



23 EKİM 2011 M_w 7.2 VAN DEPREMİ SİSMİK ve YAPISAL HASARA İLİŞKİN SAHA GÖZLEMLERİ

RAPOR NO: METU/EERC 2011-04

KASIM 2011
ANKARA



MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY
EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER



Bu raporun basımı ve dağıtımı İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) tarafından yapılmıştır.

İçindekiler

ÖNSÖZ	9
1. SİSMOTEKTONİK, SAHA GÖZLEMLERİ ve KUVVETLİ YER HAREKETİ	11
1.1. Giriş	12
1.2. Sismotektonik	12
1.3. Arazi Gözlemleri	12
1.4. 9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi	17
1.5. Sismotektonikle İlgili Sonuçlar	18
1.6. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları	20
2. GEOTEKNİK HASAR	27
2.1. Giriş	28
2.2. Van ve Civarının Genel Zemin Yapısı, Kaydedilen Yer Hareketine Olası Etkisi	28
2.3. Geoteknik Faktörlere Bağlı Yapısal Hasar Gözlemleri	30
2.4. Doğal Şevlerde ve Karayolu Dolgularında Deprem Hareketi Etkisiyle Kayma	31
2.5. Geoteknik Gözlemler: Zemin Sıvılaşması, Yanal Yayılma ve Deformasyonlar	37
3. BİNA HASARI	41
3.1. Giriş	42
3.2. Gözlenen Betonarme Bina Hasarları	42
3.2.1. Yıkılan Binalar	43
3.2.2. Ağır Hasarlı Binalar	45
3.2.3. Dolgu Duvar Hasarları	47
3.3. Betonarme Binalar için Hasar Tespit Çalışmaları	48
3.3.1. Van İl Merkezi Hasar Tespit Çalışmaları	49
3.3.2. Erciş Hasar Tespit Çalışmaları	51
3.4. Toplam Betonarme Bina Yapı Stokunun Hasar Tespit Çalışmaları	54
3.5. Betonarme Binaların Performansına İlişkin Genel Değerlendirmeler	57
4. KÖPRÜ VE ÖZEL YAPI HASARLARI	65
4.1. Giriş	66
4.2. Karayolu Köprüleri	66
4.3. Özel Yapılar	68
SONUÇ	71
KAYNAKÇA	75

Şekiller

Şekil 1.1. Soldaki şekil Avrasya referanslı GPS hızlarını göstermektedir (Reilinger vd. 2006). Arabistan levhasının kuzeye olan hareketi doğu Anadolu ve Kafkasya tarafından iç deformasyon şeklinde karşılandığına dikkat ediniz. Sağdaki şekil Doğu Anadolu bölgesinde Şaroğlu vd (1992) ve Koçyiğit vd (2001) tarafından belirlenmiş fay sistemleri ile meydana gelen depremlerin odak çözümlerini gösteren haritadır. Depremler kırmızı noktalarla gösterilmiş olup veriler Kandilli Rasathanesi'nden elde edilmiştir (www.koeri.boun.edu.tr). Ayrıca odak mekanizması çözümleri Pınar vd. (2007), Örgülü vd. (2003), McKenzie (1972) ve Harvard GCMT (www.globalcmt.org) katalog bilgilerinden elde edilmiştir. Kırmızı: normal, Mavi: ters/bindirme ve Yeşil: doğrultu atımlı faylanma mekanizmalarını göstermektedir..... 13

Şekil 1.2. Van gölü civarının sismotektoniği ve artçı şokların dağılımı. Üstteki şekil bölgede bilinen faylar ile artçı şokların dağılımına göre hazırlanmış yoğunluk haritası ile değişik kuruluşların ana şok için önerdikleri merkezüstü konumları ve odak mekanizması çözümlerini göstermektedir. Alttaki şekil ise tahmini ana faya dik yönde AFAD (www.deprem.gov.tr) tarafından ana şoktan itibaren ilk dokuz gün içinde ölçülen artçı şokların derinlik dağılımını gösteren kesittir. Sıcak renkler düşük derinliği ve yüksek yoğunluğu göstermektedir..... 14

Şekil 1.3. Arazi fotoğrafları (a) kaya düşmesi, (b) heyelan ve (c) Ermiş köyü doğusunda görülen heyelanın Quickbird görüntüsü üzerinden yapılmış yorumu (Google Earth'tan elde edilmiştir). 15

Şekil 1.4. (a) Topaktaş köyünde gözlemlenen sıvılaşma yapısı, (b) bölgede meydana gelmekte olan derelerin düşey yönde erozyonunu gösteren fotoğraf (konum: Ermiş köyü civarı, Van gölü doğusu, bakış batıya). 15

Şekil 1.5. (a) Terk edilmiş hastane inşaat sahasında görülen ikincil faylar. Küçük şekil fay çiziklerini yakından göstermektedir, (b) Deprem sırasında inşaatın beton zemininde meydana gelen kırıklar. Fayın inşaat moluzunu da kesmiş olması, bu fayların deprem sırasında hareket ettiklerinin en önemli göstergesidir, (c) Topaktaş köyü ile Van-Erciş karayolunda görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş deformasyonlar. 16

Figure 1.6. Yollarda meydana gelen ikincil deformasyonlar. (a) Van-Topaktaş yolu üzeri, hapishane yanı, (b) Van-Erciş yolu TOKİ konutları yanı. 16

Şekil 1.7. (a) K-G sıkışmayı gösteren güneye yıkılmış kolonlar, (b) Organize sanayi bölgesinde demir çubuklarda gözlenen K-G yönlü sıkışma yapıları. 17

Şekil 1.8. Van ve civarının basitleştirilmiş jeolojik haritası ve blok diyagramı. Şekilde gösterilen faylar temsili olup, bölgedeki deformasyonun stili, tip ve yoğunluğuna işaret eder. Gerçekte bölgedeki fayların sayısı gösterildiğinden fazladır. Şekilde b ve c noktalarında gözlenen deformasyonlar ana faya işaret eder. Merkezüstü ve fay mekanizması çözümleri Harvard katoluğundan alınmış olup (GCMT) Van depremi merkezüstü kırmızı, Van-Edremit depremi merkezüstü ise mavi yıldız ile gösterilmiştir. a) terkedilmiş hastane inşaat sahası, b) TOKİ civarında ve c) Van-Topaktaş yolunda meydana gelen deformasyonlar, d) ana fay boyunca kinematik indikatörlerin ve fay çiziklerinin en iyi görüldüğü yer (bu noktada görülen

çizikler ve indikatörler yeni değildir), e) Sıvılaşmanın görüldüğü Topaktaş köyü, f) Ermişler köyü civarındaki heyelan.	19
Şekil 1.9. Ana şok esnasında kayıt alan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının dağılımı (Kaynak: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Anasayfa.aspx).	21
Şekil 1.10. Akkar ve Çağnan (2010) tahmin denklemi ile ampirik verilerin karşılaştırılmaları. Sol, orta ve sağ sütunlar, sırasıyla $T=0s$, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ için karşılaştırması göstermektedir.	21
Şekil 1.11. NGA tahmin denklemleri ile ampirik verilerin karşılaştırılmaları. Sol, orta ve sağ sütunlar, sırasıyla $T=0s$, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ için karşılaştırması göstermektedir.	22
Şekil 2.1. Van Gölü ve çevresine ait basitleştirilmiş jeoloji haritası (Üner vd., 2010).	29
Şekil 2.2. (a) 23 Ekim 2001 depreminde Van-Muradiye kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonundan alınan kaydın kuvvetli yatay bileşenine ait ivme spektrumu, (b) 9 Kasım 2011'de meydana gelen (M_w 5.7) depreminde Van-Merkez kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonundan alınan kayda ait ivme spektrumu.	29
Şekil 2.3. Bahçıvan Mahallesi'nde göçen 2 betonarme binanın arkasındaki dik kazı.	30
Şekil 2.4. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne ait bina.	31
Şekil 2.5. Van Gölü kıyısında göle doğru kayan doğal şev (Çitören Köyü).	32
Şekil 2.6. Topaktaş köyü arazisinde Karasu kıyısında yer alan doğal bir şev ve şev stabilitesi problemi.	33
Şekil 2.7. Geoteknik gözlemlerin yapıldığı noktaların Google Earth görüntüsü üzerinde görünümü.	34
Şekil 2.8. Van-Erciş Karayolu şev kayması dikey deformasyon.	34
Şekil 2.9. Van-Erciş Karayolu şev kayması taç bölgesindeki çatlaklar.	35
Şekil 2.10. Van-Erciş yolu üzerinde Gedikbulak Köyü yakınında karayolu hasarı ve onarımı.	35
Şekil 2.11. Van-Erciş Karayolu şev kayması çatlakları.	36
Şekil 2.12. Şev analizinde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi.	36
Şekil 2.13. Sıvılaşma örneği (Topaktaş Köyü – Karasu kıyısı).	37
Şekil 2.14. Sıvılaşma ve kum tepciği örneği (Topaktaş Köyü-Karasu kıyısı).	38
Şekil 2.15. Sıvılaşma ve yatay deformasyon örneği (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı).	38
Şekil 2.16. Sıvılaşma-yatay deformasyona bir başka örnek (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı).	39
Şekil 2.17. Sıvılaşan zeminlerden alınan numunelerin dane dağılım eğrileri ve sıvılaşabilir zeminlerin dane dağılımı aralığı.	39
Şekil 3.1. Tamamen göçüp enkaz haline gelen binalar.	43
Şekil 3.2. Katların üst üste yığılması sonucu yıkılan binalar.	44
Şekil 3.3. Yumuşak kat düzensizliğinden dolayı yıkılan binalar.	45

Şekil 3.4. Zayıf kat üzerine yıkılan binalar.	45
Şekil 3.5. Zemin kat kolon uç bölgelerinde plastik mafsallar oluşan ağır hasarlı binalar.	46
Şekil 3.6. Plan düzensizliği ve kısa kolon oluşumu gözlenen ağır hasarlı bina.	47
Şekil 3.7. Dolgu duvar hasarları a) hafif hasar, b) orta hasar c) ağır hasar.	48
Şekil 3.8. Hasar tespit formu.	48
Şekil 3.9. Van il merkezinde incelenen binaların kat sayısına göre dağılımı.	49
Şekil 3.10. Van il merkezinde incelenen binaların yaş dağılımı (27 adet binanın yaşı belirlenememiştir).	49
Şekil 3.11. Van il merkezinde incelenen binaların harita üzerinde gösterimi.	50
Şekil 3.12. Van il merkezinde incelenen binalarda oluşan yapısal hasarın dağılımı.	50
Şekil 3.13. Van il merkezinde incelenen binalarda oluşan dolgu duvar hasarının dağılımı. ...	51
Şekil 3.14. Erciş'te incelenen binaların kat sayısına göre dağılımı (3 adet binanın kat sayısı belirlenememiştir).	51
Şekil 3.15. Erciş'te incelenen binaların yaş dağılımı (79 adet binanın yaşı belirlenememiştir).	52
Şekil 3.16. Erciş'te incelenen binaların harita üzerindeki konumları.	52
Şekil 3.17. Erciş'te incelenen binalarda oluşan yapısal hasarın dağılımı.	53
Şekil 3.18. Erciş'te incelenen binalarda oluşan dolgu duvar hasarının dağılımı.	53
Şekil 3.19. Nihai hasar oranları.	54
Şekil 3.20. Bina katsayısına bağlı olarak gözlemlenen nihai hasarlar.	55
Şekil 3.21. Ağır hasarlı veya yıkılmış binaların bazı özelliklerinin istatistiksel dağılımları. ..	56
Şekil 3.22. Güçlendirilen bir okul binasında gözlenen hasar.	58
Şekil 3.23. Dayanımı yetersiz yığma malzemesi kullanımı sonucu ortaya çıkan hasar; sol panel: kerpiç yığma yapı, sağ panel: moloz taş yığma yapı.	59
Şekil 3.24. Bims yapı malzemesinden yapılmış bir kırsal yığma binada gözlenen hasar.	60
Şekil 3.25. Çamur harç ile örülmüş kerpiç yığma duvarda deprem sonrası ortaya çıkmış olan hasar.	60
Şekil 3.26. Duvar-duvar, duvar-döşeme bağlantılarındaki zayıflıklardan dolayı düzlem-dışı hasara zorlanmış olan yığma yapılar.	61
Şekil 3.27. Taşıyıcı duvarlarında farklı malzemeler (kerpiç, taş, briket) kullanılmış ve Van depremi esnasında yıkılmış bir yığma bina.	62
Şekil 3.28. Fotoğrafın alt kısmında toprak damlı göçmüş yığma yapı, fotoğrafın üst kısmında ise ağır hasarlı ancak ayakta duran hafif çatı malzemesi kullanılmış yapı.	62
Şekil 3.29. Sol panel: UDİM tarafından hazırlanmış olan ve 23 Ekim Van depremi sonrası artçı depremlerin (ilk onbeş gün) dağılımını gösteren harita, Sağ panel: aynı bölgede ODTÜ-DMAM ekibince incelenen köylerin konumunu ve mevcut hasar bilgilerini gösteren harita. 63	63

Şekil 4.1. Arazi çalışmalarında incelenen standard karayolu köprülerinden görüntüler.	66
Şekil 4.2. Hasar görmüş deprem takozları.	67
Şekil 4.3. Deprem sonrası çatlamış köprü kolonları.	67
Şekil 4.4. Birkaç sene önce sel afetinden dolayı ayaklarının biri eğilen kompozit köprünün deprem sonrası genel görüntüsü.	68
Şekil 4.5. Hasar görmemiş demiryolu hattı ve demiryolu tüneli.	68
Şekil 4.6. Kadem Paşa Hatun Kümbeti.	69
Şekil 4.7. ODTÜ ekibi tarafından incelenen Akdamar kilisesi (dış ve iç görünüş).	69
Şekil 4.8. Muradiye ilçesi yakınlarında bulunan barajın deprem sonrası genel görüntüleri.	70

Tablolar

Tablo 1.1. 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin ulusal ve uluslararası sismolojik ajanslar tarafından bildirilen önemli sismolojik parametreleri.....	23
Tablo 1.2. Ana şok sırasında elde edilmiş ve daha sonra işlenmiş ivme kayıtlarının önemli özellikleri.....	24
Tablo 3.1. Nihai hasar sınıflandırması	54
Tablo 3.2. Bina katsayısına bağlı olarak gözlemlenen nihai hasar dağılımı.....	55
Tablo 3.3. Hasar durumlarına göre bina sayıları.....	56

ÖNSÖZ

23 Ekim 2011 Van Depremi moment magnitüd büyüklüğü bakımından (M_w 7.2) ülkemizde 1999 Kocaeli (M_w 7.6) ve Düzce (M_w 7.1) depremleriyle beraber yer ivmesi kayıtları alınmış ilk 3 büyük deprem arasındadır. Van Depremi yine moment magnitüd büyüklüğü olarak Türkiye’de son 110 yıl içinde meydana gelen ilk 10 deprem arasında yerini almıştır. Deprem sonrası enkaz kaldırma çalışmaları sonunda 222 kişinin hayatının kurtarılmış olmasına rağmen Van ili merkez, Erciş ilçesi merkez ve bu merkezlerle bağlı kırsal yerleşim alanlarında 604 kişi hayatını kaybetmiş, 2000’in üstünde vatandaşıımız da yaralanmıştır.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (ODTÜ-DMAM) araştırmacıları, depremden hemen sonra Van Depremi’nin ardından Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) ile koordineli olarak bölgeye intikal etmiştir. 25 Ekim tarihinden itibaren ODTÜ İnşaat Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği ve Mühendislik Bilimleri öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerinden oluşan 24 kişilik ekip, gruplar halinde yerinde incelemelerde bulunmuştur. Amerika Birleşik Devletleri’nde faaliyet gösteren uluslararası Earthquake Engineering Research Institute (EERI) adına 4 kişilik bir araştırma grubu da Van Depremi ile ilgili teknik çalışmalarını yapmak üzere ODTÜ – DMAM araştırmacılarına katılmıştır. Ayrıca, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Dicle Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi toplam 11 kişiden oluşan öğretim üyesi ve araştırma görevlisi grubu ile ODTÜ-DMAM tarafından yürütülen hasar tespit çalışmalarına iştirak etmişlerdir. 25 Ekim – 5 Kasım tarihleri arasında ODTÜ-DMAM araştırmacılarının yürüttüğü saha çalışmaları sonucu bölgede deprem dolayısıyla oluşmuş yapısal ve geoteknik hasara ilişkin veriler derlenmiş, jeolojik arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş, ana şoka ait kuvvetli yer hareketi kayıtları incelenmiştir.

Yapısal hasar incelemeleri, Van il ve Erciş ilçe merkezlerindeki konut ve işyeri olarak kullanılan betonarme binalar, kırsal yığma yapılar, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampus binaları ve Araştırma Hastanesi Kompleksi, Van Asayiş Kolordu Komutanlığı, okul, hastane ve bazı kamu kuruluşlarına ait yapılar olmak üzere toplam 345 adet bina için gerçekleştirilmiştir. Yapısal hasar olarak ODTÜ-DMAM grubu bölgedeki tarihi eserleri, su yapılarını ve karayolu köprülerini de incelemiştir. Deprem bölgesinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında depremin tetiklediği heyelan bölgeleri ve sıvılaşmanın görüldüğü bölgeler tespit edilmiştir. Ulusal ve uluslararası sismolojik ajanslar tarafından hesaplanan fay çözümleri de dikkate alınarak depremi meydana getiren fay ve mekanizmasının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. AFAD Deprem Dairesi ile ortak bir çalışma gerçekleştirilerek Van Depremi ana şok kayıtları işlenmiş ve veriler Türk ve yabancı araştırmacıların ulaşımına sunulmuştur. Ayrıca AFAD Deprem Dairesi ile beraber ODTÜ-DMAM’a ait bir ivmeölçer cihaz Erciş’e artçı şokları kaydetmek üzere kurulmuştur. Bu rapor yukarıda belirtilen kapsam dâhilinde yapılan çalışmaları ve elde edilen ilk bulguları sunmaktadır.

Raporun hazırlanması sırasında 9 Kasım 2011 tarihinde meydana gelen ve Van ili merkezinde 40 kişinin hayatını kaybetmesine sebep olan Van-Edremit Depremi ile ilgili çalışmalar, ODTÜ-DMAM üyeleri tarafından rapor yayına hazırlanırken halen sürmekte olduğundan bu rapor kapsamında yer almamaktadır. Van-Edremit depremine ilişkin bulgular ayrı rapor olarak hazırlık halindedir.

Raporun hazırlanmasıyla ilgili tüm çalışmalar Orta Doğu Teknik Üniversitesi Rektörlüğünün konuya gösterdiği yakın ilgi ve sağladığı mali destekle yürütülmüştür. İnşaat Mühendisleri Odası Genel Merkezi, Van Depremi'nin meydana geldiği 23 Ekim 2011 günü İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve ODTÜ-DMAM ile iletişime geçmiş, bölgeyi grubumuzu temsilen ziyaret eden 3 öğretim üyemize lojistik ve mali destek sağlamıştır. Aynı zamanda İMO raporun basımı ve dağıtımını üstlenerek raporda sunulan bilgilerin geniş bir kitleye ulaşmasını sağlamıştır. ODTÜ-DMAM araştırma grubuna bölgede gerçekleştirdikleri çalışmalar sırasında başta Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi rektörü Prof. Dr. Peyami Battal ve bu üniversitenin mensupları büyük destek olmuşlardır. Benzer şekilde Van Asayiş Kolordu Komutanı Korgeneral Yıldırım Güvenç ve Albay Rıza Yaşar ODTÜ-DMAM grubunun çalışmalarının aksamadan yürüyebilmesi için her türlü imkânı sunmuşlardır. Kendilerine bu raporun hazırlanması için verdikleri katkı için teşekkürlerimizi sunarız.

1. SİSMOTEKTONİK, SAHA GÖZLEMLERİ ve KUVVETLİ YER HAREKETİ

**Arda Özacar
Nuretdin Kaymakçı
Sinan Akkar
Aida Azari
Abdullah Sandıkkaya
Özkan Kale
B. Özer Ay**

1.1. Giriş

23 Ekim 2011 tarihinde yerel saatle 13:41'de moment magnitüd (M_w) değeri değişik kuruluşlara göre 7.1 ile 7.3 arasında değişen bir deprem meydana gelmiş olup Van il merkezinin yanı sıra özellikle Erciş ve civar köylerde önemli hasara yol açmıştır. Meydana gelen depremin merkezüstü Van il merkezinin kuzeyi olup kesin pozisyonu değişik kuruluşlara göre farklılık arz etmektedir. Artçı şoklarla birlikte ayrıca 9 Kasım 2011 tarihinde M_w 5.7 büyüklüğünde farklı bir faydan kaynaklanan ve merkezüstü Van il merkezinin hemen güneybatısında kalan Van-Edremit Depremi de can ve mal kaybını artırmıştır.

1.2. Sismotektonik

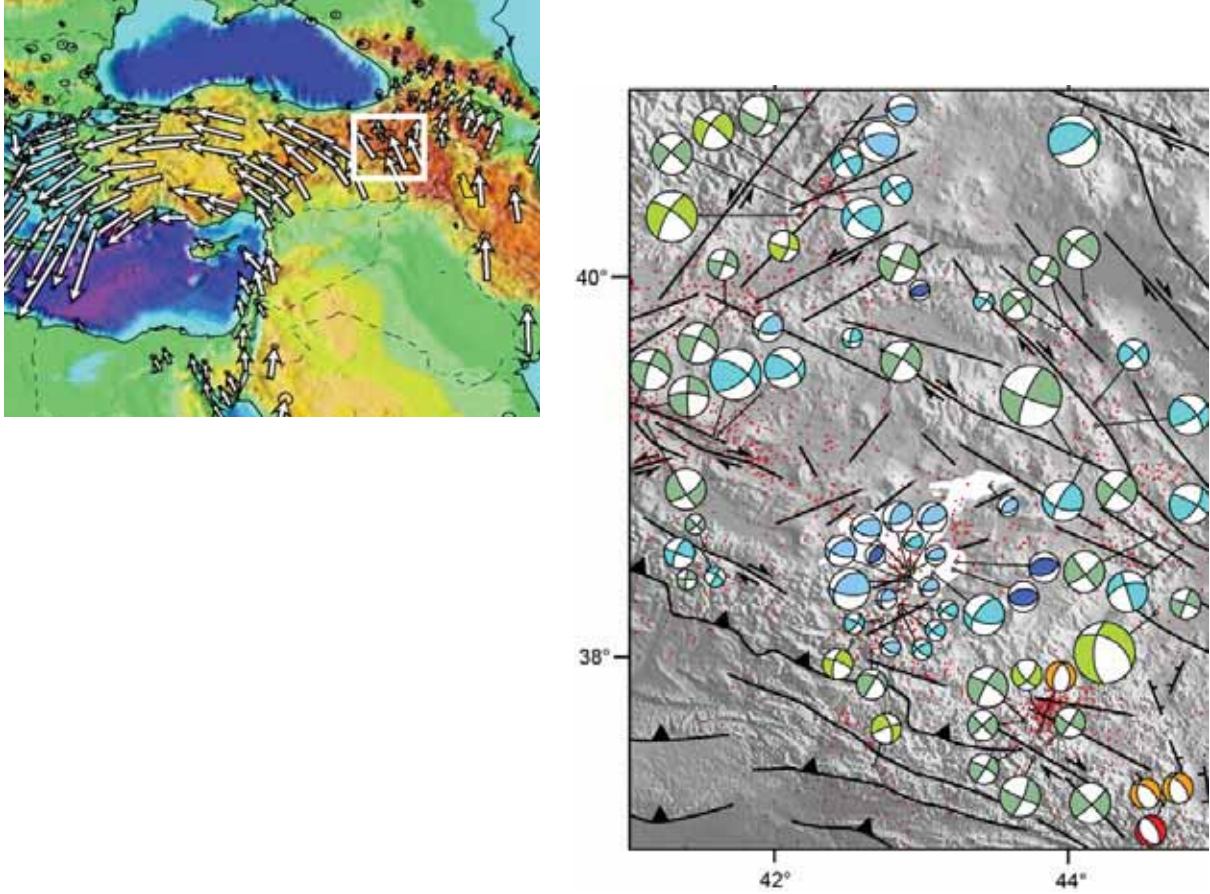
Van bölgesi Arap plakasının kuzeye, Avrasya plakasına doğru yaklaşması sonucu geniş bir alanı etkileyen kuzey-güney yönlü sıkışma ve daralma kuşağı içindedir. Bu sıkışma, genel olarak doğu-batı uzanımlı bindirme fayları ile kuzeybatı-güneydoğu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı fayların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1.1). 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen deprem bu sıkışma kuşağı içinde olup depremin merkezüstü Van şehir merkezinin hemen kuzeyinde ve Van Gölü'nün hemen doğusundadır (Şekil 1.2). Depremin merkezüstünün kesin yeri ve depreme kaynaklık eden fayın kesin konumu ile geometrisi hakkında halen bir belirsizlik söz konusudur. Yapılan saha gözlemleri ve eldeki artçı şok kayıtları ana şok ve depreme kaynaklık eden fayın Van ile Erciş arasında Van'a en fazla 30 km'lik bir mesafede olabileceğini işaret etmektedir.

