yayılmış bir depremde enkazların kaldırılması ya da delil toplama bekletilmesi doğal olarak karmaşaya yol açmaktadır. Hızlı olarak gerçekleşmesi gereken bu süreçte çekilen fotoğrafların yanında enkaz betonundan alınan karot numuneler en önemli delil olarak görülmektedir. Enkazdan alınan karotların deneye tabi tutulması sonucu elde edilen değerlere göre binlerce mühendis ya da yüklenici hukuki olarak sorumlu tutularak yargılanmaktadır. Bu hususun irdelendiği en önemli çalışmalardan biri olan ve Mazılıgüney & Yaman (2024) tarafından kaleme alınan yayında *“Bu depremlerde yıkılan yüzbinlerce betonarme binanın yıkılmasının ardındaki kök neden veya nedenleri belirlemeye çalışmak; neden sağlıklı bir yapı sistemi kuramadığımızı sorgulamak; bunu nasıl kuracağımızı araştırmak birinci önceliğimiz olması gerekirken, geçmişte yaptığımız şekilde kişisel suçluları arama eğilimimiz devam etmektedir. Yıkılan binalar çoğunlukla betonarme binalar olduğu için de ilk şüpheli olarak betonu görme eğilimindeyiz”* açıklamaları yapılmıştır.

Bir yapının depremde hasar görmesinde depremin, zeminin ve yapı taşıyıcı sisteminin özellikleri belirli oranlarda etkili olmaktadır. Depremin meydana getirdiği ivme, hız ve yer değiştirmeler, zeminin deprem esnasında başta zemin büyütmesi olmak üzere dinamik özelliklerindeki değişimler ile taşıyıcı sistem davranışında başta düzensizlikler olmak üzere tasarım yanlışlıkları konunun uzmanı mühendisler tarafından bilinmektedir. Ancak depremden sonra hasarlarla ilgili en fazla ‘deniz kumu kullanılmış, çimento hiç yok, elle beton dökülmüş’ gibi kötü beton söylemleri vatandaşların çoğunun duyduğu ve kısmen algıladığı söylemler olmaktadır. Bu makalede deprem hasarına neden olan diğer etmenler değil hukuki süreçlerde sıklıkla karşılaşılan sadece malzeme ve doğrudan beton sorunlarına odaklanılmaktadır.

Mardani ve diğ., (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, depremde hasar gören yapılarda malzeme kaynaklı yıkılma sebepleri incelenmiştir. Söz konusu yıkılma sebepleri i) agrega, (ii) donatı, (iii) bağlayıcı ve (iv) tasarım, yerleştirme ve sıkıştırma kaynaklı olmak üzere 4 farklı başlık altında değerlendirilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, granülometrisi uygun olmayan agrega kullanımından, düz yüzeyli donatı kullanımından, korozyona maruz kalan malzeme kullanımından ve tasarım, yerleştirme ve sıkıştırma hatasından kaynaklanan hasarlar sırasıyla Şekil 2.a-d’de gösterilmiştir.



Şekil 2:

Granülometrisi uygun olmayan agrega kullanımından, (b) düz yüzeyli donatı kullanımından, (c) korozyona maruz kalan malzeme kullanımından ve (d) tasarım, yerleştirme ve sıkıştırma hatasından kaynaklanan hasarlar (Mardani ve diğ., 2024)

Beton sahip olduğu avantajlardan dolayı, inşaat endüstrisinde kullanılan yapı malzemelerinin başında gelmektedir (Mardani-Aghabaglou, 2016). Betonun dayanım kazanma süreci hidrasyon reaksiyonu ile başlamakta ve zamanla gelişmektedir (Özen ve diğ., 2021). Bu özelliği ile betonun dayanım değişkenliği çelik ve ahşap gibi yapı malzemelerinden daha fazla olmaktadır (Lu ve diğ., 2022). Betonun erken yaş dayanımının, inşaat süresince yapıların güvenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve genellikle projelerin ilerlemesinde sınırlayıcı bir parametre olduğu Grist ve diğ., (2015) tarafından belirtilmiştir. Beton dayanımı, dayanım kazanma sürecinde, karıştırma ve yerleştirme işlemlerinden etkilenebilmektedir. Bunun yanı sıra, çeşitli araştırmacılar tarafından sismik etkinin beton dayanımı üzerinde ciddi değişikliklere sebep olabilecek bir dış faktör olduğu bildirilmiştir (Kappo, 2014; Alih ve diğ., 2019; Wang ve diğ., 2020). Özellikle ülkemizde gerçekleşen 2023 Kahramanmaraş depreminden sonra barınma ihtiyacının karşılanması amacıyla konut yapımlarına ve beton dökümlerine devam edilmesi, inşaat projelerinin yapım aşamasında belirli sismik riskler altında kalmasına neden olmuştur. Deprem bölgesinde yer alan ve inşası aşamasındaki yapılarda kullanılan betonun, projesinde öngörülen dayanıma henüz ulaşmadan sismik etkiye maruz kalmış olma ihtimalinin göz önünde bulundurulması ve bu durumun dayanım performansı üzerindeki etkisinin araştırılması gerekmektedir (Lu ve diğ., 2022). Beton, çimento ve su arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Hidratasyon reaksiyonu olarak bilinen bu süreçte, çimentonun kalsiyum silikat bileşenleri su ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) oluşturur. C-S-H, betona dayanım kazandıran ana bileşendir.

2. DEPREM ETKİSİNDEKİ BETON DAVRANIŞI

Bilindiği gibi, mevcut beton dayanımının projede öngörülen dayanımdan daha düşük olduğu değerlendirilmesine bağlı olarak yapıların hasar gördüğü ya da yıkıldığı sonucuna varılarak binlerce mühendis ve yüklenici yargılanmakta, bir kısmı ise tutuklanmış bulunmaktadır. Bu çalışmada ise kötü betonun yol açtığı yapı hasarları yerine, tam tersi bir yaklaşım benimsenerek depremlerin beton özellikleri üzerindeki etkileri irdelenmektedir. Depremi beton üzerindeki etkisi taze ve sertleşmiş beton olarak aşağıda iki grupta değerlendirilmektedir:

