

YÜKSEKOVA (HAKKARİ) BÖLGESİNİN DEPREMSELLİĞİ VE SİSMİK TEHLİKE ANALİZLERİ

SEISMICITY AND HAZARD ANALYSIS OF YÜKSEKOVA (HAKKARİ) REGION

İsmail AKKAYA¹, M.Alper ŞENGÜL², Ali ÖZVAN³, Mücip TAPAN⁴

¹*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye*

²*İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

³*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye*

⁴*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye*

ÖZ

Yüksekova (Hakkari) yerleşim alanı ve çevresi jeolojik yapı, tektonik özellikler, depremsellik açısından riskli bölgede yer almaktadır. Bu çalışmada, saha gözlemleri ve bölgede meydana gelen depremler ışığında, başta Yüksekova ilçe yerleşimi olmak üzere civar köylerin yerel zemin koşulları ve aktif faylara olan uzaklıkları göz önünde bulundurularak bölgenin depremselliği ve deprem tehlike analizleri konu edilmiştir. Yüksekova yerleşim alanı genel olarak Kuvaterner yaşlı az tutturulmuş-gevşek-yumuşak çökeller (çakıllı, kumlu, killi) üzerinde yer almaktadır ve yeraltı suyu seviyesi ova içerisinde bazı yerlerde yüzeye kadar ulaşmakta ve artezyen yapmaktadır. Tehlike analizleri sonucunda ivme değerleri gevşek suya doymuş zeminlerde 0.3-0.4 g değerlerine ulaşmaktadır. Düşük ivme değerleri ise, Yüksekova'nın K-KD kesimlerinde yüzeylenen kumtaşı-kiltaşı ve temel kayası olan melanj birimlerinin yer aldığı, yapılaşmanın nispeten daha az olduğu alanlarda yaklaşık 0.1 g olarak elde edilmiştir. Bölgede aletsel süreçte meydana gelmiş depremler kullanılarak büyüklük-frekans ilişkisinden elde edilen parametreler ve dönüş periyotlarından büyüklüğü M=7 olan depremin tekrarlama periyodu 100 yıl, M=7.5 olan depremin ise 255 yıl olarak hesaplanmıştır. Yüksekova ve çevresini içine alan fay zonlarının aktif özellikleri ve deprem üretme kapasiteleri, kent yerleşim alanının zemin koşulları ve bölgedeki yapı kalitesinin istenilen düzeyde olmaması olası büyük bir depremde mevcut yerleşim alanında yüksek can ve mal kaybı yaşanmasına neden olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yüksekova (Hakkâri), depremsellik, zemin koşulları, sismik tehlike analizi.

ABSTRACT

Yüksekova (Hakkari) region has high seismicity risk because of its geological and tectonic characteristics and experienced many historical earthquakes. The seismic hazard analysis of Yüksekova and its surroundings is carried out using the results of field investigations, local soil conditions and seismotectonic features of the region. The maximum acceleration (PGA) is calculated by considering the faults, distance, between settlements and faults in the area and earthquakes which occurred in instrumental period. The maximum acceleration is obtained between 0.3 – 0.4 g in loose and saturated soils and 0.1g in sandstone-claystone and melange units where relatively fewer buildings exist. By using magnitude-frequency relationship considering the seismic events happened in instrumental period, the period of an earthquake with a moment magnitude (M_w) of 7 and 7.5 is calculated to be 100 and 225 years, respectively. Because of the seismic activity of fault zones in Yüksekova region, local soil conditions of the urban area and low-quality construction practices in Yüksekova region, a huge earthquake which is expected to occur in near future may cause many casualties and economic losses.

Keywords: Yüksekova (Hakkâri), seismicity, local soil conditions, seismic hazard analysis.

GİRİŞ

Yüksekova (Hakkâri) yerleşimi ve çevresi, Türkiye'nin büyük deprem üretebilecek önemli sismik boşluklarından birisi olarak kabul edilen Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu (YŞFZ) içerisinde yer almaktadır (Demirtaş ve Yılmaz 1996). Bölgenin genelinde gerek tarihsel gerekse aletsel dönemde bir çok büyük deprem gerçekleşmiştir. Bu çalışma kapsamında, Yüksekova ve çevresinin jeolojik, jeoteknik ve jeofizik yöntemlerle yapısal durumu, olası depremlerde oluşabilecek hasarlar, zemin koşulları ve yapıların mevcut durumları incelenerek güvenli ve riskli bölgeler belirlenmiştir.

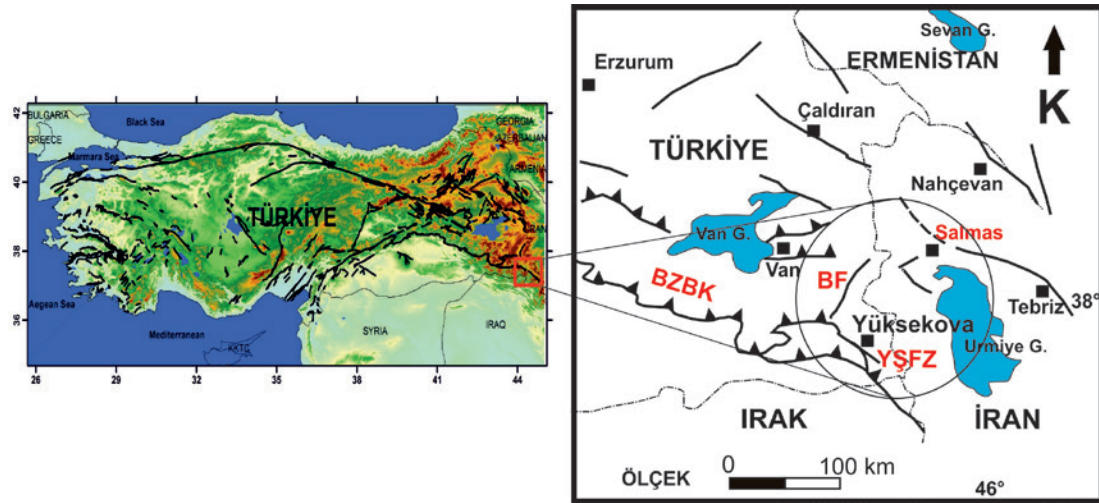
Hakkâri ili ve çevresi birinci derecede deprem bölgesinde olup Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu (YŞFZ), Başkale Fayı (BF), Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı (BZBK) ve Salmas (İran) Fay Zonunun yakınında yer almaktadır (Şekil 1). Son yüzyılda meydana gelen 1908 Başkale (M=6.0), 1930 Salmas-İran (M=7.2), 25 Ocak 2005 Hakkari-Sütlüce ($M_w=5.9$) ve 27 Ekim 2011 Yüksekova (M=5.2) depremlerinden Yüksekova yerleşimi olumsuz yönde etkilenmiştir. Bölgede meydana gelen depremler bölgenin deprem etkinliğinin ve buna bağlı risklerinin göstergeleridir. Yüksekova da bu depremlerden etkilenen alan içerisinde yer almaktadır. Yüksekova ilçesi 2011 yılı nüfusuna göre 113.871 kişinin yaşadığı Hakkari ilinin en büyük ilçesidir

(Şekil 1). Artan nüfus ile birlikte, plansız ve çok katlı yapılaşma da artmaktadır.

Bölgenin en önemli sorunu zemin özelliklerinin nispeten daha kötü olduğu, yeraltısuyu seviyesinin oldukça sığ derinliklerde hatta bazı bölgelerde yüzeyde olduğu ova kısmında yerleşimin yoğunlaşması ve zemin özelliklerine uygun yapılaşmanın gerçekleştirilmemesidir.

Depremlerde can ve mal kaybına neden olan en önemli etken yapıların üzerine kurulu olduğu zemin özellikleridir. Depremlere bağlı hasarlarda; jeolojik koşullar, yapı özellikleri, deprem kaynak özellikleri, sismik dalga fazları, jeolojik yapıyla ilişkili sismik dalga faz değişimleri ve bölgesel jeoteknik koşullar son derece önemlidir. Deprem dalgaları, zemin tabakaları içinden geçerken, tabakaların özelliklerini de (akışkan basıncı, dayanımı, zemin büyütmesi vb) etkilemektedir. Böylelikle aynı sismik harekete maruz kalan birbirine yakın bölgelerde, farklı derecelerde hasarlar oluşabilmektedir (Ansal, 1999). Bunun en büyük sebebi yerel ölçekte zemin koşullarının farklılığı veya jeolojik ortamın kısa mesafelerde değişkenlik göstermesidir.

