

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **VAN İLİ SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisi Hakan ULUTAŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS**

**Mayıs 2012**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAN İLİ SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ**

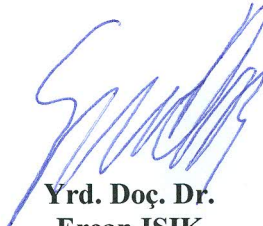
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**İnşaat Mühendisi Hakan ULUTAŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 23 / 05 /2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

  
**Yrd. Doç. Dr.  
Mustafa KUTANİS  
Jüri Başkanı**

  
**Yrd. Doç. Dr.  
Ercan IŞIK  
Üye**

  
**Prof. Dr.  
Gündüz HORASAN  
Üye**

**Doç. Dr.  
Murat UTKUCU  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Muharrem AKTAŞ  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince değerli bilgisini ve yardımlarını hiçbir şekilde esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında değerlendirmeler yaparak yön veren, özellikle memleketim olan Van ili ilgili bir alanda çalışmamı sağlayan Sn. Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında bilgilerini benimle paylaşarak çalışmalarımı yönlendiren Sn. Yrd. Doç. Dr. Ercan IŞIK'a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Okul hayatım boyunca en iyi seviyeye gelmem için maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve 2 kız kardeşime minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde görevli tüm personele şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Sismik Tehlike Analizi .....	2
1.2. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	3
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	4

### BÖLÜM 2.

ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER .....	6
2.1. Van İlinin Genel Özellikleri .....	6
2.2. Van İli Zemin Özellikleri .....	8
2.1.1. Genel jeoloji .....	8
2.2.2. Jeoteknik değerlendirme .....	10
2.3. Doğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği .....	13
2.4. Van İli Depremselliği .....	16
2.5. Van İli Civarı Faylar ve Özellikleri .....	19
2.5.1. Çaldıran fayı.....	21
2.5.2. Başkale fay kuşağı .....	21
2.5.3. Erçiş fayı .....	21

2.5.4. Bitlis bindirme kuşağı (Bitlis kenet kuşağı).....	22
2.5.5. Süphan fayı.....	22
2.5.6. Malazgirt fayı .....	22
2.5.7. Tutak fayı .....	22
2.5.8. Hasan Timur Gölü fayı .....	23
2.5.9. Muş bindirmesi.....	23
2.5.10. Doğubeyazıt fayı.....	23
2.5.11. Şemdinli-Yüksekova fay zonu .....	24
2.5.12. Kavakbaşı fayı .....	24
2.5.13. Karayazı fayı .....	24
2.5.14. Balıklıgöl fayı.....	24
2.5.15. Birinci fay zonu .....	25
2.5.16. İkinci fay zonu .....	25
2.5.17. Üçüncü fay zonu .....	26
2.5.18. Dördüncü fay zonu .....	26
2.5.19. Van Gölü güney sınır fayı (SBF) .....	26
2.5.20. Van Gölü kuzey sınır fayı (NBF) .....	27
2.6. Van İli ve Civarı Faylarda Oluşmuş Depremler .....	28

### BÖLÜM.3.

PROBABİLİSTİK SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ.....	33
3.1. Sismik Tehlike Analizi .....	33
3.1.1. Deterministik sismik tehlike analizi .....	35
3.1.2. Probabilistik (Olasılıksal) sismik tehlike analizi .....	36
3.1.3. Azalım ilişkileri .....	41
3.1.4. Deprem magnitudu olasılık dağılımı .....	44
3.2. Van İli Sismik Tehlike Analizi .....	45
3.3. Yer Hareket Kayıtları .....	54
3.4. Van İli İçin Yer Hareket Kayıtlarının Belirlenmesi .....	56

### BÖLÜM .4.

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	61
KAYNAKLAR .....	63

ÖZGEÇMİŞ .....	71
----------------	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABYYHY	: Afet Bölgesinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DBYBHY	: Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu
D-B	: Doğu-Batı
K-G	: Kuzey-Güney
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB	: Kuzeybatı
KD	: Kuzeydoğu
Md	: Süreye Bağlı Büyüklük
MI	: Yerel (Lokal) Büyüklük
Ms	: Yüzey Dalgası Büyüklüğü
Mb	: Cisim Dalgası Büyüklüğü
Mw	: Moment Büyüklüğü
n	: Hareketli yük çarpanı
N	: Magnitudü M ve daha büyük depremlerin birikimli sayısı
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
g	: Yerçekimi ivmesi
m	: Kütle
W	: Ağırlık

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Van ili ve yer bulduru haritası	6
Şekil 2.2.	Van il merkezinin ve yakın çevresinin stratigrafik kesiti	9
Şekil 2.3.	Van ili yerleşkesinin ve çevresinin genel jeolojisi	10
Şekil 2.4.	Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli	14
Şekil 2.5.	Doğu Anadolu Bölgesinin aletsel sismisitesi (1900-2005, $M \geq 4.0$ )	15
Şekil 2.6.	Van ili deprem haritası	16
Şekil 2.7.	Doğu Anadolu Bölgesinin sismik risk haritası	17
Şekil 2.8.	Van şehir merkezine 150 km yarıçapındaki daire içinde kalan inceleme alanı ve bu alanda oluşan depremler	19
Şekil 2.9.	Doğu Anadolu Bölgesinin önemli tektonik yapıları	20
Şekil 2.10.	Van Gölü kuzey ve doğu bölgesinin başlıca fay zonları	25
Şekil 2.11.	Van Gölü Havzasının tektonik yapısı ve $M \geq 4.0$ sismisitesi	27
Şekil 2.12.	Van Gölü'nün doğusunu gösteren faylanma	28
Şekil 2.13.	Van ili ve çevresinde hasar yapıcı depremler	32
Şekil 3.1.	Olasılıksal sismik tehlike akış şeması	40
Şekil 3.2.	Van ve civarında bulunan fay gruplarının alansal deprem kaynakları olarak tanımlanması	46
Şekil 3.3.	Abrahamson-Silva (1997), Ambraseys vd., (2005), Boore-Joyner- Fumal (1997), Idriss (2008) azalım ilişkileri	46
Şekil 3.4.	Van ili için Gutenberg-Richter bağıntısı	48
Şekil 3.5.	Van için değişik dönüş periyotlarında maksimum yer ivme değerleri	49



Şekil 3.6.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen ve geri dönüş periyotları 2475, 475, ve 72 yıl olan depremler için hesaplanan spektral ivmelerin periyotla değişimleri	49
Şekil 3.7.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 2 olan depremler için karşılaştırılması	50
Şekil 3.8.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 10 olan depremler için karşılaştırılması	50
Şekil 3.9.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 50 olan depremler için karşılaştırılması	51
Şekil 3.10.	Yerdeğiştirme istemlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 3.11.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen tepki spektrumunun, 23 Ekim 2011 Van depreminin Muradiye istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Z1 zemin tipi(kaya) için önerdiği tepki spektrumu ile karşılaştırılması	53
Şekil 3.12.	Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen tepki spektrumunun, 9 Kasım 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Z1 zemin tipi(kaya) için önerdiği tepki spektrumu ile karşılaştırılması	53

Şekil 3.13.a.	23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D&B bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması	57
Şekil 3.13.b.	23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan K&G bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarını karşılaştırılması	58
Şekil 3.14.a.	9 Kasım 2011 Van depreminin Muradiye istasyonundan alınan D&B D&B bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması	59
Şekil 3.14.b.	9 Kasım 2011 Van depreminin Muradiye istasyonundan alınan K&G bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilmiş yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması	60

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Van iline ait 2010 yılı nüfus bilgileri	7
Tablo 2.2.	RQD, RMR Sonuçları	11
Tablo 2.3.	Kaya Kütle Puanlaması (Bieniawski, 1989)	11
Tablo 2.4.	Kaya Kalite Göstergesi RQD sınıflaması (Deere 1964)	12
Tablo 2.5.	Deprem Yönetmeliğine göre zemin sınıflandırılması	13
Tablo 2.6.	Yerel Zemin Sınıfları	13
Tablo 2.7.	Van ve çevresinin etkileyen tarihi depremler	29
Tablo 3.1.	01.01.1900-31.12.2006 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi göre Van ili ve civarında oluşmuş depremlerin şiddetlerine göre tekrarlanma sayıları	47
Tablo 3.2.	Deprem magnitüd değerlerinin logaritmik değerleri	48
Tablo 3.3.	Aşılma olasılıkları 50 yılda % 2, 10, 50 olan depremler için EZ FRİSK ve TDY 2007 maksimum ivme değerleri	51
Tablo 3.4.	Maksimum ivme değerleri	54

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Sismik Tehlike, Performans Değerlendirmesi, Tepki Spektrumu, Yer hareket Kayıtları, Doğu Anadolu, Van

Performansa dayalı deprem mühendisliği kapsamında, Van şehri için sismik tehlike analizi olasılıksal yöntemle gerçekleştirilmiştir. Olasılıksal sismik tehlike analizinde ilk basamak olarak jeolojik veri ve aletsel dönem kayıtları derlenerek çalışma alanına ait sismik kaynak karakteristikleri belirlenmiştir. Daha sonra EZ-FRISK yazılımı kullanılarak sismik tehlike modeli oluşturulmuştur. Kaya zeminler için uygun azalım ilişkilerine bağlı olarak 50 yıl için %2, %10 ve %50 aşılma olasılıkları için olasılıksal sismik tehlike eğrileri elde edilmiştir. Probabilistik sismik tehlike analizi sonucu tipik kaya zeminler için maksimum ivme değerleri, %50 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 0.47g, %10 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1,09g, %2 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1,91g olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar, 23 Ekim 2011, 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleriyle ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 7. Bölümünde yer alan mevcut yapıların güçlendirilmesi ve sismik değerlendirme için önerilen spektrum eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, SeismoMatch v1.3.0 bilgisayar yazılımı vasıtasıyla 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleri ile benzeştirilerek, Van ilindeki mevcut yapılarının performans analizinde kullanılabilecek yer hareket kayıtları elde edilmiştir.

# **SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF VAN CITY IN TURKEY**

## **SUMMARY**

Keywords: Seismic Hazard, Performance Evaluation, Response Spectra, Ground Motion Record, Eastern Anatolia, Van

Within the framework of the performance based earthquake engineering, the seismic hazard analysis for the Van province in Turkey is performed in probabilistic manner. It is noteworthy that, in probabilistic seismic hazard assessment, as a first stage, data from geological studies and records from the instrumental period were compiled to make a seismic source characterization for the study region. Then, a seismic hazard model by using EZ-FRISK software is implemented and the probabilistic seismic hazard curves were developed based on the selected appropriate attenuation relationships, at rock sites, with a probability of exceedance of 2%, 10% and 50% in 50-year periods. The results of probabilistic seismic hazard analyses revealed peak acceleration values for a typical rock site as 0.47g for 50% probability of exceedance in 50 years, 1.09g for 10% probability of exceedance in 50 years and 1.91 g for 2% probability of exceedance in 50 years.

The results obtained are compared with N-S & E-W component of 23th October 2011 and 9<sup>th</sup> November 2011 earthquakes which occurred in Van, and the acceleration spectrums proposed by Turkey Earthquake Code in Section 7 for the seismic performance evaluation and retrofit of building structure. Lastly, the acceleration response spectrums obtained from probabilistic seismic hazard analysis are matched to adjust earthquake accelerograms recorded during the 2011 Van Earthquakes by using SeismoMatch computer software. The aim of this procedure is to obtain a set of reasonable earthquake input motions for the nonlinear seismic evaluation of building structures.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Depremsellik veya sismisite, jeolojik ve tektonik verilere ve istatistiksel verilere dayanmaktadır. Depremın zamanı, merkez ve merkez üstü konumu, kaynak parametreleri ve yarattığı etkilerle ilgili makrosismik veriler, bir yörenin deprem tehlikesinin belirlenmesindeki en önemli parametrelerdir. Bir bölgenin depremselliği o bölgede gelecekte olabilecek bir depremin göstergesidir.

Van ve yakın çevresi, gerek tarihsel ve gerekse aletsel dönemlerde büyük deprem serileri üreten Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Bitlis ilini sınırlayan Bitlis kenet Kuşağı gibi üç ana fay sisteminden etkilenebilecek bir bölge içerisinde yer almaktadır. Doğu Anadolu Fayı'nda deprem üretme potansiyeli çok yüksek sismik boşlukların bulunması ve tektonik olarak son derece hareketli kuşaklar içerisinde kalan Van Gölü Havzasında bulunması Van ilini incelenmeye değer bir konuma sokmaktadır.

Özellikle son yıllarda dünyada ve ülkemizde yaşanan yıkıcı depremler ve bu depremler sonucunda oluşan büyük çaplı can ve mal kayıpları deprem konusunda yapılan çalışmaları, araştırmaları ve alınacak önlemlerin önemini gündeme getirmiştir.

Hasar ve can kaybı yaratabilecek bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belirli bir yerde ve belli zaman periyodunda meydana gelme ihtimali deprem tehlikesi olarak tanımlanmaktadır. Deprem riski, deprem nedeni ile hasar, mal ve can kaybı ihtimali olarak tanımlanabilir. Risk şu soruların yanıtlarının toplamıdır: Ne büyüklükte bir deprem, ne kadar uzaklıkta, nasıl bir zeminde, ne tür bir yapıda, ne değerinde hasar ve kayba neden olur? 'Ne düzeyde tehlike?' sorusunun yanıtını ararken yapılacak ilk iş nerede deprem olabileceğini deterministik olarak tanımlamak

ya da olasılıksal olarak kestirmektir. Deprem tehlikesi, deprem riskinin önemli bir ögesidir [1-3].

Yerleşim biriminin olasılığa dayalı (probabilistik) sismik tehlike analizinde; gelecek depremlerin konumu, oluş zamanı, büyüklüğü ve diğer özellikler, olasılık hesaplarına dayalı olarak tahmin edilmektedir.

### **1.1. Sismik Tehlike Analizi**

Depremlerin ne zaman, nerede ve hangi büyüklükte meydana gelecekleri bilinmeyen bir olgudur. Buna bağlı olarak da deprem sırasında yüksek binaların, köprülerin, barajların, nükleer güç santrallerinin ve benzer önemli mühendislik yapılarının ayrıca zemin yapılarının ve doğal zemin tabakalarının hasar görmeleri kaçınılmazdır. Bazı yerler buldukları bölgenin sismolojik geçmişi ve sismotektonik yapısı nedeniyle daha fazla deprem oluşumuna maruz kalırlar ve gelecekte de deprem yaşama riskleri diğer bölgelere göre daha yüksektir. Depremlerin zamanı, yeri, büyüklüğü ve diğer özellikleri önceden kestirilememektedir. Ancak gerek istatistiksel gerekse deneysel yöntemler uygulanarak bölgelerin sismik potansiyelleri yani faylanma mekanizmaları, zemin koşulları, olası deprem özellikleri belirlenebilmektedir. Deneysel yöntemler faylanma mekanizması, zemin koşulları, sıvılaşma analizi gibi değerlendirmelerde kullanılır. İstatistiksel sismik risk değerlendirmesi; matematiksel ve istatistiksel işlemler kullanılarak bir yer hareketi parametresinin belirlenmesi ve bu parametrelerin belli bir zaman dilimi için aşılma olasılığının elde edilmesini içermektedir. Analizler sırasında sismik bölge; aktif fayları iyi bilinmeyen fakat gelişigüzel deprensellik dağılımına sahip olan bir alan olarak esas alınır [4].

Depremlerin önceden belirlenebilmesi için gelecekte beklenen depremleri oluşturacak sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerin detaylı olarak incelenmesi gerekir. Deprem hasarını etkileyen önemli parametrelerin bilinmesiyle deprem etkilerini azaltmak ve önlemek mümkün olabilmektedir [4].

Sismik tehlike analizinde amaç belirli bir bölgedeki depremlerin zaman ve yer içinde oluşları ile ilgili tarihi ve jeolojik bilgileri bölgenin sismik etkinliği ve deprem

parametrelerinin azalmasına ilişkin bilgilerle birleştirerek ileride beklenebilecek sismik faaliyet hakkında belirli olasılık değerlerini saptamaktır. Sismik tehlike analizinin çıktısı, göz önünde tutulan bir noktadaki belirli bir zemin hareketi değişkeninin ya da deprem şiddetinin olasılık dağılımıdır [5].

## 1.2. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bir önceki bölümde tarif edilen sismik tehlike analizi ile ilgili yerli ve yabancı birçok çalışma yapılmıştır.

Yunatçı ve arkadaşları [6], yaptıkları çalışmada deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizinin kavramsal çekişmesine ışık tutmakta ve genel çerçevesi günümüzde olgunlaşmış olan olasılıksal sismik tehlike analizi akışını özetlemektedir. Çalışmada yerel saha etkilerinin olasılıksal sismik tehlike analizlerinde daha doğru temsil edilmesi amacıyla sistemle tümleştirilmesi esas alınmıştır. Sahaya özel elde edilen zemin tepkileri, olasılıksal çerçeve dahilinde değerlendirilerek sismik tehlike eğrileri elde edilmiştir.

Cornell [7], bir bölgede yapılacak mühendislik projesi hakkında sismik risk değerlendirilmesi ile ilgili bir yöntem sunmuştur. Çalışma ortalama dönüş periyoduna karşılık gelen zemin hareketlerinin sonuçlarını içermektedir. Çalışmada kullanılan metod tüm potansiyel deprem kaynaklarının etkisini ve bunlar için hesaplanmış ortalama aktivite oranlarını içermektedir. Çalışılan saha ile potansiyel noktasal, çizgisel veya alansal kaynaklar arasındaki ilişkiyi kolayca hesap ederek modellenabilmektedir.

King ve Kiremidjian [8], bölgesel sismik tehlike ve risk analizi için tanımlanan coğrafi bilgi sisteminin geliştirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Yerel zemin koşullarının etkilerini hesaplamak için farklı modeller gözden geçirilmiştir. Çalışma aynı zamanda geniş bir alan için deprem hasar ve kayıplarının hesaplanmasını da içermektedir.



McGuire[10], sismik tehlike ve risk analizi metotları hakkında genel bir değerlendirme yapmıştır. Sismik tehlike analizinde ortaya çıkabilecek belirsizliklerin nasıl dağıtılacağını tarif etmiştir.

Marfai ve arkadaşları [11], Kosta Rika'nın Turialba şehri için sismik ve taşkın tehlikesini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada ilk olarak belirli bir tektonik yapıya bağlı olarak o bölge için potansiyel sismik kaynakları belirlemiş ve belirlenen bu kaynaklara göre sismik hareketleri, bölgesel fayları ve tektonik olayları haritalayarak, bu şehir için bu tehlikelerin maliyetini hesaplamışlardır.

Çetin ve arkadaşları [12] Bursa ili için olasılıksal sismik tehlike analizini yapmışlardır. Bölgeyi etkileyebilecek diri faylar ile ilgili veriler çalışılmış, sismik kaynak özellikleri belirlenmiş ve uygun sönüm ilişkileri kullanılarak 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip zemin için maksimum yer ivmesi ve spektral ivme haritalarını elde etmişlerdir.

Yücemen [13] tarafından yapılan çalışmada deprem tehlikesinin belirlenmesi için basit bir istatistiksel model sunulmuş, sismik tehlike analizine ilişkin yöntemlerinin yapı mühendislerine tanıtılması amaçlanmıştır.

Işık [14] yapmış olduğu doktora tezinde Bitlis Şehri için olasılıksal sismik tehlike analizini gerçekleştirmiştir. Bitlis İli ve çevresindeki bölgelerde bulunan fayların yerleri ve özellikleri ile bu faylarda meydana gelen aktivitelerin tarihsel gelişimi araştırılmış ve bu verilerden yola çıkarak sismik tehlike analizi yapılmıştır. Bitlis için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizlerinden elde edilen ivme spektrumları ile TDY 2007'de verilen ivme spektrumları karşılaştırılmıştır.

## **1.2.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, Van ilinin sismik tehlike analizinin yapılması ve 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinde kaydedilen deprem hareketlerinin, sismik tehlike analizlerinden elde edilen ivme spektrumları ile benzeştirilmek suretiyle Van

şehrinde mevcut yapıların performanslarını belirlenmesinde kullanılacak deprem kayıtlarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Van ili ve çevresindeki bölgelerde bulunan fayların yerleri ve özellikleri ile bu faylarda meydana gelen aktivitelerin tarihsel gelişimi araştırılacaktır. Bu verilerden yola çıkarak EZ-FRISK v7.52 yazılımı ile sismik tehlike analizi yapılacaktır. Kaya zeminler için uygun azalım ilişkilerine bağlı olarak 50 yıl için %2, %10 ve %50 aşılma olasılıkları için olasılıksal sismik tehlike eğrileri elde edilecektir. Elde edilen spektrum eğrileri, 23 Ekim 2011, 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleriyle ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 7. Bölümünde yer alan mevcut yapıların güçlendirilmesi ve sismik değerlendirmesi için önerilen spektrum eğrileriyle karşılaştırılacaktır.

Yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, SeismoMatch v1.3.0 bilgisayar yazılımı vasıtasıyla 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleri ile benzeştirilerek(matching), Van ilindeki mevcut yapılarının performans analizinde kullanılacak yer hareket kayıtları elde edilecektir.

Elde edilecek veriler, Türk Deprem Yönetmeliği'nin geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır. Yerleşim birimlerinin deprem performans analizi konusunda, Anadolu şehirleri için bir model oluşturulmaya çalışılacaktır.

## BÖLÜM 2. ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

### 2.1. Van İlinin Genel Özellikleri

Van dünya üzerinde, 42 derece 40 dakika ve 44 derece 30 dakika doğu boylamları ile 37 derece 43 dakika ve 39 derece 26 dakika kuzey enlemleri arasındadır. Türkiye üzerinde ise, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat-Van Bölümü' ndeki Van Gölü kapalı havzasındadır. Kuzeyden Ağrı ili, Doğubeyazıt, Diyadin ve Hamur ilçeleri; batıdan Van Gölü ile Ağrı ilinin Patnos ilçesi, Bitlis' in Adilcevaz, Tatvan ve Hizan ilçeleri; güneyden Siirt' in Pervari, Hakkari ili, Beytüşebap ve Yüksekova ilçeleri ile komşudur. Doğusunda ise İran devleti sınırı yer alır (Şekil 2.1) [15].



Şekil 2.1. Van ili ve yer bulduru haritası

Van tarihinde birçok medeniyetin kurulduğu önemli bir coğrafya ve kentsel alan niteliği taşımaktadır. Tarihi milattan önce 10. Yüzyıla kadar dayanan şehrin o dönemlerde Urartu Krallığı'nın hâkimiyetinde olduğu düşünülmektedir [3]. Daha sonraki dönemlerde ise kentte ve bölgede Asurlular, Kimmerliler, Persler, Romalılar, Ermeniler ve Arapların hakim olduğu bilinmektedir. Milattan Sonra 2. Yüzyıldan 7. Yüzyıla kadar bölgenin Sasani devleti idaresinde kaldığı ve 625 yılında bölgeye Hazar Türkleri'nin geldiği belirtilmektedir. 1064 yılında Sultan Alpaslan'ın oğlu Melikşah tarafından Van'ın etrafındaki birçok kale ve şehir fethedilmiştir. Sultan Alpaslan, fethedilen bölgenin yönetimini, sefere katılan vasal emirlere bırakmıştır. Van ili böylelikle Nahçıvan Emiri Sakaroğlu Ebu Dülef yönetimine geçmiştir [1]. 16. Yüzyılda Osmanlı imparatorluğu döneminde Türk hâkimiyetine geçen kent o dönemden itibaren kesintisiz olarak Türk hâkimiyetinde bulunmaktadır [16].

İl, toprakları 19.069 km kare olan yüzölçümü ile Türkiye topraklarının %2,5' ini oluşturur. İl, Türkiye'nin en büyük gölü olan Van Gölü'nün hemen doğu kıyısına (kıyıdan yaklaşık 5 km içeriye) kurulmuş ve çevresi volkanik dağlarla sınırlanmış, deniz seviyesinden 1725 metre yükseklikte çöküntü alan üzerine konumlanmıştır [1]. İl Topraklarının yeryüzü şekillerine göre dağılımına bakıldığında %53' ünün dağlarla, %33' ünün platolarla, %14 'ünün ovalarla kaplı olduğu görülür [17].

Türkiye istatistik Kurumunun en son verilerine göre ise Van ili ve ilçelerinin toplam nüfusu 2010 itibari ile 1.035.418 olarak verilmektedir (Tablo 2.1). Bu verilere göre Van merkez nüfusunun 350.000'in üzerinde olduğu, nüfus bakımından en büyük ilçesi olan Erciş ilçesinin ise 155.000 civarında bir nüfusa sahip olduğu belirtilmektedir [18].

Tablo 2.1. Van iline ait 2010 yılı nüfus bilgileri [18]

İl ve ilçe merkezleri nüfusu	Belde ve köy nüfusu	Toplam
539.619	495.799	1.035.418

Gerek iklimsel koşullar, gerek ulaşım avantajları ve gerekse verimli topraklara ulaşma amacıyla bölgede yerleşimler daha çok geniş düzlüklere, ovalara ve akarsu kenarları ile göl kıyılarına olmuştur. Dolayısıyla bugünde ortaya çıkan yerleşme dinamiklerinin tarihsel süreç içerisinde insanoğlunun doğal ve coğrafi kaynakları ve avantajları kullanma çabasından kaynaklandığını söylemek yanlış olmayacaktır. Bununla birlikte verimli topraklara, su kenarlarına, dağ yamaçlarına kurulan kentler tarih boyunca depremler, seller, toprak kaymaları, çığ ve kaya düşmeleri gibi doğal kaynaklı tehlikelere açık kalmışlar, bu tehlikeler ise insan yerleşimlerinin büyümesi ve nüfuslarının artması ile ciddi riskler doğurmaya başlamıştır. Böylelikle hem tarihte hem de günümüzde insan faaliyetleri ile doğal faaliyetlerin etkileşimi sonucu doğal tehlikeler afetlere dönüşmüştür [16].

## **2.2. Van İli Zemin Özellikleri**

Van zemin özellikleri belirlenirken kamu kurumları ve özel jeoteknik firmalarının önceki yıllarda yapmış oldukları sondajlar derlenerek elde edilmiştir. Bu çalışmalarda Van zemin özellikleri depremsellik açısından incelenmiştir.