Şekil 1.2'de değişik kuruluşlara ait merkezüstü konumları ile ana şok ve bazı artçı şokların odak mekanizması çözümleri verilmiştir. Bu şekilde gösterildiği üzere ana şok ile birlikte artçı şokların hemen hemen hepsi ters faylanmaya işaret etmektedir. Sadece, alanın en doğusunda meydana gelen ve M_w 5.1 büyüklüğündeki bir artçı şok doğrultu atım mekanizması göstermektedir. (GFZ, M_w 5.1). Deprem dağılımlarından elde edilen yoğunluk diyagramı (Şekil 1.2) artçı şokların Van gölünün kuzeydoğu kenarında yaklaşık KD-GB yönlü bir kuşak içinde yoğunlaştığını göstermektedir.

1.3. Arazi Gözlemleri

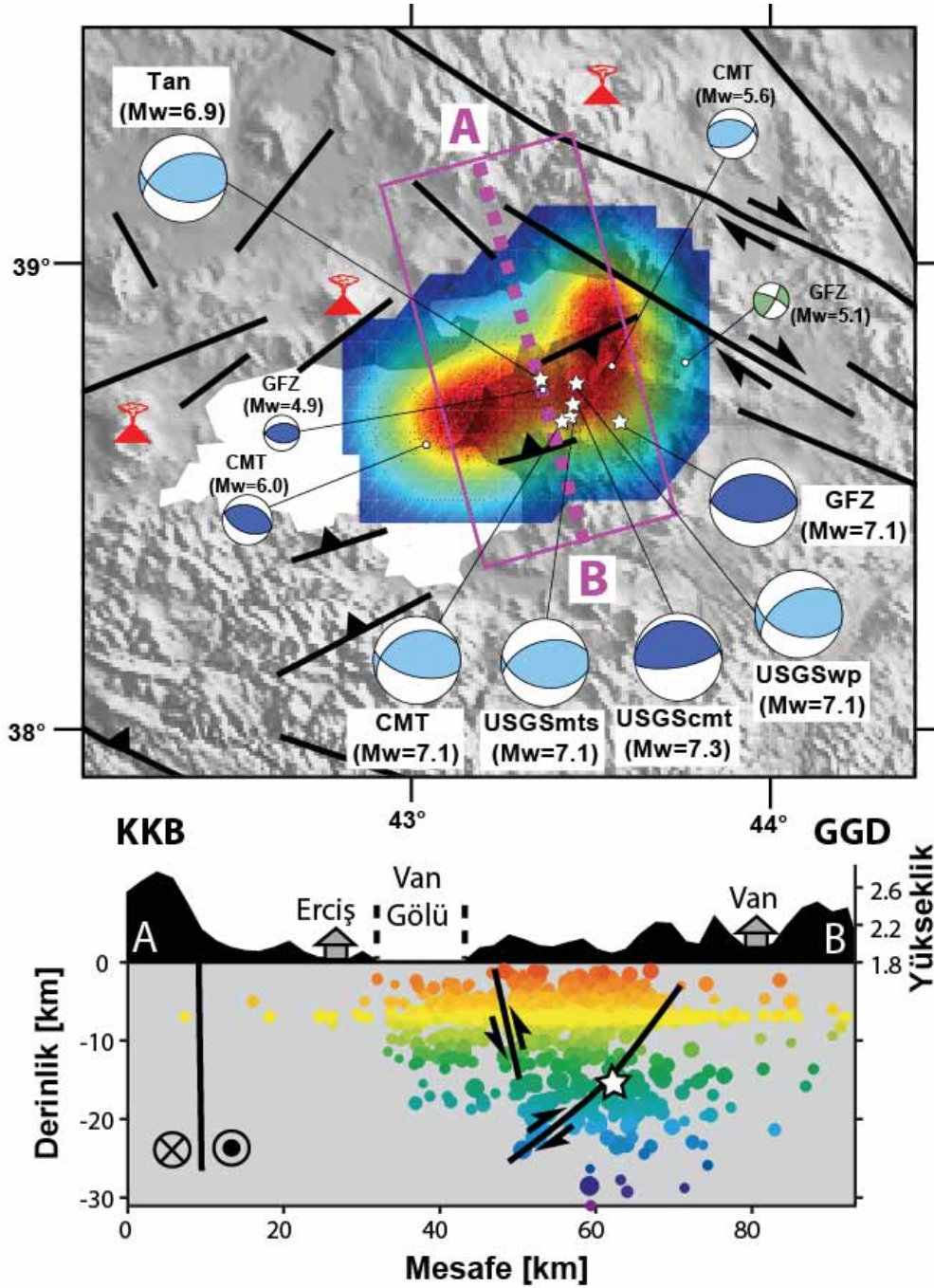
Meydana gelen depremin mekanizmasını, konumunu ve geometrisini anlayabilmek için, depremden hemen sonra bölgede 28-30 Ekim 2011 tarihleri arasında, üç gün süren arazi gözlemleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında, bölgede meydana gelmiş zemin deformasyonlarının birçoğu, yüksek hasarın meydana geldiği alanlar ve arazi öncesi yaptığımız ön çalışmalarda tahmin ettiğimiz ve depreme kaynaklık etmesi muhtemel tüm fay hatları incelenmiştir.

Sahada yaptığımız gözlemler sonucunda zeminde meydana gelen deformasyonların bir çoğunun ana şok kaynaklı zemin kaymaları ve heyelanlar olduğu görülmüştür (Şekil 1.3). Ayrıca bölgedeki derelerde gözlenen erozyonun düşey yönde kazma eğilimi bölgede meydana gelen sıkışmaya bağlı yükselmenin göstergesi olup, birçok akarsu alüvyon düzlüğünde yaygın olarak sivilaşma meydana gelmiştir (Şekil 1.4).

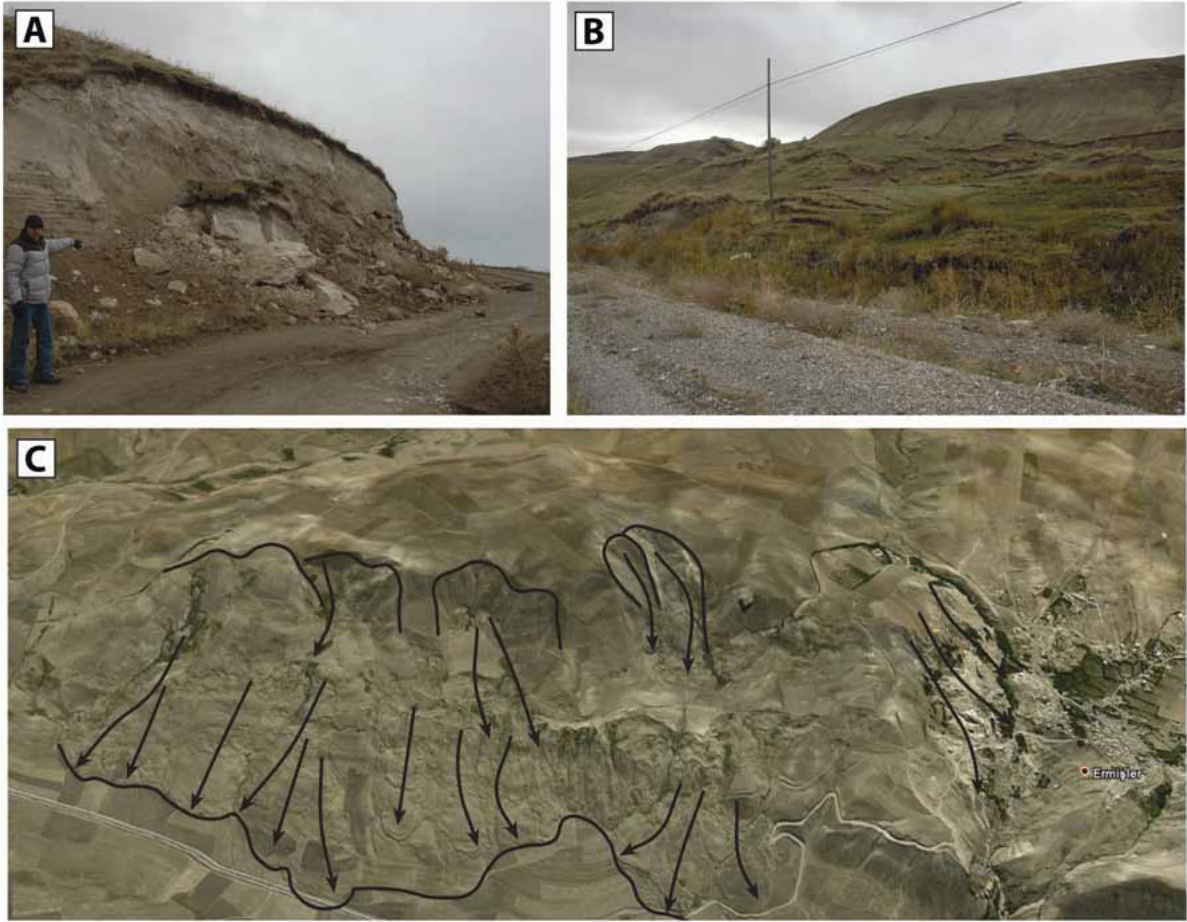


Şekil 1.1. Soldaki şekil Avrasya referanslı GPS hızlarını göstermektedir (Reilinger vd. 2006).

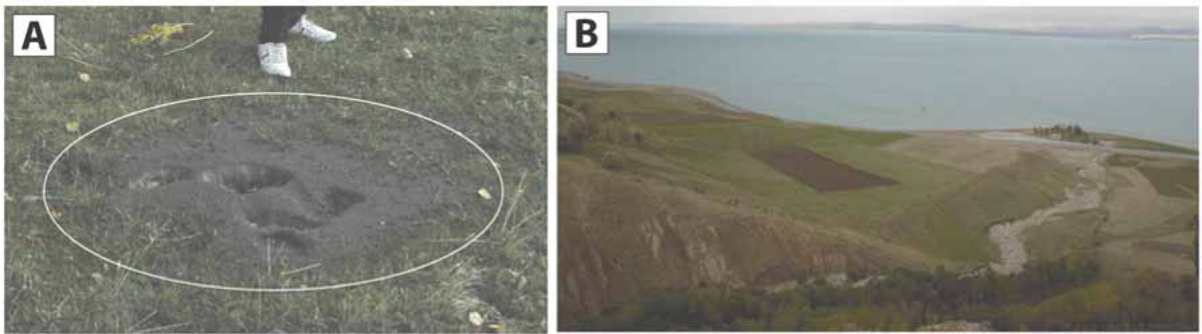
Arabistan levhasının kuzeye olan hareketi doğu Anadolu ve Kafkasya tarafından iç deformasyon şeklinde karşılandığına dikkat ediniz. Sağdaki şekil Doğu Anadolu bölgesinde Şaroğlu vd (1992) ve Koçyiğit vd (2001) tarafından belirlenmiş fay sistemleri ile meydana gelen depremlerin odak çözümlerini gösteren haritadır. Depremler kırmızı noktalarla gösterilmiş olup veriler Kandilli Rasathanesi'nden elde edilmiştir (www.koeri.boun.edu.tr). Ayrıca odak mekanizması çözümleri Pınar vd. (2007), Örgülü vd. (2003), McKenzie (1972) ve Harvard GCMT (www.globalcmt.org) katalog bilgilerinden elde edilmiştir. Kırmızı: normal, Mavi: ters/bindirme ve Yeşil: doğrultu atımlı faylanma mekanizmalarını göstermektedir.



Şekil 1.2. Van gölü civarının sismotektoniği ve artçı şokların dağılımı. Üstteki şekil bölgede bilinen faylar ile artçı şokların dağılımına göre hazırlanmış yoğunluk haritası ile değişik kuruluşların ana şok için önerdikleri merkezüstü konumları ve odak mekanizması çözümlerini göstermektedir. Altteki şekil ise tahmini ana faya dik yönde AFAD (www.deprem.gov.tr) tarafından ana şoktan itibaren ilk dokuz gün içinde ölçülen artçı şokların derinlik dağılımını gösteren kesittir. Sıcak renkler düşük derinliği ve yüksek yoğunluğu göstermektedir.



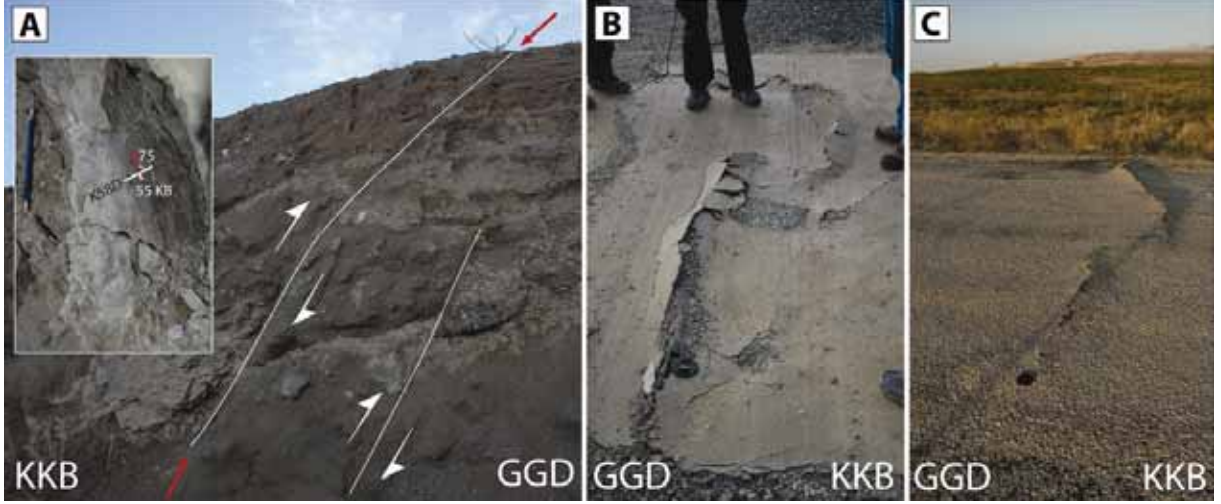
Şekil 1.3. Arazi fotoğrafları (a) kaya düşmesi, (b) heyelan ve (c) Ermiş köyü doğusunda görülen heyelanın Quickbird görüntüsü üzerinden yapılmış yorumu (Google Earth'tan elde edilmiştir).



Şekil 1.4. (a) Topaktaş köyünde gözlemlenen sıvılaşma yapısı, (b) bölgede meydana gelmekte olan derelerin düşey yönde erozyonunu gösteren fotoğraf (konum: Ermiş köyü civarı, Van gölü doğusu, bakış batıya).

Tipik zemin duraysızlığına bağlı kayma ve heyelanlar dışında, Van şehir merkezinin hemen dışında Van-Erciş yolu üzerinde akım kalmış bir hastane inşaatının zemininde ve temel kazılarında depreme kaynaklık etmiş olması muhtemel ikincil faylar gözlenmiştir (Şekil 1.5.a).

İnşaat alanı zeminindeki beton zeminde meydana gelen kırıklar kazı duvarlarında görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş ikincil faylarla birleşmekte olup devamlılık oluşturmaktadırlar (Figure 1.5.b). İkincil faylarda görülen ötelenmenin, kazı pasasında devam ediyor olması, bu fayların ana şok sırasında hareket ettiğinin en büyük göstergesidir. Ayrıca, aynı hat boyunca TOKİ konutları civarında Van-Erciş karayolu ile Van-Topaktaş karayolu üzerinde kuzey bloğun yaklaşık 10 cm yükseldiği tepecikler ve yarılmalar gözlemlenmiştir (Şekil 1.5.c ve 1.6).



Şekil 1.5. (a) Terk edilmiş hastane inşaat sahasında görülen ikincil faylar. Küçük şekil fay çiziklerini yakından göstermektedir, (b) Deprem sırasında inşaatın beton zemininde meydana gelen kırıklar. Fayın inşaat moluzunu da kesmiş olması, bu fayların deprem sırasında hareket ettiklerinin en önemli göstergesidir, (c) Topaktaş köyü ile Van-Erciş karayolunda görülen sıkışmaya bağlı gelişmiş deformasyonlar.



Figure 1.6. Yollarda meydana gelen ikincil deformasyonlar. (a) Van-Topaktaş yolu üzeri, hapishane yanı, (b) Van-Erciş yolu TOKİ konutları yanı.

Ayrıca depremi üreten fay hattı içinde bulunan Organize Sanayi bölgesindeki yapılarda K-G sıkışma yapıları ve yıkılmalar gözlenmiştir (Şekil 1.7). Bu gözlemler ve arazi gözlemleri sonucu ortaya konulan BGB-DKD yönlü sıkışma karakterli ana fayın yönü ve konumu yanında odak mekanizması çözümlerle de uyumludur.



Şekil 1.7. (a) K-G sıkışmayı gösteren güneye yıkılmış kolonlar, (b) Organize sanayi bölgesinde demir çubuklarda gözlenen K-G yönlü sıkışma yapıları.

Arazi çalışmaları sırasında gözlenen zemin deformasyonlarından bazıları (Şekil 1.8'de a,b,c) bölgedeki en belirgin morfolojik çizgiselliklerden birine karşılık gelmekte olup, bu çizgisellik boyunca bir çok noktada faylanmayı gösteren kinematik indikatörler ve fay çizikleri gelişmiştir (Şekil 1.8'de a ve d).

Yukarıda verilen arazi gözlemleri ve analizi yapılan simik veriler ışığında ana şoka kaynaklık eden fayın kuzeye eğimli, BSB-DKD yönelimli, bir fay olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 1.8).

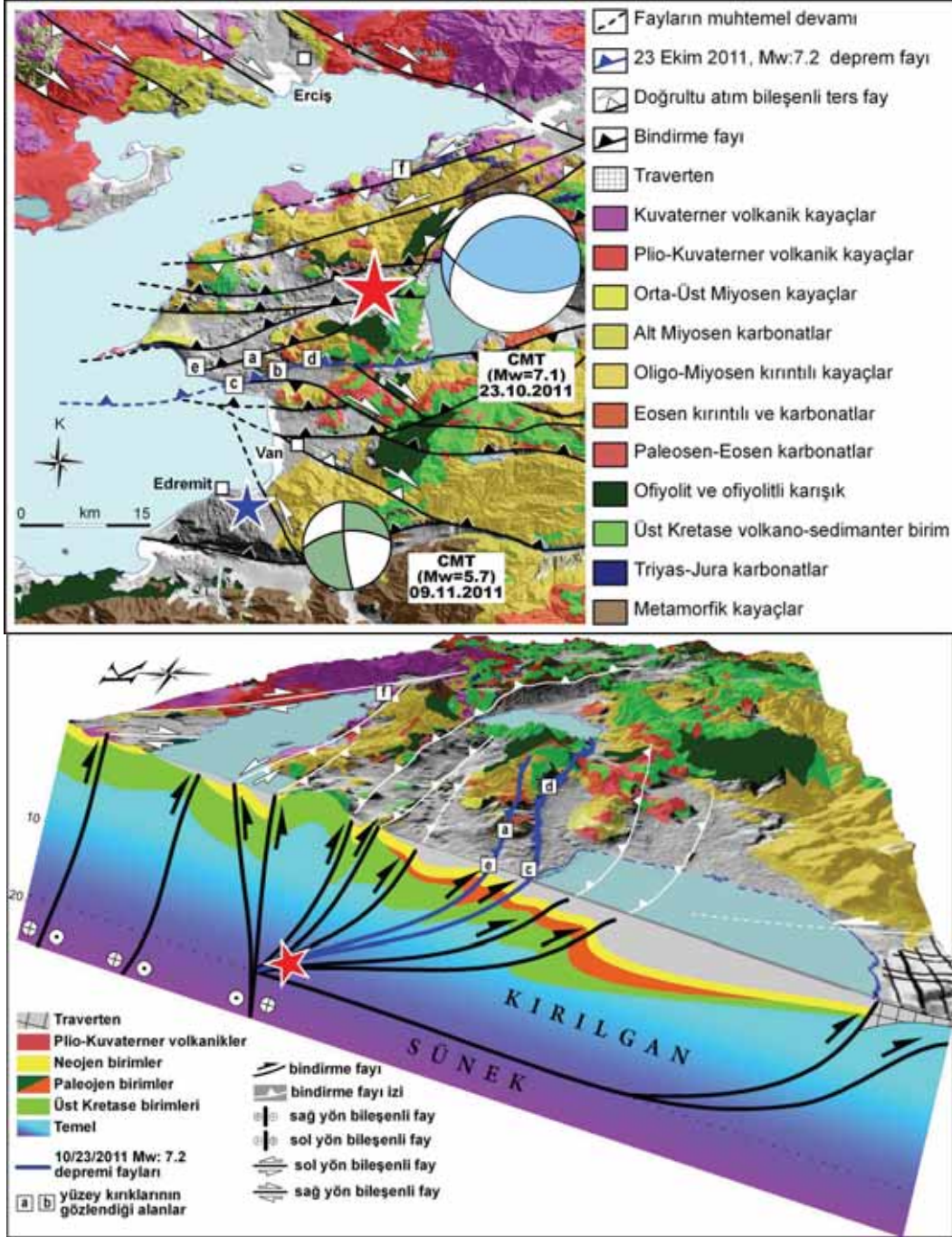
1.4.9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi

23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi ve onun artçı şokları dışında 9 Kasım 2011 tarihinde Van gölünün güneydoğusunda Edremit civarında M_w 5.7 büyüklüğünde bir önceki ana şok ve artçı depremlerinin meydana geldiği alan dışında (Şekil 1.2) bir başka deprem daha meydana gelmiştir (Şekil 1.8). Meydana gelen bu deprem, daha önce meydana gelen ana şoktan ve onun artçılarından farklı sismik özellikler göstermekte olup doğrultu atım karakterlidir. Bu depremin, 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen M_w 7.2 büyüklüğündeki Van Depremi ana şokuna neden olan bindirme fayının çok daha uzağında Edremit'in güneyindeki bir bindirme fayı ile ilişkili doğrultu atımlı bir faydan kaynaklandığını düşünmekteyiz (Şekil 1.8).

