



SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN DEPREM PERFORMANSININ
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Filiz TAŞKIN

**Aralık 2005
DENİZLİ**

**SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN DEPREM PERFORMANSININ
COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Filiz TAŞKIN

Danışman: Yrd. Doç Dr. Selçuk TOPRAK

**Aralık, 2005
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Filiz TAŞKIN tarafından Yrd. Doç. Dr. Selçuk TOPRAK yönetiminde hazırlanan “Su Dağıtım Şebekelerinin Deprem Performansının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Değerlendirilmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Selçuk TOPRAK

Jüri Başkanı



Prof. Dr. Halil KUMSAR

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. A. Cem. KOÇ

Jüri Üyesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01.02./2006 tarih ve 2/11.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL

Müdür

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yol gösteren, her türlü katkı ve desteği sağlayan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk Toprak'a

Tezin çeşitli aşamalarında veri kaynakları, öneri ve görüşlerinden yararlandığım Prof. Dr. Halil Kumsar'a, Yrd. Doç. Dr. A. Cem Koç'a ve Yrd. Doç. Dr. Erdal Akyol'a,

Sağladıkları katkıdan dolayı jüri üyeleri Yrd. Doç. Dr. A. Cem Koç ve Prof. Dr. Halil Kumsar'a,

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümümüz tarafından hazırlanan ve verilerinden yararlandığım "Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik ve Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri" ve Gümüşler Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik ve Jeoteknik İncelemesi" adlı projelerde emeği geçen tüm Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üye ve elemanlarına, özellikle ilgi ve desteğini esirgemeyen Jeoloji Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Yahya Özpınar'a,

Denizli imar adalarının dijital haritasını veren, ayrıca haritacılık görüşlerinden yararlandığım Bayındırlık ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarından Mehmet Genç'e,

Denizli şehri su şebekesi paftalarını sağlayıp, Denizli su şebekesi hakkındaki görüşlerinden yararlandığım Denizli Su İşleri Müdürü Şule Vardar, eski Su İşleri Müdürü Orhan Kaygın ve Denizli Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü çalışanlarına, özellikle de özverili yardımlarından dolayı Sibel Çukurluoğlu'na,

Tezin çeşitli aşamalarında belediyelere ait su şebekesi paftalarını sağlayıp, öneri ve görüşlerinden yararlandığım Gümüşler ve Kınıklı Belediyeleri çalışanlarına,

Her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme, değerli arkadaşlarım İnşaat

Mühendisleri Behiye Akbay, Fatih Soysaç ve Matematik Öğretmeni Fevzi Avlar ile ailelerine,

İçten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi No. 2003MHF006 ile desteklenmiştir. Ayrıca Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında kısmi burs vererek beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Filiz TAŞKIN

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riyaet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve metaryellerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza:



Öğrenci Adı Soyadı : Filiz TAŞKIN

ÖZET

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN DEPREM PERFORMANSININ COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Taşkın, Filiz
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği ABD
Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Selçuk TOPRAK

Aralık 2005, 185 sayfa

Son depremler, örneğin 1994 Northridge, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.), 1995 Kobe, Japonya ve 1999 Kocaeli, Türkiye depremleri gömülü boru hattı sistemlerine geniş ölçüde zarar verdiler. Depremın gömülü boru hatları üzerine olan zararı, geçici yer deformasyonlarıyla (GYD) ya da kalıcı yer deformasyonlarıyla (KYD) olmaktadır. GYD deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan, zeminin dinamik tepkisidir. KYD ise deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir. Bu tez çalışmasında, GYD ve KYD etkisiyle boru hatlarında oluşabilecek deprem zararlarının tahmini ile ilgili değişik araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar değerlendirilmiş ve Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesinin Denizli civarında olması muhtemel depremlere karşı performansı belirlenmiştir. Bu çalışmadaki analiz ve değerlendirmelerde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yoğun bir şekilde kullanılmıştır.

Denizli ili ve yakın çevresinin tektonik yapısı ve depremselliği değerlendirilerek Denizli ilini etkileyecek deprem senaryoları oluşturulmuştur. İki farklı fay kırığı (Pamukkale ve Karakova-Akhan Fayı) ve 4 farklı deprem büyüklüğü (M6, M6.3, M6.5 ve M7) kullanılarak 8 farklı deprem senaryosu oluşturulmuştur. Bu farklı senaryo depremleri kullanılarak, öncelikle GYD için geliştirilen boru hasar ilişkilerinin ve senaryo depremlerin sonuçlar üzerindeki rölatif etkileri karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Kalıcı yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasarları tahmin etmek için ise Denizli şehrinin sıvılaşma haritaları ve sıvılaşma sonucu oluşması beklenen yanal yer değiştirme (deplasman) haritaları hazırlanmıştır. Sonrasında ise GYD ve KYD etkisiyle oluşabilecek boru hasarları da birleştirilerek, senaryo depremleri sonrası Denizli su iletim ve dağıtım şebekesinin sistem performansı analizleri yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; M6 ve M6.3 büyüklüğünde depremler ciddi performans kayıplarına neden olurken, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki depremlerde su şebekesi çalışamaz duruma gelmektedir.

Denizli su şebekesi örnek alınarak yapılan bu tez çalışması göstermiştir ki, olası farklı büyüklükteki depremler su dağıtım şebekelerindeki boru hatlarına önemli ölçüde zarar vermektedir. Olası bir deprem sonrası bu zararı en aza indirmek ve su şebekesinin çalışır durumda kalmasını sağlamak için bu çalışmada anlatıldığı üzere belediyeler kendi su şebekelerinin deprem sonrası performanslarını değerlendirmeli ve gerekli önlem ve iyileştirme çalışmaları yapmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Alt yapı sistemleri, Boru hasarları, Coğrafi bilgi sistemleri, Dalga yayılması, Denizli, Deprem hasar tahminleri, Sıvılaşma, Yanal yayılma.

Yrd. Doç. Dr. Selçuk TOPRAK
Prof. Dr. Halil KUMSAR
Yrd. Doç. Dr. A. Cem KOÇ

ABSTRACT**EARTHQUAKE PERFORMANCE ASSESSMENT OF WATER SUPPLY SYSTEMS USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS)****Taşkın, Filiz****M. Sc. Thesis in Civil Engineering****Supervisor: Asst. Prof. Dr. Selçuk TOPRAK****December 2005, 185 Pages**

Recent earthquakes (e.g., 1994 Northridge, California, USA, 1995 Kobe, Japan and 1999 Kocaeli, Turkey earthquakes) caused severe damage to buried pipeline systems. Earthquake damage to buried pipelines can be attributed to transient ground deformation (TGD) or to permanent ground deformation (PGD) or both. TGD occurs as a result of seismic waves and often stated as wave propagation or ground shaking effect. PGD is the irrecoverable movement that persists after shaking stopped. In this study, the existing pipeline damage relationships for TGD and PGD were evaluated and the performance of Denizli water supply system against future earthquakes was determined. GIS was used extensively to assemble a GIS database of Denizli water supply system and to analyze the seismic performance of the system.

Considering the tectonics and earthquake occurrence and activity around Denizli city and its surroundings, eight scenario earthquakes with four different earthquake magnitudes (**M6**, **M6.3**, **M6.5** and **M7**) caused by two different fault ruptures (Pamukkale and Karakova-Akhan Faults) were used. Using this high number of different scenario earthquakes, the pipeline damage relationships and their predictions at different ground shaking levels were compared and discussed. To determine the pipeline damages caused by the PGD, liquefaction hazard maps and lateral spread displacement maps of Denizli were prepared. Finally, pipeline damages caused by TGD and PGD were combined and the system performance of Denizli water distribution system were determined. The results show that **M6** and **M6.3** earthquakes may cause significant

disruption to the water supply system whereas the water supply system may not be functional after **M6.5** and **M7** earthquakes.

This work which uses Denizli water supply system as a case study shows that earthquakes cause significant damages to the pipelines in water distribution networks. In order to minimize the damage to pipeline systems from future earthquakes and to have a functional water supply system after the earthquakes, municipalities should assess the performance of their water supply systems against future earthquakes and should take necessary steps as summarized in this study.

Keywords: Denizli, Earthquake, Liquefaction, Geographical Information Systems (GIS), Ground Shaking, Lateral Spread, Lifeline Systems, Loss Estimation, Pipeline Damage.

Asst. Prof. Dr. Selçuk TOPRAK

Prof. Dr. Halil KUMSAR

Asst. Prof. Dr. A. Cem KOÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAY SAYFASI.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xxi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.2 İnceleme Alanının Tanıtımı.....	3
2.COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ.....	5
2.1 Giriş	5
2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Çalışma Prensipleri.....	6
2.2.1 Coğrafi Referanslar.....	6
2.2.2 Temel İşlevler.....	6
2.3 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri	7
2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Konum Analizleri	8
2.5 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Teknolojik Gelişmeler ve Bölgesel Planlamalardaki Önemi.....	9
2.6 CBS' nin Kullanım Alanları ve Bu Alanlardan Çeşitli Örnekler	9
2.6.1 İstanbul Su ve Kanalizasyon Dairesi Genel Müdürlüğü (İSKİ) Altyapı Bilgi Sistemi (İSKABİS) Projesi	10
2.6.1.1 İSKABİS' in Yapılış aşamaları.....	11
2.6.2 Eskişehir Büyükşehir Kent Bilgi Sistemi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin Kullanımı.....	12
2.6.3 Bakırköy Belediyesi (İstanbul) Kent Rehberi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin Kullanımı.....	13
2.6.4 Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Kampüs Bilgi Sisteminin CBS İle Oluşturulması.....	14
2.6.5 Ankara Su ve Kanalizasyon Dairesi (ASKİ) Altyapı Bilgi Sistemleri (AYBİS) Projesi ve CBS'nin Kullanımı.....	16
2.6.6 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Su İletim ve Dağıtım Sistemlerinin Deprem Performansının Değerlendirilmesi.....	17
3.DENİZLİ ŞEHRİNİN JEOLojİSİ ,DEPREMSELLİĞİ VE SU ŞEBEKESİ VERİ TABANI.....	22
3.1 Giriş.....	23
3.2 İnceleme Alanının Depremselliği.....	23
3.3 İnceleme Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri.....	30
3.4 Denizli Şehri Su İletim ve Dağıtım Şebekesinin Karakteristik Özellikleri.....	33
3.4.1 Veri Tabanının Oluşturulması.....	33
3.4.2 Denizli Şehri Su İletim ve Dağıtım Şebekesi.....	35

4. GEÇİCİ YER DEFORMASYONLARI ETKİSİYLE MEYDANA GELEN ŞEBEKE HASARLARI.....	46
4.1 Giriş.....	46
4.2 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler.....	47
4.3 Geçici Yer Deformasyonları Etkisiyle Oluşabilecek Hasar Tahmininde Kullanılan Hasar İlişkileri.....	53
4.4 Denizli Şehri Su Dağıtım Şebekesi İçin Boru Hattı Hasar Tahmini.....	65
5. KALICI YER DEFORMASYONLARI ETKİSİYLE MEYDANA GELEN ŞEBEKE HASARLARI.....	78
5.1 Giriş.....	78
5.2 Kalıcı Yer Deformasyonları	79
5.2.1 Fay Hatlarının Hareketleri.....	79
5.2.2 Sıvılaşmanın Neden Olduğu Zemin Oturması.....	81
5.2.3 Sıvılaşmanın Neden Olduğu Yanal Yayılma.....	83
5.2.4 Sıvılaşmanın Neden Olduğu Akma Türü Kayma.....	86
5.3 Zeminlerin Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi.....	86
5.3.1 Sıvılaşmanın Tanımı.....	86
5.3.2 Sıvılaşma Analizi.....	91
5.4 İnceleme Bölgesi İçin Sıvılaşma Haritalarının Oluşturulması.....	98
5.4.1 Veri Tabanı ve Kullanılan Yöntem	98
5.4.2 İncelenen Bölge İçin Sıvılaşma Haritalarının Elde Edilmesi	99
5.5 İnceleme Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Sonrası Yanal Hareketlerinin (Deplasmanların) Belirlenmesi.....	125
5.5.1 Veri Tabanı ve Kullanılan Yöntem.....	125
5.5.2 İncelenen Bölge İçin Deplasman Haritalarının Elde Edilmesi	128
5.6 Denizli Şehri Su İletim ve Dağıtım Şebekesinde Yanal Yerdeğiştirmeler (Deplasmanlar) Sonucunda Oluşabilecek Boru Hattı Hasar Miktarları.....	134
5.7 Denizli Su Şebekesinin Senaryo Depremler Sonrası Performansı.....	139
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	150
6.1 Giriş	150
6.2 Boru Hasar İlişkilerinin Değerlendirilmesi	150
6.3 Denizli Su Şebekesinde GYD ve KYD Etkisiyle Oluşan Hasarlar.....	152
6.4 Denizli Su Şebekesinin Deprem Sonrası Performansının Değerlendirilmesi	154
6.5 İyileştirme, Öneriler ve Önlemler	155
KAYNAKLAR.....	158
EKLER... ..	166
ÖZGEÇMİŞ... ..	185

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 2.1 CBS’de raster ve vektör veri gösterimi.....	7
Şekil 2.2 Kent Bilgi Sistemi (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi web sitesi).....	13
Şekil 2.3 Bakırköy Kent Bilgi Sistemi (İstanbul Bakırköy Belediyesi web sitesi)...	14
Şekil 2.4 CBS ile oluşturulan analiz ve raporlama araçlarından bazıları	16
Şekil 2.5 ODTÜ Altyapı Bilgi Sistemi menüsü ve katmanları	17
Şekil 2.6 Ankara KBS altlığı. İmar Adaları, binalar, bina numaraları, parsel numaraları, halihazır pafta no, imar pafta no, sokak isimleri, su şebekesi, vs).....	18
Şekil 2.7 Los Angeles şehri su şebekesi haritası (Toprak 2004).....	19
Şekil 2.8 Los Angeles şehri su iletim ve dağıtım hatlarının boru cinsi ve uzunluğuna göre istatistik değerleri (O’Rourke ve Toprak 1997).....	20
Şekil 2.9 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O’Rourke ve Toprak 1997).....	20
Şekil 2.10 Boru hattı onarım oranı eğrileri ve Northridge depremi en büyük yer hızları (O’Rourke ve Toprak 1997).....	21
Şekil 3.1 Denizli ve civarında meydana gelen depremler ve fay hatları	25
Şekil 3.2 2003 yılından günümüze kadar Denizli’de meydana gelen magnitüdüleri $M_d \geq 3.5$ olan depremler.....	27
Şekil 3.3 Çürüksu Denizli dolayının 1/100 000’likten derlenmiş jeolojik haritası (Eşder 1994).....	29
Şekil 3.4 Denizli havzasını şematik enine kesiti (Westeway 1993 ve Topal 2003)	30
Şekil 3.5 İnceleme alanının jeoloji haritası ve enine kesiti (Çelik 2003).....	31
Şekil 3.6 Tatbikat projesi üzerinde su dağıtım şebekesi borularının çizilerek CBS veri tabanına aktarılması (Toprak vd 2005).....	34
Şekil 3.7 Gökpınar kaynağından gelen suyun tutulduğu gölet.....	35
Şekil 3.8 Gökpınar göleti ve klorlama ünitesi binası.....	36
Şekil 3.9 Klorlama ünitesi binası.....	36
Şekil 3.10 Denizli su şebekesi haritası.....	37
Şekil 3.11 Denizli ve Kınıklı belediyesine ait alanlar için su şebekesindeki boruların oluşum istatistikleri.....	38
Şekil 3.12 Denizli şehri su dağıtım şebekesi içindeki font boru hatları.....	39
Şekil 3.13 Denizli su şebekesindeki boruların oluşum istatistikleri.....	40
Şekil 3.14 Denizli su şebekesinde tali boru hattında yer alan ve yeni döşenen bir PVC boru.....	41
Şekil 3.15 Denizli su şebekesinin su depoları ve derin kuyu pompaları.....	42
Şekil 3.16 Yeni Kuruçay su deposu.....	43
Şekil 3.17 Yeni Kuruçay su deposu içi.....	44
Şekil 3.18 Hastane su deposu.....	44
Şekil 4.1 Vida eklemli gaz boru hattındaki hasar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Oka 1996)..	48
Şekil 4.2 Su Boru Hatlarındaki Hasarlar (Editorial Committee for the Reporton	49

	the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995)....	
Şekil 4.3	1979 Guerrrero Meksika depreminde hasar (kırık) görmüş asbest boru (Ayala ve O'Rourke 1989).....	50
Şekil 4.4	1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda meydana gelen sızıntı (Ayala ve O'Rourke 1989).....	51
Şekil 4.5	1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma (Ayala ve O'Rourke 1989).....	51
Şekil 4.6	En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı hasar onarım oranı arasındaki ilişki (Toprak 1998, 2004).....	55
Şekil 4.7	En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı onarım oranı arasındaki ilişkiler (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000).....	56
Şekil 4.8	Ortalama PGV grup değerleri (ALA 2001).....	59
Şekil 4.9	PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001).....	60
Şekil 4.10	Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu (Pineda ve Ordaz 2003).....	62
Şekil 4.11	İstatistiksel olarak kabul edilebilir sismik dalga yayılması hasar eğrisi (O'Rourke ve Deyoe 2004).....	63
Şekil 4.12	Gömülü boru hattı sistemleri için hasar ilişkileri.....	64
Şekil 4.13	Pamukkale fayı kaynaklı M6 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.14	Pamukkale fayı kaynaklı M6.3 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	68
Şekil 4.15	Pamukkale fayı kaynaklı M6.5 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	68
Şekil 4.16	Pamukkale fayı kaynaklı M7 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.17	Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	69
Şekil 4.18	Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6.3 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.19	Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6.5 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması	70
Şekil 4.20	Karakova-Akhan fayı kaynaklı M7 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.21	Senaryo depremleri için boru hasar ilişkileri (Toprak ve Taşkın 2006)..	75
Şekil 4.22	Farklı senaryo depremleri için hasar ilişkilerinden elde edilen hasar tahminleri (Toprak ve Taşkın 2006).....	77
Şekil 5.1	Depremin oluşturduğu KYD sonucunda zemin-boru hattı etkileşimi (Toprak ve Yoshizaki 2003, O'Rourke 1998)	80
Şekil 5.2	Boruda fay kırığı hareketi sonucu oluşan buruşma (Eidinger vd 2002)...	81
Şekil 5.3	1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda sıvılaşmanın bir sonucu olarak oturma formunda (yaklaşık 1m.) aşırı temel deformasyonuna maruz kalmış bir bina. (Sucuoğlu vd 2000)	82
Şekil 5.4	Kocaeli Depreminde 1999 Sapanca Gölünün Adapazarı'na yaklaşık 5km mesafede yer alan doğu kıyısında sıvılaşmaya bağlı olduğu düşünülen oturmalar ve denize doğru yanal yayılımlar sonucunda sahil şeridi kısmen gölün suları altında kalmıştır (Sucuoğlu vd 2000)	82

Şekil 5.5 Kocaeli ve Düzce depremleri sonrası borularda kalıcı yer deformasyonları etkisiyle borularda meydana gelen hasarlar (Aydan 2003).....	83
Şekil 5.6 Yanal yayılmanın gelişimi (Obermeier 1996, Çelik 2003).....	84
Şekil 5.7 Petkim rafinerisi iskelesi üzerinde yatay deplasman sonucu meydana gelen yanıl hareket (yaklaşık 15cm) (Sucuoğlu vd 2000).....	84
Şekil 5.8 1999 Marmara depremi sonrası Değirmendere sahilinin görünüşü. Kıyıya dolgu yapılarak kazanılmış olan alanlar 50m'ye yaklaşan yanıl yayılımlar ile denize kaybedilmiştir (Sucuoğlu vd 2000).....	85
Şekil 5.9 1995 Kobe Depreminde Port Island kuzey yakasında sıvılaşmanın neden olduğu yanıl yayılma etkisiyle, su dağıtım sisteminde yer alan 700 mm çaplı çelik boruda meydana gelen hasar (Chung 1996)	85
Şekil 5.10 Akma Türü Kayma (Ulusay 2000).....	86
Şekil 5.11 Sıvılaşmayla ilgili kum konilerinin ve dayklarının oluşumunu gösteren kesit (Obermeier 1996, Ulusay 2000).....	88
Şekil 5.12 Adapazarı'nda Çark Caddesi civarında bir sokak boyunca zemin yüzeyine fıskırmış silt ve ince kum öbekleri (Sucuoğlu vd 2000).....	89
Şekil 5.13 1999 Marmara depreminde Adapazarı'nda eğilme formunda aşırı temel deformasyonuna maruz kalmış binalar (Sucuoğlu vd 2000).....	90
Şekil 5.14 1999 Marmara depremi sonrası zemin deformasyonlarına bağlı olarak yol ve kaldırımlarda meydana gelen kabarmalar (Sucuoğlu vd 2000)...	90
Şekil 5.15 Gerilme azaltma faktörünün (r_d) derinlik (z) ile değişimi (Youd vd 2001).....	93
Şekil 5.16 Devirsel direnç oranı (CRR) ve düzeltilmiş darbe sayısı ($(N_1)_{60cs}$ arasındaki ilişki (Youd vd 2001).....	95
Şekil 5.17 Deprem büyüklüğü ve magnitüd düzeltme faktörü arasındaki ilişki (Youd vd 2001).....	97
Şekil 5.18 Denizli ili sıvılaşma analizinde kullanılan sondaj kuyuları ve senaryo deprem kaynağı faylar.....	100
Şekil 5.19 İnceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan Denizli şehri için yapılmış jeoteknik sondaj logu örneği (PAÜ 2002)...	101
Şekil 5.20.a Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002).....	102
Şekil 5.20.b Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002).....	103
Şekil 5.20.c Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002).....	104
Şekil 5.21 Kuvvetli hareket azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık ölçütleri (Abrahamson ve Silva 1997).....	106
Şekil 5.22 Pamukkale Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşma Kontürleri Haritası.....	109
Şekil 5.23 Pamukkale Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6.3 Senaryo Depremi İçin	

Inceleme Alanının Sıvılaşma Kontürleri Haritası.....	110
Şekil 5.24 Pamukkale Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6.5 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşma Kontürleri Haritası.....	111
Şekil 5.25 Pamukkale Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 7 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı Değişim Haritası.....	112
Şekil 5.26 Karakova - Akhan Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı Değişim Haritası.....	113
Şekil 5.27 Karakova - Akhan Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6.3 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı Değişim haritası	114
Şekil 5.28 Karakova - Akhan Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 6.5 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşma Kontürleri Haritası.....	115
Şekil 5.29 Karakova - Akhan Fayı Etkisiyle Oluşabilecek M_w 7 Senaryo Depremi İçin İnceleme Alanının Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı Değişim Haritası.....	116
Şekil 5.30 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	117
Şekil 5.31 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle Oluşabilecek M_w 6.3 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası	118
Şekil 5.32 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.5 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	118
Şekil 5.33 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 7 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası	119
Şekil 5.34 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	119
Şekil 5.35 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.3 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	120
Şekil 5.36 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.5 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	120
Şekil 5.37 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 7 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası.....	121
Şekil 5.38 Karakova Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.3 senaryo depremi için Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma haritası (PAÜ 2002, Kumsar vd 2004).....	122
Şekil 5.39 Karakova Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.3 senaryo depremi için Denizli Belediyesi yerleşim alanları için PAÜ (2002) de ve bu tez çalışmasında elde edilen sıvılaşma haritaları.....	123

Şekil 5.40 2. nokta kaynağa (Karakova fayı) göre inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli indeksi haritası (Çelik 2003).....	124
Şekil 5.41 Ölçülmüş deplasman değerleriyle Youd vd (2002) modeli kullanılarak tahmin edilen deplasman değerleri arasındaki ilişki (Youd vd 2002)...	127
Şekil 5.42 Deplasman analizinde kullanılan sondaj kuyuları, faylar ve 1/25.000 ölçekli topografya (eşyüksekti) haritası	129
Şekil 5.43 Karakova-Akhan Fayı, M_w6 senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler.....	130
Şekil 5.44 Karakova-Akhan Fayı, $M_w6.3$ senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler.....	131
Şekil 5.45 Karakova-Akhan Fayı, etkisiyle oluşabilecek $M_w6.5$ senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler	131
Şekil 5.46 Karakova-Akhan Fayı, etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler	132
Şekil 5.47 Pamukkale Fayı, etkisiyle oluşabilecek M_w6 senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler.....	132
Şekil 5.48 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.3$ senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler.	133
Şekil 5.49 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.5$ senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler	133
Şekil 5.50 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler	134
Şekil 5.51 Kalıcı yer deformasyonları (KYD) ile hasar oranları (RR) arasındaki ilişki.....	135
Şekil 5.52 Birinci hasar senaryosu için, inceleme alanında Pamukkale ve Karakova –Akhan Fayları etkisiyle oluşabilecek kalıcı yer deformasyonları hasar sayılarıyla deprem büyüklüğü (M_w) arasındaki ilişki.....	138
Şekil 5.53 İkinci hasar senaryosu için, inceleme alanında Pamukkale ve Karakova – Akhan Fayları etkisiyle oluşabilecek kalıcı yer deformasyonları hasar sayılarıyla deprem büyüklüğü (M_w) arasındaki ilişki.....	138
Şekil 5.54 Sistem performans değerlendirmesi için ortalama kırık oranına karşılık gelen performans indeksi (HAZUS 99).....	140

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Denizli ilinde 1900 yılı ve sonrası meydana gelen aletsel büyüklüğü 4.5 ve üzerindeki depremler ve etkileri (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi ve Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü verilerine göre).....	26
Tablo 3.2 Denizli su şebekesinde kullanılan su depolarına ait veriler.....	43
Tablo 3.3 Denizli şehir merkezinde DSİ tarafından açılmış yer altı suyu sondajlarına ait veriler (PAÜ 2002'den derlenmiştir).....	45
Tablo 3.4 Denizli su şebekesinde yer alan yatay su pompaları (Denizli Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü).....	45
Tablo 4.1 PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001)...	58
Tablo 4.2 Geçici Yer Deformasyonları İçin Boru Hasar İlişkileri	65
Tablo 4.3 Pamukkale Fayı deprem senaryosu için boru hasar tahminleri.....	73
Tablo 4.4 Karakova - Akhan Fayı deprem senaryosu için boru hasar tahminleri...	74
Tablo 5.1 Tij, iç gömlek ve kuyu çapı düzeltme faktörleri (Skempton 1986).....	95
Tablo 5.2 PGA azalım ilişkisinde kullanılan istatistiksel parametreler ve katsayılar..	107
Tablo 5.3 Birinci ve ikinci hasar senaryosu için Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesi'nde kalıcı yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasar miktarları.....	137
Tablo 5.4 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (Birinci hasar senaryosu için).....	142
Tablo 5.5 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (Birinci hasar senaryosu için).....	143
Tablo 5.6 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (Birinci hasar senaryosu için).....	144
Tablo 5.7 Denizli şehri su şebekesinde senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (Birinci hasar senaryosu için).....	145
Tablo 5.8 Denizli şehri su şebekesinde senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (İkinci hasar senaryosu için).....	146
Tablo 5.9 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (İkinci hasar senaryosu için).....	146

	147
Tablo 5.10 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performansları (İkinci hasar senaryosu için).....	148
Tablo 5.11 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (İkinci hasar senaryosu için).....	149

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AÇB	Asbestli Çimento Borular
A _H	Pik İvmenin Yatay Bileşeni
a _{max}	Zemin Yüzeyinde Deprem Etkisiyle Oluşan Maksimum Yatay Yer İvmesi
BPT	Becker Penetrasyon Testi
C	Sismik Dalga Yayılma Hızı
C _B	Kuyu Çapı Düzeltmesi
C _E	Tij Enerji Oranı Düzeltmesi
C _N	Örtü Yüğü Düzeltmesi
CPT	Koni Penetrasyon Testi
C _R	Deney Sırasında Kullanılan Tij Uzunluğu Düzeltmesi
CRR	Zeminin Sıvılaşma Direnci
C _S	Tüp Düzeltmesi
CSR	Devirsel Gerilim Oranı
D	Anakayaya Olan Derinlik
D50 ₍₁₅₎	T15 i Oluşturan Tüm Tabakalardaki D50 Çaplarının Aritmetik Ortalaması
D _H	Deplasman
DI	Düktil Demir
D _p	Boru Çapı
ER	Tij Enerji Oranı
F	Fay Türü
F15	T15 i Oluşturan Tüm Tabakalardaki İnce Tane Yüzdelerinin Aritmetik yada Geometrik Ortalaması
FS	Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı
f _y (D)	Parametre

F_{FR}	Katsayı
g	Yerçekim İvmesi
K_1	Katsayı
M_d	Deprem Aletsel Büyüklüğü (Magnitüd)
MMI	Değişkenmiş Mercalli Şiddeti
MSF	Magnitüd Düzeltme Faktörü
M_w, M	Deprem Büyüklüğü (Magnitüd)
N	Standart Penetrasyon Deneyinden Elde Edilen Darbe Sayısı
$N_{I(60)}$	Tüm Düzeltmeler Dikkate Alınarak Belirlenmiş Darbe Sayısı
$N_{I(60)cs}$	Sıvılaşma Analizi İçin İnce Tane Oranına Göre Düzeltilmiş Darbe Sayısı
P	Boyuna Dalga
P_a	Atmosfer Basıncı
PGA	Pik Yer İvmesi
PGD	Kalıcı Yer Deformasyonunu
PGV	Pik Yer Hızı
R	Fay Kırığına Yüzeyden Ölçülen Yatay Mesafe
R	Rayleigh Dalgaları (Yüzey Dalgası)
r_d	Gerilme İndirgeme Katsayısı
r_{jb}	Fay Kırığının Yeryüzündeki İzine Olan En Kısa Mesafesidir
RR	Onarım Oranı
R_{SEIS}	Fay Kırığından Çalışma Alanına En Kısa Mesafe
s	Zemin Yüzey Eğimi
S_{HR}	Yerel Saha Şartları
S_{SR}	Katsayı
S_{VFS}	Katsayı

T_{15}	Sıvılaşılabılır Tabakalarda Düzeltilmiş Spt- $(N_1)_{60cs}$ Değerleri 15 ten Küçük Olan Tabakaların Toplam Kalınlığı
V_H	Pik Yatay Yer Hızı
V_{max}	Maksimum Yer Hızı
V_p	Maksimum Pik Yer Hızı
V_s	Kayma Dalgası Hızı
W	Serbest Yüzey Oranı
z	Derinlik
δ	Fay Açısı
ε	Standart Sapma
ε_g	Maksimum Sismik Yer Uzama Oranı
σ_{vo}	Toplam Örtü Yüğü Gerilmesi
σ'_{vo}	Efektif Örtü Yüğü Gerilmesi
τ_{av}	Ortalama Çevrimli Kayma Gerilmesi

1.GİRİŞ

Gömülü boru hattı sistemlerinin; sanayileşmiş toplumlarda özellikle de son yüzyılda yaşanan doğal afetler sonrasında hayati bir öneme sahip olduğu anlaşılmıştır. Temiz su iletim ve dağıtım şebekesi, kanalizasyon şebekesi, petrol-doğalgaz iletim hatları başta olmak üzere, ulaştırma (havaalanları, otoyollar, limanlar, demiryolları), iletişim hatları ve elektrik enerjisi nakil hatlarında da gömülü boru hattı sistemlerinden yararlanılmaktadır.

Son büyük depremlerde, (1994 Northridge, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.), 1995 Kobe, Japonya, 1999 Kocaeli, Türkiye ve 1999 Chi-Chi, Tayvan gömülü boru hattı sistemleri geniş ölçüde zarar görmüştür. Özellikle su iletim ve dağıtım şebekelerinin aldığı zararlar, deprem sonrası meydana gelen yangınlara müdahaleyi ve bölgede su ihtiyacının karşılanmasını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu sistemlerde oluşan yaygın aksama ve toplanan kapsamlı veri tabanı, zararların coğrafik değişkenliğini ve boru hasarlarıyla değişik deprem parametreleri (yer ivmesi, hızı gibi) arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine imkan vermiştir. Elde edilen tecrübeler ve ilişkiler gelecek depremler için boru hattı sistemlerinde zarar tahminlerinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Gömülü boru sistemlerinde oluşabilecek zararların tahmini, zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için tedbirler alınmasında önemlidir (Toprak 2004).

Bu tez çalışmasında su dağıtım şebekelerinin olası depremlerin yaratacağı kalıcı ve geçici yer deformasyonlarından nasıl etkileneceğinin incelenmesi ve meydana gelebilecek zararların önceden tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Denizli su dağıtım şebekesi bir örnek olarak ele alınmıştır. Veri girişi ve analizi için

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Farklı deprem parametreleriyle boru hatlarında oluşan zararlar arasında değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen metot ve ilişkiler incelenerek değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda Denizli su şebekesinin M_w6-M_w7 arası senaryo depremleri için performans analizi yapılmış ve senaryo depremleri sonrası çalışma performansı tahmin edilmiştir.

Birinci bölümde bu tez çalışmasında yapılanlar genel olarak belirtilerek inceleme alanı tanıtılmıştır. İkinci bölümde Coğrafi Bilgi Sistemleri'ne değinilmiş ve CBS'nin çeşitli alanlardaki kullanımından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde Denizli şehrinin depremselliği ve jeolojisi anlatılarak, Denizli şehri su şebekesinin karakteristik özellikleri ve veri tabanının oluşturulması açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde öncelikle boru hatlarının deprem performansını etkileyen faktörler açıklanmıştır. Daha sonra iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için ($M6$, $M6.3$, $M6.5$, $M7$) için, geçici yer deformasyonları etkisiyle Denizli su şebekesinde meydana gelebilecek şebeke hasarları, farklı hasar ilişkileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Hasar sonuçlarındaki değişim ve bu değişimin nedenleri oluşturulan grafik ve şekillerle tartışılmıştır.

Beşinci bölümde Denizli şehrinin farklı büyüklükteki deprem senaryoları için sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. İnceleme bölgesinde sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek yanal yer hareketleri belirlenerek, inceleme bölgesi için deplasman haritaları elde edilmiştir. Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesinde yanal hareketler (deplasmanlar) sonucunda oluşabilecek hasarlar, HAZUS 99 (FEMA 1999) ve American Lifelines Alliance (ALA) (2001) hasar ilişkileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Daha sonra, farklı senaryo depremleri için, GYD ve KYD etkisiyle meydana gelebilecek hasarların Denizli su şebekesi çalışma performansını nasıl etkileyeceği üzerinde durulmuş ve Denizli şehri su iletim ve dağıtım sisteminin kullanılşılık (performans) indeksi yüzde olarak tahmin edilmiştir.

Altıncı bölümde ise bu tez çalışmasında yapılan analiz ve değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar tartışılmış ve su şebekelerindeki boru hatlarının sismik performansını yükseltmek ve boru hatlarını iyileştirmek üzerine önerilerde bulunulmuştur.

1.2 İnceleme Alanının Tanıtımı

İnceleme alanı, Denizli il merkezi ve yakın çevresini kapsar ve Ege Bölgesi sınırları içinde, 35. UTM kuşağının N4179⁰⁰⁰-N41188⁰⁰⁰ ile E678⁰⁰⁰-E687⁰⁰⁰ koordinatları arasında, 1/100,000 ölçekli topoğrafik haritaların Denizli M22 paftasında yer almaktadır. Şekil 1.1’de inceleme alanı görülmektedir.

Ege, Akdeniz ve karasal İç Anadolu iklimi arasında karakteristik bir geçiş teşkil eden inceleme alanı, genel olarak İç Anadolu iklimine daha yakın olduğu söylenebilir. Çünkü yıllık ortalama yağış miktarı Kıyı Ege Bölgesine göre daha az olduğu gibi, yıllık ortalama sıcaklık değerleri de İç Anadolu iklimine daha yakındır. Aynı şekilde günlük ve mevsimlik sıcaklık oynamaları da kıyı bölgelerine göre daha fazladır (Çelik 2003).

Büyük Menderes Grabeni ile Gediz Grabeninin kesiştiği alanın doğusunda yer alan Denizli Havzası genişleme tektoniğine bağlı bir morfoloji sunmaktadır. Yerleşim alanının güney tarafı yüksek dağlar ve sarp yamaçlarla kuşatılmış olup, kuzeye doğru gidildikçe daha düşük kotlarda yamaç molozu ve alüvyon yelpazesini niteliğinde kısmen daha yumuşak bir topoğrafya hakim olmaktadır. Denizli iline karayolu ile en yakın iller Afyon, Aydın ve Muğla’dır. Ayrıca demiryolu ile şehire ulaşım mümkündür.

İnceleme alanının güney sınırını kuşatan dağların zirveleri bitki örtüsü bakımından zayıf olmakla birlikte, eteklerinde ve yerleşim alanlarına yakın kesimlerde, farklı cinslerde çam ormanları mevcuttur. Tarıma uygun özel mülkiyete ait düz alanlarda ise tarla ve bahçe tarımı yapılmaktadır.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası

2.COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Coğrafi bilgi sistemleri-CBS (Geographic Information Systems-GIS), her türlü coğrafi referanslı bilginin etkin olarak elde edilmesi, depolanması, güncellenmesi, kullanılması, analizi ve görüntülenmesi için bilgisayar donanımı, yazılımı, personel ve yöntemlerin organize olarak bir araya toplanmasıdır. Sorgulama ve istatistiksel analiz gibi bilinen veri tabanı işlemlerine ek olarak, haritaların sağladığı görsellik ve coğrafi analiz olanaklarını da kullanır. Bu yeteneği ile daha doğru kararların üretilmesine katkı veren bir veri yönetim sistemidir.

Sistemin kullanılması, konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması şeklinde gerçekleştirilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri, mekansal verilere bağlı sözel bilgileri entegre bir şekilde depolayan bir yapıya sahiptir ve problemlerin çözümünde etkin bir koordinatördür.

Coğrafi Bilgi Sistemleri, yeryüzü şekillerini ve yeryüzünde gelişen olayları haritaya dönüştürerek ve bunları analiz etmek için gerekli olan bilgisayar destekli araçlardan oluşan bir sistem olarak algılanmaktadır. CBS teknolojisi ortak veri tabanlarını birleştirme özelliğine sahiptir. Örneğin, haritaların sağladığı görsel ve coğrafik analiz avantajları, sorgulama ve istatistiksel analizler olarak kullanıcıya sunulur. Bu özelliği bakımından, CBS diğer bilgi sistemlerinden farklıdır (Yomralıoğlu 2000).

Bu bölümde öncelikle; CBS'nin çalışma prensibi, veri modelleri ve CBS'deki konum analizlerine değinilerek Coğrafi Bilgi Sistemlerinin teknolojik gelişmeler ve bölgesel planlamalardaki önemi belirtilmiştir. Daha sonra CBS'nin başta alt yapı sistemleri olmak üzere çeşitli alanlardaki kullanımlarına değinilerek, CBS'den yararlanılarak yapılmış projelerden örnekler verilmiştir. CBS'nin su dağıtım şebekelerinin deprem performansının değerlendirilmesinde kullanımı açıklanmıştır.

2.2 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Çalışma Prensibi

CBS yeryüzüne ait bilgileri, coğrafi anlamda birbiriyle ilişkilendirilmiş tematik harita katmanları gibi kabul ederek saklar. Bu basit ancak konumsal bilgilerin değerlendirilmesi açısından son derece güçlü bir yaklaşımdır (Yomralıoğlu 2000).

2.2.1 Coğrafi referanslar

Coğrafi bilgilerin, enlem – boylam şeklindeki coğrafi koordinat yada ulusal koordinatlar gibi kesin değerleri veya adres, bölge ismi, yol ismi gibi tanımlanan bilgileri içermektedir. Bu referanslar objenin bilinen pozisyona yerleştirilmesini sağlar. Coğrafi referans konumu belirlenirken, konum verisi yani koordinat bilgisi seçilecek veri modeline bağlı olarak ifade edilir.

2.2.2 Temel işlevler

Coğrafi bilgi sistemlerinin sağlıklı bir şekilde çalışması için 4 temel işlevin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu işlevler veri toplama, veriyi yönetme, veriyi işleme ve veriyi sunmadır. Öncelikle Coğrafi veriler toplanarak, CBS'de kullanılmadan önce mutlaka sayısal yani dijital formata dönüştürülmelidir.

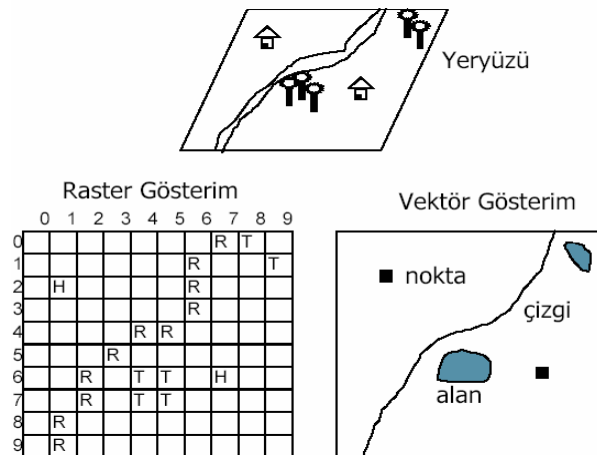
Daha sonra ise elde edilen verilerin, veri tabanı yönetim sistemleri ile saklanması, organize edilmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Veri yönetiminde veriler; tablo bilgilerinin elde edilmişindeki düşünce yapısına uygun olarak bilgisayar belleğinde saklanır. Farklı bilgiler içeren tabloların birbiriyle ilişkilendirilmesinde bu tablolardaki

ortak sütunlar kullanılır. Bu yaklaşım basit fakat esnek bir tasarım olup geniş çapta CBS uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bazı durumlarda özel CBS projeleri için veri çeşitlerinin birbirine dönüşümü veya irdelenmesi gibi çeşitli işlemleri istenebilir. Verilerin sisteme uyumlu olması için çeşitli veri işlemleri gerekebilmektedir. Verilerin sunumu ise CBS analizlerindeki bir diğer önemli işlemdir. Birçok coğrafik işlemin sonunda yapılanlar harita veya grafik gösterimlerle görsel hale getirilir. Haritalar coğrafik bilgiler ile kullanıcı arasındaki en iyi iletişimi sağlayan araçlardır. Haritalar, yazılı raporlarla, üç boyutlu gösterimlerle, fotoğraf görüntüleri ve çok-ortamlı (multimedia) ve diğer çıktı çeşitleriyle birleştirilebilmektedir.

2.3 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri

Coğrafi verilerin bilgisayara aktarılması, bilgisayarda işlenmesi ve görüntülenmesi için öncelikle söz konusu ham verilerin sayısal, diğer bir deyişle sayısal forma getirilmesiyle mümkündür. Ayrıca, dijital şekle dönüştürülen verilerin, bilgisayarda gerçek modeli yansıtabilmesi için konumsal veri modellerinden biri tercih edilmeli ve veri yapısı buna göre tasarlanmalıdır. Coğrafi bilgi sistemlerinde konumsal veri modelleri iki şekilde olmaktadır. Bunlar; vektörel veri modeli ve hüresel veri modelidir (raster veri modeli). Şekil 2.1’de bu veri modelleri görülmektedir.



Şekil 2.1 CBS’de raster ve vektör veri gösterimi (Yomralıoğlu 2000)

Coğrafik veriler, vektörel veri modelinde tıpkı bir harita görünümüne sahiptir. Bu görünümde, noktalar; sabit alanların çok küçük boyutlu şekilleri; çizgiler; süreklilik ve alan özelliği gösteren yine çok küçük boyutlu coğrafik varlıkları; poligonlar ise; homojen yapıya sahip bütünlük gösteren coğrafik varlıkları temsil ederler. Resim veya grafik kullanmaksızın, nokta, çizgi ve poligon şeklindeki coğrafi varlıklar sahip oldukları (x, y) koordinat değerleri ile matematiksel, diğer bir deyişle sayısal olarak temsil edilebilirler.

Coğrafik özelliklerin gösterimleri için kullanılan bir diğer veri modeli de "hücresel" ya da diğer bir deyişle raster veri modelidir. Raster gösterim, coğrafik özelliklerin çekilmiş bir fotoğrafı gibidir. Böyle bir fotoğrafın büyüteç altında incelenmesiyle görülecektir ki çok küçük boyutta, farklı renklere sahip kare biçimindeki kutucukların bir araya gelmesiyle bütün bir görüntü oluşmaktadır. Raster veri modelinde, herhangi bir görüntü bütünü piksel (pixel) veya hücre adı verilen seri haldeki küçük boyutlu kutulardan ya da diğer bir deyişle gridlerden meydana gelir.

2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Konum Analizleri

CBS bir karar verme aracı olarak grafik ve grafik olmayan bilgilerin bir bütün halinde çok yönlü olarak analiz edilebilmesine imkan vermektedir. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde bulunması gerekli konuma bağlı temel analiz türleri aşağıdadır :

- 1) Konumsal sorgulamalar
- 2) Konumsal analizler
- 3) Ağ analizleri
- 4) Geometrik işlemler
- 5) Sayısal yükseklik analizleri
- 6) Grid analizleri
- 7) İstatistiksel analizler

Coğrafi bilgi sistemleriyle analizde takip edilecek adımlar:

- 1) Amaç, analizdeki kriterler ve yöntemin belirlenmesi
- 2) Verilerin konumsal analiz için hazırlanması
- 3) Konumsal analizlerin yapılması

- 4) Elde edilen verinin tablosal değerlendirme için hazırlanması
- 5) Tablosal analizlerin yapılması
- 6) Sonuçların değerlendirilmesi
- 7) Gerekli görülürse analizde iyileştirmelerin yapılması

2.5 Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Teknolojik Gelişmeler ve Bölgesel Planlamalardaki Önemi

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde amaç, coğrafi bilginin; üretimini, yönetimini, analiz ve network üzerindeki dağınık veri tabanlarından coğrafi verileri tüm insanların paylaşabileceği profesyonel bilgi sistemi teknolojisini sunmaktır. Bunun bir sonucu olarak CBS, hizmet alanındaki olayların tanımlanmasında ve ileriye dönük tahminlerde bulunarak stratejik planların yapılmasında kamu ve özel sektör tarafından oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Tüm bu gelişmelerin temelinde CBS'nin diğer sistemlerden farklı olarak, sahip olduğu fonksiyonlar vardır. Günümüzde ileri teknoloji kullanılarak hemen her türlü probleme çözümler üretilmektedir. Bir sahanın planlanması, oranın gelişimine ilk adım sayılabileceği için, bölgenin coğrafyasının, jeolojik durumunun, sosyo-ekonomik ve çevresel verilerinin elde edilip, analiz edilmesi, gelecek için yapılması düşünülen yatırımların planlanmasına yardımcı olacaktır (Kıncal 1999).

İçme suyu tesislerinin, dağıtım şebekeleri ile birlikte görüntülenmesi, bunun kanalizasyon ve telefon ağları ile birlikte ortaya konulması, olası nüfus artışlarını karşılamak için açılacak yeni yerleşim alanlarının belirlenmesinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Bu yapıya uygun olarak nüfus artışlarının gelir seviyesine göre bölgesel bazda ortaya konulması yapılabilecek ev tiplerini ve maliyetleri belirlemede etkili olabilmektedir. Şehir ve bölge planlamacılığında kullanılmak üzere araştırmacıların, planlamacıların ve yöneticilerin kullanabileceği metodlar ve analitik modeller ile planlamada sistem yaklaşımının önemi araştırmacılar tarafından uygulamalı olarak ortaya konulmuştur. Modellerden bulunan sonuçların kullanıcının anlayabileceği bir şekilde ve bölgenin özellikleri ile birlikte ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle teknolojik gelişmeler ve bölgesel planlamalarda CBS'nin kullanılması çok önemlidir.

2.6 CBS' nin Kullanım Alanları ve Bu Alanlardan Çeşitli Örnekler

CBS; çevre düzeni planları, doğal kaynak yönetimi, mülkiyet idari yönetimi, bayındırlık hizmetleri, ulaşım planlaması, savunma ve güvenlik gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. CBS'nin popülaritesi büyük ölçüde analiz gücünden kaynaklanmaktadır. Geleneksel yöntemlerle çok uzun zaman alabilecek analizler çok daha basit ve hızlı bir biçimde yapılabilmektedir. Konumsal verinin çok geniş bir kullanıcı yelpazesine sahip olması nedeniyle CBS ile yapılabilecek uygulama ve analizler neredeyse sınırsızdır. Özellikle; belediyelerin faaliyetlerini daha etkin, daha hızlı ve daha verimli yürütebilmesi için eldeki bilgileri hızlı, doğru, kolay ve verimli bir şekilde kullanmak gereklidir. İşte bilgisayar teknolojilerinden CBS, belediyenin arzu ettiği bütün detayları yapabilecek güçte ve yapıda bir bilgi sistemi olmaktadır. Bu nedenle CBS günümüzde “Karar Verici”lerin vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir (Tecim 2001). CBS lerdeki tipik analizlere aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Kadastral uygulamalarda belirli koşulları sağlayan (örneğin alanca imara uygun) parsellerin belirlenmesi, yeni açılacak bir yol için kamulaştırılacak parsellerin ve kamulaştırma bedellerinin belirlenmesi,
- Şebeke (su, doğalgaz vs.) izleme sistemlerinde herhangi bir hat/vana daki arıza durumunda etkilenecek abonelerin belirlenmesi,
- Trafik, yol durumu, uzaklık vs. gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak, en uygun yol güzergahlarının belirlenmesi,
- Bir deprem durumunda etkilenebilecek yol ve hastahanelerin belirlenmesi,
- Yüzey analizleri; Eğim ve bakı analizleri, en ve boy kesit çıkarma, otomatik eşyükseklik eğrisi çizimi, görülebilirlik analizleri,
- İstatistikî analizler; Bir mahalledeki parsellerin sayısı, ortalama kat sayısı, ortalama ve standart sapma hesapları,
- Jeolojik ve topoğrafik yapı, yollar, su kaynakları, mevcut yerleşim alanları vs. ye uzaklık gibi çeşitli ölçütlere göre depremzedeler için çadır ya da konut alanı, katı atık boşaltım alanı vs. gibi, belirli bir amaç için en uygun yer seçimi.

2.6.1 İstanbul Su ve Kanalizasyon Dairesi Genel Müdürlüğü (İSKİ) Altyapı Bilgi Sistemi (İSKABİS) projesi

İSKİ Altyapı Bilgi Sistemi (İSKABİS) projesi, İSKİ' nin İstanbul için meydana getirdiği binlerce km uzunluktaki atıksu, içmesuyu, yağmursuyu hatlarını bilgisayar ortamına taşınması olarak tarif edilebilmektedir. İSKABİS Projesi, İstanbul'un bütün altyapı bilgisinden haberdar olmak ve yönetim, planlama, tamir, bakım ve onarım işlerinde kullanmak maksadı ile hayata geçirildi. İSKİ, 12.000 km içmesuyu altyapısı, 9.500 km atıksu altyapısı 500'ün üzerinde üstyapı tesisi (Arıtma Tesisleri, Terfi Merkezleri, Depo vb.) ile İstanbul'a hizmet vermektedir. Günümüzde bu ölçüde büyük altyapıya sahip bir şehrin yönetim fonksiyonlarının geleneksel yöntemlerle hızlı, verimli, etkin bir biçimde yerine getirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu amaçla konumsal (coğrafi) bir bilgi sistemi olan CBS, dizayn, işletme ve yönetim alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

İSKİ Altyapı Bilgi Sistemi'nde yetkili kullanıcıların kuruma ait bütün bilgilere (altyapı-üstyapı tesisi bilgileri, harita altlıkları, temel mühendislik referansları vb.) kolaylıkla ulaşabilmesi genel strateji olarak kabul edilmektedir. Bu amaçla bir WEB sitesi oluşturularak, bilgilere hızlı erişim ve kullanım kolaylığı sağlanmaktadır (İstanbul Büyükşehir Belediyesi web sayfası).

2.6.1.1 iskabis' in yapılış aşamaları

İSKABİS projesi ağustos 1999'da başlatılmış olup, altyapı bilgi sistemi oluşturulurken öncelikle;

1) hizmet alanının tamamında sayısal harita altlıkları tamamlandı.

2) Ardından Altyapı Bilgi Sistemi bünyesinde kullanılan bütün harita altlıklarını, altyapı ve üstyapı tesis bilgileri Ülke Koordinat Sistemi (UTM) düzlemine taşınarak standartlaştırıldı.

3) İçmesuyu, atıksu, yağmursuyu altyapısına ve tüm üstyapı tesislerine ait sözel bilgi ve grafik altlıkları büyük oranda "akıllı bilgi" formatı haline getirildi. Böylece içmesuyu temini ve dağıtım sistemi ile içme suyu havzalarının kontrolü sağlanmıştır.

4) İtranet uygulaması geliştirilerek merkezdeki bütün bilgiler işletme birimlerine açıldı.

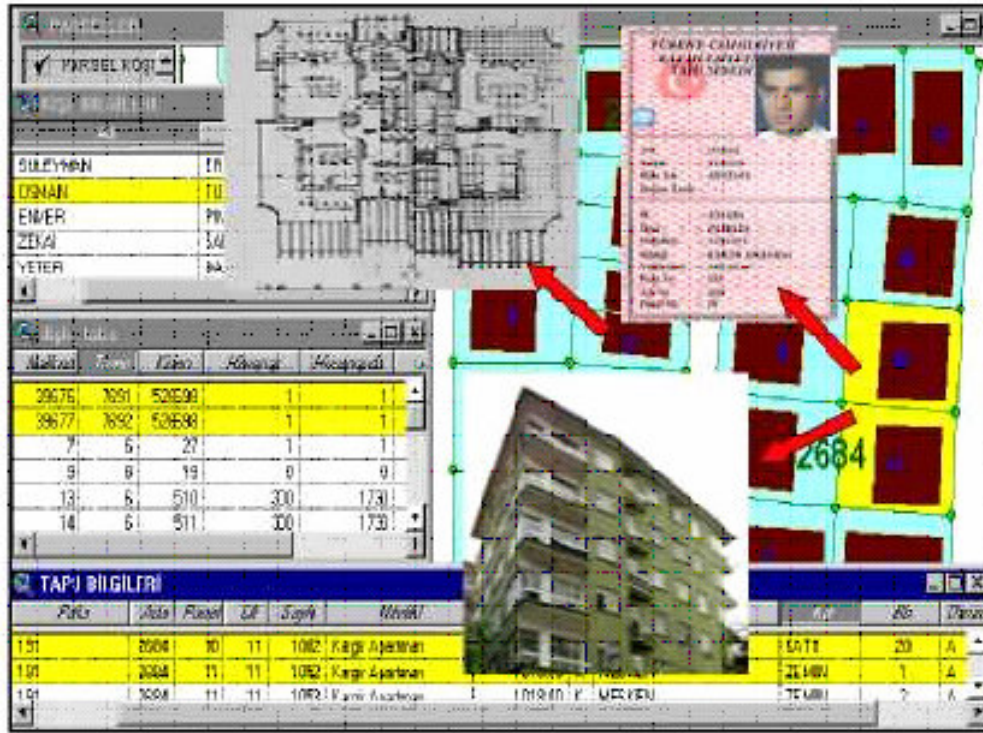
5) Müşteri Bilgi Sistemi (MBS) – Altyapı Bilgi Sistemi – Kent Bilgi Sistemi entegrasyonunu hedefleyen bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) vizyonu oluşturulmuş oldu.

6) Gerçekleştirilen bu kapsamlı çalışma sayesinde yapılan mühendislik çalışmalarında istenilen bilgiye kısa zamanda ulaşma sağlanırken, bu durum verimlilik ve performans artışını da beraberinde getirmiştir. Ayrıca büyük maliyetler tutan uç kullanıcılara lisanslı yazılım yükleme sorununa oldukça pratik bir çözüm sağlamaktadır.

İSKABİS' in alt yapısı oluşturulurken öncelikle; konumsal sorgulama (Haritadan bilgi alma-sözel bilgidan haritaya ulaşma) yapılmış daha sonra ise Network (şebeke) ve topoloji analizleri yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise; modelleme ve senaryo yönetimi oluşturularak, tematik (Konulu-Görsel) harita üretimi ve İnternet (WEB) düzenlemeleri yapılmıştır.

2.6.2 Eskişehir Büyükşehir Kent Bilgi Sistemi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin kullanımı

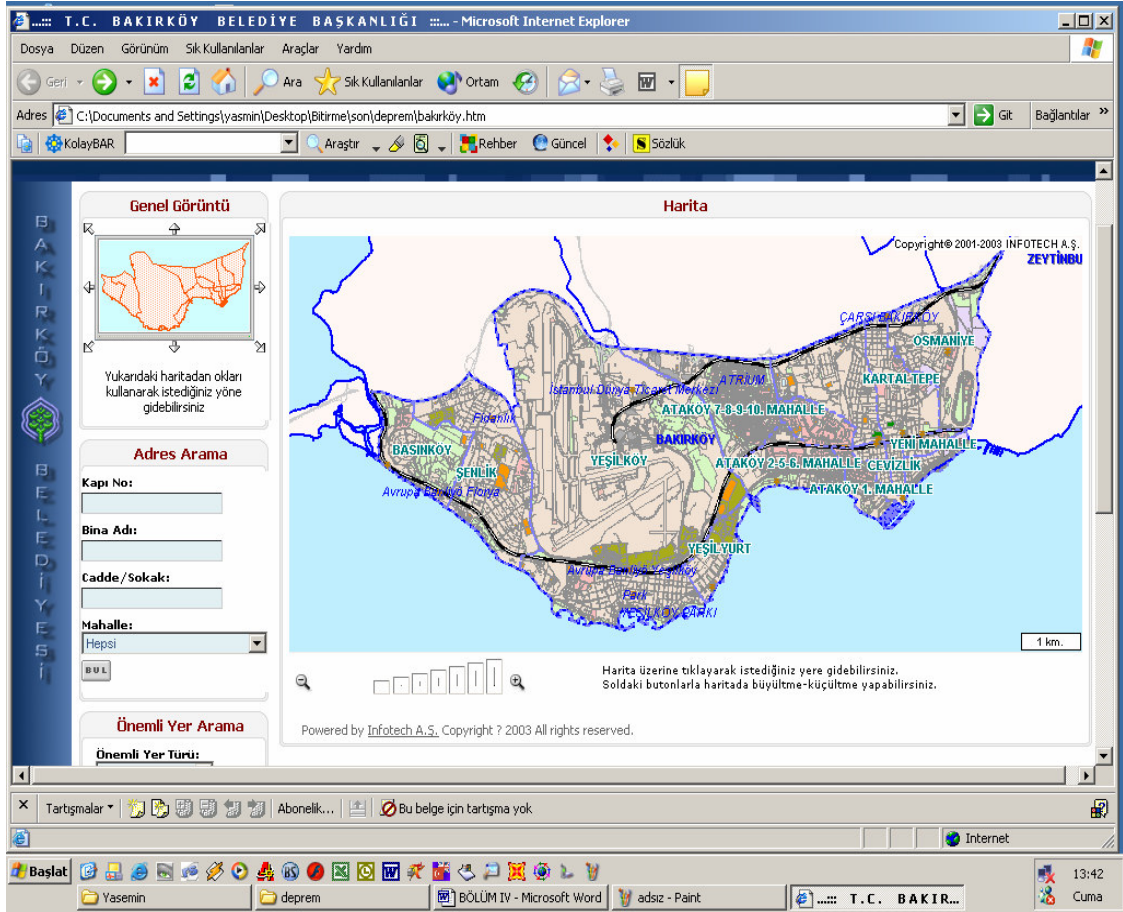
Kent bilgi sistemi kapsamında bir çok bilgiye Eskişehir Büyükşehir Belediyesi web sayfasından ulaşılabilir. Bu anlamda bir çok projeyi tamamlamış olan Eskişehir Büyükşehir Belediyesi web sayfasıyla şehrin tüm bilgilerini sunmaktadır. Şekil 2.2 de CBS'den yararlanılarak oluşturulan kent bilgi sistemi görülmektedir. Oluşturulan bu kent bilgi sisteminde hastaneler, sağlık ocakları, okullar, polis merkezleri, eczaneler, bankalar, camiler, postaneler, noterler, mahalle muhtarlıkları, oteller ve öğrenci yurtları sayısal ortama aktarılmıştır.



Şekil 2.2 Kent Bilgi Sistemi (Eskişehir Büyükşehir Belediyesi web sitesi)

2.6.3 Bakırköy Belediyesi (İstanbul) Kent Rehberi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'nin kullanımı

Bu proje Bakırköy Belediyesi bünyesinde yürütülmektedir. Bu proje ile; kaçak yapılaşmanın kontrolü, hizmetlerin daha verimli, daha hızlı ve daha az maliyetle sunulması, imar durumlarının, yapı ruhsatlarının ve yapı kullanma izinlerinin bilgisayardan verilmesi, kente ait bilgilerin ve imar durumlarının merkeze bağlanabilecek her bilgisayardan görülebilmesi, tapu ve kadastro bilgilerinin kolay ve doğru kullanılır olması, kurumlar arasında daha sağlıklı ve yaygın bilgi alışverişi, belediye hizmetlerini tanımak, izlemek, anlamak, planlamak, yönetmek, yönlendirmek ve kontrol altında tutmak hedeflenmektedir (Şekil 2.3). KBS' nin kullanılmaya başlamasıyla belediye hizmetleri hızlanmış ve vatandaşlar internet aracılığıyla işlemlerini daha rahat kontrol etmeye başlamışlardır.

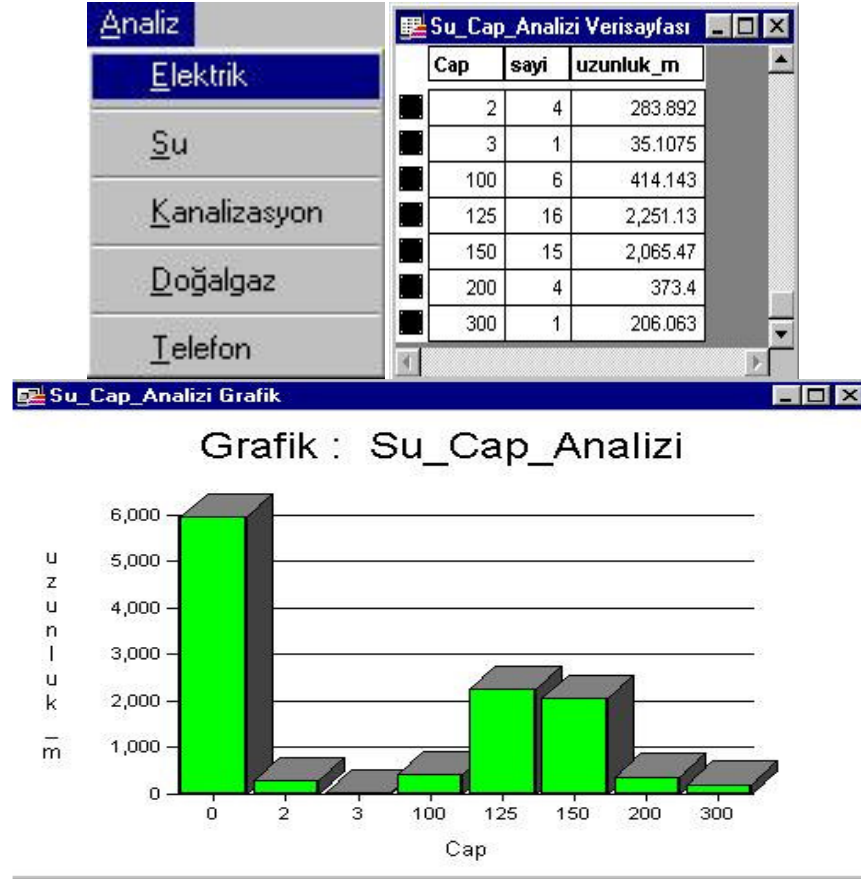


Şekil 2.3 Bakırköy Kent Bilgi Sistemi (İstanbul Bakırköy Belediyesi web sitesi)

2.6.4 Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Kampüs Bilgi Sisteminin CBS ile Oluşturulması

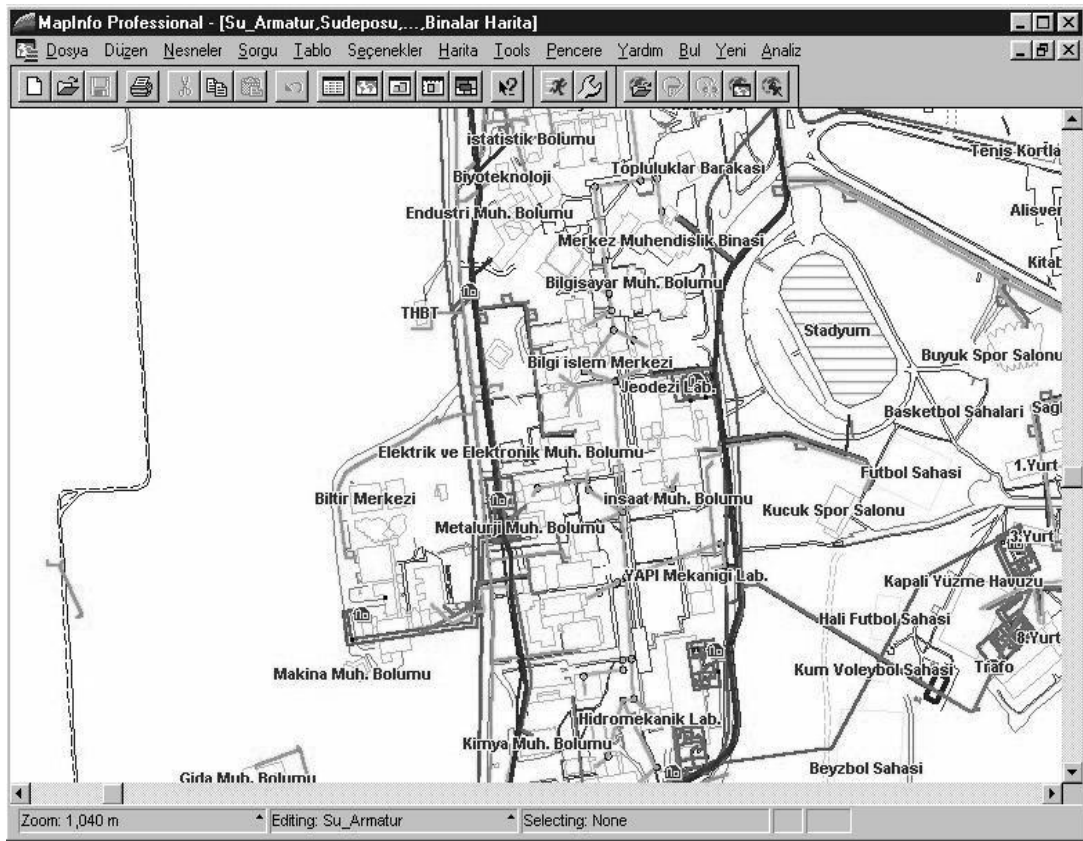
ODTÜ Altyapı bilgi sistemi çerçevesinde kampüs içerisinde bulunan su, kanalizasyon, doğalgaz, ısı, elektrik, telefon vb altyapı haritalarının ayrı ayrı katmanlar halinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamına geçirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda dört farklı işlem yapılmıştır. Ankara Büyükşehir Belediyesinin halihazır haritaları baz alınmış ve ülke koordinat sistemindeki haritalar aynen alınmıştır. Sayısal CAD haritalar 1/1000 ölçekli halihazır haritaların üzerine oturtulmuştur (taşınma ve döndürme işlemleri yapılmıştır). Kağıt paftalar üzerinde çizili bilgiler taranarak ekran üzerinden sayısallaştırılmıştır. Haritası bulunmayan veya güncel olmayan bilgiler arazide çalışma yöntemiyle oluşturulmuştur. Oluşturulan verilere varolan öznetelik bilgileri eklenmiştir. Böylece sistem üzerinde sorgulama (ara-bul), raporlama, analiz imkanları oluşturulmuştur (Şekil 2.4). Sisteme yeni veri girişi (güncelleme) için arayüz

programları yazılmıştır. Güncelleme işlemlerini daha etkili ve doğru yapabilmek için GPS kullanılması düşünülmektedir (Usul ve Dabanlı 1999).



