

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİMAV DEPREMİ SONRASI BİNA YAPISAL ÖZELLİKLERİ İLE HASAR  
SEVİYESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BAYRAM TANIK ÇAYCI**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Yapı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet İNEL**

**AĞUSTOS 2012**

## YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101131013 no'lu öğrencisi Bayram Tanık ÇAYCI tarafından hazırlanan "SİMAV DEPREMİ SONRASI BİNA YAPISAL ÖZELLİKLERİ İLE HASAR SEVİYESİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı (Jüri Başkanı) : Doç. Dr. Mehmet İNEL (PAÜ)

*Mehmet İnel*

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN (PAÜ)

*Hayri Baytan ÖZMEN*

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Erdal AKYOL (PAÜ)

*E. Akayol*

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/08/2012 tarih ve sayılı 20136.kararıyla onaylanmıştır.

*N. Kolsuz*  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Bayram Tanık ÇAYCI

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Simav depremi sonrasında bina yapısal özellikleri ile hasar seviyesi arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Mehmet İnel'e, vermiş olduğu desteklerden ötürü Yrd. Doç. Dr. Hayri Baytan Özmen'e ve Yrd. Doç. Dr. Erdal Akyol'a, bölüm hocalarıma, çalışma arkadaşlarıma ve maddi manevi her türlü desteği veren aileme teşekkür ederim.

Tarih : 17.08.2012

Bayram Tanık ÇAYCI

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	xiii
<b>SUMMARY</b> .....	xiv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Genel .....	1
1.2. Tezin Amacı.....	1
1.3. Çalışmanın Kapsamı .....	2
<b>2. SİMAV DEPREMİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Depremın Karakteristik Özellikleri.....	3
2.2. Bölgenin Tektonik Yapısı .....	10
2.3. Bölgenin Zemin Yapısı .....	11
<b>3. DEPREM SONRASI BÖLGEDE YAPILAN HASAR GÖZLEMLERİ</b> .....	<b>13</b>
3.1. Toptan ve Kısmi Göçme .....	14
3.1.1. Yumuşak Kat Ve Çekiçleme Etkisine Bağlı Hasarlar .....	18
3.2. Kapalı Çıkma Düzensizliğine Bağlı Hasarlar .....	21
3.3. Kısa Kolon Durumuna Bağlı Gözlenen Hasarlar.....	24
3.4. Donatı Detaylandırma Hataları Nedeniyle Gözlenen Hasarlar.....	30
3.5. Yapısal Olmayan Hasarlar .....	33
<b>4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>36</b>
4.1. P25 Metodu.....	36
4.1.1. Kritik Kat Seçimi.....	37
4.1.2. Ca, Enkesit Alanı Endeksi Bileşkesi .....	38
4.1.3. C <sub>1</sub> , Atalet Momenti Endeksi Bileşkesi.....	39
4.1.4. P <sub>0</sub> Taşıyıcı Sistem Puanı.....	40
4.1.5. P <sub>1</sub> Temel Yapısal Puanı .....	40
4.1.6. P <sub>2</sub> Kısa Kolon Puanı .....	41
4.1.7. P <sub>3</sub> Yumuşak Kat Puanı .....	41
4.1.8. P <sub>4</sub> Çıkmalar ve Çerçeve Süreksizliği Puanı.....	42
4.1.9. P <sub>5</sub> Çarpışma Puanı .....	42
4.1.10. P <sub>6</sub> Sıvılaşma Potansiyeli Puanı .....	43
4.1.11. P <sub>7</sub> Toprak Hareketleri Puanı .....	43
4.1.12. $\alpha$ Düzeltme Çarpanı .....	44
4.1.13. $\beta$ Düzeltme Çarpanı .....	44
4.1.14. Sonuç Puanı .....	45
4.2. Yakut Yöntemi.....	45
4.3. TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 .....	48
4.3.15. Minimum Normalize Edilmiş Yatay Rijitlik İndeksi (mnlstfi). 49	
4.3.16. Minimum Normalize Edilmiş Yatay Dayanım İndeksi (mnlisi). 49	

4.3.17. Normalize Edilmiş Çerçeve Süreklilik Puanı (nrs) .....	51
4.3.18. Yumuşak Kat İndeksi (ssi) .....	51
4.3.19. Çıkma Oranı (or) .....	51
4.3.20. Değerlendirme .....	52
<b>5. ORTA HASARLI BİNALAR ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMA.....</b>	<b>54</b>
5.1. Jeoteknik Çalışmalar .....	54
5.2. Jeoteknik Değerlendirmeler .....	57
5.3. Yapısal Özelliklerin Belirlenmesi.....	64
5.3.1. Bina İnceleme Formu .....	64
<b>6. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>72</b>
6.1. Hasar Değerlendirme Yöntemleri .....	76
6.1.1. Eleman Bazında Hasar Değerlendirmesi.....	76
6.1.2. Sistem Bazında Hasar Değerlendirmesi .....	81
6.2. İncelenen Binaların Hasar Seviyeleri.....	83
6.3. Beton dayanımına ait verilerin değerlendirilmesi .....	86
6.4. Binalara Ait Yapısal Özelliklerin Değerlendirilmesi.....	89
6.5. Hızlı Değerlendirme Puanlarının Bulunması.....	90
<b>7. ELDE EDİLEN VERİLERİN HASAR İLE İLİŞKİSİNİN</b>	
<b>ARAŞTIRILMASI.....</b>	<b>95</b>
<b>8. SONUÇLAR.....</b>	<b>103</b>
8.1. Değerlendirmeler .....	103
8.2. Yapılabilecek Çalışmalar İle İlgili Öneriler.....	107

## KISALTMALAR

$M_L$	: Yerel (lokal) deprem büyüklüğü
$\Pi_{ki}$	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
$(\Delta_{i+1})_{ort}$	: Binanın i+1'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
$M_{p1}$	: Eleman son ucunun plastik dönme kapasitesi
$M_{p2}$	: Eleman sağ ucunun plastik dönme kapasitesi
$V$	: Kesme kuvveti
$L$	: Eleman net uzunluğu
$P_w$	: P25 metodu ağırlıklı ortalama puanı
$\alpha$	: P25 metodu düzeltme çarpanı, Yakut yöntemi dayanım azaltma katsayısı
$A_e$	: Efektif kat alanı
$C_a$	: P25 yöntemi enkesit alanı indeksi bileşkesi, Yakut yöntemi yapısal düzensizlik katsayısı
$A_c$	: Kritik kattaki kolon enkesit alanları toplamı
$A_{wx}$	: Kritik kattaki dolgu duvarların enkesit alanları toplamı
$A_{sx}$	: Kritik kattaki betonarme perde duvarların enkesit alanları toplamı
$E_m$	: Dolgu duvar elastisite modülü
$E_c$	: Beton elastisite modülü
$I_x$ ve $I_y$	: Bina taban alanını içine alan dikdörtgenin x ve y yönündeki atalet momentleri
$I_{cx}$ ve $I_{cy}$	: Kritik kat perdelerinin x ve y yönüne göre atalet momentleri toplamı
$I_{wx}$ ve $I_{wy}$	: Kritik kat dolgu duvarlarının x ve y yönüne göre atalet momentleri toplamı
$C_I$	: Atalet momenti endeksinin bileşkesini göstermektedir
$F_c$	: Betonun MPa cinsinden beton kalitesidir
$S$	: cm cinsinden sarılma bölgesinde etriye aralığıdır
$T$	: p25 metodu topoğrafik katsayısı
$V_{ci}$	: Etriye katkısını dikkate almadan bulunan eleman kesme dayanımı
$C$	: Eleman yönü ile ilgili katsayı
$F_{ctk}$	: Beton karakteristik çekme dayanımı
$B_w$	: Eleman genişliği
$H$	: Eleman derinliğini
$V_y$	: Bina akma dayanımı
$V_c$	: Bina kesme dayanımı
$N$	: Bina kat adeti
$V_{yw}$	: Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine katkısını da içeren dayanım değeri
$A_w$	: Boşluk içermeyen duvarların toplam alanı
$A_{tf}$	: Binanın toplam zemin kat alanı
$C_M$	: İnşa kalitesi katsayısı
$C_{AS}$	: Yumuşak kat katsayısı

$C_{ASC}$	: Kısa kolon katsayısı
$C_{AP}$	: Burulma düzensizliği katsayısı
$C_{AF}$	: Düşeyde süreksizlik düzensizliği katsayısı
$mnlsi$	: Minimum normalize edilmiş yatay dayanım indeksi
$(A)$	: Eleman efektif alanı
$A$	: Eleman alanı
$nfx$ ve $nfy$	: Zemin katta x ve y doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı
$A_{tr}$	: Tipik bir kolonun üzerine düşen kat alanını
$A_{gf}$	: Binanın zemin kat alanıdır
$ssi$	: Yumuşak kat indeksi
$H1$	: Zemin kat yüksekliği
$H2$	: 1.Normal kat yüksekliği
$A_{çıkma}$	: Her bir kattaki çıkma alanları toplamı
$H_n$	: Kat yüksekliği
$N$	: Kat sayısı



## TABLO LİSTESİ

<b><u>Tablolar</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 En yakın 20 istasyona ait pga, uzaklık ve vs30 değerleri .....	4
3.1. Yerleşim birimlerine göre toplam yıkık ve hasarlı bina sayıları.....	14
3.2: DBYBHY-2007 Yönetmeliği'nin 2.3.2.1 nolu maddesine göre hesaplanan $\Pi_{ki}$ değerleri .....	18
4.1: Yapısal Düzensizlik Katsayıları ( $f_i$ ) .....	40
4.2: Yapısal Düzensizlik Katsayıları ( $f_i$ ) .....	41
4.3: P <sub>4</sub> - Çıkmalar ve Çerçeve Süreksizliği Puanı.....	42
4.4: P <sub>5</sub> - Çarpışma Puanı Matrisi.....	42
4.5: P <sub>6</sub> - Sıvılaşma Potansiyeli Puanları.....	43
4.6: P <sub>7</sub> - Toprak Hareketleri Puanı .....	43
4.7: P- puanları ağırlık puanları .....	45
4.8: Yapısal Düzensizlik Katsayıları Değerleri.....	48
4.9: İnşa kalitesi katsayısı değerleri .....	48
4.10: Zemin türü ve faya olan mesafeye bağlı CM değerleri.....	52
5.1: Jeoteknik sondaj uzunlukları ve YAS derinlikleri .....	56
5.2: MASW ölçüm ve sondaj lokasyonları .....	57
6.1: Eleman hasar seviyeleri ve açıklamalar .....	79
6.2: EMS hasar seviyeleri .....	82
6.3: Modifiye edilmiş EMS hasar seviyeleri.....	83
6.4: İncelenen binalara ait hasar puanları.....	84
6.5: İncelenen binalara ait değiştirilmiş EMS hasar puanları sayıları.....	86
6.6: İncelenen binalara ait yerinde beton basınç dayanımı değerleri .....	86
6.7: Binalara ait yapısal özellikler.....	89
6.8: Binalara ait hızlı değerlendirme puanları.....	91

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekiller</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Hasarın merkez üssüne göre dağılımı .....	3
2.2: En yakın 20 istasyonun doğu-batı bileşenine ait pik ivme-uzaklık ilişkisi.....	5
2.3: Gediz istasyonuna ait doğu-batı yönü ivme kaydı.....	5
2.4: Gediz istasyonuna ait kuzey-güney yönü ivme kaydı.....	6
2.5 : Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral ivme değerleri .....	6
2.6: Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral hız değerleri .....	7
2.7: Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral deplasman değerleri .....	7
2.8: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerleri .....	8
2.9: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini kuzey-güney yönü spektral ivme değerleri .....	8
2.10: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerlerinin TDY2007-Z3 spektral ivme değerleri ile karşılaştırılması.....	9
2.11: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerlerinin TDY2007-Z3 spektral ivme değerleri ile karşılaştırılması.....	9
2.12: 1800-1995 Yılları arasında Anadolu’da yaşanmış fay kırılmaları(Barka ve Reilinger, 1997) .....	10
2.13: Simav İlçesi Yerel Zemin Özellikleri .....	12
2.14: Simav Havzası ve Çevresi (Mutlu, 2010) .....	12
3.1: Gözlemsel incelemelerin yapıldığı yerleşim birimleri.....	13
3.2: Yıkılan zemin katına ait kalıp planı .....	16
3.3: Yıkılan binanın üç boyutlu bilgisayar modeli.....	17
3.4: Yumuşak kat mekanizması davranışı ve mafsall oluşumu .....	19
3.5: Çekiçleme etkisi nedeniyle hasar aldığı düşünülen binanın yerleşimi .....	20
3.6: Tipik bir kirişsiz kapalı çıkmalı binaya ait kalıp planı .....	22
3.7: İki ucu mafsallı bir elemanın serbest cisim diyagramı .....	25
3.8: Kolon net açıklığının azaltılması .....	26
4.1: Örnek bina zemin kat kalıp planı .....	38
4.2: $\beta$ Katsayısının Değişimi (Referans) .....	45
5.1: İnceleme alanındaki gözlem noktaları (İnel vd., 2011b). .....	55
5.2: İnceleme alanında yer altı su seviyesinin değişimi (İnel vd., 2011b). .....	60
5.3: İnceleme alanında $V_s$ Hızlarının Değişimi (İnel vd., 2011b). .....	61
5.4: İnceleme alanında zemin sınıflarının değişimi (İnel vd., 2011b). .....	62
5.5: İnceleme alanında sıvılaşma riskinin değişimi (İnel vd., 2011b). .....	63
5.6: Değerlendirme formu 1. Kısmı .....	65
5.7: Binaya ait temel özelliklerin belirlenmesi .....	65
5.8: Binaya konum ve düzensizlik bilgileri.....	66
5.9: Taşıyıcı sistem özellikleri .....	67
5.10: Yapı değerlendirme formu 4. Bölümü .....	68
5.11: Yapı değerlendirme formu 4. Bölümü (Devam).....	69
5.12: Yapı değerlendirme formu 5 ve 6. Bölümleri .....	70
5.13: Yapı değerlendirme formu 7. Bölümü .....	71

5.14: Yapı değerlendirme formu 8. Bölümü .....	71
6.1: 4 Eylül mahallesi incelenen binalar .....	72
6.2: Fatih mahallesi incelenen binalar .....	73
6.3: Hisarardı mahallesi incelenen binalar .....	73
6.4: Karakür mahallesi incelenen binalar .....	74
6.5: 101 Evler mahallesi incelenen binalar .....	74
6.6: Tabakhane mahallesi incelenen binalar .....	75
6.7: Kekliktepe mahallesi incelenen binalar .....	75
6.8: Yenimahalle mahallesi incelenen binalar .....	75
6.9: Değirmenciler mahallesi incelenen binalar .....	76
6.10: Genişliği 40 cm'nin üzerinde olan kolonlar için hasar seviyeleri.....	77
6.11: Genişliği 40 cm'nin altında olan kolonlar için hasar seviyeleri.....	77
6.12: Birleşim bölgesi için hasar seviyeleri .....	77
6.13: Kiriş elemanlar için hasar seviyeleri.....	78
6.14: İncelemesi yapılan binalara ait hesaplanan hasar seviyelerinin dağılımı .....	85
6.15: İncelemesi yapılan binalara ait yerinde beton basınç dayanımının değişimi... 88	
6.16: İncelemen binalarda gözlenen beton basınç dayanım aralıkları ve sıklığı..... 88	
6.17: İncelemen binalara ait hesaplanan P25 yöntemi puanlarının dağılımı .....	93
6.18: İncelemen binalara ait hesaplanan Yakut yöntemi puanlarının dağılımı..... 93	
6.19: İncelemen binalara ait İçtag Yöntemi $CV_{LS}$ - $HI_{LS}$ değerleri..... 94	
7.1: İncelemen binalara ait beton dayanımları ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki .....	97
7.2: İncelemen binalara ait kat sayıları ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki .....	97
7.3: İncelemen binalara ait yanal donatı değer, ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki.....	98
7.4: İncelemen binalara ait duvar alanı/kat alanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki.....	98
7.5: İncelemen binalara ait $V_s$ değerleri ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki..... 99	
7.6: Ağır+göçük bina hasar oranı ve zemin periyodu arasındaki ilişki .....	99
7.7: Tahmin edilen EMS puanı ile Değ. EMS puanı arasındaki ilişki .....	100
7.8: İncelemen binalara ait P25 puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki..... 101	
7.9: İncelemen binalara ait Yakut puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki ... 101	
7.10: İncelemen binalara ait Özcebe puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki102	

## RESİM LİSTESİ

<u>Resimler</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Simav depremi sonrası zemin katı tamamen göçmüş betonarme bina .....	15
3.2 Aynı binada güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı .....	15
3.3: Simav Depremi sonrası düşey ekseninden kalıcı olarak kaymış betonarme bina .....	20
3.4: Düşey ekseninden kalıcı olarak kayan binada kolon uç bölgelerinde oluşan eğilme mafsalları ve burkulan boyuna donatılar .....	21
3.5: Simav Depremi sonrası hasar almış kirişsiz kapalı çıkmalı bina.....	23
3.6: Kapalı çıkma hasarı sonrası döşemede oluşan çatlak .....	24
3.7: Simav Depremi sonrası göçmüş kapalı çıkma bölgesi .....	24
3.8: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası Cumhuriye Lisesi'nde gözlenen kısa kolon hasarı .....	27
3.9: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası gözlenen kısa kolon hasarı .....	28
3.10: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası dolgu duvar davranışı nedeniyle oluşan kısa kolon hasarı.....	29
3.11: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası dolgu duvar davranışı nedeniyle oluşan kolon hasarları.....	30
3.12: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası birleşim bölgesi ağır hasar almış betonarme yapı.....	31
3.13: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası ağır kesme hasarı almış kolon elemanı .....	32
3.14: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası kat seviyesinden ayrılmış betonarme perde elemanı .....	33
3.15: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası hatalı yalıtım uygulaması nedeniyle yıkılmış dolgu duvar .....	34
3.16: 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrası yıkılan ve bir vatandaşımızın ölümüne sebebiyet veren kalkan duvar .....	34
3.17 Çerçeve içerisine alınmamış ve hasar almış kalkan duvar örnekleri .....	35
5.1: Çalışma sırasında karot numunesi alınması ve etiketleme işlemi.....	64
6.1: Kolon elemanlarda örnek hasar puanlamaları.....	80

## ÖZET

### SİMAV DEPREMİ SONRASI BİNA YAPISAL ÖZELLİKLERİ İLE HASAR SEVİYESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

19.05.2011 günü, saat 23:15'de 5.7 büyüklüğünde ( $M_L$ ) Kütahya-Simav merkezli bir deprem meydana gelmiştir. Büyüklük olarak orta ölçekli bir deprem olmasına rağmen gözlenen yapısal hasarlar beklenenin üzerinde olmuştur.

Çalışma kapsamında 113 adet önceden hasarlı olduğu iddia edilen betonarme binaya ait beton dayanımı, donatı bilgileri, taşıyıcı sistem boyutları, geometrik özellikler gibi birçok parametre derlenmiş, hasar durumu ile ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca bölgenin zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bölgede standart penetrasyon ve MASW-(Multi-channel Analysis of Surface Waves) testleri yapılmıştır. Çalışmanın amacını bu verilerden yola çıkarak betonarme binalarda gözlenen hasar ve hasarla ilişkili parametrelerin ortaya çıkarılması oluşturmaktadır. Elde edilen yapısal bilgilerden yola çıkılarak binalara ait hızlı değerlendirme metodu puanları hesaplanmış, hasar ile tutarlılıkları araştırılmıştır.

Yapılan gözlemsel değerlendirmelerde bina hasarlarının büyük çoğunluğunun düşük beton dayanımı, hatalı detaylandırma kusurları ve işçilik hataları ile alakalı olduğu belirlenmiştir. İncelenen binaların beton dayanımları değişkenlik göstermekle birlikte incelenen binalara ait ortalama beton basınç dayanımı yaklaşık olarak 4 ile 12 MPa arasında değişmektedir. Hızlı değerlendirme metotları ve yapısal hasar arasında dikkat çekici bir ilişkinin göze çarpmamakta olup, önemli nedenlerinden birisi Simav Depreminin karakteristik özellikleridir. Fakat hızlı değerlendirme metotlarına göre birçok binanın performans düzeyi yetersiz bulunmuştur. Daha büyük bir depremde yetersiz olarak değerlendirilen binaların ağır hasar alma ihtimallerinin yüksek olduğundan söz edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Simav Depremi, Hızlı Değerlendirme Metotları, Yapısal Hasarlar, Yapısal Özellikler

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF BUILDINGS STRUCTURAL PARAMETERS WITH STRUCTURAL DAMAGE DURING SIMAV EARTHQUAKE

An earthquake with a magnitude of 5.7 (ML) has struck Simav, Kutahya located in the western part of Turkey on May 19, 2011 at 20:15 (GTM). Although the magnitude of earthquake is moderate, the effects on the structures are serious.

113 RC buildings are carefully examined for the properties of structural system (sizes of structural elements, walls, lateral and longitudinal reinforcements of RC members, etc.), architectural layout, damage state, concrete strength, and soil conditions. Concrete core samples are taken from all the reinforced concrete buildings and Standard Penetration Tests, and MASW-(Multi-channel Analysis of Surface Waves) tests are performed for determination of soil conditions. This study aims to evaluate the relation between the observed damage and collected parameters. Rapid screening methods and their relation with the observed damage are also evaluated.

The observations on damaged buildings obviously indicate that the most of damages are related to low concrete strength, poor workmanship and insufficient detailing. The concrete strength of investigated buildings ranges between 4 and 12 MPa. There is no clear relationship between rapid screening methods and structural damages. The most important reason for this is characteristics of Simav Earthquake. However, rapid screening methods evaluated as insufficient seismic score for most of damaged buildings. The possibility of having heavy damage of the buildings with insufficient seismic scores is obviously high during a strong earthquake.

**Key Words:** Simav Earthquake, Rapid Screening Methods, Structural Damage, Structural Parameters

## **1.GİRİŞ**

### **1.1.Genel**

19.05.2011 günü, saat 23:15’de 5.7 büyüklüğünde ( $M_L$ ) Kütahya-Simav merkezli bir deprem meydana gelmiştir. Büyüklük olarak orta ölçekli bir deprem olmasına rağmen gözlenen yapısal hasarlar beklenenin üzerinde olmuştur. Deprem sonrasında yapılan hasar tespit çalışmalarında 115 yıkık, 1441 ağır hasarlı bina tespit edilmiştir. Ölü sayısının yüksek olmaması sevindirici tek rakam olmakla birlikte deprem ardında bıraktığı maddi hasar ağır olmuştur.

Simav bölgesinde yer alan yapı stokunun büyük çoğunluğunu 1998 yılından önce inşa edilmiş binalar oluşturmaktadır. Yeterli mühendislik hizmeti almadan inşa edilen bu yapılar, sismik etkilere karşı oldukça dayanıksız durumdadır. Böyle yapıların deprem davranışını irdeleyebilmek deprem mühendisliği açısından da karmaşık bir problemdir.Yeterli mühendislik hizmeti almayan yapıların depremler sonrası davranışını incelemek, hasar miktarı ve ilişkili parametreleri ortaya çıkarmak büyük önem arz etmektedir.

### **1.2. Tezin Amacı**

19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrasında bölgeye gidilerek gözlemsel değerlendirmelerde bulunulmuştur. Deprem sonrası Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Pamukkale Üniversitesi ile ortaklaşa gerçekleştirilen çalışmada hasar tespit çalışmalarında “orta hasarlı” olarak nitelendirilen yaklaşık 250 bina incelenmiş, hasar durumları ve yapısal özellikleri hakkında bilgi toplanmıştır. Çalışmanın amacını bu verilerden yola çıkarak betonarme binalarda gözlenen hasar ve hasarla ilişkili parametrelerin ortaya çıkarılması oluşturmaktadır. Ayrıca elde edilen veriler kullanılarak binalara ait hızlı değerlendirme puanları hesaplanmış ve

yöntemlerin mevcut durumu ne kadar yansıttığının araştırılması hedeflenmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı ise zemin özelliklerinin mevcut binaların hasar düzeyleri ile bir ilişkisinin olup olmadığının irdelenmesidir.

### **1.3.Çalışmanın Kapsamı**

Çalışma Simav bölgesinde Pamukkale Üniversitesi tarafından incelenen “orta hasarlı” bina verilerinin kullanılabilir durumda olanları ile bu veri setine eklenen hasarsız ve “ağır hasarlı” bina verilerini kapsamaktadır. Çalışma verilerin toplanması, verilerin analizi ve sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

Verilerin toplanması aşamasında yaklaşık 150 adet betonarme binaya ait yapısal ve yapısal olmayan birçok parametre kayıt altına alınmıştır. Yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistem hasar durumu, geometrik özellikleri, beton dayanımı, yanal ve düşey donatı oranı, taşıyıcı sistem boyutları ve özellikleri, temel tipi, dolgu duvar miktarı, zemin yapısı bu parametrelerden birkaçıdır. Temel tipi gibi gözlemsel değerlendirmelerle anlaşılması mümkün olmayan yapısal özelliklerin belirlenebilmesi amacıyla Simav Belediyesi’nde arşiv tarama çalışması yapılmış, incelenen binalara ait projeler elde edilmiştir.

İkinci aşamada ise elde edilen tüm bu parametreler değerlendirilmektedir. Bu kapsamda binaların hasar puanları hesaplanmış, binaya ait veriler istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Ayrıca jeofizik ve jeoteknik çalışmalar sonucu bulunan zemin sınıfı, zemin periyodu, zemin kayma dalgası hızı gibi veriler derlenmiştir. Son olarak binaların hızlı değerlendirme metotlarına göre performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla P25 (ref), Yakut (ref) ve Özcebe (ref) yöntemleri ile hızlı değerlendirme puanları bulunmuştur.

Çalışmanın son bölümünde ise, bulunan sonuçların binaların hasar durumu ile ilişkisi araştırılmıştır.

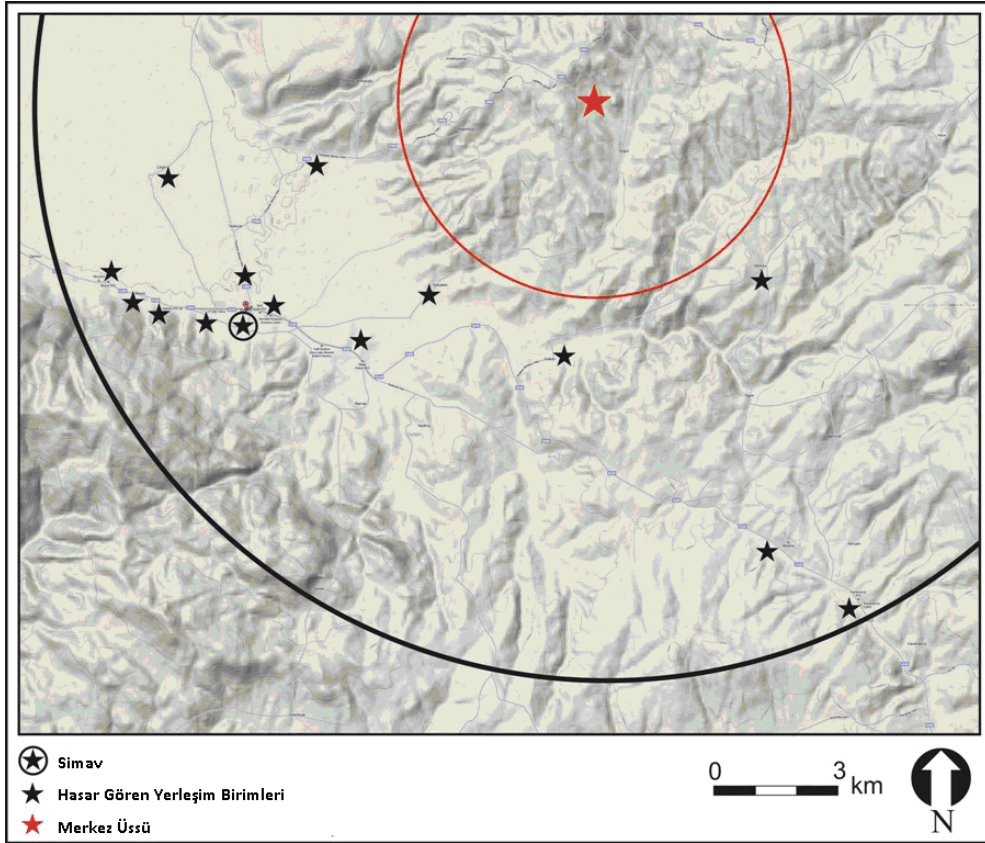
Tüm bu araştırma süreci bir yıldan fazla bir süreye yayılmış emek yoğun bir çalışma gerektirmiştir. Sonuçların sismik etkiler altında bina davranışının anlaşılmasına katkıları olacağı düşünülmektedir.



## 2. SİMAV DEPREMİ

### 2.1. Depremın Karakteristik Özellikleri

19.05.2011 günü, saat 23:15’de 5.7 büyüklüğünde ( $M_L$ ) Kütahya-Simav merkezli bir deprem meydana gelmiştir. Depremın dış merkez koordinatları 39.1328 K – 29.0820 D, odak derinliği 24.46 km olarak belirlenmiştir. Yeşilköy ve Çavdır faylarından kaynaklanan depremin merkez üstü Simav ilçesinin yaklaşık 13 km kuzey doğusundaki Söğüt Köyü çevresidir. Depremın merkez üssü ve hasar gören yerleşim birimleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Hasarın merkez üssüne göre dağılımı

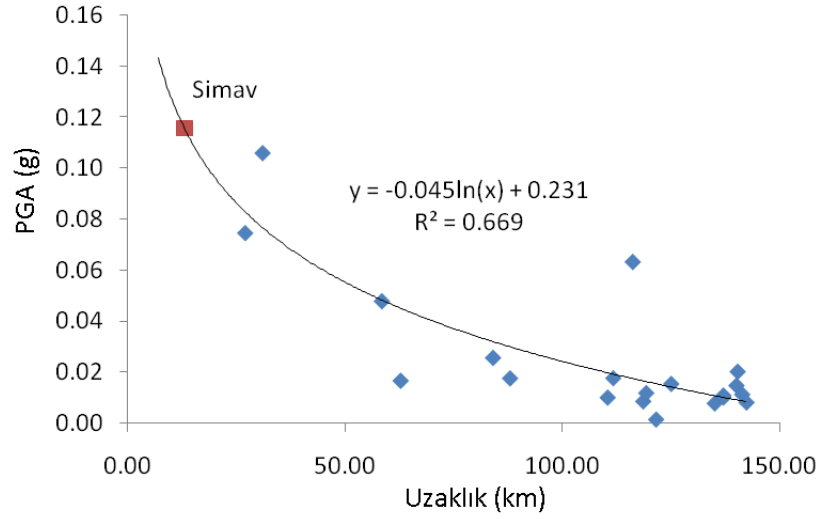
Kütahya Simav Depremi ( $M_L= 5,7$ ), Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı'nın depremin dış merkezine 27-230 km uzaklıklardaki 72 farklı ivme-ölçer

istasyonu tarafından kaydedilmiştir. Bu depreme ait en yüksek ivme değeri, Gediz ilçesinde D-B yönünde  $103,92 \text{ cm/sn}^2$  (gal) olarak ölçülmüştür. Deprem merkez üssüne en yakın (27 km) Emet istasyonunda ise, en büyük ivme değeri K-G doğrultusunda  $74.69 \text{ cm/sn}^2$  (gal) ölçülmüştür. Deprem etkilerinin yoğunlaştığı Simav ilçesinde yer alan ivme-ölçer istasyonunda arıza nedeniyle tam olarak kayıt alınamamıştır. Alınan kısmi kayıta da depremin düşey bileşeni ilginç şekilde iki yatay bileşenden yüksektir. İstasyonda arıza nedeniyle kayıt alınamaması, bölgede hissedilen etkilerin anlaşılması bakımından bir dezavantaj olmuştur. Tablo 2.1’de en yakın 20 istasyona ait ölçülen en büyük ivme değerleri ve ölçüm noktasının zemin kayma dalgası hızı değerleri (m/s) verilmiştir.

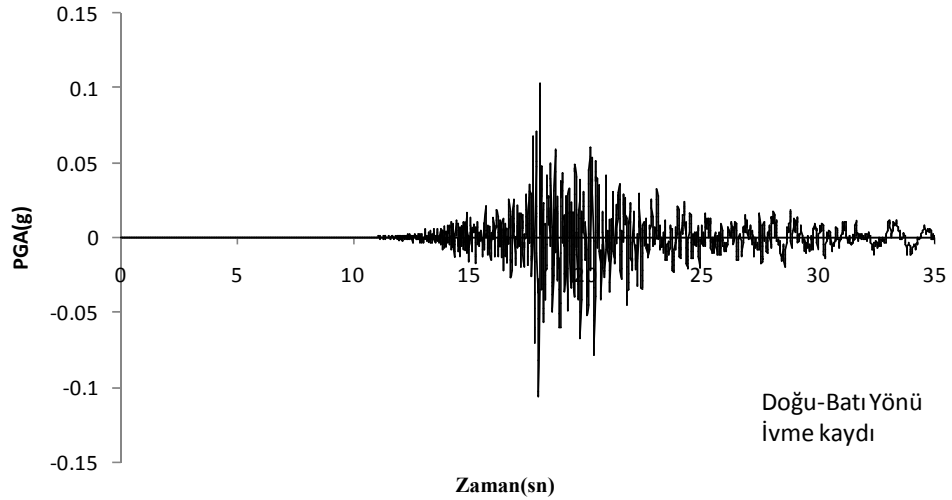
Tablo 2.1 En yakın 20 istasyona ait pga, uzaklık ve vs30 değerleri

İl	İstasyon	PGA K-G (gal)	PGA D-B (gal)	PGA U-D (gal)	Uzaklık (km)	Vs30 (m/s)
Kütahya	Emet	74.69	73.13	46.34	27	304
Kütahya	Gediz	92.33	103.92	67.83	31	-
Uşak	Center	47.87	46.91	23.14	58.44	285
Balıkesir	Dursunbey	16.44	16.32	10.85	62.74	561
Kütahya	Merkez	33.62	25.13	10.64	84	-
Bursa	Keles	24.62	17.24	9.08	87.92	401
Manisa	Salihli	9.49	9.85	5.39	110.36	273
Manisa	Akhisar	18	17.32	5.33	111.66	292
Bursa	M. K. Paşa	29.4	62.04	16.74	116.14	365
Eskişehir	İnönü	6.34	8.39	5.48	118.55	274
Bilecik	Bozüyük	14.65	11.6	5.73	119.24	407
Bursa	Merkez	12.89	1.4	4.8	121.52	249
Bursa	Mudanya	13.65	15.11	5.93	125	-
Denizli	Aşağışamlı	9.35	7.61	4.11	135	-
Eskişehir	Yukarısögüt	11.74	10.64	5.03	137	-
Eskişehir	Batıkent	10.7	9.9	4.6	137	-
Eskişehir	Asrı Mezarlık	12.23	14.46	4.02	140	-
Bursa	Engurucuk	18.52	19.81	9.08	140.29	370
Eskişehir	TSK Air Hospital	8.88	11.03	3.35	141.31	296
Bursa	Umurbey	11.29	7.97	3.87	142.31	366

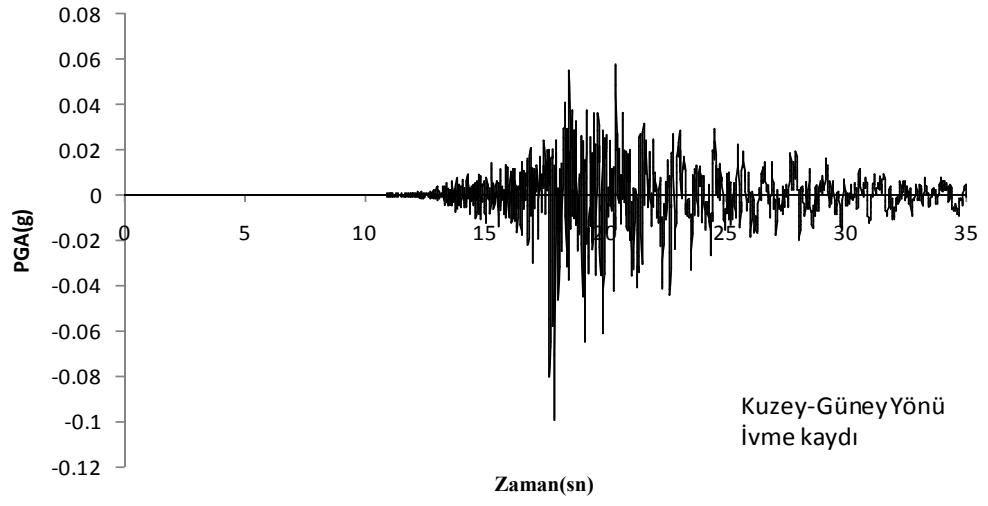
Şekil 2.2’de en yakın 20 istasyonun doğu-batı bileşenine ait pik yer ivmesinin uzaklıkla ilişkisi yer almaktadır. İvme-uzaklık ilişkisi yardımıyla Simav merkezi için tahmin edilen pik yer ivmesi kırmızı renkle gösterilmiştir. Depremın Gediz istasyonuna ait ivme kaydı, bu kayda ve Simav kaydına ait tahmini spektral değerler Şekil 2.3-2.9’da verilmiştir. Bu iki kaydın spektral ivme değerlerinin yönetmelik ivme spektrumu ile karşılaştırılması ise Şekil 2.10-2.11’de yer almaktadır.



