



**KANDİLLİ RASATHANESİ VE DEPREM ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ**



19 Mayıs 2011 KÜTAHYA-SİMAV DEPREMİ



**Hazırlayanlar; Dr. Can Zülfikar
Araş. Gör. Yaver Kamer
Araş. Gör. Eren Vuran**

**Haziran, 2011
İSTANBUL**

İçindekiler

İçindekiler	2
Şekillerin Listesi	3
Tabloların Listesi	7
1 Giriş	8
2 Bölgenin Genel Jeolojisi	12
3 Bölgenin Sismotektonik Özellikleri	14
4 Depremin Kaynak Parametreleri	17
5 Depremin İstatistik Yönden Özellikleri	18
6 Deprem Sarsıntı ve Hasar Tahminleri	20
7 Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları	22
8 Bina Tipleri	29
8.1 4-5 Katlı Betonarme Binalar	29
8.2 7-8 Katlı Betonarme Binalar	32
8.3 Yığma Binalar	36
9 Binaların Hasargörebilirlik Sınıfı	42
10 Binaların Hasar Seviyeleri	43
11 Bina Hasarları	45
12 Depremin Şiddeti	65
13 Sonuçlar ve Öneriler	68

Şekillerin Listesi

Şekil 1: Anaşok ve artçı depremlerin dağılımı	8
Şekil 2: Depremin etkili olduğu alan	9
Şekil 3: Kütahya ili deprem bölge haritası	12
Şekil 4: Bölgenin jeoloji haritası	13
Şekil 5: Batı Anadolu bölgesinin genel tektonik haritası.....	15
Şekil 6: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu	16
Şekil 7: Son yüzyılda bölgedeki büyük depremlerin dağılımı (1900-2010; $M \geq 5.0$)	16
Şekil 8: Depremin artçılarının üç boyutlu dağılımı.....	18
Şekil 9: Artçı depremlerin büyüklük ve açığa çıkan enerji dağılımı.....	19
Şekil 10: Artçı depremlerde açığa çıkan enerjinin dağılım haritası	19
Şekil 11: Farklı Ölçekli Tahmini Şiddet Haritaları	20
Şekil 12: Tahmini Şiddet Dağılımı Yüzeyi	21
Şekil 13: D3 ve D4 Hasar Sınıflarındaki Tahmini Bina Sayıları ve Dağılımları	21
Şekil 14: PGA dağılım haritası.....	23
Şekil 15: PGV dağılım haritası.....	23
Şekil 16: İstasyonlarda ölçülen PGA değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması.....	24
Şekil 17: İstasyonlarda ölçülen PSA 0.2s değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması	25
Şekil 18: İstasyonlarda ölçülen PSA 1.0s değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması	25
Şekil 19: 4305 ve 4504 numaralı istasyonların ivme-zaman grafikleri.....	26
Şekil 20: 4504 numaralı istasyondaki yüksek frekanslı bileşenler	26
Şekil 21: 4504 numaralı istasyonun serbest cisim hareketi.....	27
Şekil 22: İvme tepki spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması	28
Şekil 23: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-1	29
Şekil 24: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-2	29
Şekil 25: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-3	30
Şekil 26: İlçe merkezindeki sıra binalar-1	30
Şekil 27: İlçe merkezindeki sıra binalar-2	31
Şekil 28: İlçedeki yeni binalar	31
Şekil 29: Simav İlçesi, Esenler Mahallesi, kooperatif konutları.....	32
Şekil 30: 8 katlı yıldız bloklar, yan görünüş - 1	33
Şekil 31: 8 katlı yıldız bloklar, yan görünüş - 2	33
Şekil 32: 8 katlı dikdörtgen bloklar	34
Şekil 33: 7 katlı dikdörtgen bloklar - 1	34

Şekil 34: 7 katlı dikdörtgen bloklar – 2	35
Şekil 35: Yaklaşık kerpiç boyutları	36
Şekil 36: Kerpiç ve tuğla binaların bulunduğu sokaktan bir görünüm - 1	36
Şekil 37: Kerpiç ve tuğla binaların bulunduğu sokaktan bir görünüm - 2	37
Şekil 38: Yıkılan kerpiç bir binanın yanındaki 3 ve 2 katlı tuğla yığma binalar	37
Şekil 39: 2 katlı kerpiç binalar – 1	38
Şekil 40: 2 katlı kerpiç binalar - 2	38
Şekil 41: 2 ve 3 katlı kerpiç bina örnekleri	39
Şekil 42: 1962 yılında inşaa edilmiş, tuğla yığma cami	39
Şekil 43: 17. yüzyıl ortalarında yapıldığı tahmin edilen, yakın zamanda restore edilmiş taş cami	40
Şekil 44: 3 katlı tuğla yığma bina	40
Şekil 45: Boşluklu, dolgu duvarı tuğlasının betonarme kirişlerle birlikte taşıyıcı olarak kullanıldığı, 3. katı yapım aşamasında olan bina örneği!!!	41
Şekil 46: Hasarın miktarının belirlendiği ölçek; çeitli hasar seviyelerinde binanın, bina stoğuna oranı (few: az, many: çok, most: pek çok)	44
Şekil 47: İlçe merkezindeki yıkılan bina	46
Şekil 48: Yıkılan binanın zemin kat güney-doğu köşe kolonu	47
Şekil 49: Yıkılan binanın zemin kat güney-batı köşe kolonu	47
Şekil 50: Yıkılan binanın zemin kat kuzey-batı köşe kolonu	48
Şekil 51: Kuzey-batı kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi detayı	48
Şekil 52: Az sayıdaki ağır yapısal hasar örneklerinden biri, kolon kısa kolon gibi çalışmış, dolgu duvarı olarak standart boşlukla tuğla değil delikli tuğla kullanılmış	49
Şekil 53: Bir önceki resimdeki ile aynı bina, benzer hasarlar	49
Şekil 54: Kolon uçlarında ağır hasar	49
Şekil 55: Yıkılan binanın karşısındaki bina-kolonunda tabandan çatıya kadar oluşan çatlak ...	50
Şekil 56: Yıkılan binanın karşısındaki bina-cephedeki dolgu duvarı çatlağı	50
Şekil 57: Daha önceki depremlerde hasar gördüğü, bu hasarların siva ile kapatıldığı, ancak aynı yerlerde tekrar çatlaklar oluştuğu anlaşılan bina	51
Şekil 58: İnşaa halindeki binada yapısal olmayan, dolgu duvar hasarları	51
Şekil 59: Binalarda çatı hasarı	52
Şekil 60: Dolgu duvarı hasarı- önden ve yandan görünüş	52
Şekil 61: Dolgu duvarı hasarı ve yapısal eleman üzerindeki sıvaların dökülmesi - önden ve yandan görünüş	53

Şekil 62: Dış dolgu duvarlarda hasar	53
Şekil 63: 7 katlı dikdörtgen binadaki hasar, kolon paspayının dökülmesi, yaygın dolgu duvarı çatlağı	54
Şekil 64: 7 katlı dikdörtgen binada, orta yapısal olmayan hasar.....	54
Şekil 65: 8 katlı yıldız bloklarda, orta yapısal olmayan hasar	55
Şekil 66: Hastane kompleksinin birkaç ay önce açılan binası - dolgu duvarı çatlağı, ancak bina hizmet verebilir düzeyde	55
Şekil 67: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşaa edilen binası, biyokimya laboratuvarı – deprem sırasında bütün cihazların yer değiştirdiği, monitör gibi objelerin devrildiği gözlenmiştir	56
Şekil 68: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşaa edilen binası, biyokimya laboratuvarı (yukarıdaki fotoğraf ile aynı oda) – dolgu duvarı çatlağı, cihazın yer değiştirdiği gözlenmiştir	56
Şekil 69: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşaa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı	57
Şekil 70: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşaa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı	57
Şekil 71: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşaa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı	58
Şekil 72: Hastane kompleksinin karşısındaki bina – merdiven kovasındaki dolgu duvarı çatlağı	58
Şekil 73: Hastane kompleksinin karşısındaki bina – zemin kat dolgu duvarı çatlağı (optik ve eczane olarak kullanılıyor)	59
Şekil 74: Okul binasında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde hasar	59
Şekil 75: Okul binasının betonarme bölümünde, merdiven kovası hasarı, bölgedeki genel alışkanlık merdiven döşemelerinin oldukça ince ve kirişsiz yapılmasıdır	60
Şekil 76: Okul binasının yığma bölümünde dış duvar çatlakları	60
Şekil 77: Okul binasının yığma bölümünde 2. katta dış duvar çatlakları	61
Şekil 78: Okul binasının yığma bölümünün içi - sıva dökülmeleri	61
Şekil 79: Okul binasının yığma bölümü ile betonarme bölümü arasında oluşan çatlak	62
Şekil 80: Gökçeler Köyü, 3. seviye hasarlı bina- ön görünüm	62
Şekil 81: Gökçeler Köyü, 3. seviye hasarlı bina- yan görünüm	63
Şekil 82: Yığma cami duvarlarında hasar	63
Şekil 83: 3 katlı yığma binanın zemin katında hasar	64

Şekil 84: 2 katlı yığma binanın zemin katında hasar.....	64
Şekil 85: Bildirimlerin zamana bağlı grafiği (düşey eksen bildirim sayısı, yatay eksen saat ölçüğünde zaman)	66
Şekil 86: Bildirimlerin yapıldığı yerler, ve bildirimlere bağlı olarak, depremin hissedildiği bölgede şiddetin dağılımı	67

Tabloların Listesi

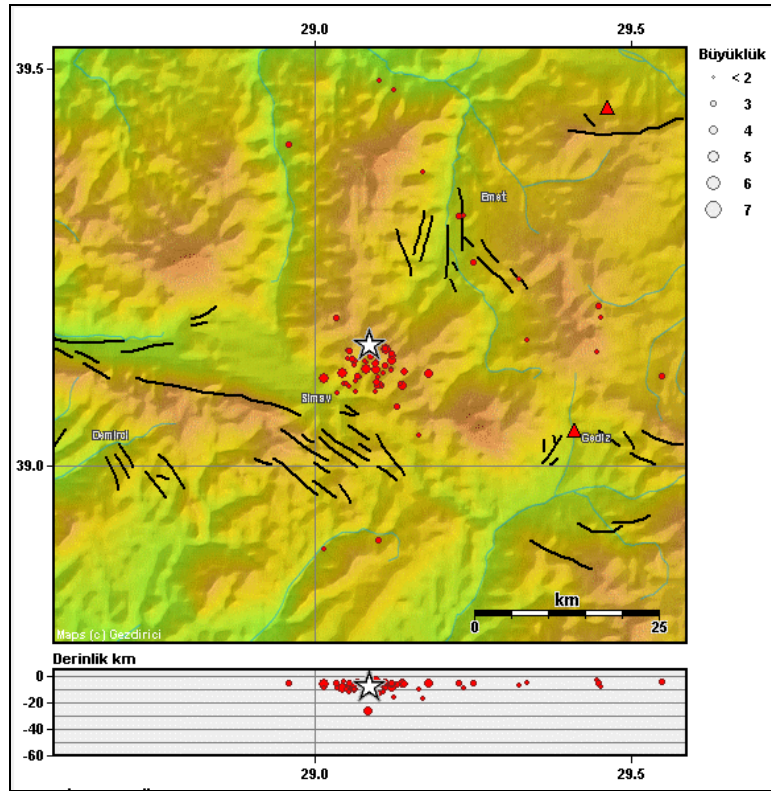
Tablo 1: <i>KRDAE tarafından belirlenen deprem parametreleri</i>	8
Tablo 2: <i>Deprem dış merkezinin yerleşim yerlerine olan uzaklığı</i>	9
Tablo 3: <i>Önceki depremlere ait ağır hasarlı bina ve ölü sayıları</i>	10
Tablo 4: <i>Hasar dağılımları (kaynak: Kütahya Valiliği-28.06.2011)</i>	11
Tablo 5: <i>Depreme ait kaynak parametreleri</i>	17
Table 6: <i>Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon kayıt bilgileri</i>	22
Table 7: <i>Karşılaştırmalarda kullanılan yer hareketi tahmin ilişkileri</i>	24
Tablo 8: <i>Avrupa Makrosismik Ölçeği' ne göre bina hasargörebilirlik sınıfları</i>	42
Tablo 9: <i>Yığma binalarda Avrupa Maksosismik Ölçeği tarafından belirlenmiş hasar seviyeleri</i>	43
Tablo 10: <i>Betonarme (B.A.) binalarda Avrupa Maksosismik Ölçeği tarafından belirlenmiş hasar seviyeleri</i>	44

1 Giriş

19 Mayıs 2011 günü yerel saat ile 23:15’de Kütahya ili, Simav ilçesinde büyüklüğü Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından $M_I=5.9$ olarak belirlenen odak bölgesinde ($I_0=VI-VII$) şiddetinde hissedilen bir deprem meydana gelmiştir. Deprem Kütahya ili ve çevresi başta olmak üzere Ege ve Marmara bölgelerinde de hissedilmiştir. Kütahya ve ilçelerinde kuvvetli, İstanbul, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale, İzmir, Manisa, Uşak, Eskişehir, Afyonkarahisar ve Ankara’da hafif şiddette hissedilmiştir. Kütahya’nın Simav ilçe merkezi Gökçeler köyü ve Demirci beldesi başta olmak üzere Şaphane, Pazarlar, Hisarcık ve Gediz ilçeleri bağlı köy ve beldelerinde hafif hasarlar meydana gelmiştir. Depremden dolayı 2 kişi hayatını kaybetmiş, yaklaşık 100 kişi de yaralanmıştır.

Tablo 1: KRDAE tarafından belirlenen deprem parametreleri

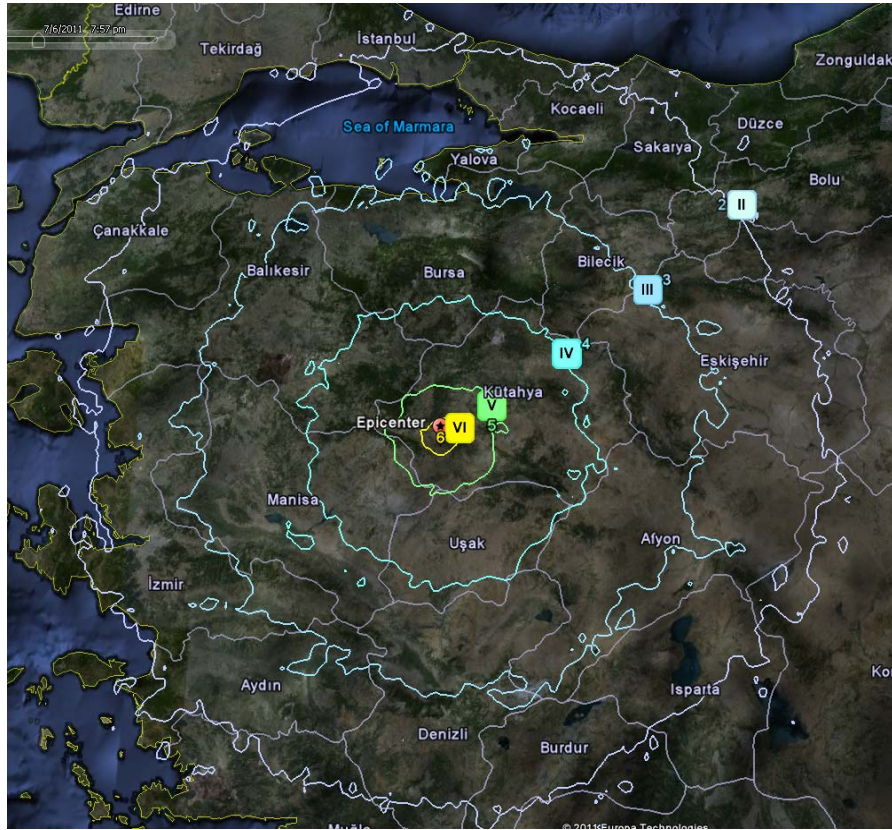
O. Tarihi	O. Zamanı (L.T.)	Enl.-Boyl. K-D	Derinlik (km)	Büyüklik M_I M_w	Şiddet (I_0)	Yer
19.05.2011	23:15	39.139-29.102	8.0	5.9 5.7	VI-VII	Simav



Şekil 1: Anaşok ve artçı depremlerin dağılımı

Tablo 2: Deprem dış merkezine yerleşim yerlerine olan uzaklığı

Yerleşim Yeri	Deprem dış merkezine olan uzaklık (km)	Yakınlık derecesi	Yerleşim Yeri	Deprem dış merkezine olan uzaklık (km)	Yakınlık derecesi
Söğüt	2.9	1	Başkonak	11.6	9
Kapıkaya.	4.9	2	Kızılcukur	12.0	10
Karacaören	5.7	3	Çitgöl	12.1	11
Hacıahmetoğlu	6.9	4	Güney	15.3	12
İnlice	7.5	5	Demirci	15.5	13
Gökçeler	7.7	6	Pazarlar	17.5	14
Yenipınar	8.7	7	Şaphane	18.0	15
Simav	11.6	8			



Şekil 2: Deprem etkili olduğu alan

Deprem Simav merkez ilçesinde ve depremin dış merkezine yakın olan belde ve köylerde etkili olmuştur. Daha önce meydana gelen depremlere ait ölü sayıları ve ağır hasarlı konut sayıları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Önceki depremlere ait ağır hasarlı bina ve ölü sayıları