Şekil 2.4 CBS ile oluşturulan analiz ve raporlama araçlarından bazıları (Usul ve Dabanlı 1999)

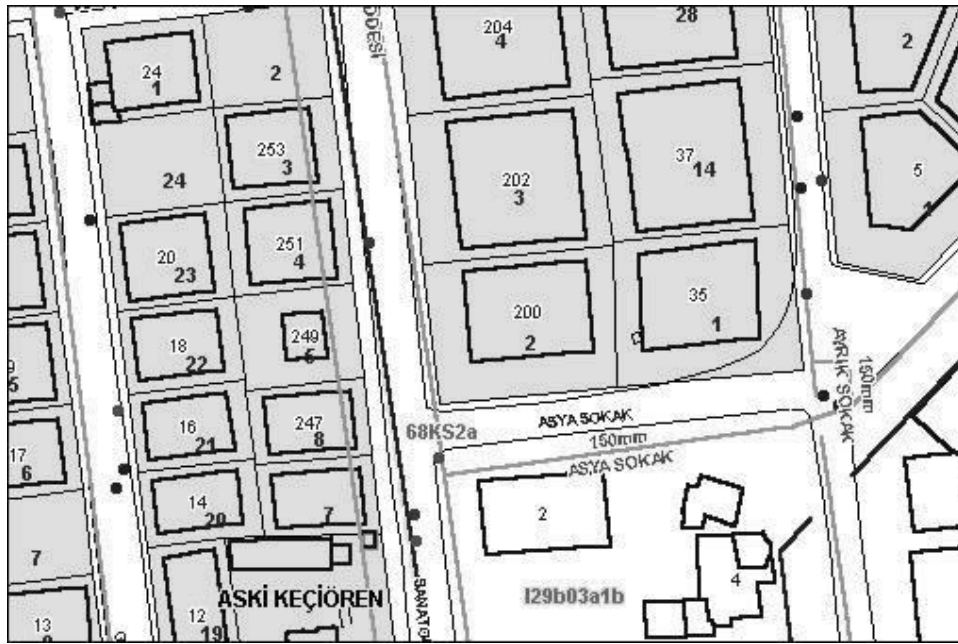
ODTÜ Altyapı sisteminin en büyük avantajlarından birisi, hiç şüphesiz kampüs içi yeraltı galeri sistemidir. Altyapı servisleri bu galeri sisteminde olduğundan işletmesi kolay bir sistemdir. Galeri dışındaki servis hatlarında ise hattın geçtiği gerçek konumu bulmakta zaman zaman problemlerle karşılaşmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 ODTÜ Altyapı Bilgi Sistemi menüsü ve katmanları (Usul ve Dabanlı 1999)

2.6.5 Ankara Su ve Kanalizasyon Dairesi (ASKİ) Altyapı Bilgi Sistemleri (AYBİS) projesi ve CBS'nin kullanımı

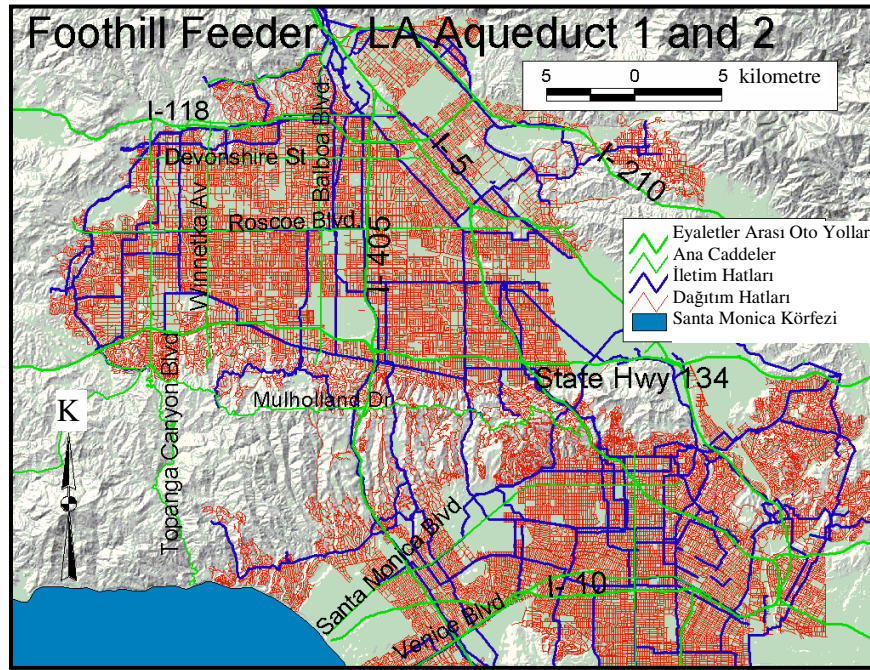
1995 yılında Ankara Büyükşehir Belediyesi 1/1000 ölçekli halihazır haritalarının üretilmesi Ankara Kent Bilgi Siteminin oluşturulması için en büyük fırsat olmuştur. 1998 yılı Şubat ayında 4300 adet sayısal halihazır CAD harita üretilip Belediye'ye teslim edilmiştir. Ankara Su ve Kanalizasyon Dairesi (ASKİ) Altyapı Bilgi Sistemleri (AYBİS) biriminde veriler; öncelikle ayıklanmış, sınıflandırılmış, birleştirilmiş, kenarlaştırılmış ve merkezi bir sunucu üzerinde tüm kurum içinde kullanılabilir hale getirilmiştir. Daha sonra Ankara su şebekesi ve tesislere ait haritalar oluşturulan bir altlık üzerinde birleştirilmiştir. Oluşturulan altlık katmanlar kısaca; pafta indeksi, mahalle-ilçe sınırları, sokaklar, yol çizgileri, binalar, dereler, rögar kapakları, okullar, camiler, hastaneler vb. gibidir. Öncelikle tüm Ankara üzerinde ara-bul fonksiyonları yazılmış, mahalle, sokak/cadde/site, 1/1000 ölçekli pafta ve koordinat bulmaya yönelik arayüzler tamamlanmıştır. Böylece Ankara'ya ait 8 ilçe, 400 mahalle, 4300 pafta, 20 bin üzerinde sokak 2 sn. altında bulunabilir hale getirilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Ankara KBS altlığı. İmar Adaları, binalar, bina numaraları, parsel numaraları, halihazır pafta no, imar pafta no, sokak isimleri, su şebekesi, vs. (Usul ve Dabanlı 1999)

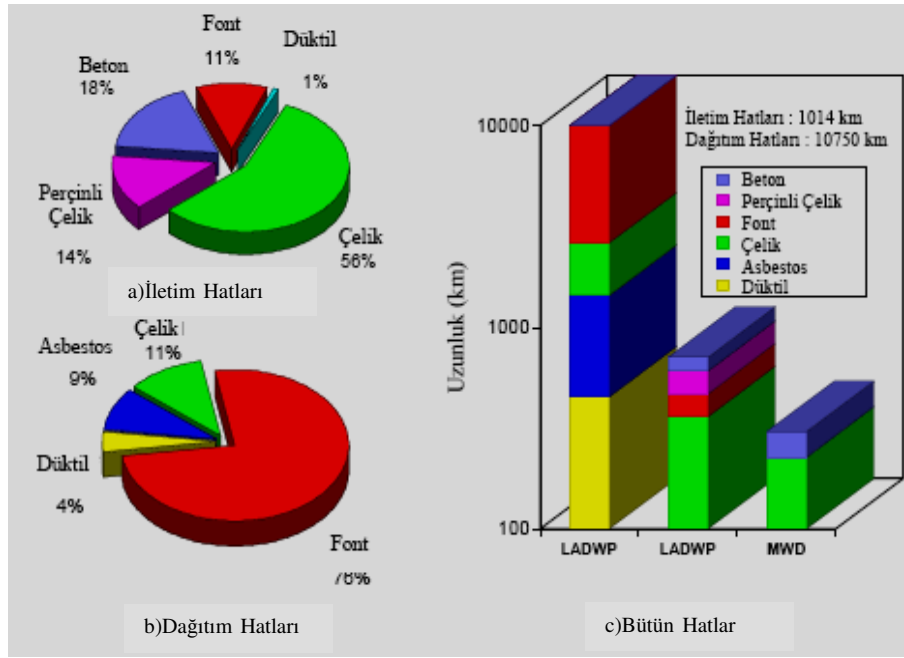
2.6.6 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile su iletim ve dağıtım sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesi

1994 Northridge depremi, 1906 San Fransisco depreminden sonra A.B.D.'de bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. Los Angeles şehri içme suyu arıtma tesislerine kuzeyden su getiren Aqueduct 1, Aqueduct 2 ve Foothill Feeder adlı üç ana iletim hattı şehrin içme suyu ihtiyacının % 75'inden fazlasını sağlamaktadır. Deprem sonucunda iletim hatlarında zararlar meydana gelmiştir. Los Angeles Su ve Elektrik İdare'sine (LADWP) ve Metropolitan Su Kuruluşu'na (MWD) ait suyu şehir içerisine ulaştıran iletim borularında (boru çapı ≥ 600 mm) 74 noktada ve LADWP dağıtım şebekesi borularında (boru çapı < 600 mm) 1013 noktada onarım gerekmiştir (Toprak 2004).



Şekil 2.7 Los Angeles şehri su şebekesi haritası (Toprak 2004)

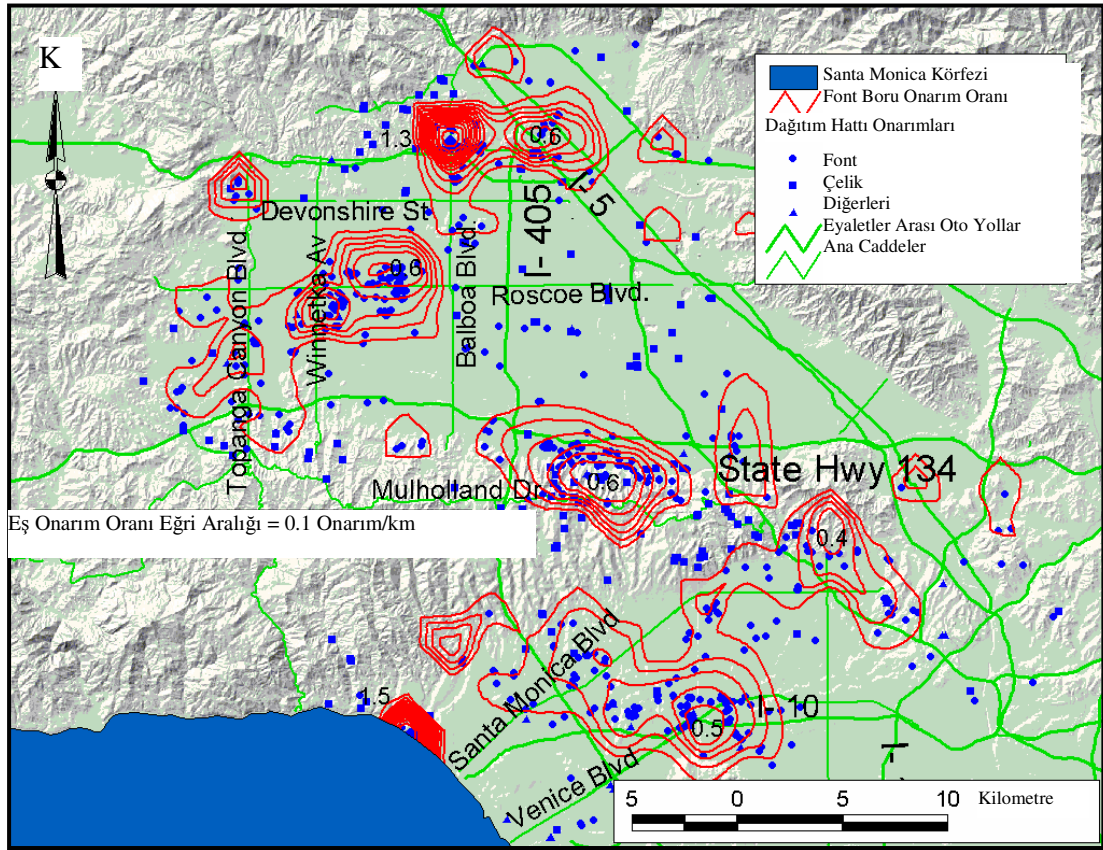
Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak değerlendirmelerin yapılabilmesi için öncelikle alt yapı sistemleriyle ilgili bilgilerin sayısallaştırılması gerekmektedir. Los Angeles'taki borularda depremin meydana getirdiği zararlar ve bu zararları karakterize etmek ve incelemek için oluşturulan veri tabanına Toprak (1998), O'Rourke vd. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarından ulaşmak mümkündür. Los Angeles şehri için yapılan bu çalışmada boru onarım yerleri, iletim ve dağıtım borularının cins ve boyut özellikleri CBS veri tabanı olarak ARC/INFO yazılımı ile hazırlanmıştır. Yaklaşık olarak 11000 km dağıtım hattı ve 1000 km iletim hattı sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 2.7). Şekil 2.8'de Los Angeles şehri su iletim ve dağıtım hatlarının bileşimi gösterilmektedir. Dağıtım hatlarının %76'sı font borudan oluşmaktadır. Bu borular kırılğan özelliklere sahiptir ve ufak yer değiştirmelere karşı hassastır. O yüzden özellikle deprem dalgalarının etkisinin tespitinde kullanılmaya çok uygundur. Ayrıca dağıtım hatlarının çoğunluğunun bu boru cinsinden olması ve şehir içerisinde yaygın olarak dağılımı depremin etkilerinin incelenmesinde tercih edilmesini etkilemiştir (Toprak 2004).



Şekil 2.8 Los Angeles şehri su iletim ve dağıtım hatlarının boru cinsi ve uzunluğuna göre istatistik değerleri (O'Rourke ve Toprak 1997)

Şekil 2.9'de su dağıtım hatlarındaki onarım noktalarını ve font borular için eş onarım oranı eğrilerini harita üzerinde göstermektedir (O'Rourke ve Toprak 1997). Eş onarım oranı eğrilerini belirleyebilmek için harita 2x2 km boyutunda alanlara bölünmüş ve her alan içerisindeki font boru onarım sayısı tespit edilmiş ve bu sayı yine aynı alan içindeki toplam font boru uzunluğuna bölünmüştür. Bu şekilde elde edilen onarım oranı, boru hasarlarını belirtmede kullanılan yaygın bir terimdir. Bu değerler her alanın merkezindeki değer olarak kabul edilmiş ve interpolasyon uygulanarak eş onarım oranı eğrileri çizilmiştir.

Değişik alan ölçütleri denenmiş ve 2x2 km'lik ölçü, bu çalışma bölgesi ve harita ölçeği için en uygunu olarak tespit edilmiştir (Toprak vd 1999). Eş onarım oranı eğrilerinin en yoğun olduğu bölgeler dağıtım hatlarında oluşan hasarların en fazla olduğu yerleri göstermektedir.

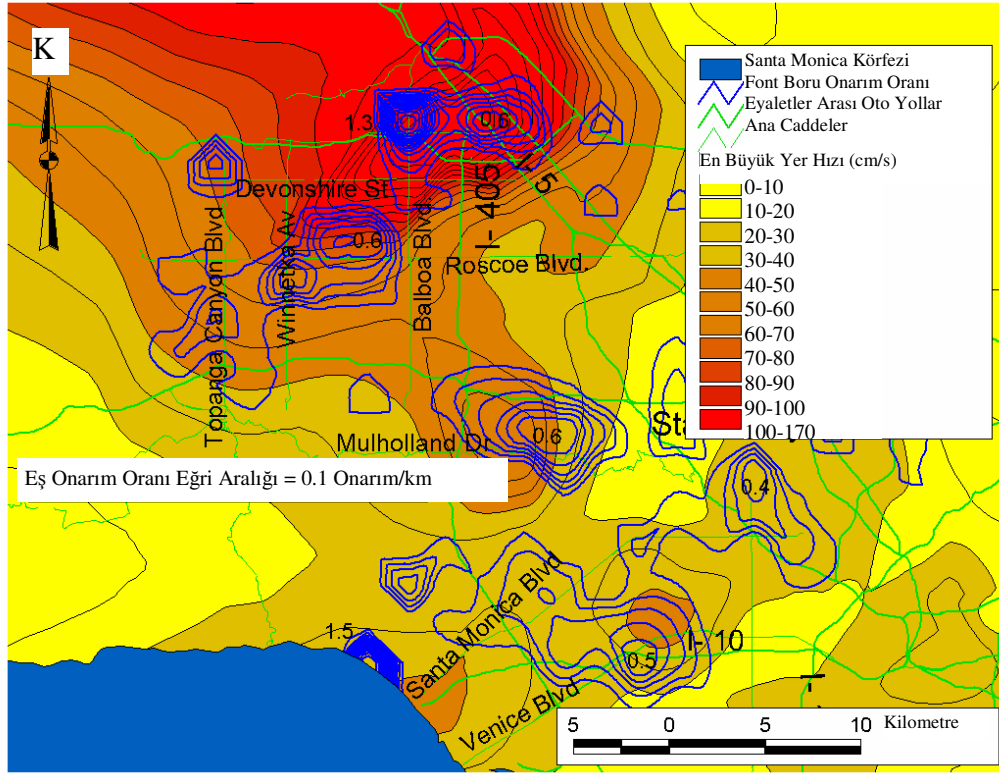


Şekil 2.9 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak 1997)

Boru hatlarında oluşan zararlar ile farklı deprem parametreleri arasında coğrafi etkileşimi tespit edebilmek için Los Angeles ve civarında kaydedilmiş 240 kuvvetli yer hareket ölçeri verileri kullanılmıştır.

Şekil 2.10 font boru eş onarım oranı eğrilerini en büyük yatay yer hızı (PGV) zonları üzerine bindirilmiş halde göstermektedir. PGV zonları kuvvetli yer hareketi ölçerlerinden elde edilen maksimum yer hızı değerlerinden interpolasyonla elde edilmiştir. CBS kullanarak her PGV zonu içindeki boru onarım sayısı ve boru uzunluğu hesaplanarak zona karşılık gelen onarım oranı hesaplanmıştır. Her zon içerisindeki boru hattı uzunluğunun sistemdeki toplam font boru uzunluğunun yaklaşık % 2'inden az olmaması bir eleme kriteri olarak kullanılmıştır. Bu oran her PGV zonu içerisindeki boru hattı uzunluğunun popülasyon istatistiğini uygun şekilde temsil edebilmesi için seçilmiştir.

Bu kriter sonucunda elenen zonlar aynı zamanda özellikle kalıcı yer hareketleri gözlenen bölgelere karşılık geldiğinden son veriler deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan hasarları temsil etmektedir (Toprak 2004). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bu tezin daha sonraki ünitelerinde ayrıntılı olarak açıklanmış ve kullanılmıştır.



Şekil 2.10 Boru hattı onarım oranı eğrileri ve Northridge depremi en büyük yer hızları (O'Rourke ve Toprak 1997)

3. DENİZLİ ŞEHİRİNİN JEOLJİSİ, DEPREMSELLİĞİ VE SU ŞEBEKESİ VERİ TABANI

3.1 Giriş

Ege bölgesinin doğusunda bulunan Denizli, birinci derece deprem bölgesindeki şehirlerimizden biridir. Batı Anadolu genişleme kuşağında normal faylarla sınırlı Gediz ve Menderes grabenlerinin kesiştiği bölgede yer almaktadır. Tarihi gelişimi içinde Denizli ve civarı büyük şiddetli pek çok depreme maruz kalmıştır (Altunel 2000).

Denizli’de su şebekesi 1953 yılında servise başlamış ve nüfusunun 1960 yıllarında 48.925’ten 2000 yıllarında 275.480’e ulaşmasına bağlı olarak büyümüştür. Uygun topoğrafyaya bağlı olarak birkaç yüksek bölge dışında şebeke cazibeden istifade etmektedir. Denizli şehir merkezinde kanalizasyon ve yağmur suyu drenaj sisteminin gelişimi de içme suyu şebekesine paralel olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında Denizli su iletim ve dağıtım şebekesi sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmıştır. Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç, bu sistemlerin elektronik ortamda envanterinin çıkarılmasıdır. İkinci amaç ise coğrafi bilgi sistemine girilen bu sistemlerin verilerini kullanarak çeşitli analizler yapmaktır. Bu analizler, sistemlerin deprem performanslarının değerlendirilmesi, gelecekteki bir depremde oluşabilecek hasarların tahmini, sistemlerde yapılacak değişik iyileştirmelerin deprem performansına etkilerinin ölçülmesi şeklinde olabileceği gibi deprem dışındaki konuları da kapsayabilmektedir.

Bu bölümde Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesi ve oluşturulan CBS veri tabanından bahsedilecektir. Oluşturulan bu veri tabanı ve veri tabanı kullanılarak elde edilen Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesinin karakteristik özellikleri şekil ve grafiklerle belirtilmiştir. Ayrıca inceleme alanının sismik aktivitesi ve bölgenin faylanma mekanizması açıklanarak inceleme alanının jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine de değinilmiştir.

3.2 İnceleme Alanının Depremselliği

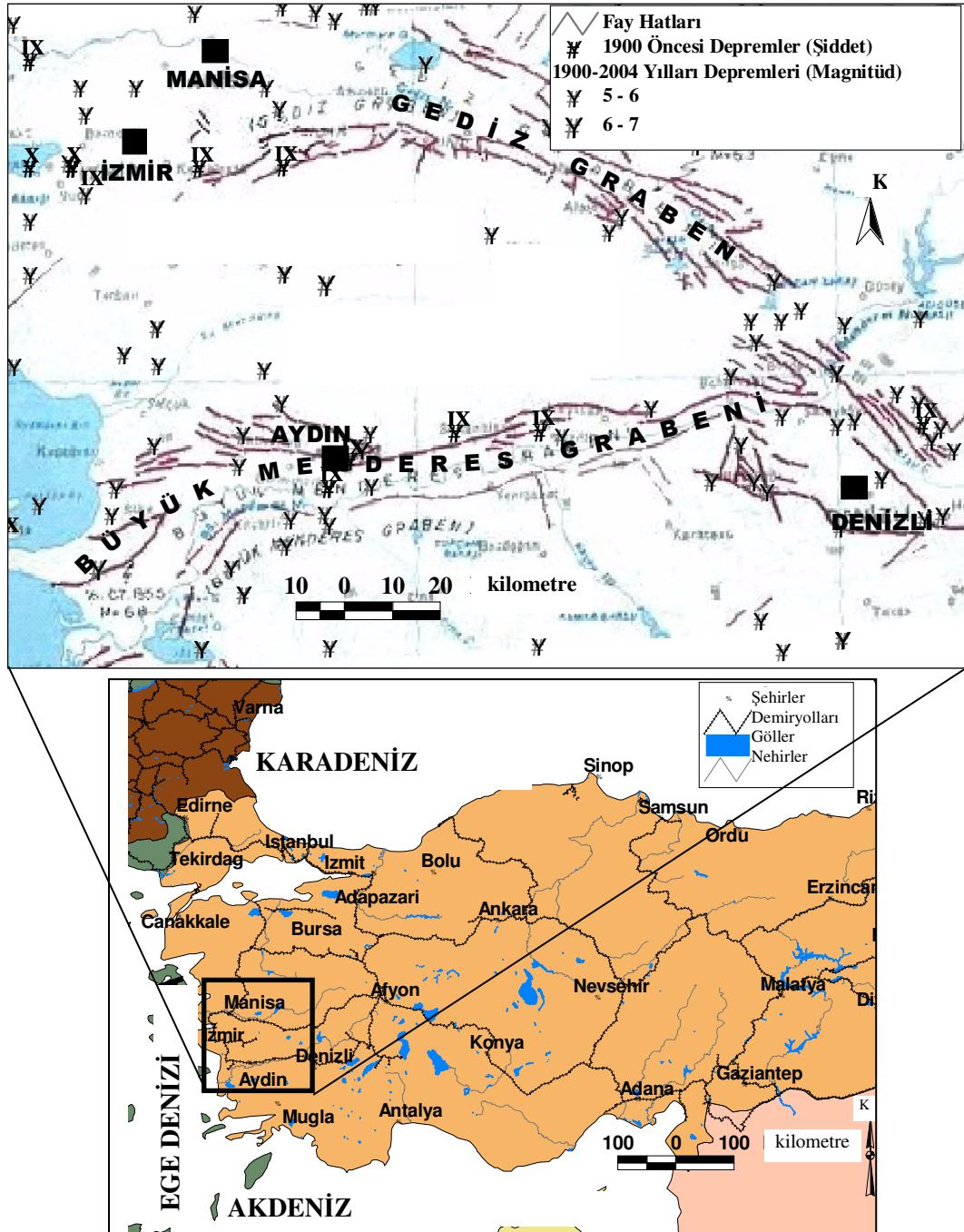
Denizli ili, Batı Anadolu genişleme kuşağında eğim atımlı normal faylarla sınırlı Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin kesiştiği bölgede yer almaktadır (Şekil 3.1). Havza kuzey ve güneyden normal faylarla sınırlanmıştır. Havza, sınır fayları ve bunlara az çok paralel birçok sintetik ve antitetik faylarla parçalanmıştır. Sınır fayları tek parça olmayıp, uzunlukları en fazla 13 km olan fay parçalarından (segmentlerinden) oluşmaktadır. Kuzeydeki fay parçaları Pamukkale'den itibaren Hierapolis, Akköy, ve Tripolis parçaları olarak adlandırılmıştır (Çakır 1999). Bu fay parçaları birbirine göre sıçrama yapmaktadırlar. Sıçrama zonlarının genişliği 1-2 km'dir. Açılma çatlakları sıçrama zonlarında yoğunlaşır. Sıçrama zonları aynı zamanda tercihli traverten oluşum alanlarıdır. Havza, KB-GD gidişli 'Karakova yükselimi' ile 2 alt bölüme ayrılmıştır. Havza içinde Neojen istifinin yükselmesi sonucu ortaya çıkan ve küçük çaplı bir horst olan Karakova yükselimi, her iki tarafından faylıdır (Çelik 2003).

Karakova yükselimi boyunca çok sayıda sintetik ve antitetik fay gözlenmiştir. Ayrıca Denizli il merkezi Karakova yükselimi ile güney sınır fayı (Babadağ fayı) arasında yer alır. Babadağ fayı doğuda Bağbaşı'ndan başlayıp, Servergazi, Şirinköy ve Göveçlik üzerinden batıda Babadağ'a kadar uzanır. Fayın güneydeki taban bloğunda Menderes metamorfileri, kuzeydeki tavan bloğu üzerinde ise Neojen ve Kuvaterner birimleri yer alır. Her ne kadar daha önce yapılan haritalarda fay tek bir çizgi olarak gösterilmiş ise de gerçekte havzanın kuzeyinde olduğu gibi farklı uzunluktaki parçalardan oluşmaktadır. Özpınar ve Gökgöz (1999), 1957'de Babadağ ilçe merkezinde 5.0 büyüklüğünde bir depremden söz etmişlerdir. Çalışılan alanda gelişmiş başlıca tektonik yapılar uyumsuzluklar, tabakalar ve faylardır.

Lykos (Çürüksu) Vadisi olarak adlandırılan Denizli Ovası birinci derecede deprem kuşağında olması nedeniyle tarihin her döneminde yıkıcı depremlere maruz kalmıştır. Bu nedenle antik dönemde yıkılan kentler sürekli imar edilmiştir. Denizli ilindeki tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarına bakıldığı zaman Hieropolis ve Laodekia gibi antik kentlerin yıkılmasına neden olan faylar üzerinde uzun süredir büyük bir depremin olmaması, bu fayların gelecekte orta-büyük magnitütlü deprem üretme olasılıklarının yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda Yenicekent-Karahayıt-Pamukkale arasında uzanan faylar sismik boşluk konumundadır. Bu bölgede oluşan depremler, çoğu kez aynı fay hattının değişik zamanlarda yeniden harekete geçmesinden kaynaklanır (Demirtaş vd 2003).

Şekil 3.1’de 1900 yılından önce bölgede meydana gelen tarihsel depremler maksimum şiddet değerleriyle ve 1900-2004 yılları arasında meydana gelen ve büyüklüğü $M5$ ’den fazla olan depremler verilmiştir. Veriler Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi (KOERI) web sayfası 2005)’nden alınmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi IX ve X şiddetinde pek çok tarihi deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden bazıları Denizli çevresinde meydana gelmiş ve ağır hasarlar meydana getirmiştir. Altunel (2000) bu tarihi depremleri ve bunların Denizli şehrine olan zararını yayınında özetlemiştir. Denizli ve çevresinde, 1900-2003 yılları arasında büyüklükleri $M \geq 4$ olan toplam 481 deprem meydana gelmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde 1900 yılı ve sonrasında, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü verileri değerlendirildiğinde, hasar yapıcı depremlerin meydana geldiği görülmektedir. Tablo 3.1 büyüklüğü $M4.5$ ve üzeri olan depremleri göstermektedir.

Şekil 3.2’de ise 2003 yılından günümüze kadar Denizli’de meydana gelen magnitüdüleri $M \geq 3$ olan depremlere ait Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi verileri görülmektedir.

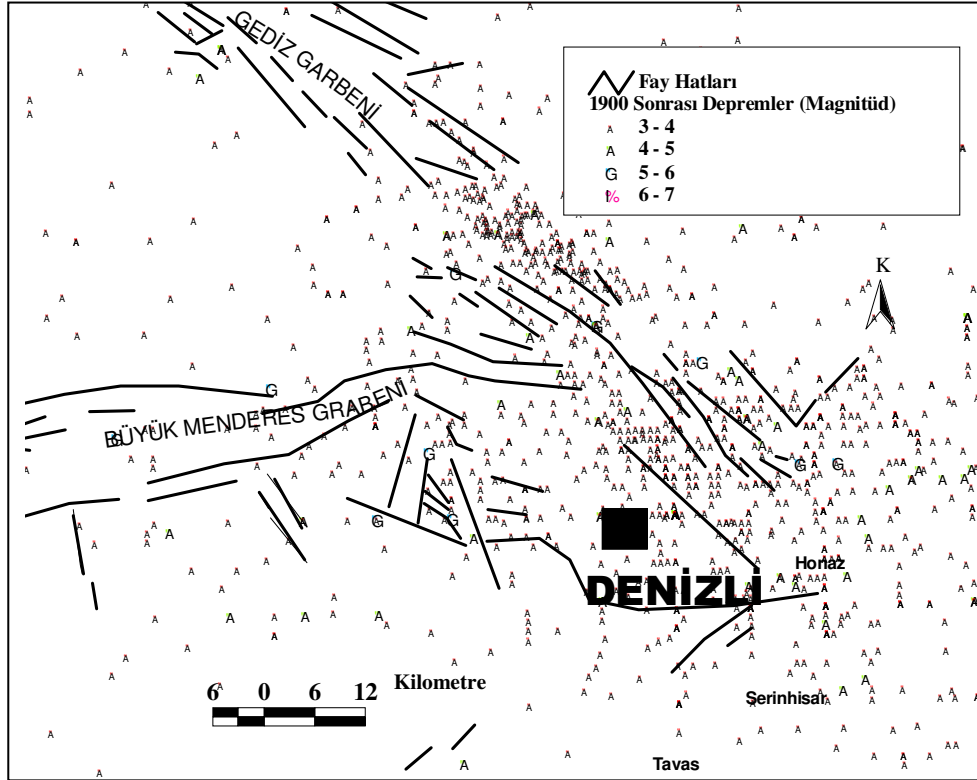


Şekil 3.1 Denizli ve civarında meydana gelen depremler ve fay hatları (Toprak vd 2004)

Denizli civarını içeren Büyük Menderes Çöküntüsü'nde en büyük deprem ($M=6.9$) 1899 yılında olmuş ve bu deprem sonucunda 50 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuştur (Altunel 2000). Deprem sonrası Aydın ve Denizli illerinde ağır hasar meydana gelmiş ve 1117 kişi ölmüştür (Altunel 2000). Bu civarda yaklaşık 100 yıldır bu büyüklükte bir deprem olmamıştır.

Tablo 3.1 Denizli’de 1900 yılı ve sonrası meydana gelen aletsel büyüklüğü 4.5 ve üzerindeki depremler ve etkileri (Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi ve Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü verilerine göre)

Tarih	Aletsel Büyüklüğü (Magnitüdü)	Yer	Can Kaybı	Hasarlı Bina
20.9.1900	5	Denizli	---	Tesbit edilemedi
20.11.1922	4,8	Denizli	---	Tesbit edilemedi
11.9.1923	4,9	Denizli	---	Tesbit edilemedi
7.8.1925	5,9	Denizli	---	Tesbit edilemedi
8.5.1929	4,6	Denizli	---	Tesbit edilemedi
17.9.1933	5,7	Çivril	20	200
10.8.1948	5,1	Denizli	---	Tesbit edilemedi
21.6.1961	5,4	Denizli	---	54
11.3.1963	5,5	Denizli	14	488
13.6.1965	5,7	Honaz	14	Tesbit edilemedi
17.6.1965	4,5	Denizli	---	Tesbit edilemedi
2.12.1965	4,6	Denizli	---	Tesbit edilemedi
29.3.1966	4,9	Denizli	---	Tesbit edilemedi
19.7.1967	4,9	Denizli	---	Tesbit edilemedi
25.7.1967	4,5	Denizli	---	Tesbit edilemedi
13.11.1967	4,5	Denizli	---	Tesbit edilemedi
28.3.1970	4,8	Denizli	---	Tesbit edilemedi
20.2.1971	4,5	Denizli	---	Tesbit edilemedi
19.8.1976	4,9	Denizli	4	3200
24.2.1989	4,8	Honaz	---	11
18.7.1990	5,2	Çameli	---	Tesbit edilemedi
18.8.1995	4,9	Kaklık	---	142
21.4.2000	5,2	Honaz	yok	Yok
4.10.2000	4,7	Denizli	yok	Yok
30.6.2002	4,2	Denizli	---	Tesbit edilemedi
23.7.2003	5,3	Buldan	---	Tesbit edilemedi
26.7.2003	5,1	Buldan	---	Tesbit edilemedi
26.7.2003	5,6	Buldan	---	Tesbit edilemedi
26.7.2003	5	Buldan	---	Tesbit edilemedi



Şekil 3.2 2003 yılından günümüze kadar Denizli’de meydana gelen magnitüdüleri $M_w \geq 3$ olan depremler

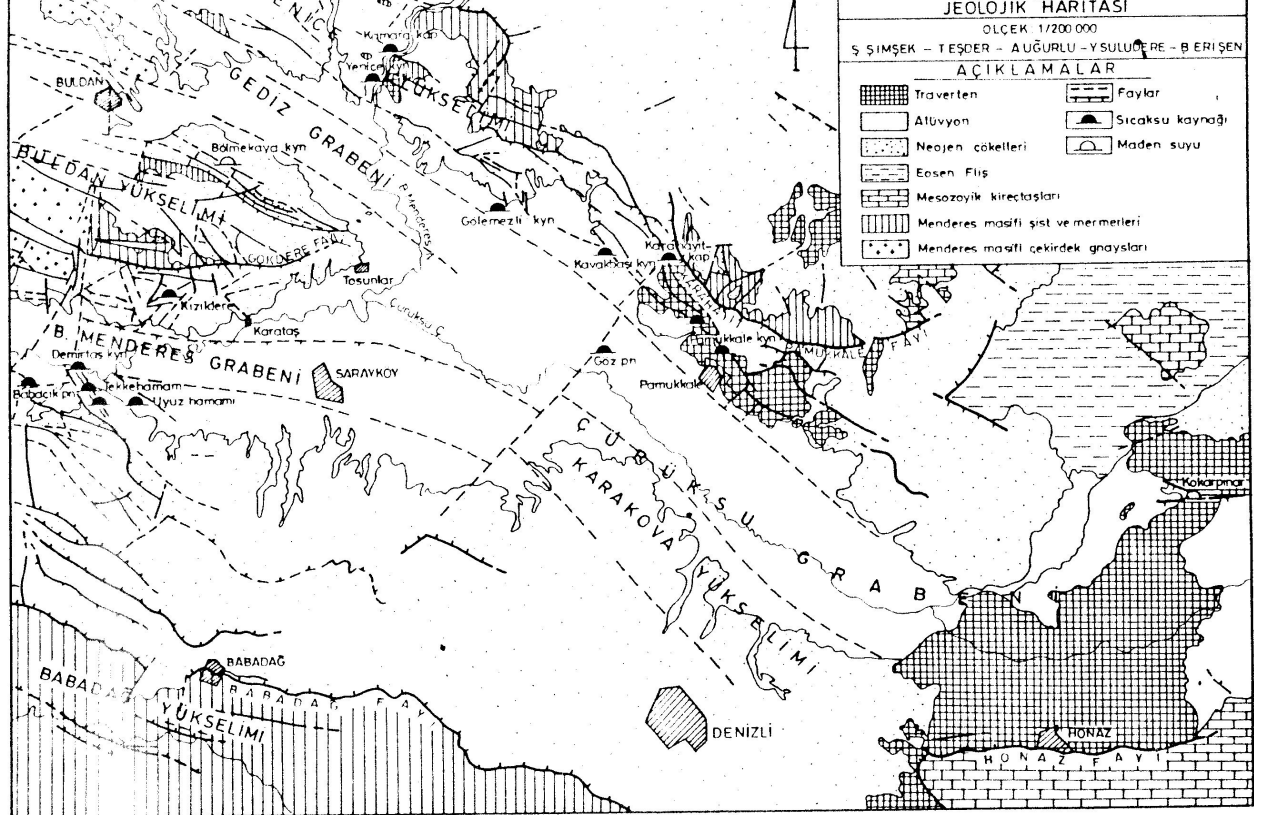
Denizli ve yakın civarında 1933 Çal ($M_s=5.8$), 1963 Buldan ($M_s=5.6$), 1965 Honaz ($M=5.7$), 1976 Denizli ($M_s=5.0$), 21 Nisan 2000 Denizli- Honaz ($M=5.2$) depremleri ve 22-31 Temmuz 2003 Sarıgöl-Buldan-Yenicekent Depremleri olmuştur. 1965 Honaz depreminde 14 kişi ölmüş, 217 kişi yaralanmış ve bir çok yapı hasar görmüştür. 1976 depreminde de 4 kişi hayatını kaybetmiş, 28 kişi yaralanmış ve 3200 yapı hasar görmüştür (Maden Tetkik Arama (MTA) web sayfası 2004). 21 Nisan 2000 Denizli-Honaz depremini izleyen 6 aylık dönemde büyüklükleri 3.0 ile 5.2 arasında değişen toplam 160 deprem olmuştur. Bu depremden yaklaşık 3 yıl sonra; Sarıgöl-Buldan-Yenicekent arasında, 23 Temmuz 2003 günü $M_d=5.3$ ve 26 Temmuz 2003 günü $M_d=5.1$, $M_d=5.5$ ve $M_d=5.0$ büyüklüklerinde 4 ayrı deprem olmuştur. 22-31 Temmuz 2003 tarihleri arasında büyüklükleri 2.5 ile 4.1 arasında değişen toplam 440 deprem kaydedilmiştir (Demirtaş vd 2003).

2000 yılında meydana gelen depremlerin odak merkezleri genellikle Denizli Havzası içindedir. Bu da göstermektedir ki Denizli havzası ve çevresi olası bir yıkıcı deprem meydana gelmesi durumunda yerleşim alanları bu depremden çok fazla etkilenecektir. Aydan vd (2001a) tarafından yapılan çalışmada GPS (uydu bazlı radyo navigasyon sistemi) verilerini kullanarak geliştirilen matematiksel yöntemle Denizli havzasında önemli gerilim hızı yoğunlaşmalarının olduğu belirtilmiştir.

Deprem episantırlarının dağılımı bölgedeki diri ve olası diri fayların önemli bir kanıtıdır (Şekil 3.2). Deprem episantırlarının en yoğun olduğu bölgeler, Büyük Menderes ve Gediz çöküntü alanları, Gediz ve Büyük Menderes faylarının kesiştiği bölge, Çürüksü çöküntü alanı, Pamukkale-Karahayıt fayı, Honaz-Karateke fayı, Denizli il merkezi güneyindeki Babadağ fayı, Çivril ve Acıgöl fayları, Dinar fayı, Çameli-Göhlisar fayları ve Burdur-Yeşilova'nın bulunduğu bölgelerdir. Belirtilen bölgelerde tarih boyunca yıkıcı depremler olmuştur ("Pamukkale Koruma Geliştirme Projesi Danışmanlık-Denetim Hizmetleri I. Ara Raporu" PAÜ, 2002). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezinden alınan 1900-2005 verileri bölgenin depremsellik açısından aktif olduğunu göstermektedir.

Aydan vd (2001a) Türkiye'deki geçmiş deprem verilerini ve GPS ölçümlerini kullanarak yaptığı değerlendirmelerde, Denizli civarında 6.3 büyüklüğünde bir depremin olabileceğini tahmin etmektedir. Ancak, Aydan vd (2001b) Denizli çevresinde depremlerin oluş sıklığı ile magnitüd ilişkisine bakarak 6 ile 7.2 büyüklükleri arasındaki depremlerin değişik sürelerde oluşabileceğini belirtmiştir. Şekil 3.3'de Çürüksü Denizli dolayının 1/100 000'likten derlenmiş jeolojik haritası görülmektedir (Eşder 1994).

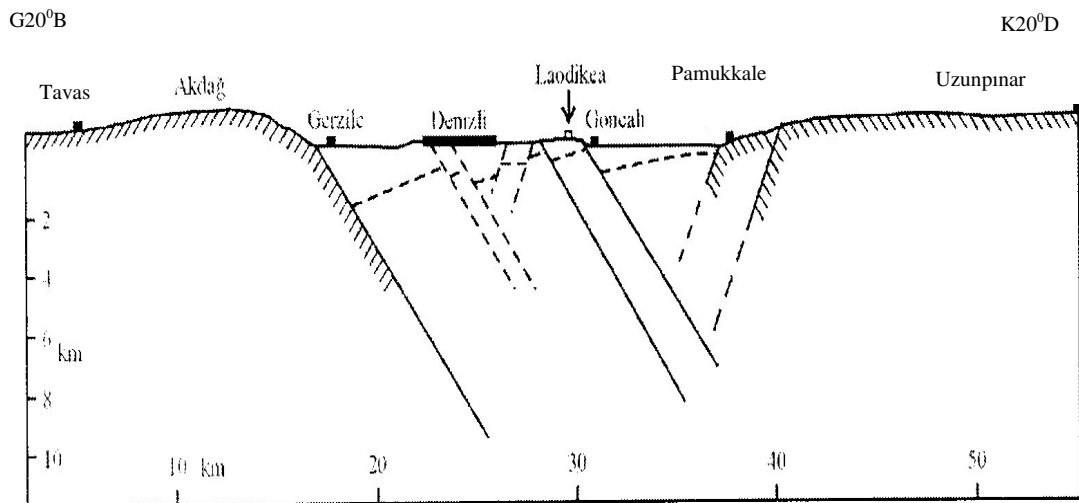
Bu çalışmada tüm bu veriler ışığında; Denizli havzası içinde "Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri" adlı projede (PAÜ 2002)'de sismik aktifliği belirtilen ve sismik tehlike yaratabilecek faylardan Pamukkale Fayı ile Karakova-Akhan Fayı dikkate alınmış ve Denizli su iletim ve dağıtım şebekesinin deprem performansı ve şebekede meydana gelebilecek hasar tahminlerinde M6, M6.3, M6.5, ve M7 büyüklüklerinde oluşması muhtemel deprem senaryoları kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Çürüksu Denizli dolayının 1/100 000'lıktan derlenmiş jeolojik haritası (Eşder 1994)

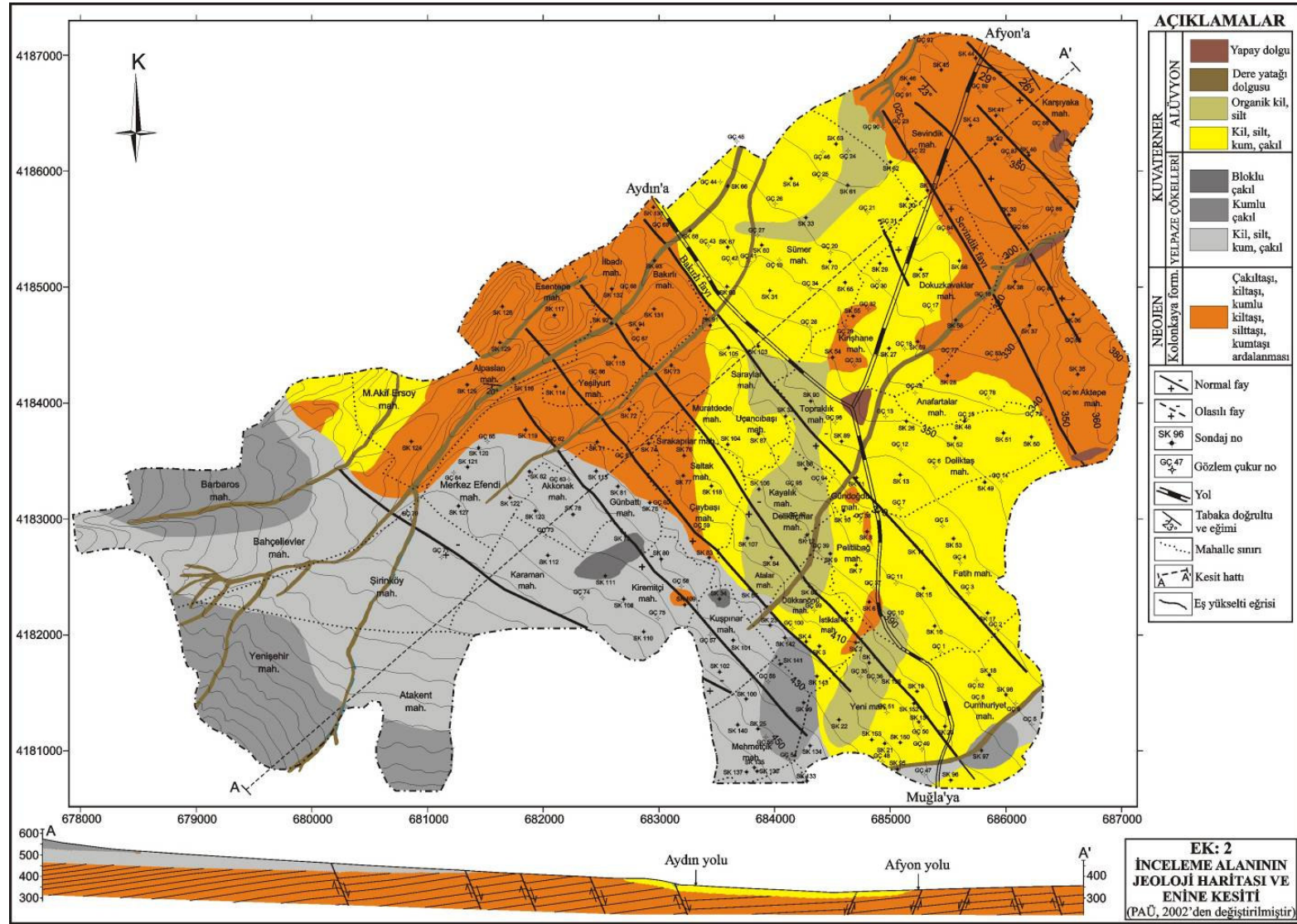
3.3 İnceleme Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri

“Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri” adlı projede, (PAÜ 2002) Denizli belediyesi yerleşim alanları içinde görülen birimler, arazi çalışmaları, sondajlar ve gözlem çukurlarında yapılan inceleme sonunda, Neojen çökelleri ve Kuvaterner çökelleri olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmıştır. Neojen birimleri, herhangi bir üye ayrımı yapılmaksızın Kolonkaya formasyonu dahilinde düşünülmüştür. Kuvaterner birimleri ise alüvyon ve yelpaze çökellerinden oluşmaktadır. Şekil 3.4’de Denizli havzasının şematik enine kesiti Westeway (1993) tarafından yapılmış bir model ile belirtilmiştir (Westeway 1993 ve Topal 2003). Şekil 3.5’de ise Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının jeoloji haritası ve enine kesiti verilmiştir (Çelik 2003).



Şekil 3.4 Denizli havzasını şematik enine kesiti (Westeway 1993 ve Topal 2003)

Denizli ili yerleşim alanlarında, üzerinde yerleşimlerin olduğu Neojen tortulları havza genelindeki istifin en üst seviyeleri ile temsil olunur. İstif Üst Miyosen (Ponsiyen) yaşlıdır (Taner 2001). Denizli ili yerleşim alanları dahilinde kuzeydoğuda, Sevindik, Karşıyaka, Aktepe mahalleleri, Dokuzkavaklar mahallesi doğusunda, şehrin orta-batı kesimlerinde de Esentepe, İlbadı, Bakırlı, Alpaslan, Yeşilyurt mahallelerinde ve Sırakapılar mahallesinin batısında gözlenir (PAÜ 2002).



Şekil 3.5 İnceleme alanının jeoloji haritası ve enine kesiti (Çelik 2003)

Denizli ili yerleşim alanı sınırları içinde kalan Neojen tortulları başlıca; killi-siltli kumtaşı, kumlu kıltaşı, siltli-kumlu çakıltaşı ve çakıltaşı birimlerinden oluşmaktadır (PAÜ 2002).

Denizli Belediyesi mücavir alanı içinde kalan ve alüvyon, alüvyon yelpazesi, doğal dere yatağı dolguları ve yapay dolgulardan oluşan genç Kuvaterner tortulları kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutunda ince ve kaba bileşenlerden meydana gelmiştir.

PAÜ (2002) tarafından yapılan çalışmada, inceleme alanında Neojen yaşlı gölsel çökeller geniş bir yayılıma sahiptir. Bu birimin çakıllı ve kumlu seviyeleri akifer özellik göstermektedir. Ancak göl ve akarsu ortamında depolanmış olduklarından yanal ve düşey yönlerde killi ve siltli birimler ile geçişli olup, devamlılığı fazla olmayan, düzensiz yığılımlar halinde gözlenmektedirler. Ayrıca bölgede hüküm süren yoğun tektonizmanın neden olduğu faylar, geçirimli ve geçirimsiz birimleri karşı karşıya getirmiştir. Bu şekilde yanal ve düşey yönlerde geçirimli ve geçirimsiz birimlerin ardalanması bileşik bir hidrolik sistem meydana getirmiştir. İnceleme alanında alt akifer ve üst akifer olarak adlandırılan iki ayrı akifer belirlenmiştir.

Alt akifer, Miyosen'in geçirimli birimleri ile alüvyon yelpazesinden oluşmaktadır. Hidrolik olarak ilişkili olan bu birimler, yerel olarak basınçlı yada serbest özellik gösteren bir bileşik sistem oluşturur. Alt akifere inen ve çoğu artezyen özelliğindeki sondajların verimleri 0.013 ile 60 lt/sn arasında değişmektedir. Alüvyondan oluşan üst akiferde ise su seviyeleri 0 m ile 9.25 m arasındadır. Her iki akifer için yeraltı suyu akım yönü güneybatıdan kuzeydoğuya doğrudur. İnceleme alanının orta kesiminde gözlenen artezyen sahası ve kaynak çıkışları KKB-GGD doğrultulu bir dizi normal fayla ilişkili olarak gelişmiştir. Üst akiferdeki en yüksek yeraltı suyu seviyelerine de bu alanda rastlanmaktadır (PAÜ 2002).

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümü tarafından 2002 yılında hazırlanan "Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri" adlı proje çalışması sırasında Denizli Belediyesi yerleşim alanlarında açılan 155 adet zemin sondajının 62 adedinde ve 100 adet açılan gözlem

çukurunun 25 adedinde yer altı suyuna rastlanmıştır. Denizli il merkezi yer altı suyu bakımından oldukça zengin olup, su tablasının yüzeye yakın konumda bulunduğu alanlarda su tablası ile topoğrafyanın kesişmesi sonucu meydana gelen çok sayıda kaynak mevcuttur. Denizli il merkezinde yerleşimin yoğun olduğu kesimde yeraltı suyunun yüzeyden derinliği 10 m den daha azdır.

Gümüşler beldesinde de Neojen yaşlı gölssel çökeller geniş bir yayılıma sahiptir. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan Gümüşler Belediyesi (Denizli) Yerleşim Alanlarının Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı proje (PAÜ 2003) çalışmasında incelenen 26 adet sondaj kuyusunda; Mart 2003 tarihine ait yer altı su seviyeleri ölçülmüş ve tüm sondajlarda yer altı suyu derinliğinin (yüzeyden) 20 m den fazla olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca jeoteknik amaçlı açılan, en derini 11 m olan araştırma çukurları ve temel sondajlarının hiçbirinde yer altı suyuna rastlanmamıştır. Gümüşler beldesi topoğrafik olarak engebeli bir yapıya sahip olduğu için yer altı suyunun yüzeyden itibaren derinliği çok değişkendir.

3.4 Denizli Şehri Su İletim ve Dağıtım Şebekesinin Karakteristik Özellikleri

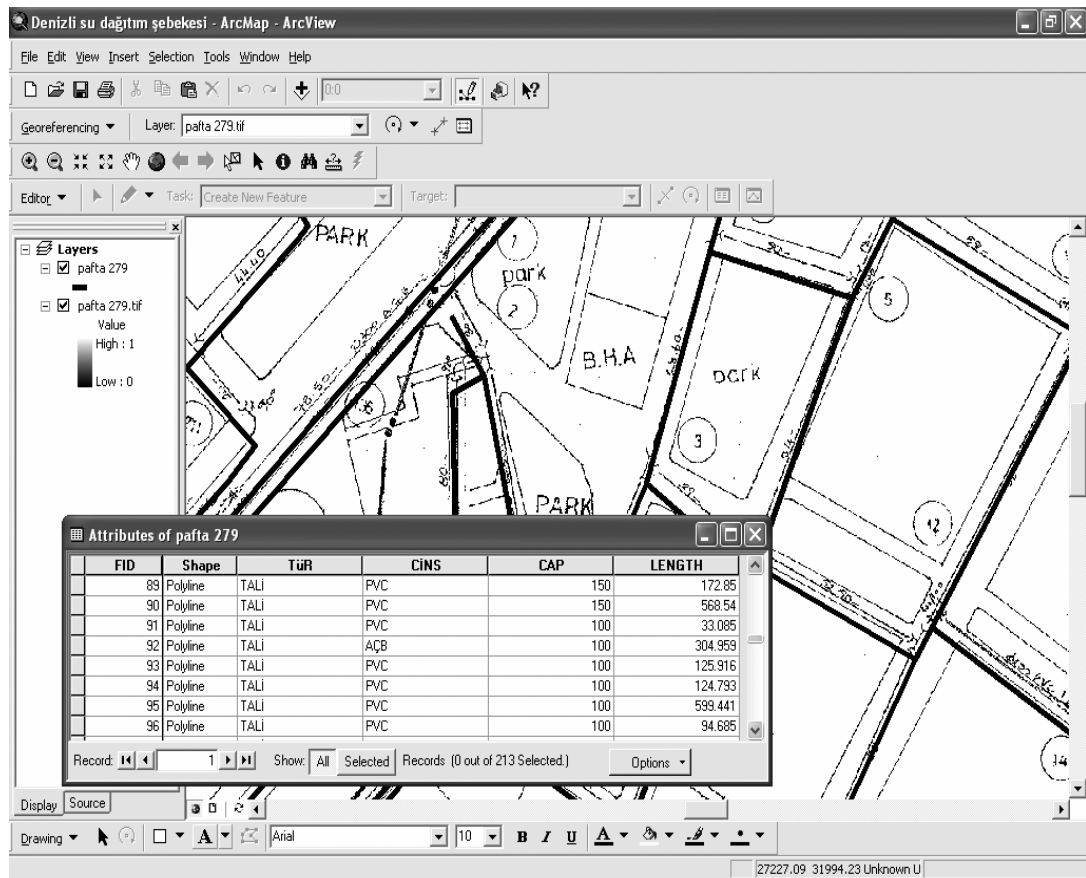
3.4.1 Veri tabanının oluşturulması

Denizli şehrinin su dağıtım sistemi projesinin paftalarının tamamı Denizli Belediyesi tarafından sağlanmıştır. Bunlar arasında 1993’de tüm Denizli şehrinin su temini sistemi için yapılan projenin paftaları ve daha eski paftalar bulunmaktadır. Daha eski tarihlere ait paftalar font boruları göstermektedir.

2003 yılına kadar Denizli Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü tarafından yapılan boru döşemelerini ve yenilemelerini gösteren çok sayıda çizim ve belge de Denizli Belediyesi’nden temin edilmiştir. Ayrıca Gümüşler ve Kınıklı belediyelerinden de su şebekelerini kapsayan çizim ve belgeler alınmıştır. Tüm bu veriler Denizli şehri su dağıtım sisteminin sayısal haritalarının ve veri tabanının hazırlanmasında kullanılmıştır.

Su dağıtım şebekesinin sayısal haritaları hazırlanırken ilk aşamada, PAÜ (2002) projesinde oluşturulan ve Denizli Belediyesi yerleşim alanlarını kapsayan altlık kullanılmıştır. Veri girişine Denizli belediyesine komşu belediyelerinde dahil edilmesiyle, Denizli Valiliği (Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü) İmar Afet İşleri Şube Müdürlüğü'nden alınan altlık kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra ise; Denizli, Gümüşler ve Kınıklı belediyelerinden alınan su şebekesi paftaları tarayıcıdan geçirilerek sayısal ortama aktarılmış gerekli koordinat dönüşümleri yapıldıktan sonra veri girişinde yararlanılmak üzere altlık olarak kullanılmaları uygun görülmüştür.

Veri giriş ve analiz safhalarında ESRI tarafından üretilen ArcGIS ve ArcView CBS programları kullanılmıştır. Şekil 3.6 veri giriş ekranını göstermektedir. Şekilde koyu renkli çizgiler girilmiş olan su şebekesi borularıdır. Şekilde gösterildiği gibi borularla birlikte boru cinsi ve türü gibi nitelik bilgileri de girilmektedir.



Şekil 3.6 Tatbikat projesi üzerinde su dağıtım şebekesi borularının çizilerek CBS veri tabanına aktarılması (Toprak vd 2005)

3.4.2 Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesi

Denizli’de su şebekesi 1953 yılında servise başlamış ve nüfusunun 1960 yıllarında 48.925’tan 2000 yıllarında 275.480’e ulaşmasına bağlı olarak büyümüştür. Uygun topoğrafyaya bağlı olarak birkaç yüksek bölge (Çamlık ve Yenişehir) dışında şebeke cazibeden istifade etmektedir. Denizli şehrine su 4 farklı kaynaktan sağlanmaktadır. Bunlar; Derindere kaynağı (250 litre/sn), Gökpınar kaynağı (1100 litre/sn), Benlipınar kaynağı (20 litre/sn) ve bir çok su kuyularıdır (400 litre/sn). Kaynaklar servis alanının dışında yer almaktadır, ancak su kuyuları servis alanının hem içinde hem de dışında bulunmaktadır. Su bu kaynaklardan su depolarına iletilmekte ve orada depolanmakta ve su dağıtım sistemine bu depolardan iletilmektedir. Bazı belediyeler aynı kaynaktan getirilen suyu paylaşmaktadırlar. Şekil 3.7 de Denizli şehir merkezinin güney doğusunda yaklaşık 11 km uzaklıktaki Gökpınar kaynağı görülmektedir.



Şekil 3.7 Gökpınar kaynağından gelen suyun tutulduğu gölet

Gökpınar kaynağından gelen su Şekil 3.7 de görülen gölette tutulmakta ve burada dinlendirildikten sonra klorlanıp şehir içindeki depolara büyük çaplı (600-1100 mm) borularla iletilmektedir. Şekil 3.8 de Gökpınar kaynağından gelen suyun tutulduğu gölet

ve klorlama ünitesi binası görülmektedir. Şekil 3.9 de ise klorlama binasının içi görülmektedir.

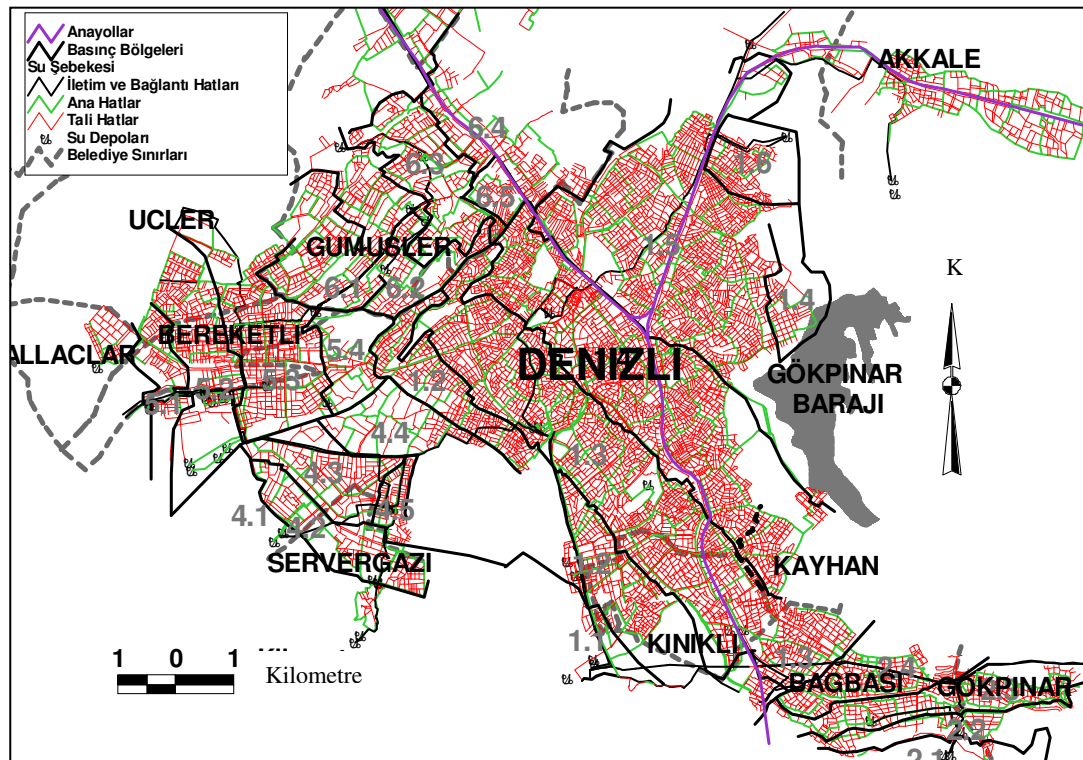


Şekil 3.8 Gökpınar göleti ve klorlama ünitesi binası



Şekil 3.9 Klorlama ünitesi binası

Denizli su şebekesi birbirinden bağımsız 7 ana basınç bölgesinden oluşmaktadır. Bu basınç bölgeleri 28 alt bölgeye bölünmektedir. Bu basınç zonları (bölgeleri) Şekil 3.10'da görülmektedir. Şebeke birbirinden bağımsız 7 ana basınç bölgesine ayrıldığından oluşabilecek hasarlar basınç bölgeleri içinde sınırlanabilmektedir. Şekil 3.10 Denizli şehri su şebekesini göstermektedir. Şekil 3.10'da suyu kaynaklarından şehre getiren iletim boruları, su depoları arası bağlantıyı sağlayan bağlantı boruları, suyu depolardan iletim hatlarına transfer eden ana hatlar, tali borular ve su depoları görülmektedir.