### **2.2.1. Genel jeoloji**

Yerel jeolojik zemin koşullarının sismik hareketlerin karakterlerini doğrudan etkilediği ve değiştirdiği, bu zeminler üzerindeki mevcut yapılar üzerinde hasara sebep olabileceği bilinen bir gerçektir [19].

Bölge jeolojik olarak dört ana birim tarafından çevrenmiştir. Güneyde metaforfikler ile kireçtaşı ve killi şistler, doğuda denizel, karasal ve kimyasal çökeller, kuzeyde ve batıda ise volkanikler yer alır. Volkanikler Nemrut Dağı güneyinden başlayarak Süphan Dağı üzerinden Ağrı Dağı'na kadar geniş bir yayılım gösterirler [20].

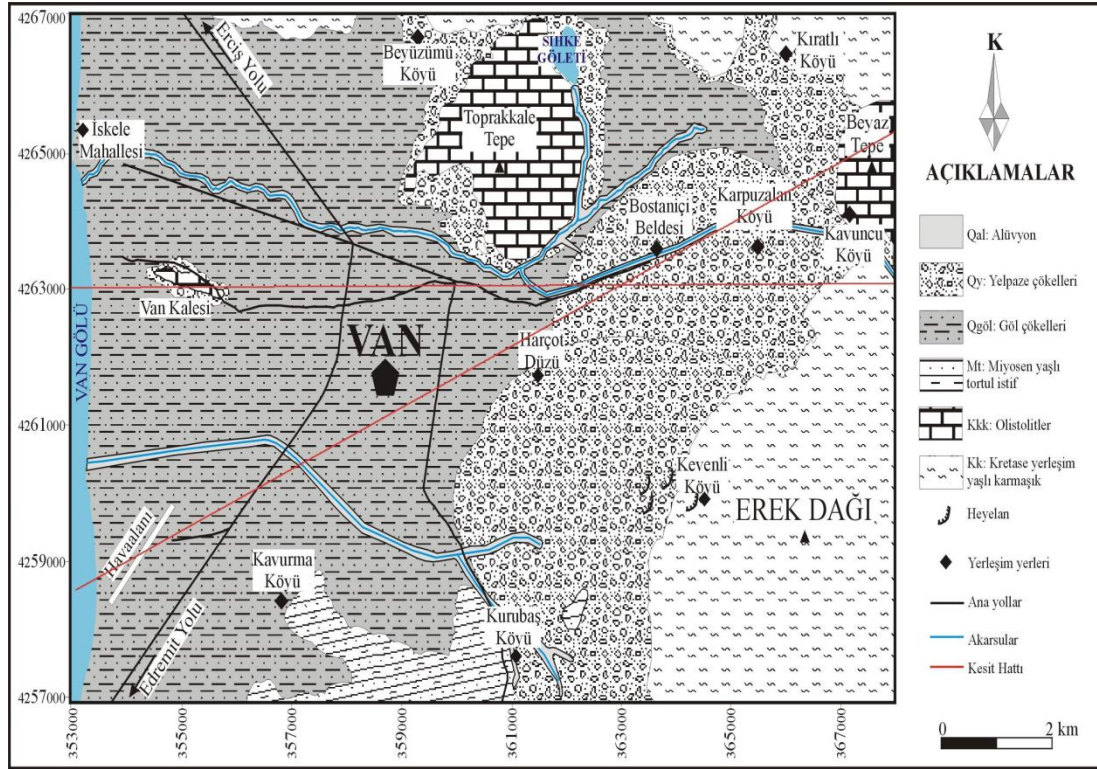
Van ilinin içinde bulunduğu Doğu Anadolu'da, Orta Miyosende başlayan neotektonik rejim, bölgenin jeolojik gelişimini önemli ölçüde etkilemiştir. Sıkışma tektonik rejimi ile karakterize olan Doğu Anadolu'da, neotektonik dönem boyunca

kıvrımlar, bindirmeler, doğrultu atımlı faylar ve açılma çatlakları gelişmiştir. Bu yapılar, Doğu Anadolu'nun kabaca K-G yönünde daralıp, D-B yönünde uzanmasına, kıta kabuğunun kalınlaşmasına ve bölgenin yükselmesine neden olmuştur. Bu evrim, Bitlis kenet kuşağında, Neo- Tetis'in kapanmasına bağlı olarak gelişen kıta-kıta çarpışmasının sonucudur. Bölgede neotektonik dönem boyunca D-B uzanımlı ve senklinallere karşılık gelen havzalar ile antiklinallere karşılık gelen sırtlar gelişmiştir. Kıta kabuğunun evrimine bağlı olarak bölgenin genç volkanizması da değişiklikler sergilemiştir. Volkanlar çoğunlukla açılma çatlaklarını kendilerine çıkış yolu olarak seçmiştir [20].

YAŞ	FÖRMASYON	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	SİMGE	AÇIKLAMA
PLİYO-KUVATERNER	YANGÖLÜ FORM.	>50		Gal	ALÜVİYON:
		>150		t	TRAVERTEN: Krem renkli, kalın katmanlı. ...
ORTA EOSEN - ALT MİYOSEN	KIRRGECİT FÖRMASYONU	>1150		PQv	ÇAKIL, KUM, KE: Geçmiş üttürülmüş tatlısu organizma kalıntıları.
		>1150		Tk	KONGLOMERA, KUMTAŞI, ÇAMURTAŞI: İçerisinde daha yaşlı birimlere ait olistolitler görülür. (Üst Paleosen, Alt Eosen yaşlı kireçtaşı - Paleotayk - Mesozoyk yaşlı mermer, siç, kristalize kireçtaşı ve serpanbit olistolitler)
ÜST KRETASE	YÜKSEKOVA KIRKTAŞI	>400		Ky	BAZALT, ANDEZİT VE TÜFLERİ, DAYLAR, KIREÇTAŞI:

Şekil 2.2. Van il merkezinin ve yakın çevresinin stratigrafik kesiti [17]

Van ili yerleşkesinde ve çevresinde yüzeyleyen litolojik birimlerin yaşlıdan gence doğru Ereğdağı ofiyoliti (Kk), Toprakkale formasyonu (Olistolitler; Kkk), Miyosen yaşlı tortul istif (Mt), Kuvaterner yaşlı çökeller, Toprak örtüsü (Qg) şeklinde sıralanır (Şekil 2.3). Formasyonların adlandırılmasında, önceki çalışmalarda kullanılan isimler belirtilerek yeni tanımlamalar yapılmıştır [21].



Şekil 2.3. Van ili yerleşkesinin ve çevresinin genel jeolojisi [21]

### 2.2.2. Jeoteknik değerlendirme

Jeoteknik değerlendirmeler Van şehri için özel ve kamu kurumlarının yapmış oldukları çalışmalarda veriler derlenerek elde edilmiştir.

Van ili yakın civarlarında bulunan sarmansuyu mevkiinde önceden yapılmış olan üç adet sondajlardan alınan karot numunelerinin sonuçları Tablo 2.2’de görülmektedir. Bu veriler Tablo 2.3’de gösterilen kaya kütle puanlaması sistemi (RMR) tespitinde kullanılmış ve etüt alanındaki kaya sınıfı orta kaya – iyi kaya sınıfında bulunmuştur. Aynı veriler Tablo 2.4’de gösterilen kaya kütle sınıflaması(RQD) tespitinde

kullanılmış ve etüt alanındaki kaya sınıfı orta kaya – iyi kaya sınıfında bulunmuştur [22].

Tablo 2.2. RQD, RMR Sonuçları

Derinlik (m)	İlk Sondaj (RQD)	İkinci sondaj (RQD)	Üçüncü sondaj (RQD)	RMR
1.00-2.00	65	60	30	40-55
2.00-3.00	15	0	35	0-40
3.00-4.00	10	80	50	19-64
4.00-5.00	15	50	80	20-64

Tablo 2.3. Kaya Kütle Puanlaması (Bieniawski, 1989)

Parametre		Değişim Aralığı							
1	Kayaç malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli basınç dayanımı	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
Puan		15	12	7	4	2	1	0	
2	Kayaç kalite göstergesi RQD(%)		90%-100%	75%-90%	50-75%	25%-50%	<25%		
		Puan	20	17	13	8	3		
3	Süreksizlik aralığı		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
		Puan	20	15	10	8	5		
4	Süreksizliklerin durumu	Çok pürüzlü yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler	Az pürüzlü yüzeyler	Sürtünme izli yüzeyler	Yumuşak fay dolgusu > 5 mm kalınlıkta			
		Sürekli değil	Ayrılma < 1mm	Ayrılma < 1mm	veya	veya			
		Ayrılma yok	Az ayrılmış eklem yüzeyi	Çok ayrılmış eklem yüzeyi	Fay dolgusu < 5 mm	Ayrılma > 5 mm			
		Ayrılmamış eklem yüzeyi			veya	Sürekli eklemeler			
					Ayrılma 1-5 mm				
					Sürekli eklemeler				
Puan		30	25	20	10	0			
5	Yeraltısuyu	Tünelin 10 m lik kısmından gelen su (l/dk)	Yok	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilim oranı	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.6	> 0.6		
		Genel Koşullar	Tamamen Kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
Puan		15	10	7	4	0			
B. SÜREKSİZLİK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTME									
Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil			
Puanlar	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12			
	Temeller	0	-2	-7	-15	-25			
	Şevler	0	-6	-25	-50	-60			
C. KAYA SINIFI ve PUANLARI									
Puan		100-81	80-61	60-41	40-21	<21			
Sınıf No.		I	II	III	IV	V			
Tanımlama		Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya			
D. KAYA SINIFLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ									
Sınıf No.		I	II	III	IV	V			
Ortalama desteksiz kalabilme süresi		15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık için 1 yıl	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m açıklık için 10 saat	1 m açıklık için 30 dakika			
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)		> 400	300-400	200-300	100-200	<100			
Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı (°)		> 45	35-45	25-35	15-25	<15			



Tablo 2.4. Kaya Kalite Göstergesi RQD sınıflaması (Deere 1964)

RQD	Kaya Kalite Göstergesi
0-25	A. Çok Zayıf
25-50	B. Zayıf
50-75	C. Orta
75-90	D. İyi
90-100	E. Çok iyi

Yerleşim alanında zeminin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla 29 adet jeoteknik amaçlı sondaj verisinden elde edilen SPT N değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yaparak N60 değerlerinin yerleşim alanındaki dağılımı incelemiştir. SPT N60 değerlerinin 3.00-3.45 m arasında 20 ile 46, 6.00-6.45 m arasında 18-40, 9.00-9.45 m arasında ise 14-28 darbe değerine karşılık geldiğini ve zeminin orta sıkılıkta olduğunu belirlenmiştir [22].

Van yerleşim alanında yapılan sismik çalışmada ise 12 noktada yapılan sismik kırılma yöntemiyle Vp (Sıkışma Dalga Hızları) belirlenmiştir. Yerleşim alanının üzerine kurulu olduğu Kuvaterner yaşlı birimler üzerindeki Vp dalga hızları 1. tabaka için 182 m/sn ile 551 m/sn, 2. tabaka için ise 384 m/sn ile 1024 m/sn arasında bulunmuştur. Zeminin dalga hızlarının düşük olması meydana gelecek bir depremin daha fazla hissedileceğini göstermektedir [22].

Van ili yerleşim alanı Kuvaterner yaşlı göl, akarsu ve karasal çökeller üzerinde kuruludur. Tutturulmamış tanelerden oluşan bu çökeller akifer niteliğinde olup Van yerleşim alanının merkez kısımlarında 45m kalınlığa kadar çıkmaktadır. Yerleşim alanında açılmış olan su amaçlı kuyulardan ölçülen statik su seviyeleri, yer altı suyu seviyesini özellikle göle yaklaştıkça yüzeye yaklaştığını, yerleşim alanının merkezinde ise ortalama yüzeyden 12 m derinlikte olduğunu göstermektedir [22].

Alınan jeoteknik sondajlardan ve araştırma çukurlarından alınan örnekler üzerinde yapılan tane boyu değerlerinin geçmiş depremlerde sıvılaştıran zeminlere ait tane boyu değerleri ile karşılaştırıldığı belirlenmiştir. Yeraltı suyu seviyesinin de yüzeye yakın olması Van ili yerleşim alanında sıvılaşma riskinin mümkün olduğunu göstermektedir [22].

Bayındırlık ve İskan Bakanlığının yayınlamış olduğu, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilen tablolardan yararlanılarak inceleme alanının zemin sınıfları Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5. Deprem Yönetmeliğine göre zemin sınıflandırılması [23]

<i>Zemin Grubu</i>	<i>Zemin Grubu Tanımı</i>	<i>Stand. Penetr. (N/30)</i>	<i>Relatif Sıkılık (%)</i>	<i>Serbest Basınç Direnci (kPa)</i>	<i>Kayma Dalgası Hızı (m/s)</i>
C	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	–	–	< 500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10-30	30-65	–	200-400
	3. Katı kil ve siltli kil	8-16	–	100-200	200-300

Tablo 2.6. Yerel Zemin Sınıfları [27]

<i>Yerel Zemin Sınıfı</i>	<i>Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h<sub>1</sub>)</i>
Z3	15 m < h <sub>1</sub> ≤ 50 m olan (C) grubu zeminler h <sub>1</sub> ≤ 10 m olan (D) grubu zeminler

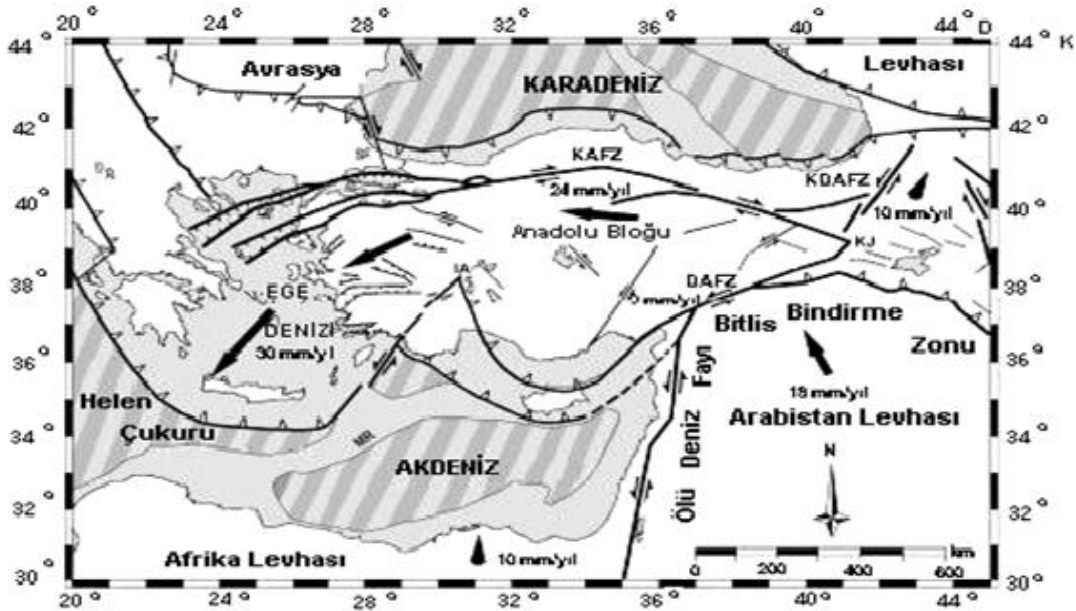
Özel ve kamu kurumlarının Van için yapmış oldukları zemin çalışmaları verileri doğrultusunda zemin “C” zemin gurubu, “Z3” yerel zemin sınıfında değerlendirilecektir.

### 2.3. Doğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği

Dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olan ve ülkemizin de içinde olduğu Alp Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan Doğu Anadolu Bölgesi, kıtasal çarpışma kuşaklarının dünyadaki en iyi örneklerinden biridir. Bölge üst kreateseden sonra yaklaşık kuzey-güney yönelimli sıkışma geriliminin etkisine girmiş ve Doğu Anadolu Bölgesinde Avrasya Levhası –Arabistan levhası çarpışması başlamıştır. Bu dönemde bölgede etkili olan sıkışma sonucunda doğrultuları genellikle doğu-batı olan bindirmeler, kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu sol yönlü atımlı faylar, kuzey-güney doğrultulu açılma çatlakları ve yaygın volkan çıkışları meydana gelmiştir. Avrasya Levhası ile Arabistan Levhası arasındaki kıta-kıta çarpışması özellikle Avrasya Levhası içerisinde çok sayıda sağ ve sol yanal atımlı faylar meydana

getirmiş olup, bunların en büyük ikisi Kuzey Anadolu fayı (KAF) ile Doğu Anadolu fayı (DAF)'dır [24, 25].

Güneydeki Afrika-Arap kıtaları ile kuzeydeki Avrupa-Asya (Avrasya) kıtaları arasında K-G sıkışma gerilmeleri altında bulunan ülkemizde, KAF ve DAF hatları boyunca biriken enerji zaman zaman boşalarak, deprem olaylarına neden olmaktadır. Diğer yandan bölgede etkili olan K - G sıkışma gerilmeleri, bu iki ana fay hattı arasındaki bulunan Anadolu kara parçasını da değişik yerlerdeki segmentler boyunca batıya doğru kaydırmaktadır [26]. Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.4).



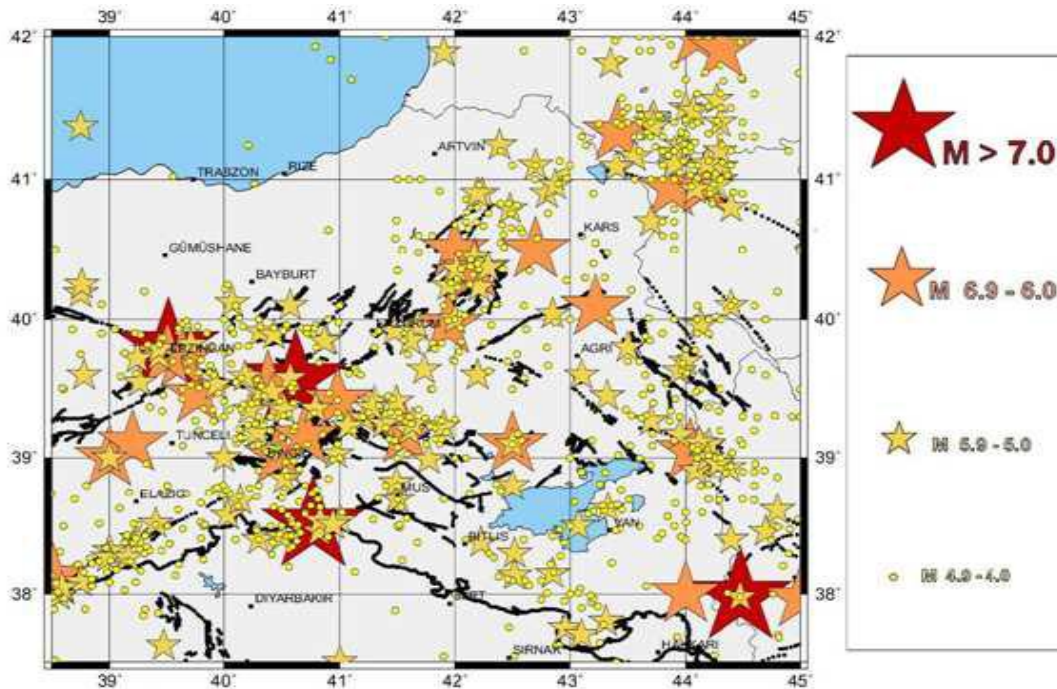
Şekil 2.4. Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli [27].

Türkiye'deki en önemli sismik risk taşıyan faylar olan sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) birleşme noktasına karşılık gelen Bingöl ili Karlıova ilçesi Doğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. Kıta içi transform faylar niteliğindeki bu iki fayın Anadolu levhasını sınırladığı ve bunlar arasında çapraz fay sistemlerinin gelişmiş olduğu bu alan Türkiye'de diri fay yoğunluğunun en fazla olduğu bir bölgedir [28].

Doğu Anadolu'da baskın olan fay mekanizmaları sağ yanal doğrultu atımlı KAF, KD-GD doğrultulu sol yanal atımlı DAF ve Arabistan Levhası ile Anadolu levhasını birbirinden ayıran sınır olan Bitlis Kenet Kuşağı [29].

Doğu Anadolu Bölgesinin %52'lik alanı I. derece ve %43'lük kısmı da II. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır [30]. Van ili'nin de içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi'nin aletsel sismisitesi aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.5). Şekilde görüleceği üzere Doğu Anadolu Bölgesi çok sayıda depreme maruz kalmış ve yeni depremlerin de oluşabileceği dikkatten kaçmamalıdır. Bu da Doğu Anadolu'da bulunan illerin yüksek deprem tehlikesi altında olduğunu göstermektedir [14].

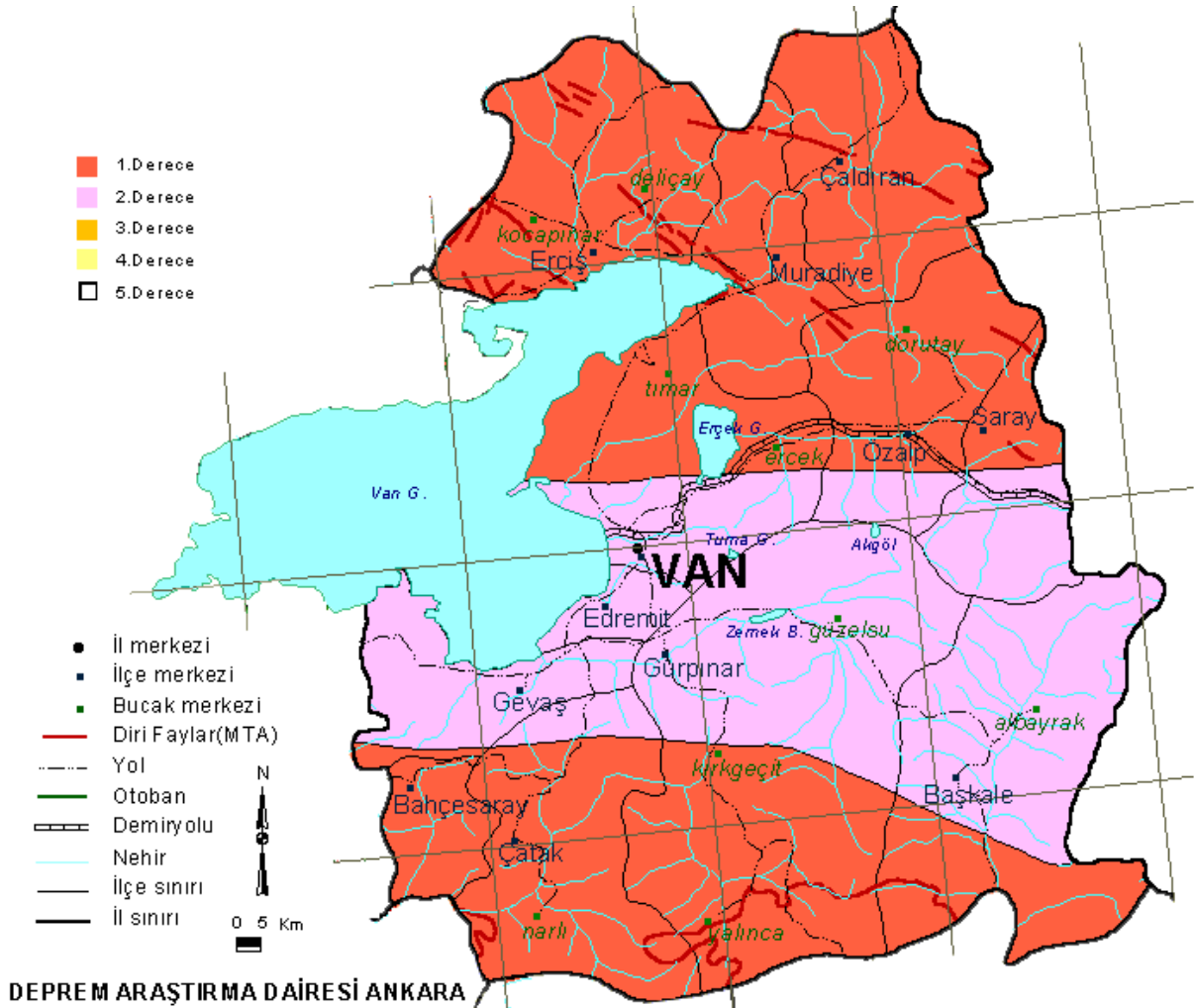
Türkiye'de 19. yüzyıldaki deprem etkinliği göz önüne alındığında 20. yüzyıl içinde DAF'nın göreceli olarak sessiz bir dönem geçirdiği bilinmektedir. Ancak tarihsel döneme ait deprem etkinliği bir bütün olarak ele alındığında, bu sessizliğin geçici olduğu ileri sürülmektedir. Bu veriler ışığında DAF hattı uzunluğunca önemli bir gerilme birikimi olmuştur [32, 33].