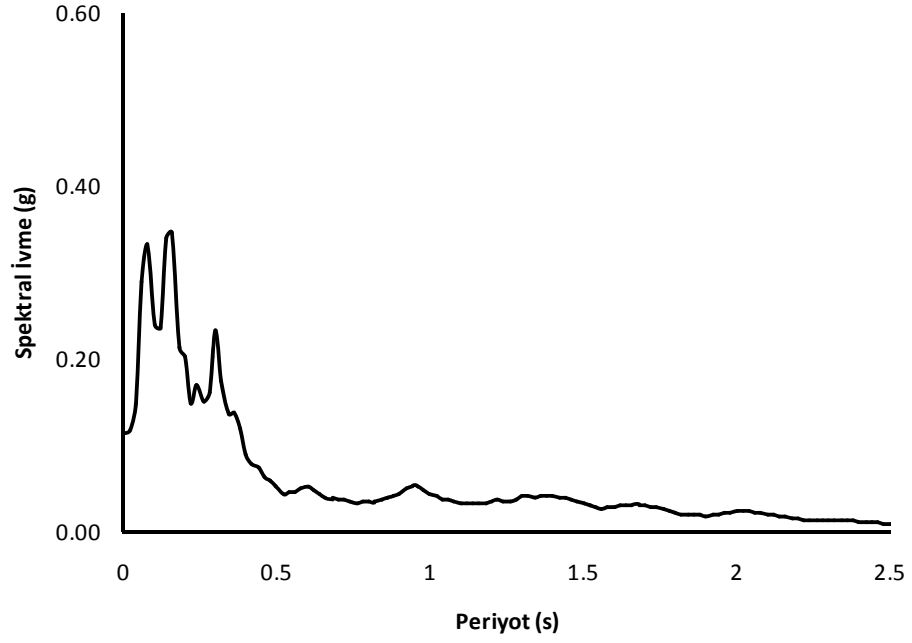
Şekil 2.2: En yakın 20 istasyonun doğu-batı bileşenine ait pik ivme-uzaklık ilişkisi



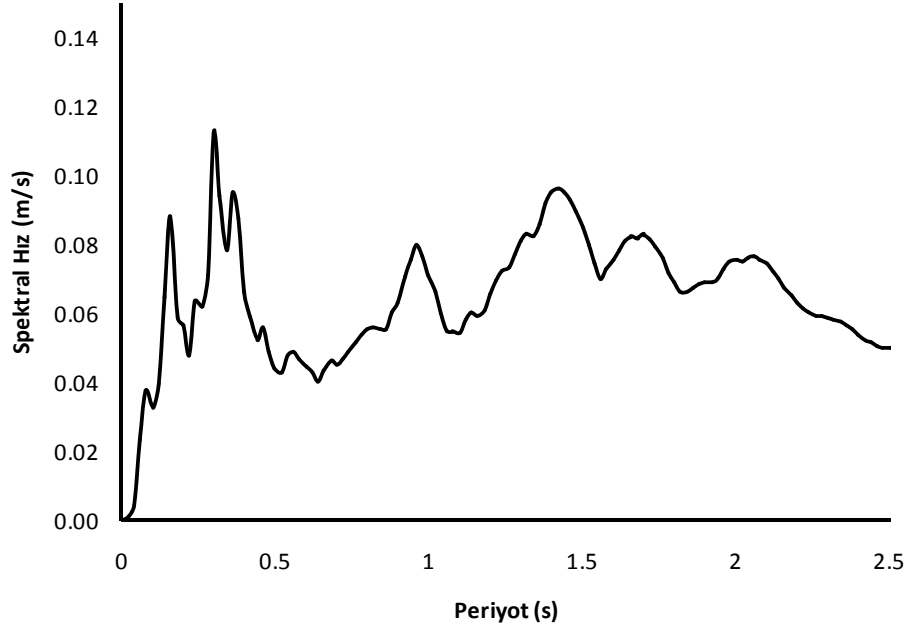
Şekil 2.3: Gediz istasyonuna ait doğu-batı yönü ivme kaydı



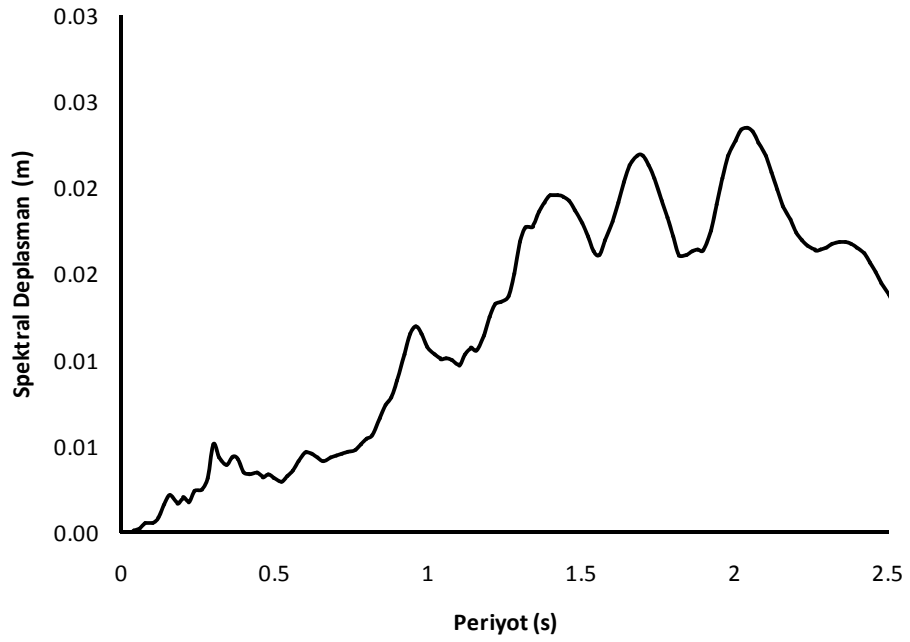
Şekil 2.4: Gediz istasyonuna ait kuzey-güney yönü ivme kaydı



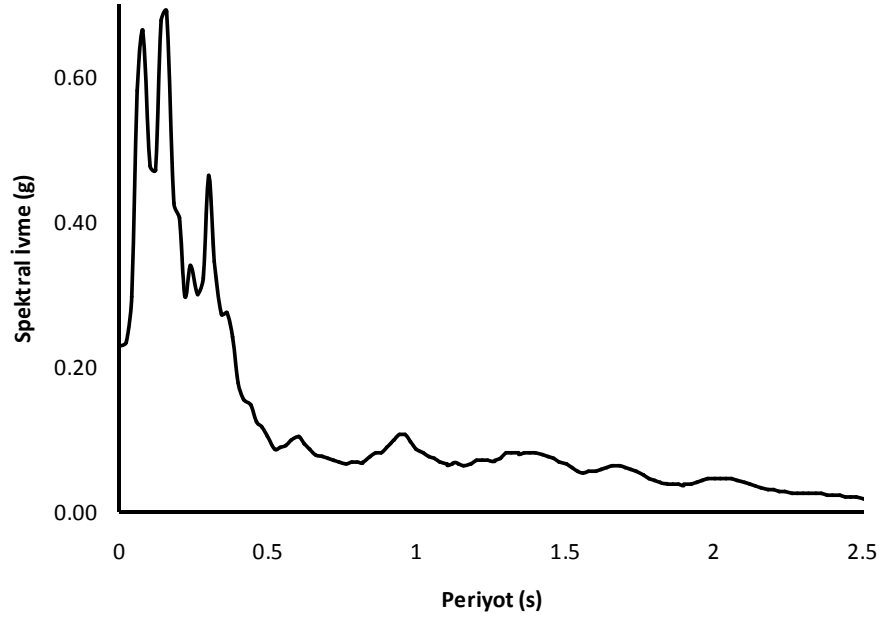
Şekil 2.5: Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral ivme değerleri



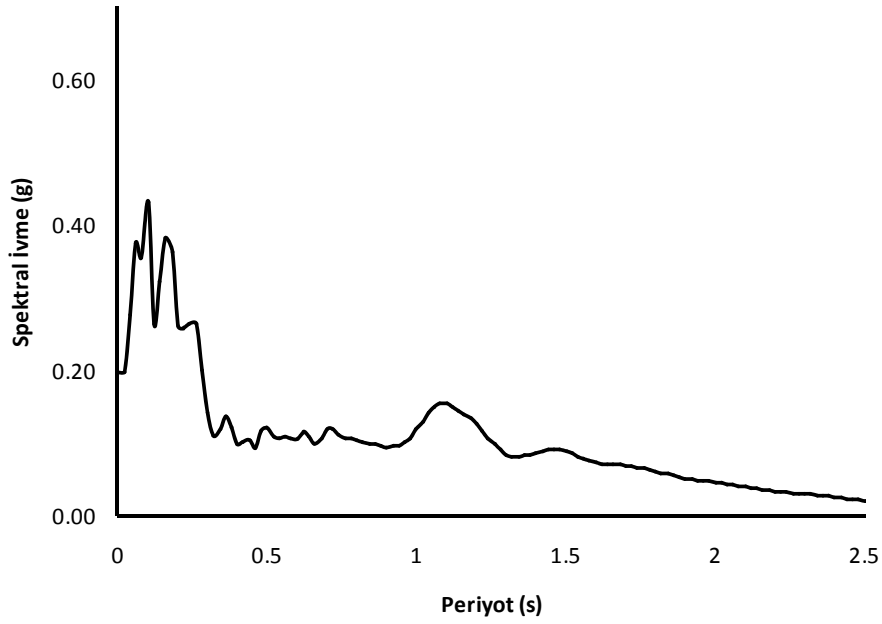
Şekil 2.6: Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral hız değerleri



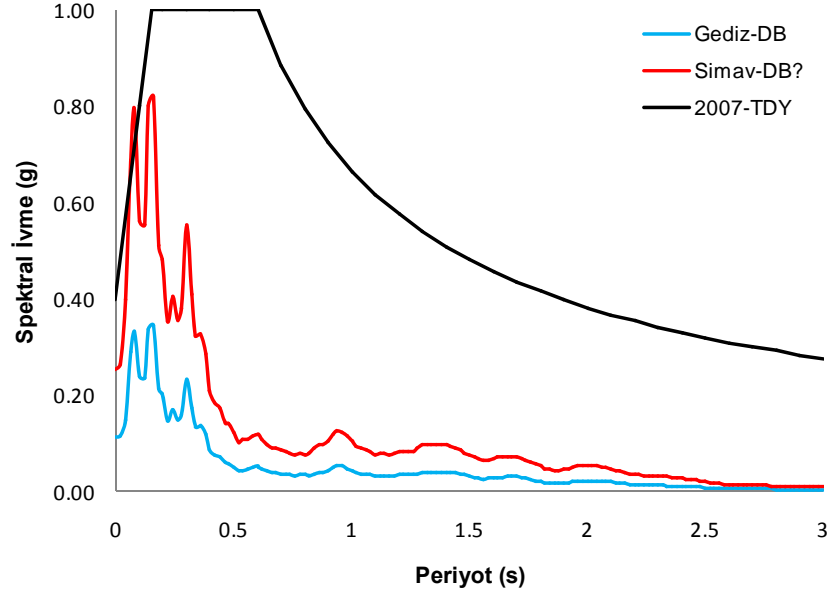
Şekil 2.7: Gediz istasyonuna ait %5 sönüm oranı için doğu-batı yönü spektral deplasman değerleri



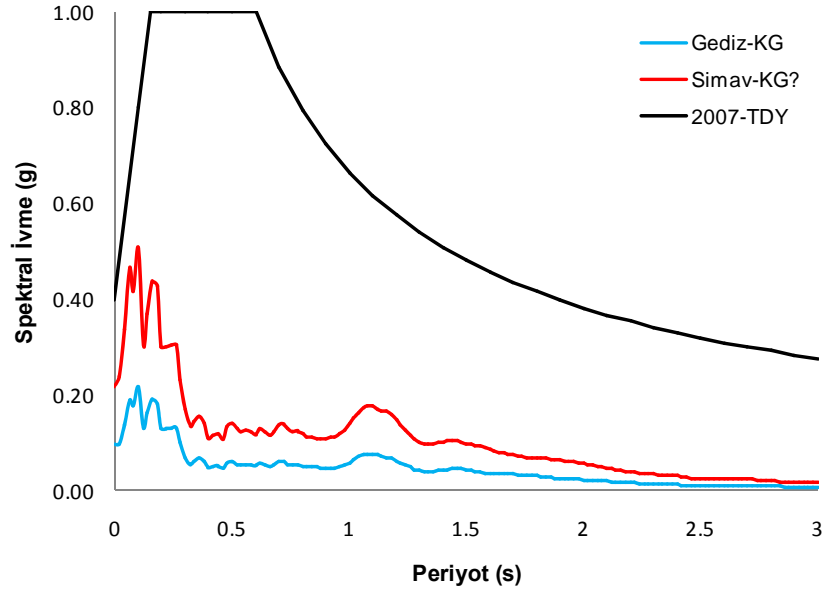
Şekil 2.8: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerleri



Şekil 2.9: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini kuzey-güney yönü spektral ivme değerleri



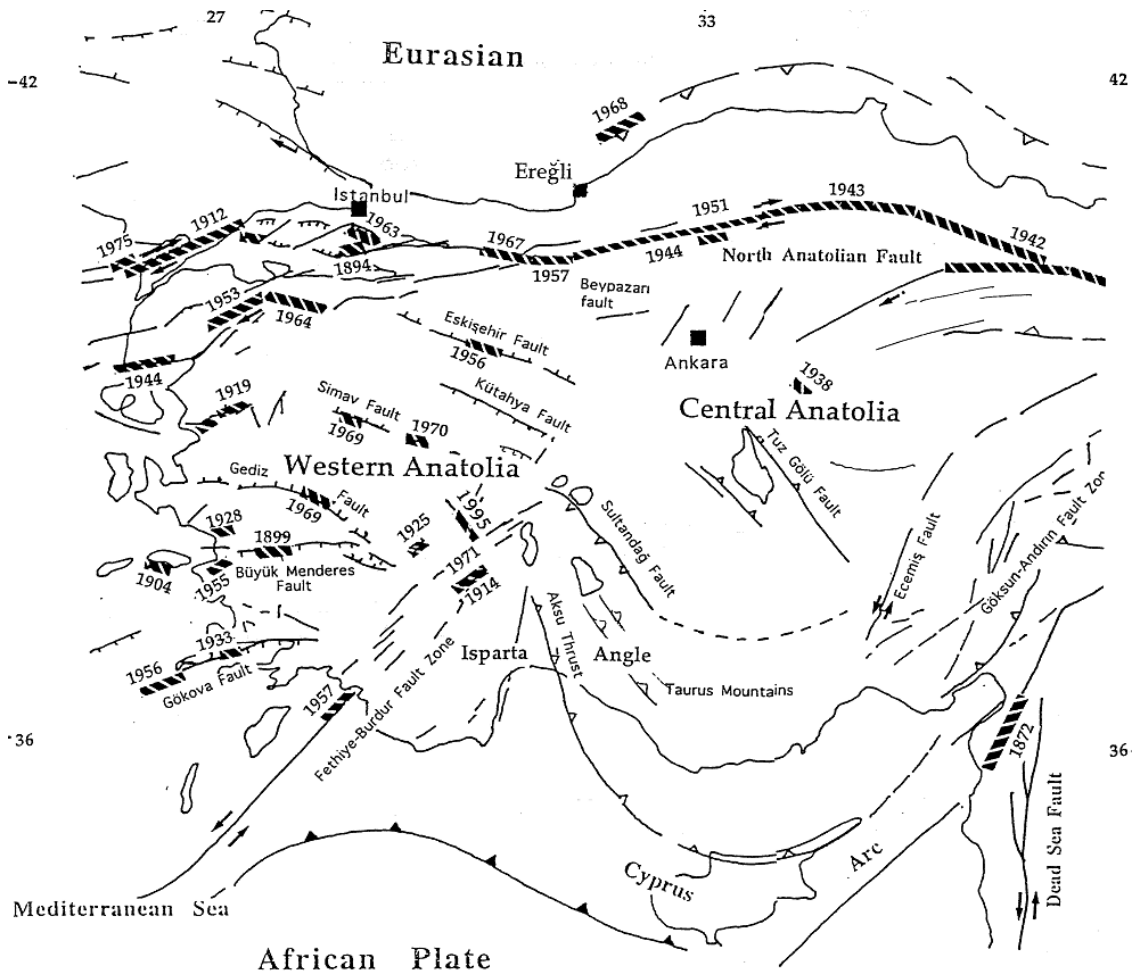
Şekil 2.10: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerlerinin TDY2007-Z3 spektral ivme değerleri ile karşılaştırılması



Şekil 2.11: Simav istasyonuna ait %5 sönüm oranı için tahmini doğu-batı yönü spektral ivme değerlerinin TDY2007-Z3 spektral ivme değerleri ile karşılaştırılması

## 2.2.Bölgenin Tektonik Yapısı

Deprem bölgesi Batı Anadolu tektonik yapısında yer almaktadır Bölgede kuzey-güney ve doğu-batı doğrultusunda Gökova, Büyük ve Küçük Menderes, Alaşehir, Soma, Gediz, Bakırçay ve Simav grabenleri buna bağlı normal fay oluşumu bulunmaktadır (Şengör vd.,1984, Bozkurt, 2000). Batı Anadolu tektonik yapısı sismik olarak oldukça aktif bir bölgedir. Geçmişte 1899 Büyük Menderes, 1928 Torbalı, 1955 Balat, 1969 Alaşehir, 1969 Simav, 1970 Gediz ve 1995 Dinar depremi olmak üzere birçok yıkıcı sismik hareketlilik yaşanmıştır (Şekil 2.12)



Şekil 2.12: 1800-1995 Yılları arasında Anadolu'da yaşanmış fay kırılmaları(Barka ve Reilinger, 1997)

Bölgenin en dikkat çeken tektonik özelliği Simav Fayı'dır. Simav Nehri boyunca batıda Sındırgı'dan doğuda Murat Dağı'na kadar uzanır. Simav Dağı'nın



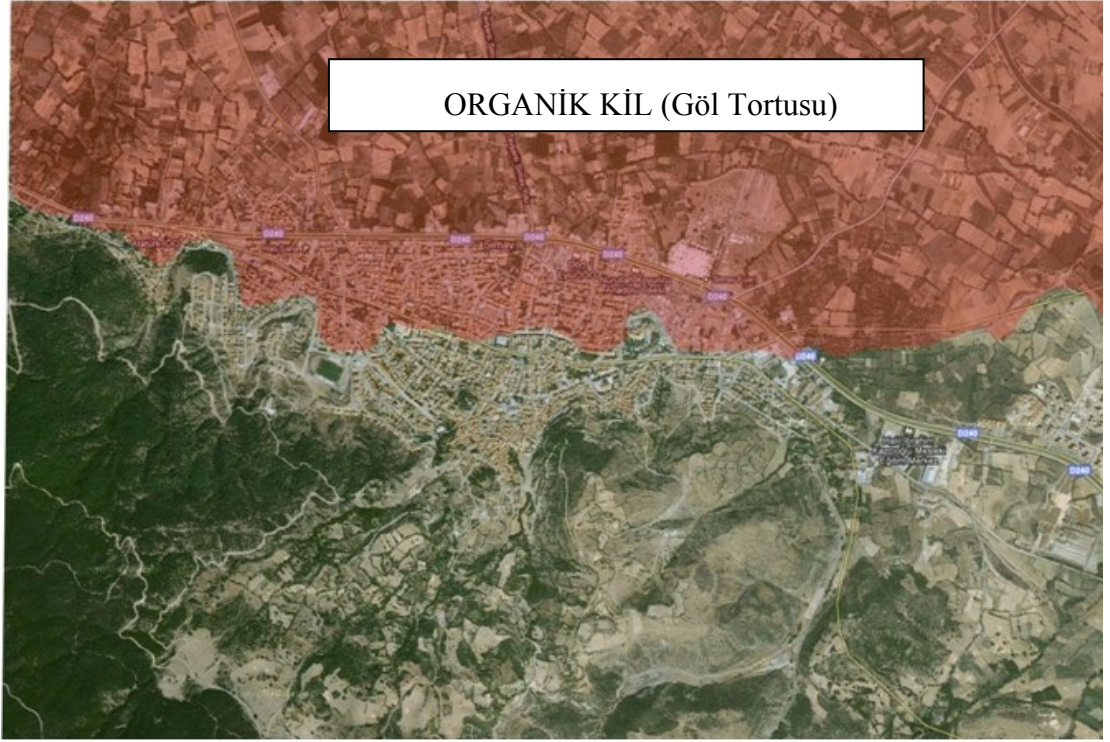
dikkat çeken dikliği ile güneyden sınırlanan çöküntü ovası, 1950'lerde kurutulmuş olan Simav Gölü ile işgal edilmiştir. (Oygür ve Erler, 2000))

### **2.3.Bölgenin Zemin Yapısı**

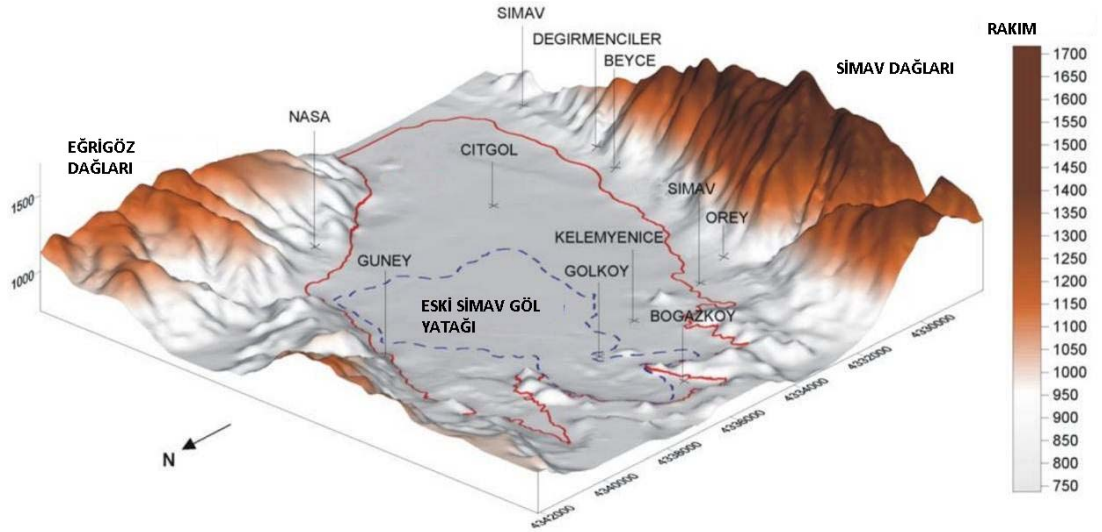
Simav ilçe merkezinin güney kısmı sıkı yamaç molozu karakterindeki birim ve kayadan oluşmaktadır. Bu birimler genellikle A ve B zemin grubuna ve Z1-Z2 zemin sınıfına girmektedir. Kuzey kesimlerde ise 1960'lı yılların başında kurutulan Simav Gölü'ne ait siyah, koyu gri organik kilden oluşan birim bulunmaktadır. Gölün kurutulmasından sonra imara açılan bu bölgede ilçe için oldukça yoğun sayılabilecek yerleşim alanları oluşturulmuştur (Şekil 2.13 ve 2.14). Yüksek plastisiteli ve düşük taşıma gücüne sahip bu killi seviye Simav otogar binasının 200 metre kuzeyinde 8 metre, otogar çevresinde ise 10 metreden daha fazla kalınlığa ulaşmaktadır. C3-D3 zemin grubunda tanımlanabilecek bu birimin yerel zemin sınıfı Z3 ve Z4 arasında değişmektedir. Bu özellikleri nedeniyle yerleşim alanının bu bölümünde yüksek zemin büyütme değerleri söz konusudur (İnel vd., 2011a).

Başta Simav ilçe merkezinin kuzeyi olmak üzere Gökçeler, Karamanca, Yeşilova gibi yerleşim alanlarında kil ve/veya yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu alüvyonal birimler bulunmaktadır. Deprem yapı hasarlarında bu fark rahatlıkla izlenebilmekte ve sözü edilen ilk alanda daha fazla hasar gözlenmektedir.

Gökçeler köyü yerleşim alanının özellikle güneybatı kesimi gevşek kumlardan meydana gelmektedir. Bu bölgede deprem esnasında yeraltı suyu yüzeyden 3-5 metre derinlikte olmasına rağmen herhangi bir sıvılaşma izine rastlanmamıştır. Aynı şekilde deprem merkezine yakın yerleşim alanlarının çevresinde yapılan arazi gözlemlerinde yüzeyde herhangi bir fay yırtığı izlenmemiştir.



Şekil 2.13: Simav İlçesi Yerel Zemin Özellikleri



Şekil 2.14: Simav Havzası ve Çevresi (Mutlu, 2010)

### 3.DEPREM SONRASI BÖLGEDE YAPILAN HASAR GÖZLEMLERİ

19 Mayıs 2011 Simav Depremi orta büyüklükte bir deprem olmasına rağmen yapılar üzerindeki etkileri beklenenin üzerinde olmuştur. Deprem sonrası yapılan gözlemlerde hasarın merkez üssünden 25 km yarıçapında bir dairede yoğunlaştığı sonucuna varılmıştır (İnel vd., 2011a) (Şekil 2.1).

Gözlemsel incelemelerin yapıldığı yerleşim birimleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Simav ilçe merkezi dışında deprem merkezinden uzakta olmasına rağmen Simav’ın güney doğusunda Karamanca Köyü ve D240 nolu Uşak-Simav yolu ile Pazarlar yolu kavşağına kadar olan alanlarda hasarlar görülmektedir. Hasarlar batıda Simav’a komşu olan Beyce köyünün batısına kadar uzanmaktadır. Depremi merkezinin en yakın yerleşim birimlerinden birisi olan Şenköy’de ise ciddi hasarlar görülmemiştir. Tablo 3.1’de yerleşim bölgelerine göre yıkık ve hasarlı bina sayıları verilmiştir.



Şekil 3.1: Gözlemsel incelemelerin yapıldığı yerleşim birimleri

Tablo 3.1. Yerleşim birimlerine göre toplam yıkık ve hasarlı bina sayıları

	Hasar Oranları				
	<i>Yıkık</i>	<i>Ağır</i>	<i>Orta</i>	<i>Hafif</i>	<i>Hasarsız</i>
Simav Merkez	5	331	261	1531	2265
Simav Beldeler	41	484	74	1861	2658
Simav Köyler	63	445	51	898	596
Hisarcık	3	79	6	337	64
Şaphane	2	46	7	290	153
Pazarlar	1	56	10	255	43

Bu bölümde gözlenen hasar türleri ve nedenleri üzerinde durulacaktır. Betonarme binalarda hasarın en yoğun olduğu yerleşim birimi Simav Merkezi'dir. Eleman ve sistem bazında hasar almış çok sayıda bina bulunmaktadır. Toptan göçmenin yaşadığı bir adet betonarme bina belirlenmiştir. Bunun dışında yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizliğine sahip hasar almış birçok bina not edilmiştir. Eleman bazında hasarlar incelendiğinde ise özellikle kısa kolon davranışı ve yetersiz sargılamaya bağlı birçok kesme hasarı almış betonarme kolon elemanlar göze çarpmaktadır. Yine hatalı uygulama ve detaylandırma kaynaklı tipik hasar türleri bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

### 3.1.Toptan ve Kısmi Göçme

19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrasında toptan göçmenin yaşadığı yalnız bir binanın olduğu belirlenmiştir. Simav Merkezi 4 Eylül Mahallesinde yer alan bina bodrum, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır ve yumuşak kat düzensizliğine sahiptir. Resim 3.1'de yıkılan binanın bir resmi görülmektedir.



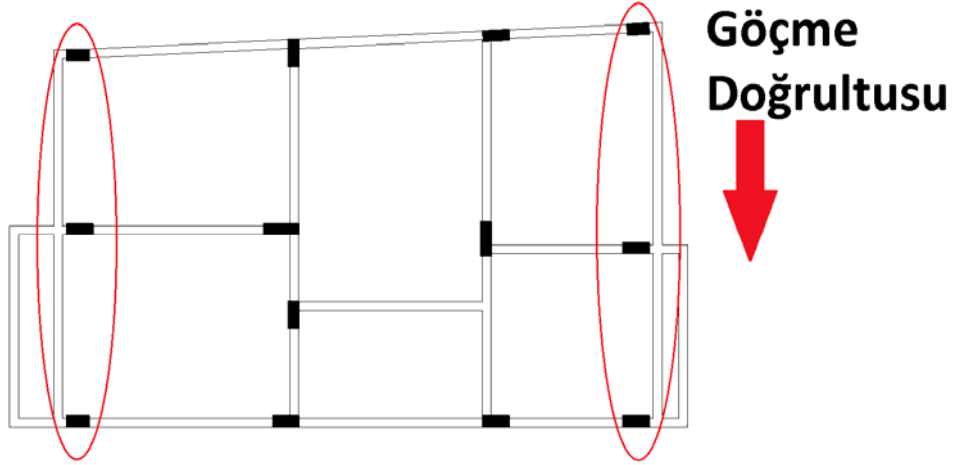
Resim:3.1 Simav depremi sonrası zemin katı tamamen göçmüş betonarme bina

Yapılan gözlemler sonrasında binanın bu derece ağır hasar almasında birden çok uygulama ve tasarım hatasının önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Ağır hasar alan kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kolon yanal donatısının devamlılığının olmadığı ve kolon boyuna donatısı kenetlenme boyunun oldukça yetersiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tasarım ilkeleri açısından “güçlü kolon-zayıf kiriş” prensibinin uygulanmadığı not edilen bir diğer önemli kusurdur (Resim 3.2)



Resim: 3.2 Aynı binada güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı

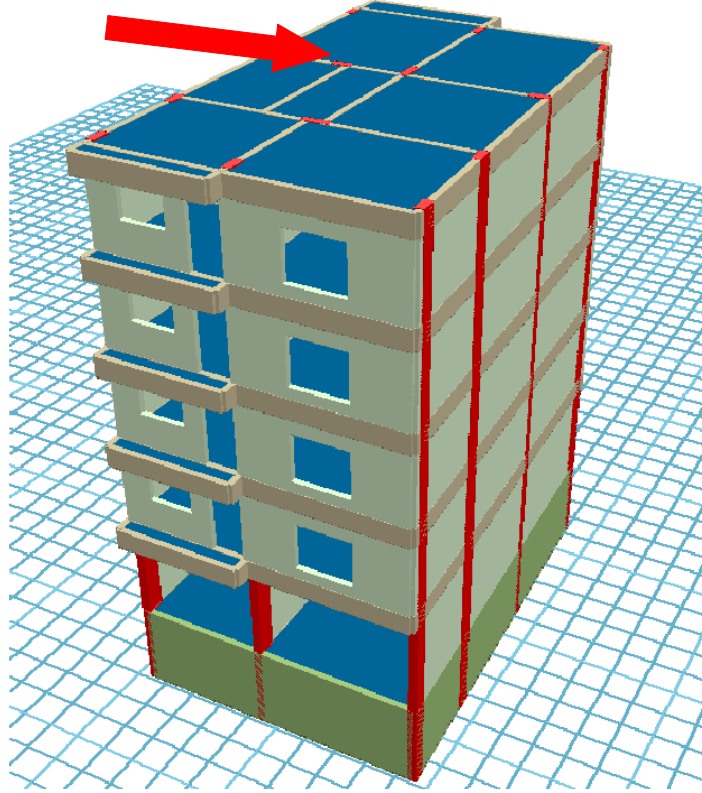
Deprem sonrası Simav Belediye'si arşivinde yapılan araştırmada göçen binaya ait betonarme projeler temin edilmiş, bina STA4cad programı ile modellenmiştir. Şekil 3.2'de zemin kat kalıp planı, Şekil 3.3'de ise bilgisayar modelinin üç boyutlu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.2: Yıkılan zemin katına ait kalıp planı

Şekil 3.2 incelendiğinde, tasarım açısından birçok kusurun olduğu göze çarpmaktadır. Yapıda kolon elemanların yönlerinin dağılımının simetrik olmadığı görülmektedir. Ayrıca yumuşak kat mekanizmasının oluştuğu doğrultuda çember içersisinde gösterilen kolonlar kirişlerle bağlanmamıştır. Ayrıca birçok aksta çerçeve süreksizliği mevcuttur

### Göçme doğrultusu



Şekil 3.3: Yıkılan binanın üç boyutlu bilgisayar modeli

Bilgisayar modellemesi STA4cad ile yapılan binanın 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre yumuşak kat düzensizliğinin olup olmadığı araştırılmıştır. Tablo 3.2'de +X, -X, +Y ve -Y yönlerine ait DBYBHY-2007 Yönetmeliği'nin 2.3.2.1 numaralı maddesine göre hesaplanan  $\Gamma_{ki}$  değerleri verilmiştir. Yönetmeliğin ilgili şartına göre bir yapıda yumuşak kat düzensizliğinden söz etmek için  $\Gamma_{ki}$  değerinin 2.0'dan fazla olması gerekmektedir. Tablo 3.2 incelendiğinde göçme mekanizmasının oluştuğu zemin katta ilgili şartın aşılmadığı görülmektedir. Dolayısıyla yönetmelik şartları bakımından yumuşak kat düzensizliğinin olmadığı kabul edilmektedir. Yapının yumuşak kat mekanizmasıyla göçmesine rağmen yönetmelik şartlarına göre güvenli sınırlar içerisinde kalması bir soru işaretidir.

Tablo 3.2: DBYBHY-2007 Yönetmeliği'nin 2.3.2.1 nolu maddesine göre hesaplanan  $\eta_{ki}$  değerleri

Kat	$\eta_{ki}$			
	X(+)	X(-)	Y(+)	Y(-)
6	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.73	1.73	1.74	1.75
4	1.38	1.38	1.38	1.38
3	1.22	1.22	1.24	1.24
2	1.05	1.05	1.11	1.12
1	0.03	0.03	0.02	0.02

### 3.1.1. Yumuşak Kat Ve Çekiçleme Etkisine Bağlı Hasarlar

Yumuşak kat düzensizliği (komşu katlar arası rijitlik düzensizliği) DBYBHY-2007 Yönetmeliği'nin 2.3.2.1 nolu maddesinde, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alttaki görel kat ötelemesine oranı ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı  $\eta_k$ 'nin 1,5'tan fazla olması durumu olarak tanımlanmaktadır (Deprem Yönetmeliği, 2007)

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (3.1)$$

$\eta_{ki}$  = i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

$(\Delta_i)_{ort}$  = Binanın i'inci katındaki ortalama görel kat ötelemesi

$(\Delta_{i+1})_{ort}$  = Binanın i+1'inci katındaki ortalama görel kat ötelemesi

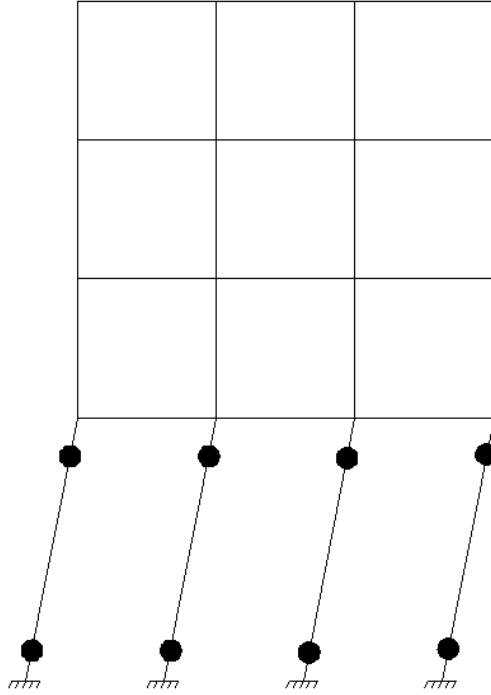
Yumuşak kat düzensizliği betonarme binaların önemli yıkılma nedenlerinden birisidir. (Adailer ve Aydıngün, 2001; Sezen v.d., 2003, Doğangün, 2004). Yumuşak kat düzensizliği yalnızca ülkemizde değil, dünyanın diğer bölgelerinde yaşanan sismik felaketlerde de önemli yıkılma nedenlerinden birisi olarak gösterilebilir. Bu nedenle birçok sismik değerlendirme raporunda yer almaktadır (Summary Report of the January 17 1995 Kobe Earthquake, 1995; Yoshimura ve Kuroki, 2003; Goel, 2003).