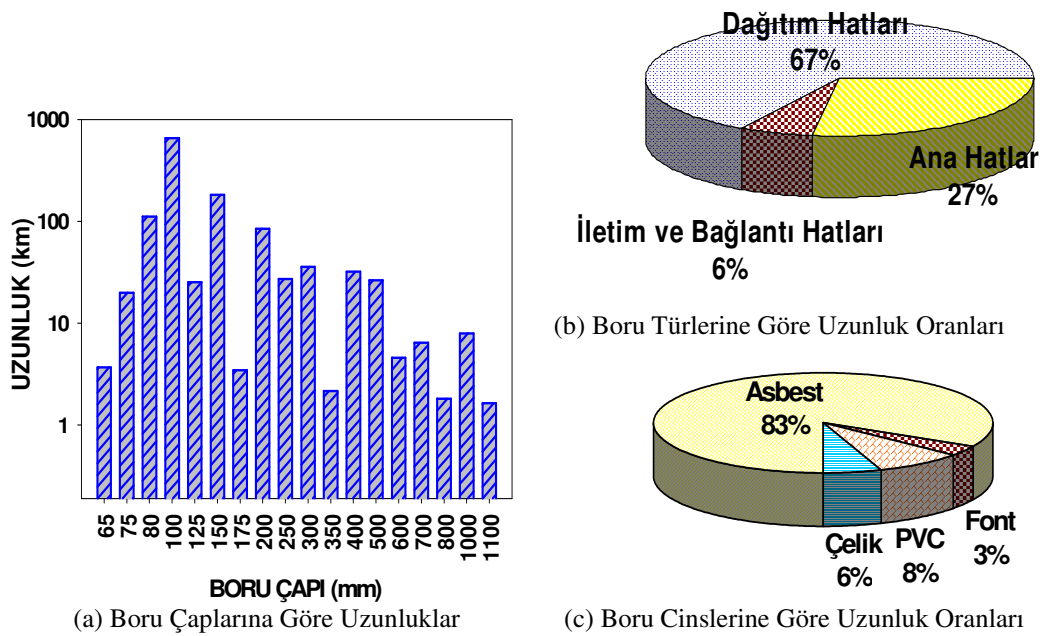


Şekil 3.10 Denizli su şebekesi haritası

Bu tez çalışmasında veri girişi iki aşamada yapılmıştır. İlk aşamada ana hatlar iletim ve bağlantı hatları bütün Denizli şehri için, tali borular ise Denizli ve Kınıklı belediyelerine ait alanlar için veri girişine dahil edilmiştir. İkinci aşamada ise, veri girişine devam edilerek Denizli Belediyesine komşu diğer belediyelere ait alanlar içindeki tali borularda veri girişine dahil edilmiştir. Şekil 3.11 birinci aşama sonunda elde edilen su şebekesini oluşturan boruların, boru çaplarına, türlerine ve malzeme

özelliklerine göre istatistik bilgilerini göstermektedir. Bu istatistiksel bilgilerde toplam boru uzunluğu 1232 km'dir. CBS programıyla veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 3.11 de verilmiştir. Boruların % 86'ı kırılğan boru hattı grubuna giren asbest ve font (dökme demir) borulardan %8'i PVC ve % 6'ı çelik borulardan oluşmaktadır.

Font borular sistemdeki en eski borulardır. Bu borular nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu ve önemli yerel iş alanlarının bulunduğu Denizli'nin eski yerleşim bölgelerinde bulunmaktadır. Şekil 3.12 de Denizli su dağıtım şebekesindeki font boruları görülmektedir. Şekil 3.13 de ise ikinci aşama sonunda veri girişinin tamamlanmasıyla elde edilen Denizli şehri su şebekesini oluşturan boruların, boru çaplarına, türlerine ve malzeme özelliklerine göre istatistik bilgilerini göstermektedir.



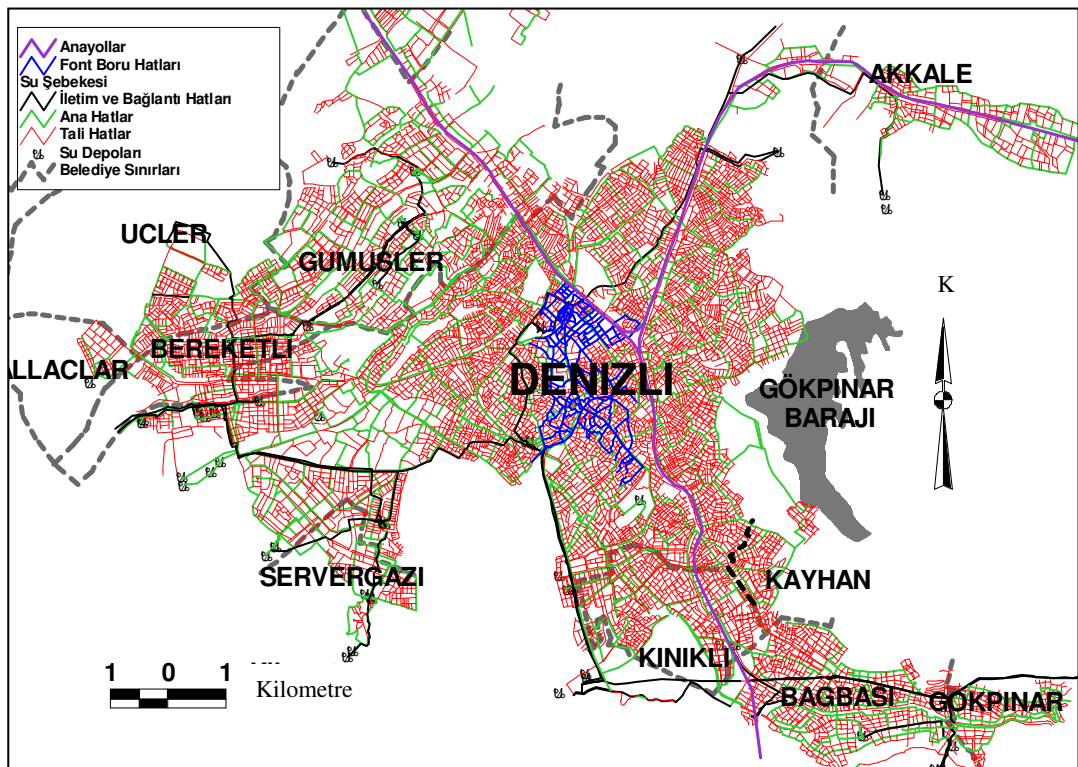
Şekil 3.11 Denizli ve Kınıklı belediyesine ait alanlar için su şebekesindeki boruların oluşum istatistikleri

İkinci aşama sonunda elde edilen istatistiksel değerler sonucunda inceleme alanı toplam boru uzunluğu yaklaşık 1745 km'dir. İletim ve bağlantı hatlarının %95'i çelik borulardan oluşmaktadır. Ana ve tali borular ise asbest (AÇB), font ve PVC borulardan oluşmaktadır. Bu boruların yaklaşık %52'ü AÇB ve %42'i PVC borulardır. Tali hatları

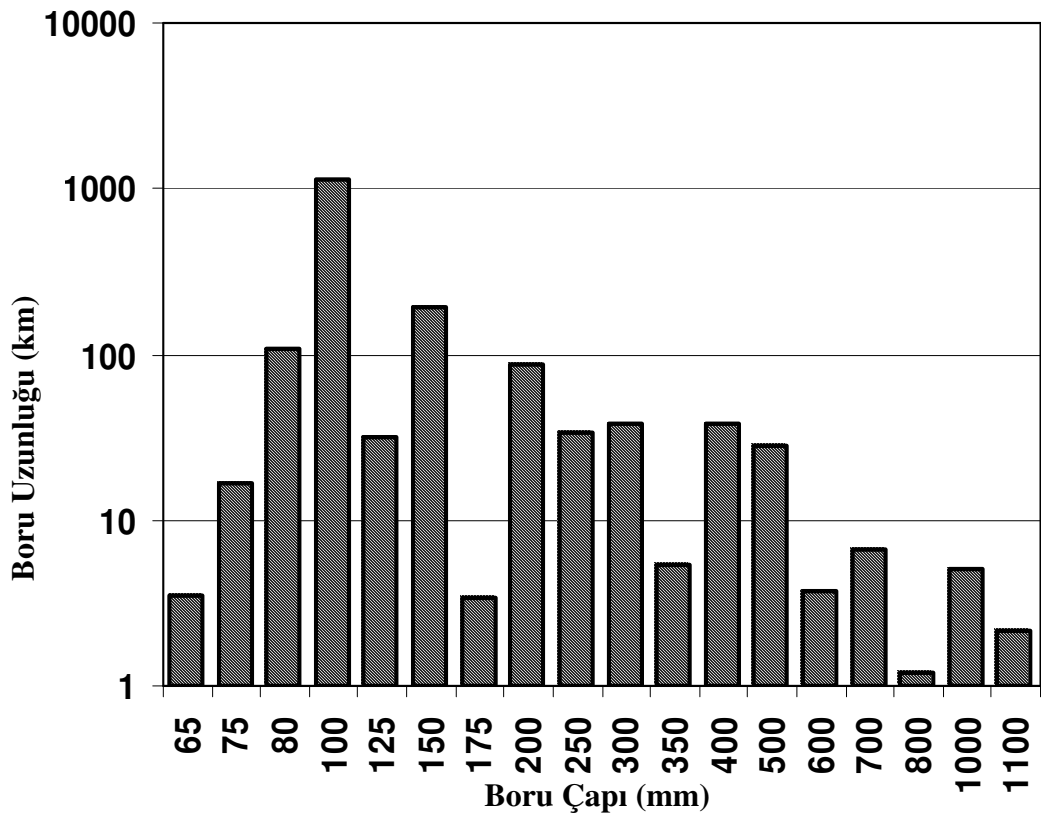
oluşturan boruların çapları 65-200 mm iken, ana boruların çapları 100-600 mm arasındadır.

Şekil 3.11 ve 3.13'den de anlaşılacağı üzere veri girişinin tamamlanıp tüm Denizli şehri su şebekesi için veri tabanının elde edilmesiyle görülmüştür ki; PVC boruların dağılım yüzdesi artmıştır. Bunun sebebi ise su şebekesinde izlenen politikaların değişimidir (Örneğin şebekede yeni döşenen tüm dağıtım hattı borularının türü PVC dir). Son yıllarda, belediyelerin Su İşleri Müdürlükleri yeni boru döşemelerde PVC boruları kullanmakta ve mevcut boruların yerini değiştirme çalışmaları esnasında da AÇB ve font boruları PVC borularla değiştirmektedirler. Bu nedenle PVC borular sistemdeki en yeni borulardır.

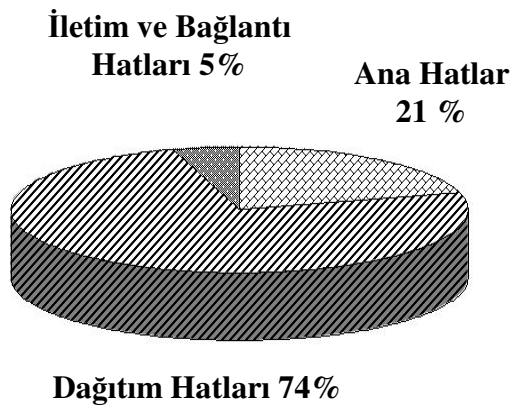
Şekil 3.14 de Denizli Belediyesi Su İşleri Müdürlüğünce yapılan çalışmada yeni döşenen bir 100 mm'lik PVC tali borusu görülmektedir



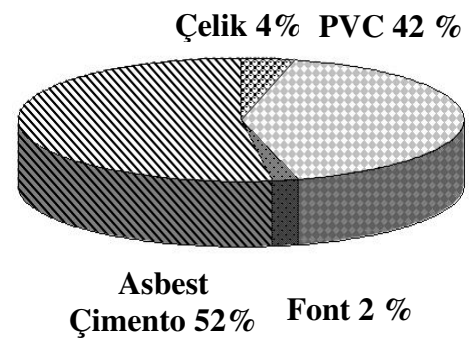
Şekil 3.12 Denizli şehri su dağıtım şebekesi içindeki font boru hatları



a) Boru çaplarına göre uzunluklar

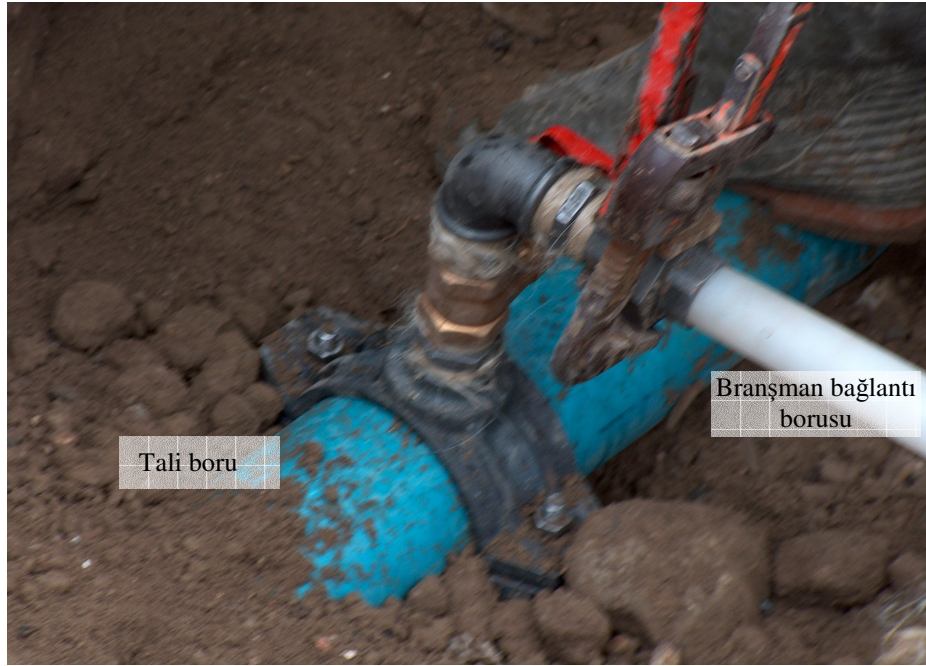


b) Boru Türlerine Göre Uzunluk Oranları



c) Boru Cinslerine Göre Uzunluk Oranları

Şekil 3.13 Denizli su şebekesindeki boruların oluşum istatistikleri

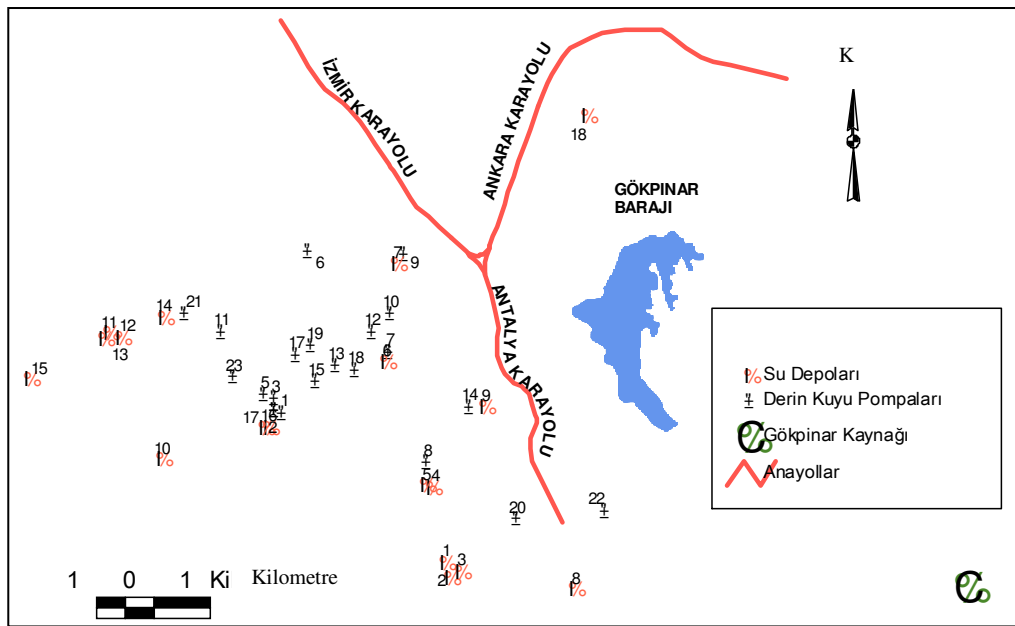


Şekil 3.14 Denizli su şebekesinde tali boru hattında yer alan ve yeni döşenen bir PVC boru

Denizli su şebekesi veri tabanı oluşturulurken su dağıtım sistemi projesinin paftalarında gösterilen mevcut depolar veri tabanına aktarılmış ve Şekil 3.10 da gösterilmiştir. Ayrıca Denizli Su İşleri Müdürlüğü yetkililerinin yardımıyla Denizli su şebekesinde halihazırda kullanılan su depoları, yatay pompalar ve derin kuyu pompaları yerinde tespit edilmiş ve GPS (uydu bazlı radyo navigasyon sistemi) ölçümleri alınmıştır. Şekil 3.15 de Denizli su şebekesinde halihazırda kullanılan su depoları, derin kuyu pompaları ve Gökpınar kaynağı görülmektedir. Denizli su şebekesinde halihazırda kullanılan su depolarına ait isim koordinat hacim ve kot değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Koordinat ölçümleri GPS’den alınan değerlerdir ve hassaslığı 2-5 m arasında değişmektedir.

Örnek olması açısından Şekil 3.16 da Yeni Kuruçay su deposu, Şekil 3.17 de Yeni Kuruçay su deposunun içi ve depoya giren ve depodan çıkan su boruları görülmektedir. Şekil 3.18 de ise Hastane su deposu görülmektedir. Su şebekesinde yer alan derin kuyu pompalarının çoğu artık aktif olarak kullanılmamaktadır. Bunda rol alan faktörler; Gökpınar’dan gelen suyun halihazırda ihtiyaca cevap vermesi ve Gökpınar’ın suyunun dağıtımında cazibeyi kullanmaya izin vermesiyle daha pahalı olan pompa kullanımından kaçınılmasıdır.

Bununla birlikte, yakın gelecekte Denizli'nin su ihtiyacının büyüyen nüfusuyla birlikte artmasıyla derin kuyu pompalarının tekrar kullanılması beklenmektedir. Tablo 3.3 de şebekede yer alan derin kuyu pompaları, Tablo 3.4 de ise yatay pompalar verilmiştir.



Şekil 3.15 Denizli su şebekesinin su depoları ve derin kuyu pompaları

Tablo 3.2 Denizli su şebekesinde kullanılan su depolarına ait veriler

Depo No	Depo Adı	Doğu Koordinatı	Kuzey Koordinatı	Hacim (m ³)	Topoğrafik Yükseklik z(m)
1	Çamlık	684050	4178694	1250	530
2	Çamlık 1	684124	4178407	1000	576
3	Çamlık 2	684295	4178532	2000	533
4	Kuruçay (eski)	683797	4180003	4000	489
5	Kuruçay (yeni)	683677	4180043	5000	495
6	Kiremitçi	683003	4182203	5000	454
7	Hastane	683182	4183931	5500	397
8	Zeytinköy	686327	4178216	30	463
9	Benlipınar Kay.	684736	4181415	20	406
10	Yenişehir	679041	4180499	1500	625
11	Bahçelievler	678091	4182701	1200	570
12	Bahçelievler 1	678322	4182641	500	567
13	Bahçelievler 2	678029	4182618	3000	565
14	Bahçelievler 3	679067	4182991	2000	521
15	Şirinköy	676705	4181894	800	675
16	Esnaf Sitesi	680927	4181050	500	521
17	Esnaf Sitesi	680843	4181034	1000	521
18	Karşıyaka	686543	4186519	1000	397

**Şekil 3.16** Yeni Kuruçay su deposu



Şekil 3.17 Yeni Kuruçay su deposu içi



Şekil 3.18 Hastane su deposu

Tablo 3.3 Denizli şehir merkezinde DSİ tarafından açılmış yer altı suyu sondajlarına ait veriler (PAÜ 2002'den derlenmiştir)

N o	Kuyu No	Mevkii	Koordinat	Derinlik (m)	Verim (lt/sn)
1	DSİ-33407	Gerzele altı Esnaf Sitesi İçi	81150D-81325K	150	27
2	DSİ-34840	Gerzele altı Toplama Depo Yanı	81025D-81375K	150	30
3	DSİ-34985	Gerzele altı Esnaf Sitesi içi	81150D-81575K	150	31.6
5	DSİ-35639	Gerzele altı Esnaf Sitesi İçi	80850D-81650K	150	28.79
6	DSİ-35640	Esentepe Deresi	81625D-84175K	100	8.06
7	DSİ-35641	Kiremitçi Su Deposu Yanı	83050D-82400K	101	40.57
8	DSİ-35642	Çamlık Kuruçay su deposu yanı	83725D-80450K	136	6
9	DSİ-36370	Hastane Deposu Yanı	83300D-84100K	178	11.46
10	DSİ-36424	19 Mayıs İlkokulu Yanı	83075D-83075K	100	24.95
11	DSİ-37119	Bahçelievler Alt Depo Yanı	80100D-82750K	150	40
12	DSİ-37120	Kömürcüoğlu İlkokulu Yanı	82750D-82750K	150	26
13	DSİ-37121	Karaman-Gezek Yatağı-Nizamiye	82100D-82150K	155	60
14	DSİ-37398	Zübeyde Hanım Caddesi	84475D-81425K	105	30
15	DSİ-37447	Karaman Mah. Gerzele Yolu	81750D-81875K	140.3	40
16	DSİ-37609	Esnaf Sitesi	81015D-81375K	140.5	25.98
17	DSİ-40891	Karaman Bağışı	81400D-82350K	140	29.29
18	DSİ-41101	Kiremitçi 1718 Sokak sonu	82450D-82075K	140	40.07
19	DSİ-41102	Eski taş şantiyesi	81675D-82500K	140	23.05
20	DSİ-45243	PAÜ kampusü	85300D-79450K	104	30
21	DSİ-45458	Bahçelievler Stad Yanı	79450D-83075K	150	30
22	DSİ-46827	Zeytinköy	86850D-79600K	130	51.03
23	DSİ-50195	Yenişehir Yunus Emre Koruluğu	80300D-81950K	140	25.39
24	L-1(20/1290)	Zeytinköy-1	-	149	40
25	L-2(20/1325)	Zeytinköy-2	-	153	35
26	L-3(20/1333)	Zeytinköy (Albaz Mahallesi)	-	149.5	39
27	L-2(20/1334)	Künarlar (Yenişehir Kooperatifi)	-	152	20
28	L-3(20/1399)	Başpınar (Kiremitçi Kaptajı)	-	110	50
29	L-4(20/1420)	Kampus alanı (Anadolu Lisesi yanı)	-	120	6

Tablo 3.4 Denizli su şebekesinde yer alan yatay su pompaları (Denizli belediyesi Su İşleri Müdürlüğü)

N o	Pompa No	Bölge	Koordinat	Derinlik (m)	Verim (lt/sn)
1	104-D/7	Bahçelievler Su Deposu	-	110	90.00
2	104/D 10	Bahçelievler 2. Kademe	-	115	228.00
3	150D3 D3	Esnaf Sitesi Terfi İstasyonu	-	114	234.00

4. GEÇİCİ YER DEFORMASYONLARI ETKİSİYLE MEYDANA GELEN ŞEBEKE HASARLARI

4.1 Giriş

Depremın gömülü boru hatları üzerine olan zararı, kalıcı yer deformasyonlarıyla (KYD) yada geçici yer deformasyonlarıyla (GYD) olmaktadır (O'Rourke 1998, Toprak ve Yoshizaki 2003). Geçici yer deformasyonları deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan, zeminin dinamik tepkisidir. Kalıcı yer deformasyonları ise deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir. GYD genelde toprakta ilerleyen deprem dalgalarının boru hattını geçerken sinüs eğrisi şeklini koruduğu varsayımına dayanarak tespit edilir. Boru hattı doğrultusunda yerde oluşan uzama oranları boyuna (P), enine (S) ve Rayleigh (R) dalgaları için hesaplanabilir. Genellikle yer uzama oranlarının boru hattındaki uzama oranlarına eşit olduğu varsayılır. GYD ve KYD değerlerinin rölatif büyüklükleri hangisinin boru hattının üzerinde etkisinin hakim olduğunu belirler. Eğer KYD değeri GYD'den daha büyükse o zaman KYD gömülü boru hatlarına daha çok zarar verir yada tersi durum gerçekleşir. GYD bazen küçük miktarda kalıcı deformasyonlar oluşturabilir fakat bunlar genelde yüzeysel etkilerdir. Boru hatları üzerinde GYD genellikle KYD'e göre daha küçük uzama oranlarına ve deformasyonlara sebep olur. Bununla birlikte GYD'nin etkilediği alan KYD'nin etkilediği alandan çok daha büyüktür. Bu sebeple zayıf kısımların bulunduğu yada paslanma gibi sebeplerle parçaların zayıflaştığı boru hattı sistemleri üzerinde GYD oldukça yaygın etkiler gösterebilir (Toprak ve Yoshizaki 2003).

Bu bölümde geçici yer deformasyonlarının (GYD) gömülü boru sistemleri üzerine etkilerine yer verilmiştir. Öncelikle boru hatlarının deprem performansını etkileyen

faktörler açıklanarak, Pamukkale ve Karakova-Akhan faylarının inceleme alanında yaratabileceği ortalama (PGV) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) PGV zonları elde edilmiş ve Denizli su dağıtım şebekesiyle üst üste çakıştırılmıştır. Bu tez çalışmasında, geçici yer deformasyonları etkisiyle oluşabilecek hasar tahmininde kullanılan tüm ilişkiler açıklanarak, Denizli su şebekesinde senaryo depremleri için GYD etkisiyle oluşabilecek hasarlar tahmin edilmiştir.

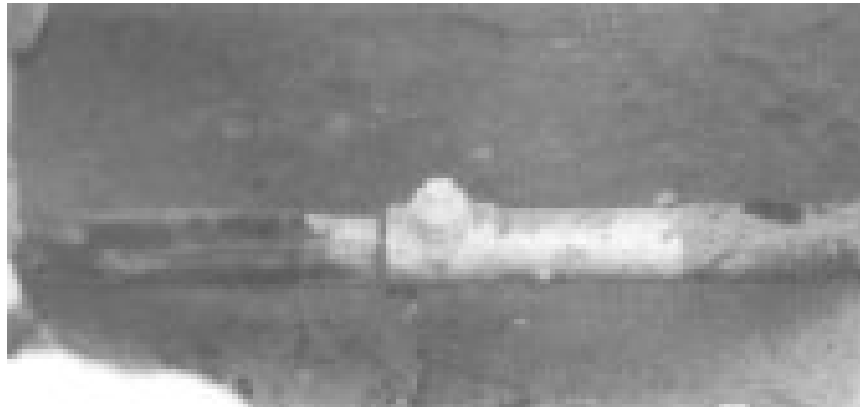
4.2 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda; boru cinsi, boru çapı, ek türleri, zemin korozyonu ve boru yaşı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Su dağıtım sistemlerinde çeşitli boru tipleri kullanılmaktadır. Bunların günümüze kadar kullanılan en yaygın türleri; düktil demir ve dökme demir (font) borular, çelik borular, plastik borular (PVC) ve asbest (AÇB) borulardır. Boru hatlarının yapıldığı malzeme ve boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki performanslarını etkilemektedir. En genel manasıyla boru hatları düktil ve kırılman olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örneğin düktil demir ve günümüzdeki çelik borular düktil borular grubuna dahilken, font ve asbestli çimento (AÇB) borular kırılman borular grubuna girmektedir. HAZUS (FEMA 1999) düktil borular için onarım oranı değerlerinin kırılman borular için olanların üçte biri olarak alınmasını önermektedir.

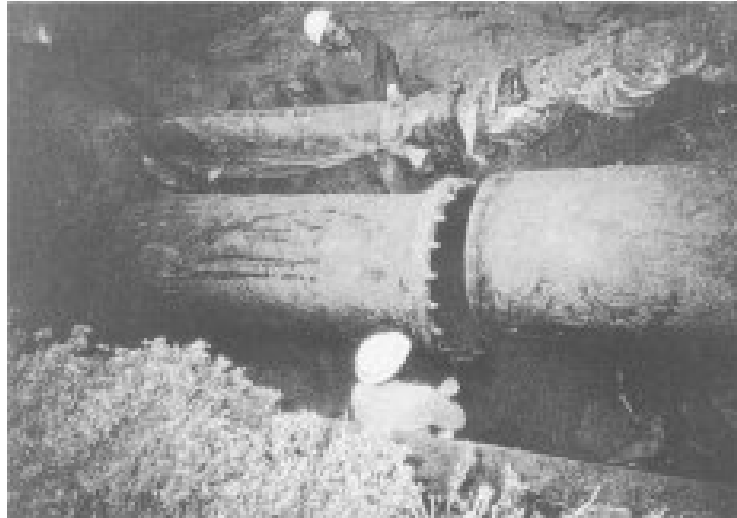
Boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Geçmiş depremlerde rijit bağlantılı sürekli boruların (örneğin kaynaklı çelik borular) diğer metotlar kullanılarak yapılan bağlantılardan çok daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir. Bununla birlikte örneğin vida eklemeli eski çelik borular paslanmadan dolayı kötü performans gösterebilmektedir. Bağlantıların ek parçalarla yapıldığı boru sistemlerinde ise, boru birleşimleri esnek yada güçsüz bağlantılar içermektedir. Bağlantıların olası bir depremde güçsüz kalmalarının ise üç farklı sebebi vardır. Bunlar; borulara gelen gerilme ve eğilme deformasyonlarının artması, düğüm noktalarındaki dönmelerin yada çekme gerilmelerinin artışıdır.

Deprem sonrası yapılan inceleme ve elde edilen verilere göre, kauçuk contalı ekli PVC boruların sismik performansının aynı ekli asbestos borudan daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak da plastik malzemenin gerilme kuvvetlerine karşı olan dayanımının daha iyi olması gösterilmiştir (ALA 2001). Portland çimentolu eklerle rijit bağlantısı yapılan parçalı borular deprem esnasında sızıntı oluşumundan evvel çok fazla boru hareketine izin vermezler, ancak kauçuk contalarla esnek bağlantısı yapılan borular genel olarak daha fazla sismik deformasyona izin verebilirler. Şekil 4.1’de depremde vida eklemli bir çelik gaz borusunun aldığı hasar görülmektedir. Bunlardan farklı olarak; boru hattının bitişik yapılara (su deposu, binalar, köprüler) olan bağlantılarında lokal olarak yüksek gerilimler oluşabilir. Bu durum özellikle boru hattı ile yapı arasında rölatif yer değiştirmelere izin verecek yeterli esnekliğin olmadığı durumlarda gerçekleşmektedir. Bu durum; Los Angeles şehrinde 1971 San Fernando depremi sırasında su dağıtım şebekesinin servis bağlantılarında meydana gelen hasarların büyük çoğunluğunun nedeni olarak rapor edilmiştir (ALA 2001). Japonya’da 1995 Kobe depreminden sonra bölgedeki gömülü boru hattı sistemleri hasar görmüştür. Özellikle eski borular, birleşim noktaları daha düktil ve esnek olan yeni borulara kıyasla daha çok zarar görmüştür (Toprak ve Yoshizaki 2003).

Şekil 4.2’de Kobe depreminde düktil ve font borularda meydana gelen hasar örnekleri görülmektedir. Burada düktil boruda birleşim noktasında ayrılma gözlenirken font boruda gövdede kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.1 Vida eklemli gaz boru hattındaki hasar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Oka 1996)



(a) 0.8 m çaplı düktil boruda birleşim noktasında ayrılma



(b) 0.8 m çaplı font boru hasarı

Şekil 4.2 Su boru hatlarındaki hasarlar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995)

Kırılgan boru grubuna dahil olan font boruların bağlantılarının yapıldığı ek parça türlerine göre sismik performansları değişmektedir. Bazı su dağıtım sistemlerinde olduğu gibi, font boruların birleşiminde kauçuk conta kullanılırsa, hasarın yaklaşık %80'i GYD ile ve %20 'i KYD ile oluştuğu varsayılırsa bu durumda tüm boru türleri

için (Asbest ve düktil demir borular dahil) kauçuk contalı ekli boruların hasar oranları çimento veya kurşun bağlantılı font borulardan daha az olacaktır (ALA 2001).

Asbest (AÇB) boruların da ek türleri sismik performansını etkilemektedir. Örneğin; kauçuk contalı asbest boru font borudan daha iyi performans gösterirken, çimento ekli asbest borunun performansı font borununkiyle benzerdir. Çimentolu eklerin boruların esnekliğini sınırladığı ise bilinen bir gerçektir. Şekil 4.3 de 1979 Guerrero Meksika depreminde asbest borunun aldığı hasar görülmektedir. Şekil 4.4 de 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda meydana gelen sızıntı, Şekil 4.5 de ise, 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma görülmektedir.



Şekil 4.3 1979 Guerrero Meksika depreminde hasar (kırık) görmüş asbest boru (Ayala ve O'Rourke 1989)



Şekil 4.4 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda meydana gelen sızıntı (Ayala ve O'Rourke 1989)



Şekil 4.5 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma (Ayala ve O'Rourke 1989)

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda boru çapının ve zemin korozyonunun önemli etkileri vardır. 20 yılı aşkın bir süredir yapılan çalışmalar boru çapının boruların sismik performansını etkilediği yönünde olmuştur. Geçmiş depremlerde boru hatlarının performansı değerlendirildiğinde boru çaplarıyla onarım oranları arasında bir ilişki gözlenmiştir. Toprak (1998) bu ilişkiyi boruları dağıtım (çapı 600 mm den küçük) ve iletim hatları (çapı 600 mm den büyük) olarak iki gruba ayırarak analiz etmiştir. Boru çapı büyüdükçe hasar oranı da düşmektedir. Bu konuyu irdeleyen O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), hem yatay yer hızını hem de boru çapını, boru hattı onarım oranı ile ilişkilendiren bir bağıntı geliştirmiştir (Toprak 2004).

Ayrıca Sato ve Myurata (1990) ile, O'Rourke ve Jeon (1999); çalışmalarında büyük çaplı çelik borularda sismik hasarın küçük çaplı borulara oranla daha az olacağını belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak da çeşitli faktörler sunmuşlardır. Bunlar; büyük çaplı borularda inşaat kalitesinin küçük çaplı borulara oranla daha iyi olması, daha az yan bağlantı içermesi, büyük çaplı boruların döşenmesi sırasında zemin düzeltilmesi yapılmasıdır. Bu faktörlerin dikkate alınmasıyla büyük çaplı çelik boruların onarım oranlarının, küçük çaplı boruların onarım oranlarına göre %75 düştüğü görülmektedir (ALA 2001). Ancak boru çapının, su dağıtım şebekeleri içindeki tüm boru türlerinin sismik performansı üzerine olan etkisini ortaya koyacak yeterli düzeyde deneysel çalışma ve veri mevcut değildir. Bununla birlikte 300 mm üzerindeki büyük çaplı borulardaki hasar oranının, 100 ile 300 mm arasındaki daha küçük çaplı borulardaki hasar oranından daha az olduğu ALA (2001)'de belirtilmektedir.

Yapılan çalışmalar korozyonlu zeminlerdeki küçük çaplı çelik boruların, korozyonsuz zeminlerdeki küçük çaplı çelik borulardan üç kat daha fazla hasar alabileceğini belirtmiştir (ALA 2001). Zemin korozyonunun etkisi büyük çaplı çelik borularda küçük çaplı borulara nispeten daha az olmakla birlikte, gerilme artışına bağlı kıvrılma ve bükülmeler büyük çaplı borularda daha az olmaktadır. Ayrıca artan basınç ve zemin yüküne karşı büyük çaplı çelik boruların dayanımı daha fazla olmaktadır.

Çelik boruların sismik performansı üzerinde; boru çapı ve bağlantılarda kullanılan kaynak eklerinin kalitesi doğrudan ilişkili olduğu gibi, zemin korozyonu da önemli rol oynamaktadır. Zeminde korozyonun varlığı ve boruların yaşı gibi faktörler özellikle parçalı ve civatalı çelik borular ile font boruların sismik performansını olumsuz yönde

etkilemektedir. Daha yaşlı borularda korozyonunda etkisiyle deprem sırasında meydana gelen hasar olayları genç borulara oranla daha fazladır. 1987 Whittier Narrows depreminden elde edilen veriler boru yaşına bağlı olarak boru kırılmalarında da artış olduğunu göstermektedir (Wang 1990). 1989 Loma Prieta depreminde de çelik borularda meydana gelen hasarlar bu eğilimi desteklemiştir (Eidinger 1998).

Zemin korozyonu; gerek metaryallerin kalınlıklarını düşürerek, gerekse gerilme konsantrasyonları yaratarak gömülü boruların dayanımını düşürmektedir. Elde edilen tecrübeler font borularda da korozyona bağlı birçok hasarın oluştuğunu göstermektedir (Isenberg 1978; Isenberg 1979 ve Isenberg ve Taylor 1984). Alt yapı sistemleri için oluşturulacak veri tabanlarının, gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda rol oynayan faktörleri de kapsamı önemlidir.

4.3 Geçici Yer Deformasyonları Etkisiyle Oluşabilecek Hasar Tahmininde Kullanılan Hasar İlişkileri

Boru hatlarında oluşan zararlar ile farklı deprem parametreleri arasında coğrafi etkileşimi tespit edebilmek için değişik araştırmacılar tarafından hasar ilişkileri ve metotlar geliştirilmiştir. Bu ilişkiler temel olarak ampiriktir ve geçmiş depremlerden elde edilen veriler ışığında geliştirilmiştir. Son yıllarda gömülü boru sistemleri kuvvetli depremlerden önemli hasarlar almışlardır. Boru hasarları genellikle onarım oranları ile belirtilir. Boru onarım oranları bir bölgedeki boru onarım sayısının aynı bölgedeki boru hattı uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir.

Geçmişte yapılan pek çok çalışma geçici yer deformasyonları etkisiyle meydana gelen boru hattı hasarları ile çeşitli sismik parametreler arasında ilişkilerin varlığını incelemiştir. Özellikle Northridge depreminden sonra elde edilen veriler boru hasarları ile sismik parametreler arasındaki ilişkilerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Örneğin Mercalli Şiddeti (MMI), pik yer hızı (PGV), pik yer ivmesi (PGA), pik yer deplasmanı, spektral ivme, spektral hız, şiddet spektrumu ve Arias şiddeti bu sismik parametrelerdendir.

Toprak (1998) , O'Rourke vd (1998), O'Rourke ve Toprak (1997) bu veriler ışığında araştırmalarına yön vermişlerdir ve ilk kez bu kadar kapsamlı veriyle su şebekelerinin deprem performansının CBS ile değerlendirilmesi yönünde çalışmalar ortaya koymuşlardır. Toprak (1998) kuvvetli yer hareketi verileri ile boru hasarları arasındaki ilişkileri incelerken en önemli istatistiksel ilişkiyi PGV için bulmuştur. PGV'nin gömülü borular üzerine olan etkileri için daha fazla doğrudan doğruya fiziksel açıklamalar mevcuttur.

Sismik dalga yayılmalarına bağlı olarak zemin içindeki boyuna gerilmeler PGV ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki denklem 4.1'de verilmiştir (Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines 1984).

$$\varepsilon_g = V_{\max} / C \quad (4.1)$$

Burada ε_g maksimum sismik yer uzama oranı, V_{\max} maksimum yer hızı ve C ise sismik dalga yayılma hızıdır. Deprem dalgalarının geçişi esnasında boru hattını çevreleyen zemin ile boru hattı arasındaki ilişkiden yola çıkarak zemin gerilmelerinin önemli bir oranı boru hattına transfer olmaktadır. Bu ilişkiye dayanarak PGV ile boru hasarları arasında iyi bir korelasyon beklenmektedir.

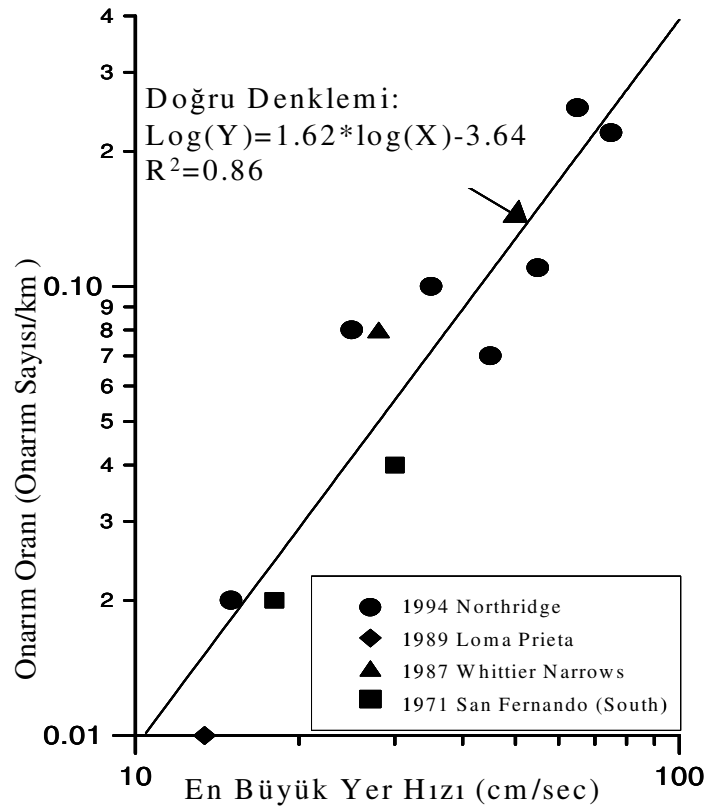
En büyük yatay yer hızı değişik şekillerde tanımlanabilir. Örneğin Şekil 4.6'da kullanıldığı gibi bir istasyonda ölçülen iki en büyük yatay yer hızından maksimum olanı seçilebilir (Maksimum PGV) yada pek çok deprem azalım ilişkilerinde olduğu gibi iki en büyük yatay yer hızının geometrik ortalaması (Ortalama PGV) kullanılabilir (Örneğin, Campbell 1997). Üçüncü bir tanım ise yatay yer hızlarının en büyük vektörel değeri olabilir (Vektörel PGV). Bu bölümde verilen hasar ilişkilerinde RR onarım oranı (onarım sayısı/km) ve PGV (cm/s) ortalama PGV (geometrik ortalama) veya maksimum PGV'dir.

Toprak (1998) tarafından geliştirilen boru hasar ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$RR=10^{(1.62*\text{Log}(PGV)-3.64)} \quad (4.2)$$

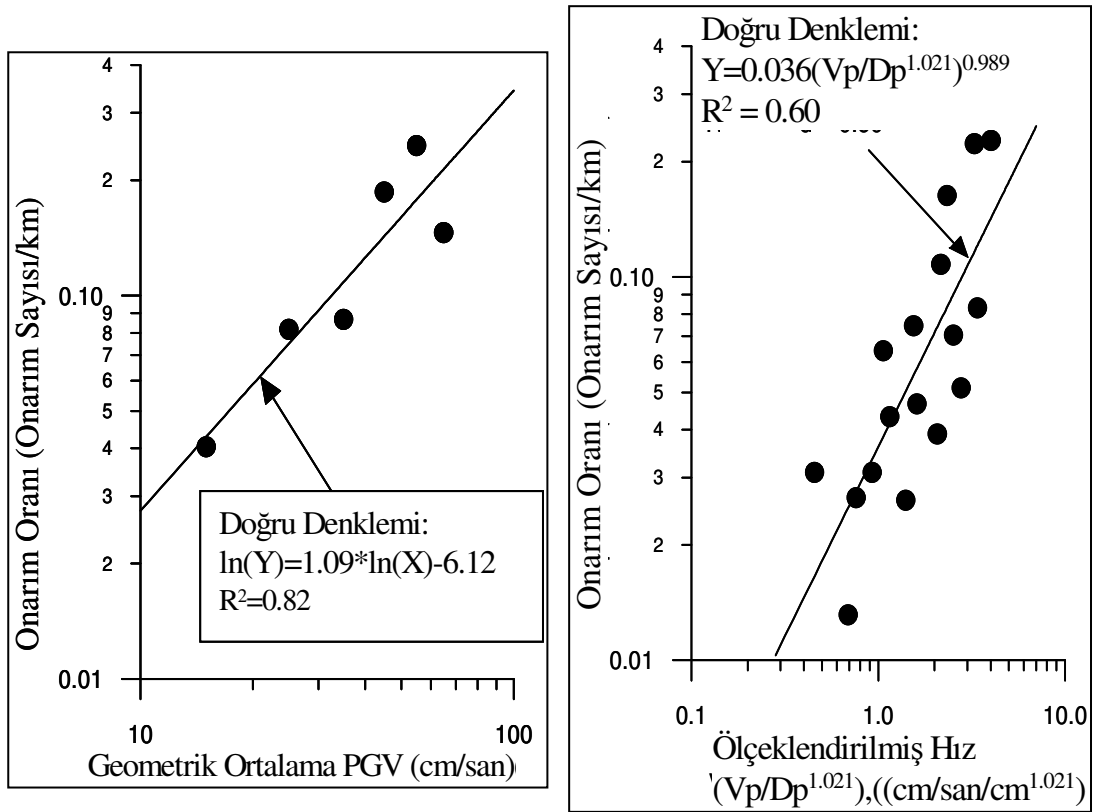
Burada RR onarım oranı (onarım sayısı/km) ve PGV (cm/s) maksimum yer hızıdır. Bu ilişki; çoğunluğu 1994 Northridge depreminde olmak üzere, bazı geçmiş depremlerden elde edilen güvenilir veriler ışığında geliştirilmiştir. Bu verilerden hesaplanan onarım oranları ile PGV arasında geliştirilen bu korelasyon Şekil 4.6'da verilmiştir.

Kullanılan eleme kriterinin sonucu olarak korelasyon 75 cm/ san yer hızına kadar geçerlidir. Bu ilişki temelde font borular için geliştirilmiştir. Toprak (1998) aynı zamanda boru çaplarıyla hasar oranları arasında bir ilişki gözlemlemiş ve bu ilişkiyi boruları dağıtım (boru çapı < 600 mm) ve iletim hatları (boru çapı \geq 600 mm) olarak iki gruba ayırarak analiz etmiştir. Şekil 4.6'daki ilişki 600 mm den küçük çaplı borular için geçerlidir.



Şekil 4.6 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı hasar onarım oranı arasındaki ilişki (Toprak 1998, 2004)

Şekil 4.7'de ortalama PGV kullanılarak Northridge depreminde zarar gören borular için elde edilmiş boru hasar ilişkisi görülmektedir (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000).



(a) Geometrik Ortalama Hız

(b) Boru Çapı ile Ölçeklendirilmiş Hız

Şekil 4.7 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı onarım oranı arasındaki ilişkiler (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000)

O'Rourke ve Jeon (1999) hasar ilişkisi aşağıdaki formülle verilmiştir.

$$RR = e^{(1.09 \cdot \ln(\text{PGV}) - 6.12)} \quad (4.3)$$

Bu ilişki temelde çapı 600 mm den küçük font borular için geliştirilmiştir ve ortalama PGV (geometrik ortalama) değeri kullanılmıştır (Şekil 4.7a).

O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) çalışmalarında ise en büyük yatay yer hızının maksimum değeri kullanılmıştır. Bu hasar ilişkisi eşitlik 4.4'de verilmiştir.

$$RR = e^{(1.21 \cdot \ln(\text{PGV}) - 6.78)} \quad (4.4a)$$

$$RR = e^{(1,84*\ln(PGV)-9,40)} \quad (4.4b)$$

Bu ilişkide çapı 600 mm den küçük font borular için 4.4a formülü, 600 mm den küçük düktil demir borular için 4.4b formülü önerilmiştir. Geçmiş depremlerde boru hatlarının performansı değerlendirildiğinde boru çaplarıyla onarım oranları arasında bir ilişki gözlenmiştir. Bu konuyu irdeleyen O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), hem yatay yer hızını hem de boru çapını, boru hattı onarım oranı ile ilişkilendiren bir bağıntı geliştirmiştir (Şekil 4.7b). Şekilde V_p , maksimum PGV ye D_p ise boru çapına karşılık gelmektedir. Geliştirilen bu ilişkide de düktil ve font borular için ayrı ayrı denklemler bulunmaktadır. Formül 4.5a'da font borular için, 4.7b'de ise düktil borular için geliştirilen boru çapıyla ölçeklendirilmiş hasar oranları verilmiştir. Her iki formülde de maksimum PGV kullanılmıştır.

$$RR=0,036*(PGV/D_p^{1,021})^{0,989} \quad (4.5a)$$

$$RR=0,004*(PGV/D_p^{0,468})^{1,378} \quad (4.5b)$$

Bu tez çalışması kapsamında incelenen bölge için boru hasar tahmininde kullanılan hasar ilişkilerinden yalnızca HAZUS metodu 1994 Northridge depreminden önce geliştirilmiştir. Ancak hala geniş bir kullanım alanına sahiptir. Amerika Birleşik Devletlerinde deprem senaryoları ve deprem zarar tahminleri için geliştirilmiş HAZUS yazılım ve metodolojisi halihazırda 1989 ve öncesi seçilen deprem verilerinden O'Rourke ve Ayala (1993) tarafından elde edilen ilişkileri kullanmaktadır (FEMA 1999). Bu tez çalışmasında sunulan ilişkilerden biride HAZUS 99 (FEMA 1999) çalışmasıdır.

HAZUS metodolojisinde kullanılan boru hasar ilişkisi aşağıdadır.

$$RR=0,0001*(PGV)^{2,25} \quad (4.6)$$

Bu ilişki farklı çaptaki kırılğan borular için geliştirilmiştir ve maksimum PGV kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1998 yılında su dağıtım sistemlerinde deprem tehlikesiyle meydana gelebilecek hasarları değerlendirip, su dağıtım

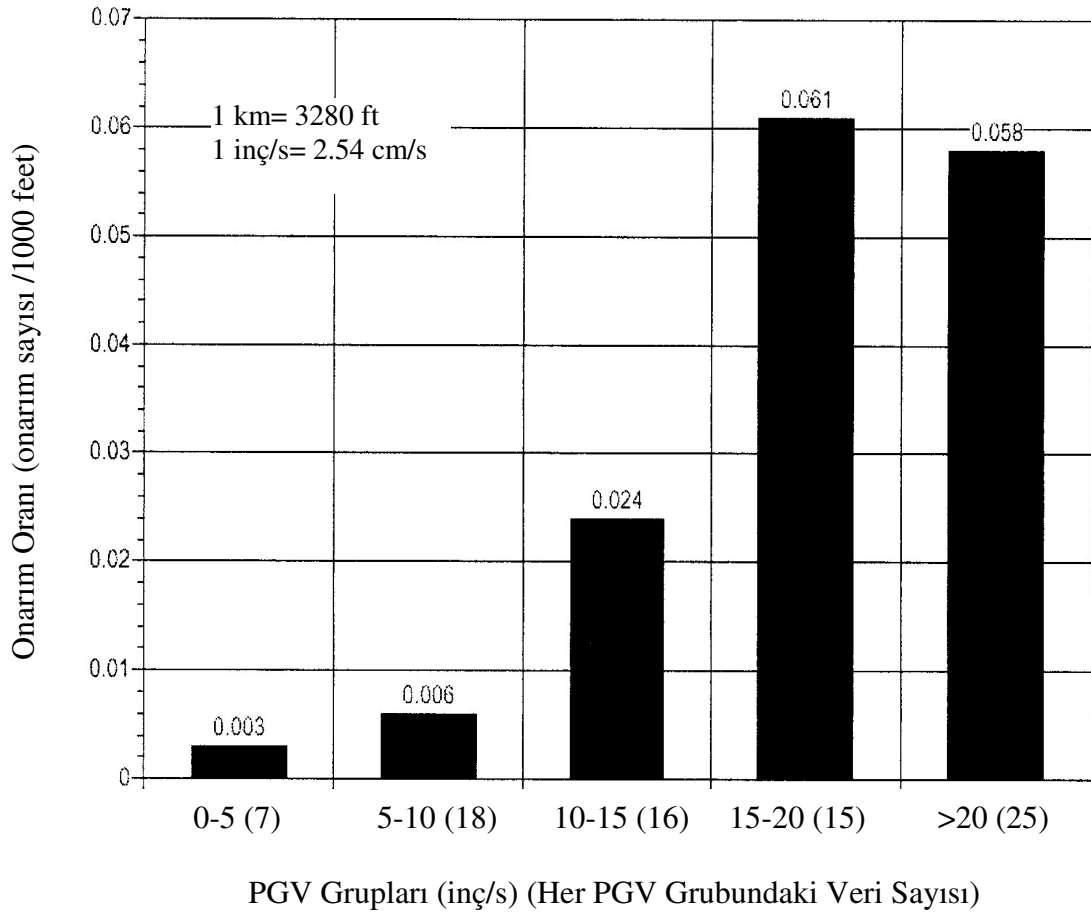
sistemlerinde uygulanabilecek ayrıntılı metotlar geliştirmek amacıyla bir proje başlatılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında incelenen bölge için yapılan hasar tahminlerinde bu projede ortaya konulan hasar ilişkileri de kullanılmıştır. ALA (Amerikan Lifelines Alliance 2001) projesinde; ABD, Japonya ve Meksika’da meydana gelen toplam 12 adet depremden elde edilen veriler kullanılarak geçici yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasarları tahmin etmek için hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Tablo 4.1’de 12 adet depremden elde edilen veriler verilmiştir.

Tablo 4.1 PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001)

Depremler	Veri Noktaları	Yüzde(%)
1995 Hygoken-nanbu (Kobe)	9	11
1994 Northridge	35	43
1989 Loma Prieta	13	16
1971 San Fernando	13	16
Diğer Depremler	11	14
Toplam	81	100

81 noktada elde edilen veri tabanında çeşitli metaryaller kullanılmıştır. Bunlardan 38 veri noktasıyla font (cast iron) boru türü en geniş dağılıma sahiptir bunu 13 veri ile çelik, 10 veri ile asbestli çimento (AC), 9 veri ile düktil demir (DI) ve 2 veri ile de beton türü metaryaller takip etmektedir. Diğer 9 veri noktası ise font ve düktil boruların birleşimini ifade etmektedir. Oluşturulan bu veri tabanının büyük bir çoğunluğunu ana dağıtım boruları oluşturmaktadır, yalnızca 8 veri noktası 300 mm den büyük çaplı borulardan oluşmaktadır.

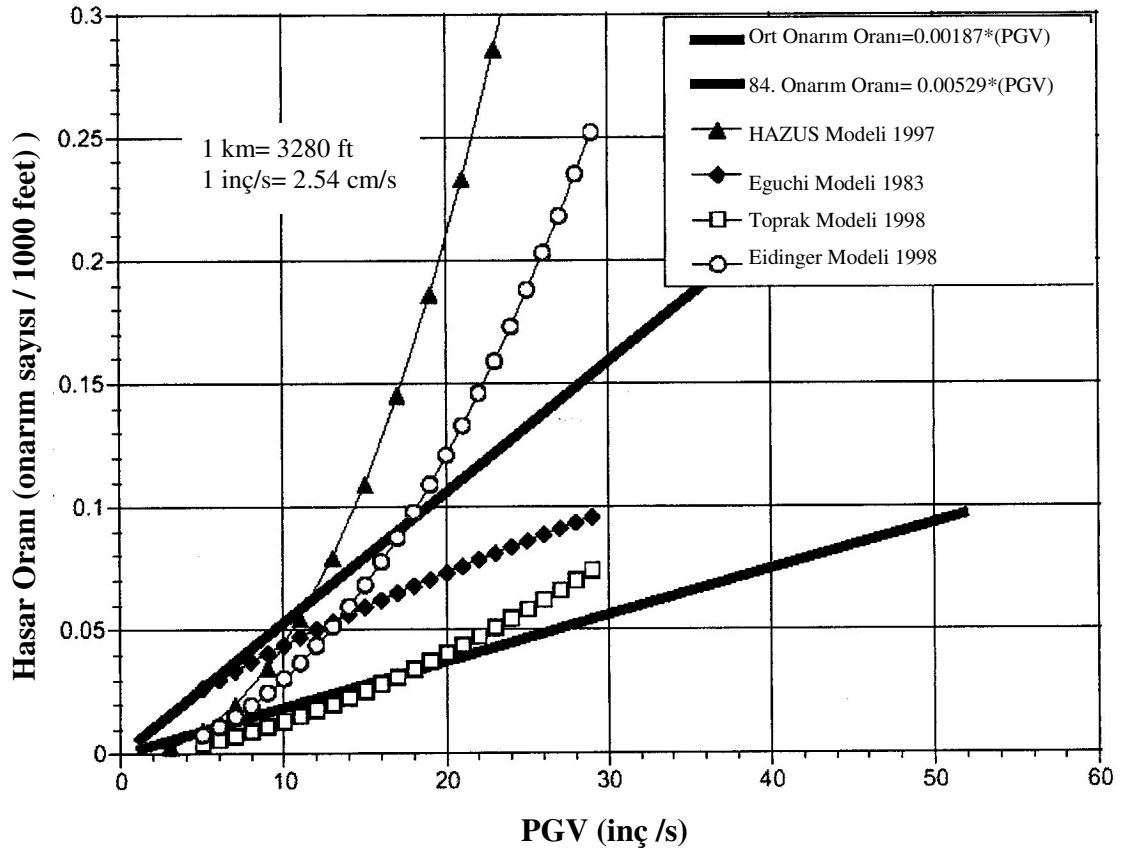
Bu veri tabanı PGV’ye bağlı hasar oranı eğrileri içinde önemli bir değişim olduğunu göstermektedir. Bu dağılımı daha iyi ayırt etmek için PGV değişimleri ve onarın oranları PGV değerlerine bağlı olarak gruplandırılmıştır. Her gruptaki ortalama hasar oranı belirlenmiş ve artan PGV değerine bağlı olarak hasar oranındaki artış görülmüştür. Şekil 4.8’de Ortalama PGV grup değerleri ve bunlara karşılık gelen onarım oranları görülmektedir.



Şekil 4.8 Ortalama PGV grup değerleri (ALA 2001)

Bu yaklaşımdan yola çıkarak 2 farklı model geliştirilmiştir. Bu modeller Ortalama Lineer Model ve Üstel Modellerdir. Bu tez çalışmasında Ortalama Lineer Model (onarım oranı PGV'nin lineer fonksiyonudur) kullanılmıştır. Şekil 4.9'da geliştirilen bu lineer modelin; HAZUS Modeli 1997 (FEMA 1997), Eguchi Modeli 1983 (Eguchi vd 1983), Eidingen Modeli 1998 (Eidingen vd 1998) ve Toprak Modeli 1998 (Toprak 1998) ile olan ilişkisi verilmiştir.

ALA (2001) ilişkisi ana ve tali hat borular için önerilen hasar fonksiyonunu göstermektedir. Bu hasar fonksiyonu boru cinsi, boruların bağlantı şekli, boru çapı ve korozyon gibi boruların deprem performansını etkileyen faktörler hakkında herhangi bir bilginin bulunmadığı durumlar için kullanılmaktadır.



Şekil 4.9 PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001)

Bu ilişki aşağıdadır.

$$RR=0,0024*PGV \quad (4.7)$$

Burada ortalama PGV (geometrik ortalama) değeri kullanılmıştır. Hasar tahmini yapılacak bölgede; boru cinsi, boruların bağlantı şekli, boru çapı ve korozyon gibi faktörler hakkında net bilgilere sahip olunması durumunda önerilen fonksiyona sabit katsayılar dahil edilmiştir. Bu şekilde ALA (2001)'de önerilen hasar ilişkisi aşağıdadır.

$$RR=K_1*(0,0024)*PGV \quad (4.8)$$

Burada ortalama PGV değeri kullanılmıştır ve farklı boruların deprem performansını etkileyen faktörler doğrultusunda değişen K_1 katsayıları ALA (2001) 'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında inceleme bölgesindeki su dağıtım şebekesini

oluşturan boruların karakteristik özellikleri göz önünde bulundurularak ALA'da belirtildiği üzere K_1 değeri; font borular için 1, AÇB borular için 1, çelik borular için 0,15 ve PVC borular için 0,5 alınmıştır.

Pineda ve Ordaz (2003) Meksika şehri su dağıtım şebekesinde olası bir deprem etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmini için ampirik bir hasar ilişkisi geliştirmiştir. 1985 Michoacan depreminden elde edilen veriler kullanılarak Meksika vadisindeki yer ve arazi hareketleri dikkate alınmış, gömülü boru sisteminde görülen sismik hasarın dalga yayılması yada sürekli zemin deformasyonlarıyla ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

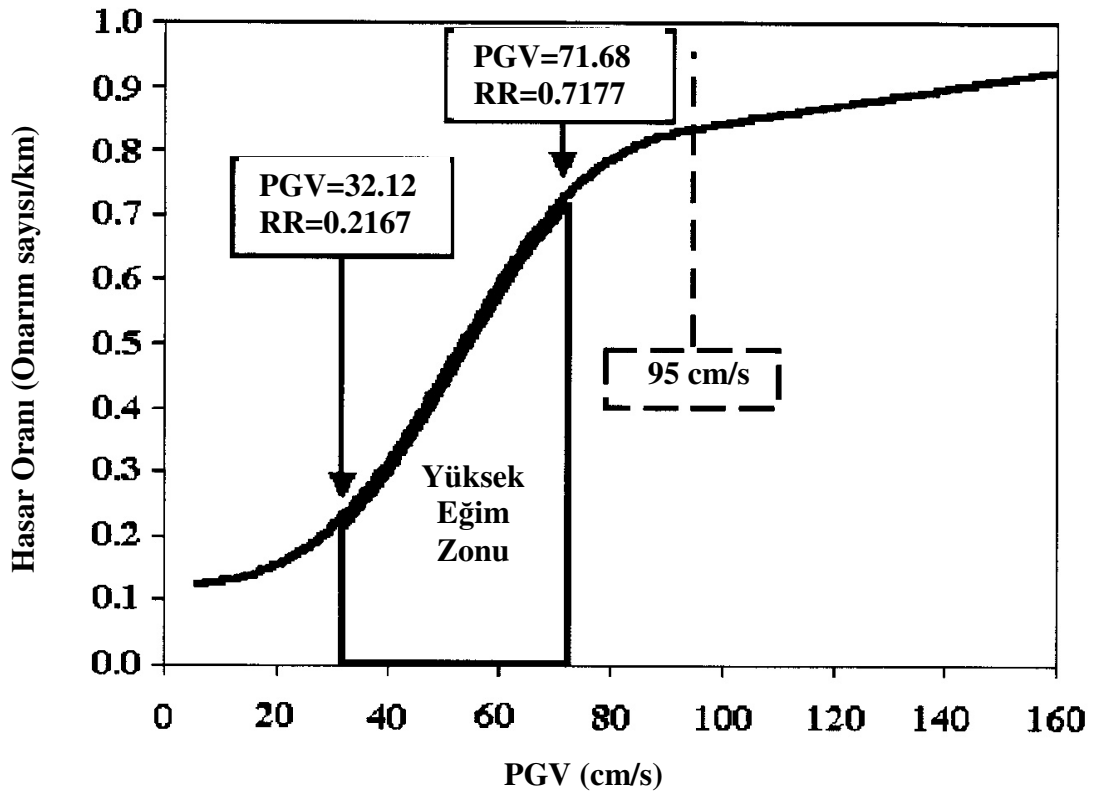
Pineda (2002) Meksika Şehri için geliştirdiği hasar ilişkisinde zemin yapısının heterojenliği ve farklılığı sebebiyle PGV'nin kullanılmasını PGA'ya nazaran daha uygun görmüştür.

Pineda ve Ordaz (2003) gelecekte olması muhtemel depremler sonrası su dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek ortalama hasar sayısını elde etmek için, kümülatif dağılım gösteren normal bir fonksiyon geliştirmiştir bu fonksiyon aşağıdadır. Şekil 4.10'da bu hasar fonksiyonu görülmektedir. Eğrinin eğiminin arttığı zon hasarın hızla arttığı bölgedir.

$$RR = 0.1172 + 0.7281 * \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi} * 19.7811} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{PGV - 51.8964}{19.7811} \right]^2} d(PGV) \quad (4.9)$$

Bu ilişkide maksimum PGV değeri kullanılmıştır ve fonksiyon çapı 500 mm den büyük kırılğan boruları kapsayan veri tabanından elde edilmiştir.