Bu kapsamda Yüksekova yerleşim alanı ve çevresinde gerçekleşebilecek büyük bir depremde oluşabilecek yapısal hasarlar, tehlike senaryoları ve zeminde depreme bağlı gelişecek fiziksel değişikliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası ve ana fay zonları (BZBK: Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı, YŞFZ: Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu, BF: Başkale Fayı)

Figure 1. Location map of study area and main fault zones (BZBK: Bitlis-Zagros Thrust Belt, YŞFZ: Yüksekova-Şemdinli Fault Zone, BF: Başkale Fault)

BÖLGENİN JEOLJİSİ VE AKTİF TEKTONİĞİ

Yüksekova (Hakkari) yerleşim alanı ve yakın çevresinde Güneydoğu Anadolu bölgesinin doğu bölümünde yüzeylenen Paleozoyik'ten Erken-Orta Miyosen zamanına kadar farklı dönemlerde oluşmuş ve yerleşmiş bir çok kaya birimi yer almaktadır. Bu birimlerin büyük bölümü temel niteliğindeki kaya birimleri olup, allokton birimlerdir (Şekil 2). Allokton birimler inceleme alanında yüzeylenmeyen Güneydoğu Anadolu otokton birimleri olarak bilinen Eosen yaşlı karbonatlardan oluşan Midyat grubu ve Adıyaman civarında yüzeylenen Kretase yaşlı Koçali karmaşığına ait birimlerin üzerinde yer almaktadır. Allokton birimler kendi içerisinde tektonik dokanaklıdır. İnceleme alanında tabanda Hakkari naplarına ait birimler olup üzerinde Bitlis-Pötürge-Malatya naplarına ait birimler yer almaktadır (Şekil 2).

Çalışma alanı dahilinde, Hakkari Napları olarak da adlandırılan birim grimsi, boz yer yer kahvemi renkli, ince orta tabakalı kumtaşı, kiltası, şeyl ardanmasından oluşmaktadır. Oldukça kalın bir istif olan bu birim içerisinde yer yer kireçtaşı ara seviyeleri de gözlenmektedir. Birimin yaşı Eosen-Oligosen olarak verilmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997).

Hakkari napları üzerinde Bitlis-Pötürge-Malatya naplarına ait Kretase-Erken Paleosen yaşlı tektonik dilimler yer almaktadır. Birim, spilitik bazalt, bazalt, tüf, kireçtaşı, çakıtaşı, şeyl ve fliş türü kırıntılılar ile temsil edilmektedir. Kalınlığı yaklaşık 2500 m civarında olan birim yanarda ve düşeyde litolojik değişkenlik göstermektedir. Birimin yaşı önceki çalışmalarda Geç Kretase-Paleosen olarak verilmiştir (Şenel et al, 1984).

Kretase yaşlı birimler üzerinde tektonik olarak Bitlis Metamorfikleri ve Mordağ Metamorfikleri gelmektedir. Çalışma kapsamında bu birimler Paleozoyik birimler olarak tanımlanmıştır. Mordağ Metamorfikleri, sedimenter kökenli metamorfik kayalar ile metagabro, metadiyabaz, serpantin ve amfibolit türü kayalardan oluşurken, yaşı Pre-kambriyen'e kadar inen Bitlis Metamorfikleri göznlü gnays, amfibolit, şist, mermer gibi kayatürlerinden oluşmaktadır (Perinçek 1990). Kalınlığı tam olarak saptanamayan birim aynı zamanda Yüksekova İlçe yerleşiminin hemen etrafında oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil 2).

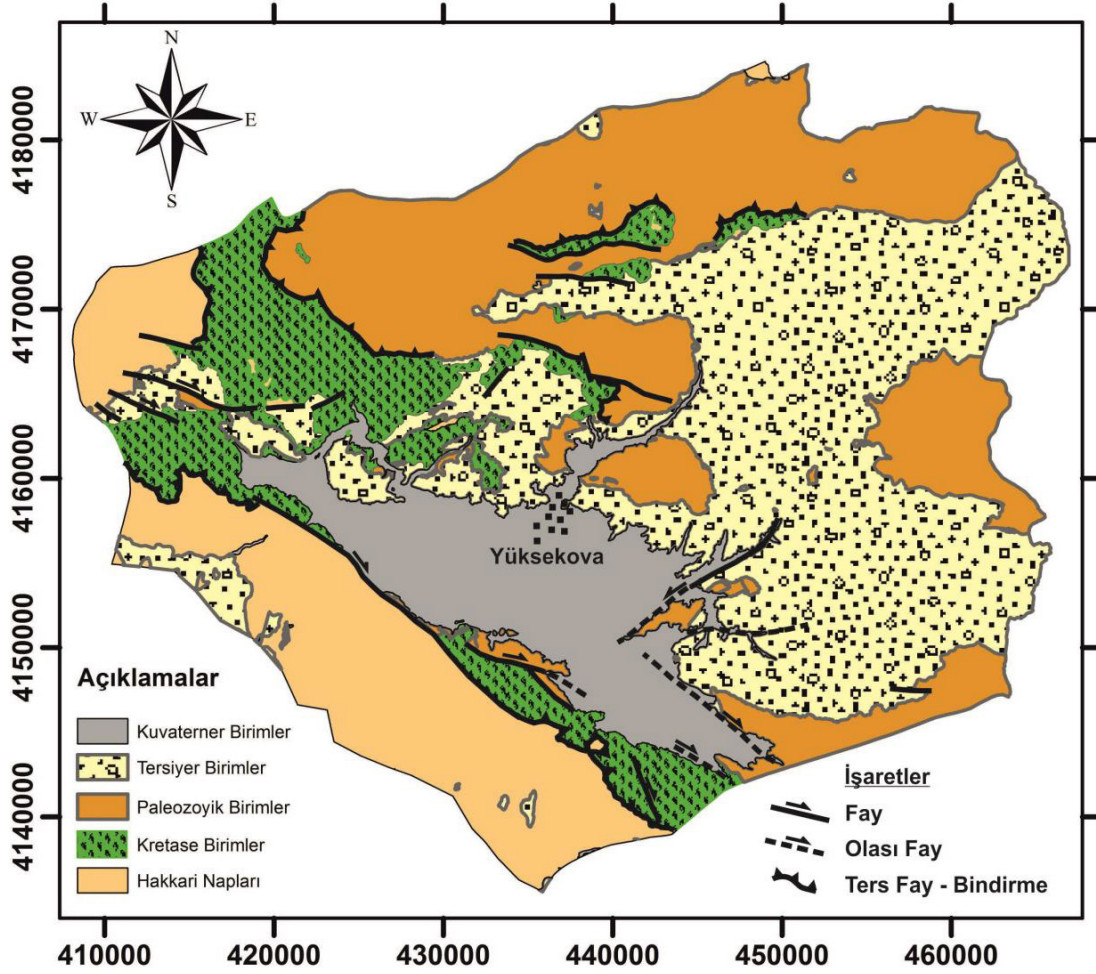
Tüm bu allokton birimlerin üzerinde ise açısız uyumsuzlukla paraallokton birimler yüzeylenmektedir. Yüksekova yerleşiminin yüksek kesimlerini oluşturan bu birimler Paleosen'den Erken Miyosen zamanına kadar çökelmiş genelinde kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. Bu birimler çalışma kapsamında Senozoyik yaşlı birimler olarak tanımlanmıştır. Bu birimler genellikle tabanda kırmızımsı çakıtaşı, grimsi boz renkli, yer yer kırmızımsı kumtaşı, silttaşı ve kiltası birimleri ile bej, bol fosilli kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır (Perinçek, 1990) (Şekil 2).

İnceleme alanında yüzeylenen en genç birimler Yüksekova yerleşiminin çok büyük bir bölümünün üzerinde yer aldığı alüvyal çökellerdir. Tektonizmanın da etkisiyle oldukça kalın bir istif sunan bu çökeller farklı tane boylarındaki, tutturulmamış veya az tutturulmuş kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Birim yatayda ve düşeyde oldukça sık değişkenlik göstermektedir. Yüksekova yerleşiminin kuzey kısmı daha çok çakıllı birimler üzerinde iken, güney kesim, alüvyal düzlüğe doğru killi ve çamurlu birimler üzerine yerleşmiştir (Şekil 2).

Yüksekova da yapılaşmanın ve yerleşimin yoğun olduğu ova alan, Kuvaterner yaşlı alüvyon, ince çakıl, kum, silt ve killerden oluşan gevşek yapıya suya doygun yapıdadır. Bu birimler Yüksekova karmaşığını açısız uyumsuzlukla örtmektedir. Alüvyal çökeller genel olarak orta-yüksek plastisiteli, katı-çok katı, kumlu kil/silt ile yer yer çakıllı kumlu kil/silt mercek ve seviyelerinin ardanmasından oluşmaktadır.