1.5. Sismotektonikle İlgili Sonuçlar

Yukarıda bahsi geçen gözlem, yorum ve tartışmalar ışığında bölgenin sismotektoniği ve hasarla ilişkili depremlerle ilgili varılan sonuçlar aşağıdadır.

1. Ana şok kuzeye eğimli D-B uzanımlı bir faydan kaynaklanmıştır.
2. Terk edilmiş hastane inşaat alanında görülen faylar ve TOKİ konutları ile Van-Topaktaş ve Van-Erciş karayolları üzerinde görülen sıkışma deformasyonları ana fayın Van'ın kuzeyinde yüzeydeki yansımalarıdır.
3. Bunların dışında bölgede meydana gelen diğer deformasyonlar ana şoka bağlı gelişmiş zemin duraysızlıklarına bağlı kayma ve heyelanlar olup ana fayla doğrudan ilişkili değildirler.
4. 9/11/2011 tarihinde meydana gelen ve Van şehir merkezinde önemli hasar ve can kaybına neden olan M_w 5.7 büyüklüğündeki deprem daha önce meydana gelen ana şok ve onun artçı şoklarından tamamen farklı bir deprem olup ana şok tarafından tetiklenmiş olma ihtimali yanında, Edremit güneyindeki kuzeye eğimli bindirme fayı ve onunla ilişkili doğrultu atımlı bir faydan kaynaklanmıştır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Van ve civarının basitleştirilmiş jeolojik haritası ve blok diyagramı. Şekilde gösterilen faylar temsili olup, bölgedeki deformasyonun stili, tip ve yoğunluğuna işaret eder.

Gerçekte bölgedeki fayların sayısı gösterildiğinden fazladır. Şekilde b ve c noktalarında gözlenen deformasyonlar ana faya işaret eder. Merkezüstü ve fay mekanizması çözümleri Harvard katoluğundan alınmış olup (GCMT) Van depremi merkezüstü kırmızı, Van-Edremit depremi merkezüstü ise mavi yıldız ile gösterilmiştir. a) terkedilmiş hastane inşaat sahası, b)

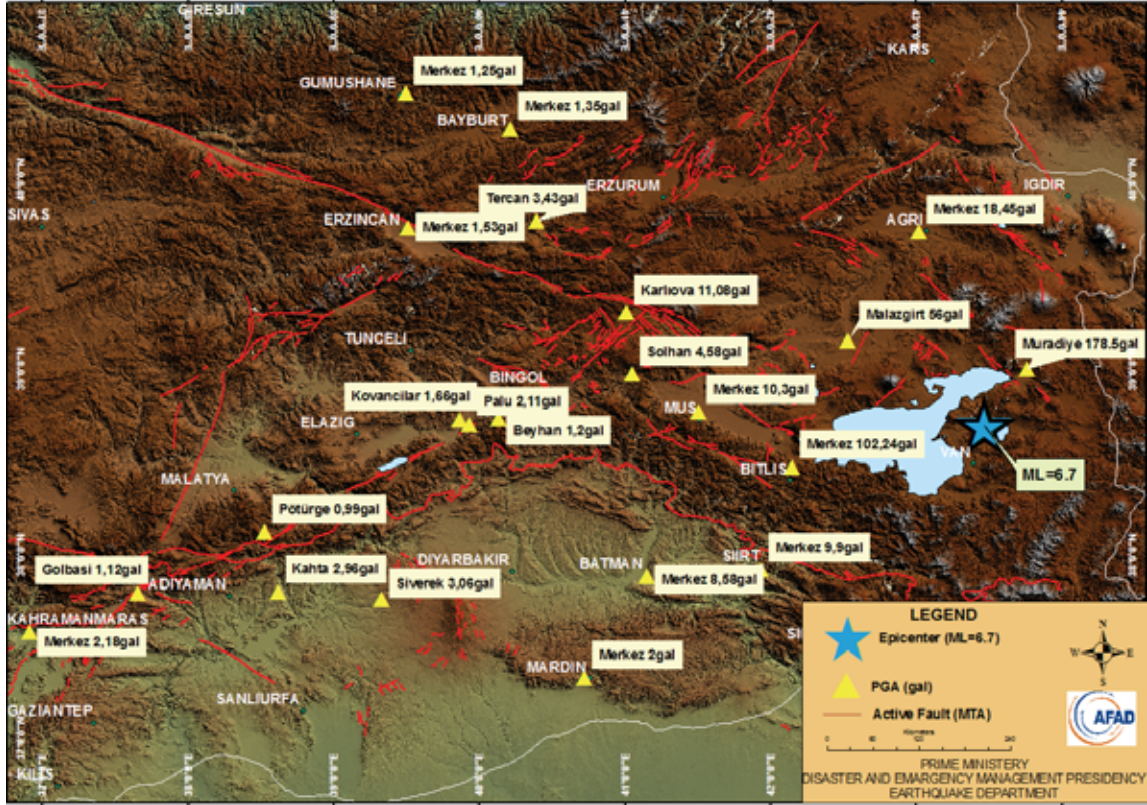
TOKI civarında ve c) Van-Topaktaş yolunda meydana gelen deformasyonlar, d) ana fay boyunca kinematik indikatörlerin ve fay çiziklerinin en iyi görüldüğü yer (bu noktada görülen çizikler ve indikatörler yeni değildir), e) Sıvılaşmanın görüldüğü Topaktaş köyü, f) Ermişler köyü civarındaki heyelan.

1.6. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

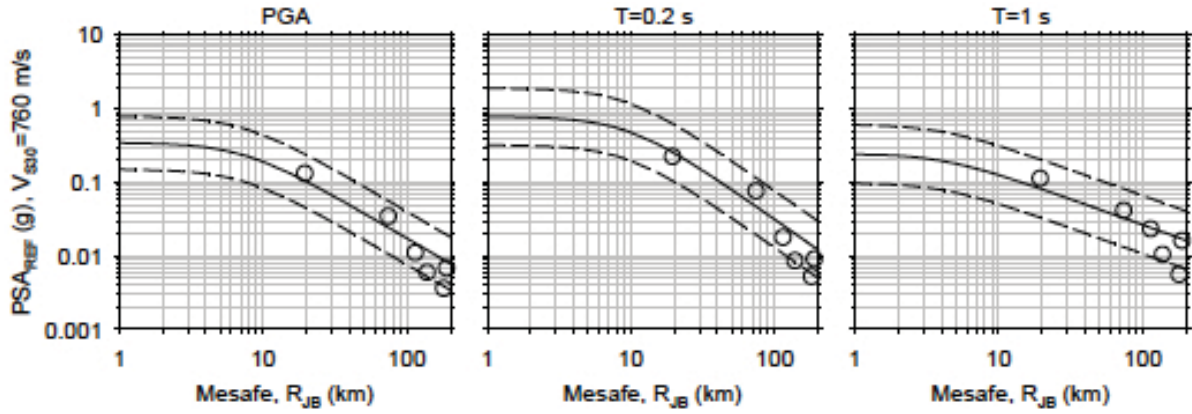
Van Depremi ana şok ivme kayıtlarının işlenmiş halleri bu bölümde sunulmaktadır. Bunun yanı sıra bu deprem sonucu gözlenen bazı ampirik yer hareketi genliklerinin güncel yer hareketi tahmin denklemleri ile karşılaştırması da bu bölümde verilmiştir. Burada verilen kuvvetli yer hareketi bilgilerinin daha kapsamlısı AFAD Deprem Dairesi ile ortaklaşa çıkartılan EERC-2011-2 nolu İngilizce raporda mevcuttur (http://www.eerc.metu.edu.tr/sites/default/files/Report_Van_EQ_2011.pdf).

Van Depremi ana şok kayıtları ulusal kuvvetli yer hareketi şebekesine ait 22 istasyonda kaydedilmiştir. Ana şok sırasında Van kuvvetli yer hareketi istasyonunun çalışmaması nedeniyle varsayılan fay kaynağına yakın sayılabilecek ivme kayıtları elde edilememiştir. Kayıtların işlenmemiş halleri <http://kyh.deprem.gov.tr/ftp.htm> internet sitesinde mevcuttur. Şekil 1.9 yer hareketi ivme değerlerinin ölçüldüğü istasyonları ve bunlar tarafından kaydedilen en yüksek yer ivmesi değerlerini göstermektedir. Elde edilen ham kayıtlar öncelikle standart olmayan hatalara (Douglas, 2003) karşı incelenmiş daha sonra da Akkar ve Bommer (2006) ve Akkar vd. (2011) makalelerinde tarif edilen yöntemler uygulanarak yüksek ve alçak geçirimli filtre işlemine tabii tutulmuştur. Her bir kayıt için yüksek ve alçak geçirimli filtre değerleri Tablo 1.2’de verilmiştir. Kayıtların işlenmesi için ODTÜ-DMAM tarafından geliştirilmekte olan USDP yazılımı kullanılmıştır (web.ce.metu.edu.tr/~sakkar/usdp.html). Tablo 1.2 ayrıca herbir ivme kaydı için Akkar ve Bommer (2006) tarafından önerilen ampirik ifadelere dayalı kullanılabilir maksimum periyot değerlerini de vermektedir. Van Depremine ait işlenmiş kayıtlar ODTÜ-DMAM web sayfasında da bulunabilir (<http://www.eerc.metu.edu.tr/>). Aynı web sayfası üzerinden işlenmemiş (ham) ivme kayıtlarına da ulaşmak mümkündür.

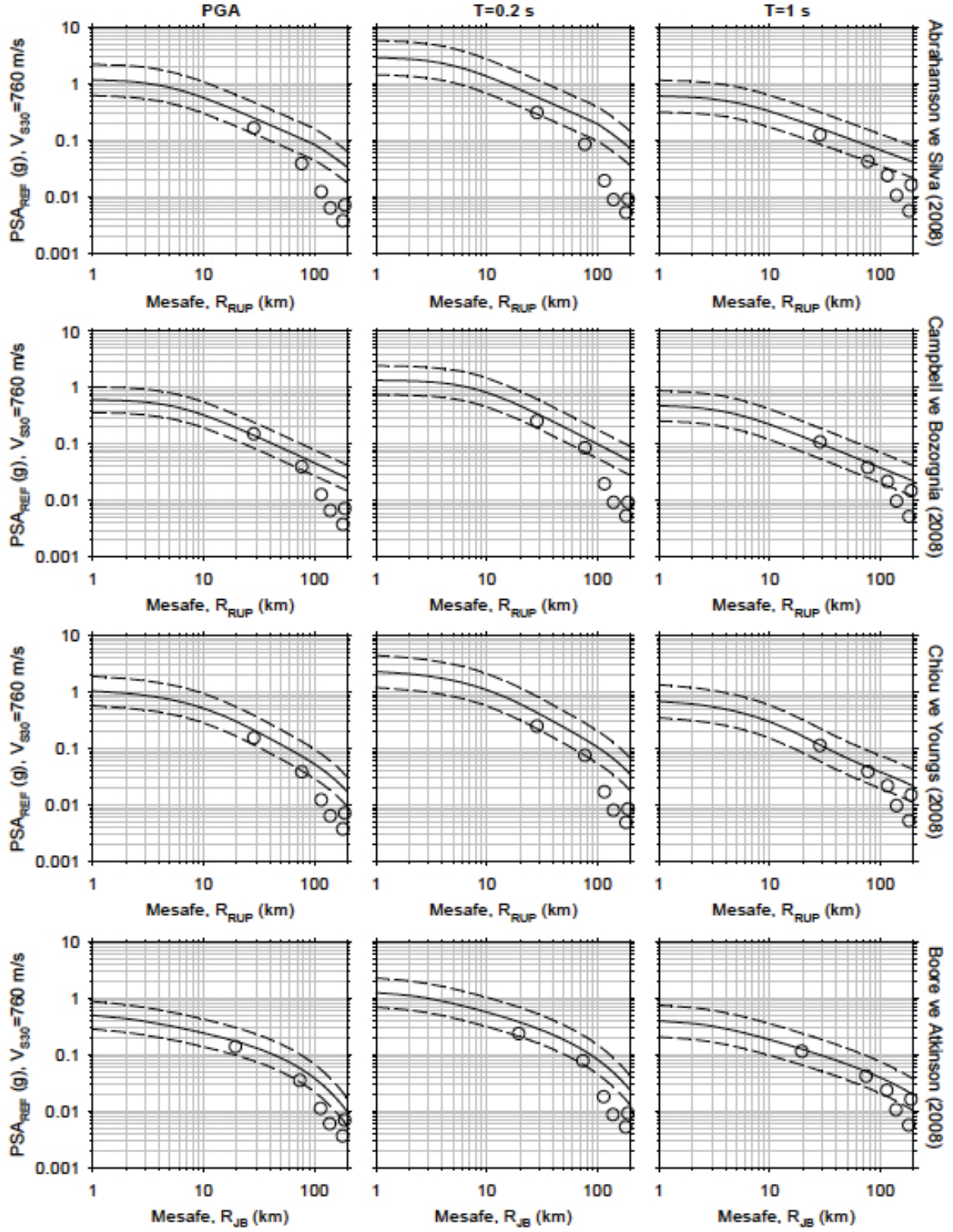
Tablo 1.2’de kayıt alan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının koordinatları ve varsa zemin sınıfını belirleyici V_{S30} değerleri de gösterilmektedir. Bu tabloda ayrıca Harvard GCMT’den (www.globalcmt.org) elde edilen fay çözümü (Tablo 1.1) kullanılarak hesaplanmış deprem kaynağına olan istasyon uzaklık değerleri de farklı mesafe birimleri için (dış merkezlik mesafesi, R_{epi} , iç merkezlik mesafesi, R_{hyp} , fay kırığı düzleminin düşey yönde yüzeye paralel projeksiyonuyla istasyon arasındaki en yakın mesafe, R_{JB} ve fay kırığı düzlemiyle istasyon arasındaki en yakın mesafe, R_{rup}) verilmiştir. Mesafe hesaplamaları için GCMT çözümünde kuzey doğrultusunda dalım yapan fay düzlemi kullanılmıştır. Kullanılan düzlem önceki bölümlerde tartışılan fay mekanziması ve arazide gözlenen yüzey deformasyonu ile uyumludur. Kaynak-istasyon mesafe değerlerinin hesaplanması için Kaklamanos vd. (2011) tarafından tarif edilen yöntem uygulanmıştır. $T=0s$ (maksimum yer ivmesi, PGA), $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ için gözlenen spektral değerler, Next Generation Attenuation Models (NGA) projesinde geliştirilen tahmin denklemlerinin (Abrahamson ve Silva, 2008; Boore ve Atkinson, 2008; Campbell ve Bozorgnia, 2008; ve Chiou ve Youngs, 2008) ve Türkiye için geliştirilmiş Akkar ve Çağnan (2010) tahmin denkleminin hesapladığı spektral değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaları sadeleştirmek amacıyla kayıtlar $V_{S30}=760m/s$ ile tanımlanan kaya zemin özellikleri için modifiye edilmiştir. Şekil 1.10 ve 1.11 bu karşılaştırmaları göstermektedir.



Şekil 1.9. Ana şok esnasında kayıt alan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının dağılımı (Kaynak: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Anasayfa.aspx).



Şekil 1.10. Akkar ve Çağınan (2010) tahmin denklemi ile ampirik verilerin karşılaştırılmaları. Sol, orta ve sağ sütunlar, sırasıyla $T=0s$, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ için karşılaştırmaları göstermektedir.



Şekil 1.11. NGA tahmin denklemleri ile ampirik verilerin karşılaştırılmaları. Sol, orta ve sağ sütunlar, sırasıyla T=0s, T=0.2s ve T=1.0s için karşılaştırmaları göstermektedir.

Tablo 1.1. 23 Ekim 2011 Van Depremi'nin ulusal ve uluslararası sismolojik ajanslar tarafından bildirilen önemli sismolojik parametreleri

Ajans	Tarih	Zaman (GMT)	Dışmerkez Enlemi	Dışmerkez Boylamı	Derinlik (km)	M _w	M _b	M _s	M _L	M ₀ (dyne.cm)
AFAD	23/10/2011	10:41:00	38.68	43.47	19.02	-	-	-	6.7	-
KOERI	23/10/2011	10:41:21	38.758	43.360	5.0	7.2	-	-	6.6	-
GCMT	23/10/2011	10:41:30.6	38.67	43.42	15.4	7.1	-	7.2	-	6.4e+26
USGS	23/10/2011	10:41:44.5	38.710	43.446	16	7.3	-	-	-	9.9e+26
GFZ	23/10/2011	10:41:22	38.674	43.581	15	7.1	-	-	-	4.7e+26
EMSC	23/10/2011	10:41:22	38.86	43.48	10	7.2	-	-	-	-
INGV	23/10/2011	10:41:00	38.86	43.48	10	7.3	-	-	-	-
GeoAzur	23/10/2011	10:41:21	38.627	43.535	16<d<23	7.2	-	-	-	6.86e+26

Ajans	T- aksı PLG	T- aksı AZ	N- aksı PLG	N- aksı AZ	P- aksı PLG	P- aksı AZ	1. düzlem Doğrultü	1. düzlem Eğim	1. düzlem Yatım	2. düzlem Doğrultü	2. düzlem Eğim	2. düzlem Yatım
AFAD	-	-	-	-	-	-	98	66	88	283	24	95
KOERI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GCMT	-	-	-	-	-	-	248	36	60	104	60	110
USGS	63	344	4	81	26	173	80	71	86	272	19	101
GFZ	81	22	3	272	9	182	94	54	94	268	36	85
EMSC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INGV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GeoAzur	-	-	-	-	-	-	107	44	120	248	53	64

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
 KOERI: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
 GCMT: Global Centroid Moment Tensor
 USGS: U.S. Geological Survey
 GFZ: GFZ German Research Centre for Geosciences
 EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre
 INGV: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Tablo 1.2. Ana şok sırasında elde edilmiş ve daha sonra işlenmiş ivme kayıtlarının önemli özellikleri

Kayıt İsimleri	Cihaz Tipi	Kullanılabilir maksimum periyot-KG			Kullanılabilir maksimum periyot-DB			Kullanılabilir maksimum periyot-D		
		f_{ic} -KG	f_{ic} -KG	f_{ic} -KG	f_{ic} -KG	f_{ic} -KG	f_{ic} -D	f_{ic} -D	f_{ic} -D	
20111023104043_0401	CMG-5TD	0.07	25	0.07	25	13.86	0.05	25	19.40	
20111023104118_1302	CMG-5TD	0.07	0	0.04	0	20.00	0.04	0	20.00	
20111023104120_4902	SM-2	0.06	20	0.04	20	24.25	0.04	20	24.25	
20111023104120_6503	SM-2	0.06	0	0.04	0	24.25	0.06	0	16.17	
20111023104121_5601	CMG-5TD	0.07	20	0.07	30	11.43	0.07	20	11.43	
20111023104134_7201	CMG-5TD	0.04	20	0.04	20	22.50	0.04	20	22.50	
20111023104136_4901	CMG-5TD	0.05	30	0.15	25	6.47	0.2	30	4.85	
20111023104145_1211	CMG-5TD	0.05	0	0.05	0	18.00	0.05	0	18.00	
20111023104156_1206	CMG-5TD	0.04	15	0.04	0	20.00	0.15	0	5.33	
20111023104201_2407	CMG-5TD	0.07	10	0.05	10	19.40	0.1	10	9.70	
20111023104216_4701	CMG-5TD	0.05	25	0.05	25	16.00	0.05	25	16.00	
20111023104221_2305	CMG-5TD	0.05	25	0.05	25	16.00	0.05	25	16.00	
20111023104225_2307	CMG-5TD	0.05	10	0.05	10	19.40	0.05	10	19.40	
20111023104230_2304	CMG-5TD	0.05	0	0.05	0	16.00	0.05	12	16.00	
20111023104240_6901	CMG-5TD	0.07	15	0.05	15	16.00	0.03	15	26.67	
20111023104245_2401	CMG-5TD	0.05	8	0.05	8	19.40	0.12	8	8.08	
20111023104250_6303	CMG-5TD	0.05	15	0.15	15	5.33	0.15	15	5.33	
20111023104255_2902	CMG-5TD	0.05	10	0.05	10	16.00	0.05	10	16.00	
20111023104259_0205	CMG-5TD	0.05	15	0.05	15	16.00	0.05	15	16.00	
20111023104259_4404	CMG-5TD	0.05	12	0.05	12	16.00	0.05	12	16.00	
20111023104330_0208	CMG-5TD	0.05	0	0.05	0	18.00	0.05	0	18.00	
20111023104356_4609	CMG-5TD	0.05	8	0.05	8	19.40	0.05	8	19.40	

f_{ic} : alçak geçirimli geçişli filtre frekanstı
 f_{ic} : yüksek geçirimli filtre frekanstı

Tablo 1.2 (devamı)

Kayıt İsmi	İşlenmiş PGA-KG (cm/s ²)	İşlenmiş PGA-DB (cm/s ²)	İşlenmiş PGA-D (cm/s ²)	İşlenmiş PGV-KG (cm/s)	İşlenmiş PGV-DB (cm/s)	İşlenmiş PGV-D (cm/s)
20111023104043_0401	18.3340	14.8930	7.1538	5.4695	4.6567	3.0112
20111023104118_1302	89.6600	102.2200	35.5050	8.8198	7.7020	4.3281
20111023104120_4902	44.3000	55.7510	25.5240	11.9450	11.0720	5.1036
20111023104120_6503	178.5500	169.4500	79.1540	26.3710	14.5700	6.3005
20111023104121_5601	9.6751	9.1262	6.9456	3.7502	3.9307	2.9103
20111023104134_7201	8.2859	8.6086	3.7461	2.9802	2.1375	2.3158
20111023104136_4901	10.3210	7.0842	4.6643	2.5933	1.6551	0.5940
20111023104145_1211	4.6038	4.1524	2.4256	1.9392	2.8055	1.9035
20111023104156_1206	7.5397	11.0710	4.6441	3.0714	4.1079	1.3032
20111023104201_2407	2.3039	3.3930	1.8567	1.0850	2.1882	1.0939
20111023104216_4701	1.9951	1.9068	1.5813	1.3409	1.1224	1.4939
20111023104221_2305	1.2138	1.1698	1.0251	0.7527	0.9547	0.9557
20111023104225_2307	2.1200	1.6455	1.7097	1.1558	1.0578	1.3156
20111023104230_2304	1.4746	1.6514	1.1966	1.4181	0.9167	1.0151
20111023104240_6901	1.3610	1.1140	1.2751	0.6997	1.1137	1.0997
20111023104245_2401	1.5016	1.2808	0.5902	0.8360	1.1664	0.3388
20111023104250_6303	2.0281	3.0715	1.0962	1.2312	0.7855	0.4372
20111023104255_2902	1.0251	0.8194	1.2424	0.8520	0.7302	0.9593
20111023104259_0205	2.9626	2.7268	1.6428	1.3298	1.1463	1.1390
20111023104259_4404	0.9934	1.0041	0.9555	0.9198	0.5280	0.7213
20111023104330_0208	1.1241	0.7444	0.3588	0.4525	0.3915	0.2489
20111023104356_4609	1.7071	2.1414	0.9439	0.7509	1.1942	0.7627

PGA: En yüksek yer ivmesi

PGV: En yüksek yer hızı

Tablo 1.2 (devamı)

