



TMMOB  
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ  
ODASI

imo.org.tr



6 Şubat 2023

Kahramanmaraş Depremleri  
Sonucu Oluşan Yapısal  
Hasarlara İlişkin

# Gözlem ve Değerlendirme Raporu



**TMMOB**  
**İnşaat Mühendisleri Odası**

Necatibey Cad. No: 57 Kızılay / Ankara  
Tel: 0.312.294 30 00 - Faks: 294 30 88  
E-posta: imo@imo.org.tr - www.imo.org.tr

**TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası**

**48. Dönem Yönetim Kurulu**

Taner Yüzgeç ..... *Yönetim Kurulu Başkanı*  
Nusret Suna ..... *Yönetim Kurulu II. Başkanı*  
Özer Akkuş ..... *Yönetim Kurulu Sekreteri Üyesi*  
Jale Alel ..... *Yönetim Kurulu Sayman Üyesi*  
Gülsun Parlar ..... *Yönetim Kurulu Üyesi*  
Veysel Özkan ..... *Yönetim Kurulu Üyesi*  
Tansel Önal ..... *Yönetim Kurulu Üyesi*

**Hazırlayanlar:**

Abdullah İncir ..... *Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu Üyesi*  
Jale Alel ..... *Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu Üyesi*  
Cahit Kocaman ..... *Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu Üyesi*  
Nejat Bayülke ..... *Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu Danışmanı*  
Akif Doğan ..... *Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu Danışmanı*

Oda Yayın No: İMO/23/03

ISBN: 978-605-01-1582-6

Baskı Tarihi: 9 Ekim 2023

Tüm hakları saklıdır.

**Baskı**

Ziraat Gurup Matbaacılık Ambalaj San. Tic. A.Ş.  
Bahçekapı Mah. 2534 Sok. No: 18 Şaşmaz / Ankara  
Tel: 0.312.384 73 44 - Faks: 0.312.384 73 46  
Matbaa Sertifika No: 48052

## 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ SONUCU OLUŞAN YAPISAL HASARLARA İLİŞKİN GÖZLEM VE DEĞERLENDİRME RAPORU

### GİRİŞ

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ilimizde, önce saat 04.17'de merkez üssü Pazarcık ilçesi yakınlarında 7,7 moment büyüklüğünde (Mw), bu depremden 9 saat sonra saat 13.24'te aynı bölgede merkez üssü Elbistan yakınlarında 7,6 moment büyüklüğünde (Mw) iki yıkıcı deprem peş peşe meydana gelmiştir. Doğu Anadolu Fay Zonu'nda gerçekleşen bu iki büyük depremi 11.000'in üzerinde artçı şokun izlediği AFAD tarafından açıklanmıştır. Bu depremler Adana, Adıyaman, Elazığ, Hatay, Gaziantep, Diyarbakır, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa illerini kapsayan çok geniş bir bölgede çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuş, Bingöl, Kayseri, Mardin, Tunceli, Niğde ve Batman ile Sivas ili Gürün ilçesinde de bazı yerleşim birimlerinde hasar gören binalar olduğu tespit edilmiştir.

Resmi kayıtlara göre; 50.000'den fazla vatandaşımız yaşamını yitirmiş, 107.000 vatandaşımız ise yaralanmıştır. Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün 12 Haziran 2023 tarihli verilerine göre, bölgede hasar tespiti amacıyla incelenen toplam bina sayısı 2.239.780 (6.472.571 Bağımsız Bölüm) dür. Bunlardan; 627.805 binanın (2.024.022 Bağımsız Bölüm) Az Hasarlı, 44.346 binanın (169.734 Bağımsız Bölüm) Orta Hasarlı, 202.366 binanın (494.939 Bağımsız Bölüm) Ağır Hasarlı, 38.901 binanın (102.638 Bağımsız Bölüm) Yıkık, 21.208 binanın (77.876 bağımsız bölüm) ün acil yıkılacak olarak tespit edildiği, 132.780 adet binada ise (220.404 Bağımsız Bölüm) hasar tespitinin yapılamadığı açıklanmıştır.

Binalardaki bu hasarın yanı sıra, havaalanları, karayolları, demiryolları, köprüler, menfezler, sanayi tesisleri, enerji hatları, temiz su ve atık su hatları, altyapı tesisleri vb. diğer mühendislik yapıları da hasar görmüştür. Bu depremlerde ayrıca bölgede heyelan, yanal yayılma, kaya düşmesi, sıvılaşma gibi olaylar da yaygın olarak gözlenmiştir.

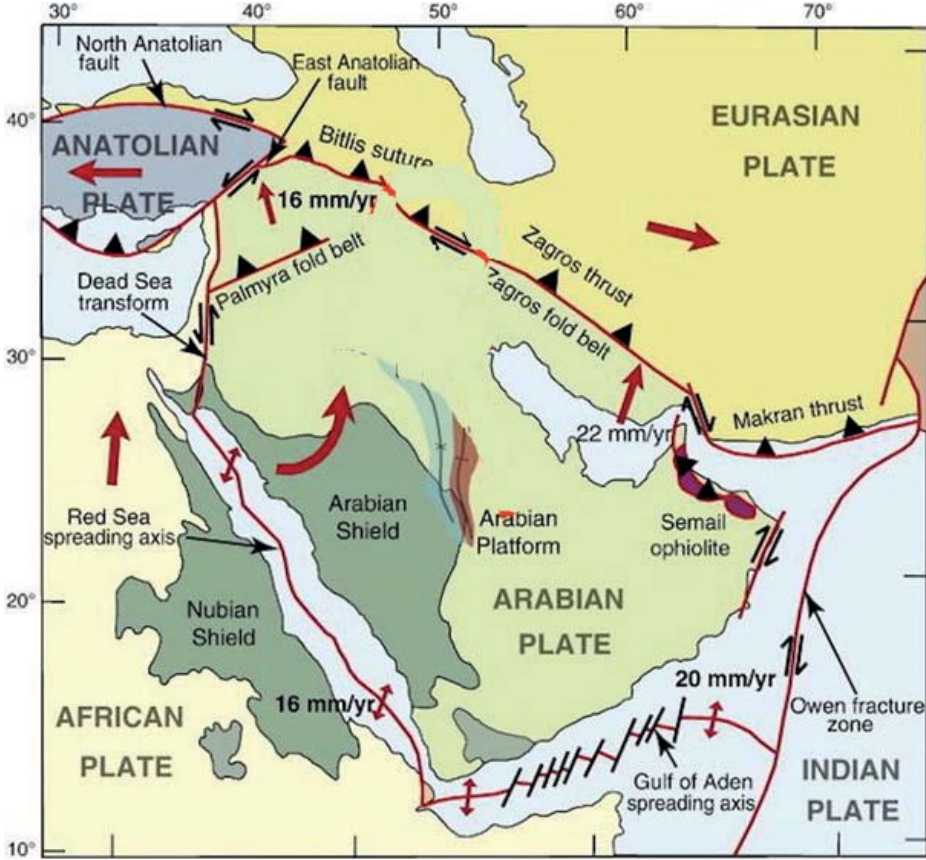
Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının Mart 2023'te yayımlanan raporuna göre; söz konusu depremin Türkiye ekonomisi üzerinde yol açtığı toplam yükün, yaklaşık 1995 milyar TL (103,6 milyar dolar) düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu büyüklüğün 2023 yılı milli gelirinin yaklaşık yüzde 9'una ulaşabileceği değerlendirilmektedir. Yine aynı raporda depremin Türkiye ekonomisi üzerindeki toplam yükün içerisinde en önemli bileşenini yüzde 54,9 oranıyla konut hasarının oluşturduğu (1073,9 milyar TL/ 56,9 milyar dolar), ikinci ağırlıklı hasar kaleminin ise kamu altyapısı ve hizmet binalarındaki yıkımdan oluştuğu (242,5 milyar TL/ 12,9 milyar dolar) belirtilmektedir. Konut hariç özel kesim hasarı ise (222,4 milyar TL/ 11,8 milyar dolar) diğer bir ağırlıklı hasar kalemi olarak tahmin edilmektedir. Bu kalemin içerisinde imalat sanayii, enerji, haberleşme, turizm, sağlık ve eğitim sektörleri ile küçük esnaf hasarı ve ibadethaneler yer almaktadır. Ayrıca, sigortacılık sektörü kayıpları ve esnafın gelir kayıpları ile makroekonomik etkiler de dikkate alındığında toplam ekonomik kayıp yukarıdaki değere ulaşmaktadır.

Bu rapor; İMO 48. dönem Afet Hazırlık ve Müdahale Kurulu üyeleri Abdullah İncir, Jale Alel, Cahit Kocaman ile Kurul Danışmanları Nejat Bayülke ve Akif Doğan tarafından, 28 Şubat-04 Mart 2023 tarihleri arasında Adana'dan başlayarak Hatay, Gaziantep, Kahramanmaraş,

Adıyaman, Malatya ve Elazığ illerinde gerçekleştirilen incelemeler sonucunda hazırlanmıştır. Deprem bölgesinde belirli bir güzergâh boyunca, sürenin elverdiği ölçüde yapılan gözlem ve incelemelere dayalı tespit ve değerlendirmeleri içermektedir.

### 1. 6 ŞUBAT 2023 DEPREMİNE GENEL BİR BAKIŞ

6 Şubat 2023 Depremleri Anadolu Plakası ile Arap Plakası ara yüzündeki Doğu Anadolu Fayı üzerinde olmuştur (Şekil-1). Plaka sınırlarında olan depremler plaka içine göre genellikle daha büyük magnitüdü olmaktadır.



Şekil-1: Deprem üzerinde olduğu Doğu Anadolu Fayı (East Anatolian Fault), Arap Plakası (Arabian Plate) ile Anadolu Plakası (Anatolian Plate) arasındadır. Arap Plakası yılda 16 mm atım ile saat istikametinin ters yönünde dönmekte ve Kızıl Deniz (Red Sea) de Kuzey ucunda kapanırken güney ucunda açılmaktadır.

Geçmişte üzerinde büyük depremlerin olduğu ancak yakın zamanlarda büyük deprem olmamış yerler "Sismik Boşluk" olarak nitelenmektedir. Türkiye'deki sismik boşlukları tanımlayan harita 1996 yılında, o zamanki Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesince yayımlanmıştır (Demirtaş ve Yılmaz-2016). Bu harita bir deprem tahmini değildir. Ancak büyük deprem beklentisinin olduğu yerleri gösterir. Haritada 17 Ağustos 1999 depreminin olduğu

sismik boşluk bölgesi de işaretlenmiştir. Sismik Boşluk haritasında “Türkoğlu” olarak gösterilen bölge 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen depremlerin olduğu yerdir. Kısaca 6 Şubat 2023 depremlerinin olduğu yerde deprem beklentisinin geçmişi yaklaşık olarak en az 30 yıl öncesine dayanmaktadır.



Şekil-2: Türkiye için Hazırlanmış bir “Sismik Boşluk” Haritası (Demirtaş ve Yılmaz-1996). Haritadaki “Türkoğlu” bölgesi 6 Şubat 2023 Depreminin olduğu bölgedir.

Bu depremdeki hasarın en belirgin özelliği ağır hasar ve yıkımın çok katlı yapılarda (>8-10 kat) olmasıdır. Maraş’ın daha sağlam zemine sahip yamacın yüksek kesimlerinde, Dulkadiroğlu’nda 2-3 katlı yığma ya da betonarme elemanlı yığma yapılarının olduğu sokaklarında çoğu “usta-kalfa” işi, mühendislik hizmeti olmayan yapılarda dahi yıkım ve hasar çok ender görülmektedir. Buna karşılık yamacın daha alt kısımlarında, yumuşak zemine sahip sonradan imara açılmış tarım arazileri üzerinde inşa edilmiş, Maraş’ın daha itibarlı caddelerindeki çok süslü ve alımlı yüksek yapılardan (>8-10-15 kat) çoğu ağır hasarlı ya da yıkılmıştır.

Benzer bir durum Adıyaman’da da vardır. Ana Cadde üzerindeki “yüksek” yapıların çoğu ya yıkılmış ya da ağır hasarlı iken, ana caddeye paralel yan sokaklardaki 3-5 katlı yapılarda yıkım ve ağır hasar hemen hiç yok gibidir.

Deprem Yönetmeliğimizdeki tasarım ile ilgili bazı hesap esaslarının yeni veriler ışığında gözden geçirilmesinde ve güncellenmesinde elbette yarar vardır. 7,7 büyüklüğündeki deprem çok büyük enerji içeriğine sahiptir. Ancak hasarın bu derece yaygın ve ağır olmasının nedenini yalnızca depremin “büyüklüğüne”, “zemin koşullarına” ve “yönetmelikte var olduğu iddia edilen bazı eksikliklere” bağlamak doğru değildir. Raporun ilerleyen bölümlerinde verilen hasarlı binalar üzerinde gerçekleştirilen gözlemler bu durumu kanıtlamaktadır.

24 Şubat 2010 Şili Depremi 8,8 büyüklüğündedir. Bu deprem enerji içeriği bakımından 6 Şubat 2023 depreminden yaklaşık 10 kat daha büyük bir deprem olmasına karşılık Şili’de sadece 4 (dört) adet yüksek yapı yıkılmış ve 50 kadar yüksek yapıda ağır hasar meydana gelmiştir (Bayülke-2011).

9,0 Büyüklüğündeki 11 Mart 2011 Japonya Tohoku Depreminde ise yakın ya da uzakta depremden etkilenen ya da yıkılan “Yüksek” yapı yoktur.

Bu örnekler çok büyük depremlere de dayanabilen yüksek yapıların olduğunu göstermektedir. Deprem bölgesinde 6 Şubat 2023 depreminden az etkilenmiş yüksek yapılar da vardır.

## 2. YÜZEY KIRIKLARININ BİNALAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bölgede çok sayıda enkaz haline gelmiş yapı olmasına rağmen yüzey kırığının geçtiği hat boyunca yıkılmayan çok sayıda yapı vardır. Gerçek laboratuvar ortamında depremin kendi eliyle yaptığı ve kimsenin itiraz edemeyeceği test sonuçları gösteriyor ki; gevşek, alüvyon zeminde daha rijit bir yapı ile karşılaşan yüzey kırığı, kolay yolu seçip binaların etrafından dolaşır. Depreme dayanıklı yapılmış binalar, altından yüzey kırığı geçse bile yıkılmıyor. Tam Fayın üzerine denk gelip yıkılan bina sayısı yok denecek kadar azdır. Geçmiş depremlerde de gözlenen bu durum, son depremde adeta kanıtlanmış durumdadır ve bölgede çok sayıda örneği vardır. Bu durumda, yumuşak, alüvyon zeminde fay sakinim bandı (tampon) bırakılırken çok daha dikkatli davranılması, “Fay görülen yerlerde doğrudan 500-600 m’lik Tampon Bölge (Koruma Bandı) bırakılacak” söyleminin gözden geçirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkıyor.

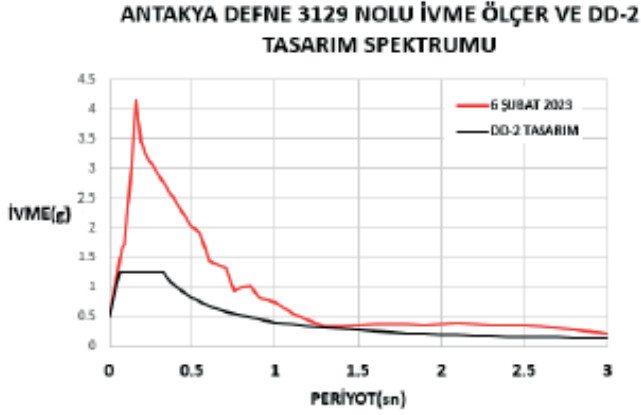
Bu binaların bulunduğu zeminde sıvılaşmaya bağlı taşıma gücü kaybı nedeniyle binaların olduğu yerde bir miktar gömüldüğü ve/veya yana yattığı görülüyor. Ancak böyle sıvılaşan bir zeminde üst yapıya çok daha az atalet kuvvetleri geldiği, bu nedenle üstyapının çok daha az zarar gördüğü de yine gözlenen başka bir gerçek. Bu durum sıvılaşan zeminin adeta izolatör gibi davrandığını gösteriyor.

Türkiyenin Deprem Tehlike Haritası, 1944, 1947, 1948, 1963, 1972, 1996 ve en sonuncusu 2018 yılında olmak üzere bugüne kadar 7 kez güncellenerek yayımlanmıştır. 6 Şubat 2023 depremlerinde kaydedilen yüksek ivmelerin beklenilenden yüksek olduğu bir gerçektir. Bugüne kadar yapıldığı gibi Türkiye Deprem Tehlike Haritası elde edilen yeni veriler doğrultusunda tekrar güncellenebilir. Aynı şekilde deprem yönetmelikleri de yine en son veriler ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda güncellenerek yenilenebilir. Ancak ülkemizin deprem risklerinin azatılmasında öncelikli konusu “Fay Yasası” değildir. Büyük deprem üretecek fayların konumu ve deprem beklentisi olan yerler (sismik boşluklar) zaten bilinmektedir. Üstelik, gerek Plana altlık Jeolojik, Geoteknik ve Mikrobölgeleme etütleri gerekse statik projeye altlık Zemin Etütleri ile bu tehlike ve riskler detaylı olarak araştırılıp ortaya konmaktadır. Kısacası Türkiye’nin deprem tehlikesi zaten bilinmektedir. Ancak mevcut yapı stokundan hangilerinin depreme dayanıklı hangilerinin dayanıksız olduğu (kırılabilirlik) hakkında yeterli araştırma, veri ve bilgi yoktur. Ülkemizde risk değerlendirmesi ve önceliklendirmesi yapılamamasının asıl nedeni de budur. Fay Yasası ile uğraşmak yerine, vakit kaybedilmeden ülkedeki mevcut yapıların deprem performanslarının gerekirse hızlı yöntemler kullanılarak belirlenmesi, çıkan sonuca göre risklerin değerlendirilerek önceliklendirilmesi ve dönüşümün yanı sıra güçlendirme alternatifi de dikkate alınarak iyileştirme çalışmalarına başlanması gerekmektedir.

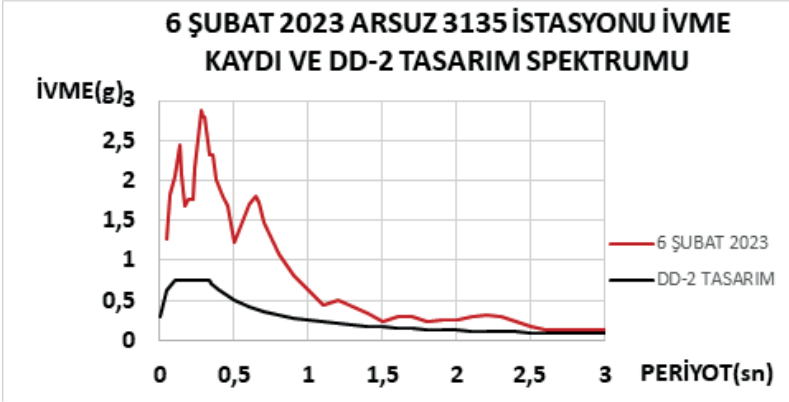
### 3. KUVVETLİ YER HAREKETİ KAYITLARI

Depremde pek çok noktada deprem kuvvetli yer hareketi ölçülmüştür. Farklı yerleşim yerlerinde ölçülen kuvvetli yer hareketi büyüklükleri üzerinde çok ayrıntılı incelemeleri gerektirmektedir. Burada bazı önemli görülen noktalar üzerinde durulacaktır.

Pazarcık ilçesi yakınları olarak kabul edilen depremin merkezi, Malatya'ya Kuzey-Doğu yönünde 130 kilometre uzaktadır. Antakya ise, Güney-Batı yönünde yaklaşık 190 kilometre kadar uzaktadır. Ancak deprem Malatya'da daha sınırlı hasara neden olurken, Antakya ise adeta yerle bir olmuştur. Antakya Defne'de ölçülen deprem yer hareketinden hesaplanan tepki spektrumu ile Antakya için Deprem Yönetmelik ve Tehlike Haritasında verilen spektrumlar Şekil-3'de gösterilmektedir.



Şekil-3: Antakya Defne AFAD'ın 3129 no.lu ivmeölçerinin kaydettiği yer hareketinin spektrumu ve aynı nokta için Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Deprem Yönetmeliğinin (2018) verdiği tasarım spektrumu. (N. Bayülke)

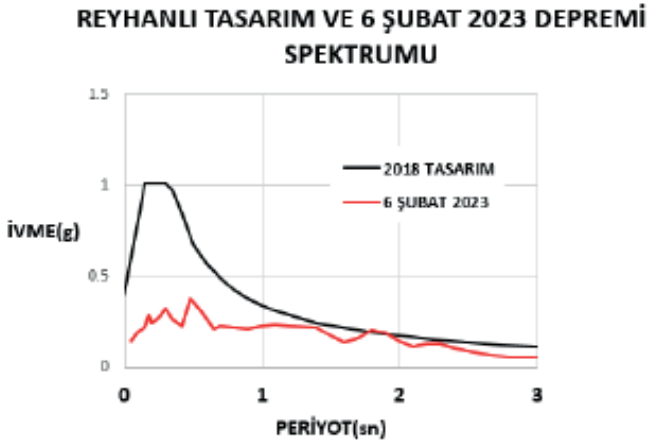


Şekil-4: Hatay-Arsuz'da AFAD'ın 3135 no.lu ivmeölçerinin kaydettiği yer hareketinin spektrumu ve aynı nokta için Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Deprem Yönetmeliğinin (2018) verdiği tasarım spektrumu. (N. Bayülke)

Benzer bir spektrumlar karşılaştırması ne yazık ki Malatya'dan sağlıklı veri alınmadığı için yapılamamıştır.

Deprem merkezine çok yakın olan Pazarcık ve Gölbaşı'nda depremin yalnızca ilk başlangıç bölümü kaydedilmiştir. İlk 15-20 saniyeden sonrasının kaydı yoktur. İvmeölçerler, elektrik kesilmesinden dolayı ya da hasar gördükleri için deprem yer hareketinin tümünü kaydedememiş olabilir.

Depremde hareket eden fay hattına dik yönde yaklaşık 35-40 kilometre uzakta olan Reyhanlı'da hemen hiç hasar olmamıştır. Reyhanlı'da çok katlı (>8-10 kat) yapı da yoktur. Şekil-5 ve 6'da Reyhanlı ve Samandağ için tasarım spektrumu ve 6 Şubat 2023 depreminin spektrumları verilmektedir.



Şekil-5: Reyhanlı ivme kaydından hesaplanmış tepki spektrumu ve aynı nokta için Tasarım Spektrumu. (N. Bayülke)

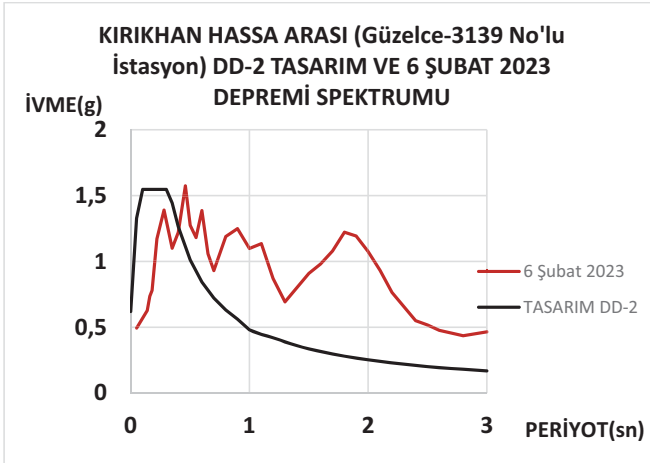




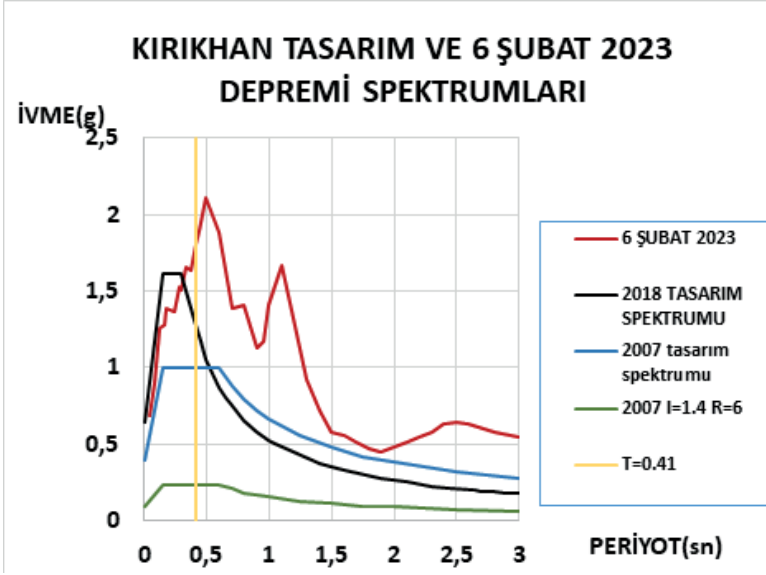
Şekil-6: Samandağ ivme kaydından hesaplanmış tepki spektrumu ve aynı nokta için Tasarım Spektrumu. (N. Bayülke)

Kırıkhan 3139 no.lu istasyondan elde edilen ivme kaydından hesaplanmış 6 Şubat 2023 tepki spektrumu ile 2018 Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumunu karşılaştırdığımızda;

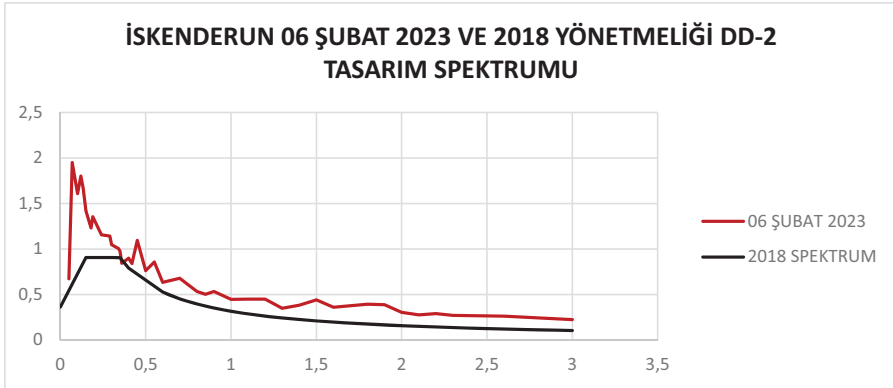
Tasarım Spektrumundaki plato kısmının oldukça dar kaldığı, 0,4 sn'nin üzerinde periyot uzadıkça ivme değerlerinin aniden çok azaldığı görülmektedir. Halbuki 6 Şubat 2023 tepki spektrumundaki değerlere göre uzun periyotlu yapılara çok daha yüksek ivmeler etmiştir. Bu durumda kat yüksekliği fazla, uzun periyotlu yapılara tasarım spektrumunda öngörülenden çok daha yüksek kuvvetlerin etkiğini söylemek mümkündür.