Fay Zonları ve Depremsellik

Güneydoğu Anadolu'nun en doğu ucunda yer alan Yüksekova yerleşimi ve yakın çevresinin depremselliğini ve aktif tektoniğini anlamak için bölgesel ölçekte, İran'ın KB'sını da içerisine alacak şekilde gerek tarihsel gerekse aletsel dönemde gerçekleşen büyük depremleri ve bu depremlere kaynaklık eden fay zonlarını incelemek önemlidir. Bölgesel olarak Yüksekova yerleşimi ve yakın çevresi, kuzeyinde Başkale Fay Zonu (BFZ), güney ve güneydoğusunda Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı (BZBK) ve bu kuşağın devamı niteliğinde olan Şemdinli Fayı ve İran içerisinde uzanan "Main Recent Fayı"nın kuzeybatı ucu ile kuzeydoğuda Salmas Fay zonu ile çevrelenmektedir (Şekil 3). Bu fay zonları üzerinde aletsel dönemde $M \geq 5$ in üzerinde yıkıcı depremler meydana gelmiştir (Tablo1, Şekil 4).



Şekil 2. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (MTA 2002).
Figure 2. Simplified geological map of the study area (MTA 2002).

Aletsel dönem içerisinde tarihsel sıralamaya göre ilk deprem 1908 yılında Başkale Fay Zonu içerisinde gerçekleşen $M=6.0$ büyüklüğündeki depremdir. Başkale Fay Zonu yaklaşık KKD-GGB uzanımlı, 60 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde birbirine paralel, GD ya eğimli, sol yönlü doğrultu atım bileşeninin olduğu normal faylardan oluşmaktadır. 1908 yılında gerçekleşen deprem ile ilgili olarak detaylı çalışma bulunmadığı gibi yırtılma ile ilgili olarak da veri bulunmamaktadır. Bu fay zonunun KD ucu Salmas Fay Zonu ile kesişmekte ve genç volkanizmanın yaygın gözleendiği bir alanda sonlanmaktadır.

İran'ın kuzeybatısında Zagros Bindirme Kuşağı üzerinde 23 Ocak 1909 tarihinde $M_s=7.4$ büyüklüğünde bir deprem gerçekleşmiştir. Depremde yaklaşık 60 köy tamamen yıkılmış, 130 köyde ise ciddi

hasarlar oluşmuştur. Silakhor depremi olarak adlandırılan bu depremin kaynak fayı Zagros Bindirme Kuşağının hemen doğu sınırını oluşturan "Main Recent Fay Zonu"na ait Dorud Fayı'dır. Bu fay KB-GD uzanımlı olup ters faylanma niteliğindedir. Silakhor depreminde fay üzerinde yaklaşık 65 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuş ve yaklaşık 4.5 m ye varan yer değiştirmeler gözlenmiştir (Ambraseys 1978, Berberian, 1976)

Bölgede, Yüksekova yerleşimine yakınlığı ile dikkat çeken, İran sınırı doğusunda, 1930 yılı Mayıs ayında gerçekleşen $M=7.2$ büyüklüğündeki deprem Salmas Depremi olarak bilinmektedir. Depremde yaklaşık 2500 kişi hayatını kaybetmiş, Salmas ovası ve dağ yamaçlarında bulunan 60 köy tamamen yıkılmıştır. Bu ana depremin öncesinde sabah saatlerinde meydana gelen $M=5.4$ büyüklüğündeki deprem

nedeniyle köylerin boşaltılmış olması ölü sayısını azaltmıştır. Ana şokta en büyük yıkım Dilman kasabasında gerçekleşmiş ve depremden sonra kasaba Şahpur adıyla yeniden inşa edilmiştir.



Şekil 3. Bölgesel fay zonları (BZBK: Bitlis Zagros Bindirme Kuşağı, BF: Başkale Fayı, YŞFZ:Yüksekova Şemdinli Fay Zonu, MFZ: Main Recent Fay Zonu, ZBK: Zagros Bindirme Kuşağı), önemli depremler ve fay mekanizma çözümleri.

Figure 3. Main fault zones in the region (BZBK: Bitlis Zagros Thrust Zone) BF: Başkale Fault, YŞFZ: Yüksekova Şemdinli Fault Zone, MFZ: Main Recent Fault Zone, ZBK: Zagros Thrust Belt), important earthquakes and their focal mechanism solutions.

Deprem, Urmie Gölünün hemen kuzeybatısında yer alan Salmas ovasında yaklaşık BKB uzanımlı bir fay ile, daha kuzeyde Derik köyü civarında DKD uzanımlı kısa bir fayın yırtılması ile gerçekleşmiş bir depremdir. Toplamda yaklaşık 35-50 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuş, fakat yüzey kırıklarındaki atım miktarları değişkenlik göstermiştir. Yatay yerdeğiştirme bazı yerlerde 4 m. ye varmakta,

düşeyde ise kimi yerde 5 m. nin üzerindedir (Tschalenko and Berberian, 1974).

Bu özellikleri ile fay, normal bileşenin hakim olduğu sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma karakteri sunmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda düşey hareketin boyutunun bu denli fazla olamayacağı da vurgulanmaktadır (Berberian 1977).

Yine inceleme alanına yakın bir deprem ise Zagros Bindirme Kuşağının içerisinde, İran-Irak sınırında 1946 yılı Ağustos ayında gerçekleşmiştir. Deprem Marivan Depremi olarak kayıtlara geçmiş, $M=5.5$ büyüklüğünde bir depremdir. Deprem yerel şiddeti VII olarak verilmiştir (Mirzaei et al. 1997).

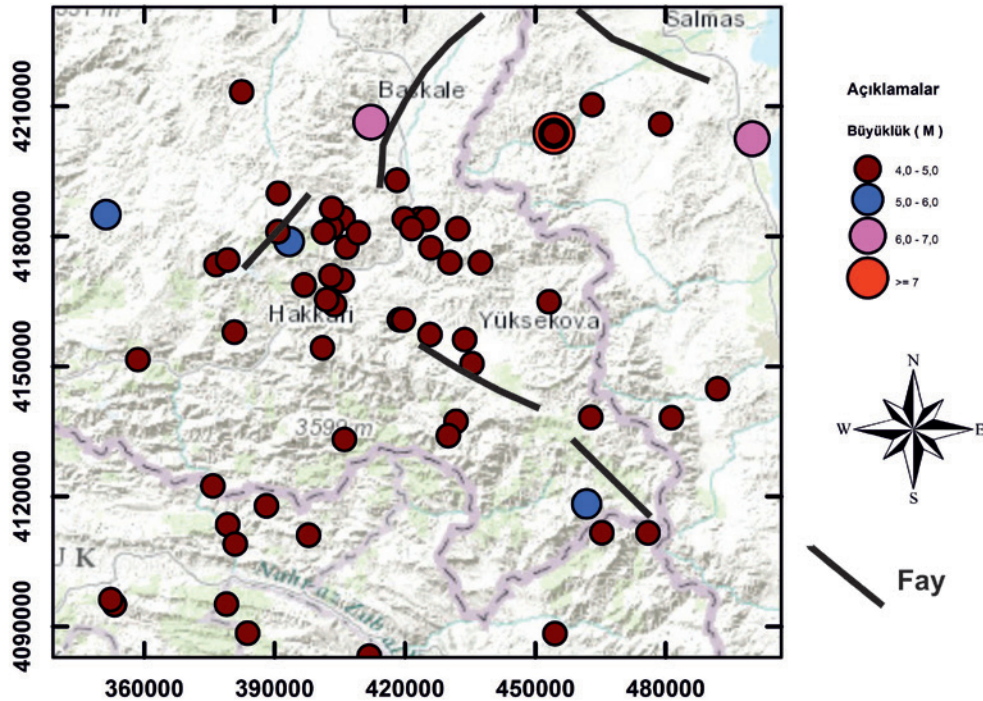
Yüksekova ve çevresini karakterize edebilecek, İran içerisinde gerçekleşen bir başka büyük deprem ise 1957 yılı Aralık ayında gerçekleşen KB-GD uzanımlı Sahneh fayının yırtıldığı Kermanşah depremidir. Deprem büyüklüğü $M=7.2$, odak noktası Farsinaj yerleşimidir (Berberian 1976, 1977). Depremde 1130 kişi hayatını kaybetmiş, 211 köy yıkılmıştır. Depremde Sahneh Fayı boyunca alüvyal zeminlerde fissürler gözlenmiştir. Faylanma türü, odak mekanizma çözümleri doğrultusunda farklı kaynaklar tarafından sol yön bileşenli ters faylanma olarak belirlenmiştir (Canitez and Ucer 1967, McKenzie 1972, Wickens and Hodgson 1967).

