

25 OCAK 2005 HAKKARI-SÜTLÜCE DEPREMİ FAY MEKANİZMASI ÇÖZÜMLERİ VE YER-YAPI İLİŞKİSİ ÖZELLİKLERİ

FOCAL MECHANISM SOLUTIONS AND SOIL-STRUCTURE INTERACTION FEATURES OF HAKKARI-SUTLUCE EARTHQUAKE, JANUARY 25, 2005

**M. Alper ŞENGÜL¹, Selda ALTUNCU POYRAZ², Ali ÖZVAN³,
Mucip TAPAN⁴, Doğan KALAFAT²**

¹ İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar İstanbul

² B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE, Ulusal Deprem İzleme Merkezi, Çengelköy İstanbul

³ Y.Y.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van

⁴ Y.Y.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

Yayına Geliş (Received): 23.03.10, Yayına Kabul (Accepted): 11.11.10

ÖZ : Hakkari ve civarı 25 Ocak 2005 günü saat 16:44 (GMT)'de orta büyüklükte ($M_w=5.8$) (USGS) bir deprem ile sarsılmış ve Hakkari iline bağlı Sütlüce mezarası ve Kaymaklı köyünde bu deprem sonucunda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Bu deprem kaynağı ve meydana geldiği fay segmenti üzerinde 2005 yılından günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır (Emre vd, 2005; Koçyiğit, 2005; Atalay, 2007). Bu çalışmalar incelendiğinde yayınlanan çalışmalarda ortak bir görüşün sağlanmadığı belirlenmiştir. Bu amaçla, Türkiye'nin güneydoğusunun tektonik ilişkilerine ait önemli bir kaynak verisi sağlayacağı düşünülen bu bölgede depremden hemen sonra saha çalışmaları yapılmıştır. Yapılan saha gözlemlerine ek olarak jeolojik çalışmalar, yapıların yıkılma yönleri ve sismolojik veriler kullanılarak mekanizma çözümleri üzerinden çözümlene yapılmıştır. Mekanizma çözümlerine göre depremin hangi fay segmentinde olduğu konusuna farklı açılardan yaklaşılmış ve Kaymaklı köyü ve Sütlüce mezarasında gerçekleşen hasarın nedenleri tartışılmıştır. Çalışmada sismoloji başlığı altında ise, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) verilerine göre deprem çözümleri yeniden yapılmış, öncü ve artçı depremlerin dağılımlarına bağlı olarak depreme neden olan ana fay düzlemi hakkında yorum yapılmıştır. Sütlüce mezarası ve çevresindeki kaya ve zemin birimlerin özellikleri arazi çalışmalarıyla ortaya konmuş ve sahada gözlenen birimlerin konumları, küçük ve büyük ölçekli faylar haritaya işlenmiştir. Arazi çalışmaları ve morfolojik veriler ışığında Sütlüce ve Kaymaklı yerleşimlerini içine alan ve asıl yıkıma neden olan heyelan sahalarının sınırları bu çalışmada ayrıntılı bir şekilde ilk olarak belirlenmiş ve depremlerle birlikte heyelan kütleleri içerisinde gerçekleşen yüzey çatlaklarının doğrultuları ölçülmüş, kütle hareket yönlerinin belirlenmesi aşamasında bu veriler kullanılmıştır. Deprem ile birlikte hasara uğramış yapıların yıkılma ve hasar görme yönlerine bağlı olarak binalara etki eden deprem yüklerinin yönleri belirlenmiş ve jeolojik ve sismolojik çalışmalar sonrası elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Yapılardaki hasar şekillerinin heyelan kütleleri üzerindeki çatlakların doğrultularını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sütlüce mezarası, deprem, fay mekanizması, heyelan çatlağı

ABSTRACT : A medium magnitude earthquake ($M_w=5.8$) (USGS) hit Hakkari region on January 25, 2005 (GMT) at 04:44 pm and resulted in life and property losses in Sütlüce and Kaymaklı villages. Several studies were conducted to identify the source and the fault segment of this earthquake since 2005 (Emre vd, 2005; Koçyiğit, 2005; Atalay, 2007). While investigating these publications, it is found that an agreement on the results was not obtained. Since it is thought that this region may provide important data regarding the tectonic relations in Southeastern part of Turkey, field investigations were carried out just after the earthquake. In addition to the field investigations, geological studies, building failure patterns such as out of plane wall failure

directions, and seismological data were used to resolve the focal fault mechanism solutions. According to this focal fault mechanism solutions differential approximations were made to find out on which fault segment this earthquake was occurred and the reasons of structural damages occurred in Sütluce and Kaymaklı villages were discussed. In the section of seismological studies, earthquake solutions are redone using Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute's (KOERI) earthquake data, and main fault plane caused the earthquake is identified using the scatter of foreshocks and aftershocks. The characteristics of rock and soil units around Sütluce village were identified during the field investigations and these units along with all identified faults were mapped. Using the results of field investigations and morphological data, the boundaries of the landslide affecting Sütluce and Kaymaklı villages was found to be the main cause of the structural hazard. The directions of the surface cracks in the landslide mass, occurred after earthquake were measured and the results were used to identify mass movement direction. The failure pattern of earthquake damaged buildings is used to determine direction of the earthquake load and used to cross check the results of this seismological and geological study. It is found that, the damage and failure pattern of these buildings support the direction of cracks found in landslide mass.