2.1. Depremi Taze Beton Üzerindeki Etkileri

Günümüzde depremin oluş zamanının bilimsel olarak bilinmesi mümkün değildir. Bu konuda çeşitli araştırmalar ya da görüşler ortaya konya da uzlaşma halinde bilinen ve kabul edilen bir yöntem bulunmamaktadır. Dolayısıyla deprem zamanına göre beton dayanımını ayarlama imkânı henüz yoktur. Ülkemizde yürürlükte olan standartlarda beton dayanım sınıfı tanımlanırken, 28 günlük silindirik ya da küp dayanımları dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla beton döküldükten sonra 28 gün geçmemiş betonlar Türk standardına (TS500) göre dayanımını henüz tam almamış betonlar olarak değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, deprem sarsıntılarının, erken yaşta depreme maruz kalan ve henüz dayanım performansı gelişmeyen taze betonun özellikleri üzerinde farklı etkilere sahip olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Hulshizer ve diğ., 1996; Ke ve diğ., 2006). Liu ve diğ., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, 9 büyüklüğündeki depremde taze betonun yüzeyinde çatlak yoksa dayanımın geri kazanılmasının sadece kürlenme koşulu ile ilgili olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği gibi betonun dayanımını kazanmasında başta ortamın sıcaklığı ve kür koşulları olmak üzere çok sayıda parametre etkili olmaktadır. Bu parametrelere bağlı olarak beton erken yaş dayanım almakta ya da sertleşip dayanım alması daha uzun süre almaktadır. Beton döküldüğü esnada plastik kıvama sahip olduğundan dayanımını, ortam koşullarına ve kendi özelliklerine bağlı olarak, zamanla kazanmaktadır. Uygulamada betoniye içindeki beton tam katılaşırsa betoniye tekrar çalıştırılırsa ve bu durum üç dört defa tekrarlanırsa betonun artık tasarlanan beton olmayacağı açıktır. Deprem durumu da bu duruma benzerlik göstermektedir. Başka bir ifadeyle, beton taze iken katılaşımaya başladığında artçı depremler peş peşe meydana gelirse mevcut durum yukarıda bahsedilen betoniye içindeki betonun durumuna benzer olacaktır. Konu ile ilgili olarak, Su ve Yen (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, betonun yerleştirildikten sonraki 24 saat içinde deprem sarsıntısına maruz kalması durumunda, 28 günlük dayanımının uygun kürlenme işlemi sayesinde %50'ye kadar kısmen geri kazanıldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kürlenme işleminin uygun yapılması halinde betonun 28 günlük elastisite modülü ve ultrasonik darbe hızı değerinin deprem sarsıntısından önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir. Depremden sonra beton yapıların elastisite modülünde azalma meydana gelmesi beklenen bir durumdur ancak bu konuda yapılan sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Araştırmacılar tarafından elastisite modülündeki azalmanın düşük dayanımlı betonlarda daha fazla deformasyona, yüksek dayanımlı betonlarda ise gevrek ve ani kırılma riskine neden olabileceği düşünülmektedir.

Taze betonla ilgili araştırılması ve incelenmesi gereken diğer bir husus ise depremde sonra beton dökülmesi durumudur. Meydana gelen depremde sonra farklı amaçlarla beton dökülmek durumunda kalınmaktadır. Depremde sonra, geçici konutların yapılmasında ve onarım-güçlendirme faaliyetlerinde yaygın olarak beton dökülmektedir. Bazen kayan bir kısımda hızlı dayanım alan dolgu betonu şeklinde, bazen barınma imkânı sunmak için gerek taban betonu gerekse taşıyıcı elemanlarda betonarme betonu olarak acil bir şekilde beton dökülmesi gerekli olabilmektedir. Ancak, ana depremde sonra artçı depremler meydana gelmektedir. Genel itibarı ile artçı depremlerin büyüklükleri ve yıkıcılık özellikleri giderek azalsa da nadir olarak 6 Şubat 2023 Türkiye depremleri gibi depremler de meydana gelebilmektedir. 6 Şubat depremlerinde 7,7 büyüklüğündeki depremde hemen 9 saat sonra 7,6 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu iki depremin arkasından günlerce süren 45 binin üzerinde değişik büyüklüğe sahip

artçı depremler meydana gelmiştir. Artçı depremler içerisinde neredeyse tek başına ayrı bir deprem sayılabilecek büyüklüğü 6,7 ye ulaşan depremler meydana gelmiştir. Dolayısıyla ana depremlerden sonra dökülen taze betonlar, artçı depremlerin farklı düzeylerde titreşim etkilerine maruz kalmıştır.

Yapılan incelemelerde taze beton üzerinde depremin etkisinin araştırıldığı sınırlı sayıda çalışmanın mevcut olduğu anlaşılmıştır. Su ve Yen (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, simüle edilmiş depremin tepe yer ivmesi ve beton yaşı değişiminin, tasarım betonun 28 günlük dayanım özelliklerine etkisi dayanım kazanma döneminde incelenmiştir. Basınç dayanımı 20,59 MPa olan silindir numuneler sarsma masasında test edilmiştir. Betonun üç günden eski olması durumunda, deprem etkisinin 28 günlük dayanımını önemli ölçüde azaltmayacağı tespit edilmiştir. Dökümden sonra ilk iki gün içinde deprem sarsıntılarının betonun dayanımını azaltacağı gözlemlenmiştir. Araştırmacılar tarafından, dayanımdaki en büyük azalmanın yaklaşık %28 oranında olduğu bildirilmiştir. Betonun dayanımda meydana gelen azalma, yapısal bütünlüğün bozulmasına, çatlak oluşum riskinin artmasına ve dolayısıyla uzun vadeli performansın düşerek durabilitenin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bu durumda, deprem sonrası barınma ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan beton dökümlerinin ilk üç gün içerisinde daha dikkatli incelenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Lu ve diğ., (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, depremin C30 ve C35 sınıfı betonların nihai dayanımı üzerindeki etkisi, 3 ve 8 saatlik kürlenme yaşındaki numuneler üzerinde incelenmiştir. Numuneler, deprem etkisini temsil etmek üzere sarsma masasında deneye tabi tutulmuştur. Kontrol numuneleri hariç, test bloklarına 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5 g'lık sismik etkiler uygulanmıştır. Araştırmacılar tarafından, 3 saat kürlenmiş betonun basınç dayanımının sismik etkiden çok az etkilendiği ve 28 günlük basınç dayanımının, tasarım betonun dayanımına yakın olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 8 saat kürlenmiş ve priz bitiş süresi aşamasında olan beton dayanımının sismik etkiden önemli ölçüde etkilendiği ve bu durumun ivme değerinin artmasıyla artış gösterdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Jeong ve diğ., (1988) tarafından yapılan bir çalışmada geliştirilen bir analiz ile deprem süresinin yapının hasarı üzerindeki etkisi araştırılmış ve sürenin yapının beklenen hasarı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Li ve diğ., (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise, modifiye edilmiş El Centro Depremi'nin taze betonun çekme dayanımına olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalar, Çin Nükleer Güç Enstitüsü tarafından sağlanan 6m x 6m boyutlarındaki yüksek performanslı titreşimli bir platform tarafından oluşturulan simüle edilmiş depremler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, C30 ve C50 sınıflarında betonlar incelenmiştir. Taze betonların yaşı, sırasıyla 12 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat, 168 saat olarak dikkate alınmıştır. Yer ivmesi olarak da 0,05g, 0,10g ve 0,25g yer ivmeleri dikkate alınmıştır. Sonuçlar simüle edilmiş depreme maruz kalan taze betonun çekme dayanımının 28 gün sonra iyi bir şekilde geri kazanılabileceğini göstermektedir.