Aynı bölge içerisinde bir yıl sonra bir başka büyük deprem gerçekleşmiştir. 1958 yılında ger-

çekleşen Kermanşah depreminin büyüklüğü ise $M_s=6.6$ dır. KB-GD uzanımlı “Main Recent Fay Zonu” üzerinde gerçekleşen bu depremde yaklaşık 28 km yüzey kırığı oluşmuş ve 1.5 m ye varan yerdeğiştirme miktarları ölçülmüştür (Mirzaei et al. 1997). Fayın karakteri ise ters bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlıdır (Şekil 3).

Aynı zon üzerinde Yüksekova yerleşimine en yakın deprem ise 25 Ekim 1970 yılında gerçekleşen Mahabad depremidir (Şekil 3). Deprem büyüklüğü $M_b=5.5$, yerel şiddeti ise VI+ olarak verilmiştir. Depremde 19 km lik bir fayda yırtılma meydana gelmiştir. Odak mekanizması çözümlerinde ise KB-GD doğrultulu, KD ya eğimli, ters bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma (Jackson and McKenzie 1984, Jackson 1992) ve KB-GD doğrultulu normal faylanma (Chandra 1984) türü belirlenmiştir.

Yüksekova ve çevresini de etkileyen önemli başka bir deprem ise 25 Ocak 2005 tarihinde Sütlüce mezrası (Hakkari) odaklı $M=5.9$ büyüklüğündeki depremdir (Şekil 4).



Şekil 4. Ocak 1900-Aralık 2013 tarihleri arasında meydana gelen $M > 4$ depremler.
Figure 4. Epicenters of Earthquakes ($M > 4$) between January 1900 – December 2013.

Tablo 1. Çalışma alanı civarında meydana gelen önemli depremler ($M > 5$).**Table 1.** Major earthquakes ($M > 5$) around study region

Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik	Mw	YO merkez (Km)	R
1908	38	44	30	6	54,6	62,3
1930	37,21	44,57	10	5,6	46,5	47,6
1930	37,98	44,48	70	7,2	49,5	85,7
1930	37,55	44,25	10	5,2	3,2	10,5
2005	37,75	43,79	15	5,4	48	50,3
2011	37,34	43,94	18	5,2	39	43

Bu depremde iki kişi hayatını kaybetmiş, iki köy büyük ölçüde yıkılmış ve yüzeyde kütle hareketleri nedeniyle kırıklar oluşmuştur (Şengül ve diğ. 2010). Depremin kaynak fayı üzerine tartışmalar olmuş ve depremin Yüksekova Şemdinli Fay Zonunun devamı niteliğinde olan bir faylanma sonucunda (Atalay 2007) veya kuzeydeki Başkale Fay Zonunun güney ucundaki sol yönlü doğrultu atımlı bir faylanma ile gerçekleştiği öne sürülmüştür (Koçyiğit 2005, Şengül ve diğ. 2010). Gerçekleşen artçı depremlerin dağılımı, hasar durumu, yerel jeolojik özellikler ve fayın mekanizma çözümü neticesinde faylanmanın KD-GB uzanımlı, GD ya eğimli, ters bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı faylanma ile gerçekleştiği düşünülmektedir (Şengül ve diğ. 2010).

Yüksekova yerleşimini düşük şiddette etkileyen büyük bir deprem ise 2011 yılında Van-Erciş civarında gerçekleşen $M=7.1$ büyüklüğündeki depremdir. Bu deprem neticesinde bölgedeki bir çok kısa fay da harekete geçmiş ve yakın çevrede orta büyüklükte depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerden bir tanesi Yüksekovanın 40 km güneydoğusunda meydana gelen $M=5.4$ büyüklüğündeki depremdir. Bu deprem bölgede şiddetlice hissedilmiş ancak hasar gerçekleşmemiştir.

Tektonik açıdan aktif ve riskli bir bölge olan Yüksekova yerleşim alanı ve çevresinde meydana gelen bu depremler, hasar ve can kayıplarına neden olmuşlardır. Bölgenin ileride benzer depremlerle karşı karşıya kalacağı göz önünde bulundurulursa, risk potansiyelinin iyi bilinmesi zorunludur. Bu nedenle bölgedeki büyük deprem üretme potansiyeli olan fay zonları ve bu zonlarda meydana gelmiş büyük depremler kullanılarak tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında Yüksekova yerleşim alanını da kapsayan 36.5-38.5 Enlemleri ile 43-45.5 Boylamları arasında Ocak 1900 - Aralık 2013 ta-

rihleri arasında meydana gelmiş $M > 3$ olan toplam 644 deprem verisi ele alınmıştır.

Çalışmada Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) veri tabanındaki depremler kullanılmıştır. KRDAE verileri farklı büyüklük tiplerinde (Mw, Mb, Md, ML ve Ms) olduğundan, tek bir büyüklük türünde verilerin incelenmesi açısından her bir veri Moment Büyüklük (Mw) olarak dönüştürülmüştür.

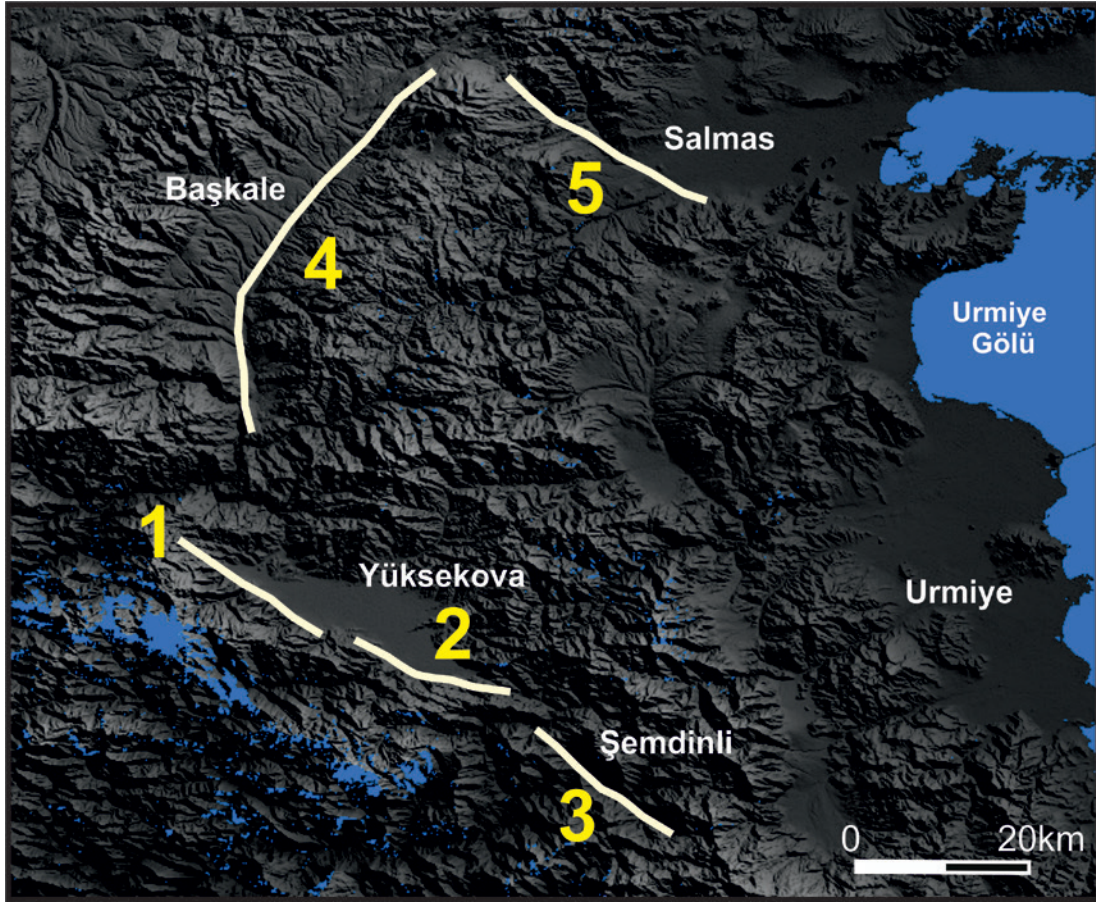
İran sınırları içerisinde kalan ve mekanizma olarak Yüksekova Fay Zonu içerisinde kalan faylara benzer faylarda meydana gelen depremler bölgeye uzak olmaları nedeniyle değerlendirmeye alınmamışlardır. Bu depremler ve faylar sadece bölgenin tektonik yapısının benzerliği açısından değerlendirilmiştir.