Yıl	Deprem	Büyükük	Ağır Hasarlı Bina Sayısı	Ölü Sayısı	Ağır Hasarlı Konut Sayısı/Ölü Sayısı
2000	Afyon-Bolvadin Depremi	5,6 (Md)	178	6	29.7
1976	Denizli Depremi	4.9	887	4	221.8
1995	Afyon-Dinar Depremi	5,9	8786	94	93.5
2002	Afyon-Sultandağı Depremi	6.1	4951	42	117.9
1970	Kütahya-Gediz Depremi	7.2	9452	1086	8.7
1969	Manisa-Demirci Depremi	6	1826		
1969	Manisa-Alaşehir Depremi	6.6	4372	41	106.6
1965	Manisa-Salihli Depremi	5,8 (Ms)	150	12	12.5
1965	Denizli-Honaz Depremi	5,6 (Ms)	488	14	34.9
1976	Denizli Depremi	4.9	887	4	221.8
1974	İzmir Depremi	5.2	47	2	23.5
1942	Balıkesir-Bigadiç Depremi	6,1 (Ms)	1262	7	180.3
1944	Uşak Depremi	6,2 (Ms)	3476	21	165.5
1944	Balıkesir-Edremit Depremi	7.0 (Ms)	1158	27	42.9
1945	Denizli Depremi	6.8	400	190	2.1
1955	Aydın Depremi	6,8 (Ms)	470	23	20.4

Tablo 4: Hasar dağılımları (kaynak: Kütahya Valiliği-28.06.2011)

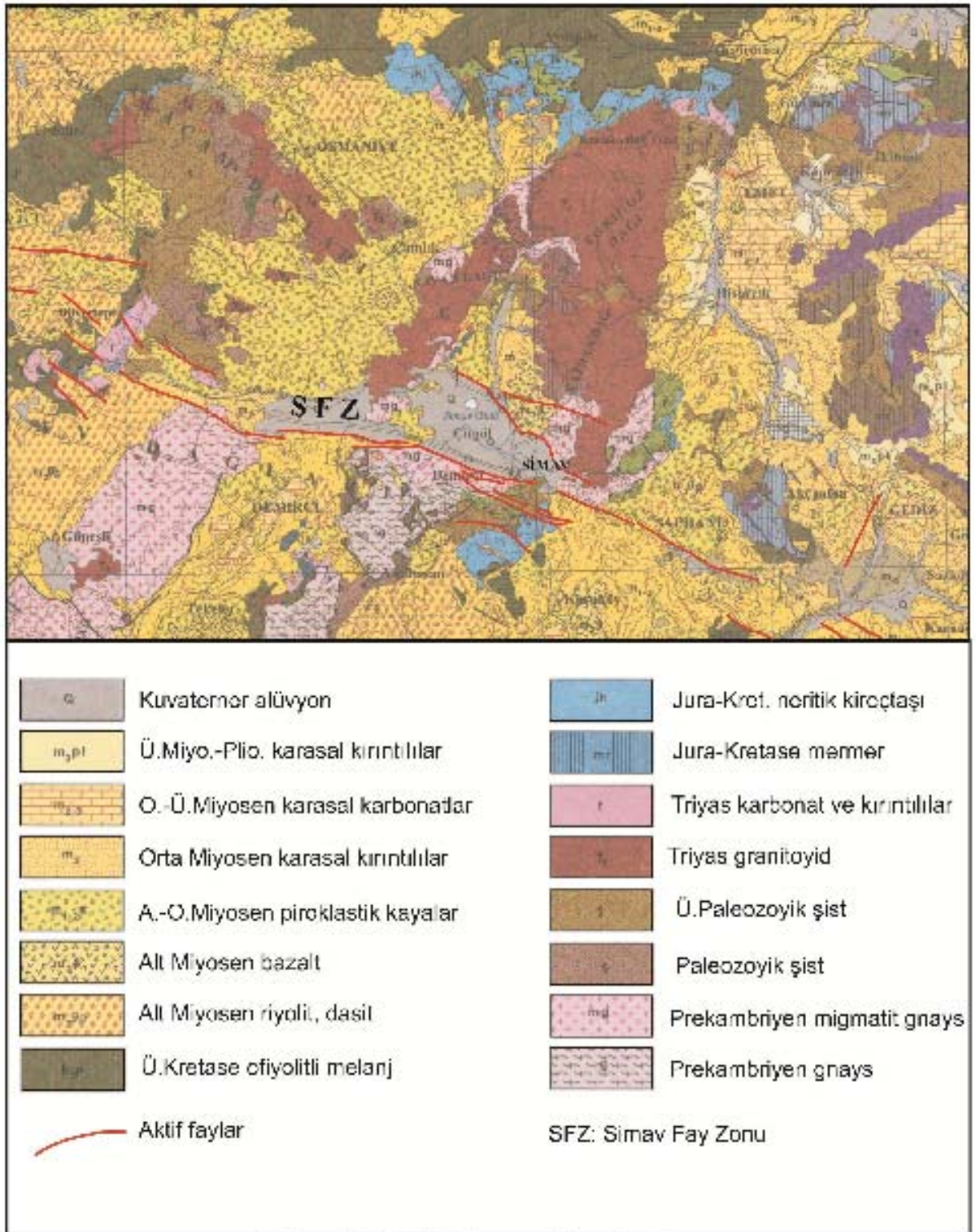
YERLEŞİM	YIKIK					
	Bina	Konut	İşyeri	Depo	Ahır	Samanlık
SİMAV KÖYLER+BELDELER	104	70	5	25	42	36
SİMAV GENEL TOPLAM	109	80	6	27	42	37
HİSARCIK GENEL TOPLAM	3	2	0	1	1	0
ŞAPHANE GENEL TOPLAM	2	0	1	0	1	0
PAZARLAR GENEL TOPLAM	1	0	0	0	0	1
SİMAV+HİSARCIK+ŞAPHANE+PAZARLAR GENEL TOPLAM	115	82	7	28	44	38

YERLEŞİM	AĞIR					
	Bina	Konut	İşyeri	Depo	Ahır	Samanlık
SİMAV KÖYLER+BELDELER	929	875	16	263	371	111
SİMAV GENEL TOPLAM	1258	1528	113	402	377	114
HİSARCIK GENEL TOPLAM	79	89	2	40	13	1
ŞAPHANE GENEL TOPLAM	46	48	2	9	31	0
PAZARLAR GENEL TOPLAM	56	60	0	13	15	7
SİMAV+HİSARCIK+ŞAPHANE+PAZARLAR GENEL TOPLAM	1439	1725	117	464	436	122

YERLEŞİM	ORTA					
	Bina	Konut	İşyeri	Depo	Ahır	Samanlık
SİMAV KÖYLER+BELDELER	125	172	12	46	33	22
SİMAV GENEL TOPLAM	386	1179	274	194	35	25
HİSARCIK GENEL TOPLAM	6	6	0	2	3	0
ŞAPHANE GENEL TOPLAM	7	10	6	2	3	0
PAZARLAR GENEL TOPLAM	10	14	0	4	4	0
SİMAV+HİSARCIK+ŞAPHANE+PAZARLAR GENEL TOPLAM	409	1209	280	202	45	25

YERLEŞİM	AZ					
	Bina	Konut	İşyeri	Depo	Ahır	Samanlık
SİMAV KÖYLER+BELDELER	2759	3343	89	902	910	116
SİMAV GENEL TOPLAM	4273	7906	690	1630	943	126
HİSARCIK GENEL TOPLAM	337	386	0	137	130	1
ŞAPHANE GENEL TOPLAM	290	502	18	143	61	2
PAZARLAR GENEL TOPLAM	255	303	11	94	44	4
SİMAV+HİSARCIK+ŞAPHANE+PAZARLAR GENEL TOPLAM	5155	9097	719	2004	1178	133

YERLEŞİM	HASARSIZ					
	Bina	Konut	İşyeri	Depo	Ahır	Samanlık
SİMAV KÖYLER+BELDELER	3247	4286	141	1058	504	184
SİMAV GENEL TOPLAM	5494	8885	1059	1939	556	207
HİSARCIK GENEL TOPLAM	64	94	4	31	12	0
ŞAPHANE GENEL TOPLAM	153	153	2	94	23	2
PAZARLAR GENEL TOPLAM	43	72	5	22	9	0
SİMAV+HİSARCIK+ŞAPHANE+PAZARLAR GENEL TOPLAM	5754	9204	1070	2086	600	209



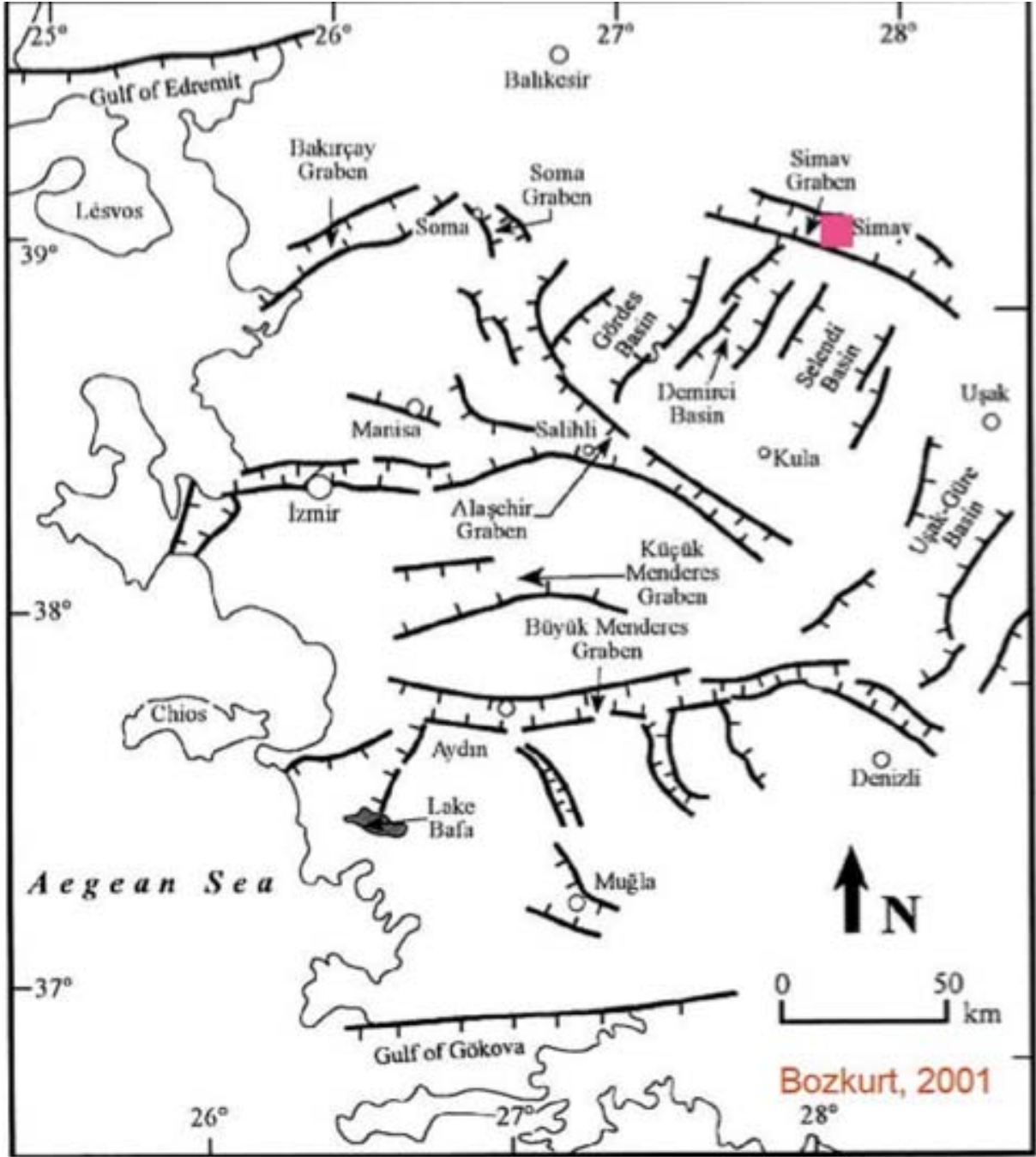
Şekil 4: Bölgenin jeoloji haritası

3 Bölgenin Sismotektonik Özellikleri

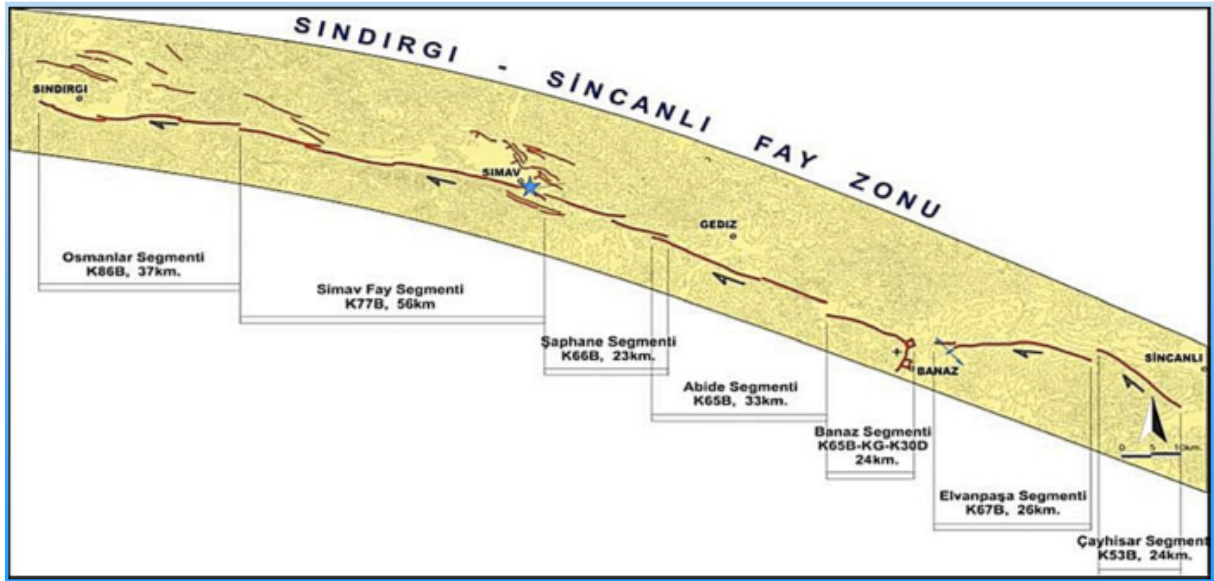
Bölge Batı Anadolu'nun açılma rejimi içerisinde yer alan önemli tektonik unsurlardan birisi olan Gediz Grabeni'nin kuzeybatısında yer almaktadır. Depremin dış merkezi Simav Fay Zonu diye adlandırılan genel doğrultusu batı-kuzeybatı – doğu-güneydoğu (BKB-DGD) gidişli olan aktif diri faylarla çevrili bir bölgede yer almaktadır. Genelde bölgede meydana gelen deprem etkinliği, hakim olarak doğu-batı doğrultulu uzanan bu tektonik hatta ve onun kollarında meydana gelmektedir. Gediz, Emet ve Simav fay zonları bölgedeki ana tektonik yapılarıdır. 17 Şubat 2009'da bu bölgede aletsel büyüklüğü $M_l = 5.0$ olan bir deprem meydana gelmiştir ve bölgenin tektonik özelliklerinden dolayı sık meydana gelen depremlerden birisidir. Aletsel dönemde bölgede meydana gelmiş en şiddetli deprem ise 1970 yılında Gediz'de meydana gelmiş 7.2 büyüklüğündeki depremdir. Bölgede meydana gelen diğer önemli depremler ise 1928 Emet 6.2 büyüklüğünde ve 1970 Çavdarhisar 5.9 büyüklüğündedir.

Şekil 5'de verilen Batı Anadolu bölgesinin genel tektonik haritasından görüleceği üzere birbirine paralel normal fayların sınırladığı graben yapıları ile bölgede geniş bir alanda genişleme tektoniği rejimi gözlemlenmektedir. Bölgede bu normal faylanmanın sebep olduğu depremlere örnekler 1899 Büyük Menderes, 1928 Torbalı, 1955 Balat, 1969 Alaşehir, 1969 Simav, 1970 Gediz ve 1995 Dinar depremleridir. 19 Mayıs 2011 Simav depremi de Simav Grabeni ile ilişkilendirilebilir.