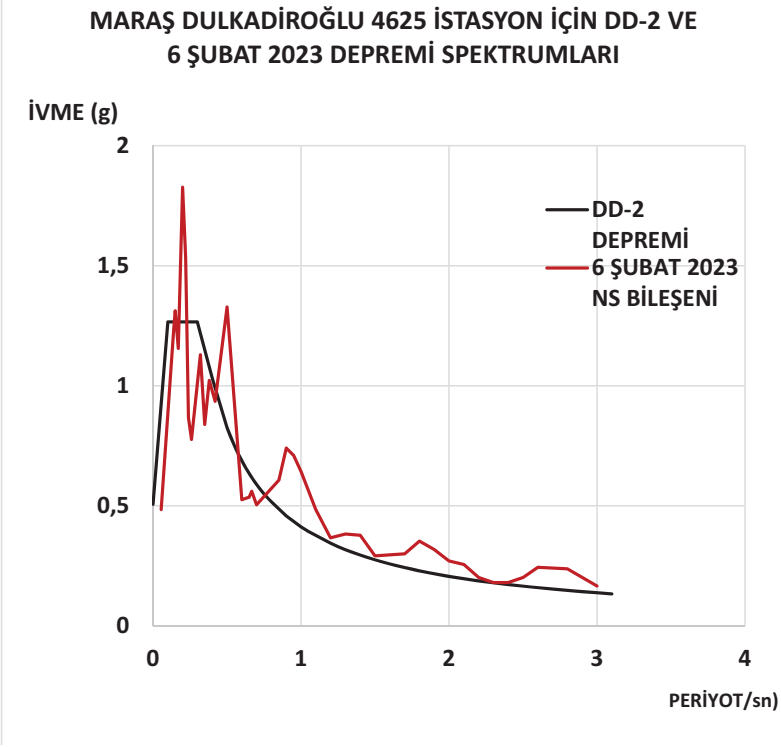
Şekil-7: Kırıkhan-Güzelce 3139 no.lu istasyondan elde edilen ivme kaydından hesaplanmış 6 Şubat 2023 tepki spektrumu ve Tasarım Spektrumu. (N. Bayülke)



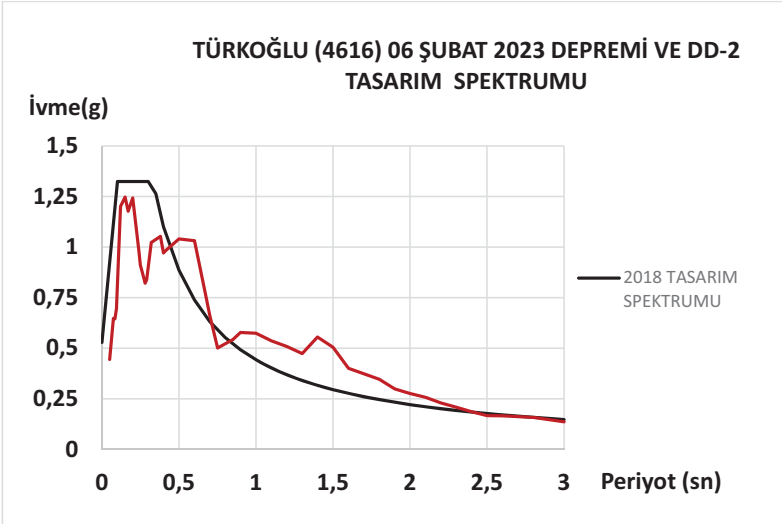
Şekil-8: Kırıkhan'da elde edilen ivme kaydından hesaplanmış 6 Şubat 2023 tepki spektrumu ile 2007 ve 2018 Tasarım Spektrumları. (N. Bayülke)



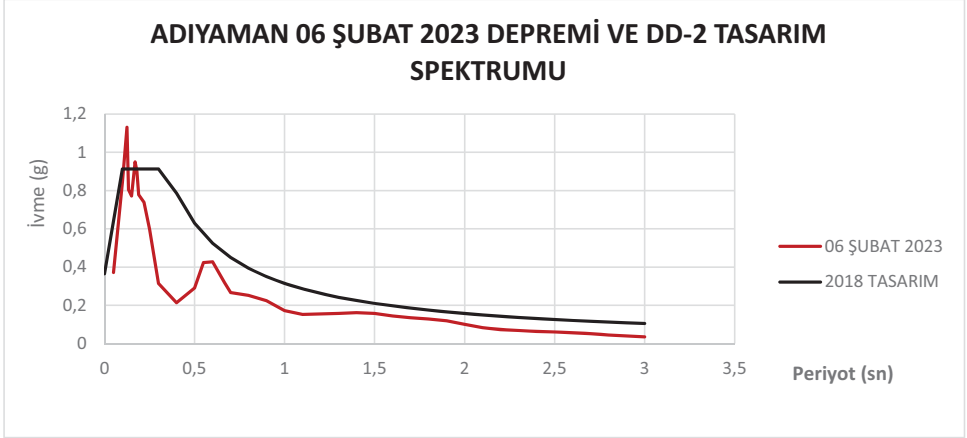
Şekil-9: İskenderun için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Yönetmeliği DD-2 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



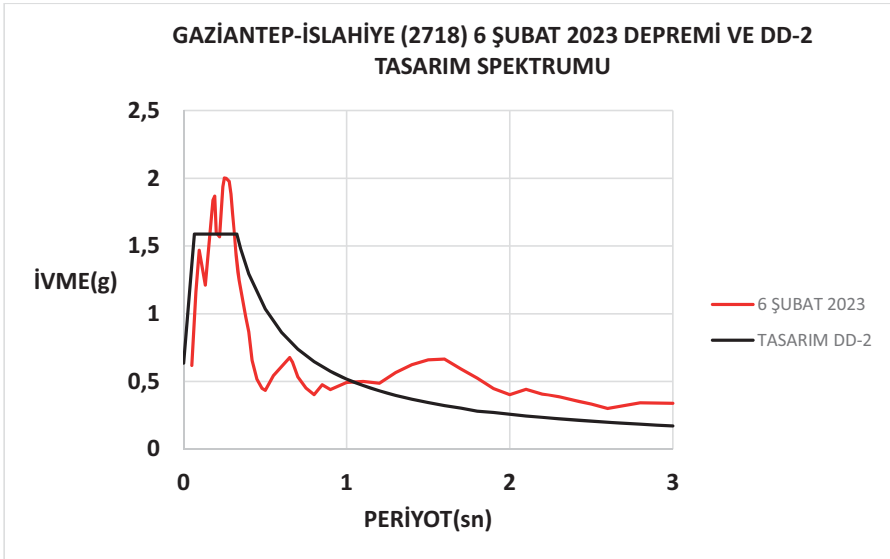
Şekil-10: Kahramanmaraş-Dulkadiroğlu için Tasarım ve 6 Şubat 2023 depremi spektrumları (N. Bayülke)



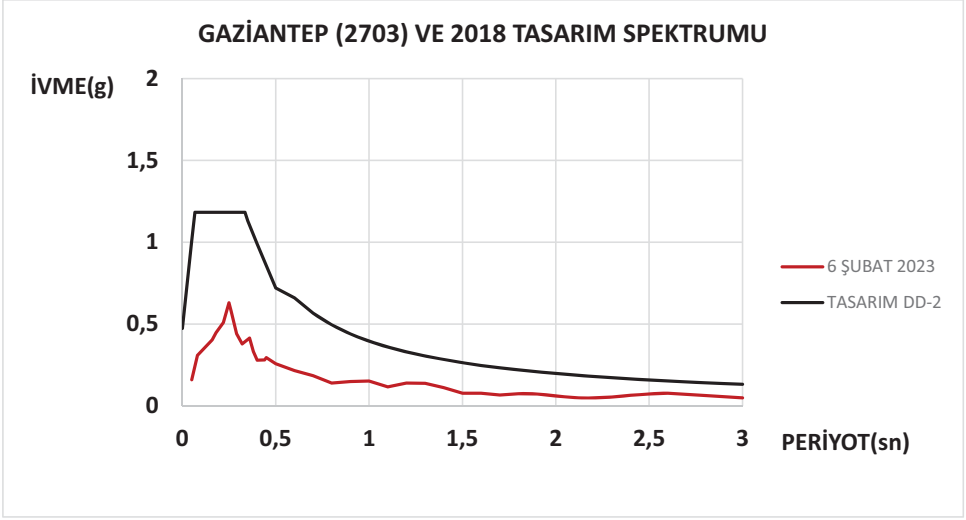
Şekil-11: Kahramanmaraş-Türkoğlu için Tasarım ve 6 Şubat 2023 depremi spektrumları (N. Bayülke)



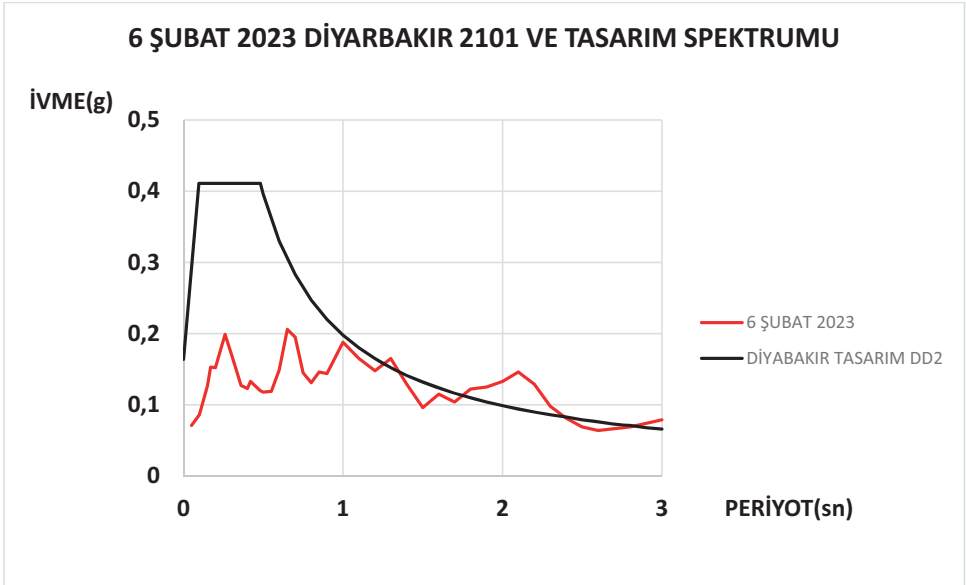
Şekil-12: Adiyaman için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Yönetmeliği DD-2 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



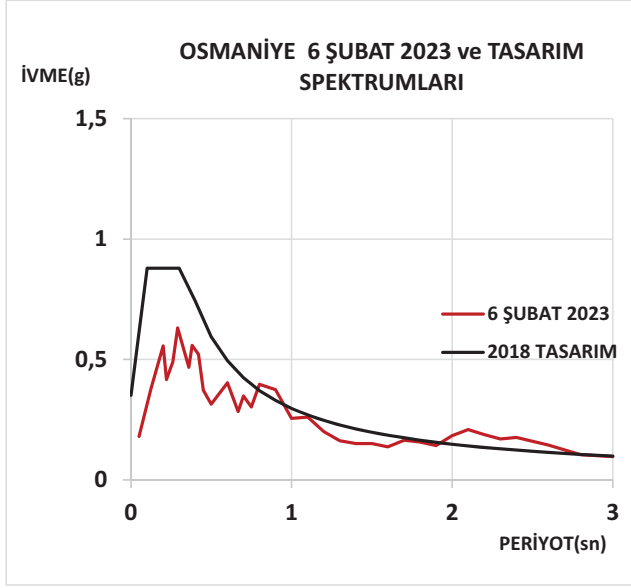
Şekil-13: Gaziantep-İslahiye için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



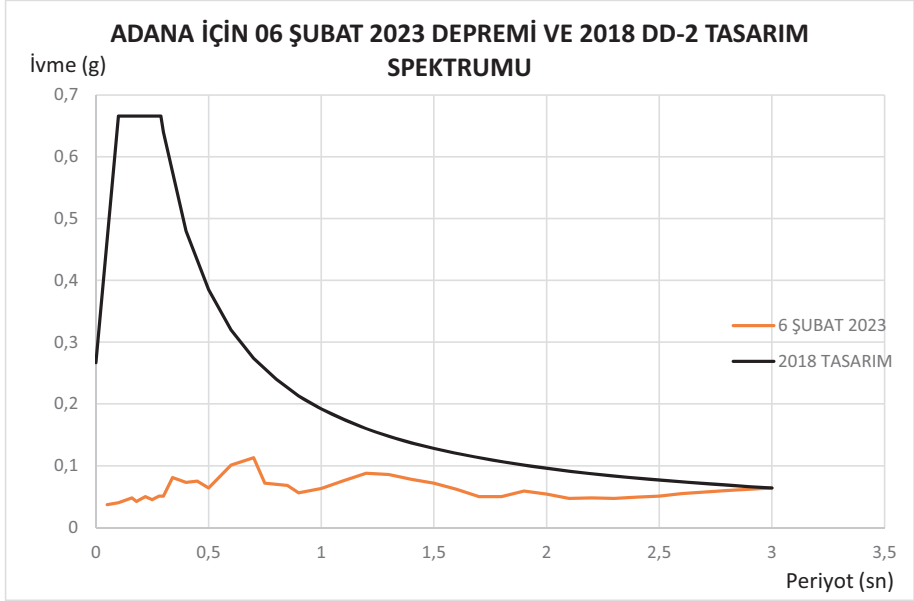
Şekil-14: Gaziantep için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



Şekil-15: Diyarbakir için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



Şekil-16: Osmaniye için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)



Şekil-17: Adana için 6 Şubat 2023 depremi ve 2018 Tasarım spektrumları (N. Bayülke)

Tasarım Spektrumları ile depremde ölçülen kuvvetli yer hareketi ivme kayıtlarından hesaplanmış spektrumların en büyük uç ivme ve periyot kapsamı açısından karşılaştırılması aşağıdaki noktaları işaret etmektedir.

- 3.0.1. Antakya ve Kahramanmaraş'ta ölçülen yer hareketi spektrumlarının uç ivme değerleri tasarım spektrumlarına göre çok büyüktür. Tasarım spektrumu uç ivmesi deprem spektrumuna göre Antakya'da 5-6 kat daha küçüktür. Ayrıca tasarım spektrumunda 0,5-1,0 saniye periyot aralığında genlik azalması deprem spektrumuna göre çok daha hızlıdır.
- 3.0.2. 6 Şubat 2023 depreminde Kırıkhan 3139 no.lu istasyondan elde edilen ivme kaydından hesaplanmış tepki spektrumu ile 2018 Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumu karşılaştırıldığında; Tasarım Spektrumundaki plato kısmının oldukça dar kaldığı, 0,4 sn'nin üzerinde periyot uzadıkça ivme değerlerinin aniden çok azaldığı görülmektedir. Halbuki 6 Şubat 2023 tepki spektrumundaki değerlere göre uzun periyotlu yapılara çok daha yüksek ivmeler etkimıştır. Bu durumda kat yüksekliği fazla, uzun periyotlu yapılara tasarım spektrumunda öngörülenden çok daha yüksek kuvvetlerin etkiğini söylemek mümkündür. Benzer durum 23 Kasım 2022 Düzce Depreminde de görülmüştür.
- 3.0.3. Kahramanmaraş'taki ivme kaydından hesaplanmış spektrum ile deprem spektrumu arasında iyi bir uyum vardır.
- 3.0.4. Depremde hareket eden faya dik yönde 35-40 kilometre kadar uzakta yer alan Reyhanlı'da kaydedilen yer hareketinin spektrumu, tasarım spektrumuna göre çok daha küçük uç genliktir. Bu durum tasarım spektrumlarının hazırlanmasında, faya dik yönde deprem yer hareketinin azalım ilişkisinin fay doğrultusundaki azalım ilişkisinden farklı olduğunun dikkate alınmadığını göstermektedir. Benzer durumlar 26 Eylül 2019 Marmara Depreminde faya dik yönde yer alan Silivri, Marmara Ereğlisi ile Büyükçekmece kayıtlarında ve 24 Ocak 2020 Sivrice-Pütürge depreminin Elazığ'daki kayıtlarında da gözlenmiştir.
- 3.0.5. Depremin merkezine daha yakın olan Malatya'da hasar ve yıkımın Antakya'ya göre daha az olması Doğu Anadolu Fayındaki yırtılmanın Güneybatı yönünde ilerlemesinin sonucudur. *Fayda yırtılma Güneybatıya doğru ilerledikçe oluşan şok ve ivme dalgaları Kuzeydoğudaki Malatya'ya giderek daha uzaktan geldiği için üst üste binmemiş ve yer hareketinin genliği daha küçük kalmıştır.* Antakya'da ise, faydaki yırtılma yönünde yer aldığı için giderek daha yakından gelen şok ve ivme dalgaları üst üste binerek çok daha büyük uç ivmeleri olan bir yer hareketi ile yapılar zorlanmıştır. Bu bir Doppler (büyütme) etkisidir.

#### 4. SÜNEK YAPILAR

1997 Deprem Yönetmeliği ile sünek ve normal sünek yapı ayrımı depreme dayanıklı yapı tasarımında yerini almıştır.

“Sünek” yapı için R deprem hesap yükünü azaltma katsayısı:  $R=8$  ya da  $R=6$  olurken, bu katsayı “Normal Sünek” yapılar için  $R=4$  olmaktadır.

Bu yaklaşımın sonucu “sünek” yapının yatay yük katsayısı normal yapıya göre yarı yarıya daha az olmaktadır. Sünek yapılar için tasarım yükünün %50 daha az olması bu yapıların tasarımında daha küçük en kesitli taşıyıcı çerçeve kolonlarına izin vermekte ve belki de betonarme perde duvar yapılmasına gerek kalmamaktadır.

Çizelge-1’de Antakya merkezinde Defne’de çok katlı yapıların süneklik durumuna ve yapı periyoduna göre tasarımda kullanılacak yatay deprem yükü katsayıları verilmektedir.

Yapı Periyodu (saniye)	DEFNE için Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre yatay yük katsayısı	R=4 (%)	R=6 (%)	R=8 (%)
0,5	0,682	17	11,3	8,50
1,0	0,409	10,2	6,8	5,01
1,5	0,273	6,8	4,6	3,44
2,0	0,200	5,0	3,3	2,5

Çizelge-1: Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre Antakya Defne’de Yapı Periyodu-Süneklik Durumu-Yatay yük Katsayıları

Yürürlükte olan 2018 Deprem Yönetmeliğindeki denklem 4.19’a göre izin verilen en düşük katsayı %4 olmaktadır. Şili’de ise bu katsayı %6,7’dir. 10 katlı, perde duvarı olmayan bir betonarme çerçeveli yapının periyodu yaklaşık 0,1 saniye x 10 kat = 1,0 saniye varsayılırsa bu yapının R=8 süneklik düzeyinde tasarımı yatay yükü %5 kadar küçük olmaktadır.

Sünek yapı, sünek sözünden anlaşılacağı gibi depremde hasar görmeden daha çok yanal öteleme yapacaktır.

Bunun sağlanması için olması gerekenler, diğer bir deyişle sünek yapıda olması gereken nitelikler aşağıda verilmiştir.

Yönetmeliğe göre kolonların moment taşıma gücü, saplanan kirişlerin moment taşıma gücünden %20 daha fazla olacaktır. Öte yandan bazı deneyler bu oranın çok daha fazla, %50-100 arasında olması gerektiğini göstermektedir.

Kiriş uçlarındaki etriye miktarı, kiriş boyuna donatılarının “pekleşme” gerilmesine (4,2 tonf/cm<sup>2</sup> yerine 5,5 tonf/cm<sup>2</sup> gibi) ulaştığı zaman oluşan eğilme momentine göre hesaplanması istenmektedir. Bunun sonucunda özellikle kolonlarda çok sık aralıklı etriye konulması gerekmektedir.

Sünek davranış için en önemli koşul olarak 2018 tarihli Deprem Yönetmeliğinde verilen, kolonlar için  $N < 0.40 \cdot A_c \cdot f_{ck}$ , perdeler için  $N < 0.35 \cdot A_c \cdot f_{ck}$  kuralının sünek davranış sağlamayan bir aksel yük düzeyi olduğu düşünülmektedir. Kolon ve perdeleri yatay yük altındaki davranışının belirleme deneylerinde kolonun aksel yük oranı  $> 0.20$ ’den büyük olunca “sünek” davranışın sağlanmadığı çok sık görülmüştür.

Örnek olarak Şili’de bu oran %20’dir. Bu son iki kural sünek davranış için çok daha büyük en kesit boyutlu ve donatılı Düşey Taşıyıcı Elemanların (Kolon ve Perdelerin) yapılmasını gerektirmektedir.



## 5. KAT ÖTELENME ORANI

Bu oran 2018 Deprem Yönetmeliğinde %0,8 (dolgu duvarlar çerçeveye bitişik ise) ve %1,6 (dolgu duvar çerçeve arasında aralık varsa) verilmektedir.

Dolgu duvarlar  $<0,5$  oranında öteleme ile çatlamaya başlar. Yüksek yapıların ağırlığını azaltmak için yatay delikli tuğla, gaz beton, cüruf blok gibi hafif ve dayanımı az olan malzemelerin kullanılması, dolgu duvarların daha düşük şiddetli depremlerde çatlamasına ve hasarına neden olmaktadır. Bu oranın çerçeveden “yalıtılmış” bölme duvarı olan yapılarda %1,6’ya kadar izin verilmesi dolgu duvarların şiddetli depremlerde tümü ile tahrip olmasına neden olmaktadır. Öte yandan betonarme elemanlarda ötelenme oranı %1,0’i aştığı zaman çatlakların başlayacağı da bilinmektedir.

Dolgu duvarlar için izin verilen çok yüksek kat ötelenme oranları duvarların depremlerde ağır hasarına neden olmaktadır.

6 Şubat 2023 Depremlerinde pek çok yüksek yapıda taşıyıcı elemanlarda hafif hasar olmasına karşın bölme duvarların tümü ile tahrip olduğu ve bu durumdaki yapıların da “ağır” hasarlı olarak değerlendirildiği görülmektedir.

Sonuç olarak 6 Şubat 2023 depreminde çok katlı yapılarda gözlenen ağır hasar ve yıkımın önemli nedenleri arasında; sünek yapıların çok düşük yatay deprem yüklerine göre tasarlanmasına, düşey taşıyıcılarda sünek davranış sağlamayacak oranda düşey yüklere, kat ötelenme oranlarının çok olmasına Deprem Yönetmeliğinde izin verilmesi vardır.

Yukarıda “Kuvvetli Yer Hareketleri Kayıtları” bölümünde ve Şekil-8’de bahsedildiği üzere; 6 Şubat 2023 depreminde elde edilen ivme kaydından hesaplanmış tepki spektrumu ile 2018 Deprem Yönetmeliği Tasarım Spektrumu karşılaştırıldığında, kat yüksekliği fazla, uzun periyotlu yapılara tasarım spektrumunda öngörülenden çok daha yüksek kuvvetlerin etki ettiği görülmektedir. Hatta Kırıkhan’daki süneklik katsayısı  $R=6$  olan bir bina için dikkate alınan ivmeler, 6 Şubat 2023 deprem kayıtlarından elde edilen spektruma göre 9 kat, 2018 Deprem Yönetmeliği DD-2 tasarım spektrumuna göre ise 7 kat daha düşüktür.

Bu kurallar, yüksek yapılarda yatay yükleri taşımak için gerekli perde miktarının az olmasına ya da perde duvarın hiç yapılmamasına ve yapının yatay ötelenmelerinin çok büyük olmasına neden olmaktadır. Büyük yatay ötelenmeler düşey yükler ile birlikte ikinci mertebe momentler oluşturarak ötelenmenin daha da artmasına ve kolon ve kiriş uçlarında ek momentler oluşturarak mafsallaşmanın daha da ilerlemesine ve giderek katların birbiri üstüne kayarak yapının yıkılmasına neden olmaktadır.

6 Şubat 2023 Depreminde yıkılan yapıların çoğunun yüksek yapı olması burada anlatılan tasarım ve ona bağlı davranışın sonucu olabilir.