Kayıt İsmi	İstasyonKodu	İstasyon Enlem	İstasyon Boylam	V _{S30} (m/s)	R _{epi} (km)	R _{hyp} (km)	R _{JB} (km)	R _{rup} (km)
2011023104043_0401	0401	39.71991	43.01585	295	121.829	122.798	114.013	115.89
2011023104118_1302	1302	38.4744	42.15912	-	111.75	112.806	82.8167	85.3772
2011023104120_4902	4902	39.14394	42.53072	311	93.2635	94.5264	74.2502	77.1012
2011023104120_6503	6503	38.99	43.768	293	46.6346	49.1115	19.5117	28.4929
2011023104121_5601	5601	37.9319	41.9353	-	153.363	154.134	124.482	124.885
2011023104134_7201	7201	37.873	41.15116	450	216.978	217.524	188.866	189.138
2011023104136_4901	4901	38.76111	41.50394	315	166.545	167.255	138.216	139.768
2011023104145_1211	1211	38.96616	41.0504	463	207.912	208.481	180.383	181.575
2011023104156_1206	1206	39.29345	41.00883	-	219.633	220.172	194.073	195.182
2011023104201_2407	2407	39.77663	40.39109	320	288.453	288.864	264.726	265.54
2011023104216_4701	4701	37.363	40.723	-	277.366	277.793	248.533	248.735
2011023104221_2305	2305	38.7426	40.13145	-	285.454	285.869	256.922	257.76
2011023104225_2307	2307	38.69581	39.93198	329	302.758	303.149	274.13	274.916
2011023104230_2304	2304	38.7217	39.86441	-	308.606	308.99	280.026	280.795
2011023104240_6901	6901	40.2623	40.2101	-	327.493	327.854	306.178	306.882
2011023104245_2401	2401	39.74183	39.51152	314	357.194	357.526	331.845	332.495
2011023104250_6303	6303	37.75241	39.3291	-	371.661	371.98	342.914	343.543
2011023104255_2902	2902	40.12439	39.43658	-	378.517	378.83	354.769	355.377
2011023104259_0205	0205	37.79179	38.61573	-	430.79	431.065	401.87	402.406
2011023104259_4404	4404	38.19588	38.87385	-	399.434	399.731	370.429	371.011
2011023104330_0208	0208	37.786629	37.653002	469	513.137	513.368	484.145	484.59
2011023104356_4609	4609	37.57531	36.915	317	581.767	581.971	552.793	553.184

V_{S30}: Zemin profilinin en üst 30m'lik katmanına ait ortalama S-dalgası hızıR_{epi}: Dışmerkezlik mesafesiR_{hyp}: İçmerkezlik mesafesiR_{JB}: Joyner-Boore mesafesi (fay kırığı düzleminin düşey yönde yüzeye paralel projeksiyonuyla istasyon arasındaki en yakın mesafe)R_{rup}: Rupture mesafesi (fay kırığı düzlemiyile istasyon arasındaki en yakın mesafe)

2. GEOTEKNİK HASAR

**Zeynep Gülerce
M. Tolga Yılmaz
Nejan Huvaj
Selman Sağlam
Abdullah Sandıkkaya
Yeşim Ünsever**

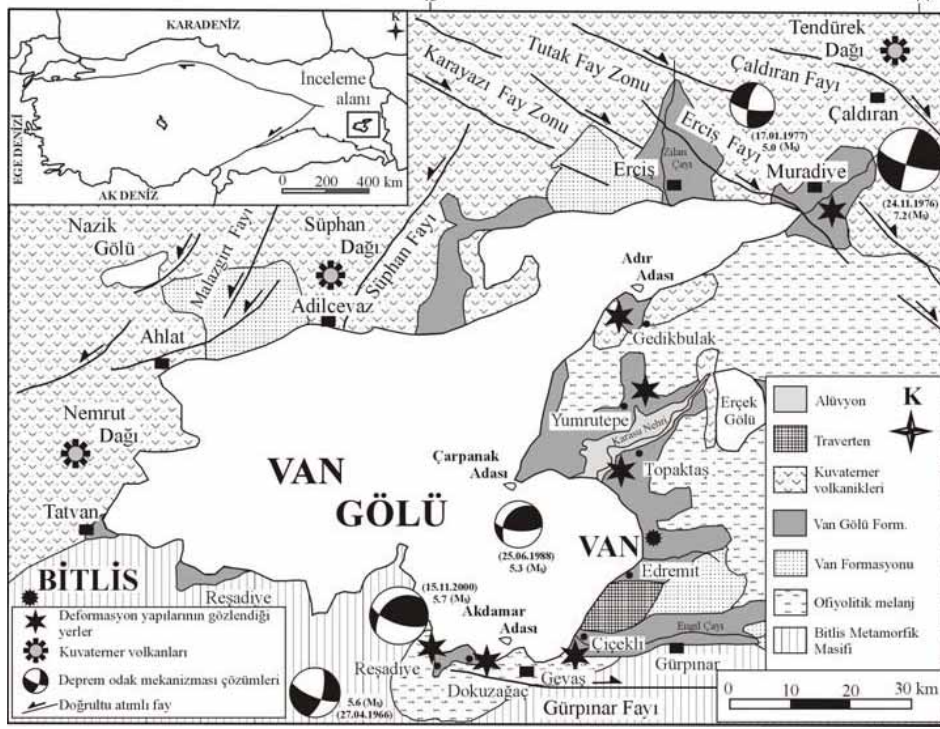
2.1. Giriş

23 Ekim 2011’de meydana gelen M_w 7.2 büyüklüğündeki deprem Van il merkezinde, Erciş ilçesinde ve bu iki yerleşim birimi arasında Van Gölü kıyısı boyunca sıralanmış köylerde ciddi boyutlarda hasara yol açmıştır. Bu bölümde Van depremi sonrası gözlenen geoteknik hasarlarla ilgili bilgi verilecektir. Deprem sonrasında bölgeye giden geoteknik mühendisliği ekibi, sıvılaşma, yanal yayılma ve bunlara bağlı yer çatlaklarının gözlemlendiği bölgelerden ve Erciş-Van Karayolu’nda hasara neden olan şev kayması bölgesinden numuneler almıştır. Bu numuneler ODTÜ İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarı’nda test edilmiştir. Laboratuvar testlerinin sonuçları ve şev kayması için yapılan ön-analiz sonuçları da aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

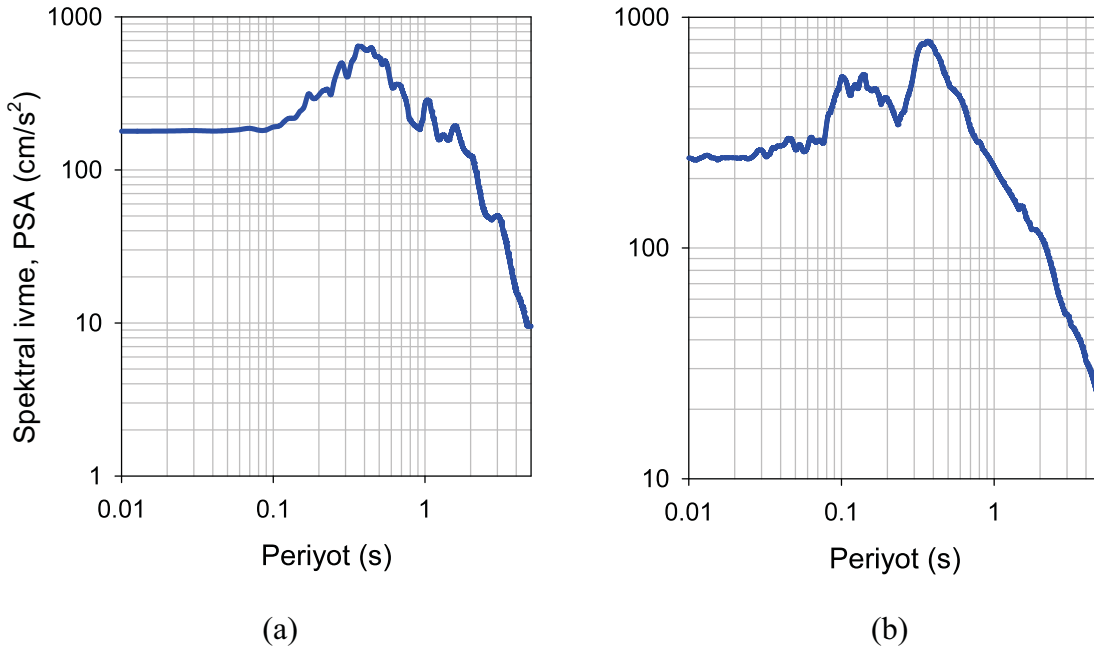
2.2. Van ve Civarının Genel Zemin Yapısı, Kaydedilen Yer Hareketine Olası Etkisi

Bölgenin jeolojik yapısı incelendiğinde, Van ve Erciş yerleşim merkezlerinin Van Gölü Formasyonu olarak tanımlanan ve göl, akarsu ve karasal çökellerin tekrarlanmasıyla oluşan gevşek zemin üzerinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.1). Özvan vd (2005) tarafından özellikle Van şehir merkezi için yapılmış bir çalışmada bölgedeki zeminin gevşek özellikte ve yeraltı suyu seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bölgedeki yerel zemin koşulları göz önüne alındığında, kalın çökel-alüvyon tabakasının hissedilen kuvvetli yer hareketinin frekans içeriğini orta ve uzun periyotlarda etkilemesi ve tepki spektrumunun tepe noktasını orta periyot bandına ($0.5s \leq T \leq 1.0s$) kaydırması beklenebilir.

Depremi ana şoku sırasında Van şehir merkezinde bulunan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunda kayıt alınamamıştır. Bununla beraber benzer zemin özellikleri taşıyan Muradiye kuvvetli yer hareketi istasyonundan alınan ana şok kaydının tepki spektrumu incelendiğinde bir önceki paragrafta belirtilen zemine bağlı yer hareketi frekans içeriğinin ciddi anlamda etkilenmiş olabileceği gözlenmektedir (Şekil 2.2.a). Muradiye ana şok kaydına ait tepki spektrumu incelendiğinde kaydedilen maksimum yer ivmesinin yer çekimi ivmesinin yaklaşık %20’si civarında olduğu bununla beraber $T = 0.4-0.5$ saniye civarında spektral ivme değerlerinin maksimum yer ivmesinin 3 katı üzerinde gerçekleştiği görülebilir. 9 Kasım 2011’de bölgede meydana gelen ikinci depremde Van-Merkez kayıt istasyonundan alınan kaydın tepki spektrumu incelenirse (Şekil 2.2.b) yukarıda bahsedilen karakteristiği gösterdiği anlaşılabilir. Yerel zemin koşullarının neden olduğu bu büyütmenin özellikle yüksek katlı binalarda gözlenen hasara katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu konuda yapılan detaylı çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 2.1. Van Gölü ve çevresine ait basitleştirilmiş jeoloji haritası (Üner vd., 2010).



Şekil 2.2. (a) 23 Ekim 2001 depreminde Van-Muradiye kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonundan alınan kaydın kuvvetli yatay bileşenine ait ivme spektrumu, (b) 9 Kasım 2011'de meydana gelen (M_w 5.7) depreminde Van-Merkez kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonundan alınan kayda ait ivme spektrumu.

2.3. Geoteknik Faktörlere Bağlı Yapısal Hasar Gözlemleri

Van il merkezinde ve Erciş’de incelenen binaların temellerinde aşırı deplasmanlara işaret eden bulgulara rastlanmamıştır. Ayrıca Van il merkezinde yer alan ve içerisine girilebilen hasarlı betonarme yapıların bodrum katlarının mevcut olduğu görülmüştür. Temel kotu ve yüzey kotu arasındaki zeminlerin ağırlığı temel taşıma gücüne önemli katkıda bulunmaktadır. Bahçıvan Mahallesi’nde (38°30’00.92”K 43°23’14.47”D) göçen iki binanın yanında yaklaşık 3 m derinliğinde bir dik kazı bulunmaktadır (Şekil 2.3). Burada gözlemlenen zeminler desteksiz kazıyı mümkün kılan sertliktedir. Burada yer altı suyu seviyesinin daha derinlerde olduğu düşünülmektedir. Bu bulgular Van Depremi’nde bodrumu olan binaların göçmesindeki esas belirleyici sebebin üst yapıdaki yapısal özelliklerin yetersizliğinden kaynaklandığı sonucunu desteklemektedir. Benzer şekilde, Van Gölü’ne yaklaşık 1 km uzaklıkta ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi’ne ait betonarme binalar içeriden ve dışarıdan gözle muayene edilmiştir (Şekil 2.4). Bu ön incelemelerde bodrumlu bu yapıların temellerinde aşırı oturmalara işaret eden izlere rastlanmamıştır.



Şekil 2.3. Bahçıvan Mahallesi’nde göçen 2 betonarme binanın arkasındaki dik kazı.



Şekil 2.4. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne ait bina.

2.4. Doğal Şevlerde ve Karayolu Dolgularında Deprem Hareketi Etkisiyle Kayma

Bölgede birçok noktada doğal şevlerde deprem hareketi etkisiyle kayma ve stabilite problemleri tespit edilmiştir. Şekil 2.5'de Çitören Köyü'nün hemen dışında Van Gölü kıyısında gösterilen şev kayması göl kıyısı boyunca diğer bölgelerde de benzer problemlerin olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 2.6'de gösterilen tepe, Topaktaş Köyü arazisi içerisinde Karasu Nehri kıyısında yer almaktadır ($K38.5969^{\circ}$, $D43.2471^{\circ}$). Tepe üzerinde yerleşimin bulunmaması nedeniyle bu resimde gözlenen stabilite problemi can ve mal kaybına yol açmamıştır. Gözlemlerin yapıldığı noktalar harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 2.7).



Sekil 2.5. Van Gölü kıyısında göle doğru kayan dogal şev (Çitören Köyü).

Van-Erciş Karayolu'nun 55. kilometresinde (Gedikbulak köyü yakını) karayolunun doğusundaki şevde oluşan geniş çatlaklar ($K38.83478^\circ$, $D43.42336^\circ$) karayolunun doğu şeridinin deforme olmasına ve çatlmasına neden olmuştur (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9). Deformasyon dikey ekseninde yaklaşık 40 cm, çatlakların derinliği ise yaklaşık 2 m olarak ölçülebilmektedir (Şekil 2.8 ve Şekil 2.11). Toprak kaymasının sebep olduğu yüzey deplasmanları ve nisbeten sınırlı seviyedeki yol hasarı Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Deformasyonların sınırlı olması ve taç kısmındaki yer çatlağının hattın kabaca şeve paralel yönelimi, dinamik kuvvet genliklerinin kısa süreli şev yenilmelerine sebep olduğu ve zeminlerde yük çevrimlerinden daha uzun süreli akmaların gerçekleşmediği şeklinde yorumlanabilir. Nitekim, deformasyonların sınırlı olması yol üzerinde depremde sonra süratle onarım yapılabilmesine imkan vermiştir.

Yaklaşık 7 metre yüksekliğinde ve 14 derece eğimli bu şevin ayna kısmındaki 2 m derinliğindeki gerilme çatlaklarından yaklaşık 2 m derinlikten örselenmiş bir numune alınabilmektedir. Bu numune birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre siltli kum (SM) sınıfına girmektedir. İnce dane kısmı üzerinde yapılan Atterberg kıvam limitleri deneyinde likit limit 27%, plastik limit 20%, plastisite indisi 7% olarak bulunmuştur. Şevin (1) homojen olarak tek bir malzemedan oluştuğu kabul edilerek ve (2) gerilme çatlaklarının yerleri kesit üzerinde işaretlenerek dairesel kayma yüzeyinin muhtemel yeri belirlenmiş ve (3) şevde ve civarda su gözlenmediği dikkate alınarak, (4) deprem öncesi karayollarının şartnamesine de istinaden şevin statik güvenlik katsayısının 1.50'm üstünde olduğu kabul edilerek, limit denge metodu ile $c=0$, drenajlı içsel sürtünme açısı 22 derece alınarak güvenlik katsayısı 1.90 (25 derece alınarak 2.16) bulunmuştur.



Şekil 2.6. Topaktaş köyü arazisinde Karasu kıyısında yer alan doğal bir şev ve şev stabilitesi problemi.



Şekil 2.7. Geoteknik gözlemlerin yapıldığı noktaların Google Earth görüntüsü üzerinde görünümü.



Şekil 2.8. Van-Erciș Karayolu şev kayması dikey deformasyon.



Şekil 2.9. Van-Erciş Karayolu şev kayması taç bölgesindeki çatlaklar.

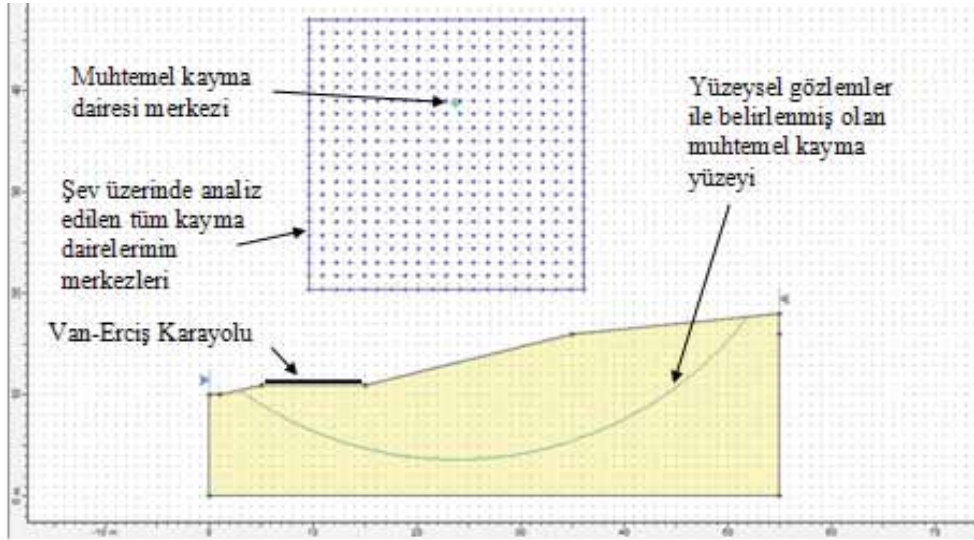


Şekil 2.10. Van-Erciş yolu üzerinde Gedikbulak Köyü yakında karayolu hasarı ve onarımı.



Şekil 2.11. Van-Erciş Karayolu şev kayması çatlakları.

Deprem durumu için Muradiye deprem kayıt istasyonunda alınan ivme ölçümleri, MTA Van depremi sonrası yayınlanan deprem raporundaki fay lokasyonu ve literatürdeki sönümlenme ilişkileri dikkate alınarak 0.2g'lik yatay deprem ivme katsayısı belirlenmiştir. Bu yatay ivme katsayısı kullanılarak yapılan pseudo-statik limit denge analizleri ile drenajlı içsel sürtünme açısı 22 derece alınarak güvenlik katsayısı 1.01 (25 derece alınarak 1.15) bulunmuştur. Şekil 2.12'de analizde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi gösterilmektedir. Yapılan bu ilk çalışmanın birçok belirsizlik de içerdiği göz önünde bulundurulsa bile depremin şevin güvenlik katsayısını ciddi derecede azaltacağı ve şev kaymasına sebep olabileceği beklenebilir.



Şekil 2.12. Şev analizinde kullanılan kesit, muhtemel kayma yüzeyi ve muhtemel kayma dairesi merkezi.

2.5. Geoteknik Gözlemler: Zemin Sıvılaşması, Yanal Yayılma ve Deformasyonlar

Karasu Nehri kıyısında yer alan Tevekli ve Topaktaş köylerinde zemin sıvılaşmasına bağlı olarak yanıl deformasyon (lateral spreading), kum fışkırmaları (sand boils and sand cones) ve geniş yüzey çatlakları yoğun bir biçimde gözlenmiştir. Şekil 2.13 ve 2.14’de kum fışkırmaları ve kum tepcikleri gösterilmektedir. Deprem sırasında kum tepcikleri oluşurken yeraltı suyunun 1-2 m yüksekliğe kadar fışkırdığı köy sakinleri tarafından ifade edilmiştir. Şekil 2.15 ve 2.16’da yanıl yayılma ve deformasyon örnekleri ve buna bağlı yer çatlakları gösterilmektedir. Gözlemlerin yapıldığı bölgelerde yerleşim bulunmaması nedeniyle bu zemin problemlerinin bina hasarına etkisi olmamıştır. Topaktaş ve Tevekli köyünde sıvılaşan zeminlerden alınan numune örnekleri üzerinde laboratuvarda elek analizi deneyleri yapılmış ve numuneler için dane dağılım eğrileri çizilmiştir (Şekil 2.17). Analizlerin sonucu, alınan numunelerin dane dağılımı eğrilerinin sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerin dane dağılım eğrileri aralığında olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.13. Sıvılaşma örneği (Topaktaş Köyü – Karasu kıyısı).



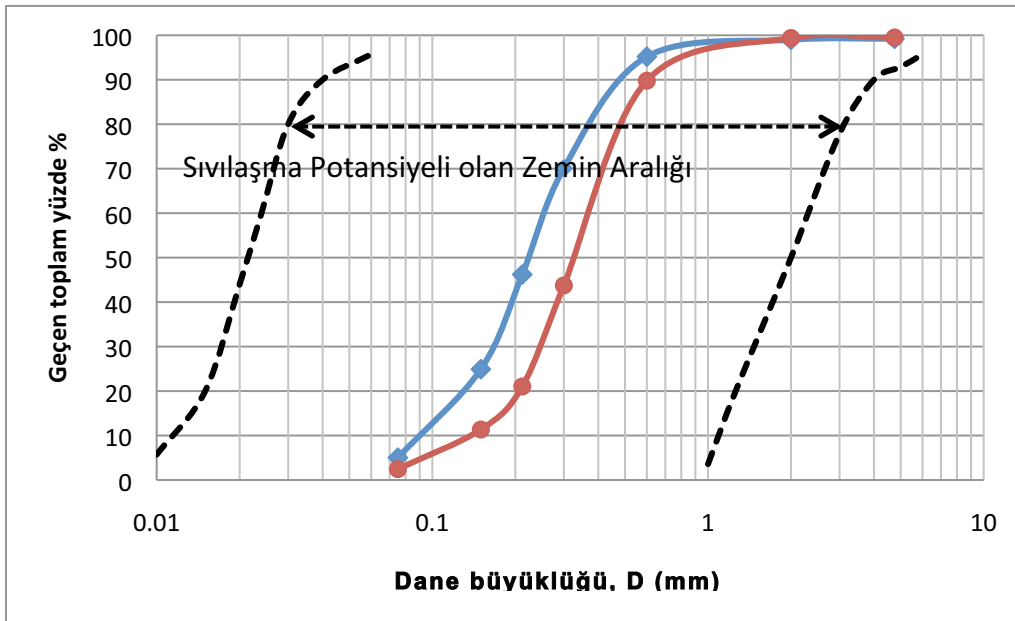
Şekil 2.14. Sıvılaşma ve kum tepciği örneği (Topaktaş Köyü-Karasu kıyısı).



Şekil 2.15. Sıvılaşma ve yatay deformasyon örneği (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı).



Şekil 2.16. Sıvılaştırma-yatay deformasyona bir başka örnek (Topaktaş Köyü-Karasu Kıyısı).



Şekil 2.17. Sıvılaştırılan zeminlerden alınan numunelerin dane dağılım eğrileri ve sıvılaştırılabilir zeminlerin dane dağılımı aralığı.

