

Damage Detection and Damage Determination Methods in Reinforced Concrete Buildings

Yusuf YANIK^{1a}, Gonca KAMBER YILMAZ^{*1}, Temel TÜRKER^{2b}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61830, Trabzon

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

(Received: 29.12.2018, Accepted: 31.12.2018, Published Online: 31.12.2018)

Keywords

Damage Detection
Causes of Damage
Modal Analysis

Abstract: There are many causes of damage for damage to buildings in our country. The most important of these is the earthquake loads used during the project phase of the buildings. In addition, the mistakes made in the manufacturing process, the concessions given to the building safety to gain from the usage area constitute a significant part of the causes of the building damage. In addition, the selection of the structural system of buildings, different settlements on the ground, fire, freeze-thaw, impact and blasting effects are also damage causes. In this study, causes of damage in reinforced concrete buildings and damage detection methods are investigated. Determining the damage and determining the cause of the damage play an important role in taking precautions against future cases and repairing existing damages.

Betonarme Binalarda Hasar Tespiti ve Hasar Belirleme Yöntemleri

Anahtar Kelimeler

Hasar Tespiti
Hasar Sebepleri
Modal Analiz

Özet: Ülkemizde yapılan binalarda oluşan hasarların birçok nedeni bulunmaktadır. Bunların başında, yapıların projelendirilme aşamasında kullanılan ve önemli ölçüde dikkate alınan deprem yükleri gelmektedir. Bunun dışında imalat aşamasında yapılan hatalar, kullanım alanından kazanmak için yapı güvenliğinden verilen tavizler yapı hasar sebeplerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca binaların taşıyıcı sisteminin seçimi, zeminde oluşan farklı oturmaları, yangın, donma-çözünme, çarpma ve patlatma etkileri de hasar sebeplerindedir. Bu çalışmada, betonarme binalarda oluşan hasarların sebepleri ve hasar belirleme yöntemleri üzerinde inceleme yapılmıştır. Hasarların belirlenmesi ve hangi nedenlerden dolayı meydana geldiğinin tespit edilmesi ileride oluşabilecek vakalara karşı önlem alınmasında ve mevcut hasarların onarılmasında son derece önemli rol oynamaktadır.

1. Giriş

Büyük bir bölümü deprem kuşağında yer alan ülkemizde, ilk deprem yönetmeliği 1947 yılında yayımlanmış, bunu 1953, 1961, 1968, 1975, 1998 ve 2007 yönetmelikleri izlemiştir. Bütün iyi niyetli çabalara rağmen depremin oluşturabileceği etkiler iyi anlaşılammış ve meydana gelen depremlerde binlerce kişi hayatını kaybetmiştir. Deprem afetine yeterli önemin verilmemesi, Türkiye'yi depreme dayanıksız bir yapı stoğu ile karşı karşıya bırakmıştır. Yapıların hasar tespitlerinin yapılması ve gerek görüldüğü durumlarda da güçlendirilme çalışmaları,

1997 yılında meydana gelen Adana-Ceyhan ve 1998 yılında meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra önem kazanmıştır. Bu depremlerden elde edilen deneyim ve bilimsel gelişmeler dikkate alınarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği son olarak revize edilerek 18 Mart 2018 tarihli Resmî Gazete'de yayınlanmıştır. Yönetmeliğin yürürlüğe giriş tarihi 1 Ocak 2019 olarak belirlenmiştir. Mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmının deprem dayanımının yetersiz oluşu, kentsel dönüşüm adı altında yapılan çalışmalar, gelişen teknolojiye bağlı olarak yapı modellerinin ve

*İlgili Yazar: gonckamber@ktu.edu.tr. ORCID: 0000-0002-6894-6076

^aORCID: 0000-0002-5487-5254

^bORCID: 0000-0001-5632-693X

malzeme çeşitliliğinin artması gibi sebeplerle yönetmelikte güncellemeye gidilmiştir [1].