Deprem dışındaki dinamik etkiler altında da taze beton özelliklerindeki değişimleri incelemek amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Zheng ve diğ., (2022) tarafından, tren hareketleri sonucunda dinamik yüklere maruz kalan alttaki tünel yapısının erken yaş beton dayanım performansı araştırılmıştır.

Busa Uludağ Üniversitesi Malzeme Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı'nda deprem etkisinin taze beton dayanımına etkisi konusunda çalışmalar gerçekleştirilmiş ve bir yüksek lisans tezi bu kapsamda tamamlanmış ve bir doktora çalışması da devam etmektedir. Hazırlanan numuneler Şekil 3'te gösterildiği gibi sarsma tablasına yerleştirilerek deprem hareketine maruz bırakılmıştır. Bu makalede kullanılan C30 sınıfı beton, Bursa Uludağ Üniversitesi Malzeme Teknolojileri Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Söz konusu karışımın s/ç oranı 0,52, çimento miktarı 380 kg/m³, slump (çökme) değeri 96 mm'dir. TS 802-2016 standardına uygun olarak C30 beton sınıfına ait numuneler hazırlanmıştır. Karışım oranları, çimento, ince ve iri agregası ile su kullanılarak hassas bir şekilde ölçülmüş ve pan mikser ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra taze beton, 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarında standart küp kalıplara yerleştirilmiştir. Taze betonun

priz alma sürecinde sismik uyarımların dayanım gelişimine etkisini değerlendirmek amacıyla, numuneler 1, 2, 4, 6 ve 8 saat sonra kontrollü tek eksenli sismik titreşimlere maruz bırakılmıştır. Bu süreçte, tek eksenli sarsma masası kullanılarak 0,1g, 0,3g ve 0,5g seviyelerinde maksimum yer ivmeleri uygulanmıştır. Sarsma masası hareketleri, EasyTest yazılımı aracılığıyla hassas bir şekilde kontrol edilerek gerçekçi deprem koşullarının simülasyonu sağlanmıştır. 28 günlük kürlenme sürecinin tamamlanmasının ardından, basınç dayanımı testleri gerçekleştirilerek betonun basınç dayanım performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, sismik titreşimlere maruz bırakılmayan kontrol numuneleri ile karşılaştırılarak, erken yaşta meydana gelen sismik yüklemenin beton dayanımı üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.



Şekil 3:

Taze betonların sarsma tablası deneyi ile deprem hareketine maruz kalması için deney düzeneği

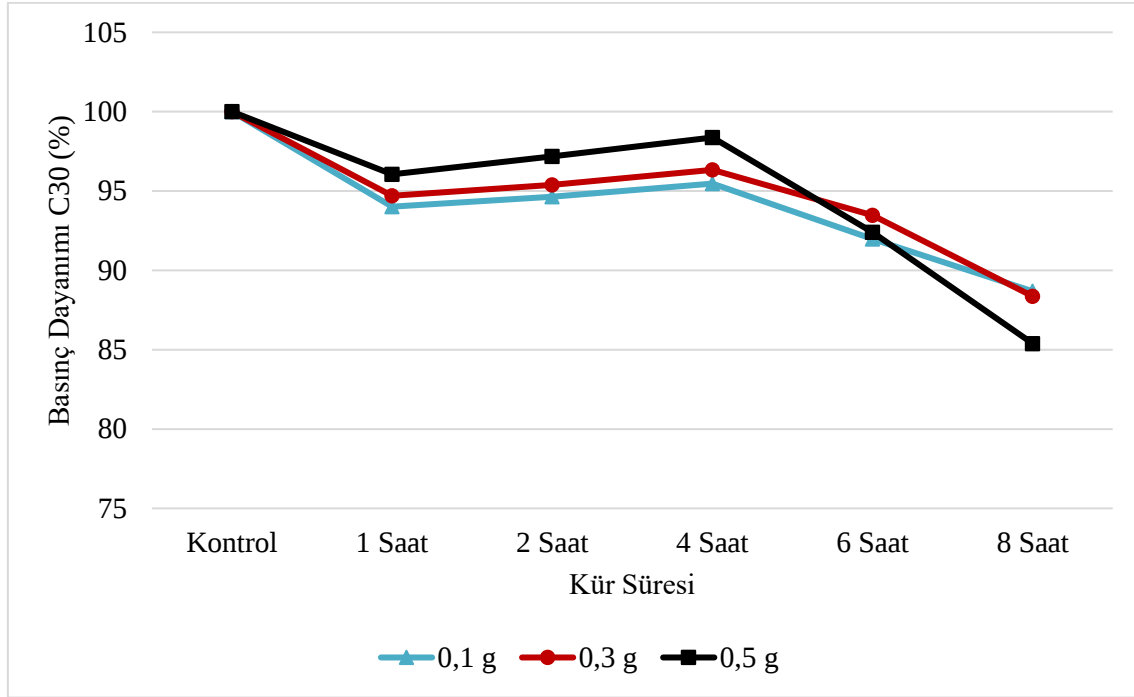
Bu makalede C30 betonu için yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Tablo 1'deki sonuçlar, farklı PGA ve kürlenme süreleri altında C30 sınıfı beton küp numunelerin ortalama basınç dayanımlarını (belirli kürlenme süresi için iki küpün ortalaması), kontrol numunesi (35,2 MPa) ile karşılaştırmasını da göstermektedir. Böylece çeşitli ivmeler altında kontrol numunesi ile diğer numunelerden elde edilen değerlerin birbirlerine yakınlık dereceleri de belirlenmiştir.