3. BİNA HASARI

**Ahmet Yakut
Barış Binici
Erdem Canbay
Altuğ Erberik
Afşin Sarıtaş
Alper Aldemir
İsmail Ozan Demirel
Barış Erdil
Özer Ay
Ramazan Demirtaş**

3.1. Giriş

Raporun bu bölümünde deprem sonrası yapısal hasar gözlemleri ve hasar tespit çalışmalarına ilişkin elde edilen veriler ve yapısal performansla ilişkin genel değerlendirmeler verilmektedir. Çalışmalar betonarme binalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Betonarme yapılar için Van il merkezinde seçilen alanda genel gözlemler yapılmış olup, il genelinde özellikle hasar görmüş bazı binalar incelenmiştir. Erciş ilçe merkezinde ise çok daha ayrıntılı hasar tespit çalışmaları ve gözlemler yapılmıştır. Hasarın en yaygın olduğu Van yolu caddesinin büyük bölümü taranmış ve tüm binalar incelenmiştir. Bunun yanısıra ilçe merkezinde yıkılmış ve ağır hasar görmüş birçok bina için gözlemler ve tespitler yapılmıştır. Yapısal hasara ilişkin olarak öncelikle gözlenen hasar türleri için örnekler verilerek değerlendirmeler yapılmaktadır. Sonraki bölümlerde ise hasar tespit çalışmalarının ayrıntıları verilerek incelenen binalara ilişkin yapılmış olan analizler ve hasar istatistiklerine yer verilmektedir. Gözlemlenen hasarlar ve yapılan incelemeler ışığında Van ve Erciş yapı stoğunun yapısal performansına ilişkin genel değerlendirmeler yapılmaktadır.

Bu bölümün son kısmında ise Van Depremi'nde kırsal yığma yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarıyla ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır.

3.2. Gözlenen Betonarme Bina Hasarları

Erciş ilçesinde ve Van ilinde yapılan gözlemler sonucunda betonarme bina hasarları dört ana grupta toplanabilir: 1) Toptan Göçme, 2) Ağır hasar, 3) Yapısal elemanları hasarsız, yapısal olmayan dolgu duvarları hasarlı, 4) Hasarsız binalar. İlk üç guruba ait bina hasarları detaylı olarak aşağıda sunulmaktadır.

Erciş ilçe merkezinde yapısal hasarın daha yaygın olması hasar tespit çalışmalarının Erciş'te yoğunlaşmasını gerektirmiştir. Erciş ilçe merkezinde çok katlı betonarme binalara sıklıkla rastlanırken, ilçe merkezinden uzaklaştıkça betonarme çerçeve (BÇ) binaların kat sayısının azaldığı, bir-iki katlı yığma binaların yaygınlaştığı, bina yaşının arttığı ve ilçe merkezinde genellikle iş yeri olarak kullanılan, yüksek ve dolgu duvarsız giriş katların (yumuşak kat) mesken olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Her ne kadar ilçe merkezindeki binaların daha çok mühendislik hizmeti aldığı iddia edilse de, bina hasarının ilçe merkezinde yaygın olduğu dikkati çeken bir husustur. Van il merkezindeki binalarda yaygın bir hasar gözlenmemiştir¹. Bazı binalarda sıva çatlağı, dolgu duvarlarda çapraz şeklinde kesme çatlakları, düzlem dışı dolgu duvar göçmesi gibi orta-ağır düzeyde yapısal olmayan hasar gözlenmekle birlikte binaların yapısal elemanları genellikle hasarsızdır. Az sayıda göçme, tekil olarak inşa edilmiş binalarda gözlenmiştir. Erciş ve Van'da gözlenen bina hasarları, binaların deprem etkisi

Bu raporda Van ili ile ilgili olarak verilen hasar tablosu 23 Ekim 2011 Van-Erciş Depremi'nin yaratmış olduğu Van Merkez'deki yapı stokunda gözlenen hasarlarla sınırlıdır. 9 Kasım 2011 tarihinde gerçekleşen ve Van İli merkezinde 36 kişinin hayatını kaybetmesine neden olan Van-Edremit Depremi ile ilgili ODTÜ-DMAM raporu bağımsız bir döküman olarak yayımlanacaktır. Bu amaçla Van-Edremit Depremi'nin yarattığı yapısal hasarı araştırmak üzere ODTÜ-DMAM üyeleri deprem bölgesinde çalışmalarına başlamıştır.

altında davranışlarını olumsuz etkileyen yapısal zayıflıklarıyla birlikte aşağıda değerlendirilmiştir.

3.2.1. Yıkılan Binalar

Yıkılan binalar içerisinde göçme mekanizmasının ve binanın yıkılmasına yol açan zaafların en zor belirlenebildiği binalar tamamen göçüp kolon, kiriş, perde gibi yapı elemanlarının ayırt edilemediği, enkaz haline gelen binalardır (Şekil 3.1). Bu binalar hakkında bilgiye ulaşmak için bina sahiplerinin veya binada oturanların bilgisine başvurulmuştur. Enkazda yapılan incelemeler sonucunda bu binaların genellikle çok katlı oldukları (genellikle 5-7 kat), el ile ufalanabilecek kadar düşük kalitede beton dayanımına sahip oldukları, düz donatıların sıyrıldıkları ve yetersiz sıklıkta ve çapta kullanılan etriyeler arasında burkuldukları gözlenmiştir. Ayrıca yıkılan binaların çevresinde benzer yapısal özelliklerdeki binaların kimi zaman yapısal hasarsız olarak depremi atlatabildikleri görülmüştür. Tamamen göçen bu binalarla ilgili binalarda oturanlarla yapılan söyleşilerde Erciş'te bulunan 3 binada; önce giriş katın iş yeri olarak yapıldığı, bir kaç yıl sonra üstüne 4 – 5 kat daha çıkıldığı öğrenilmiştir. Van'da yıkılan bir binada ise oto galerisi olarak kullanılan giriş katında yer açmak için kolonların kesildiği söylenmiştir.



Şekil 3.1. Tamamen göçüp enkaz haline gelen binalar.

Yıkılan binalara bir diğerk örnek ise kat seviyelerindeki döşemelerin üst üste yığılarak göçtüğü binalardır (Şekil 3.2). Taşıyıcı sistemin yanal rijitliğinin düşük olması sebebiyle oluşan yüksek yanal öteleme isteminin karşılanamadığı bu göçme mekanizması yanal rijitliği sağlayacak perdelerin olmaması, kirişlerin kolonlardan daha güçlü oluşu dolayısıyla plastik mafsalların kolonlarda oluşması gibi nedenlerden dolayı kolonların stabilitesini yitirmesiyle veya kiriş donatılarının sıyrılması sonucu birleşim bölgelerinin tamamen ayrılması ile oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Katların üst üste yığılması sonucu yıkılan binalar.

Yıkılan binalarda en fazla rastlanan düzensizlik olan yumuşak kat düzensizliği Erciş ilçe merkezinde ve Van il merkezinde oldukça yaygındır. Binaların giriş katlarının işyeri olarak kullanılması amacıyla bazen 6 metreye varan yüksekliklerde ve dolgu duvarlar kullanılmadan inşa edilen bu binalar, yanal yükleri ve öteleme taleplerini karşılamak için perdelerin kullanılmadığı durumlarda üst katlara göre oldukça esnek davranmakta, üst katlar yumuşak katın üzerinde deforme olmadan ötelenirken yumuşak kat kolonlarında oluşan plastik mafsallar stabilitenin bozulmasına neden olmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yumuşak kat düzensizliğinden dolayı yıkılan binalar.

Yıkılan binalar içinde gözlenen bir diğer hasar tipi zayıf ve/veya yumuşak kata bağlı göçmelerdir (Şekil 3.4). Binanın kat rijitliğindeki ani değişimden (örneğin kolon kesilmesi, dolgu duvarların kaldırılması vs) dolayı yanal rijitliği zayıf olan katın göçmesi olarak açıklanabilecek bu göçme mekanizması Erciş'te 2 adet binada gözlenmiştir. Şekil 3.4.b'de gösterilen binada üst iki katın sonradan çıktığı bilgisine de ulaşılmıştır.



Şekil 3.4. Zayıf kat üzerine yıkılan binalar.

3.2.2. Ağır Hasarlı Binalar

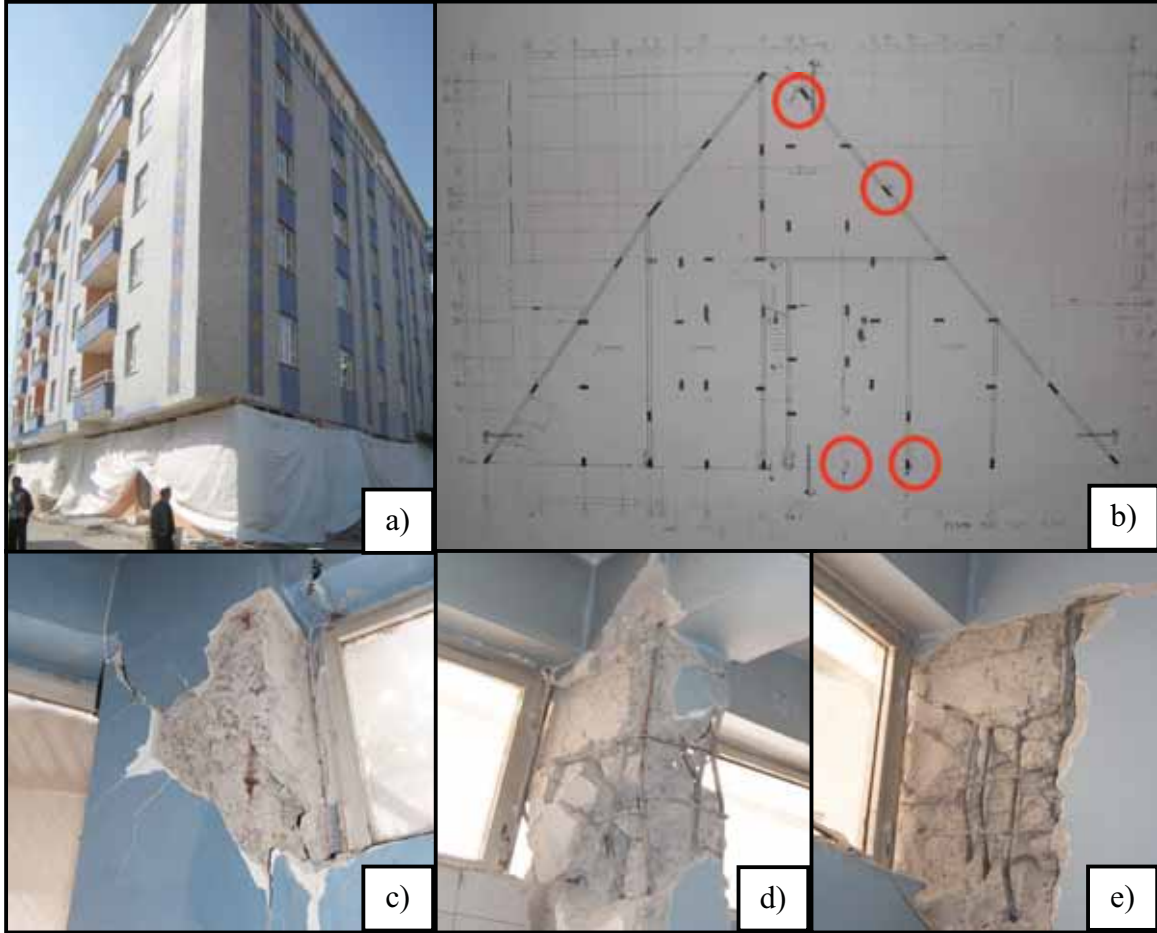
Deprem bölgesinde ağır hasarlı binalara genel bir örnek olarak Şekil 3.5'de gösterilen kolon uç bölgelerinde plastik mafsalların olduğu binalar verilebilir. Bu şekilde gösterilen binaların ikisi de Erciş ilçe merkezindedir. Binalardan ilkinde dolgu duvarlarda ağır hasar gözlenirken (Şekil 3.5.a) ikinci binada hasar kolon uç bölgeleriyle sınırlı kalmıştır (Şekil 3.5.b). İki binada da yumuşak kat düzensizliği ve donatı detaylandırılmasında çiroz kullanılmaması ortak

zaaflar olarak gösterilebilir. İkinci binada perde kullanılmasına rağmen perdenin binanın köşesine yerleştirilmesinden dolayı burulma etkisi kolonları olumsuz etkilemiştir.



Şekil 3.5. Zemin kat kolon uç bölgelerinde plastik mafsallar oluşan ağır hasarlı binalar.

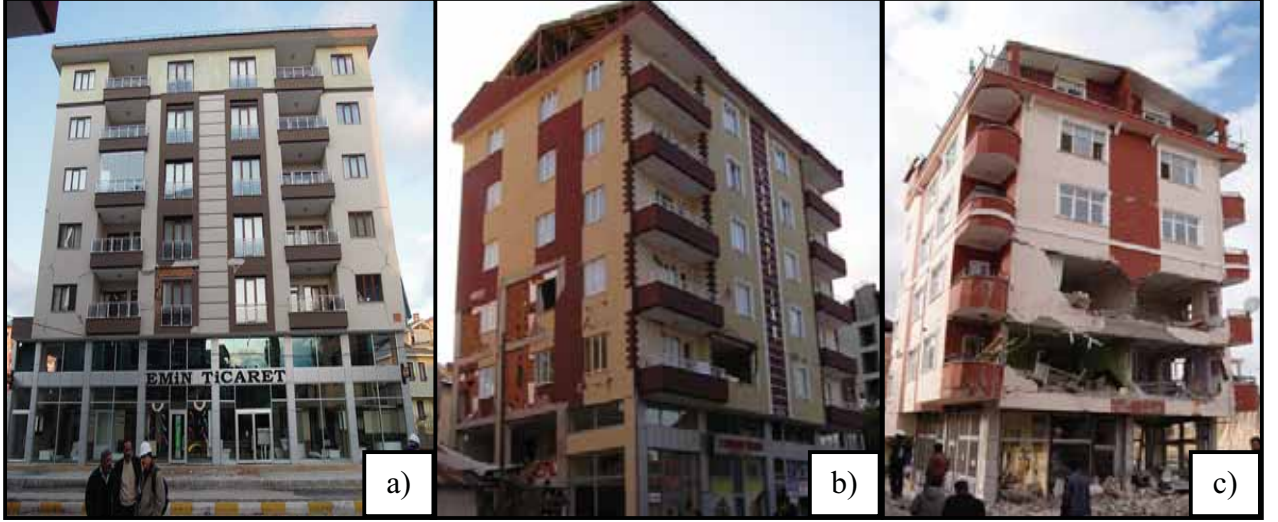
Plan düzensizliği ve kısa kolon oluşumu gibi zayıflıklarda depremde binaların davranışını olumsuz etkilemiştir. Van’ da plan alanı üçgen bir geometriye sahip olan 5 katlı yapının (şekil 3.6 a, b), giriş katında bulunan ve kısa kolon tiplmesi içine giren dört kolonunda ağır yapısal hasar gözlenmiştir (şekil 6.6 c, d, e). Hasarlı kolonlarda etriye kancalarının 90^0 olduğu, yeterli sargı etkisi sağlanamadığı ve etriyelerin kanca hizalarında açıldığı gözlemlenmiştir. ereve düzensizliği de bulunan yapının tüm bu zayıflıklarına rağmen ayakta kalabilmesi; açıklıklarının kısa olması dolayısıyla göçen kolonlarındaki kuvvetlerin kolonlar arası yeniden dağılımıyla açıklanabilir.



şekil 3.6. Plan düzensizliği ve kısa kolon oluşumu gözlenen ağır hasarlı bina.

3.2.3. Dolgu Duvar Hasarları

Dolgu duvar hasarları özellikle Erciş il merkezinde ve Van il merkezinde yaygın gözlenen hasarlardır (şekil 3.7). Duvarlar, düzlem dışı stabiliteleri bozulmadığı ve betonarme ereve sisteminden ayrışmadığı sürece tersinir yanal yükler altında hasar alarak yanal rijitliğine katkı sağlamış ve benzer göçen binalar ile karşılaştırıldığında binanın ayakta kalmasını dahi sağlamıştır.



Şekil 3.7. Dolgu duvar hasarları a) hafif hasar, b) orta hasar c) ağır hasar

3.3. Betonarme Binalar için Hasar Tespit Çalışmaları

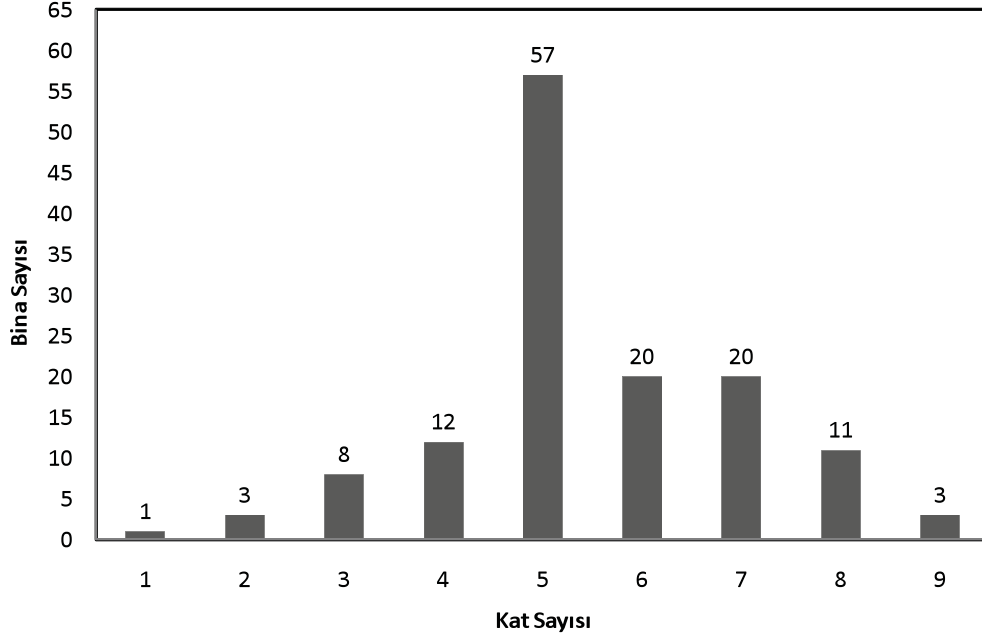
Van ve Erciş'te uygulanan hasar tespit yöntemi binaların öncelikle dışarıdan gözlemler ile incelenmesi ve mümkün olan durumlarda bina içerisine girilerek detaylı gözlemler yapılmasına dayanmaktadır. Her bina, öncelikle kat adedi, coğrafi konumu, düzensizlikler ve bina yaşı gibi bazı genel özellikler açısından dışarıdan incelenmiş, elde edilen veriler değerlendirme formlarına işlenmiştir. Bina içinden yapılan incelemelerdeki amaç ise binanın yapısal sistemi, hasar düzeyi ve hasarın yaygınlığı konusunda gözlemlerde bulunmaktır. Her bina için yapısal ve yapısal olmayan elemanların incelenmesine dayanan iki ayrı hasar düzeyi belirlenmiştir. Yapısal olmayan elemanlar için sadece dolgu duvar elemanları dikkate alınmıştır. Bina geneli için yapılan değerlendirmede hem yapısal hem de yapısal olmayan hasar tespiti için beş farklı hasar düzeyi kullanılmıştır. Hasar seviyeleri (a) yıkık, (b) ağır hasarlı, (c) orta hasarlı, (d) hafif hasarlı ve (e) hasarsız olarak belirlenmiştir. Her bina için toplanan veriler tasarlanmış olan hasar tespit formuna işlenerek derlenmiştir (Şekil 3.8).

İnceleme Ekibi											
Bina Referansı	Adres, Koordinatlar	İnşaat Tarihi	Kat adedi	Hasar Durumu:		Konum (Bağıncaz, Kanar/Böyük, Orta-Büyük)	Düzensizlik (Düzensiz Döşeme, Planda Çukurluklar, Yumuşak Kat, Zayıf Kat, Döşey eleman sınıksızlığı)	Tayyic sistem türü (BÇ, BÇ+Perde, Diğer)	Dolgu Duvar Malzemesi	Döşeme Sistemi (Kıvrık plak döşeme, Asmolen dolgu dışı (renürlü) döşeme, Dolgunuz dışı (renürlü) döşeme, Kıvrık plak döşeme)	Çelik Sınıfı (Düz, Havirli)
				Yapısal	Dolgu Duvar						

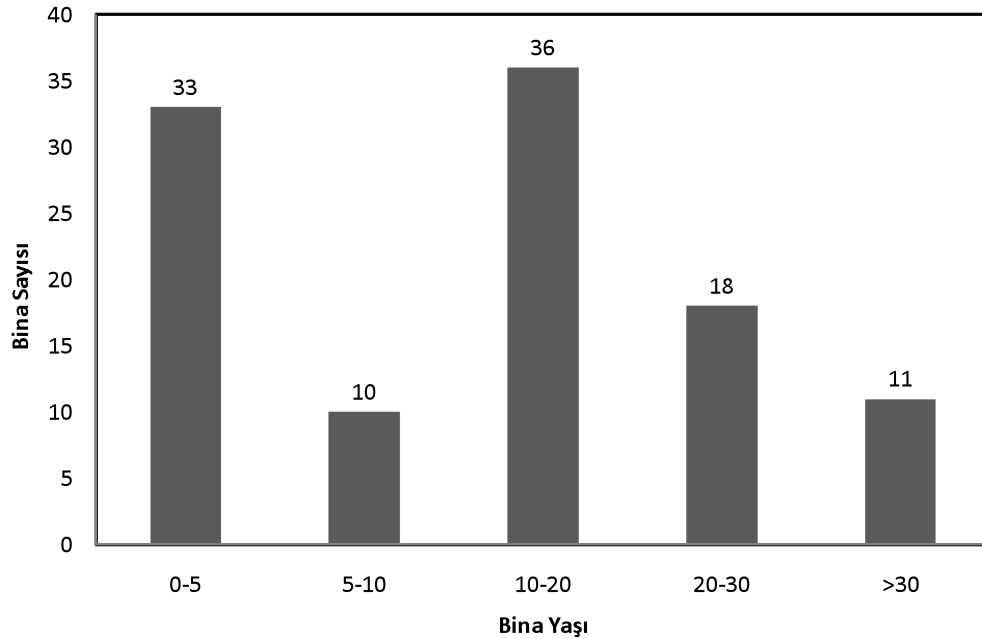
Şekil 3.8. Hasar tespit formu.