Key Words: Sutluce village, earthquake, fault mechanism, landslide fracture

GİRİŞ

25 Ocak 2005 günü, saat 16.44 (GMT)'de Hakkari ve çevresini etkileyen orta büyüklükte ($M_w:5.8$) bir deprem meydana gelmiştir. Depremin odak merkezi Sütluce mezrası olup Hakkari il yerleşiminin 21 km kuzeyinde, Van merkeze 90 km, Başkale İlçesine 39 km ve Yüksekova İlçesine 48 km mesafededir (Şekil 1). Deprem, bölgede yaklaşık 150 km yarıçaplı bir alanda hissedilmiş, Hakkari merkezinde hafif hasara, Hakkari'ye bağlı Kaymaklı köyü ve Sütluce mezrasında ise can kaybının yanında ağır hasar ve yıkıma neden olmuştur. Deprem nedeniyle Sütluce mezrasında 8 ev ve ahır yıkılmış diğer yapılar ise ağır hasar görmüştür. Sütluce mezrasında 2 kişi yıkılan kerpiç yapılar altında kalarak hayatını kaybetmiş, depremin etkilediği alan içerisinde toplam 22 kişi de yaralanmıştır. Yıkım olan köylerde çok sayıda küçük ve büyükbaş hayvan da telef olmuştur.

Depremin etkili olduğu alan jeolojik olarak Doğu Anadolu Bölgesinin neotektonik döneminin başlangıcına etken olan Bitlis Kenet Kuşağı (BKK) bölgesindedir. Bitlis Kenet Kuşağı orta Miyosen'in sonlarında Çüngüş havzasını oluşturan Bitlis okyanusunun kapanmasıyla Avrasya ve Arabistan kıtasının çarpışması sonucunda gelişmiştir (Koçyiğit ve diğ., 2001). Bu kuşak bir dizi doğu batı uzanımlı bindirme ve kıvrımlardan oluşmaktadır (Koçyiğit, 2005).

Bölgedeki diğer sismotektonik yapılar ise çarpışma sonucunda Doğu Anadolu Bölgesinde gelişen kısalma ve kalınlaşmanın kısmen karşılandığı büyük ölçekli doğrultu atımlı fay zonlarıdır. Bu fay zonları bölgenin etkilendiği deformasyonun sadece güney ucundaki bölümünü oluşturmaktadırlar. Bunlar, depremin odak noktasına da yakın olan Başkale Fay Zonu (BFZ) ve Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu (ŞYFZ) dur. BFZ, ortalama 12 km genişlikte, 80 km uzunlukta, K-G ve/veya KKD-GGB gidişli sol yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşmaktadır (Koçyiğit, 2005).



Şekil 1: İnceleme alanının yerbuldururu haritası.

Figure 1: Location map of study area.

BFZ, Hakkari'nin kuzeybatısından kuzeydoğuya İran sınırına doğru Çığılsuyu boyunca devam eder. BFZ Kuzeydoğuda daha düzenli segmentlerden, Hakkari'ye doğru daha kesikli kısa faylardan oluşmaktadır. Gerek morfolojik veriler, gerek güncel traverten oluşumları ve aletsel dönemde gerçekleşen 6.0 büyüklüğüne varan depremler fay zonunun halen aktif olduğunun verileri olarak kabul edilmektedir (Koçyiğit, 2005).

Şemdinli Yüksekova Faz Zonu ise, yaklaşık 20 km genişlikte, 90 km uzunluğunda KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir fay zonudur. KB ucunda Çığılsuyu'na (Zap Suyu) gelmeden sona ermekte, GD ucunda ise İran sınırları içerisinde devam etmektedir. 1930 yılında meydana gelen $M_s=7.6$ büyüklüğündeki deprem bu fay zonunun GD ucunda gerçekleşmiştir

(Alsan ve diğ.1975). ŞYFZ'nun en belirgin yapısı Yüksekova'yı oluşturan çek-ayır havzadır. Gerek bu havza boyunca gözlenen morfolojik yapılar gerekse aletsel dönemde bu zon üzerinde meydana gelmiş depremler ŞYFZ'nun halen aktif olduğunun verileri olarak kabul edilmektedir (Koçyiğit, 2005). Bu fay zonu bazılarının bazı segmentleri halen sismik boşluk olarak da tanımlanmaktadır (Demirtaş ve diğ. 1996).

Bölgede depreme kaynak oluşturabilecek birçok kırık sistemi mevcut iken şimdiye kadar yapılan çalışmalarda bir ortak görüşe varılamamıştır. Koçyiğit 2005'e göre depremin kaynak fayı Başkale Fay Zonunun en GB ucu olan Akçalı segmentidir. Emre ve diğ. 2005'e ve Atalay 2007'ye göre ise ana deprem Şemdinli Yüksekova Fay Zonunun kuzeybatı ucundaki Hakkari'nin kuzeyinde yer alan bölümü üzerinde gerçekleşmiştir. Bu çalışmada ana ve bazı artçı depremlerin yeni mekanizma çözümleri yapılmış ve özellikle odak noktasına yakın olan bölümlerde gözlenen yapısal unsurlar çalışılmıştır.

Sismolojik verilerde ZSACWin programı kullanılarak, Hakkari 2005 deprem etkinliği için $M_w \geq 3.6$ 'dan büyük 13 adet depremin CMT (Centroid Moment Tensor) çözümleri ve $M \geq 3.5$ 'den büyük 63 adet depremin episantır haritası hazırlanmıştır.

YÖNTEM

Çalışma arazi ve büro çalışmaları olarak iki aşamalı olarak yürütülmüştür. 25 Ocak 2005 günü gerçekleşen depremin hemen ertesinde sahada yapılan çalışmalara ek olarak uydu görüntüleri üzerinden süreksizlikler üzerinde yorum yapılmıştır. Deprem sonrasında Sütlüce ve Kaymaklı'da gerçekleşen yüzeyde gözlenen çatlakların doğrultuları ölçülmüş, gerilme yönleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Bölgede küçük ölçekte belirlenen yeni fay düzlemleri ve güncel heyelan sahaları harita üzerine işlenmiştir.