## 6. ZEMİN-YAPI İLİŞKİSİ

Türkiye’de yapıların deprem hasarı büyük ölçüde “yanlış yer seçimi”, “zemin etüdü yapılmamış olması” gibi nedenlere bağlanır. Bu nedenlerin kısmen doğru olmasına karşın aslında ülkemizdeki depremlerde oluşan ağır ve yaygın hasarın en önemli nedeninin; deprem hesabı yapılmadan inşa edilmiş, deprem hesabı yapılmış ama projesine uyulmamış; demirleri eksik ve uygun yerleştirilmemiş, beton dayanımı proje dayanımının altında, betonu deniz kumu ile yapılmış, kürünü almamış ve demirleri paslanmış betonarme yapılar olduğu göz ardı edilir.

Beton dayanımı projesinde öngörülenin yarısı kadar, betonu deniz kumu ile yapıldığı için demirleri paslanmış ve projesine göre olması gereken donatıların (demirlerin) yarısından azı konulmuş yapıların deprem hasarı ve yıkılmasında zeminin rolü yoktur. Bir de hiç deprem hesabı yapılmadan yalnızca düşey yükleri için tasarlanmış yapılar vardır. Bu tür yönetmeliklere ve inşaat mühendisliği kurallarına uymadan yapılmış yapılar için hasar nedeni zemin değildir. Ancak 1968 Deprem Yönetmeliği ile betonarme yapılarda kolon ve kiriş uçlarında “etriye sıklaştırması” kuralı getirilmiş olmasına karşı, depremlerde yıkılan betonarme yapıların hemen hemen tamamında bu kurala uyulmadığı gözlenmektedir.

### 6.1. Temellerin Yapı Deprem Davranışına Etkisi

Zeminlerin yapı davranışı üzerindeki etkisini incelemek için zemin ve deprem yükünün özelliklerinin doğru ve gerçekçi değerlendirilmesi gerekir.

Öncelikle deprem yükü çok kısa bir süre içinde etkilidir. Pek çok depremin şiddetli bölümü en çok 15-60 saniye arasındadır. Bu kadar kısa süre içinde zeminde kalıcı etkilerin oluşması beklenemez. Yumuşak zeminler üzerindeki yapıların kendi ağırlığı etkisinde oturması onlarca yıl alabilir.

Taneli ve yumuşak zeminler üzerinde rijit temelleri (radye temel gibi) olan yapıların depremde tabanda dönmesi yapının depremde az hasarla çıkmasını sağlayan ayrıntılardan biri olarak kabul edilir. Yapının tabanda dönmesi yapının titreşim periyodunu uzatır ve ötelenme miktarını artırır. Yapının sönümü de büyür. Bu iki dinamik özellikteki artış yapıya etkiyen deprem yükünü önemli düzeyde azaltır. Özellikle yapının taban ve çevresindeki zemin ile arasındaki sürtünme yapının sönümünü büyütür.

Oldukça büyük taban alanı ve yüksekliği 3-4 kat olan yapılarda perde tabanında dönme yerine perdenin kesme kuvvetine karşı koyması daha önemlidir. Deprem yükleri altında perde tabanındaki dönme etkilerine karşı koyacak olumlu etmenler bulunabilir. Temelin üzerindeki toprak tabakasının temele uyguladığı düşey yük vardır. Temel bloğu ile çevresindeki toprak arasında yatay ve düşeyde sürtünme vardır. Bunların, temelin yukarı kalkmasını bir ölçüye kadar engellediği sanılmaktadır.

Zemin malzemelerinin özellikleri ve davranışı yapı malzemeleri kadar iyi bilinmediği için zeminlerde üstyapı için kullanılan daha büyük emniyet katsayıları kullanılmaktadır (Roeder-1996).

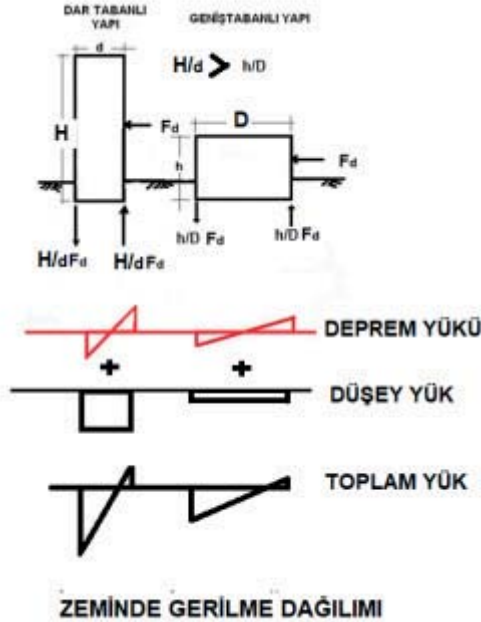
Betonarme temellerin altında ve çevresinde büyük miktarda ve zaman içinde oldukça sıkışmış bir zemin kütlesi vardır. Bu zemin kütlesi temele bir sargı görevi yapabilir ve temelde çatlak ya da kırılma olursa çevresindeki zemin temel hasarından dolayı göçme ya da aşırı oturma

olmasını engelleyebilir (Roeder-1996). Zeminde az miktarda elastik ötesi davranış olması, üst yapı elemanlarında olan elastik ötesi davranış gibi (kiriş uçlarında plastik mafsallaşma başlangıcı gibi) yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini azaltmaktadır.

Geçmiş depremlerde genellikle çok az temel hasarı sonucu can kaybı gözlenmiştir. 17 Ağustos 1999 depreminde temellerinde büyük dönmelerin olduğu yapılarda çok az üstyapı hasarı ve can kaybı olmuştur. Üstyapının yıkılması ile can kaybına neden olan yapıların çoğunda bir temel hasarı gözlenmemiştir (Bakır-2005). Benzer durum 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde de gözlenmiştir. Örneğin Adıyaman ili Gölbaşı ilçesindeki sıvılaşma nedeniyle yana yatmış ve/veya gömülmüş binaların neredeyse hiçbirinde can kaybı olmamıştır.

Depremde devrilen yapılar sıvılaşmadan başka nedenlerle de devrilmiş olabilir. Yer altı su düzeyi yüzeye çok yakın olan bölgelerde yapıların çoğunda bodrum katı yoktur. Yapıların temelleri yüzeye yakın az sıkışmış taşıma gücü az zeminlere oturmaktadır.

Depremde yapıya yandan etkiyen yük yapının bir tarafındaki temellerde düşey çekme ve diğer tarafındaki temellerde yapının ağırlığına eklenen düşey basınç kuvveti oluşturur. Yapının derinliği az ve yapı yüksek ise yandan etkiyen deprem yükü yapı temellerinde çok büyük düşey yükler (moment çifti) oluşturur ve depremde yandan gelen deprem yükün tabanda oluşturacağı ek düşey yük, zeminin az olan taşıma gücünü aşarsa yapı devrilir. Şekil- 18'de bu mekanizma verilmektedir.



Şekil-18: Dar tabanlı ve yüksek (narin) yapının depremde zemine aktardığı düşey gerilme daha büyüktür. Yüksek yapıda  $H/d$  oranı daha büyük olduğu için. Zeminin taşıma gücünü yitirmesine ve yapının devrilmesine neden olabilir.

Bu durum deprem sırasında evlerde vitrinlerde duran narin şişe ve vazogibi şeylerin devrilmesine benzer mekanizma ile oluşabilir. Devrilmenin nedeni tahta rafın "sıvılaşması" değildir.

Roeder ve diğerlerine (1996) göre zeminin deprem süresi içinde çok kısa süreli ve birkaç kez, elastik limit yükünün üzerinde yüklenmesinin yapı için zararlı olmayacağını gösteren çalışmalar vardır. Temelin bir bölümünün kısa süreli olarak havaya kalkması bir tür "taban yalıtımı" etkisi yapmaktadır. Bunun sonucu yapıda bir miktar oturma olmaktadır. Zeminin doğrusal olmayan hareketi önemli miktarda deprem enerjisi tüketebilir.

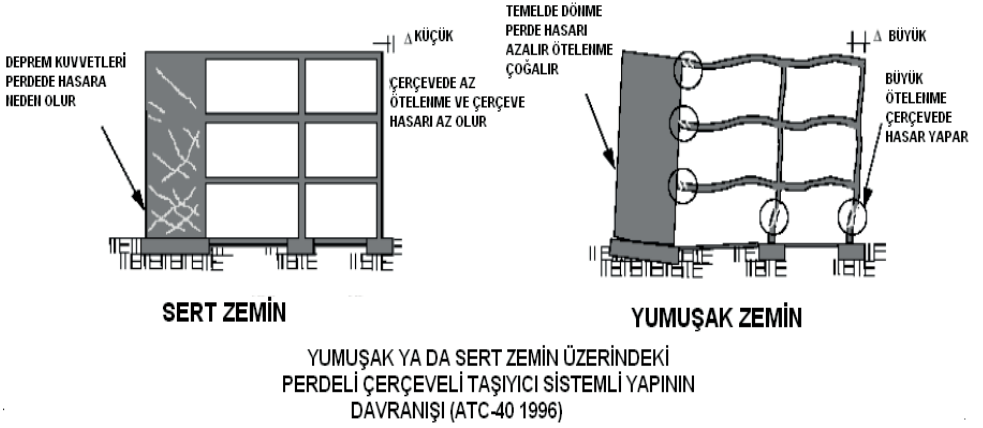
Zeminlerde, üstyapıda ciddi hasara yol açan boyutta elastik ötesi birim deformasyonlarının olması için deprem yer hareketinin hızının "büyük", yumuşak zeminlerde bu hızın 100 cm/saniyeden büyük olması gerekir. Depremlerde ölçülmüş deprem ivme kayıtlarından hesaplanmış yer hızları genelde bu miktarın çok altında olmaktadır. Bu durum temellerde ciddi boyutta hasara yol açabilecek şiddette yer hareketi oluşumunun oldukça ender olduğunu da göstermektedir.

Öte yandan bir başka önemli ve yapı deprem davranışı için yararlı olan nokta da zeminlerdeki sönüm oranının yapı için kabul edilen sönüm oranlarından çok daha büyük olmasıdır (Roeder-1996). Zeminin sönüm oranının miktarı konusunda genel bir kabul yoksa da bunun yapı için kabul edilenden çok daha büyük olduğuna inanılmaktadır.

Perde duvarlı çerçevesel yapıda zemin ya da güçlendirme perdesinin temel boyutları yapı davranışına etkiyecektir. Perde duvar taşıma gücü kadar bir yatay yük ile zorlanınca, bu yükü zemine aktaracak boyutta bir temeli olmalıdır: Yük zemin emniyet gerilmelerini aşmamalı, radye temelde oluşan kuvvetler betonarme temelde kırılmaya yol açmamalıdır.

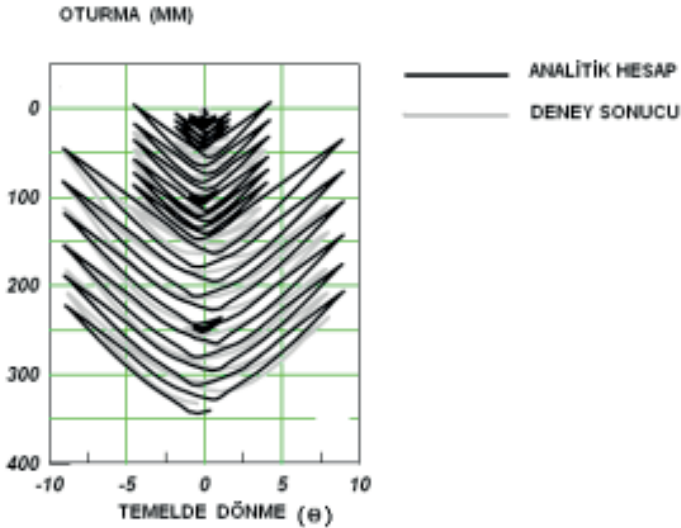
Bu koşullar sağlanmış ise perde duvarı büyük deprem yatay yükü taşıyacak ve çerçeve sisteme aktarılacak kuvvetler azalacaktır. Bir anlamda mevcut ya da sonradan konulmuş güçlendirme perdesi büyük kesme kuvveti taşıyacak ve kolonları etkileyen deprem yükünü azaltarak koruyacaktır.

Perde duvarın temel boyutu perdenin taşıma gücüne ulaşması için yetersiz boyutta ise perde taşıma gücünün daha altında bir deprem yükü düzeyinde temellerde oluşacak dönmeden dolayı bağlı olduğu çerçeve sistemine daha çok kuvvet gelmeye başlayacaktır. Perde duvar temelinde ve zeminde deforme oluyorsa perde duvarın tabanında büyük ötelenme ve dönmeler olacak ve perde duvarın çerçeve elemanlarına daha çok kuvvet aktarmasına ve perdenin yatay yük taşımaya olan katkısının azalmasına neden olacaktır. Çerçeve sistem daha çok zorlanacaktır. Şekil-19.



Şekil-19: Perde duvarın yumuşak zemin üzerinde olması ya da perde duvar temel boyutunun duvarın taşıma gücünü elastik olarak zemine aktaracak boyutta olmamasının sonucu. Yetersiz temel boyutu perdenin daha çok dönerek çerçeveye daha çok kuvvet gelmesine neden olabilir.

Killi ya da kumlu zeminler yumuşaktır. Kolayca şekil değiştirebilirler. Temelde dönme hareketlerinin tekrarı temeldeki oturmanın giderek azalarak devam etmesine neden olur (Şekil-20). Bu arada temel giderek zemine gömülür (Bruce Kutler ve diğerleri-2006).



Şekil-20: Deprem etkisinin, yumuşak zemin üzerindeki "ankastre" olmayan temelde yapabileceği oturma ve dönmeler (Bruce Kutler ve diğerleri-2006).

Zeminin doğrusal olmayan davranışı bir tür “sönüm” olarak tanımlanmaktadır. Zemin emniyet gerilmesine yakın bir değerde yük taşırken daha çok oturmaktadır. Temelde dönmenin genliğinin artması da oturmanın daha büyük olmasına neden olmaktadır (Bruce Kutter ve diğerleri-2006). Ancak bu işlemler ve davranış deneylerde gözlenmiştir. Depremler ise çok kısa sürdükleri için böyle bir davranış olmayabilir.

Temellerin ve zeminin özelliklerine bağlı olarak deprem yer hareketinin genliğinin azaltılabileceği varsayılmaktadır.

Yapıya gelen deprem yükünü azaltan iki zemin-temel özelliği daha vardır. Biri “kinematik etki” olarak tanımlanmaktadır (FEMA-440). Eğer yapının bulunduğu alan “boş” olsaydı burada ölçülecek deprem yer hareketi farklı olurdu. Yapının temeli rijit olduğu için tüm temel aynı deprem yer hareketi altında tek bir zemin noktası gibi hareket edecektir. Yapı temelini zorlayacak deprem yer hareketi temelin çeşitli noktalarındaki deprem yer hareketlerinin ortalaması olarak daha küçük bir genlikte olacaktır. Kısaca rijit temel deprem yer hareketini küçültecektir.

Bir diğer zemin etkisi yapının zemine gömülme derinliğinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak bodrumlu yapıların depremden daha az etkilendiği çok kez gözlenmiştir. Depremde zeminin derinliğine doğru inildikçe ölçülen ivmenin yüzeyde ölçülen ivmeden daha küçük olması nedeni ile derin yapının tabanında yüzeye göre daha küçük bir ivme oluşacaktır. Derin temelin bir sonucu temelin yanındaki zeminin yatay yöndeki rijitliği yapıya yan destek vermesi de depremden olumlu yönde etkileyen bir başka özelliktir.

Deprem yer hareketinin temelden zemine geri yansımaları ve zeminin kendi histeretik sönüm özellikleri de yapıya gelen deprem kuvvetlerinde önemli azalmaya neden olur (yapı-zemin etkileşimi).

Bu özelliklerin özellikle kısa periyotlu yapılarda etkisi daha belirgindir. Temelin tabanda dönmesi, zeminin histeretik sönümü ve derin temel (bir ya da daha çok bodrum katı) olması genellikle “yumuşak” zeminler üzerinde daha çok gözlenecek olumlu katkılardır (FEMA-440).

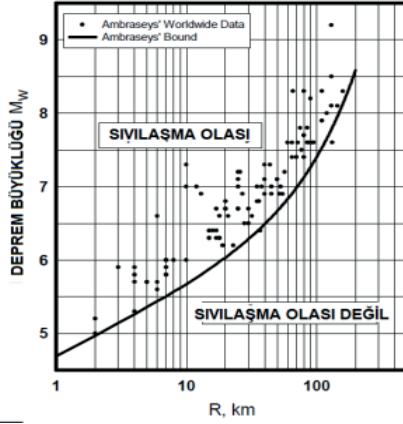
Temellerin zemine “ankastre” olduğu kabulü, yapının altındaki temelde bir şekil değişmesi olmayacağı, çeşitli açılardan bakılınca belirli bir düzeyde gereğinden çok güvenli bir yaklaşım olduğu ve yapı temeli ve zeminde de elastik ötesi davranışın yapının deprem dayanımını artırdığı kabul edilebilir.

Deprem ivme kaydı alınan pek çok yapıda ivme kaydından hesaplanan yapı periyotları deprem öncesinde ölçülen periyotlardan daha uzun bulunmaktadır. Depremden en az 1 yıl sonra ölçülen yapı periyotları ise giderek deprem öncesi periyoda yaklaşmaktadır. Özellikle “yumuşak” zeminlerdeki yapılarda gözlenen bu durum yapının yatay ötelenme ve tabanda dönme ile çevresindeki zemini kenara yana doğru iterek zeminin yapıyı sarmasında olan azalma sonucu olduğu biçiminde açıklanmaktadır. Depremden sonra yapının çevresindeki zemin yapıyı tekrar sıkıştırdığı için yapının periyodu tekrar kısalmaktadır.

## **6.2. Sıvılaşma**

Sıvılaşmanın olması için gerekli iki önemli etmen vardır. Zeminin sıvılaşmaya uygun bir tane yapısı ve su içeriğinin olması ve zeminin bulunduğu noktada oluşan deprem yer hareketinin ivmesinin zemini sıvılaştıracak kadar büyüklükte olması. Sıvılaşmaya uygun zemin aynı boyutta

taneli ve kil oranı % 5-10'dan daha az olan bir zemindir. Kil oranı daha yüksek ve tane boyutları çok değişken olan zeminler sıvılaşmaz. Sıvılaşmaya uygun olan zeminin sıvılaşması için oldukça yüksek bir deprem kuvvetli yer hareketi uçuşmesi olması gerekir. Zeminde kalıcı şekil değiştirme (sıvılaşma gibi) için yukarıda anlatıldığı şekilde oldukça yüksek deprem yer hareketi hızı gerekmektedir.



Şekil-21: Depremin büyüklüğü ( $M_w$ ) ile sıvılaşmaya uygun zeminlerde gözlenmiş sıvılaşma arasında depremin merkezinden uzaklığa ( $R$ ) bağlı ilişki.

Uzak depremlerin sıvılaşmaya yol açması beklenmez. Şekil-21'de deprem büyüklüğü ve depremin merkezinden uzaklığa bağlı olarak gerçek depremlerde gözlenmiş sıvılaşma ilişkisi verilmektedir.

Uzak depremlerin sıvılaşmaya neden olması için çok büyük magnitudü olması gerekmektedir.

## 7. DEPREMDE YAPI HASARI VE ZEMİN İLİŞKİSİ

Depremde yapı hasarını belirleyen iki ana değişken vardır: yapıya gelen deprem yükü ve yapının deprem yüklerine karşı dayanımı. Yapıya gelen deprem yükünü belirleyen yapının bulunduğu noktadaki deprem kuvvetli yer hareketidir. Deprem kuvvetli yer hareketinin özellikleri ise depremin büyüklüğüne, depremin olduğu faydaki yırtılma mekanizmasının özelliklerine, depremin merkezinin yapının bulunduğu yere göre yönüne, deprem dalgalarının odakta gelirken geçtikleri ortama ve yapının bulunduğu yerdeki zemin koşullarına bağlıdır.

Yapının tabanında bir depremin oluşturduğu kuvvetli yer hareketinin getirdiği yatay yükler altında davranışı ise yapının tasarım yük düzeyine ve taşıyıcı elemanlarının deformasyon ve enerji tüketme gücüne bağlıdır.

Türkiye'deki depremlerde betonarme yapı hasarının açıklanması için önce depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımının temel ilkelerine ve daha sonra betonarme yapılarımızın yapılaş durumları ile deprem dayanımının genel düzeyine bakmak gerekir.

Daha sonra zeminden kaynaklanacak yapı hasarı belirtileri ve nedenleri bir başka deyişle özellikle zemin davranışından kaynaklanan yapı hasarından söz edilebilir.

## 7.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımı “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ve TS-500 “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım İlkeleri” standardına göre yapılır. Yapıların “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası”nda bulunduğu yere göre belirlenen deprem tehlike derecesine göre Deprem Yönetmeliğinde belirtilen kurallar dikkate alınarak yapı tasarımında kullanılacak deprem hesap yatay yükü hesaplanır. Yapının düşey elemanlarının, yine yönetmelik ve standartlarda belirtilen beton ve demir limit dayanım düzeyleri aşılmadan, bu yükleri taşıyan beton kesitleri ve bu kesitlerde de yeterli miktarda demir olduğu hesapla gösterilir.

Deprem hesap yatay yükü yapıda hiçbir hasar olmadan taşınan bir yüktür. Yapı bu yük düzeyin altında bir düzeyde yatay yüklerin oluştuğu bir depremde hiçbir hasar görmemelidir.

Depreme dayanıklı tasarım sırasında hesap yükünün hasar olmadan taşındığının gösterilmesi yanında Deprem Yönetmeliğinde istenen beton en kesitler ve enine ve boyuna demirlerle ilgili birtakım ayrıntıların da sağlanmış olması gerekir:

- 1.Kolon düşey yükleri ve kesme kuvvetlerinin belli miktarları aşmaması,
  - 2.Etriye sıklaştırması,
  - 3.Kolon ve kiriş demirlerinin yeterli kenetlenme boyunda olması,
  - 4.Deprem hesap kuvveti altında yapının yatay ötelenmelerinin belli bir miktarı aşmaması,
- vb. başka kurallara da yapının uyması gerekir.

Yönetmelikte ayrıca yapı ile ilgili (düzensizlikler vb.) uyulması gereken diğer tüm kurallar, usul ve esaslar da ayrıntılı olarak verilmektedir.

Bu koşullara göre projelendirilmiş ve projesine göre de yapılmış: beton dayanımı projedeki dayanımda olan, projedeki demirleri tam olarak ve gereken yerlere konulmuş ve betonarme eleman boyutları projenin aynısı olan, yapıdan beklenen deprem davranışının değişik şiddetlerdeki depremlere göre aşağıdaki biçimde olacağı varsayılır.

1-Hafif Şiddetli Depremler (Yönetmelikte, Yer Hareketi Düzeyi DD3 ve DD4 olarak tanımlanan depremler); yapının ömrü içinde sık ve çok sayıda olan depremlerdir, yapıda hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar olmamalıdır. Bu “hafif” şiddetteki depremlerde yapılara gelen yük yukarıda tanımlanan deprem hesap yatay yükünün altındadır. Bu nedenle de yapıda bir hasarın olmaması beklenir.

2-Orta Şiddetli Depremler (Yönetmelikte, Yer Hareketi Düzeyi DD2 olarak tanımlanan depremler); yapının ömrü içinde birkaç kez olması beklenen şiddette depremlerdir. Yapılara gelen yük deprem hesap yatay yük düzeyini aşar. Yapıya deprem hesap yatay yükünden daha büyük yük gelirse ne olur ya da yapıya bu deprem hesap yatay yük düzeyinin ne kadar üzerinde bir deprem yükü gelebilir?

Deprem hesap yatay yükü yapının elastik olarak, hasar görmeden karşı koyabileceği yatay yük düzeyidir. Ancak yapı tasarımında yapılan bazı kabuller:

- 1- Düşey yüklerin “yük katsayıları” ile artırılması,
- 2- Malzemelerin hesap dayanımlarının “malzeme katsayıları” ile azaltılması,
- 3- Taşıyıcı elemanların en kesitleri ve demirleri ile ilgili bazı kısıtlamalar,
- 4- Tasarım sırasında yapı elemanlarının taşıma güçlerinin “eleman katsayısı” ile azaltılması ve uyulması gereken en küçük perde duvar, kolon, kiriş ve döşeme boyutları,



5- Yapının yatay ötelenmelerinin kısıtlanması için yapıya betonarme perde duvarların konulması zorunluluğu gibi kurallar,

6- Yük taşımadığı varsayılan bölme duvarlarının katkıları,

ve diğer benzeri ayrıntılar sonucu yapılarda saklı bir “yedek taşıma gücü” oluşmaktadır.

Yedek taşıma gücü nedeni ile yapılarda hasar, deprem hesap yatay yükü düzeyinin %60-80 kadar daha üzerinde bir deprem yatay yük düzeyinde başlar. Bu yük düzeyi “limit yatay yük” düzeyi olarak tanımlanabilir.

Yapılarda kalıcı hasar ve çatlaklar oluşmaya başladıktan sonra yapı daha fazla yük taşıyamaz. Ancak bu çatlama yükü düzeyini az çok koruyarak kalıcı ötelenmeler yapar. Eğer bu ötelenmeler çok büyük miktarlara ulaşırsa yapı elemanı ve yapı yıkılır. Herhangi bir yapı elemanı ya da yapının ilk çatlama anındaki ötelenmesi ya da şekil değiştirmesi ile tam kopma ya da yıkılma ötelenmesi ya da şekil değiştirmesi arasındaki oran “Süneklik” olarak tanımlanır. Bazı yapılar ya da yapı elemanları bu yük düzeyinde çok az bir ötelenme ile hemen kopar ya da yıkılır. Bu yapılar ya da yapı elemanları “gevrek”tir. Yapılar depremlerde yönü değişen yüklerle zorlanır. “Bu durum gevrek” yapının birkaç salınımdan sonra yıkılması; “sünek” yapının ise yıkılmadan çok sayıda salınım yapabilmesi demektir.