Tablo 1. C30 MPa Beton için elde edilen değerler

Kürleme Süresi (saat) (h)	İvme (PGA, g)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Referans numuneye (35,25 MPa) göre performansı
1	0,1	33,14	94,01
2	0,1	33,36	94,64
4	0,1	33,65	95,46
6	0,1	32,42	91,97
8	0,1	31,26	88,68
1	0,3	33,38	94,70
2	0,3	33,62	95,38
4	0,3	33,96	96,34
6	0,3	32,95	93,48
8	0,3	30,56	86,70
1	0,5	33,86	96,06
2	0,5	34,26	97,19
4	0,5	34,68	98,38
6	0,5	32,57	92,40
8	0,5	30,10	85,39

Üretilen numuneler üzerinde deprem etkisinin, erken yaşta beton basınç dayanımına etkilerini görebilmek için sarsma tablasında sismik etkiye maruz bırakılmışlardır. Tablo 1’den görüldüğü gibi kürleme süresi arttıkça basınç dayanımı 0,1g, 0,3g ve 0,5g ivmeleri için artmakta, belirli bir ivme değerinde kürleme süresinin artan ilk üç değeri (1h, 2h, 4h) için basınç dayanımı artarken, son iki değerinde (6h ve 8h) ise basınç dayanımı azalmaktadır. İlk priz yaşı olan 1h, 2h ve 4h'deki basınç dayanımının artmasının nedeni, hidrasyon sürecinin katkısıdır. İlk priz aşaması olan 1h, 2h ve 4h sırasında beton akışkan halini korumakta ve bu da ona sarsma masasından üretilen sismik enerjiyi emme ve dağıtma yeteneği vermektedir (Huang ve diğ., 2020). İlk priz aşaması için sismik etki uygulanmış numunelerin son basınç dayanımları farkının, C30 beton sınıfı için %1,6 ile %5,9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun nedeni, ilk priz aşamasındaki betonun son priz aşamasındakinden daha iyi hidrasyon kabiliyetine sahip olmasıdır.

30 MPa beton dayanımı için yapılan deneylerden elde edilen basınç dayanımların değişimlerini gösteren grafik Şekil 4’te sunulmuştur. Bu şekilden görüldüğü gibi 2 ila 4 saat arasında, basınç dayanımı hafifçe geri kazandığı gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı ve tüm ivme seviyelerinde 4. saatte gözlemlenmiştir. Beton, ilk priz aşamasında (1-4 saat) akışkanlığını korur ve sismik titreşimlere maruz kaldığında hidrasyon süreci sayesinde kendini toparlama yeteneğine sahiptir. Ancak, son priz süresinde pik ivmelenmenin artmasıyla basınç dayanımı azalmaktadır.



Şekil 4:
C30 beton sınıfı basınç dayanımı test sonucu

2.2. Depremin Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri

TS 500 (2000)'de beton sınıfları 28 günlük basınç dayanımlarına göre belirtilmiştir. Dolayısıyla, hukuki açıdan betonun sertleşmiş beton olarak değerlendirilebilmesi için 28 gün beklemek gerekli olmaktadır.

Bina betonları ile ilgili farklı amaçlar doğrultusunda farklı beton dayanım ya da tanımlamaları kullanılmaktadır. İnşaat mühendislerinin yapmış oldukları betonarme hesaplarda, çizmiş oldukları betonarme projelerde, binanın yapısal güvenliğini belirlemek için yapılan performans analizlerinde, riskli bina tespitinde ve deprem sonrası hukuki süreçlerde tanımlanan farklı beton sınıf ve dayanımları ile karşılaşılmaktadır. Bunlar arasındaki farklılıklar tam olarak ortaya konulmaması karışıklıklara neden olmaktadır. Kıyaslanmasının doğru olmayacağı farklı betonların karşılaştırıldığı görülmektedir. Aşağıda Doğangün (2024)'de ayrıntılı olarak açıklanmış farklı beton dayanım ve sınıflandırmaları özetlenmiştir;

- (1) Yeni yapı projesinde ya da güçlendirme projesinde, karakteristik basınç dayanımına göre tanımlanan ve yazılan beton sınıfı (Proje Betonu),
- (2) Taze betondan alınan ve ideal koşullarda saklanan numuneler kullanılarak proje betonunun denetiminde kullanılan beton (Şahit Betonu),
- (3) Karakteristik dayanımın 1,5'a bölünmesiyle bulunan ve betonarme hesaplarda kullanılan tasarım dayanımı (Tasarım Betonu),
- (4) Yerleştirilen beton hakkında ortaya çıkan olumsuzluklar ya da proje betonu ile şahit beton arasında farklılık olması durumunda betondan şüphe edilerek inşaatın karot alınarak proje betonunun denetiminde kullanılan beton (Şüphe Betonu),
- (5) Deprem performansı belirlenecek binadan karotlar alınarak, deprem performans analizlerinde dikkate alınan beton basınç dayanımı (Performans Betonu),
- (6) Kentsel dönüşümüne girmek için başvuru binadan karotlar alınarak, riskli bina tespit analizi için kullanılan beton basınç dayanımı (Kentsel Dönüşüm Betonu),

(7) Deprem geçirmiş binadan karotlar alınarak proje betonuyla karşılaştırılmaya çalışılan beton (Deprem Betonu/Yorulmuş Beton)

Yukarıda beton için belirtilen 7 farklı beton dayanımı ve sınıfının son dört (4, 5, 6 ve 7) maddesinde belirtilen betonlar için sertleşmiş betondan karotlar alınmaktadır. Bunlardan 4, 5 ve 6. Maddelerde belirtilen betonlar için alınması gereken karot sayısını, bunların deneye tabi tutulması sonucu tespit edilen dayanım değerlerine bağlı olarak istatistiki bir yöntemle kullanılacak olan nihai beton dayanımı belirlemektedir. Ancak 7. maddede tanımlanan ve depremde enkaz haline gelmiş binadan alınan karotların hangi elemanlardan alınacağı belirtilmiş ama bunların nasıl değerlendirileceğine ilişkin herhangi bir yöntem önerilmemiştir. Yürürlükteki standart ve yönetmeliklerde de bu hususta bir hüküm bulunmamaktadır.