3.3.1. Van İl Merkezi Hasar Tespit Çalışmaları

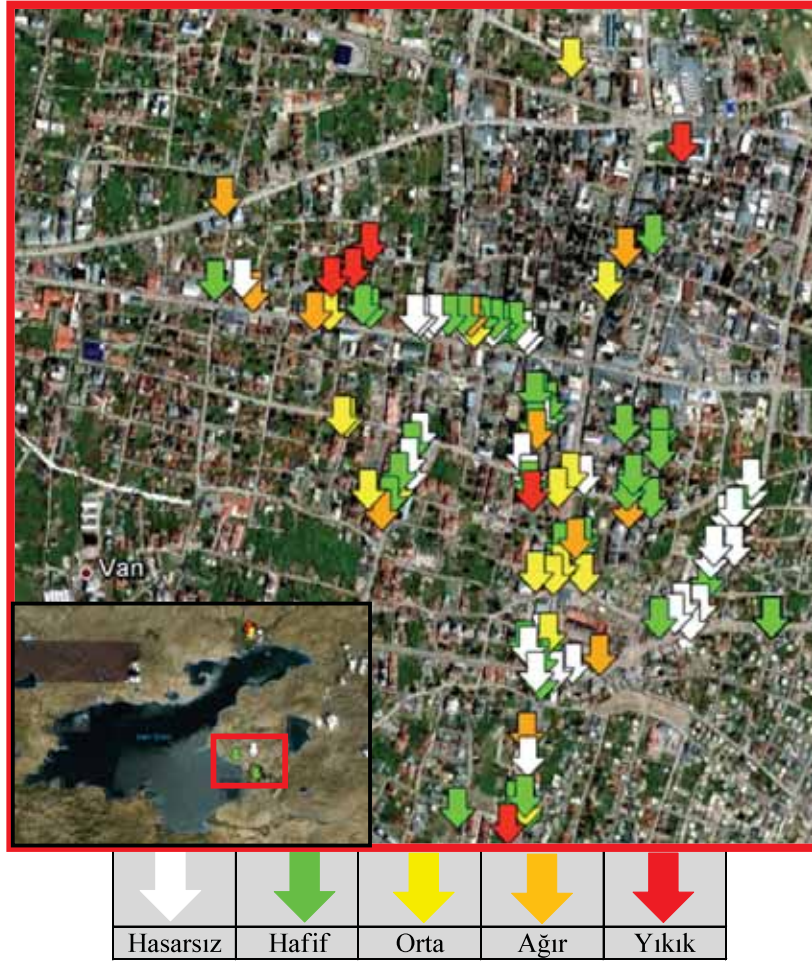
Van ilinde toplam 135 bina için ayrıntılı hasar tespiti yapılmıştır. Bu binalar Van'ın farklı bölgelerinde bulunan konut, iş yeri ve bazı kamu binalarını kapsamaktadır. İncelenen binalara ilişkin genel özellikler Şekil 3.9-3.10'da gösterilmektedir. Şekillerde bina kat sayısı, yaşı, mevki gibi bilgiler sunulmaktadır. Şekil 3.11'de incelenen bölgenin kuşbakışı görüntüsü üzerinde hasar dağılımı gösterilmiştir. Hasar tespit sonucunda elde edilen yapısal ve yapısal olmayan hasar dağılımları Şekil 3.12 ve 3.13'de sunulmaktadır.



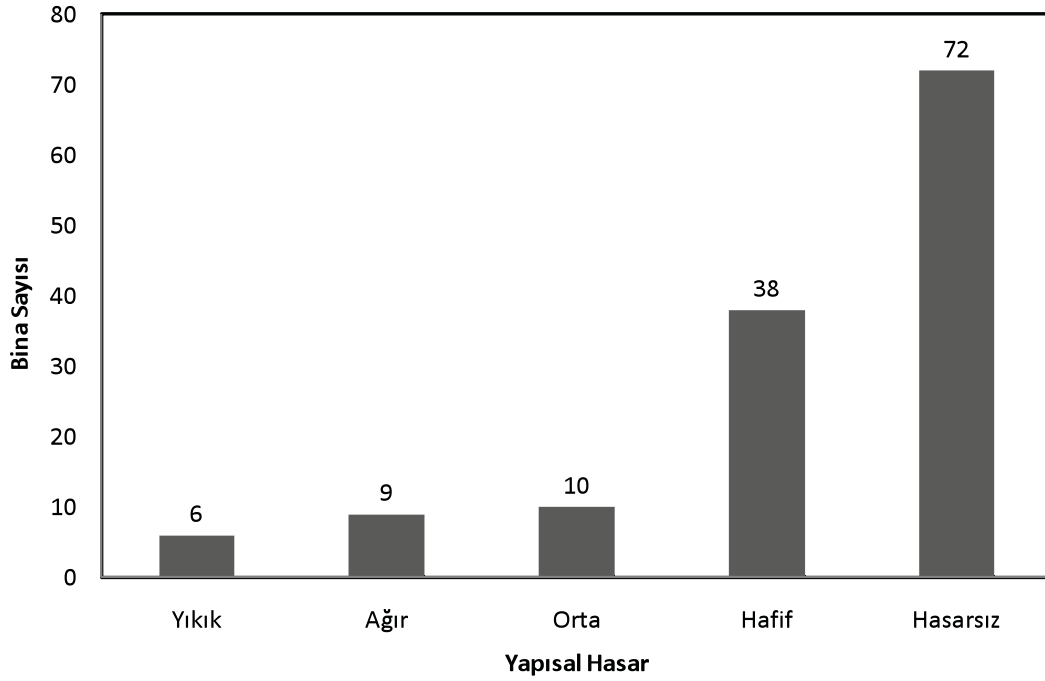
Şekil 3.9. Van il merkezinde incelenen binaların kat sayısına göre dağılımı.



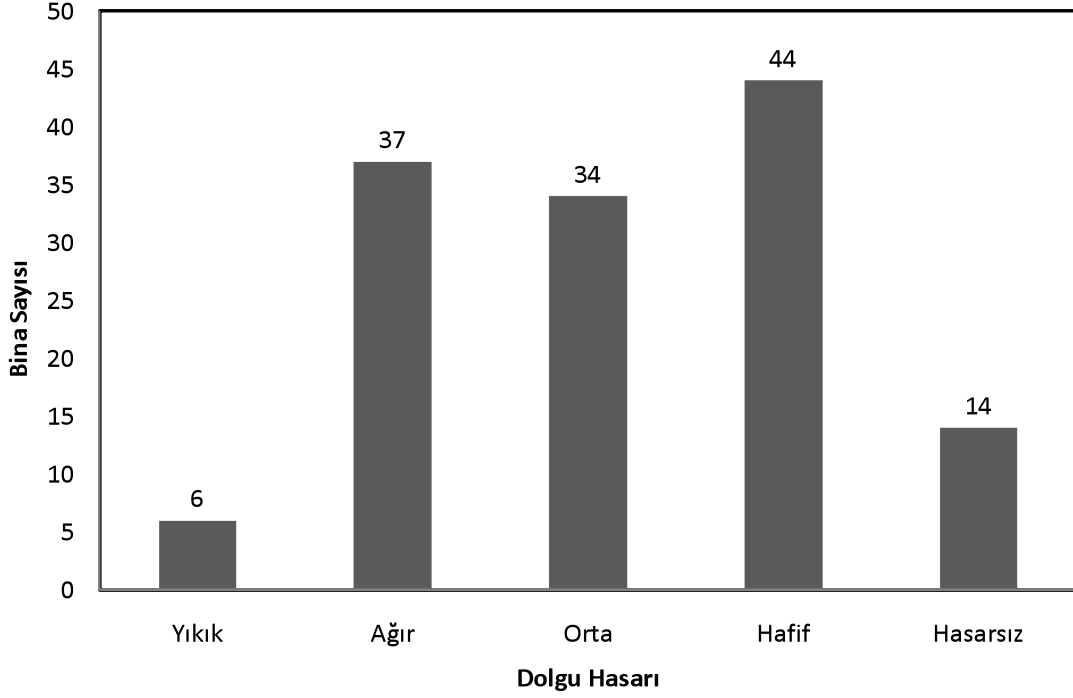
Şekil 3.10. Van il merkezinde incelenen binaların yaş dağılımı (27 adet binanın yaşı belirlenmemiştir).



Şekil 3.11. Van il merkezinde incelenen binaların harita üzerinde gösterimi.



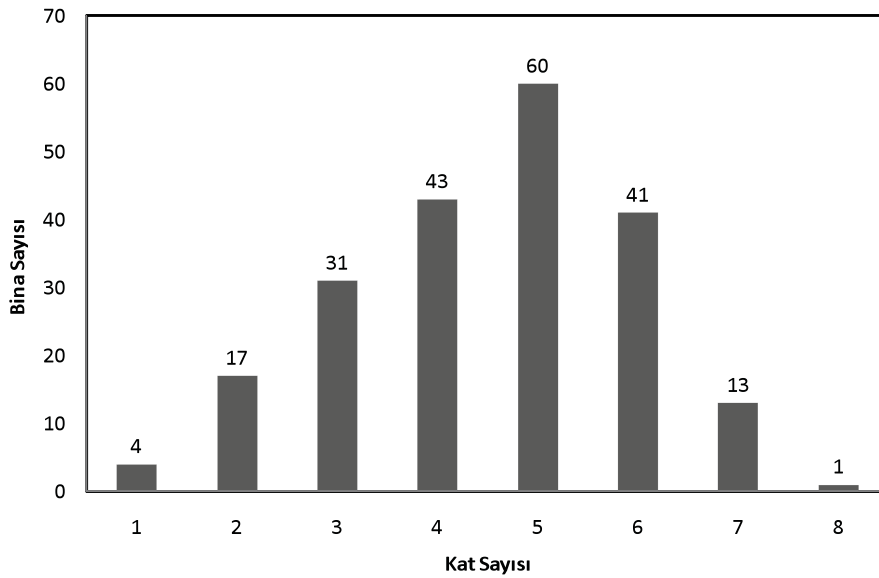
Şekil 3.12. Van il merkezinde incelenen binalarda oluşan yapısal hasarın dağılımı.



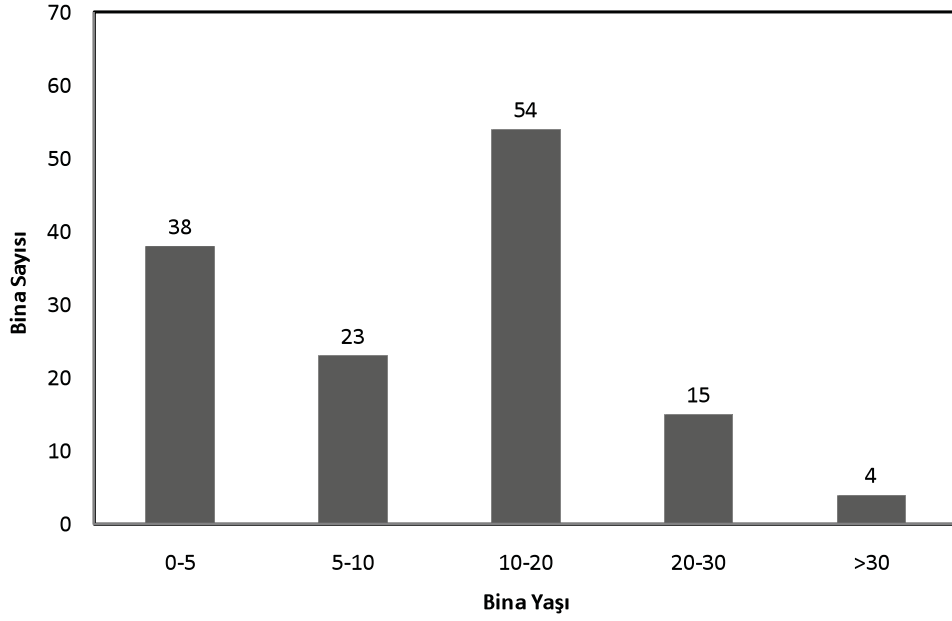
Şekil 3.13. Van il merkezinde incelenen binalarda oluşan dolgu duvar hasarının dağılımı.

3.3.2. Erciş Hasar Tespit Çalışmaları

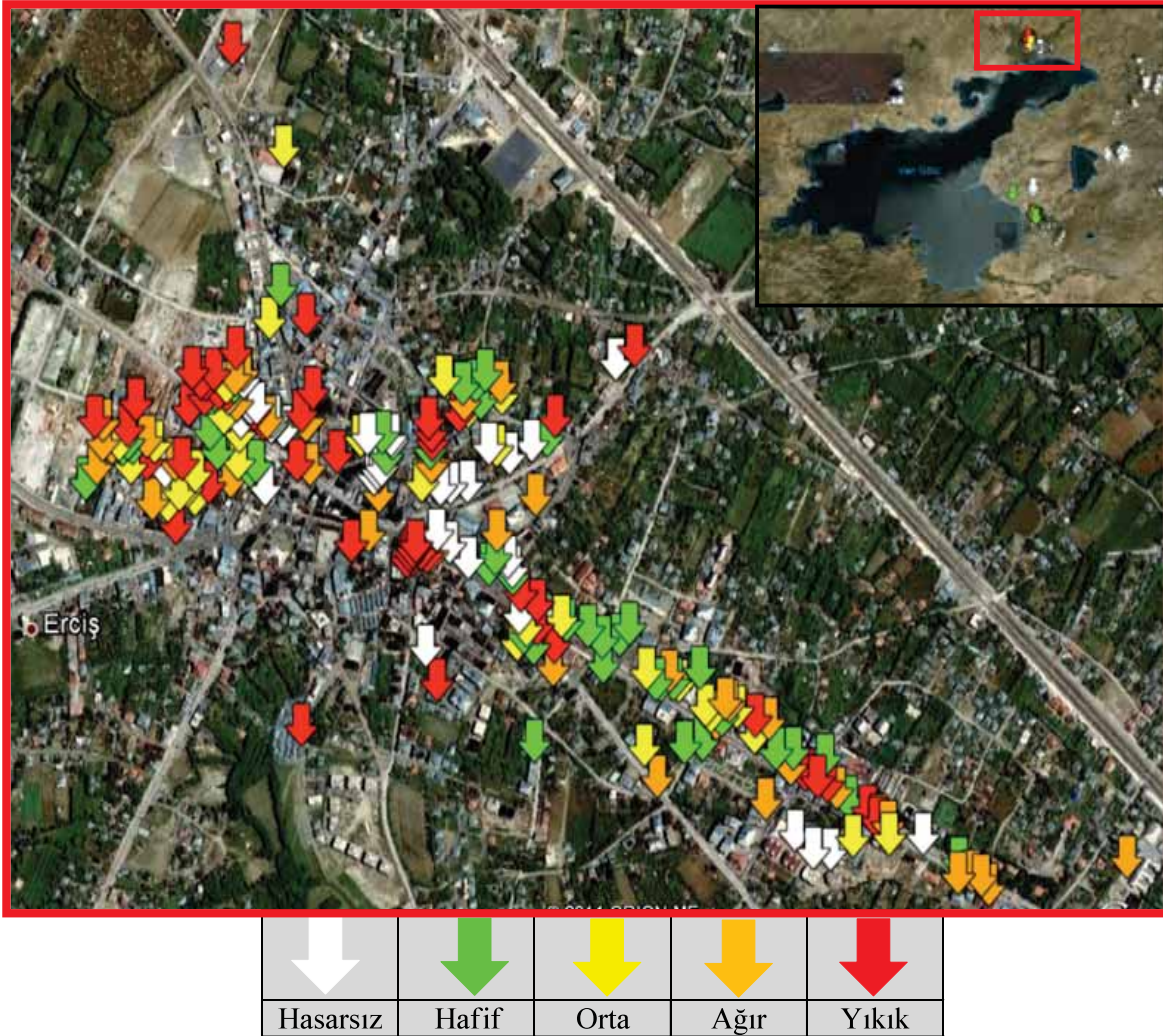
Erciş ilçesi genelinde toplam 213 binada ayrıntılı hasar tespiti yapılmıştır. Bu bölgede en çok hasarın meydana geldiği Van Yolu Caddesi ve çevresindeki birçok bina incelenmiştir. İncelenen binaların kat sayısı ve bina yaşı dağılımlarına ilişkin genel bilgiler Şekil 3.14 ve 3.15’de gösterilmektedir. Ayrıca bu binaların konumları harita üzerinde Şekil 3.16’da gösterilmektedir. Hasar tespit çalışmaları sonucunda elde edilen yapısal ve yapısal olmayan hasar dağılımları Şekil 3.17 ve 3.18’de verilmektedir.



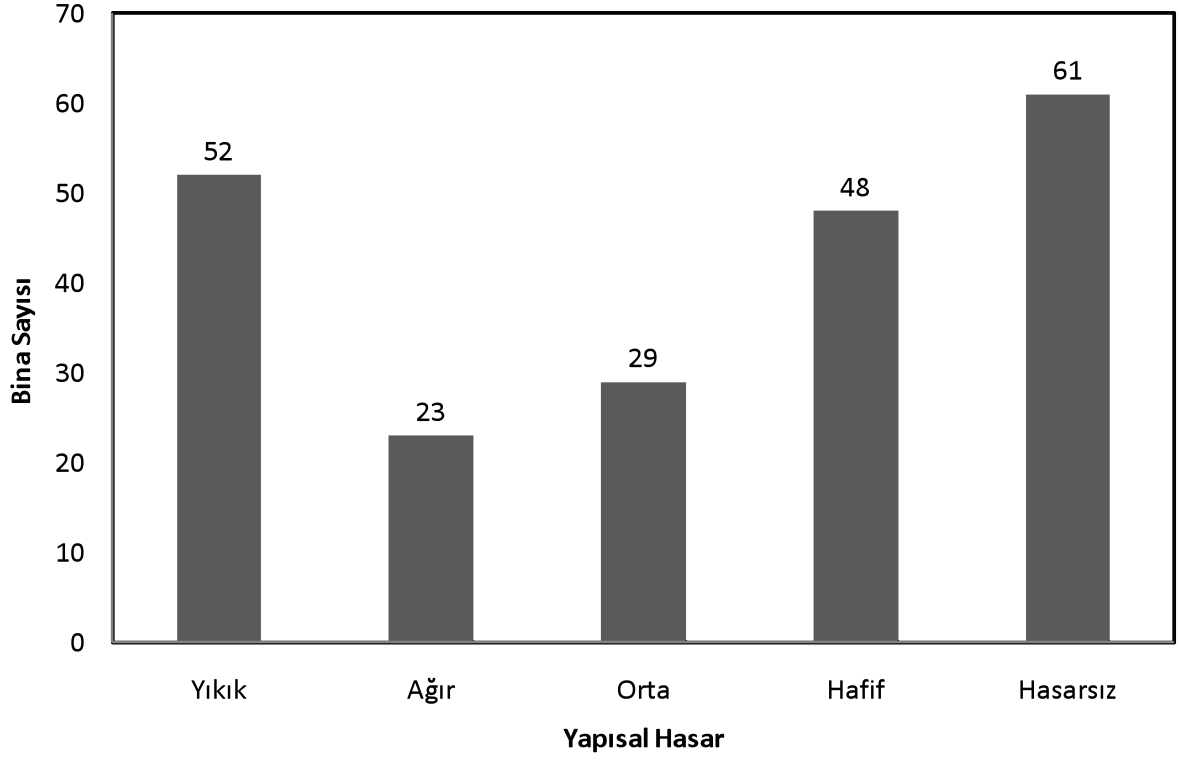
Şekil 3.14. Erciş'te incelenen binaların kat sayısına göre dağılımı (3 adet binanın kat sayısı belirlenememiştir).



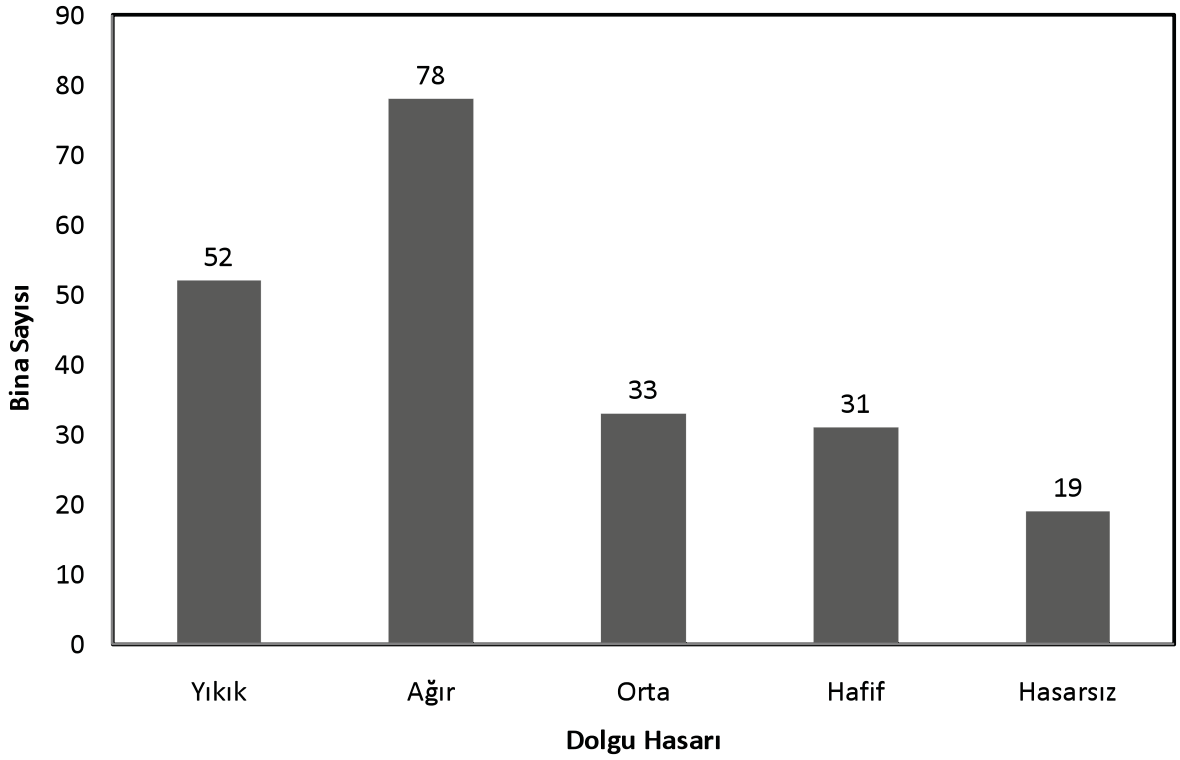
Şekil 3.15. Erciş'te incelenen binaların yaş dağılımı (79 adet binanın yaşı belirlenememiştir).



Şekil 3.16. Erciş'te incelenen binaların harita üzerindeki konumları.



Şekil 3.17. Erciş'te incelenen binalarda oluşan yapısal hasarın dağılımı.



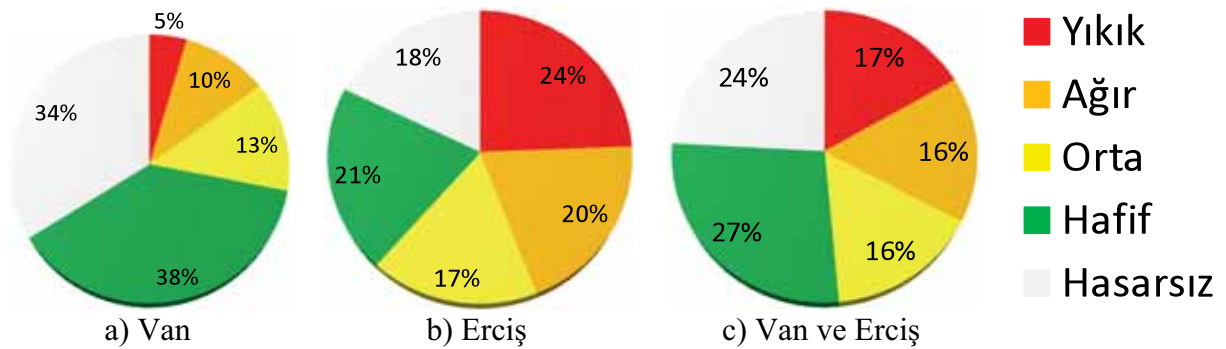
Şekil 3.18. Erciş'te incelenen binalarda oluşan dolgu duvar hasarının dağılımı.

3.4. Toplam Betonarme Bina Yapı Stokunun Hasar Tespit Çalışmaları

Bu kısımda yapısal ve yapısal olmayan hasarların birlikte değerlendirilmesi ile her binanın geneli için bulunan hasar düzeyi verilmiştir. Bu sınıflandırmada kullanılan kriterler Tablo 3.1'de verilmektedir. İncelenen tüm yapı stokunun nihai hasar dağılımı Şekil 3.19'da verilmektedir.