Şekil 2.5. Doğu Anadolu Bölgesinin aletsel sismisitesi (1900-2005,  $M \geq 4.0$ ) [34]

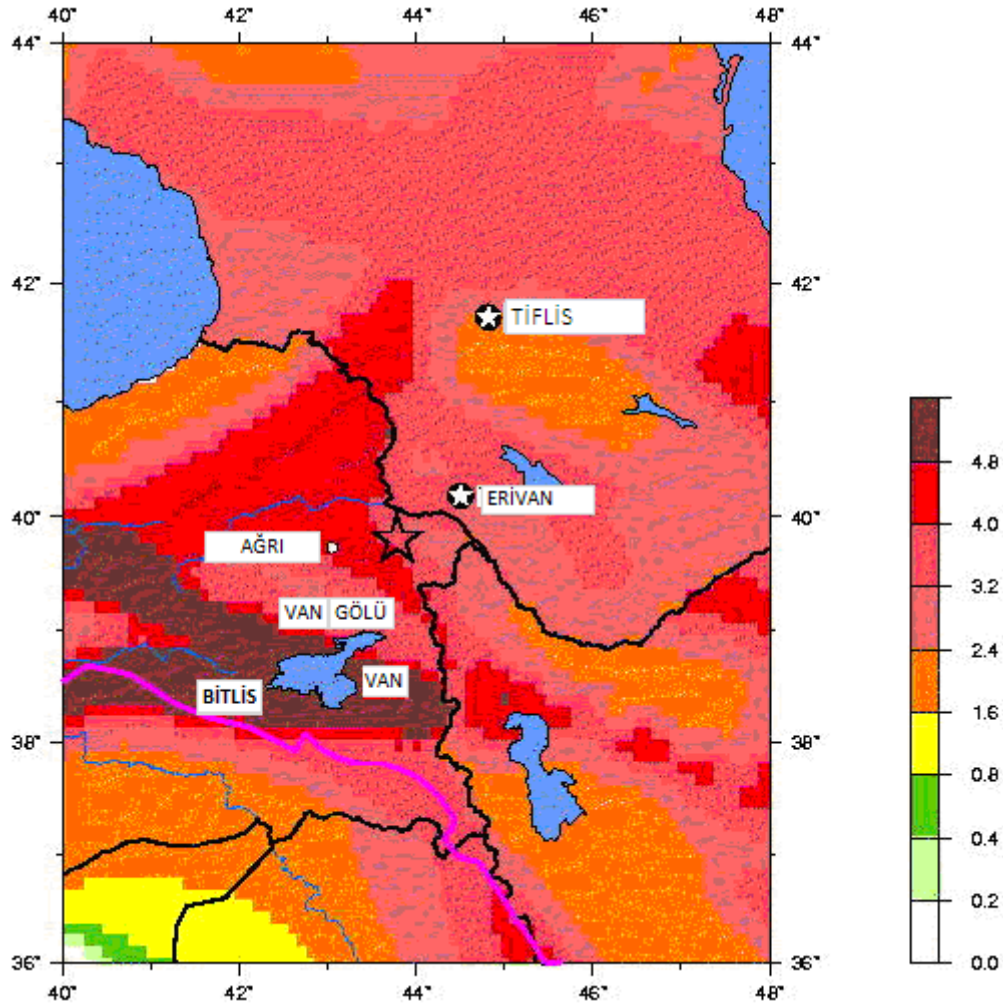
## 2.4. Van İli Depremselliği

Gerek deprem kataloglarıyla azalım ilişkilerindeki eksiklikler gerekse bazı deprem kaynak zonlarındaki belirsizlikler göz önünde tutularak Deprem Çalışma Grubu tarafından gerekli düzeltmelere gidilerek haritaya son şekli verilmiştir. Bu belirtilen çalışmalar yapılarak hazırlanmış olan harita; Bakanlar Kurulu'nun 18.4.1996 gün ve 96/8109 sayılı kararıyla Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası adı altında 1/1.800.000 ölçekli olarak yürürlüğe girmiştir [35, 36]. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda Van şehir merkezi 2.Derecede, ilçeleri ise 1.decede tehlikeli deprem kuşağı içinde yer almaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Van ili deprem haritası [36]

Van, gelecekte oluşabilecek etkili deprem tehlikeleri altındadır. Amerika Ulusal deprem konseyinin yapmış olduğu ve yayınlamış olduğu haritalarda bunu göstermektedir (Şekil 2.7). Şekilde gösterilmiş olan harita incelendiğinde Van risk bakımından en yüksek bölgede kalmaktadır.



Şekil 2.7. Van ilinin de içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesinin sismik risk haritası (%10 aşılma olasılığı 50 yıl ekonomik ömür için hesaplanan pik yer ivmesi değerleri) (USGS) [37]

KAF, DAF'nın birleşme bölgesi içinde kalmakla beraber, bir de Bitlis Kenet Kuşağı etkisi altında kalması Van ilinin ciddi deprem riskleri altında olduğunu göstermektedir.

Van sınırları içerisinde bulunan Erciş, Başkale, Çaldıran fayları ve yakın civarında bulunan Malazgirt, Süphan, ve Hasan Timur Fayları Van ili'nin depremselliğini ciddi anlamda etkileyebilecek potansiyel kaynaklar olarak görülmektedir.

Arabistan levhası ile Avrasya Levhasının çarpışması sonucu oluşan tektonik basınç sonucu meydana gelen Van Gölü, oldukça şiddetli deformasyonlara uğramış bir tektonik yapı içerisinde. İçerisinde önemli ve kural dışı neotektonik unsurlar barındıran Van Gölü, çevresinde, KD-KB gidişli eşlenik doğrultu atımlı faylar ve bu faylar boyunca çek-ayır havzaları, D-B gidişli aktif gerilme fayları, kıvrımlar, sıkıştırımlı rampa havzaları, G-K gidişli eğilimli kıvrımlar, KD-GB yönünde sıralanmış kıtasal volkanlar ve K-G gidişli tansiyon çatlakları bulundurmaktadır [38, 39]. Van Gölü havzasında tektonik hareketin hala devam ediyor olması Van Gölü Havzasının deprensellik riskini artırmaktadır. Van Gölü havzasında meydana gelecek yıkıcı depremler bu havzada bulunan Van şehir merkezi ve ilçelerini yakından etkileyecektir.

Van ve civarı, KAF ile DAF'nın kesişim noktası olan Bingöl İlinin Karlıova İlçesine, deprem etkileri dikkate alındığında çok da uzak değildir. Dolayısıyla Bingöl ve ilçelerinde olası bir deprem Van ve ilçelerini de etkileyebilir veya Van ve civarı fayları tetikleyebilir.

Karlıova üçlü bileşmesinden güneydoğuda Van gölüne doğru uzanan bir zon boyunca da karakteristik mekanizma çözümleri göze çarpmaktadır. Van gölü yakınlarında sağ yanal atım bileşeni baskınlığını yitirmiş sıkışma bileşeni mevcuttur. Tarihsel büyük depremleri ve güncel orta büyüklükteki depremleri göz önünde tutarsak Van gölünün güney kısmında önümüzdeki dönemde büyük bir deprem meydana gelebilir [20, 40, 41]. Bu bölgede meydana gelebilecek olası bir deprem Van ili ve civarını etkileyecektir.

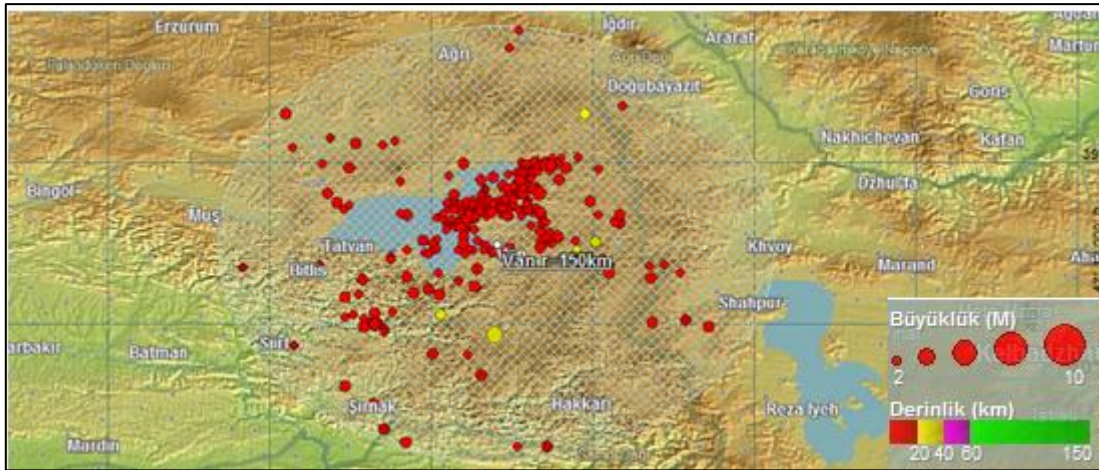
Van ili taşıdığı olumsuz jeolojik ve topografik faktörler nedeniyle depreme duyarlı değildir. Bugüne kadar izlenen yapılaşmada deprensellik ögesi büyük ölçüde ihmal edilmiştir. Ancak tektonik olarak son derece hareketli kuşaklar içerisinde kalan sahada yapılaşma esnasında deprensellik faktörü göz önünde bulundurulmalı ve ilgili şartnamelere hassasiyetle uyulmalıdır.



## 2.5. Van İli Civarı Faylar ve Özellikleri

Depremler, iç dinamik süreçlerle yer kabuğu içerisinde meydana gelen deformasyonların yarattığı ve jeolojide fay olarak tanımlanan kırılmalar sonucu oluşan yer sarsıntılarıdır. Deprem büyüklüğü (magnitüd), kırılma (faylanma) esnasında açığa çıkan enerjinin miktarına bağlı olarak değişir. Genelde, boşalan enerji kırılma merkezinden uzaklaştıkça giderek azalır. Fakat, bazen lokal jeolojik yapı özelliklerinden kaynaklanan olumsuz zemin koşulları bu durumu değiştirebilir ve kaynaktan uzak olmasına rağmen depremin yıkıcı etkisinin beklenilenden fazla olmasına yol açabilir. Bu nedenle herhangi bir bölgenin deprem potansiyeli değerlendirilirken depreme yol açan fayların (aktif fay) ve yerel zemin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir [45].

Bir bölge için deprem tehlikesinin belirlenmesinde ilk ve en önemli adım, deprem verilerinin değerlendirileceği bölge sınırlarının tanımlanmasıdır [46]. Van ili ve civarı faylar araştırılırken Van şehir merkezine 150 km yarıçaplı uzaklıktaki 70.650 km<sup>2</sup> alansal bölge içerisinde kalan faylar dikkate alınmıştır (Şekil 2.8).



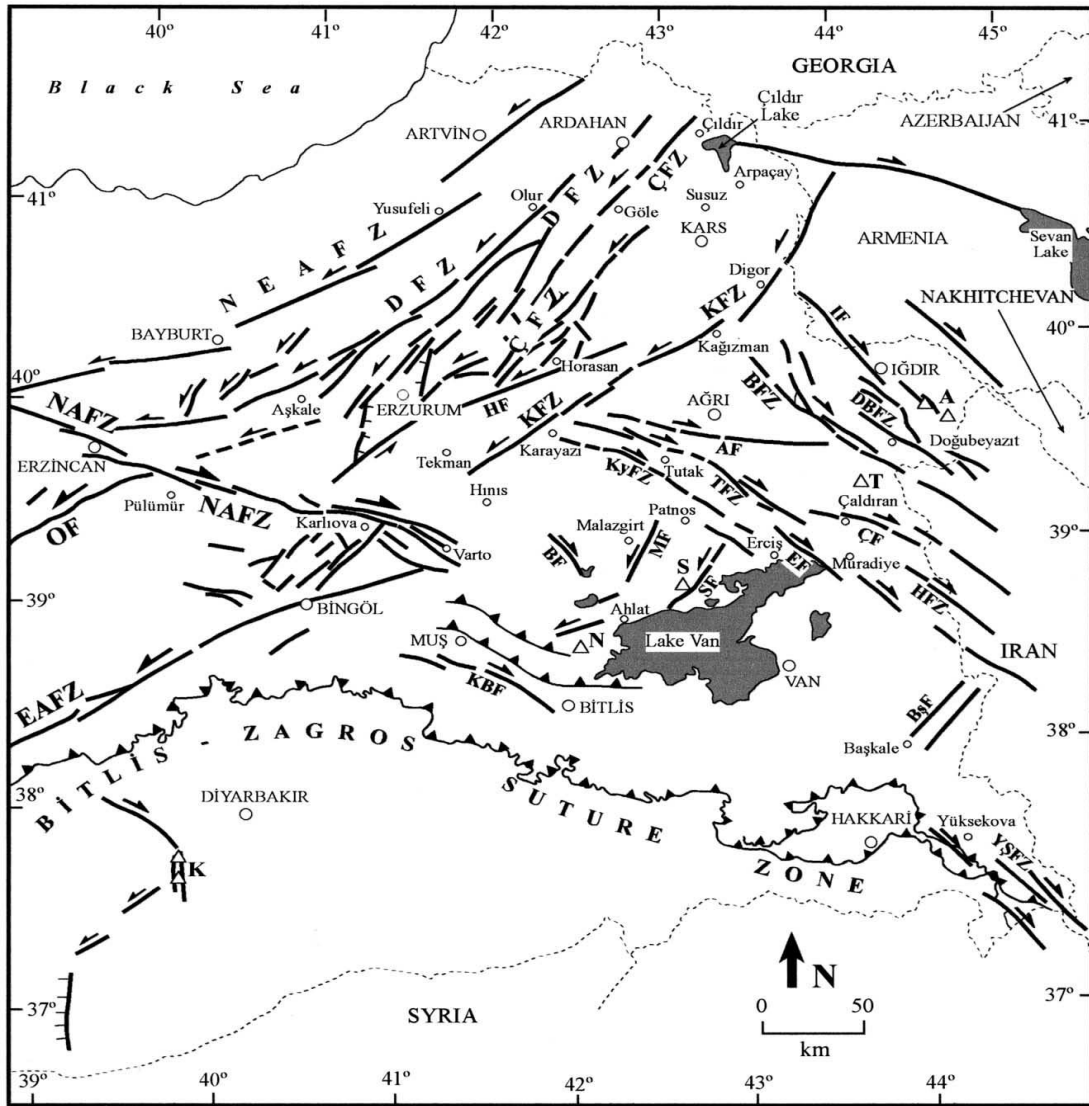
Şekil 2.8. Van şehir merkezine 150 km yarıçapındaki daire içinde kalan inceleme alanı ve bu alanda oluşan depremler [47]

Van ili ve civarı fayların incelendiği kaynaklarda faylar ile ilgili bir bütünlüğün sağlanmadığı görülmektedir. Dolayısıyla Erdin Bozkurt, İhsan Ketin, Ali Koçyiğit ve Murat Utkucu'nun yapmış oldukları fay haritalarından inceleme alanı (Van şehir



merkezinin 150 km yarıçaplı uzaklıktaki alansal bölge) içerisine düşen faylar irdelenerek Van ilini etkileyebilecek faylar için bir değerlendirme yapılmış olacaktır.

Bozkurt (2001), tarafından yapılan çalışmada Kavakbaşı Fayı, Süphan Fayı, Çaldıran Fayı, Malazgirt Fayı, Tutak Fayı, Başkale Fay Kuşağı, Balıklıgöl Fayı, Doğubeyazıt Fayı, Karayazı Fayı, Erçiş Fayı, Hasan Timur Gölü Fayı, Bulanık Fayı, Doğubeyazıt Fayı, Muş Bindirmesi ve Şemdinli-Yüksekova Fay Zonu İnceleme alanı içinde kalmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Doğu Anadolu Bölgesinin önemli tektonik yapıları; Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı, Muş Bindirmesi, N-Nemrut Dağı, S-Süphan Dağı, A- Ağrı Dağı, AF- Ağrı Fayı, BF-Bulanık Fayı, ÇF Çaldıran Fayı, EF-Erçiş Fayı, HF- Horasan Fayı, MF-Malazgirt Fayı, SF-Süphan Fayı, BFZ Balıklıgöl Fay Zonu, BŞF-Başkale Fayı, HFZ-Hasan Timur Fayı, KBF- Kavakbaşı Fayı, TFZ-Tutak Fay Zonu, YŞFZ- Yüksekova-Şemdinli Fay Zonu DBFZ-Doğubeyazıt Fay Zonu [47]

### 2.5.1. Çaldıran fayı

Kuzey Anadolu Fay sistemi içinde, ana faya paralel ve onun gibi sağ yönlü doğrultu atımlı olan Çaldıran fayının uzunluğu 50 km'dir [109, 110]. Fay yer yer çizgisel ve çok belirgin, yer yer de izlenemez durumdadır (Şekil 2.9). Çaldıran fayı üzerinde 1976 yılında  $M=7,3$  magnitudünde Çaldıran depremi meydana gelmiş ve fay yeniden aktivite kazanarak 55 km uzunluğunda yüzey yarılmaları oluşturmuştur [48]. Küçük boyutlu olup depremsellik riski yüksek olan bir faydır [4, 50, 47, 52].

### 2.5.2. Başkale fay kuşağı

Kuzeybatıda Işık köyü (Hakkari'nin yakın batısı) ile kuzeydoğuda Balıkpınarı yöresi (Türkiye-İran sınırı) arasında bulunan K-G ile KD gidişli sol yanal doğrultu atımlı Başkale fayı, yaklaşık 9–15 km genişlikte ve 82 km uzunluğundadır (Şekil 2.9). Başkale Fay Kuşağı'nın güneybatı kesimi bir seri kısa ve bağımsız fay segmentinden, orta ve kuzeydoğu kesimleri ise yaklaşık K-G ve KD-gidişli, sık aralıklı, daha düzenli ve sürekli iki ayrı fay setinden oluşur. Bunlardan ilki, Başkale çek-ayır havzasının batı kenarını sınırlayan Başkale fay seti, ikincisi ise havzanın doğu kenarını sınırlayan ve denetleyen Çığılsuyu fay setidir. Fay üzerinde 1908 yılında 6 büyüklüğünde Başkale depremi meydana gelmiştir ve fay kuşağı sismik bakımdan halen diridir [54].

### 2.5.3. Erciş fayı

Erciş ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan ve KB-GD doğrultuda uzanan Erciş fayı, toplam uzunluğu yaklaşık 20 km olan sürekli olmayan kırıklardan oluşmaktadır. (Şekil 2.9). Fay boyunca gözlenen ve doğrultu atımlı faylanmaya özgü basınç sırtları ve açılma çatlakları, Erciş Fay setinin en azından kuvarternerde etkin olmuş sağ yanal doğrultu atımlı bir kırık sistemi olduğunu göstermektedir [4, 55]. Deprem üretme potansiyeline sahip aktif bir faydır [50].

#### **2.5.4. Bitlis bindirme kuşağı (Bitlis kenet kuşağı)**

Arabistan Levhası ile Anadolu levhasını birbirinden ayıran sınır olarak tanımlanan Bitlis Bindirme Kuşağı, birçok kıvrımların, bindirmelerin ve KB gidişli sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşmaktadır [56, 57, 58, 59]. Kıtasal çarpışmalardan dolayı oluşan bindirmelere güzel bir örnek olan Bitlis Bindirme Kuşağı, Kahramanmaraş ile Yüksekova arasında 1500 km uzunlukta olup 30-60 km genişliğinde bir bölgeden oluşmaktadır [4, 40, 57, 60]. Bitlis Bindirme Kuşağında çok sayıda hasar verici deprem oluşturmuştur.

#### **2.5.5. Süphan fayı**

Kuzeyde Erciş ilçesi ile güneyde Bitlis ili'nin Adilcevaz ilçesi arasında, KD-GB doğrultusunda uzanan ve toplam 30 km kadar uzunluğunda olan Süphan fayı birden fazla kırıktan oluşan küçük bir fay kuşağı niteliğindedir (Şekil 2.9). Süphan yanardağından çıkmış olan volkanik kayaları (kuvarterner yaşlı) kesmesi ve dere yataklarını sol yönde ötelemesi, fayın en azından kuvarternerde diri ve sol yanal nitelikli olduğunu kanıtlar [4, 61, 62].

#### **2.5.6. Malazgirt fayı**

Malazgirt ilçesinin 8km doğusunda yer alan fayın genel doğrultusu KD-GB olup, toplam uzunluğu 20 km dolaylarındadır [63]. Sol yanal doğrultu atımlı fay özelliği göstermektedir [64, 65] (Şekil 2.9). Fay değişik doğrultu ve boyutlu birkaç kırıktan oluşur. Sismik olarak aktif durumda olan Malazgirt fayı, Tutak Fayı'nın güneyinde ve bu faya dik doğrultudadır [50, 66]. Malazgirt fayı üzerinde 28.04.1903 ve 27.01.1907 tarihlerinde M=6.3 magnitudünde iki deprem meydana gelmiştir [66].

#### **2.5.7. Tutak fayı**

Doğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli deprem kaynaklarından birisi olarak görülen Tutak fayı, Karlıova –Muradiye arasındadır. Toplam uzunluğu yaklaşık 80 km olan

ve KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı olan Tutak fayı çizgisel gidişli olup morfoloji de çok belirgindir (Şekil 2.9) [50, 67]. 21 Ocak 2007 tarihinde Ağrı'nın güneydoğusunda meydana gelen  $M = 5.0$  büyüklüğündeki Tutak depremi bu faydan kaynaklanmıştır [68].

#### **2.5.8. Hasan Timur Gölü fayı**

Muradiye ilçesinin yaklaşık 15 km kadar kuzeydoğusundaki Zor Dağı'nın kuzey eteklerinden başlayıp KB-GD doğrultusunda İran'a doğru uzanan Hasan Timur fayının toplam uzunluğu 45 km kadardır (Şekil 2.9). Orta kesimlerinde sağ yönde bir sıçrama yaparak Hasan Timur Gölü çek-ayır havzasını oluşturmuş olan fay 750 metrelik sağ yanallı atım göstermektedir. Basınç sırtları, diri çek-ayır havzası, ötelenmiş dereler ve Kuvarterner yaşlı alüvyonlardaki deformasyon, fayın sağ yanallı doğrultu atımlı ve diri bir kırık olduğunu göstermektedir [4].

#### **2.5.9. Muş bindirmesi**

Van Gölü'nün batısında bulunan ve güneydoğuya doğru devam eden, yaklaşık 100 km uzunluğunda olan Muş havzası kuzey kenarı fayları genellikle D-B doğrultulu yüksek açılı bindirmelerden oluşmaktadır (Şekil 2.9) [123, 124]. Bazı kaynaklarda Otluk Fayı (Otluk Fault) olarak da geçen ve sağ yanallı atımlı doğrultulu fay özelliği taşıyan Muş bindirmesi genel anlamda kıvrımlı bir yapıya sahip olmayıp, hafifçe eğimli bir yapıya sahiptir [62].

#### **2.5.10. Doğubeyazıt fayı**

Ağrı, Tendürek ve Zor dağları arasında bulunan, Yaklaşık 50 km uzunluğunda, 15 km genişliğinde ve çok sayıda fay segmentinden oluşan Doğubeyazıt fayı, KB-GD doğrultulu ve sağ yanallı atımlıdır (Şekil 2.9) [4].

### 2.5.11. Şemdinli-Yüksekova fay zonu

Yüksekova–Şemdinli arasında BKB-DGD doğrultuda uzanan Şemdinli-Yüksekova fayının uzunluğu yaklaşık 85 km kadardır [71]. Jeomorfolojik ötelenmelere göre sağ yönlü doğrultu atımlı olan fay zonunun en batı ucunu oluşturan fay segmentinin uzunluğu yaklaşık 25 km'dir. 25 Ocak 2005 tarihinde  $M_s=5,6$  büyüklüğünde meydana gelen Hakkari depreminin kaynağı olan Şemdinli-Yüksekova fayı sismik açıdan aktif haldedir [72].

### 2.5.12. Kavakbaşı fayı

Yaklaşık 100 km uzunluğunda ve sağ yönlü doğrultu atımlı olan Kavakbaşı fayında, fay boyunca yerleşik doğrultu atım kaynak mekanizması gözlemlenmiştir (Şekil 2.9). Ters yönde bir mekanizmaya sahip olup K-G yönlü basınç deformasyonuna iyi bir kanıttır. Ancak arazi üzerinde jeomorfik yapısı çok açık değildir [104]. Fay sismik olarak aktif durumda olup birçok depreme kaynak olabilecektir [50, 73].

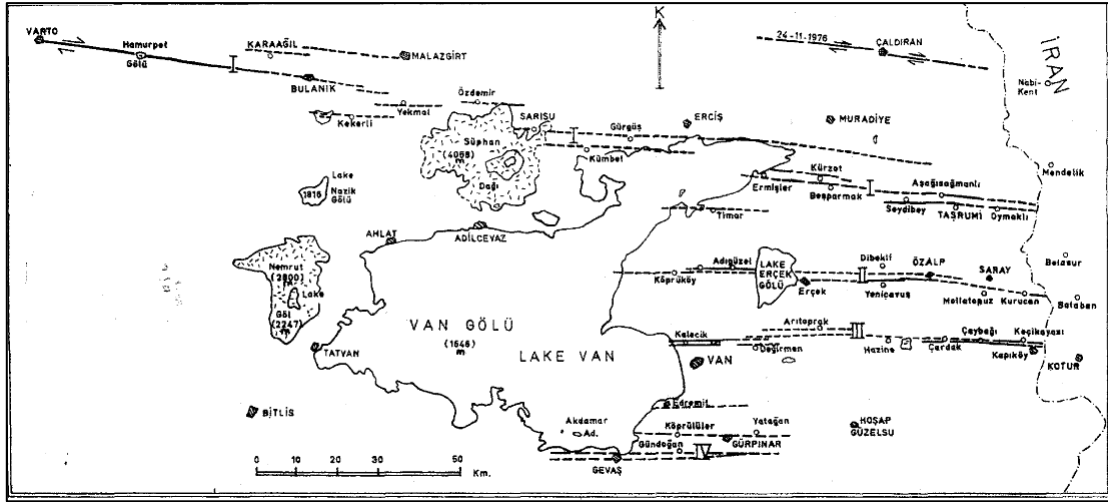
### 2.5.13. Karayazı fayı

Karlıova–Muradiye arasında bulunan ve yaklaşık 85 km uzunlukta olan Karayazı fayı ismini üzerindeki en büyük yerleşim birimi olan Karayazı ilçesinden alınmıştır. KB-GD doğrultulu sağ yönlü diri bir fay olan Karayazı fayının topografik görünüşü oldukça belirgindir. Fayın kuzey bloğu, güney bloğuna göre 70–80 m kadar yükselmiştir. Bu durum çok az da olsa bu fayın verrev bileşene sahip olduğu biçiminde yorumlanabilir [4, 74].

### 2.5.14. Balıklıgöl fayı

Karlıova–Muradiye arasında bulunan ve yaklaşık 100 km uzunlukta olan Balıklıgöl fayı, KB-GD doğrultulu birçok paralel faydan oluşan bir zon şeklinde olup sol yönlü diri bir faydır (Şekil 2.9) [4]. Üzerinde K-G yönlü Diyadin Açılma Çatlağı da bulun Balıklıgöl fayı çizgisel gidişli olup morfolojisi çok belirgindir [62, 75]. 1840 Ağrı depremi bu fay hattından kaynaklanmıştır [75].

Ketin (1977), tarafından yapılan çalışmada inceleme alanı (Van şehir merkezine 150 km yarıçaplı uzaklıktaki alansal bölge) içinde yaklaşık olarak doğu-batı doğrultusunda dört fay zonu gözlenmektedir. (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Van Gölü kuzey ve doğu bölgesinin başlıca fay zonları [77]

### 2.5.15. Birinci fay zonu

iki kısımdan oluşan Birinci Fay Zonu'nun İlk kesimi Varto- Van gölü arasındaki kesim iken ikinci kesimi; Van Gölü'nün kuzeydoğu ucundan başlamakta sonra Ermişler, Beşparmak ve Seydibey köyleri içinden geçerek İran sınırına doğru uzanmaktadır (Şekil 2.10). Van Gölü yakınında Aşağı Kalecik ve Taşoğul köyleri arasındaki dere yatağının ve Topuzarpa köyü yakınındaki küçük dere yataklarının sağ yönlü olarak ötelenmiş olmaları I numaralı zonu oluşturan fayların doğrultu atımlı ve sağ yönlü olduklarını kısmen kanıtlamaktadır [77].