Eş zamanlı olarak yapıların yıkılma ve hasar görme yönleri tayin edilerek binalara etki eden yüklerin vektörel yönleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre Sütlüce'de yapılarda K-G yönündeki hareket ile duvar yıkımlarının meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yapılan odak mekanizması çözümlerinde Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM)'nde uygulanan ZSACWin programı kullanılmıştır. Programda temel olarak deprem parametrelerinin hesaplanmasında HYPO71 (Lee and Lahr, 1972), CMT (Centroid Moment Tensor) çözümleri için TDMTINV (Time Domain Moment Tensor Inversion) (Dreger, 2002) kodları esas alınarak çözümler yapılmıştır.

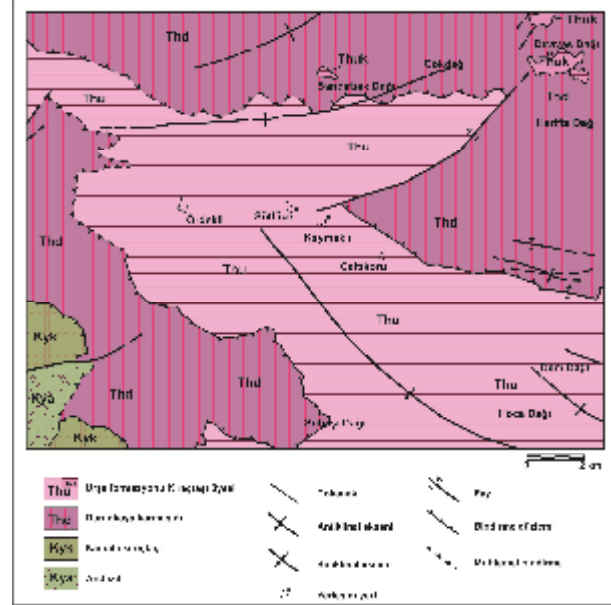
Çalışmada kullanılan moment tensör ters çözüm yöntemi (Dreger, 2002) geniş bantlı deprem istasyonlarından kaydedilen üç bileşen sayısal verileri kullanarak yakın alan ve bölgesel sismik olayların kaynak parametrelerini belirlemeye yönelik olarak

geliştirilmiştir. Çözümlerinde VANB, GNI, PTK, URFA ve MALT genişbantlı deprem istasyonlarının verileri kullanılmıştır.

BULGULAR

Arazi çalışmaları kapsamında Kaymaklı köyü, Sütlüce mezarası ve yakın çevresinde ayrıntılı jeolojik tanımlama yapılmış ve birimlerin genel özellikleri ve yapısal unsurlar incelenmiştir. Saha çalışmalarına altlık olarak Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) 1/100.000 ölçekli Hakkari M-51 paftasından yararlanılmıştır. Sütlüce ve yakın çevresinde ağırlıklı olarak Miyosen nap grubu içerisinde kalan Hakkari karmaşığına ait birimler yüzeylenmektedir (Şekil 2). Bu birimler üzerinde ise tektonik dokanak ile Yüksekova karmaşığının birimleri yüzeylenmektedir. Sütlüce ve Kaymaklı'nın yaklaşık 10 km GD'sunda gözlenen bu birimler genelde volkanik sedimentler, kireçtaşı ve fliş birimler içermektedir (Perinçek, 1990). Çalışma alanının yakın çevresinde Yüksekova karmaşığına ait Globotruncanalı Kireçtaşı (Kandilli Kireçtaşı, KyK) ve Andezit (Kya) birimleri gözlenmektedir (Şekil 2).

Yüksekova karmaşığı bu alanda KD'ya doğru Hakkari karmaşığına ait birimlerin üzerine bindirmektedir.



Şekil 2: Sütlüce mezarası ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası, MTA 1/100000 ölçekli paftadan değiştirilerek çizilmiştir.

Figure 2: Generalized geological map of nearby Sütlüce field, based on 100.000 scaled geological map of MTA.

Hakkari karmaşığı, inceleme alanını da içerisinde alan geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Yer yer bloklu

kireçtaşı ara seviyeli kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Bir çok araştırmacı tarafından çalışılmış olan bu karmaşık birbiriyle tektonik ilişkili olan Urşe formasyonu ve Durankaya karmaşığından oluşmaktadır (Perinçek, 1990). Urşe formasyonu depremin odak noktasını da içerisine alan Sütluçe ve yakın çevresinde de yüzeylenmektedir. Bu birim ağırlıklı olarak ince-orta tabakalı türbiditik kumtaşı, şeyl ve kilitaşlarından oluşmaktadır (Şekil 3). Oldukça kırıklı, iki-üç yünde gelişmiş eklem takımına sahip, yer yer ayrılmış ve bozmuş görünümdeki bu birim Sütluçe mezrasına ve Kaymaklı köyüne ulaşan yol yarmalarında detaylı olarak gözlenmektedir. Diğer birim olan Durankaya karmaşığı ise Kaymaklı köyünün KD'sunda gözlenmektedir. Bu birim ise bloklu, türbiditik kırıntılı kayalardan oluşmaktadır (Perinçek, 1990). Kırmızımsı renkli pelajik kireçtaşı, gri koyu gri fillat ve şeyller ile yer yer monojenik veya polijenik çakıltaşları birimleri gözlenmektedir. Çakıltaşlarının bir kısmı sadece serpantin kökenli çakıllardan oluşmaktadır (Şekil 4). Durankaya karmaşığı, Urşe formasyonunu tektonik olarak üzerlemektedir.



Şekil 3: Kaymaklı güneyinde gözlenen Urşe fm.na ait kilitaş-şeyl ardalanmalı birimler; bakış yönü GB.