Limit yatay yük düzeyinde önemli bir azalma olmadan ötelenme ve şekil değiştirmelerin olduğu yapı elemanlarının uçlarında “plastik mafsallık” oluşur ve yapı depremin enerjisini bu mafsallaşma ile tüketir. Yatay yüklerin giriş uçlarında oluşturduğu momentler önce hem beton hem de donatı tarafından taşınırken donatının akma gerilmesinin ötesinde pekleşme bölgesinde zorlandığı zaman en kesitteki donatının gerilmeleri artmakta ve moment taşıma gücü de büyümektedir. Eğer donatı betondan sıyrılmıyorsa beton ile donatı arasındaki yapışma yeterli ya da donatı yeterli kenetlenme boyu kadar beton içinde uzanıyorsa donatıda akma ötesi gerilmeler taşınabilmektedir. Bu arada giriş ucundaki betonun çatlaklarının genişleyip betonun parçalanması sık aralıklı etriyeler ile önlenmiş ise betonla donatı arasındaki kenetlenme yine donatının yüksek gerilmelere ulaşmasını sağlayacak biçimde sürecektir. Yapı elemanı da sünek bir biçimde çok sayıda yönü değişen dönmeler yaparak deprem enerjisi tüketecektir.

Yapının ya da yapı elemanının yük-ötelenme eğrisinin altındaki alan yapının enerji, deprem enerjisi, tüketme gücünün göstergesidir. Bu alan ne kadar büyük ise yapı yıkılmadan ancak kalıcı hasar görerek orta şiddetli ve çok şiddetli depreme karşı koyacaktır. Bunun sonucunda da yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında hasar, taşıyıcı elemanlarında da hasar başlangıcı olacaktır.

Orta şiddetteki depremde yapı bu enerji tüketme gücünün az bir bölümünü kullanmaktadır.

3-Çok Şiddetli Deprem (Yönetmelikte, Yer Hareketi Düzeyi DD1 olarak tanımlanan depremler); yapının ömrü içinde bir kez olması beklenen büyüklükte depremdir. Yapının deprem enerjisi tüketme gücünün büyük bir bölümü kullanılır. Yapı kullanılmayacak düzeyde hasar görebilir. Ancak yapı yıkılmamalı, bir enkaza dönüşerek can kaybına neden olmamalıdır.

Depremde ağırlığının %10-25'i kadar bir yatay yükü taşıyacak biçimde tasarlanmış bir yapının tasarım yükünün 3-5 kat üzerinde bir yatay yüke nasıl karşı koyabileceği; en azından yapının tasarım yanal yükünü aşan bir yanal yük geldiği zaman nasıl davranacağı; nasıl olup da yıkılmadığı açıklanmalıdır. Yapıların yanal yükler altında nasıl davrandığını bilmeyenler tasarım yüklerinin kat kat üzerinde yer ivmelerinin oluşması karşısında yapıların yıkılması gerektiği

sonucunu çıkarır. Bu görüş yapıların depremlerde gözlenmiş davranışları karşısında geçersizdir. Türkiye’de ve dünyada pek çok yapının deprem hesap yükünün ya da yatay limit yükünün çok üzerinde ivmesi olan deprem yer hareketinin olduğu depremlere karşı koydukları, yıkılmak bir yana ciddi bir düzeyde hasar bile görmedikleri bilinmektedir.

Bu durumun açıklanması için yapıların yanal yükler altında davranışlarının incelenmesi gerekir.

Deprem ne kadar şiddetli ve deprem kuvvetli yer hareketinin genliği ne kadar büyük olursa olsun yapıya gelen deprem yükü yapının kırılma yükünün, limit yatay yükü üzerinde olamaz: çünkü hiçbir tel kopma yükünden daha büyük bir yükü kopmayacağı gibi, uygulanan yük kopma yükü düzeyine ulaşınca tel kopar (çünkü gevrek bir malzemedir) ya da kopma yükü etkisinde önce kalıcı biçimde uzamaya başlar (çünkü sünek bir malzemedir), bir miktar daha uzadıktan sonra kopar.

Yapı elastik limit yatay yük düzeyine kadar doğrusal elastik olarak davranır: yük kalkınca şekil değiştirme yük öncesi düzeye döner. Yük ile şekil değiştirme arasındaki ilişki değişmez. Elastik limit yatay yük düzeyi aşıldıktan sonra yük artışları giderek daha büyük ötelenme ya da şekil değiştirmelere neden olur ve yük kalkınca yapı ya da yapı elemanı eski konumuna geri gelemez artık kalıcı ötelenme ya da şekil değiştirme olmuştur.

Deprem kuvvetli yer hareketi yapıda tersinir bir yükleme durumu, deprem sırasında yapının yüklenme yönünün değişmesi yaratır. Yapı önce bir yöne daha sonra bunun tersi yöne doğru itilir: yükleme ters yönlerde birbirini yineler. Bu durumda yapının bir yükleme aşamasındaki durumu bir önceki aşamadaki yüklenme durumuna bağlıdır. Bu ilişkiye “histeresis” eğrisi denir. Yeni bir yükleme ile oluşan ötelenme durumu bir önceki aşamadaki yüklemenin yarattığı kalıcı ötelenme, hasar durumundan etkilenir.

Yapı ya da eleman davranışının iki önemli özelliği çıkarılabilir:

1-Yapının deprem sırasındaki ötelenmesi elastik limit ötelenme sınırını biraz aştığı zaman yapının yatay yük taşıma gücü azalmaya başlamaktadır, bu düzeydeki ötelenmenin birkaç kez yinelenmesi durumunda, depremde yapının bu yük düzeyinde birkaç kez salınım yapması, yapının taşıdığı yatay yük düzeyi her seferinde az da olsa düşmektedir. Yapının elastik ötelenme sınırı yatay ötelenme oranının 1/200 ile 1/100 arasında olduğu varsayılabilir.

2-Yapı deprem sırasında elastik ötelenme limitinin çok ötesinde bir düzeyde itilmekte ise yatay yük taşıma düzeyinde azalma oranı 1. duruma göre çok daha büyük olmakta ve ayrıca bu büyük ötelenme bölgesinde salınımların yinelenmesi ile yük taşıma düzeyinde olan azalmalar da büyümektedir. Bu durumda yapının yatay ötelenme oranları 1/100’ün çok altında ve 1/50-1/30 düzeylerinde olmaktadır. Yük taşıma düzeyinde olan büyük azalmaların nedeni ise kalıcı hasar nedeni ile elemanların taşıma güçlerinde olan azalmadır.

Yapının yedek taşıma gücü ve sünek davranma yeteneği yapının elastik ötelenme limiti ötesine kaç kez gidip gelebileceği, elastik ötesi kaç salınım yapabileceğini belirler. Büyük genlikli salınımların çok sayıda olduğu kuvvetli bölümü uzun süren bir depremin kuvvetli yer hareketi yapıda daha büyük hasar yapabilir: yapının elastik ötelenme limitinin birkaç kat üzerinde 3-5 kez ötelenmesi ile 8-10 kez ötelenmesi arasındaki fark deprem kuvvetli yer hareketinin

büyük genlikli salınımlarının daha uzun süreli olmasına bağlıdır. Uç ivmesi büyük ancak salınım sayısı ya da kuvvetli bölümü kısa sürmüş deprem kuvvetli yer hareketinin yapıda oluşturacağı hasarın düzeyinin daha düşük olması beklenir. **Bu nedenle depremin hemen başında ve düşey yönde yıkılmış bir yapının daha düşey yükleri taşımada büyük sorunu olduğu, değil deprem yüklerini taşımak, düşey yükleri dahi çok düşük bir güvenlik payı ile taşıdığı açıktır.**

Depreme dayanıklı yapının kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlarının özellikle uçlarında “mafsallaşma” çatlaklarının olması yapının rijitliğinin azalmasına, yapının “yumuşamasına” ve yapının yatay yükler altında daha büyük miktarda ötelenmesine ve şakülden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu durumun önlenmesi için de yapının yanal ötelenmesinin kısıtlanması gerekir. Betonarme yapılara yanal ötelenmeleri kısıtlayan perde duvarların konulması ile depremlerde gelen yanal yüklerin büyük bir bölümü perde duvarlar tarafından taşınmaya başlar ve kolon ve kirişlerin deprem yükleri azalır ve kiriş uçlarındaki mafsallaşmalar daha düşük düzeyde ve betondaki çatlaklar daha ince ve yapı rijitliğindeki azalmalar daha sınırlı kalır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan deprem hesap yatay yükü, deprem tehlikesinin en büyük olduğu bölgelerde, genellikle yapı ağırlığının %10-25'i kadardır. Buna karşılık şiddetli depremlerde oluşan yer hareketinin ivmesi yer çekimi ivmesinin genellikle %50-80'i kadar, hatta 6 Şubat 2023 Depreminde Hatay'da gözlemlendiği gibi çok daha üzerinde olabilmektedir. Diğer yanda ağırlığının %10-25'i kadar bir yatay yüke elastik olarak karşı koyacağı varsayılan bir yapı nasıl olurda bu kadar büyük yer ivmelerinin olduğu bir depremi hasarsız ya da çok az hasarla atlatabilmektedir?

## 7.2. Spektrum Kavramı

Deprem kuvvetli yer hareketi kayıtlarından “elastik davranış spektrum”u hesaplanır. Spektrum değişik titreşim periyodu ve sönümü olan dinamik sistemlerin (yapılar da deprem anında birer dinamik sistemdir) belli bir deprem kuvvetli yer hareketi altında zorlanacakları en büyük ötelenme, hız ve ivmenin değerini verir. Ancak elastik spektrum yapının taşıyıcı sisteminin ötelenmesinin ne kadar büyük olursa olsun “doğrusal elastik” davranacağı varsayımına göre hesaplanır. Elastik davranan bir yapı ötelenme düzeyi ne kadar büyük olursa olsun yük kalkınca ya da deprem bitince eski konumuna döner. Oysa hiçbir yapı gerçekte doğrusal elastik değildir. Yapının ötelenmesi belli bir düzeyi aşınca yapıda kalıcı çatlak ve şekil değiştirme olur. Çatlaklar yapının rijitliğinin azalmasına ve dinamik özelliklerinin değişmesine, titreşim periyodunun uzamasına, neden olur. Bu arada yapının içindeki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda olan çatlaklar yapının sönümünü de artırır. Spektrumlardan anlaşılacağı gibi sönümü büyük olan yapıya periyodundan bağımsız olarak depremde gelen yüklerde önemli ve büyük azalma olur.

Yapının süneklik düzeyi ve sönüm artışı ile karşı koyabileceği deprem enerji düzeyini belirleyen ve depremde gelmesi beklenen yüklerin azaltılmasında kullanılan ve ilk defa 1998 Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan bir R katsayısı vardır. R katsayısı yapının kalıcı şekil değiştirme yaparak ve elastoplastik davranarak karşı koyduğu yatay yükün ne kadar katı bir büyüklükte olan bir elastik deprem davranış spektrumu yüküne karşı koyabileceğini gösterir.

Bu açıdan bakıldığı zaman ağırlığının %10'u kadar bir yüke elastik olarak dayanacağı varsayılan ve 1975 yönetmeliğinin ayrıntılarına uyularak projesi yapılmış ve projesine göre inşa edilmiş (eleman boyutlarına uyulmuş, beton dayanımı proje dayanımında, demirleri gereken yer ve miktarda vb.) bir betonarme yapının yatay limit yükü yapı ağırlığının %18-20'si kadar olabilir. Böyle bir yapının R katsayısı en az 4 olabilir ve yapının elastik olarak davranması durumunda

ağırlığının %80'i kadar elastik bir kuvvet oluşturan deprem yer hareketine yıkılmadan bir miktar hasar görse de karşı koyması beklenir. 1998 Yönetmeliğine göre  $R=7$  alınarak tasarlanmış bir yapıda ise kendi ağırlığının da üzerinde bir elastik yanal yüke (ağırlığının % 126-140'ı kadar) dayanacak nitelikte olduğu varsayılmaktadır.

Bu durum yukarıda söylendiği üzere deprem yönetmeliğine göre projesi hesaplanmış ve projesine uygun yapılmış yapılardaki hasarın önemsiz boyutta olmasının niteliksel ve niceliksel bir açıklamasıdır.

Ancak 6 Şubat 2023 Depremlerinde geçmiş depremlerdekinden farklı bir durum gözlenmiştir. Hatay'da (Defne, Arsuz, Kırıkhan İlçeleri) ölçülen Kuvvetli Yer Hareketi kayıtlarına göre öngörülenin çok daha üzerinde ivmelerin olduğu, örneğin Defne'de yerçekimi ivmesinin 4 katından fazla ivme ölçüldüğü (4,154 g), buradaki binaların ağırlığının 4 katı (%400'ü) kadar bir yanal yüke maruz kaldıkları görüldü. Oysaki 2018 Deprem Yönetmeliği DD2 Tasarım Spektrumu bu bölge için en fazla 1,253 g'lik bir ivme değerini öngörmekte idi. Bu durumda bu bölgedeki 2018 Tasarım Spektrumuna göre tasarlanmış bir yapının, eğer ilave emniyet şartları (ilave betonarme perdeler, temellerde yeterli derinlik ve boyutlandırma vs.) olmadan tasarlanmış ise depremi hasarsız atlatmasının oldukça zor olduğu söylenebilir. Hele hele 'Sünek' tasarlandığı varsayımı ile Tasarım Spektrumundaki bu değer  $R=8$  gibi bir katsayı ile bölünerek daha da azaltıldığı düşünülür ise ( $1,253/8=0,157g$ ) yapının ayakta kalması çok daha zorlaşmaktadır.

### 7.3. Yapıların Yıkılma Nedenleri ve Biçimleri

Ülkemizdeki betonarme yapılar yaygın bir biçimde hem proje açısından hem de yapım açısından yetersiz deprem dayanımı olan ya da hiç deprem dayanımı olmayan yapılardır. Betonarme yapılarımızın çoğu yalnızca düşey yükler ve kendi ağırlıklarını taşımak için gereken en az güvenlik düzeyinde tasarlanmışlardır. 17 Ağustos 1999 depreminden sonra yeterince ders alındığı, bu tarihten sonra yapılan yapıların durumlarının biraz daha iyi olduğu sanılmakta idi. Ancak 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra oluşan hasar tablosu bu durumun çok da doğru olmadığını gösterdi.

Eğer süneklik için gereken etriye sıklaştırması yok, beton dayanımları projedeki dayanımın çok altında, kiriş ve kolon boyuna donatıları yeterli uzunlukta (kenetlenme boyunda) beton içinde gömülmemiş ise ve yalnızca düşey yüklerle göre tasarım sonucu kirişler kolonlardan daha yüksek dayanımlı ise yukarıda anlatılan R katsayıları ancak 2-3 kadar olabilmektedir. Bu durumda da bu tür yapıların dayanabileceği en büyük elastik deprem spektrum ivmesi 0.06-0.15 g ( $g = \text{yer çekimi ivmesi}$ ) kadar olmaktadır. Bu ivme ise VI-VIII şiddetindeki depremlerde oluşmaktadır. Bu nitelikteki betonarme yapılarda daha küçük şiddetli depremlerde ağır hasar ve yıkım olmaktadır.

Yapıların yıkılma nedenlerini açıklamak için önce depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine uyularak yapılmış yapıların davranışlarına, sonra Türkiye'deki yapıların yapılış biçimlerini göz önüne almak gerekir.

Deprem hesap yükü alınmadan ve deprem yönetmeliklerini gerekleri yerine getirilmeden yalnızca düşey yüklerle göre tasarlanmış yapı çok düşük bir deprem yatay yükü altında çatlamaya başlayacaktır. Eğer yeterli "süneklik" sağlayacak koşullar yapıda yoksa kopma ya da yıkılma olacaktır. Eğer yapıda projesine konulması gereken, özellikle etriye yoksa yapının yanal ötelenmelerle enerji tüketme gücü de çok kısıtlı olacaktır. Bir diğer deyişle enerji tüketme gücünün göstergesi olan "süneklik"liği çok az olan yapılar çok düşük olan elastik limit yükleri aşıldığı zaman hızla yıkılmaya başlayacaklardır. Çünkü bu yapıların yukarıda anılan histeresis

eğrileri gevrek ve az enerji tüketen bir biçimdedir ve birkaç salınım ile sınırlı olan enerji tüketme güçlerinin tümü kullanılıp bitmektedir.

Depremlerde betonarme yapılar genellikle iki biçimde yıkılmaktadırlar:

- 1- Depremde yapıya gelen yanal yük betonarme yapının kolonlarında kesme kuvvetleri oluşturur. Bu kesme kuvvetleri beton ve enine donatı, etriyeler tarafından taşınır. Etriyeler Türkiye'deki betonarme yapılarda çok seyrek aralıklarla konulmuştur. İdeal bir betonarme elemanda (kolon ya da kiriş) etriye aralığı elemanın uçlarında 50-60 cm uzunluğunda bir bölgede 10 cm aralıkla, elemanın ortalarında 20 cm aralıklı olmalıdır. Buna karşılık Türkiye'de etriye aralıkları genellikle bir eleman uç bölgesi ayrımı yapılmaksızın 25-30 cm aralıktır. Bugünlerde, 17 Ağustos 1999 sonrası yapılarda etriye durumları biraz daha iyi olabilir. Beton dayanımlarının da bitmiş yapılarda projedeki dayanımının %50'si, en iyi durumlarda %70'i kadar olması sonucu kolonların kesme kuvvetleri taşıma gücü çok sınırlıdır. Kesme kuvvetleri önce kolon betonunu parçalar, betonarme kolonlarda düşey yüklerin önemli bir bölümü, %70-85'i beton tarafından taşınır. Kolonun dayanımı düşük betonu kesme etkisi ile çatlayınca ve çatlaklar genişleyip beton parçalanmasını önleyecek sık aralıklı etriye yoksa kolonun düşey yüklerini taşıyacak beton alanı kalmadığı için kolon düşey yüklerin altında ezilir düşey yükleri taşıyamaz. Yapının kolonları düşey yükleri taşıyamadığı için de kolon kalıcı yanal ya da kalıcı olmayan yanal ötelenmeler yapamadan düşey yönde hemen depremin ilk anlarında yapı ile birlikte düşey yönde geçer.
- 2- Eğer yapının kolonlarında yeterli kesme dayanımı varsa, depremde kolonlara gelen kesme kuvvetleri kolon betonunu hemen yok etmemiş ise, yapıda, kolonlarında, düşey yükleri taşıma gücü vardır. Bu durumda yapı düşey yüklerini taşımasını sürdürebileceği için yanal yüklerin perde uçlarında oluşturacağı eğilme momentlerini taşıyabilecek ve bu momentlerin yaratacağı dönmelerle oluşan yanal ötelenmeler olacaktır. Eğer yapının yanal ötelenmeleri kısıtlayacak perde duvarları yoksa giderek daha çok yanal ötelenme ve bunun sonucunda da kiriş uçlarında ileri düzeyde mafsallaşma hasarı olacak, yapının rijitliği azalacak, yapı giderek daha da artan, (en kesit çatlaması nedeni ile yapının rijitliği azalmaktadır) büyük yanal ötelenmelerden tekrar tam şaküle dönemeyeceği için büyük yanal ötelenmelerle, kat döşemeleri arasında büyük yanal kaymalar oluşarak kat kat üzerine kaymış biçimde yıkılacaktır.

Bu ikinci tür yıkılma için depremin bir süre devam etmesi, yer hareketinin büyük olduğu zaman aralığının oldukça uzun olması gerekir.

Depremin "hemen başında" yıkılmış bir yapının yukarıda anlatılan ilk biçimde yıkılmış olması güçlü bir olasılıktır.

Yukarıda anlatılan bu iki yıkılma biçimi yapının taşıyıcı sisteminin depremin yatay yükünü taşıma gücüne bağlıdır.

Ülkemizde depremlerde yapıların bu derecede yaygın ve ağır hasar görmesinin nedenini kısaca deprem yönetmeliğine uyulmadan projelendirme ve imalatların yapılması olarak açıklayabiliriz. Son yaşanan 6 Şubat 2023 depremleri de bu durumu genel olarak kanıtlamıştır. 6 Şubat 2023 depremlerinde gözlenen hasarın nedenleri belli başlıklar altında toplamak gerekirse;

1. Yerleşime uygun olmayan alanların imara açılması, zemin etütlerinin gerektiği gibi yapılmaması veya bu etütlerde belirtilen önlemlerin dikkate alınmaması,

2. İmar afları, depreme dayanıklılık değerlendirilmesi yapılmadan kaçak yapılara yapı kullanma izni verilmesi,
3. Projelerin Deprem Yönetmeliğine uygun olmaması, yapısal düzensizlikler, deprem hesap ve analizlerdeki eksik ve yanlışlar vb.
4. Deprem yönetmeliğine, projesine, fenni teknik şartnamelere uygun olmayan denetimsiz imalatlar, etriyelerde sıkıştırmanın yapılmaması, kancalarının 135° bükülmemesi, boyuna donatılarda ve bindirme boylarındaki yetersizlikler, granülometresi uygun olmayan malzeme ile üretilmiş ve/veya fazla su katılmış beton, betonun vibratör kullanılmadan yerleştirilmesi, yüksekte bırakılarak dökülmesi sonucu oluşan segregasyon, döküldükten sonra betonun periyodik olarak sulanmaması ve kürünü alamayarak yanması, kullanılan diğer malzemelerin uygun nitelikte olmaması vs.

Olarak sıralanabilir. Yukarıda kısaca özetlenen her bir maddenin tek tek oldukça detaylı bir şekilde açıklanması da mümkündür. 6 Şubat 2023 depremleri sonrası mahallinde hasarlı binalar üzerinde incelemeler sonucu yaptığımız tespitler ileriki bölümde verilmiş olup hasarların nedenleri konusunda detaylı açıklamalar yapılmaya çalışılmıştır.

#### **7.4. Zeminden Kaynaklanan Yapı Hasarı**

Zeminden kaynaklanan deprem yapı hasarı genel olarak zeminin deprem sırasında taşıma gücünü yitirmesi ve zeminde olan büyük doğrusal olmayan kalıcı deformasyonlardan dolayıdır. Faylanma, yamaç kayması ve sıvılaşma nedeni ile kalıcı şekil değiştirmelerin olmadığı zeminler üzerinde olan yapıların temellerinin yeterli bir biçimde davrandığı ileri sürülmektedir (Fema 274-1997). Diğer bir deyişle zeminde kalıcı bir şekil değiştirme yoksa üzerindeki yapıda olan deprem hasarı ve yıkım nedeni yapının taşıyıcı sisteminin özellik ve niteliğine bağlıdır.

Bu tür zeminden kaynaklanan hasarın oluşmasında deprem kuvvetli yer hareketinin genliği ve zeminin mekanik ve dinamik özellikleri belirleyici olur.

Özellikle 17 Ağustos 1999 Depreminde Adapazarı'nda, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde de Gölbaşı'nda görülen zemin sıvılaşması olayları ile büyük oturmalar yapmış ve temelinden devrilmiş çok sayıda yapıdan sonra ortaya atılan yapıların yıkılmasını tümü ile zemin özelliklerine bağlamak, depreme dayanıksız yapılar yapmış ve bu yapılara kullanma izinleri vermiş olanları sorumluluklarından kurtardığı için çok tutulan bir yaklaşım olmuştur. Yapıların yıkılma nedenini, deprem yer hareketinin çok büyük olması ve rezonans olayı ile yapıların çok büyük kuvvetlerle depreme dayanıklı yapılmış olmalarına karşın, zorlanmış olmalarına bağlamak da sorumluluğu elde olmayan nedenlere yüklediği için çok tutulan hasar açıklama yöntemleri olmuştur. Ancak bu açıklama her koşulda geçerli değildir.

Deprem kuvvetli yer hareketinin ivme düzeyi zeminin davranış biçimini değiştirmektedir. Yer ivmesinin büyümesi ile zemin de yapılar gibi doğrusal olmayan bir biçimde davranmaya başlamaktadır. Zorlanmış büyük kuvvetler altında zeminin de yapısı, mekanik özellikleri değişmektedir. Zeminde oluşan ivmeler de belli bir limiti, tıpkı yapıların yatay yük limitlerinin üzerindeki yükleri taşımamaları gibi aşmamaktadır.

Bu durumda gelen deprem dalgasının enerjisinin bir bölümü zeminde kalıcı şekil değiştirmelerle tüketilmekte ve yapıya geçen deprem enerjisi, yapıya gelen atalet kuvvetleri, azaldığı için yapı hasarı daha düşük bir düzeyde kalmaktadır. Buna karşılık zeminde olan kalıcı şekil değiştirmeler

yapıların temellerinde ve yer altı su ve kanalizasyon borularında hasar ve kopmalara neden olmaktadır (Trifunac ve Todorovska-1996).

1994 Northridge depreminin ivme kayıtlarının incelenmesi deprem merkezine yakın (10-25 km) "yumuşak" zeminlerde (kesme dalgası hızı 400 m/s'nin altında), ölçülen yer ivmesinin depremin merkezinden aynı uzaklıktaki "sıkı" zeminlere göre önemli ölçüde düşük olduğunu göstermiştir (Trifunac ve Todorovska-1996). Bu gözlem "yumuşak" zeminlerdeki yapıların daha düşük bir yatay yüklerle zorlanacağı demektir. Kısaca zeminin doğrusal olmayan biçimde davranması yapı hasarını azaltabilecektir. Ancak doğrusal olmayan yer hareketi zeminde önemli boyutta şekil değiştirme, çökme, oturma ve yapı temellerinde hasar yapmaktadır.