### 2.5.16. İkinci fay zonu

Van Gölü kıyısından başlayarak Erçek Gölü'nden ve Özalp'dan geçmekte olan İkinci Fay Zonu doğuda İran sınırına kadar ulaşmaktadır (Şekil 2.10). Erçek Gölü ile Özalp arasında ve İran'ın sınır bölgesinde doğrultu atımlı ve sağ yönlü faylanma hareketini gösteren kanıtlar gözlenmektedir [129]. Bu fayın sol yönlü doğrultu atımlı olduğu da ileri sürülmektedir [130].

### 2.5.17. Üçüncü fay zonu

Van şehrinin yakın kuzeyindeki Kalecik köyünden başlayan ve Bostaniçi gölünden, Değirmen - Arıtoprak - Hazine yakınlarından ve Çardak - Çaybağı - Keçikayası köyleri içinden geçerek Kapıköy yakm doğusunda İran sınırına ulaşan Üçüncü fay zonu sağ yönlü doğrultu atımlıdır (Şekil 2.10) [77].

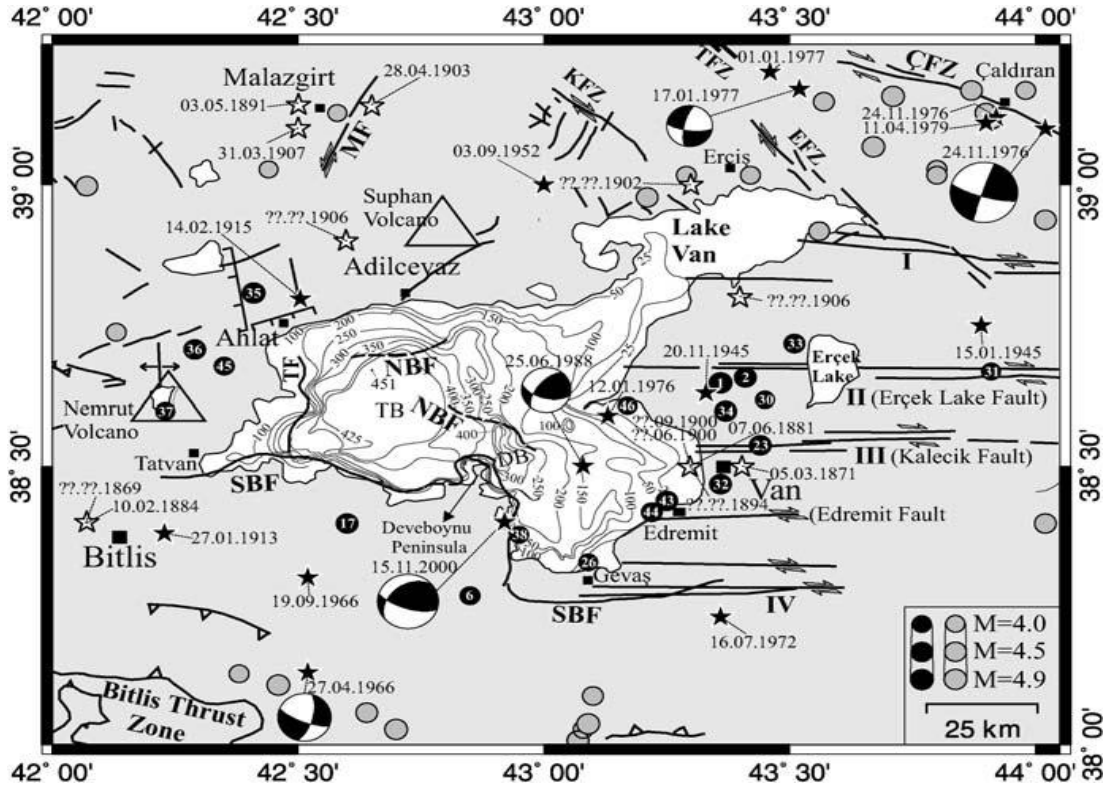
### 2.5.18. Dördüncü fay zonu

Gevaş ile Gürpınar arasında yer alan dördüncü fay zonuna ait doğu-batı doğrultusundaki faylardan kuzeyde olanı Köprülüler - Gürpınar ve Yatağandan geçmektedir. Bu fay boyunca büyük ölçüde traverten oluşukları gelişmiştir. Gevaş içinden geçen çift faylar ise, Atalan – Aladüz ve Gündoğan köyleri üzerinden doğuya doğru uzanmaktadır (Şekil 2.10) [77].

Utkucu (2003), tarafından yapılan çalışmada diğer araştırmacıların belitmiş oldukları faylardan farklı olarak Tatvan Fayı, Van Gölü Güney Sınır Fayı (SBF), Van Gölü Kuzey Sınır Fayı (NBF) İnceleme alanı (Van şehir merkezine 150 km yarıçaplı uzaklıktaki alansal bölge) içinde gözlenmektedir (Şekil 2.11).

### 2.5.19. Van Gölü güney sınır fayı (SBF)

Van Gölü'nün en büyük tektonik unsurunu teşkil eden Van Gölü Güney Sınır Fayı, Tatvan ve Deveboynu yarımadaaları arasındaki koyun güney kısmında doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır. Deveboynu Yarımadasının etrafında keskince döndükten sonra güney istikametinin tekrar doğuya döndüğü kıyıya doğru devam ederek Gevaş ilçesinde sona eren Van Gölü Güney Sınır Fayı Sağ yanal atımlı fay özelliği göstermektedir (Şekil 2.11) [79, 80].



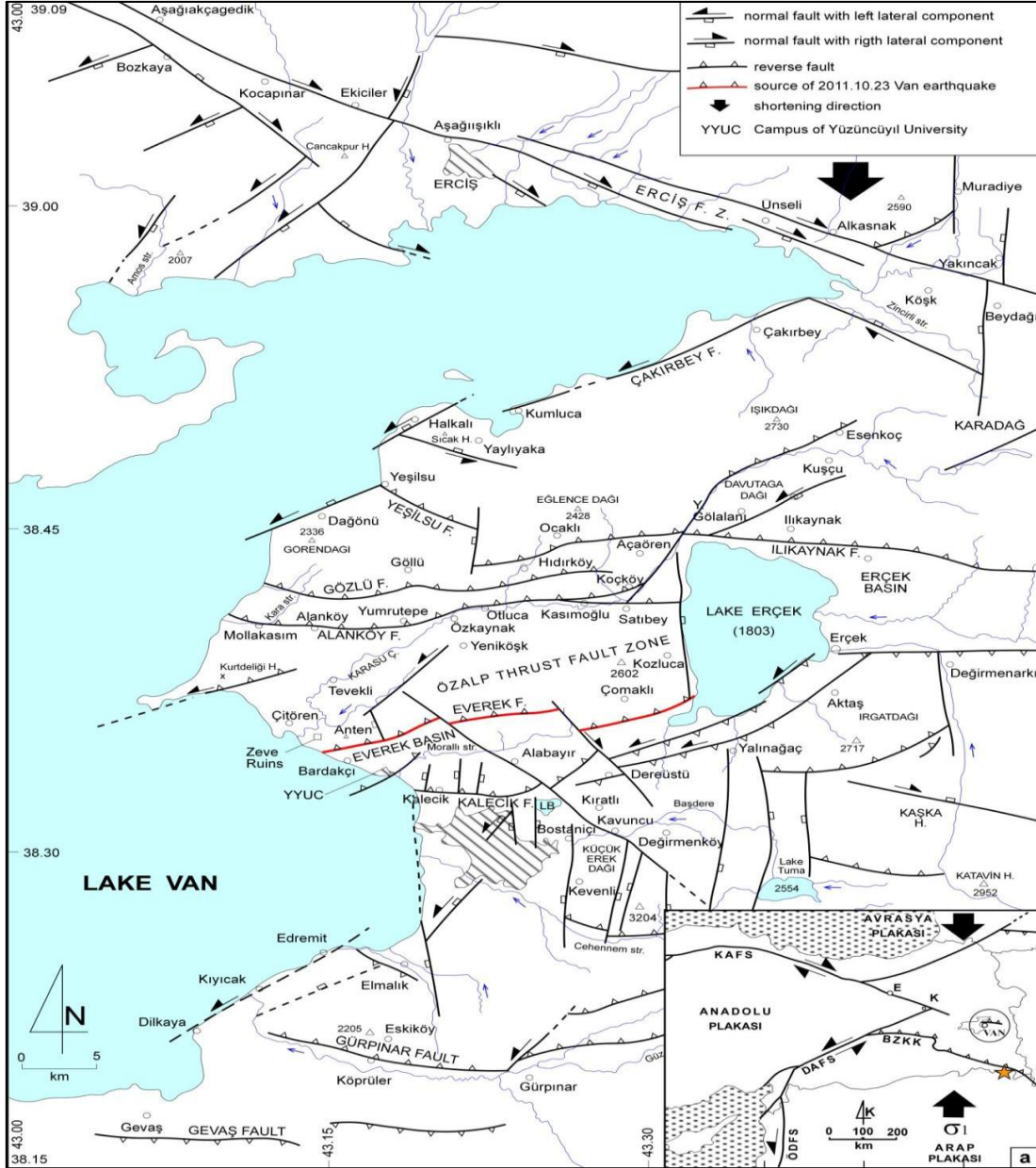
Şekil 2.11. Van Gölü Havzasının tektonik yapısı ve  $M \geq 4.0$  sismisitesi TF (Tatvan Fayı) , SBF (Güney Sınır Fayı) , NBF (Kuzey Sınır Fayı), MF (Malazgirt Fayı), EFZ (Erçiş Fay Zonu), TB (Tatvan Basin) [79]

### 2.5.20. Van Gölü kuzey sınır fayı (NBF)

Van Gölü'nün dibinde iki ayrı parça olarak haritalanmıştır. Deveboynu Yarımadasının denize yaklaşık 12 km'sinde Van Gölü Kuzey sınırı fayının doğu parçası GD-KB doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 2.11). Fayın batı parçası ise doğu parçasının en uç batı kısmının yaklaşık 15 km kuzeyine doğru uzanmaktadır [79, 80].

Koçyiğit (2011), tarafından yapılan çalışmada Van Gölü'nün doğusunda irili ufaklı değişik karakterde bir çok fay görülmektedir. Koçyiğit'in bu çalışmasında diğer araştırmacıların belirttikleri faylardan farklı olarak ters faylanma özelliği gösteren Gevaş Fayı, Gürpınar Fayı, kalecik Fayı Alanköy Fayı, Gözlü Fayı, Ilıkaynak Fayı, Yeşilsu Fayı ve 23 Ekim 2011 Van Depreminin kaynağı olarak düşündüğü Everek Bindirme Fayı ile sol yanal atımlı normal fay özelliği gösteren Çakırbey Fayı gözlemlenmektedir (Şekil 2.12) [81].





Şekil 2.12. Van Gölü'nün doğusunu gösteren faylanma[81]

## 2.6. Van İli ve Civarı Faylarda Olmuş Depremler

Deprem kaynakları tarihsel (aletsel dönem öncesi) deprem kayıtlarına göre de tespit edilebilmektedir. Yazılı tarihsel kayıtlar Çin'de de 3000 yıl, Ortadoğu'da ve Japonya yaklaşık olarak 2000 yıl, A.B.D.'nde sadece birkaç yüzyıl veya daha kısa bir süre geriye gitmektedir. Yer sarsıntısı etkisinin tarihsel kayıtları, geçmiş depremlerin oluşumunu teyid etmede ve bunların şiddetinin coğrafi dağılımını bulmada kullanılabilir. Yeteri kadar veri mevcut olduğu zaman maksimum şiddet bulunabilir

ve bundan da deprem dışmerkezinin yeri ve depremin magnitüdü belirlenebilir. Bu şekilde bulunan dışmerkezlerin yerleri nüfus yoğunluğu ve deprem tekrarlanma aralığına önemli derecede bağlı olsada, tarihsel depremler deprem kaynak zonlarının varlığı hakkında sağlam kanıtlar sağlar [14].

Bir bölgenin depreme maruz kalma derecesi, bu bölgenin sismisitesini göstermektedir. Bir bölgenin sismisitesinde en önemli yeri jeolojik formasyonların kırılmasından oluşan faylar meydana getirir. Bölgelerin deprem riskleri, jeolojik olarak bu fayların belirlenmesi ile elde edilebileceği gibi, daha önceki deprem kayıtlarından faydalanılarak da bulunabilir [83]. Geçmişten günümüze kadar gözlenen ve kaydedilen sağlıklı deprem verileriyle gelecekte meydana gelebilecek depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotları istatistiksel modellerle belirlenebilmektedir. Bu modeller yardımı ile belirli bir zaman aralığı içerisinde hangi büyüklükte ve sıklıkta depremlerin beklenebileceği belirlenebilmektedir [85].

Van ilini de içine alan Van Gölü havzası sismik açıdan oldukça büyük aktif bir zondur. 1900 ile 2011 yılları arasında Van Gölü civarında büyüklüğü  $\geq 5$  olan yaklaşık 45 deprem meydana gelmiş olması Van ilinin ciddi deprem riskleri altında olduğunu belirtmektedir.

Cumhuriyet öncesi dönemlerde her ne kadar Van ilinde meydana gelen depremler aletsel olarak sağlıklı bir şekilde ölçülememiş olsada bu depremlere ait bir takım kayıtlara ulaşılabilmekte ve depremlerin yarattığı etkiler konusunda ipuçları yakalayabilmek mümkün olmaktadır. Bölgede geçmişte de insan yerleşimlerinin merkezi olan Van ili bu anlamda bir çok depremi güçlü bir şekilde hissetmiş ve kimi zaman da hasar aldığı kayıtlara geçmiştir (Tablo 2.7) [151].

Tablo 2.7. Van ve çevresinin etkileyen tarihi depremler [47, 84, 86, 87]

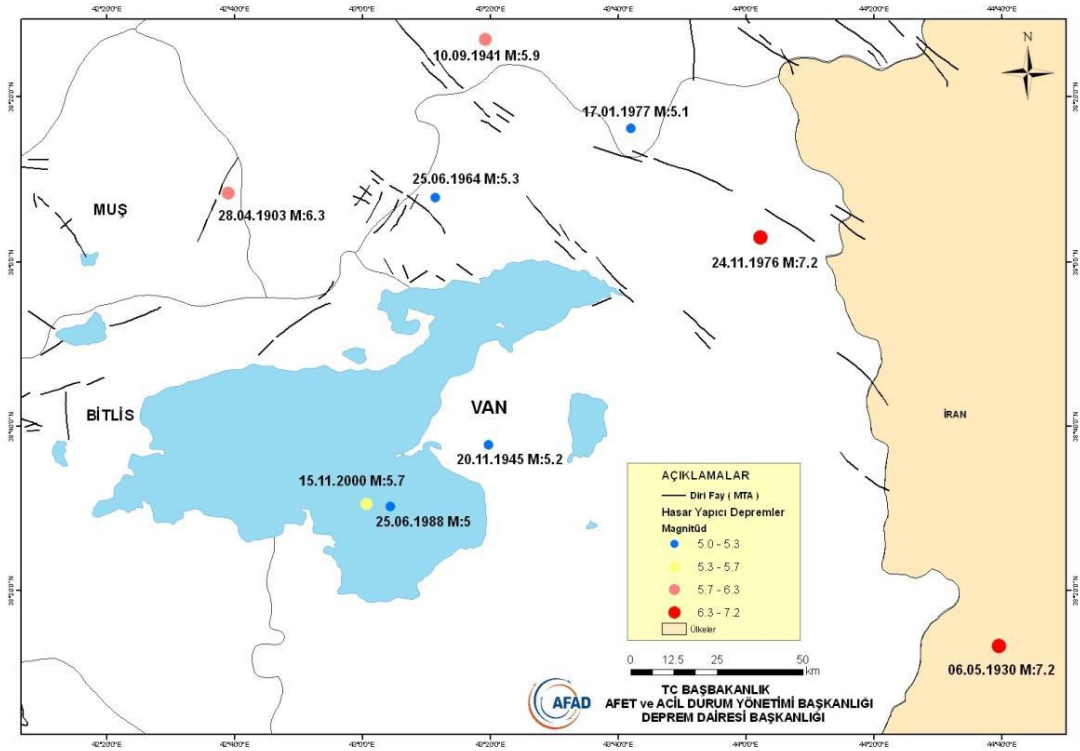
<b>Deprem Tarihi</b>	<b>Depremin Etki Alanı ve Şiddet Kayıtları ile ilgili Bilgiler</b>
1097	Bitlis ve van bölgesinde hissedilmiştir.
1111	Van ve Van Gölü çevresinde oldukça şiddetli hissedilen depremde önemli hasarlar olduğu, yer yüzünde geniş çatlaklar oluştuğu bildirilmektedir.
1208	Van gölü ve Ahlat civarında hissedilmiştir.
1224	Ahlat civarında hissedilmiştir.

Tablo 2.7. (Devam) Van ve çevresinin etkileyen tarihi depremler [47, 84, 86, 87]

1245	Ahlat civarında hissedilmiştir.
1276	Ahlat, Erciş ve Van bölgesinde sarsıntıların bir yıl sürmüş ve ciddi hasarlara neden olan deprem kümeleri meydana gelmiştir.
1282	Ahlat ve Erciş civarında hissedilmiştir.
1415	Van Gölü bölgesinde hissedilmiştir.
1439	Nemrut dağı civarında meydana gelmiştir.
1441	Van ve Nemrut yöresinde hissedilen depremde 30.000 civarında can kaybı yaşandığı belirtilmekte, hatta 1440 yılında Nemrut Dağının volkanik bir patlama gerçekleştirdiği ve depremin de bununla ilişkisi olabileceği belirtilmektedir.
1444	Nemrut ve Van'da hissedilmiştir.
1546	Van ve Bitlis'de hissedilmiştir.
1582	Bitlis ve Van'da hissedilmiştir. 5000 civarında can kaybının olduğu belirtilmektedir.
1646 veya 1648	Van bölgesinde artçıların Nisan'dan Haziran'a kadar sürdüğü belirtilmekte, Van kalesinin duvarlarının çöktüğü söylenmektedir. O dönemde Van şehrinin kale çevresinde göl çökeltisi üzerinde kurulu küçük bir yerleşim olduğu ifade edilmektedir.
1682	Bitlis bölgesinde hissedilmiştir.
1696	Çaldıran ve Bitlis'de hissedilmiştir.
1701	Van ve Batı İran'da çok şiddetli hissedilen deprem nedeniyle bölge insanının aylarca çadırlarda yaşadığı belirtilmektedir.
1704	Van'da çok güçlü hissedilen sarsıntı hasara neden olmuştur.
1715	Van ve Erciş sallanmıştır.
1791	Çok güçlü bir sarsıntı Van'dan Erzurum'a ve hatta İran'da Tebriz kentine kadar hissedilmiştir.
1857	Bitlis ve muş sallanmıştır.
1869	Bitlis civarında hissedilmiştir.
1871 (5 Mart)	Van ve Aşkale'de başlayan sismik faaliyet Erzurum'a kadar uzanmıştır
1871 (7 Haziran)	Van ve Nemrut bölgesinde yaşanan depremde 400 binanın çöktüğü ve 95 kişinin öldüğü rapor edilmiştir. Nemrut Dağı bölgesinde depremin tetiklediği toprak kayması sonucu bir köyün haritadan silindiği belirtilmektedir.
30 Mayıs 1881	Nemrut bölgesinde 6,7 büyüklüğünde bir deprem hissedilmiştir.
1884	Bitlis sallanmıştır.
1891	Malazgirt Adilcevaz ve Van sallanmıştır.
1895	Malazgirt ve Adilcevaz sallanmıştır.
1900 (Haziran-Eylül)	Van da çok güçlü bir şekilde hissetmiştir.
1902	Erciş orta şiddette hissetmiştir.
1904 veya 1905	Van ve Hamidiye ciddi oranda hissetmiş, Ağrı bölgesinde de depremin yol açtığı sarsıntıların hissedildiği kayda geçmiştir.
1906	Nemrut bölgesinde şiddetli hissedilen depremin Erzurum'dan da hissedildiği bildirilmiştir.
1924	Özalp bölgesinde hafif hasar olmuştur.
1932 – 1933	Özalp bölgesinde orta ölçekte hasar oluşmuştur.

Tablo 2.7. (Devam) Van ve çevresinin etkileyen tarihi depremler [47, 84, 86, 87]

1941 (11 Eylül)	Van ve Başkale’de hasar meydana gelmiştir.
1945 (15 Ocak)	Van-Özalp-Muradiye-Erciş bölgesinde orta hasar olurken, Çaldıran’da hafif hasar olmuştur.
1945 (2 ve 9 mart)	Bitlis-Tatvan-Erciş-Muradiye bölgeleri etkilenmiş, Muradiye’de ciddi bir hasar olmamıştır.
1945 (Eylül)	30 Haziran’da başlayıp 1946 yılının Mart ayına kadar devam eden deprem fırtınasında Van ve civarında 2000 yapının yıkıldığı belirtilmektedir. Van’da meydana gelen artçı şoklarda Erciş’te çok sayıda binanın yıkıldığı, Kocapınar’da 300 kişinin hayatını kaybettiği bildirilmektedir.
1948 (12 Ekim)	Muradiye’de hafif hasar meydana gelmiştir.
24 Kasım 1976	Muradiye-Çaldıran (Van) da 7.5 (Mw) büyüklüğünde deprem gerçekleşmiştir. Meydana gelen deprem aletsel olarak oldukça büyük olmasına rağmen bölgede ve hatta kırılan fay hattına yakın yerlerde beklenenden az hasar yaratması depremin sığ bir deprem olmasına bağlanmıştır. Depremde kırılan fayın uzunluğunun 55 km olduğu belirtilmiştir. Depremin yol açtığı yanal yer değiştirme (ya da kayma) ise 2 metre civarında belirlenmiştir. Depremin şiddeti Çaldıran’da IX, Muradiye’de ise VII olarak hissedilmiştir, Depremin en çok etkilediği Çaldıran ilçesi ve köylerinde 2.928 kişi hayatını kaybederken, 3.832 bina ağır hasar almış ya da göçmüştür. Muradiye ilçesi ise diğer en çok hasar alan yerleşim yeri olup ilçe ve köylerinde toplam 638 kişi yaşamını yitirmiş, 2.063 yapı ise yıkılmıştır. Erciş ilçesi ve köylerinde ise 34 kişinin öldüğü, 1.500’ün üzerinde binanın da yıkıldığı bilinmektedir. Diğer ilçe ve köylerde de can kayıpları ile yapılarda ciddi hasarlar oluşmuştur. Çevre illerde de hasara neden olan depremde Ağrı ve Diyarbakır bölgelerinde de yüzün üzerinde can kaybı yaşandığı dile getirilmektedir. Depremde toplam 5000 can kaybı ve 9232 civarında yapının hasar gördüğü belirtilmektedir.
23 Ekim 2011	Yerel saat ile 13:41’de meydana gelen ve merkez üssü Van şehir merkezinin yaklaşık 30 km kuzey batısı olarak bildirilen Van depreminin derinliği USGS kayıtlarına göre 16 km ve büyüklüğü 7.2 (Mw) olarak gerçekleşmiştir. Deprem Kandilli Rasathanesi verilerine göre 38.75 Doğu -43.36 Kuzey koordinatlarında başlayıp Kuzeydoğu ve Güneybatı yönünde ilerlemiştir. Deprem 9 Kasım 2011 tarihine kadar ( $M \geq 4$ ) büyüklüklerinde 157 artçı şok oluşturmuştur. 600’ün üzerinde can kaybı ve 4000’in üzerinde yaralının olduğu depremin ters faylanma özelliği gösteren yaklaşık 60 km x 20 km boyutlarında bir kırılma sonucu meydana geldiği bildirilmiştir. Artçı deprem konumlanmalarının da bu bulguyu doğruladığı, bu fay düzlemi üzerinde yaklaşık 10 - 15 km derinlikteki ortalama yer değiştirmenin 2 m olduğu rapor edilmiştir. Yüzeyde herhangi bir fay kırılması gözlenmemiş olup fay kırılması (enerji boşalma süresi) yaklaşık 50 s kadar olmuştur. Depremin kaynağı olan Fayın kırılma doğrultusu kuzeye göre yaklaşık 250 derece ve fayın eğimi yaklaşık 35 derece olarak belirtilmiştir.
9 Kasım 2011	Yerel saat 21:23’de merkez üstünün Van-Edremit olduğu açıklanan depremin derinliği USGS kayıtlarına göre 5 km ve büyüklüğü 5.6 (Mw) olarak gerçekleşmiştir. Depremden sonra ( $M \geq 4$ ) büyüklüklerinde 40 artçı şok oluşturmuştur. Van Merkez ve Edremit’te 23 Ekimde meydana gelen depremde hasarsız oldukları düşünülen iki otel göçmüş, 40 Kişi hayatını yitirmiştir. Meydana gelen depremde fiziksel yıkım ve yaşanan can kayıplarının yanında halk üzerinde ağır psikolojik etkiler bırakmıştır.



Şekil 2.13. Van ili ve çevresinde hasar yapıcı depremler [81].

## **BÖLÜM 3. PROBABİLİSTİK SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ**

### **3.1. Sismik Tehlike Analizi**

Depremlerin ne zaman, nerede ve hangi büyüklükte meydana gelecekleri bilinmeyen bir olgudur. Buna bağlı olarak da deprem sırasında yüksek binaların, köprülerin, barajların, nükleer güç santrallerinin ve benzer önemli mühendislik yapılarının ayrıca zemin yapılarının ve doğal zemin tabakalarının hasar görmeleri kaçınılmazdır. Bazı yerler buldukları bölgenin sismolojik geçmişi ve sismotektonik yapısı nedeniyle daha fazla deprem oluşumuna maruz kalırlar ve gelecekte de deprem yaşama riskleri diğer bölgelere göre daha yüksektir. Depremlerin zamanı, yeri, büyüklüğü ve diğer özellikleri önceden kestirilememektedir. Ancak gerek istatistiksel gerekse deneysel yöntemler uygulanarak bölgelerin sismik potansiyelleri yani faylanma mekanizmaları, zemin koşulları, olası deprem özellikleri belirlenebilmektedir. Deneysel yöntemler faylanma mekanizması, zemin koşulları, sıvılaşma analizi gibi değerlendirmelerde kullanılır. İstatistiksel sismik risk değerlendirmesi; matematiksel ve istatistiksel işlemler kullanılarak bir yer hareketi parametresinin belirlenmesi ve bu parametrelerin belli bir zaman dilimi için aşılma olasılığının elde edilmesini içermektedir. Analizler sırasında sismik bölge; aktif fayları iyi bilinmeyen fakat gelişigüzel depremsellik dağılımına sahip olan bir alan olarak esas alınır [4].