Figure 3: Claystone and shale units of Urşe formation, southern of Kaymaklı town, viewed from NE to SW.



Şekil 4: Sütluçe civarında gözlenen Durankaya karmaşığına ait serpantin çakıllarından oluşan konglomera bloğu.

Figure 4: A conglomerate boulder of Durankaya complex, near to Sutluçe field.

Bölgede dere tabanlarındaki alüvyal birimlerin haricinde, özellikle Sütluçe ve Kaymaklı yerleşimlerinin taban zemini gevşek heyelan karmaşığından oluşmaktadır (Şekil 5). Heyelan karmaşığı içerisinde farklı dane boyutunda malzeme bulunmaktadır. Genellikle, tabanında bulunan Urşe formasyonuna ait kilitaş, şeyl ve kumtaşı birimlerinin çakıl ve bloklarından oluşan bu karmaşık içerisinde Durankaya karmaşığına ait çakıltaşı blokları da bulunmaktadır.

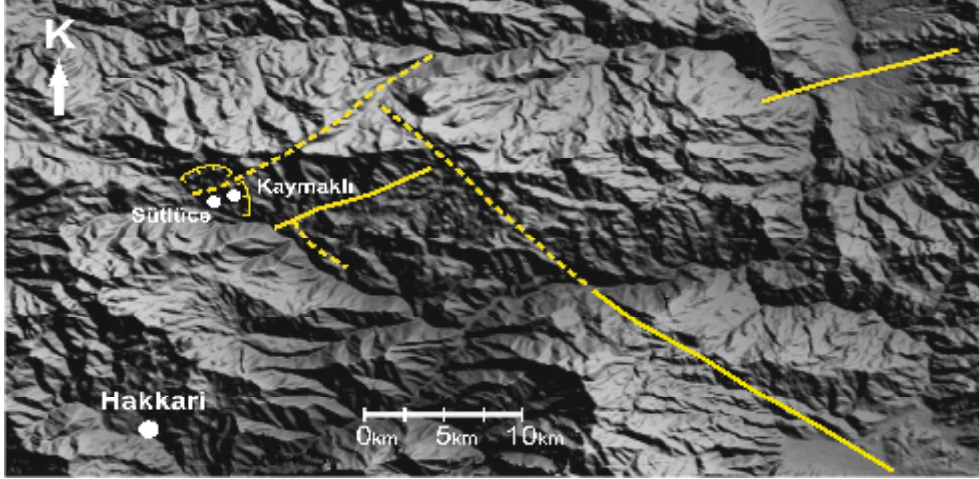


Şekil 5: Sütluçe güneyinde yol yarmasında gözlenen Heyelan Karmaşığı, bakış yönü KB.

Figure 5: The view of landslide complex southern Sutluçe field, viewed from SE to NW.

Sütlüce mezrası ve Kaymaklı köyü, hemen kuzeyden geçen ters bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fayın ve bu fay sistemine ait tali fayların etkisi altındadır. Bu faylar Kaymaklı ve Sütlüce yerleşimlerini

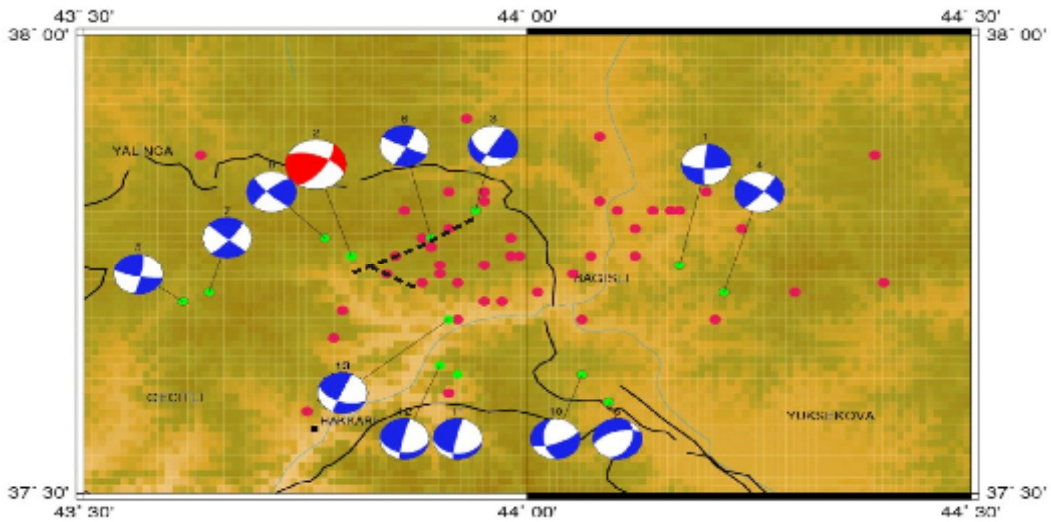
çevrelemiş durumdadır. Kaymaklı sırtlarından geçen KD-GB uzanımlı olası sol yönlü doğrultu atımlı fay ile güneyde kalan KB-GD uzanımlı fay bölge morfolojisini şekillendiren tali fayların başında gelmektedir (Şekil 6).



Şekil 6: Sütlüce ve Kaymaklı çevresinde gözlenen yapısal unsurların DEM görünümünde yeri.
Figure 6: Structure map of Sutluce and Kaymaklı settlements on Digital Elevation Model (DEM).