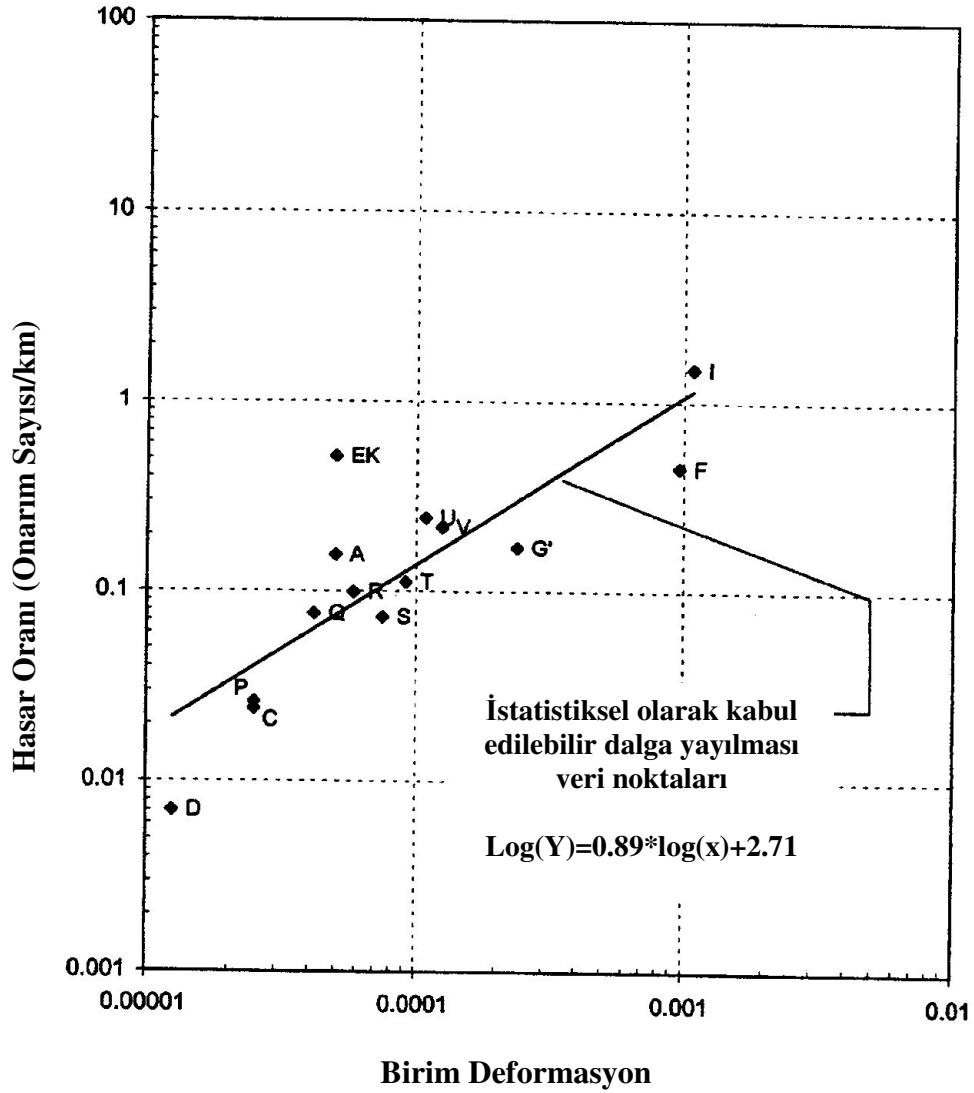
O'Rourke ve Deyoe (2004) geliştirilen HAZUS hasar ilişkisiyle, 1994 Northridge depreminden sonra geliştirilen hasar ilişkileri arasında neden önemli ölçüde farklılıklar olduğunu araştırmışlardır. Yaptıkları bu araştırmada, veri tabanlarındaki farklılığın sismik dalga türünden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.



Şekil 4.10 Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu (Pineda ve Ordaz 2003)

Şekil 4.11’de gösterilen hasar ilişkisi PGV ‘nin fonksiyonu olan birim deformasyon ve sismik dalga yayılma hızının fonksiyonudur. Bu çalışmada yüzey dalgası R (Rayleigh) ve cisim dalgalarından olan S (Secondary) dalgası ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonunda, birim deformasyona karşı hasar oranı dikkate alındığında Meksika depremi ve diğer depremlerden alınan verilerin dağılımının yeterince azaldığı görülmektedir (Şekil 4.11).

O’Rourke ve Deyoe dalga tiplerini saptamak için basit bir kriter geliştirmişlerdir ve bu kritere göre R dalgaları muhtemelen 1985 Michoacan Meksika depreminden elde edilen veri tabanını etkilemiş ve boru hasar tahmini için diğer ilişkilerin geliştirilmesinde kullanılan veri noktaları da S dalgasının muhtemel etkisi (kontrolü) altında kalmıştır. O’Rourke ve Deyoe (2004) PGV’ye dayanarak R ve S dalgalarını kullanmak suretiyle yeni hasar ilişkileri önermişlerdir. Bu hasar ilişkileri aşağıdadır.



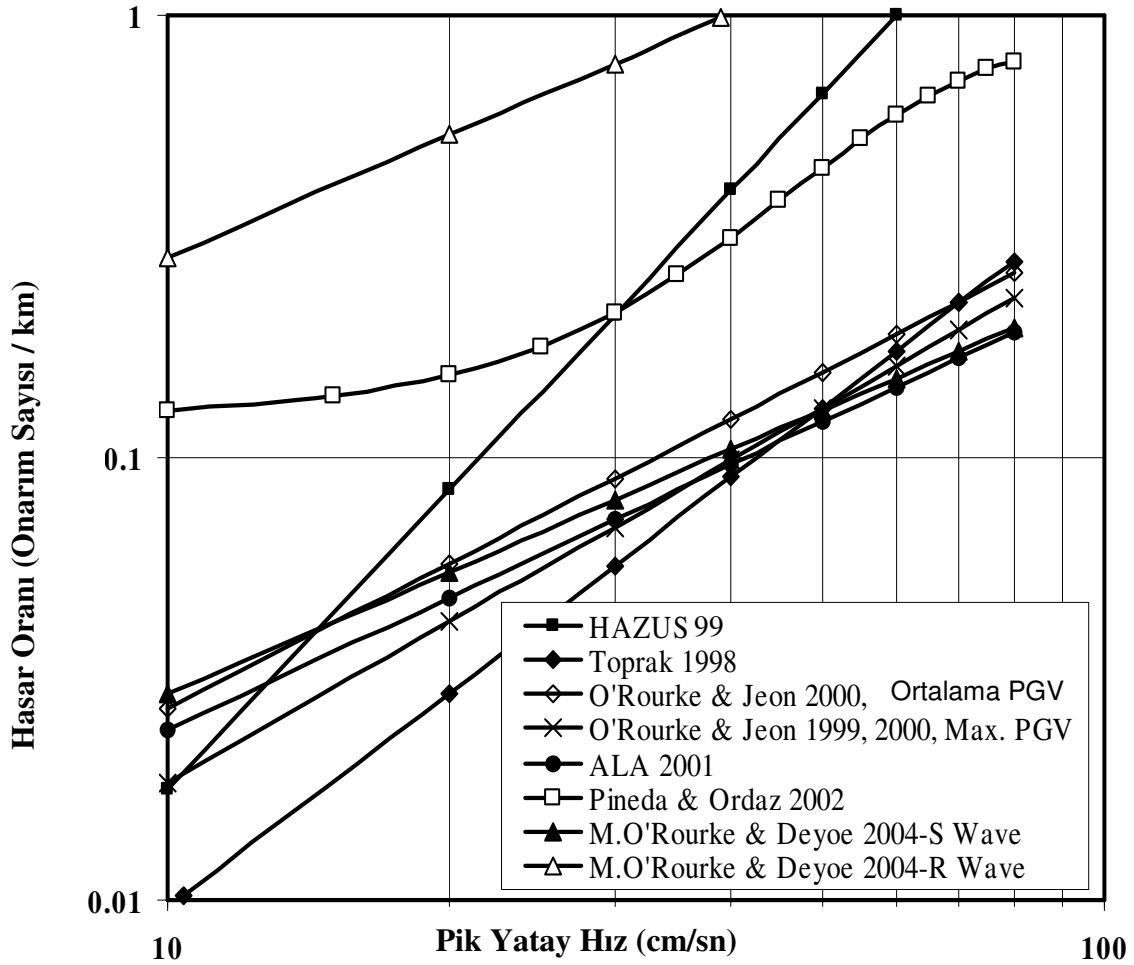
Şekil 4.11 İstatistiksel olarak kabul edilebilir sismik dalga yayılması hasar eğrisi (O'Rourke ve Deyoe 2004)

$$RR = 0.0035 * PGV^{0.92} \quad (4.10a)$$

$$RR = 0.034 * PGV^{0.92} \quad (4.10b)$$

Bu ilişki farklı çaptaki kırılgen borular için önerilmiş ve ilişkide maksimum PGV kullanılmıştır. Formül 4.10a S (Secondary) dalgası için, 4.10b ise R (Rayleigh) dikkate alınarak geliştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesinde geçici yer deformasyonları (GYD) etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmininde bu bölümde bahsedilen hasar ilişkileri kullanılmıştır. Şekil 4.12’de bu bölümde sunulan ve tez çalışması kapsamında kullanılan hasar ilişkileri ve bu hasar ilişkilerinin birbirleriyle olan korelasyonunu görülmektedir. Ayrıca Tablo 4.2’de de bu hasar ilişkilerine ait formüller verilmiştir.



Şekil 4.12 Gömülü boru hattı sistemleri için hasar ilişkileri

Tablo 4.2 Geçici yer deformasyonları için boru hasar ilişkileri

Boru Hasar İlişkileri	PGV	Boru Cinsi	Boru Çapı	Hasar Oranı (Onarım Sayısı/km) Formülü
HAZUS(1999)	Maksimum	Kırılğan Karışık	Karışık	$0.0001*(PGV)^{2.25}$
Toprak (1998)	Maksimum	Font(CI)	$D_p \leq 600$ mm	$10^{(1.62*\log(PGV) - 3.64)}$
O'Rourke ve Jeon (2000)	Geometrik Ortalama	Font(CI)	$D_p \leq 600$ mm	$e^{(1.09*\ln(PGV) - 6.12)}$
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000)	Maksimum	Font(CI)	$D_p \leq 600$ mm	$e^{(1.21*\ln(PGV) - 6.78)}$
		Düktil Demir(DI)	$D_p \leq 600$ mm	$e^{(1.84*\ln(PGV) - 9.40)}$
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000)	Boru Çapıyla Ölçeklendirilmiş Maksimum PGV	Font(CI)	-	$0.036*(PGV/D_p^{1.021})^{0.989}$
		Düktil Demir(DI)	-	$0.004*(PGV/D_p^{0.468})^{1.378}$
ALA (2001)	Geometrik Ortalama	Karışık	Karışık	$0.0024*PGV$
Pineda ve Ordaz (2002)	Maksimum	Kırılğan Karışık	$D_p \geq 500$ mm	$0.1172+0.7281* \left[\int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi*19.7811}} * e^{-(1/2)[(PGV-51.8964)/19.7811]^2} d(PGV) \right]$
M.O' Rourke ve Deyoe (2004)	Maksimum	Kırılğan Karışık	Karışık	$0.0035*PGV^{0.92}$ S (Secondary) Dalgası İçin
		Kırılğan Karışık	Karışık	$0.034*PGV^{0.92}$ R (Rayleigh) Dalgası İçin

4.4 Denizli Şehri Su Dağıtım Şebekesi İçin Boru Hattı Hasar Tahmini

Farklı büyüklükteki depremlerin boru hasar tahmini üzerindeki etkilerini belirleyebilmek ve ayrıca farklı yer hareketi seviyelerinde boru hasar ilişkilerinin duyarlılığını ortaya koymak için olması muhtemel M6, M6.3, M6.5, ve M7 büyüklüklerinde senaryo depremleri bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Bu farklı

büyüklerdeki deprem senaryolarında inceleme alanı için sismik tehlike yaratabilecek Pamukkale ve Karakova-Akhan faylarının üzerinde bulunan kaynaklar gözönüne alınmıştır. Bu tez çalışmasında en büyük yatay yer hızlarının (PGV) belirlenmesi için Campbell (1997) tarafından geliştirilen azalım ilişkisi kullanılmıştır. Bu azalım ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \ln(V_H) = & \ln(A_H) + 0,26 + 0,29 * M - 1,44 * \ln[R_{SEIS} + 0,0203 * \exp(0,958 * M)] \\ & + 1,89 * \ln[R_{SEIS} + 0,361 * \exp(0,576 * M)] + (0,0001 - 0,000565 * M) * R_{SEIS} - 0,12 * F - \\ & 0,15 * S_{SR} - 0,30 S_{SR} + 0,75 * \tanh(0,51 * D) * (1 - S_{HR}) + f_v(D) + \varepsilon \end{aligned} \quad (4.11)$$

Bu azalım ilişkisinde; V_H pik yatay yer hızı (cm/s), A_H pik ivmenin yatay bileşeni, M moment magnitüdü, R_{SEIS} fay kırığından çalışma alanına en kısa mesafe, F fay türü, S_{SR} ve S_{HR} yerel saha şartları, D anakayaya olan derinlik, $f_v(D)$ parametre; $D \geq 1$ km için $f_v(D) = 0$, $D < 1$ km için $f_v(D) = -0,30 * (1 - S_{HR}) * (1 - D) - 0,15 * (1 - D) * S_{SR}$ ve ε standart sapmadır. Standart sapma eşitlik 4.12’de verilmiştir.

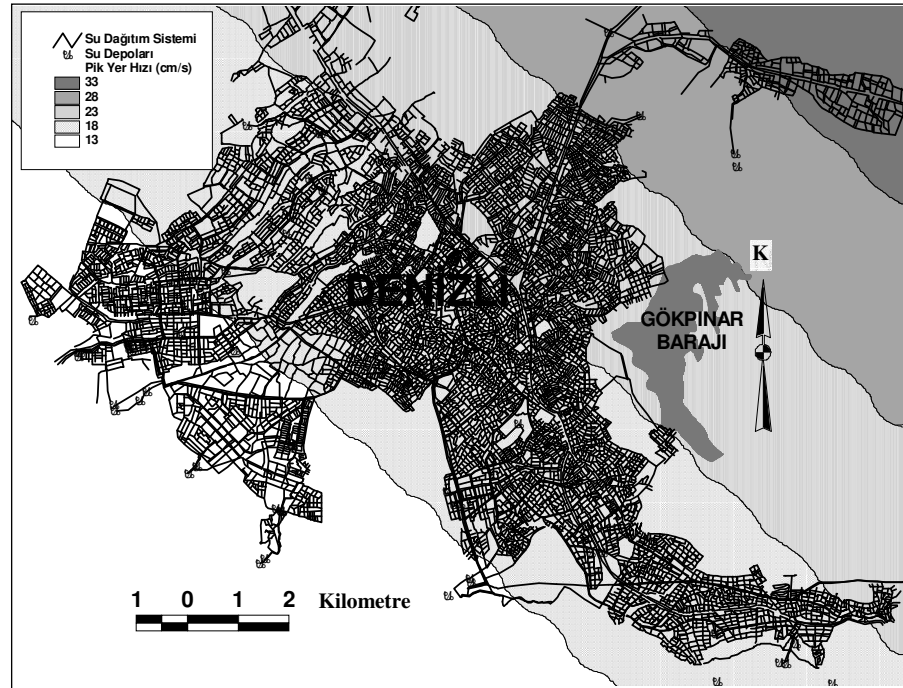
$$\varepsilon = \sqrt{\sigma^2 + 0,06^2} \quad (4.12)$$

Bu tez çalışmasında incelenen boru hasar ilişkilerinden olan O’Rourke ve Jeon (2000), Northridge deprem verisini kullanarak yaptıkları karşılaştırmalarda, maksimum PGV değerinin ortalama PGV değerinin yaklaşık 1,21 katı olduğunu belirtmişlerdir. Campbell (1997)’de ise en büyük yatay yer hızının geometrik ortalamasının (Ortalama PGV) maksimum değerden %17 daha küçük olduğu belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında; birbiriyle yakın sonuç veren Campbell (1997) ve O’Rourke ve Jeon (2000) çalışmaları dikkate alınarak azalım ilişkisinden hesaplanan ve geometrik ortalama olarak tanımlanan hız, 1,21 katsayısıyla çarpılarak en büyük yatay yer hızının maksimum değeri elde edilmiştir ve maksimum PGV gerektiren hasar ilişkilerinde kullanılmıştır. Campbell (1997) azalım ilişkisinden yararlanılarak Pamukkale ve Karakova faylarının inceleme alanında yaratabileceği ortalama (PGV) değerleri elde edilmiştir. Tüm analizlerde Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanılmıştır.

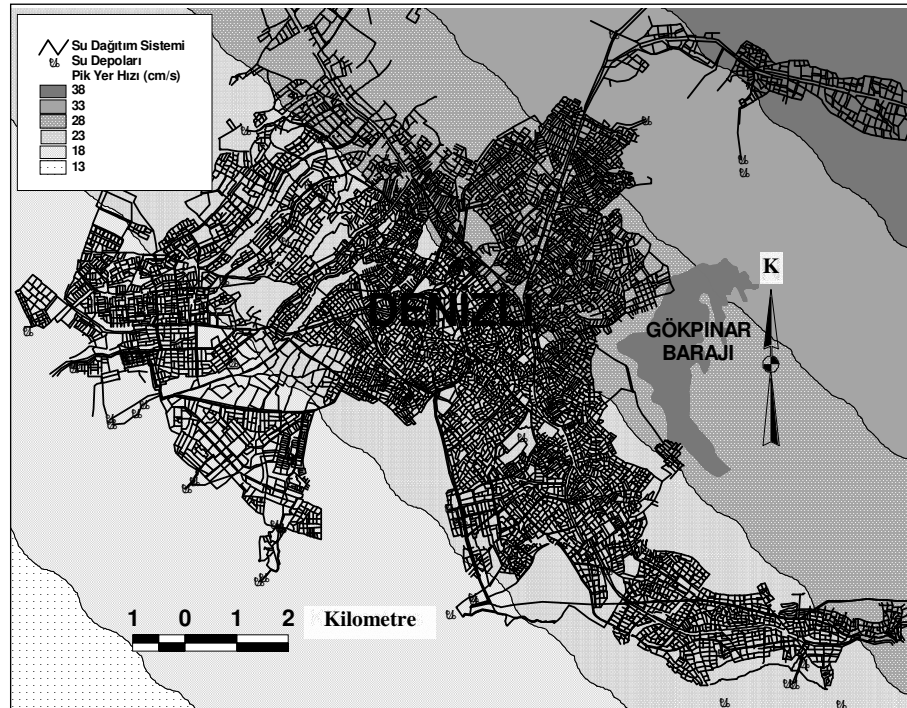
Bölüm 3.4’te inceleme bölgesinde, gömülü boru hattı sistemlerinde GYD ve KYD etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmini için Denizli şehri su iletim ve dağıtım

şebekesinin (ana hatlar, iletim ve bağlantı hatları, tali hatlar) sayısal ortama aktarılması suretiyle veri tabanının nasıl elde edildiği anlatılmıştır. Bu veri tabanından yararlanılarak; Denizli 1x1 lik gridlere bölünmüş ve her gridin köşelerinde azalım ilişkisi kullanılarak ortalama PGV'ler elde edilmiştir. Arcview programı kullanılarak inceleme alanında iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) ortalama PGV konturları (eğrileri) çizilmiştir. Daha sonra ortalama PGV eğrileri ve bu eğrilerle sınırlı PGV zonları çizilmiştir. Her zonun orta noktasındaki ortalama PGV değeri o zonu temsil etmek üzere hasar ilişkilerinde kullanılmıştır.

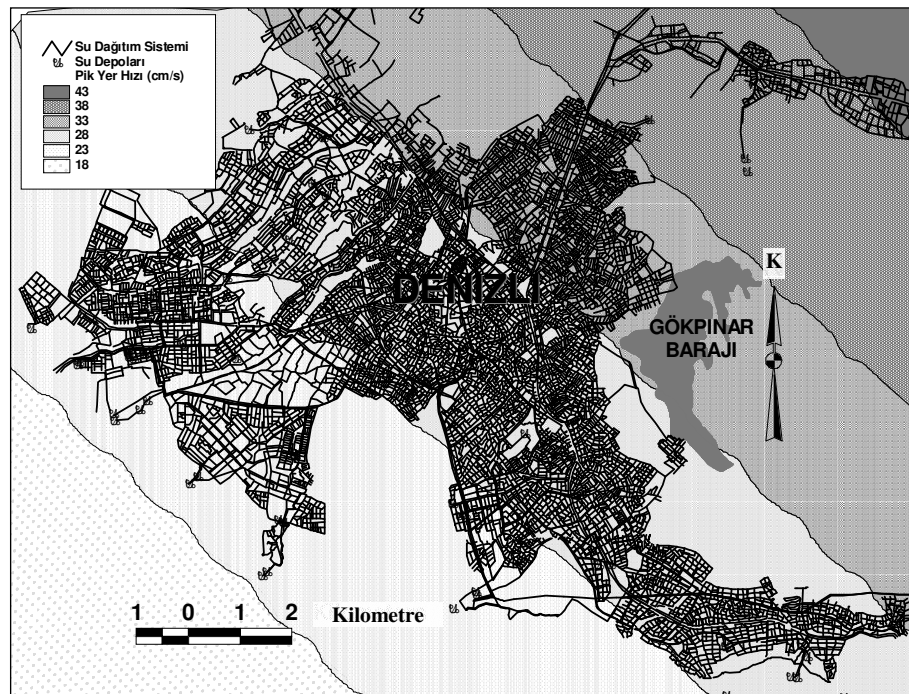
Eğer kullanılacak hasar ilişkileri maksimum PGV değerini gerektiriyorsa bu ortalama değerler Campbell (1997) ve O'Rourke ve Jeon (2000) çalışmalarında da belirtildiği üzere 1.21 katsayısıyla çarpılmıştır. Su dağıtım şebekesindeki boruların hangi PGV zonunda olduğunu belirleyebilmek için su dağıtım sistemi PGV zonlarıyla üst üste konmuştur. İki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) PGV zonlarının Denizli su dağıtım şebekesiyle üst üste çakıştırılmış durumları Şekiller 4.13, 14, 15, 16, 17, 18 ,19, 20'de görülmektedir.



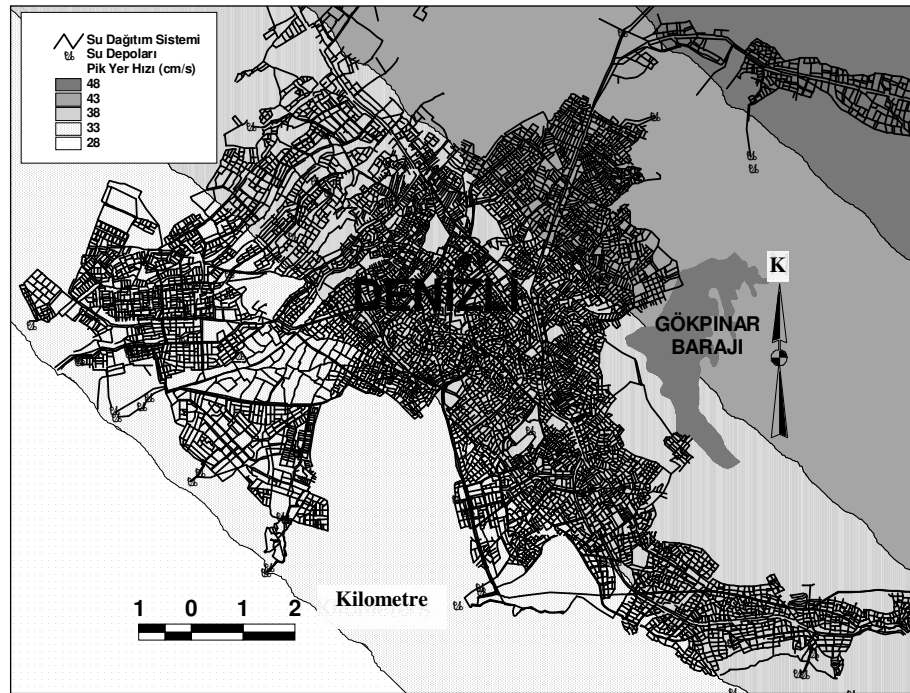
Şekil 4.13 Pamukkale fayı kaynaklı M6 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



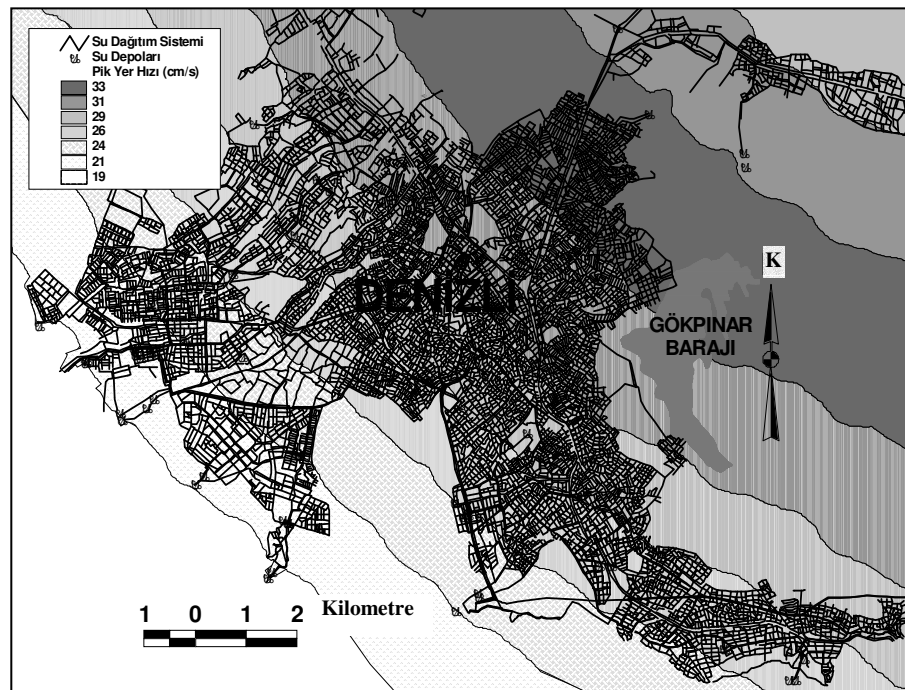
Şekil 4.14 Pamukkale fayı kaynaklı M6.3 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



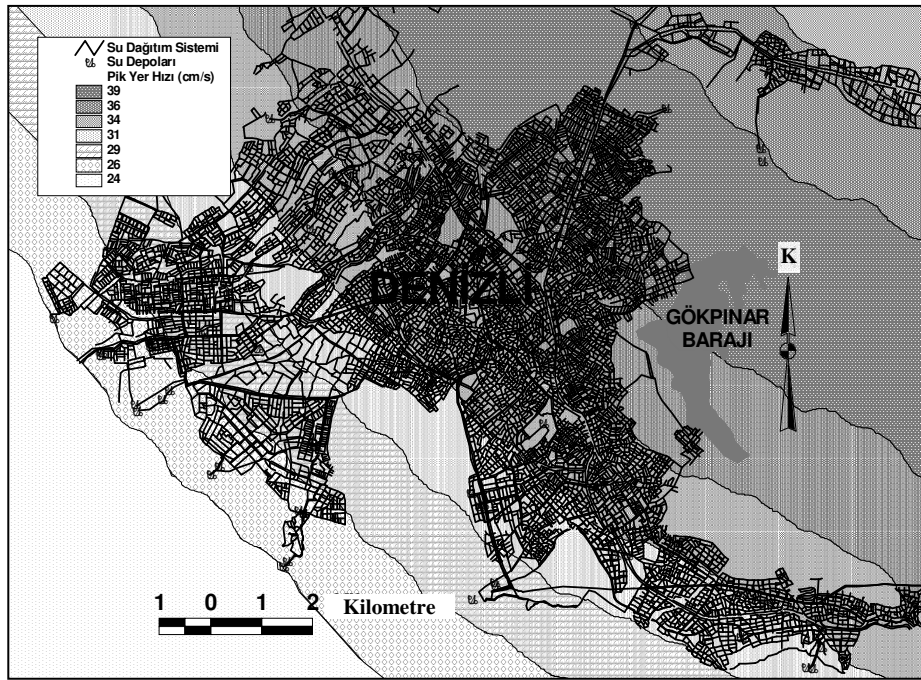
Şekil 4.15 Pamukkale fayı kaynaklı M6.5 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



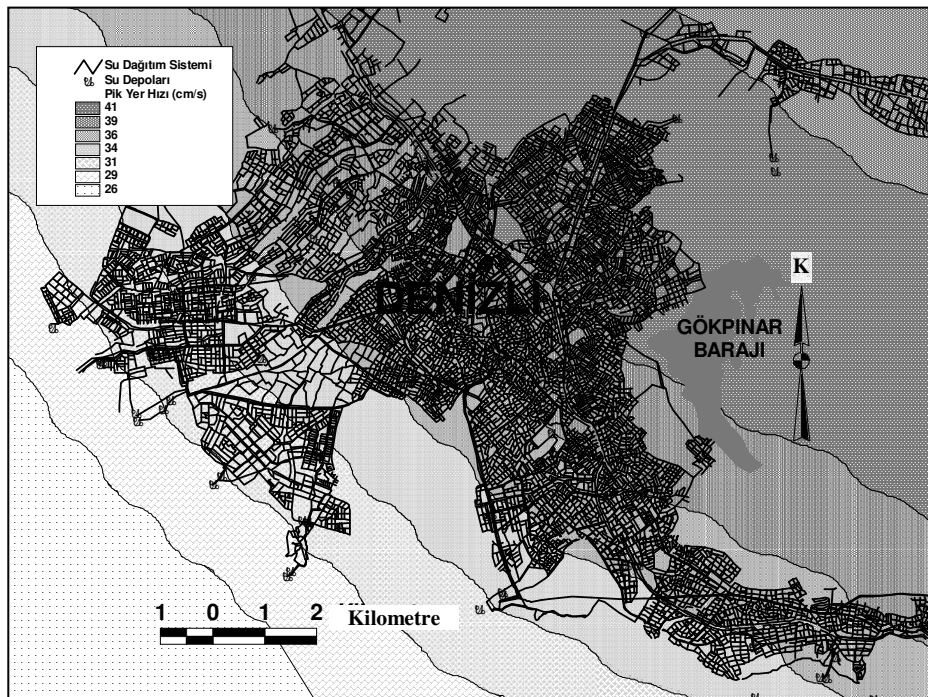
Şekil 4.16 Pamukkale fayı kaynaklı M7 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



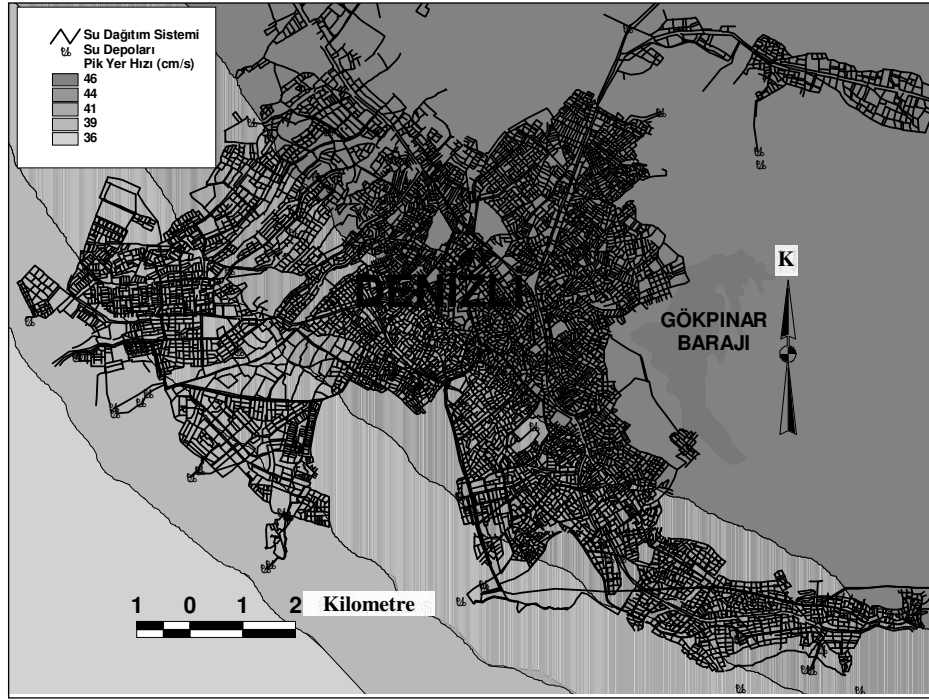
Şekil 4.17 Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



Şekil 4.18 Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6.3 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



Şekil 4.19 Karakova-Akhan fayı kaynaklı M6.5 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması



Şekil 4.20 Karakova-Akhan fayı kaynaklı M7 senaryo depremi için PGV zonlarıyla Denizli su dağıtım şebekesinin üst üste çakıştırılması

Her PGV zonu içinde kalan boru uzunluğu CBS kullanılarak bulunmuştur. Boru sistemi hasar tahminleri için; Denizli şebekesi boruları CBS analizleriyle kırılman ve düktil olarak sınıflandırılıp, boru türlerine göre boru uzunluk ve çapları CBS analizleriyle belirlenmiştir. Aynı hız bölgesindeki düktil boruların (Çelik, PVC) kırılman boruların (AÇB, Font) %30'u kadar hasar aldıkları kabul edilir (FEMA, 1999). Bu kabulden yola çıkarak HAZUS (1999), Toprak (1998), O'Rourke ve Jeon (2000), Pineda ve Ordaz (2003) ve M.O' Rourke ve Deyoe (2004) hasar ilişkilerinde düktil boru hasar oranlarını bulmak için kırılman boru için hesaplanan hasar oranı %30 ile çarpılmıştır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, her PGV zonu için boru hasar oranları; bu bölümde bahsedilen değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan boru hasar ilişkileri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra her PGV zonu için hesaplanan onarım oranlarıyla her zon içerisinde kalan toplam boru uzunluğu çarpılmak suretiyle her PGV zonu için hasar sayıları elde edilmiştir.

Hasar sayıları düktil ve kırılman borular için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Boru hattı hasar tahmini için izlenen bu metot ile Pamukkale Fayı ve Karakova-Akhan Fayı kaynaklı farklı büyüklükteki (M6, M6.3, M6.5, M7) senaryo depremleri için hasar sayıları elde edilmiştir. Çizelgeler 4.3 ve 4.4'te Denizli su dağıtım şebekesinde

Pamukkale Fayı ve Karakova-Akhan Fayı kaynaklı farklı büyüklükteki senaryo depremleri için hesaplanan hasar miktarları verilmiştir. Bu hasar sonuçlarına bakıldığında; HAZUS ve Pineda ve Ordaz (2003) ilişkileri kullanılarak yapılan hasar tahminleri ele alınan her iki fay için en yüksek onarım sayısını vermiştir.

Bununla birlikte, bu iki ilişkinin sonuçları Denizli su dağıtım sistemi için kabul edilebilir olmamalıdır. Çünkü HAZUS ilişkisi üretilirken kullanılan verilerin bir kısmı Meksika'da belirli bölgelerden elde edilmiştir. Buralarda boru hatlarına zarar veren depremlerin süresi çok uzun ve deprem dalga hızları düşüktü (Toprak 2004).

Pineda ve Ordaz ilişkisi ise tümüyle yüzey dalgasının, meydana gelen hasarı önemli ölçüde etkilediği belirlenen Meksika şehri hasar verilerinden elde edilmiştir. Denizli'de ise meydana gelebilecek hasarın, daha çok cisim dalgalarından olan S (Secondary) dalgası etkisinde olacağı düşünülmektedir.

Şekil 4.21'de farklı büyüklükteki (M_w6 , $M_w6.3$, $M_w6.5$, M_w7) senaryo depremleri için hasar ilişkileri ile tahmin edilen hasar miktarlarının değişimi (varyasyonu) verilmiştir. Sonuçlar düktil, kırılğan ve tüm boru türleri için düzenlenmiştir. Yüzde grafikleri, Tablo 4.3 ve 4.4'te verilen hasar miktarları kullanılarak hazırlanmıştır ancak HAZUS 99 ve Pineda ve Ordaz (2003) ilişkilerinden elde edilen sonuçlar bu grafiklere dahil edilmemiştir. Bu grafikte; her kutudaki en düşük sınır 25. yüzdeyi, kutulardaki çizgi ortayı ve kutunun en üst sınırında 75. yüzdeyi göstermektedir. Kutuların belirgin olan üst ve alt çizgileri ise 95. ve 5. yüzdeleri göstermektedir. Bu grafikten elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, kırılğan boru hasarları içindeki varyasyon düktil borularınkinden daha azdır.

O'Rourke ve Deyoe (2004) çalışması HAZUS ilişkisini yeniden değerlendirdikten sonra kırılğan boru hasar ilişkileri içindeki farklılıklar önemli ölçüde azalmıştır. Su dağıtım sistemlerindeki; boru türü, boru çapı, zemin şartları, zemin korozyonu ve sismik belirsizlikler gibi değişkenler göz önünde tutulursa, Toprak (1998), O'Rourke ve Jeon (2000), ALA (2001) ve O'Rourke ve Deyoe (2004) (S dalgası için geliştirilen metot) hasar ilişkilerinin arasında makul bir değişim görülmektedir. Örneğin 20 cm/sn lik PGV için hasar oranları 0,029-0,055 onarım/km arasında değişmekte iken, 75cm/sn lik PGV için hasar oranları 0,18-0,25 onarım/km arasında değişmektedir. Bahsi geçen bu

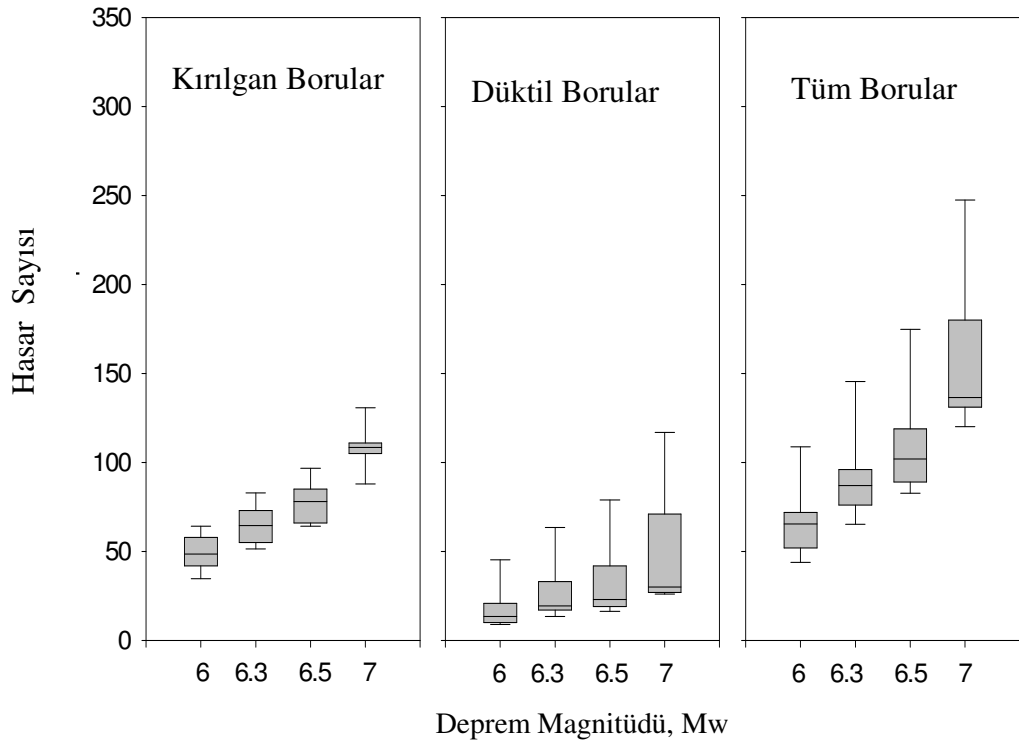
hasar ilişkileri yaklaşık 45 cm/sn lik PGV için 0,1 onarım/km değerine yakınsamaktadırlar.

Tablo 4.3 Pamukkale Fayı deprem senaryosu için boru hasar tahminleri

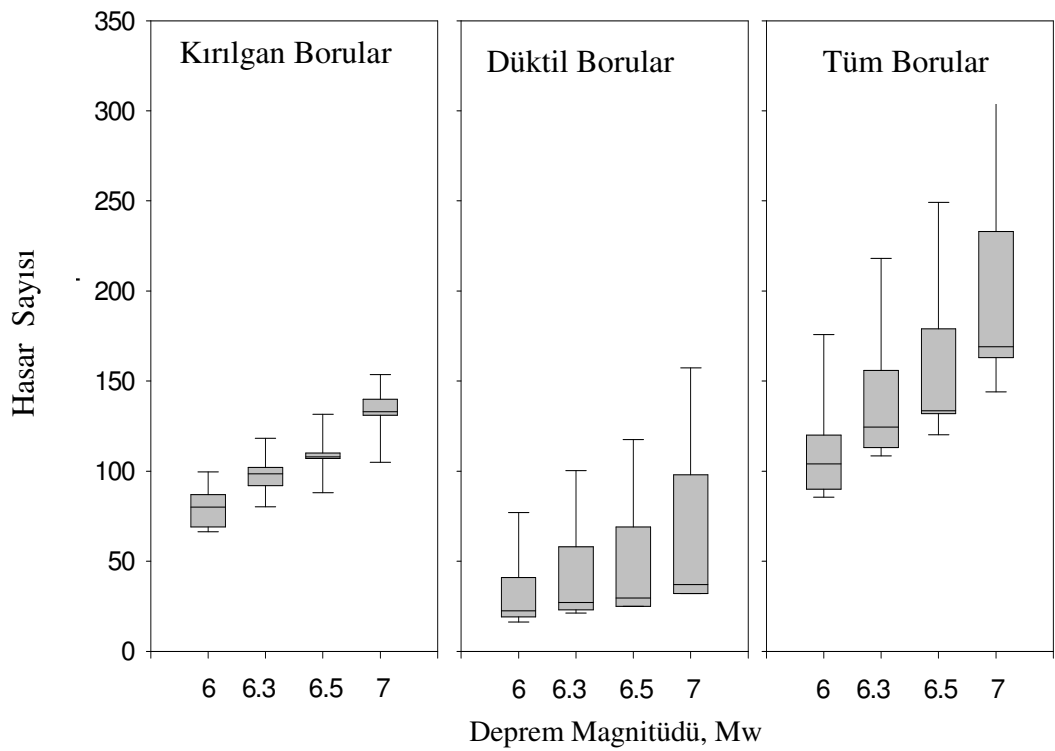
Boru Hasar İlişkileri	Deprem senaryosu											
	M _w = 6			M _w = 6.3			M _w = 6.5			M _w = 7		
	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam
HAZUS (1999)	109	28	137	189	48	237	268	66	334	510	123	634
Toprak (1998)	34	9	43	51	13	64	66	16	82	105	26	131
O'Rourke ve Jeon (2000) Geometrik Ortalaması PGV	50	13	63	66	17	83	79	19	98	108	27	135
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) Maksimum PGV	47	21	68	63	33	96	77	42	119	109	71	180
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000)) Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV	65	48	113	84	67	151	98	83	181	133	122	255
ALA (2001)	42	10	52	55	21	76	64	25	89	86	33	119
Pineda ve Ordaz (2003)	159	40	199	197	50	247	238	59	297	366	89	455
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	58	14	72	73	18	91	85	21	106	111	27	138

Tablo 4.4 Karakova - Akhan Fayı deprem senaryosu için boru hasar tahminleri

Boru Hasar İlişkileri	Deprem senaryosu											
	$M_W = 6$			$M_W = 6.3$			$M_W = 6.5$			$M_W = 7$		
	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam	Kırılğan	Düktil	Toplam
HAZUS (1999)	285	62	347	423	95	518	520	119	639	757	182	939
Toprak (1998)	69	16	85	92	21	113	107	25	132	140	34	174
O'Rourke ve Jeon (2000) Geometrik Ortalaması PGV	81	19	100	99	23	122	109	26	135	131	32	164
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) Maksimum PGV	79	41	120	98	58	156	110	69	179	135	98	233
O'Rourke ve Jeon (1999, 2000)) Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV	101	81	182	120	105	225	134	123	257	155	164	319
ALA (2001)	66	24	90	79	29	108	86	33	119	102	40	142
Pineda ve Ordaz (2003)	247	57	304	320	75	395	371	87	458	486	118	604
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	87	21	108	102	25	127	107	25	132	131	32	163



a) Pamukkale Fay Kırığı



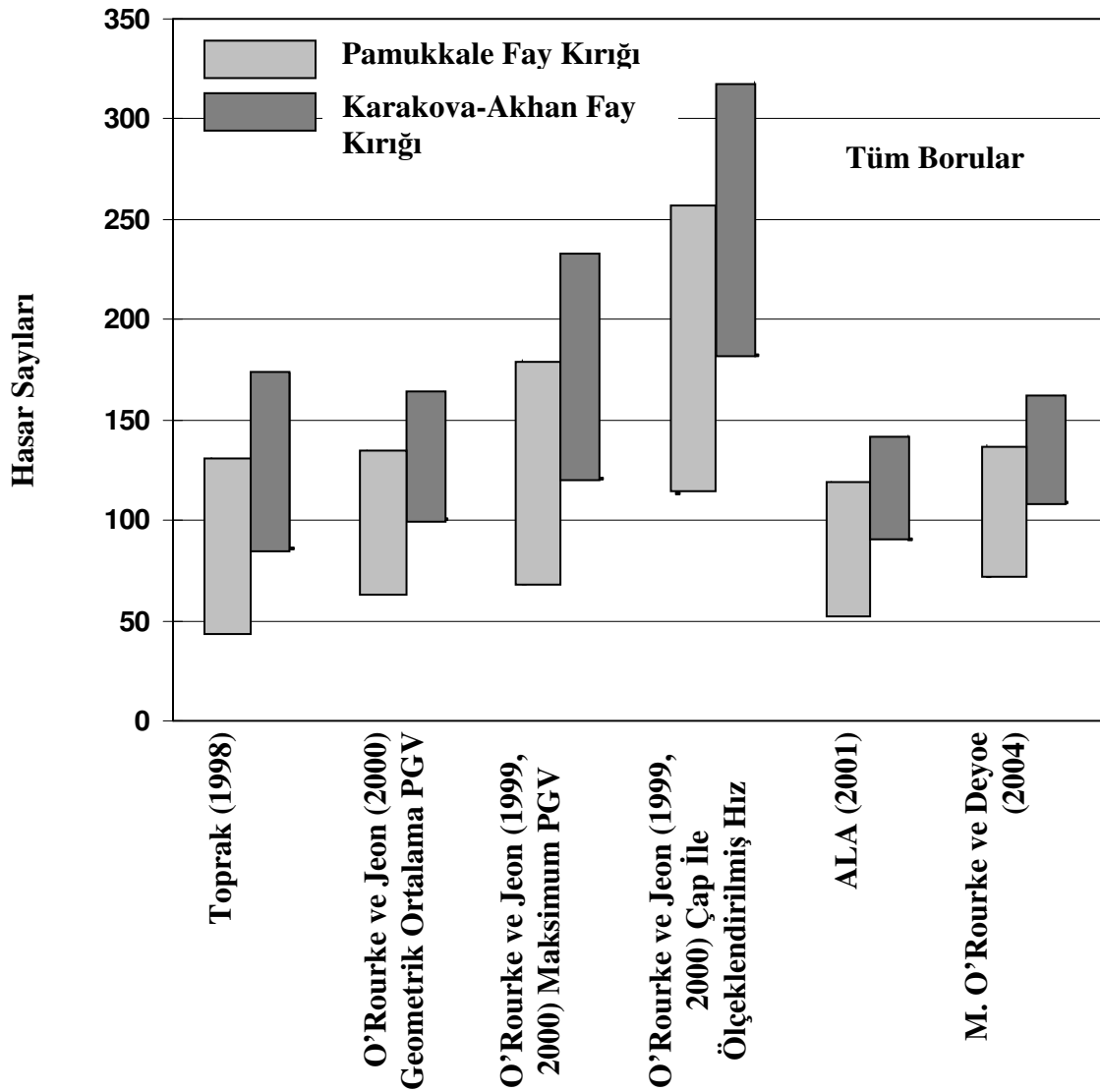
b) Karakova - Akhan Fay Kırığı

Şekil 4.21 Senaryo depremleri için boru hasar ilişkileri (Toprak ve Taşkın 2006)

Geçmiş depremlerden düktül borular için elde edilen veriler sınırlıdır, bu nedenle günümüze kadar geliştirilen hasar ilişkileri genellikle kırılğan borulardan elde edilen verilerden elde edilmiştir. Teorik ve gözleme dayalı veriler göstermiştir ki düktül borular deprem hareketi sırasında daha az hasar almaktadırlar. Bu nedenle düktül boru hasar oranını tayin etmek için kırılğan boru hasar ilişkileri birden küçük bir katsayıyla çarpılmıştır. Örneğin HAZUS, hasar ilişkilerinde düktül boru hasar oranlarını bulmak için kırılğan boru için hesaplanan hasar oranının %30 ile çarpılmasını önermektedir. Şekil 4.21 deki sonuçlar düktül ve kırılğan borular için hasar ilişkilerindeki farklılığı yansıtmaktadır. Bu noktayı belirtmek için Denizli su dağıtım sistemi hasar tahminleri kullanılarak; O'Rourke ve Jeon (1999) geometrik ortalama ve maksimum PGV hasar ilişkileri karşılaştırılabilir. O'Rourke ve Jeon maksimum PGV hasar ilişkileri kırılğan ve düktül borular için elde edilebilirken, O'Rourke ve Jeon geometrik ortalama hasar ilişkileri sadece kırılğan borular için uygundur. Geometrik ortalama hasar ilişkisi için düktül boru hasarlarının tahmininde ise HAZUS metodolojisi kullanılmıştır.

Kırılğan boru hasar tahmini için her iki metodu da kullanmak birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte; deprem büyüklüğüne bağlı olarak düktül boru hasar tahminlerinde önemli değişimler ortaya çıkmaktadır. Eğer; özellikle son depremlerden elde edilen verilerin eklenmesiyle, düktül borular için çeşitli model yaklaşımları içindeki farklılıklar uzlaştırılabilirse, boru hasar ilişkilerindeki toplam farkları önemli ölçüde azaltmak mümkündür.

Şekil 4.22'de farklı senaryo depremleri için bu tez çalışması kapsamında kullanılan her bir hasar ilişkisinden elde edilen hasar tahminleri görülmektedir. Bu grafikte her çubuğun en alt sınırı M6 büyüklüğündeki depreme, en üst sınırı ise M7 büyüklüğündeki depreme tekabül etmektedir. Burada, her çubuk M6–M7 arasında değişen senaryo depremleri için her bir ilişki kullanılarak tahmin edilen hasarların değişimini göstermektedir. Şekil 4.21 da olduğu gibi bu şekilde de HAZUS ve Pineda ve Ordaz ilişkilerinden elde edilen sonuçlar bu grafiklere dahil edilmemiştir.



Şekil 4.22 Farklı senaryo depremleri için hasar ilişkilerinden elde edilen hasar tahminleri (Toprak ve Taşkın 2006)

Tahmin edilen hasar sayıları deprem büyüklüğüne bağlı olarak 1,5-2 kat değişmektedir. Bu sonuçta göstermiştir ki; belirli bir bölge için sismik şiddetin tahmini, o bölgedeki hasar tahminlerinin daha gerçekçi yapılabilmesine olanak verecektir. Şekil 4.21 ve 4.22'in tüm boru türleri için mukayese edilmesi ile anlaşılmıştır ki; farklı zemin salınımları seviyeleri yada farklı hasar ilişkilerinin sonucu olarak hasar tahminlerindeki değişim benzerdir.

5. KALICI YER DEFORMASYONLARI ETKİSİYLE MEYDANA GELEN ŞEBEKE HASARLARI

5.1 Giriş

Son depremler, örneğin 1994 Northridge, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.), 1995 Kobe, Japonya ve 1999 Kocaeli, Türkiye depremleri gömülü boru hattı sistemlerine geniş ölçüde zarar verdiler. Bölüm 4’de anlatıldığı gibi depremin gömülü boru hatları üzerine olan zararı, kalıcı yer deformasyonlarıyla (KYD) ya da geçici yer deformasyonlarıyla (GYD) olmaktadır (O’Rourke 1998, Toprak ve Yoshizaki 2003). Bu bölümde; kalıcı yer deformasyonları etkisiyle (KYD) meydana gelen şebeke hasarları üzerinde durulmuştur.

Kalıcı yer deformasyonları açıklanarak, inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenebilmesi için Youd vd (2001) metodu kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve Denizli şehri için farklı büyüklükteki deprem senaryoları için sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. İnceleme bölgesinde sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek yanal yer hareketlerini belirleyebilmek için Youd vd (2002) ‘nin önerdiği yöntem kullanılarak; inceleme bölgesi için yanal yer hareketi (deplasman) haritaları elde edilmiştir. Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesinde yanal hareketler (deplasmanlar) sonucunda oluşabilecek hasarlar, HAZUS 99 (FEMA 1999) ve ALA (2001) hasar ilişkileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Ayrıca Denizli su dağıtım şebekesinde KYD ve GYD etkisiyle meydana gelebilecek hasarların su dağıtım sisteminin çalışma performansını nasıl etkilediğini belirlemek için HAZUS metodolojisinde belirtilen sistem performans

ilişkileri incelenmiş ve bu ilişkilerden AWSS (Ortalama) ilişkisi kullanılarak Denizli su iletim ve dağıtım sisteminin olası bir deprem sonrası performansı tahmin edilmiştir.

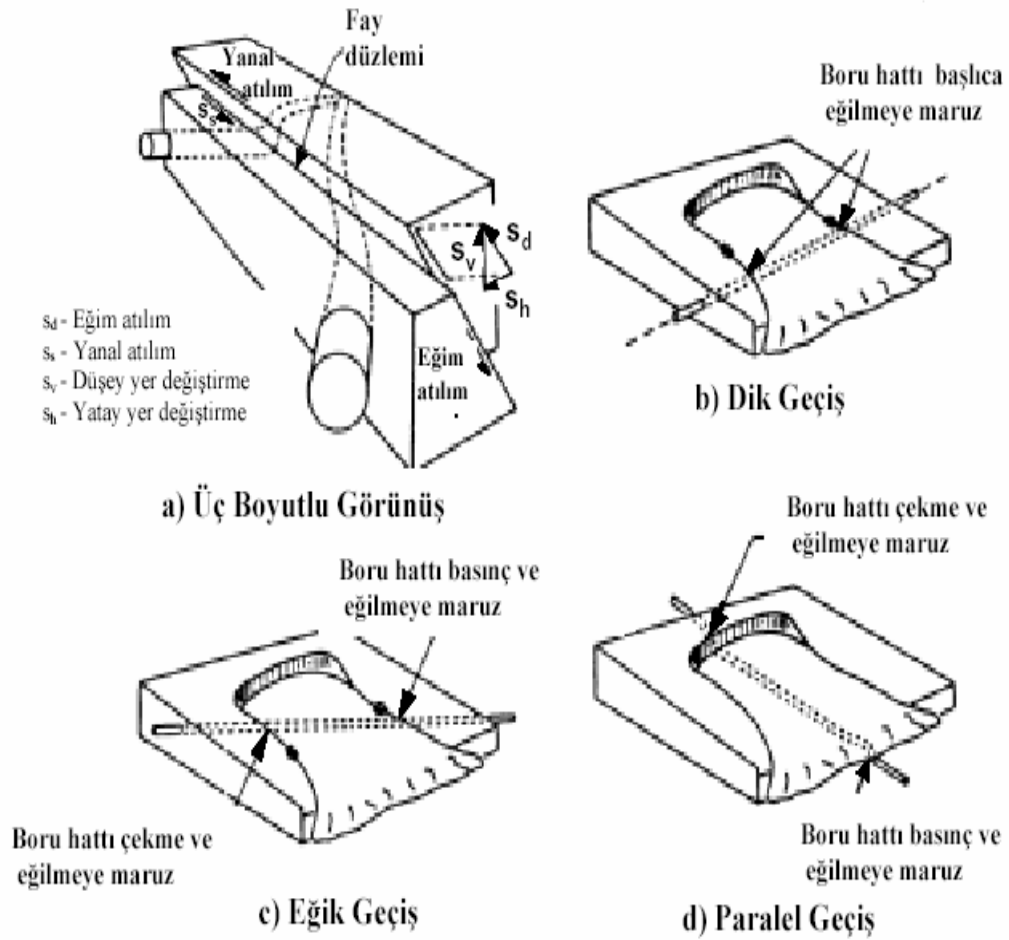
5.2 Kalıcı Yer Deformasyonları

Kalıcı yer deformasyonları deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir. Örneğin fay hatlarının hareketlerini, şev kaymalarını, sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirmeleri ve kohezyonsuz topraklarda oluşan farklı oturmaları içine almaktadır. KYD boruların kapladığı alana kıyasla daha yerel bölgelerde gerçekleşmesine rağmen, etkilediği bölgede çok büyük zararlara sebep olur (Toprak 1998, 2004).

5.2.1 Fay Hatlarının Hareketleri

Geçmiş büyük depremlerden elde edilen tecrübelerle göre kalıcı yer deformasyonlarından olan fay hatlarının hareketleri; su iletim dağıtım ve kanalizasyon sistemlerine, otoyollara, demiryollarına, elektrik iletim hatlarına, petrol ve doğalgaz boru hatlarına önemli ölçüde zarar vermektedir. Şekil 5.1 KYD etkisi altındaki bir boru hattının maruz kalabileceği belli başlı yüklemeler şekillerini göstermektedir. Fay hattını geçen bir boru hattı fayın hareketine bağlı olarak değişik etkilere maruz kalır (Şekil 5.1a). Normal fay, borularda çekme gerilmesi oluştururken ters fay basınç gerilmesine sebep olur. Yanal atımlı fay ise boru ile fay kırığı doğrultusu arasındaki açıya bağlı olarak boruda çekme yada basınç gerilmesi oluşturabilir. Şekil 5.1b bir şev kaymasının yada sıvılaşma sonucu oluşan yanal yer değiştirmenin hareket yönüne dik yönde geçen bir boru hattını göstermektedir. Böyle bir boru hattı eğilme ve uzama etkilerine maruzdur.

Eğer boru hattının geçişi KYD yönüne göre eğikse boru hattında meydana gelen eğilme etkisine ilaveten yer hareketinin sınır bölgelerinde basınç ve çekme gerilmeleri oluşur (Şekil 5.1c). Boru hattı ve KYD doğrultusunun aynı olması durumunda ise hareketin baş kısmında boru hattı eğilme ve çekmeye maruz iken topuk kısmında eğilme ve basınca maruz kalır (Toprak ve Yoshizaki 2003, O'Rourke 1998).



Şekil 5.1 Deprem oluşturduğu KYD sonucunda zemin-boru hattı etkileşimi (Toprak ve Yoshizaki 2003, O'Rourke 1998)

1999 Kocaeli depreminde 3 metrelik sağ atımlı fay hareketiyle 2.2 metre çapındaki bir çelik boru hattı zarar gördü. Depremden bir yıl önce yerleştirilen Thames su şirketine ait bu boru depremde zarar görmesine rağmen su iletmeye devam etti ve sonraki günlerde de geçici onarımı yapıldı (Eidinger vd 2002). Boru hattının fay hattına göre yerleştirilme konumundan dolayı boru hattı basınç gerilmesine maruz kalmış ve boruda üç yerde buruşma ve yırtılmalar gözlenmiştir. Şekil 5.2 borunun iç çapının 1.4 metreye indiği buruşma noktasında borunun içten görünüşünü göstermektedir.

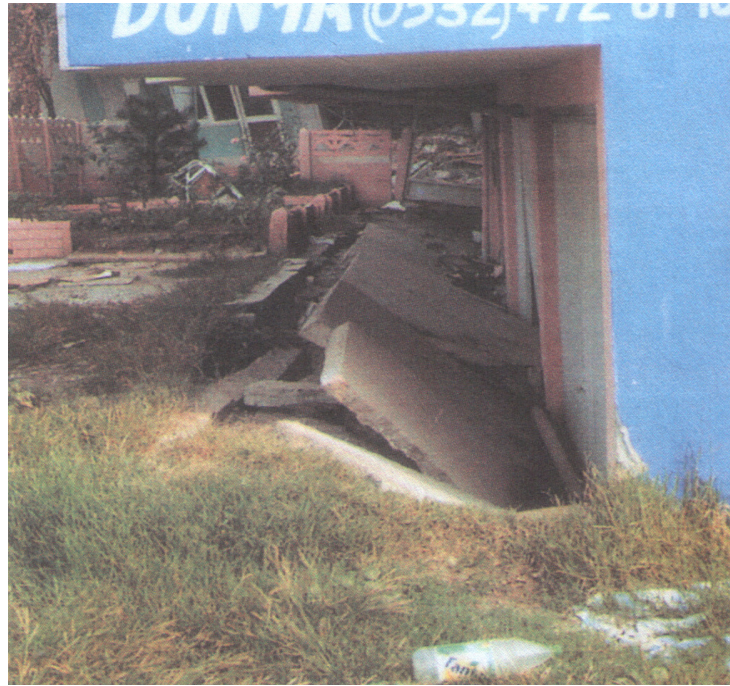


Şekil 5.2 Boruda fay kırığı hareketi sonucu oluşan buruşma (Eidinger vd 2002)

5.2.2 Sıvılaşmanın neden olduğu zemin oturması

Sıvılaşma sırasında zemin tanelerinin gösterdikleri bir araya gelme eğilimi ve zeminin taşıma gücünü yitirmesi, yüzeyde oturma şeklinde bir deformasyona (yerdeğiştirmeye) neden olabilir. Bu koşullarda zeminde gelişen oturma yerdeğiştirmesi zeminin üzerindeki yapıya da yansyarak, yapı zeminin içine batar (Şekil 5.3, 5.4). Şekil 5.5'te Kocaeli ve Düzce depremleri sonrası kalıcı yer deformasyonları etkisiyle borularda meydana gelen hasarlar görülmektedir.

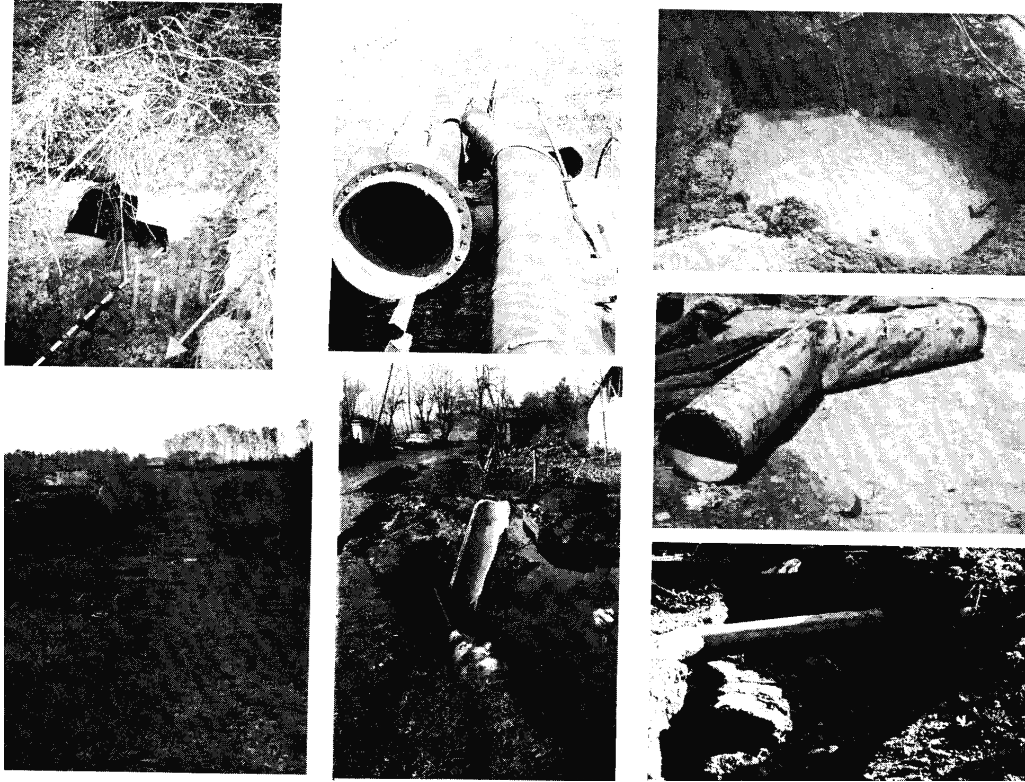
Batı Japonya'nın endüstri ve kültür merkezi olan toplam 15 milyon nüfuslu Hanshin bölgesi, Kobe ve Osaka, 1995 Kobe depreminin yoğun tesirinde kaldı. Bu bölgedeki su, atık su, gaz, elektrik ve telekomünikasyon sistemleri gibi candamarı sistemlerinin gördüğü zarardan en az 3 milyon kişi ciddi şekilde etkilendi. Özellikle KYD gerçekleşen alanlarda çok yoğun zararlar gözlenmiştir. Eski borular ve birleşim noktaları daha düktil ve esnek olan yeni borulara kıyasla daha çok zarar görmüştür (Toprak ve Yoshizaki 2003).