Yapıda deprem sırasında oluşan hasar şekillerine bakıldığında; zemin özellikleri, yapı- zemin etkileşimi, taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme ve işçilik kalitesi, boyutu ve konumlandırılması, hatta taşıyıcı olmayan sistem durumunun yapının deprem sırasındaki davranışı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu etkenlerden biri veya birkaçının yetersiz veya yanlış olmasına bağlı olarak deprem sırasında binada ciddi hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların giderilmesi ve yapıyı yeniden güvenli bir hale getirmek için güçlendirmeye gidilmesi şarttır. Donatı yerleştirme hataları, hatalı yapılmış konsollar ve çıkmalar, kullanım alanından kazanmak için yapı güvenliğinden verilen tavizler yapı hasar sebeplerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada betonarme binalarda oluşan hasarların sebepleri, türleri ve hasar belirleme yöntemleri derlenerek sunulmuştur.

2. Betonarme Binalarda Hasar Sebepleri

Betonarme binalarda oluşan hasarların büyük çoğunluğu; imalatta yapılan hatalar, taşıyıcı sistem seçiminden kaynaklı sebepler, zemin hareketleri, deprem, yangın ve donma, çarpma, patlatma ve aşırı yüklenme sonucu oluşmaktadır.

2.1. İmalat Kusurları

Yapının ya da yapı elemanlarının imalatı sırasında oluşan ve yapının istenilenden farklı bir davranış göstermesine neden olan etkilerdir. Bir yapının iskeleti anlamına gelen taşıyıcı sistemi hatasız olmalıdır. Yapının taşıyıcı sistemi yapının fonksiyonuna uygun, statik ve dinamik yüküne, çevre etkilerine ve en önemlisi deprem etkilerine karşı mukavemetli olmalıdır. Bunun için yapı imalatında malzeme seçiminin, tasarımının, uygulamasının ve denetiminin önemi büyüktür.

Betonarme yapılarda beton karışımına giren malzemelerin kaliteli ve istenilen standartta olması gerekir. Deprem ve afet bölgelerindeki can ve mal kaybının, büyük çoğunluğu yapı malzemesi kalitesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yapı malzemelerinin kendilerinden beklenen özelliklere sahip olmamaları sonucu yapılarda çok büyük hasarlar meydana gelir. Bu nedenle yapı malzeme kalitesinin mimarlar, mühendisler, uygulamacılar ve yapı sahipleri tarafından iyi bilinmesi gerekmektedir.

Genel olarak binalarda oluşan hasar sebepleri;

- Yanlış malzeme seçimi kullanılması (korozyonlu alanlarda yapılacak binalarda uygun çimento sınıfının seçilmemesi),
- Temel altına grobeton dökülmemesi,

- Yanlış ve yetersiz donatı detayları,
 - Etriye sıklaştırmasının yapılmaması,
 - Donatı filiz boylarının az bırakılması,
 - Yapım aşamasında denetim eksikliği,
 - Beton kürünün yapılmaması
- olarak sıralanabilmektedir.

2.2. Taşıyıcı Sistem Seçiminden Kaynaklanan Sebepler

2.2.1. Yumuşak Kat Oluşumu

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısının 2.0'den fazla olması durumudur. Diğer bir deyişle komşu katlar arası rijitlik düzensizliğidir [2].

2.2.2. Zayıf Kat Oluşumu

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısının 0.80'den küçük olması durumudur. Diğer bir deyişle komşu katlar arası dayanım düzensizliğidir [2].

2.2.3. Zayıf Kolon Güçlü Kiriş Oluşumu

Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olmalıdır [2]. Eğer bu sağlanmazsa plastik mafsallar kirişlerde değil kolonlarda oluşur.

2.3. Zemin Hareketleri

2.3.1. Zemin Sıvılaşması

Yeraltı su seviyesi altındaki tabakaların geçici olarak mukavemetlerini kaybederek, katı yerine viskoz sıvı gibi davranmalarına zemin sıvılaşması denilmektedir. Zeminin sıvılaşmasının kendisi hasara sebep olan bir olay değildir. Ancak, bu olayın büyük yer değiştirmelere sebep olması, büyük hasarları doğuran temel göçmelerine sebep olur. Deprem hareketi ile oluşan zemin sıvılaşması, büyük kütleler halinde şev akmalarına sebep olabilir [3].