Ana depreme ait moment tensör ters çözümlerinde de fayın etkin ters bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Bu çözüm saha çalışmalarında belirlenen yeni faylara ve uydu görüntüleri üzerinde yapılan çalışmalara uygundur. Ana şok öncesi ve sonrasında gerçekleşen $M_w=3.6$ büyüklüğünün üzerindeki 13 depremin mekanizma çözümleri yapılmıştır (Çizelge 1). Ana şokun moment büyüklüğü USGS tarafından 5.8 olarak verilmiştir. Bu çalışma Moment Tensor Ters Çözüm

yöntemi ile $M_w=5.4$ olarak bulunmuştur. Şekil 7’de gösterilen 2 nolu anaşokun ve 7 nolu artçı şokun sentetik ve gözlemsel sismogram uyumu ise Şekil 8’de gösterilmiştir. Uyumların varyansı Çizelge 1 de Varyans Düşümü (VR) gösterilmiştir. Çözümlerin birbirinden farklı olmasının nedeni, aynı deprem istasyonlarının çözümlerde kullanılmaması, kabuk yapısı farklılığı ve yöntemsel olarak farklı algoritmanın kullanılmasıdır. Bu çalışmada KRDAE UDİM’in yakın alan istasyon verileri kullanılmıştır.

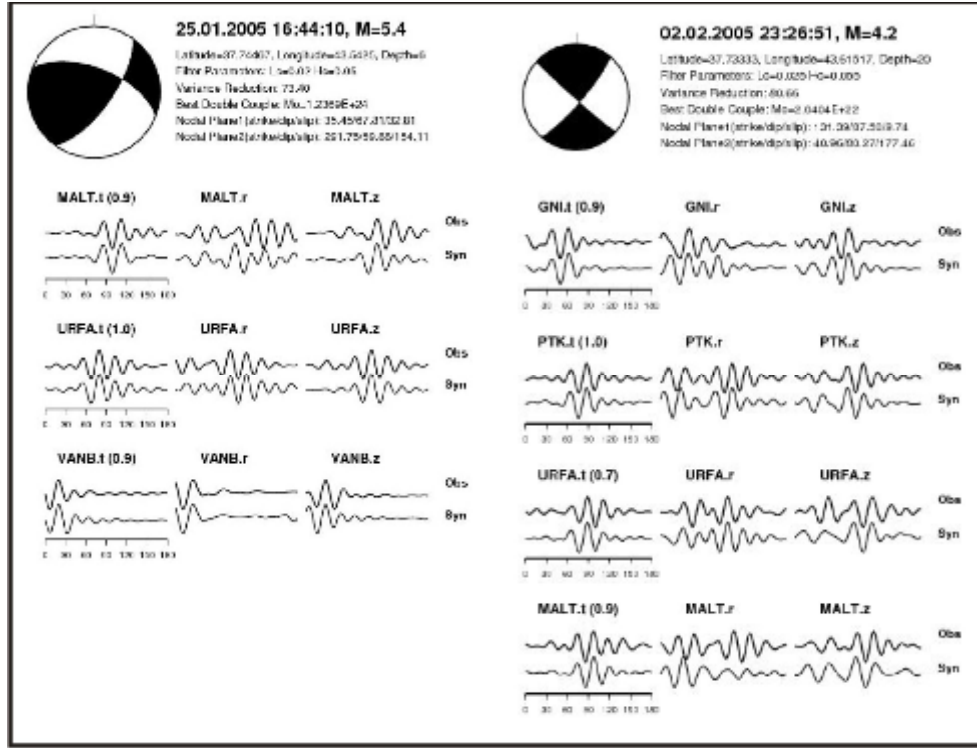


Şekil 7: Hakkari 2005 deprem etkinliği için $M_w \geq 3.6$ 'den büyük 13 adet depremin CMT çözümleri ve $M \geq 3.6$ 'dan büyük depremlerin episantr haritası. 2 nolu çözüm $M_w:5.4$ olan ana depremdir.

Figure 7: The locations and focal mechanism solutions of Hakkari 2005 event and their aftershocks.

Tablo 1: Çalışma bölgesinde meydana gelen depremlerin ($M_w \geq 3.6$) moment tensör ters çözümü yöntemi ile elde edilen lokasyon ve kaynak parametreleri.**Table 1:** The locations and source parameters of Earthquakes ($M_w \geq 3.6$) which obtained with Centroid Moment Tensor Inversions

No	Tarih (g.a.y)	Zaman (GMT) (s:d:sn)	Enlem	Boylam	M_L	M_W	VR (%)	H_{MTI}	1. Düzlem			2. Düzlem		
									Doğ	Dalım	Atım	Doğ	Dalım	Atım
1	25.01.2005	16:33:44	37.74	44.16	4.6	4.2	53.4	4	184	84	18	92	72	174
2	25.01.2005	16:44:09	37.75	43.79	5.8	5.4	73.4	6	35	68	33	292	60	154
3	25.01.2005	17:11:04	37.80	43.93	4.1	4.2	52.1	12	211	88	42	119	48	177
4	25.01.2005	17:52:52	37.71	44.21	4.6	4.3	84.6	16	40	80	12	308	79	170
5	26.01.2005	00:04:49	37.70	43.60	4.1	3.9	52.0	18	10	82	170	101	80	8
6	26.01.2005	12:22:29	37.59	44.08	4.0	3.6	63.9	10	319	82	22	225	68	171
7	02.02.2005	23:26:52	37.71	43.63	4.5	4.2	80.7	20	131	87	10	41	80	177
8	03.02.2005	07:18:12	37.77	43.88	4.0	3.8	78.1	14	116	89	7	27	83	179
9	04.02.2005	00:19:56	37.77	43.76	4.6	4.3	67.1	16	135	80	168	227	78	10
10	21.09.2007	09:49:26	37.56	44.16	4.0	3.9	47.6	8	69	72	-41	174	50	-156
11	25.06.2008	03:05:37	37.62	43.91	4.3	4.4	52.2	26	193	85	-120	95	30	-9
12	02.07.2008	19:42:32	37.63	43.89	4.0	4.1	64.1	26	193	85	-123	96	34	-9
13	19.08.2008	09:50:04	37.68	43.90	4.0	3.9	66.2	10	203	87	-145	11	56	-3

**Şekil 8:** Anaşokun ve 7 nolu artçı şokun sentetik ve gözlemsel sismogram uyumu.**Figure 8:** Comparison between observed and synthetic seismograms of main shock and after shock (no 7).