Sismik Tehlike Analizi (STA)

STA'nde büyük deprem üretebilecek faylar kaynak geometrisi açısından tanımlanarak, deprem kaynaklarının çalışma alanına en kısa mesafelerinin (episantr ve hiposantr uzaklıklarının hesaplanması) kullanılmasıyla bölgenin sismik tehlikelerinin belirlenmesi amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda, Yüksekova yerleşim alanı ve çevresinde büyük deprem üretme potansiyeli olan Fay zonları (1:Yüksekova Fayı (18 km, Doğrultu atımlı), 2: Yüksekova Ters Fayı (35 km), 3: Şemdinli Fayı (25 km), 4: Başkale Fayı (60 km), 5: Salmas (İran) Fayı (50 km) çizgisel kaynak olarak tanımlanmıştır (Şekil 5). Yüksekova yerleşiminin hemen güneyinde uzanan fay bir bölümünde doğrultu atımlı yırtılma gerçekleştirdiğinden iki ayrı parça olarak değerlendirilmiştir. Ana kısım daha güneydoğuya doğru uzanan ve çatallanan ters – bindirme türü faylanmadır.

Büyük deprem üretme potansiyeli olan fayları içeren 5 farklı senaryo için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda, her bir fayın Yüksekova yerleşim alanında belirlenen lokasyonlara ve civar köylere olan en kısa mesafeleri ölçülmüştür. Beş farklı senaryo için belirlenen yerleşimlere olan mesafeler Tablo 2'de verilmiştir.

Herbir senaryo için hesaplanan mesafeler ve fayların geçmişte ürettiği maksimum büyüklükler kullanılarak belirlenen lokasyonlar için en büyük yer ivme değerlerinin (PGA: peak ground acceleration) hesaplanması gerekir. İvme, deprem sırasında yerin hangi hız ve miktarda sarsıldığının ifadesidir.



Şekil 5. Tehlike analizlerinde kullanılan çizgisel kaynak faylar; 1:Yüksekova Fayı (18 km), 2:Yüksekova Ters Fayı (35 km), 3:Şemdinli Fayı (25 km), 4:Başkale Fayı (60 km), 5:Salmas (İran) Fayı (35-50 km)).

Figure 5. Main faults, used in seismic hazard analysis; 1:Yüksekova Fault (18 km), 2:Yüksekova Thrust Fault (35 km), 3:Şemdinli Fault (25 km), 4:Başkale Fault (60 km), 5:Salmas (Iran) Fault (35-50 km)).

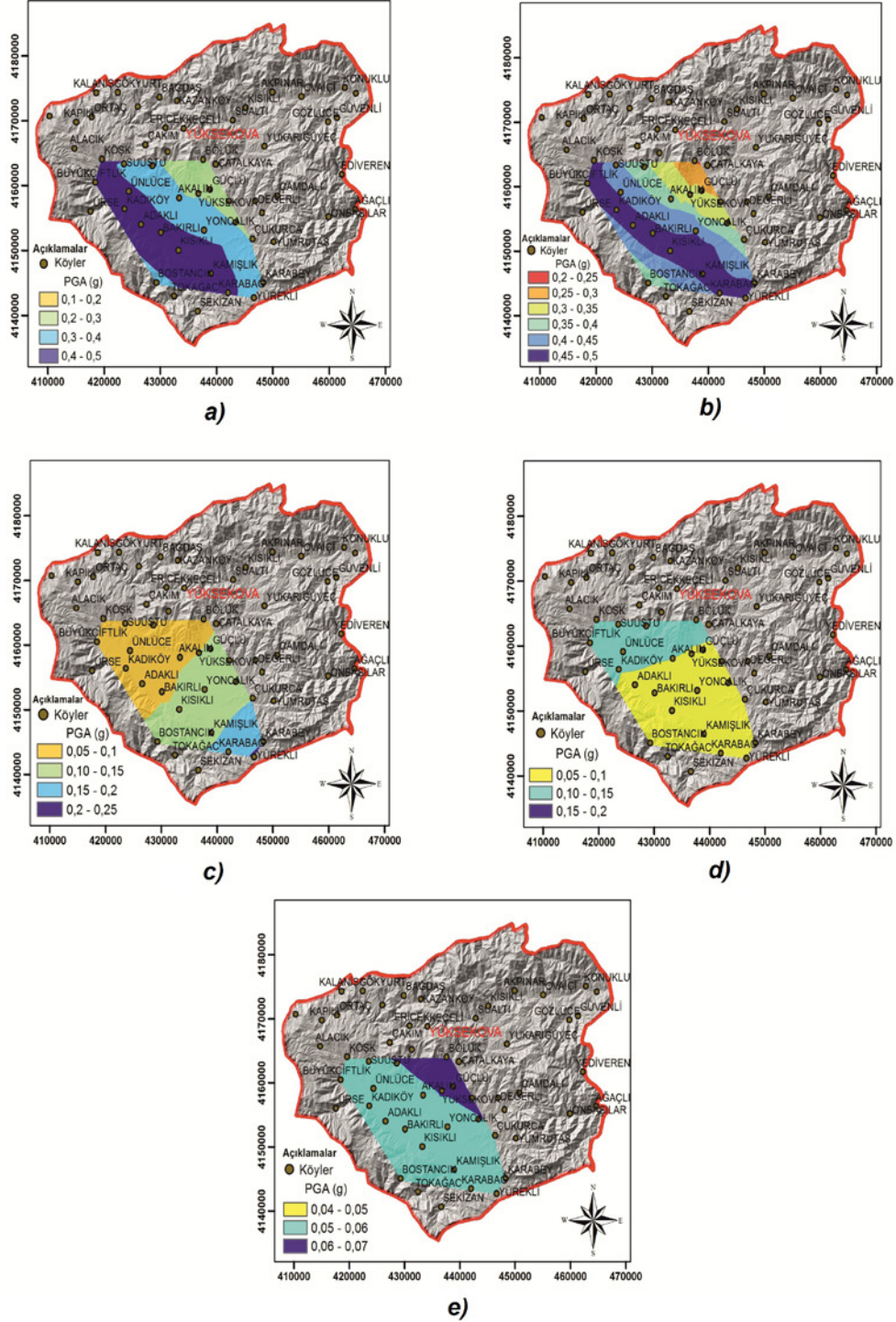
Yer hareketinin genliğini belirlemede yaygın olarak en büyük yer ivmesi (PGA) veya pik yatay ivme terimleri kullanılır. PGA, hareket bileşeninin mutlak değer olarak en büyük genlik değeridir. Yatay bileşenler, yapılar üzerinde düşey ivmelerden daha etkilidir. Yapılar, yatay ivmelerin oluşturduğu kesme ve çekme kuvvetlerine karşı daha az dayanım gösterir. Dolayısıyla, azalım denklemlerinde PGA daha çok tercih edilmektedir (Ambraseys et al 1996, Ambraseys and Douglas 2000).

Deprem odağından uzaklaştıkça uzaklığın foksiyonu olarak ve zemin koşulları ile ilişkili olarak zemin titreşimleri azalır. Bu değişim, azalım ilişkileri kullanılarak hesaba katılmaktadır. PGA hesaplamalarında kullanılan azalım ilişkileri; depremin büyüklüğü, uzaklığı, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarının bir fonksiyonudur (Abrahamson

and Silva 1997, Sadigh et al. 1997, Ambraseys et al. 1996). Bazı araştırmacılar azalım ilişkilerinde zemin türünü kayma dalgasına bağlı olarak ifade etmişlerdir (Boore vd. 1997, Kalkan ve Gülkan 2004).

Yer hareketi parametresinin hesaplanmasında (PGA, SA), büyüklük (M), en yakın yatay mesafe (R) ve kayma dalgası hızı (Vs) parametreleri kullanılarak farklı azalım ilişkileri çalışmada kullanılmıştır (Kalkan ve Gülkan 2004, Ulusay vd 2004, Graizer and Kalkan 2007, Akkar and Bommer 2010).

Bu azalım ilişkilerinden ülkemizdeki deprem kaynakları ile tutarlı olduğu düşünülen, zemin türü ve fay tipinin de ilişkide yer aldığı Akkar ve Bommer (2010) azalım ilişkisi kullanılmıştır.



Şekil 6. Çalışma alanında oluşabilecek 5 farklı senaryo için Akkar ve Bommer (2010) azalım ilişkisi kullanılarak elde edilen PGA zon haritaları a) Senaryo-1 (Yüksekova Fayı (18 km), b) Senaryo-2 (Yüksekova Ters Fayı (35 km), c) Senaryo-3 (Şemdinli Fayı (25 km) d) Senaryo-4 (Başkale Fayı (60 km), e) Senaryo-5 (Salmas (Iran) Fayı (50 km).