2.3.2. Zeminde Oluşan Farklı Oturmalar

Üzerindeki yükün etkisi ile kohezyonlu zeminlerin zamanla sıkılaşıp çökmesine oturma denir. Bu sıkışma zemin gözenekleri içinde bulunan suyun uzaklaşması sonucu oluşur. Yapı hasarında etkin konumda olan oturma, elastik (ani) ve konsolidasyon oturması olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki elemanın toplamı olan oturma yapıda yapısal hasar oluşturmaktadır. Bu nedenle her iki oturma bileşeninin büyüklüğünün saptanması önem taşımaktadır [4].

2.4. Deprem

Deprem genel anlamda, yer kabuğunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan enerji sonucunda meydana gelen sismik dalgalanmalar ve bu dalgaların yeryüzünü sarsması olayıdır. Depremlerde betonarme yapıların hasara uğraması, betonda kalıcı şekil değiştirmeler ortaya çıkması doğal bir durumdur. Betonarme depreme kalıcı şekil değiştirmeler yaparak karşı koyar. Bu hasar yapıda can ve mal kaybına yol açmayan, yapının onarımı ile tekrar kullanılmasına izin verebilen boyuttadır. Bu hasar düzeyinin üzerindeki hasarlar ise depreme dayanıklı yapılar için normal kabul edilemez. Bir yapının ömrü boyunca niteliklerini kaybetmeden hizmet görebilmesi için zemin, proje, malzeme, uygulama (işçilik) ve denetim gibi yapı süreçlerinin kaliteli yaşanması gereklidir [5].

2.5. Yangın ve Donma

Yangın, maddenin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan yanma reaksiyonlarının neden olduğu doğal afettir. Yangında zarar görme derecesine bağlı olarak beton sarı, pembe, gri renk değişimlerine uğrar. Malzeme ısınarak suyunu kaybettikçe ısıya bağlı olarak iç gerilmeler ve çatlaklar artar, dağılma etkisi yaratır. Yangının çelik üzerinde de yıkıcı etkileri olmaktadır. Isınan çelik uzar, birleştiği noktalarda değişimler meydana getirir ve bazen bütün yapıyı yıkabilecek güç oluşturur. Çeliğin sıcaklığı yükseldikçe taşıma gücü kaybolur [6].

Donma olayı cisimlerin hacimlerinde bir değişime neden olur. Tekrarlı olması durumunda ise betonun çatlaması sonucu dayanım kaybına neden olmaktadır.

2.6. Çarpma, Patlatma ve Aşırı Yükleme

Çarpma ve patlatma dış etkiler sonucu ani gelişen olaylardır. Betonarme binalar sabit, hareketli, rüzgâr, deprem, kar yükünün etkisi altındadır. Bu yükler ve birleşimlerinin binanın taşıma kapasitesinin üzerinde olmaması istenir.

3. Hasar Belirleme Yöntemleri

Hasarlı, onarılacak ya da güçlendirilecek bir yapı tıpkı doktorunun önüne gelmiş bir hasta gibidir. Hastanın durumunun belirlenmesi için muayene, tıbbi incelemeler, röntgen, ultrason gibi ölçme yöntemleri uygulanıyorsa yapı için de benzer bir şekilde incelemelerin yapılması ve bir teşhis koyulması gerekir.

Yapının hasar durumları değerlendirilirken birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden bazıları yapının sadece belli bir bölgesi hakkında fikir sağlarken bazıları yapının bütünü hakkında fikir vermektedir. Gerek yerel incelemeler olsun gerek genel incelemeler olsun alınan numuneler ya da yapı üzerinde gerçekleştirilen incelemeler statik yüklemeler ve dinamik yüklemelerle gerçekleştirilmektedir. İncelemelerden elde edilen sonuçlar benzer numuneler ya da yapılar üzerinde deneysel veya analitik olarak gerçekleştirilen incelemelerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılır. Yapı ya da yapı elemanları üzerinde gerçekleştirilen deneysel incelemelerde yapı ya da yapı elemanına hasar verilerek ya da hasar verilmeksizin inceleme yapılabilir [7].