Adalet Bakanlığı Hukuk İşleri Genel Müdürlüğü Bilirkişilik Daire Başkanlığı (2023), depremden hemen sonra “Deprem Nedeniyle Yıkılan veya Ağır Hasar Gören Binalarla İlgili Delil Toplama veya Delil Tespiti Hakkında Bilirkişilik Kılavuzu” adı altında bir kılavuz yayımlamıştır. Bu kılavuzun Betonarme Yapılardan Numune Alımı kısmında karotla ilgili hem maddeler halinde yapılması gerekenler tanımlanmakta hem de aşağıda açıklamalar yapılmaktadır:

Düşey taşıyıcılardan (kolon, perde) toplamda en az 3 adet numune alınmalıdır.

Karot nominal çapı en az 10 cm olmalıdır.

Karot numunesinin fotoğrafı çekilmeli ve nereden alındığı belirtilmelidir.

Alınan tüm karot örnekleri patpatlı torbalara konulmalı ve kutulanarak saklanmalı ve taşınmalıdır.

Numune yüksekliğinin çapına oranı en az 2 olmalıdır.

Maksimum agrega dane boyutu resim ile belirtilmelidir.

Numuneler donatı içermemelidir.

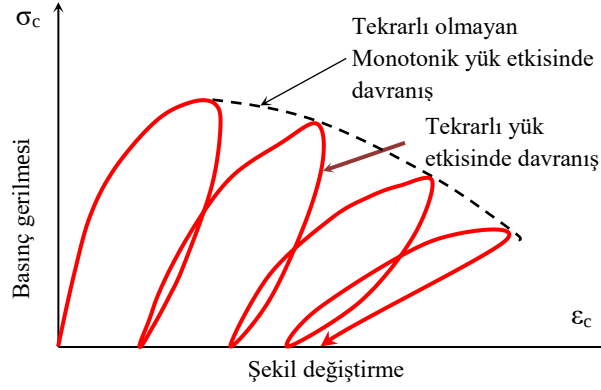
Kılavuzda yapılan açıklama: “*Betonun ve içinde kullanılan inşaat demirinin (donatı) kalitesi önemlidir. Betondan karot örnekleri alınarak test edilmelidir. Beton karışımında büyük agrega/taş kullanılma olasılığı da göz önünde bulundurularak 10 cm çapında karot numunesi alınması önerilmekte ve karot alımı esnasında veya karotların dayanım tespiti aşamalarında agrega maksimum tane büyüklüğü fotoğraf çekilerek kayıt altına alınmalıdır. Çok sayıda göçmüş bina bulunduğu ve işin aciliyeti ile imkânlar dahilinde 3 adet karot numunesi alınması önerilmektedir. Karot numuneleri örselenmemiş ve bütünlüğünü tamamen korumuş bir taşıyıcı elemandan alınmalıdır. Örselenmemiş üç farklı düşey taşıyıcının olabildiğince orta yüksekliğinden karot alınması yerinde olacaktır. Karotlar mümkünse çapının iki katı yüksekliğinde alınmalıdır (20 cm). Karot alırken donatı kesilmemelidir; yani karot içinde donatı olmamalıdır. Alınan karot numuneleri özenle saklanmalı ve zarar görmemeleri sağlanmalıdır. Bu amaçla her karot numunesi patpatlı naylonlar ile özenle sarılmalıdır. Karot numuneleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı sertifikalı laboratuvarlarda kırılmalıdır. Ancak güvenilirlik ve doğruluk açısından bu da yeterli değildir. Bu laboratuvarlarda küp numune kırmak için kullanılan yüksek eksenel yük kapasiteli (100-200 ton) hidrolik presler uygun değildir. Karot kırmak için kesinlikle özel üretilmiş düşük kapasiteli (maksimum 50 ton) özel presler kullanılmalı ve yükleme standartlarının belirlediği yükleme hızında ani bir şok etkisi uygulamadan yapılmalıdır.*”

Ayrıca aynı kılavuzda karotların alınacağı taşıyıcı elemanlar için “**Taşıyıcı elemanlar örselenmemiş olmalıdır.**” ifadesi de yer almaktadır. Bu ifadenin gerçekçi anlamı depremden sonra hiç hasar almamış dolayısıyla örselenmemiş elemanlardan alınmasıdır. Ağır hasar görmüş binalarda meydana gelen aşırı ötelenmeler nedeniyle taşıyıcı elemanlar zaten belirli oranlarda hasar almıştır. Buna ek olarak, depremde yıkılarak enkaz haline gelmiş bir binadaki taşıyıcı eleman yıkım esnasında diğer elemanların çarpma gibi dinamik etkilere de maruz kalarak hasarlı konuma geçmiştir. Yukarıdaki ifadelerden de görülebileceği gibi kılavuzda sadece karot alımına yönelik ifadeler bulunmakta, karotların nasıl değerlendirileceğine dair herhangi bir açıklama bulunmamaktadır. Diğer taraftan, taşıyıcı elemanların örselenme durumu için tanımlanmış herhangi bir kriter de bulunmamaktadır. Sadece gözlemsel olarak gözle görülebilen çatlakların ya da kırılmaların dikkate alınacağı belirtilirken bu durumda bilimsel temeli olan bir

değerlendirmeden uzak kalınacaktır. Alınan karotlardan elde edilen değerler sadece fikir verici olarak değerlendirilebilir. Enkazdan alınan betonun dayanımında bir düşüş olacağı mutlaka dikkate alınmalıdır. Düşüşün derecesi betonun ve yapının kalitesine göre değişecektir.