Yer hareketinin ivmesi altında doğrusal elastik davranış bölgesinin ötesine geçmeyen zeminlerde ise yapılara gelen atalet kuvvetleri daha büyük olmaktadır.

Yapıların zemin davranışından kaynaklanan hasarını açıklamak için zemin büyütmesi ve rezonans olayından söz edilir. Bu iki yıkılma nedeni tezi yapıya gelen deprem yüklerinin yol açtığı üstyapı hasarı ile ilgilidir. Bu tezlerin yapıda ve zeminde deprem sırasında oluşan hareketin kaydı yoksa fiziki belirtisi ve kanıtları olmadığı için açıklanması ve kanıtlanması zordur. Depremde zeminden kaynaklanan bir diğer hasar nedeni zemin sıvılaşmasıdır. Sıvılaşma zeminde ve yapıda özel fiziki belirtileri olan, kum fıskırması ve yapının yan yatması gibi bir olaydır. Eğer sıvılaşma olmuş ise zeminde ve yapıda belirtileri vardır: zeminde kum fıskırması ve yapının temelde dönmesi ve oturması gibi.

Aşağıda zemin büyütmesi, rezonans ve sıvılaşma olaylarının yapı hasarı ile ilgisi açıklanacaktır: Sıvılaşma hangi tür zeminlerde ve hangi koşullarda olabilir, yıkılan her yapının altında sıvılaşma olabilir mi? Zemin büyütmesi ve rezonans yapıyı nasıl etkiler ya da etkilemez?

#### **7.4.1. Zemin Büyütmesi ve Rezonans Olayının Yapı Davranışı ve Hasarı Üzerindeki Etkisi**

Yapı hasarını ve yıkımı "zemin büyütmesi" ve "rezonans" olaylarına bağlamak yer bilimcilerin çok beğendiği açıklamalardır. Yapı hasarı ve yıkımı ile zemin büyütmesi ve rezonans olayının açıklaması yer bilimcilerce aşağıdaki biçimde yapılmaktadır:

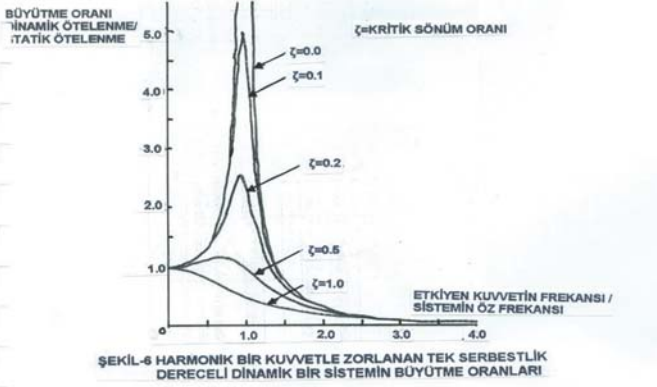
##### **7.4.1.1. Zemin Büyütmesi**

Uzakta olan bir depremin kuvvetli yer hareketinin uç genliğinin depremin merkezinden uzaklaştıkça azaldığı ve yer hareketinin periyot kapsamının da depremin merkezinden uzaklaştıkça değiştiği bilinmektedir. Bazen bu genel azalım ilişkisine ters düşen durumlar olmaktadır. Depremin merkezinden uzakta olan yerlerde beklenenden daha büyük uç ivmesi olan deprem kuvvetli yer hareketleri ölçülebilmektedir. Bu durum zemin ve topografya özellikleri, depremin oluş mekanizması ve deprem dalgalarının belirli doğrultularda daha güçlü biçimde yayılması gibi değişkenlerle açıklanmaktadır. Bu durum özellikle 17 Ağustos 1999 Depreminde İstanbul/Avcılar'da, 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinde de Hatay'da gözlenmiştir. Depremin merkezinden uzaklığına göre beklenenin üzerinde uç ivmesi olan yer hareketi kaydedilmiştir. Bu olay bir tür zemin büyütmesidir. Bu şekilde büyümüş deprem yer hareketi depremin merkezinden çok uzakta olan, depreme dayanıklı yapılmış olsa da yapıları yıkılmış ya da çok fazla hasar yapmıştır.

##### **7.4.1.2. Rezonans**

Rezonans olayı ise daha farklı bir olaydır. Bir dinamik sisteme etkileyen dinamik kuvvetin periyodu ile sistemin periyodu birbirine çok yakın ise sisteme gelen kuvvet büyümektedir (Şekil-22).

Eğer deprem kuvvetli yer hareketi içinde yapı ile aynı periyotta bileşenler varsa rezonans olayı ile yapıya gelen kuvvetler büyüyecek ve yapı daha büyük kuvvetlerle zorlandığı için depreme dayanıklı yapılmış olsa da yıkılacaktır. Bu olay sonucu da yapılar depreme dayanıklı olsalar da yine çok büyümüş kuvvetlerle zorlandıkları için yıkılmışlardır.

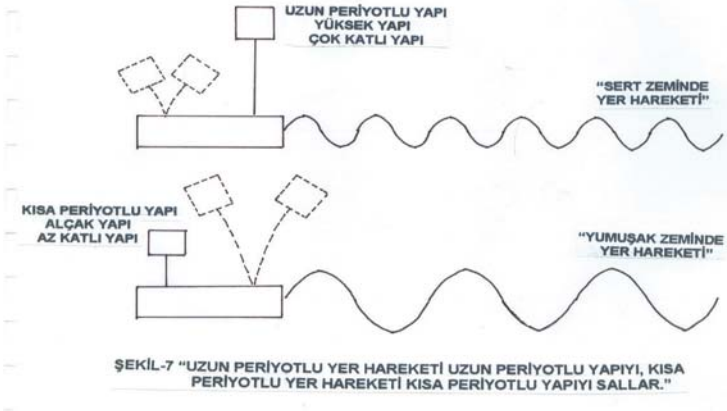


Şekil-22: Harmonik bir kuvvetle zorlanan tek serbestlik dereceli dinamik bir sistemin büyütme oranları

Zemin büyütmesi ve rezonans durumlarında yapıya tasarlandığından çok daha büyük gelmesi ile beklenenin üzerinde deprem hasarı ve yıkım olduğu ileri sürülmektedir. Oysa hiçbir yapıya dayanım gücünden daha büyük bir yük uygulanamaz. Yukarıda açıklandığı gibi yapılara limit yatay yük düzeyinin üzerinde bir kuvvetin uygulanma olanağı yoktur. Yapıya uygulanan yük yapının limit yatay yük düzeyine ulaştığında eğer yapı “gevrek” bir yapı ise çok az salınım yaparak ya da hiç salınım yapmadan yıkılır. Eğer sünek bir yapı ise salınım yaparak deprem enerjisi tüketir. Bu sırada yapının taşıyıcı elemanlarında çatlak ve kalıcı şekil değiştirmeler olur.

Rezonans olayını anlatmak için sık başvurulan bir şekil vardır: Şekil-23. Uzun bir yay üzerine konulmuş kütlede oluşan sistem (uzun periyotlu, yüksek ve çok katlı yapı) tabanı (zemin) yavaş sallandığı zaman sallanırken, kısa bir yay üzerine konulmuş kütleli olan sistem (kısa periyotlu, alçak az katlı yapı) sallanmaz. Buna karşılık bu sistemin tabanının hızlı sallanması (sert zeminin sallanma biçimi) durumunda da yay boyu kısa olan sistem (alçak ve az katlı yapı) sallanır. Bu davranış biçiminden gidilerek belli zeminlerin belli kat sayıdaki yapılarda daha çok hasar neden olacağı öne sürülür.





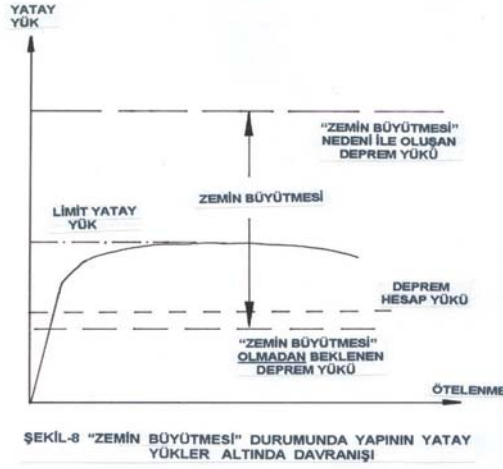
Şekil-23: "Uzun Periyotlu Yer Hareketi Uzun Periyotlu Yapıyı, Kısa Periyotlu Yer Hareketi Kısa Periyotlu Yapıyı Sallar."

Bu açıklama doğrusal elastik davranmayan gerçek yapılar için geçerli değildir. Dinamik sistemlerin farklı dış etkilerle farklı biçimlerde sallanması doğrudur. Deprem hesap yükü belirlenirken zemin-yapı ilişkisi kapsamında zaten yer hareketinin periyodu ile yapının periyodu arasındaki ilişki dikkate alınarak hesap yapılır. Ancak bir yapının diğer bir yapıya göre daha çok sallanması yapının yıkılmasını gerektirmez. Yıkılma için yapıya "limit yatay yükün" uygulanması ve yapının bu yük altında limit şekil değiştirmesine ulaşması gerekir. Bu tür "gösterilerdeki" örnek dinamik sisteme uygulanan kuvvetler elastiktir ve sistemi yıkmak için gereken kuvvet düzeyinin altındadır.

Ancak yapılar hiçbir zaman doğrusal elastik olarak kalmazlar. Yapıya gelen yükün artması ile yapıda doğrusal olmayan davranış başlar: taşıyıcı elamanlardaki çatlaklar yapının rijitliğini anında azaltır, yapının periyodu uzar ya da değişir ve yapı "rezonans" bölgesinden çıkar. Yapıdaki çatlaklarla birlikte sönüm de artar ve yapıya gelen kuvvetler de azalır. Bu periyot değişimi ve sönüm artışı dinamik sistemin rezonans bölgesinden hızla uzaklaşmasını sağlar. Yapıların bu davranış özellikleri, rezonans olmasını önler. Deprem sürdükçe yapının sönüm, rijitlik ve periyodundaki değişimler yapıya etkileyen deprem yüklerinin de değişmesine neden olur. Bu nedenle bir yapının deprem süresince davranışı karışık bir olaydır. Şekil-23 ile anlatılmak istenen çok idealleştirilmiş bir modeldir ve yapıların gerçek deprem davranışı ile ilgisi çok azdır.

"Zeminin büyümesi" ile deprem yer hareketinin genliği yapının bulunduğu yerde beklenenden daha büyük olmuş olabilir.

Eğer yapıya etkileyen yatay yük, yapının elastik limit yükü hatta deprem hesap yükü düzeyinin altında kalır ise yapıda kalıcı bir hasar olmaz. Yatak yük, elastik limitten fazla ama yatay limit yükünden az olur ise yapı yıkılmaz ama kalıcı hasarlar oluşur (Şekil-24).



Şekil-24: "Zemin Büyütmesi" durumunda yatay yükler altında davranışı

Yapı depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uygun biçimde yapılmış ise limit yatay yük düzeyinde davranması beklenen biçimde davranacaktır. Uzak ya da yakında olan bir depremin yaratacağı tasarım spektrumunda verilen bir yer ivmesi altında beklenen biçimde davranmamış bir yapının hasarının ya da yıkımının nedeni depreme karşı dayanım yetersizliğidir.

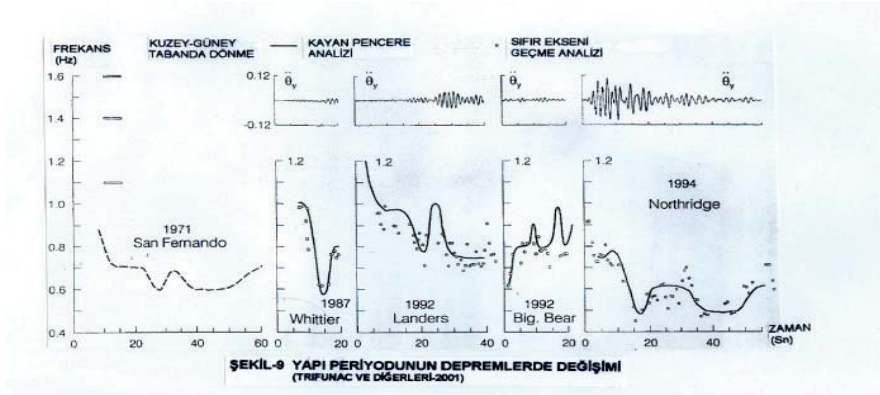
Ancak Hatay/Defne'de olduğu gibi "zemin büyütmesi" nedeni ile 4,154 g gibi bir yer ivmesi olduğu zaman yapıya gelen yük hem deprem hesap yükünden hem de yatay limit yükünden daha büyük olur ve yapı ayakta kalamayabilir.

Histeresis eğrilerinden anlaşılacağı gibi yapının elastik limit ötelenmesinin ne kadar üzerinde ötelendiği ve bu düzeyde kaç kez salınım yaptığı da önemlidir. Yapı bu düzeyde 3-5 kez ya da 8-10 kez salınım yaparsa hasar düzeyi farklı olacaktır. Yapının çok sayıda salınım yapması deprem kuvvetli yer hareketinin genliğinin büyük olmasını ve yapıya limit yükü düzeyinde yüklerin geldiği sürenin uzun olmasını gerektirir. Bir depremin hemen başında düşey yönde yıkılmış ya da çok az sayıda salınım yaptıktan sonra büyük yanal ötelenmelerle katları birbiri üzerine büyük miktarda yanal kaymalarla yıkılmış yapılarda yıkılma nedeni, yukarıda yapıların yıkılma nedenleri ve biçimleri bölümünde anlatıldığı gibi, yapının düşey yük ve deprem yükü taşıma gücünün ve sünekliğinin çok kısıtlı olmasıdır.

#### 7.4.1.2.1. Yapı Periyodu ve Zemin Periyodu

Çeşitli yapılarda deprem sırasında ölçülmüş ivme kayıtlarından hesaplanmış yapı periyotlarının depremin başlangıcında kısa olduğu giderek depremin yapının rijitliğini azaltması ile yapı periyodunun uzadığı, depremin sonuna doğru yer hareketinin genliğinin azalması ile yapı periyodunun biraz kısaldığı ancak depremin başlangıcına göre yine de daha uzun olduğu sık sık gözlenmiştir (Bayülke-1998, Trifunac ve Diğerleri-2001). Her yapının periyodu gelen deprem kuvvetleri altında önemli ölçüde değişkendir.

Şekil-25'de bir yapının değişik depremlerde ve her bir ayrı depremin süresinde periyodunda olan değişimler verilmektedir.



Şekil-25: Yapı Periyodunun depremlerde değişimi (Trifunac ve Diğerleri-2001)

Taneli ve kohezyonlu zeminler davranışı önemli ölçüde “plastik” olan, kolayca şekil değiştirebilen anlamında bir malzemedir. Uygulanan kuvvetin büyümesi ile zeminin rijitliğinin ölçüsü olan kayma modülü hızla azalmaktadır. Nasıl yapının rijitliği, etkiyen kuvvetin büyümesi ile oluşan çatlaklar nedeni ile küçülüyor ve yapının periyodu değişiyorsa zeminlerde de etkiyen deprem yer hareketinin genliğinin büyümesi ile zeminin titreşim periyodu kayma modülünün azalması ile değişecektir. Bu durum hem zeminin hem de yapının elastik olarak davranmayı sürdürecekleri varsayımına bağlı olan rezonans olayının gerçekleşmesinin ne kadar güç olacağına bir başka kanıttır.

Zeminin de yukarıda anlatıldığı gibi doğrusal elastik olmayan bir biçimde davranması da zeminlerde oluşacak yer ivmesinin genliğini de küçültmektedir. Zemin doğrusal elastik olarak davranmayarak deprem enerjisinin bir bölümünü tüketmekte ve yapılara gelen deprem kuvvetleri azalmaktadır (Trifunac ve Todorovska-1996).

Deprem yer hareketinin genliğinin “zemin büyütmesi” olayı ile büyümesi yapının deprem davranışını etkilemez. Yapıya yatay limit yükünün üzerinde deprem yatay yükü uygulanamaz. Ancak deprem yer hareketinin büyük genlikli bölümünün uzun süreli olması yapının yatay limit yük düzeyinde daha çok sayıda salınım yapmasına ve yapının hasarının artmasına neden olabilir.

Rezonans olayının gerçekleşmesi ise hem yapı hem de zeminin dinamik özelliklerinde deprem süresince olacak değişiklikler nedeni ile çok güçtür. Zemin ve yapıda deprem sırasında artan sönüm de rezonans etkisi ile yapıya gelebilecek kuvvetleri önemli boyutta azaltır. Yine yapıların yatay limit yük taşıma güçlerinin üzerinde yük taşıyamama özelliği de rezonans oluşmasını engeller. Yapının yıkılmasını belirleyen yatay yük taşıma gücü ve bununla birlikte var olan sünek ya gevrek olan ötelenme gücüdür.

#### 7.4.2. Sıvılaşma ve Yapı Hasarı

Depremlerde zemindeki sıvılaşmaya bağlı oluşan hasarlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Özellikle 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde Adapazarı’nda, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde ise Gölbaşı ve İskenderun’da sıvılaşmaya bağlı hasarlar çokça gözlenmiştir. (6

Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde Gölbashi ve İskenderun'da gözlenen hasarlar ileriki bölümde görselleriyle birlikte verilmiştir.)

Yukarıda bölüm 6.2'de sıvılaşma koşulları grafikte de göstererek anlatılmış idi. Sıvılaşma mekanizmasını daha da açmak gerekir ise; deprem sırasında gevşek ve suyla doygun zeminin etkileyen deprem kuvvetli yer hareketi altında sıkışması, zemin taneleri arasındaki boşlukların kapanması ile zemindeki boşluklardaki suyun basıncı artar. Zemin içinde derinde bir noktada üst taraftaki zemin tabakasının ağırlığı ile oluşan basınç artan boşluk suyu basıncı kadar azalır. Taneli zeminlerde herhangi derinlikteki bir noktadaki kesme dayanımı o noktadaki düşey basıncın bir oranı kadardır. Bir tür sürtünme katsayısı gibidir. Düşey basınç azalınca sürtünme kuvvetinin azalması gibi etkin basınç azalırsa kesme dayanımı da azalacağından zeminin kesme dayanımının çok azalması kesme dayanımını da azaltacağından zemin kesme dayanımı olmayan bir sıvı gibi davranır. Taneli zemin "sıvılaşır".

Sıvılaşma ile kesme dayanımı düşen zeminin taşıma gücü azalacağı için bu zemin üzerindeki yapıların temelinde oturmalar, dönmeler, yapının temelden dönmesi ve devrilmesi biçiminde hasar oluşur.

Sıvılaşma olması için uygun zemin koşullarının, zemini sıkıştırarak deprem kuvvetli yer hareketinin genliğinin belli bir düzeyin üzerinde ve yer hareketinin süresinin uzun olması gerekmektedir.

Sıvılaşmaya uygun zeminin her deprem kuvvetli yer hareketi altında mutlaka sıvılaşma zorunluluğu yoktur.

Sıvılaşmaya uygun zeminlerin özellikleri şöyledir:

1-Zeminin taneli, bir diğer deyişle kum ve çakıllı zemin olması gerekmektedir. Killi ve siltli zeminler sıvılaşmaz. Kil oranı %15'ten çok ve kohezyonu olan zeminler sıvılaşmamaktadır.

2-Taneli zeminin aynı boyutta tanelerden oluşan, birörnek boyutta taneli zemin olması gerekmektedir. Her boyutta tanelerden oluşmuş bir zeminin de sıvılaşması zordur. İri tanelerin arasında daha küçük boyutta tanecikler yoğun bir doku ve de sıkı bir zemin oluşturur ve su boşlukları azalır. Köşeli tanelerden oluşan zeminlerin de sıvılaşması daha zordur.

3-Sıvılaşma için zeminin su ile doygun olması gerekmektedir ve zeminin geçirgenliği de sıvılaşma üzerinde etkilidir.

4-Sıvılaşmanın yapının temeline yakın bir derinlikte olması gerekir. Temel tabanının çok altında bir düzeyde olan sıvılaşma temelin hemen altındaki zeminin taşıma gücünü etkilemeyecektir.

5-Sıvılaşma için deprem kuvvetli yer hareketinin ivmesinin belli bir büyüklükte ve bu genlikteki yer hareketinin "uzunca" bir süreli olması gerekmektedir. Genellikle uzak depremlerin kuvvetli yer hareketlerin genlikleri küçük ancak etki süreleri uzundur. Bu nedenle uzakta olan şiddetli depremlerin sıvılaşmaya yol açması olasılığı daha düşüktür. Sıvılaşmaya uygun bir zemin üzerinde olması beklenen en büyük deprem yer ivmesi düşük bir düzeyde ise sıvılaşma olasılığı çok düşüktür. Örneğin, 1996 tarihli Deprem Tehlike Haritasına göre 4. derece deprem tehlike bölgesinde yer alan sıvılaşmaya uygun yapıda bir zeminin sıvılaşma olanağı yoktur.

Sıvılaşmanın genellikle yavaş akan ırmakların birikinti alanlarında zemin üniform taneli olduğu için daha kolay olduğu ileri sürülmektedir. Ayrıca alüvyon zeminin ya da dolgunun “genç” olması da gerekmektedir. Oluşmasından sonra çok zaman geçmiş ve zaman içinde konsolide olmuş (sıkışmış) zeminlerin sıvılaşması daha zordur. Tanelerinin küçük ve üniform dağılımlı kumlu zeminlerde sıvılaşma olasılığı daha yüksektir. Buna karşılık iri taneli zeminlerde daha geçirgen olmaları nedeni ile boşluk suyu basıncının artması daha az olduğu için sıvılaşma olasılığı daha düşük olmaktadır.

Bir yapının temelinde büyük oturma ve dönme biçiminde olan deprem hasarı ya da yapının depremde bir rijit kütle olarak devrilmesi mutlaka yapının altındaki zeminin taşıma gücünün zemin sıvılaşması ile kaybedilmiş olması anlamına gelmez. Yapıdan zemine depremde aktarılan düşey yük zeminin deprem sırasında değişmeyen taşıma gücünden büyükse de temel hasarı olabilir.

1-Depremin merkezinde düşey ivmenin büyük olması yapının ağırlığını ve dolayısı ile yapının düşey yüklerini artırır. Yatay deprem yüklerinin temele getirdiği düşey yükler, yapının bir tarafında basınç diğer tarafında çekme etkisi oluşturur, temele gelen düşey yüklerin artmasına ve yapının temelinde oluşan gerilmelerin zeminin taşıma gücünü aşması da zemin sıvılaşmadan yapıda oturmalara ve temelden devrilmeler yol açabilir.

2-Özellikle temelleri çok sığ ve narin (yükseklik/ genişlik oranı çok büyük) yapılarda yanal yüklerin oluşturduğu devrilme momentleri temellerde yapının bir yanında büyük basınç diğer yanında negatif basınç çekme etkileri yaratarak yapının temelden devrilmesine neden olabilir.

Yapının temelindeki zeminin sıvılaşp sıvılaşmadığının belirlenmesi gerekir. Sıvılaşmanın belirtileri: kum fıskırması, zemin üzerindeki kaldırım ve kaplamalarda oturmalar, gömülü boruların patlaması (boru patlamaları sıvılaşma olasılığı çok az olan zeminlerde büyük ivmelerin oluşması ile de oluşabilir), dolgu ve seddelerde yanal yayılmadır. Sıvılaşma belirtisi olan kum fıskırmalarındaki malzeme genellikle siltli ince kum ya da hemen hepsi aynı tane boyutundaki ince ve temiz kumdur. Tane dağılımı olarak hemen hemen %90'ı 0.1 ile 1.0 mm kadardır. Aynı biçimden bir zeminin deprem olmadan önce sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi ve zeminin bulunduğu yerde sıvılaşmaya neden olabilecek boyutta bir deprem kuvvetli yer hareketinin oluşma olasılığının belirlenmesinden sonra karar verilmesi gerekir.

Yukarıda anlatılan biçimde katları üst üste dik yönde ya da katları birbiri üstüne büyük yanal ötelenmelerle kayarak yıkılmış yapıların yıkılma nedeninin zemin sıvılaşması ile açıklanması için zeminin sıvılaşmaya uygun ve zemini sıvılaştıracak boyutta deprem kuvvetli yer hareketinin oluştuğunun kanıtlanması gerekir. Zemin sıvılaşmasının yol açtığı hasar yapının temellerindedir.

### **7.4.3. Yapı Hasarı-Zemin İlişkisi Üzerinde Son Değerlendirme**

Tasarım ve yapıım koşulları nedeni ile Türkiye'deki betonarme yapıların büyük bir bölümünün deprem dayanımı ya yoktur ya da çok yetersizdir. Bu nedenle de depremde oluşan yapı hasarı ve yıkımlar büyük ölçüde yapıların kötü özelliklerinden kaynaklanır.