3.1. Yerine (İncelenen Alana) Göre

İncelenen alana göre hasar belirleme yöntemleri yerel (lokal) ve genel(global) yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.1.1. Yerel (Lokal) Yöntemler

Hasar tespitinde yerel değerlendirme yapmayı sağlayan yöntemler karot alma, donatı tespiti, ultrases cihazıyla inceleme, Schmidt çekici ölçümleri ve radarla tarama olarak sınıflandırılabilir.

3.1.1.1. Karot Alma

Yapının belirli bölgelerinden alınan belirli özelliklerdeki beton örnekleri yardımıyla yapının inşasında kullanılan betonun gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı veya dış etkilere maruz betonun bozulup bozulmadığı tespit edilebilir. Karot alma işlemiyle malzemenin basınç dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, kütle yoğunluğu belirlenebilir [8].

3.1.1.2. Donatı Tespiti

Yapıda gerekli miktarda donatının uygun düzende yerleştirilip yerleştirilmediğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Donatı tespiti, yüksek frekanslı manyetik dalgalar üreten cihazların betonarme eleman yüzeyinde hareket ettirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Donatı belirlenen bölgede

cihazın sabitlenmesiyle donatı çapı ve yüzeyden olan derinliği belirlenmektedir [7].

3.1.1.3. Ultrases İncelemesi

Beton yüzeyine tutulan ve biri verici diğeri ise alıcı olarak adlandırılan iki adet cihaz yardımıyla beton elemana sinyal gönderilmesine dayanan inceleme yöntemidir. Bu inceleme yöntemiyle betona gönderilen sinyalin hızına bağlı olarak beton dayanımı ve elastisite değeri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bu şekilde elde edilen veriler analitik modellerin kalibrasyonu ve yapıların güçlendirilmesinde kullanılabilir [7].

3.1.1.4. Schmidt Çekici

Beton yüzeyine Schmidt çekici olarak adlandırılan özel bir cihazla vurulması ve geri tepme değerlerinin belirlenmesi işlemidir. Bu ölçümlerde betonun yüzeyine darbe uygulanma yeri ve yönü oldukça önemlidir. Bu yöntem beton dayanımını vermez, betonun yüzey sertliğini verir. Betonun yaşına göre değişim olabileceği unutulmamalıdır.

3.1.2. Genel (Global) Yöntemler

Yapının bütünüdür davranışı hakkında bilgi sağlayan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı, yapısal titreşimlerin gözlemlendiği ve yapıya ait dinamik karakteristiklerin belirlendiği Deneysel Modal Analiz yöntemidir.

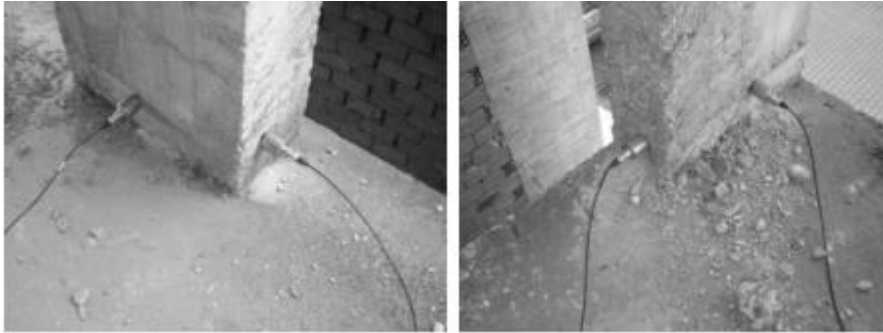
Yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde deneysel modal analiz yöntemlerinin etkin sonuç verdiği ve ölçüm yapılan yapılarda hasar oluşturulmaması nedeniyle tercih edildiği ve kabul

görüldüğü bilinmektedir. Bu yöntem, ölçümlerde kullanılan titreşim etkisinin bilinip bilinmemesine bağlı olarak Operasyonel Modal Analiz ve Geleneksel Deneysel Modal Analiz yöntemleri olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılır [7].