Ülkemizde yumuşak kat düzensizliğinin bu kadar yaygın olmasının nedeni binaların zemin katlarının otopark için veya dükkan olarak ticari amaçlar için kullanılmalarıdır (Ozmen, 2005). Zemin katlarda geniş alanlara ihtiyaç duyulması



nedeniyle üst katlara oranla çok az duvar yapılmaktadır. Üst katları konut yapısı olarak kullanılan bu binalarda duvar farkının bu denli fazla olması düşeyde bir rijitlik düzensizliğine yol açmaktadır.

Bu tip yapılarda sismik etkiler altında zemin katta oldukça büyük deformasyon talepleri oluşmakta ve deprem enerjisi tek bir katta yoğunlaşmaktadır. Yumuşak kat mekanizması nedeniyle oldukça az sayıdaki mafsal, yapı stabilitesinin kaybına sebep olmaktadır (Özmen, 2005). Şekil 3.4’da tipik bir yumuşak kat mekanizması görülmektedir.



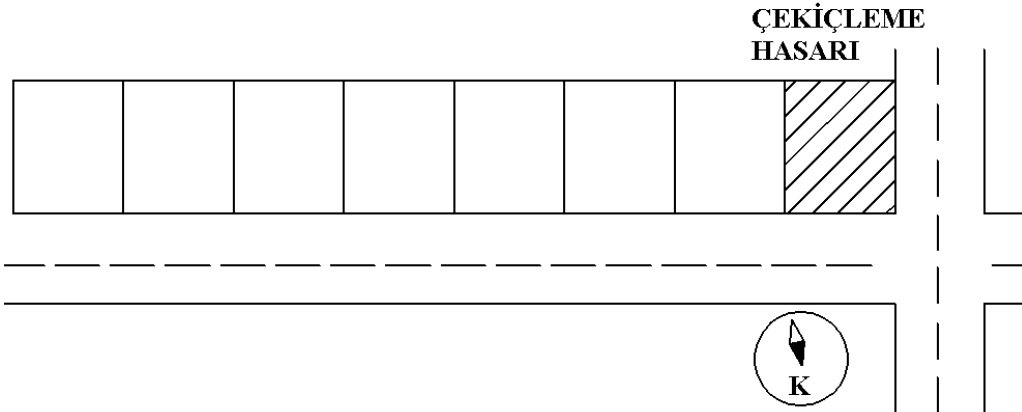
Şekil 3.4: Yumuşak kat mekanizması davranışı ve mafsal oluşumu

Çekiçleme etkisi, Simav depremi sonrasında özellikle yumuşak kat düzensizliği bulunan yapılarda ağır hasarlara neden olmuştur. Ülkemizde nüfusun yoğun olduğu yerleşim birimlerinde binalar bitişik nizamlı olarak inşa edilmeleri ve bu binaların yapısal özelliklerindeki farklılıklar bu hasar türünün önemli nedenleri arasındadır(Aslankara, 2005). Resim3.3’te görülen betonarme bina Simav Hisarardı Mahallesi’nde yer almaktadır. Yumuşak kat düzensizliği olan ve bitişik nizamlı olarak inşa edilen bina, düşey ekseninden kalıcı olarak kaymış ve ağır hasar almıştır.



Resim 3.3: Simav Depremi sonrası düşey ekseninden kalıcı olarak kaymış betonarme bina

Bina sekiz adet bitişik nizamlı yapının sonunda yer almaktadır. Binanın bir cephesinin bitişik nizamlı, diğer cephesinin ise boş olması nedeniyle yatay ötelenmesinin arttığı ve bu nedenle ağır hasar aldığı tahmin edilmektedir. Şekil 3.5'te bahsi geçen sekiz binanın yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Çekiçleme etkisi nedeniyle hasar aldığı düşünülen binanın yerleşimi

Şekil 3.5 incelendiğinde binaların kısa yönünün Doğu-Batı doğrultusunda olduğu görülmektedir. Depremın ölçülen en büyük ivme değerinin Doğu-Batı

bileşeni olduğu düşünüldüğünde, parsel yerleşiminin hasar miktarını arttırdığı söylenebilir.

Resim 3.4'te aynı binada ağır hasar almış kolon elemanı görülmektedir. Yatay ötelenme nedeniyle kolon uç bölgelerinde oluşan eğilme mafsalları çekiçleme etkisi nedeniyle yapıda yumuşak kat mekanizmasının oluştuğunu destekler niteliktedir. Eğilme davranışı nedeniyle oluşan ek basınç kuvvetleri sonucunda kolon alt ucunda dağılan beton bloğu ve burkulan boyuna donatılar oldukça hasarın oldukça ağır olduğunu göstermektedir.



Resim 3.4: Düşey ekseninden kalıcı olarak kayan binada kolon uç bölgelerinde oluşan eğilme mafsalları ve burkulan boyuna donatılar

### 3.2.Kapalı Çıkma Düzensizliğine Bağlı Hasarlar

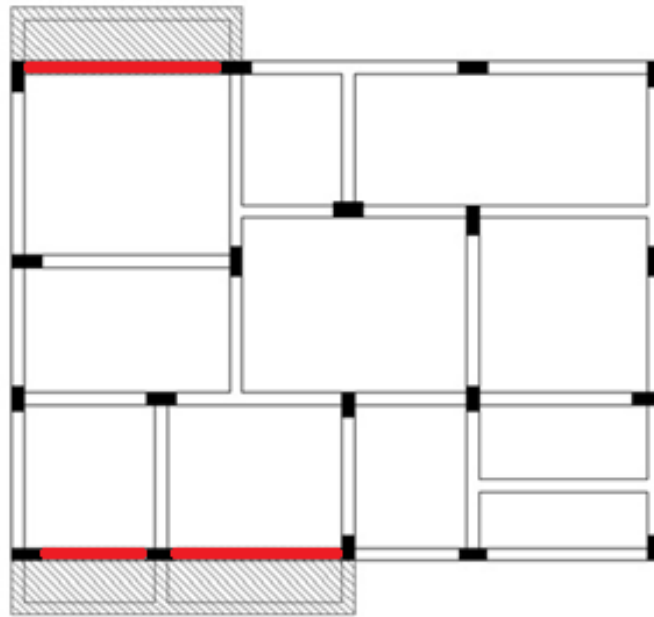
Ülkemizde birçok yapıda imar mevzuatının da izin vermesiyle zemin kat üstündeki katlarda kat alanlarının arttırılması yoluna gidilmektedir. Bunun için de yapının bir veya birkaç kenarında çıkmalar inşa edilmektedir (Özmen, 2005). Kapalı çıkmalar binanın ağırlık ve rijitlik merkezleri arasındaki farkı büyütebileceği, meydana gelen ağırlık artışının binanın deprem davranışını etkileyebileceği

bilinmektedir. Geçmiş depremlerde bunun örneklerine rastlanmıştır (Doğangün, 2004; Santiago vd., 2003).

Ayrıca depremlerin düşey ivmeleri bazı depremlerde büyük değerlere ulaşabilmektedir. Bu düşey ivmeler altında kapalı çıkma elemanlar buldukları yapı elemanlarının hasar almasına yol açabilmektedir (Özmen vd., 2011).

Ağır çıkmalara sahip binaların geçmiş depremlerde düzgün cepheye sahip binalara oranla daha fazla hasara uğradıkları gözlenmiştir (Özcebe, 2004, Sucuoğlu ve Yazgan, 2003). Güney Özcebe tarafından hazırlanan Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu'nda 3 ten fazla katlı yapılar için ağır çıkmalar, kısa kolondan daha önemli bir olumsuzluk olarak öngörülmektedir.

19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrasında birçok yapıda kapalı çıkma hasarı gözlenmiştir. Bölgede kapalı çıkmalı bina oranının yüksek olması bu oranı arttıran etmenlerden birisidir. Bölgedeki kapalı çıkmaya sahip binaların büyük çoğunluğu mimari kaygılardan ötürü kirişsiz olarak imal edilmiştir. Şekil 3.6'da tipik bir kirişsiz kapalı çıkma örneği görülmektedir. Kalıp planında yer alan taralı alanlar kapalı çıkmaları göstermektedir. Kapalı çıkma nedeniyle kaldırılan kiriş elemanlar kırmızı renkle işaretlenmiştir.



Şekil 3.6: Tipik bir kirişsiz kapalı çıkmalı binaya ait kalıp planı

Kirişsiz olarak yapılan kapalı çıkmalarda kiriş elemanların kaldırılması ile oluşan rijitlik kaybı nedeniyle sismik etkiler altında yer değiştirme talepleri artmaktadır. Bu da özellikle süneklik kapasitesi yetersiz binalarda oldukça olumsuz bir durumdur.

Resim 3.5 ve 3.6'da Simav Depremi sonrası hasar almış bir kirişli kapalı çıkma görülmektedir. Simav Halk Eğitim Merkezi olarak kullanılan bina 1998 Deprem Yönetmeliğinden önce inşa edilmiştir.



Resim 3.5: Simav Depremi sonrası hasar almış kirişsiz kapalı çıkmalı bina

Kapalı çıkmaya sahip binada yapılan gözlemsel değerlendirmelerde kapalı çıkma uzunluğunun 1.50 metre civarı olduğu tespit edilmiştir. Kapalı çıkma oranı ve bunun sonucu olarak yapıya etkileyen ek düşey yüklerin, özellikle depremin düşey bileşenin de etkisiyle hasarın önemli nedenlerinden birisi olduğu düşünülmektedir.



Resim 3.6: Kapalı çıkma hasarı sonrası döşemede oluşan çatlak

Resim 3.7’de kısmen yıkılmış bir kapalı çıkma örneği görülmektedir. Resim Nurullah Koyuncuoğlu Anadolu Lisesi’nden çekilmiştir. Kapalı çıkmanın binaya bağlantısının hatalı olduğu düşünülmektedir.



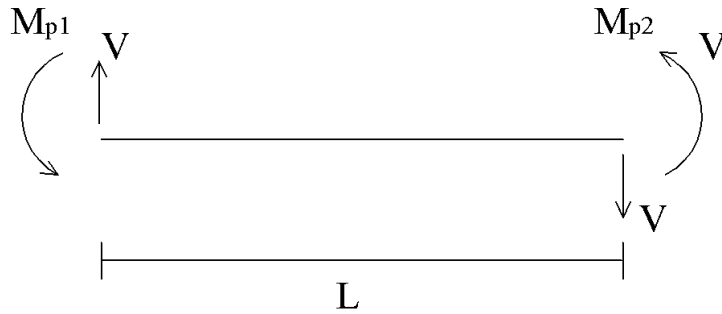
Resim 3.7: Simav Depremi sonrası göçmüş kapalı çıkma bölgesi

### 3.3.Kısa Kolon Durumuna Bağlı Gözlenen Hasarlar

Betonarme malzemesi bilindiği gibi beton ve çelik malzemesinden oluşmaktadır. Bu iki malzeme birbirini tamamlayan çok farklı özellikler taşır. Beton

kolay şekil verilebilen bir malzeme iken çelik ise betonun zayıf yönü olan çekme gerilmelerine karşı dayanıklı bir malzemedir. Fakat deformasyon açısından en önemli farkları çeliğin oldukça sünek, betonun ise oldukça gevrek bir malzeme oluşurudur. Bu durumda betonarme bir elemanda göçme davranışını beton belirliyorsa göçme gevrek, çelik belirliyorsa göçme sünek olacaktır denilebilir. Betonarme yapılarda göçme davranışına çeliğin hakim olması ancak eğilme etkisi altında elemanlarda plastik eğilme mafsalları oluşmasıyla mümkündür. Kısa kolon davranışı betonarme elemanlarda donatının akması ve kesitin dönmesi neticesinde uzayarak enerji sönümlemesine fırsat kalmadan elemanın kesme dayanımının aşılması durumunda göçme durumuna gelmesine neden olan çok olumsuz bir davranış şeklidir.

Bu davranışa kısa kolon denmesinin nedeni elemanın kesme neticesinde göçüp göçmemesinin elemanın boyu ile alakalı olmasıdır. Statik kuralları gereği hareketsiz bir elemanda her an için moment dengesi olmalıdır. Şekil 3.7’de görülen iki ucunda plastik mafsal oluşarak momentlerin sabitlendiği bir eleman için denge denklemini yazalım (Denklem 3.2a)



Şekil 3.7: İki ucu mafsallı bir elemanın serbest cisim diyagramı

$$M_{p1} + M_{p2} = V * L \quad (3.2a)$$

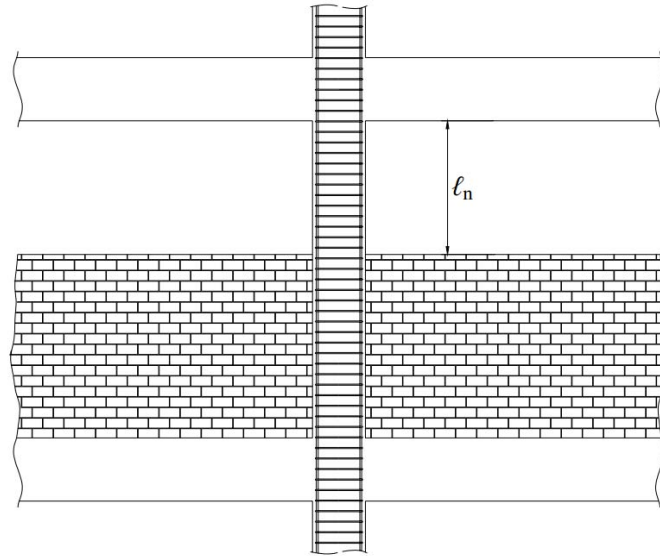
$$V = \frac{M_{p1} + M_{p2}}{L} \quad (3.2b)$$

$M_{p1}$ = Eleman sol ucunun plastik dönme kapasitesi,  $M_{p2}$ = Eleman sağ ucunun plastik dönme kapasitesi,  $V$ = Kesme kuvveti,  $L$ =Eleman net uzunluğu

Bir eleman kesit moment kapasitesine ulaştığında plastik mafsallar oluşarak bu noktalardaki moment sabitlenecektir. Denklem 3.2a'ya göre toplam moment sabitlendiğinde eleman boyu da sabit olduğuna göre kesme kuvveti de sabit hale gelerek daha fazla artmayacaktır. Bu denklemden kesme kuvveti ne çekilirse (Denklem 3.2b) elemanın alacağı maksimum kesme kuvvetinin eleman boyu ile ters orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Bu sebeple eleman boyu kısaldıkça üzerine gelen kesme kuvveti artacaktır.

Elemana gelen kesme kuvvetinin net açıklıkla ters orantılı olduğu belirtilmişti. Yani eleman net açıklığı özellikle kolonlar için yanlarına eklenen başka elemanlar ile Şekil 3.8'de olduğu gibi kısaldıkında veya iki ucu arasında başka bir eleman bağlandığında kesme kuvveti de artmış olmaktadır.

Kısa kolon davranışı ülkemizde ve dünyada birçok binanın deprem sırasında hasar görmesine yol açmıştır(Doğangün,2004; Santiago vd.,2003, Watanabe,1997). Bu sebeple önemli yapısal düzensizlikler arasında yer almaktadır.



Şekil 3.8: Kolon net açıklığının azaltılması

Resim 3.8'de Simav Cumhuriyet Lisesi'nde gözlenen tipik bir kısa kolon hasarı gösterilmektedir. Kolon yanlarına yerleştirilen bant pencereler kısa kolon davranışına neden olmuş, kolon elemanı ağır kesme hasarı almıştır.





Resim 3.8: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası Cumhuriye Lisesi'nde gözlenen kısa kolon hasarı

Resim 3.9'da ise Simav Depremi sonrası kısa kolon düzensizliği bulunan bir konut binası verilmiştir. Yapılan incelemelerde kabuk betonu dökülen kısa kolonda etriye çapının 10 mm, etriye aralığının 12 cm olduğu tespit edilmiştir. Etriye uçlarının 90° kıvrıldığı kolon elemanda boyuna donatıların bir miktar burkulma eğilimi gösterdiği gözlenmekle birlikte herhangi bir kesme hasarına rastlanmamıştır. Görece yeterli yanal donatı oranının daha ağır bir hasarı önlediği düşünülmektedir.



Resim 3.9: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası gözlenen kısa kolon hasarı

Kısa kolon hasarı yalnızca bant pencere gibi net açıklığı azaltan uygulamalar sonrasında oluşmayabilir. Bazı durumlarda dolgu duvar davranışı nedeniyle kısa kolon davranışı gösteren kolon elemanlara rastlamak mümkündür. Betonarme sistemin sismik talepler altında yaptığı şekil değiştirmeler sonucunda dolgu duvarlarda kısmi yıkılmalar olabilir. Kolon kenarlarında meydana gelen kısmi bir dolgu duvar yıkılması, tıpkı bant pencereler gibi kolon net açıklığını düşürmekte, ağır kısa kolon hasarlarına sebebiyet verebilmektedir (İnel vd., 2011). Resim 3.10’da bu durumun tipik bir örneği yer almaktadır. Simav Gökçeler Köyü’nde bulunan yapıda kısa kolon hasarı, kolona komşu dolgu duvarların kısmi yıkılması sonucu oluşmuştur.



Resim 3.10: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası dolgu duvar davranışı nedeniyle oluşan kısa kolon hasarı.

Dolgu duvarların sismik etkiler altında betonarme eleman davranışına göre son derece gevrek olmaları kolayca hasar almalarına neden olmaktadır (Kaplan, 2008). Ayrıca dolgu duvarın davranışı kullanılan harç, usta işçiliği gibi birçok parametreden kolayca etkilenebilmektedir.

Dolgu duvar davranışı nedeniyle Simav Depremi sonrasında hasar almış birçok kolon eleman gözlenmiştir. Resim 3.11’de söz edilen durumla ilgili örnekler yer almaktadır. Gözlemler sonrası dolgu duvar-betonarme sistem etkileşimi ve olumsuz etkileri konusuna yeterince önem verilmediği değerlendirilmiştir.



Resim 3.11: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası dolgu duvar davranışı nedeniyle oluşan kolon hasarları

#### **3.4. Donatı Detaylandırma Hataları Nedeniyle Gözlenen Hasarlar**

Donatı detaylandırma hatalarına özellikle 1998 Deprem Yönetmeliği öncesinde yapılan yapılarda sıkça rastlanmaktadır. Simav depremi sonrasında ağır hasar alan binaların büyük çoğunluğunda tipik donatı kusurları olduğu gözlenmiştir. Birleşim bölgelerinde kolon yanal donatısının devam ettirilmemesi, donatı kenetlenme boyunun yetersiz alınması çok karşılaşılan detaylandırma hatalarının başlıcalarıdır.

Eski betonarme yapılarda boyuna donatıların uçlarına kanca yapıldığı gözlenmiştir. Resim 3.12’de Simav depremi sonrasında ağır hasar görmüş bir kolon elemanı görülmektedir. Beyce İlköğretim Okulu olarak kullanılan yapı birçok olumsuz uygulama ve detaylandırma kusuru barındırmaktadır. Nitekim bina 2010 yılında Pamukkale Üniversitesi İnşaat ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından incelenmiş, deprem yüklerini mevcut haliyle güvenle taşıyamayacak durumda olduğu belirlenmiştir (İnel vd., 2010). İnceleme raporu sonrasında boşaltılan bina 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrası ağır hasar almıştır.

Resim 3.12 incelendiğinde birleşim bölgesi donatı detaylandırmasında birçok hata olduğu göze çarpmaktadır. Kiriş yanal donatıları uç bölgede birbirine bitişik şekilde uygulanmış, beton ile bütünleşmesi sağlanamamıştır. Kiriş boyuna donatılarının ucuna kanca yapılmıştır ve uç bölgede yanal donatının dışında devam etmektedir. Kolon yanal donatıları ise kolon-kiriş birleşim bölgesinde devam etmemektedir. Ayrıca kolon boyuna donatıları kenetlenme boyu yetersizdir. Bu sebeple donatılar birleşim bölgesinden sıyrılmıştır.



Resim 3.12: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası birleşim bölgesi ağır hasar almış betonarme yapı

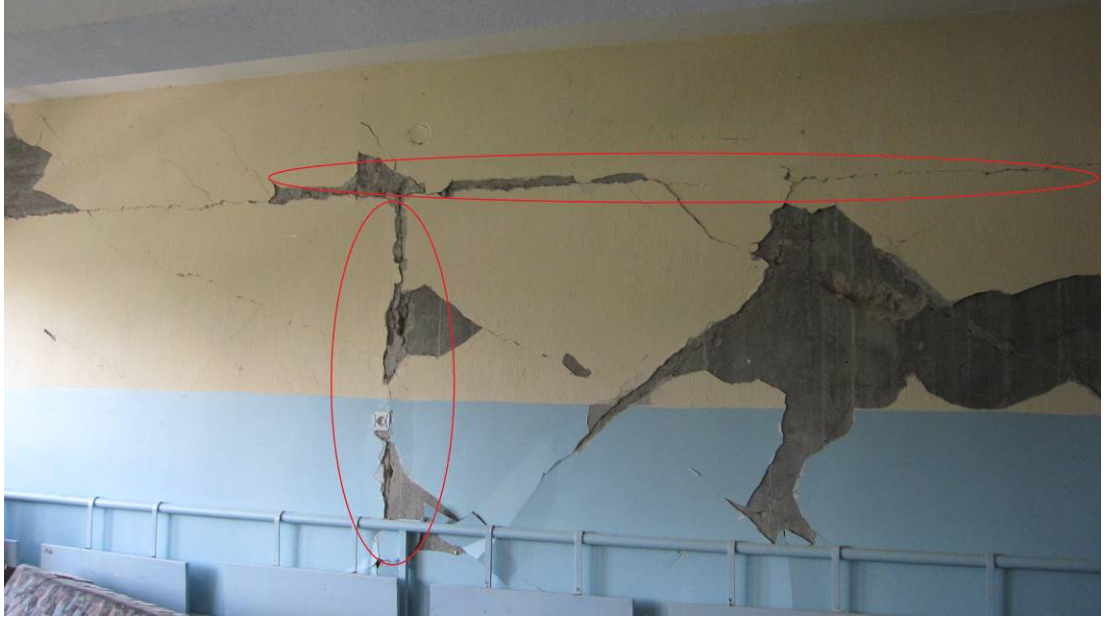
Resim 3.13’de Simav Nurullah Koyuncuoğlu Anadolu Lisesi’ne ait ağır kesme hasarı almış bir kolon elemanı görülmektedir. Yapılan incelemede kolon yanal

donatısının orta bölgede yaklaşık 30 cm ara ile yerleştirildiği görülmüştür. Ayrıca kolon üst bölgesinde yanıl donatı düzenli yerleştirilmemiştir. Bu sebeple iki yanıl donatı arası aralık yer yer 30 santimetrenin üzerine çıkmaktadır.



Resim 3.13: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası ağır kesme hasarı almış kolon elemanı

Hatalı detaylandırılan betonarme perdeler Simav Depremi sonrası hasar almıştır. Resim 3.14'te yetersiz kenetlenme boyu nedeniyle kiriş seviyesinden ayrılmış betonarme perde eleman görülmektedir. Ayrıca muhtemel donatı süreksizliği nedeniyle perde elemanda gözlenen boyuna çatlaklar dikkat çekicidir. Betonarme perde elemanların benzer nedenlerle kat seviyesinden ayrıştığı birçok örnek 23 Ekim 2011 Erciş Depremi sonrasında da gözlenmiştir (İnel vd., 2012).



Resim 3.14: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası kat seviyesinden ayrılmış betonarme perde elemanı

### 3.5.Yapısal Olmayan Hasarlar

Yapısal olmayan deprem hasarları sismik felaketler sonrası can ve mal kayıplarına neden olmasına rağmen üzerinde yeteri kadar durulmayan önemli bir konudur (Boduroğlu, 2011). Yapılan bir araştırmaya göre 1999 Kocaeli Depremindeki yaralanmaların %50'si, ölümlerin %3' yapısal olmayan eleman hasarlarından kaynaklanmıştır(AHEP, 2004).

Simav depremi sonrasında dolgu duvar hasarları oldukça yaygın olarak gözlenmiştir. Bölgenin soğuk iklimi nedeniyle dolgu duvarların arasına konan yalıtım malzemesi hatalı olarak uygulanmaktadır. Resim 3.15'te bu sebeple yıkılmış dolgu duvar rneği gösterilmektedir. Çift kat örülen ve arasına strafor konulan duvarda birlik sağlanamamış ve kısmi göçme yaşanmıştır.



Resim 3.15: 19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası hatalı yalıtım uygulaması nedeniyle yıkılmış dolgu duvar

Bölgede yapılan incelemelerde çatı uygulamalarında önemli hataların yapıldığı gözlenmiştir. Bu sebeple birçok yapının çatı katı kısmi olarak göçmüş ya da ağır hasar almıştır. Nitekim Simav Depremi sonrası çatı katından düşen parçalar nedeniyle bir vatandaşımız hayatını kaybetmiştir (Resim 3.16).

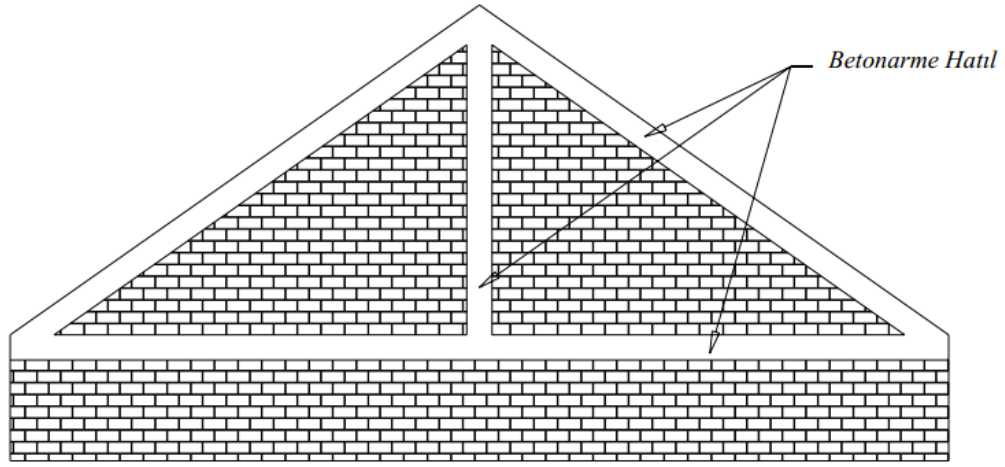


Resim 3.16: 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrası yıkılan ve bir vatandaşımızın ölümüne sebebiyet veren kalkan duvar.

Çatı katı uygulamalarında gözlenen en büyük hata kalkan duvarın betonarme bir çerçeve içerisine alınmamasıdır (Baytop, 2010). DBYBHY-2007’de çerçeve içerisine alınmayan kalkan duvarlar için bir sınırlandırma getirilmiştir. Buna göre “en



üst katta yatay hatıla oturan çatı kalkan duvarın yüksekliği 2.0 m'den büyük ise düşey ve eğik hatıllar yapılacaktır(Şekil 3.9).



Şekil 3.9: DBYBHY-2007'ye göre 2.0 metreden büyük kalkan duvarların çerçeve içerisine alınması

19 Mayıs 2011 Simav depremi sonrası çerçeve içerisine alınmayan ve bu nedenle yıkılan birçok kalkan duvar bulunmaktadır. Resim 3.17'de bu sebeple yıkılan ve ağır hasar alan iki kalkan duvar örneği gösterilmiştir.



Resim 3.17 Çerçeve içerisine alınmamış ve hasar almış kalkan duvar örnekleri

## 4.VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN HIZLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

2011 .Yılında Pamukkale Üniversitesi ve Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı işbirliği ile 19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrası hasar tespit çalışmalarında “orta hasarlı” olarak nitelendirilen yapıların güçlendirmeye uygun olup olmadığının belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır (İnel vd., 2011b). Çalışmanın kapsamı ile ilgili ayrıntılı bilgiler 5. Bölümde verilmiştir. Bu bölümde betonarme binaların değerlendirilmesinde kullanılan hızlı değerlendirme metotları anlatılmaktadır.

### 4.1.P25 Metodu

P25 Metodu “sıfır can kaybı projesi” ve “P5” yöntemi adıyla anılan depremde zar görmesi muhtemel binaların hızlı bir şekilde değerlendirilmesini hedefleyen bir çalışmanın (Tezcan ve Akbaş, 1996) devamı olarak geliştirilmiştir.106M278 Numaralı Tubitak Projesi kapsamında daha çok binaya uygulanarak kalibre edilmiş ve yeniden düzenlenerek P25 metodu adını almıştır.

Söz konusu yöntemde yapıda mevcut kolon, perde ve dolgu duvar boyutları, rijitlikleri, taşıyıcı sistem düzeni, bina yüksekliği, yönetmelikte tanımlanan çeşitli yapısal düzensizlikler, malzeme ve zemin özellikleri gibi parametreler üzerinden hesap yapılarak bulunan  $P_1$  puanı ile birlikte, binanın değişik göçme modlarını da göz önüne alan toplam yedi adet göçme puanı hesaplanmaktadır. Son olarak, bu puanların birbirleri ile etkileşimini, binanın yapısal ve çevresel özellikleri, binanın bulunduğu bölge ve deprem verilerini de göz önüne alan bir P sonuç puanı belirlenmektedir. Elde edilen P Sonuç puanının az, orta veya yüksek riskli bölgeye düşmesi durumuna göre yapının göçme riski hakkında ya kesin bir bilgi edinilmekte veya finansal verilere göre belirlenen bir kararsızlık bandı içine düşmesi halinde,

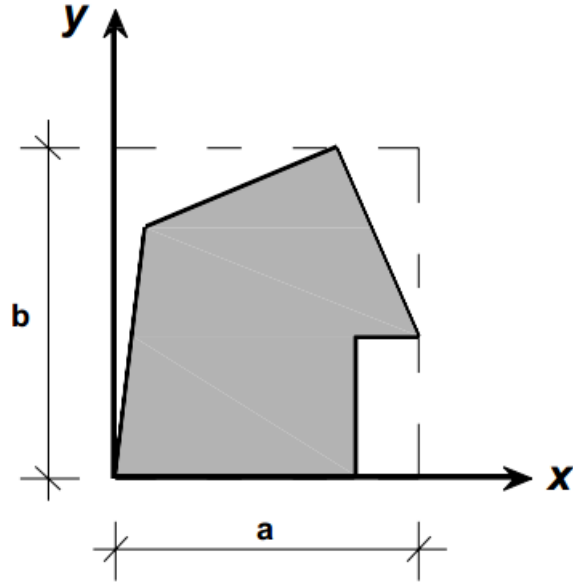
kapsamlı inceleme yapılarak gerekirse yıkılması veya güçlendirilmesi önerilmektedir (Bal vd., 2007).

Önerilen hızlı değerlendirme yönteminde binanın P-sonuç puanını hesaplayabilmek için öncelikle söz konusu binanın  $P_1, P_2, \dots, P_7$  olmak üzere 7 ayrı göçme riskini temsil eden 7 farklı değerlendirme puanı hesaplanır. Bu risklerin birbirleri ile etkileşime girip girmediklerini saptamak için her  $P_i$  puanı için belirlenen ağırlık çarpanı da dikkate alınarak  $P_w$ - ağırlıklı ortalama puan hesaplanır. Daha sonra,  $P_i$  puanlarının en küçüğü olan  $P_{\min}$  puanı için  $P_w$ -ağırlıklı ortalama puanına bağlı olarak  $P_i$  göçme ölçütlerinin birbirleri ile etkileşimini temsil eden bir  $\beta$ -çarpanı bulunur.

Elde edilen puan, binanın önem derecesini, bölgenin depremsellik derecesini, binanın hareketli yük katsayısını ve binanın oturduğu arazinin topografyasını temsil eden bir  $\alpha$ - çarpanı ile düzeltme yapılır. Elde edilen P- sonuç performans puanının değerine göre söz konusu binanın yıkılma potansiyeli olup olmadığı konusunda bilgi edinilir.

#### **4.1.1. Kritik Kat Seçimi**

Söz konusu binanın zemin kat taban alanı, kenarları  $a$  ve  $b$  olan bir dikdörtgen içine oturtularak (Şekil 4.1) binanın  $A_e$  efektif kat alanı bulunur ( $A_e = a \cdot b$ ). Daha sonra, en fazla hasar potansiyeli olan bir kritik kat seçilir. Kritik kat genellikle binanın zemin katıdır. Binada bodrum katın hiç istinat perdesi bulundurmaması durumunda, kritik kat bodrum kat olabilir. Hangi katın kritik kat olduğundan şüpheye düşüldüğü durumlarda, hesapların şüphe duyulan her kat için yapılması ve en olumsuz puanın binanın performans puanı olarak kabul edilmesi doğru bir yaklaşım olacaktır.



Şekil 4.1: Örnek bina zemin kat kalıp planı

#### 4.1.2. Ca, Enkesit Alanı Endeksi Bileşkesi

Önce kritik katta bulunan kolon, perde ve dolgu duvarların enkesit alanları ve atalet momentleri ve daha sonra alan ve atalet momenti endeksleri hesaplanır. Alan endeksi, kolon, perde ve dolgu duvar alanlarının efektif kat alanına oranı olarak tarif edilir. Elbette bu oran, elemanların her iki yöndeki etkili kesme alanlarına dayandığı için, binanın oturtulduğu kartezyen sisteminde kabul edilen x ve y yönleri için farklı sonuçlar verecektir. Alan endeksleri  $C_{Ax}$  ve  $C_{Ay}$  aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$C_{ax} = 2(10^5) * A_{ef,x} / A_e \quad (4.1)$$

$$C_{ay} = 2(10^5) * A_{ef,y} / A_e \quad (4.2)$$

$$A_{ef,x} = A_c + A_{sx} + (E_m / E_c) / A_{wx} \quad (4.3)$$

$$A_{ef,y} = A_c + A_{sy} + (E_m / E_c) / A_{wy} \quad (4.4)$$

$A_c$ : Kritik kattaki kolon enkesit alanları toplamı

$A_{sx}$ : Kritik kattaki betonarme perde duvarların enkesit alanları toplamı

$A_{wx}$ : Kritik kattaki dolgu duvarların enkesit alanları toplamı

$E_m/E_c$ : Dolgu duvar elastisite modülünün beton elastisite modülüne oranı= 0.15

Bu alan endekslerinin küçüğüne ‘minimum’, büyüğüne ‘maksimum’ bileşen gözü ile bakılarak  $C_A$ – Alan Endeksi Bileşkesi için ağırlıklı bir ortalama endeks hesaplanır

$$C_{A,\min} = \text{Min}(C_{Ax}, C_{Ay}) \quad (4.5)$$

$$C_{A,\max} = \text{Max}(C_{Ax}, C_{Ay}) \quad (4.6)$$

$$C_A = \sqrt{(0.87C_{A,\min})^2 + (0.5C_{A,\max})^2} \quad (4.7)$$

#### 4.1.3. $C_I$ , Atalet Momenti Endeksi Bileşkesi

Her iki yöndeki atalet momenti endeksleri ve bunların bileşkeleri olan  $C_I$  – Atalet Momenti Endeksi Bileşkesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$C_{I,x} = 2(10^5)(I_{ef,x} / I_x)^{0.2} \quad (4.8)$$

$$C_{I,y} = 2(10^5)(I_{ef,y} / I_y)^{0.2} \quad (4.9)$$

$$I_x = a^3b / 12 \quad (4.10)$$

$$I_y = ab^3 / 12 \quad (4.11)$$

$$I_{ef,x} = I_{cx} + I_{sx} + (Em / Ec)I_{wx} \quad (4.12)$$

$$I_{ef,y} = I_{cy} + I_{sy} + (Em / Ec)I_{wy} \quad (4.13)$$

$$C_{I,\min} = \min(C_{Ix}, C_{Iy}) \quad (4.14)$$

$$C_{I,\max} = \max(C_{Ix}, C_{Iy}) \quad (4.15)$$

$$C_I = \sqrt{(0.87C_{I,\min})^2 + (0.50C_{I,\max})^2} \quad (4.16)$$

$I_x$  ve  $I_y$  :Bina taban alanını içine alan dikdörtgenin x ve y yönündeki atalet momentleri

$I_{cx}$  ve  $I_{cy}$  : Kritik kat kolonlarının x ve y yönüne göre atalet momentleri toplamı  
 $I_{sx}$  ve  $I_{sy}$  : Kritik kat perdelerinin x ve y yönüne göre atalet momentleri toplamı,  
 $I_{wx}$  ve  $I_{wy}$ : Kritik kat dolgu duvarlarının x ve y yönüne göre atalet momentleri toplamı  
 $C_I$ : Atalet momenti endeksinin bileşkesini göstermektedir

$C_A$  ve  $C_I$ , alan ve atalet momenti endekslerinin bileşkeleri, depremin binanın zayıf yönüne  $30^\circ$  açı ile geldiği yaklaşıma dayanılarak hesaplanmaktadır.