Yaygın ve dağınık depremselliğin nedeni bölgedeki mevcut istasyon dağılımının yetersiz olması, yapısal unsurlar ve farklı tektonik unsurlar olarak düşünülmektedir. Deprem oluş düzeninin farklı olması ardarda meydana gelen orta büyüklükteki depremlerin birbirini tetiklemesi olarak düşünülmektedir. Bununla beraber ana şok sonrası oluşan depremlerin düzlemlerinin farklı mekanizmaları sergilemesi

bölgedeki gerilme sisteminin ana hatlar boyunca değil birçok küçük fay zonu boyunca çalıştığını ve stresi geniş bir alan içerisinde düşürdüğü düşüncesini doğrulamaktadır. Genel olarak mekanizma çözümlerinde ters bileşenli doğrultu atımlı fayların daha etkin olduğu ve yönelim olarak da Doğu Anadolu'nun genelinde gözlenen KB-GD veya KD-GB uzanımlı faylarla benzerlikler gösterdiği saptanmıştır.

Depremın büyüklüğü itibarıyla yüzey kırığı oluşturma ihtimali oldukça düşüktür. Ancak saha çalışmalarında Sütlüce mezrası ve Kaymaklı köyünde çatlaklar belirlenmiştir. Bu çatlakların heyelan kütleleri içerisinde geliştiği, Sütlüce mezrasında K10D gidişli, 15 m uzunlukta, 5-8 cm açıklıkta, en az 1.5 m derinlikte olduğu depremin hemen sonrasında yapılan arazi çalışmalarında saptanmıştır (Şekil 9). Kaymaklı köyü içerisinde gerçekleşen çatlağın doğrultusu yaklaşık D-B yönünde olup uzunluğu 30-40 m civarındadır.

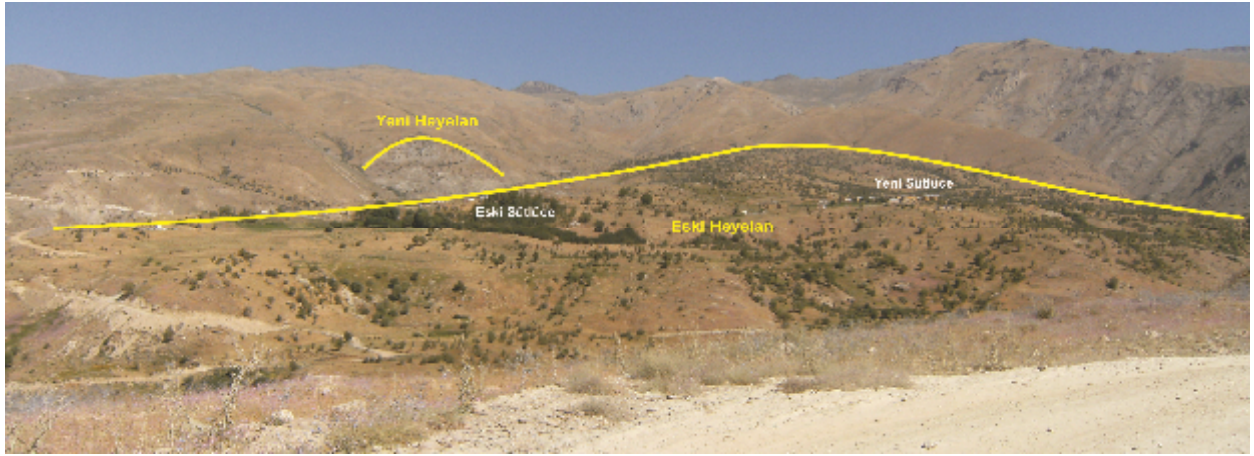


Şekil 9: Sütlüce mezrasında depreme bağlı gelişen heyelan çatlağı, bakış yönü K.

Figure 9: Landslide joint developed by earthquake on Sutluce field, viewed from S to N.

Saha verileri incelendiğinde bölgede hasarın gerçekleşme nedeni sismolojik olarak depremin odak noktasına yakınlık ve fayın etki alanı ya da enerji boşalma alanı üzerinde olmasının yanısıra, yapı-zemin ilişkisinden de kaynaklanmaktadır. Hasarın sadece deprem tarafından tetiklenen bu heyelan kütleleri üzerindeki yerleşimlerde olması zemindeki olası ivme büyütme potansiyelinin etkisini ortaya koymaktadır. Kaldı ki bu birim gerek jeoteknik gerekse sismolojik açıdan mühendislik parametrelerinin oldukça düşük çıkacağı bir litolojiye sahiptir. Bunun yanısıra heyelan karmaşığı altında yer alan Urşe formasyonuna ait birimlerin tabaka eğimleri ise şev dışına yani güneydeki ana dereye doğrudur. Bu durum özellikle heyelan kütlelerinin hareketini kolaylaştıran etkenlerin arasında yer almaktadır.

Bir diğer çarpıcı durum ise yıkımdan sonra yapılan Sütlüce ve Kaymaklı'nın yeni yerleşim yerlerinin yine aynı heyelan kütlelerinin üzerine oturtulmasıdır (Şekil 10). Yapılan bu tespit deprem etki alanında bulunan yapılardaki yapısal hasarların sadece Sütlüce ve Kaymaklı ile sınırlanmasına anlam kazandırmaktadır.