Yapılar şiddeti zamanla değişen dinamik ve tekrarlı yüklere maruz kalabilmektedir. Deprem 5-10 saniyelik kısa sürede gerçekleşen gelip geçici normal tekrarlayan yükler gibi değerlendirilmesi doğru değildir. Ana depremin şiddeti ve süresi elbette binaların maruz kaldığı ana etki olarak değerlendirilebilir. Ancak ana depremden sonra meydana gelen artçılar da bazen çok etkili olabilmektedir. Özellikle 6 Şubat 2023 $M_w=7,7$ ve $M_w=7,6$ depremleri tarihte nadir görülen 9 saat arayla gerçekleşen iki büyük yıkıcı depremdir. Bu depremlerin peşine 40 binin üzerinde artçı depremler meydana gelmiştir. Artçılardan başka bir zaman gerçekleşse yıkıcı deprem olarak değerlendirilebilecek boyutlara ($M_w=6,7$) ulaşanlar bile olmuştur. Durum böyle olunca da 6 Şubat depremlerine maruz kalan binaların, genel olarak 5-10 saniyede olup biten bir depreme maruz kalmadıkları, aksine çok sayıda depreme peş peşe maruz kaldıkları net olarak söylenebilir. Bu şekilde etkilere maruz kalmış betonların dayanımında ve elastisite modülünde düşüş olması beklenen bir durumdur. Ancak düşüşün derecesi başta betonun kalitesi olmak üzere yapının maruz kaldığı salınımların özelliklerine bağlı olarak değişecektir. Yapısal olarak uygun perde duvarlarla birlikte çok iyi tasarlanmış ve yönetmeliğin öngördüğü beton dayanıma sahip olan binalar bu depremlerden minimum düzeyde etkilenecek, depremden sonra da sınavdan başarıyla geçmiş binalar olarak güvenle kullanılabileceklerdir. Ancak, özellikle depremde hasar alarak zaten kendisinin yapısal güvenliğinde şüphe oluşmuş, yaklaşık 25 yaşın üzerinde yaşa sahip olup bir de çevresel ve su sızıntısı gibi istenmeyen koşullara maruz kalmış bir binanın 6 Şubat depremleri gibi ardışık büyük depremlere maruz kalması durumunda beton dayanımında ve yapının rijitliğinde düşüşler olacağı bilimsel olarak söylenebilir. Bu düşüşlerin derecesi malzeme özelliklerinin yanında, depremin şiddeti ve taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak değişecektir. Taşıyıcı sisteminde perde olmayan ve sadece zayıf kolonlardan oluşan bir yapının yıkıcı bir depremde çok hırpalanacağı (teknik anlamda aşırı ötelenmeler yapacağı) bunun sonucunda da betonun da yorulma derecesinin artacağı belirtilebilir. Ancak her iki doğrultuda yeterince ve düzgün yerleştirilmiş perde duvarları olan bir yapı depremde çok az ötelenme yapacak bunun sonucunda da beton daha küçük şekil değiştirmelere maruz kalacak ve tekrarlı yüklere maruz kalsa da depremi önemli bir yorulma hasarı olmadan atlatabilecektir.

Betonun şematik olarak tekrarlı yükleme etkisindeki gerilme-birim şekil değiştirme ($\sigma-\epsilon$) diyagramı, etkiyi daha belirgin olarak gösterebilmek amacıyla ölçeksiz ve şematik olarak Şekil 5'te verilmektedir. Bu diyagramdan görülebileceği gibi, tekrarlı yükleme sayısı arttıkça betonun dayanım göstergesi olan tepe noktasındaki değerde her seferinde düşüşler meydana gelmektedir. Yorulma dayanımı olarak da adlandırılabilir olan bu dayanım değeri monotonik yüklemelerden elde edilen dayanım değerinden daha düşüktür. Bu durum beton dayanım düşüşü nedeniyle eleman kapasitelerindeki düşüşün de bir göstergesidir. Diğer taraftan rijitliğin göstergesi olan yükleme eğrisinin eğimi tekrar sayısı arttıkça diklikten uzaklaşarak giderek daha yatık hale gelmektedir. Bu da beton elastisite modülünün düştüğünün bir göstergesidir. Elastisite modülünün düşmesi de rijitlik kaybı nedeniyle taşıyıcı elemanların daha fazla şekil değiştirme yaparak betonarme elemanların daha fazla hasar görmesinin yolunu açacaktır.



Şekil 5:
Tekrarlı yük altında betonun σ - ϵ diyagramı

Makalenin önceki bölümlerinde açıklandığı gibi, depremin sertleşmiş beton üzerindeki etkisi taze betona olan etkilerinden farklı olmaktadır. Sertleşmiş durum için depreme maruz kalmış bina enkazından hukuki gerekçelerle karot numuneler olarak deneye tabi tutulmaktadır. Elde edilen değerlerin projede öngörülen değerler olup olmamasına göre de yargılamalarda kişilerin sorumluluklarına karar verilmektedir. Mazılıgüney ve Yaman (2024) tarafından yapılan önemli bir çalışmada, depremde hasar görmüş bir yapıdan karot numune olarak bunun sonuçlarını doğrudan projede öngörülen beton dayanımı gibi karşılaştırmanın doğru olup olmadığı detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Araştırmacılar tarafından, deprem betonundan (deprem geçirmiş binadan alınan beton) ya da maruz kaldığı diğer tekrarlı yükler etkisinde yorulmuş betondan alınan karot numunesinin basınç dayanımı değerinin, projede tanımlanan betonun dayanım değerini yansıtmayacağı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Yapılardaki beton dayanım değerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmesi için karot testine ek olarak ultrasonik ses yayılma hızı, schmidt çekici testi, radyografik yöntemler, manyetik rezonans yöntemleri, sismik yöntemler ve termal görüntüleme yöntemlerinin kullanılabilir. Liu ve diğ., (2012), tarafından yapılan bir çalışmada projede öngörülen betonun güvenilir olup olmadığına, deformasyon ve çatlak özelliklerinin değerlendirilmesi ile karar verilebileceği belirtilmektedir.

3. SONUÇLAR VE İRDELEMELER

6 Şubat 2023 de Kahramanmaraş depremleri sonucunda ortaya çıkan hukuki durumlar nedeniyle depremin betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması hem bilimsel olarak hem de hukuki süreçler açısından bir gereklilik olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada depremin beton üzerindeki etkileri taze ve sertleşmiş beton olarak iki grupta irdelenmiştir.

✓ 6 Şubat 2023 depremleri faylanma özellikleri gibi parametreler bakımından diğer depremlere benzer olsa da yapıların maruz kaldıkları depremler açısından diğer depremlerle karşılaştırılamayacak niteliktedir. Ülkemizde şimdiye kadar olan depremlerde ana şok etkisinde yapı performansına göre ya yıkılır ya da ayakta kalır, artçı depremler nadiren etkili olabilir. 6 Şubat depremlerinde ise ilk olarak $M_w=7,7$ büyüklüğünde ana şok etkili olmuş ancak bu ana şok birçok bölgede Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde, öngörülen ivmelerden çok daha büyük ivmeler meydana getirmiştir. Bunun yanında çok sayıda can kaybı meydana gelmiş ve bina yıkılmıştır. Ancak 9 saat arayla bu kez $M_w=7,6$ büyüklüğünde ikinci bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem de birinci şokta hasar alan birçok binanın yıkılmasına neden olmuştur. Hatta Malatya ilinde ikinci deprem ilk depremden çok daha fazla binanın yıkılmasına neden olmuştur. Bu durum ülkemizde şimdiye kadar görülmüş bir durum değildir. Ardından büyüklükleri 6,7 ye ulaşan yıkıcı deprem olarak sınıflandırılabilir artçılar olmuştur. Artçıların sayısı kırk bini aşmıştır. Özellikle Malatya bölgesinde halen orta büyüklükte

depremler olmaktadır. Bu durum yapıların sadece depreme değil, etkisi uzun süren bir deprem fırtınasına maruz kaldıklarını ortaya koymaktadır.