#### 4.1.4. $P_0$ Taşıyıcı Sistem Puanı

Binanın taşıyıcı sistem özelliklerini yansıtan  $P_\sigma$  puanı aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$P_0 = \max(C_A, C_I) / h_0 \quad (4.17)$$

$$h_0 = -0.6H^2 + 39.6H - 13.4 \quad (4.18)$$

#### 4.1.5. $P_1$ Temel Yapısal Puanı

Yapısal düzensizlik katsayıları olan  $f_i$  katsayılarının tanımları ve aldıkları değerler Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu değerlerin  $P_0$  puanı ile arka arkaya çarpılması suretiyle  $P_1$  puanı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$P_1 = P_0 \left( \prod_{i=1}^{14} f_i \right) \quad (4.19)$$

Tablo 4.1: Yapısal Düzensizlik Katsayıları ( $f_i$ )

Katsayı	Tanım	Risk Seviyesi		
		<i>Yüksek</i>	<i>Az</i>	<i>Yok</i>
$f_1$	Burulma Düzensizliği	0.90	0.95	1.00
$f_2$	Döşeme Süreksizliği	0.90	0.95	1.00
$f_3$	DüşeyDoğrultuda Süreksizlik	0.65-0.75	0.90	1.00
$f_4$	Kütle Düzensizliği	0.90	0.95	1.00
$f_5$	Korozyon Mevcudiyeti	0.90	0.95	1.00
$f_6$	Ağır Cephe Elemanları	0.90	0.95	1.00
$f_7$	Asma Kat Mevcudiyeti ( $\gamma$ = Asma Kat/ Kat Alanı)	0.90 $\gamma \geq 0.25$	0.95 $0 < \gamma < 0.25$	1.00 $\gamma = 0$

Katsayı	Tanım	Risk Seviyesi		
		<i>Yüksek</i>	<i>Az</i>	<i>Yok</i>
$f_8$	Katlarda Seviye Farkı veya Kısmi Bodrum	0.80	0.90	1.00
$f_9$	Beton Kalitesi <sup>(1)</sup>	$f_9 = (f_c/20)^{0.5}$		
$f_{10}$	Zayıf Kolon-Kuvvetli Kiriş <sup>(2)</sup>	$f_{10} = [(I_x + I_y)/2I_b]0.15 \leq 1.0$		
$f_{11}$	Etriye Sıklığı <sup>(3)</sup>	$f_{11} = 0.60 \leq (10/s)^{0.25} \leq 1.0$		
$f_{12}$	Zemin Sınıfı	0.90 (Z4)	0.95 (Z3)	1.00 (Z2, Z1)
$f_{13}$	Temel Tipi	0.80-0.90 (Tekil)	0.95 (Sürekli)	1.00
$f_{14}$	Temel Derinliği	0.90 (1m'den az)	0.95 (1-4 m arası)	1.00 (4 m'den fazla)

$f_c$ , Betonun MPa cinsinden beton kalitesidir

$I_x$ ,  $I_y$  değerleri, kritik kat kolonlarının ortalama boylarından elde edilen atalet momentleri,  $I_b$  ise kritik katta en çok tekrar eden kirişin atalet momenti ves, cm cinsinden sarılma bölgesinde etriye aralığıdır.

#### 4.1.6.P<sub>2</sub> Kısa Kolon Puanı

P<sub>2</sub>- Kısa Kolon Puanının puanlama sistemi Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2: Yapısal Düzensizlik Katsayıları ( $f_i$ )

Kısa Kolonların Bulunma Oranı	Kısa Kolon boyu/ Kat Yüksekliği			
	(0.75-1.00)h	(0.40-0.75)h	(0.15-0.40)h	(0.00-0.15)h
Az (%5'den az)	70	64	57	50
Bazı (%5-%15)	60	50	44	37
Fazla (%15-30)	50	40	30	24
Çok Fazla (%30'dan fazla)	40	30	20	10

#### 4.1.7.P<sub>3</sub> Yumuşak Kat Puanı

Giriş katında kat yüksekliğinin çeşitli amaçlarla normalden yüksek tutulması ve/veya bina yatay dayanımına katkısı olan yığma dolgu duvarlarının giriş katında bulunmaması gibi nedenlerle giriş katları zayıf hale getirilmekte ve hasarın odak noktası olmaktadır P<sub>3</sub> puanı Denklem 4.20'de verilmiştir.

$$P_3 = 100[r_a r_r (h_{i+1} / h_i)^3]^{0.60} \quad (4.20)$$

$$r_a = (A_{ef,i} / A_{ef,i+1}) \leq 1 \quad (4.21)$$

$$r_r = (I_{ef,i} / I_{ef,i+1}) \leq 1 \quad (4.22)$$

$r_a$ = Kritik kat ve bir üstündeki katın kolon, perde ve dolgu duvarlarının efektif alan cinsinden birbirlerine oranı

$r_r$ = Kritik kat ve bir üstündeki katın kolon, perde ve dolgu duvarlarının efektif atalet momenti cinsinden birbirlerine oranı

#### 4.1.8.P<sub>4</sub> Çıkmalar ve Çerçeve Süreksizliği Puanı

Ülkemizde çok yaygın olarak kullanılan, giriş katın üstündeki ağır çıkmalar hem binada kütle düzensizliğine ve deprem moment kolunun yukarılara taşınmasına neden olmakta, hem de dış cephe kolonları arasındaki kiriş akslarının ötelenmesi yolu ile çerçeve süreksizliği oluşturmaktadır. Oluşturulan çerçeve süreksizliği puanı, P<sub>4</sub> Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: P<sub>4</sub>- Çıkmalar ve Çerçeve Süreksizliği Puanı

Çerçeve Kirişleri	Çıkmanın Bulunma Oranı		
	<i>Tek Cephe</i>	<i>İki Cephe</i>	<i>Üç-Dört Cephe</i>
Var	90	80	70
Yok	70	60	50

#### 4.1.9.P<sub>5</sub> Çarpışma Puanı

Bitişik nizam iki binanın çarpışma riskini temsil eden P<sub>5</sub> çarpışma puanı Tablo 4.4’de yer almaktadır.

Tablo 4.4: P<sub>5</sub>- Çarpışma Puanı Matrisi

Çarpışma Türü	Merkezi Çarpışma		Dış Merkezli Çarpışma	
	<i>Aynı Seviyede Döşeme</i>	<i>Farklı Seviyede Döşeme</i>	<i>Aynı Seviyede Döşeme</i>	<i>Farklı Seviyede Döşeme</i>
Birbirine bitişik binalarda uç bina	35	15	20	10
Bir bina diğerinden daha rijit ve veya ağır	40	25	30	20



Alçak bina ile yüksek bina komşu	50	30	30	20
Binalar aynı yükseklikte	70	60	60	50

#### 4.1.10.P<sub>6</sub> Sıvılaşma Potansiyeli Puanı

Sıvılaşma potansiyeli puanları yeraltı su seviyesine (YASS) göre Tablo 4.5'te verilmiştir. Herhangi bir bölgede hızlı veya daha ayrıntılı değerlendirmeye gidilmeden önce zemin özelliklerinin saptanması zorunludur. Sıvılaşma potansiyeli çeşitli zemin parametrelerine bağlı olarak 'az', 'orta' ve 'yüksek' olarak tayin edilmelidir. Sıvılaşma potansiyeli olmayan zeminlerde P<sub>6</sub> =100 alınır.

Tablo 4.5: P<sub>6</sub>- Sıvılaşma Potansiyeli Puanları

YASS	Hesaplanan Sıvılaşma Potansiyeli		
	<i>Az</i>	<i>Orta</i>	<i>Yüksek</i>
>10.0 m	60	45	30
2.0m-10.0 m	45	33	20
<2.0 m	30	20	10

#### 4.1.11.P<sub>7</sub> Toprak Hareketleri Puanı

Çeşitli toprak hareketleri için puanlama matrisi Tablo 4.6'da verilmiştir. Bu tabloya girebilmek için, her şeyden önce zemin parametrelerinin tayin edilmesi ve bu parametrelerin ışığında a) büyük oturmalar, b) yanal dağılma, c) heyelan ve d) istinat duvarı göçmesi gibi 4 ayrı cins zemin hareketinden herhangi birinin olup olmayacağı saptanmalıdır. Herhangi bir toprak hareketi ihtimali saptanmışsa yeraltı su seviyesine (YASS) göre, Tablo 4.6'dan uygun P<sub>7</sub> puanı seçilir.

Tablo 4.6: P<sub>7</sub>- Toprak Hareketleri Puanı

Zemin Sınıfı	YASS	P7- Puanı
Z1,Z2	-	100
Z3	YASS ≤ 5.0 m	25
	YASS > 5.0 m	35
Z4	YASS ≤ 5.0 m	10
	YASS > 5.0 m	20

#### 4.1.12.a Düzeltme Çarpanı

Çeşitli göçme kriterlerini temsil eden  $P_i$  puanları arasından seçilecek  $P_{\min}$  minimum puanının binanın ve yörenin özelliklerine göre ayrıca bir  $\alpha$  çarpanı ile düzeltilmesi gerekmektedir.  $\alpha$  çarpanı; bina önem katsayısı  $I$ , deprem bölgesine göre tayin edilen efektif ivme katsayısı  $A_0$ , hareketli yük çarpanı  $n$  ve topografik konum katsayısı  $t$  göz önüne alınarak Denklem 4.23 yardımı ile hesaplanır.

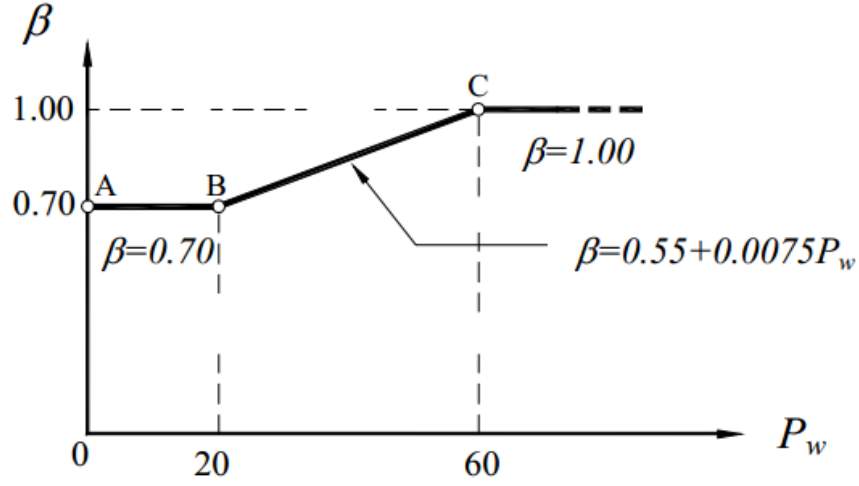
$$\alpha = (1/I)(1.4 - A_0)[1 / (0.4n + 0.88)]t \quad (4.23)$$

Topoğrafik  $t$  katsayısının nominal değeri  $t = 1.0$ 'dir. Bu katsayı, incelenen binanın bir tepenin üstüne kurulu olması durumunda  $t = 0.7$  ve dik bir yamaçta kurulu olması durumunda ise  $t = 0.85$  değerini almaktadır.

#### 4.1.13.β Düzeltme Çarpanı

Binanın sonuç performans puanı daha önce hesaplanan 7 adet  $P_i$  puanın ağırlıklı olarak birbirleri ile etkileşimleri yolu ile belirlenmektedir. Bunun için önce  $P_i$  puanları içinden  $P_{\min}$  minimum puanı saptanır ve ağırlık katsayısı olarak  $w = 4$  ile çarpılır. Diğer  $P_i$  puanları Tablo 4.7'de verilen ağırlık puanları ile çarpılarak Denklem 4.24 yardımı ile ağırlıklı ortalama puanı  $P_w$  saptanır. Ağırlıklı ortalama puanı  $P_w$  kullanılarak Şekil 4.2 yardımı ile bir  $\beta$  – Düzeltme çarpanı elde edilir.

$$P_w = \sum (w_i P_i) / \sum w_i \quad (4.24)$$



Şekil 4.2:  $\beta$  Katsayısının Değişimi (Referans)

Tablo 4.7: P- puanları ağırlık puanları

Ağırlık Puanı	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
w	4	1	3	2	1	3	2	4

#### 4.1.14.Sonuç Puanı

Yukarıda hesaplanan  $\alpha$  ve  $\beta$  – çarpanları yardımı ile binanın performansını belirleyen P sonuç puanı Denklem 4.25'e göre hesaplanır. Burada Pmin birbirinden bağımsız olarak hesaplanan ve yukarıda ayrıntıları ile açıklanan 7 adet  $P_i$  değerlendirme puanı arasından en küçüğüdür.

$$P = \alpha \beta P_{\min} \quad (4.25)$$

#### 4.2.Yakut Yöntemi

Ülkemiz koşulları dikkate alınarak betonarme yapı sistemleri için geliştirilen hızlı değerlendirme yöntemlerinden birisi de Ahmet Yakut tarafından geliştirilen yöntemdir (Yakut 2004). Yöntemin uygulanabilmesi için bina taşıyıcı sisteminin zemin kat ölçüleri ve beton dayanımının bilinmesi gerekmektedir. Öncelikle bu

bilgiler ve Denklem 4.26 kullanılarak her bir eleman için kesme dayanımı (etriye katkısı ihmal edilerek) hesaplanır.

$$V_{ci} = c\alpha f_{ctk} b_w h \quad (4.26)$$

Denklemde;

$V_{ci}$ : Etriye katkısını dikkate almadan bulunan eleman kesme dayanımı

$c$ = Eleman yönü ile ilgili katsayı

$\alpha$ = Dayanım azaltma katsayısı ve çekme dayanımının kesme dayanımına çevrilmesi etkilerini içeren katsayı

$f_{ctk}$ = Beton karakteristik çekme dayanımı

$b_w$ = Eleman genişliği

$h$ = Eleman derinliğini ifade etmektedir.

$\alpha$  katsayısı 0.65 olarak alınmaktadır. Eğer kesme dayanımı hesaplanan elemanın uzun yönü hesabın yapıldığı yönde ise  $c$  katsayısı 2/3 olarak, aksi durumda 1/3 olarak alınmaktadır. Perde elemanlarda uzun yönleri için  $c$  değeri 1 alınacaktır.

Zemin katta her bir eleman için hesaplanan bu değerler toplanarak tüm bina taban kesme dayanımı ( $V_c$ ) elde edilir. Yöntem bu değerden bina akma dayanımının elde edilmesine dayanmaktadır. Bu amaçla 1999 Düzce Depremi'nden sonra Düzce kentinde incelenen binalardan ve bazı kamu binalarından seçilen 40 adet bina kullanılarak Denklem 4.27 geliştirilmiştir.

$$V_y = \frac{V_c}{0.95e^{0.125n}} \quad (4.27)$$

$V_y$ = Bina akma dayanımı

$V_c$ = Bina kesme dayanımı

$n$ = bina kat adeti

Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı denklem 4.28 yardımıyla bulunur.

$$V_{yw} = V_y \left( 46 \frac{A_w}{A_{tf}} + 1 \right) \quad (4.28)$$

$V_{yw}$ = Dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesine katkısını da içeren dayanım değeri

$V_y$ = Denklem 4.27'den elde edilen akma dayanımı

$A_w$ = Boşluk içermeyen duvarların toplam alanı

$A_{tf}$ = Binanın toplam zemin kat alanıdır.

Yapılan hesaplarla yapının kapasitesi tanımlanmış olmaktadır. Deprem talebi içinse yöntemde incelenen binanın tabi olduğu yönetmeliğin elastik tasarım kuvvetinin ( $V_{yönetmelik}$ ) kullanılması önerilmektedir. Böylelikle değerlendirilen binanın bulunduğu bölgenin sismik durumu ve zemin şartları dikkate alınmış ve zaman içinde yapıların sismik değerlendirilmesinde yeni gelişmelerin de dikkate alınması sağlanmış olmaktadır.

Binaların güvenlik derecesini yansıtmak için kapasite –talep oranı olarak adlandırılan “Temel Kapasite İndeksi” (BCPI) Denklem 4.29’da tanımlanmıştır.

$$BCPI = \frac{V_{yw}}{V_{yönetmelik}} \quad (4.29)$$

Fakat Temel Kapasite indeksi yalnızca düzensizlik içermeyen binalar için kullanılmaktadır. Yapısal düzensizliklerin bina kapasitesine etkilerinin de değerlendirilmesi için “Kapasite İndeksi” (CPI) Denklem 4.30’da tanımlanmıştır.

$$CPI = C_A C_M BCPI \quad (4.30)$$

$C_A$ = Yapısal Düzensizlik Katsayısı

$C_M$ = İnşa kalitesi katsayısı

$C_A$  değeri çeşitli düzensizlikler için belirli değerlerin, ideal durumu ifade eden 1 değerinden çıkarılması ile Denklem 4.31’de hesaplanmıştır. Katsayılar Tablo 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

$$C_A = 1 - (C_{AS} + C_{ASC} + C_{AP} + C_{AF}) \quad (4.31)$$

Tablo 4.8: Yapısal Düzensizlik Katsayıları Değerleri

Katsayı	Açıklama	Değer
$C_{AS}$	Yumuşak Kat Katsayısı	0.135
$C_{ASC}$	Kısa Kolon Katsayısı	0.052
$C_{AP}$	Burulma Düzensizliği Katsayısı	0.055
$C_{AF}$	Düşeyde Süreksizlik Düzensizliği Katsayısı	0.035

Tablo 4.9: İnşa kalitesi katsayısı değerleri

Katsayı	Değer		
	<i>Kötü</i>	<i>Orta</i>	<i>İyi</i>
$C_M$	$1-0.55(1-CA)$	$1-0.55(1-CA)/3$	1

Bu işlemler sonucunda elde edilen CPI (Kapasite indeksi değerleri binaların güvenlik derecesini göstermektedir. Daha büyük CPI değerine sahip binalar daha güvenli olarak kabul edilir. Yakut(2004) CPI sınır değerinin her bir bina stoku için ayrı olarak belirlenmesini önermekle birlikte kabaca 1.2 değerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir.

### 4.3. TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574

TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi olan “Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi Çalışması” çerçevesinde geliştirilen betonarme bina değerlendirme yöntemlerinden “Probabilistik Yaklaşım” yöntemi açıklanacaktır.

Bu yöntem geçmiş depremlerde gözlenen yapı davranışlarının istatistikî değerlendirilmesi sonucu değerlendirilmiştir. 1-7 katlı yapılar için geçerlidir. Yapı

kapasitesi ve deprem talebi tanımlanan bazı parametreler kullanılarak çeşitli denklemler yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır(Özcebe , 2004)

#### 4.3.15. Minimum Normalize Edilmiş Yatay Rijitlik İndeksi (mnlstfi)

Yapının zemin kat seviyesindeki yatay rijitliği dikkate alınır. Uzun kenarın kısa kenara oranı yediden büyük düşey elemanlar perde, diğerleri kolon olarak hesaba katılır. Hesaplamalar Denklem 4.32, 4.33 ve 4.334'de verilmiştir.

$$mnlstfi = \min(I_{nx}, I_{ny}) \quad (4.32)$$

$$I_{nx} = \frac{\sum (I_{col})_x + \sum (I_{sw})_x}{\sum A_f} \times 1000 \quad (4.33)$$

$$I_{ny} = \frac{\sum (I_{col})_y + \sum (I_{sw})_y}{\sum A_f} \times 1000 \quad (4.34)$$

$\Sigma(I_{col})_x$  = Tüm kolonların x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{col})_y$  = Tüm kolonların y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{sw})_x$  = Tüm perdelerin x eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(I_{sw})_y$  = Tüm perdelerin y eksenine (simetri eksenine) göre hesaplanan atalet momentlerinin toplamı

$\Sigma(A_f)$  = Toplam kat alanı

#### 4.3.16. Minimum Normalize Edilmiş Yatay Dayanım İndeksi (mnlisi)

Yapının taban kat kesme kuvveti kapasitesini temsil eder. Dolgu duvarların katkısı da dikkate alınmaktadır. Aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$mnlisi = \min(A_{nx}, A_{ny}) \quad (4.35)$$

$$A_{nx} = \frac{\sum (A_{col})_y + \sum (A_{sw})_y + 0.1 \sum (A_{mw})_y}{\sum A_f} \times 1000 \quad (4.36)$$

$$A_{ny} = \frac{\sum (A_{col})_x + \sum (A_{sw})_x + 0.1 \sum (A_{mw})_x}{\sum A_f} \times 1000 \quad (4.37)$$

$\Sigma(A_{col})_x$  = Tüm kolonların x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{col})_y$  = Tüm kolonların y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{sw})_x$  = Tüm perdelerin x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{sw})_y$  = Tüm perdelerin y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{mw})_x$  = Tüm dolgu duvarların x eksenine göre hesaplanan efektif alanı

$\Sigma(A_{mw})_y$  = Tüm dolgu duvarların y eksenine göre hesaplanan efektif alanı

Denklem 4.36.-4.37 hesaplanırken elemanların efektif alanlarının kullanılması gerekmektedir. Efektif alan Denklem 4.38'de olduğu gibi elemanların alanının, uzun kesit boyutlarının yönü ile ilgili bir k katsayısı ile çarpımı ile hesaplanmaktadır.

$$(A) = k \times A \quad (4.38)$$

(A) =Eleman efektif alanı

A = Eleman alanı

k değeri, kolonlar için hesap yönü ile eleman uzun kesit boyutu aynı yönde ise 2/3, farklı yönde ise 1/3 olarak; kolon kare ise 1/2 olarak alınacaktır. Perdeler ve dolgu duvarlar için ise hesap yönü ile eleman uzun kesit boyutu aynı yönde ise 1, farklı yönde ise 0 olarak alınacaktır.



#### 4.3.17. Normalize Edilmiş Çerçeve Süreklilik Puanı (nrs)

Bu parametre ile yatay yükün çerçeveler arasındaki dağılımının sürekliliği dikkate alınmaktadır. Denklem 4.39 ile hesaplanan çerçeve süreklilik oranına (nrr) bağlı olarak ifade edilmektedir.

$$nrr = \frac{A_{tr}(nf_x - 1)(nf_y - 1)}{A_{gf}} \quad (4.39)$$

$n_{fx}$  = Zemin katta x doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı

$n_{fy}$  = Zemin katta y doğrultusunda sürekli çerçeve sayısı

$A_{tr}$  = Tipik bir kolonun üzerine düşen kat alanını göstermektedir.  $n_{fx}$  ve  $n_{fy}$  değerlerinin her ikisinin de 3'den büyük veya eşit olduğu durumda  $25 \text{ m}^2$ , aksi durumlarda  $12,5 \text{ m}^2$  olarak alınmalıdır.

$A_{gf}$  = Binanın zemin kat alanıdır

nrr değerine bağlı olarak hesaplanan nrs değeri şu şekilde belirlenir.

$0 < nrr \leq 0.5$  ise  $nrs = 1$

$0.5 < nrr \leq 1.0$  ise  $nrs = 2$

$nrr > 1.0$  ise  $nrs = 3$

#### 4.3.18. Yumuşak Kat İndeksi (ssi)

Denklem 4.40'da olduğu gibi zemin kat yüksekliğinin bir üst kat yüksekliğine oranı olarak ifade edilebilir.

$$ssi = \frac{H_1}{H_2} \quad (4.40)$$

$H_1$  = Zemin kat yüksekliği,  $H_2$  = 1. normal kat yüksekliğidir.

#### 4.3.19. Çıkma Oranı (or)

Tipik bir katta en dış çerçevelerin dışında kalan alan çıkma alanıdır. Denklem 4.41 ile hesaplanır.

$$or = \frac{A_{cikma}}{A_{gf}} \quad (4.41)$$

$A_{cikma}$  = Her bir kattaki çıkma alanlarının toplamı

#### 4.3.20. Değerlendirme

Hesaplanan bu parametreler kullanılarak hemen kullanım ( $HI_{IO}$ ) ve can güvenliği ( $HI_{LS}$ ) Hasar İndeksleri sırasıyla Denklem 4.42 ve 4.43 kullanılarak hesaplanabilir.

$$HI_{IO} = 0.808n - 0.334mnlstfi - 0.107mnlsci - 0.687nrs + 0.508ssi + 3.884or - 2.868 \quad (4.42)$$

$$HI_{LS} = 0.620n - 0.249mnlstfi - 0.182mnlsci - 0.699nrs + 3.269ssi + 2.728or - 4.905 \quad (4.43)$$

Hesaplanan bu Hasar İndeksleri Denklem 4.44 ve 4.45’de verilen kat adedi, zemin türü ve fay hattına olan mesafeye bağlı sınır değerler (CV) ile karşılaştırılacaktır. CM değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

$$HI_{IO} = 0.808n - 0.334mnlstfi - 0.107mnlsci - 0.687nrs + 0.508ssi + 3.884or - 2.868 \quad (4.44)$$

$$HI_{LS} = 0.620n - 0.249mnlstfi - 0.182mnlsci - 0.699nrs + 3.269ssi + 2.728or - 4.905 \quad (4.45)$$

Tablo 4.10: Zemin türü ve faya olan mesafeye bağlı CM değerleri

Zemin Türü	Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Mesafe (km)				
		0-4	5-8	9-15	16-25	>26
B	>760	0.778	0.824	0.928	1.128	1.538
C	360-760	0.864	1.000	1.240	1.642	2.414
D	180-360	0.970	1.180	1.530	2.099	3.177
E	<180	1.082	1.360	1.810	2.534	3.900

$HI_{IO}$  ve  $HI_{LS}$  değerleri karşılık gelen  $CV_{IO}$  ve  $CV_{LS}$  değerleri ile aşağıdaki Şekilde karşılaştırılarak Performans Grupları (PG) hesaplanır.

$$HI_{IO} > CV_{IO} \text{ ise } PG_{IO} = 1$$

$$HI_{IO} < CV_{IO} \text{ ise } PG_{IO} = 0$$

$$HI_{LS} > CV_{LS} \text{ ise } PG_{LS} = 1$$

$$HI_{LS} < CV_{LS} \text{ ise } PG_{LS} = 0$$

Yapının nihai performans durumu PG değerleri kullanılarak Şu Şekilde belirlenir :

$PG_{IO} = 0$  ve  $PG_{LS} = 0$  ise GÜVENLİ YAPI

$PG_{IO} = 1$  ve  $PG_{LS} = 1$  ise GÜVENSİZ YAPI

Diğer durumlarda ise ARA BÖLGEDEKİ YAPI

Ara bölgedeki yapıların genellikle orta hasar durumunda olmasının beklendiği ifade edilmekte fakat daha ayrıntılı inceleme yapılmasının daha sağlıklı olacağı vurgulanmaktadır.

## **5. ORTA HASARLI BİNALAR ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMA**

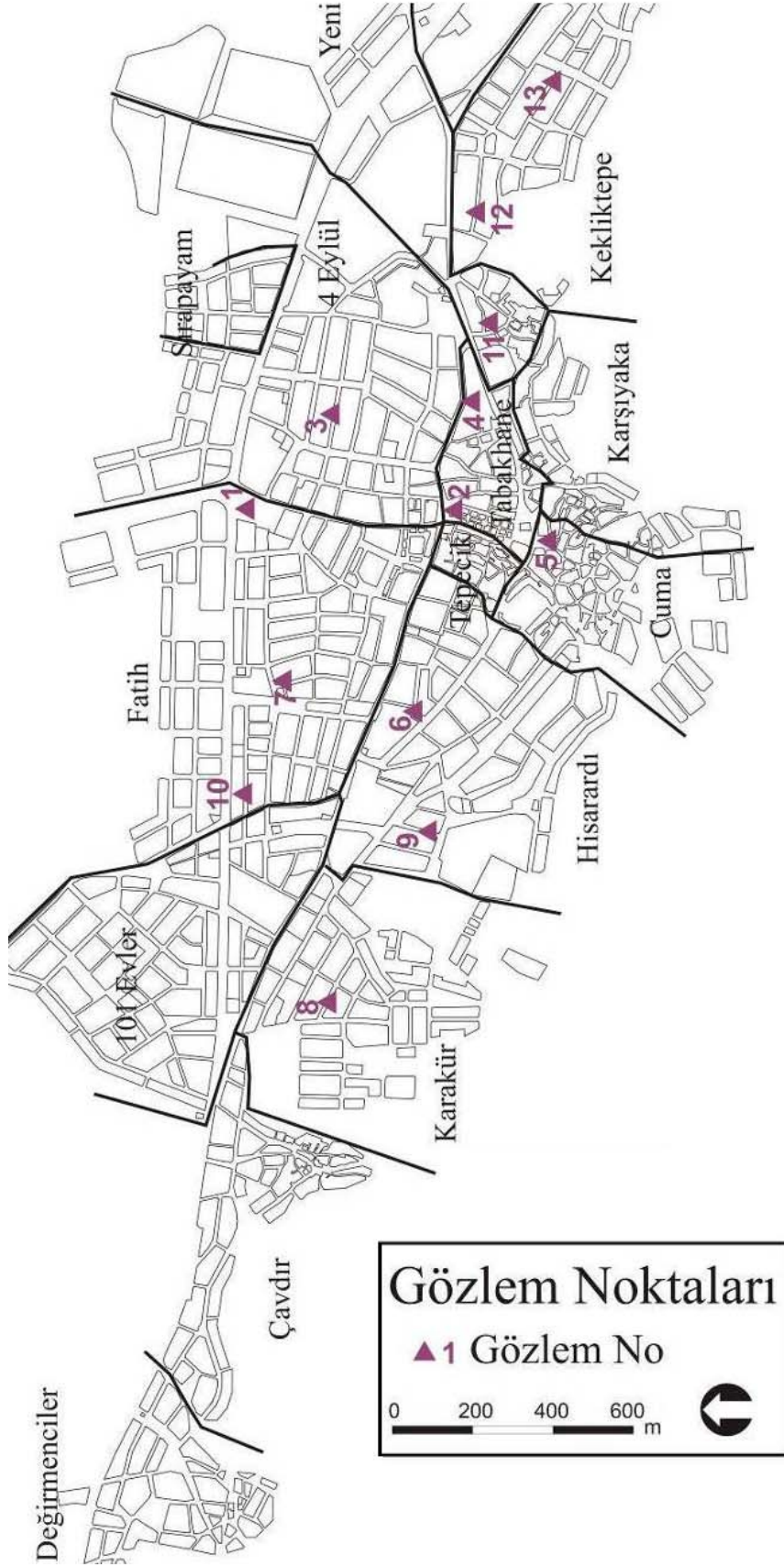
19 Mayıs 2011 Simav Depremi sonrası bölgede orta hasarlı olduğu belirlenen binaların güçlendirmeye uygun olup olmadığı sorusu gündeme gelmiştir. Bu kapsamda Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ve Pamukkale Üniversitesi işbirliği ile bir çalışma başlatılmış ve bu soruya cevap aranmıştır.

Çalışma Simav bölgesinin zemin özelliklerinin belirlenmesi, incelemesi yapılan binaların özelliklerinin belirlenmesi olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır. Zemin özelliklerinin belirlenmesinde sondaj çalışması ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW- Multi-channel Analysis of Surface Waves) uygulaması yapılmıştır.

Yapısal özelliklerin belirlenmesi amacıyla betonarme binalardan karot numuneleri alınmış, yığma binalarda taşıyıcı duvar malzemeleri belirlenmiş, yapısal özellikler ve binaların hasar durumu hakkında bilgi toplanmıştır. (İnel vd., 2011b).

### **5.1. Jeoteknik Çalışmalar**

Jeoteknik çalışmalar için Yenimahalle, Karakür, Hisarardı, Cuma, Tabakhane, Fatih, 4 Eylül ve Kekliktepe mahallelerinde bulunan toplam on üç adet gözlem noktaları belirlenmiştir (Şekil 5.1). Bu noktalar zeminlerin ve mahallerin dağılımı dikkate alınarak homojen bir dağılım elde edilecek şekilde dağıtılmıştır. 101 Evler ve Tepecik mahallelerinde gözlem noktası bulunmamasına rağmen jeolojik yapı dikkate alınarak bu bölgelere ait değerler tahmin edilmiştir. İncelenen mahallelerde zeminlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla on iki noktada jeofizik ölçümleri, on üç noktada ise sondaj çalışmaları yaptırılmıştır.



Şekil 5.1: İnceleme alanındaki gözlem noktaları (İnel vd., 2011b).

Simav ilçe merkezinde incelemelerin yoğunlaştığı mahallelerde toplam uzunluğu 203 metre olan ve farklı derinliklerde on üç adet jeoteknik sondaj yapılmıştır (Tablo 5.1). Sondaj boyunca uygun birimin olduğu yerlerde 1.5 metre aralıklarla SPT yapılmış ve birim değişiminin gözlemlendiği seviyelerde SPT *karnıyarıktan* örnek alınarak tane boyu dağılımı ile Atterberg limitleri tespit edilmiştir. Sondaj sırasında yeraltı su seviyeleri (YAS) kaydedilmiş ve sonuçlar Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Jeoteknik sondaj uzunlukları ve YAS derinlikleri

Sondaj No:	Uzunluk (m)	YAS (m)
1	30.5	2.1
2	20.0	9.0
3	18.5	3.3
4	15.5	9.3
5	15.5	6.5
6	15.5	-
7	15.5	2.0
8	12.0	5.6
9	15.5	8.2
10	15.5	1.9
11	7.5	-
12	14.0	7.0
13	8.0	-

Jeofizik yöntemler jeolojik yapıların ve özelliklerinin tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel özellikleri farklı ortamların hız, kalınlık ve birim hacim ağırlıklarını dikkate alan sismik yöntemlerle jeolojik birimlerin birçok özelliği hesaplanabilmektedir. Simav’da yapılan jeoteknik çalışmalar kapsamında geleneksel sismik kırılma yönteminin sorunlarını (yüksek hızlı bir tabakanın altında düşük hızlı tabaka bulunması) bertaraf edebilmek için çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW-Multi-channel Analysis of Surface Waves) yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda on iki adet lokasyonda MASW ölçümleri yapılmış ve en düşük ile en yüksek değerler

Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Bu verilere göre  $V_s$  hızları en düşük 10 nolu ( $V_s=152$  m/s) en yüksek ise 2 nolu gözlem noktasında elde edilmiştir. En üstteki tabaka kalınlığının 2 metreden az olması durumunda, temel derinliğinin bu seviyenin altına ineceği kabul edilerek bu seviyede ölçülen değerler hazırlanan haritalarda dikkate alınmamıştır

Tablo 5.2: MASW ölçüm ve sondaj lokasyonları

Ölçüm No:	Koordinat		$V_s$ (m/s)	
	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
1	39.0926	28.97879	180	204
2	39.08816	28.97893	390	1740
3	39.09092	28.98111	204	253
4	39.0881	28.98146	375	1550
5	39.08638	28.97896	228	297
6	39.08869	28.97357	228	272
7	39.09133	28.97397	189	220
8	39.09083	28.96442	232	427
9	39.0888	28.96886	220	353
10	39.09294	28.97043	152	206
11	39.08755	28.98423	390	407
12	39.08786	28.98716	181	337
13	39.05119	28.59296	-	-

## 5.2. Jeoteknik Değerlendirmeler

Jeoteknik değerlendirmeler, Simav İlçesinde ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açıldan Güçlendirmeye Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması’ndan alınan bölümler ile aşağıda anlatılmıştır. (İnel vd., 2011b).