Tablo 3.1. Nihai hasar sınıflandırması

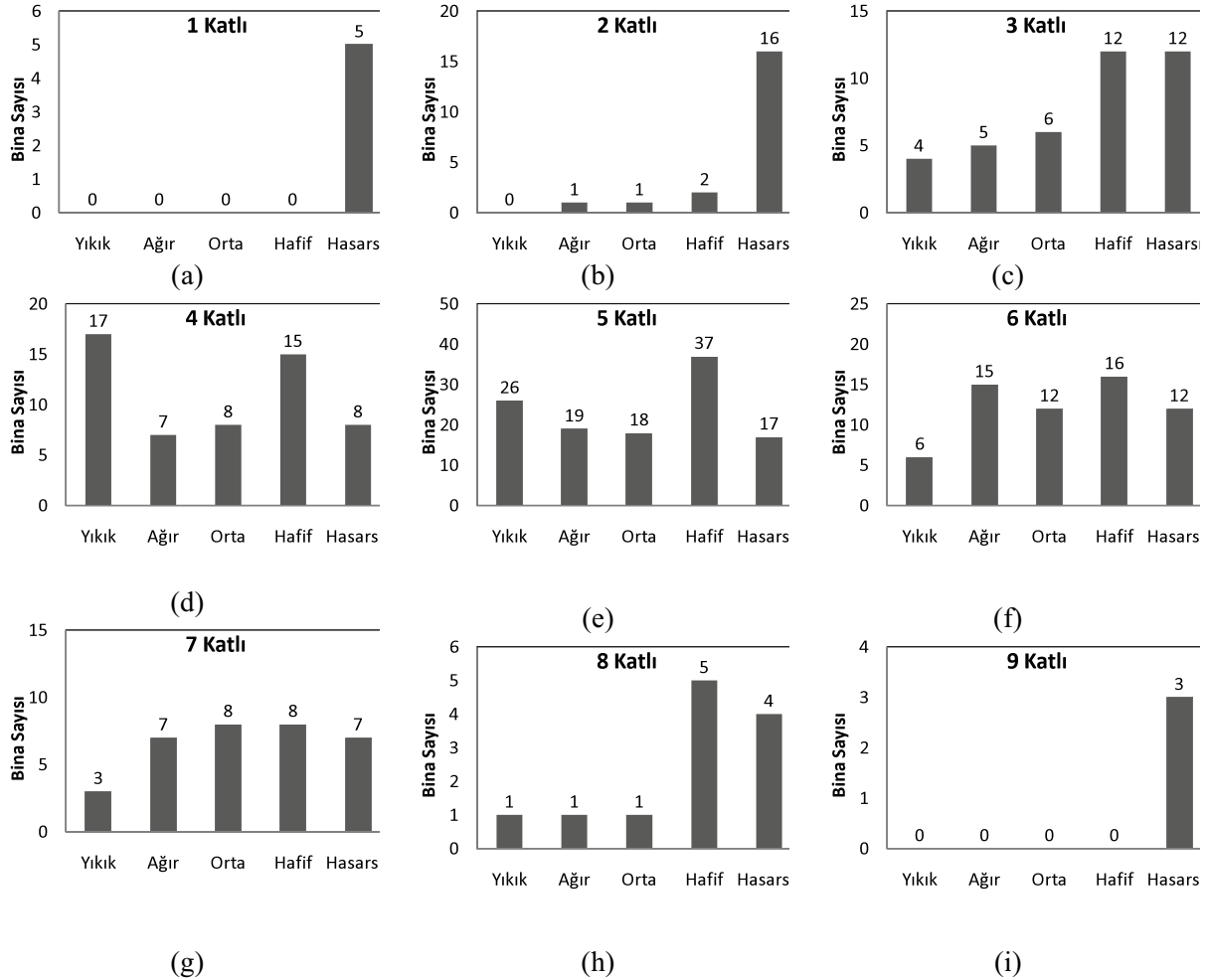
Yapısal Hasar	Dolgu Duvar Hasarı	Nihai Hasar
Yıkık	Yıkık	<i>Yıkık</i>
Orta	Ağır	<i>Ağır</i>
Orta	Orta	<i>Orta</i>
Hasarsız	Ağır	<i>Hafif</i>
Hasarsız	Orta	<i>Hafif</i>
Hasarsız	Hafif	<i>Hasarsız</i>
Hafif	Ağır	<i>Orta</i>
Hafif	Orta	<i>Hafif</i>
Hafif	Hafif	<i>Hafif</i>
Ağır	Ağır	<i>Ağır</i>
Hasarsız	Hasarsız	<i>Hasarsız</i>
Ağır	Hafif	<i>Ağır</i>
Orta	Hafif	<i>Orta</i>
Ağır	Orta	<i>Ağır</i>
Ağır	Hasarsız	<i>Ağır</i>



Şekil 3.19. Nihai hasar oranları.

Şekil 3.19'de verilen hasar istatistikleri bina katının, bina yaşının (1999 yılından önce ve sonra olmak üzere) ve kullanılan donatı türünün hasara olan etkilerini gösterecek şekilde sırasıyla Şekil 3.21.a – 3.21.b'de sunulmaktadır. Hasarın kat sayısına göre dağılımı Şekil 3.20'de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere yıkılan binaların büyük çoğunluğu 4 ve 5 katlıdır

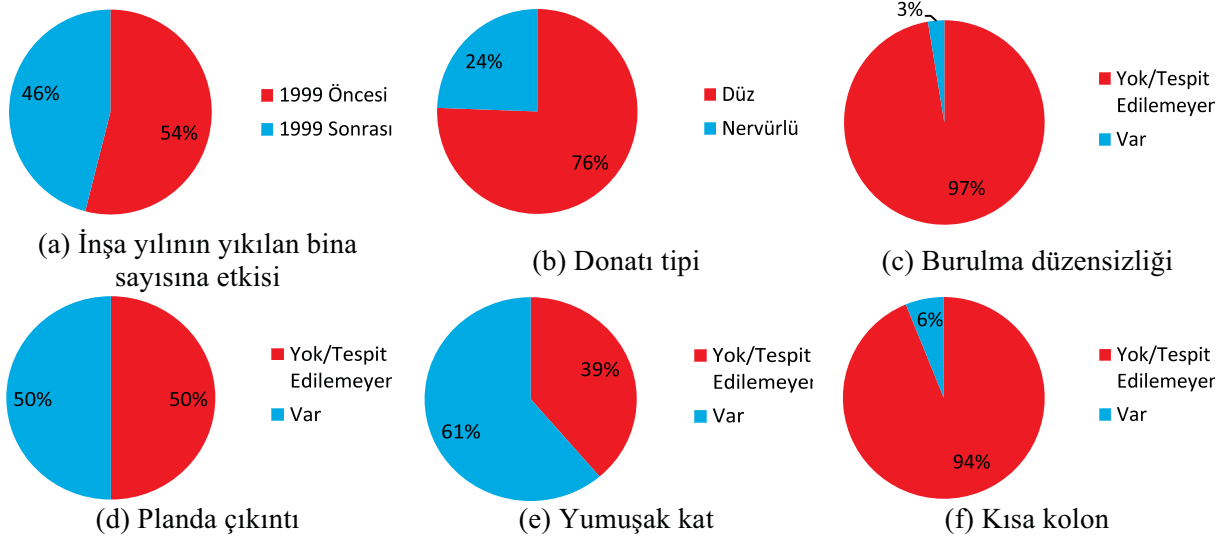
(Tablo 3.2). Bir ve iki katlı binaların ciddi bir hasar almadığı da belirtilebilir. Ağır hasarlı binalar ise genellikle 4-6 katlı bina gurubunda yer almaktadır. Şekil 3.21.a'dan anlaşılacağı gibi yıkım oranına yapım yılının gözle görülür bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda yapı kalitesinin büyük yıkım yaratan 1999 İzmit depreminden sonra dahi değişmediği öne sürülebilir. Ayrıca yıkılan veya ağır hasarlı olan binaların yaklaşık %80'inde düz donatı kullanılmıştır (Şekil 3.21.b).



Şekil 3.20. Bina katsayısına bağlı olarak gözlemlenen nihai hasarlar.

Tablo 3.2. Bina katsayısına bağlı olarak gözlemlenen nihai hasar dağılımı.

Kat Adedi	Yıkık	Ağır	Orta	Hafif	Hasarsız
1	0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	5 (%100)
2	0 (%0)	1 (%5)	1 (%5)	2 (%10)	16 (%80)
3	4 (%10)	5 (%13)	6 (%15)	12 (%31)	12 (%31)
4	17 (%31)	7 (%13)	8 (%15)	15 (%27)	8 (%15)
5	26 (%22)	19 (%16)	18 (%15)	37 (%32)	17 (%15)
6	6 (%10)	15 (%24)	12 (%20)	16 (%26)	12 (%20)
7	3 (%9)	7 (%21)	8 (%24)	8 (%24)	7 (%22)
8	1 (%8)	1 (%8)	1 (%8)	5 (%42)	4 (%34)
9	0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	3 (%100)



Şekil 3.21. Ağır hasarlı veya yıkılmış binaların bazı özelliklerinin istatistiksel dağılımları.

Binalarda gözlemlenen çeşitli düzensizliklerin deprem hasarına olan etkisi Şekil 3.21.c-3.21.f'de gösterilmektedir. Ayrıca, bu grafiklerin daha da anlamlandırılabilmesi için incelenen binalarda gözlemlenen hasarın bina sayısına göre dağılımı Tablo 3.3'te özetlenmiştir. Tablo 3.3'de verilen sonuçlar düzensizliklerin yıkıma yol açan önemli parametrelerden olduğunu açıkça ifade edememektedir. Bunun önemli nedenleri yıkılmış olan binalarda bu parametrelerin kesin olarak tespit edilememiş olması, yıkılmayan binalarda ise dolgu duvarların bina performansına olan belirgin etkileridir.

Tablo 3.3. Hasar durumlarına göre bina sayıları.

		Toplam	Hasarsız	Hafif	Orta	Ağır	Yıkık
Yapım Yılı	1999 Öncesi	119	20	35	19	18	27
	1999 Sonrası	128	37	26	19	23	23
Donatı Tipi	Düz	111	30	33	14	19	15
	Nervürlü	49	12	18	8	6	5
Burulma Düzensizliği	Yok/Tespit Edilemeyen	325	76	86	52	54	57
	Var	23	8	9	3	2	1
Planda Çıkıntı	Yok/Tespit Edilemeyen	127	29	29	12	16	41
	Var	221	55	66	43	40	17
Yumuşak Kat	Yok/Tespit Edilemeyen	123	29	31	17	17	29
	Var	225	55	64	38	39	29
Kısa Kolon	Yok/Tespit Edilemeyen	333	79	94	53	50	57
	Var	15	5	1	2	6	1

3.5. Betonarme Binaların Performansına İlişkin Genel Değerlendirmeler

Deprem büyüklüğü ve merkez üssü düşünüldüğünde beklentilerin aksine Van ili merkezinde oldukça düşük düzeyde hasar gözlenmiştir. Van ili merkezinde hasar çoğunlukla hafif seviyede olup çok yaygın değildir. Bazı binalarda göçmeler meydana gelmiş olup bu binalar farklı bölgelerde bulunan tekil binalardır. Yıkılmış olan binaların yakın çevresindeki komşu binalarda genellikle önemli düzeyde hasar gözlenmemiştir. Van'daki binaların maruz kalmış olduğu yer hareketi deprem kaydı mevcut olmadığından tam olarak bilinmemektedir. Ancak hasarın kent merkezinde yaygın olmaması yer hareketi seviyesinin düşük olduğuna işaret etmektedir (Bkz. Bölüm 1). Bu bağlamda, yıkılmış olan binaların oldukça yetersiz dayanım ve rijitliğe sahip oldukları söylenebilir.

Deprem merkez üssü'ne Van ile yaklaşık olarak aynı mesafede olan Erciş'te ise gözlenen hasar düzeyi daha yüksek ve yaygındır. Yapı stoğu özelliklerinin bölgede ciddi farklılık göstermeyeceği varsayımından hareketle Erciş'teki yer hareketi seviyesinin Van'a göre daha yüksek olduğu söylenebilir (Bkz. Bölüm 1). Yıkılan binaların çoğunun çok katlı (4-6 kat civarında) olmasının yanında, depremi hafif hasarla atlatan ve yıkılan binalara yakın olan birçok çok katlı bina da vardır. Gözlenen hasar ve performans açısından bu depremin en belirgin özelliği dolgu duvarların yapı performansına olan etkisidir. Dolgu duvarlar birçok binanın performansını doğrudan etkilemiş olup birçok binada ağır dolgu duvar hasarı meydana gelmesine rağmen yapısal sistemde ve elemanlarda önemli seviyede hasar gözlenmemiştir. Bina performansı ile inşa tarihi arasında belirgin bir ilişkinin olmaması, yapıların yapıldıkları tarihteki standartlara uygun yapılmadığını göstermektedir. Erciş'teki inşaat pratiğinin genellikle bina sahiplerinin kendi inşaatlarını yaptırılmaları şeklinde olduğu bilgisi ise bunu kısmen desteklemektedir. Eski yapılaşmanın olduğu bölgelerde gözlenen bazı göçmelerin bu binalara ek kat çıkmış olmasından kaynaklandığı görülmüştür.

Van ve Erciş'te deprem sonrası incelenen yapı stoğundan yola çıkarak yıkılan veya ağır hasar alan binalarda:

- Yetersiz donatı detaylandırılması
 - i. Seyrek etriye kullanımı
 - ii. Kritik bölgelerde etriye sıklaştırılması yapılmaması
 - iii. Sismik etriye kullanılmaması
 - iv. Çiroz kullanılmaması (örneğin, 1m genişliğindeki bir kolon sadece tek bir etriyeyle sarmalanmış.)
 - v. Düz donatı kullanımı
- İlk katların dolgu/perde duvarsız dükkân olarak kullanılması
- İşçiliğin ve malzemenin kalitesizliği

göze çarpmaktadır. Bu yetersizlikler göçmeye sebep olmakla birlikte, yapı deprem performansı açısından dolgu duvarların davranışını da ön plana çıkarmaktadır. Dolgu duvarlar (izolasyon sebebi ile genellikle çift sıra olarak yerleştirilmişlerdir) yapıya ciddi rijitlik kazandırmaktadır. Düzlemleri içinde varlığını koruyabilen dolgu duvarlar yapı elemanlarının ciddi ötelemelere maruz kalmasını engelleyerek binanın göçmesine mani olabilmektedir. Ancak bazı durumlarda ise düzlem dışı göçerek bina davranışını ani olarak

değiştirebilmektedir. Bunun yanında, gayet doğal olarak, duvar çatlaklarına bakarak binasını bir daha kullanmamak üzere yapıya girmeme kararı alan bölge halkında travma etkisi yaratmakta, aşırı mal kaybına sebep olmakta ve afet sonrası müdahaleleri zora sokmaktadır. Bu bağlamda yeni binalarda dolgu duvar yapımı, montajı ve çerçeve sistemle olan ilişkisi acilen ele alınmalıdır. Mevcut binalarda ise çerçeve içerisindeki dolgu duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranış etkileşimleri bilimsel çalışmalarla irdelenmelidir.

Güçlendirilmiş yapıların deprem performansı güçlendirme yöntemi ve detaylarının başarısı hakkında önemli ipuçları sunabilmektedir. Bu bağlamda, Erciş'te bir adet okul binası güçlendirme hizmeti almış olup incelenen binalar arasındadır (Şekil 3.22). Binada aks içlerine perde ilave etmek sureti ile güçlendirme gerçekleştirilmiştir. Genel olarak okul binası beklenen deprem performansını sergilemiştir. Dolgu duvar çatlakları ve mevcut perdelerde bir miktar kesme çatlakları gözlenen en önemli hasarlardır. Buna ek olarak ilave edilen perdenin birinci kat kirişi altında bir arayüz çatlağı gözlemlenmiştir. Bu çatlak, perdenin kirişe ankrajlandığı bölgelerin zorlandığını ve ankrajların kayma-çekme yüklemesi altında sıyrılmaya çalıştığını göstermektedir. Genellikle donatı çapının 10 katı şeklinde yapılan ankraj gömme derinliği özellikle düşeyde yerçekimine karşı epoksi ile doldurularak uygulandığında yetersiz kalabilmektedir. Bu kapsamda, perde ilavesi ile güçlendirme yönteminde ankraj tasarımlarının önemi ortaya çıkmaktadır.



Güçlendirme için ilave edilen Perdede Arayüz Çatlakları

Şekil 3.22. Güçlendirilen bir okul binasında gözlenen hasar

3.6. Kırsal Yığma Yapı Hasarları

Van Depremi sonrasında kırsal yığma yapılarındaki hasarları incelemek amacıyla iki ayrı ODTÜ-DMAM ekibi saha çalışmaları yapmıştır. İlk ekip 25 Ekim 2011’de bölgeye ulaşmış ve Van-Erciş karayolu üzerinde, Erciş’e 55 km uzaklıkta yer alan Canik mahallesinde incelemelerde bulunmuştur. İkinci ekip ise 2 Kasım 2011 günü bölgeye ulaşmış ve Van’ın kuzeydoğusunda artçı depremlerin merkezine yakın olan köylerde saha gözlemleri yapmıştır. İkinci ekip, gittiği her köyde çok hızlı olarak yaygın yapı tipini belirlemiş; köy muhtarlarından ve sakinlerinden deprem öncesi kaç yapı olduğu, depremde kaç tanesinin tamamen çöktüğü, her köyde ne kadar can kaybı olduğu bilgilerini elde etmeye çalışmıştır.

Bölgenin sosyoekonomik ve iklim koşullarına uygun bir şekilde yığma malzemesi olarak genellikle moloz taş ve kerpiç kullanılmıştır. Ancak bölgede kullanılan bu tür yığma yapı malzemelerinin birim dayanımları oldukça düşüktür (1-5 MPa aralığında). Dolayısıyla bu malzemeler ile örülen duvarların dayanımı da yetersiz kalmaktadır (Şekil 3.23). Bu zayıflık, söz konusu yapıların orta şiddetli depremler de bile ağır hasar görmesine hatta yıkılmasına yol açabilmektedir.



Şekil 3.23. Dayanımı yetersiz yığma malzemesi kullanımı sonucu ortaya çıkan hasar; sol panel: kerpiç yığma yapı, sağ panel: moloz taş yığma yapı.

Bölgedeki kırsal yığma yapılarda duvar malzemesi olarak beton briket ve bims kullanıldığı da gözlenmiştir. Bims, özellikle ısı-ses yalıtımı ve öz ağırlığı bakımından normal yapı elemanlarına nazaran oldukça büyük avantajlara sahip olan hafif agregalı yapı elemanlarıdır. Volkanizma sonucu oluşan, doğal, volkanik bir kayaç olan bu yapı malzemesinin Türkiye genelinde en büyük rezervleri, Orta ve Doğu Anadolu Bölgelerindedir. Bu sebeplerden dolayı son yıllarda bölgede gittikçe artan bir eğilimle kullanım alanı bulmaya başlamış olduğu düşünülmektedir. Belli bir standartta üretilen bir malzeme olmasına rağmen kerpiç ya da moloz taş duvarların yanısıra bu tip malzemelerden yapılan duvarların da deprem esnasında yıkıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Bims yapı malzemesinden yapılmış bir kırsal yığma binada gözlenen hasar.

Bölgedeki yapılarda genellikle çamur harç kullanıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.25). Çamur harcın dayanımı oldukça düşüktür, bağlayıcılık özelliği azdır ve iklim koşullarının da etkisiyle zamanla derzlerden akmaktadır. Bu durum, duvarın bir bütün olarak çalışmasını engellemektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, zayıf dayanımı olan duvar malzemesi ile birlikte çamur harç kullanılması duvarın düzlem-içi kuvvetlere karşı dayanımını oldukça azaltmaktadır.



Şekil 3.25. Çamur harç ile örülmüş kerpiç yığma duvarda deprem sonrası ortaya çıkmış olan hasar.

23 Ekim depremi sonrası bölgedeki kırsal yapılarda en çok gözlemlenen hasar türü, taşıyıcı yığma duvarların düzlem-dışı yönde yıkılmasıdır (Şekil 3.26). 2010 yılında Elazığ'da meydana gelmiş olan depremde de benzer bir durum ortaya çıkmıştı. Bu durum, Doğu Anadolu'da kırsal bölgelerde inşa edilen yığma yapıların duvar-duvar ve duvar-döşeme bağlantılarının genellikle zayıf olduğunu göstermektedir. Belirli standartlar çerçevesinde tasarımı yapılmış yığma binaların diğer yapılara oranla en büyük üstünlüklerinden biri yanal kuvvetlere karşı kutu davranışı göstermeleridir. Bir başka deyişle birbirini kesen tüm duvarların ortak olarak çalışmaları ve gelen yanal kuvvetlere karşı koymaları durumudur. Ayrıca bu tip yapılarda bulunan rijit döşemeler, gelen yatay yükleri düzgün bir şekilde

detaylandırılmış bağlantılarla (yatay hatıllar aracılığı ile) taşıyıcı duvarlara sağlıklı bir şekilde aktarabilmektedirler. Ancak bölgedeki mühendislik hizmeti görmemiş kırsal yığma yapılarda bu durum söz konusu değildir. Duvar-duvar bağlantıları çok zayıf olduğu için her duvar ayrı çalışmaktadır. Duvar-döşeme bağlantılarındaki zayıflıklar da yükün orantılı bir şekilde duvarlara dağıtılmasını engellemektedir. Her iki türden bağlantı zayıflığının bulunduğu yapılarda, taşıyıcı yığma duvarlar adeta tek başına ayakta duran konsol bir duvar gibi çalışmaktadır. Bu durumda duvarlar daha düzlem-içi zorlanmaya maruz kalmadan önce düzlem-dışı yönde yıkılmaktadırlar.



Şekil 3.26. Duvar-duvar, duvar-döşeme bağlantılarındaki zayıflıklardan dolayı düzlem-dışı hasara zorlanmış olan yığma yapılar.

Bölgedeki kırsal yığma binalarda tespit edilen bir diğer yapısal kusur ise aynı yapıda farklı taşıyıcı duvar malzemesi kullanımınıdır (Şekil 3.27). Bu tip yapılarda malzeme türü, inşaatın yapıldığı dönemdeki sosyoekonomik olanaklar dâhilinde, duvardan duvara değişmektedir (bir duvar kerpiç, bir duvar taş vb.). Farklı malzeme türleri, farklı mekanik özellikler sergiledikleri için bu tip yapıların deprem esnasında bütünleşik bir davranış göstermesi mümkün değildir. Buna ek olarak, farklı malzemeler kullanılarak örülmüş duvarların birlikte çalışmasını sağlayacak detaylar bölgedeki mühendislik hizmeti görmemiş kırsal yığma yapılarda mevcut değildir.

Yukarıda bahsedilen yapısal kusurlar dışında yetersiz taşıyıcı duvar miktarı, (yapıda zayıf bölgeler oluşmasına yol açan) pencere ve kapı boşluklarının hatalı yerleşimi gibi faktörlerin de Van Depremi esnasında kırsal yığma yapı hasarını arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.27. Taşıyıcı duvarlarında farklı malzemeler (kerpiç, taş, briket) kullanılmış ve Van depremi esnasında yıkılmış bir yığma bina.