Rezonans ya da Zemin Büyütmesi olayı ile tüm hasarın açıklanması yapıların yatay yükler altındaki davranışları karşısında geçerli olamaz. Yapıların ve zeminlerin doğrusal olmayan davranışları rezonans olayının gerçekleşmesine izin vermez. Depremde oluşan yer hareketini zeminin büyütmesi yapının bulunduğu yerde depremin ivmesinin yapıları deprem tasarım

yük düzeylerinin üzerinde ve limit yatay yük düzeylerinde yüklerin gelmesine neden olabilir. Bu koşullarla zorlanan yapıdan beklenen depreme dayanıklı ve sünek davranan yapı gibi davranmasıdır. Yapının bu biçimde davranmamış olması sonucu ağır hasar ya da yıkım olması yapının “depreme dayanıklı” yapılar için gereken özellikte tasarlanıp yapılmamış olmasının sonucudur.

Sıvılaşma gibi zeminden kaynaklanan yapı hasarı da genellikle yapı temellerinde olmakta, çoğu zaman da üstyapıya gelen atalet kuvvetlerini azaltmaktadır.

Deprem sırasında doğrusal olmayan davranışlar ve kalıcı şekil değiştirmeler yapıların ve zeminlerin dinamik özelliklerini değiştirmekte ve yapılara etkiyecek deprem kuvvetleri ve zemin davranışları önceden kestirilenlerden farklı olabilmektedir. Doğrusal elastik olmayan davranışların yapı ve zeminde yaratacakları değişikliklerin yapıların davranış ve hasarı üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak çalışılmasından sonra yapı hasarı ile zemin ilişkisi daha bilimsel ve güvenilir olarak belirlenebilir.

## 8. DEPREM SONRASINDA HASAR TESPİTİ

Hasar tespiti çeşitli amaçlarla yapılır ya da yapılmıştır. 7269 Sayılı Yasaya göre yapılan hasar tespiti esas olarak afet sonrasında yapılacak yardımlarla ilgilidir. Bu yasa, evi yıkılan ya da ağır hasarlı olanlara yeniden ev yapmak, hasarı az ya da orta olana evini onarmak ya da güçlendirmek için maddi yardım öngördüğü için Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü hasar tespitlerini bu kapsamda yapmıştır.

Bu arada 1999 depreminden sonra kurulan Doğal Afet Sigorta Kurumunun (DASK) da bir depremden sonra tazminat ödemek için hasar tespiti yapması gerekmiştir. DASK tarafından yapılan hasar tespiti bir “sigorta” yaklaşımı içermektedir. Olaya yalnızca “tazminat” açısından bakılmaktadır.

Hasar tespitinin önemli bir yanı, yapının hasarının yapı güvenliği açısından belirlenmesidir. Yapının güvenlik düzeyinin belirlenmesi amacı deprem sonrasında hemen kullanılacak ve güvenlik düzeyinde kayıp olmamış yapıların belirlenmesi ile başlamaktadır. Bu tür yapılar **HASARSIZ** yapı olarak nitelenir.

Depremi yaşamış bir ikinci grup yapılarda, deprem hasarı yapının güvenliğini bir miktar azaltmış olabilir. Ancak bu azalma giderilerek yapı deprem öncesi güvenlik düzeyine yükseltilebilir: bu “Onarımdır”. Ya da yapıya deprem öncesine göre daha yüksek bir güvenlik sağlanır: bu da yapının “Güçlendirilmesidir”. Bu tür yapılar **ORTA HASARLI** yapıdır.

Geri kalan yapılar ya **AĞIR HASARLIDIR** ya da **YIKILMIŞ, GÖÇMÜŞ** yapılardır. Ağır Hasarlı yapıların da bazıları güçlendirilebilir. Güçlendirmenin bedeli yeniden yapmaya çok yakın olabilir. Ya da fiziki olarak olanak dışıdır. Bu durum hesap ve analizlerle ortaya konur ve ona göre yıkımına karar verilir.

Hasar tespitinde en zor olan seçenek orta hasarlı yapıları belirlemektir.

Hasar tespitinin önemli bir yanı da olmuş yapı hasarının ülkeye maliyetini belirlemektir. Özellikle maliyetinin küçük bir bölümü ile onarılabilecek yapıların depremde ağır hasarlı olarak nitelenip yıkılıp yeniden yapılmasının ülke için çok büyük bir mali bedeli olacaktır.

Bu açıdan depremde orta ile ağır hasarlı yapıların ayırımının sağlam ve doğru yapı güvenliği ve deprem davranışı kurallarına göre yapılması, tekniğin dışına çıkılmaması gerekir.

2007 ve 2018 tarihli Deprem Yönetmelikleri daha önceki benzerlerinden farklı olarak yapıların “**deprem performansı**”nı tanımlayan kurallar getirmiştir. Yapının “Deprem Performansı” aslında depremin büyüklüğüne göre yapıda olması **beklenen hasarı tarif etmektedir**. Bu açıdan bu deprem yönetmeliğinde verilen “performans düzeyleri” bir yapının deprem sonrası hasarını belirlerken uyulması gereken hasarın ölçüldüğü “cetvel” olmaktadır. Üstelik deprem yönetmelikleri hukuksal olarak yasalar kadar ağırlık ve yaptırım gücüne sahiptir.

Bu nedenle bir depremden sonra yapılacak hasar tespitlerinin Deprem Yönetmeliklerinde verilen performans düzeyleri ile uyumlu olması gerekir.

AFAD’ın bir deprem sonrasında hasar tespiti için kullandığı kurallar ise 2018 Deprem Yönetmeliğinde verilen yapı performans düzeyleri ile uyumlu değildir. AFAD kurallarına göre betonarme bir yapıda herhangi tek bir düşey taşıyıcı elemanda (kolon ya da perde duvar) ağır hasar olmuşsa yapı “ağır hasarlı” olarak nitelenmekte ve yıkılmaktadır.

Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) yapının ağır hasar karşılığı olan “göçme öncesi” performans düzeyinde olması için düşey taşıyıcılarının %40’ından daha çoğunda “ağır hasar” olması gerekmektedir. Ortaya hukuksal bir sorun da çıkmaktadır: Deprem Yönetmeliği kurallarına göre orta hasarlı olması gereken bir yapının Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca ya da AFAD tarafından ağır hasarlı ilan edilmesi yasalara uygun değildir.

Diğer yandan, “*Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış ve yapılmış bir yapının Yönetmelikçe öngörülen hasar düzeyinden daha yüksek bir düzeyde hasar görmüş olduğuna karar verilmesi...!*” bir bakıma Deprem Yönetmeliğinin “yetersizliği” olarak yorumlanabilir. Bu durum da projeci ve uygulayıcının sorumluluğu Yönetmeliğe “rücu” etmiş olarak yorumlanabilir.

Hasarı az da olsa bütün yapıları ağır hasarlı kabul edip yeniden yapmak “küçük boyutlu” depremler için büyük bir mali yük olmayabilirse de, büyük depremlerde hasarı az ve orta yapıları güçlendirmek daha ekonomiktir. 1992 Erzincan ve 17 Ağustos 1999 depremlerinde orta ve az hasarlı yapılar, yeni yapılacak depreme dayanıklı yapının maliyetinin 1/3’ü kadar bir maliyetle güçlendirilerek depreme daha dayanıklı duruma getirilmişlerdir. Yapıları güçlendirerek deprem dayanımını artırmak konusunda 1967 Mudurnu depreminde ağır hasarlı olan Sakarya Valilik Binası örneği vardır. Güçlendirilmiş yapıda 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinde en ufak bir çatlak bile olmamıştır. Güçlendirmenin etkili olduğunu kanıtlayan başka birçok örnekler de vardır.

6 Şubat 2023 Depremlerinden sonra pek çok az ve orta hasarlı yapının, ağır hasarlı olarak değerlendirilerek yıkıldığı düşünülmektedir.

Ancak burada, ülke açısından milli servet kaybının yanı sıra 7269 Sayılı Afet Kanununun öngördüğü hak sahipliği kuralları açısından da önemli hak kaybı söz konusu olabilmektedir. Örneğin, bir hak sahibinin aynı binada birden fazla konutu olsa bile ancak bir konut için hak sahibi olabilmektedir. Ayrıca, kişinin aynı yerleşim yerinde başka bir sağlam konutu olmaması ve 2 yıl ödemesiz 20 yıl faizsiz eşit taksitlerle borçlandırılması gibi şartlar da vardır. Bu durumda eğer tek bir kişiye ait bir bina orta hasarlı iken ağır hasarlı olarak değerlendirilip yıkılır ise o kişi için çok büyük bir maddi kayıp da söz konusu olmaktadır.

Depremde hasar gören yapıların hasar düzeylerinden gidilerek “yıkılabilirlik” (vulnerability) ilişkileri çıkarılmaktadır. Bu ilişki bir deprem sonrasında farklı düzeyde hasar gören yapıların oranını verir. Bu ilişki kullanılarak gelecekte olabilecek Depremlerde **hasar boyutunun tahmini** için kullanılır. Ancak bu hasar tahmininin; oluşan gerçek fiziki hasar düzeyleri yerine başka kriterlerle belirlenmesi hasar tespit listelerine dayanılarak çıkarılacak “yıkılabilirlik” ilişkilerinin gerçekliğini ortadan kaldırmakta ve güvenilirliği zayıflamaktadır.

Yapının hasar durumunu belirlerken en önemli kıstas yapının genel olarak düşey yük taşıma gücünde olan azalmanın miktarıdır. Yapı deprem sonrasında ayakta duruyorsa, şakulden kaçması yoksa, düşey taşıyıcılarının geometrisi bozulmamışsa (betonda ezilme ile kolon boyunun kısılması gibi), onarım ve güçlendirme olanağı vardır. Bu olanak varsa yapının onarım ve güçlendirilmesi çok daha ekonomiktir (1/3 oranında) ve kısa bir sürede gerçekleştirilebilir. Deprem sonrası iyileştirilme çalışmaları kapsamında orta hasarlı binaların geçerli teknik kriterlerle değerlendirilip güçlendirilmesi alternatifi asla göz ardı edilmemelidir.

## 9. DEPREM BÖLGESİNDEKİ İNCELEMELER

28Şubat-4Mart2023tarihleriarasındaAdana’danbaşlayarakHatay,Gaziantep,Kahramanmaraş, Adıyaman, Malatya ve Elazığ il ve ilçelerinde gerçekleştirilen gözlemsel incelemelere dayalı tespit ve değerlendirmeler aşağıda verilmektedir.



## 9.1 ADANA

1. ukurova İlçesi, Kurttepe Mevkii. Yan yana aynı proje kapsamında yapılmış 2 bina, biri tamamen gümüş, diğeri ayakta. Ayakta kalan binaya hasar tespit ekipleri ağır hasar vermiş. Binaya girmek yasak olduğu için taşıyıcı sistemdeki hasar durumu incelenememiştir. Özellikle balkon kısmında bölme duvarlarda büyük diyagonal çatlaklar, kırılma ve dökülmeler görülmüştür. Yıkılmayan bloğun neden yıkılmadığını anlamak ve gerekli incelemeleri yapmak için araştırmacıların ve İnşaat Mühendisleri Odası teknik uzmanlarının binanın içine girmelerine izin verilmemesi büyük bir eksikliklidir.

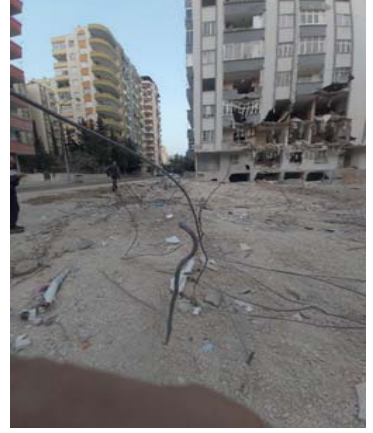




Çöken binanın kolonunda yapılan gözlemede etriyelerin 25 cm aralıklı konulduğu, sıklaştırma yapılmadığı, kancaların 135° bükülmediği görülmüştür. Nervürlü demir kullanılmış, ancak yine de donatılar betondan tamamen sıyrılmıştır. Bu durum beton dayanımının çok düşük olduğunu göstermektedir. Zira uygun dayanımdaki bir beton olsaydı donatılar beton içinden bu kadar kolay sıyrılıp ayrılmazdı, donatılara sarılı büyük parçalar halinde kırılırdı. Binanın yıkılma şekli ve enkazın durumuna bakıldığında beton dayanımının çok düşük olduğu ve betonarme elemanlarda donatının yetersiz olduğu düşünülmektedir.

- 2. Güneş Sitesi:** Bu binada 120 kişinin hayatını kaybettiği söylenmiştir. Bu alanda B+Z+17 katlı çöken bir binanın enkazının kalan kısmında yapılan incelemede, düşey donatı çaplarının Ø14 - Ø16 mm olduğu, düz ve nervürlü donatı kullanıldığı, donatıların betondan kolaylıkla sıyrıldığı, etriye sıklaştırmasının yapılmadığı, etriye aralıklarının 30 cm olduğu ve donatılarda korozyon olduğu görülmüştür. Kalan beton parçaları üzerinde yapılan gözlemsel incelemede uygun granülometreye sahip olmadığı beton dayanımının oldukça düşük olduğu izlenimi doğmuştur.

Bina yıkılırken yandaki binanın yan cephesine çarparak, çarptığı binanın konsol çıkmaları ve konsol üzerine oturan duvarlarında hasara neden olduğu görülmüştür. Yıkılma esnasında komşu binanın betonarme taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Ancak bu yapıya ağır hasar verildiği ifade edilmiştir.



**3. Kardeşler Restoranının olduğu bina:** Konsol çıkmalara oturan dış cephe duvarlarda çatlaklar bulunmakta olup, pencere kenarındaki tuğla nişlerde dökülmeler vardır. Dışarıdan yapılan gözlemde taşıyıcı sistemde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Sol yan arka cephe köşe kolonunun kalıbı çakılırken ekseninden kaydırıldığı görülmüştür. Schmidt çekici ile yapılan ölçümde beton dayanımı ortalama 120 kg/cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür.



## 9.2 İSKENDERUN (HATAY)

### 1. Barbaros Mahallesi, İbrahim Karaoğlanlı Caddesi:

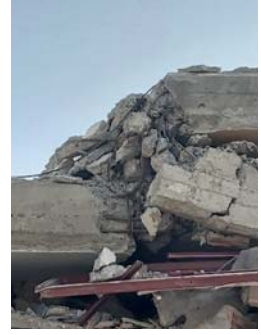
İskenderun'da D817 yolu üzerinde (Barbaros Mah., İbrahim Karaoğlanlı Caddesi) yıkılmış bir bina enkazındaki kiriş ve kolonlar üzerinde yapılan incelemelerde; döz demir kullanıldığı, etriye aralıklarının 20 cm-37 cm arasında değiştiği, kolon ebatlarının en fazla 20 cmx60 cm olduğu, kolonların kirişlerden daha zayıf olduğu, beton dayanımının genel olarak çok dözüşük olduğu gözlenmiştir.



### 2. Barbaros Mahallesi, İbrahim Karaoğlanlı Caddesinde yıkılmış başka bir bina:

Enkaz üzerinde yapılan incelemelerde; zayıf kolon-kuvvetli kiriş düzensizliği bulunmakta olup kolon ve kirişte etriye sıklılaştırması olmadığı, etriye aralıklarının 20 cm olduğu, etriye uçlarında kancaların 135° kıvrılmadığı ve donatılarda korozyon olduğu görölmüştür. Çok büyük yatay ötelenme ile katlar birbiri üstüne yıkılmıştır.





### 3. Barbaros Mahallesi, İbrahim Karaoğlanlı Caddesinde yıkılmış başka bir bina:

5 katlı binadan kalan enkaz üzerinde yapılan incelemede; etriye sıklaştırmasının olmadığı (20 cm aralıklı), kolonların 20 cmx80 cm ebadında hep aynı yönde yerleştirilmiş olduğu görülmüştür. Düşük beton dayanımı, zayıf kolon-kuvvetli kiriş düzensizliği olduğu tespit edilmiştir.



#### 4. Deniz Kenarı, Cengiz Topel Caddesi, Derya Apartmanı:

Z+7 katlı betonarme binanın zemin katında 40 cmx90 cm ebadında kolonlar ile merdiven boşluğu kenarında betonarme perdeleri mevcuttur. Zemin katta bölme duvarları bulunmamakta olup, yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Donatılarda aşırı korozyon ve kesit kaybı gözlenmiştir. Etriye sıklaştırması yoktur, etriye kancaları 135° kıvrılmamıştır. Zemin kat kolonlarının tabana oturan kısımlarında donatıları dışarı burkulmuş, kalıcı deformasyon oluşmuştur, bina ağır hasarlıdır.





##### 5. Sahil şeridinde, Atatürk Caddesi, Beşen Plaza:

Kohezyonu düşük, kumlu ve sulu zeminde sıvılaşmaya bağlı taşıma gücü kaybı nedeniyle 15-20 cm civarında gömülen binalar bulunmaktadır. Bölgede yoğun bir şekilde kum fişkirmaları gözlenmiştir.







## 6. Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi, Park Apartmanı, A-B bloklar:

Dilatasyonla ayrılmış iki blok şeklinde inşa edilmiş. Her iki blok, sıvılaşma nedeniyle 15-20 cm gömülmüştür. Dilatasyonda önemsizlenecek derecede ayrılma vardır.



## 7. Şehit Pamir Caddesi ile Mareşal Fevzi Çakmak Caddesi kesişimi köşesindeki binalar:

Zemin kat kolonları kırılarak çökmüş binalar. Yumuşak kat, zayıf kolon-kuvvetli giriş düzensizlikleri var. Etriye sıklaştırmaları yok, kancaları 135° kıvrılmamış.





*İskenderun Sağlık Müdürlüğü'nün bulunduğu binanın yan cephesi garaj girişinin yanındaki betonarme perdede ağır derecede kesme kırılması var. Perdelerin uç bölgelerinde donatılar yönetmeliğe uygun yerleştirilmemiş, ilave boyuna donatı ve sargı yok. Beton dayanımının da düşük olduğu düşünülmekte.*

### 9.3 İSKENDERUN- ANTAKYA ARASI YOL BOYU

İskenderun'dan Antakya'ya yaklaştıkça yol boyunca hasar oranı artmaktadır. Belen'e çıkışta çok sayıda hasarlı bina bulunmakta olup, birçok bina da yıkıktır. Belen merkezde önemli bir hasar gözlenmedi. Kesme taş ve harman tuğlası ile yapılan eski yığma yapılarda hasar gözlenmedi. Serinyol'dan Alazlı'ya doğru yıkıntılar başladı.



#### 9.4 ANTAKYA MERKEZ (HATAY)

Antakya şehir merkezinde çok fazla sayıda enkaz ile karşılaşıldı. Yıkılmış enkaz haline gelmiş bu binaların yanı sıra böylesi büyük depremde yönetmeliğin de öngördüğü şekilde ayakta kalmış, az ve orta derecede hasar görmüş yapıların da olduğu görüldü.



*Antakya'da yıkılmış, enkaz haline gelmiş binalar*



*Antakya'da hasar görmüş ancak ayakta kalmış bina.*



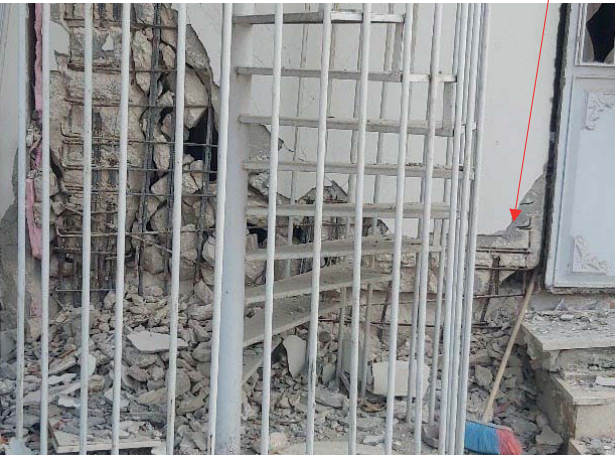
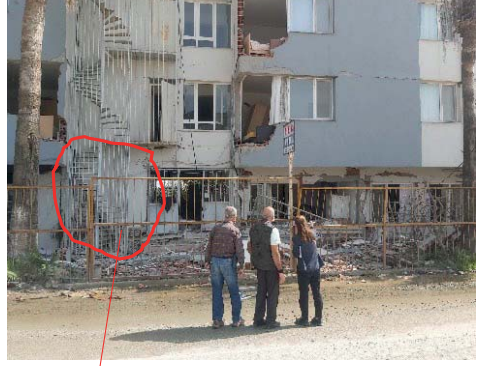
*Antakya'da iki yanındaki binalar yıkılmışken ayakta kalmış bir bina*

**1. Mehmet Ocak Bayan Apartları:** Dilatasyonla ayrı 2 blok şeklinde inşa edilmiş. Yapının taşıyıcı sistemi betonarme perde ve kolonlardan oluşan karma bir sistem. Kısa yönde, dış cephe köşelerinde 210cm x25 cm boyutunda perdeler mevcut.





Perdeler ağır hasarlı. Kolonlarda ölçülen etriye aralığı 7-10 cm, sıkılaştırma yapılmış ancak etriye kancaları 135° kıvrılmamış. Donatılarda korozyon var. Perdelerin uç bölgelerinde donatılar yönetmeliğe uygun yerleştirilmemiş, ilave boyuna donatı ve sargı yok. Yola göre sol taraftaki blokta sola doğru hafif kalıcı deplasman var. Schmidt çekici ile ölçümde beton dayanımı, ortalama 200 kg/cm<sup>2</sup> ölçüldü (Not: Schmidt Çekici ölçümleri yaklaşık %60-70 doğrulukta sonuç vermektedir).



*Binanın arka cephesinde, dilatasyonla ayrılmış kısmın hemen bitişiğinde, uzun istikamette konulmuş bir perde var. Ağır kesme hasarlı bu perdenin bir ucunda ilave donatı ve sargının olmadığı görüldü.*



*Kısa istikamette ön ve arka köşelerde 210cm x25cm boyutunda ikişer adet perde mevcut. Bu perdelerde ağır kesme hasarı var. Perde uç bölgelerinde ilave donatı yok, sargılanmamış.*



Binanın arka cephesinde zeminde devamlı su kaynaması, kum çıkışı görülmüştür. Bu su çıkışının patlayan temiz su hattı nedeniyle de olabileceği düşünüldü.

## 2. Atatürk Caddesi üstü

Z+9 katlı bina. Kolon ve kirişlerin birleştiği yerde mafsallaşma ve kalıcı deformasyon var. Ağır hasarlı. Zemin kat asma katlı olup (asma katta döşeme plağı yok) yumuşak kat davranışı göstermiş. Dış cepheler 10 cm'den kalın çok ağır traverten ile kaplanmış. Ağır kütleli olan bir bina.



*Depremden önceki hali*



*Depremden sonraki hali*





*Binanın taşıyıcı sistemi kolon ve perdelerden oluşan karma bir sistem. Zemin katta asma kat mevcut. Zemin kattaki betonarme perdelerin tamamında ağır derecede kesme kırılması var. Kolonlarda ise perdelere göre daha az hasar var.*





### 3. Subaşı Aile Sağlığı Merkezi:

2003 yılında inşa edilmiş. Yapı Denetimin Hatay ilinde ilk başladığı zamanlarda yapılmış. İmalatlarda eksik ve kusurların olduğu görüldü. Binada dışarıdan yapılan incelemede yatay ve düşey yönde kalıcı bir deplasman ve mekanizmalasma olmadığı, ağır hasarlı kolonu olmadığı, dış cephe dolgu duvarlarında ise kırılma ve dökülmeler olduğu gözlemlendi.



*Sıklaştırma bölgesinde etriye aralıkları 17 cm (>10cm) ölçüldü. Donatılarda aşırı korozyon var, korozyondan demirler erimiş, boyuna donatılar kopmuş. Yağmursuyu borularının uçları açıkta, gelen sular bina temeline sızmakta. Betonda segregasyon var. Schmidt çekici ile ölçümde beton dayanımı, ortalama 220 kg/cm<sup>2</sup> ölçüldü (Not: Schmidt Çekici ölçümleri yaklaşık %60-70 doğrulukta sonuç vermektedir).*

#### 4. Deniz Apartmanı:

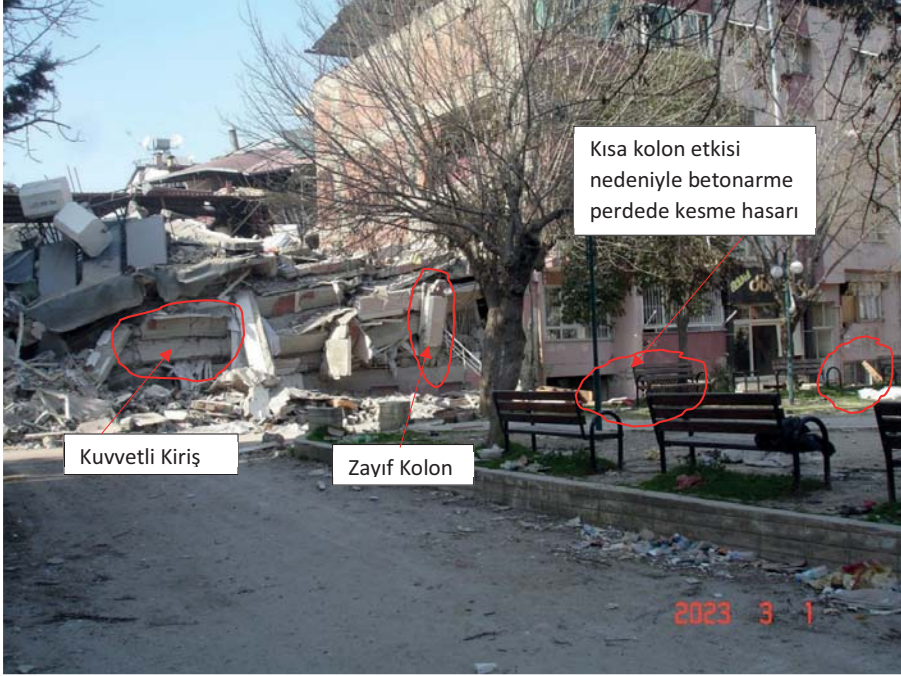
İnşaatı yeni tamamlanmış bir bina. Binanın ön bahçesindeki dolgu zemin yaklaşık 30 cm çökmüş, ancak buna rağmen binanın tretuvarları dâhil kendisinde kayda değer hasar yok. Binanın tek bir işyeri olarak düzenlenmiş zemin katı camlarında kırıklar var. Asansör-Merdiven boşluğu kenarındaki bölme duvarlarında hasar var. Onun dışında üst katlardaki dolgu duvarlarında dahi hasar yok.