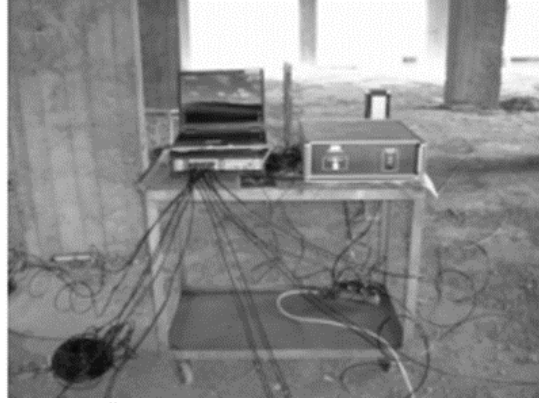
3.1.2.1. Operasyonel Modal Analiz Yöntemi

Operasyonel Modal Analiz yöntemi yapılarda deprem, rüzgâr gibi çevresel etkilerden oluşan titreşimleri dikkate alarak yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yapıya ait dinamik karakteristikler yapı üzerinden ölçülen tepki verilerinin zaman ve frekans tanım alanlarında işlenmesiyle elde edilmektedir.

Bu yöntemin yeterince anlaşılabilmesi için temel titreşim biçimlerinin ve rezonans etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Titreşim, başlangıç şartları veya uygulanan dış yükler altında yapıların göstermiş olduğu tepkilerdir. Temel olarak, serbest titreşim ve zorlanmış titreşim olmak üzere iki farklı titreşim türü söz konusudur. Serbest titreşimde yapı, uygulanan başlangıç şartları altında titreşir. Bu tür titreşimde, en küçük doğal frekans yapıda en etkili olan frekanstır. Bu tür titreşim, belirli bir süre sonra yapıdaki sönümün etkisiyle sona erer. Zorlanmış titreşim ise, yapının uygulanan bir dış yük altındaki titreşimidir. Bu tür titreşim, yük yapıya etkidiği sürece devam eder. Bir yapı dış yükten dolayı titreştirildiğinde, yapının doğal frekansı ile dış yükün frekansının aynı olduğu bir duruma gelinebilir. Bu durumda yapı oldukça büyük genlikte titreşim yapar ve rezonans durumu olarak adlandırılır. Operasyonel Modal Analiz yönteminde yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiği Şekil 1-2'de gösterilmiştir [9].



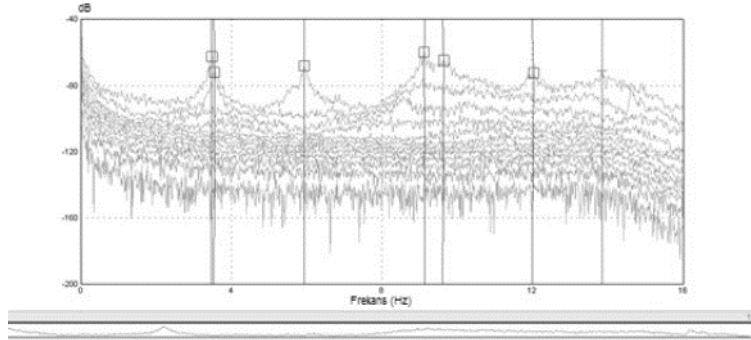
Şekil 1. Binanın ölçümünde kullanılan ivmeölçerler



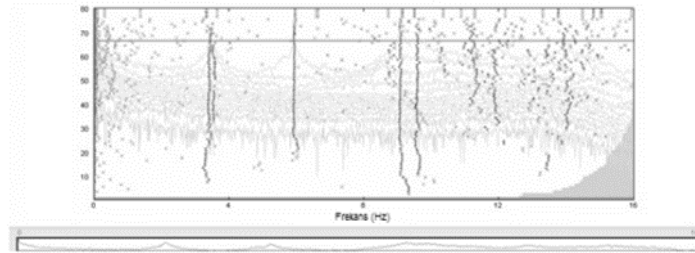
Şekil 2. Ölçümde kullanılan veri toplama ünitesi