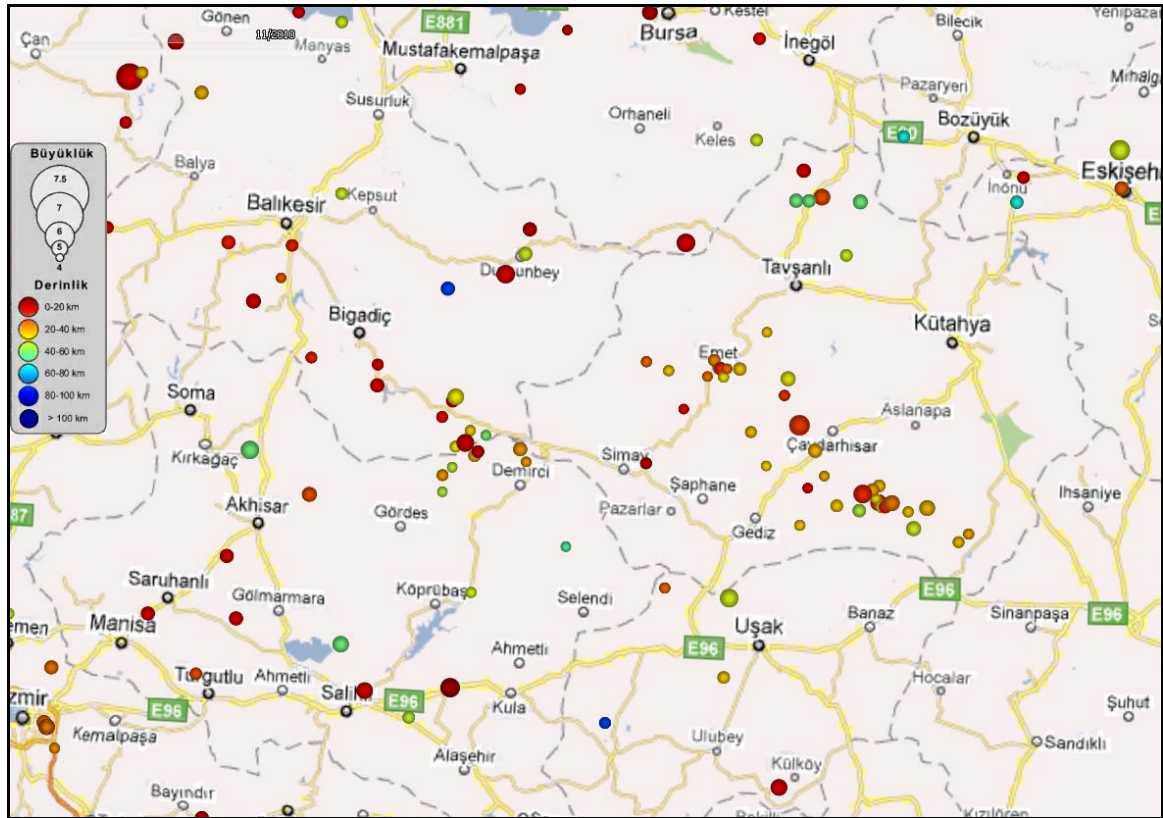
Şekil 6'da Ege genişleme tektonik rejimi ile Kuzey-Batı Anadolu geçiş zonu arasında yapısal bir sınır olarak kabul edilen Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu gösterilmiştir. Simav fayı da Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu'nun bir segmenti olarak düşünülmektedir (Doğan ve Emre, 2006). Simav havzası Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu üzerinde oluşan en geniş grabendir. Bu depreminde Simav ve Şaphane fayları arasında sağ atımlı bir faylanmadan oluştuğu düşünülebilir.



Şekil 5: Batı Anadolu bölgesinin genel tektonik haritası



Şekil 6: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu



Şekil 7: Son yüzyılda bölgedeki büyük depremlerin dağılımı (1900-2010; $M \geq 5.0$)

4 Depremın Kaynak Parametreleri

Kurumumuz tarafından yapılan ilksel çözüm parametreleri ve mekanizma çözümü Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Depreme ait kaynak parametreleri

Simav Depreminin İlksel Çözüm Parametreleri:

Tarih-Saat: 19.05.2011 23:15:23

Koordinat: 39.152K 29.088D

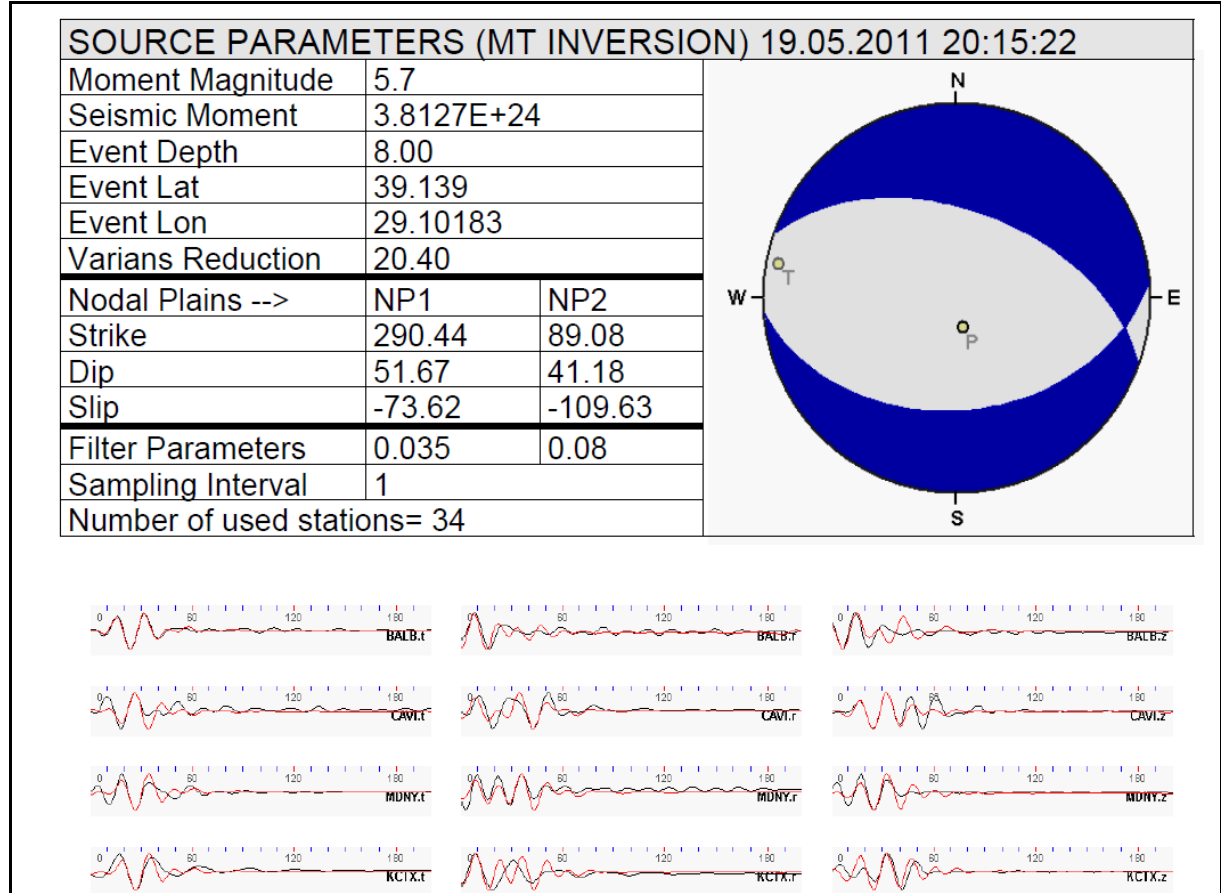
Büyükük: 5.9

Derinlik: 7.6 km

Açıklama: SİMAV (KÜTAHYA)

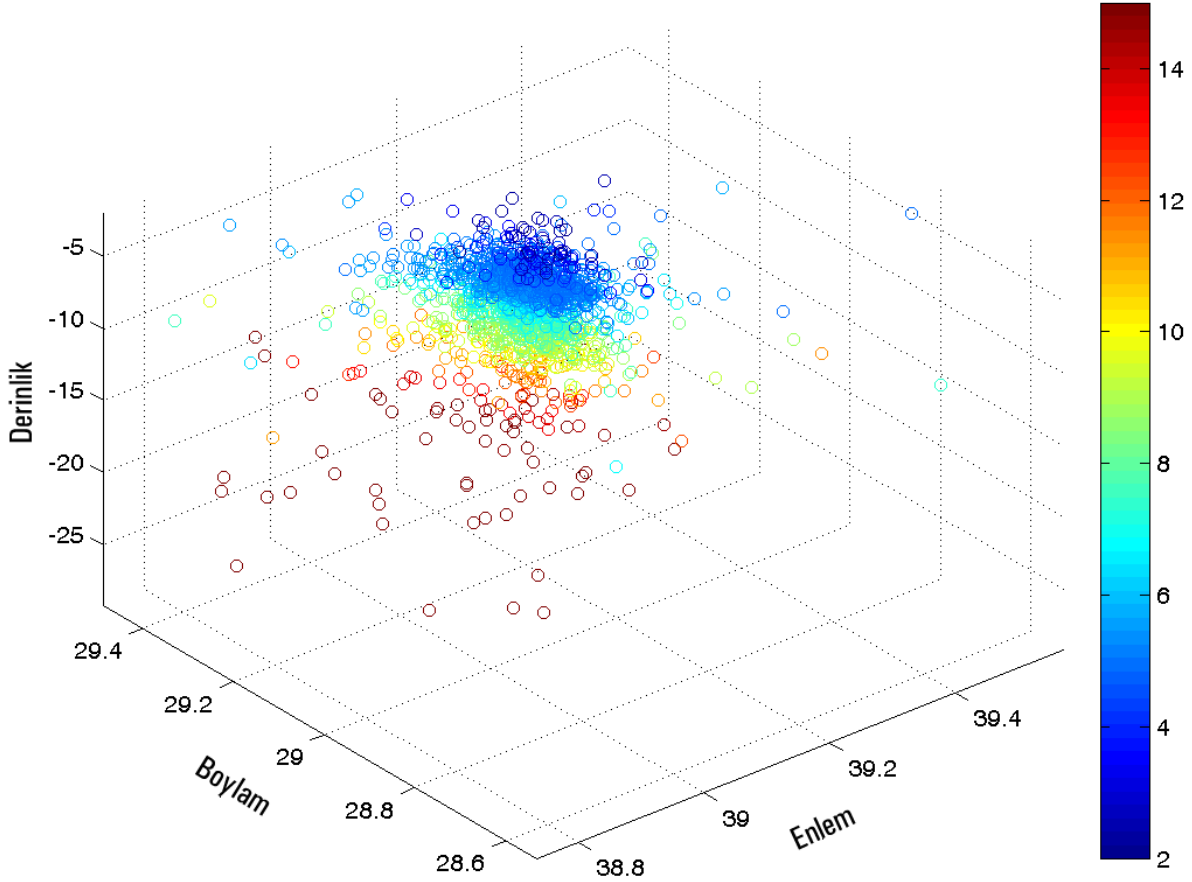


Simav Depremin İlksel Mekanizma Çözümü:



5 Deprem İstatistik Yönden Özellikleri

Deprem ardından bölgede gözlenen artçı depremlerin merkez üssü konumlarının üç boyutlu dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir. Artçı depremlerin büyük bir kısmı 5-10km derinlikte meydana gelmiştir.



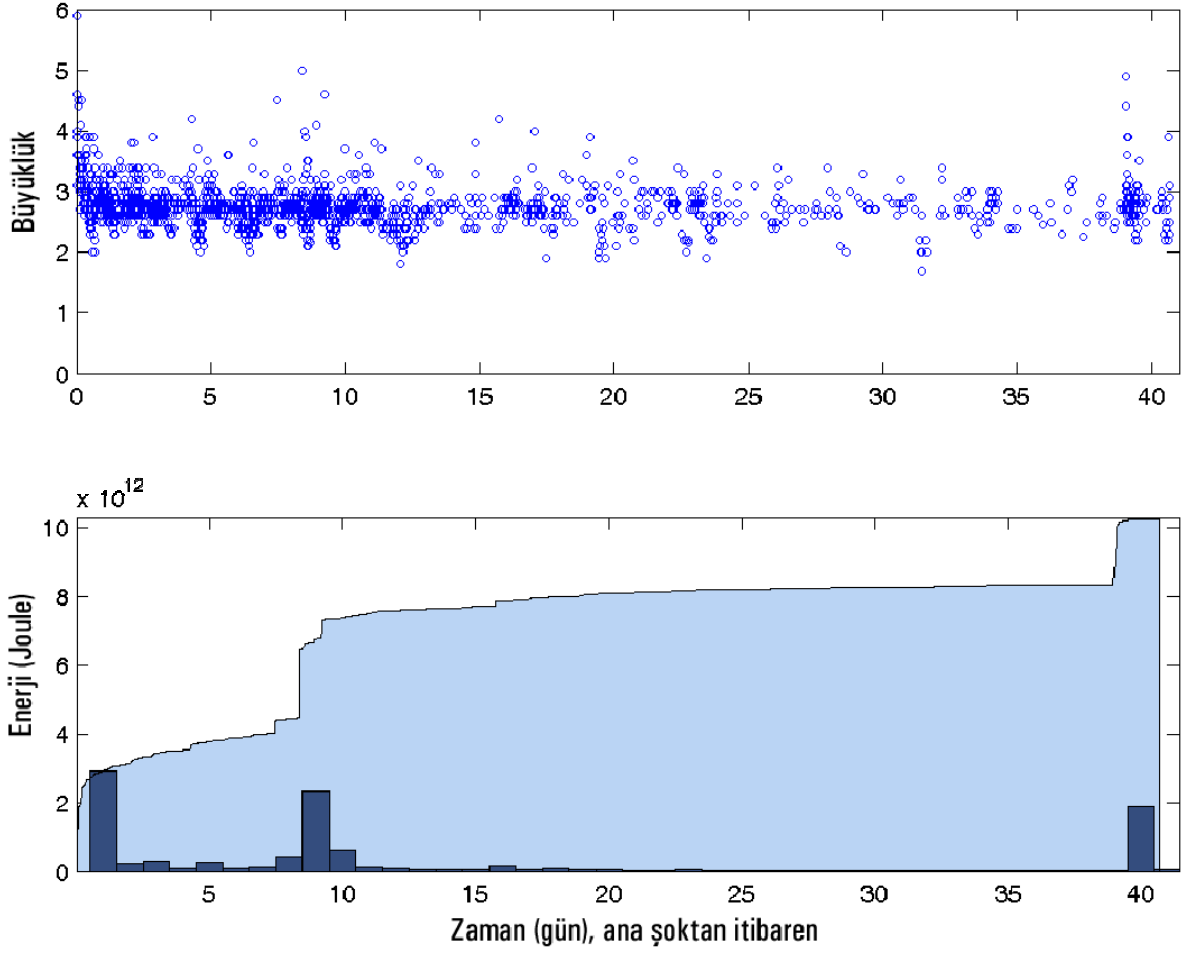
Şekil 8: Deprem artçılarının üç boyutlu dağılımı

Meydana gelen artçıların büyüklük - zaman dağılımına bakıldığında oluşma sıklığının zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Depremleri açığa çıkan enerji bakımından değerlendirmek amacıyla aşağıdaki formüle göre Joule cinsinden enerji dönüşümü yapılmıştır.

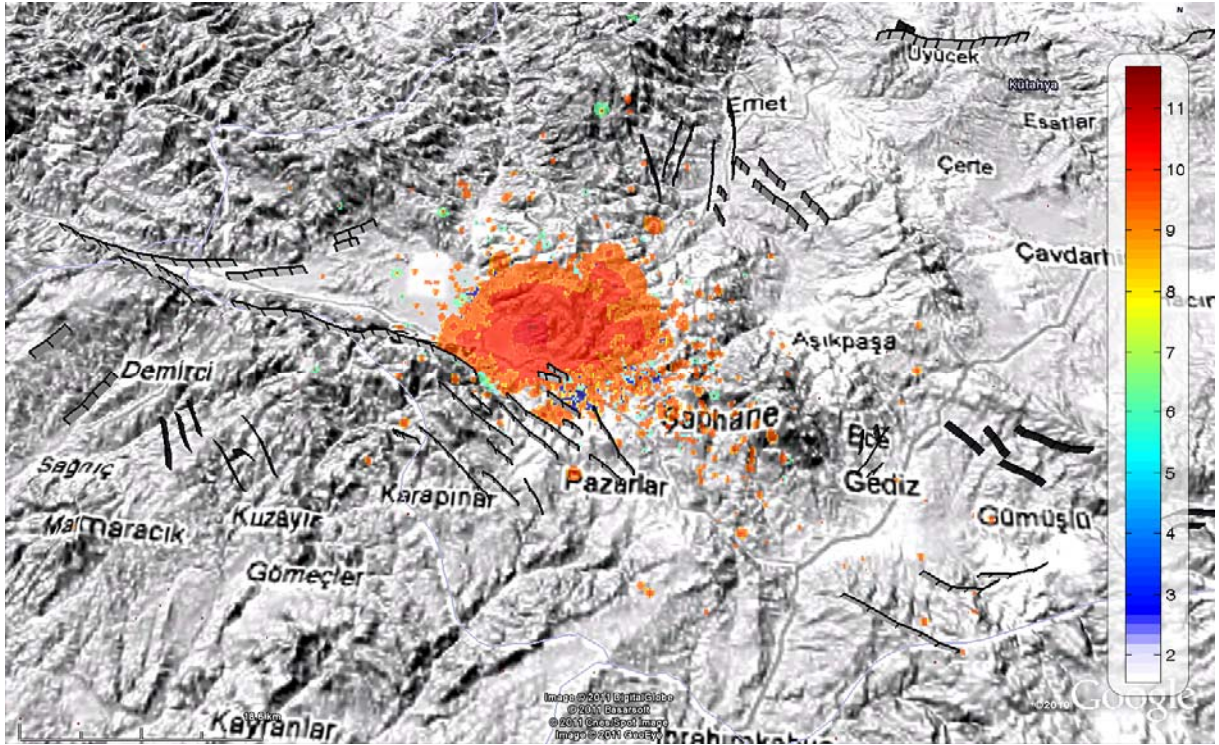
$$\log(E) = 4.8 + 1.5M$$

Elde edilen kümülatif ve günlük olarak açığa çıkan enerji grafiği Şekil 9 da verilmiştir. Bu grafikten görüldüğü üzere depremden geçen 40 gün boyunca açığa çıkan toplam enerji 10^{13} Joule a denk gelmektedir. Bu değer $M_s 5.4$ büyüklüğündeki bir depremin açığa çıkaracağı enerjiye eşdeğerdir.

Artçı depremlerde açığa çıkan enerjinin yüzey grafiği çıkarıldığında (Şekil 10) Simav-Şaphane arasında bir öbekleşme olsa da artçıların kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda yoğunlaştığı gözlenmektedir.