Şekil 10: Eski Sütlüce ve Yeni Sütlüce'nin yerleşimleri, bakış yönü K-KD.

Figure 10: The new and older settlements of Sutluce village, viewed from S-SW to N-NE.

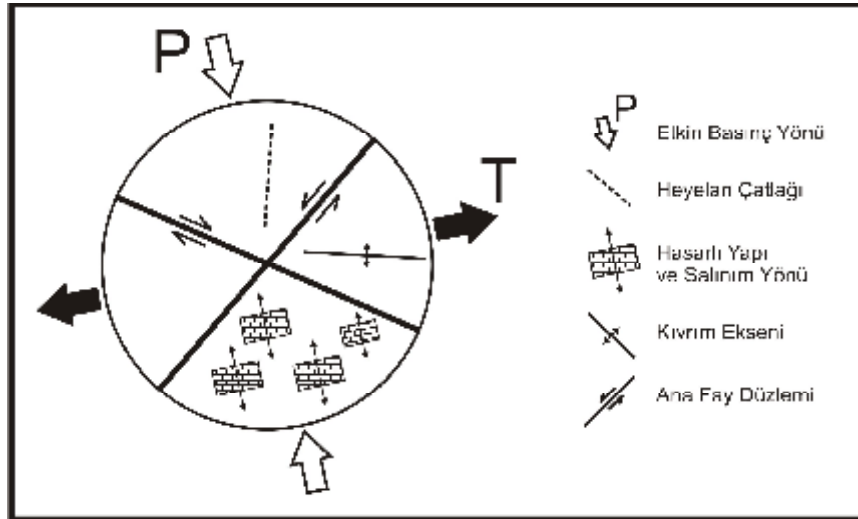
Özellikle Sütlüce mezrasındaki yapılarda gelişen hasarların durumlarından vektörel olarak etki eden yüklerin hangi yönden geldiği konusunda değerlendirme yapılmıştır. Buna göre yapılarda ağırlıklı olarak K-G

yönünde bir hareket gözlenmiş ve genelinde bu yönlere bakan duvarlar yıkılmıştır.

Bu sonuç, Sütlüce'nin hemen kuzeyinde bulunan deprem odak noktasının doğrultusunu ve etkin gerilme yönlerini desteklemektedir (Şekil 11 ve 12).



Şekil 11: Sütluçe’de depremde hasar görmüş yapılardan biri, bakış yönü GB.
Figure 11: A collapsed traditional building on Sutluçe, viewed from NE to SW.



Şekil 12: Etkin basınç ve salınım yönlerini gösteren şematik model.
Figure 12: A Schematic Model of main shock and shaking directions.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda 25 Ocak 2005 Hakkari depremlerinin kaynağının tek bir fay sistemine bağlı olmadığı saptanmıştır. Bölge genelinde etkin olan K-G yönlü sıkışma birçok fay üzerinde etkisini göstererek yırtılmanın dağınık bir şekilde gelişmesine neden olmuştur. Bu sonuç fay mekanizması çözümlerinde net olarak görülmektedir. Çok yakın mesafelerdeki odak noktalarına sahip depremlerin gerilme düzlemleri farklılık gösterebilmektedir. Aynı

zamanda ana şoktan sonraki iki gün içerisinde gerçekleşen artçı depremlerin de bir yönelim göstermeden saçılımlı olması bu sonucu desteklemektedir.

Sütluçe ve yakın çevresi, bölge genelinde hakim olan iki ana doğrultu atımlı fay sisteminin tam eklemesinde yer almaktadır. KD-GB uzanımlı BFZ ve KB-GD uzanımlı ŞYFZ'nun kesiştiği bu bölge, ana sıkışma yönü olarak K-KD ya doğru itki halinde olan Bitlis Kenet Kuşağı'nın da etkisiyle KD-D ya doğru kaçma

eğiliminde olacaktır. Bunun sonucunda Sütluce, Kaymaklı ve Bağışlı yerleşimleri civarında sıkça farklı büyüklüklerde depremlerin olma olasılığı yüksektir.

Çalışma kapsamında yapılarda gelişen hasarların durumlarından vektörel olarak etki eden yüklerin hangi yönden geldiği konusunda değerlendirme yapılmıştır. Buna göre yapılarda ağırlıklı olarak K-G yönünde bir hareket gözlenmiş ve genelinde bu yönlere bakan duvarlar yıkılmıştır. Bu sonuç, Sütluce'nin hemen kuzeyinde bulunan deprem odak noktasının doğrultusunu ve etkin basınç yönlerini desteklemektedir. Bu yaklaşım yüzey kırığı üretmeyen orta büyüklükteki depremlerde ön bilgi vermek amacıyla kullanılabilir.

Sütluce mezrası ve Kaymaklı köyü eski bir heyelanın yarı tutturulmuş birimleri üzerine yerleşmiştir. Depremden sonra yapılan yeni konutlar da aynı heyelan üzerinde yapılmıştır. Yapılan saha çalışmalarında yeni binalarda da bazı hareketlerin olduğu, kısmen hasarlar geliştiği saptanmıştır. Bu durumun yapıdan mı, yapı-zemin ilişkisinden mi yoksa kütle hareketinden mi kaynaklandığı net olarak belirlenememiştir. Hasarın sadece Sütluce ve Kaymaklı da olması heyelan karmaşığı birimlerinin ivme büyüme potansiyeline sahip olduğunun belirteçidir. Ana şok bölgesi içerisinde kalan ve kaya birimler üzerinde olan diğer yerleşimlerde hasar gelişmemiş olması bu çalışmada elde edilen yıkımların nedeninin heyelan kaynaklı olduğu sonucunu desteklemektedir.