Ölçümden elde edilen sinyaller sinyal işleme sürecinden geçirildikten sonra Operasyonel Modal Analiz programına aktarılır. Operasyonel modal analiz programında frekans ortamında ayrışım (FOA) ve stokastik altalan belirleme (SAB) yöntemleri kullanılarak binaya ait modal parametreler elde

edilir. Frekans ortamında ayrışım (FOA) yöntemi kullanılarak elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3'te, stokastik altalan belirleme (SAB) yöntemi kullanılarak elde edilen kararlılık fonksiyonu ise Şekil 4'te verilmektedir [9].



Şekil 3. Binaya ait spektral yoğunluk fonksiyonu

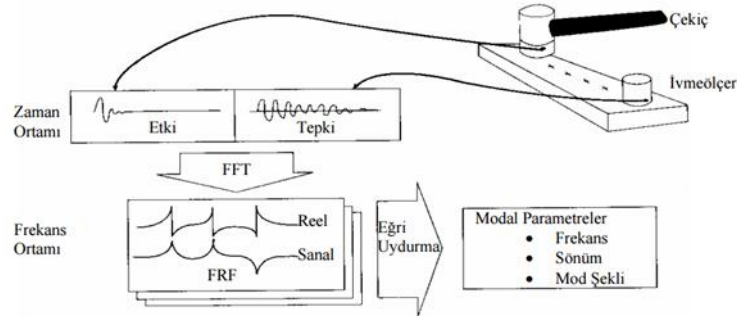


Şekil 4. Binaya ait kararlılık fonksiyonu

3.1.2.2. Geleneksel Deneysel Modal Analiz Yöntemi

Deneysel modal analizde, yapıya bilinen (ölçülen) bir kuvvet verilmekte ve yapının bu kuvvete tepkisi

ölçülmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi bu işlemde yapıya kuvvet uygulamak için çekiç, yapının tepkisini ölçmek için ivmeölçer ve verileri değerlendirmek için bir sinyal analizör kullanılır [10].



Şekil 5. Deneysel modal analizde genel bir ölçüm düzeneği

3.2. Yükleme Durumuna Göre

3.2.1. Statik Yöntemler

Yapıdan alınan numuneler ya da imkân varsa yapı üzerinde gerçekleştirilen statik yüklemeler altında elde edilen değerlere bağlı olarak yapının hasar durumunun değerlendirilmesine dayanan yöntemlerdir. Bu yöntemler hasarlı veya hasarsız yöntemler olabilir. Hasarlı inceleme yöntemine yapıdan alınan karot numuneler örnek olarak verilebilir. Hasarsız incelemelerde ise sistemin elastik bölgede kalacak şekilde statik yük altında test edilmesi gerekmektedir [9].

3.2.2. Dinamik Yöntemler

En yaygın olarak bilinen ve kullanılan yöntem yapısal titreşimlerin ölçülmesi ve analiz edilmesine dayanan deneysel modal analiz yöntemidir.

3.3. Yönteme Göre

3.3.1. Teorik Yöntemler

Analitik model güncellemeye dayalı hasar tespit yönteminde, analitik model üzerinde yapılan rijitlik, kütle ve sönüm gibi mekanik özellikleri değiştirilerek deneysel olarak ölçülen statik veya dinamik davranışın elde edilmesine çalışılmaktadır.

3.3.1.1. Başlangıç Analitik Model

Yapının projesinden ya da yapı üzerinde gerçekleştirilen rölemlerden elde edilen kesit özellikleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak oluşturulan analitik modeldir.

3.3.1.2. Kalibre Edilmiş Analitik Model

Başlangıç analitik modelin malzeme özellikleri ve sınır şartları dikkate alınarak kalibre edilmesi sonucunda elde edilen ve yapının hasarsız durumunun temsil ettiği varsayılan analitik modeldir.