Depremlerin önceden belirlenebilmesi için gelecekte beklenen depremleri oluşturacak sismik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerin detaylı olarak incelenmesi gerekir. Deprem hasarını etkileyen önemli parametrelerin bilinmesiyle deprem etkilerini azaltmak ve önlemek mümkün olabilmektedir [4].

Hasar ve can kaybı yaratabilecek bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belirli bir yerde ve belli zaman periyodunda meydana gelme ihtimali deprem tehlikesi olarak tanımlanmaktadır. Deprem riski, deprem nedeni ile hasar mal ve can kaybı ihtimali olarak tanımlanabilir. Risk şu soruların yanıtlarının toplamıdır: Ne büyüklükte bir deprem, ne kadar uzaklıkta, nasıl bir zeminde, ne tür bir yapıda, ne değerinde hasar ve kayba neden olur? ‘Ne düzeyde tehlike?’ sorusunun yanıtını ararken yapılacak ilk iş nerede deprem olabileceğini deterministik olarak tanımlamak ya da olasılıksal olarak kestirmektir. Deprem tehlikesi, deprem riskinin önemli bir ögesidir [1, 3, 91].

Yapılar kullanım süreleri boyunca farklı yük etkilerinde kalmaktadırlar. Bu yüklerden, deprem yükleri analizi en karmaşık olan yükleme çeşididir. Bir yapının şiddetli bir depreme maruz kalması ekonomik ömrü içinde bir olasılıktır, yani risk mutlak değildir; bu süreç içinde şiddetli bir deprem oluşmama ihtimali de mevcuttur. Yapılar sismik açıdan değerlendirilirken olasılık model ile gerçek davranışlarının farklılıkları da dikkate alınarak incelenmelidir. Kırılma analizleri, hasar olasılıklarını ve yapıların tepkilerini belirlemede bir araç olarak kullanılmaktadır [93].

Depreme dayanıklı yapı tasarımında performansa dayalı tasarım yaklaşımının benimsenmesi ile birlikte, kuvvetli yer hareketinin gerçeğe en yakın şekilde benzeştirilmesi konusu önem kazanmıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizde kullanılan bilgisayar yazılımları ve yapısal modelleme tekniklerindeki son gelişmeler, bu tip analizlerde girdi olarak kullanılan yapay ivme benzeşimleri konusunu ön plana çıkarmaktadır. Tasarım depremi olarak, benzer özellikler taşıyan mevcut deprem kayıtlarının kullanılması uygun gözüktüğü dahi, tektonik yapı, deprem büyüklüğü, yerel jeoloji ve yakın fay bölgesi koşullarını sağlayan uygun bir veri dizisinin bulunması çok olası değildir [94].

Sismik tehlike analizinde amaç belirli bir bölgedeki depremlerin zaman ve yer içinde oluşları ile ilgili tarihi ve jeolojik bilgileri bölgenin sismik etkinliği ve deprem parametrelerinin azalmasına ilişkin bilgilerle birleştirilerek ileride beklenebilecek sismik faaliyet hakkında belirli olasılık değerlerini saptamaktır. Sismik tehlike

analizinin çıktısı, göz önünde tutulan bir noktadaki belirli bir zemin hareketi değişkeninin ya da deprem şiddetinin olasılık dağılımıdır [4].

Sismik tehlikeler, özel bir senaryo depreminin varsayıldığı durumda olduğu gibi deterministik yöntemle veya depremin büyüklüğü, yeri ve oluş zamanıyla ilgili belirsizliklerin açık bir şekilde göz önüne alındığı probabilistik yöntemle analiz edilebilir [5, 6].

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bu iki yöntemden birincisi incelenen sahayı etkileyebilecek tüm olası deprem senaryolarını dikkate alan probabilistik deprem tehlike analizidir. Bu analizin sonucunda elde edilen tehlike, referans zemin koşullarında en büyük yer ivmesi ve spektral ivmeler gibi yer hareket parametreleri ile ifade edilmektedir. Diğer yöntem ise deterministik deprem tehlike analizidir. Deterministik deprem tehlike analizi genellikle probabilistik çalışmayı takiben yapılmaktadır. Bunun nedeni deterministik hesaplamada kullanılan deprem senaryolarının bileşik probabilistik tehlikenin ayrıştırılarak belirli bir bölgedeki deprem tehlikesine en fazla katkı sağlayan deprem kaynaklarının belirlenmesi ile elde edilmesidir. Deterministik analiz sonucunda yer hareketi parametreleri veya yapay kuvvetli yer hareketi ivme zaman grafikleri elde edilmektedir [5].

### **3.1.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi**

Deterministik sismik tehlike yöntemi uygulamada en büyük yer ivmesi ( $a_{max}$ ) ve benzer sismik parametrelerin tayininde kullanılır ve teorik ilişkileri veya şiddet-büyükölük-merkez üsse uzaklık, büyükölük-ivme-yerdeğiştirme gibi görgöl ilişkileri esasa alır. Bu analiz şu aşamalardan oluşur:

1. Önemli yer hareketi oluşturabilecek bütün deprem kaynaklarının belirlenmesi ve her bir kaynağın geometrisinin ortaya konması
2. Her bir kaynak için, kaynak ve inceleme alanı arasındaki en kısa mesafe tercih edilir.



3. İnceleme alanını etkileyebilecek en şiddetli muhtemel deprem kaynağının belirlenmesi
4. İnceleme alanını etkileyebilecek en şiddetli deprem veya depremlerin belirlenmesi ile inceleme alanında ki eşik ivme, eşik hız, ve başka parametreler sismik tehlikeyi karakterize eder [98].

### 3.1.2. Probabilistik (Olasılıksal) sismik tehlike analizi

Olasılıksal sismik tehlike analizi, gerek sismik kaynakların geometrisinde, ilgilenilen sahaya uzaklıklarında, sönüm ilişkilerinde, gerekse beklenen depremlerin büyüklüklerindeki belirsizlik durumlarında ilgilenilen sahaya seçilen tasarım periyodu içinde gelebilecek ve belli bir aşılma olasılığına sahip yer hareketi parametrelerinin sistematik bir şekilde modellenip, tahmin edilebilmesini sağlar. Jeolojik parametrelerden başlayarak, kaynaktan uzaklığa kadar uzanan birçok ögenin belirsizliğe sahip olabildiği bu doğa olayı karşısında; sahanın maruz kalacağı yer hareketi parametrelerinin tahmininin, deterministik analiz yaklaşımıyla karşılaştırıldığında çok daha fazla başarılı olduğu, yöntemin Cornell (1968) tarafından ortaya atıldığı tarihten beri uygulama alanlarının genişlemesiyle görülmektedir. Cornell'in (1968) geliştirdiği olasılıksal sismik tehlike belirleme yöntemi, daha çok parametrenin rastlantısallaştırılması gibi değişikliklere uğradıysa da, günümüze kadar esas olarak aynı çerçevede seyretmiştir [99].

Bir bölgede gelecekte büyük bir depremin magnitudünü, yerini ve yer hareketinin ivmesini ve tekrarlanma ilişkisini olasılık analizi yaparak tahmin edebilmek için beş konuda bilgi sahibi olunmalıdır;

1. Deprem tehlikesinin tespit edileceği bölge için geçmiş deprem kayıtlarının derlenmesi yoluyla güvenilir bir deprem kataloğunun elde edilmesi, derlenen deprem kataloğunda bulunan kayıtların her birinin incelenen bölgedeki deprem kaynak bölgeleri ile ilişkilendirilerek kaynak bölgelerinin deprem yaratma kapasitelerinin ve sismisite parametrelerinin

hesaplanması ve bölgeyi etkileyebilecek potansiyel sismik kaynakların belirlenmesidir. Sismik kaynaklar bir bölgedeki homojen depremselliği gösteren coğrafik kaynaklardır. Bu kaynaklar nokta, çizgi ya da alansal kaynak olabilir. Nokta kaynaklar tekrarlı bir biçimde aynı noktada deprem oluşturan kaynaklardır. Genellikle bu tür kaynaklar nadirdirler. Çizgisel kaynaklar, genellikle doğrusal bir çizgi şeklinde üzerinde deprem dış merkezlerinin bulunduğu fayları gösteren kaynaklardır. Yüksek depremselliğe sahip ancak tam olarak ayrıntıda çizgi ya da nokta olarak tanımlanamayan kaynaklar tipik olarak alansal kaynak olarak modellenmektedir [4, 100].

2. Bölgenin jeolojik ve tektonik durumunun incelenmesi
3. Deprem tekrarlanmasının zamansal dağılımının ortaya konulması
4. Kaynak alanının herhangi bir noktasında oluşabilecek herhangi büyüklükteki depremin sismotektonik alanda üreteceği yer hareketinin azalım ilişkileri kullanılarak belirlenmesi
5. Son olarak; deprem lokasyonu, deprem büyüklüğü ve yer hareketinin kestirilmesi ile ilgili belirsizlikler birleştirilerek, belirli bir zaman aralığında yer hareketi parametresinin aşılma ihtimali elde edilir [6].

Olasılıksal sismik tehlike analizi için kullanılan gelenekselleşmiş akış şemasında (Şekil 3.1); ilgilenilen saha veya bölge için yerel zemin etkileri, ya mevcut azalım ilişkilerindeki parametreler yoluyla sisteme içsel olarak dahil edilmekte, ya da tipik kaya sahalar için belirlenen tehlike seviyeleri amprik büyütme veya küçültme katsayılarıyla ıslah edilmektedir [7].

Olasılıksal senaryonun her parçası için belirlenen, azalım ilişkileri yardımıyla hesaplanmış tipik kaya hedef spektrumlarıyla uyumlu deprem kayıtlarının, zemine özel bir boyutlu tepki analizlerinde kullanıldıktan sonra elde edilen zemin ivme

değerlerinin Denklem 3.1'de tanımlanan çerçeveye dahil edildiği yaklaşıma ait detaylar Şekil 3.1'de sunulmaktadır.

$$P_i(A \geq a | E_i(m > M_{\min})) = \int_{R_L=0}^{R_L=R_{L,\max}} \int_{x=x_{\min}}^{x=x_{\max}} \int_{m=M_{\min}}^{m=M_{\max}} P_i(A > a | m, r(x, R_L)) \cdot f_{m,i}(m) \cdot f_{R_L,i}(m) \cdot f_{x,i}(x) \cdot dm \, dx \, dR_L \quad (3.1)$$

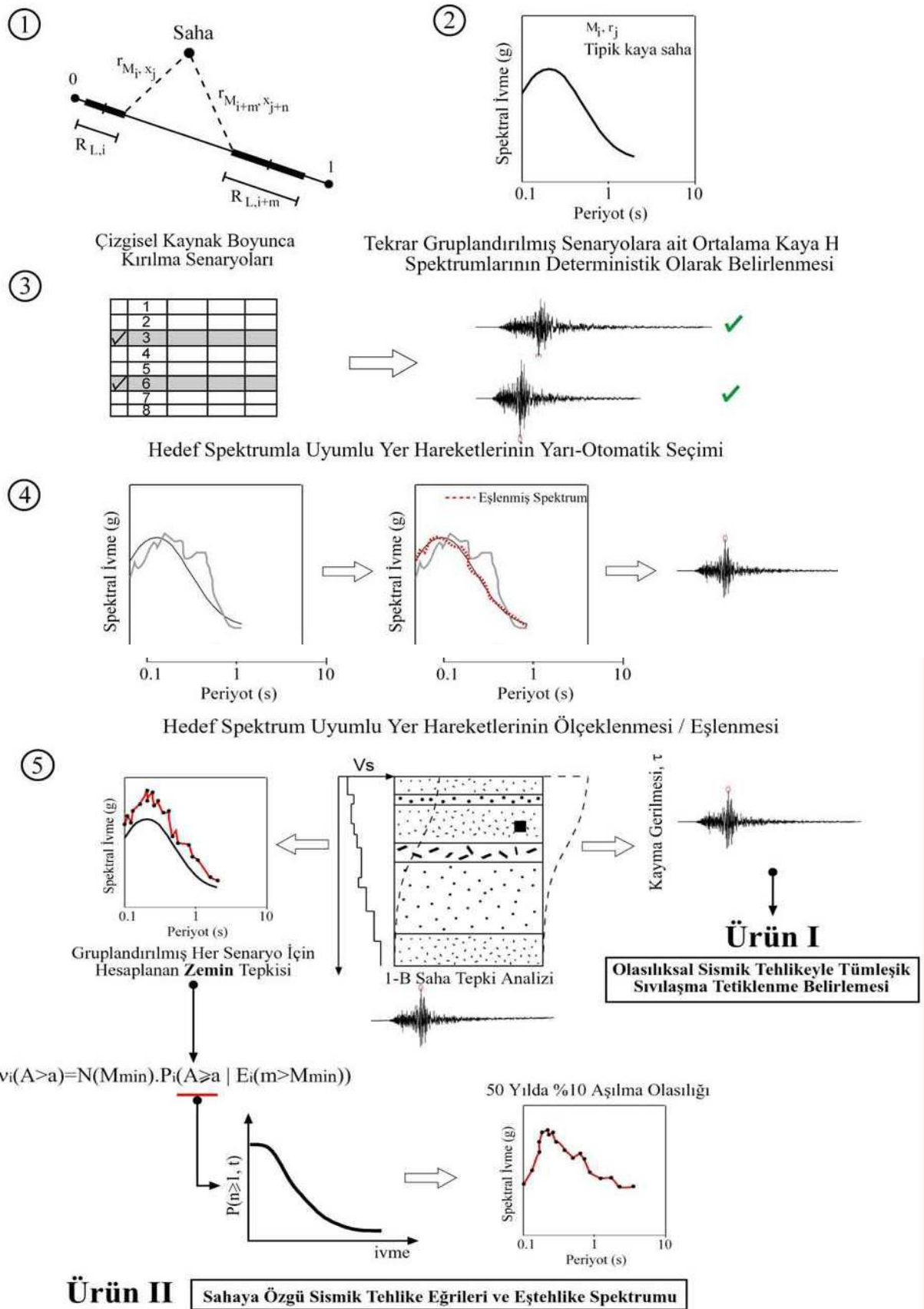
Çizgisel kaynak modellemesine dair detayların esas alındığı Denklem 3.1'de,  $R_L$  kırılma boyunu,  $x$  kırılan fay parçasının çizgisel kaynak üzerindeki konumunu,  $m$  ise deprem büyüklüğünü ifade etmektedir.  $M_{\min}$  ve  $M_{\max}$  kaynak için tanımlanan olası minimum ve maksimum deprem büyüklüğü sınırlarını tanımlar. Benzer şekilde,  $f_m(m)$ ,  $f_{R_L}(m)$  ve  $f_x(x)$  deprem büyüklüğü, kırılma boyu ve kırılmanın kaynak üzerindeki konumunun meydana gelme olasılıklarını modelleyen olasılık yoğunluk fonksiyonlarıdır. Denklem 3.1'de son olarak  $P(A > a | m, r(x, R_L))$ , verilen büyüklük ve mesafe için yer hareketi parametresinin "a" değerini aşma olasılığını ifade eder [7].

Önerilen akış semasının ilk adımında, geleneksel yöntemle paralel olarak çizgisel sismik kaynağın konumlandırması yapılmakta ve  $M_{\min}$ ,  $M_{\max}$  ile tanımlanan sınırlar dahilinde ayrıklaştırılmış deprem büyüklüğü kümelerinin her biri için kırık geometrisi Wells ve Coppersmith (1994) amprik bağıntılarıyla tahmin edilmektedir. Problem geometrisi ve fay tanımına göre deprem büyüklüğüne karşılık yüzey kırık uzunluğu, kırık uzunluğu, kırık genişliği veya alanı parametrelerinin herhangi birini tahmin etmeye yarayan bağıntılardan faydalanmak mümkündür. Saha-kaynak uzaklık terimi secimi de doğrudan ilgilendiren bu tercih sonrasında senaryodaki her deprem büyüklüğü için tahmin edilen kırık geometrileri kümesi sismik kaynak boyunca bir veya iki boyutta ötelenerek depremin hangi lokasyonlarda gerçekleşebileceği tanımlanır. Genel kabul, fiziksel olarak kırığın beklenen yeri hakkında mühendislik uygulaması yapabilecek kadar delil olmadığı durumlarda uniform dağılım kullanma yönündedir. İlk adımı sonlandıran işlem ise senaryodaki tüm kırık geometrilerini kullanarak, tercih edilecek azalım ilişkisinin uzaklık terimiyle de uyumlu olacak tüm kaynak-saha mesafe değerlerinin hesaplanmasıdır.

Seçilen uygun azalım ilişkisiyle senaryonun ayrıklaştırıldıktan sonra tekrar gruplandırılmış her büyüklük ve mesafe parçası için kaya hedef spektrumlarının

medyan değerler kullanılarak tahmin edilmesi çalışmanın ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Geliştirilen uygulamalarda, sayısal hesaplama zamanlarının kısalmasına dayanarak, senaryolarda kullanılan büyüklük-mesafe çiftleri sayıca çok büyük seviyelere erişebilmektedir. Ancak, tümleştirilmiş tehlike analizi akısının ilerleyen aşamaları dikkate alınacak olursa her durumda, tüm hedef spektrumlar için esleme ve zemin tepki analizlerinin yapılması yer yer de ihtiyacın ötesinde olabilecek ve aşırı zaman talep edebilecektir. Bu yüzden, hedef spektrumla uyumlu deprem kayıtlarının üretileceği ve zemin tepki analizlerinin yapılacağı alt küme sayısının optimize edilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Bu ihtiyaçtan yola çıkarak, sistematik bir yaklaşımla her deprem büyüklüğü için kaynak-saha mesafelerinin 5 eşit sayıda eleman içeren kümede toplanması kararlaştırılmış, bu kümelerin medyan mesafe değerleri azalım ilişkileri yoluyla hedef spektrumları belirlemek için kullanılmıştır. Yer hareketi parametrelerinin uzak ve yakın sahadaki karakteristikleri de göz önüne alınarak, aynı deprem büyüklüğüne ait alt kaynak-saha mesafesi kümelerinin medyan değerlerinin birbirlerine yakın olduğu durumlarda kümeleri birleştirmek mümkündür.

Tipik kaya sahalar için bu yolla belirlenen hedef spektrumlarla uyumlu deprem kayıtlarının belirlenmesi üçünü adımı oluşturmaktadır. Deprem kayıtlarına ait elastik tepki spektrumların hedef spektrumlarla uyumlu hale getirilmesi için iki farklı yol izlenmiştir. Çalışmada durağan olmayan tepki spektrumu esleme yöntemi (Abrahamson, 1993) gibi zaman ve frekans uzayında müdahalede bulunan algoritmalar ve doğrudan maksimum ivme ölçeklemesi tercih edilmiştir. Söz konusu çalışmada, modifiye edilecek depremlerin seçiminde, hedef spektrumların üretildiği saha, büyüklük ve mesafe koşullarına, maksimum ivme değerlerine uyumluluk gözetilmiştir. Kayıtlar, deprem veritabanlarından taranarak seçilmiş ve işleme koyulmuştur. Kottke ve Rathje (2007) tarafından önerilen şekilde ya da herhangi başka bir algoritmayla kayıtların uygunluğunu denetleyip otomatik seçim yapılmasını sağlayacak bir sistem çalışmaya su aşamada dahil edilmemekle birlikte, geliştirmeyi bekleyen noktalardan biri olarak hedefler dahilindedir.



Şekil 3.1. Olasılıksal sismik tehlike akış şeması [7]

Şekil 3.1’de, 4 numaralı aşama olarak atfedilen kısımda hedef spektrumlarla uyumlu yer hareketlerine ölçekleme ya da durağan olmayan tepki spektrumu esleme yöntemiyle ulaşılmamasının ardından bir boyutlu eşdeğer doğrusal sismik zemin tepki analizleri yapılmaktadır. Kayma dalgası hızı dağılımı ve tabaka özellikleri verilen zemin profilleri, eşlenmiş deprem kayıtları kullanılarak analizlere tabi tutulmakta ve zaman uzayında tanımlı yer hareketi tepkisi elde edilmektedir. Tekrar gruplanmış her büyüklük-mesafe kümesinden elde edilen tepki spektrumlarına eslenmiş deprem kayıtlarının sayıca birden fazla olması halinde, her kayıt için yapılan analiz sonucunda profil yüzeyinde elde edilen spektral değerlerin ortalaması değerlendirmeye katılır. Yüzeyle elde edilen elastik zemin tepki spektrumu ordnatları, her spektral periyot için Denklem 3.1’deki "A" parametresi yerine yerleştirilirse olasılıksal tehlike analizi çerçevesi kaldığı yerden işlemeye devam edecektir. Elde edilen sonuç, profilin dinamik davranışını, azalım ilişkilerinin zemin sınıfı ya da yüzeye yakın 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızına bağlı olarak vereceği sonuçlara oranla daha temsil edici olacaktır. Söz konusu işlem gerçekleştiğinde, tıpkı geleneksel akış semasında yer aldığı gibi sismik tehlike eğrilerini ve belirli zamanda istenen asılma olasılıklarına sahip zemin tepki spektrumlarını elde etmek mümkün olacaktır [7].

### 3.1.3. Azalım ilişkileri

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, tasarıma esas deprem hareketinin gerçeğe en yakın şekilde simüle edilmesi konusu giderek önem kazanmaktadır. Tasarım deprem hareketini yer hareketi karakteristikleri cinsinden tanımlandığından, yer hareketi parametrelerini hesaplama yöntemlerine gerek duyulur. Yer hareketi parametrelerini hesaplamada, belirli bir yer hareketi parametresini o parametreyi en kuvvetli şekilde etkileyen büyüklükler cinsinden ifade eden azalım ilişkileri kullanılmaktadır. Azalım ilişkileri, sismik tasarımda kullanılan sismik tehlike analizinde önemli rol oynamaktadır [102].

Yer hareketi azalım modelleri probabilistik deprem tehlike hesaplamalarının en önemli unsurlarından biridir. Verilen bir deterministik deprem senaryosundan kaynaklanacak deprem yer hareketine ait davranış spektrumunun ampirik olarak

belirlenmesinde de genel olarak azalım ilişkileri kullanılmaktadır. Azalım ilişkileri kuvvetli yer hareketi parametresinin büyüklük, faylanma mekanizması, yayılma hattı ve yerel zemin koşulları gibi parametrelere bağlı olarak tahminini sağlar [102].

Geliştirilmiş azalım ilişkilerinde spektral ivmeler depremin moment büyüklüğü, uzaklık, deprem mekanizması ve lokal zemin koşullarına bağlı ifadelerle verilmektedir. Azalım ilişkisinde, frekans-manyitüd verilerinin toparlanmasında ve maksimum manyitüdün belirlenmesinde aynı deprem büyüklüğü ölçeğinin kullanılmasına dikkat edilmelidir. Azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık parametresi; odak noktasına, merkez üstüne, enerji boşalma merkezine, fay yüzeyine ve fay uzantısına olan mesafe olarak tanımlanabilir. Tanımlardaki bu farklılıklar özellikle faya yakın bölgelerde çok önemli rol oynar [102].

Azalım ilişkileri özellikle faya yakın bölgelerde dikkatli kullanılmalıdır. Bu bölgelerde azalım ilişkilerinin fay uzaklığına ve deprem büyüklüğüne bağımlılıkları azalır ve standart sapmaları artar. Bu durum azalım ilişkilerinde kullanılan fiziksel modellerin yetersizliğinden, dalga yayılım özelliklerinden, yırtılma boyutları ve direktivite etkisinden ve olası doğrusal olmayan zemin davranışlarından kaynaklanmaktadır [102].

En büyük yer ötelemesi için geliştirilmiş azalım ilişkilerinde yer ötelemesinin sadece dinamik bileşenleri göz önüne alınmaktadır. Toplam ötelemenin hesabında kullanılması gerekli olan statik öteleme bileşeninin ayrıca tahmini gereklidir [102].

Azalım ilişkileri yer hareketi parametrelerini genellikle magnitüd, uzaklık ve bazı durumlarda da diğer değişkenlerin fonksiyonu olarak ifade etmektedir. Bu azalım ilişkisi fonksiyonu aşağıda gösterildiği gibi yazılabilir.

$$Y=f(M,R,P_i) \quad (3.2)$$

Burada, Y bulunması arzu edilen yer hareketi parametresi, M depremin büyüklüğü, R kaynaktan proje alanına olan uzaklığın ölçüsü ve  $P_i$  de deprem kaynağını, dalga

yayıma izini ve yerel arazi şartlarını karakterize etmede kullanılan diğere parametrelerdir [102].

Azalım ilişkileri, kaydedilmiş kuvvetli hareketlerin veri tabanlarından regresyon analizleri yoluyla geliştirilir. Bunlar, zaman içinde daha fazla kuvvetli hareket verisi toplandıkça değışirler. Literatürdeki çoğru azalım ilişkileri her 3 ile 5 yılda bir veya iyi bir ölçüm şebekesine sahip bölgelerde büyük depremlerin oluşumundan kısa bir zaman sonra güncelleştirilmektedir [102].

Azalım ilişkilerinin fonksiyonel şekli, genellikle yer hareketi sürecinin mekaniğini olabildiğince yakın olarak yansıtacak şekilde seçilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde ampirik katsayıların sayısı azaltılmakta ve azalım ilişkilerinin veri tabanında kötü bir şekilde temsil edilmiş şartlara (magnitüd ve mesafelere) uygulanması daha büyük bir güvenle yapılmaktadır. Azalım ilişkilerinin en çok karşılaşılan şekilleri aşğıdaki gözlemlere dayanmaktadır:

1. Kuvvetli hareket parametrelerinin pik değeri yaklaşık olarak log-normal dağılım gösterir. Sonuçta; Regresyon analizi, Y nin kendisi üzerinde değil de logaritması üzerinde yapılır.
2. Deprem magnitüdü tipik olarak belirli bir pik hareket parametresinin logaritması olarak tanımlanır. Buna göre  $\ln Y$ , M ile yaklaşık olarak doğru orantılı olmalıdır.
3. Gerilme dalgalarının deprem kaynağından dışarı doğru uzaklaşırken yayılmaları, cisim dalgası genliklerinin  $I/R$  'ye göre azalmasına ve yüzey dalgası genliklerinde  $I/\sqrt{R}$  ye göre azalmasına neden olmaktadır.
4. Fay yırtılmasıyla oluşan alanın büyüklüğü deprem büyüklüğü ile birlikte R mesafesinden gelirken bir kısmı da daha büyük uzaklıklardan gelir. Bu nedenle, etkin uzaklık R'den daha büyüktür ve aradaki oran artan deprem büyüklüğü ile paraleldir.