Şekil 9: Artçı depremlerin büyüklük ve açığa çıkan enerji dağılımı

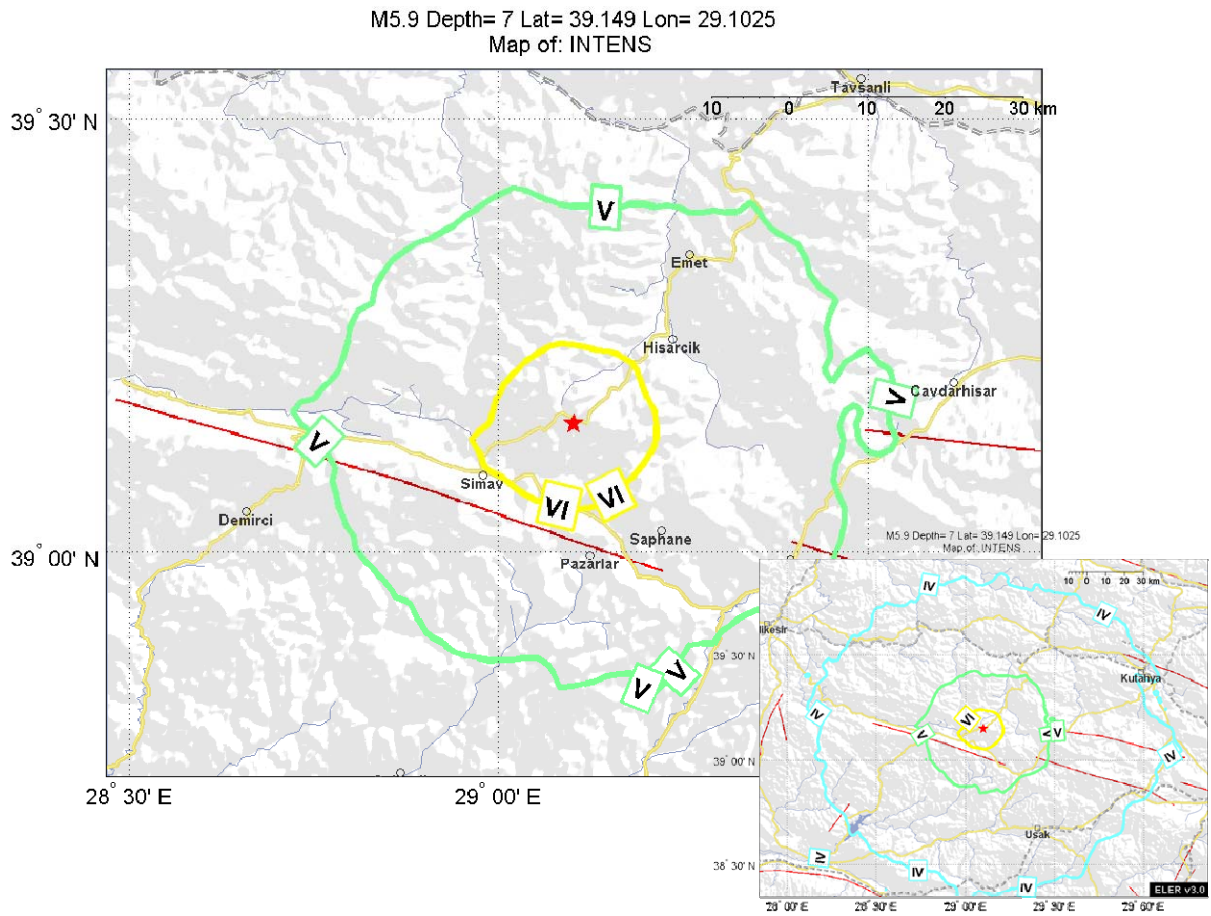


Şekil 10: Artçı depremlerde açığa çıkan enerjinin dağılım haritası

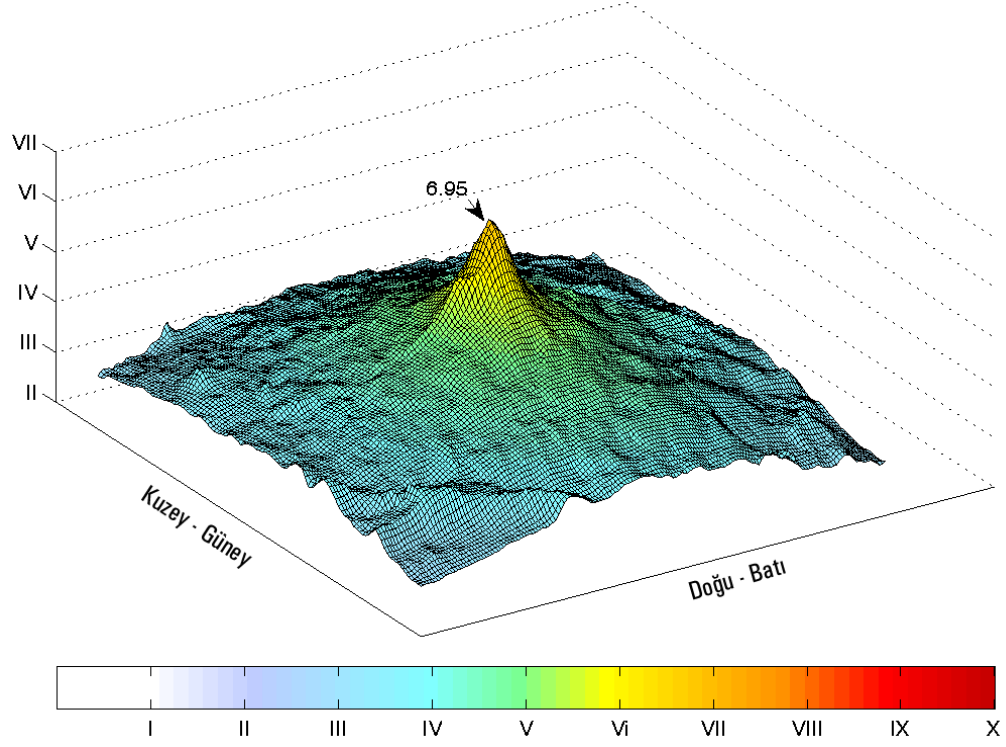
6 Deprem Sarsıntı ve Hasar Tahminleri

Deprem sarsıntı ve hasar tahmininde Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı tarafından geliştirilen ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) yazılımı kullanılmıştır. ELER yazılımı için gerekli deprem ile ilgili veriler KRDAE Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) tarafından sağlanmıştır.

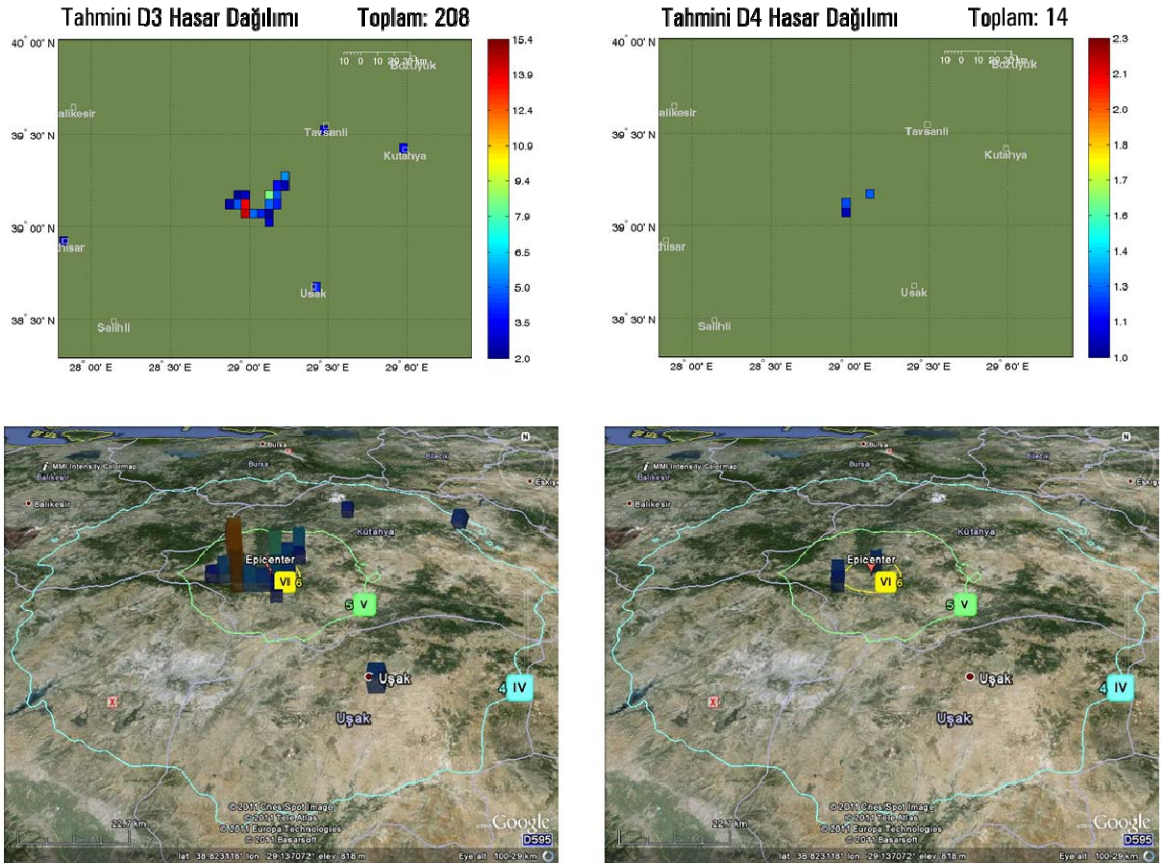
Deprem ile eş-zamanlı ve otomatik olarak yapılan çalışma ile Şekil 11’de verilen iki farklı ölçekli şiddet dağılım haritası depremden hemen sonra hazırlanmış ve KRDAE web sitesinde yayımlanmıştır. Bu haritalardan depremin merkez üssü ve civarında şiddetin VI düzeylerinde olduğu görülmekle beraber, Şekil 12’deki şiddet dağılımının yüzey grafiğine bakıldığında merkez üssünde tahmin edilen şiddetin VII seviyelerine yaklaştığı görülmektedir.



Tahmini sarsıntı haritalarının oluşturulmasında öncelikle Boore & Atkinson (2008) yer hareketi tahmin ilişkisi kullanılarak en büyük yer ve hız dağılımları elde edilmiştir. Daha sonra Wald vd. (1999) aletsel şiddet tahmin ilişkisi kullanılarak bu parametrelerden sarsıntı dağılımı hesaplanmıştır. Elde edilen şiddet dağılımı ve bölgedeki bina envanteri kullanılarak depremin hemen ardından tahmini hasarlı bina sayıları hesaplanmıştır. Buna göre D1 den D5 e kadar olan hasar sınıflarındaki tahmini bina sayıları D1= 9741, D2= 1592, D3= 208, D4= 14 ve D5= 0 olarak bulunmuştur. D3 ve D4 hasar sınıfına ilişkin dağılımlar Şekil 13’deki haritalarda sunulmuştur.



Şekil 12: Tahmini Şiddet Dağılımı Yüzeyi



Şekil 13: D3 ve D4 Hasar Sınıflarındaki Tahmini Bina Sayıları ve Dağılımları

7 Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

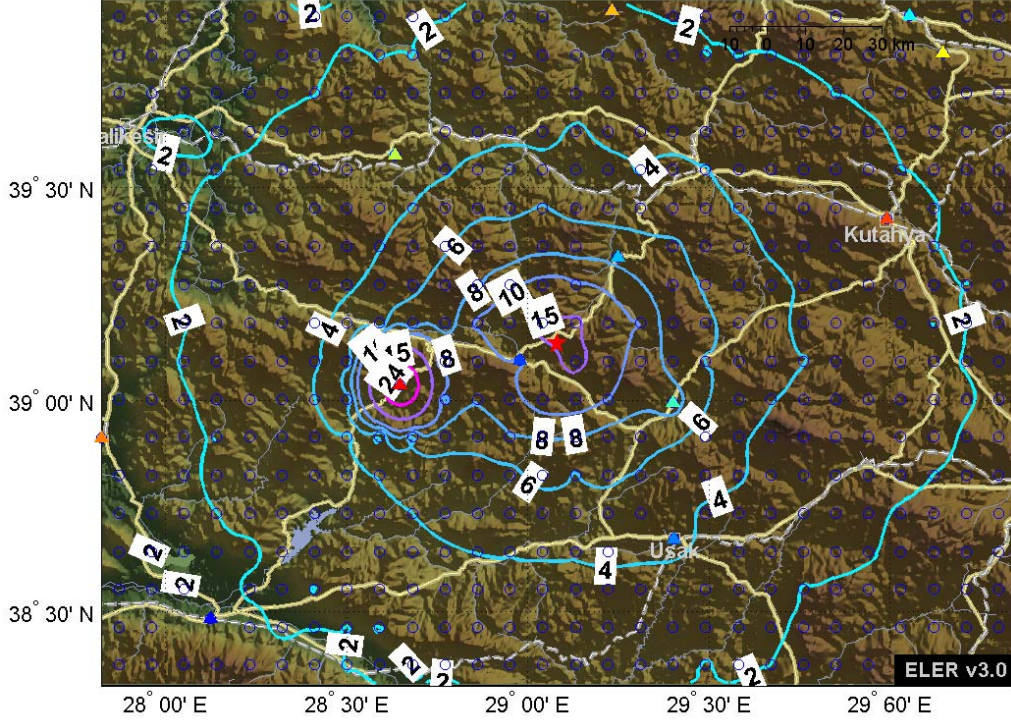
Depremın ana şoku Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Ağına bağılı toplam 84 istasyon tarafından kaydedilmiş ve ivme kayıtları internet sitesi üzerinden verilmiştir (<http://daphne.deprem.gov.tr>). Merkez üssüne 150 km den yakın istasyonlarda ölçülen değerler istasyon uzaklıkları ile birlikte Table-6'de verilmiştir. Bu tabloda her istasyon için yatay doğrultuda kaydedilen maksimum yer hareketi parametrelerinin geometrik ortalamalarından tek bir değer elde edilmiştir.

Table 6: Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon kayıt bilgileri

Istasyon	Uzaklık (km)	PGA (gal)	CAV (cm/s)	PGV (cm/s)	PSA 1s (gal)	PSA 0.2s (gal)	Arias Şiddeti (cm/s)	Trifunac Süresi (s)
4305	9.98	91.16	20.65	1.49	8.52	135.60	1.10	0.58
4306	26.80	73.93	256.94	7.09	16.42	184.17	7.29	14.45
4304	31.48	97.90	271.14	3.64	11.15	152.31	6.53	17.06
4504	39.00	687.37	658.55	17.40	16.22	791.70	95.59	7.00
6401	58.40	47.40	154.39	3.99	6.12	72.62	2.80	10.55
1009	62.81	16.39	81.74	1.08	8.06	34.49	0.36	27.93
4301	84.88	29.07	160.08	1.88	5.74	95.41	1.59	22.70
1613	87.93	20.60	122.57	1.44	4.24	45.17	0.88	28.02
4506	110.08	9.65	111.08	1.61	17.13	18.83	0.45	49.22
4502	111.50	17.65	127.08	2.88	6.44	30.62	0.81	34.14
1614	116.34	42.72	127.93	2.89	7.76	119.27	1.70	12.72
2607	118.90	7.25	53.52	0.83	0.00	20.09	0.13	44.43
1102	119.56	13.05	52.73	0.90	0.00	36.15	0.20	25.86
1601	121.52	4.27	31.77	0.36	17.98	7.41	0.04	39.38
2009	135.65	8.43	109.35	1.49	0.00	17.70	0.37	67.93
1618	136.09	14.36	66.09	0.94	5.70	29.49	0.34	24.57
2611	137.70	10.29	91.42	1.29	5.58	25.74	0.32	53.44
2610	138.18	11.16	83.86	1.49	4.18	25.27	0.35	31.62
1607	140.29	19.13	186.43	3.85	9.25	30.21	1.17	51.65
2605	140.85	13.29	60.66	0.89	0.00	47.99	0.23	27.09
2602	141.74	7.02	53.87	0.91	0.00	11.17	0.12	41.37
2604	141.79	9.92	57.64	0.97	2.16	16.14	0.19	29.56
1608	142.32	9.50	50.19	1.08	0.00	15.45	0.16	31.14
1609	143.91	19.43	152.35	1.96	3.40	40.82	0.82	48.67
2603	144.04	7.02	27.51	0.59	0.00	16.12	0.05	31.09
2614	144.14	4.25	24.10	0.57	0.00	6.89	0.04	26.20
1615	144.50	11.54	97.72	1.80	6.98	26.83	0.44	40.54
2613	145.11	9.88	68.72	1.12	4.44	23.31	0.22	36.44
2601	145.41	6.94	37.94	0.53	0.00	12.44	0.10	30.50
2616	146.61	4.82	30.55	0.47	0.00	10.58	0.04	39.25
1616	147.21	3.79	19.12	0.45	0.00	9.83	0.02	33.36
2010	148.35	2.37	33.45	0.63	0.00	4.02	0.04	58.85

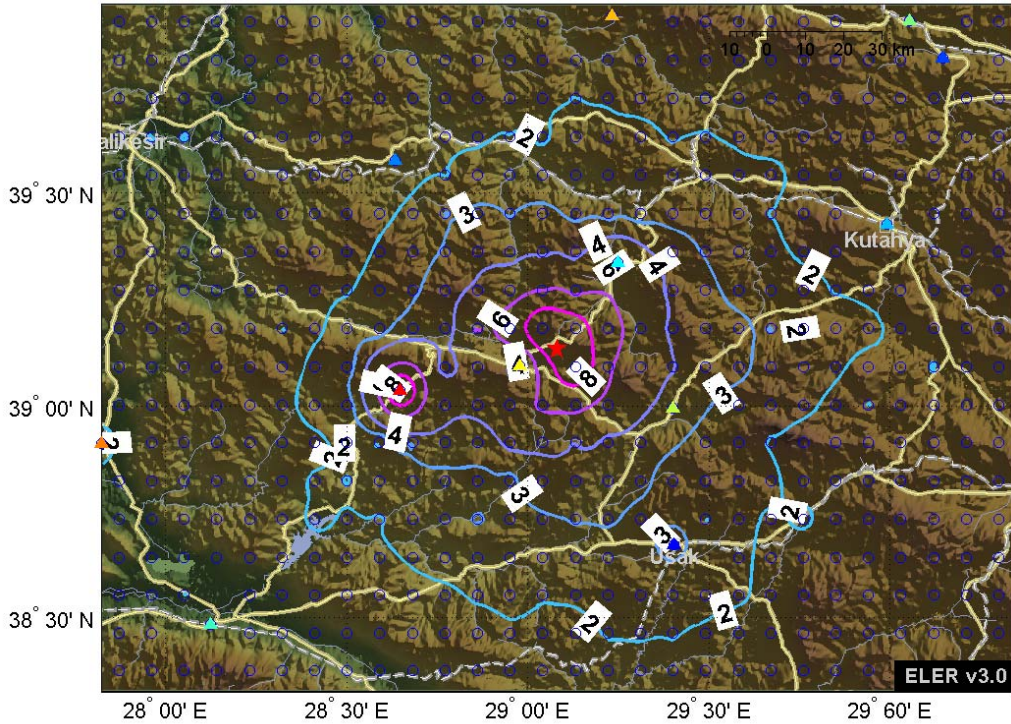
Merkez üssü civarındaki istasyonlar kullanılarak en büyük yer ivmesi (PGA) ve en büyük yer hızı (PGV) dağılımları aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Bu haritalarda istasyonlar ölçüm değerlerine göre renklendirilmiş üçgenlerle gösterilmiştir.