Binada her iki istikamette düzenli yerleştirilmiş yeterli miktarda betonarme perde taşıyıcıların olduğu, herhangi bir düzensizlik bulunmadığı, Profometre ile yapılan ölçümlerde etriyelerin sıklaştırma bölgesinde 10 cm, orta bölgelerde ise 15-17 cm aralıklarla yerleştirildiği görülmüştür.



## 5. Antakya Armutlu Mahallesinde biri yıkılmış diğeri ayakta kalmış bitişik iki bina:



*Yıkılan bina: Kuvvetli Kiriş-Zayıf Kolon Düzensizliği var. Etriye sıklaştırması yok, kancaları 135° bükülmemiş. Betonun görünümü düşük dayanımlı olduğu izlenimi veriyor.*

*Ayakta kalan bitişik bina: Kısmi bodrum katta garaj girişi ve bant pencere boşlukları var. Özellikle garaj girişinin hemen yanındaki betonarme perdede kısa kolon etkisiyle oluşmuş orta derecede kesme hasarı var.*

## 6. Atatürk Caddesi Yana Devrilerek Yıkılan Bina:



*Binanın depremden önceki Google görüntüsü ve depremden sonraki yıkılmış hali*

Google görüntüsüne bakıldığında binanın, kot farkı nedeniyle 3 tarafı tamamen açık Atatürk Caddesine bakan ön cephesinde yarıya kadar gömülü bir bodrum kat üzerine yüksek giriş kat + 6 Normal kat + 1 Teras katı olmak üzere toplam 9 katlı yapıldığı görülüyor. Bina en alt bodrum kat kolonlarının kırılması sonucu kısa yönde sağ tarafına devrilerek yıkılmış. Binanın üst katları kısmen bütünlüğünü korumuş.



Kısa istikamette asansör kovanının kenarında betonarme perde. Kesme çatlakları gözleniyor.



Kısa istikamette asansör kovanının kenarında bir betonarme perdesi var. Gövdesinde kesme çatlakları gözleniyor. Bu perde, bodrum kat tabanında diğer kolonlarla birlikte kırılarak yıkılmış. Etriye sıklaştırması yapılmış.

Yıkılış biçimine bakıldığında, bodrum kat kolonları boyuna donatılardaki bindirme boyu yetersizliği nedeniyle kolaylıkla sıyrılmış olabileceği ve/veya kısa istikamette yeterli yanal rijitliğin sağlanamadığı, depremin yanal deplasman talebini binanın karşılayamadığı aklı gelmekte. Binada kuvvetli kiriş-zayıf kolon düzensizliği de gözlenmekte.

## 7. Atatürk Caddesinde yıkılan yeni inşa edilmiş bir bina:

Yıkılan bu binanın hemen yanında ayakta kalmış az hasarlı başka bir bina vardır. Yapının en son yönetmelik esaslarına göre projelendirilerek inşa edildiği ifade edilmiştir.



Yapılan incelemede, çekirdek kısmındaki asansör kovasının boylu boyunca betonarme perde olduğu, nervürlü donatı kullanıldığı, etriye sıklaştırmasının yapıldığı, etriye kancalarının 135° kıvrılarak kolonların sargılandığı, boyuna donatıların da yeterli olduğu görülmüştür. Bu durumda binanın yıkılış biçimi de dikkate alındığında akla beton dayanımındaki yetersizlik gelmektedir. Beton döküldükten sonra yeterli sulama yapılmayıp kürünü alamaması söz konusu olabilir. Yaşanan en büyük problemlerden birisi de beton döküldükten sonra sulama işleminin önemini bilmeyen herhangi bir işçinin inisiyatifine bırakılması ve ihmal edilmesidir. Gerekli gibi kürlenmeyen betonun dayanımı çok düşük olmaktadır. Beton döküldükten sonra kimyasal reaksiyonunun sağlanması, yanmaması için en az 1 hafta döşeme altından ve üstünden tüm kolon ve kirişler ıslanacak şekilde sulanmalıdır. Esasen telis bezi veya diğer su tutucu örtüler kullanılarak da beton yüzeyinin ıslak kalması ve buharlaşmanın daha az olması sağlanmalıdır.



## 8. Yol boyunca değişik derecede hasar görmüş binalar:

Yol boyunca yapılan gözlemlerde yıkılan, tamamen enkaz haline gelen binaların yanı sıra ayakta kalmış hatta az hasarla depremi atlattmış birçok binanın da bulunduğu görülmüştür.



## 9.5 GAZİANTEP

### 1. Batıkent Mahallesi, Emre Apartmanı:

06 Şubat 2023 tarihi 04.17'deki ilk depremde yıkılmış, enkazı kaldırılmış. Yapının, Zemin kat + Asma kat + 11 Normal katlı (toplam 13 kat) olduğu ve 2000 yılında yapıldığı söylenmiştir. Taşıyıcı sistemi, tekil temeller üzerine inşa edilmiş betonarme kolon ve kirişler ile oluşan çerçevelerden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemde yatay deprem yüklerini karşılayacak perdelerin olmadığı gözlenmiştir. Enkazdan geriye kalan betonarme taşıyıcı elemanlarda yapılan incelemede, temeller arası bağ kirişlerinin olmadığı, etriye sıkılaştırmalarının yapılmadığı, kancalarının  $135^\circ$  bükülmediği görülmüştür. Betonun görünümü de dayanımının yetersiz olduğu izlenimini vermektedir. Bu binanın alt katında bulunan bir mobilya mağazasında kolon kesildiği (adli süreçte yapılan incelemelerle doğrulanması gerek) söylenmiştir.



*Yıkılmadan önceki Google görüntüsü*





## 2. Güneş Sitesi A-Blok:

6 Şubat 2023 tarihinde saat 13.24'deki 2. depremde (Mw 7,6) yıkılmıştır. 1997-98 yıllarında inşası tamamlanıp kullanılmaya başlanmış.



Düz donatı kullanılmış, etriye sıklaştırması yok, etriye kancaları 135° kıvrılmamış. Binanın yıkılma şekli ve enkazın durumuna bakıldığında beton dayanımının çok düşük olduğu ve donatının yetersiz olduğu görülmektedir.

### 3. Güneş Sitesi D-Blok:

D-Blok arka köşesinde pas payı dökülmüş 60cmx60cm ebadındaki dış köşe kolon üzerinde yapılan incelemede etriye aralıklarının 20cm olduğu, kancalarının 135° kıvrılmadığı, donatılarda korozyon olduğu gözlemlendi. Bu kolon üzerinde yapılan Schmidt çekici ölçümlerinde geri sekme değerleri ortalaması  $R_{ort}=181/6=30$  olarak bulunmuştur. Betonun yaşı ve standart sapması dikkate alındığında en iyi ihtimalle dayanımının  $180 \text{ kg/cm}^2$  olduğu değerlendirilmektedir. (Not: Schmidt Çekici ölçümleri yaklaşık %60-70 doğrulukta sonuç vermektedir). Bu ölçümün binanın genelini temsil etmediği de bilinmelidir.



### 4. Arı Sitesi B-Blok:

İncelemelerde etriye arası 23 cm ölçüldü, etriye uçları 135° kıvrılmamış. Hasar tespit ekiplerince bu yapıya önce orta hasar verildiği, daha sonra 2. tespitite ise ağır hasara çekildiği söylendi. Oysaki bu binanın bodrum kat garaj kısmında sadece bir kolonunda ağır hasar gözlemlendi, diğer taşıyıcı elemanlarda (kolon ve kirişlerde) herhangi bir hasar görülmedi. Hasar gören kolonda yapılan incelemede; üzerinde sonradan açılmış çok sayıda elektrik hat deliklerinin olduğu ve böylelikle kesitin zayıflatıldığı görüldü. Diğer kolonların hiçbirinin hasar görmemesi, sadece bu kolonda ve bu hatların bulunduğu kısımda hasar oluşması dikkate alındığında, hasarın kesitin zayıflatılması nedeniyle oluşabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca bu kolonun düğüm noktasında farklı derinlikte kirişlerin birleşmesi, kısa kolon etkisi de yaratmış olabilir.

Böylesine büyük bir depremde tek bir kolonu ağır hasar görmüş, yatayda ve düşeyde büyük kalıcı ötelenmeler yapmamış, mekanizmalanmamış binalara ağır hasar verilmesi yanlıştır. Kesitin zayıflatılması nedeniyle hasar gören bu kolonun onarılarak binanın tekrar kullanılabilceği düşünölmektedir.



## 9.6 PAZARCIK (Kahramanmaraş)

### 1. Batıkent Mahallesinde depo, düğün salonu, işyeri olarak kullanılan prefabrik bir yapı:

35mtx20mt oturma alanı, kolonların yükseklikleri 6 mt civarında. Kısa istikamette 2 açıklıklı. Sağ taraftaki açıklıklı 2 kat, sol taraf ise yüksek tek kat olarak inşa edilmiş. 2 katlı olan kısım ortadaki kirişlerle tutulduğu için yıkılmamış, diğer yüksek tek katlı kısım ise yıkılmış durumda.



Bu geniş açıklıklı ve yüksek (6 mt) tek katlı kısımda, deprem kuvvetleri altında büyük deplasman yapan kolonların üzerindeki guselere oturan ve kısa demir çubuklarla ankrajlanmış kirişler, bindirme boylarının az olması ve ankrajlarının yetersizliği nedeniyle yerinden çıkarak yıkılmış.



## 2. Pazarcık İlçesinde mühendislik hizmeti görmemiş yapılar:



Zemin + 2 katlı betonarme çerçevesi bir bina. Zemin kattaki tüm kolonlar hasarlı olduğu için ağır hasarlı. Etriye aralıkları fazla sıklaştırma yapılmamış, kancaları 135° bükülmemiş.

## 3. Caddede yıkılmış mühendislik hizmeti görmemiş binalar:



#### 4. Nadir Cami:



*Yıkılan Nadir Caminin yıkılmadan önceki Google görüntüsü ve yıkılmış hali*

Mühendislik hizmeti görmeden gelişigüzel inşa edilmiş bir yapı. Kubbenin bulunduğu kısım tamamen göçmüş. Betonarme minaresi dip kısımdan kırılarak devrilmiş.



### 5. Cadde üstünde az hasarlı çok katlı bir bina:



Zemin katında asma kat var. Düşey elemanları kolon ve perdelerden oluşan betonarme çerçevesi bir bina. Sadece zemin katta betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasında sıva çatlakları dışında herhangi bir hasar gözlenmedi. Az hasarlı.

### 6. Cadde üstünde hasar görmemiş çok katlı binalar:



## 7. Pazarcık Bahçelievler Beldesinde Yol Üzerinde Yıkılmış Bir Yem Sanayi Binası ve Silolar:

Bina, Z+4 Normal katlı yem tesisine ait eski bir betonarme yapıdır. Fotoğrafta görüldüğü üzere en üst katın köşe kolonu taban kısmında alt kat kolonundan devam eden donatı filizlerinin olmadığı, kolonların adeta lego gibi durduğu görülmektedir. Bu durum katın sonradan ilave edildiğini göstermektedir. Fotoğrafta görüldüğü üzere iş makinası ile yıkımı yapılmaktadır.



*Deprem öncesi yıkılmamış halini gösteren Google görüntüsü*





## 9.7. SAKÇAGÖZÜ (Nurdağı, Gaziantep)

Sakçagözü Beldesi bölgede depremten en çok etkilenen kırsal yerleşim alanlarından biri. Beldede daha çok kesme ve moloz taşlı yığma yapılar mevcut. Bunun yanı sıra mühendislik hizmeti görmemiş betonarme yapılar da mevcut. Bunların çoğu ağır ve yıkık derecede hasar görmüş.



Beldede, 1870'li yıllarda inşa edildiği söylenen konak da yıkılmış durumda. 2 katlı konağın taşıyıcı duvarlarının derz aralıkları çamur harçlı kesme taş ile yapıldığı görülmüştür. Yapının sonradan tadilat gördüğü, ön cephede pencere üstündeki ağır beton hatılın da bu tadilat sırasında yapıldığı düşünülmektedir.



## 9.8 NURDAĞI (Gaziantep)

1. Gaziantep ilimize bağılı, yüzey kırığının geçtiğı bu ilçemizde çok sayıda yıkılmış, enkaz haline gelmiş ve ağır hasar görmüş betonarme binalar gözlemlendi. Enkazda bütünlüğünü koruyan taşıyıcı elemanlarda yapılan incelemede etriye aralıklarının fazla olduğı, kancalarının 135° kıvrılmadığı, beton kalitesinin düşük olduğı görülmüştür.

Çevrede ayakta kalmış ancak özellikle zemin katlarındaki düşey taşıyıcı elemanları hasar görmüş binaların bulunduğı, bu binaların zemin katlarının genellikle yüksek asma katlı olduğı ve yumuşak kat davranışı gösterdiği gözlemlendi.





Bu binaların özellikle zemin kat kolonlarının bodrum kat perdesi ile birleştiği uç kısımlarında etriye aralıklarının fazla olduğu hatta bazılarında etriyenin hiç konulmadığı, bu nedenle boyuna donatıların dışarı doğru burkulduğu gözlemlendi.





## 2. Nurdağı İlçesinden geçen Yüzey Kırığı (Fay) hattındaki binalar:

Nurdağı ilçesinin yukarı kısmında, viyadüğün bulunduğu yerin yakınında, depremde Kurudere Caddesinden geçen Yüzey Kırığı (fay hattı) yerinde görüldü.





*Bölgede çok sayıda enkaz olmasına rağmen yüzey kırığının geçtiği hat boyunca Fayın kıramadığı yapılar var.*

*Gevşek zeminde, daha rijit bir yapı ile karşılaşan fayın, kolay yolu seçip binaların etrafından dolaştığı burada da kanıtlanmış durumda.*

*Böyle bir zemin ortamında depreme dayanıklı yapılmış binalar altından fay geçse bile yıkılmıyor. Geçmiş depremlerde gözlemlendiği gibi bu depremde de bölgede çok sayıda örneği var. Üstelik bu yapılar mühendislik hizmeti almamış gelişigüzel yapılmış binalar.*

*Böyle bir zeminde fay sakınım bandı (tampon) bırakılırken bu durumun dikkate alınması uygun olacaktır.*

Temel seviyesinden dönerek olduğu gibi ötelenen tek katlı bina

## 9.9 KAHRAMANMARAŞ

### 1. AFAD Kriz Merkezini Ziyaret:

AFAD İl Müdürlüğü bahçesinde oluşturulan kriz merkezi ziyaret edilerek kurtarma çalışmaları hakkında bilgi edinildi.



### 2. AFAD İl Müdürlüğü yanında bir bina:

Zemin + 4 katlı asma deniz döşemeli betonarme bir bina. Dış aksta gözükten düşey taşıyıcıların tamamı kolon. Binanın içine girilemediğinden iç akslarda betonarme perdesi olup olmadığı görülemedi. Binada sadece çerçeve arasındaki briket duvarları devrilmiş. Beton dayanımının iyi olduğu izlenimi edinildi.

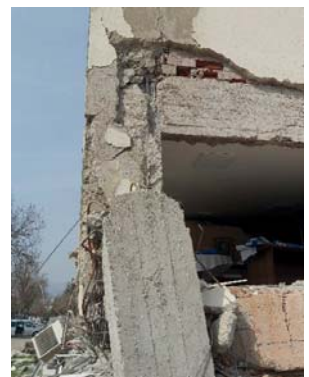




### 3. DSİ 20. Bölge Müdürlüğü:

Çok eski inşa edilmiş betonarme bir bina. Bodrum + Zemin + 3 Katlı, Zemin katı tamamen göçmüş durumda.

Kirişler 70cmx20cm ve 60cmx20cm ebatlarında ölçüldü. Zayıf kolon-Kuvvetli kiriş düzensizliği var. Etriye sıklaştırması yok, donatılarda ileri derecede korozyon var. Kolonlarda; ortada düz, kenarlarda nervürlü demir kullanıldığı görülmüştür. Aralarında dilatasyon olan 2 ayrı bloktur.







#### 4. Ebrar Konutları:

Kahramanmaraş'ta depremde en çok can kaybının yaşandığı yerlerden biri olan Ebrar Sitesinde 12 Bloktan 8'inin tamamen yıkıldığı söylendi.

Her blok her katta 4 daire, toplam 32 daireden oluşuyor. Taşıyıcı sistemi betonarme çerçeveli, duvarları gazbeton ile örülü olan binaların zemin katları asma katlı olmak üzere 7 normal kattan oluşmaktadır. Binaların her an yıkılma tehlikesi olduğu ve girilemediği için taşıyıcı sistemi hakkında detaylı inceleme yapılamamış ve bilgi edinilememiştir.

Sahadaki gözlemlerimizde beton dayanımının düşük olduğu izlenimi edinildi. İlk inşa edilen blokların hazır betonun olmadığı dönemlerde inşa edildiği, betoniyerle beton dökümü yapıldığı söylendi. Beton, dökümünden sonra yeterince sulanmamış, kürünü almamış olabilir. Dışarıdan yapılan gözlemlerde etriye sıklaştırmasının yapılmadığı, kancaların  $135^\circ$  kıvrılmadığı anlaşılmıştır.





##### 5. Gazi Ortaokulu:

Zemin katı çökmüş okul binası.



## 6. İnşaat Mühendisleri Odası Kahramanmaraş Temsilcilik Binası:

Çevredeki binaların neredeyse tamamı enkaz haline dönüşmüş iken İnşaat Mühendisleri Odası Hizmet binası depremi hasarsız atlatmış durumda. Ancak yanındaki binanın enkaz kaldırma çalışmaları devam ettiği için binanın içine girilememiştir. Ayrıca enkaz kaldırma çalışmaları sırasında havayı kaplayan zararlı toz bulutu da binanın kullanımına engel teşkil etmektedir. Dışardan yapılan incelemede ne dış cephe bölme duvarlarında ne de kolon ve kirişlerde en ufak kılcal çatlak bile gözlenmemiştir.



## 7. Trabzon Bulvarı, Azerbaycan Bulvarı ile Cahit Zarifoğlu Caddesindeki ağır hasarlı ve yıkık binalar:

Bu caddelerde çok sayıda ağır-yıkık derecede hasar görmüş binalar bulunmaktadır. Cahit Zarifoğlu Caddesi eskiden patlıcan tarlası iken 1990'dan sonra hızla yapılaşmış. Enkazların görüntüsü ve binaların yıkılma biçimlerine bakıldığında, beton dayanımlarının oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Enkazda bütünlüğünü korumuş kolon ve kirişler üzerinde yapılan incelemelerde; donatı tevzisinin uygun olmadığı ya da yeterli olmadığı görülmüştür (Etriye sıklaştırması, kancaların 135° kıvrılması, boyuna donatı adedi ve bindirme boyları).

Kahramanmaraş genelinde yıkılan binalara bakıldığında donatılardaki ve beton kalitesindeki eksik ve kusurların yanı sıra planda ve düşeyde yapısal düzensizliklerin de söz konusu olduğu izlenmektedir. Bu düzensizlikler özellikle; zayıf kat, yumuşak kat düzensizlikleri, farklı yükseklikteki ve kat seviyeleri farklı bitişik binaların birbirine çarpma etkisi gibi düzensizlikler olarak sıralanabilir.



*Trabzon Bulvarında kat seviyeleri ve titreşim periyodları farkı binaların birbirine çarpması sonucu yıkılmış bir bina.*



*Trabzon Bulvarında yolun bir tarafında enkaz haline dönüşmüş binalar, diğer tarafında ise yönetmeliğe uygun inşa edilmiş ve ayakta kalmış binalar görülmekte.*





### 8. İlin yüksek (tepelik) kısımlarındaki binalar

Kahramanmaraş'ta Arslan Bey tabiat parkına doğru yamaç kısımlarında hasarın çok daha az olduğu gözlemlendi.

## 9.10 ADIYAMAN

### 1. Atatürk Bulvarı United Benzinlik karşısında yıkık bina

Binanın yıkılmadan önceki görüntüsüne bakıldığında zemin katının asma katlı işyerleri olduğu, bu zemin katın yumuşak kat davranışı gösterdiği tahmin edilmektedir. Enkaz üzerinde yapılan incelemede, düz donatı kullanıldığı, donatılarda korozyon olduğu görüldü. Etriye aralıkları 22 cm ölçüldü. Beton dayanımının düşük olduğu tahmin edilmektedir.

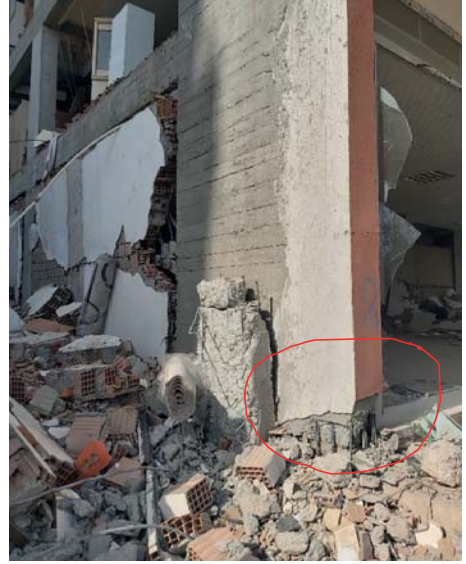


*Binanın yıkılmadan önceki Google görüntüsü*



## 2. Atatürk Bulvarı, Şehit Piyade Onbaşı Ramazan Özen Parkı arkasında Alarko ve Güneş Otomotiv'e ait işyerlerinin bulunduğu bina

Taşıyıcı çerçevesi kolon, perde ve kirişlerden oluşan betonarme bir binadır. Kolon alt düğüm noktasına etriye konmamış. Alarko servisinin içinde görünen, kısa istikametteki perdede, yıkık (D) derece kesme hasarı var. Bu perde uç bölgesinde donatılar yönetmeliğe uygun yerleştirilmemiş, ilave boyuna donatı ve sargı yok. Etriye aralıkları 10 cm, ancak ön cephede 7 no ile işaretlenmiş kolon ve 8 nolu perdeden de gözlemlendiği üzere dip kısımlarındaki 30cm'lik aralıkta etriye konulmamış. Google görüntüsünde bu binanın yanında görülen eski bina ise tamamen yıkılmış durumda. Bu binada betonarme perdeler deprem yüklerinin büyük bir kısmını alarak kolonların hasar görmesini önlemiş ve düşey yüklerini taşımaya devam etmesini sağlamış, böylelikle bina ayakta kalmış.





### 3. Atatürk Bulvarı Şehit Piyade Onbaşı Ramazan Özen Parkı arkasında yıkılan bina:

Asmolen döşemeli, oldukça büyük konsol çıkmalı eski tarihli bir betonarme bina. Betonarme perdesi yok. Etriye aralıklarının çok fazla olduğu, sıklaştırma yapılmadığı gözlenmekte. Bu gibi ağır asmolen döşemeli yapıların depremlerde ağır hasar aldığı sıkça görülmektedir. Bu bina yıkılırken yan binaya da hasar vermiş.



### 4. Ziraat Bankasının bulunduğu bina:

Ziraat Bankası Binası Z+7 Katlı betonarme binadır. Zemin katı asma katlı, düzensiz betonarme elemanları ile projelendirilmiştir. Yan cephede çerçevesi oluşturan kirişlerin kolona farklı kotlarda bağlandığı, kısa kolon etkisi yaratan bu duruma rağmen kolonda herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Dışarıdan yapılan gözlemlerde betonarme taşıyıcı elemanlarda kayda değer bir hasar görülememiştir. Ancak oldukça sünek davranış gösteren bu yapının dolgu





duvarları ileri derecede hasar görmüş ve bazıları yıkılmıştır. Bu binada beton dayanımının iyi olduğu izlenimi edinilmiştir.

##### 5. İş Bankasının bulunduğu bina:

Z+7 Katlı, betonarme taşıyıcı sistemi kiriş, kolon ve perdeli betonarme çerçevelerden oluşan bir binadır. Zemin kat perdelerinin tabana oturduğu kısımlarda önemli derecede hasar meydana gelmiştir. Dış görünüş itibarıyla konut olarak kullanılan katlarda herhangi bir bölme duvar hasarı gözlenmemiştir. Bu binada çok miktarda perde duvarı olması yıkılmasını önlemiştir.



Yan cephe köşedeki perdede, zemin kat hizasında donatıların kesilerek pencere boşluğu açıldığı, bu nedenle perdenin bu kısmında oldukça ileri düzeyde hasar oluştuğu gözlemlendi.

##### 6. Sadece dolgu duvarları hasar gören binalar:



Ayakta kalan bu binalarda da yeterli miktarda betonarme perde taşıyıcılarının olduğu değerlendirilmiştir.