3.3.1.3. Güncellenmiş Analitik Model

Yapıya ani bir etki sonrasında yapı üzerindeki ölçümlerden elde edilen sonuçlar baz alınarak kalibre edilmiş analitik modelde, kesit özellikleri (atalet momenti, kalınlık) değişken olarak dikkate alınarak deneysel ve analitik sonuçlar arasındaki farkın minimize edilmesi işlemidir.

3.3.2. Deneysel Yöntemler

Deneysel yöntemler hasarlı ve hasarsız yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hasarsız deneysel yöntemlere örnek olarak deneysel modal analiz yöntemi örnek verilebilir. Hasarlı deneysel yöntemlere örnek olarak beton basınç dayanımı deneyi örnek verilebilir.

3.4. Zemin İncelemesi

Zemin incelemesinde, numune alınması ve jeofizik yöntemler kullanılmaktadır [11].

4. Sonuçlar

Günümüzde yapılar farklı amaçlar için inşa edilmektedir. Bunların başında barınma ihtiyacımızı gideren binalar gelmektedir. Bu yapılar zaman zaman ya da zaman geçtikçe çeşitli yük, kuvvet vb. etkilere maruz kalmakta ve bu etkiler sonucunda da yapılan binalarda hasarlar meydana gelmektedir. Binalarda hasar oluşturan başlıca sebep projelendirme aşamasında da çoğunlukla etkin bir faktöre sahip olan deprem yükleri gelmektedir. Depremden kaynaklanan hasar etkisi yapının projelendirme aşamasından sonraki yani inşa edilme esnasında yapılan hatalarla daha da artmaktadır. Bu etkilerin dışında başka etmenler de bulunmaktadır. Binaların taşıyıcı sisteminin seçimi, zeminde oluşan farklı oturumları, yangın, donma-çözünme, çarpma ve patlatma etkileri de hasar sebeplerindedir. Hatalar sonucunda binalar hasar görmektedir. Bu çalışmada, betonarme binalarda oluşan hasarların sebepleri ve hasar belirleme yöntemleri üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yapının hasar durumları değerlendirilirken yapının sadece belli bir bölgesi hakkında fikir veren karot alma, ultrases ve Schmidt

çekici gibi yöntemler ve yapının bütünü hakkında fikir sağlayan Operasyonel ve Geleneksel Modal Analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemlerle oluşan hasarlar belirlenmeye çalışılmıştır. Hasarları oluşturan etkilerin doğru bir şekilde belirlenmesi can ve mal kaybının azaltılmasında ve mevcut hasarların onarılmasında dikkate alınmasının oldukça önemli olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, <https://www.afad.gov.tr/tr/24210/Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeliği> (Erişim Tarihi: 28.12.2018).
- [2] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Yayınlanma Tarihi: 18.03.2018 Sayı: 30364.
- [3] Celep, Z., Kumbasar, N. (2004). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.
- [4] Birand, A. (2007). Temel Zemin Etkileşmesi; Oturma ve Yapı Hasarı, *Yapı Zemin*.
- [5] Uğurlu, A. (2013). Depremde Beton ve Davranışı, *TMH*, 476 (2), 57-63.
- [6] Oymael, S. Su-Rutubet ve Yangın Etkilerinin Dayanım, Malzeme Seçimi ve Bina Tasarımı ile İlişkisi, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11150.pdf> (Erişim Tarihi: 28.12.2018).
- [7] Türker, T. (2015). Deneysel Yöntemlerle Hasar Tespiti Ders Notları.
- [8] Arıoğlu, E. ve Arıoğlu, M. N. (2005). Üst ve alt yapılarda beton karot deneyleri ve değerlendirilmesi. Evrim Yayınevi.
- [9] Bayraktar, A., Türker, T., Altunışık A. C., Sevim B., Şahin, A., Özcan D. M. (2010). Binaların Dinamik Parametrelerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, *İMO Teknik Dergi*, 337, 5185-5205.
- [10] Bayraktar, A., Türker, T. (2005). Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile Düzlem Çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005, 1035-1041.
- [11] Yıldırım, S. (2002). Zemin incelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen yayınevi.