M5.9 Depth= 10 Lat= 39.1328 Lon= 29.082
Map of: PGA (%g) [0.74-70.08]



Şekil 14: PGA dağılım haritası

M5.9 Depth= 10 Lat= 39.1328 Lon= 29.082
Map of: PGV (cm/s) [0.90-17.23]



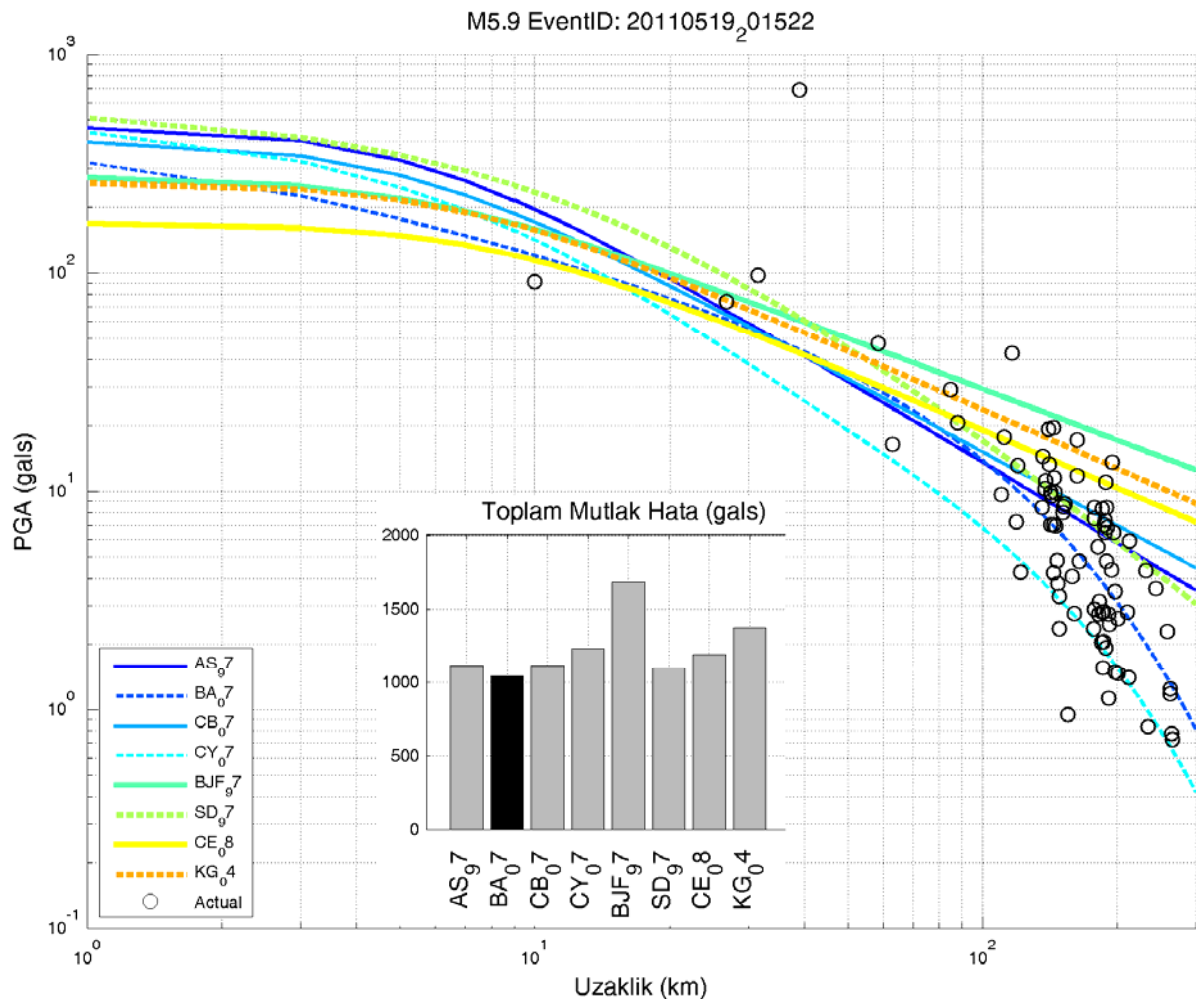
Şekil 15: PGV dağılım haritası

İstasyonlardan elde edilen yer hareketi kayıtlarının literatürde yer alan yer hareketi tahmin ilişkileriyle (YHTİ) uyumu incelenmiştir. Yapılan karşılaştırmada Tablo 7’ de verilen YHTİ’ lerin sert zeminde ($V_{s30}=760/s$) öngördüğü medyan değerleri dikkate alınmıştır.

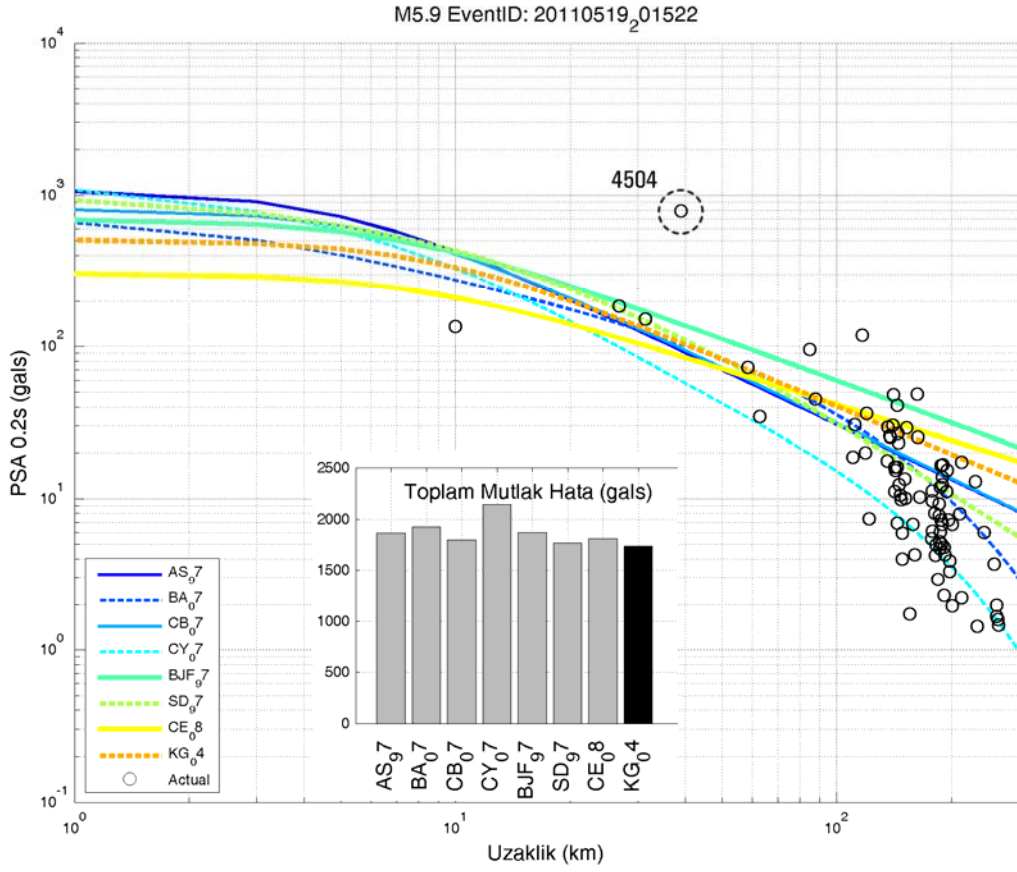
Table 7: Karşılaştırmalarda kullanılan yer hareketi tahmin ilişkileri

Tarih	Yazarlar	Kısaltma
1997	Abrahamson & Silva	AS_97
2007	Boore & Atkinson	BA_07
2007	Campbel & Bozorgnia	CB_07
2007	Chiou & Youngs	CY_07
1997	Boore vd.	BJF_97
1997	Sadigh vd.	SD_97
2008	Çeken vd.	CE_08
2004	Kalkan & Gülkan	KG_04

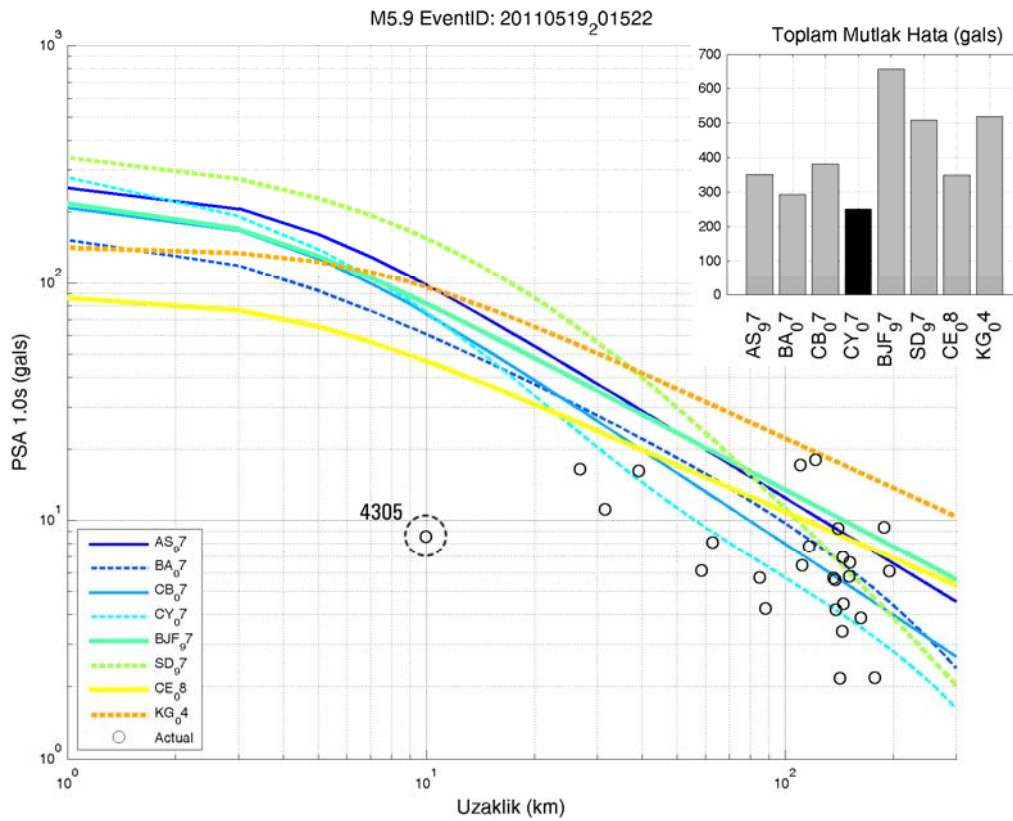
Karşılaştırmalar en büyük yer ivmesi (PGA), 0.2s ve 1.0s periyodundaki en büyük spektral ivmeler (PSA 0.2s, 1.0s) için yapılmıştır. İstasyonlarda ölçülen değerler ile her bir YHTİ’ nin öngördüğü değerler arasındaki farklar toplam mutlak hata olarak Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18’ de verilmiştir.



Şekil 16: İstasyonlarda ölçülen PGA değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması



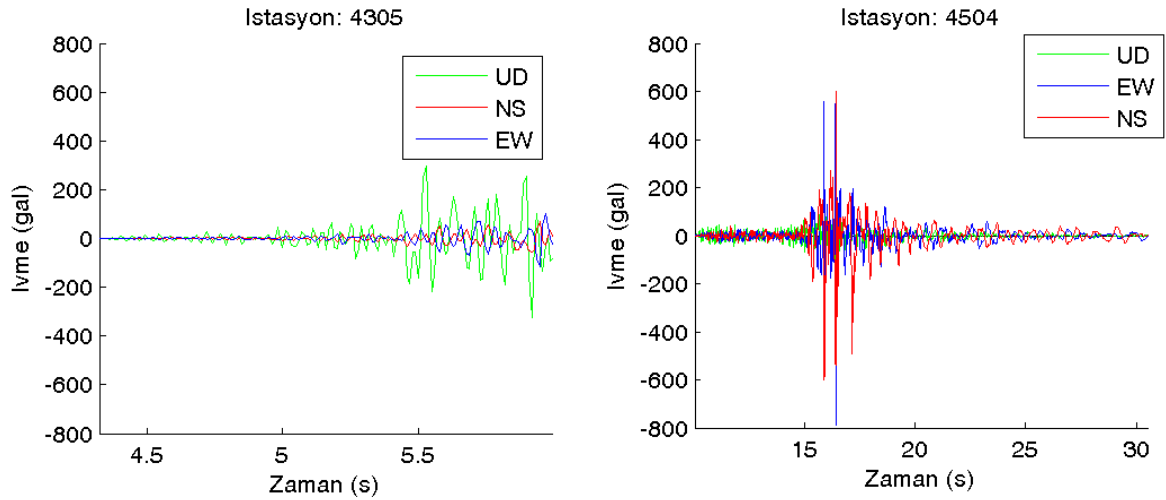
Şekil 17: İstasyonlarda ölçülen PSA 0.2s değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması



Şekil 18: İstasyonlarda ölçülen PSA 1.0s değerleri ile YHTİ lerin karşılaştırılması

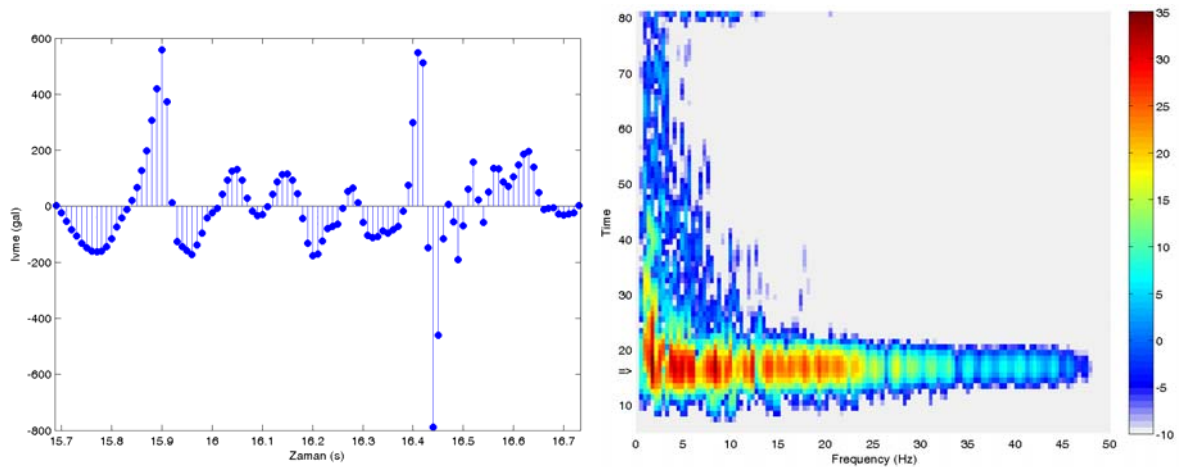
Karşılaştırma grafiklerinden görüldüğü üzere PGA, PSA 0.2s ve 1.0s parametreleri için gözlenen değerlere en yakın sonuçlar farklı YHTİ denklemleri ile bulunmuştur. PGA ve PSA 0.2s için irdelenen YHTİ' lerin birbirlerine yakın sonuçlar vermelerine rağmen PSA 1.0s de Chiou & Youngs (2007) tahmin ilişkisinin kestirim hatası belirgin olarak daha düşüktür.