Şekil 5.3 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda sivilaşmanın bir sonucu olarak oturma formunda (yaklaşık 1m) aşırı temel deformasyonuna maruz kalmış bir bina (Sucuoğlu vd 2000)



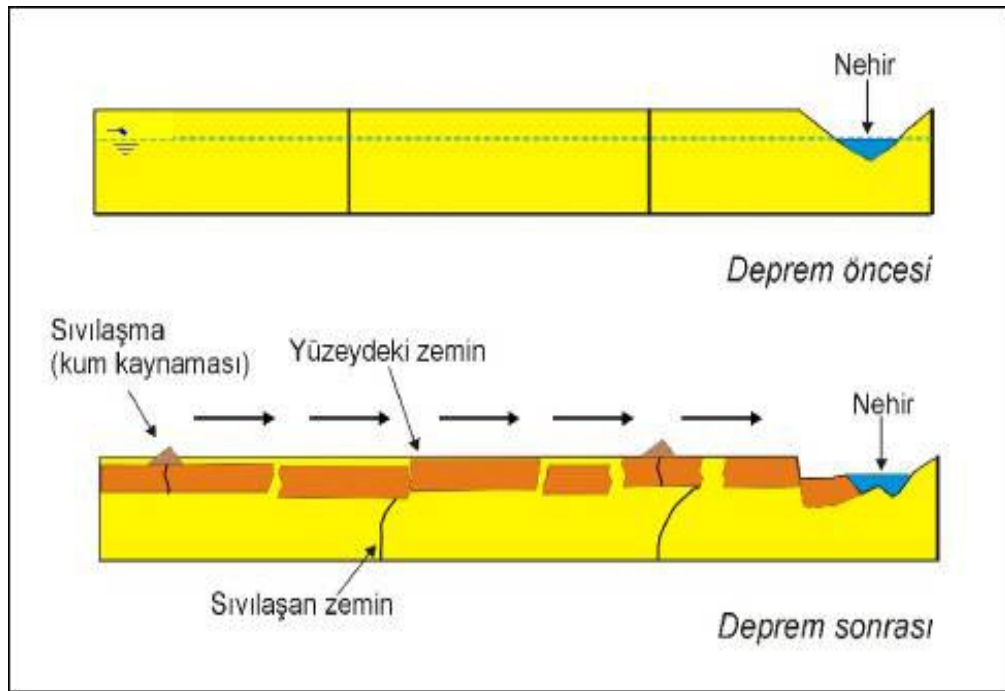
Şekil 5.4 1999 Kocaeli depreminde Sapanca Gölünün Adapazarı'na yaklaşık 5km mesafede yer alan doğu kıyısında sivilaşmaya bağlı olduğu düşünülen oturmalar ve denize doğru yanal yayılımlar sonucunda sahil şeridi kısmen gölün suları altında kalmıştır (Sucuoğlu vd 2000)



Şekil 5.5 Kocaeli ve Düzce depremleri sonrası kalıcı yer deformasyonları etkisiyle borularda meydana gelen hasarlar (Aydan 2003)

5.2.3 Sıvılaşmanın neden olduğu yanal yayılma

Yanal yayılma duraysızlığı sıvılaşan seviyenin üzerinde bulunan zeminin geniş bloklara ayrılması ve bu blokların yanal yönde hareket etmesidir. Bu hareket depremden kaynaklanan yer çekimi kuvvetleri ve içsel kuvvetlerin birlikte etkimesiyle meydana gelmektedir. Şekil 5.6.'da yanal yayılmanın gelişimi görülmektedir. Yanal yayılma, genellikle eğimi son derece küçük (0,3-6 derece) olan yamaçlar boyunca ve nehir yatağı, göl veya deniz kıyısı gibi harekete engel olmayacak serbest yüzeylere doğru gelişir. Yatay yöndeki hareket, birkaç metreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Hareket sırasında zemin ötelenir, bloklara ayrılır ve buna bağlı olarak zeminde çatlaklar, kırıklar küçük çöküntüler ve yükselmeler meydana gelir yapılar ve zemine gömülü diğer alt yapı elemanları (su dağıtım şebekesini oluşturan gömülü boru hatları, doğalgaz hatları) ciddi hasarlara maruz kalabilirler (Şekiller 5.7, 5.8 ve 5.9).



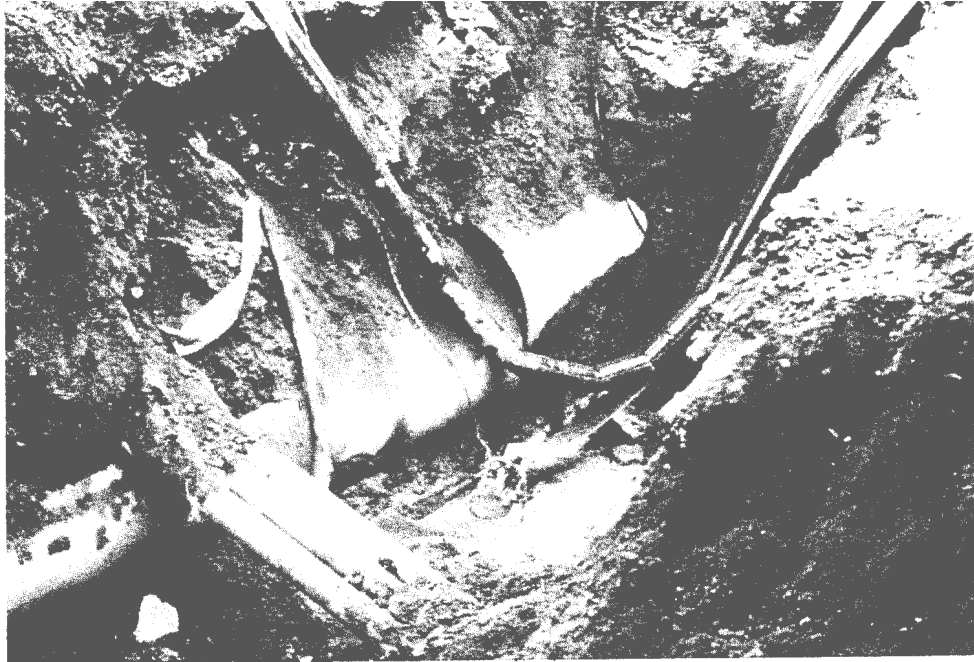
Şekil 5.6 Yanal yayılmanın gelişimi (Obermeier 1996, Çelik 2003)



Şekil 5.7 Petkim rafinerisi iskelesi üzerinde yatay deplasman sonucu meydana gelen yanıl hareket (yaklaşık 15cm) (Sucuoğlu vd 2000)



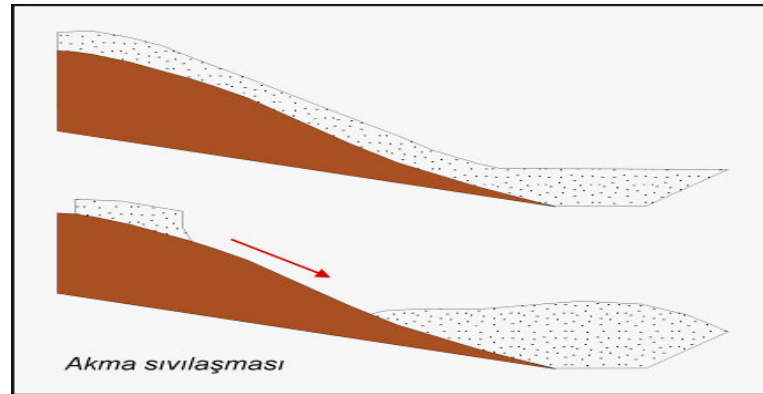
Şekil 5.8 1999 Marmara depremi sonrası Değirmendere sahilinin görünüşü. Kıyıya dolgu yapılarak kazanılmış olan alanlar 50m'ye yaklaşan yanıl yayılımlar ile denize kaybedilmiştir (Sucuoğlu vd 2000)



Şekil 5.9 1995 Kobe Depreminde Port Island kuzey yakasında sıvılaşmanın neden olduğu yanıl yayılma etkisiyle, su dağıtım sisteminde yeralan 700 mm çaplı çelik boruda meydana gelen hasar (Chung 1996)

5.2.4 Sıvılaşmanın neden olduğu akma türü kayma

Akma sıvılaşması olarak da anılan bu zemin hareketi, sıvılaşmanın neden olduğu en etkili duraysızlıktır. Akma sırasında çok geniş zemin kütleleri, çok kısa bir sürede ve saatte onlarca kilometreye ulaşan bir hızla, eğimli yüzeyler boyunca kilometrelerce hareket edebilir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Akma türü kayma (Ulusay 2000)

Akma tamamen suya doymun zeminde gelişebildiği gibi, sıvılaşan zeminin üzerinde yer alan daha sert bir malzemeye ait blokların hareket etmesiyle de meydana gelebilir. Bu tür hareketler, eğimi 6^0 'den daha büyük olan yamaçlar boyunca, gevşek ve suya doymun kumlar veya siltli kumlarda gelişmektedir. Ayrıca maden işletmelerindeki atık barajlarında toplanan, suya doymun ve çok ince cevher atıklarının da depremler sırasında akma davranışı gösterdikleri bilinmektedir.

5.3 Zeminlerin Sıvılaşma Duyarlılığının Belirlenmesi

5.3.1 Sıvılaşmanın tanımı

Sıvılaşma, boşluk suyu basıncının tekrarlı ve statik yükler altında sürekli artarak birikmesiyle efektif ortalama çevre basıncına eşit olması halinde zeminin kayma mukavemetinin kaybolması ve çok büyük şekil değiştirmeleri ile akmaların oluşturduğu bir durum olarak tarif edilebilir. Zemin tanelerinin sürüklenmesine yol açan yukarı

doğrultudaki sızma basıncının aşağı doğrultudaki efektif basınca eşit olması halinde ortaya çıkan bu kritik durumda zeminin (genellikle silt-kum arası) duraysızlığı limit durumuna gelmektedir. Bu noktadan itibaren sızma basıncının artması halinde ise zemin duraysızlığını tamamen kaybetmektedir.

Depremler sırasında sismik dalgalar, özellikle makaslama dalgaları, suya doymuş (yeraltısuyu tabakasındaki) gevşek siltli kum ve kum zeminler içinde yayılırken, birbirine göre ters yönde etkiyen kuvvet çiftleri (makaslama kuvvetleri) yaratarak zemin tanelerinin yer değiştirmesine neden olurlar. Bu koşullar altında gevşek konumdaki kum taneleri birbirine yaklaşma eğilimi gösterirler ve bu davranış sırasında tanelerin temas noktalarındaki gerilim, taneleri çevreleyen suya aktarılır. Depremlerin ani ve çok kısa süreli hareketlere neden olması, taneler arasındaki suyun kaçması (drene olması) için gereken yeterli süreye olanak tanımamakta dolayısıyla ortamdaki uzaklaşmayan gözenek suyunun basıncını aniden arttırmaktadır. Gözenek suyu basıncındaki bu ani artış zemin tanelerini bir arada tutan temas kuvvetlerini yok ederek taneleri bir birinden uzaklaştırır ve böylece zemin dayanımını yitirir. Efektif gerilmelerinde sıfır olduğu bu koşullar altında zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, bir sıvı gibi davranarak su ile birlikte yüzeye doğru hareket eder ve yüzeyden çıkmaya başlar (Ulusay 2000). Sıvılaşma olgusu ile ilgili kavramlara açıklık getirmek için; tüm bu anlatılanlar göz önüne alınarak şu tanımlar yapılabilir.

a) Ön Sıvılaşma (Sıvılaşma Başlangıcı): Tekrarlı yükler altında oluşan ve birikerek artan boşluk suyu basıncının, bir yükleme çevrimi sonunda toplam çevre gerilmesine eşit olmasına ön sıvılaşma denir. Sıvılaşma başlangıcı, bir zemin elemanında oluşabilecek şekil değiştirmelerin boyutları ile ilgili bir bilgi vermez. Ancak zemin elemanlarının tekrarlı yükler altında davranışlarının adlandırılması ve ön sıvılaşmadan sonraki davranışının değerlendirilmesine açıklık getirir.

b) Gerçek Sıvılaşma: Boşluk suyu basıncının tekrarlı veya statik yükler altında birikmesi ile efektif ortalama çevre basıncına eşit olması halinde zeminin kayma mukavemetinin kaybolması ve çok büyük şekil değiştirmelerin ve akmalara olduğu bir durumdur (Zemin bir sıvı gibi davranır). Bu durum gevşek kumlar için gerçek sıvılaşma olarak tanımlanmaktadır.

c) Devri Oynaklık: Tekrarlı yüklerin suya doygun kumlarda, sabit su muhtevasında oluşturduğu ilerleyerek artan bir yumuşama durumudur.

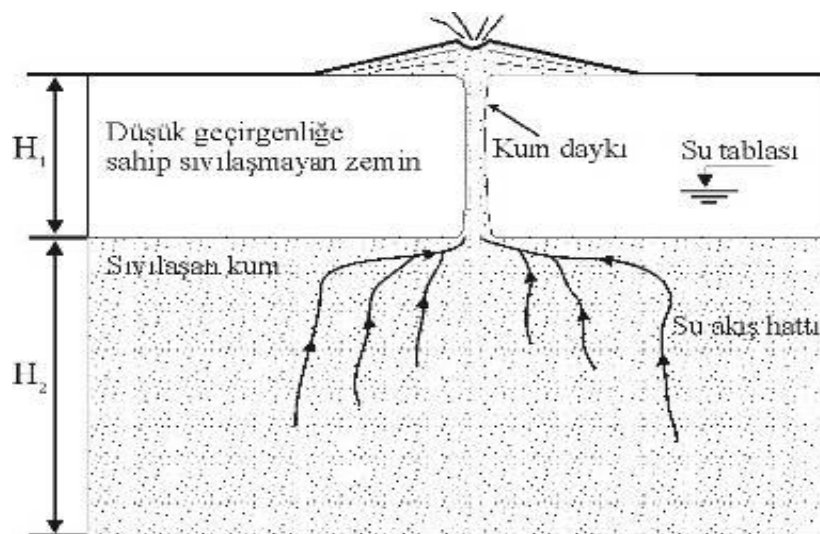
d) Devri Sıvılaşma: Sıkı kumlarda, dinamik üç eksenli deneylerde, boşluk suyu artışlarının bir anlık çevre basıncına eşit olduğu bazı durumlardır.

e) Sınırlı Ön Sıvılaşma: Tekrarlı yükler altında bir yükleme devresinin sonunda, bir ön sıvılaşmanın oluşması, fakat bunu izleyen yükleme devrelerinde zemin elemanının bir artık mukavemet kazanmasından veya sıkı kumlarda hacim genişlemesi neticesinde boşluk suyu basıncı düşerek kayma mukavemetinde bir artma oluşmasından ötürü, şekil değiştirmelerin sınırlı kalması ve zemin elemanının tekrarlı yükler altında duraylı bir konuma gelmesidir.

Sıvılaşma yüzeyde aşağıdaki gibi üç farklı tipte görülebilir:

1. Kum fışkırmaları (Kum volkanları ve kum kraterleri)
2. Kum daykları ve siller
3. Yanal yayılmalar ve kademeli yarıklar

Örneğin 27 Haziran 1988 Adana-Ceyhan depreminde (M6.3) Abdioğlu Köyü civarında 2m derinlikte ve 4m çapında büyük kum kraterleri oluşmuştur. Kum fışkırmaları kratercikler ve bacalı kum volkanları şeklinde görülür (Şekiller 5.11 ve 5.12).



Şekil 5.11 Sıvılaşan kumun yüzeye çıkışını gösteren kesit (Obermeier 1996, Ulusay 2000)



Şekil 5.12 Adapazarı'nda Çark Caddesi civarında bir sokak boyunca zemin yüzeyine fişkırılmış silt ve ince kum öbekleri (Sucuoğlu vd 2000)

Sıvılaşmanın arazi ve yapılar üzerindeki etkileri ise beş ana madde halinde sıralanabilir.

1. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi
2. Zeminin oturması
3. Zemin salınımı
4. Yanal yayılma
5. Akma türü kayma

Sıvılaşmanın arazi ve yapılar üzerindeki etkilerinden olan zeminin oturması, zemin salınımı, yan al yayılma ve akma türü kaymadan Bölüm 5.2 de bahsedilmiştir. Zeminin taşıma gücünü yitirmesi ise kısaca yapıları taşıyan zeminin sıvılaştığı zaman, yapının aktardığı yükü taşıyamaz hale gelmesi sonucu zemin üzerindeki yapıların değişik yönlerde yatması veya devrilmesidir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 1999 Kocaeli (İzmit) depreminde Adapazarı'nda eğilme formunda aşırı temel deformasyonuna maruz kalmış binalar (Sucuoğlu vd 2000)

Sıvılaşma nedeniyle zeminin taşıma gücünü yitirmesiyle binalarda gözlenen davranışın aksine sıvılaşan zeminin içinde gömülü konumdaki tanklar ve borular ise, yüzeye doğru yükselme (kabarma) eğilimi gösterirler ve kırılmaya yada bükülmeye maruz kalırlar (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 1999 Marmara depremi sonrası zemin deformasyonlarına bağlı olarak yol ve kaldırımlarda meydana gelen kabarmalar (Sucuoğlu vd 2000)

5.3.2 Sıvılaşma analizi

Zeminlerin sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde arazi ve laboratuvar deneylerine bağlı birçok analiz yöntemi bulunmaktadır. Laboratuvarda yapılan dinamik üç eksenli deneylerde, sıvılaşma olasılığı yüksek zeminlerin çoğundan örselenmemiş zemin örnekleri almak zor olduğundan arazi deneylerine dayalı değerlendirmeler uygulamada daha çok kullanım alanı bulmuştur. Bu arazi deneylerinden başlıca Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) en yaygın olarak kullanılan arazi deneyleri olup, Beker Penetrasyon Deneyi (BPT), Kayma Dalga Hızına (Vs) bağlı analiz yöntemleri de sıvılaşma analizinde kullanılmaktadır.

Kumlar ve siltler için Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiş basitleştirilmiş yöntem zamanla geliştirilmiştir. Amerikan Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde (National Center for Earthquake Engineering Research), zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi ve dünya çapında bu konuda bir standart yöntem oluşturulması amacıyla sıvılaşma üzerine çalışan araştırmacılar T. Leslie ve I. M. Idriss başkanlığında bir araya getirilmiş ve bu çalışmalar “Youd vd (2001)” adlı makalede yayınlanmıştır. Bu tez kapsamında inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde, arazide elde edilen SPT verileri kullanılmıştır. Bu sebeple burada yalnızca standart penetrasyon testi (SPT) kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi anlatılacaktır.

SPT kullanılarak yapılan sıvılaşma analiziyle, sıvılaşma riskini belirlemede kullanılan sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) elde edilmektedir. Güvenlik katsayısı (FS), zeminin sıvılaşma direncinin (CRR) deprem anında meydana gelen devirsel gerilime (CSR) oranıdır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen güvenlik katsayısı (FS) 1'den küçük ise sıvılaşma vardır, güvenlik katsayısı (FS) 1'den büyük ise sıvılaşma yoktur. Sıvılaşma olasılığının belirlenmesi şu aşamalardan oluşur:

a) Devirsel gerilim oranı (Cyclic Stress Ratio, CSR)

Devirsel gerilim oranı genel anlamda deprem anında meydana gelen maksal gerilmesinin düşey efektif gerilmeye oranı olarak tanımlanabilir. Devirsel gerilim oranı,

laboratuarda örselenmemiş zemin numunelerinin test edilmesi sonucu akla yatkın bir denklem olarak ortaya konulmuştur. Ancak doğal zemin gerilimi genel olarak laboratuarda belirlenmemektedir ve taneli zemin örnekleri tipik sondajlama ve örnekleme teknikleriyle zarar görmeden elde edilememiştir. Bu nedenlerden dolayı da bu denklem gerçeğe yakın sonuçlar vermemektedir. Örnekleme ve laboratuvar testlerinden kaynaklanan zorlukları gidermek amacıyla arazi deneyleri rutin sınıvlaşma araştırmaları için kullanılan pratik yöntem haline gelmiştir. Devirsel gerilim oranını açıklamak için Seed ve Idriss (1971) aşağıdaki denklemi oluşturmuşlardır. Deprem sırasında meydana gelen tekrarlı gerilim oranı CSR, formül 5.1 ile hesaplanmaktadır.

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma'_{vo}) = 0,65 (a_{max} / g) (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \quad (5.1)$$

Burada,

a_{max} : Zemin yüzeyinde deprem etkisiyle oluşan maksimum yatay yer ivmesi

g : Yerçekim ivmesi

σ_{vo} : Toplam örtü yükü gerilmesi

σ'_{vo} : Efektif örtü yükü gerilmesi

r_d : Gerilme indirgeme katsayısı

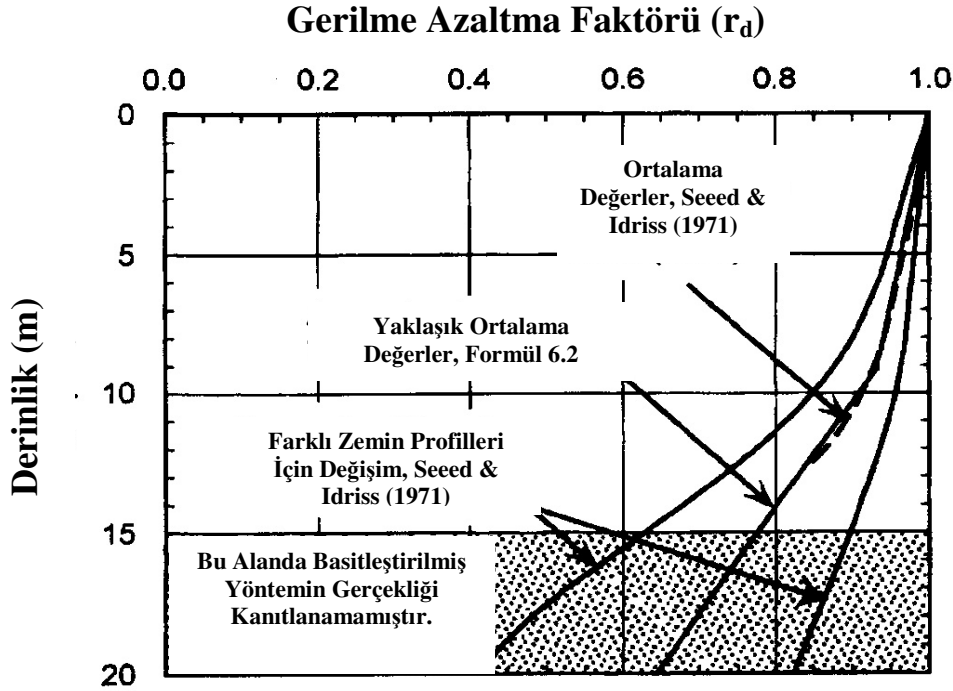
τ_{av} : Ortalama çevrimli kayma gerilmesi

Burada r_d , derinlikle (z) değişen bir faktör olup 9.15 m derinliğe kadar formül 5.2, 9.15 m ile 23 m arasındaki derinliklerde ise formül 5.3 ile hesaplanmaktadır.

$$r_d = 1,0 - 0,00765 * z \quad z \leq 9,15 \text{ m} \quad (5.2)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 * z \quad 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (5.3)$$

Gerilme indirgeme katsayısının (r_d) derinlikle olan değişimi Şekil 5.15'de verilmiştir. Yukarıdaki formüller (5.2 , 5.3) rutin mühendislik işlerinde (kritik olmayan projelerde) doğrudan kullanılabilir. Ancak bu iki esnek formülde önemli bir değişken bulunmaktadır. Bu da derinliktir. r_d nin derinlikle değişen geniş bir aralığı vardır (Şekil 5.15). Formül 5.2 ve 5.3'ün bilgisayar programlarında kullanımı için daha uygun hali formül 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.15 Gerilme azaltma faktörünün (r_d) derinlik (z) ile değişimi (Youd vd 2001)

$$r_d = (1,00 - 0,4113 * z^{0,5} + 0,04052 * z + 0,001753 * z^{1,5}) / (1,00 - 0,4177 * z^{0,5} + 0,05729 * z - 0,006205 * z^{1,5} + 0,001210 * z^2) \quad (5.4)$$

b) Devirsel direnç oranı (Cyclic Resistance Ratio, CRR);

Sıvılaşma direncinin belirlenmesi için SPT ye bağlı kriterler yıllar boyu gelişime uğramıştır. Bu kriterler aşağıda verilmiştir. Zeminin sıvılaşmaya karşı olan tekrarlı direnç oranını (CRR) hesaplamada SPT darbe sayıları kullanılmıştır. SPT deneyinden elde edilen darbe sayıları (N) bir dizi düzeltmeye tabi tutularak, düzeltilmiş SPT darbe sayısı $(N_1)_{60}$ belirlenmektedir. Bu düzeltmeler; örtü yükü düzeltmesi (C_N), tij enerji oranı düzeltmesi (C_E), kuyu çapı düzeltmesi (C_B), deney sırasında kullanılan tij uzunluğu düzeltmesi (C_R) ve iç gömlek (tüp) düzeltmesidir (C_S).

Şekil 5.16 da geçmişte 7,5 büyüklüğünde olan depremlerde sıvılaşmanın görüldüğü bölgelerden yada sıvılaşma olayının gözlenmediği bölgelerden alınan düzeltilmiş $(N_1)_{60}$ ve CSR datalarından oluşturulmuş grafik verilmiştir. Grafikteki eğriler ince tane oranına göre geliştirilmiştir. Grafik ince tane oranı %5 e eşit yada küçük, ince tane oranı %15 ve ince tane oranı %35 e göre bölgelendirilmiştir. İnce tane (dane boyu < 0.075 mm olan

kil+silt taneleri) oranı %5 ten küçük ve eşit ince tane oranı eğrisi sınılaşma analizinde kullanılan basitleştirilmiş yöntem için temel kriterdir. Bu grafikten yararlanılarak CSR yada CRR hesaplanmaktadır. CRR formül 5.5 ile matematiksel olarak hesaplanabilir.

$$CRR_{7,5} = (1/(34-(N_1)_{60cs})) + ((N_1)_{60cs}/135) + (50/(10*(N_1)_{60cs}+45)^2) - (1/200) \quad (5.5)$$

Bu formül 7,5 büyüklüğündeki bir deprem için elde edilmiştir. Gerekli hesaplar yapıldıktan sonra magnitud düzeltme faktörü ile düzeltilecektir.

$(N_1)_{60cs}$: Çeşitli düzeltmeler sonucu elde edilmiş darbe sayısıdır. Bu düzeltmeler sırasıyla şunlardır ;

a) Enerji oranı düzeltmesi:

N : Standart penetrasyon deneyinden elde edilen darbe sayısı

ER : Tij enerji oranıdır. Türkiye'de genellikle donut tipi şahmerdan kullanılmaktadır.

Enerji oranı Türkiye'de %45 tir.

$$N_{60} = N * (ER /60) \quad (5.6)$$

b) SPT deki diğer düzeltmeler:

$$(N_1)_{60} = C_N * N_{60} * C_R * C_B * C_S \quad (5.7)$$

C_N : Örtü gerilimi düzeltmesidir ve şöyle hesaplanabilir.

$$C_N = (2,2 / (1,2 + \sigma'_{vo}/P_a)) \quad (5.8)$$

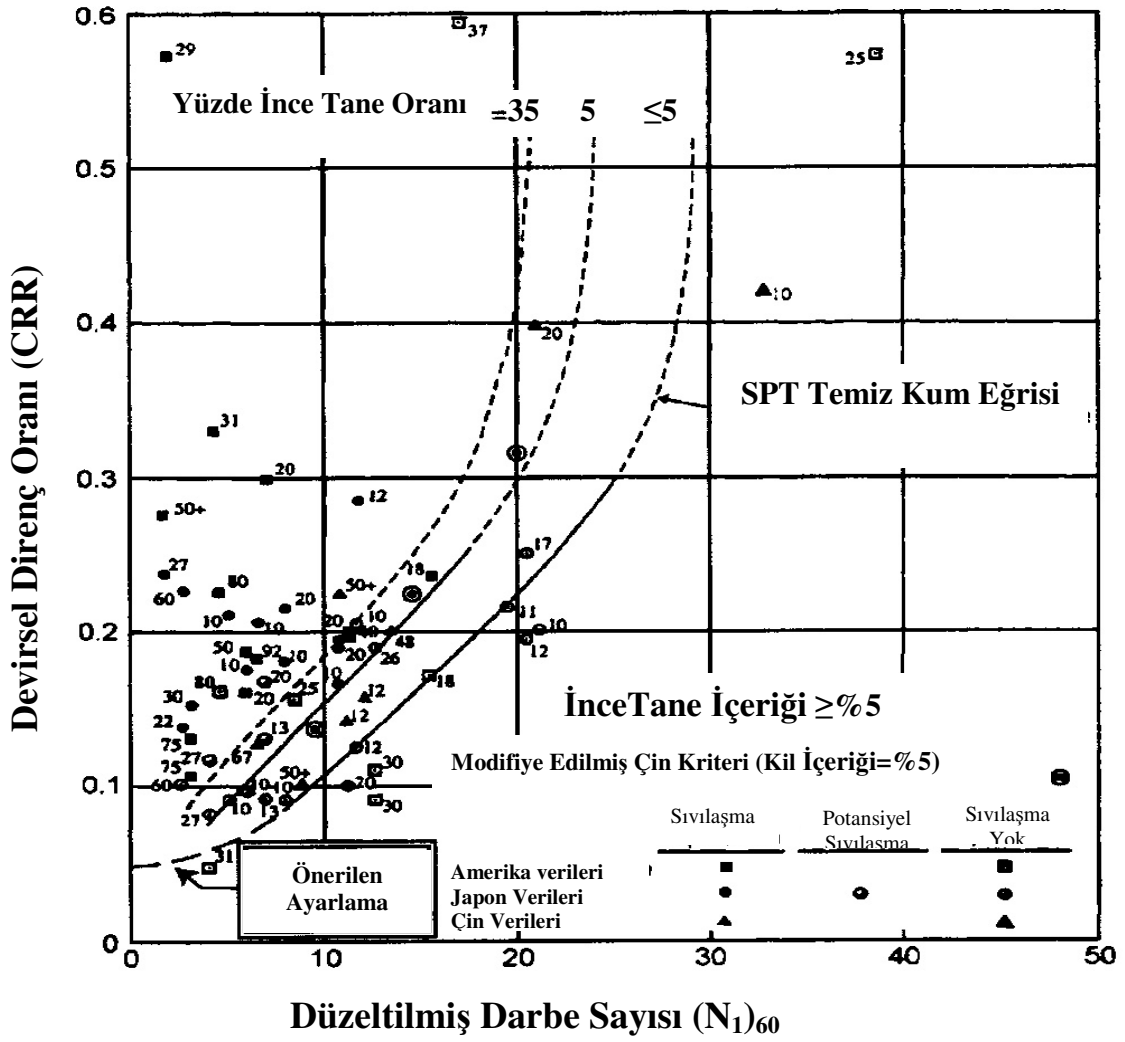
P_a ; Atmosfer basıncı (σ'_{vo} ile aynı birimde)

C_R : Deney sırasında kullanılan tij uzunluğu düzeltmesi

C_B : Kuyu çapı düzeltmesi

C_S : İç gömlek düzeltmesi

SPT düzeltme katsayıları Tablo 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.16 Devirsel direnç oranı (CRR) ve düzeltilmiş darbe sayısı $(N_1)_{60cs}$ arasındaki ilişki (Youd vd 2001)

Tablo 5.1 Tij, iç gömlek ve kuyu çapı düzeltme faktörleri (Skempton 1986)

	Tij Uzunluğu Düzeltmesi,	CR
Uzunluk <3 m	0.75	
Uzunluk 3-4 m	0.8	
Uzunluk 4-6 m	0.85	
Uzunluk 6-10 m	0.95	
Uzunluk 10-30 m	1	
	İç gömlek düzeltmesi,	CS
İç Gömlek Kullanılmadığında	1.1-1.3	
İç Gömlek Kullanıldığında	1	
	Kuyu Çapı Düzeltmesi,	CB
Kuyu Çapı 65-115 mm	1	
Kuyu Çapı 150 mm	1,05	
Kuyu Çapı 200 mm	1,15	

c) SPT deki ince tane oranı düzeltmesi;

Youd vd (2001), SPT'ye göre sınıflama analizinde ince tane oranının (dane boyu < 0.075 mm olan kil+silt taneleri) artışı ile CRR 'nin arttığını belirtmiş ve düzeltilmiş SPT darbe değerlerinin $(N_1)_{60}$, zeminin içerdiği ince tane oranına (İTO) göre yeni bir düzeltme önermişlerdir $(N_1)_{60cs}$.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (5.9)$$

$$\text{İTO (İnce tane oranı)} \leq \%5 \quad \rightarrow \quad \alpha = 0 \quad (5.10)$$

$$\%5 < \text{İTO} < \%35 \quad \rightarrow \quad \alpha = e^{(1,76 - (190 / \text{İTO}^2))} \quad (5.11)$$

$$\text{İTO} \geq \%35 \quad \rightarrow \quad \alpha = 5 \quad (5.12)$$

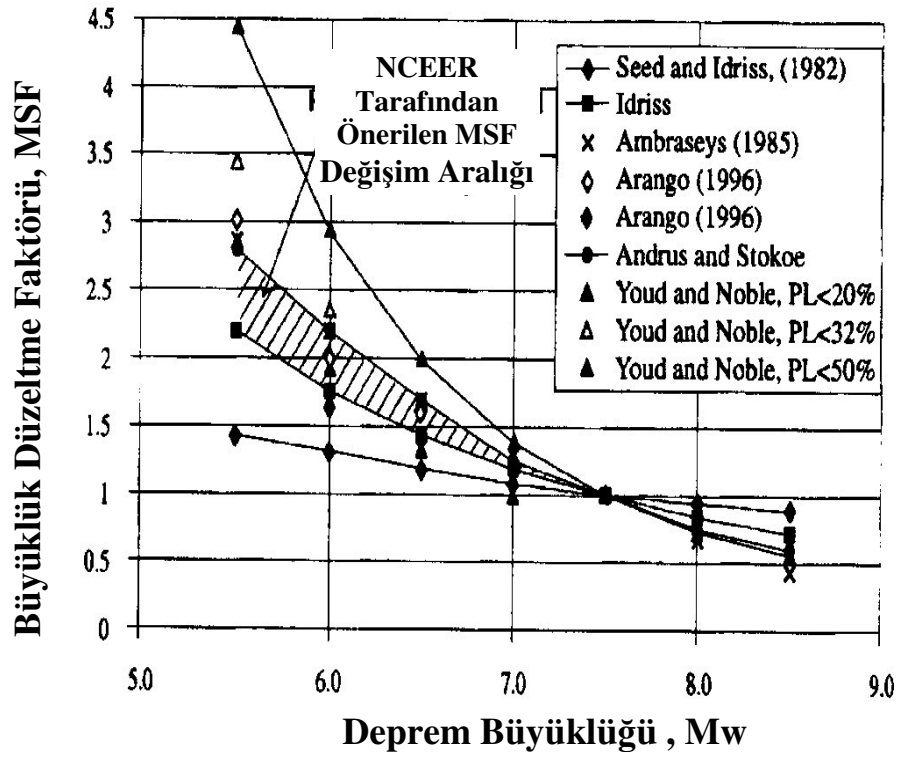
$$\text{İTO} \leq \%5 \quad \rightarrow \quad \beta = 1 \quad (5.13)$$

$$\%5 < \text{İTO} < \%35 \quad \rightarrow \quad \beta = [0,99 + (\text{İTO}^{1,5} / 1.000)] \quad (5.14)$$

$$\text{İTO} \geq \%35 \quad \rightarrow \quad \beta = 1,2 \quad (5.15)$$

c) Sınıflamaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS);

7.5 büyüklüğündeki bir deprem için hesaplanan $CRR_{7.5}$ değerlerinin incelenen bölgede öngörülen deprem büyüklüğüne göre düzeltilmesi gerekmektedir. Deprem büyüklüğü ve magnitüd düzeltme faktörü arasında çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan ilişkiler Şekil 5.17 de verilmiştir. Idriss (1985) yaptığı çalışmada, M5.5 ile M8.5 büyüklükleri arasında değişen depremler için magnitüd düzeltme faktörlerini tanımlamış ve bu değerleri Şekil 5.17'de görüldüğü üzere grafikte sunmuştur. Bu çalışma Youd vd (2001) tarafından revize edilmiş ve büyüklük ölçeklendirme (düzeltme) faktörü (MSF) formül 5.16 'da ki gibi önerilmiştir.



Şekil 5.17 Deprem büyüklüğü ve magnitud düzeltme faktörü arasındaki ilişki (Youd vd 2001)

M_w : Deprem büyüklüğü (magnitud)

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} \quad (5.16)$$

Sıvılaşmaya karşı FS şöyle hesaplanır.

$$FS = (CRR_{7.5} / CSR) * MSF \quad (5.17)$$

Standart penetrasyon deneyi verileri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonucu hesaplanan FS değerleri aşağıdaki aralıklara göre değerlendirilmektedir.

$FS \leq 1 \rightarrow$ Sıvılaşma var

$1 < FS \leq 1.2 \rightarrow$ Potansiyel sıvılaşma

$FS > 1.2 \rightarrow$ Sıvılaşma yok

5.4 İnceleme Bölgesi İçin Sıvılaşma Haritalarının Oluşturulması

5.4.1 Veri tabanı ve kullanılan yöntem

Bu tez kapsamında inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde Youd vd (2001)'in önerdiği arazide elde edilen SPT darbe sayılarının kullanıldığı yöntem kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan sıvılaşma analizi tüm Denizli şehri yerleşim alanını kapsamaktadır (Şekil 5.18). Sıvılaşma analizi yapılırken; Denizli il merkezinde Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan “Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri” adlı proje (PAÜ 2002) çalışmasında incelenen 144 adet sondaj kuyusu (SK) ve 100 adet gözlem çukurundan (GÇ) alınan örselenmemiş toprak numuneleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik laboratuvar deneyleri ve arazide gerçekleştirilen SPT deney sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirilen temel sondajları ve gözlem çukurlarının büyük bir kısmı Kuvaterner alüvyon ve Neojen yaşlı çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı birimlerinde açılmıştır. Sondajların derinlikleri 5-15 m, gözlem çukurlarının derinlikleri ise 1-5 m arasındadır (PAÜ 2002). Denizli Belediyesi yerleşim alanındaki sondajların bir kısmı burgu ile açıldığından bu kuyulardan (SK 33-49, SK 117-144) numune alınamamıştır. İncelenen 144 adet sondaj kuyusundan 56 tanesi Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma analizinde kullanılmıştır.

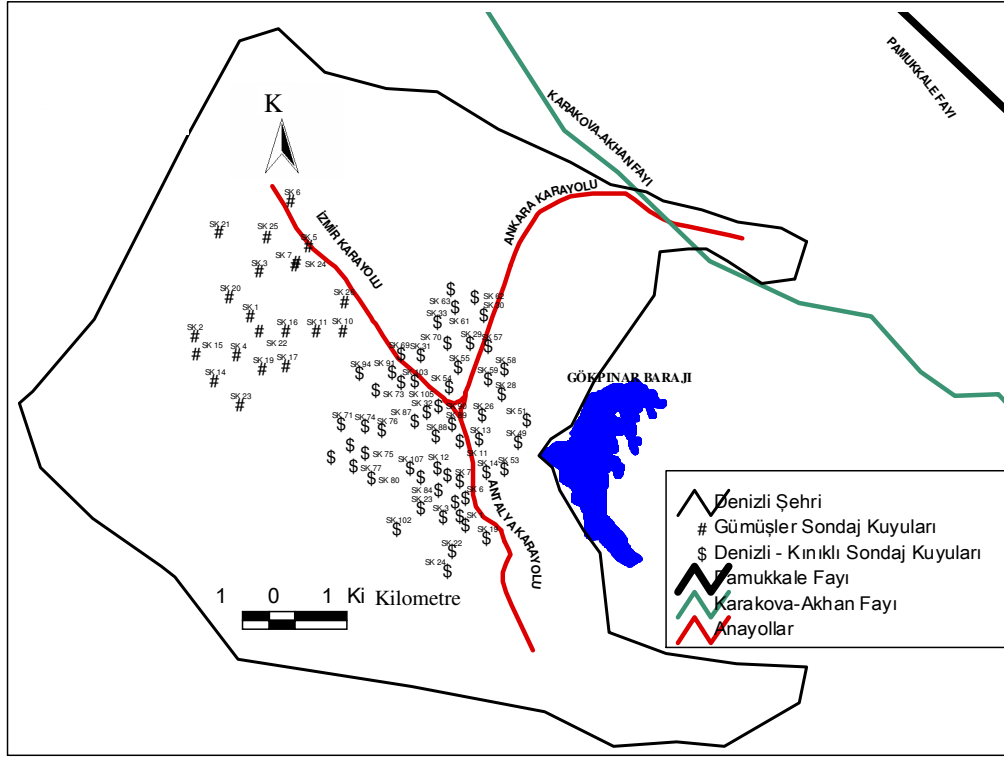
Ayrıca; Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan Gümüşler Belediyesi (Denizli) Yerleşim Alanlarının Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı proje (PAÜ 2003) çalışmasında incelenen 26 adet sondaj kuyusu (SK) ve 27 adet gözlem çukurundan (GÇ) alınan örselenmemiş toprak numuneleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik laboratuvar deneyleri ve arazide gerçekleştirilen SPT deney sonuçları değerlendirilmiştir. Sondajların derinlikleri 8.5-11 m arasında değişmektedir. İncelenen 26 adet sondaj kuyusunun 21 adetinde SPT deneyi yapılabilmemiş ve Gümüşler Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma analizinde bu sondaj kuyularından yararlanılmıştır. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan Bağbaşı Belediyesi (Denizli) Yerleşim Alanlarının

Jeolojik ve Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı proje (PAÜ 2001) raporundan ve Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinin tecrübelerinden de yararlanılmıştır. Ancak Bağbaşı, Gökpınar, Akkale, Servergazi, Bereketli, Üçler ve Hallaçlar belediyeleri sınırları içinde kalan bölgelerde jeoteknik etüt yapılmadığı için elimizde yeterli veri bulunmamaktadır. Bağbaşı ve Gökpınar Belediyeleri sınırları içinde kalan alanların kuzey kısımlarında (bu bölgede yerleşim yoğunluğu çok azdır) yeraltı su seviyesi yüzeye yakın olmakla birlikte, güney kısımlarda yeraltı su seviyesi çok düşüktür, zemin yapısı kaba-iri taneli ve çakıl blok yoğunlukludur ve genel olarak sıvılaşma beklenmemektedir. Akkale, Servergazi, Bereketli, Üçler ve Hallaçlar da yeraltı su seviyesi çok düşük olduğu için (Y.S.S. >15 m) ve zemin yapısı iri taneli ve çakıl blok yoğunluklu olduğu için bu bölgelerde de sıvılaşma beklenmemektedir. Akkale belediyesi sınırları içinde kalan alanların kuzeyinde (Ankara yolunun kuzeyinde) yeraltı su seviyesi bazı bölgelerde yüzeye yakındır, güney kısımlarında ise yeraltı su seviyesi çok düşüktür ve sıvılaşma beklenmemektedir.

5.4.2 İncelenen bölge için sıvılaşma haritalarının elde edilmesi

Bu tez kapsamında inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde toplam 77 adet sondaj kuyusundan alınan SPT deneyi sonuçları kullanılmıştır. Şekil 5.19’da kullanılan sondaj loglarından biri, Şekil 5.20a, b ve c de elek analizi grafiklerinden biri örnek olarak verilmiştir. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan 77 adet sondaj kuyusunun inceleme alanındaki dağılımı Şekil 5.18’de görülmektedir. Bu tez kapsamında sıvılaşma analizinde kullanılan jeoteknik sondaj verilerine (loglarına) ve elek analizi sonuçlarına Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan “PAÜ 2002” ve “PAÜ 2003” çalışmalarından ulaşılabilmektedir.


Bölüm 3’te anlatıldığı üzere; bu tez çalışmasında inceleme alanı için hazırlanan sıvılaşma haritalarının oluşturulmasında M6, M6.3, M6.5, ve M7 büyüklüklerinde oluşması muhtemel senaryo depremleri kullanılmıştır. Senaryo depremler için inceleme alanına yakın sismik tehlike yaratabilecek 2 farklı kaynak dikkate alınmış olup bu kaynaklar Pamukkale Fayı ile Karakova-Akhan Fayıdır (Şekil 5.18).




Şekil 5.18 Denizli ili sıvılaşma analizinde kullanılan sondaj kuyuları ve senaryo deprem kaynağı faylar

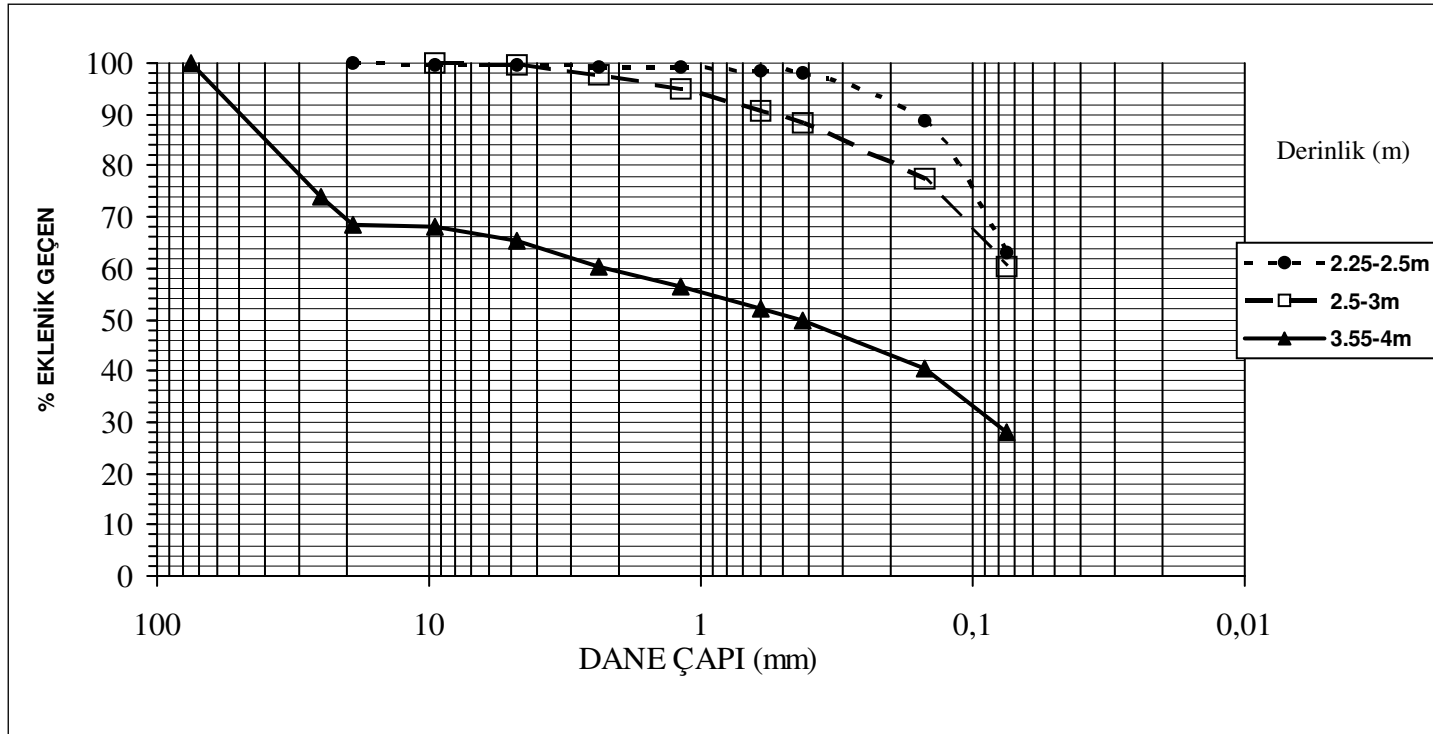
Deprem esnasında oluşan en büyük yatay yer ivmesi (PGA) sıvılaşma analizinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Pamukkale Fayı ile Karakova-Akhan Fayı kaynaklı olması muhtemel M6, M6.3, M6.5, ve M7 büyüklüklerindeki depremler için PGA değerleri hesaplanmış ve inceleme alanında dikkate alınan her bir sondaj kuyusunun sıvılaşma riski belirlenmiştir. Bunun için hesaplarda öncelikle Pamukkale Fayı ile Karakova-Akhan Fayının inceleme alanında dikkate alınan her bir sondaj kuyusuna olan yüzeydeki en kısa mesafeleri belirlenmiştir. Daha sonra Campbell ve Bozorgnia (2003) tarafından geliştirilen azalım ilişkisi kullanılarak 77 adet sondaj kuyusu için en büyük yatay yer ivmeleri (PGA) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Campbell ve Bozorgnia bu çalışmalarında 1957 ve 1995 yılları arasında meydana gelen Mw4.7 ile 7.7 büyüklükleri arasında değişen toplam 85 depremden elde edilen kuvvetli yer hareketi verilerini kullanmışlardır. PGA'lar elde edilirken; azalım ilişkisinin uygulanacağı inceleme alanının zemin cinsi, ele alınan fayların türü (faylanma

mekanizması), inceleme alanının faylara olan mesafeleri ve depremin büyüklüğü (M_w) önemli rol oynamaktadır.

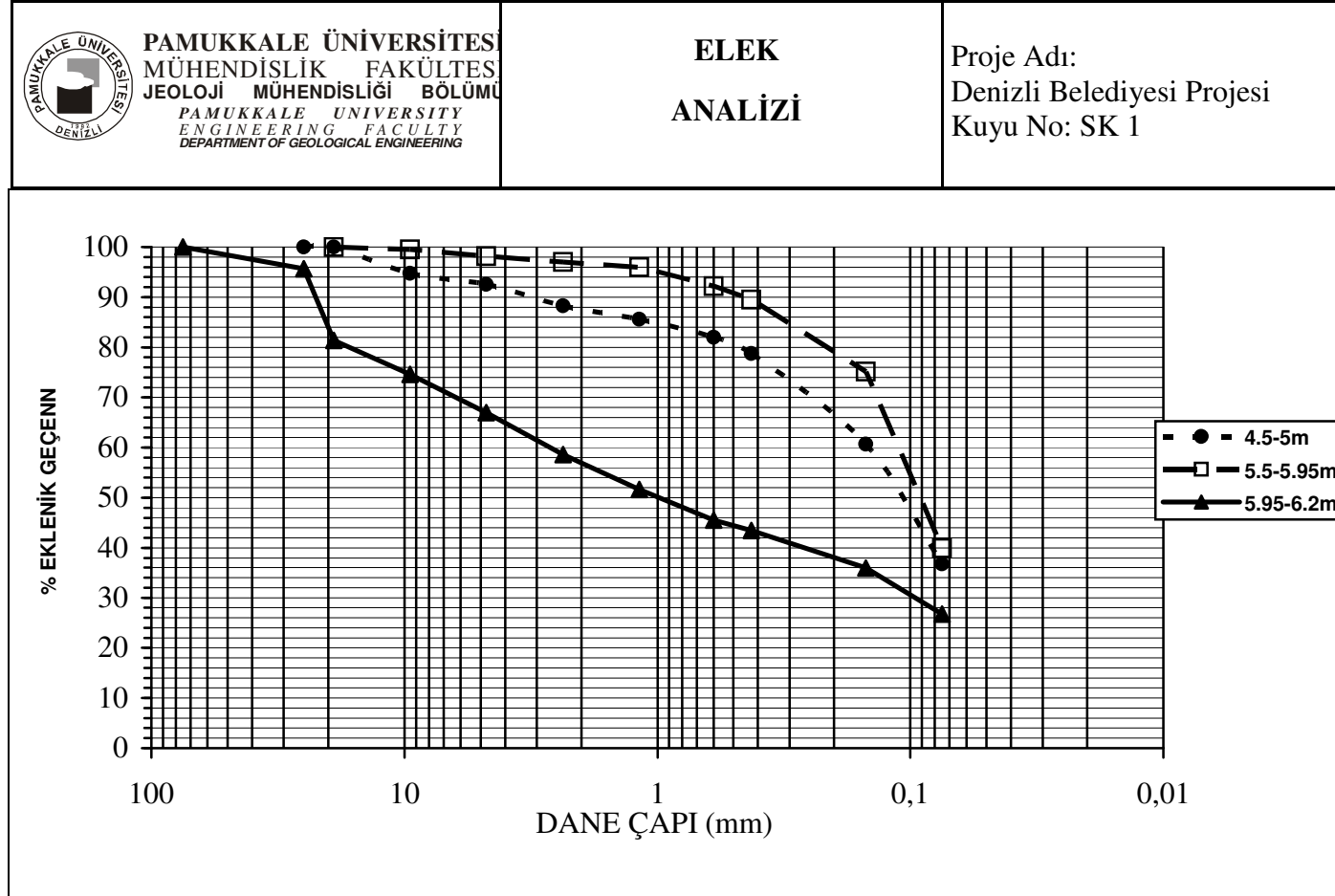
 PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ <small>PAMUKKALE UNIVERSITY ENGINEERING FACULTY</small>		JEOTEKNİK SONDAJ LOGU GEOTECHNICAL BOREHOLE LOG												
Proje Adı <i>Project Name</i>	Denizli	Başlama Tarihi <i>Starting Date</i>	12.02.2001											
Kuyu No <i>Borehole No</i>	SK 1	Bitiş Tarihi <i>Finishing Date</i>	13.02.2001											
Koordinatlar <i>Coordinates</i>		Makina Adı ve Türü <i>Machine Brand & Model</i>	Polsan E-25											
x	684815.9	Sondaj Yöntemi <i>Boring Method</i>	Rotari											
y	4181751	Sondör <i>Bored by</i>	S.Bursalı-A.Ertekin											
z	404.24	Logu Alan <i>Logged by</i>	M.Köseoğlu - H.Kumsar											
Derinlik <i>Depth</i>	16.00 m													
Yeraltı Su Seviyesi <i>Groundwater Level</i>	1.10 m													
Sondaj Derinliği <i>Borehole Depth</i> (m)	Zemin Profili <i>Soil Profile</i>	Görsel Tasvir <i>Visual Description</i>	q_c (kPa)	Tane Birim Hac. Ağırlığı <i>Unit Weight</i> (γ_s) (kN/m ³)	Örnek Türü <i>Sample Type</i>	Örnekler ve Deneyler - <i>Samples & Tests</i>			Doğal Su Muhtevası <i>Natural Moist. Cont.</i> (%)	Doğal Birim Hac. Ağırlığı <i>Natural Unit Weight</i> (γ) (kN/m ³)	Kıvam Limitleri <i>Consistence Limits</i>			BZS Simgesi <i>BIB Simgesi</i>
						Örnek Derinliği <i>Sample Depth</i>	SPT Darbe Sayısı (N) <i>Number of Blows (N)</i>				LL	PL	PI	
							0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm					
1.00		Organik kil								22				Z ₃ *
2.00							1	1	2	19	31	21	11	OL
3.00											28	20	8	OL
4.00		Çakıllı killi siltli kum						10	9	12	17	NP		
5.00		Çakıllı seviye								11				
6.00		Az kumlu silt					8	25	17					
7.00		Çakıllı kumlu kil												
		Çakıllı seviye (7 cm'ye varan boyutlarda)												

Şekil 5.19 İnceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan Denizli şehri için yapılmış jeoteknik sondaj logu örneği (PAÜ 2002)

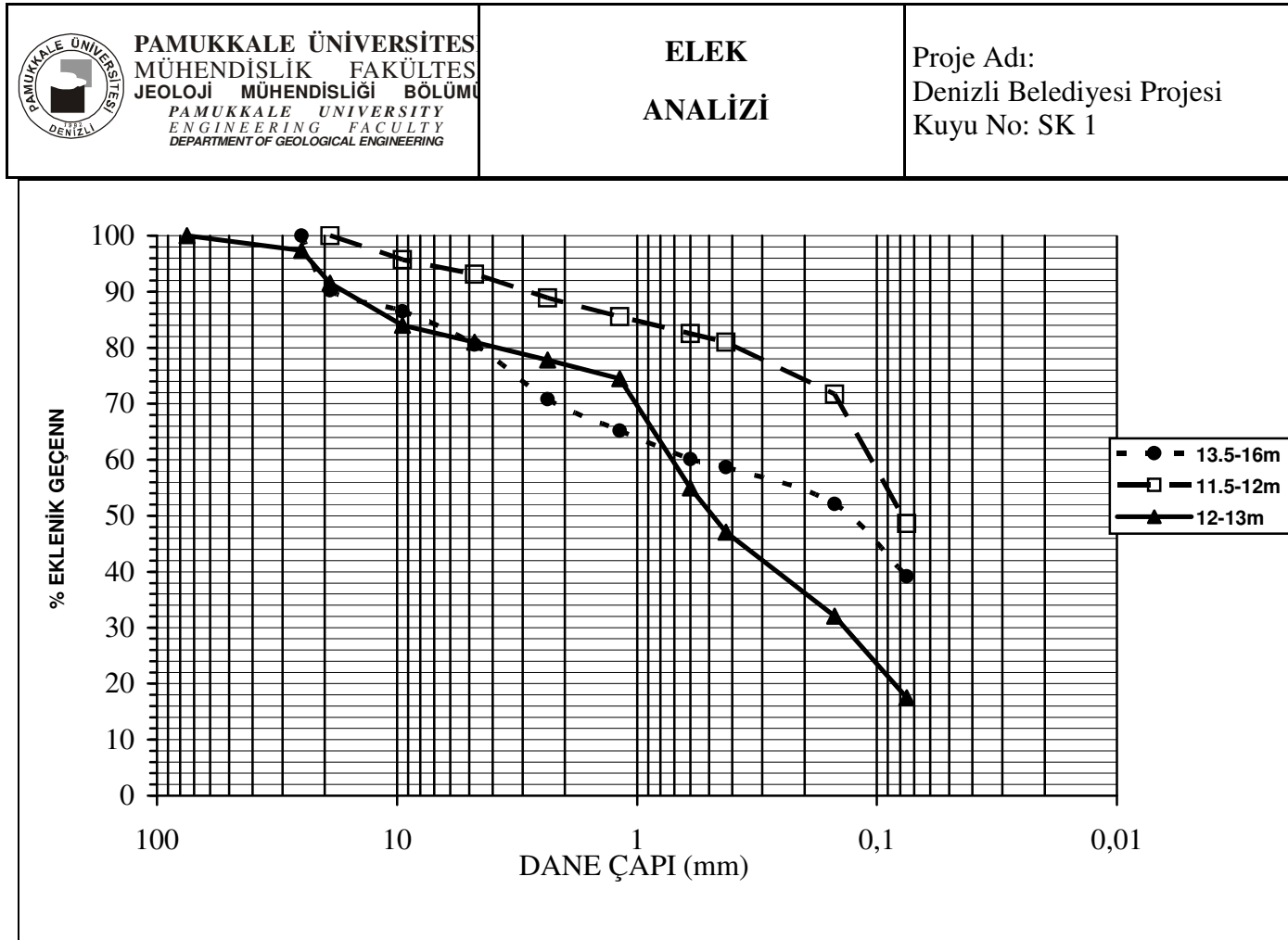
	<p>PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ PAMUKKALE UNIVERSITY ENGINEERING FACULTY DEPARTMENT OF GEOLOGICAL ENGINEERING</p>	<p>ELEK ANALİZİ</p>	<p>Proje Adı: Denizli Belediyesi Projesi Kuyu No: SK 1</p>
---	---	---------------------------------------	--



Şekil 5.20.a Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002)



Şekil 5.20.b Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002)



Şekil 5.20.c Denizli Belediyesi'ne ait SK1 sondajından alınan zemin örneklerinin dane boyu dağılımları örneği (PAÜ 2002)

Campbell ve Bozorgnia (2003) bu çalışmada geliştirdiği formülizasyon ile PGA ve PSA'nın (%5 sönümlü spektral ivme) elde edilmesini sağlamıştır. Bu formülizasyon aşağıdadır (Formül 5.18).

$$\begin{aligned} \ln Y = C_1 + f_1(M_W) + C_4 \ln \left(f_2(M_w, r_{seis}, S) + f_3(F) + f_4(S) + f_5(HW, F, M_W, r_{seis}) \right) \\ + \varepsilon \end{aligned} \quad (5.18)$$

Formül 5.19 da deprem büyüklüğü değişim karakteristikleri ve formül 5.20'de mesafe değişim karakteristikleri verilmiştir.

$$f_1(M_W) = C_2 M_W + C_3 (8,5 - M_W)^2 \quad (5.19)$$

$$f_2(M_w, r_{seis}, S) = r_{seis}^2 + g(S)^2 (\exp[C_8 M_w + C_9 (8,5 - M_w)^2])^2 \quad (5.20)$$

Formül 5.21'de yerel arazi şartlarının yakın kaynak etkileri (near source) ve formül 5.22'de ise faylanma mekanizmasının etkisi verilmiştir.

$$g(S) = C_5 + C_6 (S_{VFS} + S_{SR}) + C_7 S_{FR} \quad (5.21)$$

$$f_3(F) = C_{10} F_{RV} + C_{11} F_{TH} \quad (5.22)$$

Formül 5.23'da yerel arazi şartlarının uzak kaynak etkileri (far source) verilmiştir.

$$f_4(S) = C_{12} S_{VFS} + C_{13} S_{SR} + C_{14} S_{FR} \quad (5.23)$$

Formül 5.24, 5.25, 5.26 ve 5.27'da ise duvarlama (HW) etkisi verilmiştir.

$$f_5(HW, F, M_W, r_{seis}) = HW f_3(F) f_{HW}(M_W) f_{HW}(r_{seis}) \quad (5.24)$$

$$\begin{aligned} HW = S_{VFS} + S_{SR} \quad 0 \quad \rightarrow \quad r_{jb} \geq 5 \text{ km} \\ + S_{FR} \quad (5 - r_{jb})/5 \quad \rightarrow \quad \delta > 70^\circ \end{aligned} \quad (5.25)$$

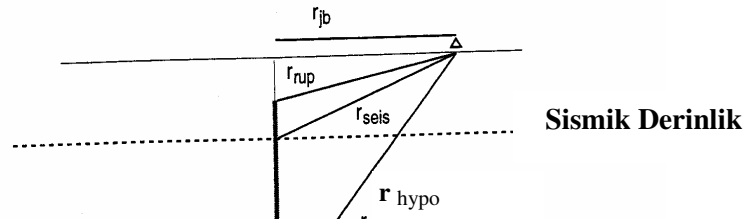
Burada δ ; fay açısıdır. Çok sert zeminler için için $S_{VFS} = 1$, yumuşak kaya zeminler için $S_{SR} = 1$, ve sert kayalar için $S_{FR} = 1$, sert zeminler için $S_{VFS} = S_{SR} = S_{FR} = 0$; ters faylanma (reverse faulting) için $F_{RV} = 1$, bindirme faylanması için $F_{TH} = 1$, doğrultu atımlı fay (strike-slip) ve normal faylanma için $F_{RV} = F_{TH} = 0$ dır.

$$f_{HW}(M_w) = \begin{cases} 0 & \rightarrow M_w < 5,5 \\ M_w - 5,5 & \rightarrow 5,5 \leq M_w \leq 6,5 \\ 1 & \rightarrow M_w > 6,5 \end{cases} \quad (5.26)$$

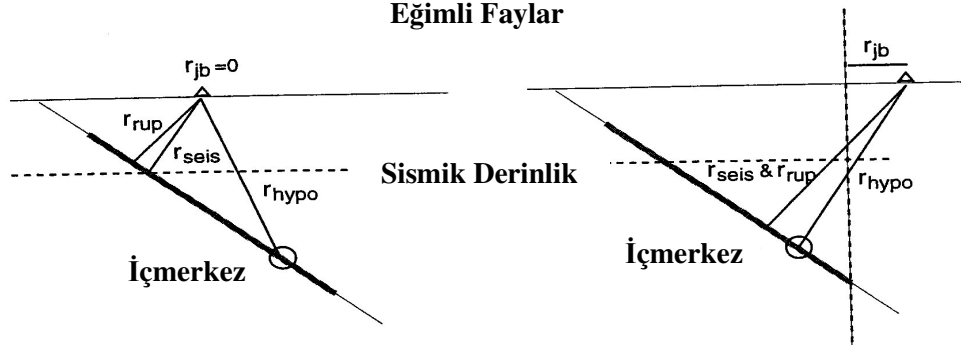
$$f_{HW}(r_{seis}) = \begin{cases} C_{15}(r_{seis}/8) & \rightarrow r_{seis} < 8 \text{ km} \\ C_{15} & \rightarrow r_{seis} \geq 8 \text{ km} \end{cases} \quad (5.27)$$

Tüm bu formülizasyonlarda, Y ; PGA ve %5 sönümlü PSA 'nın yatay bileşeni (Y_H) yada düşey bileşeni (Y_V), M_w ; moment magnitüdü, r_{seis} ; sismik kırılmaya en kısa mesafe (km) (Campbell 1997), r_{jb} ; fay kırığının yeryüzündeki izine olan en kısa mesafesidir (km) (Boore vd 1997). Azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık ölçütlerinden olan r_{seis} ve r_{jb} Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Tablo 5.2'de ise azalım ilişkisinde kullanılan istatistiksel parametreler ve katsayılar verilmiştir.

Düşey Faylar



Eğimli Faylar



Şekil 5.21 Kuvvetli hareket azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık ölçütleri (Abrahamson ve Silva 1997)

Geliştirilen azalım ilişkisinde ε = Standart sapmadır ($\sigma_{\ln Y}$). Standart sapma deprem büyüklüğünün fonksiyonu olarak formül 5.28’de, PGA’nın fonksiyonu olarakta formül 5.29’da belirtilmiştir.

$$\begin{aligned} \sigma_{\ln Y} &= C_{16} - 0,07 M_W && \rightarrow M_W < 7,4 \\ &C_{16} - 0,518 && \rightarrow M_W \geq 7,4 \end{aligned} \quad (5.28)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\ln Y} &= C_{17} + 0,351 && \rightarrow \text{PGA} \leq 0,07\text{g} \\ &C_{17} - 0,132 \ln(\text{PGA}) && \rightarrow 0,07\text{g} < \text{PGA} < 0,25\text{g} \\ &C_{17} + 0,183 && \rightarrow \text{PGA} \geq 0,25\text{g} \end{aligned} \quad (5.29)$$

HAZUS 1999 da yapılan öneriye uygun olarak bu tez çalışmasında önce Campbell ve Bozorgnia (2003) azalım ilişkisi kullanılarak yumuşak kaya zeminlere karşılık gelen ivme (PGA) değerleri elde edilmiştir. Daha sonra inceleme alanın jeolojik yapısı ve zemin türü dikkate alınarak; sondaj kuyularında beklenen değerler için HAZUS 99’daki ivme büyütme faktörleri dikkate alınarak yeni ivmeler elde edilmiş ve sınıvlaşma analizlerinde kullanılmıştır.