5. Gerilme dalgaları ile taşınan enerjinin bir kısmı seyahat yolu üzerinde karşılaştıkları malzemelerce absorblanmaktadır. (materyal sönümlenmesi). Bu materyal sönümlenmesi yer hareketi genliklerinin R 'ye göre üssel olarak azalmasına neden olur.
6. Yer hareketi parametreleri (sözelimi doğrultu alımlı, normal veya ters faylanma gibi) kaynak karakteristikleri ile (sert kaya, yumuşak kaya, alüvyon vb. gibi) proje sahası özelliklerinden etkilenebilir.

Bu gözlemlerin birleştirilmesiyle, tipik bir azalım ilişkisi aşağıdaki şekli alır:

$$\ln Y = \underbrace{C_1}_{1} + \underbrace{C_2 M + C_3 M^{C_4}}_{2} + \underbrace{C_5 \ln[R + C_6 \exp(C_7 M)]}_{3} + \underbrace{C_8 R}_{4} + \underbrace{f(\text{kaynak}) + f(\text{saha})}_{5} \quad \sigma_{\ln Y} = C_9 \quad (3.3)$$

$\sigma_{\ln Y} = C_9$  terimi azalım ilişkisi ile verilen yer hareketi parametresinin değerindeki belirsizliği tanımlar [102].

### 3.1.4. Deprem magnitudu olasılık dağılımı

Gutenberg ve Richter gelecekte meydana gelebilecek depremlerin magnitudlerinin hesaplanmasında geçmişte meydana gelmiş bütün depremleri hesaba katan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde önce geçmişte meydana gelmiş bütün depremlerin istatistiksel bir sınıflaması yapılır. İncelenen periyotta meydana gelmiş deprem manyitüdlerinden belli bir esik manyitüdün üzerinde olanlar (M) küçükten büyüğe doğru sıralanır ve her manyitüdün karşısına bu manyitüd ve üzerinde kaç tane (N) olduğu belirtilir. N değerleri Logaritmik düşey eksene, manyitüd (M) değerleri de yatay eksene de yerleştirilerek LogN-Manyitüd ilişkisi grafiği elde edilir. Bu grafikte koordinatların gösterdiği veri noktalarından geçen en yakın doğru parçasının denklemi

$$\log N = a - b.M \quad (3.4)$$

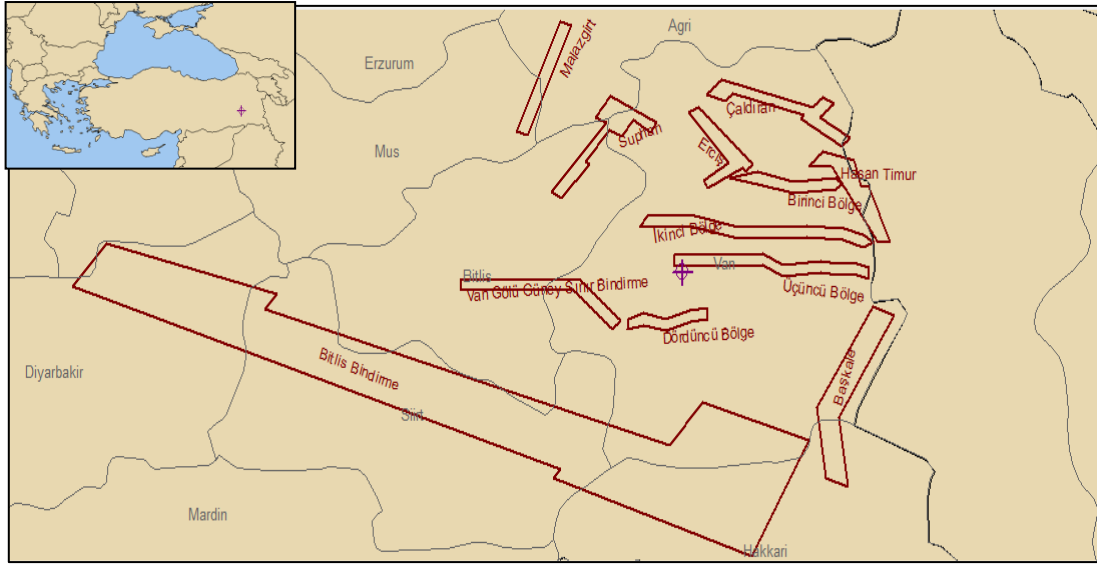
şeklinde. Burada  $N$ , verilen bir bölge ve periyot için magnitudü  $M$ 'e eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını,  $a$  ve  $b$  ise regresyon katsayılarını göstermektedir.  $a$  parametresi inceleme alanının genişliğine, gözlem dönemine ve deprem düzeyine bağlıdır.  $b$  değeri ise bölgenin tektonik karakteristiğini belirleyen bir parametre olarak kabul edilmektedir.  $a$  ve  $b$  regresyon katsayıları En Küçük Kareler Yöntemi ile hesaplanırlar. [13, 85].

Genellikle, sismik tehlike analizlerinde magnitud için bir alt sınır saptanır. Alt sınır değerinden daha küçük magnitudlu depremler mühendislik yapılarında bir hasar yaratamayacaklarından, bunlar sismik tehlike analizine katılmazlar. Ayrıca,  $m_0$ 'dan daha küçük depremler için istatistiksel veriler çoğu kez güvenilir değildir. Geçmiş deprem kayıtları, sonsuz enerjinin açığa çıkmasının olanaksız olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyimle, magnitud için bir üst sınır vardır [13].

Sismik tehlike analizleri için seçilecek deprem magnitudu alt sınırı için üzerinde fikir birliğine varılmış bir değer olmasa da, genellikle magnitud( $M$ ) için alt sınır değer 4.0 ve 4.5 olarak benimsenmektedir [13].

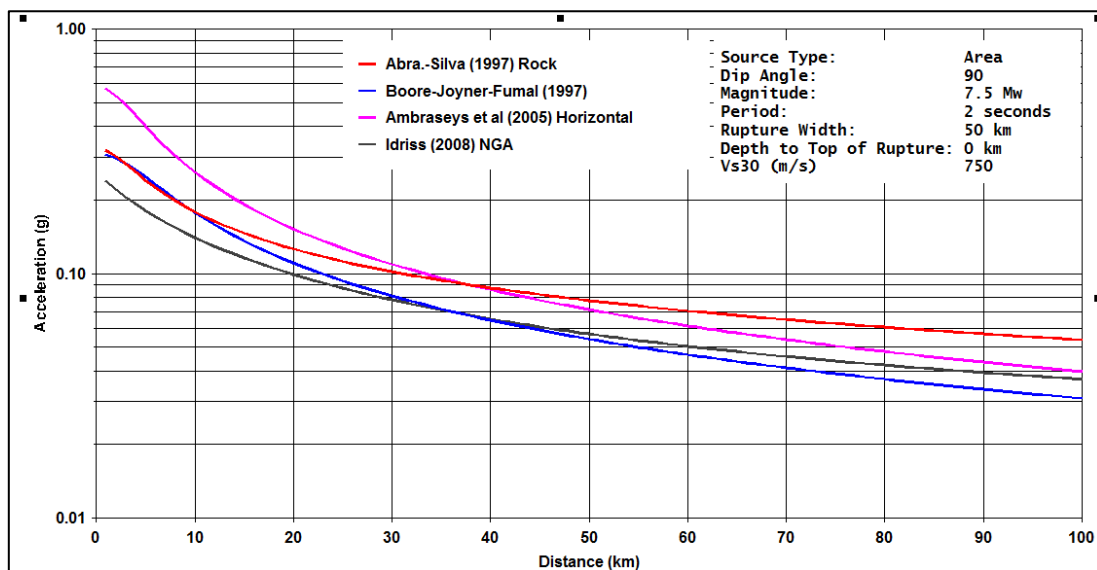
### **3.2. Van İli Sismik Tehlike Analizi**

Bu çalışmada, Van şehir merkezi için olasılıksal sismik tehlike analizi hesaplamaları, Robin McGuire tarafından geliştirilen EZ-FRISK v7.52 bilgisayar yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır. Van ve civarında yer alan fay grupları alansal kaynaklar şeklinde tanımlanarak yapılmıştır. Bölgede çok sayıda fay ve fay grupları yer aldığından ve fay parametreleri tanımlanamadığından deprem kaynağı olarak alansal kaynakların tanımlanmasının zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Çalışmada fay grupları, Başkale, Çaldıran, Erciş, Van Gölü Güney Sınır Bindirme, Birinci Bölge, İkinci Bölge, Üçüncü Bölge, Dördüncü Bölge, Bitlis Bindirme, Süphan, Malazgirt ve Hasan Timur olmak üzere 12 alansal kaynak tanımlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Van ve civarında bulunan fay gruplarının alansal deprem kaynaklar olarak tanımlanması

Ülkemizde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ivmelerinin kısıtlı sayıda olması, dünyanın başka bölgelerinde alınmış kayıtlardan elde edilmiş azalım ilişkilerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Çalışmada, dünya genelinde sığ depremler için geçerli Abrahamson-Silva (1997) [106]; Avrupa ve Orta Doğu bölgesinden depremler kullanılarak geliştirilen Ambraseys (2005) [107], Kuzeybatı Amerika'daki sığ depremler için geliştirilen Boore-Joyner-Fumal (1997) [108], doğrultu atımlı sığ depremler için geliştirilen Idriss (2008) [109] azalım ilişkileri kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Abrahamson-Silva (1997), Ambraseys vd., (2005), Boore-Joyner-Fumal (1997), Idriss (2008) azalım ilişkileri

Çalışmada Van ili için magnitüd-frekans ilişkisine ihtiyaç duyulmuştur. Magnitüdün fonksiyonu olarak depremlerin oluş frekansı incelendiğinde, genellikle doğrusal bir ilişki ile yorumlanmaya çalışılır. Depremlerin magnitüdü ile oluş sayıları arasında ki ilişkiyi veren;

$$\log N = a - b.M \quad (3.4)$$

bağıntısı ilk defa Gutenberg ve Richter (1944) tarafından verilmiş olup bir bölgenin deprem etkinliğini yansıtmak için kullanılan en önemli bağıntılardan biridir [110]. Bu değerlerin Van ili için hesaplamaları yapılırken Tablo 3.1’de gösterilen Van ilinin merkezinden 150 km yarıçapındaki dairesel alanda moment büyüklüğü  $M \geq 4$  olarak gerçekleşmiş depremlerin şiddetlerine göre tekrarlanma sayılarından faydalanarak deprem magnitüd değerlerinin logaritmik değerleri Tablo 3.2’de hesaplanmıştır. Hesap sonucu elde edilen değerler Şekil 3.4’deki grafikte gösterilmiştir. Çizilen bu grafiğin denklemi  $\log N = 5,8248 - 0,8344M$  olarak bulunmuştur. burada a katsayısı 5,8248, b katsayısı 0,8344 bulunmuş olup bu katsayılar EZ-FRISK v7.52 bilgisayar yazılımına girilmiştir.

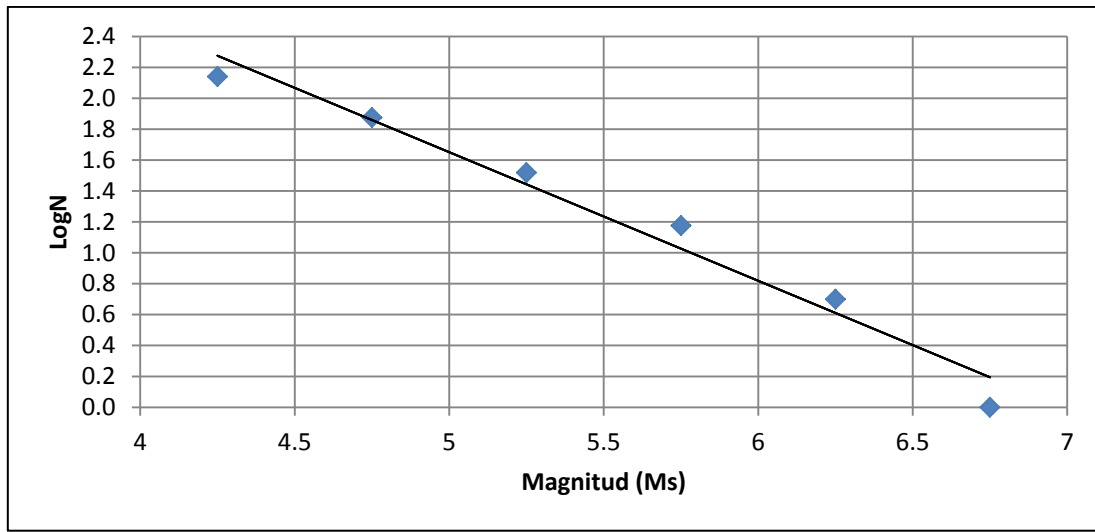
Tablo 3.1. 01.01.1900 -31.12.2006 tarihleri arasında Kandilli Rasathanesi kayıtlarına göre Van ili ve civarında oluşmuş depremlerin şiddetlerine göre tekrarlanma sayıları

Şiddet	Ms	Mw	Mb	Md	Ml
3,0 -- 4,0	84	-	-	3	2
4,0 -- 4,5	65	100	123	128	133
4,5 -- 5,0	42	76	67	59	62
5,0 -- 5,5	18	29	22	23	15
5,5 -- 6,0	10	14	11	8	10
6,0 -- 6,5	4	4	1	3	2
6,5 -- 7,0	1	1	-	-	-

Md: Süreye bağlı büyüklük; Ml: Yerel (lokal) büyüklük; Ms: Yüzey dalgası büyüklüğü; Mb: Cisim dalgası büyüklüğü, Mw: Moment büyüklüğü

Tablo 3.2. Deprem magnitüd değerlerinin logaritmik değerleri

Ms=0,5	Orta Aralık	Frekans	Log N	Yığınsal Frekans	Log N
4,0 -- 4,5	4,25	65	1.81291	140	2,14612
4,5 -- 5,0	4,75	42	1.62324	75	1,87506
5,0 -- 5,5	5,25	18	1.25527	33	1,51851
5,5 -- 6,0	5,75	10	1.00000	15	1,17609
6,0 -- 6,5	6,25	4	0.60205	5	0,69897
6,5 -- 7,0	6,75	1	0,00000	1	0,00000



Şekil 3.4. Van ili için Gutenberg-Richter bağıntısı

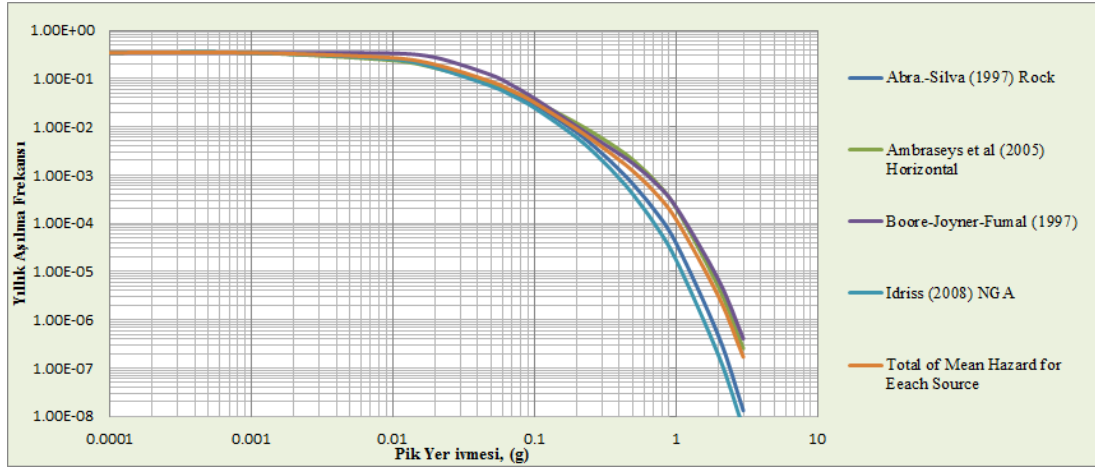
Van İli için hesaplanan  $\log N = 5,8248 - 0,8344 M$  magnitüd-frekans ilişkisinin yanı sıra probabilistik sismik tehlike analizinde uzunluk  $L_{sub}$  (km), genişlik  $W$  (km), alan  $A$  (km<sup>2</sup>) ve yer değiştirme  $D$  (m) gibi fay parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Wells ve Coppersmith (1994) [111] doğrultu atımlı faylar için dünyada yaygın olan 244 adet deprem için Şekil 3.5’de ki ilişkiyi elde etmişlerdir. Bu çalışmada belirtilen parametreler için bu ilişki kullanılmıştır.

$$M_w = 4.33 + 1.49 \log L_{sub} \quad s = 0.2 \quad (3.5)$$

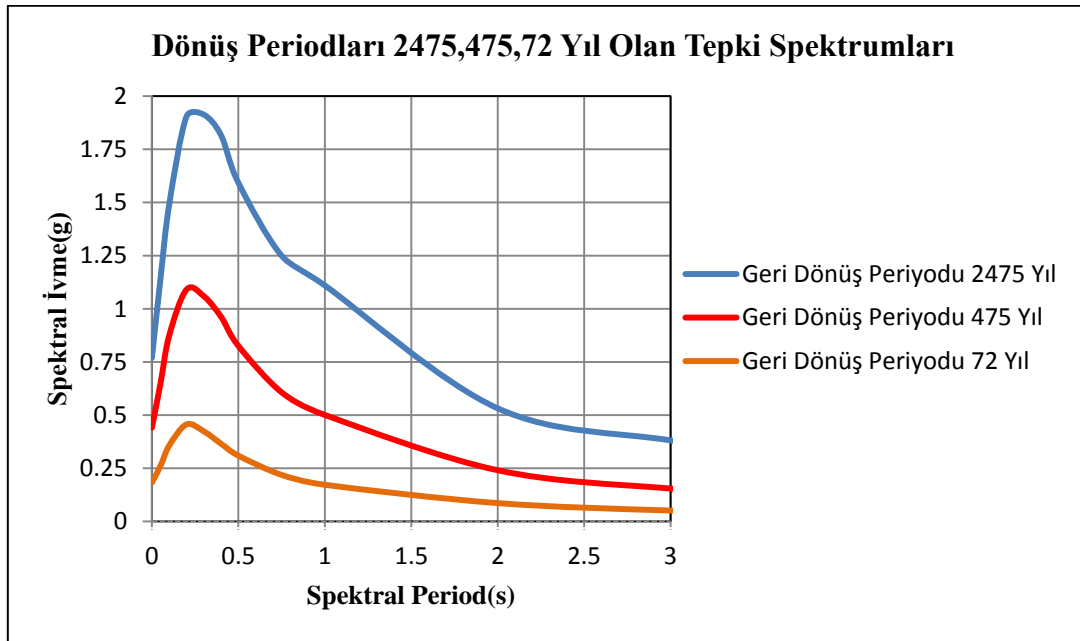
Burada  $s$ , artan standart sapma olarak tarif edilmiştir.

Sismik tehlike analizi verileri toparlandıktan sonra EZ-FRISK yazılımı kullanılarak probabilistik sismik tehlike analizine geçilmiştir. Yazılım programı ile dönüş

periyotlarının bir fonksiyonu olarak maksimum yer ivme değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.5). Seçilmiş olan dönüş periyotları için düzgün olasılıklı tepki spektrumları elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Van için değişik dönüş periyotlarında maksimum yer ivme değerleri

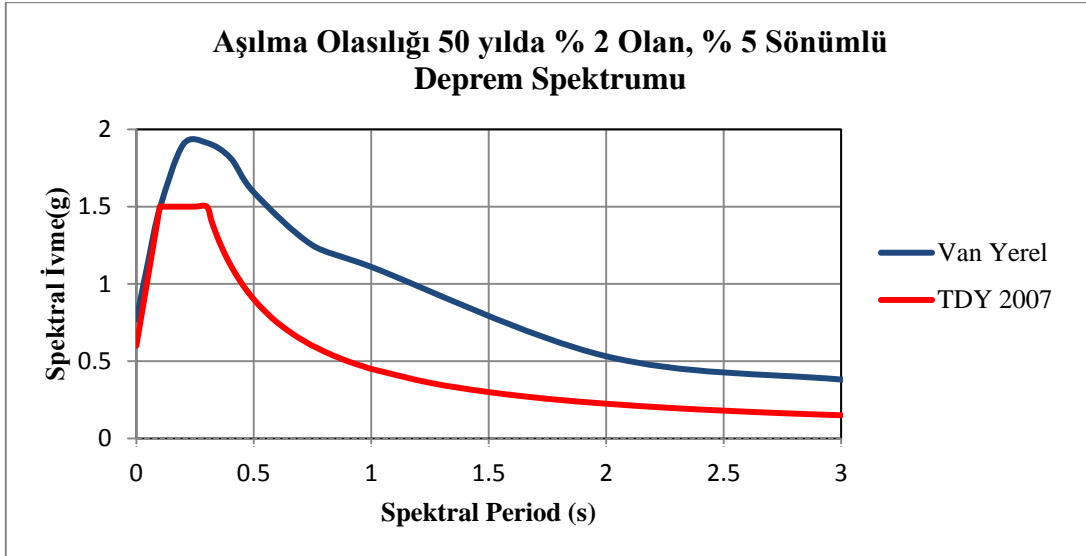


Şekil 3.6. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynaklarının kullanılması ile elde edilen ve geri dönüş periyotları 2475, 475, ve 72 yıl olan depremler için hesaplanan spektral ivmelerin periyotla değişimleri

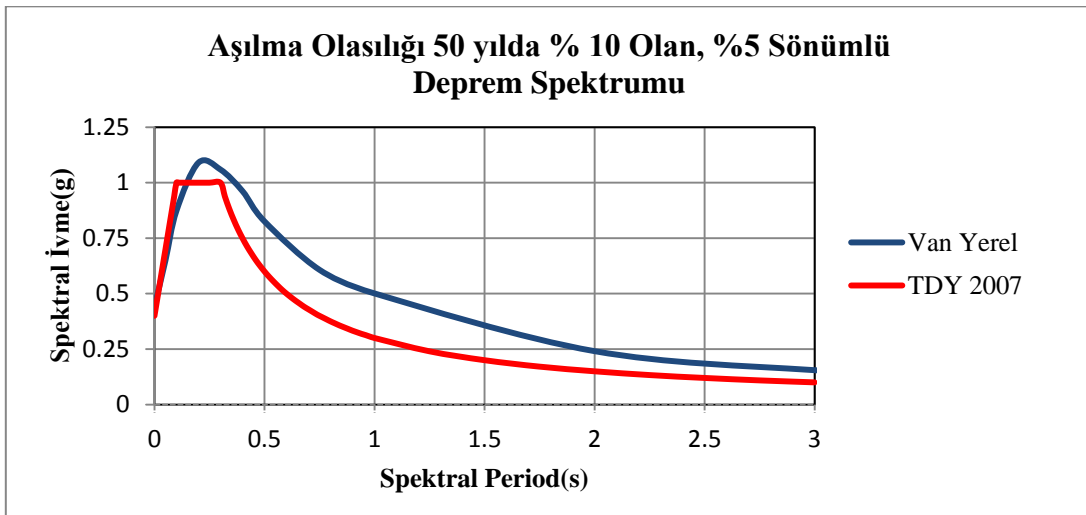
Probabilistik sismik tehlike analizi sonucu tipik kaya zeminler için maksimum ivme değerleri, %50 aşılma olasılığı(dönüş periyodu 72 yıl) ile 50 yıl için 0,47g, %10 aşılma olasılığı(dönüş periyodu 475 yıl) ile 50 yıl için 1,09g, %2 aşılma olasılığı(dönüş periyodu 2475 yıl) ile 50 yıl için 1,91g olarak bulunmuştur. Bulunan

bu sonuçlar Van için mevcut yapıların deprem performanslarını belirlemede tasarım spektrumu olarak kullanılabilir.

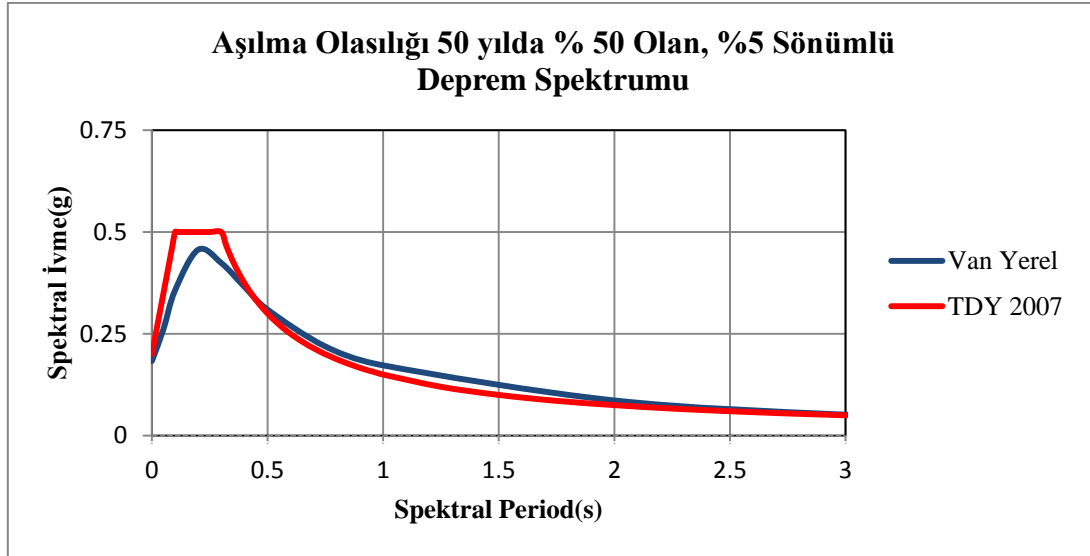
Elde edilen sonuçlar DBYBHY-2007 Bölüm 7'de verilmiş olan değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.7, 3.8, 3.9)



Şekil 3.7. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynaklarının kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 2 olan depremler için karşılaştırılması



Şekil 3.8. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynaklarının kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 10 olan depremler için karşılaştırılması



Şekil 3.9. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen %5 sönümlü ivme spektrumu ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönümlü ivme spektrumunun, aşılma olasılıkları 50 yılda % 50 olan depremler için karşılaştırılması

Tablo 2.3 de yapılan olasılıksal sismik tehlike analizinden elde edilen maksimum ivme değerleri ile 2007 TDY Bölüm 7'de verilen değerler görülmektedir. Yapılan olasılıksal sismik tehlike analizinden elde edilen maksimum ivme değerleri ile 2007 TDY Bölüm 7'de verilen değerler birbirine uyum sağlamaktadır. Bu değerlerin yakın olması Türkiye Deprem Yönetmeliğinin tavsiye ettiği ivme spektrumlarının doğruluğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışmanın çıktıları Van ili için yapılan özel bir çalışmanın ürünü olduğu için yapıların sismik performans analizlerinde kullanılması daha gerçekçidir.