Jeoteknik sondajlardan elde edilen değerlere göre inceleme alanında yaygın olarak orta plastisiteli kil (CI), siltli kum (SM) ve siltli çakıl (GM) türü zeminler görülmektedir. Killi birim orta ve iri taneli zeminlerin genellikle altında, SK-2, SK-4, SK-5, SK-8 ve SK-12’de ise üstte görülmektedir. SK-7 nolu sondaj dışında tüm

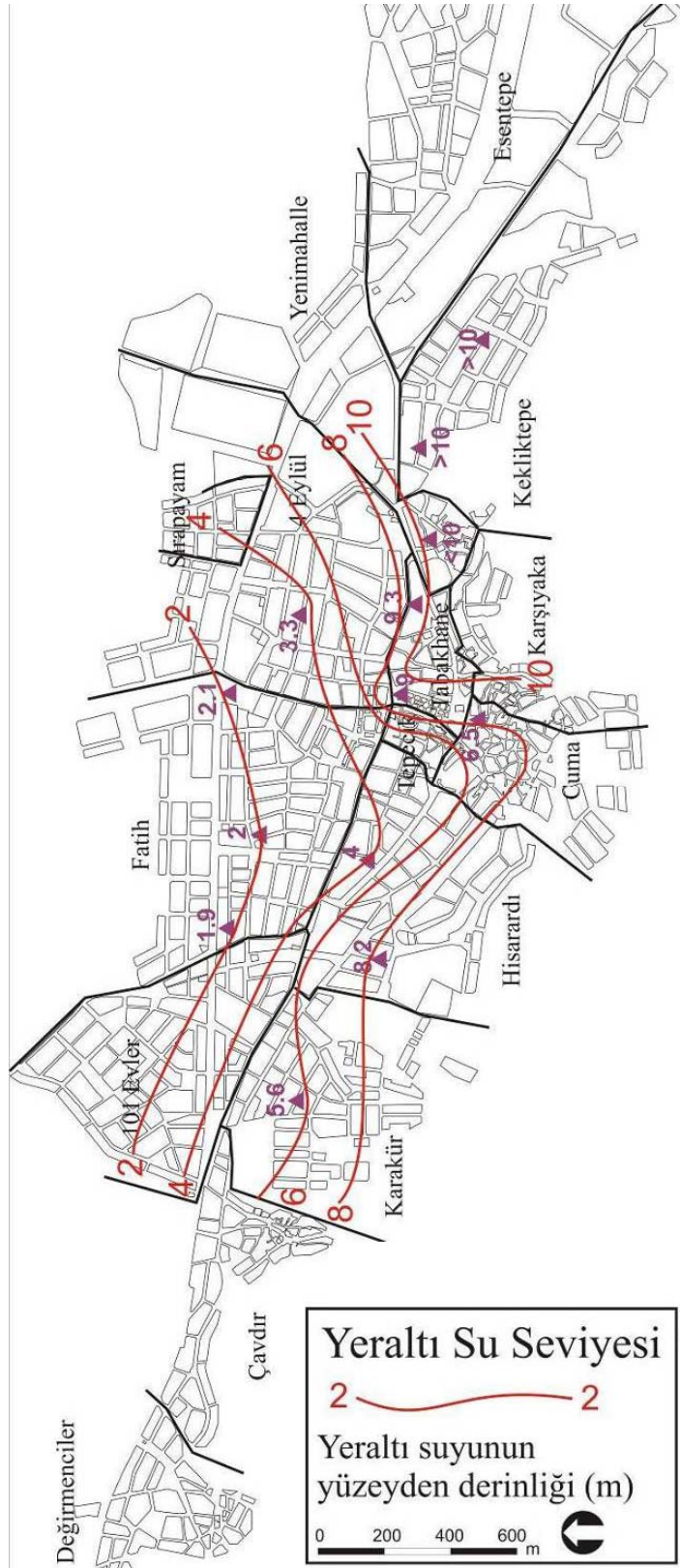
gözlem noktalarında killi birime rastlanmıştır. Orta plastisiteli kilin plastisite indisi değerleri 30'a kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle şişen-kabaran zeminler grubuna girmekte jeoteknik açıdan sorun oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Aynı şekilde inceleme alanının birçok yerinde kumlu zeminler gözlenmektedir. Bu alanlarda yeraltı suyunun yüzeye yakın (<10 metre) ve N değerlerinin düşük olduğu dikkate alındığında çok geniş bir sahada zeminlerin düşük taşıma gücünün olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Temele yakın derinlikte (2-4 metre) SPT N değerlerinde büyük değişiklikler gözlenmektedir. Dağılımları incelendiğinde inceleme alanında N değerlerinin kuzeyden güneye genel olarak arttığı söylenebilir. Bu bağlamda sözü edilen derinliklerde en düşük N değerleri kuzeybatıdaki SK-7 ve SK- 10 nolu sondajlarda ortalama 3 olarak belirlenmiştir. SK-11 nolu sondajda ise refü oluşmuştur. Bu değerler dışında inceleme alanındaki ortalama N değerlerinin 10-20 arasında olduğu görülmektedir. Simav ilçe merkezinde yeraltı su seviyesinin topoğrafyaya uygun biçimde genel olarak güneyden kuzeye doğru yüzeye yaklaştığı görülmektedir (Şekil 5.2).

101 Evler, Fatih ile 4 Eylül mahallesinin kuzey kesimlerinde su seviyesinin en fazla 4 metre veya daha sığdır. Karşıyaka, Kekliktepe ve Cuma mahalleleri ile Karakür ve Hisarardı mahallelerinin güney kesiminde ise yeraltı su seviyesinin 10 metreden daha derinde olduğu ve/veya yapıyı etkileyecek derinlikte olmadığı görülmektedir. Bu veriler ışığında incelenen alan içerisinde Karşıyaka, Kekliktepe ve Cuma mahalleleri ile Karakür ve Hisarardı mahallelerinin güney kısmı dışında kalan mahallelerdeki zemin davranışının yeraltı suyundan olumsuz yönde etkileneceğini söylemek mümkündür.

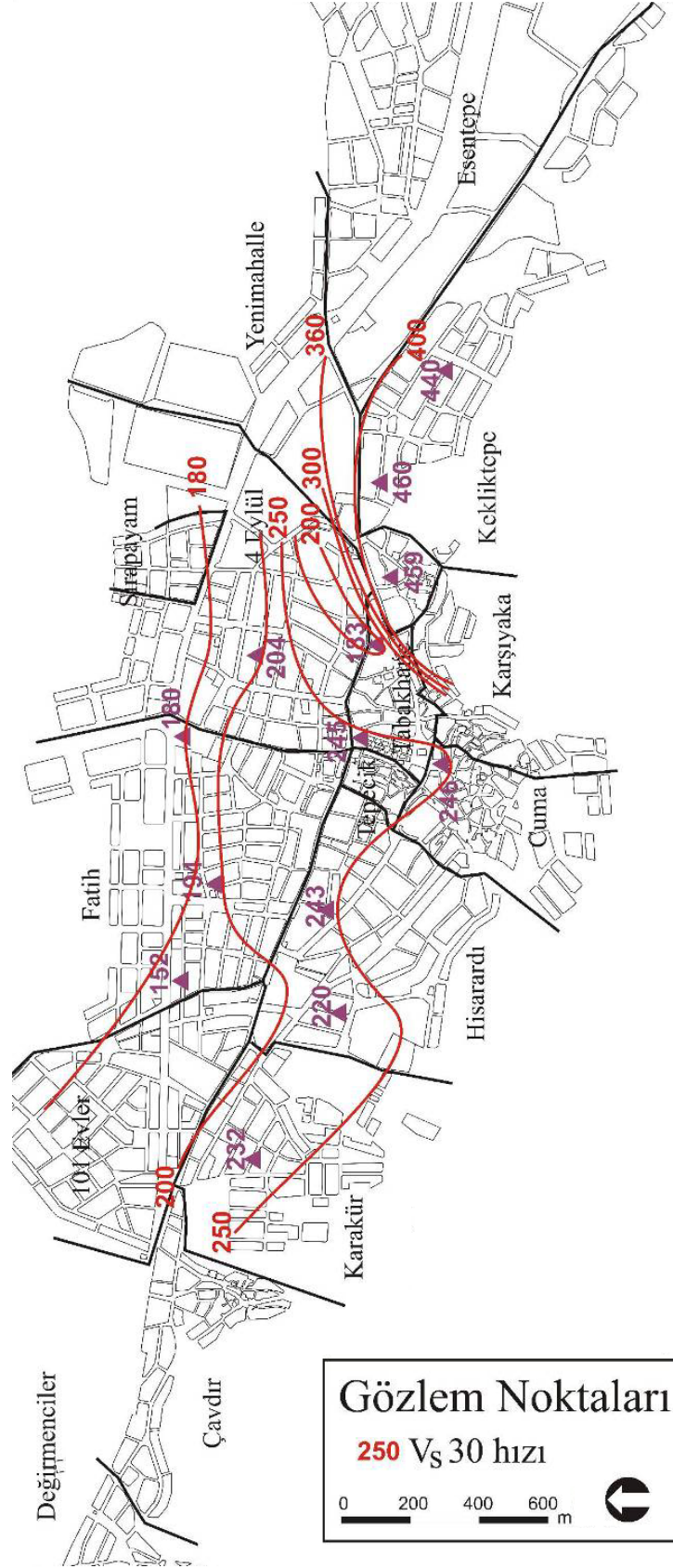
Temel derinliğinin iki metre kabul edilmesi durumunda, inceleme alanında  $V_s$  hızlarının 152 ile 460 m/s arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 5.3). 101 Evler mahallesinin tamamı, Fatih ve 4 Eylül mahallelerinin kuzeyinde  $V_s$  hızlarının 200 m/s'den daha az olduğu görülmektedir. Fatih ve 4 Eylül mahallelerinin güney kesimleri ile Karakür ve Hisarardı mahallelerinin kuzeyi, Tabakhane mahallesinin batısı, Tepecik mahallesinin tamamında  $V_s$  hızları 200-250 m/s arasında değişmektedir. Kalan diğer alanlarda ise hızların 250 m/s'den büyük olduğu görülmektedir.



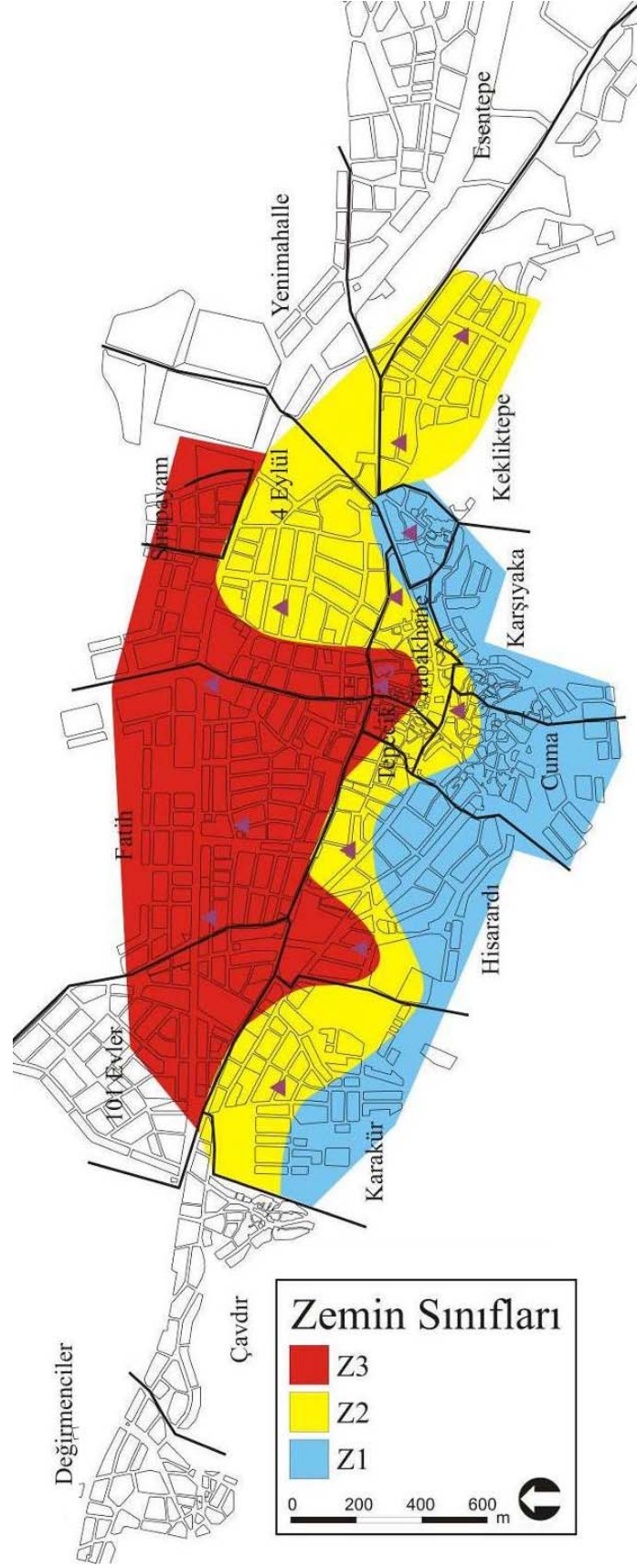
Bu değerler doğrultusunda Fatih ve 4 Eylöl mahallelerinin kuzey kesimleri ile Karakör ve Hisarardı mahallelerinin kuzeyi, Tabakhane mahallesinin batısı ile Tepecik, 101 Evler, Fatih, 4 Eylöl mahallelerinin tamamında  $V_s$  hızlarının düşük olduğu söylenebilir. İnceleme alanı için zemin sınıfı haritası hazırlanmış ve sonuçlar Şekil 5.4'de sunulmuştur. Bu verilere göre üç farklı zemin sınıfı belirlenmiştir. Karakör, Karşıyaka, Cuma ve Hisarardı mahallelerinin güneyi Z1 sınıfına girmektedir. Karakör, Hisarardı ve Cuma mahallelerinin kuzeyi, Tepecik, Tabakhane ve 4 Eylöl mahallerinin güneyi ile Yenimahalle'nin güneybatısındaki zeminler Z2 sınıfına uygundur. 101 Evler, Fatih mahalleleri ile 4 Eylöl mahallesinin kuzey ve batı kesimleri, Tabakhane ve Tepecik mahallelerinin kuzeyi, Hisarardı mahallesinin kuzeybatı kesimleri Z3 sınıfına girmektedir.  $V_s$  hızları, yeraltı su seviyesi, SPT N değerleri ve tane boyu dağılımları dikkate alınarak inceleme alanının sıvılaşma riski dört gruba ayrılarak sınıflandırılmış ve sonuçlar Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında Fatih ve 4 Eylöl mahallelerinin kuzeyi ile Sırapayam mahallesinin tamamının "Yüksek" sıvılaşma riski altında olduğu görölmektedir. Fatih ve 4 Eylöl mahallelerinin güneyi ile Tepecik ve Tabakhane mahalleri "Orta" sıvılaşma riski taşımaktadır. Karakör, Hisarardı ve Cuma mahallelerinin kuzeyi ile Yenimahalle'nin güneybatı kesimi "Az" sıvılaşma riski altındadır. Karakör, Hisarardı ve Cuma mahallelerinin güneyi ile Karşıyaka ve Kekliktepe mahallelerinin tamamında ise sıvılaşma riski görölmemektedir. Mevcut veriler dikkate alındığında 101 Evler, Fatih, 4 Eylöl ve Sırapayam mahallelerindeki zeminlerin sorunlu olduğu, dinamik yükler altında yapılara hasar verecek davranışlar göstereceği söylenebilir. Bu değerler genel olarak güneye doğru iyileşmektedir. Karakör, Hisarardı ve Cuma mahallelerinin güneyi ile Karşıyaka ve Kekliktepe mahallelerinde taşıma gücü ve dinamik zemin davranışı açısından herhangi bir sorun görölmemektedir.



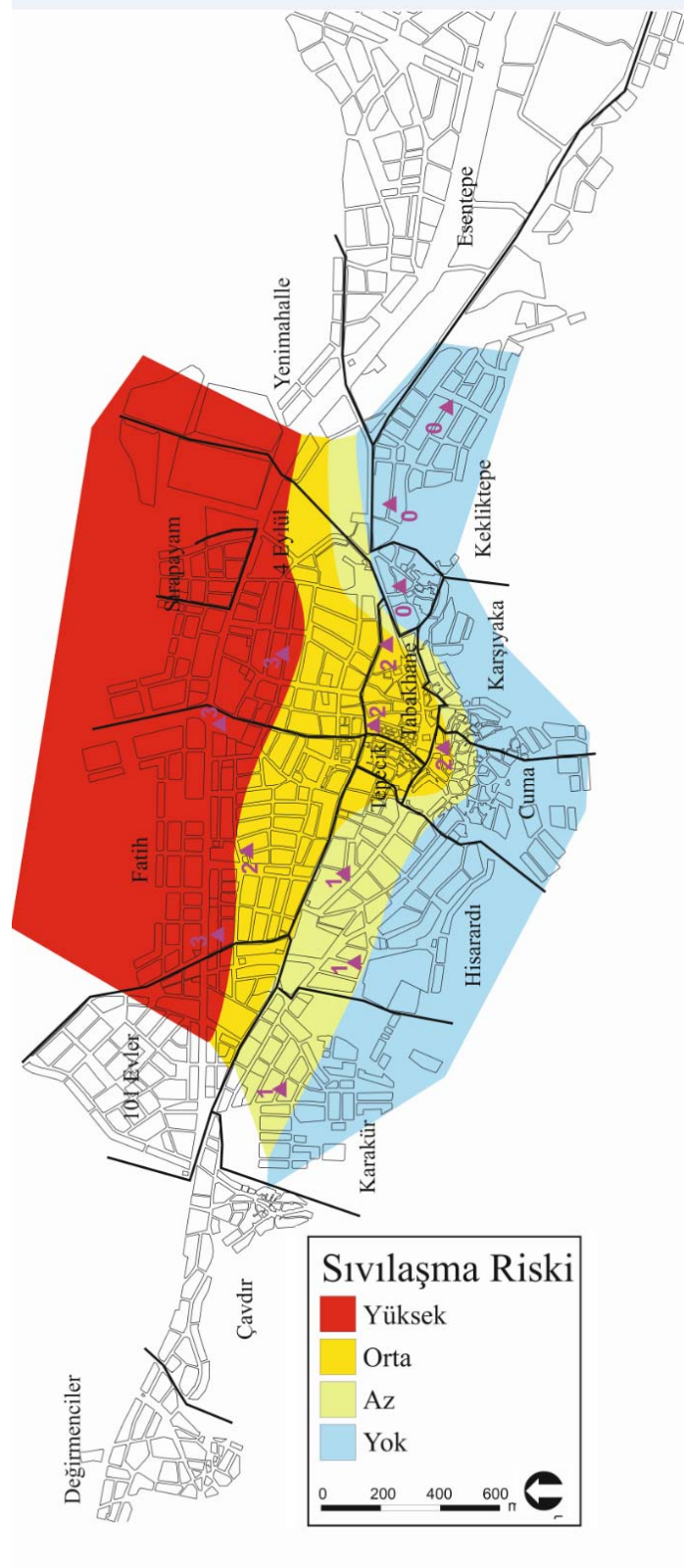
Şekil 5.2: İnceleme alanında yer altı su seviyesinin değişimi (İnel vd., 2011b).



Şekil 5.3: İnceleme alanında  $V_s$  Hızlarının Değişimi (İnel vd., 2011b).



Şekil 5.4: İnceleme alanında zemin sınıflarının değişimi (İnel vd., 2011b).



Şekil 5.5: İnceleme alanında sıvılaşma riskinin değişimi (İnel vd., 2011b).

### 5.3.Yapısal Özelliklerin Belirlenmesi

Yapısal özelliklerin belirlenmesi amacıyla iki temel çalışma yapılmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında malzeme özelliklerinin belirlenmesi, ikinci aşamasını ise yapısal parametrelerin ve hasar durumunun ortaya konması oluşturmaktadır.

Beton basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla karot numunesi alınmıştır. Donatı özelliklerinin tespiti amacıyla ise kritik kata ait kolon elemandan yüzey sıyırması yapılmıştır. Yığma yapıların malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla yüzey sıyırması ile taşıyıcı duvar tipi belirlenmiştir.

Yapısal parametrelerin belirlenmesi amacıyla binaya ait birçok karakteristik özellik hakkında ayrıntılı bilgi toplanmıştır. Toplanan bilgiler binaların hızlı değerlendirme metotlarına göre puanlarının hesaplanmasında kullanıldığı için içerik bakımından uygun olmasına dikkat edilmiştir.

Son aşamada ise hasar tespit çalışmalarında orta hasarlı olarak etiketlenen binaların ayrıntılı hasar rölevesi alınmıştır. Resim 5.1’de karot numunesi alınma işlemi ve toplanan karot numuneleri görülmektedir.



Resim 5.1: Çalışma sırasında karot numunesi alınması ve etiketleme işlemi

#### 5.3.1. Bina İnceleme Formu

İncelenen yapıların karakteristik özellikleri ve hasar durumunun belirlenmesi amacıyla gerekli bilgileri ayrıntılı ve analitik bir şekilde sorgulayan değerlendirme formu hazırlanmıştır. Değerlendirme formunun 1. Kısmı Şekil 5.6’da verilmiştir.

1. GENEL BİLGİLER									
1.1 Bina Kodu	:	D07	İnceleme Tarihi		13/08/11				
1.2 Binanın Adı	:	STARS OUTLET							
1.3 Binanın Adres	:	DÖRT EYLÜL MAH. DÖRTEYLÜL CAD. NO: 13							
1.4 İnşaat Tarihi	:	/	/	Foto No		:			
1.5 Proje Durumu	:	Mimari:	Var	Yok	1	Statik:	Var	Yok	1
1.6 Hasar Durumu	:								
1.7 Bina Koordinatı	:	E	N	Ada/Parsel No:		43	5		
1.8 İnceleme Ekibi	:	UTKU SERHAT							
1.9 İrtibat Kur. Kişi	:	ALİ GÖKGÖZ							
Tel:	:								

Şekil 5.6: Değerlendirme formu 1. Kısmı

İnceleme formunun 1. Kısmında, incelemeyi yapan inşaat mühendisi bina hakkında temel bilgileri kayıt altına almaktadır. Binaların ada, parsel ve inceleme kodu bilgileri önceden bölge taraması yapan ve yine inşaat mühendislerinden oluşan bir başka öncü ekip tarafından belirlenmektedir. Ardından ayrıntılı inceleme yapacak olan ekipler bu binalara yönlendirilmektedir.

Şekil 5.7’de ise yapının temel geometrik özelliklerinin belirlendiği form bölümü yer almaktadır.

1.10									
				Bina X Efektif uzunluğu(m)		Bina Y Efektif uzunluğu(m)			
				15.9		7.6			
1.11 Katlar	Adet	Yükseklik (m)	Kat Alanı	Döşeme Yük.	Açıklamalar				
Bodrum	1	2.45	120						
Zemin	1	3.50	120	15.0					
Nor.Kat	2	3.00	130						
Asma Kat oranı	%25'ten az		%25'ten fazla		Yok	1			
1.12 Toplam Yapı Alanı			500						
1.13 Binanın Kullanım Amacı			Konut	1	Ticari	1	Diğer		
1.14 Daire Sayısı:			2		Dükkan Sayısı:		1		
1.15 Yapı kullanan kişi Sayısı:			15						

Şekil 5.7: Binaya ait temel özelliklerin belirlenmesi

Bu bölümde bina kat sayısı, kat yükseklikleri, bina toplam alanı gibi temel geometrik bilgilerin yanı sıra binada yer alan daire sayısı, yapıyı kullanan kişi sayısı gibi ekonomiklik ilkesine bağlı parametreler kayıt altına alınmaktadır.

Değerlendirme formunun binanın konum ve düzensizlik bilgilerini içeren kısmı Şekil 5.8’de, taşıyıcı sistem özellikleri içeren bölüm ise Şekil 5.9’da yer almaktadır.

<b>2.1 Konum :</b>	<b>Bağımsız</b>	<b>Bitişik,kenar bina</b>	<b>Bitişik, orta bina</b>	<b>1</b>
	<b>Bina eğimli arazide mi?</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>1</b>
	<b>Bina yakınında tepe var mı ?</b>	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>1</b>
<b>2.2 Komşu binalarla derz :</b>	Var	Yok	1	Belirlenemedi
<b>2.3 Komşu binalarla kat seviyesi :</b>	Aynı	1		Farklı
<b>2.4 Düzensizlik Durumları</b>				
			<b>Var (1)</b>	<b>Yok (1)</b>
<b>Planda</b>				
<b>A1 :</b>	Burulma düzensizliği			<b>1</b>
<b>A2 :</b>	Döşeme süreksizliği			<b>1</b>
<b>A3 :</b>	Planda çıkıntılar bulunması			<b>1</b>
<b>A4 :</b>	Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması			<b>1</b>
<b>Düşey Doğrultuda</b>				
<b>B1 :</b>	Dayanım ( zayıf kat ) düzensizliği			<b>1</b>
<b>B2 :</b>	Rijitlik ( yumuşak kat ) düzensizliği		<b>1</b>	
<b>B3 :</b>	Düşey eleman süreksizliği			<b>1</b>

Şekil 5.8: Binaya konum ve düzensizlik bilgileri



<b>3.1 Taşıyıcı Sistem Türü:</b>	Betonarme Çerçeve	1	
	Betonarme Çerçeve + Perde		
	Perde Miktarı : çok az:1 oldukça yeterli:5		
	Diğer:		
<b>3.2 Mimari Durum:</b>		<b>3.3 Dolgu Duvarı Malzemesi:</b>	Kalınlık
Yapının estetik durumu: (0-5)	4	Boşluklu fabrika tuğlası (İç duvar)	1 20
Yapıda asansör var mı ? (1, 0)	0	Düşey delikli yığma tuğla(Dış duvar)	
Güçlendirme durumunda ciddi ek maliyet (0-5)	4	Dolu Harman tuğlası	
		Gazbeton tuğla veya panel	
		Diğer (açıklayınız):	
<b>3.4 Bodrum Durum:</b>	<b>Bodrum Duvar Durumu</b>		<b>Bodrum Perde Malzemesi</b>
Bodrum yoktur		Kısmi Bodrum	Taş (Kesme veya moloz) kargir
Düzenli bodrum	1	Bod. Duv. farklı yükseklikte	Betonarme duvar
		Önemli rijitlik farkı var	1
		5. bölümde açıklama yapınız	Harman veya dolu fabrika tuğla
			Diğer (açıklayınız):
<b>3.5 Döşeme Sistemi:</b>		Kirişli plak döşeme	1
		Asmolen dolgulu dişli (nervürlü) döşeme	
		Dolguşuz dişli (nervürlü) döşeme	
		Kirişsiz plak döşeme	
		Diğer (açıklayınız):	

Şekil 5.9: Taşıyıcı sistem özellikleri

Değerlendirme formunun 4. Bölümü birden fazla ana kriterin puanlandığı çeşitli kısımlardan oluşmaktadır. Bu bölüm ile:

- Yapının malzeme özellikleri ve işçilik kalitesi ile ilgili görsel değerlendirme
- Sistem zayıflıkları, uygulama ve işçilik hataları, yapı hasar durumu,yapı plan özellikleri
- Binanın oturduğu arazi ile ilgili değerlendirmeler ve yapı temel türü ile ilgili bilgiler kayıt altına alınmaktadır.

Şekil 5.10 ve 5.11’de yapı değerlendirme formu 4. Bölümü yer almaktadır. İnceleme yapan mühendisin çeşitli nedenlerden dolayı başlıklar hakkında bilgisi olmaması durumunda “değ var” kısmı “0” olarak işaretlenmektedir. Aksi durumda ise bu değer “1” olmaktadır. Puanlama ise 0 ve 5 arası yapılmaktadır. 0 en olumsuz 5 ise en olumlu durumu ifade etmektedir.

Değerlendirme Konusu	Notlar ve Açıklamalar	Değ. Var	Puan
			0=kötü 5=iyi
4.1 Binanın seçilen kritik katı	<b>ZEMİN KAT</b>		
4.2 Binanın halihazır kalite genellemesi ( en son doldurulacaktır)			
4.3 Malzeme kalitesi	Beton Yab. Madde (Var=0,Yok=5)	1	3
	Segregasyon (Var=0,Yok=5)	1	3
	Donatı detaylandırma kalitesi (0-5)	1	2
	Dolgu Duvar Hasan (0-5)	1	4
4.4 Sistem Zayıflıkları	Bant pencere var mı? (0-5)	1	5
	Varsa bant pencere yüksekliği? (cm)	0	0
	Kısa kolon durumu var mı?(0-1)		
	Varsa kısa kolon oran(birimsiz):	0	0
	Zemin katta dolgu duvar mı?		
	Zemin kat yüksekliği diğer kat yüksekliklerinden fazla mı?		
	Yumuşak Kat hasan var mı?(0-5)	1	5
	Düşey taşıyıcı elemanlarda süreksizlik var mı? (0-5)	1	5
	Katlar arası dolgu duvar miktar ciddi farklı mı?		
	Düşey taşıyıcı elemanlarda ani boyut değişimi var mı? (0-5)	1	5
Zayıf Kat (0-5)	1	3	

Şekil 5.10: Yapı değerlendirme formu 4. Bölümü

4.5 Kolon/kiriş birleşim bölgelerinde aksel birleşme sorunu var mı? (0-5)						1	5
4.6 Hasarlı perde elemanı var mı?(0-5)						1	5
4.7 Kesme hasarlı kolon elemanı var mı?(0-5)						1	4
4.8 Eğilme hasarlı kolon elemanı var mı?(0-5)						1	4
4.9 B. Donatıları burkulmuş kolon elemanı var mı? (0-5)						1	5
4.10 Kesme hasarlı kiriş elemanı var ? (0-5)						1	4
4.11 Eğilme hasarlı kiriş elemanı var ?(0-5)						1	4
4.12 Döşemede çatlaklar var mı?(0-5)						1	5
4.13 İki bina arasında derz boşluğu? (cm)						0	0
4.14 Binanın yan binalara çarpma olasılığı nedir? (0-5)						1	1
4.15 Yan binaların ve incelenen binanın kat sayıları aynı mı? (0-5)						1	4
4.16 Taşıyıcı elemanların simetriklik durumu?(0-5)						1	2
4.17 Dolgu duvarların simetriklik durumu(0-5)						1	2
4.18 Kritik kat dolgu duvar alanı							
4.19 Kritik kat üstü dolgu duvar alanı							
4.20 Kritik kat/Kritik kat üstü dolgu duvar alanı							
4.21 Kapalı çıkmalı cephe sayısı:						0	0
4.22 Kapalı çıkma türü (kirişli-kirişsiz) (0-1)						0	0
4.23 Binanın plan şekli kodu						1	1
4.24 X yönü sürekli çerçeve sayısı						1	3
4.25 Y yönü sürekli çerçeve sayısı						1	5
4.26 Kat mimarileri benzer mi? (0-5)						1	4
4.27 Eğimli arazide mi ? (Düz=5, 45°=0)						1	5
4.28 Binada kalıcı deplasman var mı? (0-5)						1	5
4.29 Bina da oturma var mı? (0-5)						1	5
4.30 Bina tepe üstünde mi? (0-1)						1	1
4.31 Binanın kaç cephesinde bodrum perdesi var?						1	4
4.32 Binanın temel derinliği ?	1'den az	1-4 Arası	4'ten fazla				
		1					
4.33 Bina temel tipi?						0	0
4.34 Kütle düzensizliği var mı? (depo,yığınak v.b.)						1	5

Şekil 5.11: Yapı değerlendirme formu 4. Bölümü (Devam)

Bilgi toplama formunun 5. Bölümünde yapıya ait donatı özellikleri kayıt altına alınmıştır (Şekil 5.12). Donatı sıyırması ile boyuna donatı ve etriye çapları, olası işçilik kusurları ve korozyon miktarı not edilmektedir. Ayrıca donatı tespit cihazı ile yanal donatı miktarı, betonarme elemanlarda uç bölgelerde yanal donatı sıklaştırmasının yapılıp yapılmadığı gibi veriler araştırılmıştır. Donatı tespiti yapılacak kolon eleman en sık kullanılan kolonlardan seçilmektedir. Benzer biçimde kiriş eleman için de donatı özellikleri ve tipik boyutlarının belirlenmesine çalışılmıştır. 6. Bölümde ise incelemeyi yapan mühendisin genel değerlendirmesi ve fikirleri yer almaktadır.

5 Eleman Değerlendirmesi					
Kolon Eleman			Kiriş Eleman		
5.1 Yanal Donatı :	Üst uç:	Alt uç:	5.8 Yanal Donatı :		
5.2 Uç Bölge	f8/25	f8/25	5.9 Uç Bölge	f8/25	
5.3 Orta Bölge	f8/25		5.10 Orta Bölge	f8/25	
Tipik Kolon			Tipik kiriş boyutu(bxh):	20	40
5.4 Boyutları:	25x40		5.11 Mevcut Yapıda Çelik Sınıfı:		
5.5 Boyuna Donatı:	6f14		Düz	1	Nervürlü
5.6 Kat :	bodrum		5.12Korozyon durumu ile ilgili bilg Var:		
5.7 Çizim:			1		
			5.13 Binanın korozyon puanı (0-5):		
			3		
			5.15 Zemin Kat Kolon Sayısı:		
			X yönü	Y yönü	Toplam
			14	1	15
6. BINA İLE İLGİLİ DİĞER AÇIKLAMALAR					
(Formlarda yeterince açık yer almayan ancak önemli görülen hususlar ve mühendisin bina ile ilgili genel görüşü buraya not edilir.)					
çatı arası daire olarak kullanılmış zemin katta dükkanda sıva boya yapılmış hasar meydana gelmiş olsa bile görülememiştir. Binada çok ağır herhangi bir kusur göze çarpmamaktadır. Ancak komşu sol bitişik nizamında yer alan yapı ağır hasarlı.					
Genel olarak yapının güçlendirmeye engel teşkil edecek önemli bir kusuru bulunmamaktadır.					

Şekil 5.12: Yapı değerlendirme formu 5 ve 6. Bölümleri

7. Bölümde ise belirlenen kritik kata ait kolon elemanlarının önceden kabul edilen x ya da y doğrultusuna göre boyutları, çerçeve içinde ve boşluksuz dolgu duvarların kritik kat ve kritik kat üstü boyutları yer almaktadır (Şekil 5.13).

Son olarak 8. Bölümde, inceleme ekibi ile birlikte hareket eden karot ekibinin çalışmasının önceden belirlenen kurallar dahilinde yapıp yapmadığı formu dolduran mühendis tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 5.14).

7. Taşıyıcı Elemanlar								
Eleman No	Eleman Boyutları							
	Kritik Kat kolon		Kritik Kat Duvar			Kritik Kat Üstü Duvar		
	X Yöndü	Y Yöndü	X Yöndü	Y Yöndü	Malzeme	X Yöndü	Y Yöndü	Malzeme
1	25	50	20	800	1	20	800	1
2	25	50	15	570	1	15	570	1
3	25	50	15	546	1	15	546	1
4	25	50			1			1
5	25	50			1			1
6	25	50			1			1
7	25	50			1			1
8	25	50			1			1
9	25	50			1			1
10	25	50			1			1
11	25	50			1			1
12	50	28			1			1
13	30	125			1			1
14	60	25			1			1
15					1			1
16					1			1
17					1			1
18					1			1
19					1			1
20					1			1
21					1			1
22					1			1
23					1			1

Şekil 5.13: Yapı değerlendirme formu 7. Bölümü

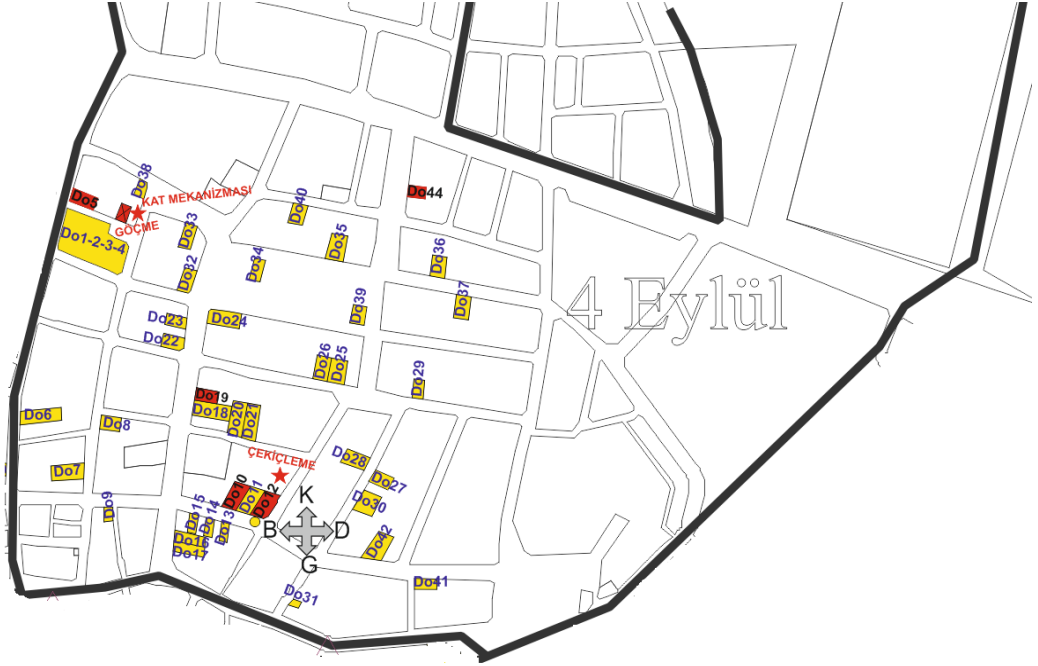
8. Karot Denetimi			
	Alındı	Alınmadı	Açıklama
Her kattan üç adet karot alındı mı?	1		
Açılan karot delikleri tamir harcıyla kapandı mı?	Kapandı	Kapanmadı	Açıklama
	1		
Alınamayan karot var mı?	Var	Yok	Açıklama
		1	

Şekil 5.14: Yapı değerlendirme formu 8. Bölümü

## 6.VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Orta Hasarlı Binaların Teknik Açından Güçlendirmeye Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması sonrası yapıların malzeme ve karakteristik özellikleri, bölgenin zemin yapısı gibi birçok parametreye ait veriler toplanmıştır. Ayrıca 4. Bölümde ayrıntıları ile açıklanan hızlı değerlendirme metotlarına göre bina puanları hesaplanmıştır. Tüm bu parametreler binaların hasar durumuna ait hasar puanları ile karşılaştırılmış ve aradaki ilişki değerlendirilmiştir. Tezin asıl amacı bu bölümden elde edilecek veriler ışığında sonuçlar elde etmek ve önerilerde bulunabilmektir. Bu sayede yapısal ve yapısal olmayan parametrelerin hasar düzeylerine etkisi, hızlı değerlendirme metotlarının binaların mevcut durumu ile ilgili tahminlerinin tutarlılığı gibi kavramlar detaylı şekilde araştırılmıştır.