Figure 6. Obtained PGA zone maps for five different scenarios that may occur in the study area using Akkar ve Bommer (2010) attenuation relationship a) Scenario-1 (Yüksekova Fault (18 km), b) Scenario-2 (Yüksekova Thrust Fault (35 km), c) Scenario-3 (Şemdinli Fault (25 km) d) Scenario-4 (Başkale Fault (60 km), e) Scenario-5 (Salmas (Iran) Fault (50 km).

Tablo 2. Çalışma alanı civarında yıkıcı deprem üretme potansiyeli olan 1:Yüksekova Fayı (18 km), 2:Yüksekova Ters Fayı (35 km), 3:Şemdinli Fayı (25 km), 4:Başkale Fayı (60 km) ve 5:Salmas (İran) Fayı (35-50 km)) faylarının Yüksekova civarında belirlenen yerleşimlere olan uzaklıkları (km).

Table 2. Distances (km) of main faults which have high risk for the villages near Yüksekova settlement 1:Yüksekova Fault (18 km), 2:Yüksekova Thrust Fault (35 km), 3:Şemdinli Fault (25 km), 4:Başkale Fault (60 km) ve 5:Salmas (Iran) Fault (35-50 km).

Boylam	Enlem	Köy Adı	1	2	3	4	5
436489	4157930	Yüksekova M	7,5	9,2	33,5	45	71,5
436822	4158669	Yüksekova M1	8,4	10,5	33,7	44,4	71,2
434989	4157283	Yüksekova M2	6,8	8	33,9	45	73,5
438058	4156758	Yüksekova M3	6,8	9,8	31,4	46,5	72,7
418325	4160378	Büyükçiftlik	0	0	48,7	37	81,5
419413	4163655	Akocak	0,25	0,5	50	36,5	76,8
427959	4152773	Bulaklı	0	0	36,5	47	81
430026	4152230	Bataklık	1,2	0	39,5	48,2	80
423516	4163060	Suüstü	5	4,5	46,4	36	76
427695	4158524	Köprücek	4,2	4,2	40,3	41	76,3
433376	4155158	Çimenli	5,3	4,3	33,6	45,5	76,2
437699	4152706	Yoncalık	4,7	2,8	28,8	50	76
431397	4156262	Aksu	5,2	4	35,7	45	76,5
433183	4157716	Akalın	7,5	6,4	35,4	43,5	74,2
437189	4161174	Güllüce	12,4	11	35,8	41,5	69
440565	4150433	Dedeler	3,6	2,3	25,2	53	77
433816	4149341	Karlı	0	1,4	29,7	51	81
423792	4156043	Kadıköy	0	0	41,7	43	81,2
441905	4143112	Karabağ	0	2,5	19,5	60	83,2
446029	4147288	Örnekköy	6,3	3,3	19	58,5	77,5
438168	4148470	Doğanlı	0,8	0,7	25,7	53,5	79
446189	4151375	Çukurca	8,5	6,7	22,3	55	73,7
444451	4153069	Demirkonak	8,5	7	24,8	52,5	73,2

Tablo 3. Herbir faylanma için Yüksekova yerleşim alanında elde edilen PGA ivme (g) değerleri.

Table 3. Obtained PGA acceleration (g) values for each rupturing on the Yüksekova settlement.

	Akkar ve Bommer (2010)		Ulusay vd. (2004)		Graizer ve Kalkan (2007)	
	min	max	min	max	min	max
1. Yüksekova Fayı (18 km)	0.2	0.5	0.25	0.4	0.2	0.5
2. Yüksekova Ters Fayı (35 km)	0.2	0.5	0.35	0.5	0.25	0.5
3. Şemdinli Fayı (25 km)	0.1	0.25	0.15	0.35	0.1	0.25
4. Başkale Fayı (60 km)	0.1	0.2	0.15	0.3	0.1	0.2
5. Salmas (İran) Fayı (50 km)	0.04	0.07	0.08	0.15	0.03	0.05

Herbir senaryo için, mesafeler ve fayların geçmişte ürettiği maksimum büyüklükler kullanılmış, belirlenen lokasyonlar için en büyük yer ivme değerleri hesaplanarak çalışma bölgesinin sismik tehlike durumu belirlenmiştir (Şekil 6). Tablo 3'te ise herbir senaryo için hesaplanmış en küçük (min) ve en büyük (max) ivme değerleri g cinsinden verilmiştir.

Büyüklik-Frekans Bağntısı

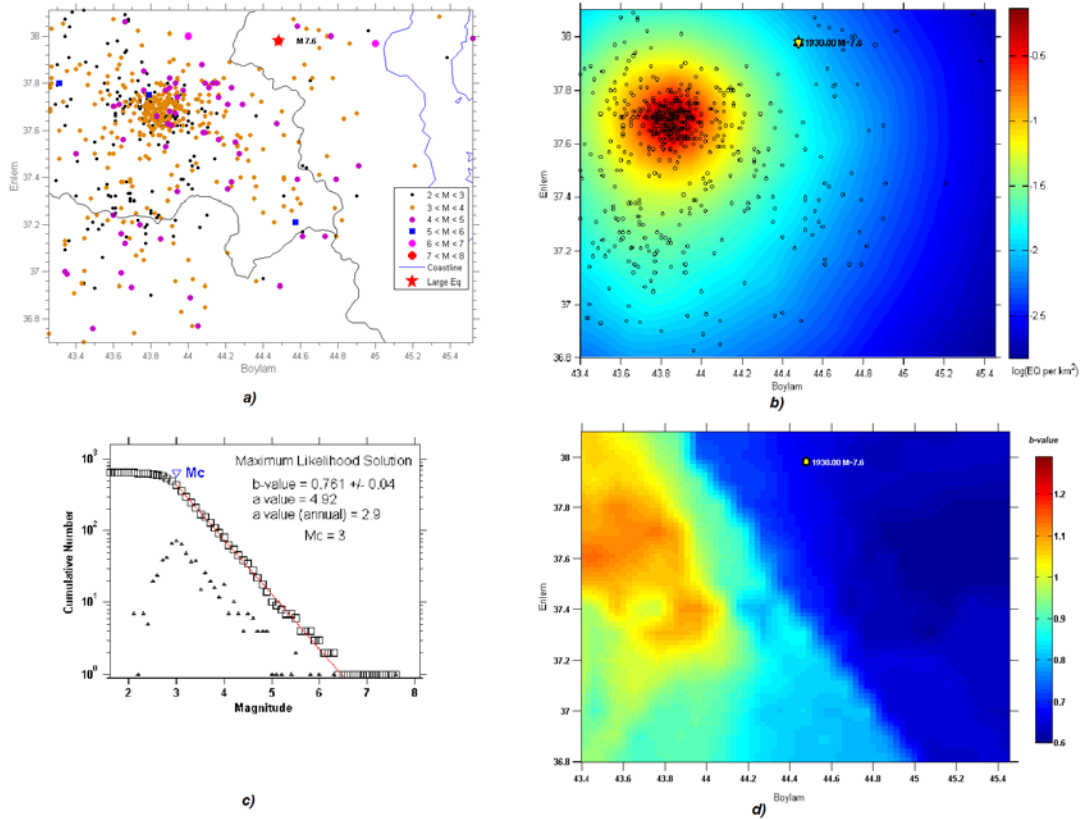
Deprem yinelenme ilişkilerinde kullanılan büyüklük-frekans bağıntısı Gutenberg and Richter 1944 tarafından verilmiştir.

$$\log N(M) = a - bM$$

Burada N, büyüklüğü M'ye eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını; a ve b ise regresyon katsayılarını göstermektedir.

Eğrinin eğimini ifade eden ve sismotektonik parametre olan b parametresi, tektonizma ve depremin fiziği ile ilişkiliden; sismik aktivite düzeyini gösteren a katsayısı, inceleme alanının genişliği ve gözlem dönemiyle ilişkilidir (Tabban ve Gencoğlu 1975).

Yüksekova yerleşim alanını da kapsayan 36.5-38.5 Enlemleri ile 43-45.5 Boyamları arasında Ocak 1900-Aralık 2013 tarihleri arasında meydana gelen depremlerden büyüklük-sıklık ilişkisi kullanılarak $\log N(M) = 4.92 - 0.761M$ bağıntısı elde edilmiştir (Şekil 7c). Küçük b-değeri kırıklı ortamlardaki düşük heterojeniteyle, büyük gerilme ve yamulma, büyük deformasyon hızı ve büyük faylarla ilişkilidir (Bayrak ve Öztürk, 2004). Şekil 7b'de verilen deprem yoğunluk haritası ile uyum gösteren Şekil 7d'deki b-değeri haritasında çalışma alanının genelinde küçük b-değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7. a) Ocak 1900-Aralık 2013 tarihleri arasında Yüksekova yerleşim alanını kapsayan bölgede meydana gelen depremlerin dağılımı, b) Deprem yoğunluk haritası, c) Magnitüd-frekans eğrisi ve M_c değeri, d) b-değeri haritası.