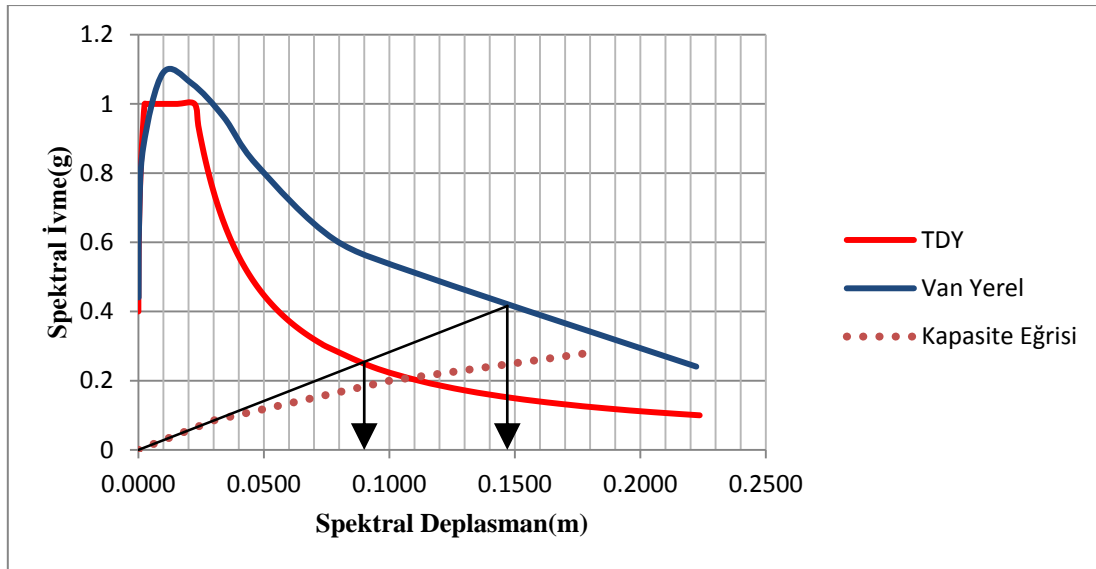
Tablo 3.3. Aşılma olasılıkları 50 yılda % 2, 10, 50 olan depremler için EZ FRİSK ve TDY 2007 maksimum ivme değerleri

Aşılma Olasılığı (50 yıl için)	EZ-FRİSK	TDY 2007
%2	1,91g	1,5g
%10	1,09g	1,0g
%50	0,47g	0,5g

2007 de kabul edilen Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre mevcut bir yapının deprem performansının belirlenmesinde kullanılacak talep spektrumu, Yönetmeliğin 7. Bölüm'ünde verilen tasarım (50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan depremler) spektrumudur. Spektrumların genlik ve frekans aralıklarında farklılık olması yapının yer değiştirme istemini de değiştirecektir.



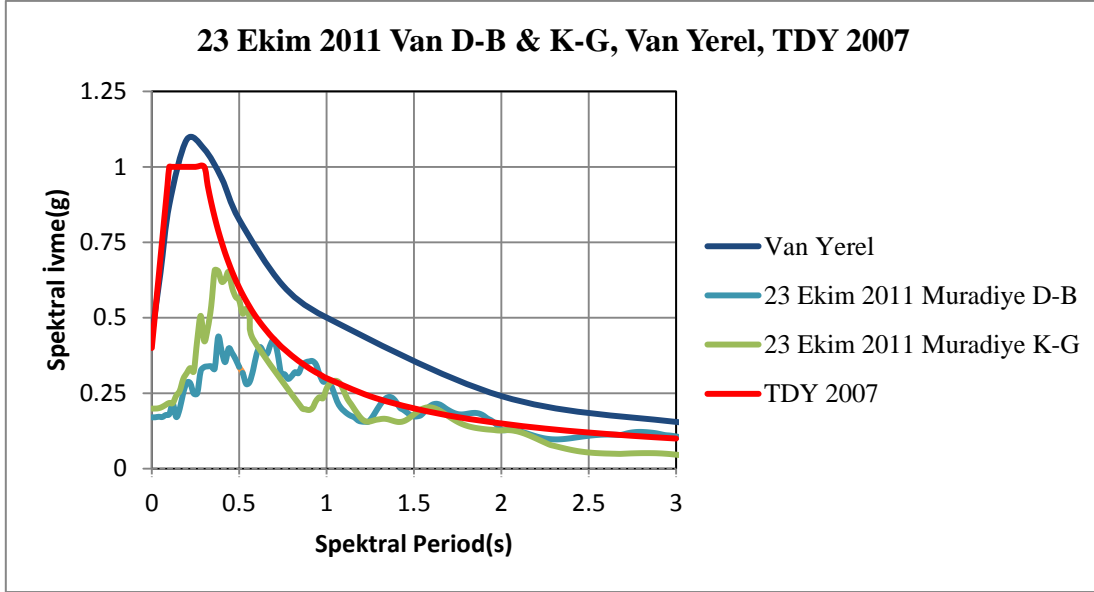
Van için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizlerinden elde edilen ivme–deplasman spektrumu ile TDY 2007 Bölüm 7’de tavsiye edilen ivme –deplasman spektrumu karşılaştırılmıştır (Şekil 3.10). Yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi ile TDY 2007’nin tavsiye ettiği spektrum, herhangi bir kapasite eğrisine göre kıyaslandığı zaman yer değiştirme istemlerinin arasındaki fark açıkça gözlenebilmektedir.



Şekil 3.10. Yerdeğiştirme istemlerinin karşılaştırılması

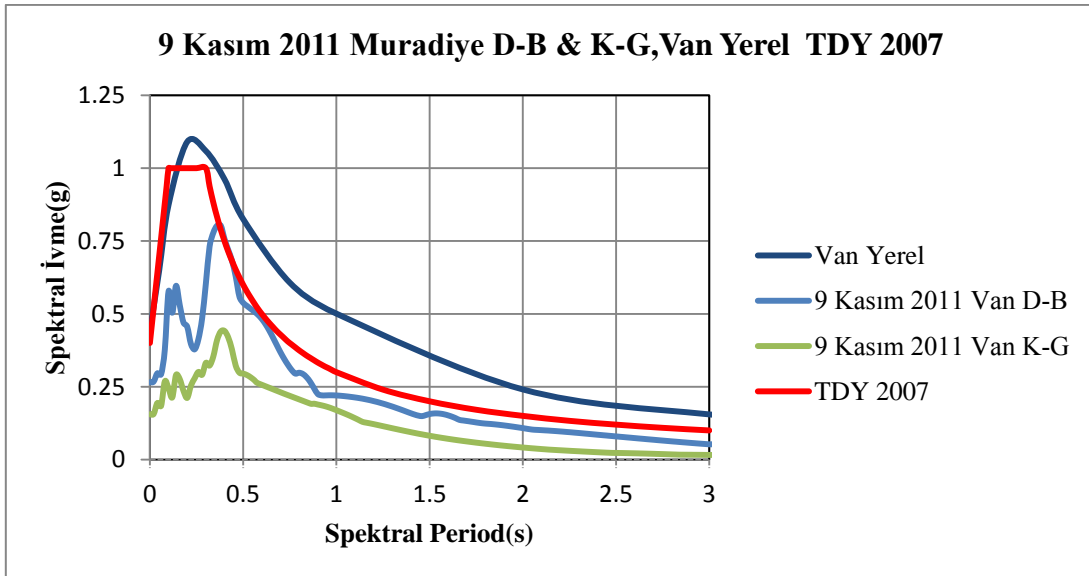
TDY 2007 Bölüm 7’de tavsiye edilen ivme –deplasman spektrumunun yer değiştirme isteminin yapılan olasılıksal sismik tehlike analizine göre daha az olduğu görülmektedir. Deprem yönetmeliğinin tavsiye ettiği spektrumlar ile yapılacak performans analizlerinde yapının yer değiştirme isteminin olasılıksal sismik tehlike analizine göre daha az olacaktır. Bu da yapılacak performans analizlerinin olasılıksal sismik tehlike sonucu elde edilen spektrumara göre yapılmasının ekonomi bakımından daha maliyetli sonuçlar getireceğini göstermektedir.

Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumu, 23 Ekim 2011 Van depreminin Muradiye istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliği’nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen tepki spektrumunun, 23 Ekim 2011 Van depreminin Muradiye istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Z1 zemin tipi(kaya) için önerdiği tepki spektrumu ile karşılaştırılması

Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumu, 9 Kasım 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Van ve civarında tanımlanan alansal deprem kaynakların kullanılması ile elde edilen tepki spektrumunun, 9 Kasım 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D-B ve K-G bileşenleri ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Z1 zemin tipi(kaya) için önerdiği tepki spektrumu ile karşılaştırılması

Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumunun, 9 Kasım 2011 ve 23 Ekim 2011 Van depremlerinin D-B ve K-G bileşenlerinin ve Türkiye Deprem Yönetmeliği'nin Z1 tipi zeminler(kaya) için önerdiği %5 sönüm oranlı dönüş periyodu 475 yıl olan tepki spektrumunun maksimum ivme değerleri Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Maksimum ivme değerleri

	<b>maksimum ivme değerleri</b>
EZ-FRİSK	1,09g
TDY 2007	1,00g
9 Kasım 2011 D-B	0,78g
9 Kasım 2011 K-G	0.41g
23 Ekim 2011 D-B	0.54g
23 Ekim 2011 K-B	0.66g

23 Ekim 2011 Van depremi Muradiye istasyonu kaydı, depremin merkez üssünden yaklaşık 80km mesafede kaydedildiğinden ve 9 Kasım 2011 Edremit depreminin ise büyüklüğünün az olması nedeniyle dolaylı spektrum değerlerinin düşük olması; beklenen bir sonuçtur.

### 3.3. Yer Hareket Kayıtları

Deprem tehlikesinin belirlenmesinde en önemli dinamik parametreyi depremin ivmesi oluşturur. Bir gözlem istasyonunda alınan deprem kaydı, kaynaktan istasyona gelinceye kadar birçok faktörden etkilenir. Genel olarak bu faktörler, deprem kaynağının özellikleri, deprem dalgalarının gözlem istasyonuna gelinceye kadar geçtiği ortamın fiziksel parametreleri ve dalgaların soğuması, gözlem noktasındaki sığ yer yapısının fiziksel ve jeolojik özellikleri olarak sayılabilir. Yakın alanda sismik deprem dalgalarının sönümlenmesi gibi sismolojik ve mühendislik bilgilerinin yanı sıra, risk analizleri ve deprem mühendisliği hesaplamalarında kullanılan ivme-hız ve yer değiştirme gibi zemin hareketi ile ilgili parametreler, depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan temel veriler, kuvvetli yer hareketi gözlem istasyonlarından elde edilen ivme kayıtlarından sağlanır. Depremin, yapılara olan etkilerini değerlendirmek üzere bir çok ülkede çok sayıda ivme-ölçer ağları

kurularak ivme ölçümleri yapılmaktadır. Türkiye'nin ivme-ölçer ağı, sismik olarak aktif bölgeler öncelikli olmak üzere uygun yerlere konumlandırılmıştır [111].

Belli bir bölgede depreme dayanıklı yapı tasarlayan mühendisler, o yapının ekonomik ömrü boyunca karşılaşılabileceği en kuvvetli yer hareketinin ne olacağını önceden bilmek isterler. Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden biri zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesidir. Bu parametrenin sağlıklı olarak belirlenmesi, inşaat yerinde temel kayada beklenen maksimum yatay yer ivmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır[191]. Deprem dalgaları, odak bölgesinde dışarıya doğru yayılırken, içinden geçtiği jeolojik birimlerin özelliklerinden oldukça etkilenir ve uzaklığa bağlı olarak dalga sönümlenir. Yüzey jeolojisine, fay sistemlerine, topoğrafya etkisine göre sert ve yumuşak zeminlerde farklı pik ivme genlikleri oluşur. Bu farklılıklar, deprem bölgesinde ivme-ölçer dizileri varsa belirgin olarak gözlenebilir [111].

Bir deprem anında zemin hangi miktarda, ne hızla sarsılmıştır, yapılar ne kadar yüke maruz kalmıştır gibi bilgileri depremin ivme kaydı üzerinde görmek mümkündür. Deprem dalgalarının her bir kısmı belirli bir ivme değerine sahiptirler. Depremlerde kaydedilen yer ivmesinin zaman içindeki değişimleri bir anlamda, yapının etkisi altında kaldığı deprem yükünün zaman içindeki değişimine karşılık gelecektir. Çünkü yapının kütlesi ile bu ivmenin çarpımı bu yükü verecektir. Deprem sonucu oluşan ivme (a), yerçekimi ivmesi (g) nin bir oranı olarak ( $a=C_0.g$ ) ifade edilir. Bu durumda yapıya etki eden deprem yükü;

$$F = m \cdot a = m \cdot C_0 \cdot g \quad (3.6)$$

olarak meydana çıkar. Diğer taraftan yapının ağırlığı,

$$W = m \cdot g \quad (3.7)$$

ye eşittir. Bu fizik kuralı dikkate alınırca binanın kütlesi,

$$m = W / g \quad (3.8)$$

olmaktadır. Bu durumda yapının maruz kaldığı deprem kuvveti,

$$F = ( W / g ) . C_0 . g = C_0 . W \quad (3.9)$$

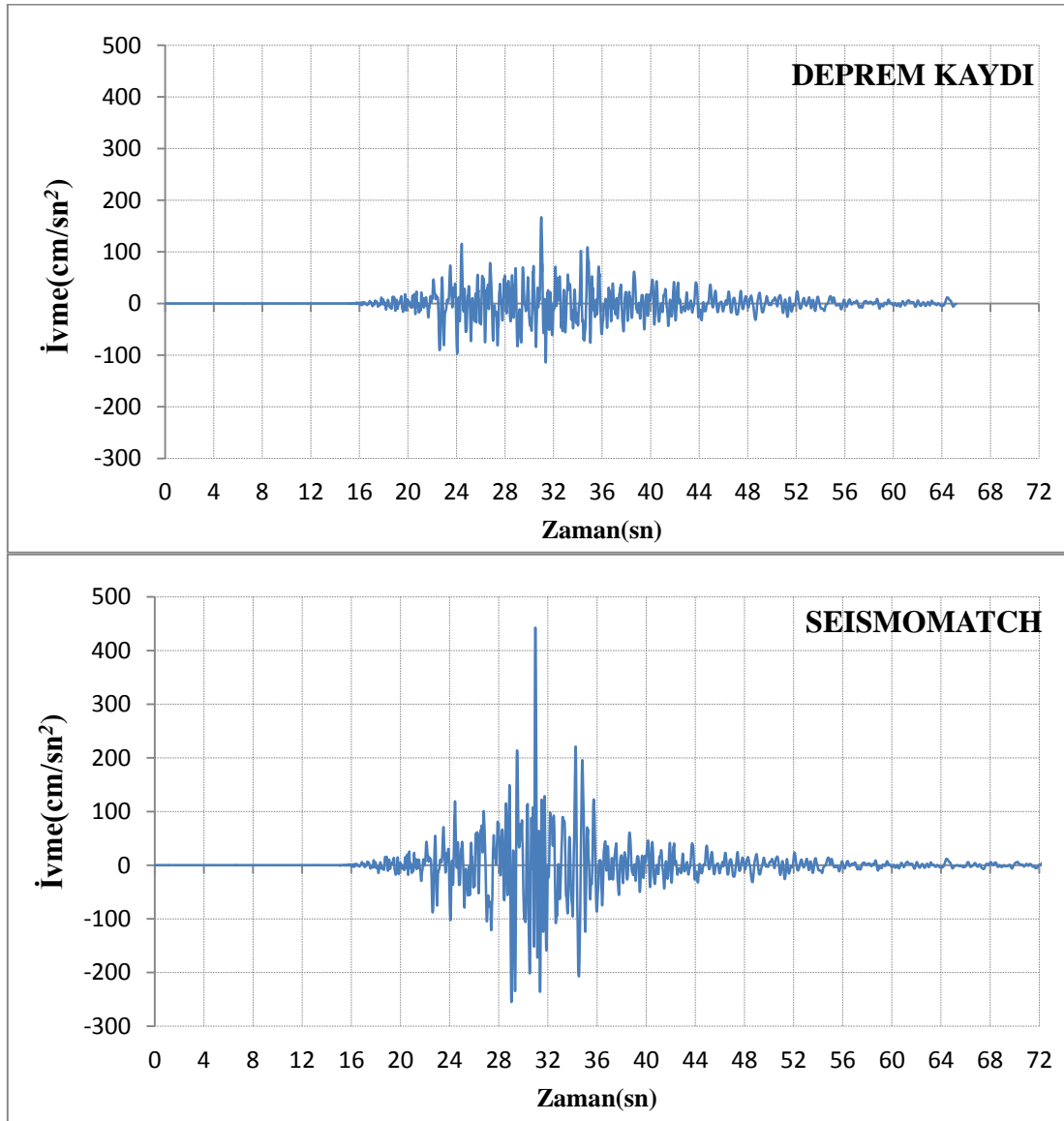
olarak karşımıza çıkar. Yani deprem sonucu kaydedilen ivme değerleri, yerçekimi ivmesi  $g$ 'ye bölünerek inşaat mühendisliğinde kullanılan  $C_0$  katsayısının zaman ve mekan içindeki değişimi bulunabilir [112].

### 3.4. Van İli İçin Yer Hareket Kayıtlarının Belirlenmesi

Van ilinin yer hareket kayıtları, Abrahamson (1992) ve Hancock et al.(2006) tarafından dalgacıklar algoritması kullanılarak belli bir tepki spektrumunu bir deprem ivme kaydı ile benzeştirme(matching) imkanı sağlayan SeismoMatch yazılım programı ile yapıldı. SeismoMatch yazılım programı kullanıcılara bir dizi ivmeyi aynı anda hedef tepki spektrumu ile benzeştirme(matching) imkanı sunar. Böylece bir bölgenin jeolojik veri ve aletsel dönem kayıtlarının derlenmesi ile oluşturulmuş olan tepki spektrumu ile bölge tarihinde gerçekleşmiş depremlerinin yer hareket kayıtlar benzeştirilerek, yapıların performans analizlerinde kullanılacak yer hareket kayıtlarını bölge için daha genelleştirme imkanı sağlar.

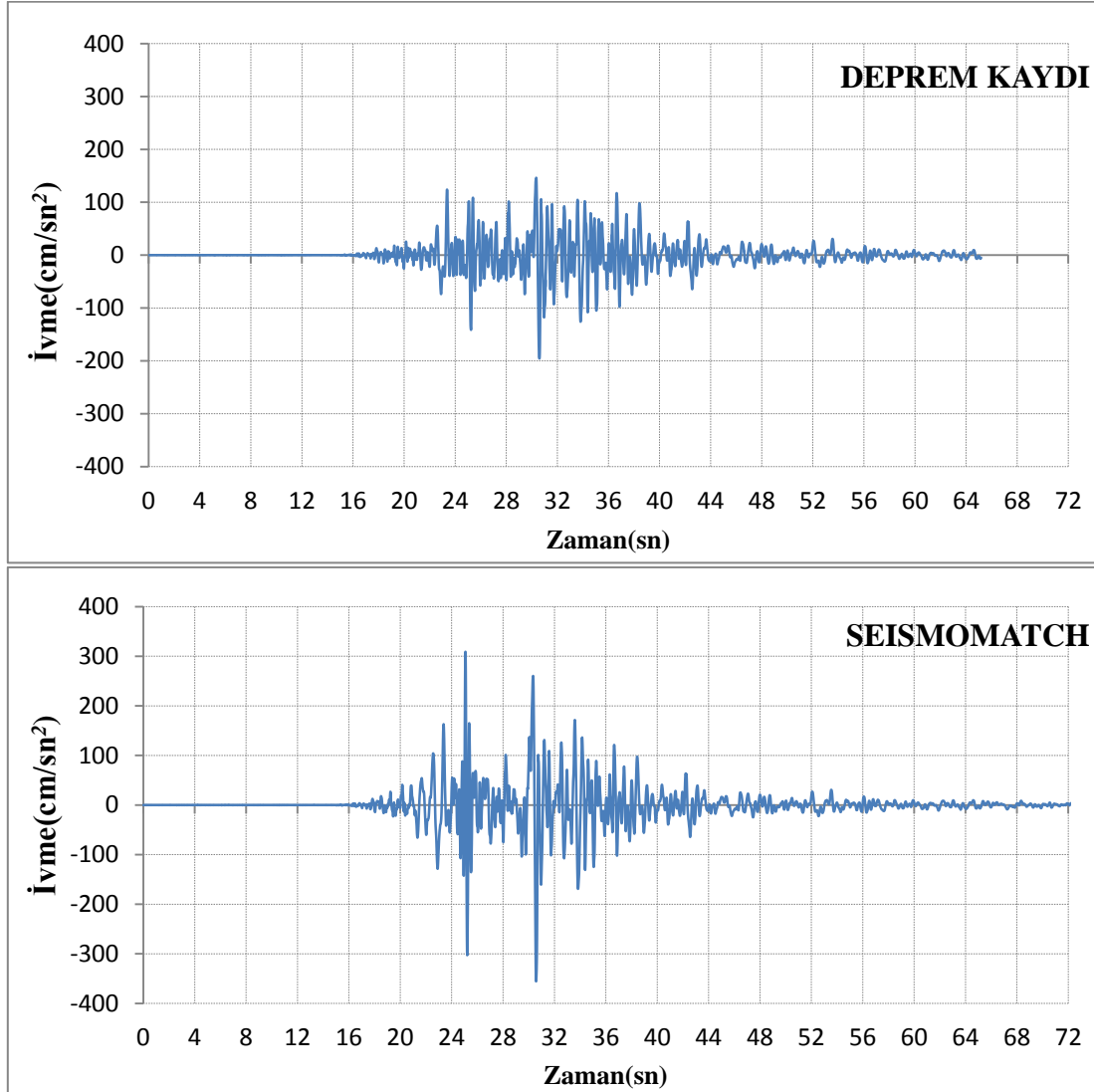
SeismoMatch v1.3.0 bilgisayar yazılımı vasıtasıyla 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleri, Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu ile benzeştirilerek Van ilindeki mevcut yapılarının performans analizinde kullanılacak yer hareket kayıtları oluşturuldu (Şekil 3.13.a, 3.13.b, 3.14.a, 3.14.b).

SeismoMatch yazılım programı yardımı ile Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, 23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D&B bileşeni ile benzeştirilerek oluşturulan genelleştirilmiş yer ivme kaydı.



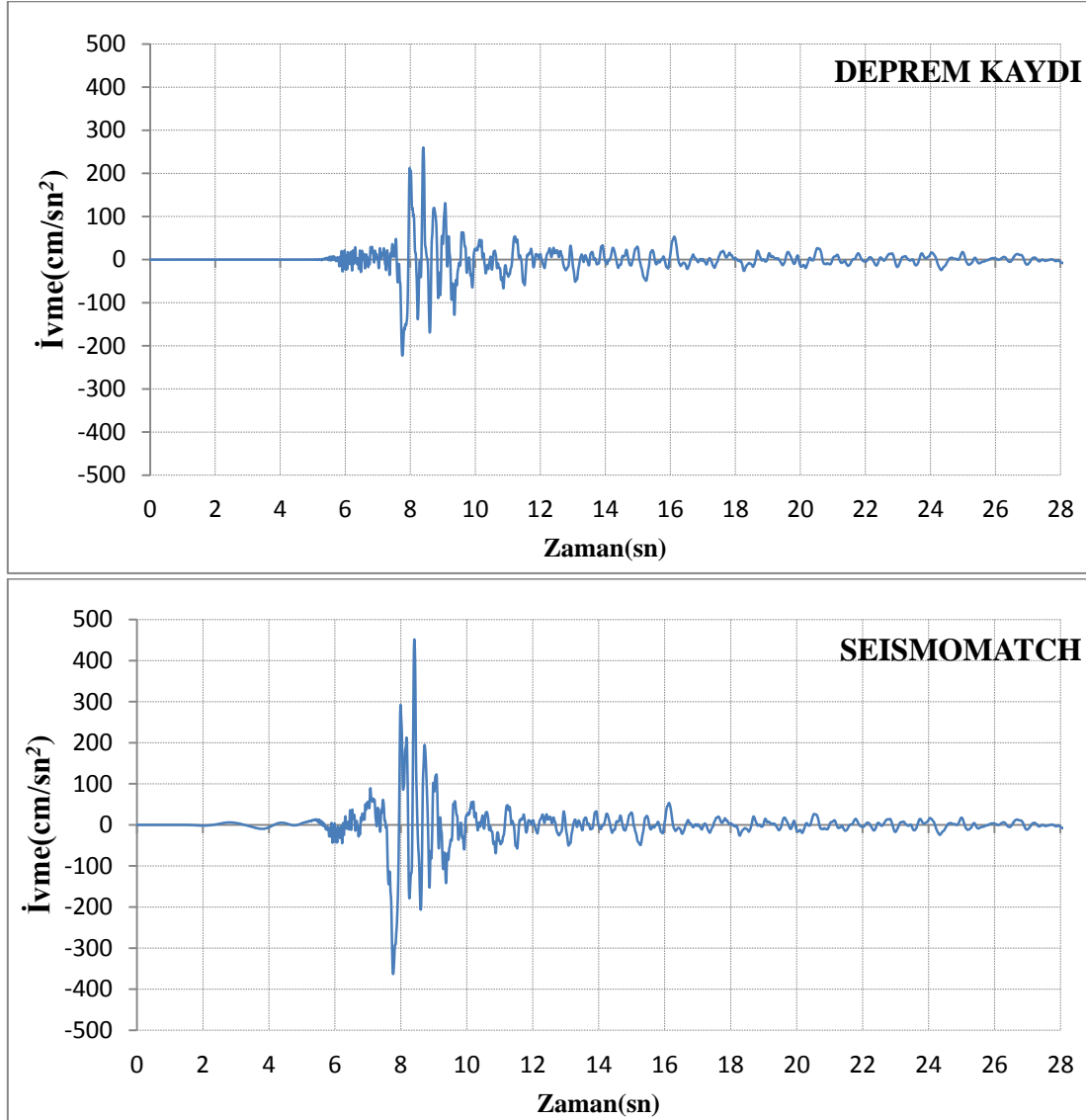
Şekil 3.13.a. 23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan D&B bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması

SeismoMatch yazılım programı yardımı ile Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, 23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan K&G bileşeni ile benzeştirilerek oluşturulan genelleştirilmiş yer ivme kaydı.