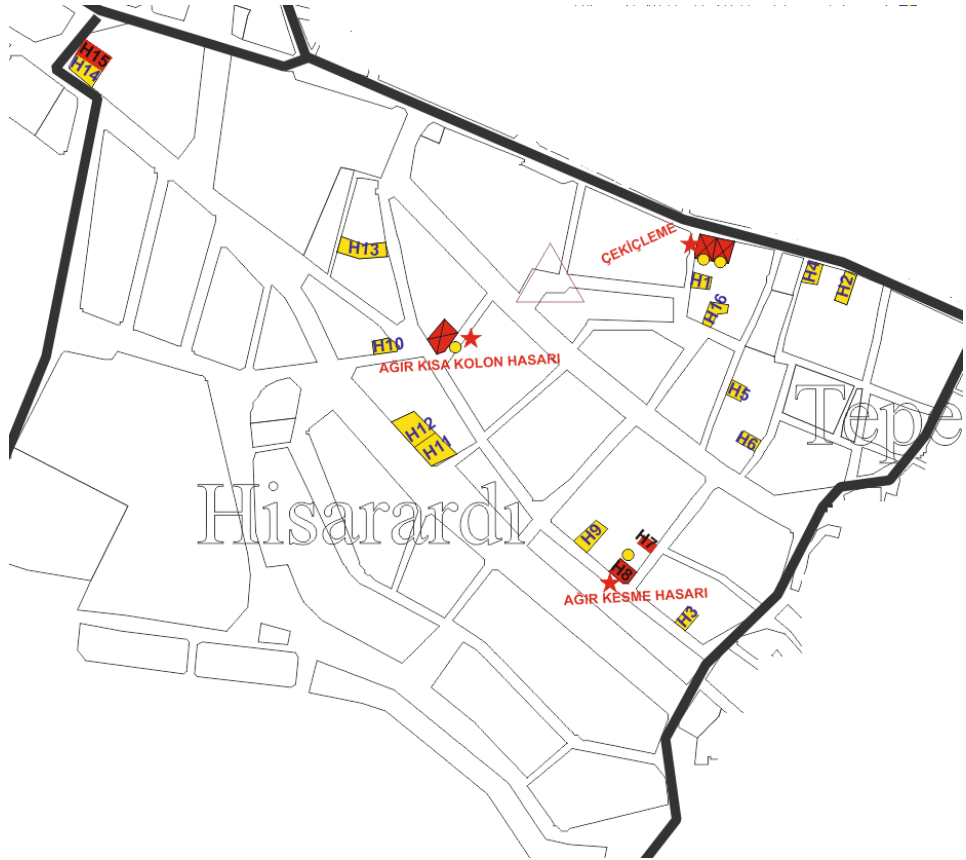
İncelenen binaların mahalle bazında haritada işaretlenmiş halleri Şekil 6.1-6.9'da verilmiştir.



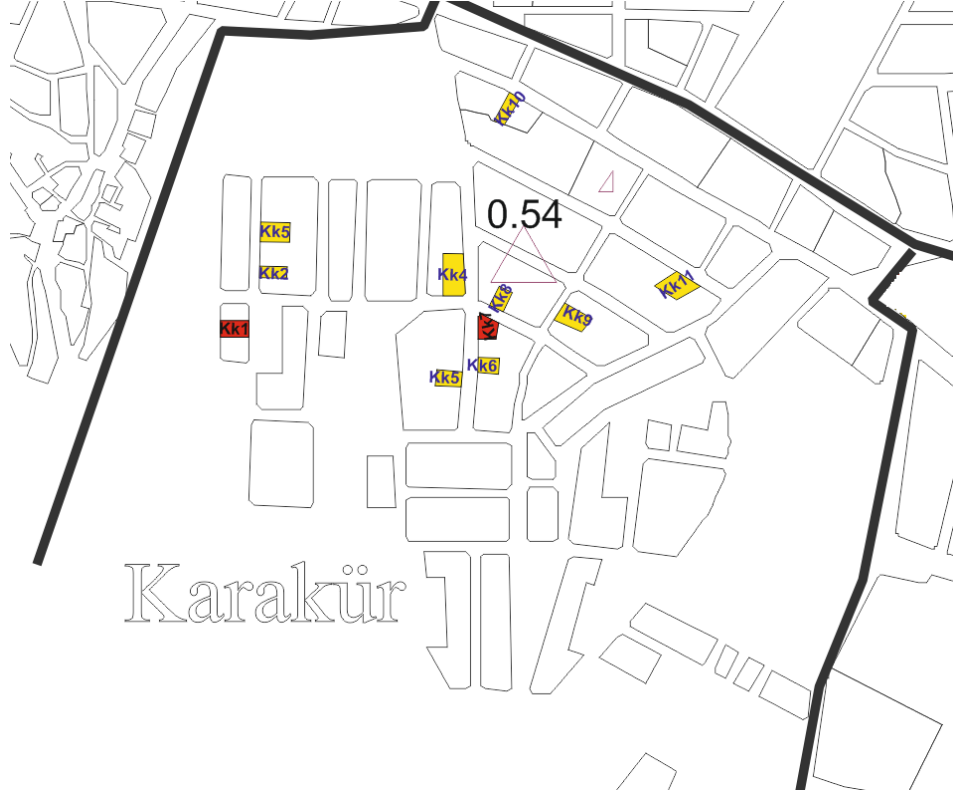
Şekil 6.1: 4 Eylül mahallesi incelenen binalar



Şekil 6.2: Fatih mahallesi incelenen binalar



Şekil 6.3: Hisarardı mahallesi incelenen binalar

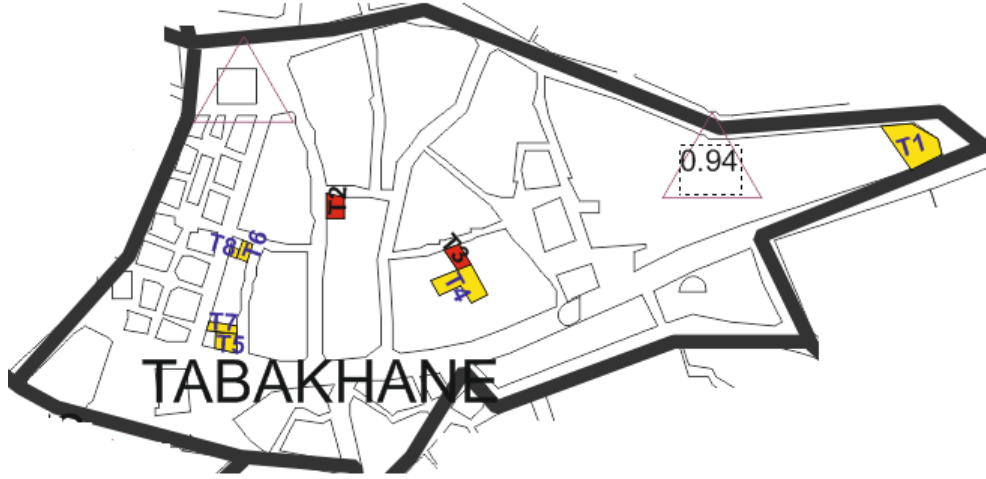


Şekil 6.4: Karakür mahallesi incelenen binalar

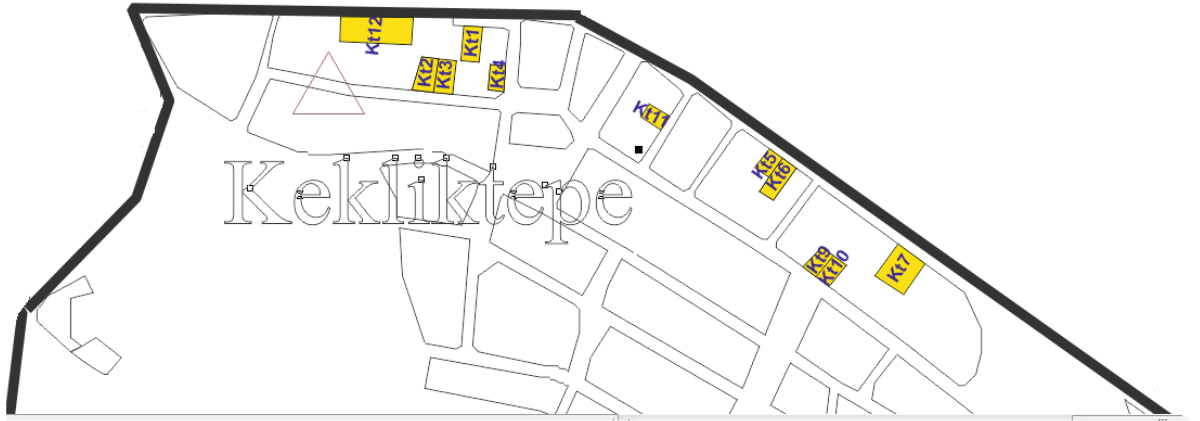


Şekil 6.5: 101 Evler mahallesi incelenen binalar

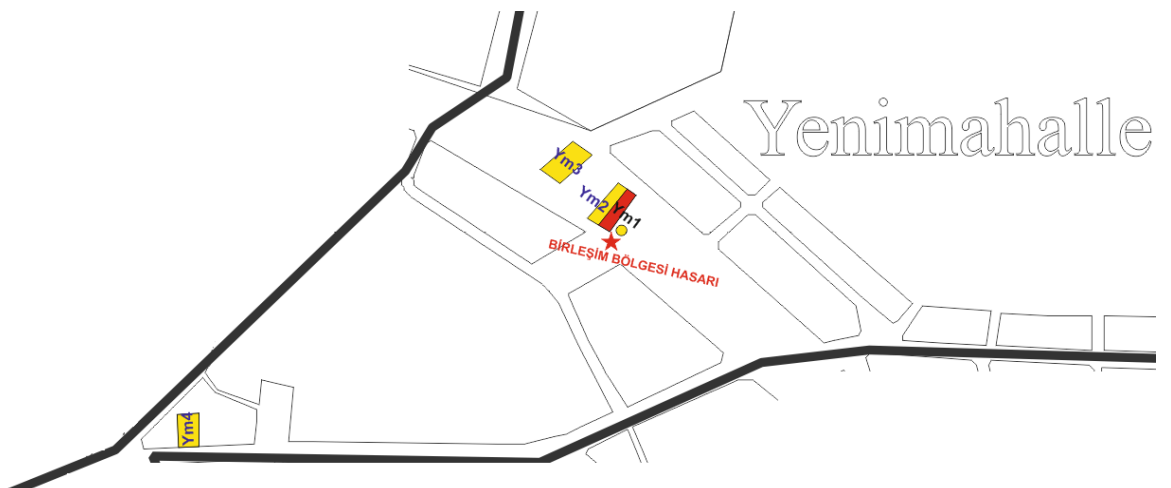




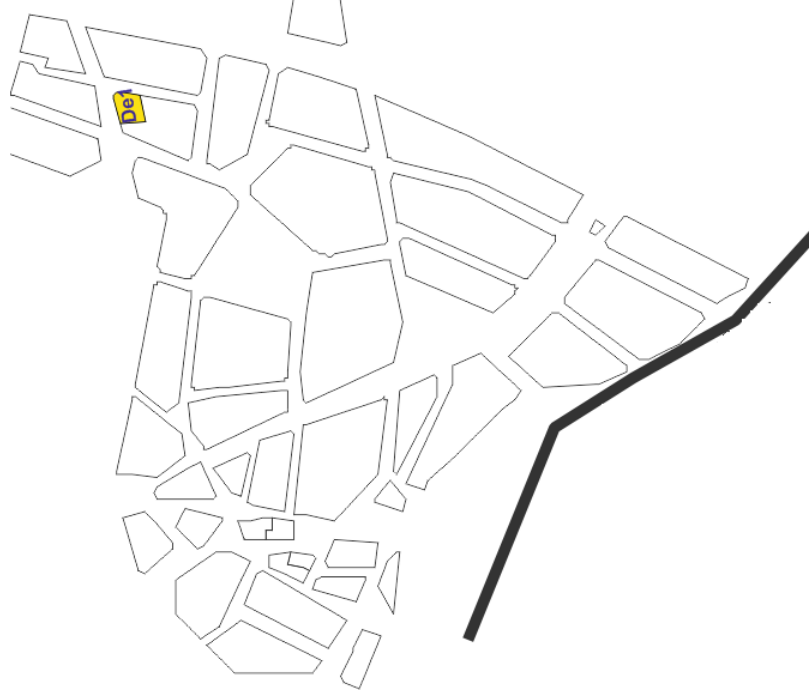
Şekil 6.6: Tabakhane mahallesi incelenen binalar



Şekil 6.7: Kekliktepe mahallesi incelenen binalar



Şekil 6.8: Yenimahalle mahallesi incelenen binalar



Şekil 6.9: Değirmenciler mahallesi incelenen binalar

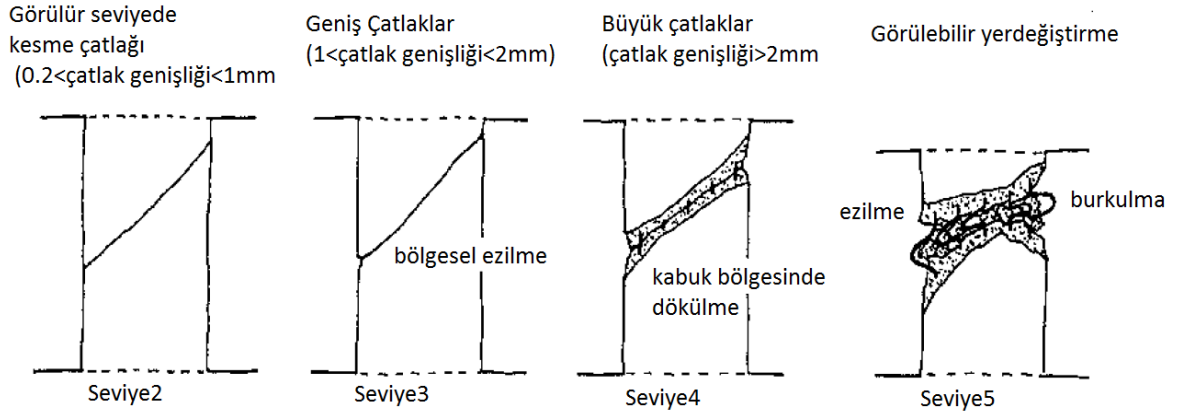
## 6.1. Hasar Değerlendirme Yöntemleri

İncelenen binaların hasar durumları eleman ve sistem bazında olmak üzere detaylı şekilde araştırılmıştır. Her ne kadar çalışma kapsamında incelenen binaların önemli bir kısmı önceki ön değerlendirme çalışmalarında “orta hasarlı” olarak değerlendirilmişse de yapılan detaylı incelemelerde bu binaların bir kısmının “hafif” ve “ağır” hasarlı olduğu anlaşılmıştır.

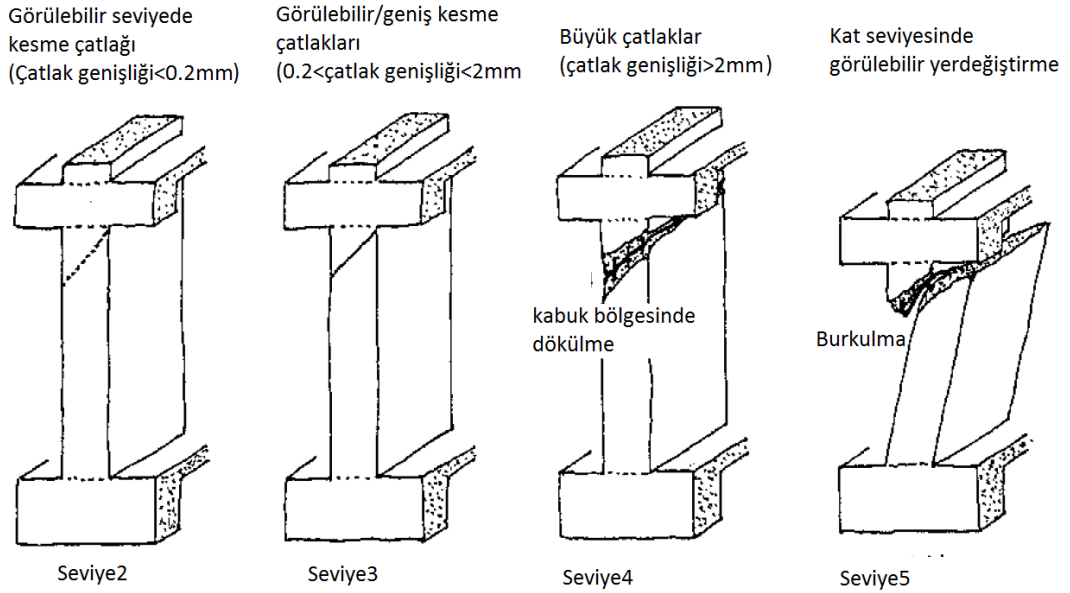
Binaların hasar değerlendirilmesinde iki farklı parametre kullanılmıştır. Öncelikle yapıya ait eleman bazında hasar durumu belirlenmiştir. Sonrasında hasarın türü ve yaygınlığı göz önünde alınarak yapının genel hasar puanı oluşturulmuştur.

### 6.1.1. Eleman Bazında Hasar Değerlendirmesi

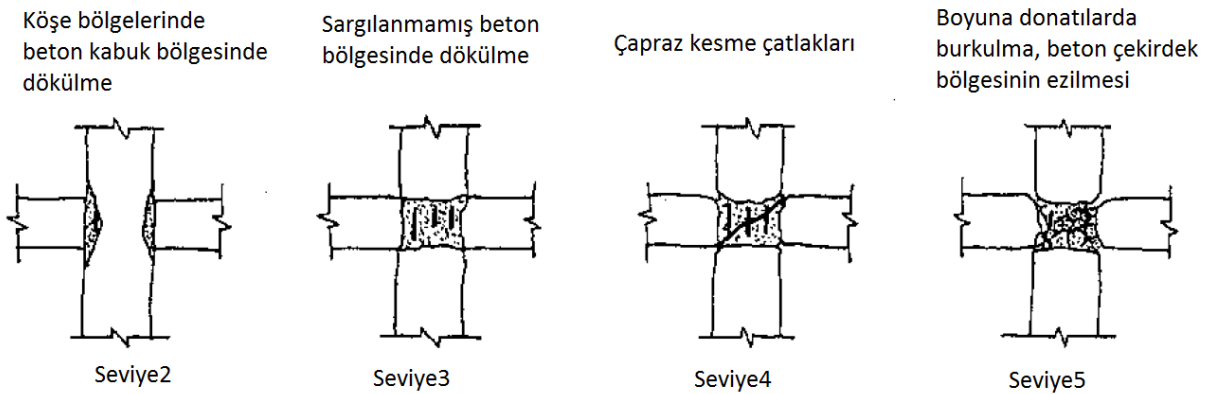
Eleman bazında hasar değerlendirmesi, Mart 2002 tarihli “Quick Inspection Manual For Damaged Reinforced Concrete Buildings Due To Earthquakes” adlı çalışmada kullanılan yöntem baz alınarak yapılmıştır (Kaminosono v.d., 2002). Bu yöntemde göre eleman hasar seviyeleri 0 ile 5 arasında değerlendirilmektedir. Hasar seviyeleri çatlak genişliği ve çatlak tipine göre değişmektedir. Hasar sınırları tanımlamaları Tablo 6.1’de verilmiştir. Şekil 6.10-6.13’te hasar sınırları gösterilmiştir.



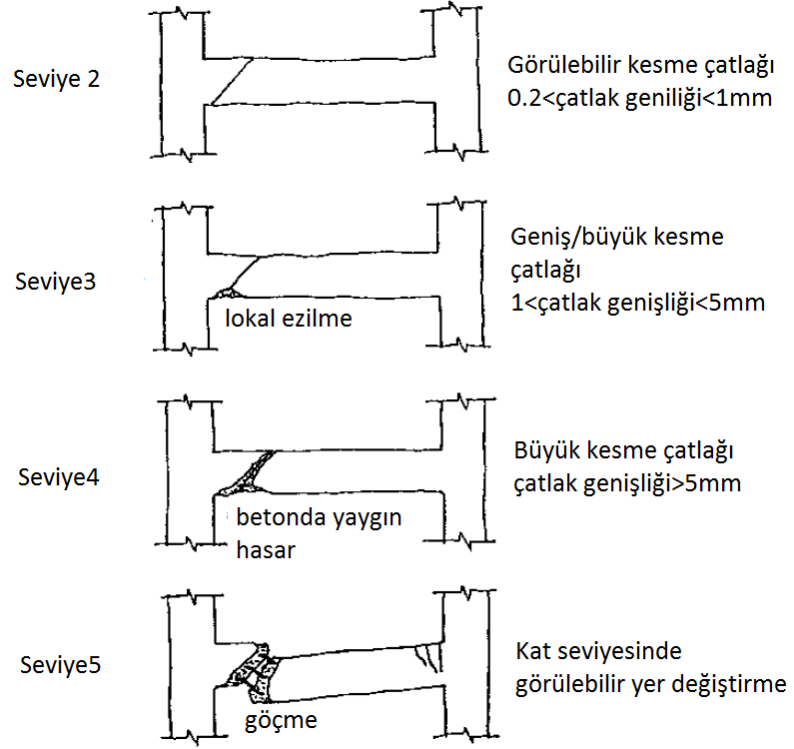
Şekil 6.10: Genişliği 40 cm'nin üzerinde olan kolonlar için hasar seviyeleri



Şekil 6.11: Genişliği 40 cm'nin altında olan kolonlar için hasar seviyeleri



Şekil 6.12: Birleşim bölgesi için hasar seviyeleri

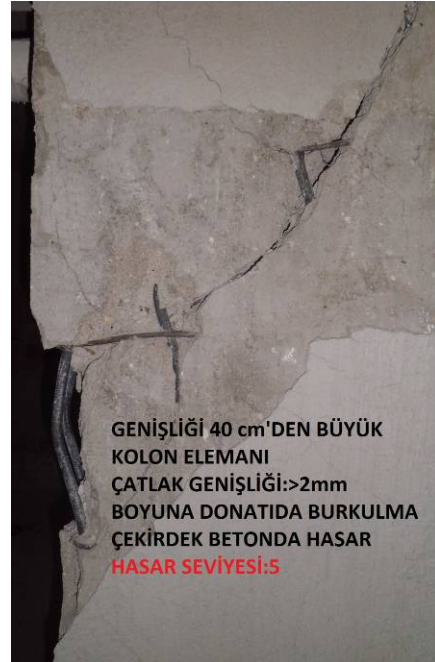
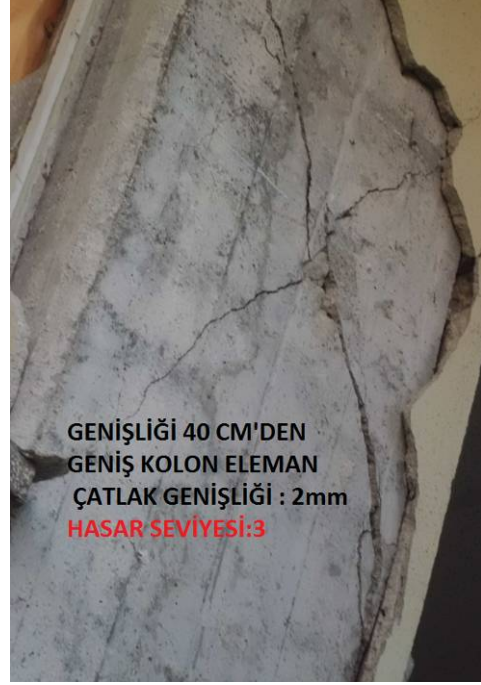
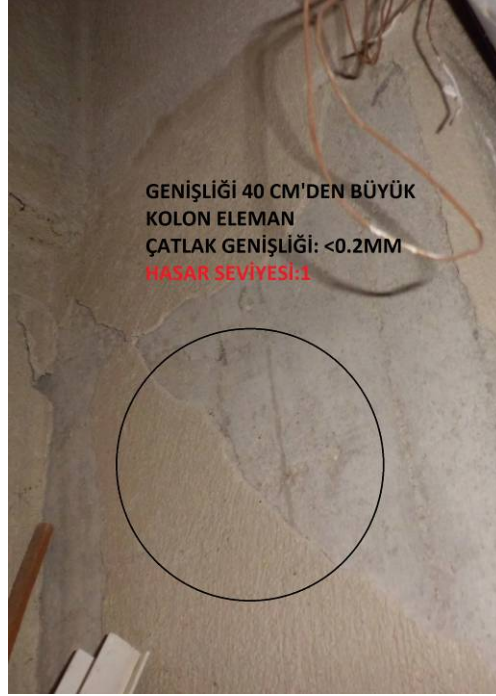


Şekil 6.13: Kiriş elemanlar için hasar seviyeleri

Tablo 6.1: Eleman hasar seviyeleri ve açıklamalar

Seviye	Tanım	Kolon Eleman(Genişlik >40cm)	Kolon Eleman(Genişlik <40cm)	Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi	Kiriş Eleman
0	Hasarsız	Hasarın gözlenmemesi durumu	Hasarın gözlenmemesi durumu	Hasarın gözlenmemesi durumu	Hasarın gözlenmemesi durumu
1	Önemsiz Hasarlı	Kılcak kesme çatlakları(çatlak genişliği<0.2mm)	Kesme hasarı yok	Kesme hasarı yok	Kılcak kesme çatlakları (çatlak genişliği<0.2mm)
2	Hafif Hasarlı	Seçilebilir seviyede kesme çatlakları( 0.2mm<çatlak genişliği<1mm	Kılcak kesme çatlakları(çatlak genişliği<0.2mm)	Kesme hasarı yok ancak beton kabuk bölgesinde dökülme	Seçilebilir seviyede kesme çatlakları( 0.2mm<çatlak genişliği<1mm
3	Orta Hasarlı	Geniş Çatlaklar (1<çatlak genişliği<2mm) Beton bloğunda lokal hasar ve boyuna donatılar görülebilir ancak	Geniş kesme çatlakları (1<çatlak genişliği<2mm) Beton bloğunda lokal hasar ve boyuna donatılar görülebilir	Kesme hasarı yok ancak beton kabuk bölgesinde dökülme	Geniş çatlaklar. (1<çatlak genişliği<5mm) Beton bloğunda lokal hasar ve boyuna donatılar görülebilir
4	Ağır Hasarlı	Büyük çatlaklar (çatlak genişliği>2mm). Beton bloğunda ağır hasar ancak boyuna donatılarda burkulma yok	Büyük çatlaklar (çatlak genişliği>2mm). Beton bloğunda ağır hasar ancak boyuna donatılarda burkulma yok	Çapraz kesme çatlakları , beton kabuk bölgesinde dökülme	Çok büyük kesme çatlakları (çatlak genişliği>5mm) Beton bloğunda lokal hasar ve boyuna donatılar görülebilir
5	Göçme	Boyuna donatılarda burkulma, beton çekirdeğinin ezilmesi kat düzleminde değişme	Boyuna donatılarda burkulma, beton çekirdeğinin ezilmesi kat düzleminde değişme	Boyuna donatılarda burkulma, beton çekirdeğinin ezilmesi kat düzleminde değişme, düğüm noktasında	Boyuna donatılarda burkulma veya kopma, beton çekirdeğinin ezilmesi

Yukarıda ayrıntıları ile açıklanan tanımlamalardan yola çıkarak incelemesi yapılan binalarda eleman bazında hasar seviyeleri belirlenmiştir. Resim 6.1’de farklı hasar seviyelerinde eleman hasarı örnekleri gösterilmektedir.



Resim 6.1: Kolon elemanlarda örnek hasar puanlamaları

### 6.1.2.Sistem Bazında Hasar Değerlendirmesi

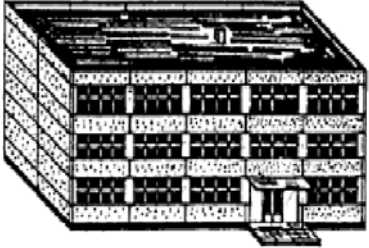
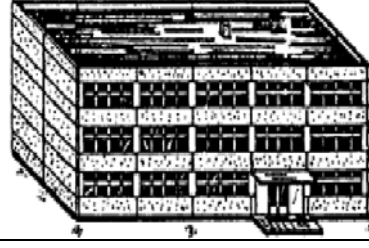



Sistem bazında hasar sınıflandırması Avrupa Makrosismik Şiddet Ölçeği (EMS) baz alınarak yapılmıştır (European Macroseismic Scale, 1998). Ancak çalışma kapsamını oluşturan binaların büyük kısmının orta hasarlı binalar olması nedeniyle EMS hasar seviyelerine ara değerler eklenerek modifiye edilmiştir. Böylece hasar seviyelerindeki farklılıkların daha iyi ifade edilmesi hedeflenmiştir. EMS hasar seviyeleri Tablo 6.2’de gösterilmektedir.

EMS hasar seviyeleri incelendiğinde seviyeler arasındaki farkların dikkat çekici olduğu göze çarpmaktadır. Orta hasar seviyesi olarak tanımlanan hasar sınırında taşıyıcı sistem hasarı hafif olarak tanımlanırken, ağır hasar seviyesinde taşıyıcı sistem hasarı orta olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca orta hasar seviyesinde kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı kabul edilebilir görülmektedir ve hasarın tanımı yeterli şekilde yapılmamıştır.

EMS hasar sınıflandırmasının genel bir yaklaşımla hazırlanmış olması yapının hasar seviyesi hakkında her zaman doğru bir fikir vermesini mümkün kılmamaktadır. Örneğin yumuşak kat düzensizliği ve buna bağlı bir kat mekanizması oluşumunun hangi hasar seviyesinde tanımlanacağı bir soru işareti olarak kalmaktadır. Yine betonarme elemanlarda gözlenen çatlak ve hasarların sınıflandırılması yapılmamıştır. Söz gelimi gevrek ya da sünek davranış ve buna bağlı hasar tipleri detaylandırılmamıştır.

Tez kapsamındaki çalışmanın niceliği göz önüne alındığında EMS sınıflandırmasında değişikliklere gidilmesi kaçınılmaz olmuştur. Hasar sınıflandırmasına ara değerler ve tanımlar eklenerek hasar tanımlamaları daha detaylı hale getirilmeye çalışılmıştır. Modifiye edilmiş EMS hasar sınıflandırması Tablo 6.3’te verilmiştir. Tabloda verilen ara değerler üst ve alt hasar seviyeleri ortasında bir seviye anlamına gelmektedir.

Tablo 6.2: EMS hasar seviyeleri

	<p>Seviye1: İhmal edilebilir seviyede hasar(Yapısal hasar yok, hafif yapısal olmayan hasar)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-sıva ve kaplamalarda hafif çatlaklar</li><li>-dolgu duvar yüzeylerinde hafif çatlaklar</li></ul>
	<p>Seviye2: Orta hasar seviyesi(hafif seviyede yapısal hasar, orta seviyede yapısal olmayan hasar)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-betonarme elemanlarda ve perdelerde çatlaklar</li><li>-dolgu duvarlarda çatlaklar ve kaplamalarda dökülme</li></ul>
	<p>Seviye3: Ağır hasar seviyesi:(orta seviyede yapısal hasar, ağır seviyede yapısal olmayan hasar)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasar</li><li>-Betona kabuk bölgesinde dökülme</li><li>-Dolgu duvarlarda geniş çatlaklar</li><li>-Çerçeve içerisine alınmamış dolgu duvarlarda yıkılma</li></ul>
	<p>Seviye4: Çok ağır hasar(ağır seviyede yapısal hasar, çok ağır seviyede yapısal olmayan hasar)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-Betonarme elemanlar üzerinde geniş çatlaklar</li><li>-Betonda ezilme ve donatıların açığa çıkması</li><li>-Boyuna donatılarda sıyrılmaya ve burkulmaya</li></ul>
	<p>Seviye5:Yıkım (çok ağır yapısal hasar)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>-zemin katta kısmi ya da toptan göçme</li></ul>



Tablo 6.3: Modifiye edilmiş EMS hasar seviyeleri

Modifiye Edilmiş EMS	EMS	Yapısal Hasar	Yapısal Olmayan Hasar
1	1	Yok	Hafif
1.5	1	Yok-Hafif	Hafif
2	2	Hafif	Orta
2.5	2	Hafif-Orta	Orta-Ağır
3	3	Orta	Ağır
3.5	3	Orta-Ağır	Ağır-Çok ağır
4	4	Ağır	Çok Ağır
4.5	4	Ağır-Çok Ağır	Çok Ağır
5	5	Çok Ağır	Yıkım

## 6.2. İncelenen Binaların Hasar Seviyeleri

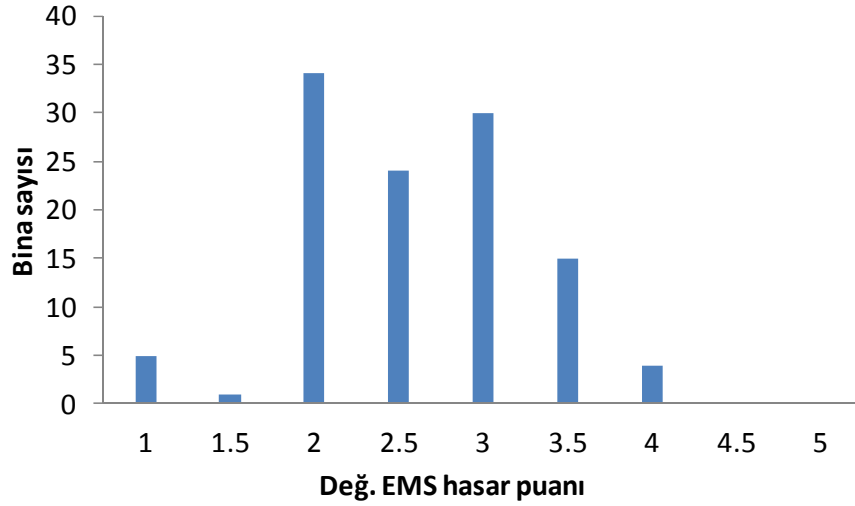
Çalışma kapsamında 113 adet betonarme bina incelenmiş, eleman ve sistem bazında hasar puanları belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 6.5’de verilmiştir. Birinci sütunda yer alan “bina kodu” inceleme sırasında binalara verilen kodlara karşılık gelmektedir. Kolon ve kiriş hasar sınıfları Bölüm 6.2.1’de ayrıntıları ile açıklanan yöntemle, değiştirilmiş EMS hasar puanları ise Bölüm 6.2.2’ye göre hesaplanmıştır.