Figure 7. a) Dissemination of earthquakes occurred around Yüksekova settlement between January 1900-December 2013, b) Earthquake intensity map, c) Magnitude-frequency curve and M_c value, d) b-value map.

Hesaplanan büyüklük-sıklık ilişkisi kullanılarak çalışma alanında belirli depremler için tekrarlanma aralıkları hesaplanmıştır (Tablo 4). Hesaplamalarda

Matlab ortamında çalışan ZMAP (Wiemer 2001) programı ve yazarlarca kodlanmış fonksiyonlar kullanılmıştır.

Tablo 4. Poisson Olasılık Dağılımı kullanılarak elde edilen deprem olma olasılıkları.

Table 4. The probability of earthquakes in different magnitudes and return periods using Poisson model.

N(M)	M	Yıllara göre olma olasılıkları (%)				Ortalama Tekrarlama Periyodu (Yıl)
		10	50	75	100	
0,423	5	100,0	100,0	100,0	100,0	2
0,166	5,5	97,8	100,0	100,0	100,0	6
0,065	6	77,6	100,0	100,0	100,0	15
0,025	6,5	44,4	94,7	98,8	99,7	39
0,009	7	20,6	68,4	82,2	90,0	100
0,003	7,5	8,6	36,3	49,2	59,5	255

Poisson Olasılık Modeli

Olasılık tahminlerinde Poisson yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntem kaynak bölgesinde oluşan depremlerin yer ve zaman bakımından birbirinden bağımsız olarak meydana geldiğini kabul eder.

Deprem tekrarlanma olasılığının zamansal dağılımını için, inceleme alanında magnitüdüleri $M \geq M_1$ olan N sayıda depremin t zaman aralığında oluşma olasılığı Poisson yöntemine göre,

$$P_x(t) = \frac{e^{-\theta t} (\theta t)^x}{x!}$$

bağıntısıyla verilir. Burada, $P_x(t)$ t zaman aralığında x (olay sayısı) adet depremin olma olasılığı, θ birim zamanda oluşan büyüklüğü M_1 'den büyük eşit depremlerin sayısıdır. Verilen zaman aralığında M_1 'den büyük eşit depremin yıllık ortalama oluş sayısı ve tekrarlanma periyodu ise,

$$R(M) = 1 - e^{-(N(M)*T)}$$

$$Q = 1 / N(M)$$

eşitliğinden hesaplanır (Gencoğlu ve diğ. 1990). Burada T zaman aralığı, N(M) ise magnitüdüleri verilen depremlerin yıllık ortalama oluş sayılarıdır. Çalışma alanı ve çevresinde geçmişte meydana gelmiş deprem dağılımlarından yararlanılarak büyüklüklere göre ortalama tekrarlanma periyotları ve

olma olasılıkları belirlenmiştir (Tablo 4).

Çalışma bölgesi için büyüklüğü M=5 olan depremler için tekrarlanma periyodu 2 yıl, büyüklüğü M=6 olan depremlerin 15 yıl, büyüklüğü M=7 olan depremlerin 100 yıl, büyüklüğü M=7.5 olan depremlerin tekrarlanma periyodu ise 255 yıl olarak hesaplanmıştır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yüksekova yerleşim alanı ve çevresi jeolojik yapı, tektonik özellikler, depremsellik açısından riskli bölgeler arasındadır. Çalışmada, saha verileri ışığında bölgede meydana gelen depremlerle beraber, yerleşim birimlerinin yerel zemin koşulları ve aktif faylara olan uzaklıkları göz önünde bulundurularak bölgenin depremselliği ve deprem tehlikesi incelenmiştir.

Yüksekova yerleşim alanını da kapsayan bölgede Ocak 1900-Aralık 2013 tarihleri arasında meydana gelen depremler değerlendirilmiştir. Deprem yoğunluk haritasından da anlaşılacağı üzere bölgede istasyon sayısının azlığına bağlı olarak deprem veri sayısı da azdır. Yüksekova yerleşim alanı ve çevresinde büyük deprem üretme potansiyeli olan Yüksekova Fayı (Doğrultu atımlı), Yüksekova Ters Fayı, Şemdinli Fayı, Başkale Fayı ve Salmas (İran) Fayı üzerinde olmak üzere 5 farklı olası deprem için senaryo hesaplamalar yapılmıştır. Herbir senaryo için hesaplanan mesafeler ve fayların geçmişte ürettiği maksimum büyüklükler kullanılarak belir-

lenen lokasyonlar için en büyük yer ivme değerleri; Yüksekova Faylarında (Senaryo 1 ve 2) meydana gelebilecek bir depremde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Yüksekova merkez ve yakın köylerde 0.3-0.4 g; Şemdinli Fayı göz önüne alındığında (Senaryo 3) ivme 0.1-0.3 g, Başkale Fayı göz önüne alındığında (Senaryo 4) 0.1-0.2 g, Salmas Fayı (Senaryo 5) için ise yaklaşık 0.1 g değerlerine ulaşmaktadır. Nüfusun fazla olduğu Yüksekova merkez ve civar köylerde ivmenin yüksek olması, jeolojik yapı ve inşaat kalitesi de göz önünde bulundurulduğunda yapısal hasarları arttıracaktır. Özellikle faylara yakın köylerdeki kerpiç ve yığma yapılarda hasar oranı artacaktır.

Bölgede meydana gelen depremlerden elde edilen büyüklük-sıklık ilişkisinde, Yüksekova yerleşim alanı ve bu alanın K-KD'nda yer alan bölgelerde küçük *b*-değerleri elde edilmiştir. Küçük *b*-değerleri büyük gerilme, büyük deformasyon hızı ve bölgedeki büyük faylarla ilişkilidir. Büyüklük-sıklık ilişkisi ve Poisson olasılık modeli kullanılarak çalışma bölgesi için büyüklüğü $M=5$ olan deprem için tekrarlama periyodu 2 yıl, 10 yıl içerisinde olma olasılığı ise % 100 olarak hesaplanmıştır. Büyüklüğü $M=6$ olan deprem için 10 yıl içinde olma olasılığı % 78, tekrarlama periyodu ise 15 yıl olarak hesaplanmıştır. Büyüklüğü $M=7$ olan deprem için 10 yıl içinde olma olasılığı % 21, 50 yıl içinde olma olasılığı % 69 ve tekrarlama periyodu ise 100 yıl olarak hesaplanmıştır. Büyüklüğü $M=7.5$ olan deprem için 10 yıl içinde olma olasılığı % 9, 50 yıl içinde olma olasılığı % 36 ve tekrarlama periyodu ise 255 yıl olarak hesaplanmıştır.

Yüksekova yerleşim alanı genel olarak Kuvaterner yaşlı gevşek-yumuşak çökeller (çakıllı, kumlu, killi) üzerinde yer almaktadır ve yeraltı su seviyesi ova içerisinde yer yer yüzeyaltına ulaşmakta, bazı yerlerde ise artezyen yapmaktadır. Tehlike analizleri sonucunda $M=7$ 'den büyük bir depremin olma olasılığı 100 ila 255 yıl arasında hesaplanmıştır. Tarihsel süreçte bölgede gerçekleşen depremlerin varlığı çok kesin olmamakla birlikte özellikle Yüksekova civarındaki faylarda aletsel dönem içerisinde büyük deprem kaydedilmemiş olması düşündürücüdür. Bu durum kötü olasılıkla büyük bir depremin potansiyelini ortaya koymaktadır.

Hesaplanan en büyük yer ivme değerlerinin gevşek suya doygun ovada 0.3-0.4 g değerlerine ulaşabileceği ve yapılaşma yoğunluğunun bu kesimlerde olduğu görülmektedir. Düşük ivme değerleri ise Yüksekova'nın K-KD kesimlerinde yüzeylenen

kumtaşı-kiltaşı ve temel kayası olan melanaj birimlerinin yer aldığı kesimde, yapılaşmanın nispeten daha az olduğu alanlarda elde edilmiştir. Yine ovalık alanda deprem hasarlarını artırıcı etkisi olan zemin büyütmesi, sıvılaşma, taşıma gücü kaybı gibi yerel zemin etkileride oluşabilecek olumsuzluklardır.

Yüksekova ve çevresinin tektonik yapısının aktif etkileri, depremselliği, köylerin ve kent yerleşim alanının zemin koşulları ve bölgedeki yapı kalitesinin istenilen düzeyde olmaması olası büyük bir depremde can ve mal kayıplarını artırıcı etken oluşturabilecektir.