PSA 0.2s ve 1.0s grafiklerinde tüm istasyonların tahmin ilişkileriyle genel bir uyum içinde olmalarına rağmen kısa periyotlarda 4504 istasyonu ortalamasının üstünde, uzun periyotlarda ise 4305 istasyonu ortalamasının bir hayli altında değerde olduğu gözlenmektedir. Bu iki istasyonun Şekil 19' da verilen ivme-zaman grafiğine bakıldığında 4305 numaralı istasyonda yer hareketinin sadece ilk 6 saniyesinin kaydedildiği ve bu yüzden yüksek periyotlu spektral ivmelerin düşük çıktığı görülmektedir.



Şekil 19: 4305 ve 4504 numaralı istasyonların ivme-zaman grafikleri

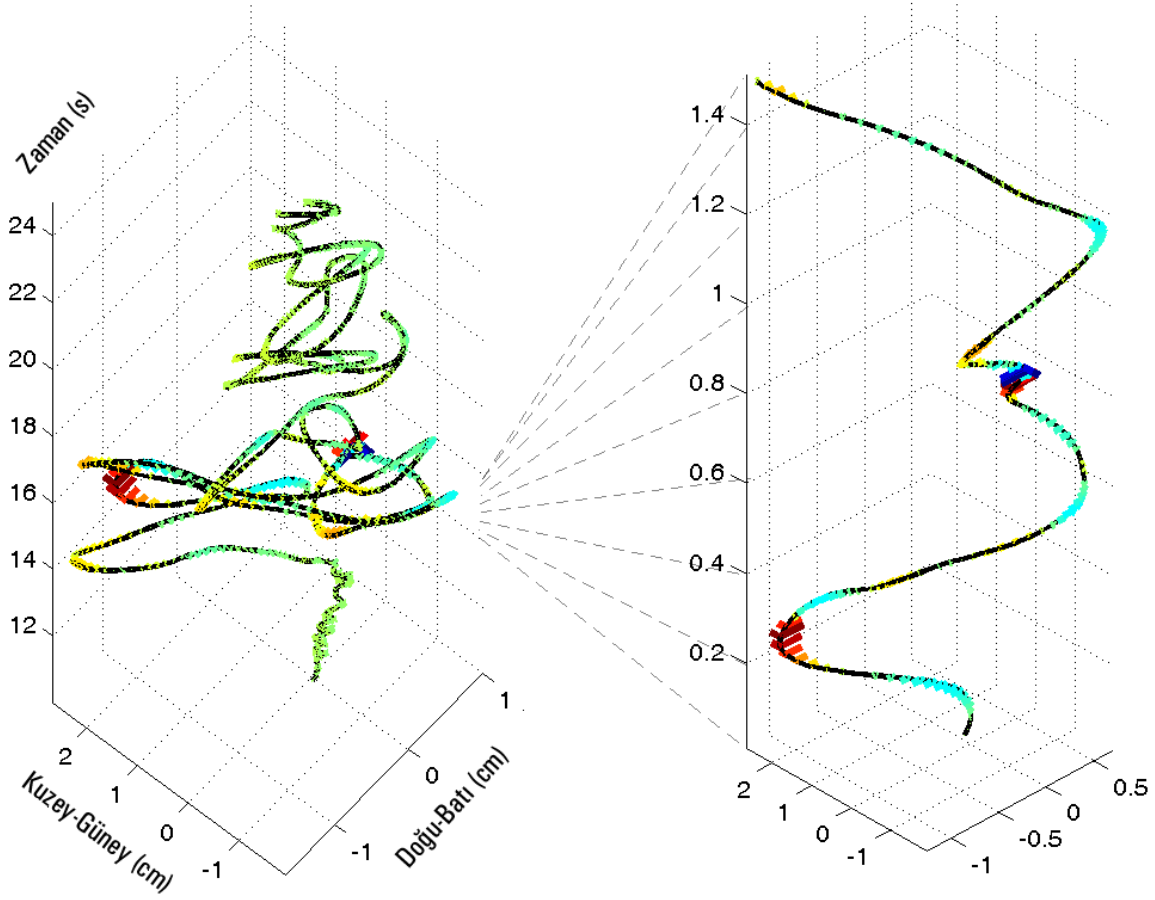
4504 numaralı istasyonda gözlenen yüksek frekanslı hareketi daha detaylı olarak incelemek amacıyla DB ekseninde bu tepe değerinin gözlemlendiği zaman aralığı ayrıntılı olarak Şekil 20' de gösterilmiştir. Bu zaman aralığında yüksek frekansların, baskın olduğu kaydın spektrogramında, 16 saniye civarı incelediğinde de görülmektedir.



Şekil 20: 4504 numaralı istasyondaki yüksek frekanslı bileşenler

İstasyona ilişkin zemin koşulları incelendiğinde üst 30 metrede ortalama kayma dalga hızının $V_{s30} = 336\text{m/s}$ olduğu, bunun da yumuşak bir zemine karşılık geldiği görülmektedir.

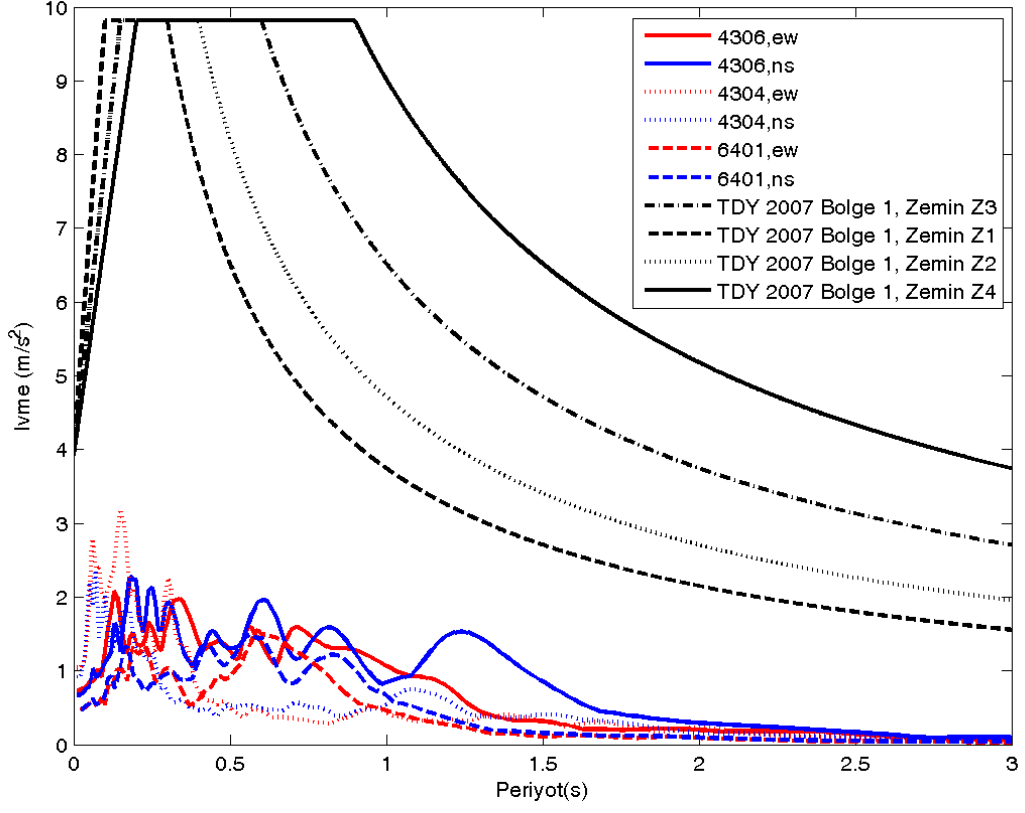
Yumuşak zeminlerin yüksek frekansları bastırması beklendiğinden istasyondaki kaydın daha detaylı irdelenebilmesi amacıyla serbest cisim hareket grafiği çizdirilmiştir.



Şekil 21: 4504 numaralı istasyonun serbest cisim hareketi

4504 numaralı istasyon kaydının serbest cisim grafiğinde cismin konumu yatay eksenler üzerinde, zaman ise dikey eksende Şekil 21' de gösterilmiştir. Aynı zamanda her konumda cisme etkileyen ivmeler ve bunların doğrultuları renkli çizgilerle işaretlenmiştir. Buna göre $t=15.9s$ 'teki ilk ivme tepesinde yer değiştirmede yumuşak bir geçiş gözlenmektedir, buna karşılık $t=16.4s$ 'teki ikinci tepede dar bir alanda ani yön değiştirmelere maruz kalmıştır.

Son olarak merkez üssüne en yakın 4306 (27km), 4304 (31km) ve 6401(58km) kodlu istasyonların yer hareketi kayıtları ele alınmış. Bu istasyonların yatay eksen kayıtlarının ivme tepki spektrumları Türk Deprem Yönetmeliğinin 1. dereceden deprem bölgeleri için farklı zeminlerde öngördüğü tasarım spektrumu ile karşılaştırmalı olarak Şekil 22 de verilmiştir.



Şekil 22: İvme tepki spektrumlarının tasarım spektrumu ile karşılaştırılması

8 Bina Tipleri

Bölge halkıyla yapılan görüşmeler, ve gözlemler neticesinde Simav ilçesinin bina stoğu üç grupta incelenebilir;

- 4-5 katlı Betonarme Binalar
- 7-8 katlı Betonarme Binalar
- Yığma Binalar

8.1 4-5 Katlı Betonarme Binalar

Simav ilçe merkezindeki bina stoğunun büyük bölümünü 1970-1990 yılları arasında inşaa edilmiş 4-5 katlı betonarme binalar oluşturmaktadır. Birçoğunda sonradan ilave edildiği anlaşılan çatı katları da mevcuttur. Genellikle 120-130 m² taban alanına oturan bu binalarda her katta tek daire bulunmaktadır. Bu bina tipine ait bazı örnekler aşağıdaki fotoğraflarda sunulmuştur.



Şekil 23: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-1



Şekil 24: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-2



Şekil 25: Simav ilçesinde, tipik 4-5 katlı betonarme binalar-3

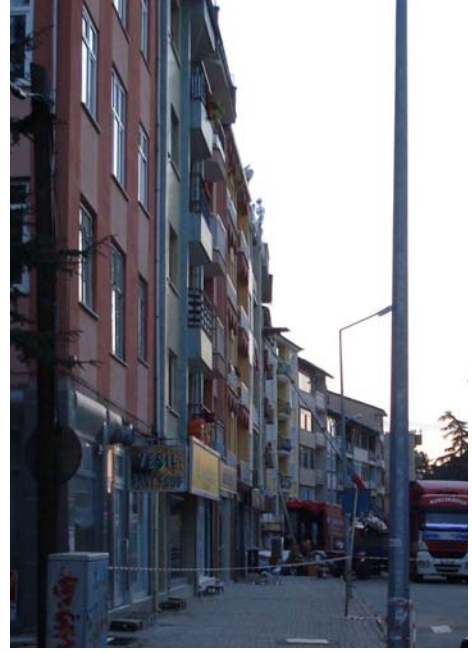
4-5 katlı binalar ilçenin dış mahallelerinde tekil halde bulunduğu gibi, özellikle ilçenin eski yerleşim bölgelerinde ve merkezinde sıra binalar şeklinde de bulunmaktadır. Bu gruba ait çok sayıda binada zemin katlar ticari amaçla kullanılmaktadır. Bu nedenle zemin kat yüksekliği artırılarak, bina yumuşak kat düzensizliğine maruz bırakılmıştır. Gerçekleşen ana şok ve artçı şoklarda bu sebeple yıkılan sadece bir binaya rastlanmıştır. Ancak, daha büyük depremlerde yumuşak kat mekanizmasının sebep olacağı göçme durumları kuvvetle muhtemeldir.



Şekil 26: İlçe merkezindeki sıra binalar-1

Fotoğraflarda da görüldüğü gibi, farklı yükseklikteki, hatta farklı taşıyıcı sistem özelliklerindeki binalar çoğunlukla kat hizaları aynı olmayacak şekilde sıralanmışlardır.

Bir başka dikkat çeken unsur, geniş balkon döşemelerinin konsol olarak çalışmasıdır. Çok az sayıda binada, balkon döşemelerinin, en azından, konsol kirişlere mesnetlendiği görülmüştür.



Şekil 27: İlçe merkezindeki sıra binalar-2

İlçenin çevre mahallelerinde, göreceli olarak daha genç (2000 yılı ve sonrası) binalara rastlanmaktadır. Bu daha yeni binalar, tekil olarak veya aynı müteahhit ve yapısal tasarım ile 2-3 binalık kooperatifler şeklinde inşa edilmiştir.



Şekil 28: İlçedeki yeni binalar

8.2 7-8 Katlı Betonarme Binalar

İlçe merkezinin yaklaşık 3 km dışında, güney-doğu yönünde bulunan Esenevler Mahallesi'nde, 1993 yılından başlayarak 2007 yılına kadar inşaatı devam etmiş, kooperatif konutları bulunmaktadır. Bu konutlar üç grupta incelenebilir;

- Sayıca en fazla olan ve ilk önce yapımına başlanan, her katında 3 daire bulunan, yaklaşık 350 m² taban alanına sahip, 8 katlı yıldız bloklar,
- Mahallenin batı kesiminde bulunan, yapımına yıldız bloklardan hemen sonra başlanmış, yaklaşık 400 m² taban alanına sahip, her katında 4 daire bulunan 8 katlı dikdörtgen bloklar,
- Mahallenin doğu kesiminde bulunan, yapımına 1990' ların sonunda başlanmış, yaklaşık 250 m² taban alanına sahip, her katında 2 daire bulunan, oturanlar tarafından sadece son 2 bloğunda yönetmelik kurallarına uyulduğu tahmin edilen 7 katlı dikdörtgen bloklar.



Şekil 29: Simav İlçesi, Esenevler Mahallesi, kooperatif konutları



Şekil 30: 8 katlı yıldız bloklar, yan görünüş - 1



Şekil 31: 8 katlı yıldız bloklar, yan görünüş - 2



Şekil 32: 8 katlı dikdörtgen bloklar



Şekil 33: 7 katlı dikdörtgen bloklar - 1

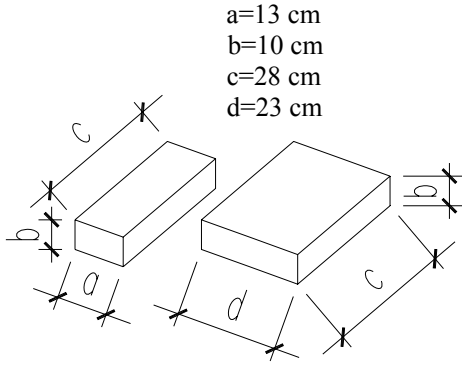


Şekil 34: 7 katlı dikdörtgen bloklar – 2

8.3 Yığma Binalar

İlçe merkezinde, sayıları az olmakla birlikte, delikli harman tuğlası veya kerpiç ile inşaa edilmiş yığma binalar mevcuttur.

Toprağın saman ile karıştırılıp, şekil verilip, güneşte kurutulmasıyla elde edilen kerpiç elemanına ait yaklaşık boyutlar aşağıda verilmiştir.

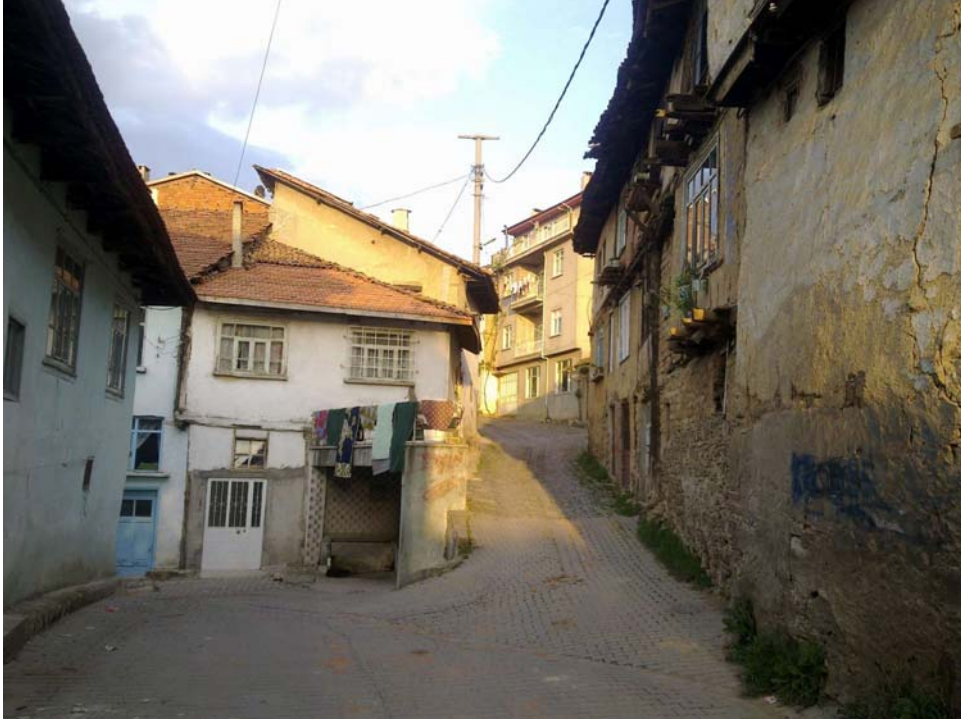


Şekil 35: Yaklaşık kerpiç boyutları

Kerpiç ve tuğla yığma binaların büyük bölümü şehrin güney bölümünde bulunur ve halen kullanılmaktadır. Bu yapılar genellikle 2-3 katlıdır.