Şekil 6.14’te hasar seviyelerinin dağılımı gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde beklendiği gibi hasar seviyelerinin büyük kısmının 2, 2.5 ve 3 olduğu görülmektedir. Hasar seviyelerine ait bina sayılarını ise Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4: İncelenen binalara ait hasar puanları

<i>Bina Kod</i>	<i>Kol. Has. Puanı</i>	<i>Kir. Has. Puanı</i>	<i>Duv. Has. Puanı</i>	<i>Değ. EMS Puanı</i>	<i>Bina Kod</i>	<i>Kol. Has. Puanı</i>	<i>Kir. Has. Puanı</i>	<i>Duv. Has. Puanı</i>	<i>Değ. EMS Puanı</i>
101E_1	4	2.5	3.5	3.5	E2	1	1	3	2
BE1	0	1	2	2	F14	0	0	1	1
BE2	3.5	3	3.5	3.5	F15	0	0	2	1
BE3	2	3	4	2.5	F16	0	1	3	2
BE4	4	3.5	4	4	F17	0	1	1	2
BE5	3	2.5	3	3	F18	3	2	4	3
BE6	3.5	3	3.5	3.5	F19	1	2	3	2
BE7	4	3.5	4	4	F20	2	3	3	3
ÇİTGÖL1	2	3	3	2.5	F21	1	2	2	2
ÇİTGÖL2	3	3	3.5	3	F22	2	3	3	3
ÇİTGÖL3	2	2	2.5	2	F25	1	2	2	2
ÇİTGÖL4	1.5	2	2	2	G1	4	2	4	3
DO1	3.5	3.5	2	3	G3	0	1	3	2
DO10	3.5	3	3.5	3.5	G4	3	2	4	3
DO11	1	2	3.5	2	H1	2	2	2	2
DO12	4.5	3	5	4	H10	2.5	2.5	4	2.5
DO13	3	3.5	2	3	H13	2	2.5	3	2.5
DO14	2	3	2	2.5	H14	3	3	3.5	3
DO15	2	2	2	2	H15	4	3	2	3.5
DO16	2	2.5	3	2	H16	2	2.5	3.5	2.5
DO17	0	0	2	1	H2	1	1	4	2
DO18	0	0	1	1	H3	2.5	2	2	2.5
DO19	3.5	3.5	3.5	3.5	H4	0	1	1	2
DO2	3.5	3.5	2	3	H5	3	2.5	3	3
DO20	2.5	2.5	2.5	2.5	H6	2.5	2.5	2.5	2.5
DO21	3	2.5	3.5	3	H7	3.5	3	3	3.5
DO22	3	3	2.5	3	H8	5	3.5	3	4
DO23	2	2.5	3	2	H9	3	2.5	3	3
DO24	3	3	3.5	3	KK1	3.5	3	3	3.5
DO25	3	2.5	3.5	3	KK10	3	3	4	3
DO26	2	2.5	2	2	KK11	2	3.5	3.5	2.5
DO27	2	2.5	2.5	2.5	KK2	2	2	3	2
DO28	2	2	3	2	KK3-A	2	3	3.5	2.5
DO29	2.5	2.5	3.5	2.5	KK3-B	2	3.5	3.5	2.5
DO3	3.5	3.5	2	3	KK4-A	2.5	2.5	3.5	2.5
DO31	2	2	3.5	2	KK4-B	2.5	2.5	3	2.5
DO32	2.5	3	3	2.5	KK5	2	2	2	2
DO33	2.5	2.5	3	2.5	KK6	1	3.5	2	2.5
DO34	1	2	3.5	2	KK7	3.5	3	3	3.5

<i>Bina Kod</i>	<i>Kol. Has. Puanı</i>	<i>Kir. Has. Puanı</i>	<i>Duv. Has. Puanı</i>	<i>Değ. EMS Puanı</i>	<i>Bina Kod</i>	<i>Kol. Has. Puanı</i>	<i>Kir. Has. Puanı</i>	<i>Duv. Has. Puanı</i>	<i>Değ. EMS Puanı</i>
DO35	2	2	3.5	2	KK8	2	3	3.5	2.5
DO36	3	2.5	3	3	M1	4	2	3	3.5
DO38	2.5	3	3	2.5	M2	2	2	2	2
DO39	3	2.5	3	3	M3	0	2	2	2
DO4	3.5	3.5	2	3	M4	3	2	4	3
DO41	3	2.5	2.5	3	NAŞA1	0	0	2	1.5
DO42	3	2.5	2	3	NAŞA3	3	2.5	3.5	3
DO44	3.5	3	2	3.5	NAŞA5	0	1	1.5	2
DO5	4	3	1	3.5	T1	2	2	2	2
DO6	1	2	2	2	T2	3.5	2.5	3	3.5
DO7	1	1	2	2	T3	3.5	3	3	3.5
DO8	1	2	3	2	T4	3	2.5	3.5	3
DO9	0	0	1	1	T5	1	2	2.5	2
E1	3	2	4	3	T6	2.5	2.5	2.5	2.5
YM1	4	3	1.5	4	T7	2.5	2.5	2.5	2.5
YM2	3	2.5	1.5	3	U1	4.5	3.5	4	3.5
YM3	1	1.5	1.5	2	U2	1	2	2	2
YM4	2.5	2	3	2.5	U3	1	4	4	3



Şekil 6.14: İncelemesi yapılan binalara ait hesaplanan hasar seviyelerinin dağılımı

Çalışma kapsamında incelenen binaların büyük kısmının daha önce orta hasarlı olarak öngörüldüğü düşünüldüğünde, sonuçların uyumlu olduğundan söz edilebilir. Ancak ağır hasarlı olduğu belirlenen 4 adet binanın olduğu da

unutulmamalıdır. Hasar puanı 3.5 olan bina sayısı da 15 adettir. Bu binaları orta-ağır arasında bir seviyede değerlendirmek doğru olabilir.

Tablo 6.5: İncelenen binalara ait değiştirilmiş EMS hasar puanları sayıları

<i>Değiştirilmiş EMS</i>	<i>Bina Sayısı</i>
1	5
1.5	1
2	34
2.5	24
3	30
3.5	15
4	4
4.5	0
5	0

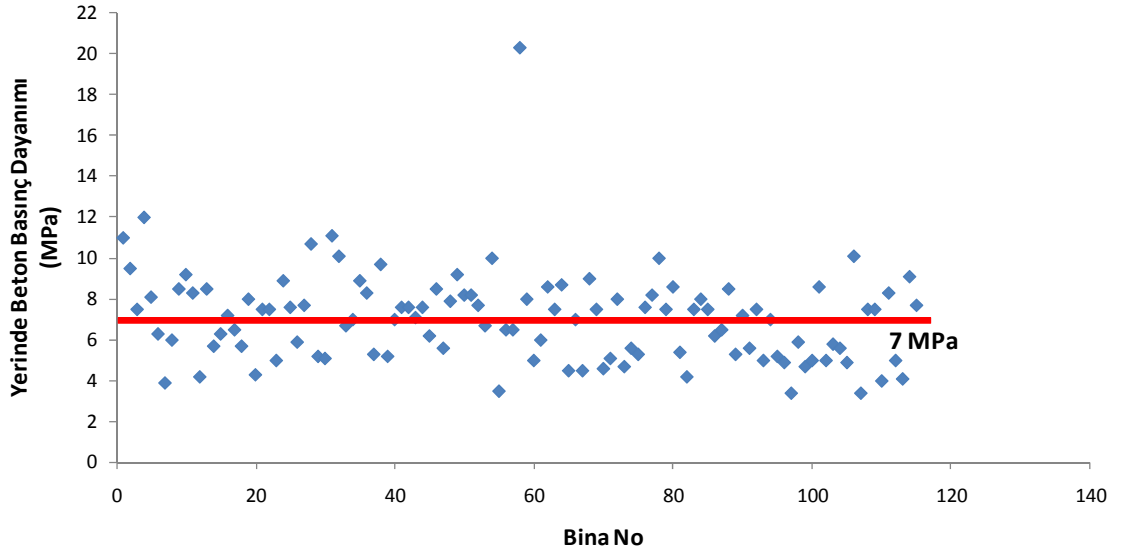
### 6.3.Beton dayanımına ait verilerin değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında 113 adet betonarme binadan karot numunesi alınmış ve binalara ait betona dayanımları bulunmuştur. Binalara ait beton dayanımları Tablo 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.15'de incelenen binalarda beton dayanımının dağılımı yer almaktadır. Şekil 6.16'da ise incelenen binalarda gözlenen beton basınç dayanım aralıkları verilmiştir.

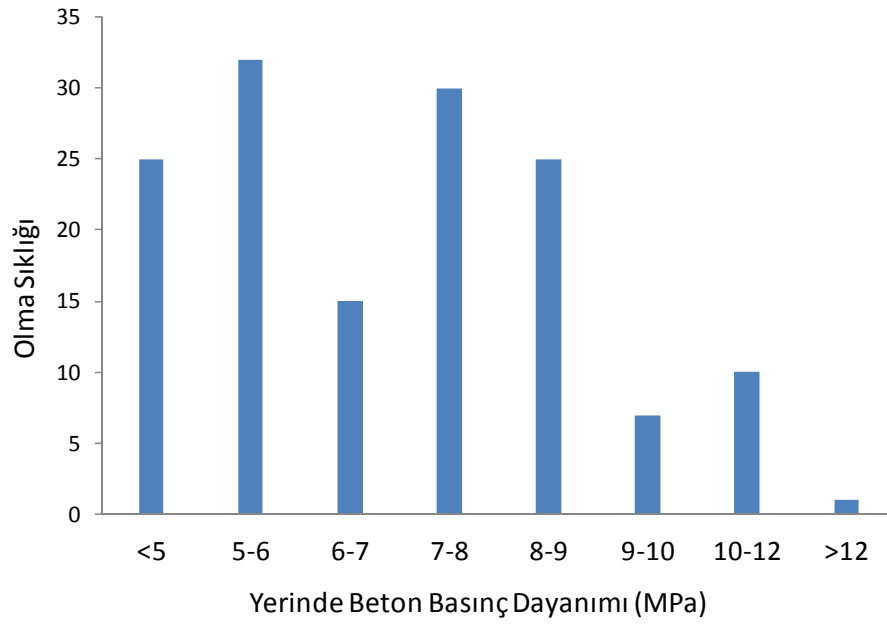
Tablo 6.6: İncelenen binalara ait yerinde beton basınç dayanımı değerleri

<i>Bina Kodu</i>	<i>Beton Dayanımı</i>	<i>Bina Kodu</i>	<i>Beton Dayanımı</i>	<i>Bina Kodu</i>	<i>Beton Dayanımı</i>
101E_1	11	DO3	8.9	H10	7.5
BE1	9.5	DO31	8.3	H13	4.6
E2	7.5	DO32	5.3	H14	5.1
BE3	12	DO33	9.7	H15	8
BE4	8.1	DO34	5.2	H16	4.7
BE5	6.3	DO35	7	H2	5.6
BE6	3.9	DO36	7.6	H3	5.3
BE7	6.0	DO38	7.6	H4	7.6
ÇİTGÖL1	8.5	DO39	7.1	H5	8.2

<b>Bina Kodu</b>	<b>Beton Dayanımı</b>	<b>Bina Kodu</b>	<b>Beton Dayanımı</b>	<b>Bina Kodu</b>	<b>Beton Dayanımı</b>
ÇİTGÖL2	9.2	DO4	7.6	H6	10
ÇİTGÖL3	8.3	DO41	6.2	H7	7.5
ÇİTGÖL4	4.2	DO42	8.5	H8	8.6
DO1	8.5	DO44	5.6	H9	5.4
DO10	5.7	DO5	7.9	KK1	4.2
DO11	6.3	DO6	9.2	KK10	7.5
DO12	7.2	DO7	8.2	KK11	8
DO13	6.5	DO8	8.2	KK2	7.5
DO14	5.7	DO9	7.7	KK3-A	6.2
DO15	8	E1	6.7	KK3-B	6.5
DO16	4.3	E2	10	KK4-A	8.5
DO17	7.5	F14	3.5	KK4-B	5.3
DO18	7.5	F15	6.5	KK5	7.2
DO19	5	F16	6.5	KK6	5.6
DO2	8.9	F17	20.3	KK7	7.5
DO20	7.6	F18	8.0	KK8	5.0
DO21	5.9	F19	5.0	M1	7.0
DO22	7.7	F20	6.0	M2	5.2
DO23	10.7	F21	8.6	M3	4.9
DO24	5.2	T1	8.6	M4	3.4
DO25	5.1	T2	5.0	NAŞA1	5.9
DO26	11.1	T3	5.8	NAŞA3	4.7
DO27	10.1	T4	5.6	NAŞA5	5.0
DO28	6.7	T5	4.9	U1	7.5
DO29	7.0	T6	10.1	U2	4.0
F22	7.5	T7	3.4	U3	8.3
F25	8.7	T8	7.5	YM2	4.1
G1	4.5	YM1	5.0	YM3	9.1
G3	7.0	H1	9.0	YM4	7.7
G4	4.5				



Şekil 6.15: İncelemesi yapılan binalara ait yerinde beton basınç dayanımının değişimi



Şekil 6.16: İncelemen binalarda gözlenen beton basınç dayanım aralıkları ve sıklığı

Yapılan hesaplarda ortalama beton basınç dayanımı 7.0 MPa olarak bulunmuştur. Bölgenin özellikleri, binaların yaşı ve yapım kalitesi birlikte değerlendirildiğinde, sonuçların öngörülebilir olduğu söylenebilir.

#### 6.4. Binalara Ait Yapısal Özelliklerin Değerlendirilmesi

Yapılan incelemelerde binalara ait yapısal özelliklerin yer aldığı bilgiler Tablo 6.7’de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde özellikle yanal donatı miktarının yetersizliği dikkat çekmektedir. Kolon ve kiriş elemanların uç bölgelerinde yanal donatı sıklaştırması yapılmamıştır. Bu durumun Simav Depremi sonrası gözlenen beklenenin üzerindeki hasarın önemli bir nedeni olduğu söylenebilir (İnel vd., 2011b). Tabloda verilen  $0.1N$  ve  $0.07H_n^{3/4}$  değerleri binaların yaklaşık olarak doğal titreşim periyotlarını tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır (Priestley v.d., 2007).

Tablo 6.7: Binalara ait yapısal özellikler

Bina Kodu	Uç Bölge	Orta Bölge	N	0.1* N	0.07* $H_n^{3/4}$	Bina Kodu	Uç Bölge	Orta Bölge	N	0.1* N	0.07* $H_n^{3/4}$
101E_1	f8/25	f8/25	2	0.2	0.27	F17	f8/10	f8/15	5	0.5	0.56
BE1	f8/15	f8/20	4	0.4	0.36	F18	f6/20	f6/20	3	0.3	0.37
BE2	f8/20	f8/20	5	0.5	0.44	F19	f8/13	f8/20	5	0.5	0.53
BE3	f8/20	f8/20	3	0.3	0.36	F20	f8/25	f8/25	5	0.5	0.51
BE4	f8/25	f8/25	5	0.5	0.44	F21	f8/20	f8/20	5	0.5	0.51
BE5	f8/22	f8/22	3	0.3	0.35	F22	f8/20	f8/20	4	0.4	0.40
BE6	f8/20	f8/20	4	0.4	0.34	F25	f8/20	f8/20	5	0.5	0.43
BE7	f8/22	f8/22	4	0.4	0.45	G1	f6/20	f6/20	4	0.4	0.45
ÇİTGÖL1	f8/25	f8/25	4	0.4	0.35	G3	f8/20	f8/20	4	0.4	0.37
ÇİTGÖL2	f6/20	f6/20	3	0.3	0.29	G4	f8/20	f8/15	6	0.6	0.54
ÇİTGÖL3	f8/15	f8/15	4	0.4	0.42	H1	f6/20	f6/20	4	0.4	0.43
ÇİTGÖL4	f6/25	f6/25	4	0.4	0.32	H10	f8/30	f8/30	4	0.4	0.43
DO1	f8/20	f8/20	4	0.4	0.51	H13	f8/18	f8/18	6	0.6	0.58
DO10	f8/30	f8/30	5	0.5	0.51	H14	f8/20	f8/20	3	0.3	0.34
DO11	f8/26	f8/26	4	0.4	0.45	H15	f8/20	f8/20	3	0.3	0.35
DO12	f8/25	f8/25	5	0.5	0.53	H16	f8/22	f8/22	4	0.4	0.43
DO13	f6/25	f6/25	4	0.4	0.45	H2	f8/25	f8/25	6	0.6	0.61
DO14	f6/25	f6/25	4	0.4	0.45	H3	f8/20	f8/20	4	0.4	0.43
DO15	f6/25	f6/14	4	0.4	0.45	H4	f6/15	f6/30	5	0.5	0.52
DO16	f6/25	f6/25	4	0.4	0.43	H5	f8/20	f8/20	4	0.4	0.43
DO17	f6/26	f6/26	4	0.4	0.41	H6	f8/15	f8/20	6	0.6	0.58
DO18	f6/20	f6/20	4	0.4	0.35	H7	f6/20	f6/20	3	0.3	0.35
DO19	f8/20	f8/20	5	0.5	0.50	H8	f8/15	f8/20	5	0.5	0.49
DO2	f8/20	f8/20	4	0.4	0.51	H9	f8/20	f8/20	6	0.6	0.53
DO20	f8/27	f8/27	5	0.5	0.43	KK1	f8/20	f8/20	4	0.4	0.35
DO21	f8/20	f8/20	5	0.5	0.43	KK10	f8/20	f8/20	4	0.4	0.35
DO22	f8/25	f8/20	4	0.4	0.43	KK11	f8/20	f8/20	4	0.4	0.42
DO23	f8/25	f8/25	4	0.4	0.45	KK2	f8/20	f8/20	2	0.2	0.27
DO24	f8/16	f8/20	6	0.6	0.58	KK3-A	f8/20	f8/20	4	0.4	0.43

Bina Kodu	Uç Bölge	Orta Bölge	N	0.1* N	0.07* Hn <sup>3/4</sup>	Bina Kodu	Uç Bölge	Orta Bölge	N	0.1* N	0.07* Hn <sup>3/4</sup>
DO25	φ8/25	φ8/25	5	0.5	0.43	KK3-B	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.43
DO26	φ8/25	φ8/25	5	0.5	0.43	KK4-A	φ8/20	φ8/25	5	0.5	0.43
DO27	φ8/25	φ8/25	4	0.4	0.42	KK4-B	φ8/20	φ8/25	5	0.5	0.43
DO28	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.42	KK5	φ8/15	φ8/15	3	0.3	0.35
DO29	φ8/15	φ8/20	5	0.5	0.50	KK6	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.42
DO3	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.51	KK7	φ8/26	φ8/26	2	0.2	0.25
DO31	φ8/20	φ8/20	3	0.3	0.34	KK8	φ8/25	φ8/25	5	0.5	0.51
DO32	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.44	M1	φ6/25	φ6/25	5	0.5	0.56
DO33	φ8/20	φ8/23	5	0.5	0.51	M2	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.48
DO34	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.41	M3	φ8/25	φ8/25	4	0.4	0.43
DO35	φ8/20	φ8/20	5	0.5	0.42	M4	φ6/25	φ6/25	4	0.4	0.44
DO36	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.43	NAŞA1	φ6/20	φ6/20	3	0.3	0.27
DO38	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.46	NAŞA3	φ8/15	φ8/15	4	0.4	0.36
DO39	φ8/18	φ6/18	3	0.3	0.36	NAŞA5	φ6/20	φ6/20	2	0.3	0.23
DO4	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.51	T1	φ6/15	φ6/15	5	0.5	0.45
DO41	φ8/20	φ8/20	3	0.3	0.36	T2	φ8/25	φ8/25	4	0.4	0.45
DO42	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.42	T3	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.36
DO44	φ10/20	φ10/20	5	0.5	0.50	T4	φ6/10	φ6/20	4	0.4	0.44
DO5	φ6/25	φ6/25	3	0.3	0.26	T5	φ6/17	φ6/20	5	0.5	0.55
DO6	φ6/20	φ6/20	6	0.6	0.60	T6	φ6/20	φ6/20	4	0.4	0.36
DO7	φ8/25	φ8/25	3	0.3	0.38	T7	φ8/15	φ8/15	3	0.3	0.27
DO8	φ10/26	φ10/26	4	0.4	0.45	T8	φ6/20	φ6/20	3	0.3	0.27
DO9	φ8/10	φ8/20	5	0.5	0.52	U1	φ8/10	φ8/20	6	0.6	0.61
E1	φ6/30	φ6/30	5	0.5	0.67	U2	φ8/20	φ8/20	5	0.5	0.51
E2	φ8/25	φ8/25	5	0.5	0.53	U3	φ8/20	φ8/20	4	0.4	0.45
F14	φ6/20	φ6/20	5	0.5	0.53	YM1	φ6/20	φ6/20	2	0.2	0.23
F15	φ8/25	φ8/25	4	0.4	0.45	YM2	φ6/20	φ6/20	2	0.2	0.18
F16	φ8/20	φ8/20	3	0.3	0.35	YM3	φ6/20	φ6/20	3	0.3	0.28
						YM4	φ6/25	φ6/25	4	0.4	0.47

Uç Bölge: Kolon sıklaştırma bölgesi yanal donatı çapı/aralığı

Orta Bölge: Kolon orta bölgesi yanal donatı çapı/aralığı

N: Kat Sayısı

H<sub>n</sub>: Bina Yüksekliği

φ: donatı çapı

## 6.5. Hızlı Değerlendirme Puanlarının Bulunması

İnceleme kapsamında olan 115 adet betonarme bina, 4. Bölümde ayrıntıları ile açıklanan P25 (Ref), YAKUT (Yakut, 2004) ve TÜBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 (Özcebe, 2004) hızlı değerlendirme metotlarına göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.8’de verilmiştir.



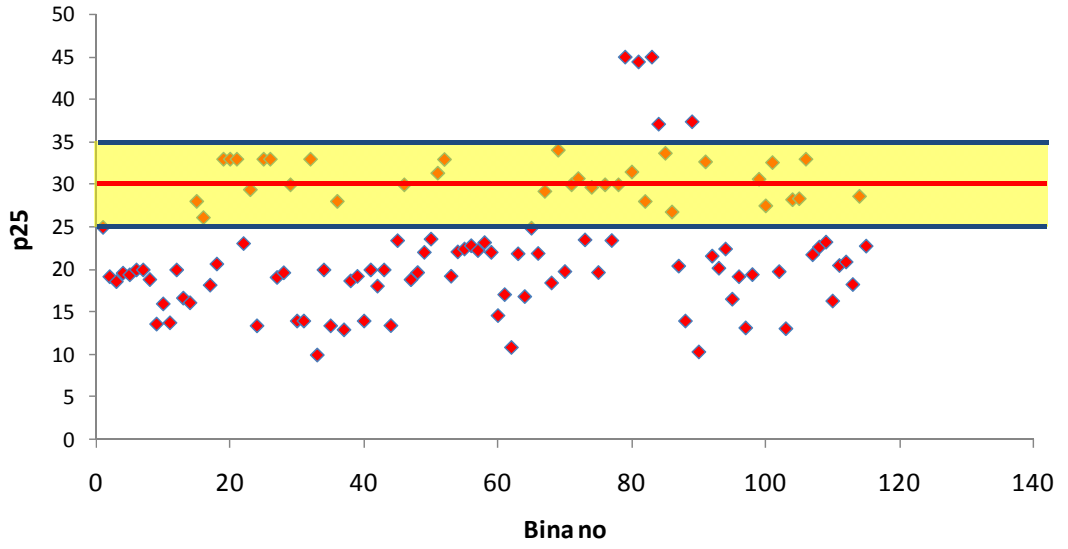
Tablo 6.8: Binalara ait hızlı değerlendirme puanları

Bina Kodu	P25	Pw	Yakut	İçtag	Bina Kodu	P25	Pw	Yakut	Özcebe
101E_1	25.00	63.27	0.42	6.64	F16	23.20	46.80	1.12	9.83
BE1	19.21	52.53	0.49	3.25	F17	22.06	39.14	1.26	4.91
BE2	18.63	47.36	0.38	2.79	F18	14.63	39.35	0.40	1.61
BE3	19.61	56.32	0.27	4.22	F19	17.10	34.77	0.49	5.51
BE4	19.42	54.53	1.06	2.69	F20	10.89	33.67	0.28	-0.20
BE5	20.00	66.92	0.93	7.72	F21	21.90	44.99	0.36	1.90
BE6	20.00	64.43	0.44	3.76	F22	16.87	37.21	0.81	5.30
BE7	18.86	49.45	1.02	4.04	F25	24.90	59.23	0.59	15.57
ÇİTGÖL1	13.64	38.57	0.44	1.93	G1	21.93	38.26	0.88	10.14
ÇİTGÖL2	16.01	26.73	0.78	4.60	H10	29.23	55.10	0.85	12.73
ÇİTGÖL3	13.79	40.00	1.45	4.28	H13	18.47	68.87	0.37	4.07
ÇİTGÖL4	20.00	65.82	1.12	6.81	H14	34.07	54.94	0.86	16.00
DO1	16.69	32.59	0.82	0.74	H15	19.81	58.17	1.37	16.17
DO10	16.14	49.59	0.49	12.95	H16	30.00	61.57	0.71	12.83
DO11	28.05	51.93	0.54	19.93	H2	30.73	63.72	0.71	5.65
DO12	26.14	56.54	0.46	7.38	H3	23.53	39.00	0.40	0.28
DO13	18.20	43.72	0.41	1.70	H4	29.70	58.08	1.12	11.53
DO14	20.69	48.35	0.32	10.23	H5	19.69	57.02	0.17	5.59
DO15	33.00	65.97	2.60	48.92	H6	30.00	64.06	0.90	5.33
DO16	33.00	63.87	0.34	34.97	H7	23.46	55.70	1.23	3.98
DO17	33.00	66.82	1.41	19.31	H8	30.00	63.89	1.16	3.16
DO18	23.10	49.29	1.25	40.80	H9	45.00	65.41	1.24	10.95
DO19	29.42	56.32	0.49	20.32	KK1	31.50	53.59	1.11	11.10
DO2	13.43	31.54	0.49	-1.19	KK10	44.43	73.40	0.87	4.52
DO20	33.00	65.36	0.88	18.06	KK11	28.04	62.69	0.43	3.70
DO21	33.00	66.59	0.59	23.38	KK2	45.00	83.81	2.51	12.98
DO22	19.12	51.72	0.69	10.66	KK3-A	37.12	70.84	0.72	4.67
DO23	19.66	56.79	1.27	28.01	KK3-B	33.70	69.99	0.73	4.19
DO24	29.99	59.94	1.11	13.76	KK4-A	26.80	58.50	0.45	4.27
DO25	14.00	46.49	0.53	11.55	KK4-B	20.45	56.91	0.36	3.86
DO26	14.00	43.72	0.72	24.80	KK5	14.00	44.59	2.07	9.50
DO27	33.00	76.22	0.87	43.89	KK6	37.40	73.56	0.84	13.89
DO28	10.00	60.67	0.18	32.23	KK7	10.37	52.78	2.45	12.00
DO29	20.00	63.70	0.46	21.39	KK8	32.69	67.86	0.59	7.47
DO3	13.43	31.54	0.49	-1.19	M1	21.62	47.54	0.45	4.91
DO31	28.05	58.91	1.31	26.51	M2	20.20	40.97	0.57	7.59
DO32	12.97	36.24	0.28	11.37	M3	22.46	41.75	0.72	7.73

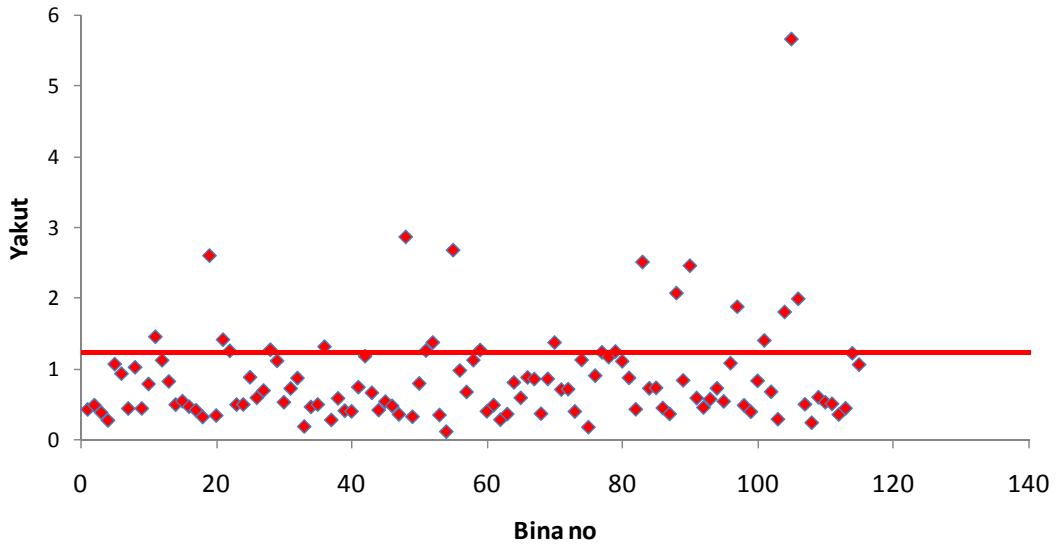
Bina Kodu	P25	Pw	Yakut	İçtag	Bina Kodu	P25	Pw	Yakut	Özcebe
DO33	18.71	48.07	0.58	32.95	M4	16.56	41.19	0.54	5.51
DO34	19.24	52.83	0.41	1.57	NAŞA1	19.20	52.52	1.08	11.97
DO35	14.00	45.59	0.40	3.55	NAŞA3	13.19	34.47	1.87	12.22
DO36	20.00	62.43	0.74	24.58	NAŞA5	19.44	54.73	0.48	14.86
DO38	18.09	42.78	1.18	15.44	T1	30.65	62.76	0.39	1.50
DO39	20.00	64.09	0.66	3.37	T2	27.52	44.94	0.83	3.25
DO4	13.46	31.55	0.42	3.73	T3	32.61	57.73	1.40	4.09
DO41	23.44	55.58	0.54	16.79	T4	19.80	34.55	0.67	4.55
DO42	30.00	60.98	0.47	18.49	T5	13.10	37.66	0.29	2.26
DO44	18.86	49.37	0.36	7.94	T6	28.25	49.19	1.80	11.35
DO5	19.68	56.98	2.86	8.56	T7	28.37	49.87	5.65	10.54
DO6	22.06	39.10	0.32	5.49	T8	33.00	60.34	1.99	17.78
DO7	23.61	49.70	0.79	4.11	U1	21.78	37.31	0.50	5.25
DO8	31.36	50.73	1.26	9.81	U2	22.68	58.25	0.24	6.33
DO9	32.97	59.85	1.37	23.86	U3	23.26	47.22	0.60	8.06
E1	19.25	48.27	0.35	7.97	YM1	16.34	66.52	0.53	12.66
E2	22.12	39.49	0.11	7.74	YM2	20.52	64.44	0.50	12.69
F14	22.45	41.69	2.67	16.31	YM3	20.93	56.22	0.35	5.97
F15	22.84	44.30	0.98	10.16	YM4	18.29	61.63	0.44	3.32
G3	22.27	40.51	0.67	10.29	H1	28.64	51.52	1.22	5.06
					G4	22.80	44.00	1.06	18.48

Şekil 6.17’de P25 metoduna göre hesaplanmış hızlı değerlendirme puanları yer almaktadır. Kırmızı çizgi altında kalan binaların yöntemle göre göçme riski bulunmaktadır. Mavi çizgiler ise risk bandını göstermektedir (Bal vd., 1997). Şekil 6.18 ve 6.19’da sırasıyla Yakut ve İçtag yöntemlerine göre hesaplanan hızlı değerlendirme puanlarının dağılım grafikleri yer almaktadır. Şekil 6.18’de görülen kırmızı çizgi altında kalan binalar yöntemle göre göçme riski yüksek binalar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 6.19’da hesaplanan puanlar İçtag yönteminde can güvenliği parametresi olan LS indisi dikkate alınmıştır. Yapının performans seviyesinin puanlaştırılması açısından  $CV_{LS}$  parametresinin  $HI_{LS}$ ’den büyüklüğünün derecelendirilmesi için  $CV_{LS}-HI_{LS}$  değeri kullanılmıştır.

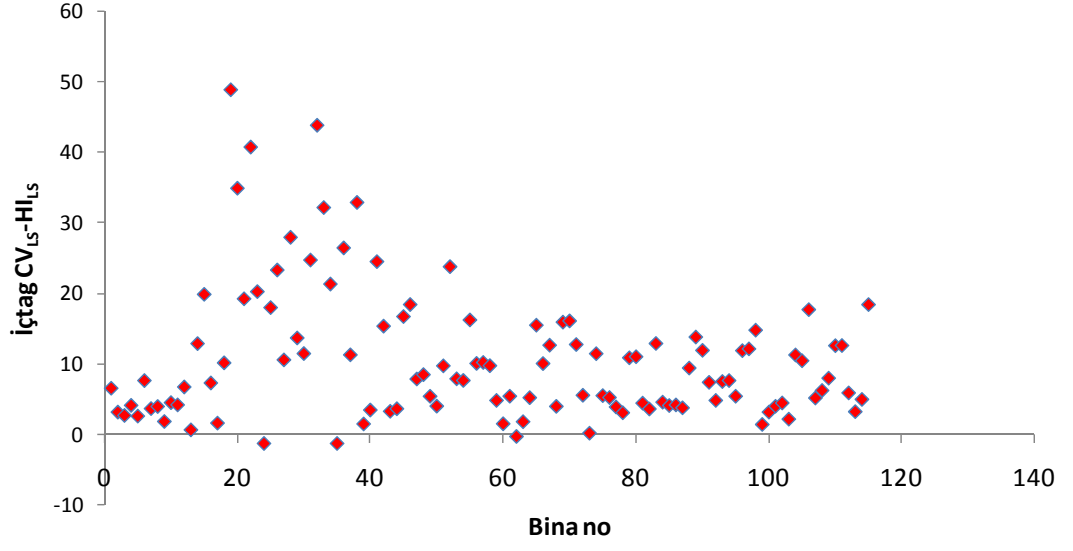
Hızlı değerlendirme metotlarına ait puanlar ve binalara ait hesaplanan hasar puanları arasındaki ilişki 7. Bölüm’de detaylı şekilde araştırılacaktır.



Şekil 6.17: İncelemen binalara ait hesaplanan P25 yöntemi puanlarının dağılımı



Şekil 6.18: İncelemen binalara ait hesaplanan Yakut yöntemi puanlarının dağılımı



Şekil 6.19: İncelemen binalara ait İçtag Yöntemi CV<sub>LS</sub>-HI<sub>LS</sub> değerleri

## 7. ELDE EDİLEN VERİLERİN HASAR İLE İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu bölümde inceleme kapsamını oluşturan binalara ait parametreler ile belirlenen hasar puanları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmını oluşturan bu bölümde amaç, hasar seviyesi ve yapısal parametreler arasındaki olası ilişkinin ortaya çıkarılmasıdır. Ayrıca binaların hızlı değerlendirme puanları ve hasar durumları da karşılaştırılmıştır. Şekil 7.1’de binaların hesaplanan yerinde beton dayanımı ile değiştirilmiş EMS puanları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde bu iki parametre arasında dikkat çeken bir ilişkinin bulunamadığı görülmektedir. Hesaplanan korelasyon katsayısı oldukça düşüktür.

Şekil 7.2’de ise kat sayısı ile değiştirilmiş EMS puanları karşılaştırılmıştır. Grafikte hesaplanan korelasyon katsayısı 0.0036’dır. Kat sayısı ile hasar oranı arasında doğrudan bir ilişki gözlenememiştir. Ayrıca belirli bir kat katsayısında hasar yoğunluğunda ani bir artış bulunmamaktadır.

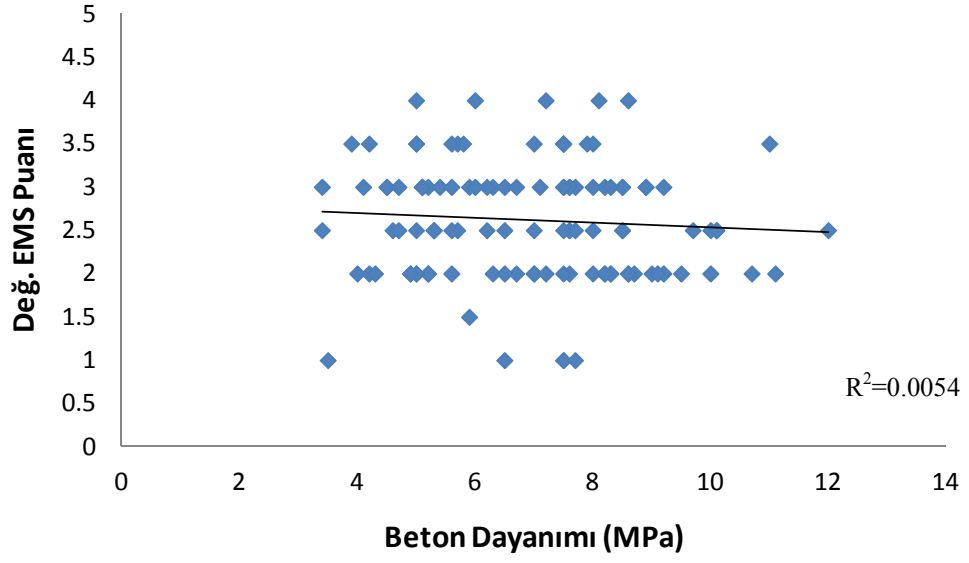
Şekil 7.3’de yanal donatı oranı ve hasar durumu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayısı 0.0012’dir. Grafikte de görüleceği gibi yanal donatı oranı ve hasar durumu ile ilgili doğrudan bir ilişki göze çarpmamaktadır. Bunun iki temel nedeninin olduğundan bahsedilebilir. Bölgede incelenen binaların çok büyük çoğunluğunda sargılama oranı yetersizdir. Dolayısıyla yanal sargılama miktarı binalar için ayırt edici bir özellik olmamaktadır. İkinci sebep ise depremin yapısıdır. 19 Mayıs 2011 Simav depremi ancak orta büyüklükte sayılabılacak bir sismik hareketliliktedir. Yalnızca bir adet binanın zemin katında göçme yaşanmıştır. Dolayısıyla hasar bandı, daha büyük sismik hareketliliklere göre daha dardır. Yanal donatı oranı yapının süneklik kapasitesi etkileyen en önemli parametrelerden birisidir (Özmen, 2011) özellikle deplasman talebi daha büyük depremlerde hasar oranı ile arasındaki korelasyonun daha yüksek olacağı düşünülmektedir.

Şekil 7.4'te kat dolgu duvar alanı/kat alanı oranı ve değiştirilmiş EMS puanları arasındaki ilişki yer almaktadır. Hesaplanan korelasyon katsayısı 0.0482'dir. Elde edilen parametreler karşılaştırıldığında, hasar oranı ile korelasyonu en yüksek yapı parametresinin dolgu duvar alanı olduğu göze çarpmaktadır. Yapılan incelemelerde kritik kat büyük oranda zemin kat olarak seçilmiştir. Bu nedenle özellikle yumuşak kat düzensizliği bulunan binalarda dolgu duvar alanının hasar ile korelasyonu diğer yapısal parametrelere göre yüksektir. Simav Depremi özellikleri incelendiğinde ancak orta büyüklükte bir deprem olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle yapılar üzerinde sismik talepleri kısıtlıdır. Bu nedenle, dolgu duvarların yapıya rijitlik ve dayanım katkısı dikkate değer seviyelerde olmuştur.