✓ Afet bölgesinde artçı depremler devam ederken beton dökülmesi zorunlu olabilmektedir. Beton döküldüğü esnada plastik kıvama sahip olduğundan dayanımını ortam ve kendi özelliklerine bağlı olarak zamanla kazanmaktadır. Depremi taze beton üzerindeki etkisi betoniye içerisinde prizini alma aşmasına gelmiş betonun tekrar karıştırılması sonucu oluşan etkiye benzetilebilir. Taze beton katılaşmaya başladığında güçlü artçı depremler peş peşe meydana gelmesi durumu yukarıda verilen betoniye örneğine benzer olacaktır. Bu durum çalışmalarımıza konu olmuş ve depremin taze beton üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla, hazırlanan numuneler farklı kür sürelerinde, sarsma tablası üzerinde farklı deprem ivmelerine maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar depreme maruz kalan taze beton dayanımında düşüşleri olduğunu ortaya koymuştur. Düşüşün derecesi doğal olarak parametrelere bağlı olarak değişmekle birlikte %10'lara ulaşmasının çoğu durumda mümkün olabileceğini ortaya koymaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda 3 güne kadar taze betonun depremden etkilendiği ortaya konulmuştur. Dolayısıyla deprem esnasında henüz yeni dökülmüş betonların dayanımlarında düşüşler olabileceği değerlendirilerek depremden sonra dayanımların kontrol edilmesinde yarar bulunmaktadır. Diğer taraftan depremden hemen sonra geçici barınma yerlerinin inşası ya da onarım amaçlı beton dökümü gerekli olmuşsa bu dayanım düşüşünün de olabileceğini dikkate alarak analizlerin yapılması gerekli olmaktadır.

✓ Depremin sertleşmiş beton üzerindeki etkilerinin ortaya konulması taze betondaki kadar kolay olmamaktadır. Henüz, çok sayıda binadan deprem öncesi ve sonrası karot alınıp, proje betonu ile deprem öncesi ve sonrası alınan karotların sonuçları arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bir çalışma ve buna dayalı bir değerlendirme yöntemi bulunmamaktadır. Önümüzdeki yıllarda veri sayılarının artması ve yapay zekanın kullanılmasıyla karot sonuçları için bir değerlendirme yöntemi sunulma ihtimali yüksektir. Ancak günümüzde mevcut bir değerlendirme yöntemi maalesef bulunmamaktadır.

✓ Depremlerde can kayıpları genel olarak yıkılmış binalarda meydana geldiğinden hukuki incelemelere de öncelikle yıkılan binalardan başlanmaktadır. Zira yıkılan binalar çoğunlukla cadde ya da sokak üzerine göçtüğünden acilen kaldırılması gerekli olmaktadır. Bu bağlamda binada kısa sürede inceleme yapılması gerektiğinden hızlı bir şekilde yıkılan bina enkazındaki taşıyıcı elemanlardan karot alınmakta ve laboratuvara gönderilerek deneye tabi tutulmaktadır. Ancak, enkazın altında kalmış betondan alınan numuneler; özellikle 6 Şubat gibi ardışık depremlerde yorulmanın da ötesinde, bina göçerken diğer elemanların dinamik darbelerine de maruz kalmaktadır. Bunun sonucunda da çeşitli düzeylerde çatlaklar oluşmakta ve alınan karot numunesi artık örselenmemiş numune özelliğini yitirmektedir.

✓ Projedeki betonun kontrolü taze betondan yönetmelik/standart/genelge gibi mevzuatta belirtilen sayıda alınan, sabit sıcaklık ve nem gibi korunaklı ortamlarda muhafaza edilen ve belirli yükleme hızında deneye tabi tutulan numuneler üzerinde gerçekleştirilen bir eksenli merkezi basınç deneylerinden elde edilen basınç değerlerine bağlı olarak belirlenen ortalama dayanım ve standart sapmaya bağlı olarak ülke için kabul edilen riski de dikkate alan bir katsayının da kullandığı bağıntı ile belirlenmektedir. İnşaatı devam eden ya da yeni tamamlanan yapılardan beton hakkında şüphe duyulması halinde karot numunesi alınarak çıkan sonuçlara göre kullanılan betonun uygunluğu hakkında karar verilmektedir. Bunun dışında kentsel dönüşüm ya da deprem performans analizleri için kullanılacak beton dayanımlarını belirlemek için de karot numuneler alınmakta ve bunların sonuçlarının nasıl değerlendirileceği de ilgili yönetmeliklerde ayrı ayrı belirtilmektedir. Bununla birlikte depremde göçmüş bir binadan alınan numunelerin değerlendirilmesine ilişkin herhangi bir yöntem bulunmamaktadır. Sonuç olarak, bina

enkazından alınan beton numunelerin testleri sonucu elde edilen dayanımların projede öngörülen ve taze betondan alınıp çok özel şartlarda kür havuzlarında saklanan ve test edilen numunelerin dayanımlarından daha düşük olabileceği söylemek gerçekçi olacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Hatice Gizem Şahin çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, Mustaf Mohamud ABDIRAHMAN çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, Prof. Dr. Ali MARDANİ çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, yönetimi, veri toplama, analizi ve yorumlanması, fıkırsel içeriğin eleştirel incelenmesi, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk, Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, yönetimi, veri toplama, analizi ve yorumlanması, fıkırsel içeriğin eleştirel incelenmesi, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk