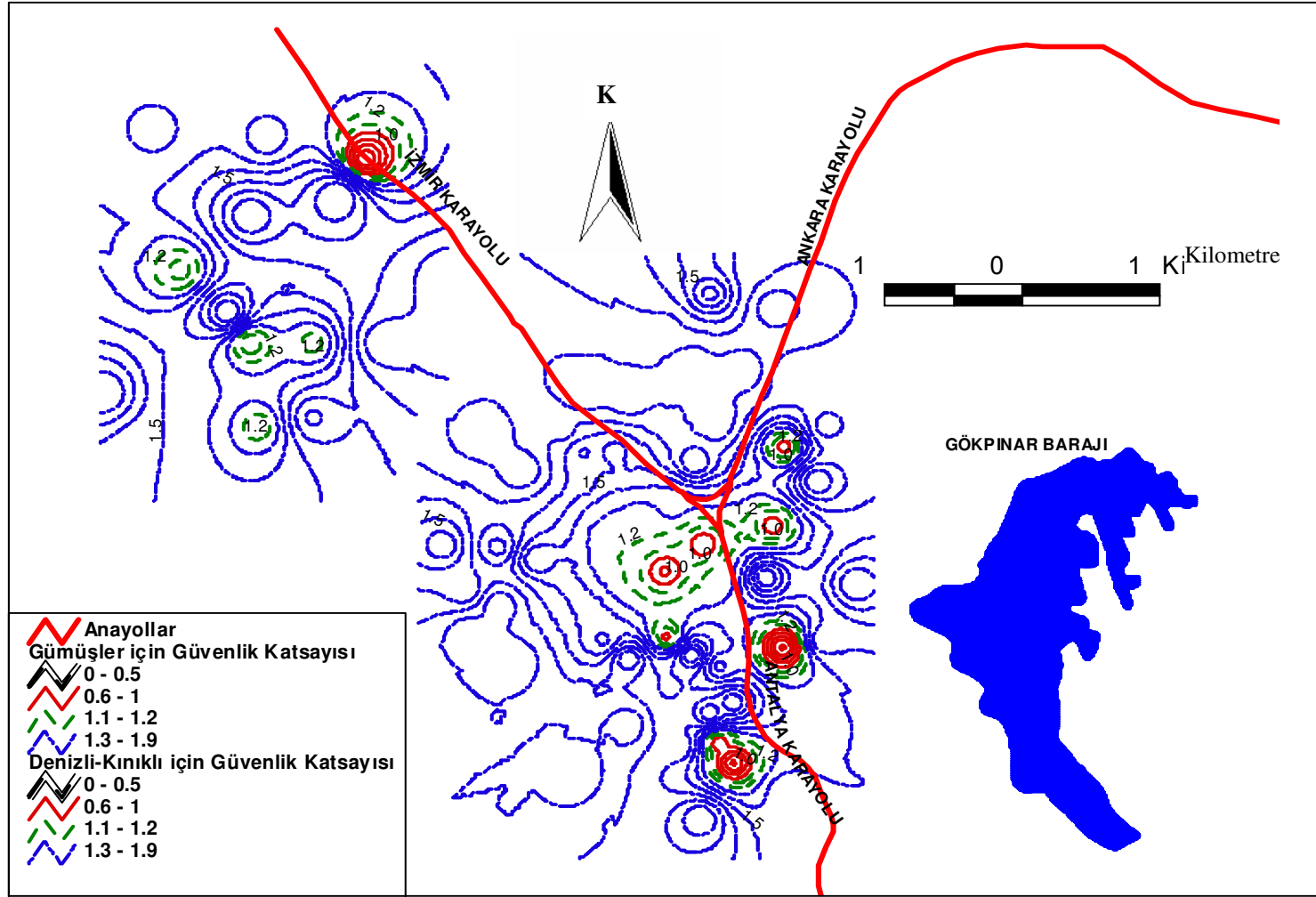
Tablo 5.2. PGA azalım ilişkisinde kullanılan istatistiksel parametreler ve katsayılar

Parametreler	Katsayılar
c ₁	-4.033
c ₂	0.812
c ₃	0.036
c ₄	-1.061
c ₅	0.041
c ₆	-0.005
c ₇	-0.018
c ₈	0.766
c ₉	0.034
c ₁₀	0.343
c ₁₁	0.351
c ₁₂	-0.123
c ₁₃	-0.138
c ₁₄	-0.289
c ₁₅	0.37
c ₁₆	0.92
c ₁₇	0.219

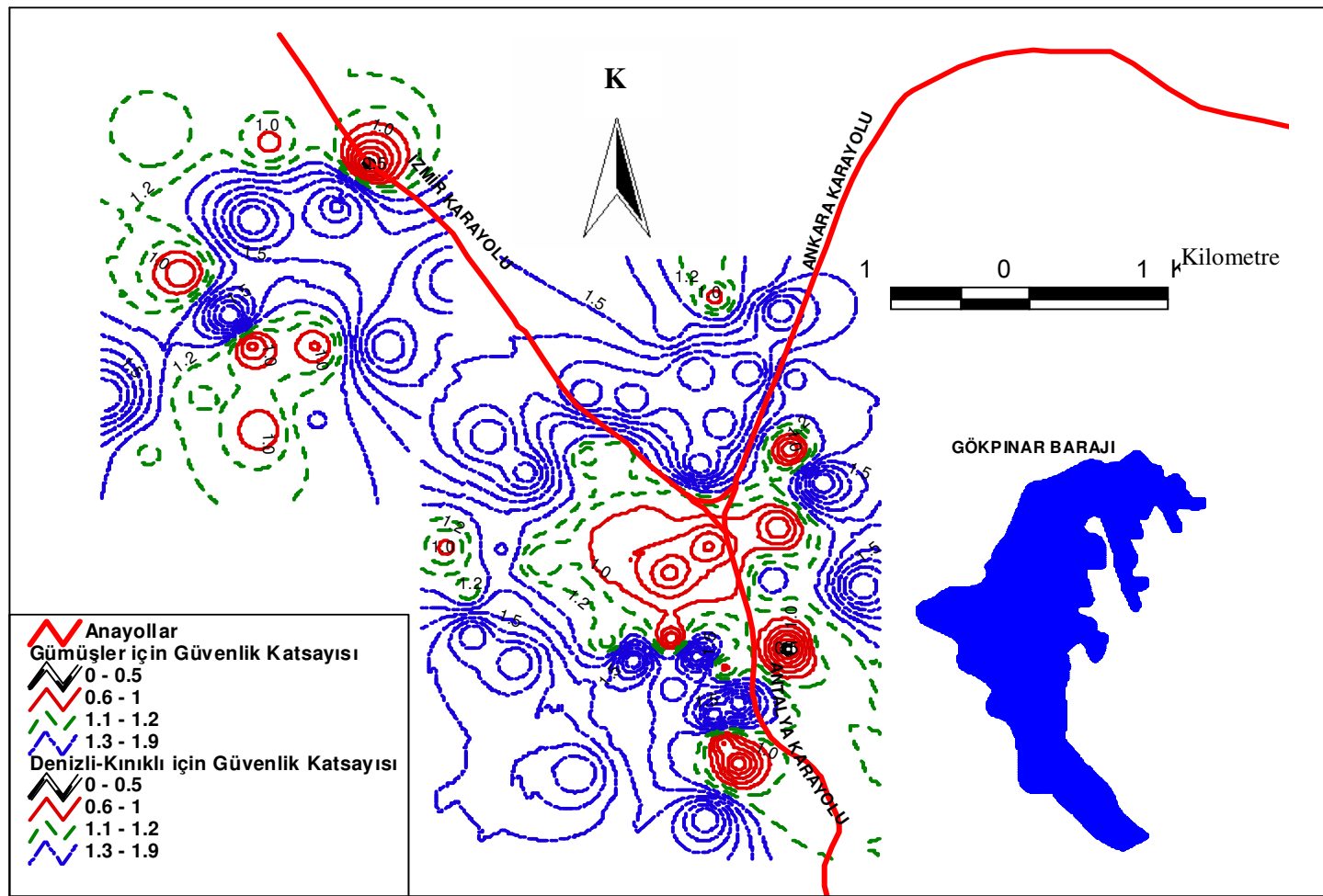
İnceleme alanında sınıvlaşma riskinin belirlenmesinde her bir sondaj için oluşturulan veri dosyalarının kullanıldığı excel veri tabanı oluşturulmuştur. Her sondajın değişik derinliklerdeki SPT değerleri ile tane boyu dağılımları ayrı ayrı incelenmiştir. Sınıvlaşma analizinde kullanılan her sondajın ince tane oranları ve tane boyu dağılımları sondajlara ait elek analizi grafiklerinden belirlenmiştir. İncelenen sondajların değişik seviyelerdeki ince tane oranları belirlendikten sonra SPT darbe sayılarının olduğu her seviyede sınıvlaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) hesaplanmıştır. Her sondaj boyunca bulunan sınıvlaşmaya karşı en küçük olan güvenlik katsayısı (FS) o sondajı temsil eden sınıvlaşmaya karşı güvenlik katsayısı olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme alanının Gümüşler Belediyesi sınırları içinde yapılan sondajlardan elde edilen veriler ışığında bu bölgede mevcut yer altı su seviyesinin 20 m den fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Gümüşler Belediyesi sınırları içinde kalan bölgeye ait sınıvlaşma analizi yapılırken iki farklı durum göz önüne alınmıştır. İlk durumda PAÜ (2003)'de kullanılan durumlardan biri olarak yeraltı su derinliği yüzeyden itibaren 1.5 m derinlikte kabul edilmiştir. İkinci durumda ise su seviyesinin çok derinde olduğu ve bu yüzden sınıvlaşma oluşmadığı düşünülmüştür. Bu değerlendirmeler sonucunda iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) EK 1'de sınıvlaşma analizinde kullanılan sondajların koordinatları, Pamukkale ve Karakova-Akhan fay kırıklarına yüzeyden ölçülen mesafeleri (R), her sondajdaki en küçük SPT-N darbe sayıları (düzeltilmemiş), her sondajdaki en küçük $(N_1)_{60cs}$ darbe sayıları (düzeltilmiş), ince tane oranları (%), en büyük yatay yer ivmeleri (PGA) ve sınıvlaşmaya karşı en küçük olan güvenlik katsayıları (FS) verilmiştir.

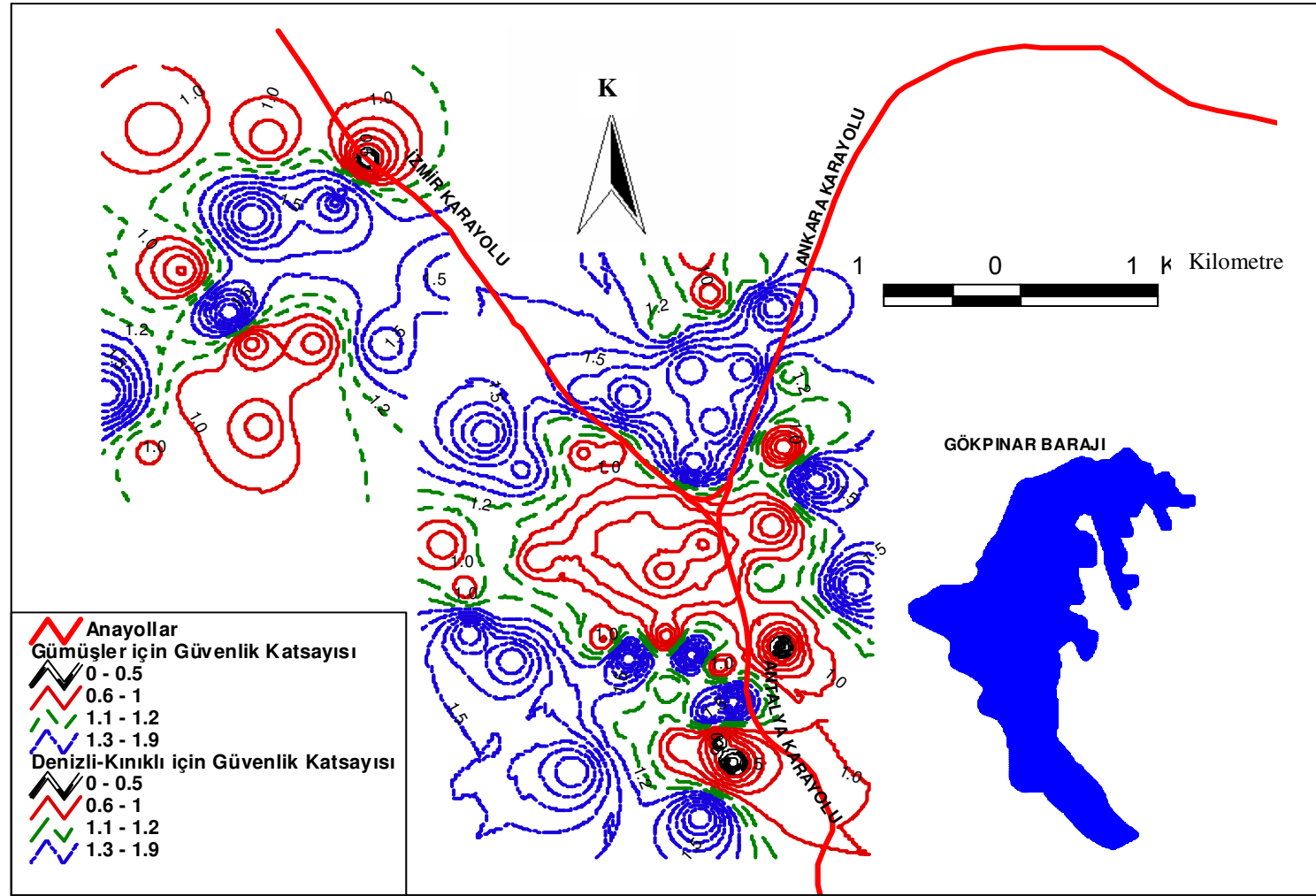
Yapılan sınıvlaşma analizi sonucu her bir sondaj kuyusu için elde edilen sınıvlaşmaya karşı güvenlik katsayılarından yararlanılarak, ArcGIS programı kullanılarak inceleme alanında iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) sınıvlaşma konturları çizilmiştir. Şekiller 5.22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 ve 29 da Pamukkale Fayı ve Karakova-Akhan Fayı kaynaklı M6, M6.3, M6.5, M7 senaryo depremleri için elde edilen sınıvlaşma konturları verilmiştir.



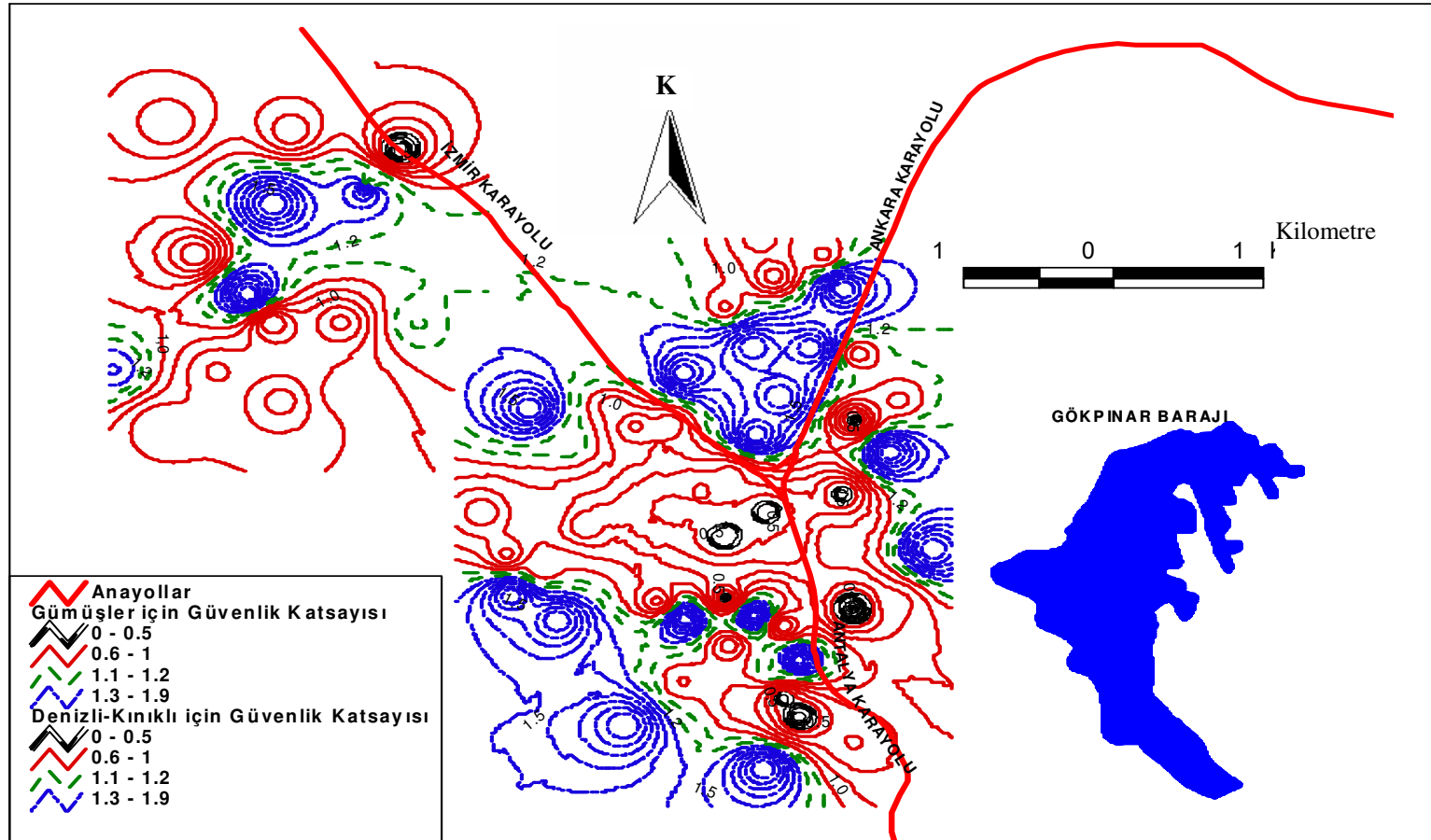
Şekil 5.22 Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M_w6 senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası



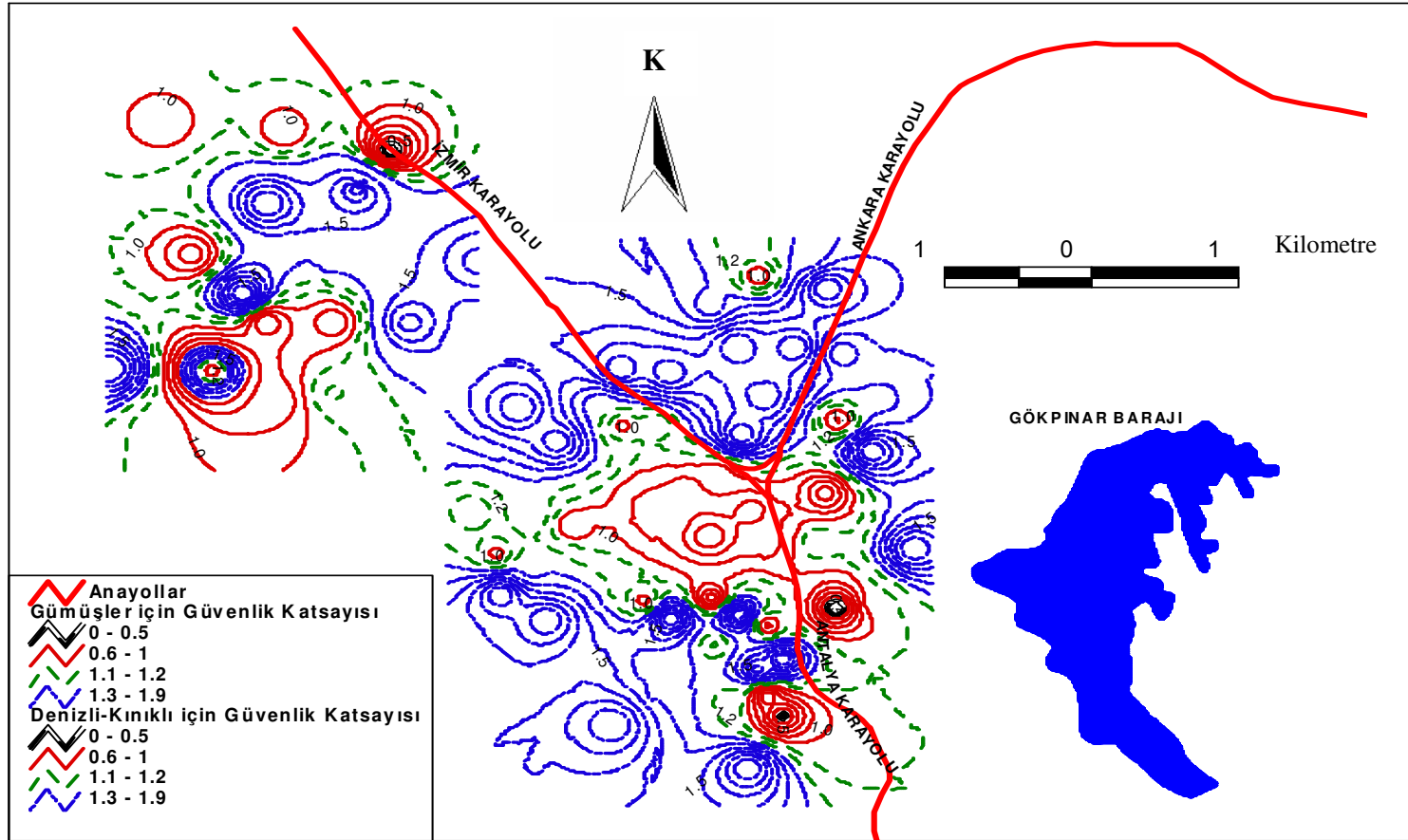
Şekil 5.23 Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.3$ senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası



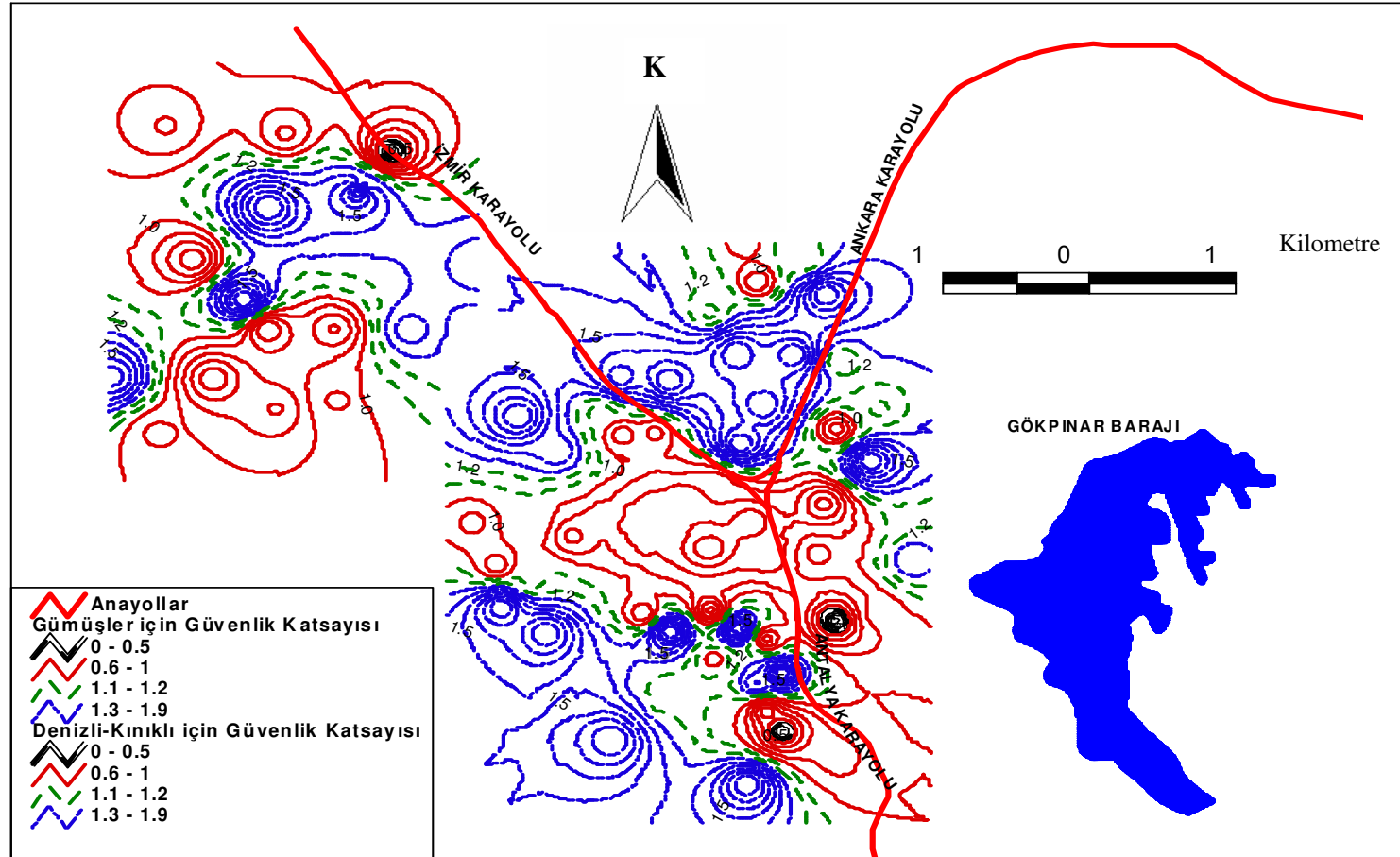
Şekil 5.24 Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.5 senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası



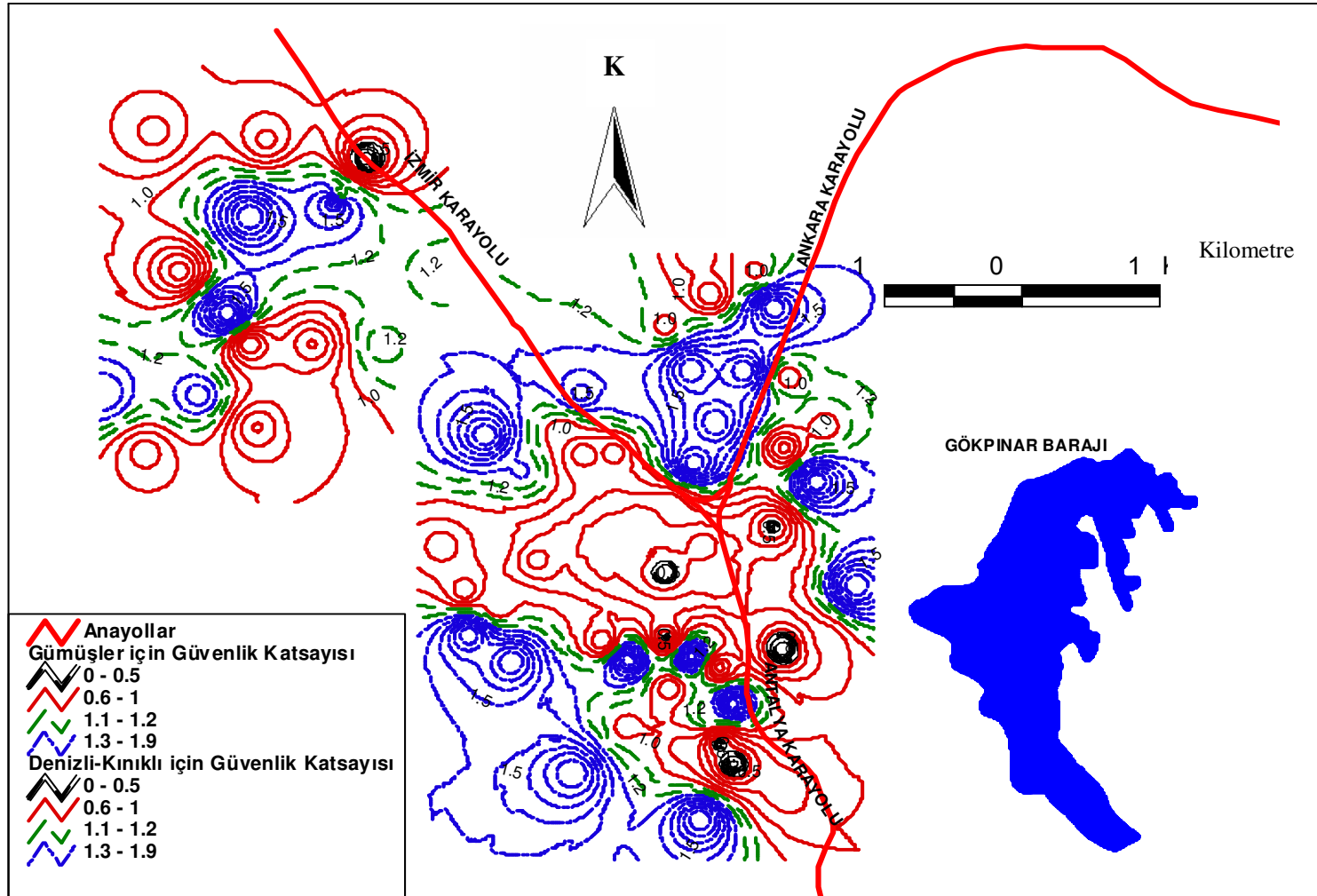
Şekil 5.25 Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası



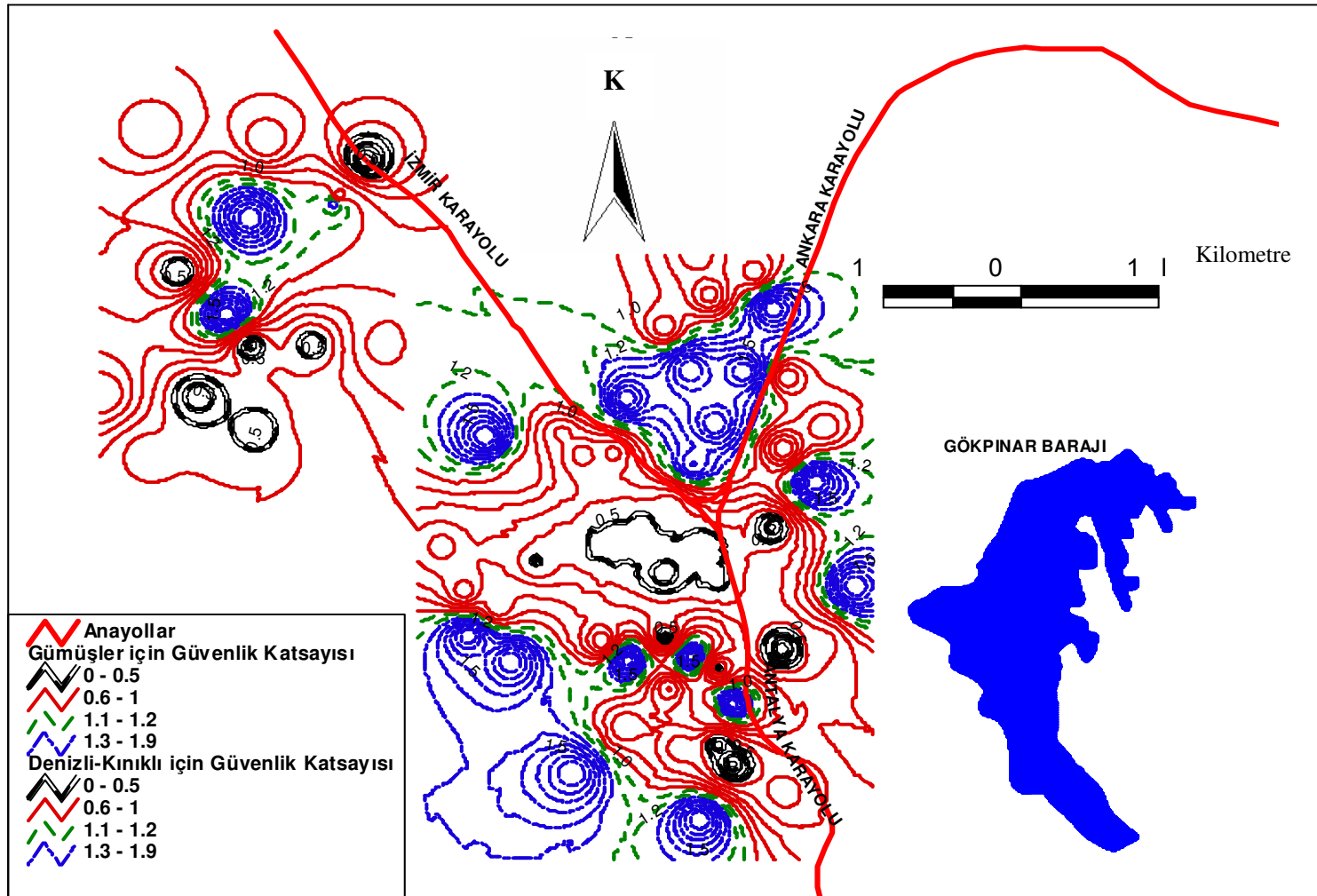
Şekil 5.26 Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M_w6 senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası



Şekil 5.27 Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w 6.3$ senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası

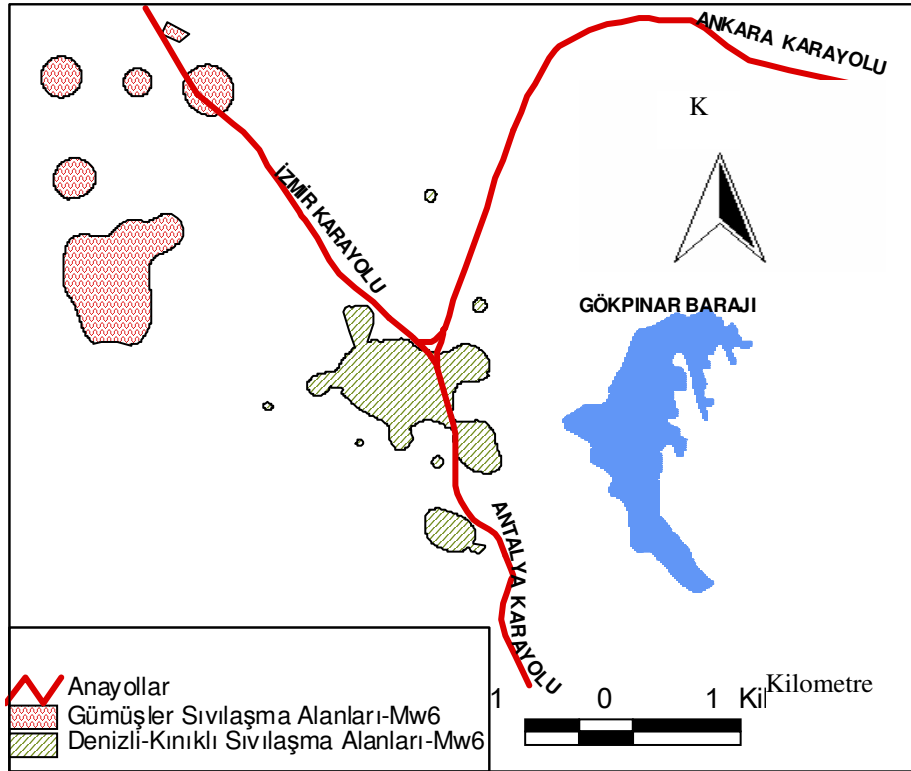


Şekil 5.28 Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.5 senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası

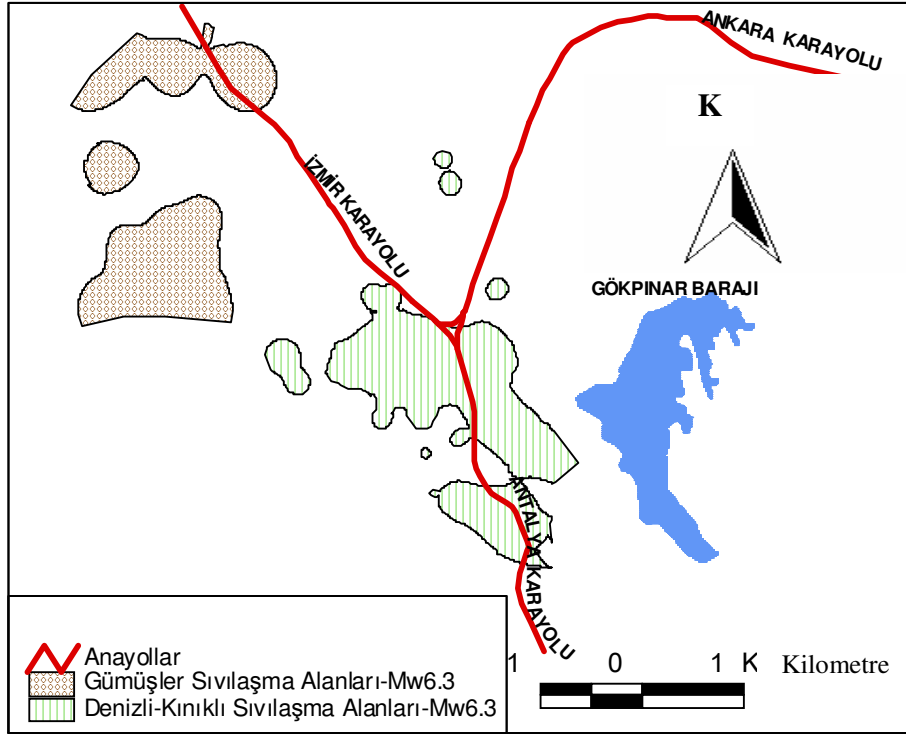


Şekil 5.29 Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w 7$ senaryo depremi için inceleme alanının sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı değişim haritası

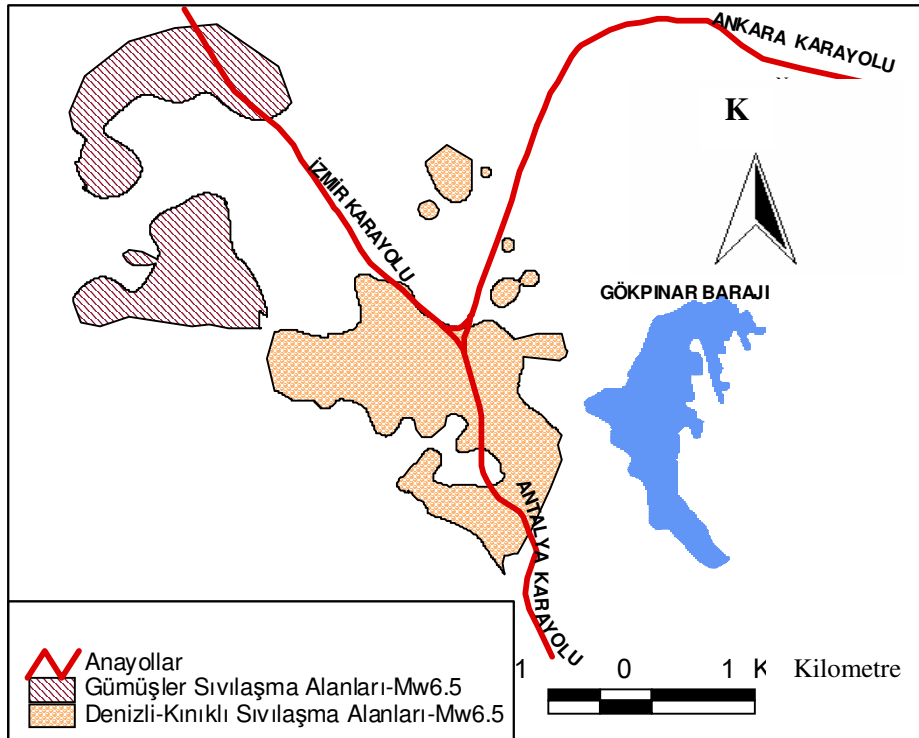
Sıvılaşma konturları elde edildikten sonra inceleme alanında sıvılaşma riski olan ($FS \leq 1$) bölgeler belirlenmiş ve ArcGIS programı yardımıyla bu bölgeler kapalı alanlar haline getirilmiştir. Böylelikle iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M_6 , $M_{6.3}$, $M_{6.5}$, M_7) sıvılaşma haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar şekiller 5.30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37’de verilmiştir.



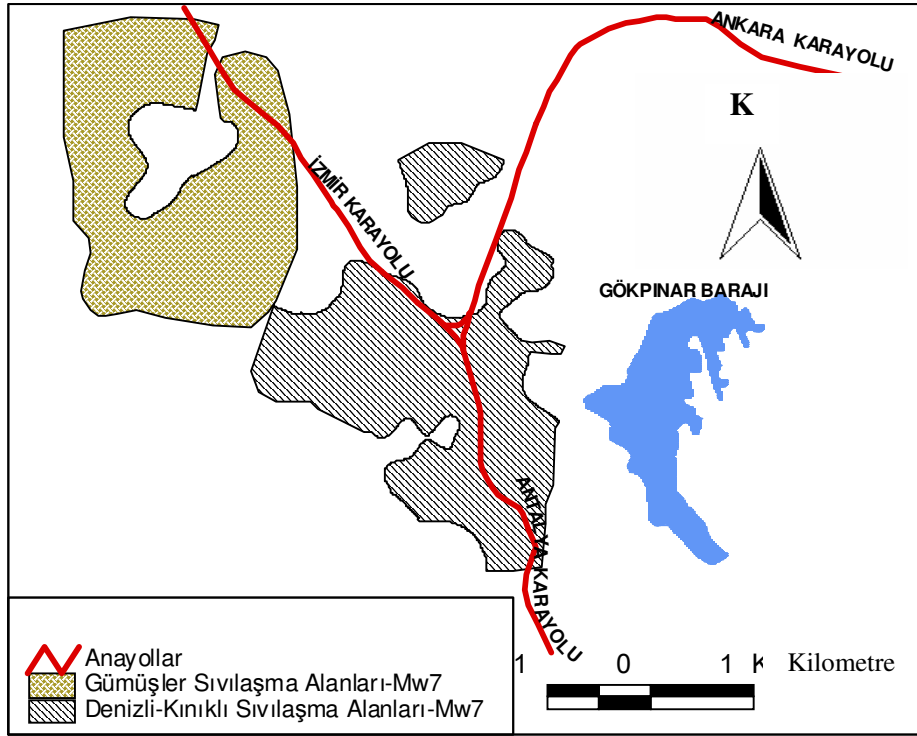
Şekil 5.30 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w 6$ senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



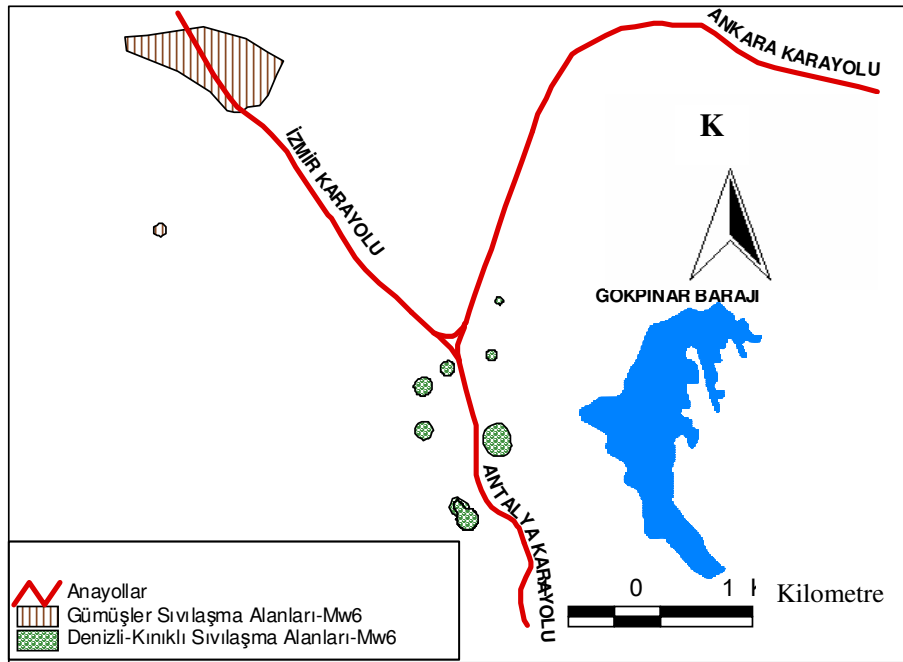
Şekil 5.31 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.3$ senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



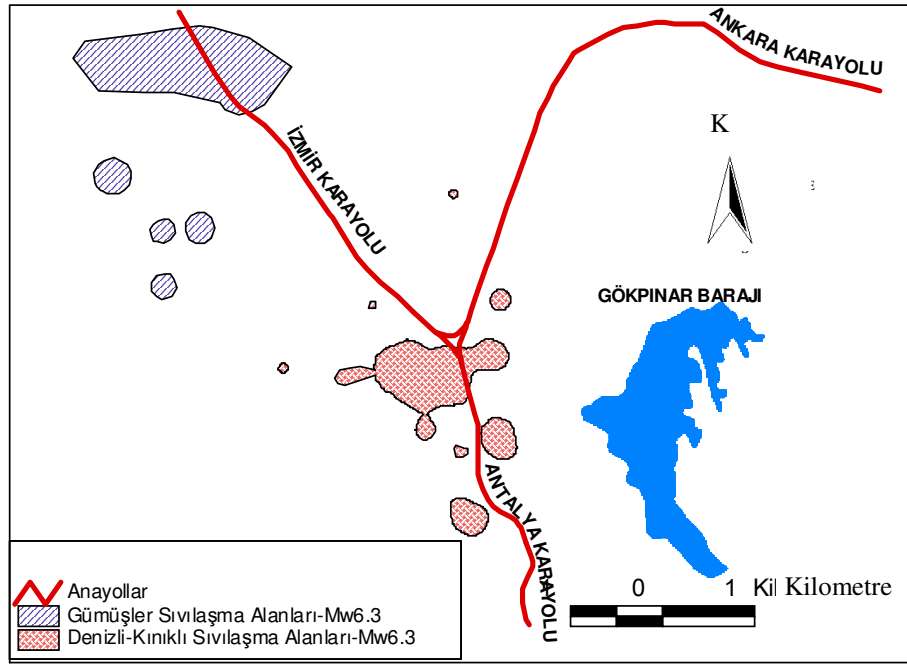
Şekil 5.32 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.5$ senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



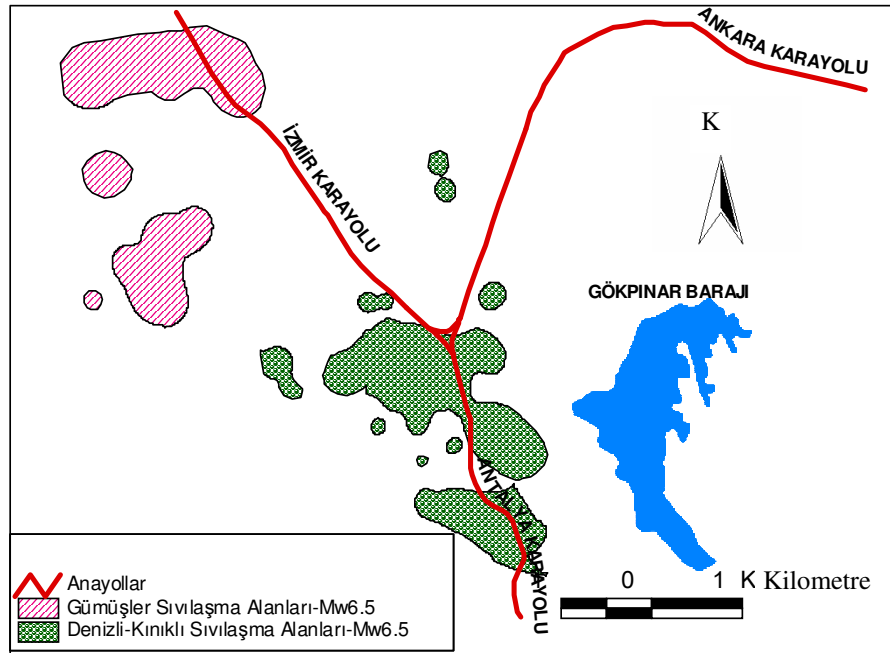
Şekil 5.33 Karakova-Akhan Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



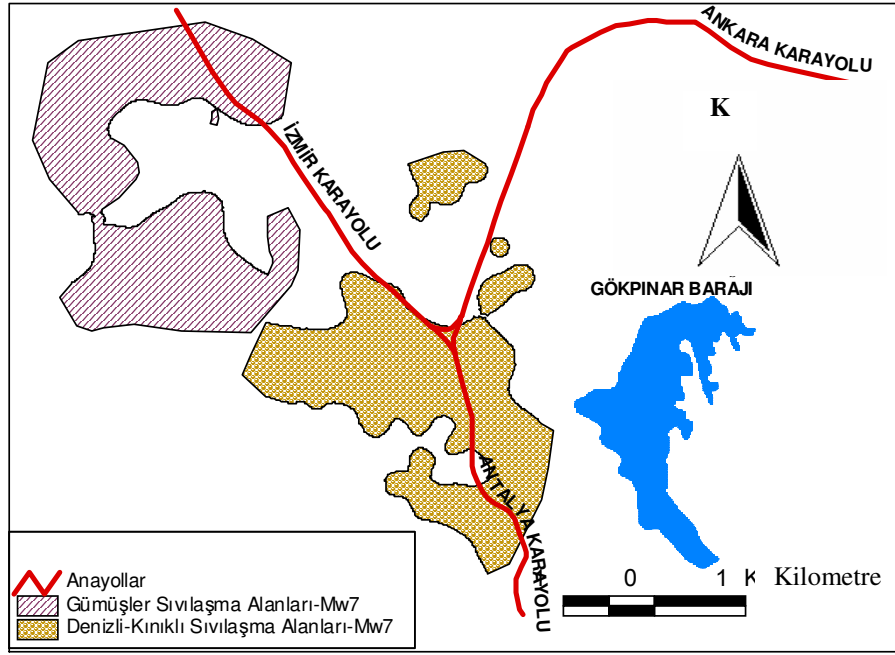
Şekil 5.34 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w6 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



Şekil 5.35 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.3$ senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



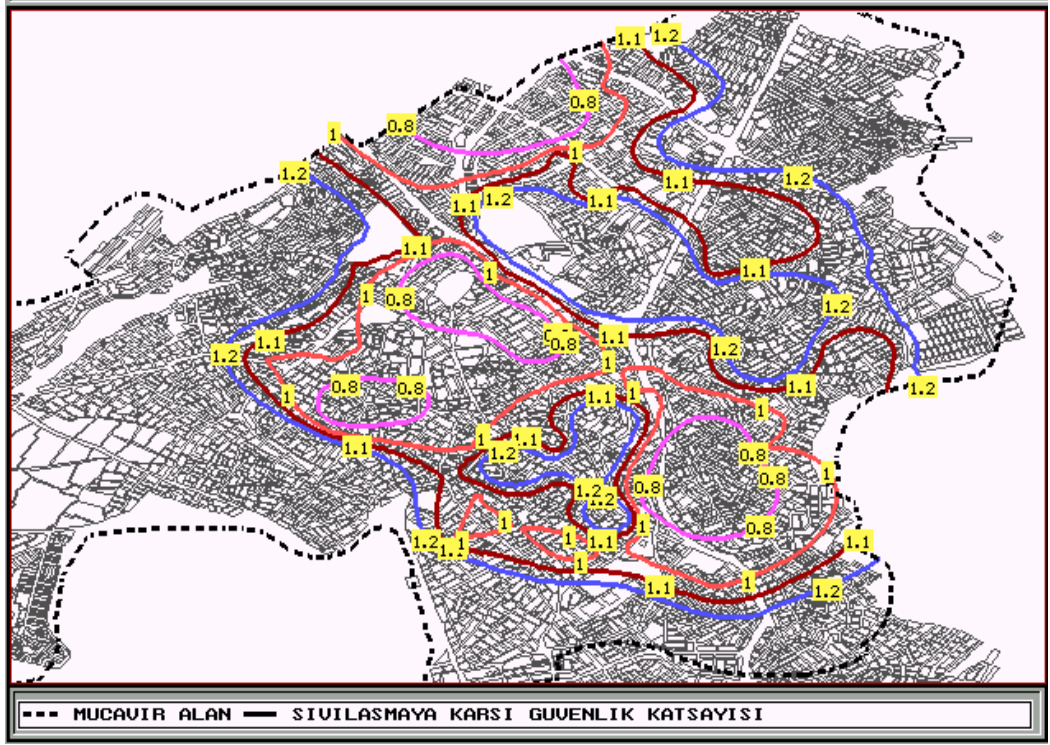
Şekil 5.36 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.5$ senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası



Şekil 5.37 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depremi için Denizli şehrinin sıvılaşabilir alanlar haritası

Denizli şehri yerleşim alanlarının sıvılaşma riskinin belirlenmesi için geçmiş yıllarda da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan “PAÜ 2002” çalışmasında, Karakova fayına bağlı 2. nokta kaynak olarak belirlenen $M_w6.3$ senaryo depremi için Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma haritası hazırlanmıştır (Şekil 5.38).

PAÜ (2002) sıvılaşma haritası bu tez çalışmasında doğrudan kullanılmamıştır. Çünkü PAÜ (2002)’de sıvılaşma haritaları oluşturulurken $M_w6.3$ senaryo depremi ve Denizli Belediyesi yerleşim alanları göz önüne alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise M_w6 , $M_w6.3$, $M_w6.5$ ve M_w7 senaryo ile Denizli Belediyesi ve komşu belediyelerin yerleşim alanları göz önüne alınmıştır. Ayrıca sıvılaşma analizinde kullanılmak üzere gerekli olan parametreleri hesaplarken farklı azalım ilişkilerinden yararlanılmıştır. Şekil 5.39’da Karakova fayı kaynaklı $M_w6.3$ senaryo depremi göz önüne alınarak; PAÜ (2002) sıvılaşma haritası (sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, $FS \leq 1$ olan alanlar) ile bu tez çalışmasında elde edilen sıvılaşma haritası üst üste konulmak suretiyle karşılaştırılmıştır.

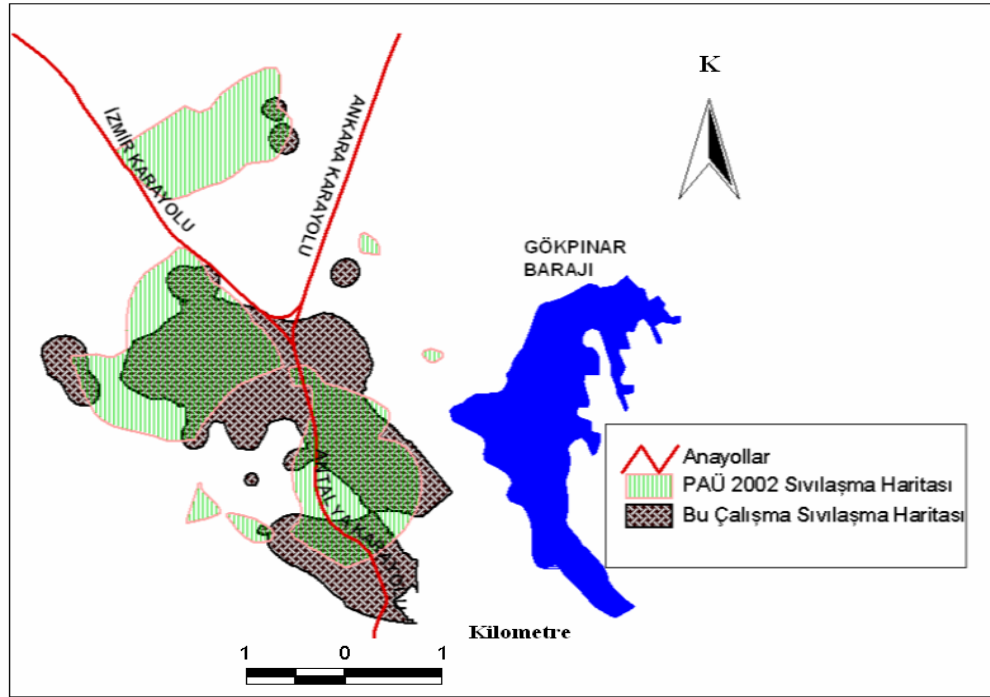


Şekil 5.38 Karakova Fayı etkisiyle oluşabilecek M6.3 senaryo depremi için Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma haritası (PAÜ 2002, Kumsar vd 2004)

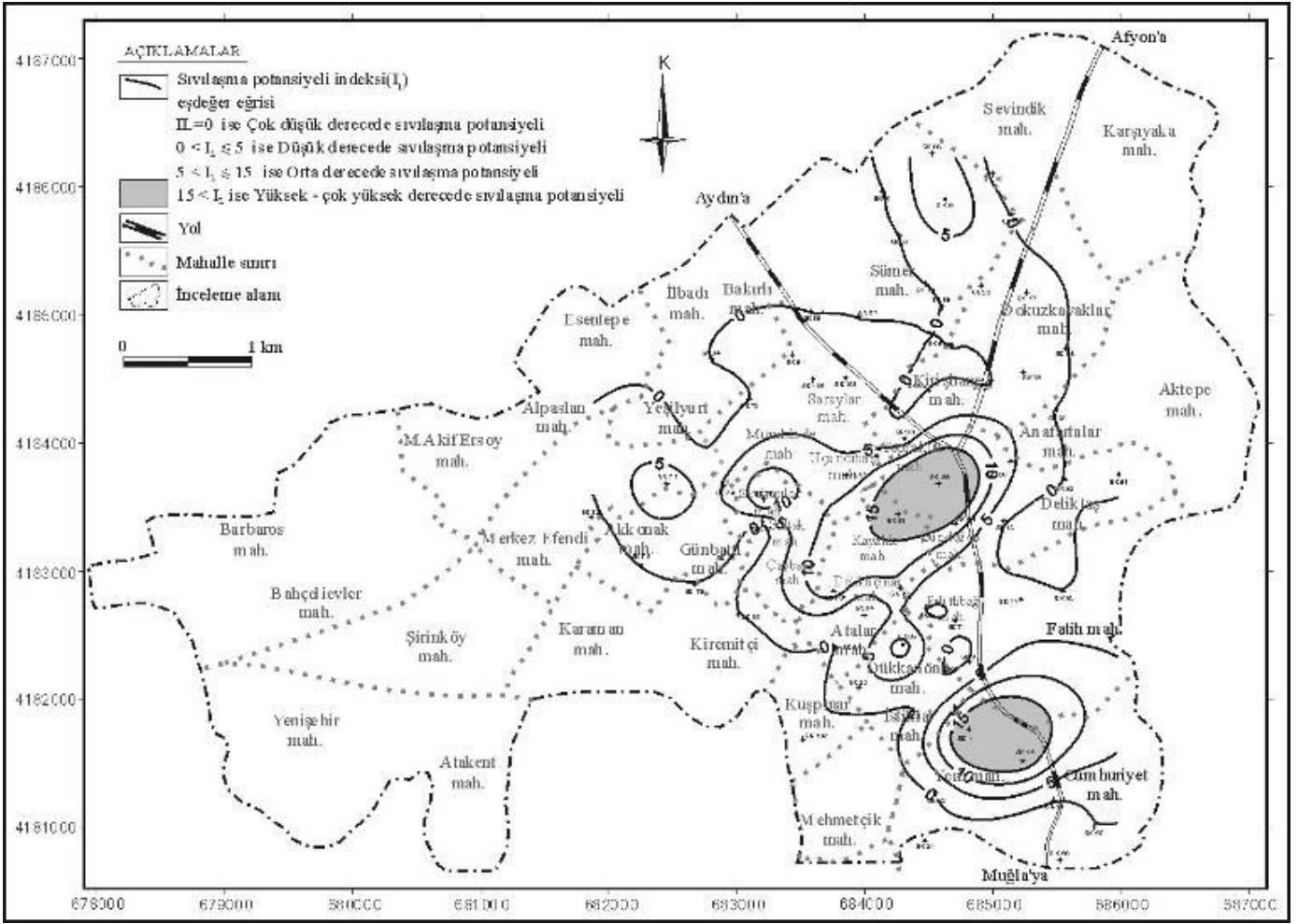
Şekil 5.39'dan da anlaşılacağı üzere Denizli Belediyesi yerleşim alanları için PAÜ (2002) de ve bu tez çalışmasında elde edilen sıvılaşma haritalarında kuzeyde bir bölge hariç genel olarak bir uyum görülmektedir.

Denizli şehri yerleşim alanlarının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesi için yapılan bir diğer çalışma ise; Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) haritalarının oluşturulmasıdır (Çelik 2003). Burada Çelik (2003) çalışmasından örnek olarak 2. nokta kaynak olarak belirlenen ve Karakova fayına bağlı $M_w6.3$ senaryo depremi göz önüne alınmıştır. Şekil 5.40' da 2. nokta kaynağa (Karakova fayı) göre Denizli Belediyesi yerleşim alanlarının sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) haritası verilmiştir.

İlk olarak Iwasaki vd (1978) tarafından önerilen LPI son yıllarda sivilaşma çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır (Örneğin, Toprak ve Holzer 2003). Bununla birlikte LPI kullanılarak henüz yanal yer değiştirmelerin hesaplanması ve boru hasarlarının tahmini için bir yöntem geliştirilmemiştir. Bu sebeple bu tez çalışmasında LPI yöntemi kullanılamamıştır.



Şekil 5.39 Karakova Fayı etkisiyle oluşabilecek M6.3 senaryo depremi için Denizli Belediyesi yerleşim alanları için PAÜ (2002) de ve bu tez çalışmasında elde edilen sivilaşma haritaları



Şekil 5.40 2. nokta kaynağa (Karakova fayı) göre inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli indeksi haritası (Çelik 2003)

5.5 İnceleme Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Sonrası Yanal Hareketlerinin (Deplasmanların) Belirlenmesi

5.5.1 Veri tabanı ve kullanılan yöntem

Bu tez kapsamında ele alınan inceleme alanının sıvılaşma duyarlılığının belirlenmesi, bu alanlarda sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek yanal hareketlerin (deplasmanların) önceden tahminini mümkün kılmıştır. Bartlett ve Youd (1992, 1995) 1990'ların başında sıvılaşabilir alanların yanal yerdeğiştirmelerini önceden tahmin etmek için ampirik bir formül geliştirmişlerdir. Bu formül yıllar içinde daha geniş verilerin toplanmasıyla geliştirilmiş ve bir takım düzeltmeler yapılarak çoklu doğrusal regresyon denklemleri (Multilinear Regrasyon Formülleri-MLR) elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında inceleme alanındaki sıvılaşabilir zeminlerde meydana gelebilecek yanal yerdeğiştirmelerin belirlenmesinde Youd vd (2002)'nin önerdiği yöntem kullanılmıştır. Yanal yerdeğiştirmeler elde edilirken; metodun uygulanacağı inceleme alanının sıvılaşma potansiyeli, arazi eğimi (%), zeminin ince tane oranı (%), dane çapı (mm), inceleme alanının faylara olan mesafeleri (yatay mesafe) ve depremin büyüklüğü (M_w) önemli rol oynamaktadır. İlk olarak Bartlett ve Youd'un geliştirdikleri bu model (MLR), hafif eğimli zemin şartları ve serbest yüzey şartları için ayrı deplasman hesabını gerektirmektedir. Formül 5.30'da serbest düşey yüzey şartları için önerilen model görülmektedir.

$$\text{Log } D_H = -16,713 + 1,532 * M - 1,406 \log R^* - 0,012 * R + 0,592 \log W + 0,540 \log T_{15} + 3,413 \log (100 - F_{15}) - 0,795 \log (D50_{15} + 0,1 \text{ mm}) \quad (5.30)$$

Formül 5.31'de hafif eğimli zemin şartları için önerilen model görülmektedir.

$$\text{Log } D_H = -16,213 + 1,532 * M - 1,406 \log R^* - 0,012 * R + 0,338 \log S + 0,540 \log T_{15} + 3,413 \log (100 - F_{15}) - 0,795 \log (D50_{15} + 0,1 \text{ mm}) \quad (5.31)$$

Formül 5.30 ve 5.31 için önerilen R^* ve R_0 formül 5.32 'de verilmiştir.

$$R^* = R + R_0 \quad \text{ve} \quad R_0 = 10^{(0,89M - 5,64)} \quad (5.32)$$

Bu denklemlerde; D_H , deplasman (m); R , fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe (m); W , serbest yüzey oranı (%) (free-face ratio); S (%), zemin yüzey eğimi; T_{15} (m), sıvılaşabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT- $(N_1)_{60cs}$ değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı; M , deprem büyüklüğü (magnitüd); F_{15} (%), T_{15} 'i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelерinin aritmetik ortalaması; $D_{50(15)}$ (mm), T_{15} 'i oluşturan tüm tabakalardaki D_{50} çaplarının aritmetik yada geometrik ortalamasıdır.