Şekil 3.13.b. 23 Ekim 2011 Van depreminin Merkez istasyonundan alınan K&G bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması

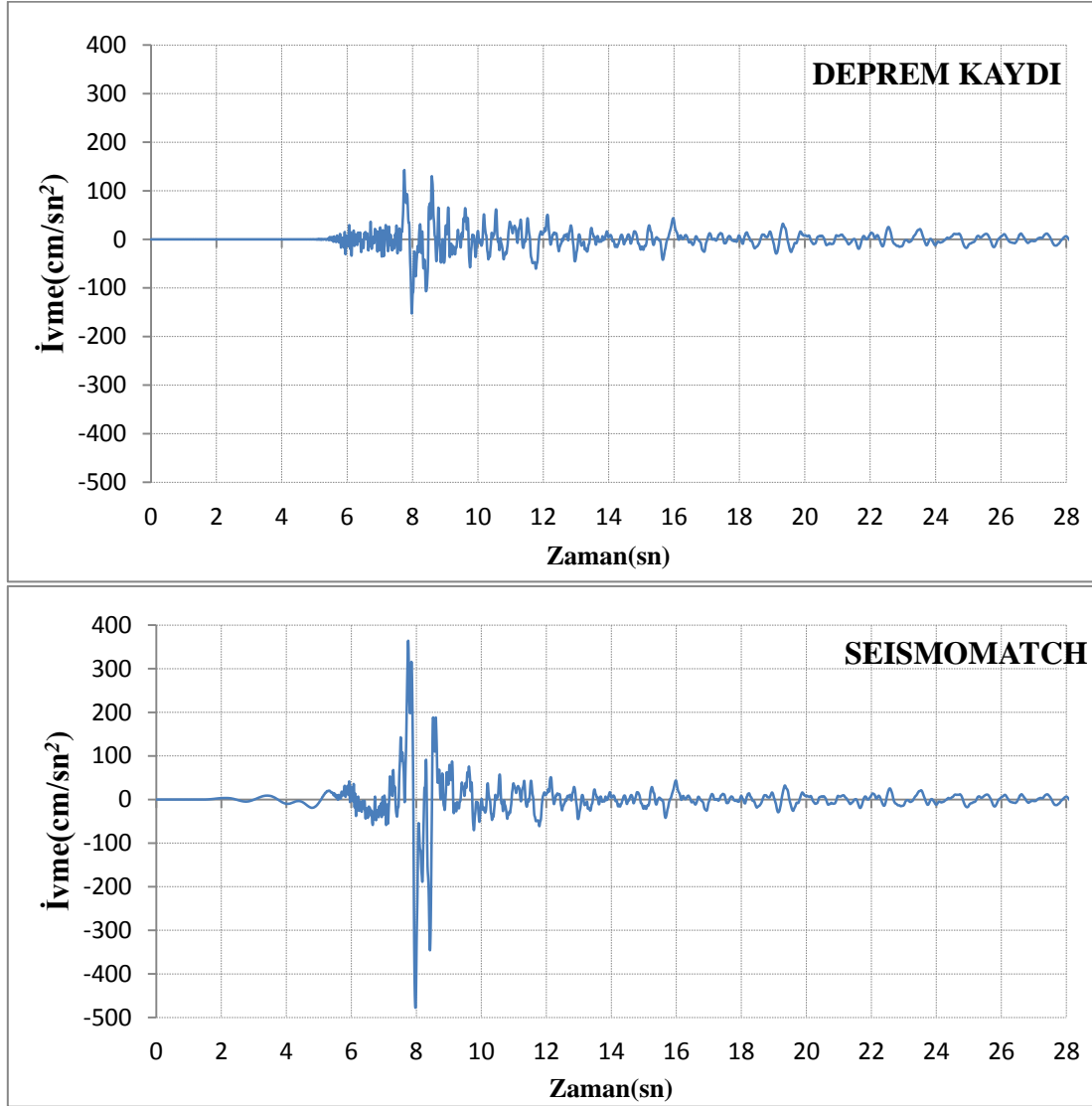
SeismoMatch yazılım programı yardımı ile Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, 9 Kasım 2011 Van depremlerinin Muradiye istasyonundan alınan D&B bileşeni ile benzeştirilerek oluşturulan genelleştirilmiş yer ivme kaydı.



Şekil 3.14.a. 9 Kasım 2011 Van depremlerinin Muradiye İstasyonundan alınan D&B bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması



SeismoMatch yazılım programı yardımı ile Van ili için yapılan probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, 9 Kasım 2011 Van depremlerinin Muradiye istasyonundan alınan K&G bileşeni ile benzeştirilerek oluşturulan genelleştirilmiş yer ivme kaydı.



Şekil 3.14.b. 9 Kasım 2011 Van depreminin Muradiye İstasyonundan alınan K&G bileşeni ile SeismoMatch yazılım programı ile elde edilen yer hareket kayıtlarının karşılaştırılması

## **BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Van ve çevresindeki bölgelerde bulunan fayların yerleri ve özellikleri ile bu faylarda meydana gelen aktivitelerin tarihsel gelişimi belirlenmiştir. Daha sonra EZ-FRISK yazılımı kullanılarak sismik tehlike modeli oluşturulmuştur. Kaya zeminler için uygun azalım ilişkilerine bağlı olarak 50 yıl için %2, %10 ve %50 aşılma olasılıkları için olasılıksal sismik tehlike eğrileri elde edilmiştir. Probabilistik sismik tehlike analizi sonucu tipik kaya zeminler için maksimum ivme değerleri, %50 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 0.47g, %10 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1,09g, %2 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1,91g olarak bulunmuştur.

Probabilistik sismik tehlike analizi sonucu elde edilen spektrum eğrileri, 23 Ekim 2011, 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleriyle ve Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 7. Bölümünde yer alan mevcut yapıların güçlendirilmesi ve sismik değerlendirmesi için önerdiği spektrum eğrileriyle karşılaştırılmıştır.

Ayrıca sismik tehlike analizi sonucu elde edilen ivme tepki spektrumu, 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin (D-B ve K-G) bileşenleri ile benzeştirilerek(matching), Van ilindeki mevcut yapılarının performans analizinde kullanılacak yer hareket kayıtları elde edilmiştir.

Bu çalışma sonucu elde edilen ivme tepki spektrumları ile TDY 2007 Bölüm 7'de verilen mevcut yapıların güçlendirilmesi ve sismik değerlendirmesi için tavsiye ettiği ivme tepki spektrumları birbiri ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak her ilin sismisitesi farklılık gösterebildiğinden yapıların güçlendirilmesi ve sismik değerlendirmesi için kullanılacak spektrum eğrilerinin bu çalışmada olduğu gibi il bazına indirgenerek elde edilmesi ile yapılacak değerlendirmelerin gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Van ili ve civarında çok sayıda fay ve fay grupları yer aldığından ve fay parametreleri tanımlanamadığından deprem kaynakları zorunlu olarak alansal kaynaklar olarak tanımlandı. İlerleyen zamanlarda aktif fayların açık bir şekilde belirlenebilmesi ve teknolojik olanakların artması il bazında yapılacak olan sismik tehlike analizlerini gerçeğe daha yakınsatacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] ÖZMEN, B., Ankara İçin Deprem Senaryosu, Ankara'nın Deprem Tehlikesi ve Riski Çalıştayı s.17.
- [2] EYİDOĞAN, H., Tektonik ve Deprem Tehlikesi, 5.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Davetli Konuşma, 26-30 Mayıs 2003.
- [3] TÜRKELLİ, N., Sismik Ağların Deprem Tehlike Analizlerine Katkısı, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2008.
- [4] KIRAY, B., Sismik Risk Analizi Yöntemlerinin Bilgisayar Tabanlı çözümü ve uygulanması, Orhangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2005.
- [5] GÜLKAN, P., KOÇYİĞİT, A., YÜCEMEN, M.S., DOYURAN, V., BAŞÖZ, N., En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğüne 92-03-03-18 No.lu Proje Sonuç Raporu, Rapor No. 93-01 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ocak 1993.
- [6] YUNATÇI, A., ÇETİN, Ö.K., Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleriyle Tümlleştirilmiş Sahaya Özel Sismik Tepki ve Zemin Sıvılaşması Değerlendirilmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, s.17-28., 16-20 Ekim 2007.
- [7] CORNELL, C.A., Engineering Seismic Risk Analysis, Bull. Seism. Soc. Am., v.58, p. 1583-1606.
- [8] KING, S.A, KIREMIDJIAN, A., Regional Seismic Hazard and Risk Analysis Through Geographic Information Systems, Report no :11.
- [10] MC GUIRE, R., Seismic Hazard and Risk Analysis, EERI, Oakland, CA, 2004.
- [11] MARFAI, M.A., NJAGIH, J.K., Vulnerability Analysis and Risk Assesment For Seismic and Flood Hazard in Turialba City, Costa Rica, International Institute for Geo information Sciences and Earth Observation (ITC) Enschede Netherlands 24p.

- [12] ÇETİN, K.Ö., YUNATÇI, A.A., ÇAĞLI, S., AKTAŞ, R., Bursa Şehri için CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Risk Haritası Oluşturulması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul, 16-17 Eylül 2004.
- [13] YÜCEMEN, M.S., Deprem Tehlikesinin Tahmininde Olasılıksal Yöntemler, 14. Bölüm, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri, Editorler, E. Canbay v.d., Bizim Büro Basımevi, Ankara, 28s., Mayıs 2008.
- [14] IŞIK, E., Bitlis Şehri Deprem Performans Analizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eylül 2010.
- [15] Van Valiliği, <http://www.van.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 13.01.2012).
- [16] Orta Doğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, 23 Ekim 2011 Van -Tabanlı ve 9 kasım Van-Edremit depremler inceleme raporu, Ankara, Aralık 2011.
- [17] Van İli Valiliği il Çevre ve Orman Müdürlüğü, Van ili çevre rapor durumu, Van, 2006.
- [18] <http://www.tuik.gov.tr>, (Erişim Tarihi: 15/01/2012).
- [19] BORCHERD, R.D., Influence Of Local Geology In the San Fransisco Bay region California on Ground Motions Generated 1990, Proceedings of International Symposium on Safety of Urban Life and Facilities., Tokyo, Japan, pp 1-35, November 1-2.
- [20] ÖKSÜM, E., Van Gölü Civarı Havadan Magnetik Verilerin Kantitatif yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta 2006.
- [21] ÖZVAN, A., Van İli Yerleşim Alanının Mühendislik Jeolojisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi(basılmamış), Van 2004.
- [22] ÖZVAN, A., AKKAYA, İ., TAPAN, M., ŞENGÜL, M.A., Van Yerleşkesinin Deprem Tehlikesi ve Olası Bir Depremin Sonuçları, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [23] ABYYHY(1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, İlk Yayın Tarihi: 02.09.1997-23098 Mükerrer Sayılı Resmi Gazete, Değişiklik Tarihi: 02.07.1998-23390 Sayılı Resmi Gazete., 1998.
- [24] TAPAN, M., ÖZVAN, A., ŞENGÜL, M.A., 2 Temmuz 2004 Doğubeyazıt Depremi Yer-Yapı İlişkisi ve Yaşanan Kayıplar, 5. Ulusal Deprem Sempozyumu, s.1074-1080, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.

- [25] YILMAZ, M., KALKAN E., YARBAŞI N., AKSOY G., Doğu Anadolu Bölgesi'nde 2002-2004 Yıllarında Meydana Gelen Depremlere Ait Artçı Depremlerin İstatistiksel Çözümlemesi 5. Ulusal Deprem Sempozyumu, s.1447-1449, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [26] KARAMAN E. M., 17 Ağustos 1909 Gölotik-Arifiye Depremi ve Yer Bilimleri, Yer Bilimleri Haber Bülteni, s.14-26, Ekim 1999.
- [27] Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Sismoloji Servisi, 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Ön Raporu, Mayıs 2003.
- [28] [http://www.mta.gov.tr/deprem/26\\_Agustos\\_Karlioiva\\_Depremi.pdf](http://www.mta.gov.tr/deprem/26_Agustos_Karlioiva_Depremi.pdf), (Erişim Tarihi: 13.01.2012).
- [29] LEI, J., ZHAO, D., Teleseismic Evidence For A Break-Off Subducting Slab Under Eastern Turkey, Earth and Planetary Science Letters, Vol.257, pp.14-28, doi: 10.106/j.epsl.2007.02.011, 2007.
- [30] ÖZMEN, B., NURLU, M., GÜLER, H., Coğrafi Bilgi Sistemi İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 65s., Ağustos 1997.
- [32] UTKUCU, M., PINAR, A., ALPTEKİN, Ö., Uzak Alan P dalga Şekillerinin Sonlu-Fay Çözümünden 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi Kırılma Sürecinin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yer Bilimleri, s.65-79, 2003.
- [33] NALBANT, S.S., McCLOSKEY, J., STEACY,S., BARKA, A.A., Stress Accumulation and Increased Seismic Risk in Eastern Turkey, Earth and Planetary Science Letters 195, p.291-298, 2002.
- [34] KALAFAT, D., KEKOVALI, K., GÜNEŞ, Y., KÜSMEZER, A., GARİP, P., BERBEROĞLU, P., BEKLER, F., 25 January 2005 Hakkari Earthquake Report.
- [35] PAMPAL, S., ÖZMEN, B., Türkiye Deprem Bölgelerinin Gelişimi, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, s.1-8, 16-27 Ekim 2007.
- [36] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 1996 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.
- [37] [http://neic.usgs.gov/neis/eq\\_depot/2004/eq\\_040701/neic\\_kjddq\\_w.html](http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2004/eq_040701/neic_kjddq_w.html). (Erişim Tarihi: 13.01.2012).
- [38] HORASAN, G., BOZTEPE-GÜNEY, A., Observation and Analysis of Low-Frequency Crustal Earthquakes In Lake Van and Its Vicinity, Eastern Turkey Journal of Seismology Vol.11, pp.1-13, 2007.

- [39] TOKER, M., KRASTEL, S., DEMİREL-SCHLUETER, F., DEMİRBAĞ, E., İMREN, C., Volcano-Seismicity of Lake Van (Eastern Turkey), A Comparative Analysis of Seismic Reflection and Three Component Velocity Seismogram Data and New Insights Into Volcanic Lake Seismicity International Earthquake Symposium p.103- 109, Kocaeli, 22-26 October 2007.
- [40] MCKENZIE, D.P., Active Tectonics of the Mediterranean, Geophysical Journal of Structural, 30(2) p.109-185, 1972.
- [41] MALEKZADEH, T. İran'ın Kuzeybatısı (Azerbaycan) ve Doğu Anadolu Depremselliğinin İncelenmesi ve Karşılaştırılması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara 2007.
- [45] AKDENİZ, A., Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği, Kabuk ve Üst Manto Yapısı ve Deprem Riskinin Belirlenmesi, Ankara üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi, Ankara, 2003.
- [46] KAHRAMAN, S., BARAN, T., SAATÇI, İ.A., Batı Anadolu Örneğinde Bölge Sınırları Seçiminin Deprem Tehlikesinin Belirlenmesine Etkileri, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s. 335-347, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.
- [47] GÜLKAN, P., GÜRPINAR, A., ÇELEBİ, M., ARPAT, E., GENÇOĞLU, S., Engineering Report on the Muradiye-Çaldıran, Turkey, Earthquake of 24 November 1976, Prepared for National Research Council, National Academy of Sciences, 59 pages, Washington, 1978.
- [48] ÇIPLAK, R., AKYÜZ, S., Erkenek-Gölbaşı (Adıyaman) Arasında Doğu Anadolu Fayının Özellikler, Türkiye Kuvarterner Sempozyumu V, İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, s.41-47, 02-05 Haziran 2005.
- [50] GÖNCÜOĞLU, M.C., TURHAN, N., Bitlis Metamorfik kuşağı Orta Bölümünün Temel Jeolojisi, M.T.A. Raporu, Rapor No: 7707, Ankara. 225, 1985.
- [53] DOĞAN, A., EMRE, Ö., YILDIRIM, C., ÖZALP, S., 21 Ocak 2007 Tutak (Ağrı) Depremi Hakkında Değerlendirme MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Aktif Tektonik Araştırmalar Birliği, 22 Ocak 2007.
- [54] KOÇYİĞİT, A., 2005.01.25, Mw 5.9 Sötlüce (Hakkari) Depreminin Kaynağı: Başkale Fay Kuşağı, GD Türkiye, Beşinci Ulusal Deprem Sempozyumu, Sözlü Sunum, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [55] GÜNDOĞDU, O., Van ve Çevresinin Deprem Tehlikesi, Van Kent Sempozyumu, TMMOB Van İl Koordinasyon Kurulu, s.97-116, Van, 1-3 Ekim 2009

- [56] HOMKE, S., Timing of Shortening and Uplift of the Pusht-E Kuh Arc In the Zagros Fold-and Thrust Belt (Iran); A Combined Magnetostratigraphy and Apatite Thermochronolgy Analysis, Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia,Departamento de Geodinámica y Geofísica, 213p., 2007.
- [57] BONNIN, J., CARA, M., CISTERNAS, A., Seismic Hazard in Mediterranean Regions, Proceedings of the Summer School Organized in Strasbourg, ISBN:9027727791-9789027727794, 399p., France, July15-August 1 1996.
- [58] PIPER, J., TATAR, O., GÜRISOY, H., MESCİ, L., KOÇBULUT, F.,HUANG B. Post-Collisional Deformation of the Anatolides and Motion of the Arabian indenter : A Paleomagnetic Analysis, IOP Publishing, Donald D Harrington Symposium on the Geology of the Aegean, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2 012011 doi:10.1088/1755-1307/2/1/012011, 2008.
- [59] STERN, R.J., JOHNSON P.R., Do variations in Arabian Plate Lithospheric Structure Control Deformation in the Arabian-Eurasian Convergence Zone, Donald D Harrington Symposium on the Geology of the Aegean IOP Publishing.
- [60] MCCLUSKY, S., REILINGER, R., MAHMOUD, S., SARI, D.B., TEALEB, A., GPS Constraints on Africa (Nubia). and Arabia Plate Motions, Geophys.J.Int., v.155, p.126-138., 2003.
- [62] DHONT, D., CHOROWICZ, J., Review of the Neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau By Geomorphic Analysis of Digital Elevation Model İmagery, International Journal of Earth Science (Geol Rundsch) V.95: p.34–49, DOI 10.1007/s00531-005-0020-3, 2006.
- [63] ŞAROĞLU, F., GÜNER, Y.,KIDD, M.S.F., ŞENGÖR, A.M.C, Neotectonics of Eastern Turkey: New Evidence For Crustal Shortening and Thickening in a Collision Zone EOS, Vol.61, p.360, April 22 1980.
- [64] PEARCE, J.A., BENDER, J.F., DE LONG, S.E., KIDD, W.S.F., LOW, P.J., GUNER, Y., SAROGLU, F., YILMAZ, Y., MOORBATH, S., MITCHELL, J.G., Genesis of Collision Volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 44, Issues 1-2, p.189- 229, 20 December 1990.
- [67] KOÇYİĞİT, A., Doğu Anadolu Bölgesi'nin Depremselliği ve Gerekli Çalışmalar, Yeryuvarı ve İnsan, s.25-29., 1983.
- [68] ŞAROĞLU, F., GÜNER, Y., Tutak Fayı, Yeryuvarı ve İnsan, Sayı :1/3, s.11-15, 1979.
- [69] BARKA, A.A., REILINGER, R., Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region; Deduced from GPS, Neotectonic and Seismicity Data Anali Di Geofisica, vol. XL, p.587-610, June 1997.



- [70] TÜYSÜZ, O., Neotectonics and Seismicity of Turkey ITU, Eurasia Institute of Earth Sciences, 70p., 2005.
- [71] DEMİRTAŞ, R., İRAVUL, Y., ERKMEN, C., KARTAL, R.F., KARAKISA, S., 25-26 Ocak 2005 Hakkari Depremleri, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı Basın Duyurusu, 26.01.2005.
- [72] EMRE, Ö., DOĞAN, A., ÖZALP, S., YILDIRIM, C., 25 Ocak 2005 Hakkari Depremi Hakkında Ön Değerlendirme, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi, 26.01. 2005.
- [73] BOZKURT, E., Neotectonics of Turkey-a Synthesis, *Geodinamica Acta*, p.3-30., 2001.
- [74] KOÇYİĞİT, A., Karayazı Fayı, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C.28, 67-72, Şubat 1985.
- [75] ÖRGÜLÜ, G., AKTAR, M., TÜRKELLİ, N., SANDVOL, E., BARAZANGİ, M., Contribution to the Seismotectonics of the eastern Anatolian Plateau from Moderate and Small Size Events, *Geophys. Res. Lett.*, p.1-12, 2003.
- [77] KETİN, İ., Van Gölü İle İran Sınırı Arasındaki Bölgede Yapılan Jeoloji Gözlemlerinin Sonuçları Hakkında Kısa Bir Açıklama, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt: 20, s.79-85, Ankara, 1977.
- [78] TURGUT, M., Özalp (Van) Yakın Batısının Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), İstanbul, 1991.
- [79] UTKUCU, M., Implications for the Water Level Change Triggered Moderate ( $M \geq 4.0$ ) Earthquakes in Lake Van Basin, Eastern Turkey, *Journal of Seismology* 10: 105–117, DOI: 10.1007/s10950-005-9002-y, 2006.
- [80] DEGENS, E.T., KURTMAN, F., The geology of Lake Van., MTA Yayınları, Ankara, 1978.
- [81] KOÇYİĞİT, A., 23 Ekim 2011 Van Deprem Raporu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Aralık, 2011.
- [83] CELEP, Z., KUMBASAR, N., Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Sema Matbaacılık, ISBN .975-95405-1-7, İstanbul, 1996.
- [84] GÜLKAN, P. ve diğerleri, Engineering Report on the Muradiye-Çaldıran, Turkey, Earthquake of 24 November 1976, “National Research Council için hazırlanan teknik rapor, National Academy of Sciences, s.7-8, Washington, ABD, 1978.

- [85] KALYONCUOĞLU, Ü.Y., ÖZER, M.F., Türkiye'nin Sismisitesi, Yüksek Riskli Alanlar ve Tektoniğine Yeni Bir Yaklaşım, Beşinci Ulusal Deprem Sempozyumu, s.125-127, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.
- [86] <http://kyh.deprem.gov.tr/sond.htm> (Erişim Tarihi: 01/12/2011).
- [87] Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası, Van (Tabanlı-Edremit) Depremleri Raporu, 16 Kasım 2011.
- [91] KAYABALI K., Sismik Tehlike Analizi ve Uygulam, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği, 46/J8-43,1995.
- [93] KORKMAZ, A., AKTAŞ E., Betonarme Çerçevelerin Olasılıklı Sismik Tehlike Analizi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 1, 2006.
- [94] ERDİK, M., DURUKAL, E., SİYAHİ, B., FAHJAN, Y., ŞEŞETİYAN, K., DEMİRCİOĞLU, M., AKMAN, H., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin Belirlenmesi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Davetli Konuşma, 26-30 Mayıs 2003.
- [98] ÇELİK, S.B., Denizli İl Merkez Zeminlerinin Jelolojik, Jeoteknik Açısından İncelenmesi ve Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 03.07.2003.
- [99] ÇETİN, K.Ö, YUNANTCI, A.A., ÇAĞLI, S., GÜLKOKAR, T., AKTAŞ, R., ALTINIŞIK, F., ÇELİK, S., ARABACI, H.M., ÇEKMECELİ, M., Bursa Şehri İçin CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Sıvılaşma Risk Haritası Oluşturulması Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul, 16-17 Eylül 2004.
- [100] <http://www.koeri.boun.edu.tr//deprenmuh/izmir/izmirrapor2002.htm>, (Erişim Tarihi: 13.01.2012).
- [102] KUTANİS, M., Earthquake Engineering, Sakarya University, Spring 2005.
- [106] ABRAHAMSON, N.A. SİLVA, W.J. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, Seismological Research Letters, vol.68, no.1, pp.94-127.
- [107] AMBRASEYS, N. N., DOUGLAS, J., SARMA, S.K., SMIT, P.M., Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration, Bulletin of Earthquake Engineering, 3:1–53, [DOI 10.1007/s10518-005-0183-0], Springer 2005.

- [108] BOORE, D.M., JOYNER, W.B. FUMAL, T.E., 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, 1997.
- [109] IDRIS, I.M., An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquake, Earthquake Spectra, Volume 24, No.1, pp.217-242, Earthquake Engineering Research Institute, February 2008.
- [110] GUTENBERG, B., RICHTER, C.F., Frequency Of Earthquakes In California, Bulletin of Seismology Society America, v.34, p.185-188, 1944.
- [111] WELLS, D.L., COPPERSMITH, K.J., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002, 1994.
- [112] <http://kyh.deprem.gov.tr/12KasimRaporu.htm>, (Erişim Tarihi: 13.01.2012.).

## ÖZGEÇMİŞ

Hakan ULUTAŞ, 14.11.1988 tarihinde Van'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü üç yılda, derece ile tamamlama başarısı gösterdi. 2010-2011 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Mezun olduktan sonra bir süre TÜBİTAK Araştırma projesinde bursiyer olarak çalıştıktan sonra 2011 yılında Gümüşhane Üniversitesi'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı ve halen görevine devam etmektedir.