SUMMARY

Yüksekova (Hakkari) region has high seismicity risk because of its geological and tectonic characteristics. In this study, the seismic hazard analysis of Yüksekova and its surroundings is carried out using the results of site investigations, local soil conditions and seismotectonic features of the region. Although, the commercial and residential area of Yüksekova are generally located on Quaternary aged terrestrial sediments composed of loose-soft deposits (conglomerate, sand and clay), some part of the settlement is located on rock soil. From place to place, the water level in the plain area is shallow.

The earthquakes occurred in Yüksekova region during January 1900 – December 2013 are evaluated in this study. As can be seen from earthquake intensity map, the earthquake data is limited because of the limited number of stations in the region. Five different possible earthquake scenario calculations on potential faults (Yüksekova Fault (strike-slip), Yüksekova Reverse Fault, Şemdinli Fay, Başkale Fault and Salmas (Iran) Fault, that can generate an earthquake, are carried out in this study. The maximum peak ground accelerations (PGA) of locations defined by using the distance calculated for each scenario and the maximum magnitude of the historical earthquakes happened on that corresponding fault, are determined. For the first and second scenario, an earthquake on Yüksekova Faults may result in a peak ground acceleration of 0.3 - 0.4 g at the city centrum of Yüksekova and its near vicinity. According to third and fourth scenario, an earthquake on Şemdinli Fault and Başkale Fault may cause a ground motion that will have peak ground acceleration of 0.1 – 0.3 g and 0.1 - 0.2 g, respectively. An earthquake on Salmas Fault (fifth

scenario) may cause peak ground acceleration of 0.1 g. The level of structural damage is expected to be severe because of the local soil conditions, geological characteristics and low quality construction practices in Yüksekova city centrum that have high population. More severe earthquake damages are expected in the villages near to the faults because of the widespread application of unreinforced masonry and adobe buildings.

Small b values in Yüksekova city and N-NE part of the region were obtained from the magnitude-frequency relationship determined considering the seismic events happened in the instrumental period. Small b values are because of large stresses and high deformation rate related to the long faults found in the region.

By using magnitude-frequency relationship and Poisson Probability Model, the occurrence period of an earthquake with a moment magnitude (M_w) of 5 is calculated to be 2 years. The probability of occurrence in 10 years is calculated to be 100 %. The occurrence period of an earthquake with a moment magnitude (M_w) of 6 is calculated to be 15 years whereas the probability of occurrence in 10 years is 78%. The occurrence period of an earthquake with a moment magnitude (M_w) of 7 was calculated as 100 years and the probability of occurrence of in 10 years and 50 years was calculated to be 21% and 69%, respectively. The occurrence period of an earthquake with a moment magnitude (M_w) of 7.5 was calculated as 255 years and the probability of occurrence of in 10 years and 50 years was calculated to be 9% and 36%, respectively.

Historical earthquake records does not contain reliable information regarding earthquakes happened in Yüksekova region. No big magnitude earthquake was recorded in Yüksekova region during instrumental period. This may be a clear indication of potentially big magnitude earthquake that may happen in near future.

Because of the seismic activity of fault zones in Yüksekova region, local soil conditions of the urban area and low-quality construction practices in Yüksekova region, a big earthquake which is expected to occur in near future may cause many casualties and economic losses.

KATKI BELİRTME ve TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (BAP) tarafından "2012-HIZ-MİM005" nolu "Yüksekova Yerleşim

Alanının Mikrotremor Yöntemiyle Yer-Yapı Et-kileşimlerinin Belirlenmesi" isimli proje olarak desteklenmiştir. Yayının değerlendirilmesinde katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederiz. Saha çalışmalarında ve bölgedeki sondaj verilerinin teminindeki yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisi Etem Acar'a teşekkürlerimizi sunarız.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Abrahamson, N. A. and W. Silva, 1997.** Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes, *Seismological Research Letters*, v. 68, No. 1, p. 94-127.
- Akcar, S. and 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.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., & Bommer, J. J. 1996.** Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(4), 371-400.
- Ambraseys N., Douglas J., 2000.** "Reappraisal of surface-wave magnitudes in the eastern Mediterranean and Middle East", *Geophys. J. Intern.*, vol.141, pp.357-373
- Ambraseys, N.N., 1978.** Middle East--A Reappraisal of Seismicity, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. II, 1978, p. 19-32.
- Ansal, A., 1999.** Strong Ground Motions and Site Amplification. Theme Lecture, 2nd Int.Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol.3, pp.879-894, Ed.P.S.Pinto, Balkema, Rotterdam.
- Atalay, K., 2007.** 25 Ocak 2005 Hakkari depremi kaynak özellikleri ve sismotektonik özellikleri, YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 45s.
- Bayrak Y. ve Öztürk S. 2004.** Spatial and temporal variations of the aftershock sequences of the 1999 İzmit and Düzce earthquake, *Earth Planets Space*. 56, 933- 944.
- Berberian, M., 1976.** Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II), Geological Survey of Iran, Report No. 39, Tehran, Iran.
- Berberian, M., 1977.** Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part III), Geological Survey of Iran, Report No. 40, Tehran, Iran.
- Boore D.M., Joyner W.B. and Fumal T.F., 1997.** Equations For Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration From Western

- North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seismological Research Letters*, Vol. 68, No. 1, pp. 128-153, January/February.
- Canites, N. and Ucer, S. B., 1967.** Computer determination for the fault-plane solutions in and near Anatolia, *Tectonophysics*, 4, 235~244.
- Chandra, U., 1984.** Focal mechanism solutions for earthquakes in Iran, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 34, 9~16.
- Demirtaş, R., Yılmaz, R., 1996.** Türkiye'nin Sismotektoniği. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yayınları, Ankara, 915 s.
- Graizer, V. and Kalkan, E., 2007.** Prediction of response spectral acceleration ordinates based on PGA attenuation, *Earthquake Spectra*, 25(1), 36-69.
- Gencoğlu, S., İnan, E., ve Guler, H., 1990.** Türkiye'nin Deprem Tehlikesi. TMMOB Jeofizik Muhendisleri Odası, Ankara.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944.** Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- Jackson, J. A., 1992.** Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus, *J. Geophys. Res.*, 97, 12471-12479
- Jackson, J. A. and McKenzie, D. P., 1984.** Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Western Turkey and Pakistan, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 77, 185~264.
- Kalkan, E., Gülkan, P., 2004.** Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, *Earthquake Spectra*, Volume 20, Number 4, November 2004.
- Koçyiğit, A., 2005.** 2005.01.25 Mw=5.9 Sütluçe (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye. Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005.
- KRDAE, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü** <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st7.asp>
- McKenzie, D. P., 1972.** Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30, 109~185.
- Mirzaei, N., Gheitanchi, M.R., Naserieh, S., Raeesi, M., Zarifi, Z., Tabaei, S.G., 1997.** Basic parameters of Earthquakes in Iran, Catalog, 185p.
- Perinçek, D., 1990.** Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, GDA Türkiye: TPJD Bülteni, cilt 2/1, s.21-68
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F. and Youngs R.R. 1997.** Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, *Seism. Res. Lett.* 68, 180-189.
- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakoğlu, A., Dağ, Z., Erkanol, D., Örcen, S., Taşkiran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M.F. ve Yıldırım, H., 1984.** Özalp (Van)- İran sınırı arasındaki alanın jeolojisi (Başkale K52), MTA Raporu No: 7623 (yayımlanmamış).
- Şengül, M.A., Poyraz, S., Özvan, A., Tapan, M., Kalafat, D., 2010.** 25 Ocak 2005 Hakkari-Sütluçe Depremi Fay Mekanizması Çözümleri ve Yer-Yapı İlişkisi Özellikleri. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, Cilt: 23, Sayı: 1, s:9-18.
- Tabban A., ve Gencoğlu S., 1975.** Deprem ve Parametreleri. Deprem Araştırma Bulteni, 11,7-83.
- Tchalenko, J.S., and Berberian, M., 1974.** The Salmas (Iran) Earthquake of May 6th, 1930.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2004.** An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and isoacceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74, 265-291.
- Yılmaz, E. ve Duran, O., 1997.** Güneydoğu Anadolu Bölgesi otokton ve allokton birimler stratigrafi adlama sözlüğü "Lexicon", TPAO Eğitim Yayınları No:31, 460s.
- Wickens, A. J. and Hodgson, J. H., 1967.** Computer re-evaluation of earthquake mechanism solutions, *Publ.Dom. Obs. Ottawa* 33, 1.
- Wiemer, S., 2001.** A software package to analyse seismicity: ZMAP. *Seismol. Res. Lett.*, 72, 3, 373-382.