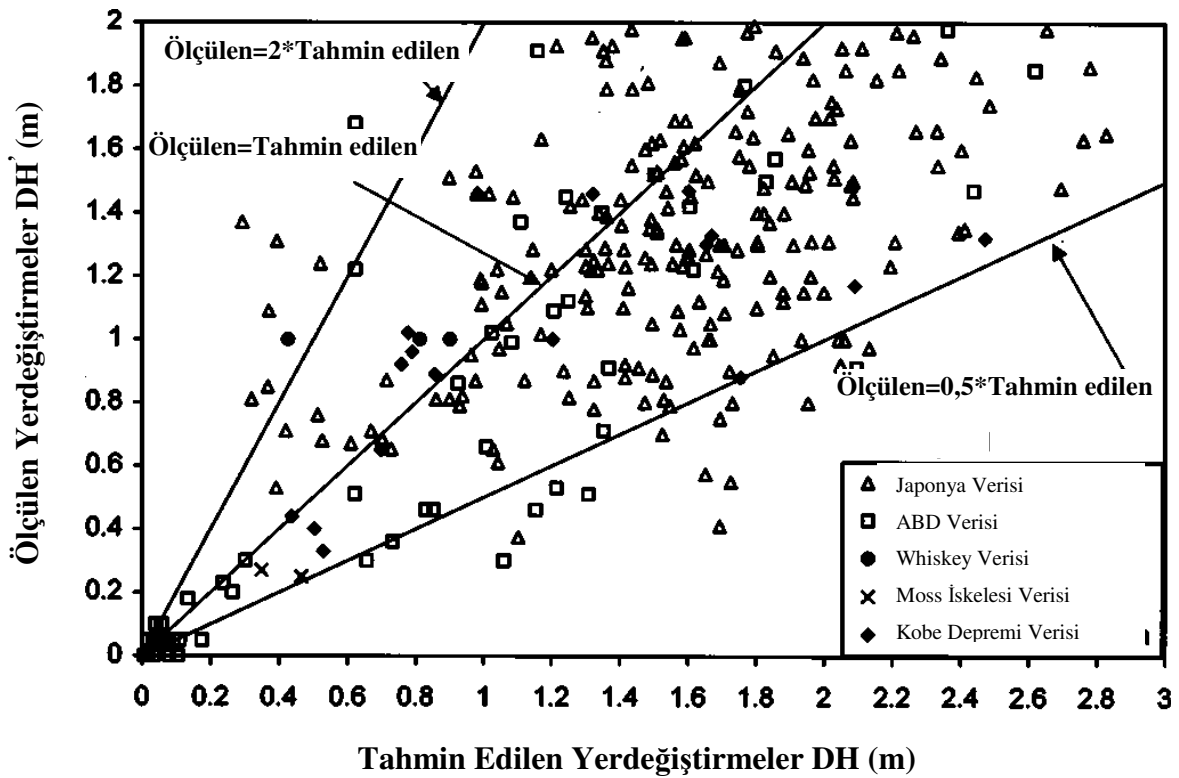
Youd vd (2002)'de verilen MLR formülizasyonlarının yanal deplasmanları önceden tahmin etmedeki performansı Şekil 5.41'de verilmiştir. Şekil 5.41'de 2 metreye kadar olan ve ölçülen yanal yerdeğiştirmelerle tahmin edilen yerdeğiştirmelerin ilişkisi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere; Youd vd (2002) hasar ilişkisi kullanılarak tahmin edilen deplasmanlar, bazı bölgelerde ölçülmüş deplasmanlardan 2 kat daha küçük, bazı bölgelerde ise 2 kat daha fazladır. Çetin vd (2004) yaptıkları çalışmada 1999 Kocaeli (İzmit), Türkiye depremde İzmit körfezinde sıvılaşan bölgeler üzerinde yaptıkları çalışmada deprem sonrası meydana gelen yanal hareketleri ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçları; yanal hareketleri belirlemek için, Youd vd (2002), Hamada vd (1986) ve Shamoto vd (1998) tarafından geliştirilen 3 ayrı ilişkiyi kullanarak toplam 4 bölge ve 10 sondaj kuyusundan elde ettikleri verileri kullanarak hesapladıkları yanal deplasman sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Çetin vd (2004) sonuçlarına bakıldığında; Youd vd (2002) modeli kullanılarak tahmin edilen deplasman miktarlarının 10 bölgenin 5 tanesinde ölçülen deplasmanların 2 katından daha fazla olduğu görülmektedir. Hamada vd (1986) ve Shamoto vd (1998) modelleri kullanılarak tahmin edilen deplasman miktarları ise ölçülen deplasmanlardan ya daha fazla yada daha azdır.

Deplasman tahmini ilişkileri kullanılarak tahmin edilen deplasmanlar ile ölçülen deplasmanlar arasındaki bu farklılıkların birkaç önemli sebebi vardır. Çetin vd (2004) çalışmalarında bu sebepleri şöyle sıralamıştır. Deplasman tahmininde kullanılan model parametrelerinin (Sıvılaşan tabaka kalınlığının, ince tane oranı, SPT değerleri, PGA, CSR, vb.) eldeki sınırlı veriler sebebiyle kesinliğinin olmamasıdır. Bir diğer sebep, yanal deplasman tahmini yapılacak bölgenin sıvılaşma duyarlılığını belirlemede

kullanılan farklı yöntemler ile o bölge için farklı sıvılaşma potansiyeli elde edilmesi ve sıvılaşabilecek alanların kesinliğinin olmamasıdır.

Yanal deplasman haritaları oluşturulurken çeşitli sebeplerle yapılan haritalama hataları da toplam deplasman miktarını artırabilmekte ve deplasman miktarlarına ilişkin sonucun doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca deplasman hesabında kullanılan ilişkilerde inceleme alanının eğimli yada serbest düşey yüzey olması durumuna göre değişen modeller söz konusudur. Ancak bazı alanlar hem eğimli hem de serbest düşey yüzey şartlarından oluşmaktadır, bu durumda uygulanacak modeller doğru sonucu tam olarak veremeyeceklerdir. Bir diğer önemli nokta ise; azalım ilişkileriyle tahmin edilen sarsma seviyesinin, gerçekte oluşması beklenen seviyeden farklı hesaplanmış olması durumudur. Bu durum ise deplasman miktarlarının yanlış tahmin edilmesine sebep olacaktır.



Şekil 5.41 Ölçülmüş deplasman değerleriyle Youd vd (2002) modeli kullanılarak tahmin edilen deplasman değerleri arasındaki ilişki (Youd vd 2002)

Çetin vd (2004) de ki inceleme alanları serbest düşey yüzey (free face) durumuna karşılık gelmektedir. Bu çalışmada ise inceleme alanları eğimlidir. Yine de Çetin vd

(2004) çalışması Youd vd (2002) sonuçlarının daha güvenli tarafta olabileceğini göstermektedir.

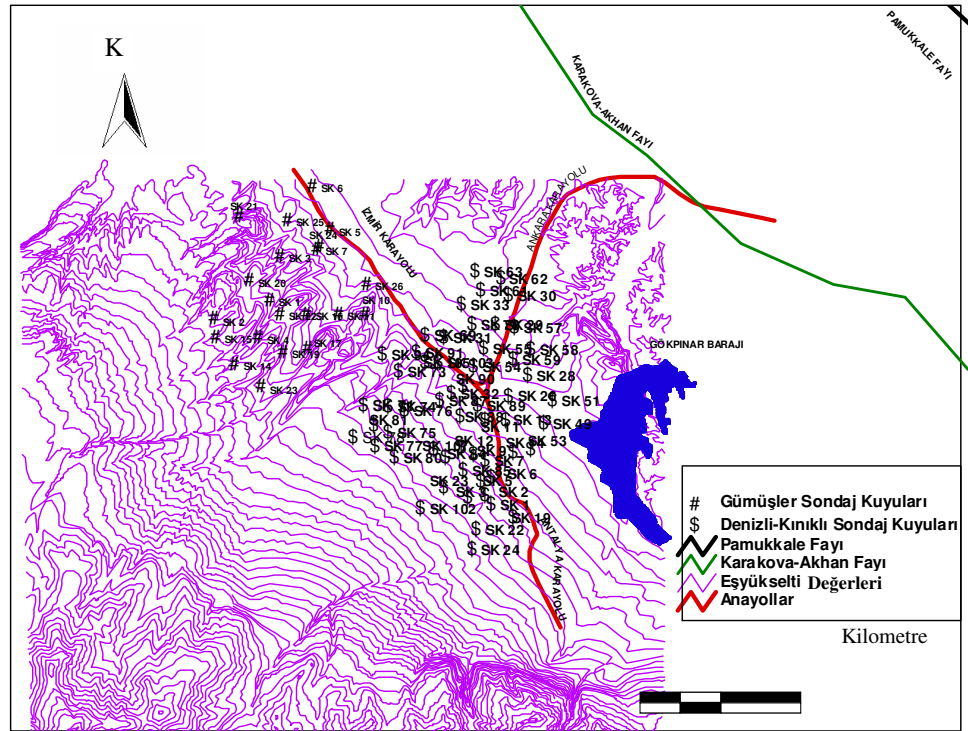
5.5.2 İncelenen bölge için deplasman haritalarının elde edilmesi

Bu tez çalışmasında inceleme alanının jeolojik yapısı ve arazi eğimi dikkate alınarak hafif eğimli zemin şartları için önerilen model yanal deplasman hesabı kullanılmıştır. Bu çalışmada Youd vd (2002) de belirtildiği üzere, sıvılaşma gözlenmeyen sondaj kuyuları için yanal hareketin oluşmayacağı kabul edilmiştir. Sıvılaşma olan her sondajın değişik seviyelerindeki SPT değerleri incelenerek $SPT (N1)_{60}$ değerlerinin 15 ten küçük olduğu tabakaların toplam kalınlığı hesaplanarak T_{15} elde edilmiştir. T_{15} hesaplanırken $SPT (N1)_{60}$ değerlerinin 15'ten küçük olduğu toplam tabaka kalınlığından yeraltı suyu derinliği çıkarılmıştır. Sıvılaşma riski olan sondajlarda T_{15} 'i oluşturan değişik seviyelerdeki sıvılaşabilir tabakalardaki ince tane (200 nolu elekten geçen çökel yüzdesi, daneler $< 0,075$ mm) oranlarının aritmetik ortalaması alınarak F_{15} elde edilmiştir. Ancak her sondaja ait mevcut jeoteknik sondaj loglarında değişen seviyeler için ince tane oranları bulunmadığından, sıvılaşma analizinde kullanılan her sondajın ince tane oranları ve tane boyu dağılımlarını belirleyebilmek için sondajlara ait laboratuarda hazırlanan elek analizi grafiklerinden yararlanılarak sıvılaşabilir tabakaların tane boyu dağılımları belirlenmiştir. $D_{50(15)}$ 'in hesaplanabilmesi için T_{15} 'i oluşturan değişik seviyelerdeki sıvılaşabilir tabakaların tane boyu dağılımlarını veren granülometrik eğriler incelenerek D_{50} dane çapı değerleri belirlenmiştir. Sıvılaşabilir her sondaja ait $D_{50(15)}$ belirlenirken granülometrik eğrilerden, farklı seviyeler için okunan D_{50} değerlerinin aritmetik veya geometrik ortalaması alınmıştır. Eğer minimum D_{50} değeri ile maksimum D_{50} değeri arasında üç kat fark varsa bu durumda D_{50} değerlerinin geometrik ortalaması aksi takdirde aritmetik ortalaması alınmıştır.

İnceleme alanında sıvılaşma sonrası oluşabilecek yanal deplasmanların belirlenmesinde Pamukkale ve Karakova-Akhan fayları olası deprem senaryoları için kaynak olarak ele alınmış ve CBS programları (Arcview, ArcGIS) kullanılarak inceleme alanının fay kırıklarına yüzeyden olan yatay mesafeleri (R) belirlenmiştir.

Yanal deplasmanların hesabında önceden belirlenmesi gereken bir diğer faktörde inceleme alanının yüzey eğimi (S) 'dir. Formül 5.31 yanal yerdeğiştirmelerin hesaplanabilmesi için yüzey eğiminin %6 'dan küçük olması gerekmektedir. Denizli ve

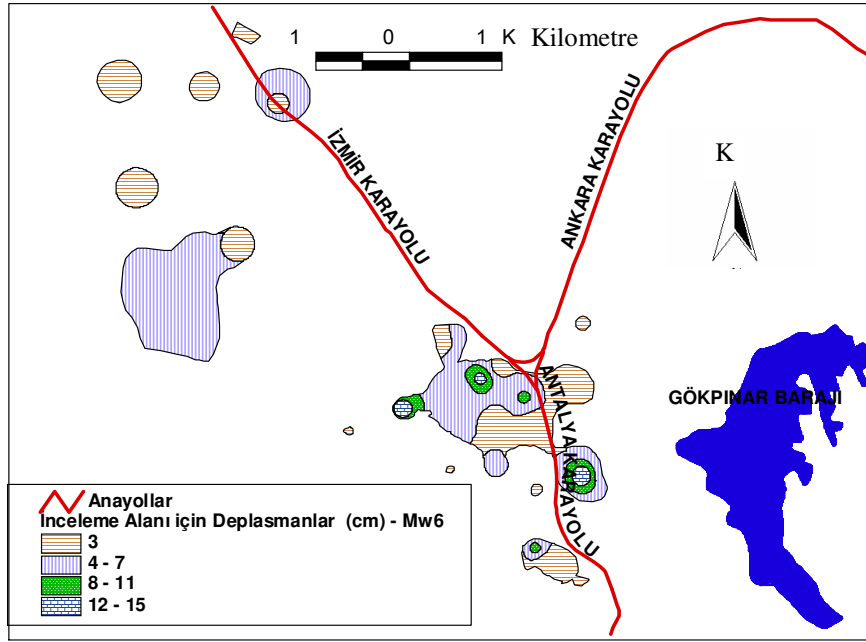
çevresini gösteren 1/25000'lik topoğrafya haritasından sayısallaştırılmış eş yükselti eğrileri kullanılarak (Kumsar vd 2004), incelenen her bir sondaj ayrı ayrı referans noktası kabul edilip bu noktadaki yüzey eğimleri hesaplanmıştır. Daha sonra tüm bu veriler ışığında, inceleme alanında sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek yanal deplasmanları hesaplamak amacıyla sıvılaşma olacağı tahmin edilen sondajlar için oluşturulan veri dosyalarıyla Excel bilgisayar programı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 5.42'de deplasman analizinde kullanılan sondaj kuyuları, faylar ve eşyüksekti haritası görülmektedir. Bu değerlendirmeler sonucunda iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) yanal deplasman analizinde kullanılan sondajların koordinatları, Pamukkale ve Karakova-Akhan fay kırıklarına yüzeyden ölçülen mesafeleri (R), T_{15} , F_{15} ve $D_{50(15)}$ değerleri ile yanal deplasman miktarları (D_H) EK 2'de verilmiştir..



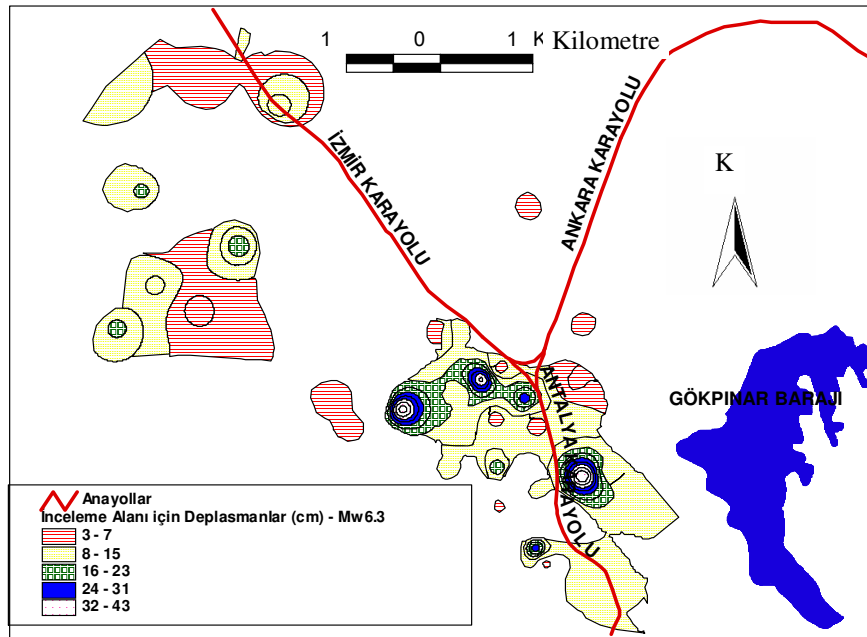
Şekil 5.42 Deplasman analizinde kullanılan sondaj kuyuları, faylar ve 1/25000 ölçekli topoğrafya (eşyüksekti) haritası

Yapılan deplasman analizi sonucu toplam 47 sondaj kuyusunda yanal yerdeğiştirme hesaplanmıştır. Her bir sondaj kuyusu için elde edilen D_H değerlerinden yararlanılarak, ArcGIS programı kullanılarak inceleme alanında iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) yatay deplasman konturları çizilmiştir. Deplasman konturları elde edildikten sonra

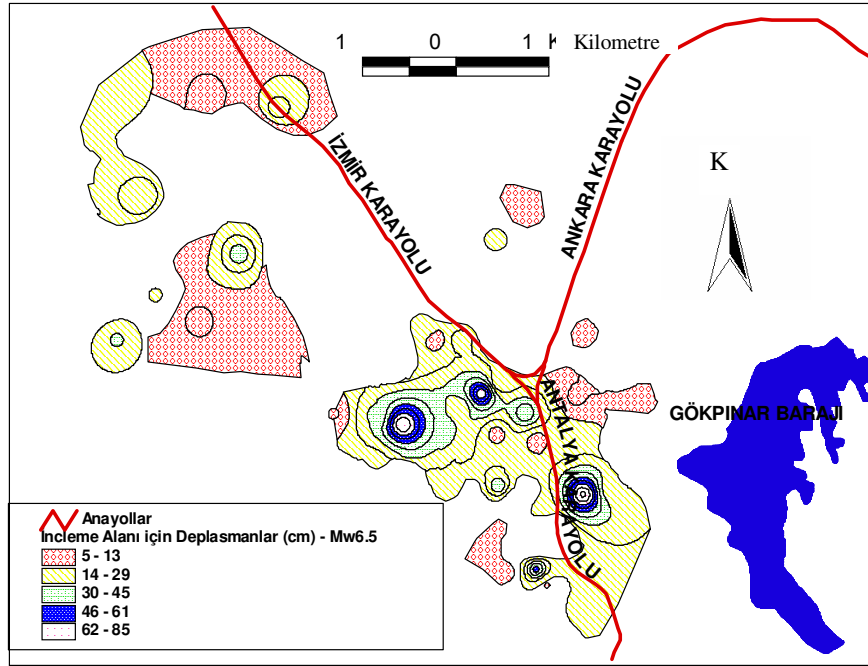
ArcGIS programı yardımıyla deplasman konturlarıyla sınırlı kapalı alanlar (deplasman poligonları) oluşturulmuştur. Böylelikle iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) yanal deplasman haritaları elde edilmiştir. Bu haritalar Şekiller 5.43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 ve 50 de verilmiştir.



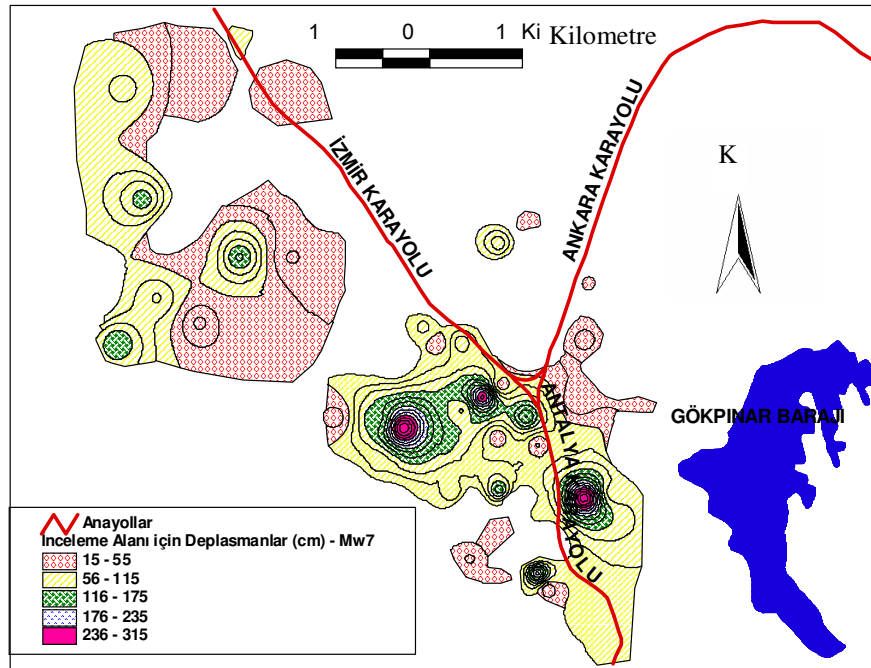
Şekil 5.43 Karakova-Akhan Fayı, M_w6 senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler



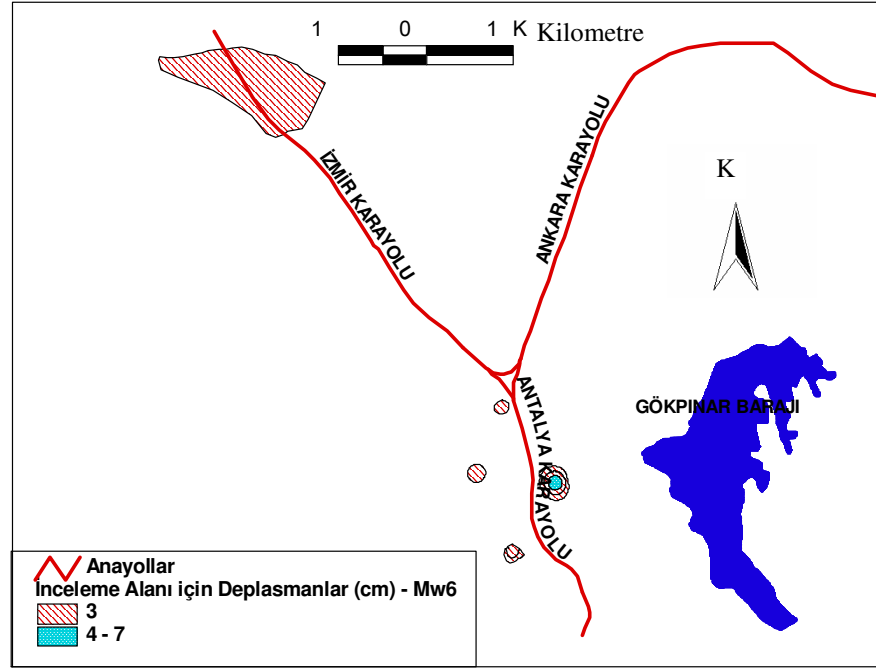
Şekil 5.44 Karakova-Akhan Fayı, $M_w6.3$ senaryo depreminde sıvılaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler



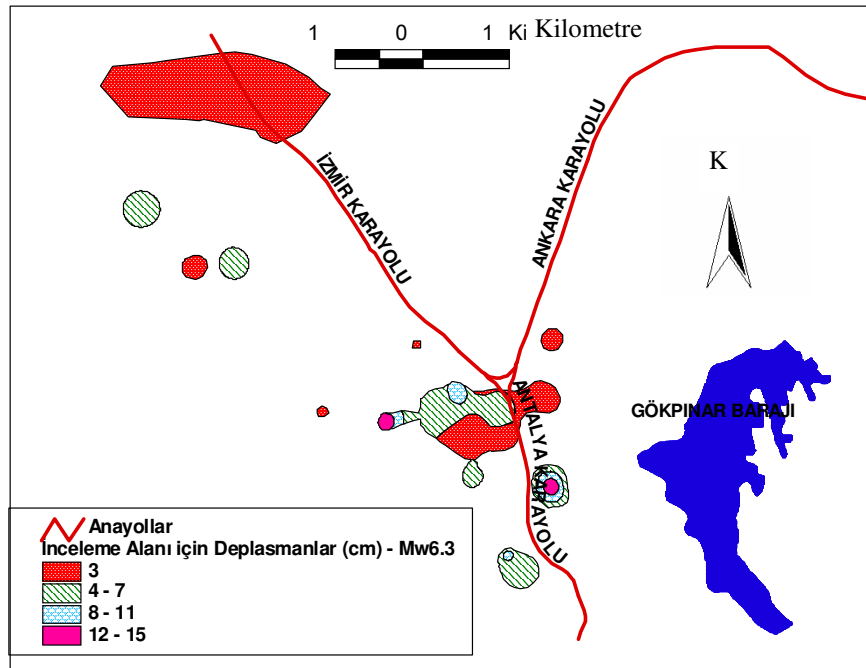
Şekil 5.45 Karakova-Akhan Fayı, etkisiyle oluşabilecek $M_w6.5$ senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanar yer değıştirmeler



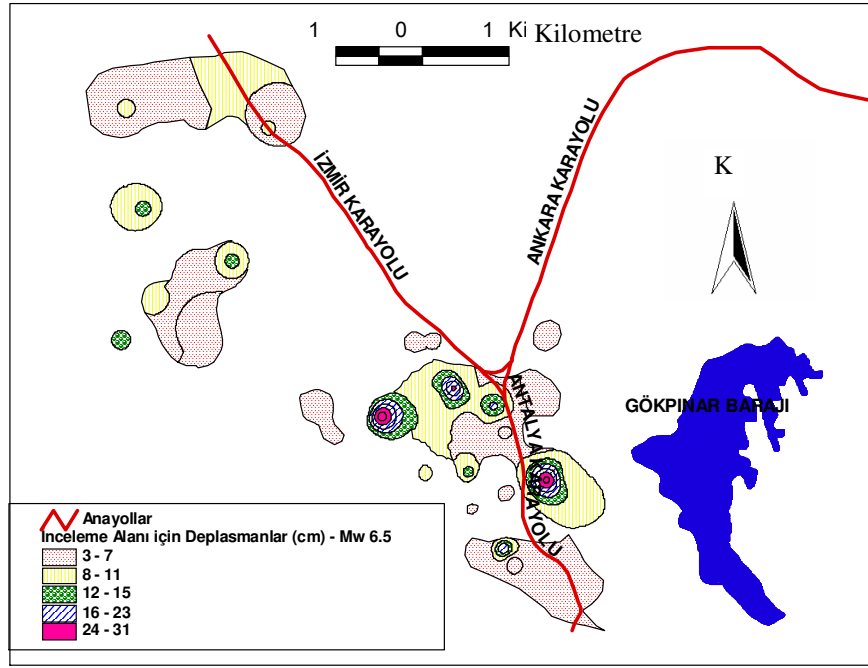
Şekil 5.46 Karakova-Akhan Fayı, etkisiyle oluşabilecek M_w7 senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanar yer değıştirmeler



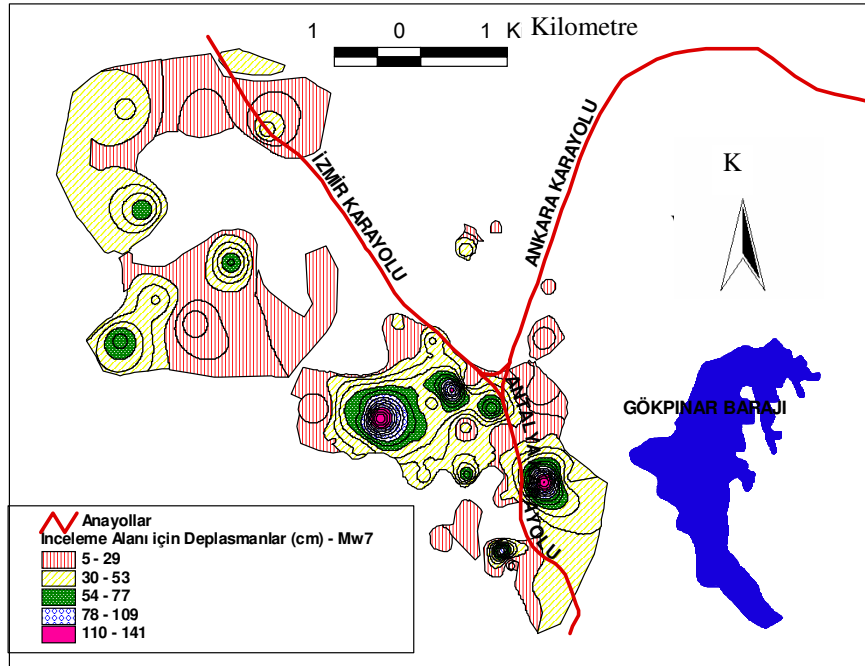
Şekil 5.47 Pamukkale Fayı, etkisiyle oluşabilecek M_w6 senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler



Şekil 5.48 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6.3$ senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanal yer değiştirmeler



Şekil 5.49 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 6.5 senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanall yer değiştirmeler

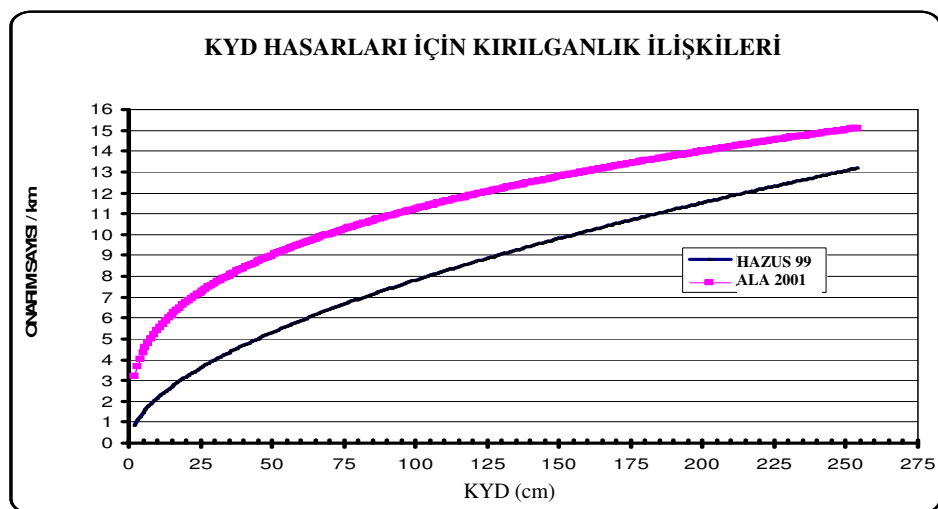


Şekil 5.50 Pamukkale Fayı etkisiyle oluşabilecek M_w 7 senaryo depreminde sivilaşma sonrası zeminde oluşabilecek yanall yer değiştirmeler

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen deplasman haritalarından da anlaşılacağı üzere; inceleme alanında Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6-M_w6.3$ senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-15 cm arasında, $M_w6.5-7$ senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-141 cm arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek $M_w6-M_w6.3$ senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-43 cm arasında, $M_w6.5-7$ senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 5-315 cm arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayının Denizli'ye daha yakın olduğu göz önüne alınırsa bu fay etkisiyle oluşacak deplasmanların daha büyük olması beklenen bir sonuçtur.

5.6 Denizli Şehri Su İletim ve Dağıtım Şebekesinde Yanal Yerdeğiştirmeler (deplasmanlar) Sonucunda Oluşabilecek Boru Hattı Hasar Miktarları

Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesi 3. bölümde anlatıldığı üzere CBS yazılımlarından olan Arcview ve ArcGIS programları kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bölüm 5.5 'te de farklı büyüklükteki senaryo depremleri sonucunda meydana gelebilecek sivilaşma sonrası Denizli şehrinde oluşabilecek yanıl deplasmanlar tahmin edilmiştir. Bu deplasmanlar etkisiyle Denizli su şebekesini oluşturan gömülü boru hattı sistemlerinde meydana gelebilecek hasarların tahmininde 2 farklı hasar tahmin ilişkisi kullanılmıştır. Bu ilişkiler HAZUS 99 (FEMA 1999) ve ALA (2001) dir. Şekil 5.51'de HAZUS ve ALA'da belirtilen kalıcı yer deformasyonları ile hasar oranları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.51 Kalıcı yer deformasyonları (KYD) ile hasar oranları (RR) arasındaki ilişki

HAZUS 99 metodolojisiinde, kalıcı yer hareketleri (KYD) sonucunda meydana gelen gömülü boru hattı hasarları yanal hareketler (deplasmanlar) ile karakterize edilmektedir. Formül 5.33’de bu hasar ilişkisi verilmiştir.

$$RR = 0.394 (KYD)^{0.56} \quad (5.33)$$

Formül 5.33’de RR, hasar oranını (onarım/km) yani her bir km boruda meydana gelebilecek hasar sayısını, KYD (cm), kalıcı yer deformasyonunu (yanal deplasman) ifade etmektedir. Geliştirilen bu hasar ilişkisi kırılğan boru hattı hasar oranlarının tahmininde geçerlidir, ancak HAZUS’da belirtildiği üzere düktil boru hattı hasar oranları kırılğan için olanların üçte biri olarak kullanılmaktadır. ALA (2001)’de önerilen hasar ilişkisi ise formül 5.34’de verilmiştir.

$$RR = K_2 * 1.291 * (1.06) * KYD^{0.319} \quad (5.34)$$

Formül 5.34’de RR, hasar oranını (onarım/km) KYD (cm), kalıcı yer deformasyonunu (yanal deplasman) ve K_2 ise farklı boru türlerine ait katsayıları ifade etmektedir. Geliştirilen bu hasar ilişkisi kırılğan boru hattı hasar oranlarının tahmininde kullanılmaktadır. Burada belirleyici faktör K_2 katsayısıdır. Düktil boru sınıfına giren çelik ve PVC borular için K_2 , 0,15 ve 0,8; kırılğan boru sınıfına giren font ve AÇB borular için K_2 , 1 değerini almaktadır

Tez çalışması kapsamında kalıcı yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmininde iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Birinci senaryoda inceleme alanının tümü dikkate alınarak hasar analizi yapılmıştır.

İkinci senaryoda ise; Gümüşler Belediyesi sınırları içinde kalan sondajlardan elde edilen veriler ışığında bu bölgedeki yer altı su seviyesinin yüksek olması (YSS >20 m) ve sıvılaşma riskinin düşük olması sebebiyle bu bölgede yanal deplasmanların oluşmayacağı kabul edilerek bu bölge hasar analizine dahil edilmemiştir ve Gümüşler Belediyesi sınırları dışında kalan diğer bölgeler için hasar analizi yapılmıştır. Her iki senaryo içinde aynı hasar ilişkileri kullanılmıştır.

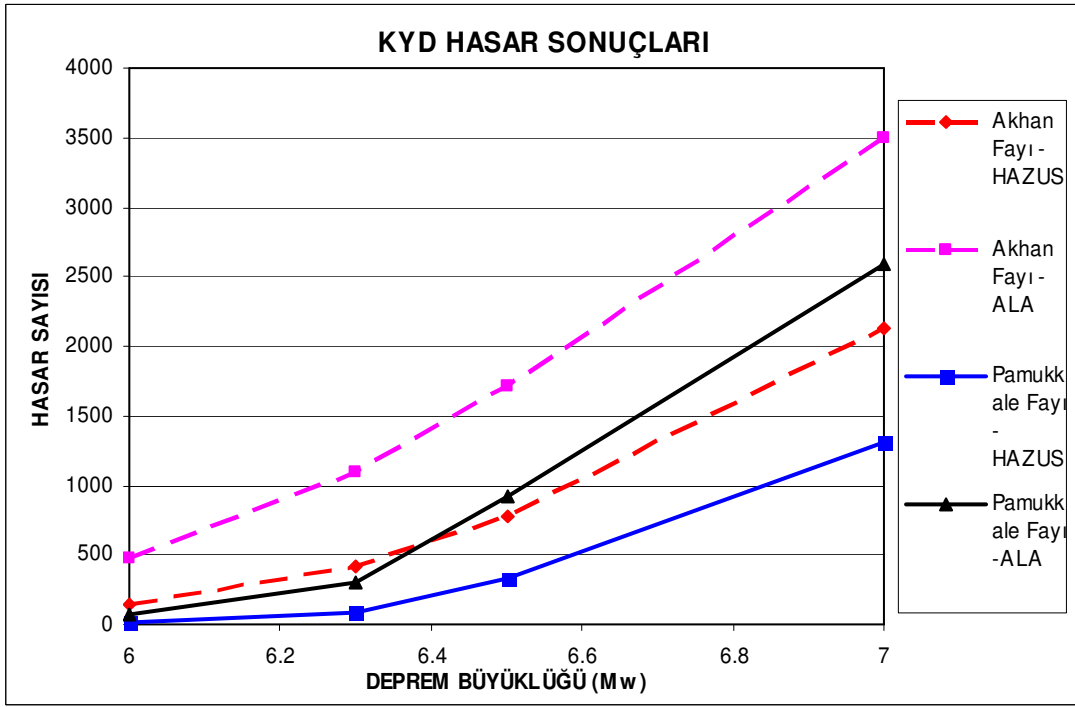
Birinci senaryoda; onarım oranları (RR) Denizli şehri su şebekesini oluşturan kırılğan ve düktil boru hatları için daha önceden hesaplanan yanal deplasmanlar (D_H) kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen, onarım oranları toplam düktil ve toplam kırılğan boru uzunluklarıyla ayrı ayrı çarpılarak şebekede farklı büyüklükteki deprem senaryoları sonucunda meydana gelebilecek hasar miktarları hesaplanmıştır.

Bu değerlendirmeler sonucunda birinci hasar senaryosu için, iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) HAZUS 99 ve ALA (2001) ilişkileri ile elde edilen hasar miktarları Tablo 5.3'de verilmiştir.

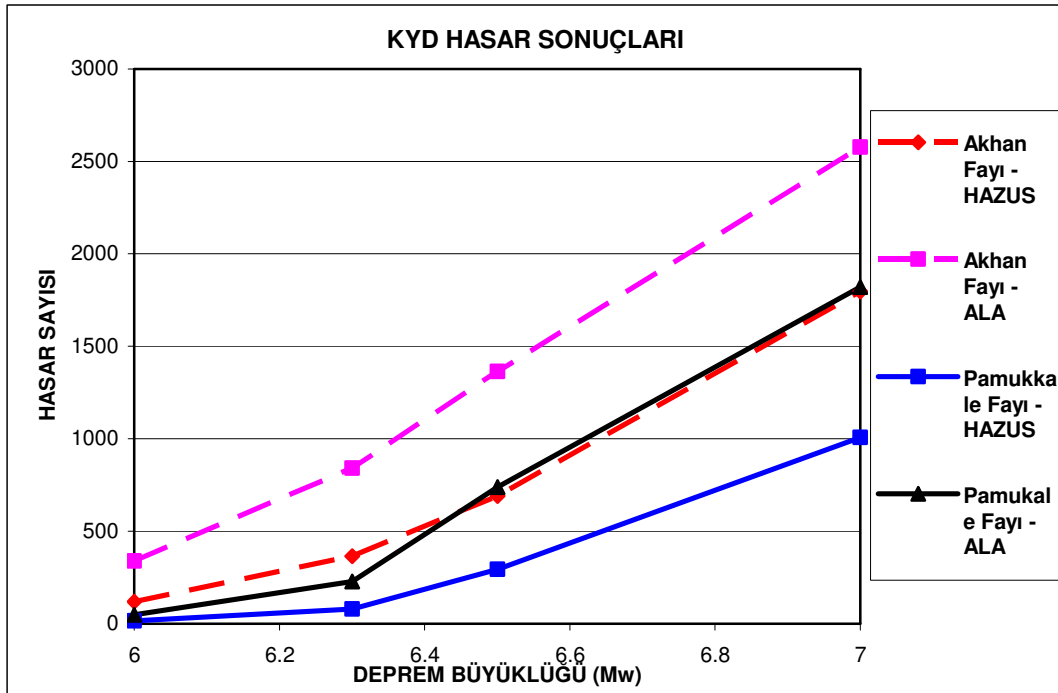
İkinci hasar senaryosunda Gümüşler Belediyesi sınırları içinde kalan bölgede yanal deplasmanların oluşmayacağı kabul edilerek bu bölge dışındaki alanlar için yeni bir hasar analizi yapılmıştır. İkinci senaryo içinde aynı hasar ilişkileri kullanılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda ikinci hasar senaryosu için; iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) elde edilen hasar miktarları yine Tablo 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.52'de HAZUS ve ALA hasar ilişkileri kullanılarak birinci hasar senaryosu için tahmin edilen kalıcı yer deformasyonları etkisiyle oluşabilecek hasar miktarlarının deprem büyüklükleriyle olan değişimi grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 5.53'de HAZUS ve ALA hasar ilişkileri kullanılarak ikinci hasar senaryosu için tahmin edilen kalıcı yer deformasyonları etkisiyle oluşabilecek hasar miktarlarının deprem büyüklükleriyle olan değişimi grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 5.3 Birinci ve ikinci hasar senaryosu için Denizli şehri su iletim ve dağıtım şebekesi'nde kalıcı yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasar miktarları

Birinci Hasar Senaryosu İçin Hasar Miktarları			
	M_w	HAZUS (1999)	ALA (2001)
Pamukkale Fayı	6	19	76
	6.3	91	297
	6.5	327	916
	7	1308	2587
Akhan Fayı	6	143	480
	6.3	418	1096
	6.5	783	1716
	7	2130	3503
İkinci Hasar Senaryosu İçin Hasar Miktarları			
	M_w	HAZUS 99	ALA (2001)
Pamukkale Fayı	6	15	49
	6.3	79	228
	6.5	294	738
	7	1007	1820
Akhan Fayı	6	119	339
	6.3	366	841
	6.5	690	1364
	7	1796	2577



Şekil 5.52 Birinci hasar senaryosu için, inceleme alanında Pamukkale ve Karakova – Akhan Fayları etkisiyle oluşabilecek kalıcı yer deformasyonları hasar sayılarıyla deprem büyüklüğü (M_w) arasındaki ilişki

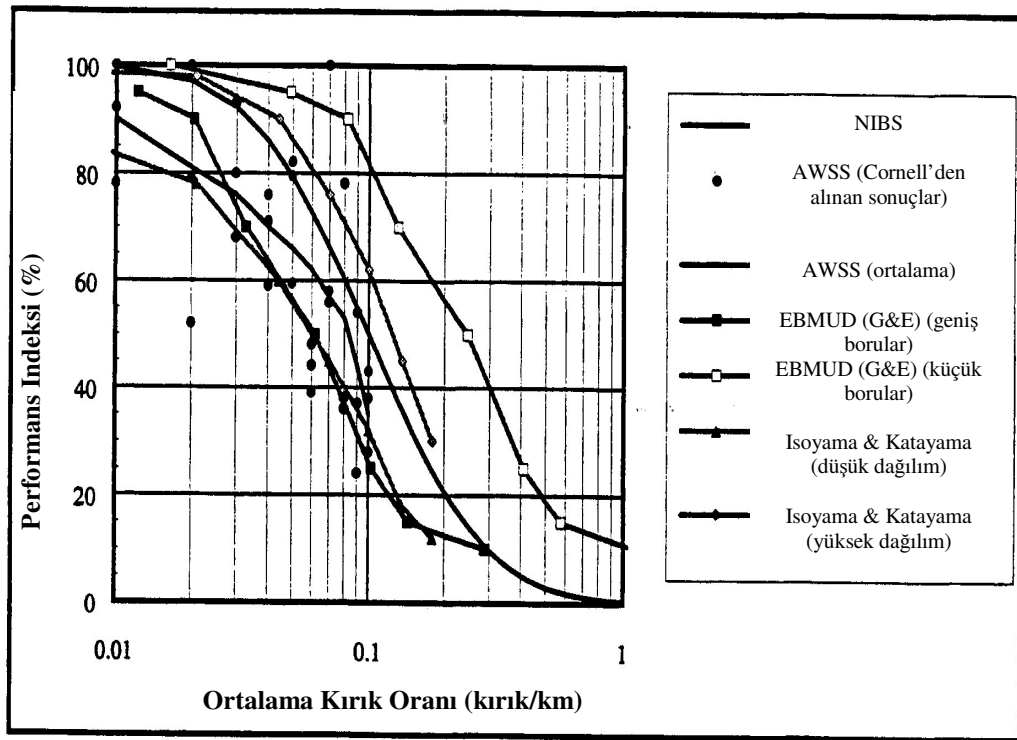


Şekil 5.53 İkinci hasar senaryosu için, inceleme alanında Pamukkale ve Karakova – Akhan Fayları etkisiyle oluşabilecek kalıcı yer deformasyonları hasar sayılarıyla deprem büyüklüğü (M_w) arasındaki ilişki

Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde; her iki hasar senaryosu içinde Karakova-Akhan fayı kaynaklı KYD hasarlarının Pamukkale fayı kaynaklı KYD hasarlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuca bakılarak Denizli şehrinde, inceleme alanına Pamukkale fayından daha yakın bir kaynağın yaratabileceği hasarın çok daha büyük olacağı öngörülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında birinci hasar senaryosu sonunda elde edilen KYD hasar sonuçlarında da anlaşılacağı üzere; inceleme alanında Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek; M6-M6.3 senaryo depremleri için tahmin edilen hasarlar HAZUS hasar ilişkisine göre 19-91 arasında, ALA hasar ilişkisine göre 76-297 arasında, M6.5-M7 senaryo depremleri için; HAZUS hasar ilişkisine göre 327-1308 arasında, ALA hasar ilişkisine göre ise 916-2587 arasında değişmektedir. Bu değerler Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek; M6-M6.3 senaryo depremleri için HAZUS hasar ilişkisine göre 143-418 arasında, ALA hasar ilişkisine göre 480-1096 arasında iken, M6.5-M7 senaryo depremleri için HAZUS hasar ilişkisine göre 783-2130 arasında, ALA hasar ilişkisine göre ise 1716-3503 arasında değişmektedir. İnceleme alanında Pamukkale Fayı ve Karakova -Akhan Fayı etkisiyle ALA (2001) ilişkisi kullanılarak tahmin edilen kalıcı yer deformasyonları hasarları, HAZUS 99 ilişkisi kullanılarak tahmin edilenden daha fazladır. Şekil 5.52 ve 5.53'den de anlaşılacağı üzere belirli bir bölge için sismik şiddetin tahmini, o bölgedeki hasar tahminlerinin daha gerçekçi yapılabilmesine olanak verecektir.

5.7 Denizli Su Şebekesinin Senaryo Depremler Sonrası Performansı

Bu tez çalışmasında şimdiye kadar su dağıtım sistemlerinde GYD ve KYD etkisiyle meydana gelebilecek hasarlar üzerinde durulmuştur ve hasar miktarları tahmin edilmiştir. Ancak önemli bir husus bu hasarların su dağıtım sisteminin çalışma performansını nasıl etkilediğinin belirlenmesi olacaktır. Bu nedenle sistemin performansını belirlemek için HAZUS metodolojisinde belirtilen sistem performans ilişkileri kullanılmıştır. Bu ilişkiler Şekil 5.54'de verilmiştir. Denizli su iletim ve dağıtım sisteminin olası bir deprem sonrası performansı AWSS (ortalama) ilişkisi kullanılarak tahmin edilmiştir. Öncelikle iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) şebekede meydana gelmesi düşünülen boru hasarlarının türü belirlenmiştir. Yani boru hasarlarının ne kadarını boru sızıntısı, ne kadarını boru kırılmasının oluşturduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.54 Sistem performans değerlendirme için ortalama kırık oranına karşılık gelen performans indeksi (HAZUS 99)

HAZUS 99 (FEMA 1999)'da belirtildiği gibi GYD etkisiyle meydana gelen hasarın %80 'nini boru sızıntıları, %20'sini borulardaki kırıkların oluşturduğu varsayılmaktadır. KYD etkisiyle meydana gelen hasarın ise %20 'sini boru sızıntıları, %80'nini borulardaki kırıkların oluşturduğu varsayılmaktadır.

HAZUS 99'da verilen performans indeksi metodu kullanılarak, öncelikle Denizli su şebekesinde M6, M6.3, M6.5, M7 senaryo depremleri sonrası meydana gelebilecek kırık ve sızıntılar hesaplanmıştır. Şebekede meydana gelebilecek sızıntı ve kırık sayıları hesaplandıktan sonra; şebekede GYD ve KYD etkisiyle senaryo depremleri sonrası hesaplanan toplam hasar miktarı toplam boru uzunluğuna bölünmek suretiyle ortalama kırık oranı (onarım/km) elde edilmiştir. Birinci hasar senaryosu için tahmin edilen sızıntı ve kırık sayıları Tablo 5.4 ve 5.5'te verilmiştir. Daha sonra Şekil 5.54'deki AWSS (ortalama) sistem performans ilişkisi kullanılarak, iki farklı fay (Pamukkale Fayı, Karakova-Akhan Fayı) ve dört farklı deprem büyüklüğü için (M6, M6.3, M6.5, M7) için Denizli şehri su iletim ve dağıtım sisteminin kullanılabilirlik (performans) indeksi yüzde olarak tahmin edilmiştir. Birinci hasar senaryosu için tahmin edilen performans

indeksleri Tablo 5.6 ve 5.7’te verilmiştir. İkinci hasar senaryosu için tahmin edilen sızıntı ve kırık sayıları Tablo 5.8 ve 5.9’da performans indeksleri ise Tablo 5.10 ve 5.11’de verilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde, inceleme alanında birinci hasar senaryosu sonunda; Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %85-100 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %34-80 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %4-26 arasında ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0-3 arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %18-60 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %4-20 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %1-5 arasında değişmekte ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0 olmaktadır.

İkinci hasar senaryosu sonunda; Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %85-100 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %45-85 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %6-34 arasında ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %2-4 arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %26-75 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %5-24 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %3-6 arasında değişmekte ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0-4 olmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki, birinci hasar senaryosu sonunda Pamukkale ve Karakova-Akhan fayları kaynaklı M6.5 ve M7 arasındaki olası bir depremde su şebekesinin çalışamaz duruma geleceği tahmin edilmektedir. İkinci hasar senaryosu sonunda ise benzer sonuçlara ulaşılmakta ve Pamukkale ve Karakova-Akhan fayları kaynaklı M6.5 ve M7 arasındaki olası bir depremde su şebekesinin çalışamaz duruma geleceği tahmin edilmektedir. Ayrıca yapılan performans analizi sonuçları göstermiştir ki; kalıcı yer deformasyonları, su şebekesinin çalışma performansını geçici yer deformasyonlarına göre daha çok düşürmektedir.

Tablo 5.4 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (Birinci hasar senaryosu için)

PAMUKKALE FAYI					
Mw	Hasar İlişkisi	KYD Kırık	KYD Sızıntı	GYD Kırık	GYD Sızıntı
6	HAZUS 99	15	4	-	-
	ALA (2001)	61	15	-	-
	Toprak (1998)	-	-	9	34
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	13	50
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	14	54
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV(1999,2000)	-	-	23	90
	ALA (2001)	-	-	10	42
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	14	58
6,3	HAZUS 99	73	18	-	-
	ALA (2001)	238	59	-	-
	Toprak (1998)	-	-	13	51
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	17	66
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	19	77
	O'Rourke ve Jeon Çap ile ÖlçeklendirilmişPGV(1999,2000)	-	-	30	121
	ALA (2001)	-	-	15	61
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	18	73
6,5	HAZUS 99	262	65	-	-
	ALA (2001)	733	183	-	-
	Toprak (1998)	-	-	16	66
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	20	78
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	24	95
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV(1999,2000)	-	-	36	145
	ALA (2001)	-	-	18	71
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	21	85
7	HAZUS 99	1046	262	-	-
	ALA (2001)	2070	517	-	-
	Toprak (1998)	-	-	26	105
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	27	108
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	36	144
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	51	204
	ALA (2001)	-	-	24	95
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	28	110

Tablo 5.5 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (Birinci hasar senaryosu için)

KARAKOVA-AKHAN FAYI					
Mw	Hasar İlişkisi	KYD Kırık	KYD Sızıntı	GYD Kırık	GYD Sızıntı
6	HAZUS 99	114	29	-	-
	ALA (2001)	384	96	-	-
	Toprak (1998)	-	-	17	68
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	20	80
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	24	96
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	36	146
	ALA (2001)	-	-	18	72
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	22	86
	6,3	HAZUS 99	334	84	-
ALA (2001)		877	219	-	-
Toprak (1998)		-	-	23	90
O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort PGV (2000)		-	-	24	98
O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)		-	-	31	125
O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)		-	-	45	180
ALA (2001)		-	-	22	86
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)		-	-	25	102
6,5		HAZUS 99	626	157	-
	ALA (2001)	1373	343	-	-
	Toprak (1998)	-	-	26	106
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	27	108
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	36	143
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	51	206
	ALA (2001)	-	-	24	95
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	26	106
	7	HAZUS 99	1704	426	-
ALA (2001)		2802	701	-	-
Toprak (1998)		-	-	35	139
O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)		-	-	33	131
O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)		-	-	47	186
O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)		-	-	64	255
ALA (2001)		-	-	28	114
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)		-	-	33	130

Tablo 5.6 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (Birinci hasar senaryosu için)

		AMUKKALE FAYI	Kırık Sayıları KYD YÖNTEMLERİ		Ortalama Kırık Oranı (onarım/km)		Performans İndeksi (%)	
	Mw		ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	ALA	HAZUS
GYD YÖNTEMLERİ	6	Toprak (1998)	70	24	0,04	0,01	85	100
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	74	28	0,04	0,02	85	98
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	75	29	0,04	0,02	85	98
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	84	38	0,05	0,02	80	98
		ALA (2001)	71	25	0,04	0,01	85	100
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	75	29	0,04	0,02	85	98
	6,3	Toprak (1998)	251	86	0,14	0,05	34	80
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	255	90	0,15	0,05	34	80
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	257	92	0,15	0,05	34	80
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	268	103	0,15	0,06	34	75
		ALA (2001)	253	88	0,14	0,05	34	80
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	256	91	0,15	0,05	34	80
	6,5	Toprak (1998)	749	278	0,43	0,16	4	26
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	753	282	0,43	0,16	4	26
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	757	286	0,43	0,16	4	26
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	769	298	0,44	0,17	4	26
		ALA (2001)	751	280	0,43	0,16	4	26
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	754	283	0,43	0,16	4	26
	7	Toprak (1998)	1296	1072	0,74	0,61	2	3
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	1297	1073	0,74	0,61	2	3
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	1306	1082	0,75	0,62	2	3
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	1321	1097	0,76	0,63	2	3
		ALA (2001)	2094	1070	0,74	0,61	0	3
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	1298	1074	0,74	0,62	2	3

Tablo 5.7 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (Birinci hasar senaryosu için)

		AKHAN FAYI	Kırık Sayıları KYD YÖNTEMLERİ		Ortalama Kırık Oranı (onarım/km)		Performans İndeksi (%)		
GYD YÖNTEMLERİ	Mw		ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	
	6		Toprak (1998)	401	131	0,23	0,08	18	60
			O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	404	134	0,23	0,08	18	60
			O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	408	138	0,23	0,08	18	60
			O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	420	150	0,24	0,09	18	55
			ALA (2001)	402	132	0,23	0,08	18	60
			M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	406	136	0,23	0,08	18	60
	6,3		Toprak (1998)	900	357	0,52	0,20	4	20
			O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	901	358	0,52	0,21	4	20
			O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	908	365	0,52	0,21	4	20
			O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	922	379	0,53	0,22	4	20
			ALA (2001)	899	356	0,52	0,20	4	20
			M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	902	359	0,52	0,21	4	20
	6,5		Toprak (1998)	1399	652	0,80	0,37	1	5
			O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	1400	653	0,80	0,37	1	5
			O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	1409	562	0,81	0,32	1	5
			O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	1424	677	0,82	0,39	1	5
			ALA (2001)	1397	650	0,80	0,37	1	5
			M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	1399	652	0,80	0,37	1	5
	7		Toprak (1998)	2837	1739	1,63	1,00	0	0
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	2835	1737	1,62	1,00	0	0	
		O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	2849	1751	1,63	1,00	0	0	
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	2866	1768	1,64	1,00	0	0	
		ALA (2001)	2830	1732	1,62	1,00	0	0	
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	2835	1737	1,62	1,00	0	0	

Tablo 5.8 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (İkinci hasar senaryosu için)

PAMUKKALE FAYI					
Mw	Hasar ilişkisi	KYD Kırık	KYD Sızıntı	GYD Kırık	GYD Sızıntı
6	HAZUS 99	12	3	-	-
	ALA (2001)	39	10	-	-
	Toprak (1998)	-	-	9	34
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	13	50
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	14	54
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	23	90
	ALA (2001)	-	-	10	42
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	14	58
6.3	HAZUS 99	63	16	-	-
	ALA (2001)	182	46	-	-
	Toprak (1998)	-	-	13	51
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	17	66
	O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	-	-	19	77
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	30	121
	ALA (2001)	-	-	15	61
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	18	73	
6.5	HAZUS 99	235	59	-	-
	ALA (2001)	590	148	-	-
	Toprak (1998)	-	-	16	66
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	20	78
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	24	95
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	36	145
	ALA (2001)	-	-	18	71
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	21	85	
7	HAZUS 99	806	201	-	-
	ALA (2001)	1456	364	-	-
	Toprak (1998)	-	-	26	105
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	27	108
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	36	144
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	51	204
	ALA (2001)	-	-	24	95
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	28	110	

Tablo 5.9 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen kırık ve sızıntılar (İkinci hasar senaryosu için)

KARAKOVA-AKHAN FAYI					
Mw	Hasar İlişkisi	KYD Kırık	KYD Sızıntı	GYD Kırık	GYD Sızıntı
6	HAZUS 99	95	24	-	-
	ALA (2001)	271	68	-	-
	Toprak (1998)	-	-	17	68
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	20	80
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	24	96
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	36	146
	ALA (2001)	-	-	18	72
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	22	86
6.3	HAZUS 99	293	73	-	-
	ALA (2001)	673	168	-	-
	Toprak (1998)	-	-	23	90
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	24	98
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	31	125
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	45	180
	ALA (2001)	-	-	22	86
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	25	102	
6.5	HAZUS 99	552	138	-	-
	ALA (2001)	1091	273	-	-
	Toprak (1998)	-	-	26	106
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	27	108
	O'Rourke ve Jeon Mak.PGV(1999,2000)	-	-	36	143
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	51	206
	ALA (2001)	-	-	24	95
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	26	106	
7	HAZUS 99	1437	359	-	-
	ALA (2001)	2062	515	-	-
	Toprak (1998)	-	-	35	139
	O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	-	-	33	131
	O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	-	-	47	186
	O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	-	-	64	255
	ALA (2001)	-	-	28	114
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	-	-	33	130

Tablo 5.10 Denizli şehri su şebekesinde Pamukkale Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performansları (İkinci hasar senaryosu için)

		PAMUKKALE FAYI	Kırık Sayıları KYD YÖNTEMLERİ		Ortalama Kırık Oranı (onarım/km)		Performans İndeksi (%)	
			ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	ALA	HAZUS
GYD YÖNTEMLERİ	6	Mw						
		Toprak (1998)	48	21	0.03	0.01	93	100
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	52	25	0.03	0.01	93	100
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	53	26	0.03	0.01	93	100
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	62	35	0.04	0.02	85	98
		ALA (2001)	49	22	0.03	0.01	93	100
	M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	53	26	0.03	0.01	93	100	
	6.3	Toprak (1998)	195	76	0.11	0.04	46	85
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	199	80	0.11	0.05	46	80
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	201	82	0.12	0.05	45	80
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	212	93	0.12	0.05	45	80
		ALA (2001)	197	78	0.11	0.04	46	85
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	200	81	0.11	0.05	46	80
	6.5	Toprak (1998)	606	251	0.35	0.14	6	34
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	610	255	0.35	0.15	6	34
		O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	614	259	0.35	0.15	6	34
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	626	271	0.36	0.16	6	34
		ALA (2001)	608	253	0.35	0.14	6	34
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	611	256	0.35	0.15	6	34
	7	Toprak (1998)	1482	832	0.85	0.48	2	4
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	1483	833	0.85	0.48	2	4
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	1492	842	0.86	0.48	2	4
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	1507	857	0.86	0.49	2	4
		ALA (2001)	1480	830	0.85	0.48	2	4
M.O'Rourke ve Deyoe (2004)		1484	834	0.85	0.48	2	4	

Tablo 5.11 Denizli şehri su şebekesinde Karakova-Akhan Fayı kaynaklı senaryo depremleri için tahmin edilen performanslar (İkinci hasar senaryo için)

KARAKOVA-AKHAN FAYI		Kırık Sayıları KYD YÖNTEMLERİ		Ortalama Kırık Oranı (onarım/km)		Performans İndeksi (%)		
		ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	ALA	HAZUS	
GYD YÖNTEMLERİ	6	Toprak (1998)	288	112	0.17	0.06	26	75
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	291	115	0.17	0.07	26	65
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	295	119	0.17	0.07	26	65
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	307	131	0.18	0.08	26	60
		ALA (2001)	289	113	0.17	0.06	26	75
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	293	117	0.17	0.07	26	65
	6.3	Toprak (1998)	696	316	0.40	0.18	5	24
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	697	317	0.40	0.18	5	24
		O'Rourke ve Jeon Maks.PGV (1999,2000)	704	324	0.40	0.19	5	24
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	718	338	0.41	0.19	5	24
		ALA (2001)	695	315	0.40	0.18	5	24
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	698	318	0.40	0.18	5	24
	6.5	Toprak (1998)	1117	578	0.64	0.33	3	6
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	1118	579	0.64	0.33	3	6
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	1127	588	0.65	0.34	3	6
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	1142	603	0.65	0.35	3	6
		ALA (2001)	1115	576	0.64	0.33	3	6
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	1117	578	0.64	0.33	3	6
	7	Toprak (1998)	2097	1472	1.20	0.84	0	4
		O'Rourke ve Jeon Geometrik Ort. PGV (2000)	2095	1470	1.20	0.84	0	4
		O'Rourke ve Jeon Maks. PGV (1999,2000)	2109	1484	1.21	0.85	0	4
		O'Rourke ve Jeon Çap ile Ölçeklendirilmiş PGV (1999,2000)	2126	1501	1.22	1.00	0	0
		ALA (2001)	2090	1465	1.20	1.00	0	0
		M.O'Rourke ve Deyoe (2004)	2095	1470	1.20	0.84	0	4

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Giriş

Gömülü boru hat sistemlerinin deprem sonrasında fonksiyonlarını sürdürebilmeleri ya da kısa zamanda fonksiyonel hale dönmeleri önemlidir. Boru hatları için yapılacak deprem zarar tahminleri ile oluşacak zararın boyutunu ve etkisini tespit etmek mümkündür. Bu tez çalışmasında deprem parametreleri ile boru hattı hasarları arasındaki ilişkilerin gelişimi ve zarar tahmin metodlarının uygulanışı açıklanmıştır. Değişik zarar ilişkileri, Denizli su iletim ve dağıtım sistemi örneği üzerinde kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu hasarların su dağıtım sistemine nasıl bir zarar verdiği ve çalışma performansını nasıl etkilediğini belirlemek için HAZUS metodolojisinde belirtilen sistem performans ilişkileri kullanılmıştır. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda Denizli su iletim ve dağıtım şebekesinde, Pamukkale ve Karakova fayları kaynaklı büyüklüğü M_w6 , $M_w6.3$, $M_w6.5$ ve M_w7 büyüklükleri arasında değişen senaryo depremleri sonrası meydana gelebilecek hasarlar belirlenmiş ve şebekenin deprem sonrası performansı tahmin edilmiştir.

6.2 Boru Hasar İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması kapsamında; Denizli su iletim ve dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek hasarlar geçici yer deformasyonları ve kalıcı yer deformasyonları etkisi ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir. Geçici yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmininde geçmiş depremlerdeki sonuçları değerlendirerek geliştirilen çeşitli hasar ilişkileri kullanılmıştır. Günümüze kadar geliştirilen hasar

ilişkileri genellikle kırılğan borulardan elde edilen verilerden elde edilmiştir ve tabiatıyla kırılğan borular için kullanılması uygundur. Bununla birlikte teorik ve gözleme dayalı veriler göstermiştir ki düktül borular deprem hareketi sırasında daha az hasar almaktadırlar. Bu nedenle düktül boru hasar oranını tayin etmek için kırılğan boru hasar ilişkileri birden küçük bir katsayıyla çarpılmıştır. Örneğin HAZUS, hasar ilişkilerinde düktül boru hasar oranlarını bulmak için kırılğan boru için hesaplanan hasar oranının 0,3 ile çarpılmasını önermektedir. Yinede sınırlı veriyi kullanarak düktül borular içinde önerilen ilişkiler mevcuttur. Bu kabulden yola çıkarak bu tez çalışmasında; HAZUS (1999), Toprak (1998), O'Rourke ve Jeon (2000), Pineda ve Ordaz (2003) ve M.O' Rourke ve Deyoe (2004) hasar ilişkilerinde düktül boru hasar oranlarını bulmak için kırılğan boru için hesaplanan hasar oranı %30 ile çarpılmıştır.

Bölüm 4 de GYD etkisiyle oluşması beklenen hasar sonuçları düktül ve kırılğan borular için hasar ilişkilerindeki farklılığı yansıtmaktadır. O'Rourke ve Deyoe (2004) çalışması HAZUS ilişkisini yeniden değerlendirdikten sonra kırılğan boru hasar ilişkileri içindeki farklılıklar önemli ölçüde azalmıştır. Su dağıtım sistemlerindeki; boru türü, boru çapı, zemin şartları, zemin korozyonu ve sismik belirsizlikler gibi değişkenler göz önünde tutulursa, Toprak (1998), O'Rourke ve Jeon (2000), ALA (2001) ve O'Rourke ve Deyoe (2004) (S dalgası için geliştirilen metot) hasar ilişkilerinin arasında makul bir değişim görülmektedir. Örneğin 20 cm/sn lik PGV için hasar oranları 0,029-0,055 onarım/km arasında değişmekte iken, 75cm/sn lik PGV için hasar oranları 0,18-0,25 onarım/km arasında değişmektedir. Bahsi geçen bu hasar ilişkileri yaklaşık 45 cm/sn lik PGV için 0,1 onarım/km değerine yakınsamaktadırlar.

Sonuçlar göstermiştir ki, kırılğan boru hasarları içindeki varyasyon düktül borularınınkinden daha azdır. Eğer; özellikle son depremlerden elde edilen verilerin eklenmesiyle, düktül borular için çeşitli model yaklaşımları içindeki farklılıklar uzlaştırılabilirse, boru hasar ilişkilerindeki toplam farkları önemli ölçüde azaltmak mümkün olacaktır. Son dönemde boru hattı hasar ilişkilerinin iyileştirilmesi üzerine önemli bir ilerleme sağlanmıştır. Varolan gelişmeler ile çeşitli hasar ilişkileri arasındaki farklar önemli ölçüde azaltılmıştır. Fakat bu çalışma farkları bağdaştırmak için daha fazla gereksinim olduğunu göstermektedir. Örneğin; farklı yerler ve depremler için örnek durumunda olan hasar korelasyonlarını geliştirmek için boru çapı ve bileşimi, onarım yerleri, zemin koşulları ve güçlü hareketler için güvenilir bilgiler sağlanabilir

durumda olmalıdır. Bu nedenle güçlü yer hareketleri ve boru hatlarına ilişkin veri tabanlarının gelişimi için çabaları artırmak veya hızlandırmak önem taşımaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri bu amaçlar için girdi yada çözümlene (analiz) aşamalarında önemli ve yararlı yöntemlerdir. Aynı zamanda deprem sonrasında olanaklı en iyi verinin elde edilmesi de önemlidir. Boru hattı hasarının, deprem hasar çalışmaları sırasında özel ayrıntılar ile derlendiğinden emin olunmalıdır.