KAYNAKLAR

1. Adalet Bakanlığı (2023) Deprem Nedeniyle Yıkılan veya Ağır Hasar Gören Binalarla İlgili Delil Toplama veya Delil Tespiti Hakkında Bilirkişilik Kılavuzu, Hukuk İşleri Genel Müdürlüğü Bilirkişilik Daire Başkanlığı, Ankara, p. 2, <https://bilirkisilik.adalet.gov.tr/Home/SayfaDetay/kilavuzu14022023080803>, Erişim Tarihi: 11.03.2024
2. Alih, S. C. and Vafaei, M. (2019) Performance of reinforced concrete buildings and wooden structures during the 2015 Mw 6.0 Sabah earthquake in Malaysia, *Engineering Failure Analysis*, 102, 351-368. doi:10.1016/j.engfailanal.2019.04.056
3. Bertero, V. V., Mahin, S. A. and Herrera, R. A. (1978) Aseismic design implications of near-fault San Fernando earthquake records, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 6(1), 31-42. doi:10.1002/eqe.4290060105
4. Doğangün A. (2024) Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, 18. Baskı, *Birsen Yayınevi*, ISBN: 978-975-511-310-X, 732 sayfa.
5. Grist, E. R., Paine, K. A., Heath, A., Norman, J. and Pinder, H. (2015) Structural and durability properties of hydraulic lime–pozzolan concretes, *Cement and Concrete Composites*, 62, 212-223. doi:10.1016/j.cemconcomp.2015.07.001
6. Gülerce, Z., Askan, A., Kale, Ö., Sandıkçaya, A., Işık, N. S., İlhan, O., Can, G., İlgaç, M., Ozacar, A. A., Sopacı, E., Çetin, K. Ö., Akbaş, B., Altındal, A., Guryuva, B., Kanun, O., Albayrak, K., Muratoğlu, G., Okcu, O. S., Icen, A., and Aydın, M. F. (2023) Preliminary analysis of strong ground motion characteristics, *Kahramanmaraş-Pazarcik (Mw= 7.7) and Elbistan (Mw= 7.5) Earthquakes*.
7. Huang, Z., Li, Y., Liu, Y., Cai, F., & Liang, T. (2020a) Experimental Evaluation of the Influence of Early Disturbance on the Performance of Basalt Fiber Concrete, *Advances in Civil Engineering*, 1–9. doi:10.1155/2020/8853442

8. Hulshizer, A. J. (1996) Acceptable shock and vibration limits for freshly placed and maturing concrete, *Materials Journal*, 93(6), 524-533. doi: 10.14359/9858
9. ILO 2023, The effects of the February 2023 earthquake on the labour market in Türkiye, <https://www.ilo.org/publications/effects-february-2023-earthquake-labour-market-turkiye> (erişim 12.08.2024)
10. Jeong, G. D. and Iwan, W. D. (1988) The effect of earthquake duration on the damage of structures, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 16(8), 1201-1211. doi:10.1002/eqe.4290160808
11. Kappos, A. (2014) Earthquake resistant concrete structures, *CRC Press*. doi:10.1201/9781482271300
12. Ke, X. (2006) The Effect of Vibrating on Compressive Strength of Newly Poured Foundation Concrete Pad [D], *Chaoyang University of Technology, Taiwan*.
13. Li, G., Wang, K., Wei, J., He, G., Li, P., Sun, L. (2011) The Tensile Strength of Fresh Concrete after simulated earthquake at magnitude of 6-8, *Advanced Materials Research* v:368-373, pp:1160-1164. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.368-373.1160
14. Liu, B., He, G. J., Li, G. H., Xu, M. Q., Wei, J. D. and Wang, K. (2012) The Strength of Fresh Concrete after Simulated Earthquake at Magnitude of 9, *Applied Mechanics and Materials*, 204, 2595-2599. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.204-208.2595
15. Lu, Y., Ma, X., Bao, C., Noor, N. M., Lian, H. and Lim, K. S. (2022) Influence of earthquake disturbance on concrete strength at early age. *Physics and Chemistry of the Earth/Physics and Chemistry of the Earth. Parts a/B/C*, 128, 103280. doi:10.1016/j.pce.2022.103280
16. Mardani-Aghabaglou, A. (2016) *Investigation of cement-superplasticizer admixture compatibility* (Doctoral dissertation, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Ege University).
17. Mardani, A., Şahin, H. G. and Kaya, Y. (2024) Effect of the Kahramanmaraş earthquake on standing water tanks in the Adana region and buildings in Hatay-Antakya, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 55, 101744. doi:10.1016/j.jestch.2024.101744
18. Mazılıgüney, L. and Yaman, İ.Ö. (2024) *Can Concrete Core Samples be Taken From a Reinforced Concrete Building Collapsed in an Earthquake*, İMO, 2024 (in Turkish).
19. Özen, S., Altun, M. G., Mardani-Aghabaglou, A. and Ramyar, K. (2021) Effect of main and side chain length change of polycarboxylate-ether-based water-reducing admixtures on the fresh state and mechanical properties of cementitious systems, *Structural Concrete*, 22, E607-E618. doi:10.1002/suco.201900489
20. Su, J. H., & Yen, T. (2004b) Effects of Earthquake Excitation on the Strength Properties of Newly Poured Concrete, *Journal of Marine Science and Technology*, 12(1). doi:10.51400/2709-6998.2218
21. TBDY, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Yürürlük tarihi: Ocak 2019, 416 sayfa
22. TS 500+T2:2002, (2000) Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000, 67 sayfa.
23. Wang, G., Wang, Y., Lu, W., Yan, P. and Chen, M. (2020) Earthquake direction effects on seismic performance of concrete gravity dams to mainshock–aftershock sequences, *Journal of Earthquake Engineering*, 24(7), 1134-1155. doi:10.1080/13632469.2018.1453423

24. WIKIPEDIA, (2024) 2023 Kahramanmaraş depremleri
https://tr.wikipedia.org/wiki/2023_Kahramanmara%C5%9F_depremleri
25. Wu, F., Xie, J., An, Z., Lyu, C., Taymaz, T., Irmak, T. S., Li, X., Wen, Z. and Zhou, B. (2023) Pulse-like ground motion observed during the 6 February 2023 MW7. 8 Pazarcık Earthquake (Kahramanmaraş, SE Türkiye), *Earthquake Science*, 36(4), 328-339. doi:10.1016/j.eqs.2023.05.005
26. Zheng, Y., Yang, J., Liao, B., Ma, S., Zhong, H. and Lei, J. (2022) Investigation on the concrete strength performance of underlying tunnel structure subjected to train-induced dynamic loads at an early age, *Construction & Building Materials*, 337, 127622. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.127622