Şekil 36: Kerpiç ve tuğla binaların bulunduğu sokaktan bir görünüm - 1



Şekil 37: Kerpiç ve tuğla binaların bulunduğu sokaktan bir görünüm - 2



Şekil 38: Yıkılan kerpiç bir binanın yanındaki 3 ve 2 katlı tuğla yığma binalar



Şekil 39: 2 katlı kerpiç binalar – 1



Şekil 40: 2 katlı kerpiç binalar - 2



Şekil 41: 2 ve 3 katlı kerpiç bina örnekleri



Şekil 42: 1962 yılında inşaa edilmiş, tuğla yığma cami



Şekil 43: 17. yüzyıl ortalarında yapıldığı tahmin edilen, yakın zamanda restore edilmiş taş cami



Şekil 44: 3 katlı tuğla yığma bina



Şekil 45: Boşluklu, dolgu duvarı tuğlasının betonarme kirişlerle birlikte taşıyıcı olarak kullanıldığı, 3. katı yapım aşamasında olan bina örneği!!!

9 Binaların Hasargörebilirlik Sınıfı

Avrupa Makrosismik Ölçeği' ne göre (EMS-98), yığma ve betonarme binaların hasargörebilirlik sınıfları aşağıda sunulmuştur.

Bu tabloya göre yığma binaların hasargörebilirlik sınıfı A, veya en fazla B olarak belirlenebilir. Betonarme binaların ise depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarından (DDYTK) yoksun oldukları aşikardır, bu nedenle hasargörebilirlik sınıfı B ile C arasındadır.



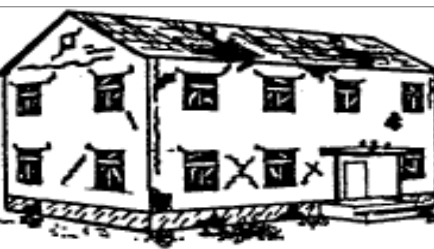


Tablo 8: Avrupa Makrosismik Ölçeği' ne göre bina hasargörebilirlik sınıfları

Bina Tipi		Hasargörebilirlik Sınıfı					
		A	B	C	D	E	F
Yığma	Zeminde serbest halde bulunan taş veya moloz ile inşaa edilmiş binalar	○					
	Kerpiç binalar	○—					
	Taş binalar	⋯—○					
	İri taşlarla inşaa edilmiş binalar		—○⋯				
	Yapısal çelik ile takviye edilmemiş, taş ocaklarında üretilen taşlar ile inşaa edilmiş binalar	⋯—○⋯					
	Yapısal çelik ile takviye edilmemiş, betonarme döşemeli yığma binalar		—○⋯				
	Yapısal çelik ile takviye edilmiş veya sargılanmış elemanlara sahip yığma binalar			⋯—○—			
Betonarme	DDYTK yoksun çerçeve sistemler		⋯—○⋯				
	DDYTK orta seviyede uygulanmış çerçeve sistemler			⋯—○—			
	DDYTK yüksek seviyede uygulanmış çerçeve sistemler			⋯—○—			
	DDYTK yoksun yapısal duvarlı (perdeli) sistemler		⋯—○—				
	DDYTK orta seviyede uygulanmış yapısal duvarlı (perdeli) sistemler			⋯—○—			
	DDYTK yüksek seviyede uygulanmış yapısal duvarlı (perdeli) sistemler				⋯—○—		
○ Kuvvetle muhtemel hasargörebilirlik sınıfı							
— Olasılığı yüksek hasargörebilirlik sınıfı							
⋯ Olasılığı düşük hasargörebilirlik sınıfı							

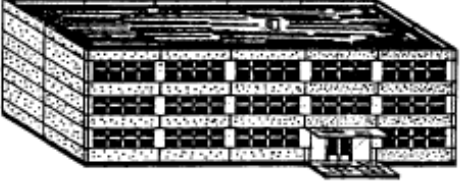
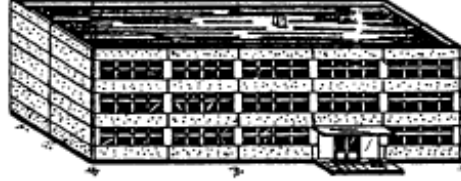



10 Binaların Hasar Seviyeleri

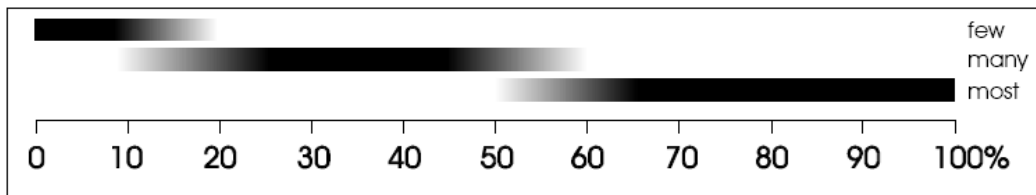
Avrupa Makrosismik Ölçeği' ne göre yığma ve betonarme binaların hasar seviyeleri aşağıdaki şekillerde özetlenmiştir.

Tablo 9: Yığma binalarda Avrupa Maksosismik Ölçeği tarafından belirlenmiş hasar seviyeleri

	<p>1.Seviye: İhmal edilebilir hasar-Hafif hasar (yapısal hasar yok, hafif yapısal olmayan hasar var)</p> <p>Az sayıdaki duvarda ince çatlaklar. Küçük sıva parçalarının dökülmesi. Binanın üst kısımlarından hafif taşların düşmesi.</p>
	<p>2.Seviye: Orta hasar (hafif yapısal hasar, orta yapısal olmayan hasar)</p> <p>Birçok duvarda çatlakların oluşması. Daha büyükçe sıva parçalarının dökülmesi. Bacaların kısmi olarak çatlaması, devrilmesi.</p>
	<p>3. Seviye: Ciddi-önemli hasar-Ağır hasar (orta yapısal hasar, ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Birçok duvarda geniş ve yaygın hasar. Çatı bağlantılarının kopması. Bacaların ağır hasar görmesi, devrilmesi. Çatı altı duvarı, bölme duvarı gibi yapısal olmayan elemanların ağır hasar görmesi.</p>
	<p>4.Seviye: Oldukça ağır hasar (ağır yapısal hasar, oldukça ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Yapısal duvarlarda ağır hasar, kısmi devrilme ve göçme. Döşeme ve çatıda kısmi devrilme ve göçme.</p>
	<p>5.Seviye: Yıkılma (çok ağır yapısal hasar)</p> <p>Binanın tamamen yıkılması veya tamamına yakınının yıkılması.</p>

Tablo 10: Betonarme (B.A.) binalarda Avrupa Maksosismik Ölçeği tarafından belirlenmiş hasar seviyeleri

	<p>1. Seviye: İhmal edilebilir hasar-Hafif hasar (yapısal hasar yok, hafif yapısal olmayan hasar var)</p> <p>Taşıyıcı çerçeve elemanlarında ve/veya taşıyıcı B.A. duvarlarda zemin kat seviyesinde ince sıva çatlakları. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarda ince çatlaklar.</p>
	<p>2. Seviye: Orta hasar (hafif yapısal hasar, orta yapısal olmayan hasar)</p> <p>Kolon, kiriş ve taşıyıcı B.A. duvarlarda çatlaklar. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarda çatlaklar, sıvaların dökülmesi. Duvar elemanları arasındaki harcın dökülmesi.</p>
	<p>3. Seviye: Ciddi-önemli hasar-Ağır hasar (orta yapısal hasar, ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Zemin kat seviyesinde kolonlarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar. Bağ kirişli B.A. taşıyıcı duvarlarda kiriş birleşim bölgelerinde çatlaklar. Paspayının dökülmesi ve donatının burkulması. Dolgu duvarlarda geniş çatlaklar ve bazılarının devrilmesi, dağılması.</p>
	<p>4. Seviye: Oldukça ağır hasar (ağır yapısal hasar, oldukça ağır yapısal olmayan hasar)</p> <p>Taşıyıcı B.A. elemanlarda geniş çatlaklar, betonda basınç gücü tükenmesi durumu ve donatının kopması; kiriş donatılarında beton ile aderansın tükenmesi, kolonların tabandan yukarı kalkması. Az sayıda kolonun veya üst katlardan birinin göçmesi.</p>
	<p>5. Seviye: Yıkılma (çok ağır yapısal hasar)</p> <p>Zemin katın tamamının veya bir bölümünün (kenar-köşe kısımlarının) göçmesi.</p>



Şekil 46: Hasarın miktarının belirlendiği ölçek; çeitli hasar seviyelerinde binanın, bina stoğuna oranı (few: az, many: çok, most: pek çok)

11 Bina Hasarları

Bina hasarlarına ilişkin gözlemler, bir önceki bölümde sunulan tablolar da dikkate alınarak, aşağıdaki maddelerde özetlenmiştir.

- Bina stoğunun büyük kısmını oluşturan ve bölüm 8.1’ de sunulan, 4-5 katlı betonarme binaların yaklaşık %60’ ı, hafif derecede yapısal hasara ve orta derecede yapısal olmayan hasara maruz kalmıştır. Bu hasar durumu bina hasar seviyeleri bölümünde tarif edilen 2. seviyeye denk gelmektedir.
- Tarafımızca binaların hasar durumunun incelendiği sırada artçı sarsıntıların sıklıkla devam etmesi, dolayısıyla güvenlik gereği binaların girişe kapatılması nedeniyle binalar sadece dışarıdan gözlemlenmiştir. Deprem etkisiyle bina dış akslarındaki taşıyıcı elemanların daha çok zorlanacağı beklenmektedir, ancak kesit alanları küçük ve beton kalitesi düşük kolonların taşıma kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda, merkez kolonlar oldukça fazla normal kuvvet etkisine maruz kalabilir, dolayısıyla daha düşük moment kapasitelerinde doğrusal olmayan davranışa geçebilirler. Başka bir deyişle, “hafif yapısal hasar yorumu”, binaların içindeki taşıyıcı betonarme elemanların hasar durumları incelenerek tekrar değerlendirilmelidir.
- Bina dış duvarları genellikle, iki ince tuğla arasına 1,5 cm kalınlığında strafor konulması yoluyla oluşturulmuştur. Bu iki ince tuğla tabakası arasında herhangi bir bağlantının olmaması düşük işçilik kalitesi ile birleşince dış duvar hasarları kaçınılmaz hale gelmiştir. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarda oluşan hasarlar yapısal olmayan hasar grubuna girse de yaralanmalar ve can güvenliği açısından risk oluşturmaktadır.
- Dolgu duvarlarında hafif veya orta hasar olarak belirleyeceğimiz kılcal veya geniş çatlaklar, bölgesel yıkılmalar ve genel olarak bu hasarların çok yaygın olması bölge halkının depremi, “çok şiddetli” olarak tanımlamasının ve binalara “yıkık” gözüyle bakmasının başlıca sebebidir.
- 3. seviyede gözlenen, önemli-ağır hasar tanımına uyan, taşıyıcı B.A. elemanlarda çatlaklar oluştuğu, paspayının döküldüğü, donatının burkulduğu binalar sayıca çok azdır. İlçe merkezinde sadece bir betonarme bina yıkılmıştır. Yıkılan bu binada veya yapısal hasar gören diğer binalardaki kusurlar şöyle sıralanabilir;
 - Betonarme binalar, depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarından yoksundur. Daha önce de belirtildiği gibi bina stoğunun büyük bölümünü 4-5 katlı 1970-1990 yılları arasında inşaa edilmiş betonarme binalar oluşturmaktadır.
 - Yıkılan binada kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kolonun düğüm noktasından sıyrıldığı örnekler görülmüştür.
 - Kiriş ve kolonlarda sargılama etkisini sağlayacak enine donatının gerekli sıklıkta, kalınlıkta ve 135 derecelik kancalarla olmadığı görülmüştür.
 - Kolon kesitleri yetersiz, kolon donatıları incedir. Donatı olarak S220 kullanılmıştır.

- Beton kalitesi oldukça düşüktür. Çok ince daneli agrega ve yetersiz miktarda çimento ile iptidai yöntemlerle hazırlanmış olduğu anlaşılmaktadır. Bölge halkıyla yapılan görüşmelerde hazır beton teknolojisinin 2003 yılından sonra bölgeye ulaştığı öğrenilmiştir.
- Yukarıdaki kusurlar dikkate alındığında, daha büyük bir depremde yapısal hasarların da ciddi boyutlarda olması kaçınılmazdır.
- Simav ilçesi bir dağ eteğinin bitimine kurulmuş, dağın bitiminden başlayan çöküntü ovasına doğru genişlemiştir. Zeminde yeraltı su seviyesi yüksektir ve zemin taşıma kapasitesinin düşük olduğu tahmin edilmektedir. 2. seviyede bile olsa hasarın yaygın olmasında şüphesiz zemin koşullarının da etkisi vardır. Bölüm 8.3 te belirtildiği gibi, yığma binalar ilçenin kayalık zemine sahip bölgesinde kurulmuştur, bu hasargörebilirliği yüksek yığma binaların depremden çok az hasarla çıkmasının sebeplerinden biridir. Ancak, zemin şartları kötü olan bölgede, 2. seviyede hasar görmüş binaların yanında, depremi en ufak bir hasar almadan atlatmış binalar da mevcuttur. Bu da zemin şartlarının sanıldığı gibi binaların depremde göreceği hasar miktarını belirleyen tek parametre olmadığını, zemin şartlarının yanında binanın depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına uygun tasarlanmasının, bu kurallara göre inşaa edilmesinin, işçilik ve malzeme kalitesinin önemini gösterir.

Aşağıdaki fotoğraflarda, yukarıda özetlenen gözlemlere paralel olarak, Simav ilçe merkezinde ve az da olsa Gökçeler Köyü' nde hasar görmüş binalar gösterilmektedir. Fotoğraflar incelenirken, yukarıda özetlendiği gibi 2. seviye hasar durumunun bina stoğunun yaklaşık %50-60, 3. seviye hasar durumunun %5' ten fazla olmayan oranda görüldüğü göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 47: İlçe merkezindeki yıkılan bina



Şekil 48: Yıkılan binanın zemin kat güney-doğu köşe kolonu



Şekil 49: Yıkılan binanın zemin kat güney-batı köşe kolonu



Şekil 50: Yıkılan binanın zemin kat kuzey-batı köşe kolonu



Şekil 51: Kuzey-batı kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi detayı



Şekil 52: Az sayıdaki ağır yapısal hasar örneklerinden biri, kolon kısa kolon gibi çalışmış, dolgu duvarı olarak standart boşlukla tuğla değil delikli tuğla kullanılmış



Şekil 53: Bir önceki resimdeki ile aynı bina, benzer hasarlar



Şekil 54: Kolon uçlarında ağır hasar



Şekil 55: Yıkılan binanın karşısındaki bina-kolonda tabandan çatıya kadar oluşan çatlak



Şekil 56: Yıkılan binanın karşısındaki bina-cephedeki dolgu duvarı çatlağı



Şekil 57: Daha önceki depremlerde hasar gördüğü, bu hasarların sıva ile kapatıldığı, ancak aynı yerlerde tekrar çatlaklar oluştuğu anlaşılan bina



Şekil 58: İnşaa halindeki binada yapısal olmayan, dolgu duvar hasarları



Şekil 59: Binalarda çatı hasarı



Şekil 60: Dolgu duvarı hasarı- önden ve yandan görünüş



Şekil 61: Dolgu duvarı hasarı ve yapısal eleman üzerindeki sıvaların dökülmesi - önden ve yandan görünüş



Şekil 62: Dış dolgu duvarlarda hasar



Şekil 63: 7 katlı dikdörtgen binadaki hasar, kolon paspayının dökülmesi, yaygın dolgu duvarı çatlağı



Şekil 64: 7 katlı dikdörtgen binada, orta yapısal olmayan hasar



Şekil 65: 8 katlı yıldız bloklarda, orta yapısal olmayan hasar



Şekil 66: Hastane kompleksinin birkaç ay önce açılan binası - dolgu duvarı çatlağı, ancak bina hizmet verebilir düzeyde



Şekil 67: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşa edilen binası, biyokimya laboratuvarı – deprem sırasında bütün cihazların yer değiştirdiği, monitör gibi objelerin devrildiği gözlenmiştir



Şekil 68: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşa edilen binası, biyokimya laboratuvarı (yukarıdaki fotoğraf ile aynı oda) – dolgu duvarı çatlağı, cihazın yer değiştirdiği gözlenmiştir



Şekil 69: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı



Şekil 70: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı



Şekil 71: Hastane kompleksinin 2000' lerin başında inşa edilen binası – dolgu duvarı çatlağı



Şekil 72: Hastane kompleksinin karşısındaki bina – merdiven kovanındaki dolgu duvarı çatlağı



Şekil 73: Hastane kompleksinin karşısındaki bina – zemin kat dolgu duvarı çatlağı (optik ve eczane olarak kullanılıyor)



Şekil 74: Okul binasında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde hasar



Şekil 75: Okul binasının betonarme bölümünde, merdiven kovası hasarı, bölgedeki genel alışkanlık merdiven döşemelerinin oldukça ince ve kirişsiz yapılmasıdır



Şekil 76: Okul binasının yağma bölümünde dış duvar çatlakları



Şekil 77: Okul binasının yığma bölümünde 2. katta dış duvar çatlakları



Şekil 78: Okul binasının yığma bölümünün içi - sıva dökülmeleri



Şekil 79: Okul binasının yığma bölümü ile betonarme bölümü arasında oluşan çatlak



Şekil 80: Gökçeler Köyü, 3. seviye hasarlı bina- ön görünüm



Şekil 81: *Gökçeler Köyü, 3. seviye hasarlı bina- yan görünüm*



Şekil 82: *Yığma cami duvarlarında hasar*



Şekil 83: 3 katlı yığma binanın zemin katında hasar



Şekil 84: 2 katlı yığma binanın zemin katında hasar

12 Depremiň Őiddeti

Bina Hasargörebilirlik Sınıfı, Binaların Hasar Seviyeleri ve Bina Hasarları bölümlerinde depremin Őiddetini belirlemeye yönelik tanımlamalar yapılmıő ve fotoğraflar sunulmuştur.