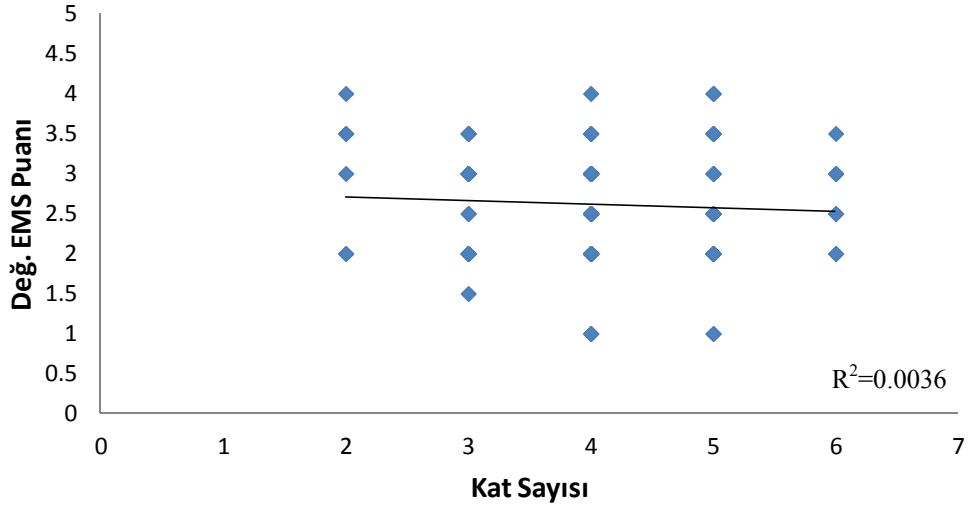
Şekil 7.5'de incelemesi yapılan binaların zeminine ait  $V_{s30}$  kayma dalgası hızı ve değiştirilmiş EMS puanları arasındaki ilişki verilmiştir. Hesaplanan korelasyon katsayısı 0.0106'dır. Yapılan incelemelerde  $V_s$  değeri ve hasar durumu arasında dikkat çeken bir ilişki göze çarpmamaktadır.

Şekil 7.6'da değ. EMS puanı 3.5 ve üzeri olan binaların (ağır+göçük) oranına karşı bölgenin zemin periyodu oranı verilmektedir. Grafik incelendiğinde ilişkinin son derece dikkat çekici olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı 0.1512 olarak bulunmuştur. Bu değer tüm parametreler arasında bulunan en yüksek korelasyon katsayısıdır. Ağır+göçük olarak adlandırılan binaların büyük çoğunluğu 0.7-0.8 saniyelik zemin periyodu bandında yer almaktadır. Bu durum zemin ve hasar ilişkisinin önemli bir örneği olarak gösterilebilir.

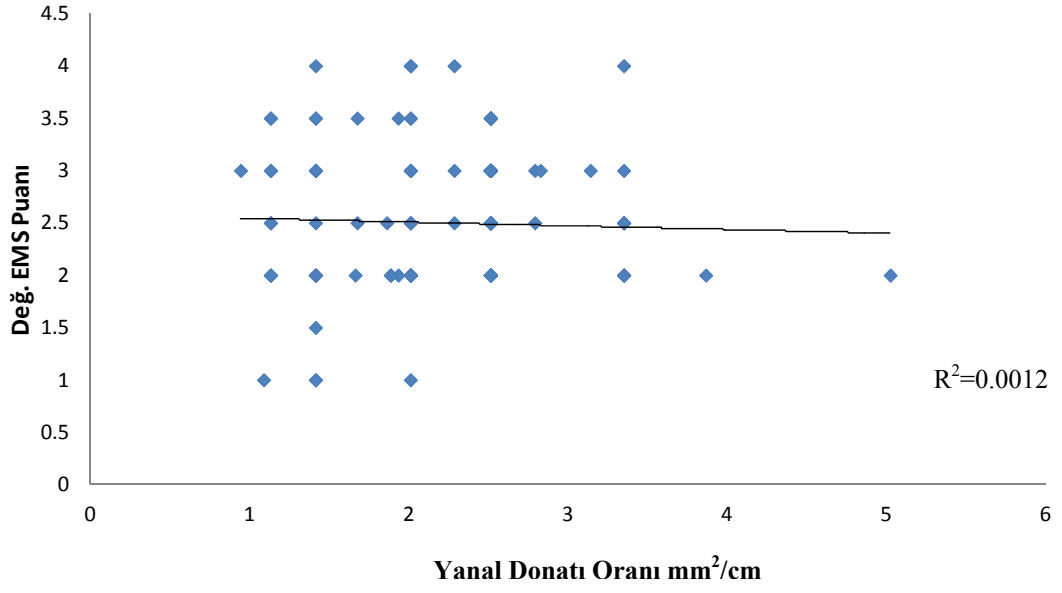
Yapısal parametreler ayrı ayrı değerlendirildiğinde, hasar ile korelasyonunun dikkat çekici seviyede olmadığı görülmektedir. Bu nedenle tüm yapısal parametrelerin yer aldığı bir denklem tanımlanmıştır. Denklemde dikkate alınan parametrelerin kombinasyonları minimum hata oranı ile Değ. EMS puanlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 7.7'de görüldüğü gibi, tüm parametrelerin birlikte değerlendirildiği tahmini EMS puanı ile Değ. EMS puanı arasındaki korelasyon, parametrelerin ayrı ayrı değerlendirildiği duruma göre oldukça yüksektir.



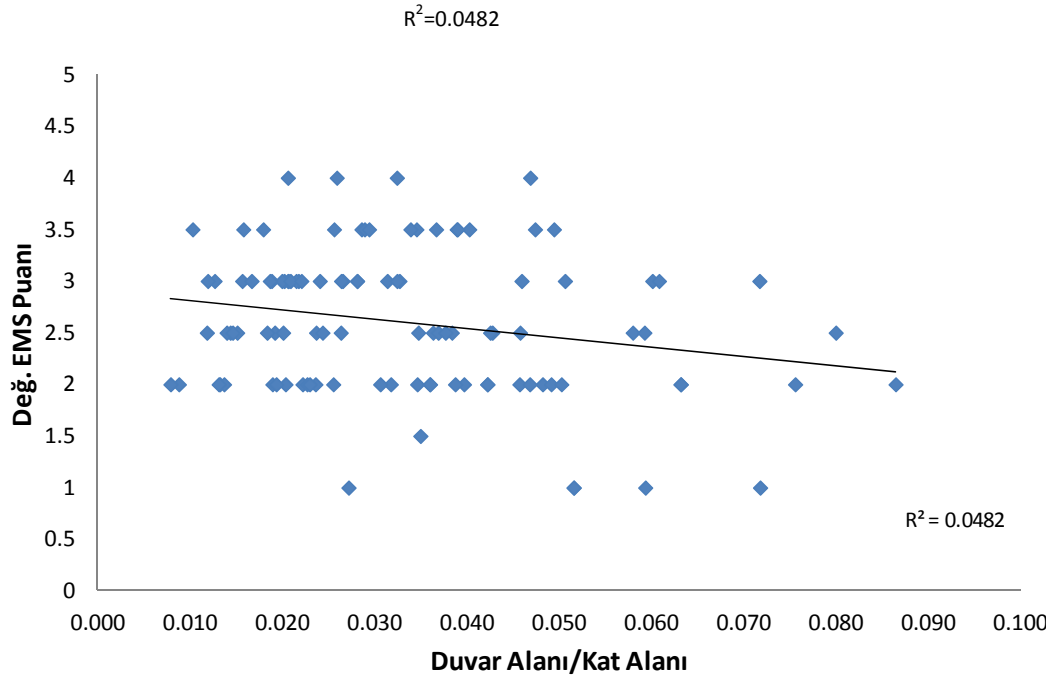
Şekil 7.1: İncelemen binalara ait beton dayanımları ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki



Şekil 7.2: İncelemen binalara ait kat sayıları ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki

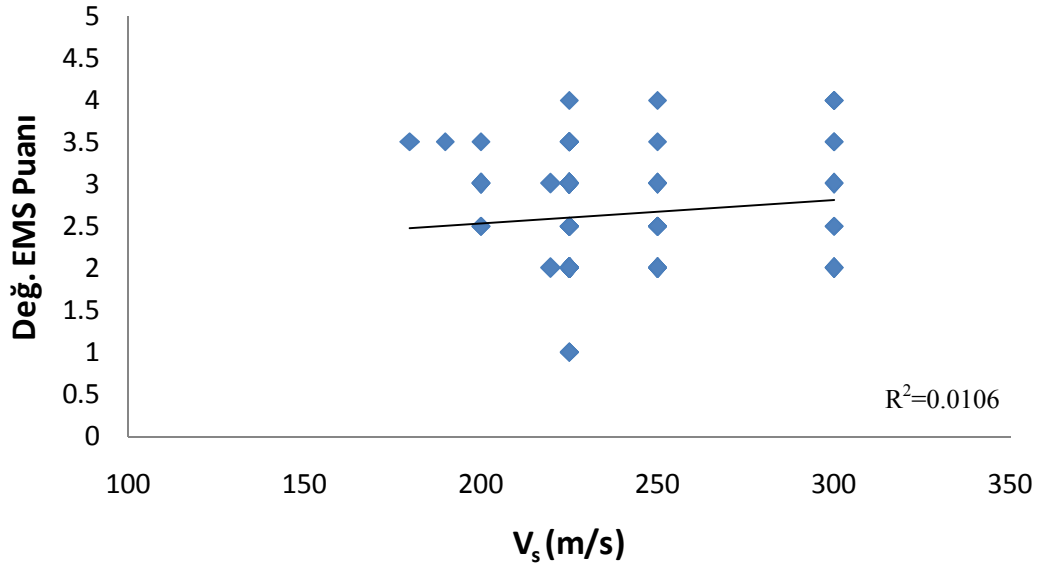


Şekil 7.3: İncelemen binalara ait yanal donatı değer, ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki

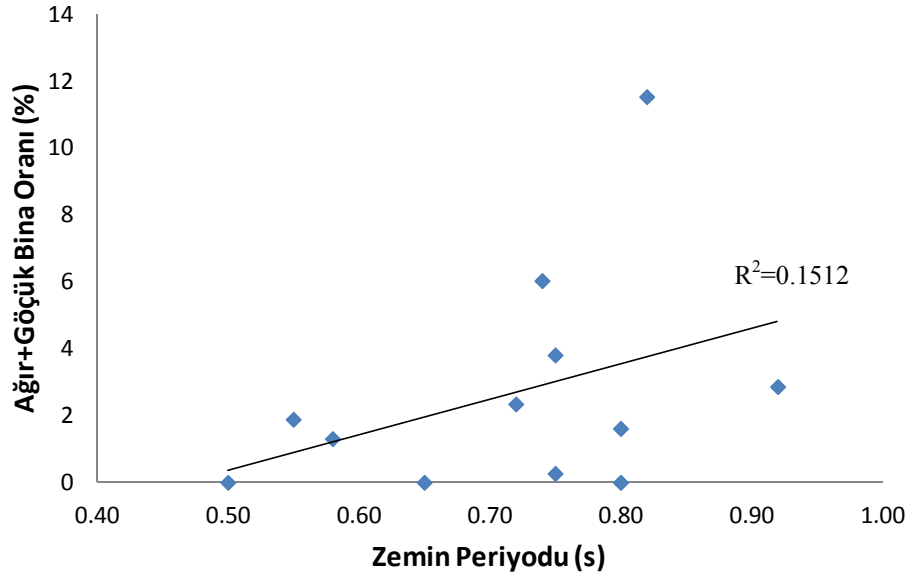


Şekil 7.4: İncelemen binalara ait duvar alanı/kat alanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki

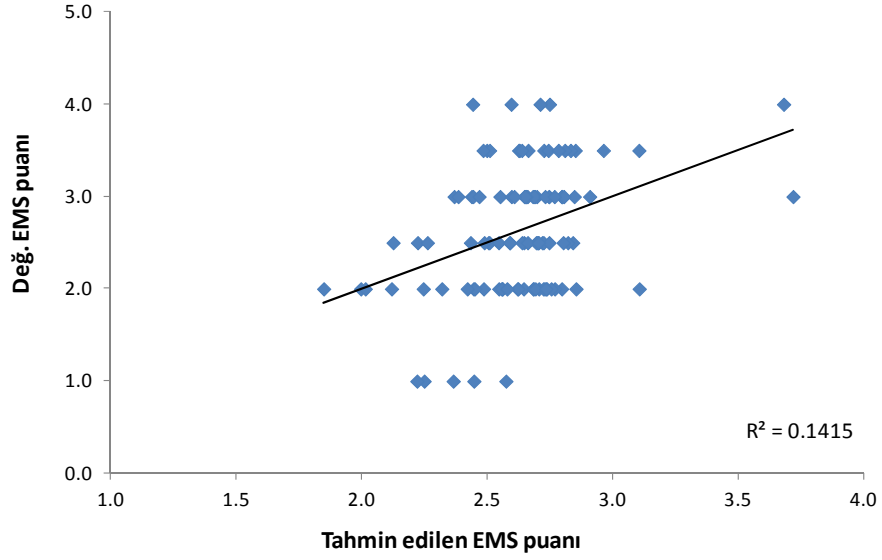




Şekil 7.5: İncelemen binalara ait  $V_s$  değerleri ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki

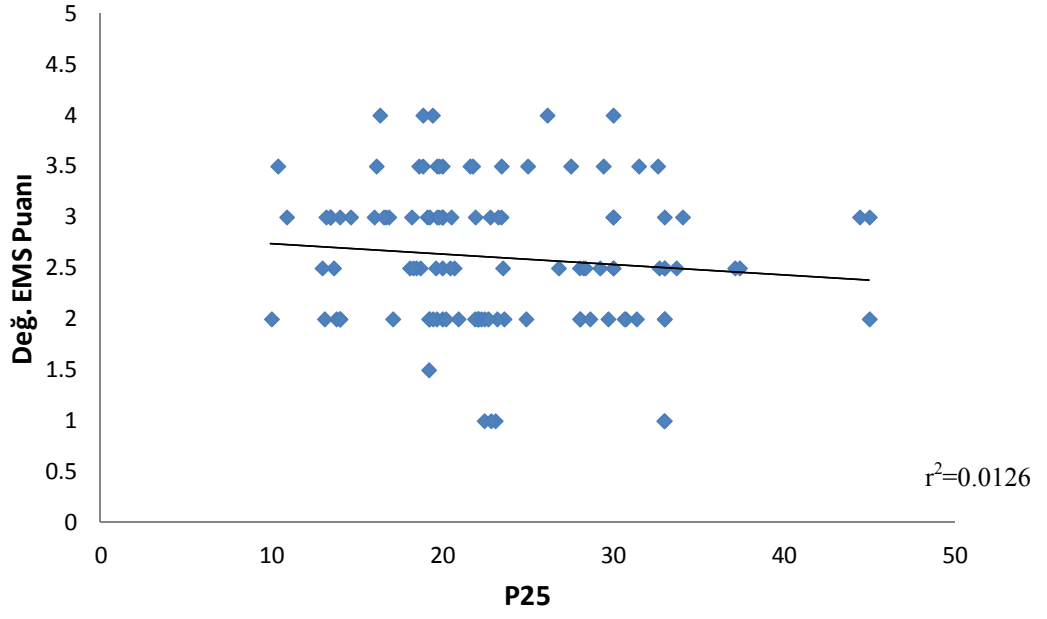


Şekil 7.6: Ağır+göçük bina hasar oranı ve zemin periyodu arasındaki ilişki

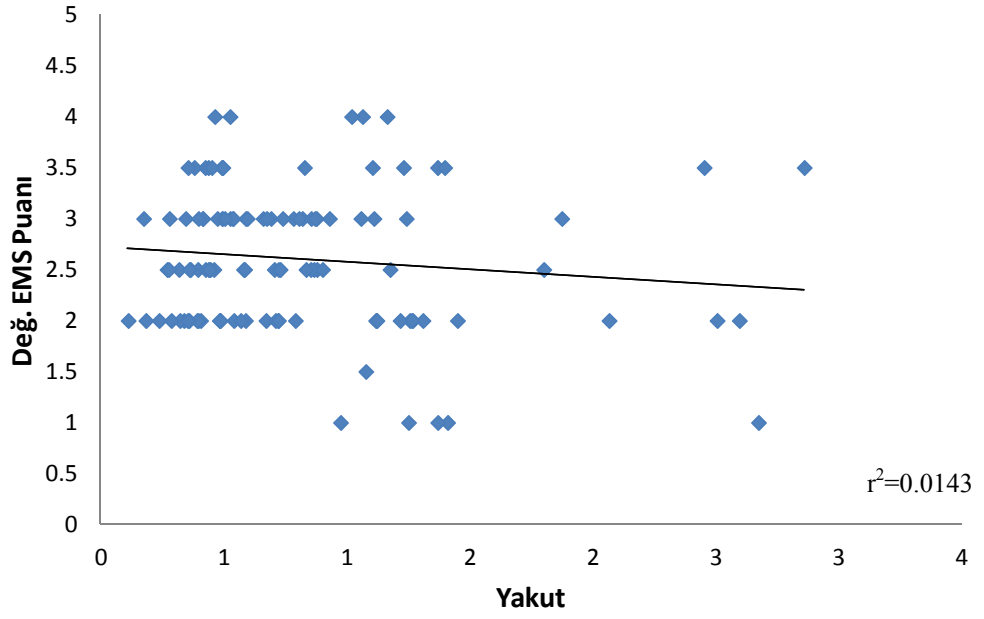


Şekil 7.7: Tahmin edilen EMS puanı ile Değ. EMS puanı arasındaki ilişki

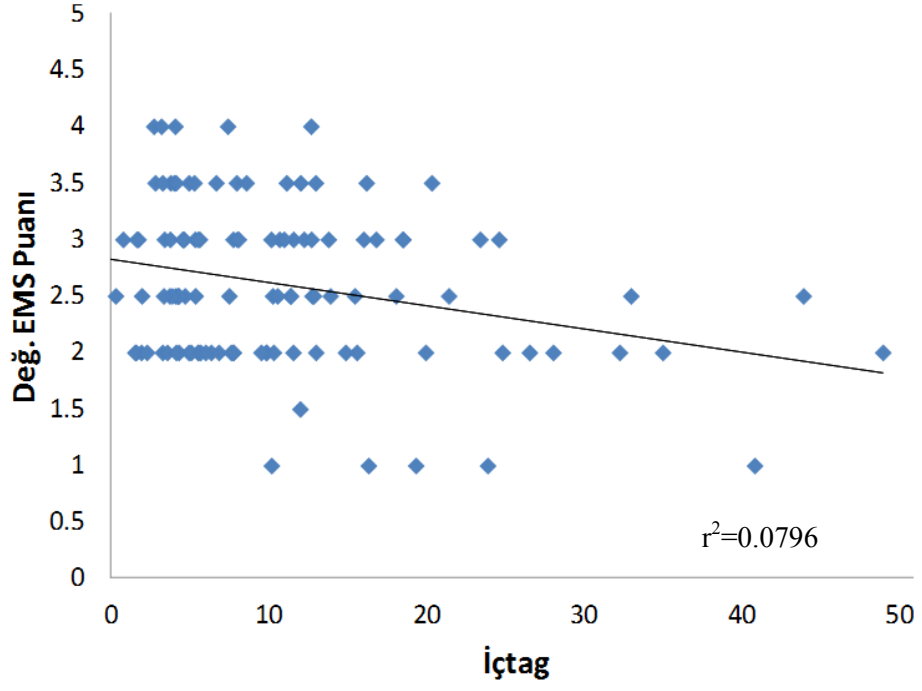
Çalışma kapsamında hızlı değerlendirme metotları ile hesaplanan bina performans puanlarının yapı mevcut hasar durumu ile ilişkisi de araştırılmıştır. Hesaplanan hızlı değerlendirme puanları ve değiştirilmiş EMS hasar seviyesi ilişkisi Şekil 7.8-7.10'da verilmiştir. Hızlı değerlendirme metotları yıkıcı sismik talepler altındaki bina performansı hakkında bilgi vermek için kalibre edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı Simav Depremi için değerlendirildiğinde, hesaplanan değiştirilmiş EMS hasar puanları ve Hızlı değerlendirme metotları ile hesaplanan puanlar arasında dikkat çeken bir ilişki göze çarpmamaktadır. Hesaplanan en yüksek korelasyon katsayısı İçtag (2004) yönteminde 0.0796 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.8: İncelemen binalara ait P25 puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki



Şekil 7.9: İncelemen binalara ait Yakut puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki



Şekil 7.10: İncelemen binalara ait Özebe puanı ve değ. EMS puanları arasındaki ilişki

## 8.SONUÇLAR

### 8.1.Değerlendirmeler

19/05/2011 günü, saat 23:15'de 5.7 büyüklüğünde ( $M_L$ ) Kütahya-Simav merkezli bir deprem meydana gelmiştir. Orta büyüklükte değerlendirilebilecek bir sismik hareketlilik olmasına rağmen gözlenen hasar, özellikle Simav merkezinde beklenenin üzerinde olmuştur.

Çalışmanın amacı, gözlenen hasarlar ve yapısal parametreler arasında ilişkinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu kapsamda Pamukkale Üniversitesi ve Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı ile ortaklaşa yürütülen “Simav İlçesi Ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açısından Güçlendirme Yapmaya Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması” ile elde edilen veriler ve binaların hasar durumu arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Çalışma ile yaklaşık 113 adet betonarme binaya ait birçok yapısal parametre derlenmiş, incelenen yapıların eleman ve sistem hasar durumları belirlenmiştir. Ayrıca P25 (Bal v.d., 1997)), Yakut (Yakut, 2004) ve TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 numaralı (Özcebe, 2004) hızlı değerlendirme metotları ile bina performansları belirlenmiştir.

Araştırmalar sonucu elde edilen veriler ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

1. 19 Mayıs 2011 Simav Depremi aletsel büyüklüğü ve sismik talepleri göz önüne alındığında ancak orta büyüklükte bir sismik hareketlilik olarak değerlendirilebilir.
2. Gözlenen hasarlar orta büyüklükte bir deprem sonrası beklenen seviyenin oldukça üzerindedir.

3. Yapılan gözlemsel değerlendirmelerde bina hasarlarının büyük çoğunluğunun hatalı detaylandırma kusurları ve işçilik hataları ile alakalı olduğu belirlenmiştir.
4. Simav Merkezinde bir adet binanın zemin katında toptan göçme yaşandığı belirlenmiştir. Yapılan incelemelerde yapıda birçok işçilik ve tasarım hatası belirlenmiştir. Ayrıca yapıda yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır.
5. Bölgede inşa edilmiş birçok betonarme yapıda kolon-kiriş yanal donatı sıklaştırmasının yapılmadığı, birleşim bölgelerinde kolon yanal donatısı sürekliliği olmadığı ve donatı kenetlenme boyunun yetersiz olduğu gözlenmiştir.
6. Birleşim bölgelerinde yanal donatının bulunmaması özellikle yumuşak kat düzensizliğine sahip binalarda önemli hasar nedenlerinden birisini oluşturmaktadır.
7. Bölgede kapalı çıkma yoğun olarak kullanılmaktadır. Bilinçsiz yapılan birçok kapalı çıkmalı binada hasar gözlenmiştir.
8. Bölgede çatı katında çerçeve içerisine alınmamış kalkan duvar uygulaması sıklıkla yapılmaktadır. Deprem sonrası hayatını kaybeden bir vatandaşımızın ölüm nedeni yıkılan kalkan duvardan düşen parçalar olmuştur.
9. Deprem sonrası Simav Merkezinde 336, Simav Beldelerinde 525, Simav Köylerinde 508, Hisarcık İlçesinde 82, Pazarlar İlçesinde 57, Şaphane İlçesinde 48 adet bina ağır hasar almıştır (Tablo 3.1).
10. Çalışmanın kapsamını önceden orta hasarlı olarak değerlendirilmiş yaklaşık 113 adet betonarme bina oluşturmaktadır. Bunların 113 tanesinin değ. EMS hasar puanları belirlenmiştir.
11. İncelenen binaların beton dayanımları değişkenlik göstermekle birlikte incelenen binalara ait ortalama beton basınç dayanımı yaklaşık olarak 4 ile 12 MPa arasında değişmektedir.
12. Tasarım ilkeleri açısından “rijit” bölge olarak tanımlanan birleşim bölgelerinin kusurlu imalatı, hem hasar oranını arttırmakta, hem de yapılan

rijit bölge kabulü nedeniyle bilgisayar modellemesi ile hasar tayini zorlaştırmaktadır.

- 13.İnceleme kapsamını oluşturan binaların büyük çoğunluğunda yanal donatı aralığı, kolon alanı, beton dayanımı gibi temel yapısal parametreler benzerlik göstermektedir.
- 14.Depremi orta büyüklükte bir sismik hareketlilik olduğu göz önüne alındığında dolgu duvarların yapıya rijitlik ve dayanım katkısının dikkate değer olduğu öngörülebilir.
- 15.Hasar dağılımı ve kat sayısı arasındaki ilişki değerlendirildiğinde hasar yoğunluğunun 4 ve 5 katlı binalarda olduğu söylenebilir.
- 16.Beton dayanımı ve hasar arasında dikkat çeken bir ilişki gözlenmemiştir. Ancak dikkat çekici boyutta olmasa bile, beton dayanımında artış ile hasar trendinde düşüş olmaktadır.
- 17.Yanal donatı oranı ve hasar arasında kayda değer bir ilişki bulunamamıştır. Bu durumun bölgedeki binaların çok büyük bir kısmının yeterli yanal sargılamaya sahip olmamasıyla ilgili olduğu söylenebilir. Sargılama oranı yeterli sayılabilecek binanın çok az sayıda olması, hasar ile ilişkisinin “ayırt edici” bir biçimde ortaya konmasını mümkün kılmamaktadır. Dolayısıyla çalışma kapsamında, yeterli sargılama oranına sahip binalar ile yanal donatı oranı yetersiz binalar arasında bir karşılaştırma yapılamamıştır.
- 18.Dolgu duvar alanı ve hasar arasında diğer yapısal parametrelere göre dikkat çekici bir ilişki göze çarpmaktadır. Yapılan incelemelerde kritik kat büyük oranda zemin kat olarak seçilmiştir. Bu nedenle özellikle yumuşak kat düzensizliği bulunan binalarda dolgu duvar alanının hasar ile korelasyonu oldukça yüksektir. Yapılan gözlemsel değerlendirmelerde, dolgu duvarların sismik talepler altında kısıtlı da olsa yapıya rijitlik ve dayanım katkısı verdiği sonucuna varılmıştır.
- 19.Yapısal parametrelerin ayrı ayrı değerlendirildiği durumda Değ. EMS hasar seviyesi ile dikkat çekici bir ilişki bulunamamıştır. Ancak bu parametrelerin birlikte değerlendirildiği bir denklem tanımlandığında değ. EMS puanları ile

bu denklem yardımıyla bulunan tahmini EMS puanları arasındaki korelasyonun görece yüksek olduğu görülmektedir.

- 20.İncelenen bina zeminlerine ait Vs30 değeri ve hasar arasında dikkat çeken bir ilişki göze çarpmamaktadır. Bununla birlikte zemin periyodu ve ağır+göçük bina oranları incelendiğinde arada belirgin bir ilişkinin olduğu değerlendirilmiştir. Özellikle 0.70-0.80 saniye arasında hasar oranında önemli bir artış göze çarpmaktadır. Bu durumun zemin ve hasar arasındaki ilişkiye bir örnek olduğu söylenebilir.
- 21.Çalışma kapsamında incelenen binaların üç farklı hızlı değerlendirme metoduna göre performans puanları hesaplanmış, hasar durumu arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Hasar ile korelasyonu en yüksek hızlı değerlendirme metodu İçtag (Özcebe, 2004) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, hızlı değerlendirme metotları ve hasar arasında doğrudan bir ilişki göze çarpmamaktadır.
- 22.Hızlı değerlendirme metotları ve yapısal hasar arasında dikkat çekici bir ilişkinin göze çarpmamasının önemli nedenlerinden birisi Simav Depreminin karakteristik özellikleridir. Hızlı değerlendirme metotları yıkıcı depremler altında bina performansının değerlendirilmesi amacıyla kalibre edilmiş yöntemlerdir. Simav Depremi ise orta büyüklükte sismik hareketliliktedir. Dolayısıyla bu büyüklükte bir deprem sonrası hasar ve hızlı değerlendirme yöntemleri arasında doğrudan bir ilişkinin olmaması normal karşılanabilir.
- 23.Ayrıca hızlı değerlendirme metotlarına göre birçok binanın performans düzeyi yetersiz bulunmuştur. Dolayısıyla daha büyük bir depremde yetersiz olarak değerlendirilen binaların ağır hasar alma ihtimallerinin olduğundan söz edilebilir.



## 8.2. Yapılabilecek Çalışmalar İle İlgili Öneriler

Yapılan çalışma kapsamı itibari ile belirli bir bölgede, belirli özellikleri olan binalar hakkında değerlendirmede bulunmaktadır. Genelleme yapmak için daha fazla sayıda farklı depremler sonrası hasar görmüş binalardan benzer parametrelerin toplanıp yorumlanması ihtiyacı olduğu açıktır.

Sonraki çalışmalar için aşağıdaki hususlar incelenebilir niteliktedir:

1. Depremler sonrası yalnız hasar almış binalar değil, hiç hasar almamış binalar da detaylı bir şekilde incelenmelidir. Sismik etkiler altında yapı davranışını anlamak için bu gereklidir.
2. Çalışma nedenini oluşturan deprem ancak orta büyüklükte kabul edilebilecek bir sismik hareketliliktedir. Bu nedenle kimi noktalarda kısıtlar içermektedir. Benzer parametrelerin daha büyük sismik hareketliliklerin yaşandığı bölgelerden toplanıp değerlendirilmesi hasar-parametre ilişkisini anlamaya katkı sağlayacaktır.
3. Hızlı değerlendirme metotları birleşim bölgesi hakkında herhangi bir bilgi içermemektedir. Kolon kiriş birleşim bölgesinde kolon yanal donatısı sürekliliği, donatı kenetlenme boyu gibi parametreleri de içeren bir hızlı değerlendirme metodu çalışması, bina davranışını yansıtmaya açısından faydalı olabilir.

## KAYNAKLAR

- Amin, M. Z. M., Shaaban, A. J.** (2004) The rainfall intensity-duration-frequency (IDF) relationship for ungauged sites in peninsular Malaysia using a mathematical formulation, *I. International Conference on Managing Rivers in the 21th Century: issue and challenges, River's 04.*
- A summary report of the January 17, 1995 Kobe Earthquake,** <http://www.eqe.com/publications/kobe/kobe.html>
- Adailer K. And Aydingun O.,** (2001) Structral engineering aspects of the june 27, 1998 Adana Ceyhan (Turkey) earthquake, *Engineering Structres*, 23,343-55
- AHEP,** (2004) *1999 Kocaeli Depreminde Ölüm ve Yaralanma Nedenleri Araştırma Raporu, KRDAR Enstitüsü*
- Aslankara Y., İnel M., Toprak S.,** (2005) *Kent Ölçeğinde Senaryo Depremde Oluşacak Bina Hasarlarının Tahmini, Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*
- Bal İ.E., Tezcan S.S., Gülay G.,** (1997) *Betonarme Binaların Göçme Riskinin Belirlenmesi İçin P25 Hızlı Değerlendirme Yöntemi, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*
- Baytop F.,** (2010) *İnşaat Uygulamalarında Yanlışlar Doğrular, Yem Yayın, 46-47*
- Barka A. and Reilinger R.,** (1997) *Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, Annali di Geofisica, Vol.:XL, No: 3, 587-610*
- Boduroğlu M.H.,** (2011) *Yapısal Olmayan Deprem Hasarları, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*
- Bozkurt E.,** (2000), *Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics and*
- DBYBHY-2007,** (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara*
- Doğangün A.,** (2004) *Performance of Reinforced Buildings During The May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey, Engineering Structres,26,843-56*
- European Macroseismic Scale (EMS) (1998) European Seismological Commission(ESC)**
- İnel M, Özmen H.B., Ün H., Akyol E., Önür Ö.,** (2010) *Kütahya İli Simav İlçesi Beyce İlk Öğretim Binası Depremsellik İnceleme Raporu, Pamukkale Üniversitesi, Rapor No: 2010/M02*

- İnel M., Özmen H.B., Akyol E., Çaycı B.T.,** (2011a) *19 Mayıs 2011 Kütahya Simav Depremi ve Artçı Sarsıntıları İnceleme Raporu, Denizli*
- İnel M., Ün H., Akyol E., Özmen H.B., Çaycı B.T., Özcan G.,** (2011b) *Simav İlçesi ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açısından Güçlendirme Yapmaya Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
- İnel M., Özmen H.B., Çaycı B.T.,**(2012), *Simav ve Van Depremleri Işığında Ülkemiz Yapılarında Oluşan Deprem Hasarlarının Nedenleri, Teknik Gündem, [http:// www.teknikgundem.com/Dosyalar/van-ve-simav-deprem-raporu.pdf](http://www.teknikgundem.com/Dosyalar/van-ve-simav-deprem-raporu.pdf)*
- Kaminosono T., Kumazawa F., Nakano Y.,** (2002) *Quick Inspection Manual For Damaged Reinforced Concrete Buildings Due To Earthquakes (Based on the Disaster of 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey), National Institute of Land and Infrastructure Management, Japan*
- Kaplan S.A.,** (2008) *Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 452, 49-62*
- Mutlu M.,** (2010) *Arsenic Pollution and Health Risk Assessment in the Groundwater of Simav Plain, Kütahya, Dokuz Eylul University, MSc Thesis*
- Oygür V., Erler A.,** (2000) *Simav grabeninin metalojenisi (ç- Batı Anadolu, Türkiye), Türkiye Jeoloji Bülteni, 43, 1, 7-19*
- Özcebe G.,** (2004) *Deprem Güvenliğinin Saptanması İçin Yöntemler Geliştirilmesi, TUBİTAK İÇTAG YMAÜ İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Ankara*
- Ozmen H.B.,** (2005) *Hızlı Değerlendirme Yöntemlerinde Kullanılan Parametrelerin Yapı Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*
- Özmen H.B.,** (2011) *Düşük Ve Orta Yükseklikteki Betonarme Yapıların Deprem Performanslarını Etkileyen Faktörlerin İrdelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi*
- Özmen H.B., İnel M., Çaycı B.T.,** (2011) *Kapalı Çıkma Düzensizliğinin Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkilerinin Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul*
- Priestley M.J.N, Calvi G.M., Kowalsky M.J.,** (2007) *Displacement-Based Seismic Design of Structures, IUSS Press, Italy*
- Santiago P., Ramirez, J. And Sarria A,** (2003) *Observations On The Behaviour Of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings January 25 Colombia Earthquake, <http://nisee.berkeley.edu/lessons/colombia.pdf>*
- Sengor A.M.C., Satir M. and Akkok R.,** (1984) *Timing of tectonic events in the Menderes massif, Western Turkey: Implications for tectonic evaluation and evidence for Pan-African basement in Turkey, Tectonics, 3, 693-707*

- Sucuoğlu H. And Yazgan U.**, (2003) *Simple Survey Procedures For Seismic Risk Assessment in Urban Building Stocks, Earth and Environmental Sciences*, 29, 97-118
- Tezcan S.S., Akbaş R.**, (1996) *Deflection Criteria for Aseismic Design of Tall Buildings, Engineering Structures, Elsevier Publications*, 18,12: 957-966
- Yakut A.**, (2004) *Preliminary Seismic Assessment Procedure for Existing RC Buildings, Engineering Structures*, 26, 1447-1461
- Watanabe, F.**, (1997) *Behaviour of Reinforced Concrete Buildings During the Hougoken Nanbu Earthquake, Cement and Concrete Composites*, 19, 203-211

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyad:** : Bayram Tanık ÇAYCI  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** : Aydın/Söke 17.10.1987  
**Adres:** : Çamlaraltı Mah. 6064 Sk. Melek Apt. No:14  
Daire:12 Denizli  
**Lisans Üniversitesi:** : Pamukkale Üniversitesi

### Yayın Listesi

İnel M, Ün H., Ekyol E., Özmen H.B., **Çaycı B.T.**, Özcan G., Simav İlçesi Ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açından Güçlendirme Yapmaya Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması, Afet Ve Acil Durum Yönetim Daire Başkanlığı (AFAD), Araştırmacı, 2011

Özmen, H.B., İnel, M.ve Çaycı, B.T.“ Kapalı Çıkma Düzensizliğinin Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkilerinin Değerlendirilmesi”, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No: 142, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, İstanbul.

İnel, M.Özmen, H. B., Akyol, E., **Çaycı, B.T.** “Pamukkale Üniversitesi 19 Mayıs 2011 Kütahya Simav Depremi ve Artçı Sarsıntıları İnceleme Raporu”, Mayıs 2011, Denizli.

İnel, M.ÜN, H., Akyol, E., Özmen H. B., Akyol, E., **Çaycı, B. T.**, Özcan G., Simav İlçesi Ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binaların Teknik Açından Güçlendirme Yapmaya Uygun Olup Olmadığının Tespiti Çalışması, Eylül 2011, Denizli.

İnel, M.Özmen, H. B, **Çaycı, B.T.** “Simav ve Van Depremleri Işığında Ülkemiz Yapılarında Oluşan Hasarların Nedenleri”, Teknik Gündem, 2011