Pamukkale Fayı ve Karakova-Akhan Fayı kaynaklı farklı büyüklükteki (M_6 , $M_{6.3}$, $M_{6.5}$, M_7) senaryo depremleri için elde edilen hasar sonuçlarına bakıldığında; HAZUS ve Pineda ve Ordaz (2003) ilişkileri kullanılarak yapılan hasar tahminleri, ele alınan her iki fay için en yüksek onarım sayısını vermiştir. Bununla birlikte, bu iki ilişkinin sonuçları Denizli su dağıtım sistemi için kabul edilebilir olmamalıdır. Çünkü HAZUS ilişkisi üretilirken kullanılan verilerin bir kısmı Meksika'da belirli bölgelerden elde edilmiştir. Buralarda boru hatlarına zarar veren depremlerin süresi çok uzun ve deprem dalga hızları düşüktü (Toprak 2004). Pineda ve Ordaz ilişkisi ise tümüyle yüzey dalgasının, meydana gelen hasarı önemli ölçüde etkilediği belirlenen Meksika şehri hasar verilerinden elde edilmiştir. Denizli'de ise meydana gelebilecek hasarın, daha çok cisim dalgalarından olan S (Secondary) dalgası etkisinde olacağı düşünülmektedir.

6.3 Denizli Su Şebekesinde GYD ve KYD Etkisiyle Oluşan Hasarlar

Denizli su şebekesinde, Pamukkale ve Karakova fayları kaynaklı M_w6 , $M_w6.3$, $M_w6.5$ ve M_w7 senaryo depremleri için her GYD hasar ilişkisini kullanılarak tahmin edilen hasar miktarları değişim göstermektedir. Tahmin edilen hasar sayıları deprem büyüklüğüne bağlı olarak 1,5-2 kat artmaktadır. Bu sonuçta göstermiştir ki; belirli bir bölge için sismik şiddetin tahmini, o bölgedeki hasar tahminlerinin daha gerçekçi yapılabilmesi için önemlidir. Bununla birlikte anlaşılmıştır ki; farklı zemin salınımı seviyeleri ya da farklı hasar ilişkilerinin sonucu olarak hasar tahminlerindeki değişim benzerdir.

Kalıcı yer deformasyonları etkisiyle meydana gelebilecek hasarların tahmin etmek için Denizli şehrinin sıvılaşma haritaları hazırlanmıştır. Sıvılaşma bölgeleri dikkate alınarak Denizli şehrinin olası deprem senaryoları ışığında sıvılaşma sonucu oluşan yanal yerdeğiştirme (deplasman) haritaları oluşturulmuş ve su şebekesinde meydana

gelebilecek hasarlar 2 farklı senaryo kullanılarak tahmin edilmiştir. Birinci senaryoda inceleme alanının tümü dikkate alınarak hasar analizi yapılmıştır. İkinci senaryoda ise; Gümüşler Belediyesi sınırları içinde kalan sondajlardan elde edilen veriler ışığında bu bölgedeki yer altı su seviyesinin yüksek olması ve sıvılaşma riskinin düşük olması sebebiyle bu bölgede yanal deplasmanların oluşmayacağı kabul edilerek bu bölge hasar analizine dahil edilmemiştir ve Gümüşler Belediyesi sınırları dışında kalan diğer bölgeler için hasar analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında M6-M7 arasında değişen senaryo depremleri için elde edilen deplasman haritalarından da anlaşılacağı üzere; Karakova-Akhan fayı kaynaklı deplasmanlar, Pamukkale fayı kaynaklı deplasmanlardan daha fazladır. İnceleme alanında Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6-M6.3 senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-15 cm arasında, M6.5-7 senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-141 cm arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6-M6.3 senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 3-43 cm arasında, M6.5-7 senaryo depremleri için tahmin edilen deplasmanlar 5-315 cm arasında değişmektedir.

Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde; her iki hasar senaryosu içinde Karakova-Akhan fayı kaynaklı KYD hasarlarının Pamukkale fayı kaynaklı KYD hasarlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuca bakılarak Denizli şehrinde, inceleme alanına Pamukkale fayından daha yakın bir kaynağın yaratabileceği hasarın çok daha büyük olacağı öngörülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında birinci hasar senaryosu sonunda elde edilen KYD hasar sonuçlarında da anlaşılacağı üzere; inceleme alanında Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek; M6-M6.3 senaryo depremleri için tahmin edilen hasarlar HAZUS hasar ilişkisine göre 19-91 arasında, ALA hasar ilişkisine göre 76-297 arasında, M6.5-M7 senaryo depremleri için; HAZUS hasar ilişkisine göre 327-1308 arasında, ALA hasar ilişkisine göre ise 916-2587 arasında değişmektedir. Bu değerler Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek; M6-M6.3 senaryo depremleri için HAZUS hasar ilişkisine göre 143-418 arasında, ALA hasar ilişkisine göre 480-1096 arasında iken, M6.5-M7 senaryo depremleri için HAZUS hasar ilişkisine göre 783-2130 arasında, ALA hasar ilişkisine göre ise 1716-3503 arasında değişmektedir. İnceleme alanında Pamukkale Fayı ve Karakova -Akhan Fayı etkisiyle ALA (2001) ilişkisi kullanılarak tahmin edilen kalıcı yer deformasyonları

hasarları, HAZUS 99 ilişkisi kullanılarak tahmin edilenden daha fazladır. Tüm bu veriler ışığında; M6 ile M7 arasında olası bir deprem sonrası Denizli su iletim ve dağıtım şebekesinde kalıcı ve geçici yer deformasyonları etkisiyle önemli hasarların oluşacağı tahmin edilmiştir.

6.4 Denizli Su Şebekesinin Deprem Sonrası Performansının Değerlendirilmesi

Denizli su şebekesinin GYD ve KYD etkisiyle meydana gelebilecek hasarlardan nasıl etkilendiğinin belirlenmesi, şebekenin deprem sonrası performansının anlaşılması açısından çok önemlidir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında; HAZUS 99'da verilen performans indeksi metodu kullanılarak, Denizli su şebekesinde M6, M6,3, M6,5, M7 senaryo depremleri sonrası meydana gelebilecek kırık ve sızıntılar elde edilerek şebekenin çalışma performans indeksi elde edilmiştir. Yapılan bu performans analizi sonucunda, inceleme alanında birinci hasar senaryosu sonunda; Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %85-100 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %34-80 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %4-26 arasında ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0-3 arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %18-60 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %4-20 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %1-5 arasında değişmekte ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0 olmaktadır.

İkinci hasar senaryosu sonunda; Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %85-100 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %45-85 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %6-34 arasında ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %2-4 arasında değişmektedir. Karakova-Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6 senaryo depremi için tahmin edilen performans %26-75 arasında, M6.3 senaryo depremi için tahmin edilen performans %5-24 arasında, M6.5 senaryo depremi için tahmin edilen performans %3-6 arasında değişmekte ve M7 senaryo depremi için tahmin edilen performans %0-4 olmaktadır.

Bu sonuçlar değerlendirilerek; birinci hasar senaryosu sonunda Pamukkale ve Karakova-Akhan fayları kaynaklı M6.5 ve M7 arasındaki olası bir depremde su şebekesinin çalışamaz duruma geleceği tahmin edilmektedir. İkinci hasar senaryosu sonunda ise benzer sonuçlara ulaşılmakta ve Pamukkale ve Karakova-Akhan fayları kaynaklı M6.5 ve M7 arasındaki olası bir depremde su şebekesinin çalışamaz duruma geleceği tahmin edilmektedir.

Elde edilen şebeke performans indeksleri incelendiğinde, Karakova-Akhan fayı kaynaklı olası bir depremin, Pamukkale fayı kaynaklı olası bir depremden çok daha fazla şebeke performansına zarar verebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca performans indeksleri incelendiğinde görülmüştür ki; HAZUS ilişkisi ALA ilişkisine göre daha bir iyimser tavır sergilemektedir. Bununla birlikte performans analizi sonuçları göstermiştir ki; kalıcı yer deformasyonları, su şebekesinin çalışma performansını geçici yer deformasyonlarına göre daha çok düşürmektedir. Bu sonuç daha önce O'Rourke (1999) tarafından da gözlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen deplasman haritaları ile performans indeksi sonuçları incelendiğinde, özellikle kalıcı yer deformasyonlarının gerçekleştiği bölgelerde çok büyük hasarların olduğu görülmüştür. Karakova-Akhan fayı kaynaklı depremlerde ise özellikle KYD bölgelerinin genişlemesine bağlı olarak Denizli'nin diğer yörelerinde önemli sızıntı ve kırıkların meydana geleceği tahmin edilmiştir.

6.5 İyileştirme, Öneriler ve Önlemler

Denizli su şebekesi örnek alınarak yapılan bu tez çalışması göstermiştir ki, olası farklı büyüklükteki depremler su dağıtım şebekelerindeki boru hatlarına önemli ölçüde zarar vermektedir. Olası bir deprem sonrası bu zararı en aza indirmek ve su şebekesinin çalışır durumda kalmasını sağlamak ve böylece deprem sonrası meydana gelebilecek yangınlara müdahale ve insanların ihtiyaçları için oluşacak su gereksinimini yeterince karşılayabilmek önemlidir. Bunun için de su şebekelerinde gerekli düzenlemeler ve çeşitli iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Belediyelerin kendi su şebekelerinin deprem sonrası performanslarını değerlendirmeleri, gerekli önlem ve iyileştirme çalışmaları yapmaları depreme hazırlık açısından önemlidir.

Son yıllarda su şebekelerindeki boru hatlarının sismik performansını yükseltici ve boru hatlarını iyileştirici çeşitli metotlar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda mevcut boru hatlarının iyileştirme çalışmaları, gerek kazı yapılarak gerekse son yıllarda geniş kullanım alanı bulan kazısız teknolojilerle yapılmaktadır. Kazısız iyileştirme çalışmaları son yıllarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Çünkü bu çalışmaların o bölgede yaşayan insanlara, çevreye, trafiğe ve iş hayatına olumsuz etkileri çok azdır.

Su şebekesinde gerekli görülen durumlarda boru hatlarının yerlerinin kalıcı olarak değiştirilmesi; sismik direnci arttırmakta, kapasiteyi geliştirmekte yada arttırmaktadır. Ayrıca su kalitesinin iyileştirilmesi ve su kaçaklarının önlenmesinde de önemli bir yere sahiptir. Gerek kazısız teknolojilerle gerekse geleneksel yöntemlerle yapılacak iyileştirme çalışmalarında; özellikle KYD zonlarında bulunan font ve AÇB boru hatları daha esnek borularla değiştirilmelidir. Özellikle KYD zonlarında bulunan çoğunluğunu kırılğan boruların oluşturduğu mevcut boru hatlarının güzergahı mümkünse değiştirilmeli, eğer bu mümkün değilse kırılğan borular düktil borularla değiştirilmelidir. Ayrıca iletim ve bağlantı hatlarında kırılğan boru kullanmaktan (AÇB ve font) kesinlikle kaçınılmalı, düktil borular özellikle yüksek basınç bölgelerinde çelik borular tercih edilmelidir. Boru hatlarındaki kalıcı yenilemelerin, tamirlerin yapılabilir olmadığı ve sismik aktivitenin borular üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması gerektiği durumlarda yapılması su şebekesinin performansı açısından çok gereklidir.

Boru hatlarının belirli bir plan dahilinde düzenli olarak bakımının yapılması ve su şebekelerinin yenilenmesi depreme hazırlık açısından önemlidir. Ayrıca olası bir deprem sonrası gerekli olabilecek şebeke tamirleri için depolarda yedek borular, ekleri ve gerekli olabilecek diğer malzemelerle birlikte bulundurulmalıdır. Geçmiş depremlerdeki gözlemler bu hususun çok önemli olduğunu göstermiştir.

Su şebekelerindeki boru hatlarının sismik performansını yükseltmek ve boru hatlarını iyileştirmek amacıyla çeşitli iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Örnek olarak çimento sıva kaplaması yöntemi verilebilir. Bu yöntemde boru hattının incelenmesinden ve temizlenmesinden sonra iç yüzeyin üstüne, borunun içine sokulan yüksek basınçlı lastik hortum aracılığıyla çimento sıvası püskürtülür. Bu yöntem büyük çaplı borular için de kullanılabilir. Çimento sıva kaplaması yöntemi genel olarak sismik

iyileştirme olarak tanımlanamaz ancak şebekedeki eski vanalar, ek parçalar ve servis bağlantıları da bu iyileştirme ile yenilenir ve buda deprem hareketlerine karşı dayanıklılığı artırır. 1994 Northridge depreminden sonra bu yöntemin uygulandığı font ve düktil demir borularda daha az sızıntı gözlenmiştir.

Alt yapı sistemlerinin deprem sonrasında performanslarının değerlendirilmesi, benzeri sistemlerin deprem esnasında davranışlarının anlaşılması açısından çok önemlidir. Bu değerlendirmeler sonucunda öğrenilenler ve tecrübeler gelecekte olması muhtemel depremlerde alt yapı sistemlerinde oluşabilecek hasarların tahmininin daha doğru bir şekilde yapılmasına imkan verecektir. Bu tür tahminler zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için hazırlıkların yapılmasında önemlidir. Bu tür değerlendirmelerin yapılmadığı her deprem, mühendislik açısından kaçırılmış bir fırsattır.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N. A. ve Silva, W. J. (1997) Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquake. *Seismological Research Letters* 68(1): 94–127.
- Altunel, E. (2000) Historical earthquake activity in and around Hierapolis. *Ricerche Archeologiche Turche Nella Valle Del Lykos, Lykos Vadisi Türk Arkeoloji Araştırmaları*. Congedo Editore (in Italian and Turkish), D’Andria F., Silvestrelli F. Editors, s. 299-325.
- American Lifelines Alliance (ALA) (2001) Seismic fragility formulations for water systems, Part 1- Guideline, <http://www.americanlifelinesalliance.org>.
- Ayala A. G. ve O’Rourke M. J. (1989) Effect of the 1985 Michoacan Earthquake on water system and other buried lifelines in Mexico, *Technical Report NCEER, 89-009*, Buffalo, NY.
- Aydan, Ö., Kumsar, H., Ulusay, R. (2001a) How to infer the possible mechanism and characteristics of earthquakes from the striations and ground surface traces of existing faults. *Seismic Fault Induced Failures*, s. 153-162.
- Aydan, Ö., Kumsar, H., Ulusay, R., Tano, H. (2001b) Denizli ve yakın çevresindeki jeotermal kaynakların ve Denizli fayı zonundaki sıcaklık değişimlerinin yerkabuğundaki değişimlerle ilgili olabilir mi?, *JEOTEKNİKIII, 3. İzmir ve Çevresinin Deprem ve Jeoteknik Sempozyumu*, İzmir.
- Aydan, Ö. (2003) Actual observation on the interaction between fault ruptures and structures, Proceedings of the eight U.S-Japan workshop on earthquake resistant design of lifeline facilities and countermeasures against liquefaction, *Technical Report MCEER*, s. 230-233.
- Bartlett, S. F. ve Youd, T. L. (1992) Empirical analysis of horizontal ground displacement generated by liquefaction-induced lateral spread. *Technical Report. No. NCEER-92-0021*, Buffalo, N.Y.
- Bartlett, S. F. ve Youd, T. L. (1995) Empirical prediction of liquefaction-induced lateral spread. *Geotechnical Engineering*, 121(4): 316–329.

- Boore, D. M., Joyner, W. B. ve Fumal, T. E. (1997) Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration for western north American earthquakes: A summary of recent work. *Seismological Research Letters*, 68(1): 128–153.
- Campbell, K. W. (1997) Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. *Seismological Research Letters*, 68 (1): 154-179.
- Campbell, K. W. ve Bozorgnia, Y. (2003) Updated near source ground-motion (Attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1): 314-331.
- Committee on gas and liquid fuel lifelines (1984) Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems, *ASCE*, New York, NY.
- Çakır, Z. (1999) Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: Examples from western Turkey, *J. of Earth Sciences*, TÜBİTAK, s. 67-80.
- Çelik, S. B. (2003) Denizli il merkezi zeminlerinin jeolojik, jeoteknik açıdan incelenmesi ve sivilaşma duyarlılığının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 112s.
- Çetin, K. O., Youd, T. L., Seed, R. B., Bray, J. D., Stewart, J. P., Durgunoğlu, H. T., Lettis, W., Yılmaz, M. T. (2004), Liquefaction-Induced lateral spreading at İzmit Bay during the Kocaeli (İzmit)-Turkey Earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 24(3): 189-197.
- Chung, R. (1996) The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake , NIST Special Publication 901, *United States Department of Commerce Technology Administration (National Institute of Standards and Technology)*, Gaithersburg.
- Demirtaş, R., Erkmn, C., Yaman, M., Eravcı, B., Aktan, T., Tepeuğur, E., Özdemir, U. (2003) Pamukkale Fayı paleosismolojik çalışmaları Kocadere Hendek çalışması ön sonuçları. *Aktif Tektonik Araştırmaları Grubu*, <http://www.atag.itu.edu.tr> (10.06.2005)
- Editorial committee for the report on the Hanshin-Awaji Earthquake disaster (1997) *Report on the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, Vol. 9.*

- Eguchi R. T, Taylor C. Hasselman T. K. (1983) Seismic component vulnerability models for lifeline risk analysis, J.H. Wiggins Company, *Technical Report No. 82-1396-2c*, Redondo Beach, CA
- Eidinger, J. (1998) Lifelines, water distribution system, in the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989, performance of the built environment-Lifelines, *US Geological Survey Professional Paper 1552-A*, A. Schiff Ed., s. 63-80.
- Eidinger, J. M., O'Rourke, M., Bachhuber, J. (2002) Performance of a pipeline at a fault crossing, Proceedings, *Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston, MA, U.S.A.
- Eşder, T. (1994) 1. Kızıldere jeotermal sahasından Denizli il merkezinin ısıtılabilirliği ve sorunları, *Denizli Belediyesi ve PAÜ*, Denizli, s. 19-34.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1999) Earthquake loss estimation methodology, HAZUS 99: technical manual. Prepared by the *National Institute of Building Sciences*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997) Earthquake loss estimation methodology, HAZUS 97: technical manual. Prepared by the *National Institute of Building Sciences*
- Hamada, M., Yasuda, S., Isoyama, R., and Emoto, K. (1986), Study on liquefaction-induced permanent ground displacements, **Association for the Development of Earthquake Prediction**, Japan.
- Idriss, I. M. (1985) Evaluating seismic risk in engineering practice, *Proc., 11th Int. Conference on Soil Mechanics and Found Engrg.*, s. 225-320.
- Isenberg, J. (1978) Seismic performance of underground water pipelines in the Southeast San Fernando Valley in the San Fernando Earthquake, *Grant Report No. 8*, Weidlinger Associates, New York.
- Isenberg, J. (1979) Role of corrosion in water pipeline performance in three U.S. earthquakes, Proceedings, *2nd US National Conference on Earthquake Engineering*, Stanford, California.
- Isenberg, J. ve Taylor, C. E. (1984) Performance of water and sewer lifelines in the May 2, 1983, Coalinga California Earthquake, *Lifeline Earthquake Engineering, Design and Construction*, **ASCE**, New York.

- Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K.-i. ve Yasuda, S. (1978) A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan, *Proc. 2nd Int. Conf. on Microzonation*, San Francisco, s. 885-896.
- Kazdağlı, H. vd (2002) Pamukkale koruma geliştirme projesi danışmanlık – denetim hizmetleri, *PAÜ 1. Ara Raporu*, Denizli, s. 2-3.
- Kıncal, C. (1999) Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin Jeoloji'deki Bir Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 123 s.
- Kumsar, H., Çelik, S., B. ve Kaya, M. (2004) Denizli il merkezi yerleşim alanlarının jeolojik, jeoteknik Kent Bilgi Sistemi (JEO-KBS), *Bilgi Teknolojileri Kongresi*, Denizli, s. 25-31.
- Matsushita, M. (1995) Damage to Kobe water system by the Hanshin Awaji Great Earthquake and restoration plan, *Technical Memorandum of PWRI, No. 3415*, s. 109-127.
- Obermeier, S. F. (1996) Use of Liquefaction-induced features for paleoseismic analysis - An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes, *Engineering Geology*, Elsevier, 44: 1-76.
- Oka, S. (1996) Damage of gas facilities by Great Hanshin Earthquake and restoration proceedings, 6th Japon-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline and Countermeasures Againsts Soil Liquefaction, *MCEER 96-0012*, Buffalo, NY., s. 111-124.
- O'Rourke, M. (1999) Esmitaion of post-earthquake water system serviceability, Proceedings of the seventh U.S-Japan workshop on earthquake resistant design of lifeline facilities and countermeasures against soil liquefaction, *Technical Report MCEER*, s. 391-403.
- O'Rourke, M. ve Ayala, G. (1993) Pipeline damage due to wave propagation. *J. Geotechnical Engineering*, 119:1490-8.
- O'Rourke, M. ve Deyoe, E. (2004) Seismic damage to segmented buried pipe. *Earthquake Spectra*, 20: 1167-83.
- O'Rourke, T. D. (1998). An Overview of geotechnical and lifeline earthquake Engineering, In *Geotechnical Special Publication*, ASCE (Pakoulis, P., Yegian, M., Holtz, D.(eds.)), No. 75, Reston, VA, II, s. 1392-1426.

- O'Rourke, T. D ve Jeon, S. S. (1999) Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems, Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, proceedings, *Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, W. M. Elliott and P. McDonough, Eds., Seattle, WA, ASCE s-379-88.
- O'Rourke, T. D ve Jeon, S. S. (2000) Seismic zonation for lifelines and utilities, Invited Keynote Paper on Lifelines, *Proceedings Sixth International Conference on Seismic Zonation*, Palm Springs, CA, EERI CD ROM.
- O'Rourke, T. D. ve Toprak, S. (1997) GIS assessment of water supply damage from the Northridge earthquake, Frost, JD, Editor, *Geotechnical Special Publication*, ASCE New York, NY, s. 117-31.
- O'Rourke, T. D., Toprak, S. ve Sano, Y. (1998) Factors affecting water supply damage caused by the Northridge Earthquake, *Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, WA, s. 1-12.
- Özpinar, Y. ve Gökğöz, A. (1999) Denizli ve yakın dolayının doğal afetler açısından incelenmesi, *Denizli'de Sanayileşme ve Kentleşme Sempozyumu*, TMMOB Makina Müh. Odası Denizli Şubesi, s. 251-266.
- PAÜ, (2001) Bağbaşı Belediyesi yerleşim alanlarının jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik özellikleri raporu, *PAÜ*, Denizli, 57s.
- PAÜ, (2002) Denizli Belediyesi (Denizli) yerleşim alanlarının jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin incelenmesi raporu, *PAÜ*, Denizli, 763s.
- PAÜ, (2003) Gümüşler Belediyesi (Denizli) yerleşim alanlarının jeolojik ve jeoteknik, incelemesi raporu, *PAÜ*, Denizli, 247s.
- Pineda, O. (2002) Estimacion de dano sismico en la red primaria de distribucion de agua potable del Distrito Federal, postgraduate thesis, *Division de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingenieria*, UNAM. Mexico.
- Pineda, O., Ordaz, M. (2003) Seismic vulnerability function for high-diameter buried pipelines: Mexico City's primary water system case, *ASCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction*, s.1145-54.
- Sato, R. ve Myurata, M. (1990) GIS-based interactive and graphic computer system to evaluate seismic risks on water delivery networks, Dept. of Civil Engineering and Operations Research, Princeton University.

- Seed, H. B. ve Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *J. Soil Mech. Found. Div.*, 97(9): 1249–1273.
- Shamoto, Y., Zhang, J., and Tokimatsu, K. (1998) New charts for predicting large residual post-liquefaction ground deformations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17: 427-438
- Skempton, A. K. (1986) Standart penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging, and overconsolidation, *Geotechnique*, 36(3): 425-447.
- Sucuoğlu, H., Gülkan, P., Yılmaz, Ç., Bakır, S., Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Gür, T., Akkor, S., Erberik, A., Yılmaz, T. (2000) Marmara ve Düzce Depremleri Mühendislik Raporu, *TMMM İnşaat Mühendisleri Odası*, ODTÜ, s. 53-78.
- Taner, G. (2001) Denizli bölgesi Neojen'ine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme, *54. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri*, No:54-79, Ankara.
- Tecim, V. (2001) Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar, Uygulama Alanları, *İlkem Ofset*, İzmir.
- Topal, S. (2003) Denizli Neojen istifinin stratigrafisi ve tektotik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 50s
- Toprak S. (1998) Earthquake effects on buried lifeline systems, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Toprak, S. (2004) Gömülü boru sistemlerinde deprem zararlarının tahmini, *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, s. 823-832
- Toprak, S. ve Holzer, T. L. (2003) Liquefaction potential index: Field assessment, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, 315: 322-2003.
- Toprak, S., Koç, A. C., ve Taşkın, F. (2004) Seismic vulnerability assessment of Denizli City, Turkey water supply system, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B. C., Canada, Paper No. 812.
- Toprak, S., O'Rourke, T. D., ve Tutuncu, I. (1999) GIS characterization of spatially distributed lifeline damage optimizing post-earthquake lifeline system reliability, *Proceedings, Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, Seattle, WA, ASCE, s. 110-119.

- Toprak, S., Taşkın, F., Koç, A. C., Vardar, Ş. (2005) Alt yapı sistemlerinin deprem performansının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile değerlendirilmesi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli s. 190
- Toprak, S. ve Taşkın, F. (2006) Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking, *Natural Hazards*, Springer, Netherlands (Yayın için kabul edildi).
- Toprak, S. ve Yoshizaki, K. (2003) Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi, *5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, No: 025. CDROM.
- Ulusay, R. (2000) Zemin sıvılaşması, Mavi Gezegen Popüler Bilim Dergisi, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*, s. 34-45.
- Usul, N. ve Dabanlı, A. (1999) Kent alt yapı bilgi sistemleri: ODTÜ ve Ankara örnekleri, *Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu*, KTU, Trabzon
- Wang, L. (1990) A new look in to the performance of water pipeline systems from 1987 Whittier Narrows, *California Earthquake, Departmanet of Civil Engineering*, Old Dominion University.
- Westaway, R. (1993) Neogene evolution of the Denizli Region of western Turkey, *Structural Geology*, 15: 37-53.
- WEB_1. (2006) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi (KOERI).**
<http://www.koeri.boun.edu.tr> (05.10.2005).
- WEB_2. (2006) Maden Tetkik Arama (MTA). <http://www.mta.gov.tr> (2004).
- WEB_3. (2006) İstanbul Büyükşehir Belediyesi web sayfası. <http://www.ibb.gov.tr>
- WEB_4. (2005) Eskişehir Büyükşehir Belediyesi web sayfası. <http://www.eskişehir-bld.gov.tr>
- WEB_5. (2005) İstanbul Bakırköy Belediyesi web sayfası. <http://www.bakırköy.bel.tr>
- Yomralıoğlu, T. (2000) Coğrafi Bilgi Sistemleri, *Akademi Kitabevi*, Trabzon, 479 s.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Liam Finn, W. D., Harder Jr., L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe II, K. H. (2001) Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127: 817-832.

Youd, T. L., Hansen, C. M. and Bartlett, S. F. (2002) Revised Multilinear Regression equations for prediction of lateral spread displacement, ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128: 1007-1017.

EKLER**EK 1:SIVILAŞMA ANALİZİ SONUÇ TABLOLARI****EK 2 : SIVILAŞMA SONUCU OLUŞAN YANAL YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ
SONUÇ TABLOLARI**

EK 1:SIVILAŞMA ANALİZİ SONUÇ TABLOLARI

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT-(N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı (%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
								DENİZLİ BELEDİYESİ							
	SK 1	684815.88	4181751.00	3	8.4	60	12.7	0.68	0.26	0.52	0.30	0.32	0.33	0.32	0.37
	SK 2	684699.19	4181926.00	9	13.3	46	12.7	0.91	0.26	0.69	0.30	0.43	0.33	0.43	0.37
	SK 3	684386.94	4181893.75	18	26.6	37	12.9	1.70	0.25	1.25	0.30	0.80	0.33	0.80	0.36
	SK 5	684623.31	4182181.25	27	28.6	59	12.5	1.90	0.26	1.90	0.30	1.60	0.34	1.21	0.37
	SK 6	684815.5	4182277.00	29	38.6	29	12.3	1.90	0.26	1.90	0.31	1.90	0.34	1.90	0.37
	SK 7	684703.81	4182595.00	11	14.7	24	12.1	1.27	0.27	0.98	0.31	0.80	0.35	0.61	0.38
	SK 9	684480.5	4182693.00	30	40.9	27	12.3	1.90	0.26	1.90	0.31	1.90	0.34	1.90	0.37
	SK 11	684706.5	4183350.00	16	22.8	59	11.6	1.27	0.28	0.98	0.32	0.81	0.36	0.62	0.39
	SK 12	684276.31	4182854.00	6	12.1	27	12.3	0.97	0.26	0.72	0.31	0.61	0.34	0.46	0.37
	SK 13	685081.31	4183372.00	15	17.4	45	12.3	1.89	0.26	1.40	0.31	1.18	0.34	0.90	0.37
	SK 14	685216.88	4182761.00	10	6.2	1	11.7	0.58	0.28	0.45	0.32	0.37	0.36	0.28	0.39
	SK 19	685227.88	4181507.00	8	13.5	40	12.6	1.46	0.26	1.12	0.30	0.91	0.34	0.69	0.37
	SK 22	684553.44	4181262.00	25	32.1	55	13.3	1.90	0.25	1.90	0.29	1.90	0.32	1.90	0.35
	SK 23	683960.75	4182077.25	15	23.0	57	13.1	1.90	0.25	1.45	0.29	1.18	0.33	0.89	0.36
	SK 24	684471.69	4180890.25	50	60.4	53	13.6	1.90	0.24	1.90	0.28	1.90	0.31	1.90	0.35
	SK 26	685137.12	4183834.00	7	11.5	60	11.1	0.94	0.29	0.71	0.34	0.60	0.37	0.46	0.40
	SK 28	685492.62	4184226.00	20	24.0	60	10.5	1.90	0.30	1.90	0.35	1.90	0.39	1.90	0.41
	SK 29	684907.62	4185198.00	11	17.8	58	10.2	1.90	0.31	1.90	0.36	1.90	0.40	1.90	0.42
	SK 30	685147.81	4185752.00	12	17.5	57	9.67	1.90	0.32	1.90	0.37	1.90	0.41	1.90	0.43
	SK 31	683956.81	4184960.00	15	20.9	53	11.0	1.90	0.29	1.90	0.34	1.90	0.37	1.90	0.40
	SK 32	684093.00	4183883.00	16	15.3	17	11.7	1.23	0.28	0.95	0.32	0.78	0.36	0.59	0.39
	SK 33	684268.88	4185590.00	19	20.6	29	10.4	1.72	0.31	1.35	0.35	1.12	0.39	0.88	0.41
	SK 49	685812.38	4183312.00	11	17.8	65	10.9	1.90	0.29	1.90	0.34	1.90	0.38	1.90	0.40

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT-(N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 51	685974.62	4183736.00	17	19.8	66	10.53	1.90	0.30	0.32	0.33	1.76	0.39	1.90	0.35
	SK 53	685546.62	4182824.00	13	15.8	66	11.49	1.59	0.28	0.43	0.33	1.01	0.36	1.19	0.33
	SK 54	684499.12	4184385.00	27	29.5	31	11.08	1.90	0.29	0.80	0.33	1.90	0.37	1.90	0.34
	SK 55	684674.81	4184742.00	34	32.0	51	1.07	1.90	0.45	1.60	0.34	1.90	0.54	1.90	0.51
	SK 57	685260.19	4185144.00	11	16.4	53	10.03	1.64	0.32	1.90	0.34	1.07	0.40	1.25	0.37
	SK 58	685562.00	4184708.00	13	18.3	34	10.07	1.74	0.31	0.80	0.35	1.10	0.40	1.32	0.36
	SK 59	685233.19	4184522.00	5	10.2	67	10.45	0.95	0.30	1.90	0.34	0.60	0.39	0.72	0.35
	SK 61	684629.81	4185870.00	11	15.3	60	9.97	1.26	0.32	0.81	0.36	0.82	0.40	0.96	0.37
	SK 62	685000.12	4186069.00	8	13.5	55	9.58	1.69	0.33	0.61	0.34	1.15	0.41	1.30	0.38
	SK 63	684531.12	4186226.00	23	24.0	49	9.70	1.46	0.32	1.18	0.34	0.93	0.41	1.11	0.37
	SK 69	683586.31	4184996.00	9	13.8	48	11.25	1.90	0.29	0.37	0.36	1.67	0.37	1.90	0.33
	SK 70	684476.62	4185212.00	11	16.4	49	10.48	1.90	0.30	0.91	0.34	1.90	0.39	1.90	0.35
	SK 71	682465.81	4183656.25	9	12.3	39	12.96	1.32	0.25	1.90	0.32	0.82	0.33	0.97	0.30
	SK 73	683105.81	4184318.00	18	23.7	44	12.09	1.90	0.27	1.18	0.33	1.53	0.35	1.87	0.31
	SK 74	682905.69	4183641.00	18	18.4	48	12.76	1.84	0.26	1.90	0.31	1.18	0.33	1.41	0.30
	SK 75	682916.56	4183130.00	21	18.8	45	13.09	1.90	0.25	0.60	0.37	1.20	0.33	1.48	0.29
	SK 76	683220.62	4183538.00	16	14.2	42	12.60	1.31	0.26	1.90	0.39	0.82	0.34	1.00	0.30
	SK 77	682680.12	4182881.75	29	16.8	21	13.43	1.90	0.24	1.90	0.40	1.90	0.32	1.90	0.29
	SK 78	682252.75	4183034.25	25	32.4	48	13.60	1.90	0.24	1.90	0.41	1.90	0.32	1.90	0.28
	SK 80	683018.19	4182649.25	11	27.2	54	13.36	1.90	0.24	1.90	0.37	1.90	0.32	1.90	0.29
SK 81	682643,8	4183273	31	13.1	40	13.19	1.50	0.25	0.78	0.36	0.93	0.33	1.14	0.29	
SK 84	683968.81	4182660.00	9	30.2	55	12.70	1.90	0.26	1.12	0.39	1.90	0.34	1.90	0.30	
SK 85	684300.38	4182411.75	13	14.8	60	12.66	1.59	0.26	1.90	0.38	0.99	0.35	1.22	0.30	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT-(N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 87	683858	4183729	13	16.8	44	11.98	1.21	0.27	0.90	0.32	0.58	0.35	0.58	0.38
	SK 88	684262	4183432	6	11.8	49	11.92	0.88	0.27	0.66	0.32	0.42	0.35	0.42	0.38
	SK 89	684576.19	4183664	8	12.2	57	11.55	0.91	0.28	0.68	0.33	0.44	0.36	0.44	0.39
	SK 90	684308	4184015	3	7.6	51	11.55	1.34	0.28	1.01	0.33	0.65	0.36	0.65	0.39
	SK 91	683441.44	4184662.25	21	21.3	38	11.63	1.73	0.28	1.34	0.32	0.84	0.36	0.84	0.39
	SK 94	682814	4184631	36	35.8	60	12.07	1.90	0.27	1.90	0.31	1.90	0.35	1.90	0.38
	SK 102	683522.25	4181672	51	43.6	49	13.78	1.90	0.24	1.90	0.28	1.90	0.31	1.90	0.35
	SK 103	683854	4184482	10	15.4	40	11.44	1.46	0.28	1.10	0.33	0.71	0.36	0.71	0.39
	SK 105	683601	4184471	5	10.2	39	11.61	1.49	0.28	1.03	0.33	0.67	0.36	0.67	0.39
	SK 107	683762.5	4182827.5	11	18.1	45	12.78	1.38	0.26	1.06	0.30	0.67	0.33	0.67	0.36
GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	SK 1	680718.6	4185702.01	51	41.4	20	12.79	1.90	0.26	1.90	0.30	1.90	0.33	1.90	0.36
	SK 2	679673.97	4185338.51	51	58.9	20	13.72	1.90	0.25	1.90	0.28	1.90	0.31	1.90	0.35
	SK 3	680903.4	4186549.73	24	33.9	55	12.02	1.90	0.28	1.90	0.32	1.90	0.35	1.90	0.38
	SK 4	680485.81	4184981.34	17	19.0	33	13.50	1.42	0.25	1.08	0.29	0.68	0.32	0.68	0.35
	SK 5	681835.93	4187047.78	4	8.9	55	11.28	0.61	0.30	0.48	0.33	0.31	0.37	0.31	0.39
	SK 6	681504.33	4187886.17	11	16.0	55	10.73	0.98	0.31	0.77	0.35	0.50	0.38	0.50	0.41
	SK 7	681589.67	4186686.34	20	29.5	55	11.57	1.90	0.29	1.90	0.33	1.76	0.36	1.76	0.39
	SK 10	682478.5	4185440.63	16	21.5	21	11.72	1.90	0.29	1.59	0.32	0.99	0.36	0.99	0.39
	SK 11	681984.11	4185429.81	16	24.6	55	12.05	1.90	0.28	1.90	0.32	1.21	0.35	1.21	0.38
	SK 14	680054.91	4184483.29	12	19.5	55	14.16	1.50	0.24	1.19	0.27	0.71	0.31	0.71	0.34
SK 15	679716.01	4184996.99	19	27.8	35	14.05	1.90	0.24	1.90	0.28	1.41	0.31	1.41	0.34	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT-(N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
	SK 16	681404.41	4185434.97	14	15.9	20	12.47	1.16	0.27	0.89	0.31	0.75	0.34	0.57	0.37
	SK 17	681410.9	4184780.12	12	16.8	20	12.91	1.72	0.26	1.31	0.30	1.10	0.33	0.84	0.36
	SK 19	680963.04	4184703.31	5	11.1	55	13.23	1.14	0.26	0.90	0.29	0.75	0.32	0.55	0.36
	SK 20	680331.12	4186072.33	11	14.9	55	12.80	1.06	0.26	0.81	0.30	0.69	0.33	0.52	0.36
	SK 21	680126.28	4187297.32	8	13.4	25	12.09	1.27	0.28	1.01	0.31	0.83	0.35	0.63	0.38
	SK 22	680899.83	4185432.92	4	9.9	39	12.83	1.02	0.26	0.78	0.30	0.65	0.33	0.50	0.36
	SK 23	680544.1	4184037.28	21	28.7	27	14.12	1.90	0.24	1.90	0.27	1.90	0.31	1.80	0.34
	SK 24	681623.32	4186742.23	18	27.1	55	11.44	1.90	0.29	1.57	0.33	1.33	0.36	1.02	0.39
	SK 25	681037.23	4187228.98	7	13.6	60	11.39	1.24	0.29	0.97	0.33	0.82	0.37	0.62	0.39
	SK 26	682510.19	4186002.26	18	25.5	28	11.25	1.90	0.30	1.90	0.33	1.58	0.37	1.21	0.40

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sınırlama analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sınırlamaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT- (N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
	SK 1	684815.88	4181751.00	3	8.40	60.00	6.86	0.48	0.37	0.40	0.39	0.34	0.42	0.25	0.47
	SK 2	684699.19	4181926.00	9	13.30	46.00	6.74	0.62	0.38	0.53	0.39	0.46	0.42	0.34	0.47
	SK 3	684386.94	4181893.75	18	26.60	37.00	7.06	1.17	0.37	1.01	0.38	0.86	0.41	0.63	0.47
	SK 5	684623.31	4182181.25	27	28.60	59.00	6.66	1.75	0.38	1.51	0.39	1.29	0.42	0.95	0.47
	SK 6	684815.5	4182277.00	29	38.60	29.00	6.45	1.90	0.38	1.90	0.40	1.90	0.43	1.90	0.48
	SK 7	684703.81	4182595.00	11	14.70	24.00	6.26	0.88	0.39	0.76	0.40	0.65	0.43	0.48	0.48
	SK 9	684480.5	4182693.00	30	40.90	27.00	6.39	1.90	0.39	1.90	0.40	1.90	0.43	1.90	0.48
	SK 11	684706.5	4183350.00	16	22.80	59.00	5.76	0.89	0.40	0.77	0.41	0.66	0.44	0.49	0.49
	SK 12	684276.31	4182854.00	6	12.10	27.00	6.38	0.65	0.39	0.56	0.40	0.48	0.43	0.36	0.48
	SK 13	685081.31	4183372.00	15	17.40	45.00	5.43	1.20	0.41	1.04	0.42	0.89	0.45	0.68	0.49
	SK 14	685216.88	4182761.00	10	6.20	1.00	5.79	0.41	0.40	0.35	0.41	0.30	0.44	0.23	0.49
	SK 19	685227.88	4181507.00	8	13.50	48.00	6.74	1.00	0.38	0.86	0.39	0.74	0.42	0.55	0.47
	SK 22	684553.44	4181262.00	25	32.10	55.00	7.65	1.90	0.35	1.90	0.37	1.90	0.40	1.90	0.45
	SK 23	683960.75	4182077.25	15	23.00	57.00	7.35	1.33	0.36	1.11	0.38	0.95	0.41	0.70	0.46
	SK 24	684471.69	4180890.25	50	60.40	53.00	7.92	1.90	0.35	1.90	0.36	1.90	0.39	1.90	0.45
	SK 26	685137.12	4183834.00	7	11.50	60.00	5.06	0.65	0.42	0.56	0.43	0.48	0.46	0.37	0.50
	SK 28	685492.62	4184226.00	20	24.00	60.00	4.57	1.90	0.42	1.90	0.43	1.90	0.46	1.90	0.50
	SK 29	684907.62	4185198.00	11	17.80	58.00	4.30	1.90	0.43	1.90	0.44	1.90	0.47	1.90	0.50
	SK 30	685147.81	4185752.00	12	17.50	57.00	3.71	1.90	0.43	1.90	0.44	1.90	0.47	1.90	0.51
	SK 31	683956.81	4184960.00	15	20.90	53.00	5.02	1.90	0.42	1.90	0.43	1.40	0.46	1.90	0.50
	SK 32	684093.00	4183883.00	16	15.30	17.00	5.79	0.86	0.40	0.74	0.41	0.64	0.44	0.48	0.49
	SK 33	684268.88	4185590.00	19	20.60	29.00	4.48	1.24	0.43	1.07	0.44	0.95	0.46	0.72	0.50
	SK 49	685812.38	4183312.00	11	17.80	65.00	4.96	1.90	0.42	1.40	0.43	1.90	0.46	1.90	0.50

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT- (N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 51	685974.62	4183736.00	17	19.80	66.00	4.58	1.37	0.42	1.18	0.43	1.02	0.46	0.79	0.50
	SK 53	685546.62	4182824.00	13	15.80	66.00	5.51	1.09	0.41	0.94	0.42	0.81	0.45	0.66	0.49
	SK 54	684499.12	4184385.00	27	29.50	31.00	5.15	1.90	0.41	1.90	0.43	1.90	0.45	1.61	0.50
	SK 55	684674.81	4184742.00	34	32.00	51.00	4.76	1.90	0.42	1.90	0.43	1.90	0.46	1.90	0.50
	SK 57	685260.19	4185144.00	11	16.40	53.00	4.09	1.22	0.43	1.09	0.44	0.91	0.47	0.71	0.51
	SK 58	685562.00	4184708.00	13	18.30	34.00	4.14	1.26	0.43	1.08	0.44	0.94	0.47	0.71	0.51
	SK 59	685233.19	4184522.00	5	10.20	67.00	4.53	0.89	0.42	0.75	0.44	0.66	0.46	0.50	0.50
	SK 61	684629.81	4185870.00	11	15.30	60.00	3.99	0.93	0.43	0.81	0.44	0.70	0.47	0.54	0.51
	SK 62	685000.12	4186069.00	8	13.50	55.00	3.59	1.30	0.44	1.12	0.44	0.97	0.47	0.74	0.51
	SK 63	684531.12	4186226.00	23	24.00	49.00	3.73	1.09	0.43	0.94	0.44	0.81	0.47	0.62	0.51
	SK 69	683586.31	4184996.00	9	13.80	48.00	5.23	1.90	0.41	1.77	0.42	1.55	0.45	1.14	0.49
	SK 70	684476.62	4185212.00	11	16.40	49.00	4.55	1.90	0.42	1.90	0.44	1.90	0.46	1.90	0.50
	SK 71	682465.81	4183656.25	9	12.30	39.00	6.98	1.02	0.37	0.86	0.39	0.73	0.42	0.55	0.47
	SK 73	683105.81	4184318.00	18	23.70	44.00	6.14	1.78	0.39	1.49	0.41	1.32	0.44	0.97	0.48
	SK 74	682905.69	4183641.00	18	18.40	48.00	6.81	1.29	0.37	1.08	0.39	0.93	0.42	0.68	0.47
	SK 75	682916.56	4183130.00	21	18.80	45.00	7.17	1.26	0.36	1.06	0.38	0.90	0.41	0.71	0.46
	SK 76	683220.62	4183538.00	16	14.20	42.00	6.62	0.90	0.38	0.77	0.39	0.66	0.42	0.49	0.47
	SK 77	682680.12	4182881.75	29	16.80	21.00	7.50	1.90	0.36	1.90	0.37	1.90	0.40	1.90	0.46
	SK 78	682252.75	4183034.25	25	32.40	48.00	7.67	1.90	0.35	1.90	0.37	1.90	0.40	1.90	0.45
	SK 80	683018.19	4182649.25	11	27.20	54.00	7.41	1.90	0.36	1.90	0.38	1.90	0.41	1.90	0.46
SK 81	682643.8	4183273	31	13.10	40.00	7.21	0.97	0.37	0.83	0.38	0.72	0.41	0.53	0.46	
SK 84	683968.81	4182660.00	9	30.20	55.00	6.73	1.90	0.36	1.90	0.39	1.90	0.42	1.90	0.47	
SK 85	684300.38	4182411.75	13	14.80	60.00	6.70	1.09	0.35	0.94	0.39	0.80	0.42	0.59	0.47	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-:(N₁)_{60cs} Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT- (N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 87	683858	4183729	13	16.80	44.00	6.03	0.84	0.39	0.71	0.41	0.61	0.44	0.46	0.48
	SK 88	684262	4183432	6	11.80	49.00	5.97	0.60	0.40	0.51	0.41	0.44	0.44	0.33	0.48
	SK 89	684576.19	4183664	8	12.20	57.00	5.62	0.75	0.40	0.63	0.42	0.54	0.45	0.41	0.49
	SK 90	684308	4184015	3	7.60	51.00	5.69	0.94	0.40	0.81	0.42	0.70	0.44	0.52	0.49
	SK 91	683441.44	4184662.25	21	21.30	38.00	5.76	1.21	0.40	1.04	0.41	0.90	0.44	0.67	0.49
	SK 94	682814	4184631	36	35.80	60.00	6.31	1.90	0.39	1.90	0.40	1.90	0.43	1.90	0.48
	SK 102	683522.25	4181672	51	43.60	49.00	7.76	1.90	0.35	1.90	0.37	1.90	0.40	1.90	0.45
	SK 103	683854	4184482	10	15.40	40.00	5.52	1.00	0.41	0.86	0.42	0.74	0.45	0.56	0.49
	SK 105	683601	4184471	5	10.20	39.00	5.70	0.97	0.40	0.83	0.42	0.72	0.44	0.53	0.49
	SK 107	683762.5	4182827.5	11	18.10	45.00	6.81	0.97	0.37	0.81	0.39	0.70	0.42	0.51	0.47
GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	SK 1	680718.6	4185702.01	51	41.40	20.00	6.38	1.90	0.39	1.90	0.40	1.90	0.43	1.90	0.48
	SK 2	679673.97	4185338.51	51	58.90	20.00	8.04	1.90	0.34	1.90	0.36	1.90	0.39	1.90	0.45
	SK 3	680903.4	4186549.73	24	33.90	55.00	6.33	1.90	0.39	1.90	0.40	1.90	0.43	1.90	0.48
	SK 4	680485.81	4184981.34	17	19.00	33.00	7.52	0.06	0.36	0.53	0.37	0.46	0.40	0.33	0.46
	SK 5	681835.93	4187047.78	4	8.90	55.00	5.25	0.43	0.41	0.37	0.42	0.32	0.45	0.24	0.49
	SK 6	681504.33	4187886.17	11	16.00	55.00	5.07	0.72	0.42	0.62	0.43	0.54	0.46	0.41	0.50
	SK 7	681589.67	4186686.34	20	29.50	55.00	5.65	1.90	0.40	1.90	0.42	1.84	0.45	1.40	0.49
	SK 10	682478.5	4185440.63	16	21.50	21.00	5.87	1.44	0.40	1.24	0.41	1.06	0.44	0.79	0.49
	SK 11	681984.11	4185429.81	16	24.60	55.00	6.04	1.74	0.39	1.46	0.41	1.26	0.44	0.95	0.48
	SK 14	680054.91	4184483.29	12	19.50	55.00	8.15	1.06	0.34	0.88	0.36	0.75	0.39	0.55	0.44
SK 15	679716.01	4184996.99	19	27.80	35.00	8.17	1.90	0.34	1.75	0.36	1.49	0.39	1.09	0.44	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-:(N₁)_{60cs} Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	SPT-N	SPT- (N ₁) _{60cs}	İnce Tane Oranı(%)	R(km)	M6		M6.3		M6.5		M7	
								FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)	FS	PGA (cm/s ²)
								SK 16	681404.41	4185434.97	14	15.90	20.00	6.50	0.82
SK 17	681410.9	4184780.12	12	16.80	20.00	6.89	1.21	0.37	1.01	0.39	0.87	0.42	0.64	0.47	
SK 19	680963.04	4184703.31	5	11.10	55.00	7.45	0.82	0.36	0.69	0.38	0.59	0.41	0.43	0.46	
SK 20	680331.12	4186072.33	11	14.90	55.00	7.06	0.75	0.37	0.64	0.38	0.55	0.41	0.40	0.47	
SK 21	680126.28	4187297.32	8	13.40	25.00	6.56	0.94	0.38	0.79	0.40	0.67	0.43	0.51	0.47	
SK 22	680899.83	4185432.92	4	9.90	39.00	6.94	0.71	0.37	0.60	0.39	0.51	0.42	0.38	0.47	
SK 23	680544.1	4184037.28	21	28.70	27.00	8.12	1.90	0.34	1.90	0.36	1.90	0.39	1.39	0.44	
SK 24	681623.32	4186742.23	18	27.10	55.00	5.58	1.47	0.40	1.24	0.42	1.07	0.45	0.81	0.49	
SK 25	681037.23	4187228.98	7	13.60	60.00	5.83	0.90	0.40	0.78	0.41	0.67	0.44	0.50	0.49	
SK 26	682510.19	4186002.26	18	25.50	28.00	5.36	1.74	0.41	1.50	0.42	1.30	0.45	0.98	0.49	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının sıvılaşma analizi sonuçları. SPT-N:Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmemiş), SPT-(N₁)_{60cs}: Standart penetrasyon darbe sayısı (düzeltilmiş), FS: Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı, PGA:En büyük yatay yer ivmesi

**EK 2 : SIVILAŞMA SONUCU OLUŞAN YANAL YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ
SONUÇ TABLOLARI**

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 1	684815.88	4181751.00	12.73	46	60	0.08	2.45	1	2	3	14
	SK 2	684699.19	4181926.00	12.71	49	39	0.09	6.70	4	11	21	96
	SK 3	684386.94	4181893.75	12.95	39	59	0.08	1.70	0	0	2	12
	SK 5	684623.31	4182181.25	12.55	30	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 6	684815.5	4182277.00	12.36	70	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 7	684703.81	4182595.00	12.19	36	52	0.07	3.90	0	4	7	34
	SK 9	684480.5	4182693.00	12.32	37	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 11	684706.5	4183350.00	11.69	28	59	0.08	4.20	0	2	4	19
	SK 12	684276.31	4182854.00	12.33	37	33	0.12	2.75	3	8	15	70
	SK 13	685081.31	4183372.00	12.37	22	45	0.08	1.90	0	0	0	29
	SK 14	685216.88	4182761.00	11.73	24	24	0.12	5.00	6	16	30	138
	SK 19	685227.88	4181507.00	12.66	40	48	0.09	3.40	0	0	8	37
	SK 22	684553.44	4181262.00	13.31	40	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 23	683960.75	4182077.25	13.12	36	73	0.15	1.50	0	0	0	2
	SK 24	684471.69	4180890.25	13.68	31	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 26	685137.12	4183834.00	11.12	29	26	60.00	1.30	0	1	2	10
	SK 28	685492.62	4184226.00	10.53	27	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 29	684907.62	4185198.00	10.21	23	29	58.00	0.55	0	0	0	0
	SK 30	685147.81	4185752.00	9.67	11	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 31	683956.81	4184960.00	11.02	24	-	-	0.00	0	0	0	0
SK 32	684093.00	4183883.00	11.74	34	17	0.15	2.00	0	13	26	117	
SK 33	684268.88	4185590.00	10.45	21	29	0.08	0.60	0	0	0	47	
SK 49	685812.38	4183312.00	10.94	24	-	-	0.00	0	0	0	0	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaşabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm): Yatay deplasman miktarı.

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 51	685974.62	4183736.00	10.53	16	66	0.18	0.90	0	0	0	0
	SK 53	685546.62	4182824.00	11.49	28	44	0.17	3.80	0	0	9	39
	SK 54	684499.12	4184385.00	11.08	34	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 55	684674.81	4184742.00	1.07	22	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 57	685260.19	4185144.00	10.03	18	64	0.08	2.70	0	0	0	10
	SK 58	685562.00	4184708.00	10.07	28	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 59	685233.19	4184522.00	10.45	32	60	0.08	4.55	1	3	5	23
	SK 61	684629.81	4185870.00	9.97	21	60	0.49	1.80	0	1	1	5
	SK 62	685000.12	4186069.00	9.58	27	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 63	684531.12	4186226.00	9.70	21	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 69	683586.31	4184996.00	11.25	41	27	3.00	0.70	0	0	0	0
	SK 70	684476.62	4185212.00	10.48	28	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 71	682465.81	4183656.25	12.96	59	64	0.08	5.20	0	2	3	16
	SK 73	683105.81	4184318.00	12.09	74	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 74	682905.69	4183641.00	12.76	22	33.7	0.12	3.70	0	0	0	63
	SK 75	682916.56	4183130.00	13.09	27	45	0.09	4.00	0	0	0	41
	SK 76	683220.62	4183538.00	12.60	52	34	0.09	7.80	0	16	31	145
	SK 77	682680.12	4182881.75	13.43	29	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 78	682252.75	4183034.25	13.60	26	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 80	683018.19	4182649.25	13.36	58	-	-	0.00	0	0	0	0
SK 81	682643,8	4183273	13.19	33	40	0.20	1.40	0	0	4	21	
SK 84	683968.81	4182660.00	12.70	47	-	-	0.00	0	0	0	0	
SK 85	684300.38	4182411.75	12.66	36	60	0.08	2.40	0	0	3	13	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaştırılabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 87	683858	4183729	11.98	34	39.5	0.20	3.50	0	5	10	45
	SK 88	684262	4183432	11.92	44	49	0.08	1.00	1	2	5	21
	SK 89	684576.19	4183664	11.55	35	47.7	0.10	12.50	3	9	18	80
	SK 90	684308	4184015	11.55	34	45	0.10	0.90	0	3	5	22
	SK 91	683441.44	4184662.25	11.63	29	38	0.20	2.50	0	0	0	40
	SK 94	682814	4184631	12.07	39	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 102	683522.25	4181672	13.78	46	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 103	683854	4184482	11.44	29	45	0.09	4.00	0	0	11	51
	SK 105	683601	4184471	11.61	54	53	0.08	1.50	0	3	5	22
	SK 107	683762.5	4182827.5	12.78	41	44	0.14	4.30	0	0	10	45
GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	SK 1	680718.6	4185702.01	12.79	78	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 2	679673.97	4185338.51	13.72	18.9	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 3	680903.4	4186549.73	12.02	81	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 4	680485.81	4184981.34	13.50	59	36	0.13	2	0	0	11	50
	SK 5	681835.93	4187047.78	11.28	34	55	0.075	9.5	2	5	10	46
	SK 6	681504.33	4187886.17	10.73	24	55	0.075	9.5	2	5	10	44
	SK 7	681589.67	4186686.34	11.57	52	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 10	682478.5	4185440.63	11.72	49	22	2	1.6	0	0	0	17
	SK 11	681984.11	4185429.81	12.05	50	55	0.075	0.5	0	0	0	0
	SK 14	680054.91	4184483.29	14.16	37	32	0.2	5.40	0	0	14	68
SK 15	679716.01	4184996.99	14.05	1.7	-	-	0.00	0	0	0	0	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaşabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
	SK 16	681404.41	4185434.97	12.47	25	40	0.19	5.70	0	7.45	14.36	66.42
	SK 17	681410.9	4184780.12	12.91	16	32	0.19	0.50	0	0	0	26.03
	SK 19	680963.04	4184703.31	13.23	14	6	11	2.60	0	1.13	2.18	10.19
	SK 20	680331.12	4186072.33	12.80	3.9	36	0.15	4	0	7	14	64
	SK 21	680126.28	4187297.32	12.09	25	32	0.35	2	0	4.81	9.27	42.6
	SK 22	680899.83	4185432.92	12.83	3.4	42	0.15	1.8	1	3	6	28
	SK 23	680544.1	4184037.28	14.12	2.4	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 24	681623.32	4186742.23	11.44	5.1	-	-	0.00	0	0	0	0
SK 25	681037.23	4187228.98	11.39	3.1	58	0.075	1.80	0	2	3	14	
SK 26	682510.19	4186002.26	11.25	4.8	-	-	0.00	0	0	0	0	

Pamukkale fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaşabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelерinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 1	684815.88	4181751.00	6.86	4.6	60	0.08	2.45	2	4	8	30
	SK 2	684699.19	4181926.00	6.74	4.9	39.5	0.09	6.70	11	28	53	212
	SK 3	684386.94	4181893.75	7.06	3.9	59	0.08	1.70	0	3	6	25
	SK 5	684623.31	4182181.25	6.66	3.0	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 6	684815.5	4182277.00	6.45	7.0	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 7	684703.81	4182595.00	6.26	3.6	52	0.07	3.90	4	10	19	76
	SK 9	684480.5	4182693.00	6.39	3.7	-	-	0.00	2	0	0	0
	SK 11	684706.5	4183350.00	5.76	2.8	59	0.08	4.20	2	6	11	43
	SK 12	684276.31	4182854.00	6.38	3.7	33	0.12	2.75	8	21	40	157
	SK 13	685081.31	4183372.00	5.43	2.2	45	0.08	1.90	0	11	21	78
	SK 14	685216.88	4182761.00	5.79	2.4	24	0.12	5.00	17	45	83	319
	SK 19	685227.88	4181507.00	6.74	4.0	48	0.09	3.40	4	11	20	82
	SK 22	684553.44	4181262.00	7.65	4.0	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 23	683960.75	4182077.25	7.35	3.6	73	0.15	1.50	0	0	1	4
	SK 24	684471.69	4180890.25	7.92	3.1	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 26	685137.12	4183834.00	5.06	2.9	26	60.00	1.30	1	4	7	25
	SK 28	685492.62	4184226.00	4.57	2.7	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 29	684907.62	4185198.00	4.30	2.3	29	58.00	0.55	0	0	0	0
	SK 30	685147.81	4185752.00	3.71	1.1	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 31	683956.81	4184960.00	5.02	2.4	-	-	0.00	0	0	0	0
SK 32	684093.00	4183883.00	5.79	3.4	17	0.15	2.00	15	38	71	271	
SK 33	684268.88	4185590.00	4.48	2.1	29	0.08	0.60	0	0	33	117	
SK 49	685812.38	4183312.00	4.96	2.4	-	-	0.00	0	0	0	0	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaştırılabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelilerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 51	685974.62	4183736.00	4.58	1.6	66	0.18	0.90	0	0	2	7
	SK 53	685546.62	4182824.00	5.51	2.8	44	0.17	3.80	0	13	24	92
	SK 54	684499.12	4184385.00	5.15	3.4	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 55	684674.81	4184742.00	4.76	2.2	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 57	685260.19	4185144.00	4.09	1.8	64	0.08	2.70	0	0	8	27
	SK 58	685562.00	4184708.00	4.14	2.8	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 59	685233.19	4184522.00	4.53	3.2	60	0.08	4.55	3	9	16	56
	SK 61	684629.81	4185870.00	3.99	2.1	60	0.49	1.80	1	2	4	13
	SK 62	685000.12	4186069.00	3.59	2.7	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 63	684531.12	4186226.00	3.73	2.1	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 69	683586.31	4184996.00	5.23	4.1	27	3.00	0.70	0	0	0	0
	SK 70	684476.62	4185212.00	4.55	2.8	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 71	682465.81	4183656.25	6.98	5.9	64	0.08	5.20	2	4	8	34
	SK 73	683105.81	4184318.00	6.14	7.4	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 74	682905.69	4183641.00	6.81	2.2	33	0.12	3.70	0	0	34	138
	SK 75	682916.56	4183130.00	7.17	2.7	45	0.09	4.00	0	0	22	88
	SK 76	683220.62	4183538.00	6.62	5.2	34	0.09	7.80	16	43	81	321
	SK 77	682680.12	4182881.75	7.50	2.9	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 78	682252.75	4183034.25	7.67	2.6	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 80	683018.19	4182649.25	7.41	5.8	-	-	0.00	0	0	0	0
SK 81	682643.8	4183273	7.21	3.3	40	0.20	1.40	2	6	12	49	
SK 84	683968.81	4182660.00	6.73	4.7	-	-	0.00	0	0	0	0	
SK 85	684300.38	4182411.75	6.70	3.6	60	0.08	2.40	0	4	7	28	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaştırılabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
DENİZLİ BELEDİYESİ	SK 87	683858	4183729	6.03	3.4	39.5	0.20	3.50	5	14	27	103
	SK 88	684262	4183432	5.97	4.4	49	0.08	1.00	3	7	13	49
	SK 89	684576.19	4183664	5.62	3.5	47.7	0.10	12.50	10	27	49	186
	SK 90	684308	4184015	5.69	3.4	45	0.10	0.90	3	7	14	52
	SK 91	683441.44	4184662.25	5.76	2.9	38	0.20	2.50	0	13	24	92
	SK 94	682814	4184631	6.31	3.9	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 102	683522.25	4181672	7.76	4.6	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 103	683854	4184482	5.52	2.9	45	0.09	4.00	7	17	31	119
	SK 105	683601	4184471	5.70	5.4	53	0.08	1.50	3	7	14	52
	SK 107	683762.5	4182827.5	6.81	4.1	44	0.14	4.30	5	13	25	99
GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	SK 1	680718.6	4185702.01	6.38	7.8	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 2	679673.97	4185338.51	8.04	18.9	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 3	680903.4	4186549.73	6.33	8.1	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 4	680485.81	4184981.34	7.52	5.9	36	0.13	2	5	14	26	107
	SK 5	681835.93	4187047.78	5.25	3.4	55	0.075	9.5	6	16	30	12
	SK 6	681504.33	4187886.17	5.07	2.4	55	0.075	9.5	6	15	28	103
	SK 7	681589.67	4186686.34	5.65	5.2	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 10	682478.5	4185440.63	5.87	4.9	22	2	1.6	0	0	0	39
	SK 11	681984.11	4185429.81	6.04	5.0	55	0.075	0.5	0	0	0	23
	SK 14	680054.91	4184483.29	8.15	3.7	32	0.2	5.40	0	18	34	142
SK 15	679716.01	4184996.99	8.17	17	-	-	0.00	0	0	0	0	

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde), T₁₅(m):Sıvılaştırılabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

GÜMÜŞLER BELEDİYESİ	Sondaj No	Doğu Koor.	Kuzey Koor.	R(km)	S(%)	F ₁₅ (%)	D50 ₍₁₅₎ (mm)	T ₁₅ (m)	D _H (cm)			
									M6	M6.3	M6.5	M7
	SK 16	681404.41	4185434.97	6.50	25	40	0.19	5.70	7.58	20.11	37.36	148.21
	SK 17	681410.9	4184780.12	6.89	16	32	0.19	0.50	0	7.63	14.24	57.38
	SK 19	680963.04	4184703.31	7.45	14	6	11	2.60	1	2.77	5.19	21.35
	SK 20	680331.12	4186072.33	7.06	3.9	36	0.15	4	7	18	33	136
	SK 21	680126.28	4187297.32	6.56	25	32	0.35	2	4.59	12.19	22.66	90.11
	SK 22	680899.83	4185432.92	6.94	3.4	42	0.15	1.8	3	8	15	61
	SK 23	680544.1	4184037.28	8.12	2.4	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 24	681623.32	4186742.23	5.58	5.1	-	-	0.00	0	0	0	0
	SK 25	681037.23	4187228.98	5.83	3.1	58	0.075	1.80	2	4	8	31
	SK 26	682510.19	4186002.26	5.36	4.8	-	-	0.00	0	0	0	0

Akhan fayı etkisiyle oluşabilecek M6, M6.3, M6.5 ve M7 büyüklüğündeki senaryo depremleri için inceleme alanının deplasman analizi sonuçları, R:Fay kırığına yüzeyden ölçülen yatay mesafe, S(%): Zemin eğimi (yüzeyde),T₁₅(m):Sıvılaştırılabilir tabakalarda düzeltilmiş SPT değerleri 15 ten küçük olan tabakaların toplam kalınlığı, F₁₅(%):T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki ince tane yüzdelerinin aritmetik ortalaması, D50₍₁₅₎(mm): T₁₅ i oluşturan tüm tabakalardaki D50 çaplarının aritmetik yada geometrik ortalaması, D_H(cm):Yatay deplasman miktarı.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : FİLİZ TAŞKIN

Ana Adı : Döndü

Baba Adı : Baki

Doğum Yeri ve Tarihi : UŞAK/ 25.01.1981

Lisans : Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2003

Yabancı Dil : İngilizce