Mevcut durum, hasargörebilirlik sınıfı B olan bina stoğuna ait çok sayıda binanın 2. seviye ve az sayıda binanın 3. seviye hasar aldığı Şeklinde özetlenirse, depremin Şiddeti Avrupa Makrosismik Ölçeği' ne göre 7 (VII) olarak belirlenebilir. Ayrıca bina hasar seviyelerinin ve hasar dağılımlarının yanı sıra, bölge halkı ile yapılan görüşmelerden, depremin nasıl hissedildiğine ilişkin elde edilen bilgiler, 7 Şiddet seviyesinde tarif edilenler ile uyumludur.

Bu konudaki ayrıntılı bilgi, referanslar listesinden takip edilebilir. Bununla birlikte, bu bölümde bir alt ve bir üst Şiddet sınıfına ait bilgilerle birlikte 7. Şiddet seviyesi sunulmuştur.

VI: Hafif hasar verici

- a) Bina içinde ve dışında bulunan pek çok kimse tarafından hissedilir. Az sayıda insan dengesini kaybedebilir. Bina içindeki birçok kişi korkarak dışarı kağar.
- b) Küçük objeler devrilebilir ve mobilyalar kayabilir. Az sayıda durumda tabaklar ve bardaklar kırılabilir. Çiftlik hayvanları ürkmüş olabilir.
- c) Hasar durumu;
 - Hasargörebilirlik sınıfı A ve B olan çok sayıda binada 1. seviye hasar geręekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı A ve B olan az sayıda binada 2. seviye hasar, C olan az sayıda binada 1. seviye hasar geręekleşir.

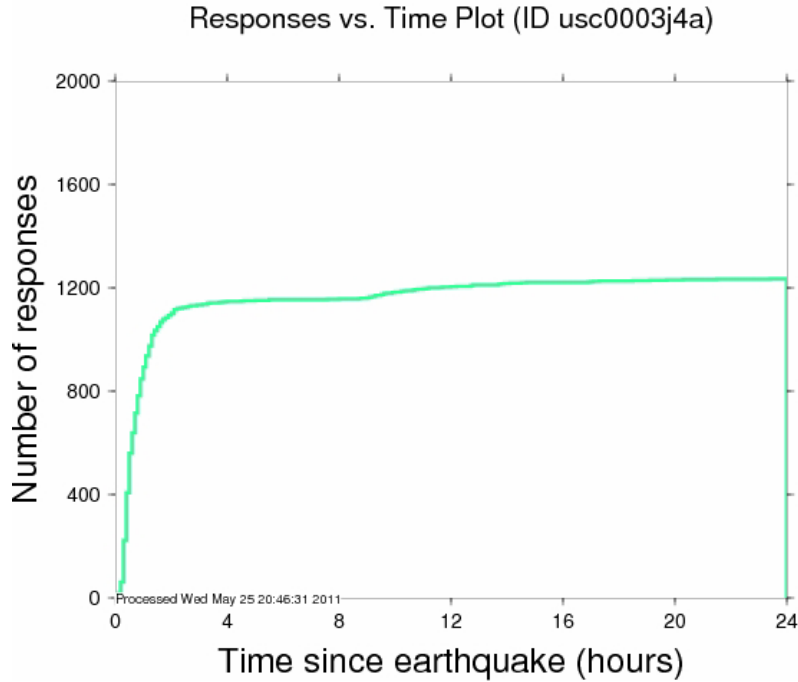
VII: Hasar verici

- a) Çok sayıda insan korkar ve bina dışına koőar. Çok sayıda insan ayakta durmakta güçlük çeker, özellikle üst katlarda bulunanlar.
- b) Mobilyalar kayar, yüksek-ağır mobilyalar devrilebilir. Raflardan objeler düşer. Tanklardaki ve havuzlardaki sular çalkalanır.
- c) Hasar durumu;
 - Hasargörebilirlik sınıfı A olan çok sayıda binada 3. seviye, az sayıda binada 4. seviye hasar geręekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı B olan çok sayıda binada 2. seviye, az sayıda binada 3. seviye hasar geręekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı C olan az sayıda binada 2. seviye hasar geręekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı D olan az sayıda binada 1. seviye hasar geręekleşir.

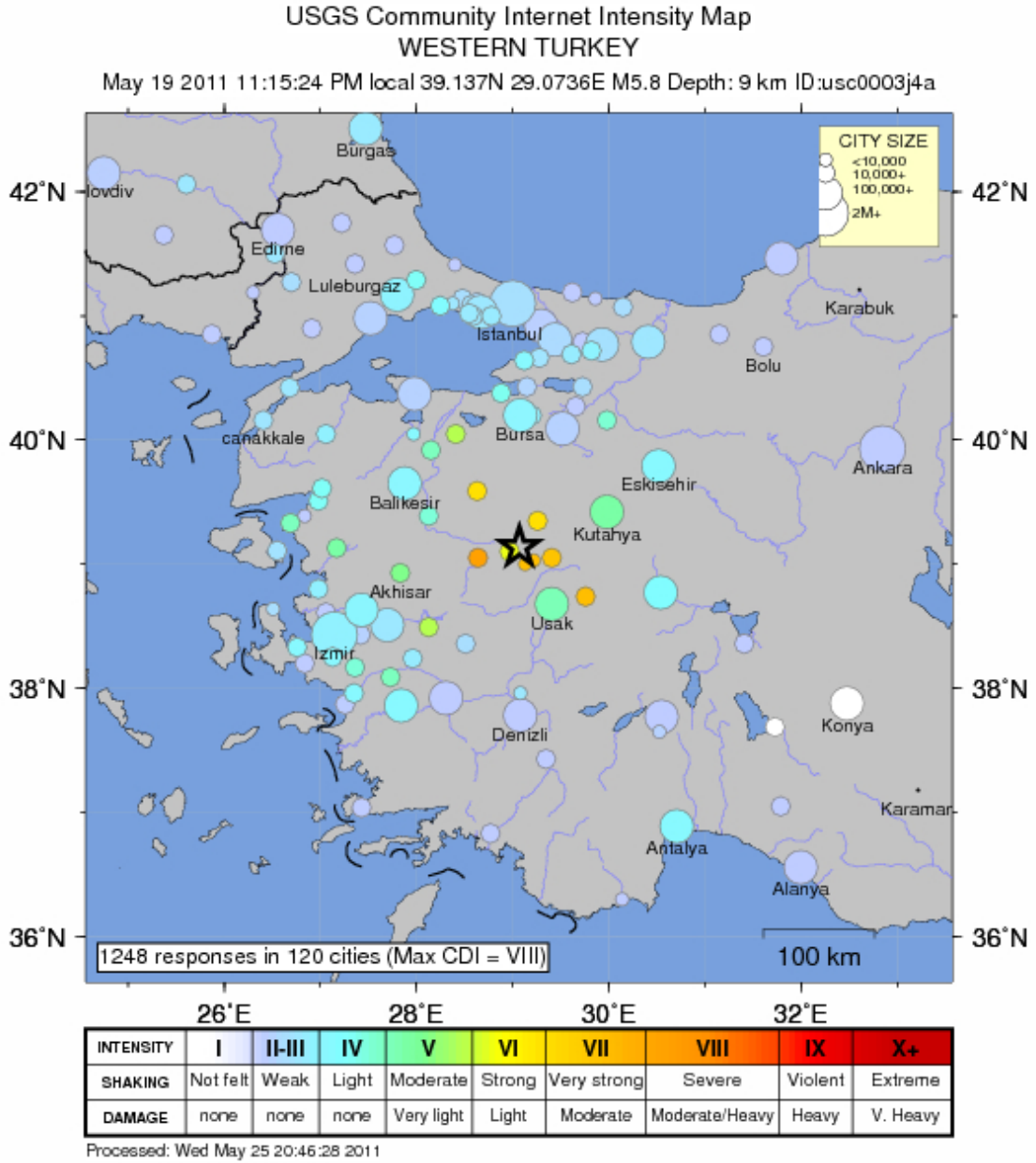
VIII: Ağır hasar verici

- a) Çok sayıda insan ayakta durmakta güçlük çeker, bina dışında bile.
- b) Mobilyalar devrilebilir. TV, daktilo gibi objeler yere düşebilir. Mezar taşları kayabilir, dönebilir veya devrilebilir. Çok yumuşak zeminde yükselme ve çökmeler görülebilir.
- c) Hasar durumu;
- Hasargörebilirlik sınıfı A olan çok sayıda binada 4. seviye, az sayıda binada 5. seviye hasar gerçekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı B olan çok sayıda binada 3. seviye, az sayıda binada 4. seviye hasar gerçekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı C olan çok sayıda binada 2. seviye, az sayıda binada 3. seviye hasar gerçekleşir.
 - Hasargörebilirlik sınıfı D olan az sayıda binada 2. seviye hasar gerçekleşir.

Ayrıca USGS (United States Geological Survey – Birleşik Devletler Yerbilimi Araştırma Kurumu) tarafından yürütülen “Deprem Tehlikesi Programı” kapsamında “Did you feel it?” (Hissettiniz mi?) isimli, insanların depremden sonra, depremi nasıl hissettiklerine ilişkin düşüncelerini aktarabildikleri internet tabanlı bir uygulama mevcuttur. Depremden sonra, depremin hissedildiği bölgelerden 1200’ ün üzerinde bildirim gerçekleşmiştir. Bu bildirimlerin dağılımına bakıldığında %90’ ının ilk iki saat içerisinde yapıldığı görülür.



Şekil 85: Bildirimlerin zamana bağlı grafiği (düşey eksen bildirim sayısı, yatay eksen saat ölçeğinde zaman)



Şekil 86: Bildirimlerin yapıldığı yerler, ve bildirimlere bağlı olarak, depremin hissedildiği bölgede şiddetin dağılımı

Yukarıdaki haritada gösterilen şiddet dağılımı, her ne kadar bildirimlere bağlı olup, özellikle hasar dağılımı konusunda yapılan gözlemler kadar kesinliğe sahip olmasa da, bu bölümün başında belirlenen 7. şiddet seviyesi ile uyumlu sonuçlar göstermektedir.

13 Sonuçlar ve neriler

19 Mayıs 2011 Simav depremi Batı Anadolu bölgesinin açılma rejimi içerisinde yer alan Gediz Grabeninin kuzeybatısında, Simav Fay Zonu diye adlandırılan genel doğrultusu batı-kuzeybatı – doğu-güneydoğu (BKB-DGD) gidişli olan aktif diri faylarla çevrili bölgede meydana gelmiştir. Artçı depremlerin toplam dağılım alanı faya paralel yaklaşık olarak 30 km boyunca olup, derinlikleri genellikle 5-10km arasında değişmiştir. Yapılan arazi çalışmasında net olarak bir yüzey kırığı gözlenmemiştir.

Anaşoktan sonra meydana gelen artçı şoklar 40 günlük bir zaman dilimi içerisinde çıkardıkları enerji bakımından değerlendirildiğinde M_s 5.4 büyüklüğündeki bir depremin açığa çıkaracağı enerjiye eşdeğer enerjinin açığa çıktığı görülmüştür.

Büyükük ile şiddet ve yer hareketi parametreleri ile şiddet arasındaki bağıntılardan faydalanılarak elde edilen ($I_0=VI-VII$) şiddet değerlerinin arazi gözlemleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

ELER (KRDAE, 2009) yazılımı kullanılarak elde edilen yer hareketi parametreleri dağılımından merkez üssü bölgesinde beklenebilecek pik ivme değerlerinin 0.10g civarında olabileceği tahmin edilmiştir. Merkez üssü bölgesi yer hareketi kayıt istasyonlarından alınan verilerden de pik ivme değerlerinin tahminleri ile örtüştüğü görülmüş, 4304 istasyonunda 0.10g ve 4305 istasyonunda 0.09g değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen şiddet dağılımı ve bölgedeki bina envanteri kullanılarak ELER (KRDAE, 2009) yazılımı ile depremin hemen ardından hasarlı bina sayısı tahmini yapılmıştır ($D1= 9741$, $D2= 1592$, $D3= 208$, $D4= 14$ ve $D5= 0$).

Bina hasarları ile ilgili yapılan arazi çalışması ile bina tipleri ve hasar seviyeleri Avrupa Makrosismik ölçeğine göre değerlendirilmiştir. Bu ön hasar değerlendirmesine göre bina stoğunun büyük bölümünü oluşturan 4-5 katlı betonarme binaların yaklaşık %60'ının 2.seviyede, hafif derecede yapısal ve orta derecede yapısal olmayan hasara maruz kaldığı görülmüştür. Yapısal hasarın orta derecede olduğu, 3. seviye hasar sınıfına giren bina sayısı ise oldukça azdır.

Yapısal hasarın mevcut olduğu binalar incelendiğinde, hasarın başlıca sebebi, Bölüm 11 de belirtildiği gibi, binaların depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarından yoksun olarak tasarlanması, yetersiz işçilik ve malzeme kalitesi olarak özetlenebilir. Bina stoğunun büyük bölümünün bu durumda olduğu düşünülürse, daha büyük bir derpremde, orta ve ağır derecede yapısal hasarın yaygın olarak görülmesi kaçınılmazdır.

Teşekkür

Bölgede yapılan incelemelerdeki ve raporun hazırlanmasındaki yardım ve katlılarından dolayı B.Ü. KRDAE Müdürü Sn. Prof. Dr. Mustafa ERDİK' e, UDİM Müdürü Sn. Dr. Doğan KALAFAT' a ve UDİM Müdür Yardımcısı Dr. Kıvanç KEKOVALI' ya, bölgedeki çalışmalar esnasındaki lojistik desteği sağlayan Kütahya Valisi Sn. Kenan ÇİFTÇİ' ye, Kütahya Vali Yardımcısı Sn. Mustafa İNGENÇ' e, Simav Kaymakamı Sn. Yüksel ÜNAL' a ve Simav Belediye Başkanı Sn. Kasım KARAHAN' a teşekkür ederiz.

Yararlanılan Kaynaklar

Doğan, A. ve Emre, Ö., 2006, Ege Graben Sistemi'nin Kuzey Sınırı: Sındırgı-Sincanlı Fay Zonu. 59. Türkiye

Işık, V. (2004), "Kuzey Menderes Masifinde Simav Makaslama Zonunun Mikro-tektonik Özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye", Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 47, Sayı 2, Ağustos 2004.

Abrahamson, N. A., and W. J. Silva (1997), Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters*, 68(1), 94-127.

Boore, D. M. and G. M. Atkinson (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24

Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., and Kanamori, H., 1999b, Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California: *Earthquake Spectra*, v. 15, no. 3, p. 557-564.

Boore, D. M., W. B. Joyner, and T. E. Fumal (1997), Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seismological Research Letters*, 68(1), 128-153.

Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y.(2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24:139.

Chiou, B.S.J. and Youngs, R.R. (2008) An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 24:173.

Çeken U., Beyhan G. ve Gülkan P. (2008). Kuzeybatı Anadolu Depremleri için Kuvvetli YerHareketi Azalım İlişkisi, 18. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Vol:3B14, ss:1-4, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Kültür Sitesi, Ankara, 14-17 Ekim.

Kalkan E. Gülkan P (2004). Empirical Attenuation Equations for Vertical Ground Motion in Turkey, *Earthquake Spectra*, Vol. 20, No. 3, pp. 853-882.

Sadigh, K., C. -Y. Chang, J. A. Egan, F. Makdisi, and R. R. Youngs (1997), Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seismological Research Letters*, 68(1), 180-189.

Eyidoğan; H., U. Güçlü; Z. Utku, E. Değirmenci (1991). Türkiye büyük Depremleri Makro-sismik Rehberi (1900-1988), İTÜ MF Jeofizik Müh. Bölümü Yayınları s.200.

Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y., 2008. Campbell-Bozorgnia NGA horizontal ground motion model for PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra, *Earthquake Spectra* 24, 139–171

ELER, Earthquake Loss Estimation Routine, Technical and User Manuals V2.0, Bogazici University, KOERI, Earthquake Engineering Department, 2010

European Macroseismic Scale, EMS-98, European Seismological Commission, Subcommission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales, Luxembourg, 1998

Samardjieva, E. and J. Badal, 2002. Estimation of the expected number of casualties caused by strong earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 92 (6), pp. 2310-2322, Aug 2002

İpek, M. Z. Uz ve U. Güçlü (1965). Sismolojik donelere göre Türkiye’de deprem bölgeleri, Ankara.

Soysal, H., S. Sipahioğlu, D. Kolçak, Y. Altınok (1981). Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, TÜBİTAK Proje No: TBAK 341, 87s., İstanbul.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı web sitesi, www.afetacil.gov.tr

MTA Genel Müdürlüğü web sitesi 1.500 000 Ölçekli Jeoloji haritası

European Macroseismic Scale, EMS-98, European Seismological Commission, Subcommission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales, Luxembourg, 1998