Deprem, bu heyelan kütlelerinde yeni çatlaklara neden olmuş, Sütluce mezrasında K10D gidişli, 15 m uzunlukta, 5-8 cm açıklıkta, en az 1.5 m derinlikte çatlak oluşmuştur. Bir benzeri ise Kaymaklı köyü içerisinde gerçekleşmiş, burada çatlakın doğrultusu yaklaşık D-B yönünde olup uzunluğu 30-40 m civarındadır.

Sütluce ve Kaymaklı yerleşimlerinde ana kaya olan şeyl-kiltaş birimlerinin tabaka eğimleri ise üzerindeki heyelan kütlelerinin hareketini kolaylaştıracak yönde olup şev dışına yani güneye doğrudur. Sütluce batısındaki yamaçta yaklaşık doğuya doğru olan birimler heyelan kütlelerinin hareket yönüyle uyumludur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın bir bölümü 8-11 Ekim 2009'da Çanakkale'de düzenlenen Aktif Tektonik Araştırma Grubu 13. Toplantısında (ATAG-13) poster sunum olarak sunulmuştur. Çalışmanın şekillenmesinde görüşlerini aldığımız Prof. Dr. Ali Koçyiğit'e, Dr. Fuat Şaroğlu'na ve Prof.Dr. Doğan Perinçek'e teşekkür ederiz. Ayrıca, saha çalışmalarının ve uydu görüntülerinin yorumlanmasında katkıda bulunan Prof.Dr. Hayrettin Koral'a ve makaleyi pozitif katkıları ve olumlu eleştirileriyle değerlendiren Prof. Dr. Şener Üşümezsoy, Prof. Dr. Ali Pınar ve Prof. Dr. Haluk Eyidoğan hocalarımıza çok teşekkür ederiz.

SUMMARY

A medium magnitude earthquake ($M_w=5.8$) hit Hakkari region on January 25, 2005 (GMT) at 04:44 pm. The epicenter was located at 21 kilometres north of Hakkari at a depth of 16 kilometres. The earthquake that was felt in 150 km diameter resulted in slight damage to buildings in Hakkari downtown and severe damage (building failures) in Sütluce and Kaymaklı villages.

Each study conducted, to this date, to identify the outer center and the fault segment of this earthquake reported different results. This study aimed to resolve the focal fault mechanism solutions using the results of field investigations that were carried out just after the earthquake along with, geological studies, building failure patterns such as out of plane wall failure directions, and seismological data. According to this focal fault mechanism solutions differential approximations were made to find out on which fault segment this earthquake was occurred and the reasons of structural damages occurred in Sütluce and Kaymaklı villages were discussed. Sütluce and Kaymaklı villages are in effect of left lateral strike slip faults with reverse component passing from North and minor faults associated with this fault system. Earthquake moment tensor solutions are redone using Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute's (KOERI) some of the foreshocks and aftershocks earthquake data, According to the main earthquake solution the fault is identified to be a left lateral strike slip faults with reverse component which verifies the field investigation and satellite image findings of and main fault plane caused the earthquake is identified using the scatter of foreshocks and aftershocks. Since, the solution of 13 earthquakes having a magnitude larger than $M_w=3.6$, showed a scattered layout and each plane showed different mechanisms, it is found that the stress system in the region is not on a main line and drops along several small fault zones which decreases the stress in a large area. Generally, the results of mechanism solutions showed that the left lateral strike slip faults with reverse component are more active and are similar to other NW-SE and NE-SW trending faults generally seen in Eastern Anatolia.

The characteristics of rock and soil units around Sütluce village were identified during the field investigations and it was found that these villages are located on big landslide masses. With the earthquake, cracks inside this landslide mass were developed and measured to be 15 m long and 5-8 cm wide in the direction of N10E; in Sütluce village. The crack found in Kaymaklı village measured to be 30-40 m long in E-W direction. Especially, in Sütluce region layer slopes of main rock main rock Urşe formation units are towards outer part of slope. This is an unfavorable specialty that can cause landslides in normal conditions as well as during earthquakes. The failure pattern of

earthquake damaged buildings is used to determine direction of the earthquake load and used to cross check the results of this seismological and geological study. It is found that, the damage and failure pattern of these buildings are in N-S direction supporting the direction of cracks found in landslide mass.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alsan, E., Tezuçan, L., Bath, M., 1975.** An earthquake catalogue for Turkey for the interval 1913-1970, Kandilli Obs. İstanbul, Turkey, and Seism. Inst. Upsala, Sweden, Report No. 7-75, 166 pp.
- Atalay, K., 2007.** 25 Ocak 2005 Hakkari depremi kaynak özellikleri ve sismotektonik özellikleri, YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45 s.
- Demirtaş, R., Yılmaz, R., 1996;** Seismotectonics of Turkey, "Preliminary approach to earthquake forecasting based on long-term variations in seismic activity and present seismicity." Publ. of Ministry of Public Works and Settlement, pp 95, June 1996, Ankara.
- Dreger, D., (2002).** Manual of the Time-Domain Moment Tensor Inverse Code (TDMT_INV),

Release 1.1, Berkeley Seismological Laboratory, pp. 18.

- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Yıldırım, C., 2005.** 25 Ocak 2005 Hakkari Depremi Hakkında Ön Değerlendirme Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, 2001.** Neotectonics of East Anatolia plateau (Turkey) and lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta.* (14): 177-195.
- Koçyiğit, A., 2005.** 2005.01.25, Mw=5.9 Sötlüce (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Lee, W.H.K., J.C. Lahr., 1972.** HYPO71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, Open File Report, U. S. Geological Survey, 100 pp.
- MTA 1/100.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları,** Hakkari M51 Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi 2007, Ankara
- Perinçek, D., 1990.** Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, GDA Türkiye: TPJD Bülteni, cilt 2/1, s. 21-68.