### 7. İnşaat Mühendisleri Odası Adıyaman Temsilcilik binası:

Yeni Pınar Mahallesi Buhara Caddesi No:27 K:1 adresindeki Z+4 Normal katlı betonarme bir yapıdır. Binanın zemin kat, giriş kapısı karşısındaki kolon ile merdiven başındaki kolon ağır hasarlı olup üst kattaki ofisin anahtarı olmadığından girilememiştir. Çok eski olan bu binaya görevli ekiplerce ağır hasar verilmiştir.



### 9.10. GÖLBAŞI (Adıyaman)

#### 1. Kahramanmaraş Malatya Yolu (Atatürk Bulvarı) üstünde yıkık bina

B+Z+4 katlı, binanın 8 senelik olduğu söylendi. Enkaz üzerinde yapılan gözlemlere göre; nervürlü donatı kullanılmış, ancak bindirme boyları yetersiz, etriye sıklaştırması yok, uçlarında kancaları 135° kıvrılmamış.





## 2. Atatürk Bulvarında yıkılmış diğer binalar:

İlçe genelinde sınılaşma var. Gölbaşında birçok bina ağır hasar görmüş, özellikle yolun alt kısmında birçoğu çökmüş.



## 3. Gölbaşında, Kısa Apartmanı ve altından geçen Yüzey Kırığı

Gölbaşı ilçesindeki bu B+Zemin+3 katlı binada oturan bir vatandaş; "Biz bu depremde hiç sarsılmadık, uyanmadık bile. Hanım kalp hastası uyanıyorsa kesin kalp krizi geçirirdi" dedi. Bina sınılaşma nedeniyle ~65 cm zemine gömülmüş ancak bina asansörü çalışır durumdadır. Yan tarafındaki bina 15 cm geriye kaymış ve 20 cm ( Sedef Apartmanı) yatayda açılmıştır.





Deprem bölgesinde daha önceki gözlemlerimizde de bahsedildiği gibi Gölbaşında da çok sayıda enkaz olmasına rağmen Fayın kıramadığı yapılar da var. Gerçek laboratuvar ortamında depremin kendi eliyle yaptığı ve kimsenin itiraz edemeyeceği test sonuçları gösteriyor ki; gevşek, alüvyon zeminde, daha rijit bir yapı ile karşılaşan fay, kolay yolu seçip binaların etrafından dolaşiyor. Başka depremlerde de örneği var. Böyle bir zemin ortamında depreme dayanıklı yapılmış binalar altından fay geçse bile yıkılmıyor. Bu durumda, yumuşak, alüvyon zeminde fay sakinim bandı (tampon) bırakılırken çok daha dikkatli davranılması gerektiği sonucu ortaya çıkıyor. Bu binaların bulunduğu zeminde sıvılaşmaya bağlı taşıma gücü kaybı nedeniyle binaların olduğu yerde bir miktar gömüldüğü görülüyor. Ancak böyle sıvılaşan bir zeminde üst yapıya çok daha az atalet kuvvetleri geldiği, bu nedenle üst yapının çok daha az zarar gördüğü de yine gözlenen başka bir gerçek. Sıvılaşan zemin adeta izolatör gibi davranıyor.



*Bu binanın yanında ve karşısında ayakta kalmış binalar*

## 9.11. MALATYA

### 1. İnşaat Mühendisleri Odası Malatya Temsilcilik binası:

B+Z+3 Normal katlı betonarme bir yapıdır. Yapının arka kısmında bitişik nizamda yapılmış başka bir bina bulunmaktadır. Zemin kattaki dükkanda yapılan incelemede bir kolonda boyuna donatının az bir miktar dışa doğru burkulduğu, kabuk betonunun (pas payının) döküldüğü, ağır derecede eğilme hasarı olduğu gözlemlendi. Bunun dışında taşıyıcı elemanlarında kayda değer bir çatlak gözlenmedi. Etriye zemin katın bazı bölme duvarlarında sıva dökülmeleri dışında önemli bir duvar göçmesi veya hasarı yoktur. Sadece zemin kattan birinci kata çıkış merdiven sahanlık kısmında hafif derecede hasar görülmüştür.

Yapının zemin katındaki kolonlar üzerinde profometre cihazı ve Schmit çekiçi ile yaptığımız ölçümlerde çekiç geri sekme değerlerinin ( 38, 40, 38, 38, 36, 38, 38) oldukça iyi olduğu, beton yaşı da dikkate alındığında dayanımının en düşük ihtimalle BÇ25 olduğu değerlendirilmiştir. Beton dayanımına ilişkin Schmith çekiçi ile yapılan bu değerlendirme sapması yüksek yaklaşık bir değerlendirme olup mutlaka karot alınıp laboratuvardaki test sonuçlarıyla kanıtlanmalıdır. Pas payı dökülmüş kolon üzerinde yapılan ölçüme göre etriye aralıkları 12 cm'dir.



## 2. Şehri İstanbul Konutları:

Bu sitedeki iki yapıdan biri göçmüş diğeri ayakta kalmış. B+Z+14 normal katlı bu betonarme binaların yapı denetimi altında, yeni inşa edilmiş yapılar olduğu ifade edilmiştir. Aynı sitede aynı projeye sahip aynı müteahhit firma tarafından yaptırılan bu binalardan birinin tamamen çökmüş diğerinin ise ayakta kalmış olmasının nedenleri ancak detaylı inceleme ile mümkündür. Ayakta kalan binanın içine girilememiş, binaların projeleri de incelenememiştir.



Enkaz haline gelen yapıda da enkaz kaldırma işleminin başlamış olması ve oldukça örselenmiş olması nedeniyle kesin bir değerlendirme yapmak mümkün olamamıştır.



Çöken bina enkazında bütünlüğünü biraz korumuş taşıyıcı elemanlar üzerinde yapılan incelemede ise, nervürlü donatı kullanıldığı, etriye sıklaştırmasının yapıldığı, kolon-kiriş düğüm noktasında etriyelerin kolon donatısına sargılandığı görüldü. Donatıdaki bu olumlu özelliklerin yanında etriye kancalarının tam olarak 135 derece bükülmediği görüldü. Betonunun da, hazır beton kullanılmasına rağmen imalatı sırasındaki hatalar nedeniyle dayanımının düşük olabileceği düşünülmektedir. Beton parçaları üzerindeki gözlem bu ihtimali kuvvetlendirmektedir. Ancak bu değerlendirme gözlemsel bir tahmin olup yanıltıcı olabilir. Beton dayanımı alınacak karotların laboratuvar ortamında test edilmesiyle kesin olarak ortaya konulabilir. Kolon üzerinde oldukça fazla sıklıkla eğilme çatlakları vardır. Kolon kiriş birleşim yerinde her iki taraftaki kiriş uçları tamamen mafsallaşmış. Böyle yüksek bir bina için mevcut düşey betonarme taşıyıcı elemanların kesitleri yeterli büyüklüğe sahip olmayabilir. Dışarıdan bakıldığında betonarme perde taşıyıcı görülemez. Ancak, betonarme perdeler yapının iç kısmında merdiven veya asansör çevresinde konumlanmış olabilir. Kısacası yapıdaki betonarme perdelerin miktarı, yerleşimi, kesitlerinin yeterliliği bilinmemektedir. Yıkılan binada yıkım nedeni, yıkımın projeden mi yoksa imalat hatasından mı kaynaklandığı, binanın projesinin depreme karşı yeterliliği, projesinde herhangi eksik veya kusur olup olmadığı, ancak deprem yönetmeliğinde belirtilen hesap kurallarına göre yeniden modellenip analiz edilmesi ve performansının değerlendirilmesiyle mümkün olabilir.

### 3. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü Hizmet Binası:



Etrafında çok sayıda yıkılmış, hasar görmüş bina olmasına karşı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü Hizmet Binası depremi hasarsız atlattır. Binanın halen kullanıldığı, içinde insanların çalışmalarına devam ettiği görüldü.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü Hizmet Binası karşısında yıkık ya da ağır hasar gören binaların çoğunun enkazı kaldırılmıştır. Bir kısım binalarda da enkaz kaldırma çalışmalarına halen devam edildiği görüldü.







## 9.12. ELAZIĞ

### 1. Şehit Binbaşı Sabri Sokakta İnşaat Mühendisleri Odası Elazığ Temsilciliğinin bulunduğu bina:



Z+4 katlı, bölme duvarları harman tuğlası ile örülü betonarme yapıdır. Zemin katında dükkân ve lokanta olarak kullanılan işyerleri vardır. 1. ve 2. kat İnşaat Mühendisleri Odası, diğer 2 kat ise sürücü kursu olarak kullanılıyor. Yapının bölme duvarlarında sıva çatlakları gözlenmiştir. Kolon ve kirişlerde ise herhangi bir hasar yoktur.

İMO hizmet binasının sol tarafında bitişik daha yüksek bir bina olmasına rağmen depremde çarpışma etkisiyle oluşan herhangi bir hasar yoktur.

### 2. Kemal Şedeler Caddesinde boşaltılan binalar:

Aşağıdaki fotoğraflarda görülen bitişik nizamda yapılan taşıyıcı sistemi sol yandaki fotoğrafta görülen tarzda harman tuğlası ve düşey betonarme hatıllarla yapılan ilginç yapılar depremde önemli bir hasar görmemiştir.

Binanın bulunduğu Kemal Şedeler Caddesinde tamamen göçen ya da ağır hasar görüp enkazları kaldırılan binalar da vardır. Bölgede yıkılan binaların yanı sıra, 1975 yönetmeliğinden önce inşa edilmiş taşıyıcı sistemi perdesiz kolon ve kirişlerden oluşan bir çok binanın da ayakta kaldığı ve kayda değer bir hasar görmediği gözlenmiştir. Bu durum, bölme duvarlarının harman tuğlasıyla ile örülmüş olması ve depremde taşıyıcı sisteme büyük katkı sağlanmasından kaynaklanmaktadır.



*Donatılarda korozyon oluşmuş. Etriye aralıkları 20-25 cm ölçüldü. Etriye kancaları 135° kıvrılmamış.*

### **3. Yunus Emre Bulvarında Yunus Emre Apartmanı:**

Aşağıda fotoğrafta görülen binaya da ağır hasar verilmiş ancak taşıyıcı sistemde herhangi bir hasar gözlenmemiştir.



*Donatılarda korozyon oluşmuş. Etriye aralıkları 40-50 cm ölçüldü. Etriye kancaları 135° kıvrılmamış.*

#### 4. Susam Sokakta enkazı kaldırılmış bir binanın yanındaki bina:

Yanıdaki enkazı kaldırılan binanın en son depremden sonra boşaltıldığı, ancak binaya eşyasını almak için giren bir vatandaş ile ona refakat eden bir polis memurunun, artçı depremde yıkılması üzerine enkaz altında kalarak vefat ettiği belirtildi. İncelenen bina Zemin + 7 Katlı betonarme perde ve kolonlardan oluşan karma bir taşıyıcı sistemi olan binadır. Zemin kat asma katlı olup yumuşak kat düzensizliği var.



#### 5. İstasyon Caddesinde inşaatı devam eden yönetmeliğe uygun bir bina:

Deprem öncesi inşaatı başlamış olan ve son meydana gelen deprem sonrası inşaatı durdurulan yapıda, her iki yönde deprem yüklerini taşıyacak uygun betonarme perdeleri var. Taşıyıcı elemanlarda herhangi kılcal çatlak bile görülmemiştir.



## 10. SONUÇ ve ÖNERİLER

1) Özellikle son 20 yıl içerisinde başta depremler olmak üzere tüm afetlere yönelik politikaların ve atılması gereken adımların tüm boyutlarıyla neler olması gerektiği konularında, başta kamu kurumları ve karar organları olmak üzere hemen her kurum tarafından raporlar, planlar hazırlanmış ve kararlar üretilmiştir. Ancak son depremler sonuçları itibarıyla göstermektedir ki, alınan kararlar ve yapılan çalışmalar büyük oranda palyatif kalmış durumdadır. Dolayısıyla öncelikle sağlam, kararlı ve istikrarlı bir siyasi irade ile kamunun ihtiyaç ve menfaatlarını gözeten, meselelere bütüncül ve bilimsel bakabilen politik bir anlayışa ihtiyaç vardır.

2) Afetlere hazırlık çalışmaları kaynak ve zaman gerektiren uzun soluklu çalışmalardır. Yani siyasi kadroların ihtiyaç duyduğu ve kendi dönemlerinde yapıp bitirebilecekleri gösterişli yapılar/faaliyetler olma özelliğine sahip değildir. Dolayısıyla gerek merkezi, gerekse yerel yöneticilerin esnetip gevşetemeyeceği yasal düzenlemeler yapılmalı, kaynakların doğru ve yerinde kullanımı için önlemler alınmalı, aksine davranışların hukuki ve cezai yaptırımları olmalıdır.

3) Rant odaklı imar düzeni ile yapılaşmada kuralsızlığın ve cezasızlığın hakim olması kaçak yapılaşmanın önünü açmakta bunun sonucunda da imar afları zorunlu hale gelmektedir. Unutulmamalıdır ki, yozlaşma kültürü büyükten başlayıp küçüğe doğru yayılmaktadır. Sermaye gruplarının, "güçlü" kesimlerin inşaatlarına göz yumup tam tersine özel düzenlemelerle hukukileştirmeye çalışılmak toplumun geneline emsal teşkil etmektedir. İmar da kural kuraldır. Merkezi ya da yerel siyasi/iktisadi aktörlerin çıkarlarına göre delinmemelidir.

4) İmar planları doğayı ve toplumsal yaşamı etkileyen, şekillendiren bütüncül planlardır. Afet risk haritaları, mikro bölgeleme çalışmaları, büyüme projeksiyonları, ulaşım ve alt yapı planları gibi alt çalışmalar üzerine şekillenen bilimsel ve teknik içerikli çok yönlü çok bileşenli çalışmalardır. Bu kriterlere göre hazırlanmayan veya özel uygulamalarla sürekli delinen/değiştirilen planlar, sağlıklı yapılaşmanın önceli olan sağlıklı kentleşmeyi olumsuz etkilemektedir. İmar planlarının sağlıklı bir şekilde oluşturulması ve sürdürülmesi nitelikli katılımcılıkla mümkündür.

- İster yeni alanlar üzerinde yapılan çalışmalar, ister mevcut planlar üzerindeki tadilatlar olsun her türlü imar çalışması şeffaf, katılımcı ve tekniğine uygun olmak zorundadır.

- Tarımsal ve riskli alanların yapılaşmaya açılması sınırlandırılmalı, sorunlu, zayıf zeminlerde yüksek katlı konut ve benzeri yapılar için yapı izni verilmemelidir. İstisnai durumlarda kural ve kriterler titizlikle belirlenmeli ve denetlenmelidir.

- Özellikle çok katlı konut yapılarında yapısal düzensizlik yaratan uygulamalara son verilmelidir.

5) Sağlıklı yapılaşma, nitelikli bilimsel/teknik kurallar, nitelikli eğitim, nitelikli mesleki hizmetler, nitelikli müteahhlik ve nitelikli kamusal denetim ile mümkündür.

6) Türkiye’de 10 milyon civarında olan yapı stokunun 6-7 milyon civarında olan kısmı riskli yapı statüsündedir. Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planına göre 2017 yılına kadar ülkemizdeki yapı stokunun envanterinin çıkartılıp bunlara müdahale edilmesi gerekmektedir. Öncelikle yapı envanterinin nasıl çıkarılacağına yönteminin belirlenerek bir plan dahilinde

tüm yapılar risklerine göre kayıt altına alınmalı ve riskli yapıların en kısa sürede yenilenme/güçlendirme çalışmaları tamamlanmalıdır.

7) Deprem risklerinin azaltılması kentsel yoğunluğun azaltılmasıyla doğru orantılıdır. Özellikle büyük kentlerdeki nüfus artışının ve yapı yoğunluğunun artmaması yönünde önlemler alınmalıdır,

8) Kentsel dönüşüm için tek sorun sadece yüksek risk taşıyan yerleşim alanları değildir. Standardı düşük ve niteliksiz yapılar da kentsel yenileme ve dönüşüm yerleri olarak görülmektedir. Yenileme alanlarına yönelik uygulamaların planlı bir şekilde yapılması ve dönüşümün kentsel yaşamın odak noktasında insan olduğunun bilinciyle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Nüfus ve yapı yoğunluğunun dikkate alınarak kent bütünlüğü içerisinde düşünülecek bir dönüşüme ihtiyaç vardır. Yapısal risk ve kentsel risk birlikte ele alınıp çözülmesi gereken konulardır.

9) ÇŞİDB tahminlerine göre Türkiye’de 490 bin civarında Kamu Hizmet Binası bulunmaktadır. Bunlardan 125 bin 214 adetinin envanterinin çıkarıldığı yine ÇŞDİB tarafından ifade edilmektedir. Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planına göre 2017 yılında bitirilmiş olması gereken bu çalışmanın %25 civarında tamamlanabilmiş olması, envanter çalışmalarına yani yapı risklerinin tespiti ve dolayısıyla bu risklere müdahale konusunda yeterli kaynağın ayrılmadığını ve gerekli çalışmaların yetersizliğini göstermektedir. Dolayısıyla başta Okul, Hastane, Yurt, Bakım Evi gibi binalar olmak üzere (özel okul, hastane, yurt, bakım evi gibi binalar da dahil) tüm kamu hizmet binaları bir an önce depremlere hazır hale getirilmelidir.

10) 6 Şubat depremlerinde barajlarda, su-kanalizasyon, doğalgaz ve haberleşme şebekelerinde hasarlar oluşmuştur. Ayrıca enerji ve ulaştırma yapıları da büyük oranda etkilenmiştir. Kamusal tüm altyapı sistemlerinin her türlü afete karşı dayanıklı hale getirilmesi çalışmaları tamamlanmalıdır.

11) Ülkemizdeki mühendislik eğitiminin belli bir planlamaya göre yapılmadığı, özel üniversitelerin bölüm açma reflekslerinin günlük piyasa kurallarına göre oluştuğu, o dönem hangi meslekler popüler ise birer “müşteri” olan öğrencilerin yönelimlerinden nemalanma çabasına girildiği, devlet üniversitelerinin ve bölümlerinin ise büyük oranda siyasal popülizm sebebiyle açıldığı bilinen bir gerçektir.

- Üniversiteler verdikleri eğitimin niteliği gereği çağının gerekliliklerine uyan, afet bilincini oluşturan, gerekli-yeterli donanıma, imkanlara ve kadrolara sahip, yeni gelişmelere açık şekilde yeniden oluşturulmalıdır.

- Popülist politikalara göre oluşturulan çağdaş eğitim verme olanaklarından yoksun tüm kurumlar kapatılmalıdır.

- Akademik kadrolaşmada liyakat ön planda tutulmalıdır. Akademik çalışmalar ve buna bağlı unvanlarda hassas, özenli ve bilimsel etiğe uygun davranılmalıdır.

- Üniversiteler ve Öğretim Üyelerinin sektörlerle ticari ilişkiler içerisine girmeleri engellenmeli, üniversitelerin kendi mezunlarıyla rekabet eder hale gelmesi önlenmelidir.

- Öğrenci kontenjanları ihtiyaca göre belirlenmeli mühendislik mimarlık eğitimlerine anlamlı düzeyde barajlar konulmalıdır.

- Üniversiteler özerkleşmeli, demokratik-katılımcı bir işleyişe büründürülmeli ve YÖK kaldırılmalıdır.

12) Mevcut yapı denetim sistemi yeniden düzenlenerek, uzmanlık ve etik değerlere sahip yapı denetçilerinin etkinliğine dayalı, meslek odalarının sürece etkin katılımını sağlayacak

yeni model hayata geçirilmelidir. Proje denetimi ve yapı denetimi birbirinden ayrılmalı, proje denetimi doğrudan kamu eliyle yapılmalı, Yapı Denetim Kuruluşları doğrudan kamuya karşı sorumlu olmalı ve onun denetiminde çalışmalıdır.

13) İnşaat mühendisliği çok geniş bir mühendislik dalı olma niteliğinin yanı sıra uygulaması ile de tecrübenin büyük öneme sahip olduğu bir meslek alanıdır. Dört yıllık bir mühendislik lisans eğitimi tamamlamak, mühendislik yetki ve sorumluluklarını kullanmak için yeterli değildir. Bu sebeple, inşaat mühendisliğinin ilgi alanına giren konularda halkın güvenli yaşam hakkının korunması ve yatırımların ekonomik sınırlar içerisinde kalması amacıyla "Yetkin Mühendislik" sisteminin hayata geçebilmesi için yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Meslek Odalarının kendi meslektaşlarını yetkinliklerine göre belgelendirme ve yetkilendirme hakkı getirilmelidir.

14) Bölgede hasar görmüş binalar üzerinde yapılan incelemelerde, çoğunlukla uygulamalarda hatalar yapıldığı gözlenmiştir. Bu durum şantiyelerdeki denetimin bizzat yerinde yapılmadığını, kağıt üzerinde kaldığını göstermektedir. Şantiye Şefliği formalite olmaktan çıkarılmalı, her şantiyede tam zamanlı olmak üzere bilgili ve işin gerektirdiği deneyime sahip mühendisler vasıtasıyla yapılması sağlanmalıdır. Denetimlerin daha sıkı yapılmasının sağlanması ve bu konuda mevzuatlarda öngörülen yaptırımların uygulanması sağlanmalıdır.

15) Deprem bölgesindeki illerimizde son imar affından faydalanmak amacıyla toplam 311.802 adet Yapı Kayıt Belgesi alındığı ÇŞİDB tarafından açıklanmış olup bu yapılardan kaç tanesinin depremden etkilendiği bilinmemektedir. Çıkarılan yasada sorumluluğun mülk sahiplerine bırakılmış olması siyasi karar vericilerin sorumluluklarını ortadan kaldırmaz. Teknik hizmet almamış, imara uygun yapılmamış binaların yasallaştırılmasının hesabı verilmelidir.

16) Deprem yönetmeliğinin en son yaşanan 6 Şubat 2023 depremlerinde elde edilen veriler ve gözlemler ışığında yeniden gözden geçirilerek güncellenmesi (tasarım spektrumları, yatay yük katsayıları, süneklik katsayıları, kat ötelenme oranları, vb.) konusu ele alınmalıdır,

17) Yönetmeliğin uygulanabilirliğinin artırılması için daha anlaşılır hesap kuralları ile usul ve esasları içerecek şekilde düzenlenmesi, projelendirme, uygulama ve denetleme yapacak teknik elemanların gerekli eğitimi alması zorunlu tutulmalıdır.

18) Betonun fabrikada imal edilmesi, şantiyede dökülmesi ve beton dökümünden sonra kürlenmesi aşamasında gerekli özenin gösterilmesi (granülometre, su/çimento oranı, segregasyon, sıkıştırma, sulama, vb.) ve bu çalışmaların mutlaka şantiye şefinin denetiminde yapılmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır,

19) İnşaat usta, kalfa ve işçilerinin uygulamaya yönelik eğitimlerden geçirilmesi ve sertifikalanması özel bir programla ele alınmalı, sertifikasız işçi çalıştırılmasının önüne geçilmelidir.

20) Mimari tasarım aşamasında, yatayda ve düşeyde deprem güvenliği açısından tehlike oluşturabilecek yapısal düzensizliklerin oluşmamasına dikkat edilmesi, bu amaçla mimarın inşaat mühendisi ile birlikte çalışması konusunda anlayış oluşturulması yönünde çalışma yapılmalıdır,

21) Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerine kullanım aşamasında yapılabilecek müdahalelerin engellenmesi için belli aralarla kontrol edilmesi sağlanmalıdır.

## 11. KAYNAKLAR

T.B.M.M. Kahramanmaraş Depremi Araştırma Komisyonu Raporu, Mayıs 2023

T.B.M.M. İzmir Depremi Araştırma Komisyonu Raporu, Temmuz 2022

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, "2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu", Mart 2023

AFAD, "Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi", 2023

AFAD, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Resmî Gazete Tarihi: 18.03.2018 Resmî Gazete Sayısı: 30364 Mükerrer

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Resmî Gazete Tarihi: 06 Mart 2007, Sayısı: 26454

Bayülke, Nejat "Depremde Yapı Hasarı ve Zeminle İlişkisi", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 2003

Bayülke, Nejat (2021) "Deprem ve Yapı" YD Yazardan Direkt Yayınevi, Ege Reklam Basım Sanatları San. Tic. Ltd.Şti. Temmuz 2021, İstanbul

Bayülke, Nejat (1998) "Yapı Periyodu Nedir? Tasarımda Yapının Hangi Anındaki Periyot Kullanılmalıdır?" Bülten, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Aralık 1998

FEMA-274 (1997) "NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings" Federal Emergency Management Agency October 1997

İstanbul Teknik Üniversitesi (1992) "Genel Onarım Raporu: Teknik Rapor No.002 13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Orta Hasar Gören Binaların Proje, Onarım ve Takviye İşleri" İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul

Milliyet (2001) "Osmaniye'de Binalar Kötü: 475 Yapıdan 465'inde Deprem Hesabı Yok" Milliyet Gazetesi 27 Haziran 2001

Trifunac, M.D. and Todorovska, M.I. (1996) "Nonlinear Soil Response-1994 Northridge California Earthquake" ASCE Journal of Geotechnical Engineering September 1996 pp 725-735

Trifunac, M.D. Ivanovic, S.S and Todorovska, M.I. (2001) "Apparent Periods of a Building. Part-I Fourier Analysis" ASCE Journal of Structural Engineering May 2001 pp 517-526

Aydoğdu Gürbüz, İ ve Aslan, B. (2023). "Kahramanmaraş Depreminde Hasar Tespit Çalışmaları Üzerine Bir Değerlendirme". Çevre, Şehir ve İklim Dergisi. Yıl: 2. Sayı: 4. ss. (180-195)



**TMMOB**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLERİ**  
**ODASI**

[imo.org.tr](http://imo.org.tr)