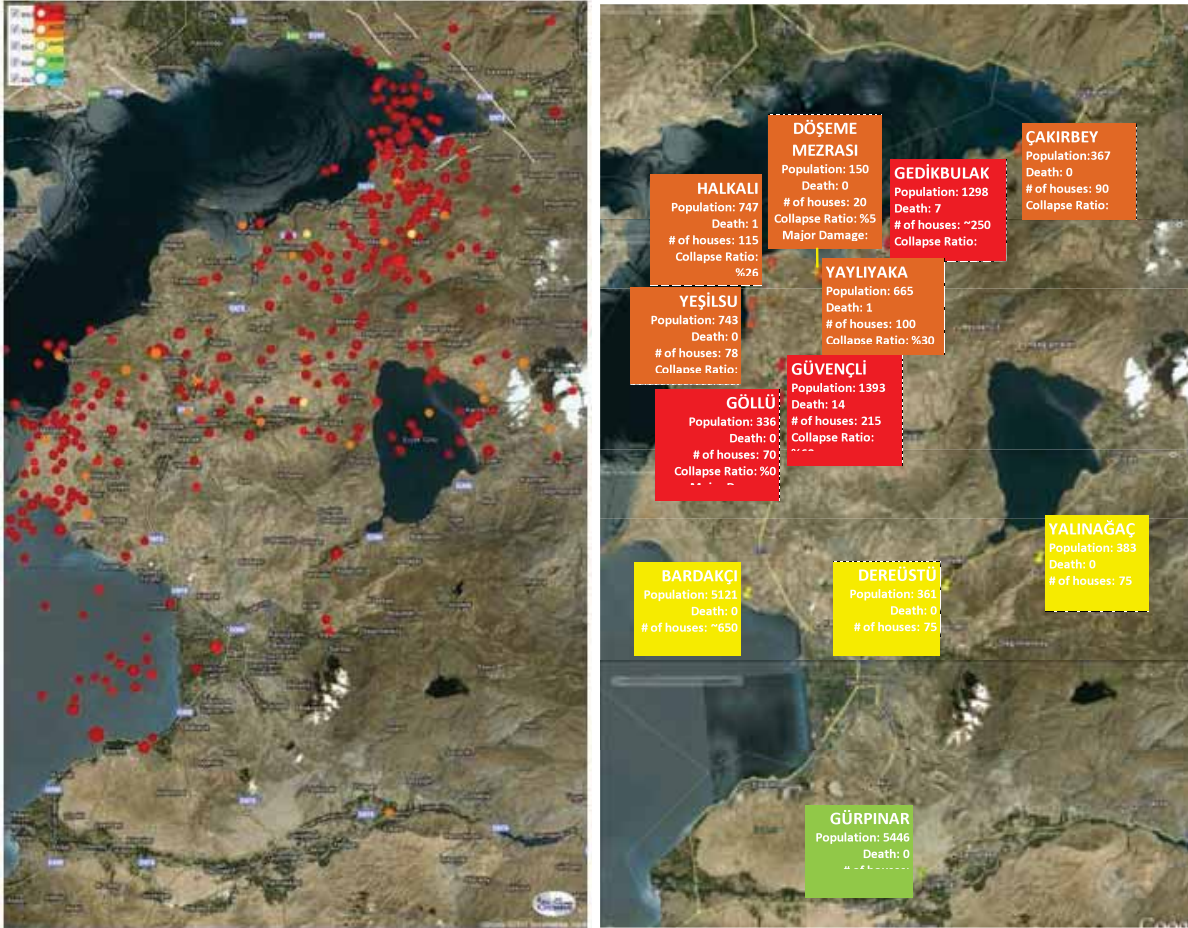
Son yıllarda kırsal yığma yapılarda ortaya çıkan (olumlu yönde) önemli bir değişiklik, ağır toprak damların yerlerini ince galvanizli saçtan yapılmış hafif çatılara bırakmasıdır. Deprem açısından çok sakıncalı olan toprak damların ortadan kalkması aynı zamanda can kayıplarının da önemli ölçüde azalmasını sağlayacak bir durumdur. Bölgede yapılan incelemeler sırasında toprak damlı yapıların genelde ciddi hasar gördüğü ve yıkıldığı, çatısında hafif malzeme kullanılmış olan kırsal yığma yapıların ise hasar görse bile yıkılmadan ayakta kalabildiği ya da kısmi göçmeye maruz kaldığı görülmüştür (bakınız Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Fotoğrafın alt kısmında toprak damlı göçmüş yığma yapı, fotoğrafın üst kısmında ise ağır hasarlı ancak ayakta duran hafif çatı malzemesi kullanılmış yapı.

Van depremi sonrası bölgeye giden ODTÜ-DMAM ekiplerinden ikincisi, kırsal bölgelerdeki genel hasar dağılımını belirlemek amacıyla 12 farklı yerleşim biriminde incelemelerde bulunmuştur. Bu yerleşim birimlerinin isimleri, nüfus sayıları, hane sayıları, ağır hasarlı ve/veya yıkık bina yüzdeleri ve can kaybı bilgileri Şekil 3.29'da (sağ panel) verilmektedir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) tarafından hazırlanmış olan haritadan da (Şekil 3.29, sol panel) anlaşılacağı üzere incelenen köylerin çoğu 23 Ekim depreminin artçılarının meydana geldiği

hat üzerinde bulunmaktadır. Benzer yapı stokuna sahip olan bu köylerdeki inceleme sonucunda, fay doğrultusunun güneyinde kalan bölgede genel olarak sarsıntı şiddetinin kuzey bölgelerdekine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.29. Sol panel: UDİM tarafından hazırlanmış olan ve 23 Ekim Van depremi sonrası artçı depremlerin (ilk onbeş gün) dağılımını gösteren harita, Sağ panel: aynı bölgede ODTÜ-DMAM ekibince incelenen köylerin konumunu ve mevcut hasar bilgilerini gösteren harita.

23 Ekim Van Depremi'nden çok sayıda kırsal yerleşim de etkilenmiştir. Özellikle depremin merkezine yakın bölgelerdeki bazı köylerde ciddi bina hasarı ve yıkım neredeyse %90-%100 seviyesine ulaşmaktadır. Ancak depremin Pazar günü öğle saatlerinde olması ve hava koşullarının nispeten iyi olması sayesinde bu kadar yaygın kırsal yapı hasarına karşılık ölü ve yaralı sayısı beklenilenden azdır.

Bölgedeki kırsal yapılara ait kusurların ve buna bağlı meydana gelen deprem hasarlarının 1976 Muradiye-Çaldıran depreminden bu yana çok fazla değişmediği gözlenmektedir. Bir başka deyişle, bölgede son 30-40 yıldır olagelen depremlerden pek fazla ders çıkarılmadığı ortadadır. Kırsal yığma yapılarda standart yapı malzemesi ve de geleneksel yöntemler yerine basit de olsa mühendislik uygulamalarının kullanılmadığı sürece her deprem sonrası benzer manzaralarla karşılaşılması maalesef şaşırtıcı olmayacaktır.

4. KÖPRÜ VE ÖZEL YAPI HASARLARI

**Ayşegül Askan
Alp Caner
Vesile Hatun Akansel
Dilek Okuyucu
Özkan Kale
Barış Erdil**

4.1. Giriş

Bu bölümde Van Depremi sonrası özellikle karayolu köprüleri ve bölgede bulunan tarihi yapıların hasar durumları özetlenmiştir.

4.2 Karayolu Köprüleri

Arazi çalışmaları sırasında kırılmış olması muhtemel fay zonuna yakın 14 adet karayolu köprüsü görsel olarak incelenmiştir. Bu köprülerin çoğunluğu hazır öngerilmeli I-kirişlerin üstü döşeme tipindedir (Şekil 4.1). Genelde ana açıklıkları 17.5 m olarak tespit edilmiştir. Bu tip köprülerin enine yönünde bulunan elastomer mesnetler deprem sonrası genelde orijinal pozisyonlarına geri dönmemiş ve 10-20 mm civarında değişen kalıcı yer değiştirmeler yaptıkları gözlenmiştir. Kirişler arasında enine yönde hareketi frenlemek için kullanılan deprem takozlarında beton dökümleri ve çatlamlar gözlenmiştir (Şekil 4.2). Deprem takozlarına çarpan kiriş uç alt başlıklarında önemli bir hasar gözlenmemiştir. Bu köprüler içinde Erciş'e yakın olan Bendimahi köprülerinin dairesel kesitli kolonlarında kolon yüksekliği boyunca eşit aralıklarla oluşmuş eğilme çatlakları gözlenmiştir (Şekil 4.3). Yapılan ön hesaplamalar sonucu kolonlarda deprem etkisi altında oluşan momentlerin sadece eğilme çatlama momenti seviyesini geçtiği yönünde bir tespit yapılmıştır. Bütün köprüler depremin hemen sonrasında trafiğe açık kalmışlardır. Gözlenen köprü hasar durumu Applied Technology Council (ATC32-1, 1996) dökümanına göre minimum hasar seviyesine tekabül etmektedir. Bu durumda incelemesi yapılan köprüler için tasarım deprem seviyesinin bu deprem sonucu maruz kalınan deprem etkisinin çok üstünde olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4.1. Arazi çalışmalarında incelenen standard karayolu köprülerinden görüntüler.



Şekil 4.2. Hasar görmüş deprem takozları.



Şekil 4.3. Deprem sonrası çatlamış köprü kolonları.

Tarihi taş kemer Şeytan köprüsünde bir hasar görülmemiştir. Deprem bölgesinde köprülerle ilgili yapılan çalışmalar sırasında gözlenen en şaşırtıcı durum ise birkaç sene önce sel sonrası ayaklarından biri eğilen ve bu haliyle üst yapı stabilitesinde ciddi zayıflıkları bulunan sürekli çelik kompozit köprünün deprem sonrası çökmemiş olmasıdır (Şekil 4.4). Bu köprü deprem sonrası yaya trafiğine açık bırakılmıştır. Bu köprünün yaklaşık 100 metre yakınında bulunan 14 metre yüksekliğinde bir silonun depremde çökmüş olması bu bölgenin bir etkin sarsıntıya maruz kalmış olma olasılığını arttırsa da deprem sırasında çekilen güvenlik kamera görüntülerinde, köprüde belirgin bir hareket görülmemektedir. Bu durum yer hareketi etkin periyoduyla köprünün doğal salınım periyodu arasında bir fark olduğu ve bu nedenle köprünün deprem hareketinden tam olarak etkilenmediği şeklinde açıklanabilir.



Şelik 4.4. Birkaç sene önce sel afetinden dolayı ayaklarının biri eğilen kompozit köprünün deprem sonrası genel görüntüsü.

4.3. Özel Yapılar

Bölgede bulunan baraj, demiryolu tüneli ve tarihi binalar gibi özel yapılar da arazi çalışması kapsamında incelenmiştir. Van'ın güneyinde bulunan Gürpınar ilçesi yakınlarında incelenen demiryolu hattında deprem etkileri görülmemiştir (Şekil 4.5). Erçek gölü yakınında bulunan demiryolu tüneline de benzer biçimde hasar tespit edilmemiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Hasar görmemiş demiryolu hattı ve demiryolu tüneli.

Erciş girişinde yer alan tarihi Kadem Paşa Hatun Kümbeti de incelenen yapılar arasındadır. Bu yapıda deprem hareketi ile oluşan önemli hasarlar tespit edilmiştir. Kümbetin depremden önce çekilen fotoğraflarında görülen çatlakların, son depremde genişlediği ve yeni hasarların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6).



Deprem öncesi



Deprem sonrası

Şekil 4.6. Kadem Paşa Hatun Kümbeti.

Gevaş ilçesi kuzeyinde, Van Gölü'nde Akdamar adasında bulunan ve yaklaşık 1100 yaşında olduğu tahmin edilen tarihi Akdamar Kilisesi'nde (Şekil 4.7) ve Muradiye ilçesi yakınlarındaki barajda (Şekil 4.8) bu deprem sonrası oluşmuş ciddi bir hasar tespit edilememiştir. Aynı şekilde Van Otogarı'nda ve Van Havaalanı'nda da görsel olarak yapılan incelemelerde yapısal ciddi bir hasar görülmemiştir.



Şekil 4.7. ODTÜ ekibi tarafından incelenen Akdamar kilisesi (dış ve iç görünüşü).



Şekil 4.8. Muradiye ilçesi yakınlarında bulunan barajın deprem sonrası genel görüntüleri.

SONUÇ

Bu rapor 604 kişinin hayatını kaybettiği 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası ODTÜ-DMAM araştırmacılarının deprem bölgesinde yaptığı çalışmaları içermektedir. Deprem meydana geldiği bindirme zonunda, ters faylanma sonucu oluşan kırılma yüzeye kadar sirayet etmemiştir. Bununla beraber Van Depremi ile ilgili sismotektonik gözlemler, ODTÜ-DMAM tarafından 3 gün süren saha çalışmaları sonucunda derlenmiş, kırılan fay zonu tespit edilmiş, bu fay zonuna bağlı ikincil fay kollarına ait yüzeyde oluşan bindirme tipi kırıkları belirlenmiştir. Van Depremi, büyüklük açısından 1999 Kocaeli ve Düzce depremleriyle beraber ülkemizde ivme kayıtlarının alındığı ilk 3 büyük deprem arasında olmasına rağmen kırılan fay zonuna yakın sayılabilecek bölgelerde ve hasarın yoğun olarak gözlemlendiği Van ili ve Erciş ilçe merkezlerinde ana şok ivme kayıtları alınmamıştır. Bu durum ülkemizde nadir olarak gerçekleşen ters faylanmaya ait yer hareketi ivme verilerinin ulusal kuvvetli yer hareketi arşivine tam olarak kazandırılmamasına neden olmuştur. Bununla beraber Van Depremi ana şokunun deprem merkezüstüne uzak istasyonlarda kaydedilen yer ivmeleri ODTÜ-DMAM mensupları tarafından işlenerek araştırmacıların ve profesyonel meslek sahiplerinin kullanımına DMAM web sayfası üzerinden sunulmuştur.

ODTÜ-DMAM ekipleri, yapısal hasarı ve bölgedeki yapıların temel yapısal özelliklerini derlemek amacıyla Van merkez ve Erciş ilçesini detaylı olarak incelemişlerdir. Çalışmalar neticesinde toptan göçen veya çeşitli düzeylerde hasar gören betonarme binalarda hasara neden olan sebepler belirlemişlerdir. Çıkarılan sonuçlar aşağıda sunulmaktadır:

1. Seçilen taşıyıcı sistemler hem tasarım hem de imalat açısından kusurlu olup depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerine riayet etmemektedir. Bu sebeple, yapılan incelemeler depreme dayanıklı olarak inşa edilmiş yapı performansına yönelik ayrıntılı bilgi sunmamaktadır. Mevcut yapılarda, özellikle yumuşak giriş katları olan ve katlar arası ciddi rijitlik farkları gözlemlenen binalar, toptan göçen ve ağır hasar gören binaların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.
2. Gözlemlenen yapısal hasarlar bina kat sayısı ile ilişkilidir. Van ve Erciş ilçe merkezlerinde 5-7 katlı betonarme binalar hasar yoğunluğu açısından ağırlığı oluşturmaktadır. Orta yükseklikteki perdesiz betonarme çerçeve sistemlerinin deprem performansı açısından ülkemizde en kırılğan yapı türleri olduğu Van Depremi ile bir kez daha teyid edilmiştir. Bu durum, özellikle konut olarak kullanılan bu tip yapıların gerekli mühendislik ve kontrol hizmeti alamamasından kaynaklanmaktadır.
3. İncelenen binaların pek çoğunda tasarım ve detay yetersizliği mevcuttur. Pek çok yapıda kirişlerin düz donatılarının kolonlardan sıyrıldığı tespit edilmiştir. Bunlar arasında birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmaması, etriye kollarının serbest uçlarının sadece 90 derece bükülerek kabuk betonu içerisinde bırakılması, düz donatı bindirme boyu yetersizlikleri ve tüm

donatıların kat hizasında bindirilmesi gibi hususlar yıllardır gözlemlenen, önemleri defalarca vurgulanan ancak uygulamada değiştirilemeyen hususlardır.

4. Yapılardaki tasarım ve imalat kalitesizliği, yapı denetim mekanizmasının işleyişindeki aksaklıklar, deprem tarafından birkez daha ortaya çıkarılan önemli unsurlardır. Denetlenemeyen ortamlarda yapılan tasarım ve imalat, yapısal hasarın artmasında önemli rol oynamıştır.

5. İncelemeler esnasında ortaya çıkan en önemli bulgulardan biri tuğla dolgu duvarların yapı sistemlerinin davranışı üzerinde oynayabildiği belirleyici rolüdür. Dolgu duvarlar yapıya ciddi rijitlik kazandırmakta olup düzlemleri içinde kaldıkları müddetçe yapının kat ötelemelerini sınırlandırabilmektedir. Ancak bazı durumlarda düzlem dışı geçerek bina davranışını ani olarak değiştirebilmektedir. Bunun yanında, gayet doğal olarak, duvar çatlaklarına bakarak binasını bir daha kullanmamak üzere yapıya girmeme kararı alan bölge halkında travma etkisi yaratmakta, aşırı mal kaybına sebep olmakta ve afet sonrası müdahaleleri zora sokmaktadır. Bu bağlamda yeni binalarda dolgu duvar yapımı, montajı ve çerçeve sistemle olan ilişkisi acilen ele alınmalıdır. Mevcut binalarda ise çerçeve içerisindeki dolgu duvarların düzlem içi ve düzlem dışı davranış etkileşimleri bilimsel çalışmalarla irdelenmelidir.

6- Yapısal hasarlar içinde kırsal yığma yapılarla ilgili gerçekleştirilen çalışmalarda malzeme dayanımının yetersizliğinin ve bu tip yapılar için dikkat edilmesi gereken basit yapım kurallarının göz ardı edilmesinin gözlenen hasarın önemli boyutlara ulaşmasında büyük etken olmuştur. Bu sonuçlar ışığında bir önceki paragrafta mühendislik yapıları için vurgulanan deprem afetine karşı bilinç ve eğitim eksikliğinin kırsal yapılar için de geçerliliğini koruduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Kırsal alanda yapılan çalışmalarda Van Depremi sonucu pekçok yerde şev stabilitesi ve sıvılaşma problemleri gözlenmiştir. Bu tip problemlerin gözlendiği sahaların kırsal yerleşim alanlarına yakın olmaları durumunda kırsal bölgelerde belirlenen hasarın artmasına sebep olma ihtimalleri yüksektir. Bu sonuç, kırsal yerleşim bölgelerinin yer seçiminde depremin neden olabileceği bu tip yüzey deformasyonlarının olabilme ihtimalinin dikkate alınması gerektiğinin bir işaretidir.

7- Ulaşım, su ve tarihi yapılarda yapılan incelemelerde özellikle bazı köprülerin ve tarihi yapıların deprem etkisi altında zorlandıkları gözlenmiştir. Bölgedeki kuvvetli yer hareketi ağının yoğun olmaması veya kırılan fay zonuna yakın noktalarda kayıt alınamaması nedeniyle, büyük yerleşim birimlerinde olduğu gibi, bu zorlanmanın sayısal mertebesiyle ilgili çalışmaların yapılması bu rapor aşamasında mümkün değildir. Bununla birlikte Van Depremi sonrası karayolu ulaşımında veya su dağıtım şebekelerinde aksamalar ODTÜ-DMAM ekiplerinin saha çalışmaları sırasında gözlenmemiştir. Şev stabilitesi sonunda meydana gelen karayolu hasarlarının çok hızlı bir şekilde tamir edildiği görülmüştür.

Sonuçlar geçmişte yapılan hataların yapılmaya devam ettiğini göstermektedir. Bu raporda sunulan belgeler ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı ve imalatından sorumlu mühendis, müteahhit ve kontrol teşkilatlarının deprem gerçeği ve deprem mühendisliği konusunda çok

temel bilgi eksikliklerinin olduğunu ortaya koymaktadır. Ne yazık ki 23 Ekim 2011 Van Depremi lkemizde deprem afetini azaltıcı mekanizmalardaki bilinç, eğitim ve yeterlilik seviyesinin istenilen düzeye gelmediğini, pek çok can ve mal kaybına neden olarak, acı bir şekilde bir kez daha daha kamuoyunun gündemine taşımıştır. Gözlemler Van Depremi sonucunda bir kez daha ülkemizde deprem afetini azaltıcı mekanizmalardaki bilinç ve eğitim seviyesinin istenilen düzeye gelmediğini işaret etmektedir.

23 Ekim 2011 Van Depremi'nin akabinde 9 Kasım 2011'de Van-Edremit mekezstl ve farklı bir mekanizmaya sahip ikinci bir deprem meydana gelmiş, bu deprem sonucu Van il merkezinde Van Depremi'nden dolayı farklı seviyelerde hasar görmüş 27 bina çökmüş, pekçok bina hasar grmştir. Bölgede oluşan ikinci depremden sonra ODTÜ-DMAM ekibi yeni bir grupla araştırmalar yapmak için sahaya gitmiştir. Bu depremin yapısal ve yer hareketi boyutundaki etkileri Van Depremi ile bağıntılı olarak ilerleyen günlerde ayrı bir rapor olarak araştırmacıların ve meslek sahiplerinin bilgisine sunulacaktır.

KAYNAKÇA

- Abrahamson, N.A. ve Silva, W. (1997). "Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes," *Seismological Research Letters*, 68, 94-127.
- Abrahamson, N.A. ve Silva, W. (2008). "Summary of the Abrahamson and Silva NGA ground motion relations," *Earthquake Spectra*, 24, 67-98.
- Akkar, S. ve Bommer, J.J., (2006). "Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35, 1145-1165.
- Akkar, S. ve Bommer, J.J., (2010). "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region and the Middle East," *Seismological Research Letters*, 81, 195-206.
- Akkar S. ve Çağnan Z. (2010). A local ground motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 2978-2995.
- Akkar, S., Kale, Ö., Yenier, E. ve Bommer J.J., (2011). "The high-frequency limit of usable response spectral ordinates from filtered analogue and digital strong-motion accelerograms," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 40, 1387-1401.
- Applied Technology Council, ATC (1996). Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Resource Document, *California Department of Transportation*, Redwood, California.
- Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları (<http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks>.)
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi, UDİM (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/>)
- Boore, D.M. ve Atkinson, G.M. (2008). Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s, *Earthquake Spectra*, 24, 99-138.
- Campbell, K.W. ve 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, 139–172.
- Chiou, B.S.-J. ve Youngs R.R. (2008). "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra," *Earthquake Spectra*, 24, 173–215.
- Douglas, J. (2003). "What is a poor quality strong-motion record?," *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1, 141-156.
- Erciş Kaymakamlığı sitesi (http://www.ercis.gov.tr/default_B0.aspx?id=102#.Tr_EO1bxfso)

- Kaklamanos, J., Baise, L.G. ve Boore, D.M. (2011). Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice. *Earthquake Spectra* (basılıyor).
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S. ve Kuloshvili, S. (2001). "Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting," *Geodinamica Acta*, 14, 177–195.
- McKenzie, D. (1972). "Active tectonic of the Mediterranean region," *Geophysical Journal of the Royal Astrological Society*, 109-185.
- Özvan A, Akkaya İ, Tapan M. ve Şengül M.A. (2005). "Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları," *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli 2005.
- Örgülü, G., Aktar, M., Türkelli, N., Sandvol, E. ve Barazangi, M. (2003). "Contribution to the seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events," *Geophysical Research Letters*, 30, 8040.
- Pınar, A., Honkura, Y., Kuge, K., Matsushima, M., Sezgin, N., Yilmazer, M. ve Öğütçü, Z. (2007). "Source mechanism of the 2000 November 15 Lake Van earthquake (Mw= 5.6) in eastern Turkey and its seismotectonic implications," *Geophysical Journal International*, 170, 749–763.
- Üner, S., Yeşilova, Ç., Yakupoğlu T. ve Üner T. (2010). "Pekişmemiş sedimanlarda depremlerle oluşan deformasyon yapıları (sismitler): Van Gölü Havzası, Doğu Anadolu," *Yerbilimleri*, 31 (1), 53–66.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşcu, I. (1992). "Türkiye Diri Fay Haritası," ölçek 1:2000000, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.